

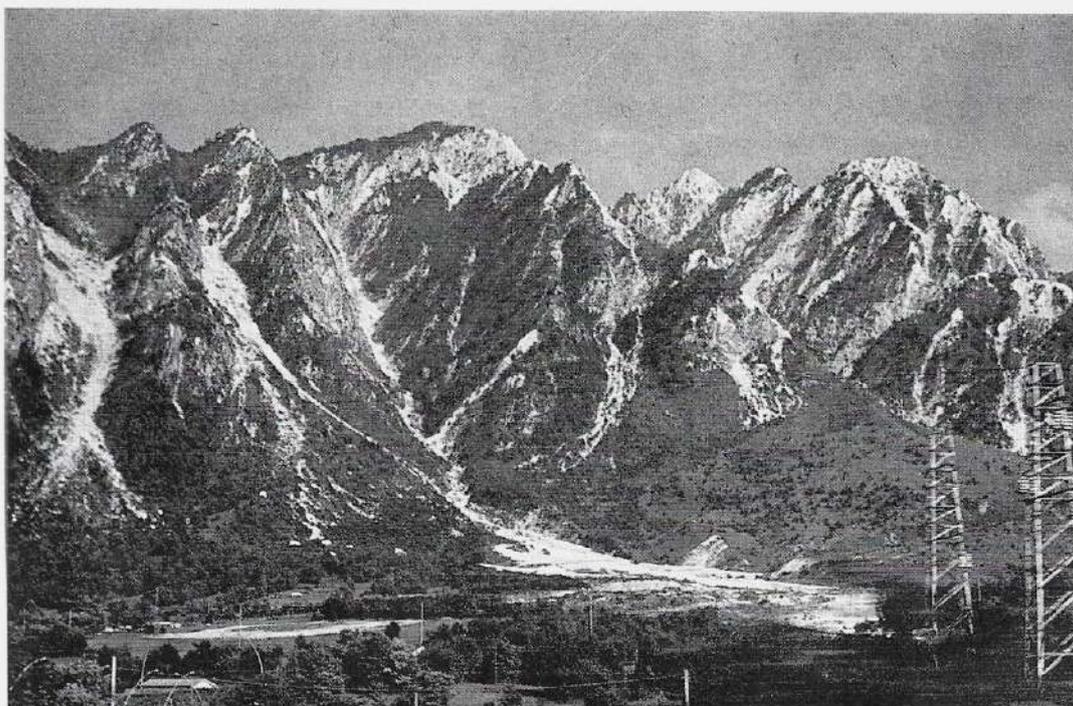
## Darwin geologo

GIAN BATTISTA VAI

Quando il 27 dicembre del 1831 Charles R. Darwin si imbarca sul brigantino «Beagle», giusto in tempo per ricevere dalle mani del rev. J. S. Henslow il primo volume dei «Principles of Geology» di C. Lyell appena stampato, la geologia sta mettendo un'altra radice fondamentale, ma i geologi in quanto tali non esistono ancora! Sono dei naturalisti, come molti di essi amano o vorrebbero sentirsi ancor oggi. Attenzione, però, non tutti i naturalisti sono geologi. Darwin, invece,

lo è, e a pieno titolo, a partire dal suo primo lavoro, appena laureato, nell'estate del 1831 come assistente di rilevamento per Adam Sedgwick, creatore del Cambriano e Presidente della Geological Society of London, in quel santuario della geologia che è il Galles.

**Amplificazione sismica su cresta e cime del versante sinistro del Tagliamento tra Venzone e Gemona. Le superfici chiare segnano i ringiovanimenti da crollo e i nuovi accumuli di frana. Terremoto del Friuli 1976.**



La presente vuole essere una proposta di itinerario tematico alla scoperta di Darwin geologo. Il metodo si concretizza in una sorta di «Lectura Darwini» o antologia di passi scelti dal «Viaggio del Beagle» (edizione Martello, Milano, 1959, ad eccezione dell'ultimo brano citato), raggruppati per argomento e commentati brevemente.

Cominceremo con gli aneddoti per terminare con le scogliere, toccando molti dei più importanti concetti e campi di applicazione della geologia.

### Aneddoti

Come accade in altre professioni di frontiera, specie quando vengono affrontate con un certo qual spirito di missione, anche la professione del geologo assume talora aspetti peculiari, a volte comici, talora strampalati rispetto al mondo che lo circonda. E Darwin non sfugge a questa regola. Come tutti i geologi, Darwin porta sempre con sé il suo «martello da geologo»; immaginate, ora, a cosa gli serve, in una particolare occasione:

p. 324:

La sera raggiungemmo l'isola di San Pedro, dove trovammo il «Beagle» all'ancora. Doppian- do la punta, due degli ufficiali sbarcarono per prendere un giro di angoli col teodolite. Una volpe (*Canis fulvipes*) di una specie che si dice sia particolare dell'isola e molto rara e che è nuova, stava seduta sulle rocce. Era così intenta a osservare il lavoro dei due ufficiali che potei, camminando cautamente dietro di lei, colpirla sulla testa col mio martello da geologo.

Questa volpe, più curiosa o più scienziata, ma meno saggia della generalità delle sue sorelle, è ora imbalsamata nel museo della Società Zoologica.

Per il geologo l'osservazione diretta, meticolosa e completa in campagna di ogni roccia e di ogni sasso è fondamentale. Più si cammina e più si può vedere; ma ci si stanca, soprattutto in montagna. Però...

p. 374:

Verso mezzogiorno iniziammo la noiosa salita della cresta del Peuquenes e provammo allora per la prima volta una certa leggera difficoltà di respirazione. Le mule si fermavano ogni cinquanta metri e dopo essersi riposare pochi secondi, questi poveri animali volenterosi si rimettevano in moto spontaneamente. La respirazione a causa dell'atmosfera rarefatta, è chiamata dai Cileni *puna*... L'unica sensazione che provai fu una leggera pesantezza di testa e al petto, come quella che si prova lasciando una stanza calda ed

entrando rapidamente nell'aria gelata. E in questo v'era anche un po' di immaginazione perché, avendo trovato delle conchiglie fossili sulla cresta più alta, nella mia gioia dimenticai completamente la *puna*. Certamente si faceva un grandissimo sforzo a camminare e la respirazione era più profonda e faticosa; mi dicono che a Potosi (a circa 4000 metri sul mare), gli stranieri non si abituano completamente all'atmosfera prima che passi un anno. Tutti gli abitanti raccomandano le cipolle contro la *puna* e siccome questo vegetale è stato somministrato qualche volta in Europa per le malattie di petto, può darsi che sia di reale vantaggio. Per parte mia non trovai nulla di migliore delle conchiglie fossili.

Quale geologo in campagna non è stato oggetto della curiosità a volte benevola o ilare, talora interessata, spesso perplessa o sospettosa degli stanziali? Darwin non è da meno.

p. 410:

Era divertente sentire gli abitanti discutere sulla natura delle conchiglie fossili che raccoglievo, quasi con gli stessi termini che erano usati in Europa cent'anni fa e precisamente se fossero o no «create così dalla natura». Il mio esame geologico della regione generalmente sorprendevo molto i Cileni e ci voleva parecchio tempo a convincerli che non ero in cerca di miniere. Ciò era talora molto fastidioso; trovai che il modo più spiccio per spiegare le mie occupazioni fosse quello di chiedere loro come mai non erano curiosi di sapere qualche cosa intorno ai terremoti e ai vulcani; perché certe primavere erano calde e altre fredde; perché v'erano montagne nel Cile e neppure una collina nella Plata. Queste semplici domande li soddisfacevano subito e riducevano al silenzio la maggioranza.

### Terremoti

Il pezzo che segue (la descrizione del grande terremoto di Valdivia e Concepcion in Cile, il 20 febbraio 1835) può dare un'idea delle doti di osservatore e di analista, delle capacità di sintesi e dell'efficacia rappresentativa che Darwin dimostra al primo impatto con due dei principali processi catastrofici che avvengono sulla terra, le eruzioni vulcaniche e i terremoti, e che mai prima Darwin aveva potuto osservare.

p. 350-361:

20 febbraio

Questo è stato un giorno memorabile negli annali di Valdivia per il più forte terremoto che i più vecchi abitanti avessero mai sperimentato. Mi trovavo per caso sulla spiaggia e mi ero sdraiato nel bosco per riposarmi. Arrivò improvvisamente e durò solo due minuti, ma il tempo mi

sembrò molto più lungo. L'oscillazione del terreno era molto sensibile. Le onde sembrarono a me, e al mio compagno, venire da Est, ma altri pensavano che provenissero da Sud-Ovest e ciò dimostra come sia difficile qualche volta percepire la direzione delle vibrazioni. Non era difficile rimanere in piedi, ma il movimento mi faceva quasi venire le vertigini; era qualche cosa di simile al movimento di una nave sopra piccole onde irregolari, o meglio ancora, a quello di una persona che pattini sul ghiaccio, quando si curva sotto il peso del suo corpo.

Un forte terremoto distrusse di colpo tutte le nostre più vecchie concezioni; la terra, il vero emblema della solidità, si è mossa sotto i nostri piedi come una crosta sottile su un fluido; lo spazio di un secondo ha creato nella mente una strana idea di insicurezza che ore di riflessione non avrebbero prodotto.

4 marzo

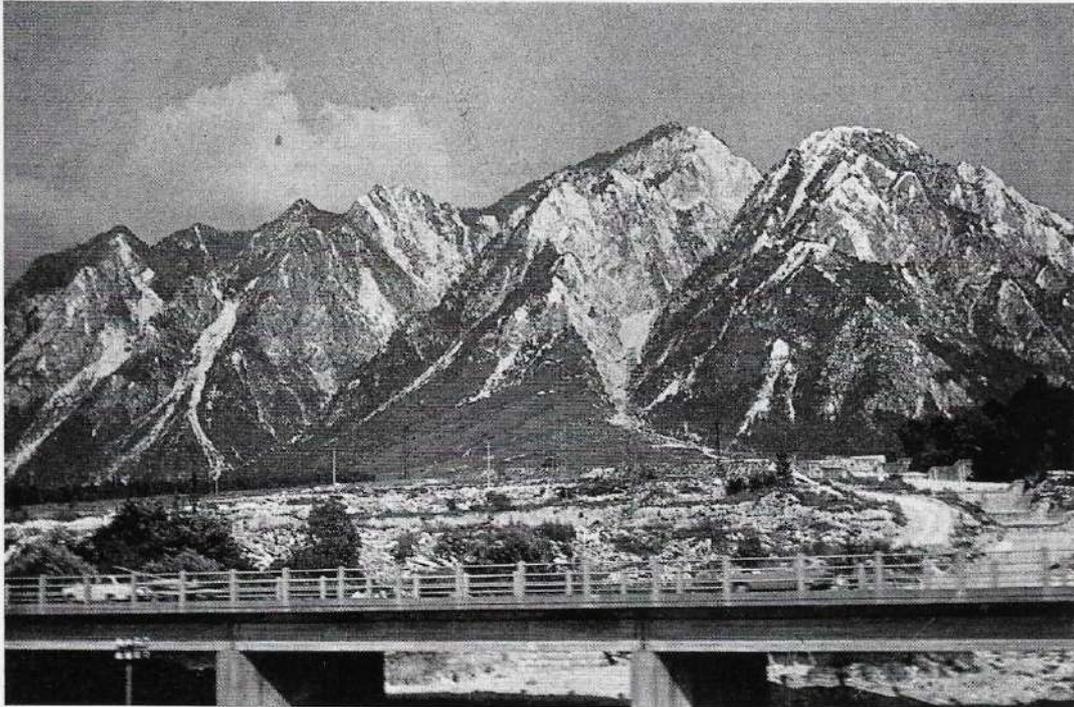
Entrammo nel porto di Concepcion. Mentre la nave si avviava all'ancoraggio, sbarcai sull'isola di Quiriquina. Il *major-domo* della fattoria mi venne subito incontro a cavallo per darmi le terribili notizie del grande terremoto del giorno 20, «che non una casa a Concepcion o a Talcahuano (il porto) era rimasta in piedi; che settanta villaggi erano stati distrutti e che una grande ondata aveva quasi trascinato via le rovine di Talcahuano». Di quest'ultima asserzione vidi presto prove abbondanti, l'intera costa essendo cosparsa di legname e di mobili come se migliaia di navi fossero naufragate. Oltre a seggiole, tavole, librerie, e altro in gran numero, vi erano molti tetti di case che erano stati trascinati via quasi intatti. I magazzini di Talcahuano erano stati sfondati e grandi sacchi di cotone, *yerba* e altre mercanzie di valore erano sparpagliati sulla spiaggia. Durante il mio giro intorno all'isola osservai che numerosi blocchi di roccia, che per le incrostazioni marine che vi aderivano, dovevano trovarsi recentemente in acque profonde, erano stati scagliati sulla costa, uno di essi era lungo un metro e ottanta, largo novanta centimetri e alto sessanta.

L'isola mostrava pienamente la straordinaria violenza del terremoto terrestre, come la spiaggia quella della successiva grande ondata. Il terreno era in molti punti segnato da fratture dirette da Nord a Sud, causate dal cedimento dei fianchi paralleli ed erti di questa stretta isola. Alcune delle fessure vicino alle rive scoscese erano larghe un metro. Molti enormi massi erano già caduti sulla spiaggia e gli abitanti pensavano che quando fossero arrivate le piogge sarebbero avvenute frane molto più grandi. Gli effetti delle vibrazioni sulla dura roccia primaria che forma la base dell'isola, erano ancora più curiosi; le parti superficiali di alcune strette creste erano completamente scheggiate come se fossero state fatte saltare con della polvere da sparo. L'effetto, che era reso cospicuo per le fratture fresche e per lo spostamento del terreno, deve essere limitato alla superficie, perché altrimenti non esisterebbe un blocco di roccia solida in tutto il Cile e non è improbabile

che sia così, dato che è noto come la superficie di un corpo in vibrazione sia influenzata in modo diverso delle parti centrali. Dipende forse dalla stessa ragione il fatto che i terremoti non producono simili terribili devastazioni nelle miniere profonde, come ci si potrebbe aspettare. Credo che questi sconvolgimenti abbiano avuto più effetto nel diminuire la superficie dell'isola di Quiriquina, dell'ordinaria erosione del mare e degli agenti atmosferici durante il corso di un intero secolo.

Il giorno seguente sbarcai a Talcahuano e andai poi a cavallo a Concepcion. Entrambe le città offrivano il più terribile, sebbene interessante, spettacolo che avessi mai visto. Per una persona che le avesse conosciute prima, sarebbe stato probabilmente ancora più impressionante, perché le macerie erano talmente mescolate e tutta la scena aveva così poco l'aspetto di un luogo abitabile, che era appena possibile immaginare quali fossero le condizioni precedenti. Il terremoto cominciò alle undici e mezzo di mattina. Se fosse avvenuto di notte, la maggior parte degli abitanti (che in questa sola provincia ammontano a molte migliaia) sarebbe morta, mentre le vittime furono meno di cento; in tutti i casi, soltanto la costante abitudine di precipitarsi fuori dalle porte al primo sussultare del terreno, li salvò. A Concepcion, ogni casa o fila di case erano un cumulo impressionante di macerie, ma a Talcahuano, in seguito al terremoto, si vedeva poco più di un strato di mattoni, tegole e travi e qua e là qualche pezzo di muro rimasto in piedi. Per questa ragione Concepcion, sebbene non così completamente devastata, era uno spettacolo più terribile e, se posso dire così, più pittoresco. Il *major-domo* di Quiriquina mi disse che la prima percezione che ebbe del terremoto, fu quella di rotolare a terra insieme al suo cavallo. Alzatosi, fu di nuovo gettato giù. Egli mi disse anche che alcune mucche che si trovavano sul lato ripido dell'isola, rotolarono in mare. Il maremoto provocò la morte di molto bestiame: su un'isola bassa vicino al fondo della baia, settanta animali furono trascinati via e annegarono. Si crede che questo sia stato il terremoto più terribile che si ricordi nel Cile, ma siccome i grandi terremoti avvengono soltanto a lunghi intervalli, non si può sapere facilmente se sia vero, né d'altra parte un terremoto molto più forte avrebbe causato una grande differenza, perché la rovina era già ora completa. Innumerevoli piccole scosse seguirono il grande terremoto e nei primi dodici giorni ne furono contate non meno di trecento...

Poco dopo la scossa fu vista una grande ondata alla distanza di sei o sette chilometri, che si stava avvicinando nel mezzo della baia con un aspetto tranquillo, ma quando si rovesciò su tutta la spiaggia con forza irresistibile, abbatté case ed alberi. In fondo alla baia essa si ruppe in un terribile serie di bianchi cavalloni che raggiunsero un'altezza verticale di sette metri sopra il livello delle più alte maree. La loro forza deve essere stata prodigiosa, perché nel forte fu spostato all'indietro di cinque metri un cannone col suo affusto, stimato del peso di quattro



**Interi versanti rimodellati per crollo a seguito dello scuotimento sismico. Dintorni di Gemona, terremoto del Friuli 1976.**

tonnellate. Una goletta fu lasciata in mezzo alle macerie, a 200 metri di distanza dalla riva. La prima ondata fu seguita da due altre, che ritirandosi trascinarono via una gran quantità di oggetti galleggianti. In un punto della baia, una nave fu sollevata e lasciata in secco sulla spiaggia, trascinata via e di nuovo spinta sulla spiaggia e ancora una volta trascinata via. In un altro punto, due grandi navi che erano ancorate vicine, furono fatte girare su se stesse e i loro cavi si avvolsero per tre volte l'uno intorno all'altro; sebbene fossero ancora su un fondale di undici metri, rimasero in secco per alcuni minuti. La grande ondata doveva procedere lentamente, perché gli abitanti di Talcahuano ebbero il tempo di correre sulle colline dietro la città e alcuni marinai uscirono in mare aperto, sperando con ragione che la loro barca avrebbe superato con sicurezza l'onda, se avessero potuto raggiungerla prima che si rompesse...

La città di Concepcion era costruita secondo il solito metodo spagnolo, con tutte le strade ad angolo retto fra loro, una parte in direzione da Sud-Ovest l'altra in direzione da Nord-Ovest. I muri nella prima direzione resistettero certamente meglio degli altri e la maggior parte delle macerie cadde verso Nord-Est. Entrambi questi fatti si accordano perfettamente con l'opinione generale che le onde provenissero da Sud-Ovest e in questa direzione furono anche uditi rumori sotterranei. E evidente infatti che i muri orientati a Sud-Ovest e a Nord-Est, presentando le loro estremità verso il punto dal quale provenivano le onde, sarebbero caduti molto meno fa-

cilmente di quelli che, orientati a Nord-Ovest e a Sud-Est, devono essere stati spostati dalla perpendicolare per la loro intera lunghezza e nello stesso istante, perché le onde, venendo da Sud-Ovest, si diffondevano in direzione Nord-Ovest e Sud-Est quando passavano sotto le fondamenta...

Tenendo presenti tutte queste circostanze, che indicano così chiaramente il Sud-Ovest come il centro principale dello sconvolgimento, è un fatto molto interessante che l'isola di Santa Maria, situata in questo settore, durante il sollevamento generale della regione, fu sollevata a un'altezza circa tre volte superiore a quella di qualsiasi altra parte della costa.

La diversa resistenza offerta dai muri, a seconda del loro orientamento, fu dimostrata chiaramente nel caso della cattedrale. Il lato che fronteggiava il Nord-Est era un gran mucchio di macerie, in mezzo al quale stavano porte e travi, come se galleggiassero su un torrente. Alcuni dei blocchi angolari di muratura erano di grandi dimensioni ed essi erano rotolati lontani sulla piazza pianeggiante, come massi di roccia alla base di qualche alta montagna. Le pareti laterali (orientate a Sud-Ovest e a Nord-Est), sebbene straordinariamente fratturate, erano però in piedi, ma i grandi contrafforti (ad angolo retto con essi e perciò paralleli ai muri caduti)

erano stati in molti casi tagliati come da cesoie e scagliati a terra. Alcuni ornamenti ad angolo retto in cima a questi stessi muri, furono spostati dal terremoto in posizioni diagonali. Un fatto simile fu osservato dopo un terremoto a Valparaiso, in Calabria ed in altre località ed anche in alcuni degli antichi templi greci. Questo spostamento rotatorio, sembra indicare a prima vista un movimento vorticoso al disotto di ogni punto in tal modo influenzato, ma ciò è molto improbabile...

In quasi tutti i violenti terremoti, si dice che le acque del mare circostante diventino molto agitate. Lo sconvolgimento, come nel caso di Concepcion, sembra essere generalmente di due specie. Primo: nell'istante della scossa, l'acqua ci solleva sulla costa con un movimento lento e poi si ritira altrettanto tranquillamente. Secondo: poco dopo, tutto il mare si ritira dalla costa e poi vi ritorna con onde di straordinaria violenza. Il primo movimento sembra essere una conseguenza immediata del terremoto che agisce in modo diverso su un fluido e su un solido, in modo che i loro rispettivi livelli sono leggermente spostati, ma il secondo caso è un fenomeno molto più importante...

È notevole che mentre Talcahuano e Callao (vicine a Lima), entrambe situate in fondo a una grande baia poco profonda, hanno sofferto durante ogni violento terremoto per le grandi ondate, Valparaiso, situata al margine di acque molto profonde, non sia mai stata investita, sebbene così spesso scossa dai più forti terremoti. Dal fatto che la grande onda non segue immediatamente il terremoto, ma qualche volta arriva con un intervallo di mezz'ora, e da quello che isole distanti sono colpite in modo simile a quello delle coste vicine al centro dello sconvolgimento, appare che l'onda si solleva prima al largo e siccome questo è un fatto generale, anche la causa deve essere generale. Penso che dobbiamo considerare la linea dove le acque meno disturbate dell'oceano profondo si uniscono all'acqua vicina alla costa che ha partecipato al movimento della terra, come il punto in cui la grande onda si forma dapprima; sembrerebbe anche che l'onda sia più grande o più piccola, secondo l'estensione di acqua poco profonda che è stata agitata insieme al fondo sul quale posa.

L'aspetto più notevole di questo terremoto fu il sollevamento permanente del terreno; sarebbe probabilmente più corretto dire che questo ne fu la causa. Non vi può essere dubbio che il terreno intorno alla baia di Concepcion si sia sollevato dai sessanta ai novanta centimetri, ma mette conto di far notare che siccome il maremoto aveva cancellato le vecchie tracce della marea sulle spiagge sabbiose inclinate, non potei trovare nessuna dimostrazione di questo fatto, tranne la concorde testimonianza degli abitanti, che un piccolo bassofondo roccioso, ora allo scoperto, era una volta coperto dall'acqua. Nell'isola di Santa Maria (distante circa cinquanta chilometri) il sollevamento fu maggiore; il capitano Fitz Roy trovò in un punto strati di conchiglie putrefatte, *ancora aderenti alle roc-*

*ce*, a tre metri sopra il livello dell'alta marea; gli abitanti dovevano prima tuffarsi per prendere queste conchiglie. Il sollevamento è particolarmente interessante, in questa provincia che è stata teatro di parecchi altri violenti terremoti e per il gran numero di conchiglie marine sparse sul terreno, certamente fino ad un'altezza di 180 metri e forse di 300 metri. Ho notato a Valparaiso che conchiglie simili si trovano all'altezza di 400 metri; è appena possibile dubitare che questa grande altezza non sia stata raggiunta con successivi piccoli sollevamenti, come quello che ha accompagnato, o causato, il terremoto di quest'anno e anche da un insensibile sollevamento lento, che avviene certamente in alcuni punti di questa costa.

L'isola di Juan Fernandez, 580 chilometri a Nord-Est, fu scossa violentemente nel momento della grande scossa del giorno 20, tanto che gli alberi si urtarono l'un l'altro e un vulcano sorse sott'acqua, vicino alla costa. Questi fatti sono notevoli perché quest'isola, durante il terremoto del 1751, fu anche allora scossa più violentemente di altre località a egual distanza da Concepcion e ciò sembra dimostrare una certa connessione fra questi due punti. Chiloe, a circa 550 chilometri a Sud di Concepcion, sembra essere stata scossa più fortemente del distretto intermedio di Valdivia, dove il vulcano di Villarica non fu affatto influenzato, mentre nella Cordigliera di fronte a Chiloe, due vulcani entrarono nel medesimo tempo in grande attività. Questi due vulcani, e altri vicini ad essi, rimasero in eruzione per lungo tempo e dieci mesi dopo furono di nuovo influenzati da un terremoto a Concepcion...

Il sottosuolo dal quale venne effettivamente eruttato del materiale vulcanico, ha una lunghezza di 1160 chilometri in una direzione di 640 chilometri in un'altra ad angolo retto con la prima, e quindi con tutta probabilità si estende qui un lago sotterraneo di lava, con una superficie circa doppia di quella del Mar Nero. Per il modo intimo e complesso col quale le forze sollevatrici ed eruttive dimostrano di essere connesse durante questa serie di fenomeni, possiamo concludere con sicurezza che le forze che sollevano lentamente e a piccoli sbalzi i continenti e quelle che in periodi successivi emettono materiale vulcanico da crateri, sono identiche. Per molte ragioni, credo che le frequenti scosse su questa linea di costa siano causate dallo spezzarsi degli strati, conseguente necessariamente alla tensione del terreno quando viene sollevato e al fatto che vengono iniettati di roccia fluida. Queste fratture e queste iniezioni, se ripetute abbastanza spesso (e noi sappiamo che i terremoti agiscono ripetutamente sulle stesse aree nello stesso modo), formeranno una catena di colline, e l'isola lineare di Santa Maria, che fu sollevata tre volte di più della regione vicina, sembra sottoposta a tale azione. Io credo che l'asse solido di una montagna differisca per il suo modo di formazione da quello di una collina vulcanica, soltanto perché la roccia fissa è stata ripetutamente iniettata, invece di essere stata ripetutamente eruttata. Inoltre, credo che sia impossi-

bile spiegare la struttura di grandi catene montuose, come quelle della Cordigliera, in cui gli strati che rivestono l'asse di rocce plutoniche iniettate, sono stati spinti sui loro margini lungo parecchie linee di sollevamento parallele e vicine, tranne che con questa ipotesi che la roccia dell'asse sia stata ripetutamente iniettata dopo intervalli sufficientemente lunghi per permettere alle parti superiori, o creste, di raffreddarsi e di solidificarsi, perché se gli strati fossero stati spinti nella loro posizione attuale, fortemente inclinata, verticale e persino rovesciata, da una sola spinta, tutte le viscere della terra sarebbero uscite e invece di vedere ripide catene di roccia solidificata sotto grande pressione, diluvi di lava sarebbero fluiti da innumerevoli punti, lungo ogni linea di sollevamento.

È stupefacente osservare come Darwin sappia mettere a frutto l'esperienza fatta, applicando in pratica l'Attualismo, appena definito da Lyell, nell'usare i processi di cui era stato per la prima volta spettatore, per interpretare le strutture formatesi nel passato.

p. 298:

Il mattino ci arrampicammo sulla ruvida massa di diorite che corona la cima. Questa roccia, come avviene frequentemente, era molto scheggiata e rotta in giganteschi blocchi dagli spigoli aguzzi. Osservai però un fatto notevole e precisamente che numerose superfici presentavano molti segni di recente azione su di essi; alcune sembravano essersi spaccate il giorno prima, mentre su altre erano appena spuntati i licheni, e su altre ancora erano cresciuti da lungo tempo. Ero così pienamente convinto che ciò dipendesse dai frequenti terremoti, che mi sentivo spinto ad allontanarmi rapidamente da o-



Fessurazione colonnare del neck basaltico quaternario di Guspini (Sardegna occidentale).

gnuno di quei mucchi instabili. Dato che si può essere facilmente ingannati in un caso di questo genere, dubitai della mia ipotesi fino a quando non salii sul Monte Wellington, nella Terra di Van Diemen, dove non vi sono terremoti e là vidi la cima della montagna formata in modo simile ed egualmente scheggiata, ma sembrava che tutti quei blocchi fossero stati scagliati nelle loro attuali posizioni migliaia di anni fa.

## Vulcani

Questo è un tema di cui Darwin tratta ripetutamente nel suo libro con una modernità terminologica, una chiarezza concettuale e una coerenza interpretativa che non finisce di sorprendere.

Termini come «fessurazione colonnare» e «bombe vulcaniche» sono usati da lui nella descrizione delle isole Fernando Noronha (p. 15) e Ascensione (p. 569).

Esprime poi chiaramente il concetto che sulla terra i vulcani sono addensati lungo le coste oppure in mare e che ciò deve avvenire «per cause chimiche o meccaniche» (p. 10), in perfetto allineamento con le più moderne ipotesi geodinamiche e magmatiche della tettonica globale.

C'è un particolare che dà un'idea della abilità professionale di Darwin là dove predice la posizione di un apparato vulcanico sulla base delle variazioni di spessore di una colata basaltica fossile (p. 206).

Non si può chiudere questo argomento senza riportare un altro pezzo di bravura descrittiva e logico-deduttiva di Darwin: la constatazione della eruzione simultanea dei vulcani Osorno, Aconcagua e Coseguina e la relativa correlazione genetica.

p. 339-340:

La notte del 19 il vulcano Osorno era in attività. A mezzanotte la sentinella osservò qualche cosa come una grande stella che crebbe di dimensioni fino circa alle tre, quando presentò uno splendido spettacolo. Con l'aiuto di un telescopio si vedevano oggetti scuri scagliati in alto in costante successione, precipitare poi fra un grande splendore di luce rossa. L'intensità della luce era sufficiente per produrre sull'acqua un lungo riflesso brillante.

.....  
La mattina il vulcano ritornò tranquillo.

Rimasi sorpreso di sentire poi che l'Aconcagua, nel Cile, 770 chilometri più a Nord, era in attività nella stessa notte e fui ancora più sorpreso di udire che la grande eruzione del Coseguina (4300 chilometri a Nord dell'Aconcagua), accompagnata da un terremoto che si sentì a di-

stanza di 1600 chilometri, avvenne soltanto a scie di intervallo. Questa coincidenza è tanto più notevole perché il Coscuina era inattivo da ventisei anni e l'Aconcagua manifesta molto raramente segni di attività. È difficile anche soltanto congetturare se questa coincidenza fosse accidentale o dimostrasse qualche connessione sotterranea. Se il Vesuvio, l'Etna e lo Hecla, in Islanda, (tutti e tre relativamente più vicini che non i vulcani corrispondenti nell'America meridionale) entrassero improvvisamente in eruzione nella stessa notte, la coincidenza verrebbe considerata notevole, ma è molto più notevole in questo caso in cui i tre crateri si trovano sulla stessa catena montuosa e dove le vaste pianure lungo l'intera costa orientale e le conchiglie recenti sollevate lungo la costa occidentale per più di 3200 chilometri, dimostrano in quale modo eguale e concorde abbiano agito le forze di sollevamento.

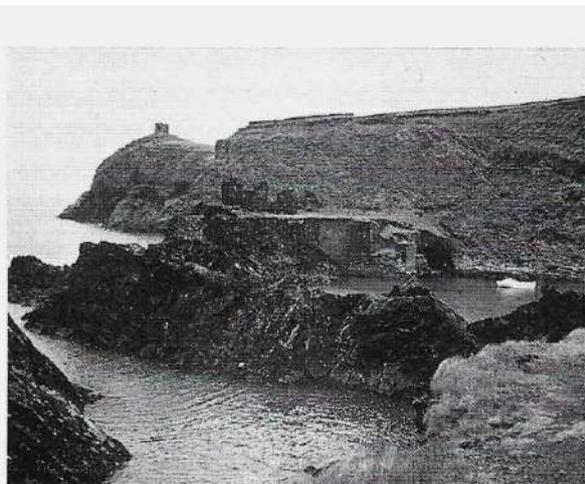
### Sollevamento e subsidenza costieri e terrazzi marini

Anche questo è un esempio paradigmatico dell'epistemologia darwiniana, che si articola in tre momenti: 1) perspicace osservazione di nuovi dati, 2) rapida intuizione interpretativa, 3) ricerca dei dati a conferma o precisazione dell'ipotesi interpretativa.

Il sollevamento lungo le coste della Patagonia per una distanza di 2.000 km è documentato, secondo Darwin, da un deposito che contiene conchiglie marine estinte. Il sollevamento avviene lentamente ed è interrotto da intervalli di riposo contrassegnati da «ripiani a gradini» (terrazzi di escavazione marina). Localmente, però, ci deve essere stato abbassamento, testimoniato da «depositi marini stratificati» di spessore molto superiore al massimo batimetrico delle conchiglie terziarie.

p. 194-196:

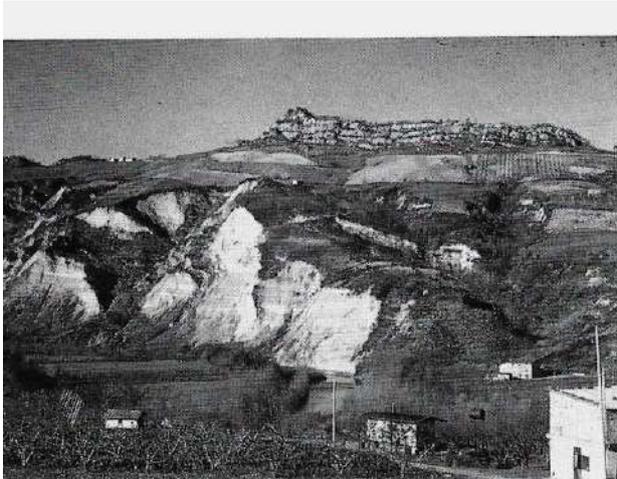
La geologia della Patagonia è interessante. A differenza dell'Europa, dove sembra che le formazioni terziarie si siano accumulate nelle baie, abbiamo qui per centinaia di chilometri lungo le coste un grande deposito che contiene parecchie conchiglie terziarie, tutte apparentemente estinte. La conchiglia più comune è una massiccia e gigantesca ostrica, che raggiunge qualche volta persino trenta centimetri di diametro. Questi strati sono coperti da altri di una particolare pietra tenera bianca, che contiene molto gesso e assomiglia alla creta, ma che in realtà ha la natura della pomice. Questa pietra è notevolissima per essere composta, almeno per un decimo del suo volume, da infusori. Il prof. Ehrenberg ha accertato in essa trenta forme oceaniche. Questo giacimento si estende per ottocento chilometri lungo la costa e con probabilità



Terrazzi marini di sollevamento postglaciale. I ripiani terrazzati sono rivestiti da un velo di breccia di battaglia e di depositi continentali, tabulari e discordanti sul substrato paleozoico fortemente inclinato. Aberiddy Bay, Mare d'Irlanda.

per una distanza considerevolmente ancora più grande. A Porto San Giuliano il suo spessore è di più di 240 metri! Questi giacimenti bianchi sono rivestiti di una massa di ghiaia, che forma probabilmente uno dei più grandi letti di ghiaia del mondo; esso si estende certamente dalle vicinanze del Rio Colorado fino a 600 o 700 miglia nautiche verso sud; al Santa Cruz (un fiume un po' più a Sud di San Giuliano) esso raggiunge i piedi della Cordigliera; a metà del corso del fiume, il suo spessore è maggiore di 60 metri; probabilmente raggiunge in ogni punto questa grande catena, dalla quale provengono i ciottoli di porfido ben arrotondati; possiamo considerare la sua larghezza media di 300 chilometri e il suo spessore medio di circa 15 metri. Se questo grande letto di ciottoli, senza contare il fango prodotto dal loro attrito, fosse raccolto in un mucchio, formerebbe una grande catena di montagne! Quando consideriamo che tutti questi ciottoli, innumerevoli come i granelli di sabbia del deserto, si sono originati dalla lenta caduta di massi di roccia sulle antiche linee di costa e sulle rive dei fiumi e che questi frammenti sono stati rotti in pezzi più piccoli e che ognuno di essi è stato poi lentamente rotolato, arrotondato e trasportato lontano, la mente rimane stupefatta pensando al lungo numero di anni assolutamente necessario per tutto questo. E inoltre questa ghiaia è stata trasportata e probabilmente arrotondata dopo che si erano depositati gli strati bianchi e moltissimo tempo dopo che si erano depositati gli strati con le conchiglie terziarie.

Tutto, in questo continente meridionale, è stato fatto in grande scala; il terreno dal Rio della Plata fino alla Terra del Fuoco, per una distanza di 20000 chilometri, è stato sollevato in massa (e nella Patagonia ad un'altezza da 90 a



Esempio di regressione geologica. Dal basso del versante si succedono: 1) argille di scarpata con intercalazioni arenacee torbiditiche, ambiente batiale; 2) ripetuti orizzonti di frana sottomarina che inglobano colossali blocchi isolati e scivolati di arenarie (macchie chiare al centro e a sinistra), ambiente batiale; 3) argille bituminose eusiniche, marne tripolacee e calcare di base (fascia coltivata superiore), ambiente da subtidale a intertidale; 4) evaporiti gessose stratificate, ambiente sovrasalato da subtidale a supratidale; 5) depositi continentali (in tasche in cima ai gessi), ambiente dulcicolo alluvionale lacustre e fluviale. M. Penzola e versante sinistro del F. Santerno.

120 metri) durante il periodo delle conchiglie marine viventi ora. Le vecchie conchiglie esposte alle intemperie sulla superficie della pianura sollevata, conservano ancora in parte i loro colori. Il movimento di sollevamento è stato interrotto da almeno otto lunghi periodi di riposo, durante i quali il mare penetrò profondamente nella terra, formando a livelli successivi le lunghe file di rilievi o di scosscendimenti che separano i diversi piani che sorgono l'uno dietro all'altro come gradini. Il movimento di sollevamento e la forza scavatrice del mare durante i periodi di riposo, sono stati uniformi sopra lunghi tratti di costa, perché ero stupefatto di vedere che i ripiani a gradini stavano a un'altezza quasi corrispondente in punti molto distanti. Il piano inferiore è alto 27 metri e il più elevato, che io salii vicino alla costa, è a 285 metri e di questo rimangono soltanto resti in forma di colline appiattite, ricoperte di ghiaia. Il piano superiore del Santa Cruz si eleva fino a 900 metri ai piedi della Cordigliera. Ho detto che durante il periodo delle conchiglie marine viventi, la Patagonia è stata sollevata da 90 a 120 metri; posso aggiungere che nel periodo in cui i ghiacci galleggianti trasportavano massi sulla pianura superiore del Santa Cruz, il sollevamento è stato di almeno 450 metri. E la Patagonia non ha subito soltanto movimenti di *sollevamento*; le conchiglie terziarie di Porto San Giuliano e del Santa Cruz non possono essere vis-

Scogliera a piattaforma o pseudoatollo. Hoskyn Reef, Grande Barriera Australiana meridionale. Lato oceanico sopravento segnato dai frangenti sulla destra. Si noti la piccola laguna sabbiosa verde azzurra con gli ammassi corallini di retroscogliera, la vasta piana di scogliera che la circonda su tre lati e la generale asimmetria della biocostruzione. L'isola verde scuro con la spiaggia bianca è lunga 500 m, la scogliera poco più di 2 km. →

sute, secondo il prof. Forbes, a una profondità maggiore di quella fra i 12 e i 45 metri, ma esse sono ora ricoperte da depositi marini stratificati spessi da 240 a 300 metri e perciò il letto del mare, in cui queste conchiglie vivevano una volta, deve essersi *abbassato* di parecchie decine di metri per permettere l'accumularsi degli strati sovrastanti. Quale storia di cambiamenti geologici rivela la costa della Patagonia, costituita in modo così semplice!

Darwin trova la conferma che la sua intuizione è corretta e che il continente sudamericano si è sollevato in blocco quando raggiunge la costa pacifica a nord di Valparaiso.

p. 294:

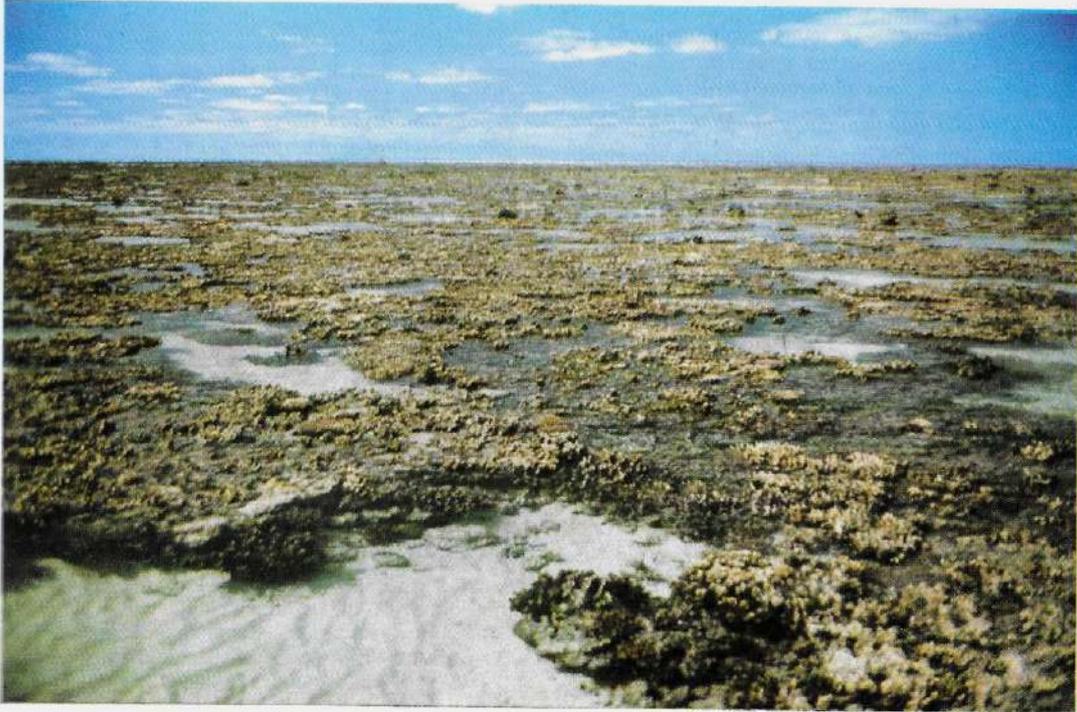
Partii per un'escursione a cavallo, con lo scopo di fare osservazioni geologiche nelle regioni ai piedi delle Ande, che soltanto in quest'epoca dell'anno non sono coperte dalle nevi invernali. Il nostro primo giorno di marcia fu verso Nord, lungo la costa.

.....  
Il mio scopo nel venire qui, era quello di vedere i grandi banchi di conchiglie che si trovano a pochi metri sopra il livello del mare e che vengono usate per farne calce. Le prove del sollevamento di tutta la costa non ammettono dubbi; conchiglie di aspetto antico sono numerosissime all'altezza di qualche decina di metri e ne trovai alcune a 400 metri. Queste conchiglie si trovano libere alla superficie, oppure sono inglobate in un terriccio vegetale nero-rossiccio. Fui molto sorpreso di vedere al microscopio che questo terriccio è in realtà un fango marino, pieno di particelle minute di corpi organici.

### Regressione

Dalle coste del Mar del Plata Darwin ci dà una descrizione esemplare di una sequenza regressiva. Ma quel che più sorprende in questo pezzo è l'enunciazione sostanziale, con

→  
Retroscogliera con depressioni sabbiose bordate da ammassi corallini e piana di scogliera (sullo sfondo), in condizioni di bassa marea. Heron Reef, Grande Barriera Australiana meridionale.



cinquanta anni di anticipo, della famosa «legge della correlazione delle facies» o di Walther, dal nome del geologo tedesco che la formulò nel 1894, sulla base di osservazioni lungo le coste germaniche.

p. 148:

Mi fermai qui cinque giorni e li impiegai studiando la geologia della regione circostante, che è molto interessante. Vediamo qui, alla base dei dirupi, degli strati che contengono denti di squalo e conchiglie marine di specie estinte; essi passano più sopra a una marna indurita e da questa alla terra argillosa rossa delle Pampas, con le sue concrezioni calcaree e le ossa di quadrupedi terrestri. *La sezione verticale* ci parla chiaramente di una grande baia di pura acqua salata, gradualmente invasa e alla fine trasformata nel letto di un estuario, nel quale furono trascinate le carcasse galleggianti. A Punta Gorda nella Banda Oriental, trovai un'alternanza del deposito dell'estuario pampeano con del calcare contenente alcune delle medesime conchiglie marine estinte e ciò dimostra un cambiamento negli antichi corsi d'acqua, o più probabilmente una oscillazione del livello del fondo dell'antico estuario. Fino a poco tempo fa, le mie ragioni per considerare la formazione pampeana come un deposito di estuario, erano il suo aspetto generale, la sua posizione allo sbocco del grande fiume attuale, la Plata, e la presenza di tante ossa di quadrupedi terrestri; ma ora il prof. Ehrenberg ha avuto la cortesia di esaminare per me un po' di terra rossa presa in basso nel deposito, vicino agli scheletri del mastodonte. Egli vi ha trovato molti infusori, parte di acqua salata e parte di acqua dolce, con preponderanza peraltro di questi ultimi e perciò, egli osserva, l'acqua doveva essere salmastra. Il signor d'Orbigny trovò sulle rive del Paraná, all'altezza di trenta metri, grandi strati di una conchiglia di estuario, che vive ora centosessanta chilometri più in basso, vicino al mare, e io trovai conchiglie simili a una minore altezza sulle rive dell'Uruguay. Ciò dimostra che subito prima che le Pampas venissero sollevate lentamente, per trasformarsi in una terra asciutta, l'acqua che le ricopriva era salmastra.

### Attualismo

Darwin, per tre anni studente ad Edimburgo, deve essere venuto a contatto assai presto con le idee di James Hutton, «gentleman farmer» scozzese e padre dell'«Uniformitarianism» o Attualismo. Me lo figuro accanito lettore, oltre che della Bibbia, del Trattato di Lyell, a cui risale il termine. Non c'è dubbio, comunque, che i due passi seguenti siano intimamente permeati di quella fiducia nell'attualismo che, coniugata col tempo (non più millenni, ma, almeno, milioni di

anni), è in grado di spiegare, senza eccessi di catastrofismo, i processi e le strutture così mutevoli della crosta terrestre.

Nella frase finale del primo brano non si può non rimarcare quanto Darwin si senta geologo e quale sia il livello della sua coscienza professionale.

p. 367-369:

Tutte le valli principali della Cordigliera sono caratterizzate per avere, da ambo i lati, un terrazzo di ghiaia e di sabbia grossolanamente stratificate e generalmente di considerevole spessore. Questi terrazzi, evidentemente, si estendevano una volta attraverso le valli ed erano uniti; il fondo delle valli nel Cile settentrionale, dove non vi sono corsi d'acqua, è infatti riempito in modo uniforme. Le strade corrono generalmente su questi terrazzi perché la loro superficie è piana e risalgono le valli con una pendenza moderata; perciò sono anche facilmente coltivabili con l'irrigazione. Essi arrivano fino a un'altezza fra i 2100 ed i 2700 metri, dove scompaiono sotto mucchi irregolari di detriti. Nella parte inferiore, o sbocco della valle, sono uniti in modo continuo a quelle pianure chiuse (pure formate di ghiaia) ai piedi della Cordigliera principale, che ho descritto in un capitolo precedente come caratteristiche del paesaggio del Cile e che furono indubbiamente depositate quando il mare penetrava nel Cile, come fa ora sulle sue coste più meridionali. Nessun fenomeno della geologia dell'America meridionale mi interessò di più di questi terrazzi di ghiaia grossolanamente stratificata. Essi assomigliano esattamente, per la loro composizione, ai materiali che i torrenti depositerebbero in ogni valle se fossero impediti nel loro corso da qualche causa, come l'entrata in un lago o in un braccio di mare, ma i torrenti, invece di depositare materiali, sono ora costantemente al lavoro per asportare tanto la roccia solida come questi depositi alluvionali lungo l'intero corso di ogni valle principale e di quelle laterali. È impossibile dirne qui le ragioni, ma io sono convinto che i terrazzi di ghiaia furono accumulati durante il graduale sollevamento della Cordigliera, dai torrenti che scariavano, a livelli successivi, i loro detriti sulle spiagge all'estremità di lunghi e stretti bracci di mare, che una volta penetravano in alto nelle valli e che poi si abbassavano sempre più, di mano in mano che il terreno si alzava lentamente. Se è così, e non posso dubitarne, la grande e rotta catena della Cordigliera, invece di essere stata sollevata improvvisamente, come si credeva generalmente fino a tempi recenti e come è ancora opinione comune del geologo, è stata *lentamente sollevata in massa*, nello stesso modo graduale col quale le coste dell'Atlantico e del Pacifico si sono sollevate nel periodo recente. Una quantità di fenomeni nella struttura della Cordigliera trova una semplice spiegazione con questa ipotesi.

Non è possibile alla mente comprendere, tranne che lentamente, un effetto che è prodotto da

una causa che si ripete tanto sovente che il moltiplicatore stesso porta a un'idea non meglio definita di quella del selvaggio quando indica i capelli della testa. Tutte le volte che ho visto banchi di fango, di sabbia o di ghiaia, accumulati per lo spessore di molte centinaia di metri, sono stato indotto a pensare che le cause, come gli attuali fiumi e le spiagge attuali, non avrebbero mai potuto riuscire a produrre simili masse. Ma quando invece udivo il rumore violento di questi torrenti e ricordavo che intere razze di animali sono sparite dalla faccia della terra e che durante tutto questo periodo, notte e giorno, queste pietre sono scese rumoreggiando per il loro corso, ho pensato fra me stesso: può una qualsiasi montagna, o qualsiasi continente resistere a una tale forza distruttrice?

In questa parte della valle le montagne su entrambi i lati erano alte da 900 a 1800 e a 2400 metri, con profili arrotondati e fianchi ripidi e nudi. Il colore generale della roccia era un rosso scuro e la stratificazione molto evidente. Se il paesaggio non era bello era però impressionante e grandioso. Incontrammo durante il giorno parecchie mandrie di bestiame che gli uomini conducevano in basso dalle valli più alte della Cordigliera. Questo segno dell'avvicinarsi dell'inverno affrettava i nostri passi più di quanto fosse conveniente per un geologo.

p. 373-374:

Il geologo deve abituarsi ogni giorno all'idea che nulla, nemmeno il vento che soffia, è così instabile come il livello della crosta terrestre.

Farò soltanto un'altra osservazione geologica: sebbene la catena del Portillo sia qui più alta di quella del Peuquenes, le acque che drenano le valli intermedie si sono aperte una via attraverso ad essa. Lo stesso fatto, in scala maggiore, è stato notato sulla catena orientale e più alta della Cordigliera boliviana, attraverso la quale passano i fiumi, e fatti analoghi sono stati osservati in altre parti del mondo. Ciò si può comprendere con l'ipotesi dei successivi e graduali sollevamenti della catena del Portillo, perché sarà apparsa prima una catena di isolette e, mentre queste venivano sollevate, le maree avranno scavato canali sempre più profondi e più larghi fra loro. Oggi, anche nelle baie più interne della Terra del Fuoco le correnti nei passaggi trasversali che uniscono i canali longitudinali, sono fortissime, tanto che in uno di questi canali persino una piccola nave a vele spiegate fu fatta girare ripetutamente su se stessa.

#### **Prospezione mineraria nel primo Ottocento**

Il pezzo che segue ha, più che altro, il sapore della curiosità e dell'apologo. È, però, anche una testimonianza storica preziosa che pone in stretta relazione il mondo contadino e lo sfruttamento delle risorse minerarie.

p. 369-370:

La casa dove dormimmo era situata ai piedi di una montagna sulla cui cima si trovano le miniere di San Pedro de Nolasko. Sir F. Head si stupisce come siano state scoperte delle miniere in simili posizioni straordinarie, come la nuda cima del monte di San Pedro de Nolasko. Prima di tutto i filoni metalliferi, in questa regione, sono generalmente più duri degli strati circostanti e quindi, durante la graduale erosione delle colline, essi sporgono dalla superficie del terreno. In secondo luogo, quasi ogni contadino, specialmente nelle regioni settentrionali del Cile, comprende qualche cosa dell'aspetto dei giacimenti. Nelle grandi province minerarie di Coquimbo e di Copiapò, la legna da ardere è molto scarsa e gli uomini ne vanno in cerca sopra ogni collina e in ogni valletta ed in questo modo sono state scoperte quasi tutte le miniere più ricche. Chanuncillo, dalla quale è stato estratto argento per il valore di molte centinaia di migliaia di sterline nel corso di pochi anni, fu scoperta da un uomo che aveva tirato una pietra al suo asino carico e accorgendosi che era molto pesante, la raccolse e trovò che era piena di argento puro; il filone si trovava a non grande distanza e si ergeva come un cuneo di metallo. I minatori, inoltre, girano la domenica per la montagna, portandosi una leva di ferro. In questa parte meridionale del Cile, gli uomini che conducono il bestiame nella Cordigliera e che frequentano ogni burrone dove v'è un po' di pascolo, sono i normali scopritori.

#### **Atolli e scogliere coralline**

Ho lasciato questo argomento buon ultimo, non perché ne sia minore l'importanza geologica, ma perché è il solo per cui normalmente Darwin compare nei trattati e nella storia della geologia e che gli viene accreditato, a ragione ma con eccessiva limitazione, come originale.

Non c'è dubbio che, a 150 anni dalla sua formulazione, la teoria della formazione delle scogliere coralline di Darwin sia la teoria delle scogliere *tout court*, salvo integrazioni e modifiche marginali, senza alcun dubbio assai minori di quelle che ha dovuto subire la teoria darwiniana dell'evoluzione.

C'è un punto solo della teoria dove Darwin non è convincente, anzi, inspiegabilmente, pecca di chiarezza e di logica facendo una affermazione senza motivarla, quando esclude il sollevamento del fondo marino come processo che può consentire l'innesto alla costruzione della scogliera (p. 541), come invece è stato documentato in molti casi.

Rileggiamoci, allora, la conclusione, in chiave ancora una volta squisitamente geologica, del capitolo sulle scogliere.

p. 556:

I coralli costruttori di scogliere hanno infatti innalzato e conservato meravigliose testimonianze delle oscillazioni sottomarine di livello; vediamo in ogni barriera una dimostrazione che la terra è stata qui abbassata e in ogni atollo un monumento sopra un'isola ora sparita. Possiamo così, come un geologo che sia vissuto migliaia di anni e si ricordi dei cambiamenti passati, penetrare un po' nel grande sistema col quale la superficie di questa terra è stata spezzata e la terra e l'acqua hanno cambiato posto.

\* \* \*

Le tappe obbligate di questo breve itinerario tematico su Darwin geologo sono concluse. Ma se uno volesse sostare a qualche fermata a richiesta non ha che l'imbarazzo della scelta fra numerosissimi altri temi geologici (come litostratigrafia, paleoecologia, estinzioni, cimiteri di animali e breccie d'ossa, paleobiogeografia come conseguenza di ponti o barriere geologiche, strutture sedimentarie, saline e strutture a occhio di bue, ecc.) che Darwin tratta nel «Viaggio».

Credo che appaia chiara la genialità geologica di Darwin e insospettata una certa sua predilezione nell'esercitare la componente geologica della sua professione-missione di naturalista (come dimostrano anche le sue prime tre pubblicazioni scientifiche).

A Darwin geologo ha nuociuto, forse, la fama e le polemiche su Darwin biologo, ma solo fino al punto che ancor oggi, leggendo

lo, lo riconosciamo, quasi con sorpresa, come tale.

È per questo che desidero chiudere, ancora, con le sue parole, riportando quello che si può considerare una specie di bilancio geologico dell'intero «Viaggio».

p. 581:

Fra gli altri notevolissimi spettacoli che abbiamo veduto, si possono citare la Croce del Sud, la Nube di Magellano e le altre costellazioni dell'emisfero meridionale, le trombe marine, i ghiacciai con i loro azzurri torrenti di ghiaccio sovrastanti il mare in uno scosceso precipizio, una isola con laguna formata dai coralli costruttori, un vulcano in attività e gli effetti disastrosi di un violento terremoto. Questi ultimi fenomeni hanno forse per me un interesse peculiare, per la loro intima connessione con la struttura geologica del mondo. Il terremoto, però, deve essere per ciascuno un evento straordinariamente impressionante: la terra, considerata fin dalla nostra prima infanzia come il simbolo della solidità, ha oscillato come una sottile crosta sotto i nostri piedi; e nel vedere i faticosi lavori dell'uomo distrutti in un momento, sentiamo quanto è insignificante la sua vantata potenza.

---

*L'Autore:*

Prof. Gian Battista Vai, straordinario di Geologia Stratigrafica nell'Università di Bologna. L'articolo contiene il testo della conversazione tenuta il 31 gennaio 1983 per iniziativa del Centro «Villa Ghigi» di Bologna.

---