

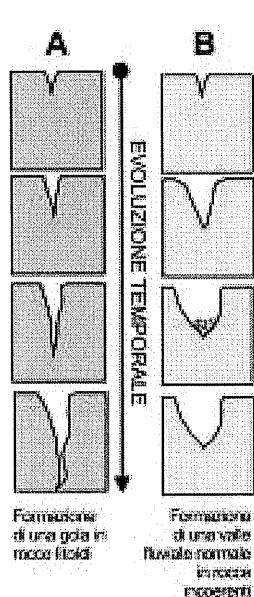
# La formazione delle gole (parte 1°) *Commissione Scientifica*

di Paolo Madonia

Per capire come si forma una gola possiamo partire dalla sua definizione geomorfologica: "tratto di asta fluviale in cui l'erosione di fondo prevale su quella laterale".

Che vuol dire, tradotto in parole povere?

Supponiamo (fig. 1) di partire da due diverse situazioni, nelle quali un ruscello scorre su un pendio inizialmente regolare ed uniforme.



Nel caso A abbiamo una roccia cosiddetta litoide, come un calcare o un granito, in cui i granuli (o i cristalli) che la costituiscono sono fortemente cementati l'un l'altro. Nel caso B invece siamo in presenza di una roccia incoerente, ad esempio un'argilla o una falda di detrito; incoerente significa che essa è composta da granuli sciolti.

Il ruscello che scorre su questa superficie tende ad incidere la roccia, scavando un solco con una velocità che dipende da molteplici fattori (pendenza del versante, resistenza meccanica della roccia, presenza di materiale detritico, portato in sospensione dall'acqua, che la rende in un certo senso più "abrasiva", etc.). questa è "l'erosione di fondo".

Si comincerà a questo punto a sviluppare un solco verticale, una sorta di embrione iniziale di gola, che inizialmente avrà un aspetto assolutamente identico nei due diversi casi.

Quando l'approfondimento comincia a superare l'entità di alcune decine di centimetri si verificano invece due

evoluzioni diversissime, in funzione del tipo di roccia. Il materiale che costituisce la roccia incoerente tende a scivolare verso l'interno del solco, a causa della forza di gravità, allargando così in senso laterale l'incisione fluviale. Il materiale sciolto franato all'interno del letto fluviale verrà facilmente allontanato dall'acqua, che riprenderà ad incidere causando un successivo franamento delle pareti e quindi un ulteriore allargamento della valle fluviale in via di formazione. Su una scala temporale geologica avremo così la formazione di una valle fluviale di tipo "normale", in cui l'erosione di fondo è sempre compensata dall'erosione laterale.

Nel caso delle rocce litoidi, invece, l'erosione di fondo non è affatto detto che venga compensata da quella laterale, in quanto la cementazione reciproca dei granuli fa in modo che non si verifichi il franamento delle pareti. Ecco quindi che la valle può incidersi progressivamente, incassando il fiume tra due pareti verticali: si forma quindi una gola.

Questa appena presentata è ovviamente una semplificazione estrema dei processi che governano l'evoluzione del reticolato idrografico e, come sempre accade in realtà, in natura si ha un'infinità di casi intermedi compresi tra le due situazioni limite appena descritte.

Si potrebbe ad esempio obiettare che, se il processo illustrato fosse sempre vero, nei territori calcareo-dolomitici i fiumi dovrebbero sempre generare delle gole, e ciò è palesemente falso.

In realtà le rocce litoidi sono piene di discontinuità: ad esempio le rocce sedimentarie, come calcari, dolomie o arenarie, sono caratterizzate dalla presenza di una stratificazione più o meno fitta, che corrisponde alla sovrapposizione tra i vari eventi di sedimentazione che le hanno formate.

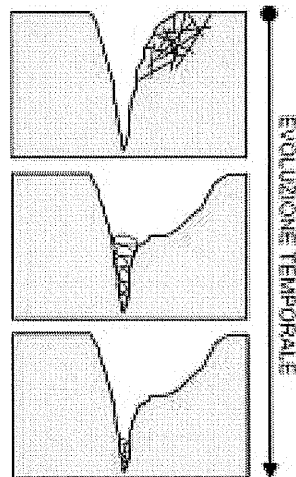
Tali superfici, che prendono il nome di "giunti di strato", sono delle vere e proprie linee di debolezza della roccia, maggiormente soggette a fenomeni di alterazione ad opera degli agenti atmosferici quali pioggia, gelo, etc.

Accade quindi (fig. 2) che interi lastroni di roccia possano scivolare all'interno del solco causato dall'erosione di fondo, allargando in maniera asimmetrica la valle in direzione del lato in cui la pendenza

degli strati va nella stessa direzione del pendio (franapoggio), mentre il lato in cui gli strati immergono in senso opposto (reggipoggio) tende a mantenere un profilo più verticale.

La direzione di immersione degli strati rispetto al solco scavato dall'erosione fluviale spiega quindi perché, ad esempio, in alcune gole vi siano spesso forti asimmetrie tra le due pareti.

Anche rocce cristalline come il granito, che sono del tutto prive di una stratificazione come i calcari, possono però essere interessate da una serie di fratture, causate dalle poderose spinte che hanno determinato la formazione delle catene montuose (processi orogenetici). Tali fratture esercitano, nei confronti degli agenti atmosferici, esattamente lo stesso ruolo che i giunti di strato hanno nel caso delle rocce sedimentarie: favoriscono cioè l'erosione laterale e l'evoluzione della "proto-gola" iniziale in una valle fluviale di tipo normale. L'unica differenza (fig.



3) è che tali fratture tendono a svilupparsi in famiglie ortogonali tra di loro, e non iso-orientate come le discontinuità di tipo sedimentario: le superfici di distacco tendono quindi ad essere più caotiche e meno "gradonate", come invece avviene nel caso precedentemente illustrato.

A questo punto si potrebbe affermare che una gola si forma quando si verificano contemporaneamente le due seguenti condizioni:

- a) Presenza di rocce litoidi, ossia con forte coesione tra gli elementi, detritici o cristallini, che la costituiscono
- b) Assenza, o presenza moderata, di discontinuità opportunamente orientate che non consentano l'instaurarsi di una significativa erosione laterale.

In realtà, le cose non stanno propriamente così, in quanto non è che un ruscello che scorra su un versante roccioso compatto riesca ad intagliarlo come un coltello caldo fa con un panetto di burro.

Anche se consideriamo le lunghissime scale temporali geologiche, in una roccia compatta ed uniforme si formerebbero gole non più profonde di qualche decina di metri: perché, quindi, si riescono invece a produrre forre delimitate da pareti maestose alte centinaia e centinaia di metri?

Ecco che rientrano in gioco, questa volta con un ruolo positivo per la gioia del torrentista, le discontinuità geologiche di cui si parlava prima.

Non è che una gola si formi a caso in un versante: essa tenderà a svilupparsi laddove la roccia è più debole. Ad esempio, se il versante è interessato da una faglia, ossia da una linea di frattura lungo la quale i due bordi si sono mossi reciprocamente uno rispetto all'altro, l'acqua si incanalerà preferenzialmente in questa discontinuità iniziale, approfondendola molto più velocemente di quanto non farebbe in una roccia compatta.

Ma non avevamo appena finito di dire che le fratture, o più in generale le discontinuità, esercitano un ruolo negativo per la formazione delle gole? Se le discontinuità sono diffuse, ed interessano ingenti volumi di roccia, la risposta è sì, in quanto favoriscono l'erosione laterale a discapito di quella di fondo. Se siamo in presenza di una singola discontinuità, magari orientata nello stesso verso della pendenza del versante, la risposta è decisamente no, in questo caso favorisce l'erosione di fondo rispetto a quella laterale. In conclusione, la formazione delle gole si verifica nel momento in cui sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- 1) Presenza di rocce litoidi che, favorendo l'erosione di fondo rispetto a quella laterale, consentono lo sviluppo di una incisione fluviale stretta e profonda;
- 2) Esistenza di una discontinuità iniziale, preferenzialmente orientata nello stesso verso della pendenza del versante, che convogli le acque di ruscellamento favorendo l'erosione di fondo;
- 3) Assenza, o presenza moderata, di discontinuità geologiche quali fratture o giunti di strato opportunamente orientati, nei volumi di roccia circostanti la discontinuità, che impedisca l'innescare di una significativa erosione laterale.

Nel prossimo articolo entreremo invece nel dettaglio di ciò che avviene all'interno di una forra, e cioè in base a quali meccanismi si formino toboga, cascate e marmitte.

# La formazione delle gole (parte 2°)

di Paolo Madonia

Commissione Scientifica

(la prima parte è stata pubblicata su *Canyoning* n° 9 di marzo 2003)

## Come si formano salti, tobogan e marmitte

Nel precedente articolo abbiamo visto che la presenza di discontinuità, come fratture o superfici di contatto tra strati, è di importanza fondamentale per lo sviluppo delle gole.

La presenza di discontinuità all'interno delle rocce entro le quali si sviluppa una gola, ovvero di altre disomogeneità come l'alternanza di strati resistenti o sensibili all'erosione, è allo stesso modo responsabile della presenza delle caratteristiche forme quali cascate, tobogan e marmitte.

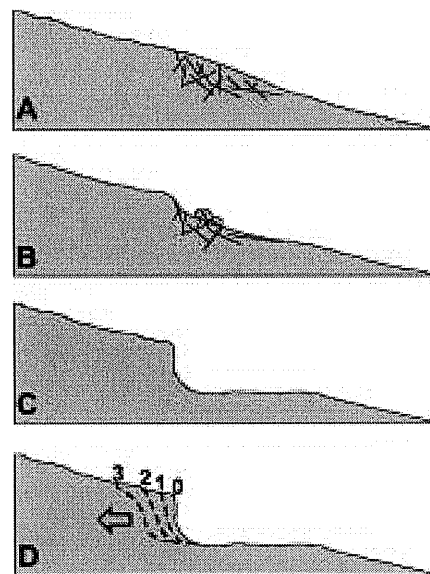
Se infatti avessimo una roccia perfettamente omogenea l'acqua, incidendo la sua superficie ed approfondendo sempre più il solco iniziale prodotto, formerebbe una gola dal fondo piatto o inclinato. Perché invece si formano le cascate, alle quali si deve molto del fascino del torrentismo?

Una cascata, che viene definita in gergo scientifico "gradino morfologico", si forma quando si ha il contatto tra rocce di diverso grado di erodibilità. Le rocce più tenere vengono erose più rapidamente di quelle più dure, che rimangono in rilievo; questo fenomeno prende il nome di "erosione differenziale".

L'esempio più semplice riguarda le rocce eruttive o metamorfe che a struttura cristallina, costituite ossia da minerali i cui cristalli si sono formati caoticamente l'uno a contatto degli altri, ma che nel corso degli eventi geologici sono state interessate da un fenomeno

di fratturazione. Un caso tipico è quello del granito (fig. 1), dove possono essere presenti porzioni di roccia più o meno fratturate.

L'acqua, in attraversando le discontinuità, smantellerà più rapidamente la porzione fratturata rispetto a quella massiva, generando progressivamente una cascata al contatto tra di esse. Con il tempo l'acqua, erodendo la soglia della cascata, tenderà sempre più a spostarla verso monte, fenomeno



che prende il nome di "erosione regressiva".

Un po' più complicato è invece il caso di quelle rocce sedimentarie o metamorfe che in cui, oltre alle fratture, esistono famiglie di discontinuità ad eguale orientamento, che interrompono in maniera più o meno regolare la compattezza della massa rocciosa. Nel caso delle rocce sedimentarie, come calcari, dolomie, marne ed arenarie, tali discontinuità altro non sono che i giunti di strato, ossia le superfici che separano un pacco di strati dall'altro, e che conferiscono a queste rocce il tipico aspetto "a sandwich". Nel caso delle rocce metamorfe che, come gli scisti, le discontinuità sono dovute al fatto che esse si sono formate sotto enormi campi di pressione che, orientandosi in una certa direzione, hanno creato una pseudo-stratificazione che prende il nome di "scistosità". L'orientamento della stratificazione o scistosità rispetto alla pendenza del versante gioca un ruolo fondamentale nella formazione di cascate o tobogan, come vediamo in fig. 2.

Nella parte sinistra della figura è rappresentato il caso in cui la

pendenza delle discontinuità è disposta perpendicolarmente al versante, ossia a "reggipoggio", mentre nella parte destra le discontinuità pendono nella stessa direzione del versante, ossia a "frana-poggio".

A parità di altre condizioni, ossia stessa inclinazione del versante e stesso tipo di rocce, la diversa disposizione della stratificazione tende a generare con il tempo due diverse morfologie. Nella situazione a reggipoggio la soglia tende a mantenersi più stabile nel tempo, e quindi tendenzialmente si ha lo sviluppo di una cascata. Nel caso a frana-poggio l'azione dell'acqua tende a staccare interi blocchi, che scivolano lungo i giunti di strato, dando così origine ad una superficie inclinata parallela alla stratificazione: si è cioè formato un tobogan.

Qualora la roccia soggetta ad erosione non sia uniforme, ma contenga al suo interno delle zone più tenere, l'erosione differenziale tende ovviamente ad asportare più velocemente queste ultime, generando ad esempio scavarnenti lungo una parete verticale (vedi parte sinistra della figura, area ombreggiata in grigio).

Lo spessore delle porzioni di roccia più resistente determina ovviamente l'altezza della cascata: più spesse sono queste ultime, più alto sarà il gradino morfologico derivante dall'azione erosiva dell'acqua, e quindi più alta della cascata.

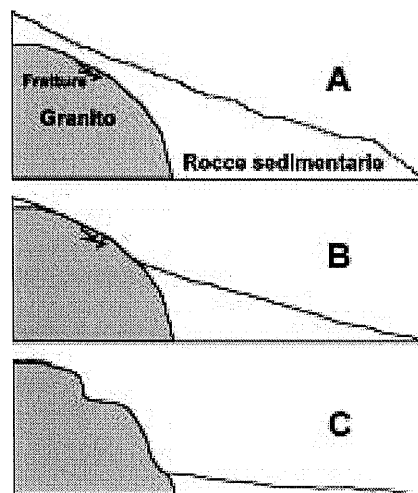
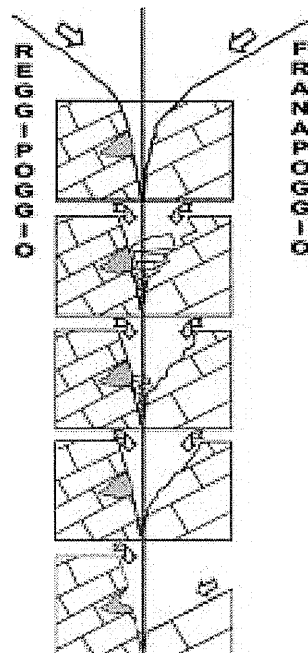
Molti torrentisti avranno comunque notato che, all'interno di una gola, una successione di salti più o meno comparabili come altezza viene improvvisamente interrotta da un salto molto più alto degli altri.

Tale salto di maggiore altezza è spesso proprio quello finale, o comunque esso si colloca nella porzione terminale della gola.

Questo fenomeno non è ovviamente casuale: un gradino morfologico molto esteso si forma quando viene eroso un contatto molto brusco tra due litologie molto diverse tra di loro per ciò che concerne le loro proprietà meccaniche: ad esempio, argille e calcari, graniti e rocce sedimentarie in genere, dolomie e marne, etc.

Cosa accade in questo caso lo vediamo rappresentato in fig.

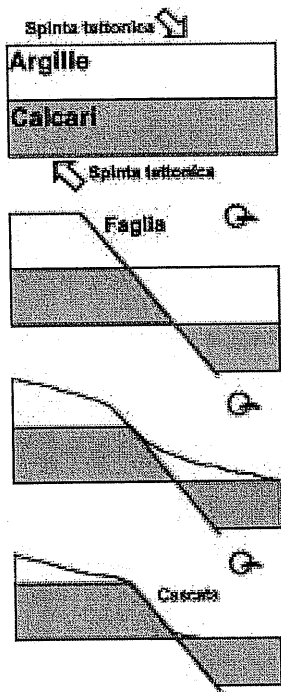
3. Una intrusione di granito, che allo stadio iniziale si trova sepolta sotto il versante, è in brusco contatto laterale con rocce sedimentarie molto più tenere, ad esempio argille. Una volta che l'erosione naturale mette a nudo la massa granitica, essa sarà erosa molto più lentamente rispetto alle argille circostanti. Con il procedere dell'erosione lungo la zona di contatto tra



# La formazione delle gole (parte 2°)

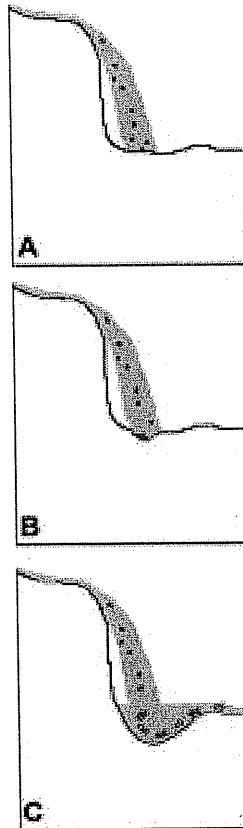
di Paolo Madonia

Commissione Scientifica



granito ed argille si formerà una cascata molto alta, mentre a monte di questo salto avremo verticali di minore entità, la cui origine, come visto in precedenza, può essere dovuta alla presenza di zone fratturate. Lo stesso tipo di fenomeno può essere dovuto alla presenza di una faglia, ossia di una discontinuità originata dalle spinte tettoniche che hanno causato la rottura di una successione sedimentaria, mettendo in contatto laterale due

litologie diverse che prima si trovavano una sopra l'altra, come ad esempio argille depositate sopra una successione calcarea (vedi g. 4). Con il procedere dell'erosione i calcari, molto più resistenti,



rimarranno in rilievo dando luogo alla formazione di una cascata.

Strettamente legate alla presenza di una cascata subito a monte sono le marmitte. Esse infatti ( g. 5) si formano a causa dell'azione meccanica del materiale roccioso trascinato dall'acqua, che erode in maniera preferenziale il punto di impatto alla base di una cascata. Mano a mano che l'incavo si approfondisce si generano le condizioni per le quali l'acqua, ed il materiale da essa trasportato, subiscano un moto di tipo rotatorio, generando così le tipiche morfologie dette appunto a "marmitta".

In assenza di salti subito a monte, le marmitte possono formarsi anche per erosione differenziale di roccia più tenera, che viene asportata più velocemente rispetto alle rocce più dure circostanti ( g. 6).

