

# GEOLOGIA E TURISMO IN PROVINCIA DI CUNEO



## 1. Natura ed evoluzione del paesaggio



*In copertina*  
Il Monviso, al contempo  
simbolo e più alta montagna  
oceanica del Piemonte.  
(Foto P. Pozza).

Le spettacolari cascate del  
Pis del Pesio.  
(Foto E. Collo).

Il Vallone di Valasco nel  
Parco Naturale delle Alpi  
Marittime.  
(Foto Archivio  
ATL del Cuneese).

Vite e paesaggio del Roero.  
(Foto Archivio  
ATL Langhe e Roero).

*In quarta di copertina*  
Spiagge triassiche  
all'Altopiano della Gardetta.  
(Foto E. Collo).

Conchiglia fossile di  
*Cardium* risalente al Mare  
"Padano".  
(Foto P. Damarco).

"Paesaggi sotterranei" alle  
Grotte di Bossea.  
(Foto Archivio  
ATL del Cuneese).

## Coordinamento progetto

Gianni Boschis

*Meridiani società scientifica*

## Redazione

Gianni Boschis

*Geologo e scrittore di guide di Meridiani società scientifica,  
docente di Geografia nella Scuola Superiore, membro del  
Consiglio direttivo dell'Associazione Italiana di Geologia e Turismo*

Franco Bonetto

*Geologo, delegato regionale per la Regione Valle d'Aosta  
dell'Associazione Italiana di Geologia e Turismo*

Pietro Pozza

*Geologo, grafico e guida naturalistica di Geo d'OC*

Enrico Collo

*Geologo, fotografo, consulente naturalistico per enti istituzionali,  
accompagnatore naturalistico e gestore di www.naturaoccitana.it*

Edmondo Bonelli

*Naturalista, paleontologo, enologo  
Associazione Amici del Museo "F. Eusebio" di Alba*

## Progetto grafico ed impaginazione

kinoglaz.it

## Attribuzioni iconografiche

Fotografie: (pagg. 70 in alto, 78, 82, 129) Claudio Allais, (pagg. 37, 131) Archivio ATL del Cuneese, (pagg. 66, 70 in basso) Archivio I Meridiani, (pagg. 10, 13, 14, 16, 118, 136) Archivio Famiglia Della Beffa, (pag. 22) Archivio Provincia di Cuneo, (pag. 43) Archivio Società Meteorologica Italiana, (pagg. 31, 47, 72, 74, 80, 85, 88, 94, 95, 96, 100 in basso e a destra, 107, 113, 115, 130, 137, 139) Gianni Boschis, (pagg. 6, 33, 38, 111) Enrico Collo, (pag. 87) Piero Damarco, (pag. 112) Laura Fiora, (pagg. 60, 82, 86, 127) Silvano Gallino, (pagg. 8, 40, 68, 102) Erik Gillo, (pag. 61) Renato Giordanino, (pag. 100 in alto) Guido Nurisso, (pag. 18) Paolo Orlandi e Franco Iozzoli, (pagg. 25, 28, 29, 114) Pietro Pozza, (pag. 90) Museo Civico di Scienze Naturali "E. Caffi" di Bergamo.

Disegni: (pag. 16 e 118) Archivio Famiglia Della Beffa, (pagg. 27, 32, 33, 35, 39, 41, 45, 52, 56, 57, 69, 79, 84, 92, 94, 98, 99, 104, 105, 109, 119, 121, 122, 124, 133, 134, 135, 138, 140) Pietro Pozza, (pag. 89) Andrea Caretto, (pag. 108) Elio Giuliano, (pag. 71) Pierluigi Pellegrino, (pagg. 24, 104, 105, 109) Erik Gillo, (pag. 12) Collezioni Private, (pag. 48) H. C. Escher, (pag. 15) Fondo Lange, Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, (pagg. 20 e 21) Istituto Geografico Militare, Firenze, (pag. 40 a sinistra) Museo delle Grotte di Catullo e Sirmione, (pag. 140) Museo del Paesaggio e del Tanaro e Scuola Primaria "F. Eusebio" di Magliano Alfieri.

## Ringraziamenti per la collaborazione

Daniele Cat Berro, Andrea Costa, Myriam D'Andrea, Famiglia Della Beffa, Luca Demicheli, Laura Fiora, Silvano e Maria Gallino, Lucilia Gregori, Antonio e Maurizia Munaretti, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Gianni Mortara, Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, Anna Paganoni, Mario Panizza, Luisa Sisti, Mario Valletta.

# GEOLOGIA E TURISMO IN PROVINCIA DI CUNEO



CASA DI STUDIO  
FONDAZIONE FEDERICO SACCO

Con il patrocinio di

A cura di

In collaborazione con



**G&T**  
Associazione Italiana  
di Geologia e Turismo

**MERIDIANI**  
società di ambiente  
Meridiani  
Società Scientifica



Natura Occitana





*La Provincia di Cuneo vanta, nel proprio panorama culturale, una figura di assoluto rilievo internazionale come il geologo Federico Sacco, nativo di Fossano e considerato in Italia l'antesignano del turismo del paesaggio. Il territorio della "Granda" conta inoltre su un patrimonio geo-morfologico di grande valore per la varietà e unicità di situazioni e fenomeni: nei suoi 6.902 chilometri quadrati di superficie si concentrano montagne di origine marina, colline fossilifere, rocce vulcaniche, sculture naturali e fenomeni di erosione, grotte e formazioni carsiche, sorgenti idrotermali.*

*Tale patrimonio, per le implicazioni economiche ed il valore di risorsa di molti dei beni presenti sul territorio, si è trasformato in seguito al millenario rapporto con l'uomo ed offre oggi altrettanti spunti di interesse culturale, scientifico e turistico. In quest'ambito rientrano il recupero di cave e miniere abbandonate, la creazione di ecomusei, l'impiego in centri storici e monumenti di pietre ornamentali e da costruzione.*

*Federico Sacco si prodigò lungamente per la diffusione della conoscenza delle ricchezze naturalistiche. A distanza di 75 anni dalla pubblicazione del suo libro intitolato "Le Alpi", la Provincia di Cuneo è quindi lieta di onorarne la memoria con una guida per la promozione turistica della geologia locale. La speranza è che il volume permetta di avvicinare il pubblico ad una lettura inedita di un paesaggio antichissimo, quanto meraviglioso e ricco di spunti di carattere scientifico o, semplicemente, estetico.*

*Si ringrazia l'Onorevole Raffaele Costa, sotto la cui presidenza della Provincia di Cuneo ha preso avvio l'opera, per il convinto sostegno dato all'iniziativa.*

Il Presidente  
Gianna Gancia

L'Assessore al Turismo  
Federico Gregorio



CASA DI STUDIO  
FONDAZIONE FEDERICO SACCO

*Nel settembre 2007 usciva la ristampa anastatica de “Le Alpi” di Federico Sacco, edita nel 1934 dal Touring Club Italiano, a cui la Fondazione Sacco, unitamente alla Biblioteca Civica fossanese nella quale la stessa ha la propria sede, partecipò convintamente insieme a tutti gli enti pubblici e privati promotori dell’iniziativa.*

*Allora, nacque l’idea di proseguire sul territorio della Provincia di Cuneo un lavoro che ripercorresse materialmente i sentieri battuti “in solitaria” dal Sacco. Lo scorso anno, un’apposita convenzione con la Provincia di Cuneo ha permesso di concretizzare un itinerario geo-turistico intitolato all’eminente studioso, attraverso la società “Meridiani”, con un gruppo di lavoro composto da studiosi ed esperti del settore.*

*Le istituzioni pubbliche Regione Piemonte e Provincia di Cuneo, licenziano oggi un lavoro oltremodo apprezzabile, fatto di percorsi attrezzati che, dalle Valli del Monviso si estende alle Langhe e Roero, una guida tascabile per ogni territorio geo-turistico, l’allestimento di pagine web e un video promozionale, indirizzati ad un pubblico fortunatamente sempre più vasto, visitatore curioso e allo stesso tempo desideroso di approfondire la conoscenza del proprio territorio.*

*Con soddisfazione plaudiamo ai risultati conseguiti, certi di rispondere concretamente al messaggio lasciatoci in primo luogo da Federino Sacco, in secondo da Giorgio Barbero, che fu presidente di questa Fondazione dal 1959 al 1999.*

*Con l’auspicio che il lavoro sin qui svolto possa proseguire per ricreare quei sentieri un tempo praticati dal nostro concittadino, sempre al fine di produrre strumenti utili ad una lettura vera di un paesaggio antichissimo che va tutelato.*

Il Direttore della Biblioteca Civica  
Giovanni B. Menardi

Il Presidente della Fondazione Sacco  
Mario Leone



# Indice



<i>introduzione</i> .....	<i>pag. 4</i>
<i>indice</i> .....	<i>pag. 7</i>

## > LA GEOLOGIA: “LEGGERE” IL TERRITORIO

Federico Sacco e gli albori del turismo geologico .....	<i>pag. 11</i>
---	----------------

## > I FENOMENI GEOLOGICI

Il paesaggio e le sue forme .....	<i>pag. 23</i>
Il territorio ai “raggi X” .....	<i>pag. 27</i>
L'azione dell'acqua .....	<i>pag. 31</i>
L'azione dei ghiacciai .....	<i>pag. 39</i>
La gravità, motore dell'erosione .....	<i>pag. 43</i>

Spiagge triassiche  
all'Altopiano della  
Gardetta.

## > LA STRUTTURA INTERNA DELLA TERRA

Dentro la Terra un cuore incandescente .....	<i>pag. 53</i>
La “Tettonica delle placche” e l'origine delle catene montuose .....	<i>pag. 55</i>

## > LE ROCCE

Non solo “sassi” .....	<i>pag. 67</i>
Origine e classificazione delle rocce .....	<i>pag. 69</i>
I depositi .....	<i>pag. 79</i>
I minerali .....	<i>pag. 83</i>
I fossili .....	<i>pag. 87</i>
La struttura delle rocce .....	<i>pag. 93</i>

## > LA GEOLOGIA DELLE ALPI

L'orologio geologico .....	<i>pag. 105</i>
La pietra come risorsa .....	<i>pag. 107</i>
Un complesso mosaico di rocce .....	<i>pag. 115</i>
Il passato remoto del territorio .....	<i>pag. 121</i>
Il passato prossimo del territorio .....	<i>pag. 133</i>

<i>Bibliografia</i> .....	<i>pag. 140</i>
---------------------------	-----------------

# La geologia: “leggere” il territorio







«Tre sono i momenti principali in cui può essere suddiviso il processo di formazione dei rilievi montuosi e del paesaggio in genere: il tempo in cui si generano le rocce, il tempo del loro sollevamento a formare le montagne e infine il tempo dell'erosione e del modellamento del paesaggio».

Alfonso Bosellini





# Federico Sacco e gli albori del turismo geologico

> di G. Boschis

Apparentemente una novità, a giudicare dal rifiorire di pubblicazioni, percorsi attrezzati, miniere recuperate e progetti multimediali dedicati, il turismo geologico è in realtà la riscoperta di un fenomeno molto più antico che inizia a muovere i suoi incerti passi sul finire del 1600.

È allora che il fervore illuministico per la conoscenza (e la scienza) spinge alcuni pionieri naturalisti a compiere le prime ricerche geologiche in aree sino a quel momento pressoché inesplorate.

A differenza di quanto avverrà in seguito con il definitivo affermarsi dell'interesse economico (essenzialmente minerario) e delle applicazioni della geologia al campo delle costruzioni e della pianificazione territoriale, lo spirito dei geologi della prima ora è votato, per lo più, al puro, quasi infantile, piacere delle esplorazioni accompagnato da un altrettanto disinteressato impulso a comunicare.

Questi due basilari aspetti prendono la forma di resoconti di escursioni sino a veri e propri viaggi che, arricchiti dal valore culturale e sportivo, iniziano a suscitare l'interesse di un pubblico progressivamente più ampio.

Ecco dunque i tratti salienti che rendono immediatamente chiara e netta la differenza fra la geologia in senso stretto e la geologia turistica: il piacere del viaggio (dall'esplorazione alla semplice escursione) e il desiderio di diffondere (presso un pubblico per lo più di non esperti) i motivi di interesse insiti in un paesaggio, nelle formazioni rocciose, nei fossili.

In questo fenomeno culturale, l'antitesi ragione e sentimento è contraddetta alla radice dallo stupefacente e misterioso incontro fra scienza ed emozione, capace di produrre lampi di poesia "naturalistica", estatiche descrizioni di fenomeni geologici, contagiosi richiami alla lettura del paesaggio esotico o "semplicemente" quotidiano.

Un sottile, ma forte legame unisce nello spazio e nel tempo i "Voyages dans les Alpes" di Horace Bénédict

Fototessera di  
Federico Sacco  
membro della Reale  
Società Geografica  
Italiana.

Horace Bénédict de Saussure: si notino il martello da geologo, i cristalli di quarzo ed il campione di roccia.



de Saussure con “La mia prima estate sulla Sierra” (*My first summer in the Sierra*) di John Muir.

Pur se così distanti cronologicamente i due naturalisti ci permettono di precisare meglio non solo un punto di partenza (se è lecito individuarne uno prima di un altro) del turismo geo-naturalistico “ante litteram”, ma anche gli importanti traguardi che questo fenomeno potrà raggiungere, come la creazione dei primi grandi parchi naturali americani.

Quel lungo arco di tempo che va dalla fine del Settecento ai primi del secolo scorso (*My first summer in the Sierra* è stampato nel 1911, ma viene scritto nel 1863) non può infatti essere riletto solo per le importanti scoperte e intuizioni geologiche (per esempio sulla formazione delle catene montuose, piuttosto che sul glacialismo), ma per aver stimolato una cordata sempre più numerosa di persone (all’inizio prevalentemente nobili e benestanti) a ripercorrere itinerari e viaggi (si

pensi al “Grand Tour”) al cui successo mediatico contribuiva il fascino di luoghi per la prima volta visti come suggestivi e non più come inospitali.

Emblematica è l’evoluzione del termine “orrido” da pura repulsione verso selvagge gole e precipizi ad attrazione turistica e contemplazione di bellezze morfologiche.

Le Alpi occupano, da questo punto di vista, un ruolo fondamentale; ripensando alla mole letteraria e scientifica ad esse dedicata, al richiamo che iniziano a suscitare grazie alle descrizioni emozionali di scrittori del calibro di Rousseau, A. Dumas e Goethe, e alla folta schiera di viaggiatori inglesi, esse fanno da naturale e ideale sfondo di questa vicenda.

Non è un caso che la storia dei primi viaggi alpini si intrecci con l’affermarsi di una delle prime forme di turi-



Federico Sacco al  
Monte Bego, 1938.



Federico Sacco  
consulta una cartina  
a Bardonecchia,  
1946.



smo moderno: l'alpinismo, a partire dalla tanto celebrata ascensione del Monte Bianco dell'agosto del 1786, di cui ci incuriosiscono alcune singolarità "geologiche".

La personalità del già richiamato de Saussure, geologo e naturalista che promosse l'impresa per amore della scienza, la figura del Balmat, cercatore di cristalli e, non ultima, quella di Paccard medico savoiaro, testimone di un periodo in cui, orfane di una laurea, le scienze geologiche erano sovente incluse come nozioni accessorie alla facoltà di medicina. Spontaneo è l'esempio di Vitaliano Donati, medico anch'egli, assoldato da Carlo Emanuele III, Re di Sardegna, per censire le ricchezze minerarie delle Alpi sabaude, opera che compì con profitto nel 1751 con un resoconto che potrebbe costituire oggi un percorso geoturistico perfetto, completo della descrizione di spettacolari paesaggi alpini, miniere, cave, ecomusei, forme d'arte e artigianato locale comprendenti l'uso della pietra.

Ma torniamo all'alpinismo. Non solo per la formazione di base dei suoi pionieri, ma anche per il dettaglio geomorfologico delle loro imprese, questa pratica sportiva può essere considerata la prima riuscita forma di turismo geologico. Illuminante la definizione che ne dà Massimo Mila, molto più vicina allo spirito dei naturalisti del 1700 che non alle gesta atletiche degli alpinisti moderni: «forma attiva e pratica di conoscenza della crosta terrestre».

In effetti è permeata di questo spirito l'attività di molti illumi-

nisti italiani richiamati verso la montagna nella seconda metà del Settecento dal piacere della scoperta botanica, faunistica e geologica. La loro ricerca e il loro impegno nella scoperta scientifica delle Alpi rivaluta i meriti “italici” anche se non ancora italiani (all’epoca l’unità del Paese era un sogno lontano) rispetto ai più celebrati naturalisti d’oltralpe. In una sorta di “Grand Tour alla rovescia”<sup>(1)</sup>, svolto dalla Pianura padana verso Nord, i vari Arduino, Gualandris, Spallanzani, Andreani, Volta, de Robilant e altri ancora furono interpreti di un turismo scientifico in cui la geologia (per le osservazioni sui ghiacciai, le forme dei monti e delle valli, le rocce e i minerali) occupa un posto non secondario.

Essi lasciarono una grande eredità rilevata, a soli due anni dall’unità d’Italia, con la fondazione del Club Alpino Italiano del 1863 seguita alla famosa scalata del Monviso dell’agosto dello stesso anno, ispirata da Quintino Sella. Certamente anche per l’estrazione “mineraria” e la curiosità verso la natura e le scienze della Terra di alcuni dei padri del CAI – basti pensare, oltre a Sella, a Bartolomeo Gastaldi – l’associazione fu protagonista indiscussa dell’affermazione del turismo geologico alpino. Per alcuni decenni la “Rivista” va considerata il riflesso tangibile di tale fatto, quasi che la divulgazione scientifica fosse il suo scopo preminente rispetto alle finalità sportive. In effetti la lotta sportiva “coll’Alpe” negli intenti dei primi soci del Club Alpino doveva avere un ruolo educativo e scientifico per la for-



Appunti di terreno e indicazioni di affioramenti rocciosi risalenti alle campagne di rilevamento di Sacco del 1919, sulla carta topografica della zona del Monte Rosa.

(1). Ferrazza M. (2003), Il Grand Tour alla rovescia. Illuministi italiani alla scoperta delle Alpi. CDA & Vivalda Editori.



mazione delle coscienze. Inoltre doveva contribuire alla costruzione di un'identità italiana<sup>(2)</sup> partendo dalla conoscenza e dalla consapevolezza del patrimonio naturale della giovane nazione, impegno coraggioso, anche se un po' utopistico. Si spiegano così le minuziose descrizioni geologiche di escursioni e scalate dallo stesso Gastaldi a Felice Giordano, a Martino Baretto, curate dal CAI, così come l'organizzazione di convegni scientifici a tema<sup>(3)</sup>. La forte compenetrazione fra l'attività alpinistico-escursionistica e l'interesse per la natura è evidente nello stile di molte pubblicazioni di quegli anni non necessariamente dedicate e a firma di geologi. Due casi a titolo d'esempio. "La Guida delle Alpi Occidentali" di Martelli e Vaccarone<sup>(4)</sup>, ricca di citazioni naturalistiche e il best seller dell'alpinismo "Scalate nelle Alpi"<sup>(5)</sup> che rivela un Whymper straordinariamente attento alla descrizione geomorfologica dei monti che sono oggetto delle sue imprese.

Forse anche perché socio del Club Alpino dal 1884 sino alla sua morte (1948), Federico Sacco non sfugge a questa regola dedicando decine di articoli al Bollettino del CAI, inaugurando anzi, a soli 20 anni, la propria iscrizione al Sodalizio con un lavoro speleologico<sup>(6)</sup>. Fedele a questa missione, alimentata anche dalla vocazione didattica<sup>(7)</sup>, l'impegno di Sacco è riassunto nella definizione che egli stesso dà della geologia: «Tale studio riesce ad accoppiare la ricerca del Vero colla contemplazione del Bello, unitamente all'utile quanto naturale esercizio

ginnastico». Un impegno che ricevette molti riconoscimenti, ricordati dal necrologio pubblicato dal Bollettino del CAI nel 1949<sup>(8)</sup> e dalla più recente rivalutazione della sua figura avviata con il cinquantenario della sua morte celebrata a Fossano nel 1998<sup>(9)</sup>. Ancor oggi la dedica posta alla periferia dell'abitato di Caselette (Provincia di Torino) al masso erratico omonimo ricorda l'omaggio della Société Géologique de France e della Società Geologica Italiana all'opera di questo antesignano del turismo geologico.

Un forte filo conduttore lega fra loro Federico Sacco a personalità e iniziative tanto diverse protagoniste della storia escursionistica ed alpinistica: il linguaggio volutamente semplificato al servizio di un'instancabile opera di sensibilizzazione verso la natura. Un impegno che, riletto alla luce delle trasformazioni della montagna visibili ai giorni nostri, ci appare ancor più encomiabile, ecologico e un po' tristemente premonitore.

Scriveva Guido Rey<sup>(10)</sup>, all'ombra del Cervino: «... ciò che più di tutto mi spaventa per l'avvenire della montagna è questo sostituirsi delle antiche colture con le nuove imprese di cittadini ignari della grande bellezza naturale dei monti, tesoro inesaurito, possesso delicatissimo che non ritorna più quando sia distrutto».

Caricatura di Federico Sacco che scruta l'interno della Terra interrogandosi sulla sua natura.

(2). Pastore A. (2003), *Alpinismo e storia d'Italia. Dall'Unità alla Resistenza*. Il Mulino.

(3). In occasione del VII Congresso Alpinistico del CAI, il 10 agosto 1874, viene affrontato il tema dell'origine degli anfiteatri morenici e del glacialismo con una importante memoria di Baretto dedicata alla Collina morenica di Rivoli.

(4). Martelli A.E. e Vaccarone L. (1889), *Guida delle Alpi Occidentali*. CAI, Sezione di Torino.

(5). Whymper E. (1933), *Scalate nelle Alpi*. Montes Edizioni.

(6). Sacco F. (1884), *Nuove caverne ossifere e non ossifere nelle Alpi Marittime*. Boll. CAI, vol. 18, n. 51.

(7). Incaricato di paleontologia e ordinario di geologia e mineralogia al Regio Politecnico di Torino.

(8). Boll. CAI vol. LXVIII, 3-4, 1949.

(9). AA.VV., *Federico Sacco. Geologo e paleontologo*. Fossano, 1864-1948. In bibliografia.

(10). Rey G., Lettera di Rey all'On. A. Manaresi, 9.11.1913 ("Rivista del CAI", dicembre 1913).

Veduta di parte delle  
collezioni geologiche  
dell'ISPRA.





## La memoria delle scoperte geologiche italiane

Quando ancora l'unità d'Italia doveva compiersi, il Regno di Sardegna muoveva i suoi primi passi nell'esplorazione geologica delle montagne. Finalità minerarie, censimento delle risorse soprattutto a fini economici, una cartografia geologica adeguata all'urbanizzazione ed alla costruzione di strade e ferrovie indussero in seguito l'istituzione, a Roma, di un "Regio Servizio Geologico". Le Collezioni Geologiche e Storiche dell'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ex APAT) ereditate dal Servizio Geologico d'Italia, contano oggi più di 150.000 reperti (fossili, rocce, pietre ornamentali, minerali), plastici, strumentazione scientifica, carte tematiche e altre opere, che hanno seguito in Italia la nascita e lo sviluppo della geologia e della Carta geologica d'Italia per oltre 150 anni. In attesa di poter nuovamente esporre queste prestigiose collezioni al pubblico, l'ISPRA ha pubblicato on line il "Museo Virtuale" ([www.museo.isprambiente.it](http://www.museo.isprambiente.it)) per consentire la divulgazione di questo imponente patrimonio utilizzando le nuove tecnologie al servizio della museologia. Sul sito del Museo virtuale è inoltre consultabile il Repertorio dei Musei Italiani di Scienze della Terra, con informazioni relative agli oltre 700 musei finora individuati sul territorio nazionale.

### *Per informazioni:*

Servizio Attività Museali

Dipartimento per le Attività Bibliotecarie, Documentali e per l'Informazione

Via Curtatone, 3 – 00185 Roma

tel. 06 50074418 – fax 06 50074072

[museo@isprambiente.it](mailto:museo@isprambiente.it)

# I fenomeni geologici






«L'acqua disfa li monti e riempie le valli e vorrebbe ridurre la terra in perfetta sfericità s'ella potesse».

Leonardo da Vinci

Nella Carta I.G.M. d'Italia alla scala 1:25.000 relativa alla zona di Carignano, si notano molto bene le tracce concave relative all'orlo dei terrazzi ed ai confini comunali (linee punteggiate) con cui il topografo ha involontariamente registrato i paleo-meandri, ovvero l'antico andamento del Fiume Po nella pianura piemontese.



La piramide del  
Monviso svetta sulla  
sfondo delle Langhe.  
L'immagine "fotografa"  
un paesaggio esito di  
fenomeni tettonici e  
idrogeologici insieme,  
succedutisi e sovrappo-  
stisi nel tempo a partire  
da almeno 300 milioni  
di anni fa.

## Il paesaggio e le sue forme

> di G. Boschis

I libri di Scienze distinguono due tipi principali di forze che agiscono sul territorio: forze endogene e forze esogene.

I **processi endogeni o geo-tettonici** (sismici, vulcanici, ecc.) costituiscono la manifestazione superficiale di forze che influenzano la litosfera dall'interno della Terra, un interno magmatico e dinamico, l'astenosfera.

I **processi esogeni o meteo-idrogeologici** (aria, acqua, ghiaccio, vento, ecc.) sono quelli che, per loro stessa definizione, influenzano la litosfera terrestre dal suo esterno. In modo alquanto generico si può dire che «mentre i processi endogeni creano i rilievi, quelli esogeni tendono a demolirli» (Castiglioni G.B., 1989).



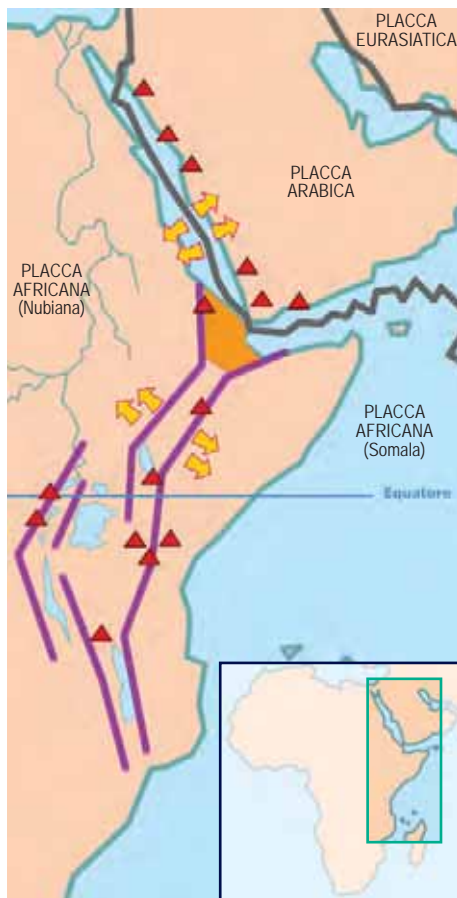
In quanto area di confine tra forze endogene e forze esogene, la superficie terrestre è dunque il luogo in cui interagiscono diversi tipi di fenomeni: da un lato quelli propri dell'atmosfera e dell'idrosfera, dall'altro quelli della litosfera (geotettonici o geodinamici). Questi processi (che avvengono con mobilitazione e trasporto di materiale, cambiamenti di stato e reazioni chimiche), comportano la continua formazione e disgregazione dei rilievi e, ad una scala globale, il modellamento della superficie terrestre.

La cosiddetta "Cintura di fuoco" del Pacifico (*Ring of fire*) rappresenta uno dei lineamenti geotettonici più pronunciati della Terra. Qui, dove la placca oceanica si scontra con le placche continentali, si sono formate profonde fosse (*trench*), mentre una continua successione di montagne segna il bordo delle coste (Montagne Rocciose e Ande) o forma delle isole (Giappone, Filippine, ecc.). Il fenomeno dello scontro tettonico fra le placche è responsabile di terremoti ed eruzioni vulcaniche.



La tettonica  
dell'Africa orientale  
e del Medio Oriente.

-  Limiti tra le placche tettoniche
-  Rift Valley
-  Direzione di movimento delle placche
-  Vulcani
-  Coste invase dal mare



Tale effetto è rappresentato dalla forma delle montagne in cui si possono riconoscere, da un lato, le conseguenze dei processi magmatici e tettonici che ne hanno determinato il sollevamento e, dall'altro, i risultati dei fenomeni meteoroclimatici e idrogeologici che hanno modellato i rilievi.

La scienza che si occupa di studiare gli effetti e le sovrapposizioni di questi fenomeni nel tempo e nello spazio è la geo-morfologia, letteralmente “studio delle forme della Terra”.

A volte l'impronta morfologica di un territorio è talmente evidente da contrassegnarlo in modo profondo e duraturo. In base alla “firma” lasciata dai fenomeni geomorfici è inoltre possibile distinguere paesaggi “endogeni” ed “esogeni”.

I seguenti esempi possono aiutare a comprendere meglio il fenomeno.

> Il primo esempio descrive l'ampio sistema di depressioni che si estende per 6.000 km dalla Siria sino al Sud Africa attraverso il Mar Rosso ed il Golfo di Aden.

I lineamenti morfologici di questa immensa regione sono di chiara origine endogena come suggerito dalle fosse tettoniche (tra cui la Rift Valley) e dai rilievi vulcanici. I movimenti litosferici in corso tendono all'approfondimento ed all'espansione della grande Rift Valley oltre che del Mar Rosso e della depressione del Mar Morto – Valle del Giordano.

> Il secondo esempio si riferisce alla conca di Entracque (Valle Gesso). Si tratta di un'area caratterizzata da più tipi di forme



La conca di Entracque alla confluenza del Vallone del Bousset (a sinistra), del Vallone del Gesso della Barra e della Valle della Rovina (a destra). Spiegazione nel testo.

esogene: accanto a quelle fluviali di incisione e rimodellamento del fondovalle (si noti la formazione di profili a “V”, blu), il paesaggio ospita antecedenti forme legate all’azione dei ghiacciai con le caratteristiche strutture di erosione (il profilo a “U” ancora visibile a sinistra, rosso, il circo glaciale a destra, rosso) e le classiche forme di accumulo (si apprezzano le geometrie rettilinee delle creste dei depositi morenici, giallo). Anche l’uomo più o meno intensamente agisce sull’aspetto del paesaggio: si notino il lago artificiale della Piastra (destra), creato per scopi idroelettrici, e l’urbanizzazione a fondovalle.

I casi considerati suggeriscono un fatto importante. I processi endogeni sono responsabili delle forme più grandi della superficie terrestre: profilo dei continenti, fosse e dorsali oceaniche, catene montuose ecc. Ai processi esogeni sono invece riconducibili le forme del paesaggio a scala locale.

Sebbene sia più modesto il loro impatto globale, i fenomeni esogeni influenzano molto di più le singole aree geografiche dove sono diffusi in una notevole varietà di forme: valli glaciali e fluviali, morene e conoidi, pianure alluvionali e delta, dune e scogliere, ecc.

Consideriamoli più da vicino. Nei più importanti processi esogeni si distinguono tre fasi: **erosione, trasporto, deposizione**.

Più in dettaglio tali azioni corrispondono sempre a: demolizione delle rocce, trasferimento dei materiali detritici verso valle, accumulo di questi nei luoghi più depressi.

In realtà i processi esogeni non si limitano solo a demolire; essi sono infatti anche in grado di costruire: in fase di deposizione dei detriti possono così generare le cosiddette forme di accumulo (morene, conoidi, pianure, dune, delta, ecc.).

È dall'insieme di tutte queste forme e dalla loro successione nel tempo che prende origine la varietà morfologica del territorio.

## Il territorio "ai raggi X"

> di G. Boschis

Come si è detto l'erosione avviene a spese dei rilievi, ma è anche vero che è fortemente condizionata proprio da questi. In che modo?

Mentre l'ambiente meteorologico, combinato con la forza di gravità tende ad alimentare l'energia degli agenti d'erosione, il substrato roccioso si oppone sempre con una certa resistenza.

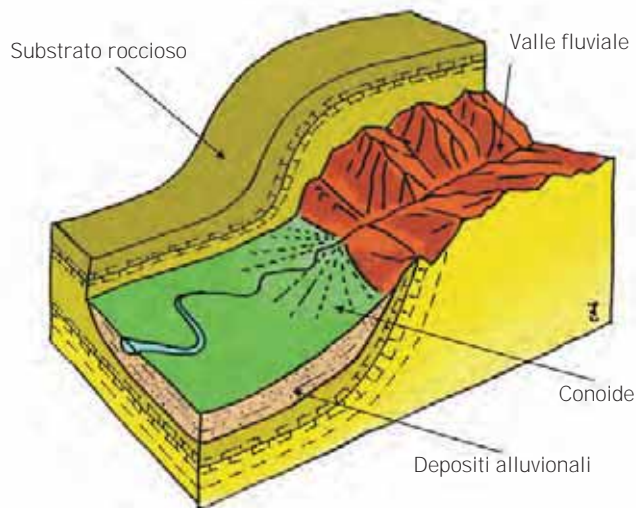
Questa resistenza varia in funzione della natura e delle proprietà del substrato stesso; per questo vale la pena conoscerlo un po' più da vicino.

Essenzialmente esso può essere costituito da **rocce** o **depositi**.

La differenza è prima di tutto genetica: se da un lato le rocce sono il materiale di partenza dell'erosione, dall'altro i detriti che ne derivano, soggetti al trasporto ed all'accumulo, formano i depositi.

Tenendo conto che i processi di disaggregazione non interessano solo le rocce, ma che possono innescarsi anche a spese di certi depositi, è ovvio che questi sono, per loro natura, potenzialmente molto più erodibili delle rocce. I risultati di quest'erosione "selettiva"

Schema di rapporto  
fra rocce e depositi.

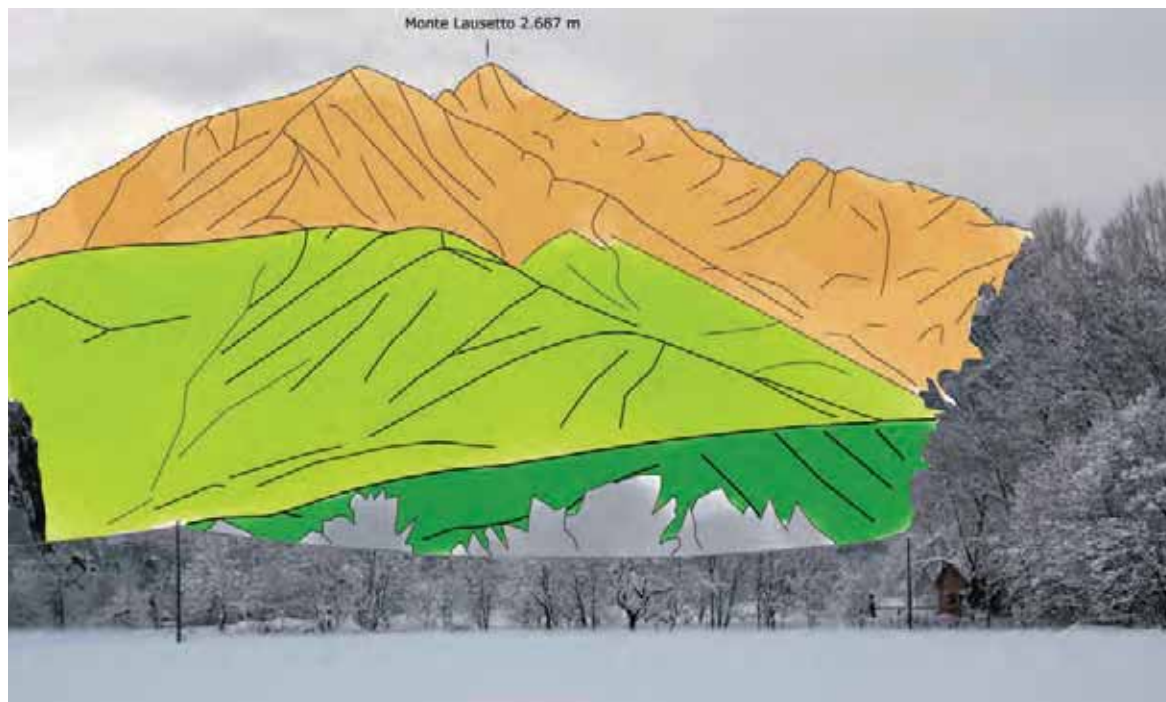


La diversa natura delle rocce del Massiccio dell'Argentera visibile nel Monte Lausetto visto da Valdieri (Valle Gesso) d'inverno.



possono essere enormemente diversi sia in termini di tempi che di effetti morfologici. I meandri di un fiume in una pianura costituiscono delle forme instabili perché continuamente rielaborati dalla corrente che incontra scarsa resistenza nei depositi alluvionali. Per contro il modellamento di un'ansa lungo un canyon scavato dallo stesso fiume in rocce calcaree (particolarmente sensibili all'azione dell'acqua) avviene in centinaia di migliaia di anni e comporta un impatto morfologico ben più durevole nel tempo.





*In arancione:* rocce cristalline (graniti, gneiss, migmatiti).

*In verde chiaro:* rocce sedimentarie (calcari, dolomie, carnirole).

*In verde scuro:* depositi glaciali.

A titolo di esempio, con riferimento agli eventi alluvionali, se le conseguenze di una piena del Torrente Maira sono impercettibili lungo il profondo tratto calcareo del suo alveo (media Val Maira), ben più evidenti sono gli effetti lasciati nei depositi morenici in cui inizia scorrere o in quelli alluvionali del fondovalle in cui sfocia, più volte devastati dall'erosione e dall'accumulo di enormi masse di detrito.

Anche all'interno delle rocce l'erosione agisce in modo differenziale: ciò dipende, ovviamente, dall'estrema varietà di caratteristiche e proprietà delle stesse rocce. Le rocce più dure reagiscono di solito all'azione di disfacimento con maggiore resistenza.

I rilievi costituiti da questi materiali conservano perciò profili più appuntiti e forme più sporgenti, mentre le masse costituite da rocce più tenere vengono maggiormente erose dando luogo a morfologie smussate, spianate e sovente depresse.

È anche questa una delle ragioni (oltre alla tettonica) per cui il Massiccio dell'Argentera, costituito da un solido nucleo di graniti, può svettare molto al di sopra delle cime circostanti formate da rocce sedimentarie, assai più tenere.

Analoghe considerazioni valgono per il Monte Bianco, l'Adamello, il Gran Paradiso il Monte Rosa, la cui altitudine e la cui forma suggeriscono una struttura più solida delle montagne confinanti.

A scala locale sono comuni, soprattutto nei rilievi costituiti da rocce sedimentarie, i versanti cosiddetti a gradinata, con pareti e sporgenze dove affiorano gli strati più duri, e ripiani o terrazzi in corrispondenza degli strati di rocce più tenere.

# L'azione dell'acqua

> di G. Boschis

Sebbene il disfacimento dei rilievi sia causato da diversi fenomeni, il principale agente di erosione è l'acqua. Direttamente (per es. fiumi, correnti marine, ecc.) o indirettamente (per es. ghiacciai, frane, ecc.), l'acqua esercita sul substrato un'azione di **disgregazione fisica e di alterazione chimica** prevalente o combinata con quella di altri fattori.

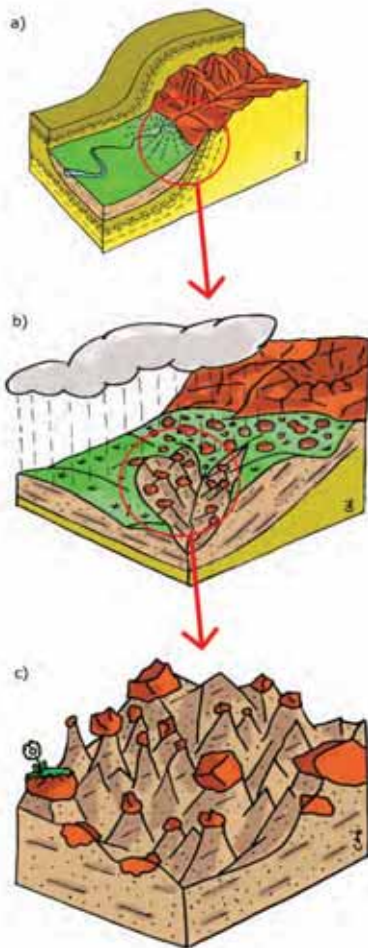
Per averne un'idea più precisa immaginiamo di intercettare l'acqua prima della sua caduta al suolo durante un temporale in una zona montuosa. Le gocce d'acqua precipitano urtando con relativa violenza il suolo; nel caso di un terreno costituito da depositi e non protetto da vegetazione, l'urto può avere effetti devastanti, mobilizzando i sedimenti più fini (limo e sabbia) che possono ruscellare in quantità crescente a seconda dell'intensità della pioggia. I rivoli fangosi che si formano, iniziano così a scorrere lungo i versanti dove l'energia cinetica, accentuata dalla pendenza e dalla portata, esplica un'azione di incisione mobilizzando sedimenti via via più grossolani (ghiaia e ciottoli). Se il terreno è boscato o riparato da

L'azione dell'acqua alla base della formazione delle piramidi di erosione; qui rappresentato lo spettacolare fenomeno dei "Ciciu" di Villar San Costanzo, vicino a Dronero (CN).



Schema di formazione  
dei Ciciu del Villar:

- a) erosione dei rilievi e  
formazione di depositi  
alluvionali,
- b) frane di crollo,
- c) erosione  
differenziale.



detriti organici, l'urto della pioggia può essere attutito e l'acqua venire gradualmente assorbita alimentando falde sotterranee. Sebbene più protetti dall'erosione superficiale, questi terreni possono comunque correre altri pericoli, come quello delle frane innescate proprio dall'infiltrazione delle acque.

Nel caso delle rocce, la disaggregazione da parte della pioggia è in genere trascurabile, a meno che non si tratti di rocce tenere o particolarmente sensibili all'azione dell'acqua.

Solo lungo i pendii dove le acque tendono a raccogliersi in ruscelli, acquisendo un iniziale, seppur minimo, carico solido, lo spostamento dei granelli di sabbia avvia un lento, ma inesorabile lavoro di "graffiatura" dei versanti.

Sui versanti costituiti da terreni teneri l'azione della pioggia, combinata con il ruscellamento, può dare origine a caratteristiche forme di erosione a calanchi.

In alta quota importanti conseguenze può avere la penetrazione delle acque nelle fratture delle rocce: gelando, le pressioni esercitate dal ghiaccio nelle fenditure rocciose possono aprire nuovi varchi all'infiltrazione dell'acqua.

Ad una scala microscopica la disaggregazione fisica dei terreni soggetti all'azione dell'acqua è coadiuvata dall'alterazione chimica: la velocità di questi processi, che destabilizzano le rocce a partire dalle loro "mattonelle", i minerali, può essere accentuata da diversi fattori fra cui la temperatura, la pressione ed il grado di acidità delle acque.



*A sinistra*

Foto e schema di conoid alluvionale, borgata Frere di Acceglio, in Valle Maira.

*A fianco*

"Come e dove finiranno le Alpi?" Come ha scritto il geologo Federico Sacco nel 1934, all'azione di erosione dei fiumi è legato il destino delle montagne. Il delta del Po nel corso degli ultimi 7.000 anni è avanzato di oltre 30 km per i sedimenti trasportati. Trasformate prima in ghiaie, poi in sabbie ed infine in argille, anche un po' delle rocce alpine ed appenniniche giunge in proporzione sino all'Adriatico!

Abbiamo già appreso sui banchi di scuola il nome di molti di questi processi chimici come la solubilizzazione, l'idratazione, l'idrolisi, l'ossidazione ed altri ancora, direttamente legati o incrementati dall'acqua: constatiamo semplicemente che ogni goccia d'acqua che scorre sulla roccia ne sottrae continuamente una parte sotto forma di ioni, atomi o molecole contribuendo al suo inarrestabile smantellamento.

Un'idea dell'alterazione chimica si può avere leggendo la composizione di una bottiglia d'acqua minerale sulla relativa etichetta: la corrosione di rocce di varia natura (silicee e non) è suggerita da quantità variabili di sodio, magnesio, potassio, ferro ecc., mentre l'originaria presenza di carbonato di calcio (e quindi di rocce calcaree) trova riscontro sia nella durezza dell'acqua, sia in percentuali di ioni calcio che idrocarbonato.



## La granulometria

Si tratta della misura delle dimensioni dei granuli, ossia delle particelle che compongono un deposito. I granuli possono avere dimensioni estremamente variabili e la loro misura si riferisce ad un diametro medio. A seconda delle dimensioni si possono avere:

Ciottoli	Ghiaie	Sabbie	Sedimenti fini
oltre 2 cm	tra 2 cm e 2 mm	tra 2 mm e 0,6 mm	meno di 0,6 mm

Mentre le dimensioni di ghiaie e ciottoli possono essere stimate ad occhio nudo, per sabbie e sedimenti più fini è necessaria la manipolazione; al tatto, la presenza di sedimenti inferiori al mm è segnalata dal fatto che non si riesce a distinguere il singolo granulo. Al di sopra dei ciottoli si possono ancora distinguere blocchi (oltre 30 cm) e massi (oltre il metro).

## Rapide e meandri: le due facce di un corso d'acqua

Man mano che i ruscelli si riuniscono in torrenti, la mobilitazione dei detriti coinvolge materiali via via più ingombranti e pesanti come ghiaia e ciottoli.

L'escavazione del letto dei corsi d'acqua (alveo) dipende proprio dal loro spostamento, mediante il quale la forma stessa dei granuli viene smussata e arrotondata; gli spostamenti dei materiali grossolani avvengono per saltazione e per rotolamento; le particelle fini si muovono per sospensione e soluzione.

Vista dall'alto o rappresentata sulle carte topografiche, la convergenza dei torrenti in alvei sempre più larghi ed incisi, dà luogo ad un percorso ramificato, il reticolato idrografico, che abbraccia una porzione di territorio, delimitata da creste spartiacque, nota come bacino idrografico.

Come i rami di un albero, i corsi d'acqua che si congiungono nel tronco idrografico principale danno così origine ad un fiume, caratterizzato, a differenza dei torrenti, da una portata più elevata e regolare, un alveo più stabile ed uno sviluppo topografico che comprende in genere anche la pianura.

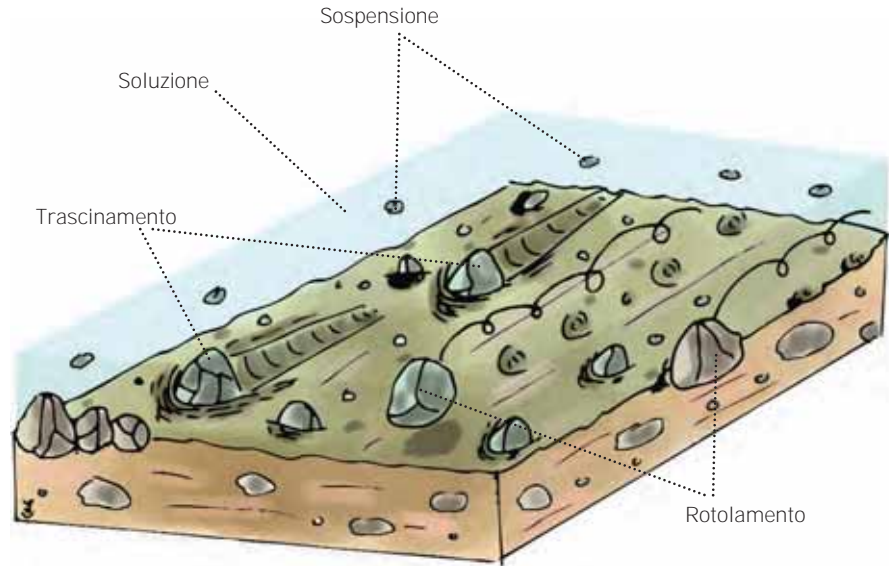
Le differenze di pendenza e di portata che si registrano lungo un corso d'acqua ne influenzano direttamente il comportamento (dinamica), ossia la tendenza all'erosione, al trasporto ed alla deposizione.

Ciò permette di distinguere il tracciato degli stessi corsi d'acqua in due principali parti: **tratto montano** e **tratto di fondovalle e pianura**.

Nel tratto montano la dinamica, definita torrentizia, è influenzata soprattutto dalla pendenza che determina prevalente erosione e trasporto, mentre la portata si presenta molto irregolare e fluttuante.

Nelle strette incisioni dei versanti difficilmente il carico detritico trova spazio per essere depositato, cosicché le migliori condizioni di deposizione si realizzano solo allo sbocco a fondovalle dei torrenti.

In questi ambienti, caratterizzati da un'improvvisa diminuzione di pendenza e da una maggiore disponibilità di spazio, i corsi d'acqua possono finalmente scaricare in abbondanza il proprio carico solido formando dei depositi dalla caratteristica forma a ventaglio noti come **conoidi**.



I diversi meccanismi di trasporto dei detriti ad opera della corrente fluviale.

### Relazioni tra velocità della corrente di un corso d'acqua e materiali solidi trasportabili

Definizione di velocità	Velocità (cm/sec)	Tipologia dei sedimenti
molto lenta	0 - 10	fango
lenta	11 - 20	sabbia fine
abbastanza lenta	21 - 30	sabbia
moderata	31 - 55	ghiaia
abbastanza rapida	56 - 80	ciottoli
rapida	81 - 100	ciottoli grossi
molto rapida	oltre 100	rocce e massi

Il tratto fluviale di fondovalle e di pianura si sviluppa a valle dei conoidi: qui la minima pendenza dei corsi d'acqua determina una netta diminuzione della velocità della corrente con formazione di meandri (anse) molto favorevoli a condizioni di deposizione.

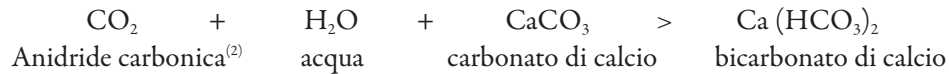
Esiste infatti una correlazione tra la velocità della corrente e la natura dei detriti che costituiscono l'alveo. Il corso rallentato dei fiumi dà luogo ad un tracciato serpeggiante formato da una successione di meandri, instabili e di durata generalmente breve a causa delle piene.

Durante queste, l'erosione operata dalla corrente a scapito della parte concava delle anse, combinata con fenomeni di esondazione e deposito del carico di sedimenti, determina una tendenza del corso d'acqua a "sbandare" con formazione continua di nuovi meandri ed abbandono di altri.

## Il carsismo: paesaggi sotterranei

Se l'azione dell'acqua è importante dal punto di vista fisico, non meno rilevanti sono i suoi effetti chimici: la soluzione, l'idratazione, l'ossidazione ed altri processi sottraggono alla roccia ioni, atomi e molecole contribuendo alla sua demolizione, in modo variabile a seconda della composizione litologica, della temperatura, pressione e grado di acidità delle acque<sup>(1)</sup>.

Il fenomeno chimico più significativo è quello del carsismo, che comporta il disfacimento delle rocce calcaree e dà luogo a spettacolari forme di erosione come doline, pozzi, grotte, inghiottitoi, campi carreggiati, ecc. Soprattutto quando contengono disciolta una certa quantità di anidride carbonica, le acque aggrediscono i calcari corrodendoli secondo la seguente reazione:



Stalattiti ricamano la volta e le pareti nelle Grotte di Bossea.

(1). Quando beviamo un bicchiere d'acqua minerale, noi ingeriamo, sotto forma ionica o molecolare, una parte delle rocce da cui l'acqua, alla sorgente, è scaturita; la composizione delle rocce disciolte equivale a quanto riportato sull'etichetta della bottiglia dell'acqua minerale.

(2). La quantità di carbonato di calcio (calcare) che può disciogliersi in bicarbonato (soluto nell'acqua) dipende dalla quantità di anidride carbonica "catturata" dall'acqua al suo contatto con l'atmosfera.



Il famoso "Pis del Pesio" generato a primavera dalla fuoriuscita dell'acqua in pressione dalle cavità carsiche dell'alta Valle Pesio.

come ad esempio nelle formazioni calcaree delle Alpi occidentali. Proprio la Provincia di Cuneo annovera alcuni fra i più bei paesaggi carsici; ci riferiamo in particolare all'Altopiano delle Carsene nel Massiccio del Marguareis in Alta Valle Pesio: qui l'acqua piovana viene letteralmente catturata in profondità dalla superficie rocciosa tempestata di cavità e crepacci dovuti alla dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche. Il circuito idrico sotterraneo che ne deriva, vero e proprio paradiso per gli speleologi, supera i 150 km di lunghezza! A primavera, gonfie delle acque di fusione delle nevi, alcune grotte fungono da "valvole di sicurezza" per le falde ipogee e l'acqua, espulsa ad alta pressione dalle fenditure della roccia, può dare luogo a spettacolari cascate come quelle del Pis del Pesio, delle Vene o delle Fascette (alta Valle Tanaro).

La reazione può avvenire anche in senso inverso qualora la quantità di bicarbonato disciolto in acqua superi il punto di saturazione; in questo caso si ha precipitazione di carbonato di calcio che, all'interno delle grotte carsiche, può formare le note stalattiti e stalagmiti.

Per questo l'espressione corretta è:



Il processo è influenzato anche dalla temperatura che può favorire lo spostamento della reazione a destra (corrosione dei calcari) se le condizioni ambientali sono più fredde, e a sinistra (precipitazione del calcare) se fa più caldo.

Sebbene il termine carsismo tragga origine dall'Altopiano del Carso fra Friuli e Slovenia, il fenomeno è molto diffuso anche in altre zone



# L'azione dei ghiacciai

> di G. Boschis

A circa diecimila anni di distanza dalla fine dell'ultima glaciazione, poco resta dei grandi ghiacciai alpini. Eppure, se si eccettua l'avvento dell'uomo o le trasformazioni morfologiche che lo sviluppo urbano ed industriale hanno comportato, il territorio montano non ha modificato quasi per nulla la propria identità glaciale.



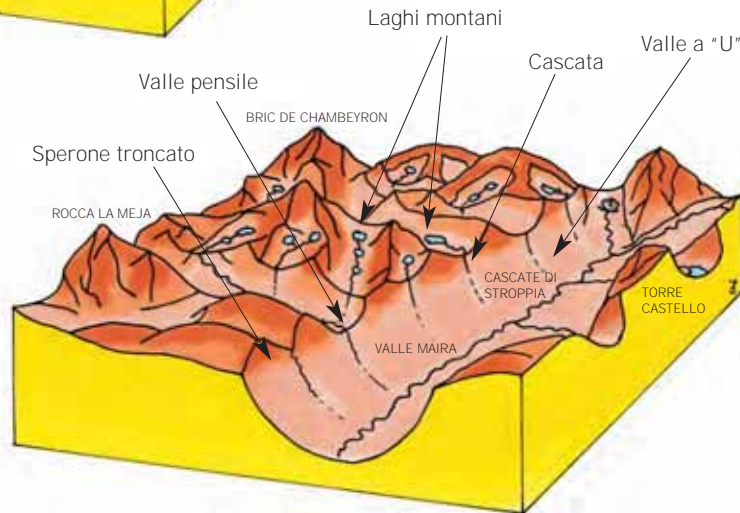
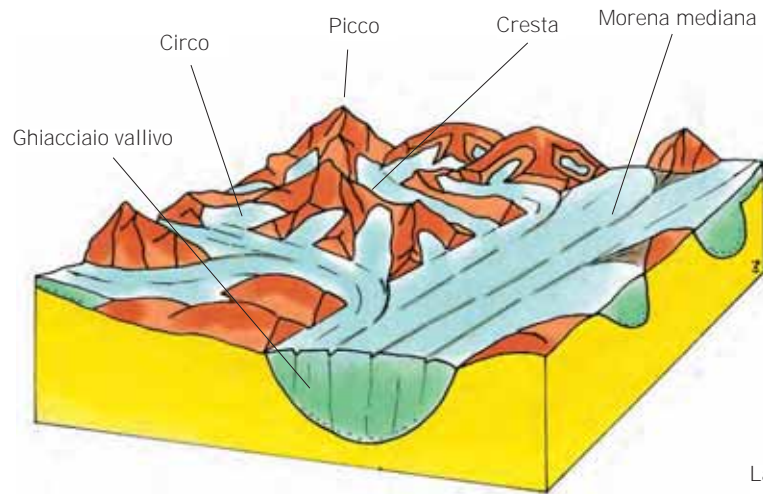
Schema di ghiacciaio. La zona di alimentazione è l'area in cui la neve tende a trasformarsi in ghiaccio. Sino a qualche decennio or sono registrava un bilancio positivo. Ora, a causa del cambiamento climatico (e del costante innalzamento dello zero termico), la formazione di nuovo ghiaccio registra un trend negativo. La zona di ablazione è quella di fusione.

*A fianco*  
Origine glaciale del  
Lago di Garda.  
In alto il ghiacciaio sino  
a circa 10.000 anni fa.  
In basso la  
situazione attuale.



*A destra*  
Ricostruzione del  
ghiacciaio valsusino (in  
alto) a partire dal profilo  
attuale della Valle di  
Susa (in basso).  
L'immagine in alto pone  
in risalto il paesaggio  
nel corso dell'ultima  
glaciazione.





Il fenomeno dell'erosione glaciale. Schema semplificato dell'incidenza del ghiacciaio sulla superficie topografica con il modellamento di caratteristiche forme di erosione. Lo schema illustra la situazione morfologica dell'alta Valle Maira.

Valli dal profilo trasversale ad "U", superfici rocciose levigate e striate, grandi e piccoli laghi alpini, massi erratici e morene rappresentano, per così dire, tracce ancora fresche lasciate dal passaggio di antichi ghiacciai.

Come hanno potuto conservarsi sino a noi questi "graffiti" del paesaggio?

Se l'impronta lasciata dai ghiacciai è ancora così evidente non è solo per il breve lasso di tempo intercorso dal loro ritiro sino ad oggi, ma anche per l'impressionante azione di erosione che essi svolsero.

E come è possibile che il ghiaccio, notoriamente più tenero, scalfisca la dura roccia? Per comprendere questo fatto è necessario immaginare di trovarci sul fondo di un ghiacciaio.

Con un meccanismo simile a quello dei corsi d'acqua anche i ghiacciai trasportano un carico detritico: si tratta di materiale traslato passivamente sulla superficie del ghiacciaio o trascinato sul fondo.

I detriti delle più varie dimensioni dal contorno generalmente spigoloso, formano, in quest'ultimo caso, un "tappeto" compresso fra la base del ghiacciaio ed il substrato roccioso.

Coinvolto dal movimento del ghiacciaio e schiacciato dal suo peso, il tappeto detritico subisce una sorta di trascinamento che leviga e riga il letto di rocce: è da questo meccanismo che dipende l'opera di erosione dei ghiacciai, per la quale è stato coniato il nome di **esarazione**.

# La gravità, motore dell'erosione

> di G. Boschis

Ritorniamo a considerare, come avevamo fatto analizzando l'erosione da parte dell'acqua, una zona di montagna: questa volta, tuttavia, immaginiamo una situazione di bel tempo, in cui l'influenza diretta della pioggia nei confronti del suolo sia assente.

Il materiale alterato o disgregato, prodotto a spese delle rocce, può essere mobilizzato, anche in assenza di acqua, a condizione che si trovi su di una superficie sensibilmente inclinata.

I fenomeni che si innescano per effetto della pendenza dei versanti sono definiti "gravitativi", in quanto è proprio la gravità la "scintilla", potremmo dire, del processo.

Naturalmente, affinché la forza di gravità attivi il movimento sono necessarie altre condizioni oltre alla pendenza; tra queste:

- > una certa instabilità delle rocce;
- > la presenza di superfici di rottura (fratture);
- > la presenza di superfici di scorrimento (a meno di non considerare il caso di una parete verticale).

In tutti i casi, sebbene non ne sia la causa innescante, l'acqua (di infiltrazione, trasformata in ghiaccio, ecc.) svolge quasi sempre un importante ruolo preparatorio.

I processi gravitativi sono principalmente distinguibili in base alla natura dei materiali coinvolti nei seguenti tipi: **frane**, **valanghe**, **fenomeni glaciali**.



Il Ghiacciaio Basei (Gran Paradiso) visto dall'Alpe Riva il 31 luglio 1928 e il 1° settembre 2000. La potente lingua glaciale che si protendeva lungo il gradino roccioso è scomparsa nel volgere di circa 70 anni.



## Le frane

Col termine "frana" viene generalmente definito qualsiasi movimento di terreno (masse rocciose e/o depositi), controllato dalla forza di gravità.

A fenomeno avvenuto, è possibile osservare uno svuotamento nella parte alta interessata dal dissesto ("nicchia" o zona di distacco) e una zona di accumulo al piede del versante.

Le modalità di franamento dipendono prevalentemente: dalla natura dei materiali coinvolti (rocce cristalline, rocce sedimentarie, depositi incoerenti, ecc.), dalla struttura, dal grado di fratturazione della roccia o permeabilità dei depositi, dalla quantità d'acqua in essi contenuta e dalla geometria delle superfici su cui le frane si possono muovere (per es. strati a franapoggio, ecc.).

A seconda dei meccanismi di movimento, le frane sono classificate in quattro principali categorie:

- > **crolli**: caduta libera e rotolamento di massi o di volumi di roccia più consistenti, frammentati in blocchi di varia dimensione;
- > **scivolamenti**: movimenti lungo superfici di rottura, piane o curve, di strati rocciosi o masse di terreno con separazione in blocchi per fessurazioni trasversali e longitudinali;
- > **colamenti**: flussi in massa di rocce e terreni a comportamento plastico (p. es. argille), per lo più fluidificati dalle acque di infiltrazione, con tendenza all'incanalamento nelle depressioni del versante;
- > **frane complesse**: movimenti in cui prendono parte più meccanismi combinati fra loro, per es. crolli e successivi scivolamenti, che evolvono in colamenti, ecc.

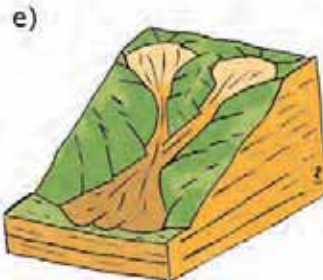
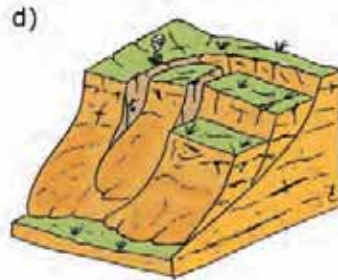
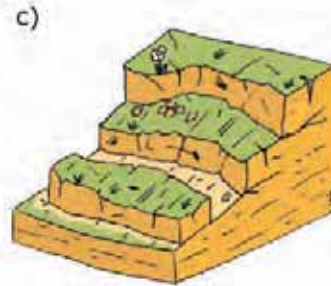
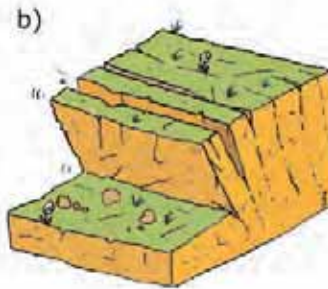
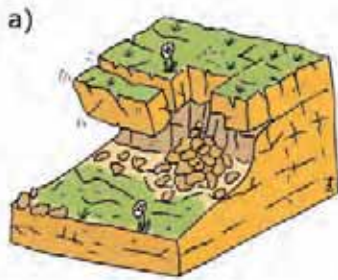
Analogamente alle piene fluviali, anche per le frane vale uno stretto rapporto con gli eventi piovosi.

Ciò è particolarmente evidente per le frane di colata superficiale e per gli scivolamenti in rocce stratificate tenere.

Le frane sono notoriamente molto temute a causa del grado di urbanizzazione delle aree collinari e montuose. Il grado di pericolosità è connesso principalmente con la rapidità dei processi, ma anche con l'estensione dei volumi di terreno interessati, con la presenza di costruzioni e la loro tipologia, con l'inclinazione dei versanti, ecc.

Esistono inoltre ulteriori tipi di frane, fra le quali nelle Alpi, soprattutto all'interno dell'area di affioramento dei calcescisti, si distinguono le cosiddette **deformazioni gravitative profonde di versante**, ossia dei movimenti che comportano il collasso di grandi "zolle" di terreni a partire da superfici di slittamento (per es. il

I principali tipi di frane.



- a) crollo
- b) ribaltamento
- c) scivolamento traslazionale
- d) scivolamento rotazionale
- e) colata

contatto fra due formazioni rocciose di cui quella sommitale porosa e tenera come i calcescisti appunto e quella inferiore più compatta e impermeabile).

## Le valanghe

Questi fenomeni, ristretti al settore montuoso, sono divenuti una significativa fonte di rischio soprattutto negli ultimi anni a causa dell'espansione turistico-residenziale e della pratica di sport quali lo sci, l'escursionismo o l'alpinismo.

Il processo implica per definizione un movimento gravitativo di neve.

Tra i numerosi tipi di valanghe scientificamente distinti in base alle modalità di trasformazione della neve al suolo e alla dinamica, ricordiamo qui per semplicità le valanghe:

- > **di neve polverosa,**
- > **di neve in lastroni.**

Nel primo caso il fenomeno scaturisce, in manti nevosi poco addensati, da singoli cristalli di neve che, una volta messi in movimento, ne coinvolgono altri con un effetto "domino": la valanga può raggiungere anche notevoli dimensioni con uno sviluppo sovente "nubiforme".

Nel caso successivo la valanga si origina per distacco di una massa nevosa da un taglio netto prodottosi trasversalmente al versante. Il cedimento avviene a partire da uno strato a debole coesione, detto "brina di fondo", sottostante uno più compatto e pesante; il peso di quest'ultimo determina il collasso e, dunque, il movimento.

La formazione delle valanghe dipende da numerosi fattori fra cui: le precipitazioni, la temperatura, il vento, le caratteristiche del pendio, la struttura del manto nevoso. Spesso sono i periodi con scarsa neve al suolo i più favorevoli al formarsi delle valanghe in quanto si tratta di periodi in cui il manto nevoso subisce profonde trasformazioni.



Le eccezionali nevicate dell'inverno 2008- 2009 hanno comportato in Piemonte innumerevoli valanghe con notevoli danni e vittime. Nel caso (alta Valle di Susa) si notino gli effetti distruttivi su di una baita (in primo piano), parziali danni ad una seconda abitazione, mentre una terza (sullo sfondo) è stata edificata nel "cono d'ombra" di un masso, seminterrata e perciò più protetta.

Un discorso a parte meritano le valanghe legate a precipitazioni nevose particolarmente intense con esiti spesso disastrosi sui centri abitati e sulla viabilità di fondovalle. Per quanto riguarda la distribuzione delle valanghe sul territorio piemontese, se nella Provincia di Torino ne sono state sino ad ora censite 688, in Provincia di Cuneo esse ammontano a 703, mentre la Valsesia ne annovera 128 solo nella valle principale. A livello locale numerosi sono i casi di insediamenti colpiti: significativo è l'esempio del Comune di Rima

Il cono formato dal Ghiacciaio Gietro (nel Vallese) e ciò che resta del lago di sbarramento glaciale, all'indomani del cedimento della diga effimera che provocò una catastrofe il 16 giugno 1818. (Disegno di H.C. Escher del 23 luglio 1818, tratto da *Graphische Sammlung ETH, Zurigo*).

in alta Val Sermenza (prov. Vercelli), frequentemente isolata proprio a causa delle valanghe, e dove si sono contate vittime e danni alle abitazioni in diverse circostanze storiche.

## I fenomeni glaciali

Dell'azione di modellamento dei ghiacciai si è già parlato: non altrettanto noti e, pertanto, spesso sottovalutati, sono i rischi che le masse glaciali possono comportare.

In questo caso il movimento gravitativo, a differenza delle valanghe, coinvolge soprattutto ghiaccio.

Benchè i pericoli più evidenti (crepacci e seracchi) riguardino chi frequenta direttamente l'alta montagna (alpinisti, sci-alpinisti), in realtà i ghiacciai sono

agenti "idrogeologici" dinamici e temibili anche per manufatti e insediamenti (vie di comunicazione e zone residenziali) seppur situati ad una certa distanza da essi, nei fondovalle.

La pericolosità risiede nel rapido sviluppo di alcuni fenomeni come:

> **crollo della fronte del ghiacciaio,**





- > **frana di roccia sul ghiacciaio,**
- > **frana di morena,**
- > **svuotamento di lago endoglaciale o periglaciale.**

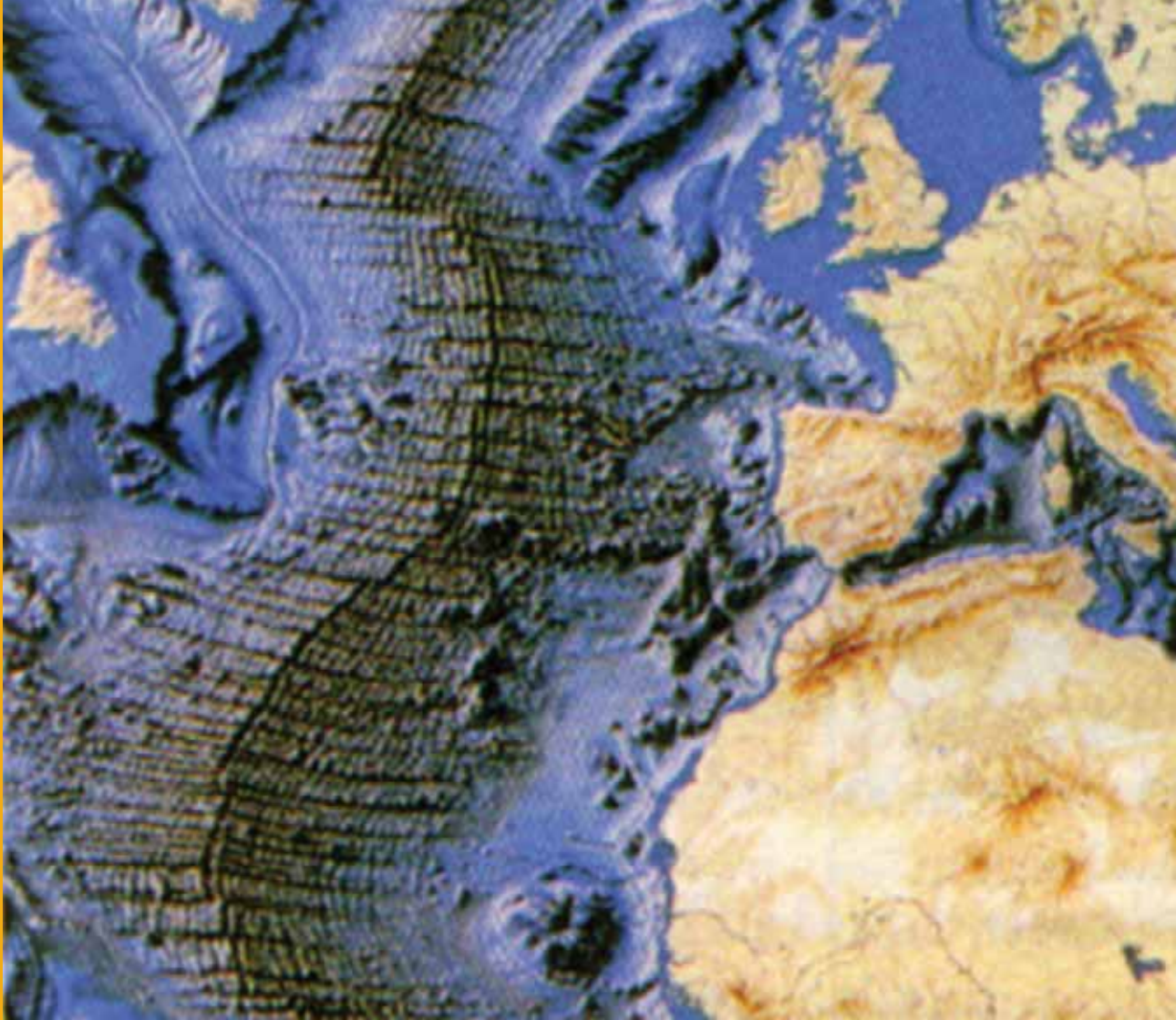
Per quanto riguarda le Alpi, a titolo d'esempio, si ricordano alcune grandi catastrofi:


- > Ghiacciaio di Gietro (Val de Bagnes, Svizzera): un cono di deiezione glaciale sbarra il corso d'acqua formando un lago lungo oltre 2 km; un primo cedimento nel 1595 causa oltre 100 morti, un secondo cedimento (nel tentativo di svuotare il lago artificialmente) causa il 16 giugno 1818 un'inondazione con oltre 40 morti;
- > Ghiacciaio di Allalin (Vallese, Svizzera): il 30 agosto 1965, il crollo della fronte del ghiacciaio (0,5 milioni di m<sup>3</sup> di ghiaccio) provoca in 30 secondi la morte di 88 operai di un sottostante cantiere;
- > Ghiacciaio de la Tête Rousse (Massiccio del Monte Bianco): lo svuotamento di un lago endoglaciale (e quindi nascosto sul fondo del ghiacciaio), provoca un'inondazione il 12 luglio 1892 con distruzioni e morte di 175 persone nella Valle di Saint Gervais.

In Piemonte, data la bassa percentuale di ghiacciai, questi fenomeni risultano oggi abbastanza rari, ma sempre spettacolari. Ricordiamo ad esempio, i seguenti casi:

- > svuotamento del Lago delle Locce (antistante il Ghiacciaio delle Locce, in Valle Anzasca), con successiva ondata di piena e danni più a valle (il 19 luglio 1979);
- > crollo della fronte del Ghiacciaio Coolidge (3195 m, sulla "Nord" del Monviso) il 6 luglio 1989;
- > frana nella morena del Ghiacciaio del Mulinet (Val Grande di Lanzo) il 24 settembre 1993 che provoca, alimentata dall'acqua, una colata di detriti con danni all'abitato di Forno Alpi Graie.

# La struttura interna della Terra



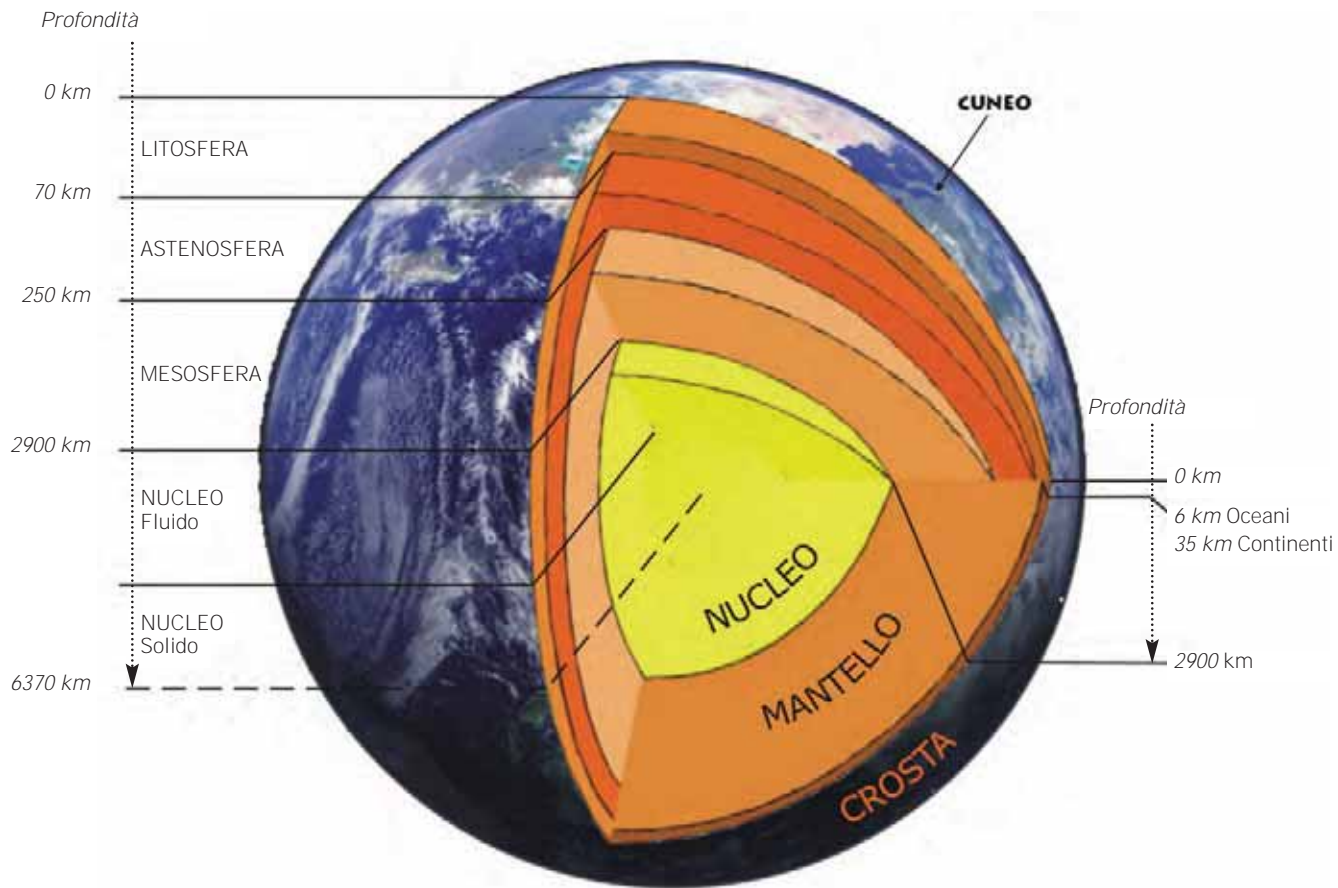


«Se la temperatura aumenta sempre con lo stesso ritmo, al centro della Terra ci saranno duecentomila gradi! — esclama Axel - Né i metalli, né le rocce più dure resistono a tale temperatura e la materia deve essere allo stato di gas incandescente».

In "Viaggio al centro della Terra", Jules Verne descrive una discussione (fra il professor Lidenbrock e suo nipote Axel), mettendo in luce molti degli interrogativi di un'epoca (il XIX secolo) sulla natura interna del Pianeta.

Ci vorrà circa un secolo ancora per avere una chiara idea, seppur non diretta, della natura interna del Pianeta (le perforazioni più profonde della crosta terrestre al massimo sono giunte a qualche decina di chilometri, contro un raggio terrestre di 6.400!).





# Dentro la Terra un cuore incandescente

> di G. Boschis

La Terra ha una struttura eterogenea, costituita da strati di diversa natura chimica e fisica. Questa conoscenza scientifica, oggi universalmente acquisita, è il frutto di complessi e lunghi studi di geofisica e geologia riguardanti in primis la diversa densità delle rocce del pianeta. In passato era già stato rilevato che se la densità<sup>(1)</sup> della crosta terrestre è di circa 2,7-2,8 e quella media del pianeta è di 5,52, ciò voleva dire che l'interno della Terra deve avere una densità ben maggiore dell'involucro esterno. Non potendo avere conferma diretta di questa supposizione - le maggiori profondità raggiunte dall'uomo con miniere, gallerie, perforazioni o carotaggi non superano che alcuni chilometri (i 20 km sono stati toccati solo nel 2007, ossia meno di 1/400 del raggio terrestre) - l'uomo è stato costretto ad affidarsi all'analisi ed allo studio delle onde sismiche, la cui propagazione è legata alla densità dei materiali della Terra. La prima conferma della diversa struttura interna del pianeta è data infatti dal netto aumento di velocità delle onde sismiche oltre i 35 chilometri sotto i continenti e 5 chilometri circa sotto i fondali oceanici. Questa variazione è stata assunta come limite fra crosta (velocità più bassa) e mantello (velocità più alta): tale discontinuità è denominata "discontinuità di Mohorovicic", spesso abbreviata in "Moho", dal nome del geofisico croato Andrija Mohorovicic (1857 - 1936). Una seconda discontinuità, individuata a circa 2.900 km, detta di "Gutenberg", segna il passaggio dal mantello al nucleo, lo strato più interno della Terra, caratterizzato da una densità ancora superiore.

In sostanza, come risultante di una diversa composizione chimica, la Terra può essere suddivisa in tre involucri: crosta, mantello e nucleo.

La **crosta** è lo strato solido più esterno del pianeta, ma è anche il più sottile, con uno spessore irrisorio se confrontato con il raggio terrestre: pochi chilometri (circa 50 sotto le catene montuose, circa 5 sotto gli oceani) contro quasi 6.400! La crosta presenta una variabilità nella composizione chimica a seconda delle aree geografiche:

La struttura interna della Terra.

(1). La densità è il rapporto fra massa e volume di un corpo. Nel caso di minerali e rocce si misura in genere come g/cm<sup>3</sup>



> la *crosta continentale*, con spessore medio di 35 km, ma che può raggiungere anche i 90 km sotto l'Himalaia, con rocce prevalentemente “leggere”, “acide”, cioè ricche in silice come i graniti;

> la *crosta oceanica* con spessori che variano da zero a 10 km e con una densità prossima a quella del mantello sottostante in quanto costituita prevalentemente da rocce ricche in metalli. È da notare che l'estensione (areale) della crosta continentale è maggiore dell'estensione delle terre emerse, in quanto comprende anche tutti i territori sommersi a profondità inferiori ai 2500 metri. Il gradino morfologico che marca il passaggio tra crosta continentale e crosta oceanica è detto scarpata continentale.

Il **mantello**, con profondità variabile fra i 35 e i 10 km dalla superficie terrestre, costituisce circa l'80% in volume della Terra ed è composto da rocce cosiddette “ultrafemiche”<sup>(2)</sup>, in parte fuse per effetto della temperatura. Il mantello è formato da due strati:

> il *mantello superiore* immediatamente sotto la crosta, definito “mantello litosferico”, che insieme alla crosta costituisce la litosfera<sup>(3)</sup>;

> il *mantello inferiore*, a bassa viscosità, comunemente definito astenosfera. Questa caratteristica fisica del mantello inferiore è di fondamentale importanza per comprendere la dinamica della Terra; infatti la bassa viscosità si traduce in una plasticità dell'astenosfera i cui movimenti “governano” lo spostamento delle placche litosferiche.

Il **nucleo**, oltre i 2.900 km di profondità, è composto soprattutto da ferro e subordinatamente da nichel, con una temperatura variabile fra i 3.000 e i 5.000° C ed una densità altissima, sino a 13! Ciò fa supporre che la parte interna del nucleo sia solida per effetto della pressione (sino a 3.600 kbar) che innalzerebbe il punto di fusione del ferro a valori elevatissimi tali da renderlo cristallino nonostante le temperature; al contrario il ferro sarebbe fuso nel nucleo esterno.

(2). Ossia ad elevata concentrazione di ferro e magnesio, dette anche “ultrametallifere” o “ultrabasiche” appartenenti per lo più alla famiglia delle peridotiti (rocce magmatiche composte soprattutto di olivina).

(3). Strato superficiale solido della Terra. È la parte rocciosa della Terra, comprendente crosta e mantello superiore.

# La "Tettonica delle placche" e l'origine delle catene montuose

> di G. Boschis

Da secoli l'uomo si è interrogato sul meccanismo di formazione delle catene montuose. Quali forze possono presiedere al sollevamento di masse rocciose tanto imponenti, alte e della lunghezza di migliaia di chilometri?

Nel XIX secolo questa domanda aveva dato luogo allo sviluppo di due diversi modelli: uno "fissista" ed uno "mobilista".

Il modello "fissista" riteneva l'origine delle montagne legata a forze verticali prodotte dalla differenza di densità della parte superficiale della crosta terrestre<sup>(1)</sup> nei confronti dello strato sottostante ritenuto simile ad un fluido.

Secondo il modello "mobilista" invece le montagne sarebbero sorte per movimenti laterali della crosta, legati alla contrazione della Terra per effetto del suo raffreddamento e conseguente suo raggrinzimento superficiale.

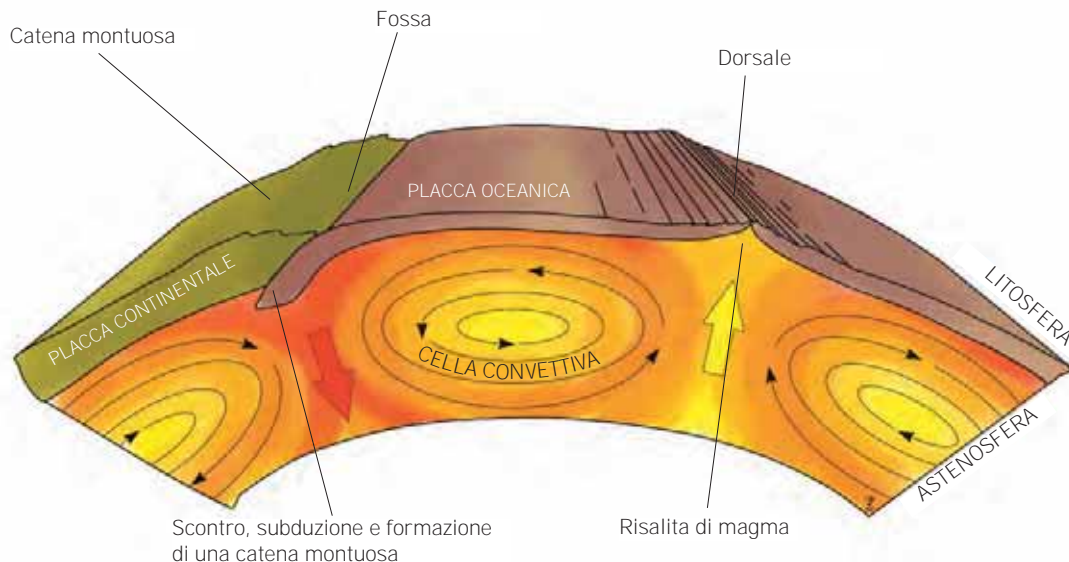
A partire dal 1870, in seguito agli studi dello statunitense J. D. Dana, si affermò a lungo la Teoria della "Geosinclinale", secondo la quale, a seguito della contrazione della Terra provocata dal suo raffreddamento, la sua superficie fu interessata dalla formazione di estese depressioni intercontinentali, le "geosinclinali".

Queste si formarono su settori del mantello interessati da correnti incandescenti in lenta discesa capaci di coinvolgere la crosta dando appunto luogo a vaste depressioni. A loro volta le geosinclinali divennero la "culla" degli oceani in quanto vasti luoghi di accumulo dell'acqua marina e di sedimenti prodotti dall'erosione delle aree continentali: "quando la crosta continentale alla base della depressione fondeva perdendo così la propria rigidità, i sedimenti si deformavano. Il sollevamento della fascia deformata a costituire una catena montuosa sarebbe avvenuto in seguito, in concomitanza con l'arresto o con il cambiamento di direzione delle correnti magmatiche".

(1). In effetti la crosta terrestre è costituita da minerali in genere meno densi, appartenenti per lo più alla famiglia dei silicati; per questo essa costituisce l'involucro più leggero.

*A fianco*  
Il meccanismo della tettonica delle placche e della formazione delle catene montuose.

*Nella pagina accanto*  
Schema della deriva dei continenti: la Pangea e la sua evoluzione da 200 milioni di anni fa ad oggi.



(2). La corrispondenza tra i margini continentali risulta ancora maggiore se, anziché la linea di costa, si prende come riferimento il limite esterno della piattaforma continentale, unità geografica che fa ancora parte del continente ma che è sommersa dagli oceani.

Bisogna attendere gli studi del tedesco A. Wegener (1880-1930) perché questa ipotesi possa essere superata da una nuova, rivoluzionaria teoria, quella della “Deriva dei continenti”.

Le deduzioni di Wegener partono dalla fondamentale intuizione della pressoché perfetta “complementarietà” del contorno delle coste dell’America meridionale e dell’Africa, come se i due continenti fossero i tasselli di un grande originario puzzle<sup>(2)</sup> in seguito disperso.

Tale intuizione venne presto confermata da numerose scoperte, fra le quali:

> l’identità di rocce e depositi costituenti i margini continentali dell’America del Sud e dell’Africa equatoriale;

> l'identità delle specie di animali e vegetali fossili rinvenute nelle rocce sedimentarie pre-giurassiche (cioè anteriori agli ultimi 200 milioni di anni), periodo a cui viene sostanzialmente fatto risalire il distacco e l'inizio della deriva dei due continenti;

> la presenza di specie animali e vegetali attuali, ora isolate, derivanti da "antenati" comuni (si pensi ai lama ed ai guanachi andini ed ai cammelli e dromedari nord africani).

Secondo la "Deriva dei continenti"<sup>(3)</sup> i continenti attuali avevano preso origine da un solo enorme continente, denominato Pangea, circondato dalle acque di un grande oceano denominato Panthalassa. Furono i movimenti laterali della crosta oceanica plastica a lacerare la Pangea e a provocare la deriva dei suoi frammenti continentali, paragonabili a rigide inerti masse "galleggianti".

A maggior merito di Wegener va il fatto che ai suoi tempi non si conosceva quasi nulla della geologia e morfologia dei fondali oceanici. Il meccanismo intuito dal geologo tedesco fu sostanzialmente confermato dalle esplorazioni oceanografiche degli anni '50 e '60 del 1900, conseguenti all'invenzione del "sonar" e dei sottomarini e, ancora più avanti, all'impiego di carotaggi profondi con navi specializzate nei sondaggi marini. Di particolare importanza fu la scoperta dell'età relativamente giovane degli oceani e della sottostante litosfera oceanica, in confronto

30 milioni di anni fa



150 milioni di anni fa



200 milioni di anni fa



(3). A.Wegener, 1915, "The Origin of Continents and Oceans".

Le placche in cui è suddivisa la litosfera terrestre.

alla litosfera continentale.

Circa due terzi della superficie della Terra sono coperti dagli oceani che, nella loro profondità (mediamente di 3870 m) e nel loro buio, hanno celato all'uomo sino a poche decina di anni fa la più parte della superficie terrestre (la conformazione dei fondali oceanici) e, con essa, molti dati essenziali per la comprensione della dinamica del pianeta e della formazione delle stesse catene montuose. Presagendo questo fatto, rilevata l'origine marina di gran parte delle nostre montagne, Federico Sacco scriveva già nel 1934 «Se si vuol conoscere la culla delle Alpi, bisogna discendere al mare»<sup>(4)</sup>.

I fondali oceanici sono geomorfologicamente molto variegati, comprendendo fra gli altri ambienti, le parti sommerse dei continenti (piattaforme continentali), barriere coralline, immense piane abissali, fosse oceaniche e catene di vulcani sottomarini denominate dorsali oceaniche.



(4). Tratto da "Le Alpi", di F. Sacco, pagina 25.





Ipotizzando di perforare il fondale oceanico, esso risulterebbe così costituito: un "velo" dello spessore massimo di due chilometri di sedimenti di origine organica (planctonica) e detritica (per erosione della crosta continentale), un livello di poche centinaia di metri di rocce magmatiche effusive come i basalti, a loro volta ricoprenti uno "strato" di alcuni chilometri di rocce magmatiche intrusive come i gabbri e peridotiti, via via più dense e ricche di minerali di ferro e magnesio. Questa sequenza di rocce, corrispondente alla litosfera, "galleggia" su un involucro fluido di altissima viscosità costituito da magma, che prende il nome di "astenosfera". Nel caso dell'Oceano Atlantico l'età massima della litosfera oceanica ha mostrato valori inferiori a 200 milioni di anni, cioè rocce non più antiche dell'inizio del Periodo Giurassico.

Le età poi risultano tanto più recenti quanto più ci si avvicinava alla Dorsale

Vulcani costeggiano il bordo della Rift Valley del Kenya nei pressi del Lago Turkana.

Medio-atlantica: questa corrisponde a un'enorme frattura vulcanica (nella quale cioè la lava non viene emessa da un cratere subcircolare, ma da una fessura lunga diverse migliaia di chilometri) che si estende dall'Islanda all'Antartide.

Partendo da questa grande mole di nuovi dati, nella seconda metà del secolo scorso è stata formulata la teoria della "Tettonica a placche". L'astenosfera occupa un ruolo essenziale in questa nuova ipotesi.

Il "motore" di questi fenomeni di mobilità delle placche è rappresentato dal calore trasmesso all'astenosfera dal nucleo terrestre<sup>(5)</sup>; per le sue caratteristiche geometriche, termiche e meccaniche, il magma si muove con lenti movimenti di risalita e ricaduta che descrivono delle celle convettive. Dove il calore interno si concentra maggiormente, si crea una corrente ascensionale di magma che, premendo sulla litosfera, può portare nel tempo ad un suo progressivo assottigliamento con formazione di una fossa tettonica ("rift valley"). Il grande rift dell'Africa orientale documenta proprio oggi il decorso di questo processo, accompagnato dalla forma-

(5) Il calore sarebbe generato dal decadimento degli isotopi radioattivi qui concentrati, come in una grande centrale term nucleare.





zione di grandi laghi e lagune salmastre (zona di Gibuti), terremoti e vulcani come il Kilimangiaro ed il Kenya (*vedi figura di pagina 24*). Il Mar Rosso costituisce uno stadio più avanzato di questo fenomeno e, se continuerà la sua espansione (dell'ordine di qualche centimetro all'anno), al centro del suo fondale l'emissione di lava darà in seguito origine ad una dorsale oceanica.

Nei settori di oceano in zone di convergenza, la litosfera oceanica ormai fredda viene invece spinta passivamente sotto la placca convergente, sprofondando nel mantello, dove avviene la sua riassimilazione. L'energia dei moti convettivi viene trasferita alla litosfera causando dunque il movimento delle tante placche (o zolle) che la costituiscono. Le catene montuose si formerebbero perciò secondo il seguente meccanismo. Sui due fianchi delle dorsali oceaniche viene continuamente prodotta, per eruzione di lava basaltica, nuova crosta oceanica; questa, premendo lateral-

La Cascata di Gullfoss in Islanda: il corso del fiume ed il suo spettacolare salto (32 metri di altezza) assecondano una delle più importanti faglie che incidono la superficie dell'isola, vero e proprio frammento della Dorsale oceanica atlantica emergente dal mare.

mente sulle rocce preesistenti, causa una progressiva espansione dei fondali oceanici, con conseguente allontanamento di alcune placche e dei continenti situati ai margini dell'oceano (per esempio Americhe ed Europa o Africa). In base a dati ricavati da misure satellitari, le velocità attuali dell'espansione degli oceani variano da 1 a 10 cm per anno su entrambi i versanti delle dorsali.

Con il fenomeno dell'espansione interferisce la continua formazione di fratture (faglie trasformi) che segmentano ripetutamente le stesse dorsali: si tratta di faglie della lunghezza di centinaia di chilometri, la cui formazione è legata principalmente alla diversa quantità di lava che viene emessa lungo le dorsali. Nei tratti in cui le colate sono più abbondanti, il fondo oceanico si allarga più velocemente e si stacca dalle zone che si dilatano più lentamente. La sismicità che caratterizza le dorsali oceaniche è legata geneticamente al movimento delle faglie trasformi.

È questa l'evoluzione che ha avuto il fondo dell'Oceano Atlantico a partire dall'inizio del periodo Giurassico (circa 200 milioni di anni fa).

In altri settori della crosta terrestre (ad es. nell'Oceano Pacifico) avviene, come conseguenza dell'espansione di alcune aree oceaniche, una riduzione della superficie: la crosta oceanica spinta dall'espansione degli altri oceani, si immerge sotto i margini continentali adiacenti (fenomeno della subduzione), formando profonde fosse oceaniche caratterizzate da elevata sismicità e intensa risalita di magmi che si riflette a sua volta in una elevata densità di vulcani.

Questo è il motivo per cui la crosta oceanica non ha mai un'età superiore ai 200 milioni di anni: la crosta più antica è stata interamente distrutta e riassimilata dall'astenosfera.

La litosfera terrestre è attualmente divisa in una quindicina di placche, sette delle quali di dimensioni molto grandi.

Alcune di queste si stanno allontanando le une dalle altre (divergenza), com'è avvenuto nella formazione dell'Oceano Atlantico. Altre stanno invece collidendo ed il margine dell'una scorre sotto quello dell'altra lungo un piano inclinato di circa 45° verso il continente contro cui si scontra: è ciò che sta avvenendo ad esempio oggi ai bordi dell'Oceano Pacifico, lungo la cosiddetta "Cintura di Fuoco"<sup>(6)</sup>. In altri casi infine due

(6). Così chiamata per l'allineamento di catene vulcaniche e ipocentri di terremoti che bordano il margine asiatico e americano del Pacifico. Posizione non casuale, dal momento che segue l'ubicazione geografica delle fosse oceaniche.

placche contigue scorrono l'una accanto all'altra (faglie trasformi) producendo un'elevata sismicità, ma senza ripercussione sulla creazione o distruzione di crosta oceanica: è questo il caso della celeberrima Faglia di San Andreas, una delle rare faglie trasformi osservabili in superficie, che taglia longitudinalmente la California, la cui attività è responsabile di violenti terremoti.

Le principali catene montuose continentali si formano a causa dei fenomeni di collisione fra due placche, quando lo scontro e la conseguente subduzione di crosta oceanica avviano l'intensa e spettacolare sequenza di fenomeni sismici, vulcanici, metamorfici e di dislocazione e deformazione delle rocce delle placche coinvolte nello scontro.

Il risultato di questo complesso e ciclopico processo è il sollevamento di catene montuose come le Ande, le Montagne Rocciose, l'Himalaya o le stesse Alpi, in cui enormi volumi di rocce generatesi in ambienti geografici originariamente diversi e lontani (antiche pianure e preesistenti rilievi, coste, lagune, barriere coralline, piane abissali o dorsali oceaniche con il loro corredo di rocce magmatiche, sedimentarie e metamorfiche) si mescolano accavallandosi le une alle altre, ripiegate e spezzate.


Dagli albori della geologia possiamo perciò concludere che ci sia stata una importante evoluzione delle teorie sulla dinamica terrestre che ha profondamente modificato il quadro delle ipotesi sulla genesi delle catene montuose, ma questo non ha mai messo in discussione la correttezza ed il raffinato dettaglio dei dati raccolti dai primi geologi. Anzi, tali studi hanno contribuito in modo sensibile alla conoscenza geologica delle Alpi, ponendo le basi per l'evoluzione teorica successiva e vanno apprezzati ancor di più in relazione alla scarsità di mezzi (di prospezione geofisica, marina e satellitare) dell'epoca.



# Le rocce







«Dalla mia natia cittadina, Fossano, fronteggiante il Monviso, fin da giovanetto ammiravo, uscendo appena di casa, l'ardita piramide dentata ... Col tempo, alla semplice ammirazione estetica si aggiunse la curiosità di conoscere perché dalla catena alpina [...] fosse balzata fuori la slanciata, aspra cuspide vesuliana».<sup>1</sup>

Così spiega Federico Sacco come sia nata la sua vocazione alla geologia, inizio di una vita di studi che lo portarono a scoperte straordinarie, ma pur senza possedere queste competenze, «ogni alpinista, anche se non conosce le cause lontane, sa benissimo che diversità vi sia tra una esposta arrampicata su dolomia tipo Grigna, una rude e sicura salita su granito tipo Masino ed una riguardosa ascensione su scisti e gneiss diversi, tipo Cervino».

Per questo, come scrivono ancora Nangeroni e Saibene, «una conoscenza, sia pure sommaria, delle rocce su cui si deve effettuare anche una semplice escursione è dunque necessaria».<sup>2</sup>

Note:

<sup>1</sup> «Le Alpi», TCI, 1934.

<sup>2</sup> «Geografia delle Alpi», CAI, Commissione Nazionale Scuole di Alpinismo, 1964.





## Non solo “sassi”

> di G. Boschis

Rocce: di certo nei loro confronti non tutti provano le stesse emozioni che hanno ispirato tanti geologi e naturalisti. Pensando alla quantità di ciottoli presi istintivamente a calci sui sentieri di montagna o calpestati sulle strade di città, questa parola suona in genere come qualcosa di comune, banale o, peggio ancora, d'insignificante.

Tutto qui? In realtà, già dal paesaggio quotidiano trapela qualcosa di diverso: statue, monumenti, chiese, palazzi, le nostre stesse case sono fatte di pietre a volte particolarmente pregiate come graniti e marmi, ma anche solide e resistenti, senza per questo nulla togliere alla loro semplicità.

Non basta, le pietre sono fatte di minerali multicolori, cristallini, utili, rari e preziosi, come rubini, zaffiri, lapislazzuli e smeraldi, a cui l'uomo ha sempre attinto nella produzione di gioielli e suppellettili; che dire poi delle infinite possibilità d'impiego dei metalli o degli elementi semiconduttori, insostituibili componenti dei nostri computer?

Le capacità terapeutiche del magnesio e del calcio, l'uso alimentare dei sali e del bicarbonato, una medicina, il condimento di un piatto o un bicchiere d'acqua continuamente ci ricordano i minerali di cui abbiamo bisogno per vivere, che noi stessi siamo fatti anche un po' di rocce (scheletro e denti).

Dalla selce del neolitico al silicio dell'era multimediale, chi l'avrebbe detto che un sassolino avrebbe potuto fare tanta strada?

Oltre all'interesse economico, per le loro possibilità d'impiego, le rocce sono in primo luogo una componente dell'ecosistema. Ecco qualche semplice esempio dello stretto rapporto che lega le pietre all'ambiente naturale:

- > le rocce costituiscono il substrato naturale di muschi, licheni e varie specie floreali (il legame ecologico con la pietra è sottolineato dal nome “*Saxifraga*” di molti esemplari);
- > alcune specie prediligono terreni pietrosi: di natura calcarea le stelle alpine, silicea il *Rhizocarpon geogra-*

*Rhizocarpon geographi-*  
*cum* sulla superficie di  
uno gneiss.

Il salgemma o cloruro di sodio, la "roccia" più impiegata in cucina.



*phicum* (un lichene);

> innumerevoli specie di invertebrati (molluschi, crostacei, coralli, ecc.) costruiscono e vivono in case di pietra (conchiglie fatte da calcite o silice);

> le grotte carsiche sono veri e propri habitat idrogeologici, rifugio di rare e singolari specie (pipistrelli, insetti, crostacei, anfibi e alcuni pesci);

> le montagne devono la loro forma all'interazione fra agenti d'erosione (fenomeni atmosferici, acque, ghiacciai...) e natura delle rocce: alcune costituiscono spettacolari sculture naturali (Cervino, K2, El Capitan, Hoggar, Cerro Torre, Ayers Rock...); gli strati rocciosi hanno custodito sino a noi gli eccezionali resti (fossili) di animali e piante vissute nel passato geologico (in alcuni casi i minerali hanno preso addirittura il posto della materia organica);

> la roccia è stata protagonista della comparsa e dei primi passi dell'uomo, basti pensare agli utensili litici e ad espressioni come "uomo delle caverne", "età della pietra", "pietra focaia", "civiltà megalitica", ecc.



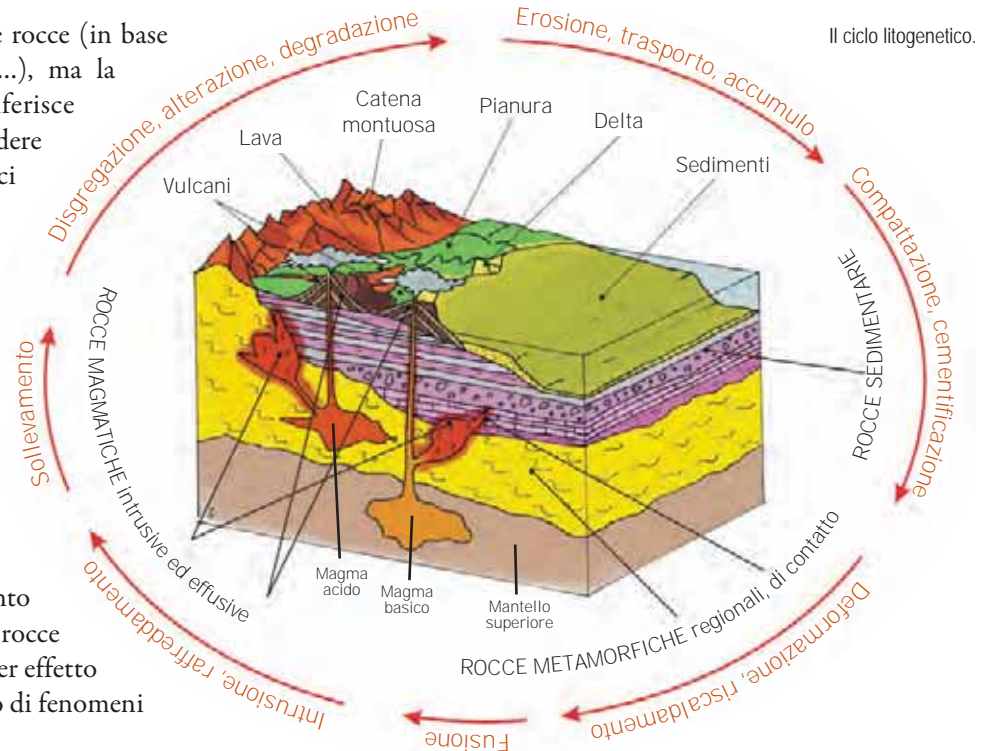
# Origine e classificazione delle rocce

> di G. Boschis

Vi sono vari modi di catalogare le rocce (in base alla composizione, alla struttura...), ma la classificazione più diffusa si riferisce all'origine, cerca, cioè, di rispondere alle domande che un po' tutti ci poniamo quando osserviamo una roccia: dove si è formata? Da dove proviene?

Come è noto, le rocce si distinguono in:

- > **magmatiche** (o **igne**): per solidificazione di magmi;
- > **metamorfiche**: per trasformazione di rocce preesistenti dovute agli effetti di forti pressioni e/o temperature;
- > **sedimentarie**: per consolidamento di frammenti di rocce preesistenti (rocce detritiche), di nuova formazione per effetto di organismi a scheletro minerale o di fenomeni chimici.



## Rocce magmatiche

In base all'ambiente in cui possono solidificare, le rocce magmatiche si suddividono, a loro volta, in:

- > **plutoniche** (o **intrusive**) solidificate all'interno della crosta terrestre;
- > **vulcaniche** (o **effusive**) solidificate all'esterno della crosta.

Dal momento che i due ambienti presentano condizioni estremamente diverse, essi influenzano direttamente il processo di solidificazione dei magmi: ne risultano rocce dalle caratteristiche assai differenti.

Una di queste caratteristiche è la **struttura**:

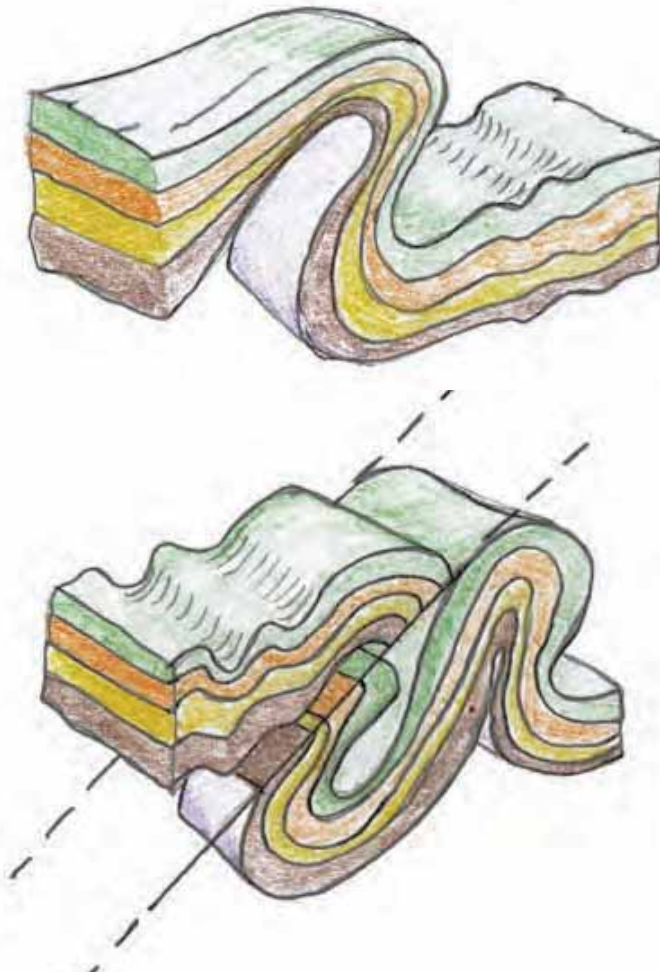
- > in quelle plutoniche è generalmente cristallina, in quanto il lento raffreddamento del magma<sup>(1)</sup> dà tempo ai mine-

*A fianco*  
Masso erratico di  
roccia granitica.

*In basso*  
Il porfido, a struttura  
microcristallina, è molto  
utilizzato come "pavé"  
per le pavimentazioni  
stradali.



(1). Magma = massa rocciosa allo stato fuso circolante al di sotto della crosta terrestre (mantello) o al suo interno; nel caso raggiunga la superficie (per es. attraverso un vulcano) il magma prende il nome di lava.



rali di svilupparsi e crescere formando cristalli macroscopici<sup>(2)</sup>;

> per contro, nelle rocce vulcaniche la struttura è di solito amorfa o microcristallina, poiché il magma va incontro ad un processo di raffreddamento istantaneo o comunque così rapido da “congelare” quasi immediatamente i minerali, senza consentire loro di svilupparsi<sup>(3)</sup>.

Sono rocce magmatiche di tipo plutonico ad esempio: i *graniti* (composti da quarzo, feldspati e miche), i *gabbri* (con plagioclasio e pirosseni) e le *peridotiti* (rocce composte essenzialmente da olivina), caratterizzate da minerali visibili ad occhio nudo (anche di qual-

Scistosità, pieghe e faglie sono caratteri comuni nelle rocce metamorfiche.

(2). Le rocce che circondano la camera magmatica (o “plutone”) fungono un po’ da coperchio di una grande pentola a pressione: ne consegue che il calore del magma si disperde lentamente e ciò consente ai minerali che lo compongono di dar vita a reticoli cristallini sovente molto grandi (dal centimetri ai decimetri, ma si conoscono cristalli anche metrici).

(3). Fuoriuscendo dal caldo involucro della crosta, attraverso i vulcani, il magma incandescente (la cui temperatura supera talora anche i 1000° C) viene improvvisamente a trovarsi in condizioni simili a quelle di un frigorifero (la temperatura scende infatti a pochi gradi in brevissimo tempo).

Il marmo è un derivato metamorfico da un calcare. Nella foto una cava di marmo delle Alpi Apuane.

(4). Il significato, simile a metamorfosi, è quello di una trasformazione radicale della roccia.

(5). Le conseguenze di questi fenomeni possono essere la formazione di dorsali oceaniche (fenomeno di allontanamento), di catene montuose (scontro), di fosse oceaniche (sprofondamento o "subduzione") e di faglie trasformi (scorrimento laterale).

(6). Si consideri, a questo proposito, il sollevamento delle montagne, il vulcanismo e, per contro, la rifusione magmatica di antiche rocce in fase di sprofondamento in un ambiente di fossa oceanica.

che centimetro di lunghezza) ad abito cristallino.

Viceversa, appartengono alla famiglia delle rocce magmatiche vulcaniche: i *porfidi* (con composizione simile ai graniti) e i *basalti* (equivalenti effusivi dei magmi gabbri), in cui i cristalli sono piccolissimi o non si riconoscono per nulla.

### Rocce metamorfiche<sup>(4)</sup>

Dalla teoria della "Tettonica delle placche" sappiamo che la crosta terrestre non è statica, ma dinamica per il movimento di numerose zolle (appunto "placche"), "galleggianti" sull'astenosfera magmatica. Essendo di natura litosferica, le zolle comportano, nel loro spostamento<sup>(5)</sup>, la dislocazione di enormi masse di rocce non solo in senso orizzontale (da un luogo all'altro del pianeta), ma anche verticale (dall'astenosfera alla litosfera e viceversa<sup>(6)</sup>).







migliaia di bar<sup>(7)</sup>.

Sono queste le condizioni che generano il metamorfismo, con vistosi effetti nella struttura e nei minerali delle rocce:

> la **compressione** dei minerali secondo piani paralleli e sottili (effetto delle pressioni), con formazione di una struttura scistosa, talvolta occhiadina;

Molte rocce magmatiche, dopo la loro formazione, possono essersi trovate in condizioni assai diverse da quelle di partenza. Nel caso siano state coinvolte nel sollevamento di una catena montuosa, ad esempio, finiscono per subire le conseguenze di enormi pressioni, talora accompagnate da forti aumenti di temperatura. Le condizioni che permettono la formazione di rocce metamorfiche sono tuttavia delimitate da alcuni valori di temperatura e pressione ben precisi, oltre i quali o le trasformazioni metamorfiche non si sviluppano o le rocce finiscono per fondere e, dunque, diventare rocce magmatiche. L'intervallo di temperatura entro il quale si sviluppa il processo metamorfico è compreso fra 200 e 800°C, mentre la pressione tipica è dell'ordine delle

Ecco come Federico Sacco interpreta gli strati (le pagine) delle rocce sedimentarie, mentre i fossili sono le lettere dell'alfabeto geologico.  
(Da *"Le Alpi"*, TCI, 1934).

(7). 1 bar equivale ad una atmosfera, ossia a 1 kg/cm<sup>2</sup>; all'interno della crosta terrestre alcune rocce subiscono pressioni di 10.000 bar equivalenti a profondità di oltre 35 km.



*A fianco e in basso*  
La Torre della  
Garisenda a Bologna,  
rivestita alla base da  
una cornice di gessi  
(della varietà selenite),  
rocce sedimentarie di  
origine chimica.

*A destra*  
Alternanza di blocchi di  
rocce sedimentarie  
(conglomerati e travertini)  
in un arco del teatro  
romano di Aosta.



- > il loro **ripiegamento** (effetto delle pressioni), con formazione di una struttura pieghettata;
- > la **ricristallizzazione** e lo sviluppo di nuovi minerali (effetto della temperatura).

Questi caratteri sono tipici di rocce di origine magmatica come: gli *gneiss* (molti dei quali derivano da graniti), le *prasinit* (originate per metamorfismo di basalti e gabbri), le *serpentin* (derivate da peridotiti del mantello), i *metagabbri*, ecc.

Il metamorfismo può coinvolgere anche rocce di origine sedimentaria come i *calcescisti* (derivati da fanghi calcarei), i *marmi* (per ricristallizzazione di calcari), le *radiolariti* (originate dal metamorfismo di fanghi silicei)<sup>(8)</sup>, ecc.

## Rocce sedimentarie

Queste rocce comprendono un'ampia varietà di tipi, di origine:

- > **detritica**, per accumulo e consolidamento di frammenti di rocce erose;
- > **organica**, per consolidamento di resti di organismi a scheletro minerale (in genere calcareo o siliceo);
- > **chimica**, per precipitazione (o evaporazione) di sostanze disciolte in acqua.

Sono esempi di rocce sedimentarie detritiche: le *arenarie* (derivanti dal consolidamento di sabbie), i *conglomerati* (derivanti dalla compattazione di ghiaie e ciottoli), le *brecce* (da ciottoli a spigoli vivi), ecc.

Sono rocce sedimentarie organiche i *calcari* di scogliera e di piattaforma corallina, le *dolomie* e i *calcari dolomitici*, il *carbon fossile*, ecc.

Appartengono alla categoria delle rocce sedimentarie di origine chimica, le *rocce saline* (formate da salgemma e altri sali), i *gessi*, le *carniole* (rocce calcareo-gessifere a struttura vacuolare), i *travertini* (calcari d'acqua dolce inglobanti resti di vegetali), ecc.

Le rocce sedimentarie includono anche mescolanze di rocce diverse (detritiche e organiche per esempio) come le *marne* (metà argille e metà calcari).

(8). Il nome di queste rocce deriva dai loro principali componenti, ossia dai gusci dei radiolari, gli organismi marini a scheletro siliceo da cui hanno preso origine.


## Alcune delle rocce più comuni

Roccia	Minerali	Origine	Affioramenti tipici
<b>Graniti</b>	Quarzo, feldspato, plagioclasio, miche	Magmatica intrusiva	Monte Bianco, Argentera, Pelvoux, Aar Gottardo
<b>Granodioriti</b>	Feldspato, quarzo, miche, plagioclasio	Magmatica intrusiva	Pizzo Badile
<b>Dioriti</b>	Anfiboliti, plagioclasio, quarzo, miche	Magmatica intrusiva	Cinque Laghi di Ivrea, Adamello, Stelvio
<b>Tonaliti</b>	Anfiboliti, plagioclasio, quarzo, miche	Magmatica intrusiva	Adamello
<b>Rioliti (porfidi)</b>	Quarzo, feldspato, biotite	Magmatica effusiva	Lagorai, Val di Fiemme, Val d'Ega, Arbatax
<b>Trachiti</b>	Feldspato, plagioclasio, biotite	Magmatica effusiva	Colli Euganei
<b>Basalti</b>	Plagioclasio, olivina, pirosseno	Magmatica effusiva	Etna, Monti della Luna-Chenaillet
<b>Calcari</b>	Calcite	Sedimentaria	Marmolada, Alta Provenza, Gran Sasso
<b>Dolomie</b>	Dolomite	Sedimentaria	Tre Cime di Lavaredo, Monte Chaberton

<b>Arenarie</b>	Sabbie compatte di varia composizione	Sedimentaria	Pietra di Bismantova, Roero, Astigiano
<b>Conglomerati</b>	Ghiaie compatte di varia composizione	Sedimentaria	Monerrat, Monte Verruca
<b>Argille</b>	Caolino, finissime particelle di varia composizione	Sedimentaria	Monferrato, Langhe, Appennino
<b>Marne</b>	Calcite, argilla	Sedimentaria	Monferrato, Langhe, Appennino
<b>Gneiss</b>	Quarzo, feldspato, plagioclasio, miche	Metamorfica	Monte Rosa, Gran Paradiso, Val d'Ossola
<b>Micascisti</b>	Miche, feldspato, quarzo	Metamorfica	Cervino, Dent Blanche, Emilius
<b>"Pietre verdi" *</b>	Plagioclasio, olivina, pirosseni, anfiboli, serpentino	Metamorfica	Monviso, Orsiera-Rocciavré, Grivola, Media Valle d'Aosta, Chenaillet, Voltri
<b>Marmi</b>	Calcite, dolomite	Metamorfica	Alpi Apuane
<b>Quarziti</b>	Quarzo	Metamorfica	Monte Bracco, Rocca Provenzale-Castello, Rognosa d'Etiache
<b>Calcescisti</b>	Calcite, miche, altri minerali	Metamorfica	Alta Valsusa, Valli di Lanzo, Media Valle d'Aosta

\*

Insieme dei derivati metamorfici di rocce magmatiche di crosta oceanica (essenzialmente basalti e gabbri) o di mantello superiore (peridotiti); il metamorfismo può aver trasformato tali rocce in vari litotipi spesso associati fra loro come anfiboliti, prasiniti, metagabbri, metabasalti, serpentiniti.



Strati di marne e  
arenarie marine nelle  
Langhe.



# I depositi

> di G. Boschis

I depositi sono stati accennati nel secondo capitolo a proposito dei meccanismi della loro formazione.

La distinzione fra rocce e depositi è utile non solo in senso scientifico, ma anche alpinistico: infatti le caratteristiche meccaniche (coesione, resistenza al taglio, alla pressione, ecc.) variano enormemente dalle une alle altre e, se si eccettuano alcuni rari casi, i depositi non sono terreni di arrampicata. Come scrive Silvia Metzeltin Buscaini «di solito sulla roccia in posto si arrampica mentre sul deposito si cammina»<sup>(1)</sup>.

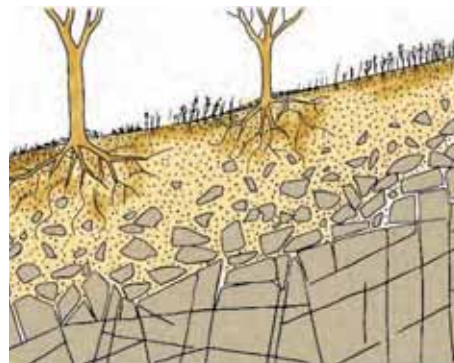
È abbastanza intuitivo considerare che le rocce sono materiali affioranti in superficie, espressione di grandi masse solide che affondano le proprie radici nella crosta terrestre.

Un singolo blocco isolato, come per esempio un masso erratico nella pianura prospiciente la montagna non è una roccia, ma un deposito (nel caso, una testimonianza di deposito morenico).

I depositi occupano inoltre una posizione prevalentemente superficiale perché prodotti dall'erosione di rocce: la loro età è dunque in genere più giovane delle rocce, la cui formazione coinvolge processi (magmatici, metamorfici, sedimentari) molto lunghi.

La differenza sostanziale rispetto alle rocce è che i depositi sono da nulla a poco consolidati (è proprio il fenomeno del consolidamento a richiedere molto tempo, da migliaia a milioni di anni!): questa caratteristica non è di poco conto anche per il paesaggio.

Infatti i paesaggi prevalentemente impostati su depositi sono poco resistenti all'offesa dell'erosione e si evol-



Rapporti stratigrafici e genetici fra roccia e suolo con formazione superficiale di detriti via via più fini e ricchi di materia organica.

(1). "Geologia per alpinisti", in bibliografia.

Coni o falde di  
detrito delimitano il  
piede del versante di  
pareti calcaree nel  
Vallone des Acles  
(Delfinato, Francia).



vono molto rapidamente, in tempi sovente percepibili alla scala della vita umana: basti pensare ai sedimenti continuamente rielaborati dalle piene dei fiumi, alle dune desertiche “emigranti” per l’azione eolica, alle frane che si innescano su sabbie e limi ed agli ampi e profondi mutamenti morfologici che possono indurre.

Alla base della formazione di un deposito vi è sempre una sommatoria di concause:

- > **la natura mineralogica e fisica** dell’ammasso roccioso (più le forze di legame chimico fra i minerali sono forti, la roccia è omogenea e compatta, più elevata sarà la resistenza),
- > **l’energia di erosione** (direttamente proporzionale alla pendenza dei versanti ed alla presenza di acque),
- > **il topoclina** e l’acqua sotto il profilo chimico (l’alterazione e la disaggregazione sono più aggressive se caratterizzate da escursioni termiche e sostanze “acide” in soluzione con effetti diversi in funzione delle rocce),
- > **fattori biologici** come la copertura arborea (si pensi all’effetto divaricatore delle radici delle piante), l’azione metabolica di microrganismi animali e vegetali,
- > **l’azione dell’uomo**: soprattutto in termini urbanistici, che non eccelle sempre in senso positivo!

Fra le tante variabili che influenzano la natura dei depositi, la loro classificazione si basa principalmente sul meccanismo di erosione, trasporto e “deposizione” appunto a cui sono legati.

Ecco uno schema sintetico dei principali tipi di depositi su basi genetiche.

## I depositi continentali più comuni

Tipo	Principale agente	Caratteristiche
<b>Coltri eluvio-colluviali</b>	Ruscellamento, forza di gravità	Strati superficiali porosi ricchi di humus
<b>Depositi glaciali</b>	Ghiacciai	Cordoni, archi morenici; struttura caotica con sedimenti di ogni dimensione
<b>Depositi fluviali</b>	Corsi d'acqua	Coni alluvionali o di deiezione (sbocco di torrenti a fondovalle), terrazzi di erosione e pianure alluvionali; struttura stratificata con disposizione selettiva dei sedimenti in base alle dimensioni (ciottoli, ghiaie, sabbie e limi); clasti solitamente arrotondati
<b>Depositi lacustri</b>	Corsi d'acqua e moto ondoso dei laghi	Successione di strati sottili prevalentemente orizzontali o poco inclinati, di argilla, limi e sabbie, sovente ricche di materia organica, sino a strati di torba
<b>Depositi eolici</b>	Vento	Dune, creste; sedimenti fini; in genere sabbie
<b>Depositi vulcanici (piroclastici)</b>	Eruzioni ed esplosioni vulcaniche	Coltri superficiali porose ("tufi"); detriti variabili dalle sabbie ai blocchi
<b>Falde di detrito</b>	Forza di gravità, escursioni termiche	Fasce inclinate e scarpate alla base delle pareti rocciose ("ghiaioni"); detriti a spigoli vivi anche di grandi dimensioni (massi e blocchi, sino alle ghiaie) con disposizione caotica
<b>Accumuli di frane</b>	Forza di gravità, escursioni termiche	Ammassi caotici talora a grossi massi (se per crollo), o lastre di strati scivolati su superfici impermeabili (se per scivolamento)



Cristalli di  
quarzo "fumé".

# I minerali

> di G. Boschis

Un minerale è una sostanza inorganica, caratterizzata da una composizione chimica (tipi di atomi e/o molecole), proprietà fisiche (peso specifico, durezza, punto di fusione, ecc.) e forme geometriche (cristallizzazione prismatica, cubica, ecc.) specifiche, che lo rendono unico, diverso da tutti gli altri.

In genere solidi (ad eccezione del mercurio), i minerali possono essere costituiti da un elemento di una sola specie come i minerali puri (ad esempio l'oro nativo o il carbonio che può formare il diamante o la grafite) o da più elementi come i minerali composti (es.  $\text{FeS}_2$  = pirite,  $\text{CaCO}_3$  = calcite).

Hanno di solito origine da processi inorganici (magmatici, metamorfici, sedimentari), ma qualche volta anche organici, come nel caso della sintesi del carbonato di calcio o della silice da parte di animali (bivalvi, coralli, radiolari ...) o piante (diatomee, spugne ...).

I minerali sono anche i componenti fondamentali di una roccia: da cui ne deduciamo che una roccia è un aggregato di minerali.

Il rapporto fra un minerale ed una roccia può essere definito dal confronto fra un albero ed un bosco. Consideriamo un albero tipico della montagna, supponiamo un pino: questa pianta è un individuo definito e diverso da ogni altra specie botanica, né più, né meno di un minerale. Per contro, il bosco è un insieme di più individui, esattamente come la roccia.

Scegliamo ora un minerale comune nelle Alpi, il quarzo, e mettiamolo a confronto con il pino. Se in montagna incontriamo la pianta o il minerale isolati, li chiameremo rispettivamente pino e quarzo, ma se sono insieme ad altri individui, parleremo piuttosto di bosco e di roccia.

Consideriamo infine questi due casi: un bosco di soli pini ed una roccia di soli quarzi; entrambi prendono il nome dai loro principali componenti: pineta e quarzite. Sappiamo tuttavia che i pini possono trovarsi anche in compagnia di abeti, larici ed altre piante: ecco un bosco che non può chiamarsi pineta, ma, sem-

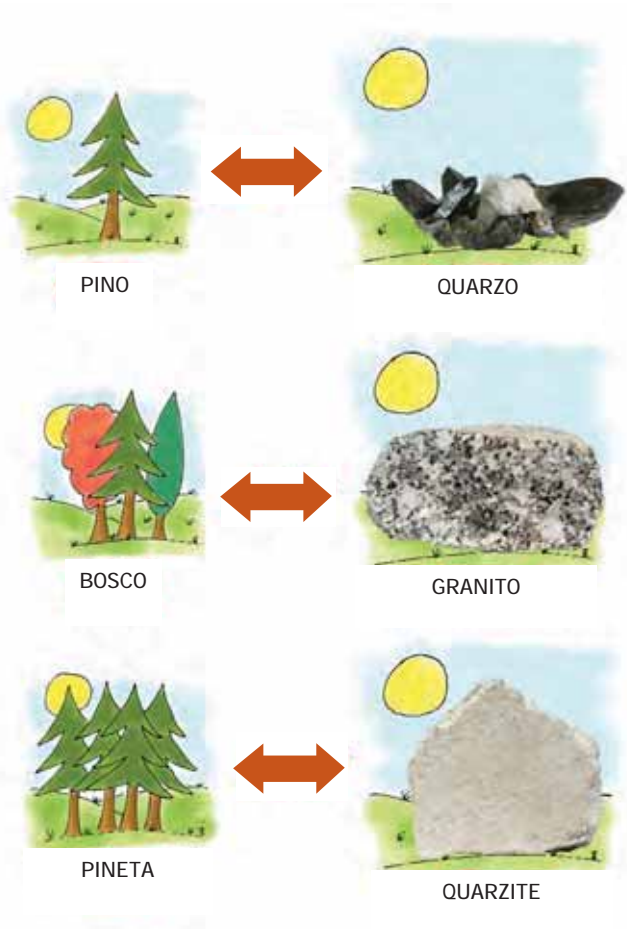


La roccia come il bosco, il minerale come l'albero. Spiegazione nel testo.

mai, bosco di conifere. Lo stesso vale per il quarzo, sovente legato ad altri minerali, come i feldspati e le miche: queste rocce non sono delle quarziti, ma, piuttosto, graniti.

Le oltre 1900 specie mineralogiche esistenti (delle quali in realtà la maggior parte molto rare) differiscono fra loro per composizione chimica o per struttura, ossia per disposizione geometrica degli atomi che li compongono. Questa geometria, detta "simmetria", è sempre regolare e non varia mai all'interno della stessa specie minerale dando come risultato facce e spigoli combinati secondo angoli sempre costanti a partire dall'asse di simmetria. Gli effetti geometrici e cromatici che ne derivano sono di grande fascino estetico, basti pensare al diamante!

Possiamo avere minerali dalla stessa formula chimica, ma dalla simmetria diversa: il citato diamante per esempio è composto esclusivamente di atomi di carbonio esattamente come la grafite. La differenza sostanziale è che nel primo gli



atomi sono aggregati secondo il sistema cristallino cubico in condizioni di elevatissima pressione (associata a profondità e calore) che conferiscono al minerale una durezza esemplare (la massima nella Scala Mohs<sup>(1)</sup>, ossia 10), mentre nella grafite gli atomi rispecchiano un sistema cristallino molto meno compatto a lamelle a contorno esagonale facilmente sfaldabile, con durezza minima, ossia del primo grado della Scala Mohs. Anche la comune silice (ossia il biossido di silicio,  $\text{SiO}_2$ ) può cristallizzare dando specie diverse: quarzo, agata, opale, calcedonio.

I minerali devono la loro varietà alle diverse condizioni chimico fisiche in cui si sono solidificati. Analogamente alle rocce che formano, possiamo avere minerali magmatici cristallizzati direttamente da liquidi o vapori sulle pareti di fratture o cavità occupate da gas (quarzi, feldspati, plagioclasti, pirosseni, ecc.). La trasformazione metamorfica di minerali preesistenti può dare origine ad altre specie, semplicemente per ricombinazione molecolare o atomica degli stessi elementi di partenza o con aggiunta di altri. Per esempio il serpentino deriva da pirosseno o olivina con idratazione parziale del minerale di partenza. Infine i minerali sedimentari sono il prodotto di processi di precipitazione (calcite di travertini), evaporazione (salgemma...) o dell'azione di organismi in acque marine (calcarei e dolomie coralline...) o continentali (molluschi e gasteropodi come certe conchiglie e chioccioline).

A seconda della composizione chimica di base, i minerali possono essere classificati anche nelle seguenti famiglie:

> **Silicati:** a base di silice, pura (*quarzo*) o in aggregazione con altri elementi (come Ca, Mg, Fe, Al, ecc.), sono i più diffusi della crosta terrestre;



Struttura cristallina dei minerali del granito: si notino i cristalli tabulari rosa di feldspato potassico, bianchi di plagioclasio, grigi di quarzo e neri di biotite.

(1). Scala coniata dal mineralogista austriaco Friedrich Mohs, su basi empiriche, che valuta la durezza di 10 minerali assunti come riferimento rispetto alla scalfittura con materiali diversi. Minerali teneri (si scalfiscono con l'unghia): 1 talco, 2 gesso; minerali semi duri (che si rigano con una punta di acciaio): 3 calcite, 4 apatite, 5 fluorite; minerali duri (che non si rigano con una punta di acciaio): 6 ortoclasio, 7 quarzo, 8 topazio, 9 corindone, 10 diamante.

- > **Carbonati:** a base dello ione  $(\text{CO}_3)^{2-}$  in legame nella maggior parte dei casi con Ca (*calcite*) o Ca ed Mg (*dolomite*), molto diffusi soprattutto in ambienti corallini o carsici;
- > **Solfati:** a base dello ione solfato  $(\text{SO}_4)^{2-}$ , si formano in ambienti a forte evaporazione con acque molto saline e danno per esempio *gessi* e *anidriti*;

> **Sali alogenuri:** stesso ambiente dei solfati: esempi sono il *sale-gemma* (NaCl) e la *fluorite*;

> **Ossidi e idrossidi:** molto importanti per l'industria per la presenza di metalli; di solito si formano come precipitati vicino alla superficie terrestre, ne è un esempio l'*ematite* (ossido di ferro);

> **Solfuri:** composti chimici in cui lo zolfo è combinato con elementi metallici, per questo sono economicamente molto importanti: *calcopirite* (solfuro di rame e ferro), *pirite* (solfuro di ferro), *galena* (solfuro di piombo), ecc.;

> **Fosfati:** derivano spesso da resti di vertebrati vissuti nel passato; infatti costituiscono, come l'*apatite*, le ossa di molti animali;

> **Elementi nativi:** includono metalli in genere non legati ad altri elementi (oro, platino...), ma anche non metalli (*grafite*, *zolfo*...).

Cristalli di pirite  
(solfuro di ferro dalla  
formula  $\text{FeS}_2$ ).



## I fossili

> di G. Boschis

Quante volte su sentieri di montagna o di collina ci siamo imbattuti in forme curiose che ci hanno suggerito la presenza di conchiglie o di altri organismi? La costituzione geologica del territorio italiano lo rende particolarmente ricco di fossili, termine (dal latino *fodere*, scavare) impiegato per indicare qualsiasi resto o testimonianza di vita del passato geologico.

Per fossili non si intendono quindi soltanto parti di organismi animali o vegetali più o meno integre, quali

ossa, denti, scheletri interi, tronchi o foglie di una pianta antichissima, ma qualunque traccia lasciata dagli stessi organismi: ad esempio, impronte, calchi, tane, resti di cibo o escrementi. Per queste ragioni, i fossili forniscono preziose informazioni necessarie per ricostruire la storia della Terra come l'evoluzione delle specie, le abitudini di vita degli organismi, gli ambienti del passato. Il processo che porta alla formazione dei fossili è il risultato di una combinazione di trasformazioni biologiche, chimiche e fisiche che agiscono su un organismo morto alterandone la composizione, senza per questo causarne la

Conchiglia di *Cardium*  
nelle sabbie astigiane.



Le ammoniti di Digne (Alta Provenza) risalenti a 190 milioni di anni (Giurassico), uno fra i più spettacolari siti fossiliferi delle Alpi.

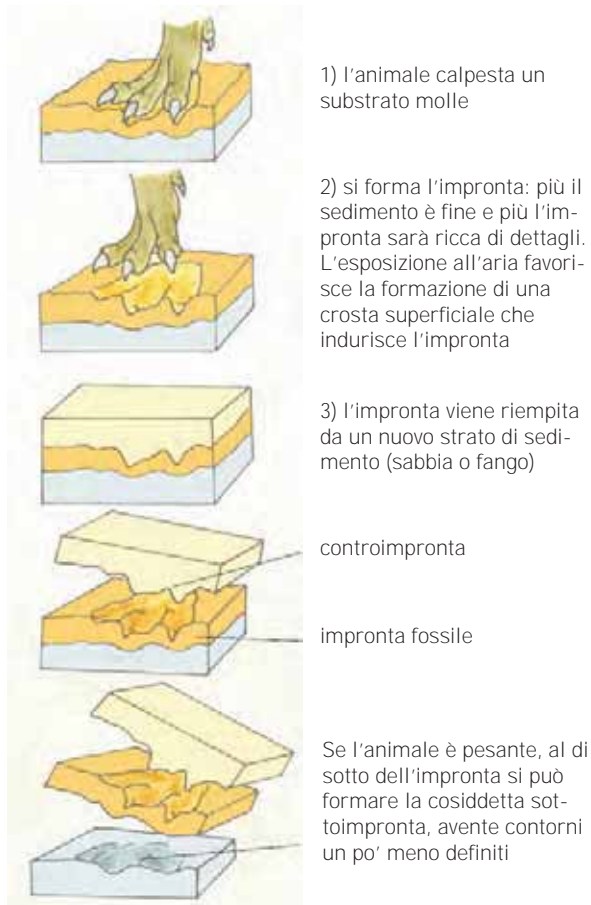
scomparsa, anzi rendendo il “prodotto” della sua trasformazione chimicamente stabile.

La condizione fondamentale affinché un organismo morto, o una sua traccia di vita, non si dissolva per decomposizione biologica è che esso venga sottratto presto all'azione di attacco fisico-chimica dell'atmosfera o dell'acqua. Ciò si determina nel caso in cui i resti vengano inglobati o sepolti sotto strati di sedimenti, la qual cosa spesso coincide anche con le ragioni stesse della morte dell'organismo (un'onda di piena, una mareggiata, una frana). Se i sedimenti sono sufficientemente fini e se la loro velocità di deposizione è relativamente rapida, il resto dell'organismo viene “sigillato” in un deposito compatto e in tal modo protetto da qualunque fattore di disaggregazione biologica o meccanica.

L'ambiente marino è uno di quelli con le caratteristiche più adatte alla fossilizzazione: qui gli organismi morti posso-







no contare su una buona velocità di sedimentazione e su sedimenti sottili e compatti. Per questo, il numero di fossili marini è nettamente superiore a quelli terrestri e i paleontologi dispongono di informazioni più numerose di quelle relative ad altri ambienti di vita del passato. Tipiche zone fossilifere sono le Dolomiti (per resti di organismi marini risalenti all'Oceano mesozoico pre-alpino) o le colline astigiane, insieme a Langhe e Monferrato (per conchiglie sino a resti di squali e cetacei risalenti al paleo-Adriatico di età terziaria).

A causa delle acque che filtrano attraverso il deposito, i resti dell'organismo possono subire vari processi: dal semplice riempimento delle parti vuote o cave (per esempio l'interno di una conchiglia) ad un vero e proprio processo di sostituzione chimica in cui calcite, silice o altri composti possono prendere il posto delle sostanze organiche di partenza (si pensi alle foreste fossili con

Il processo di fossilizzazione nel caso di un'impronta.

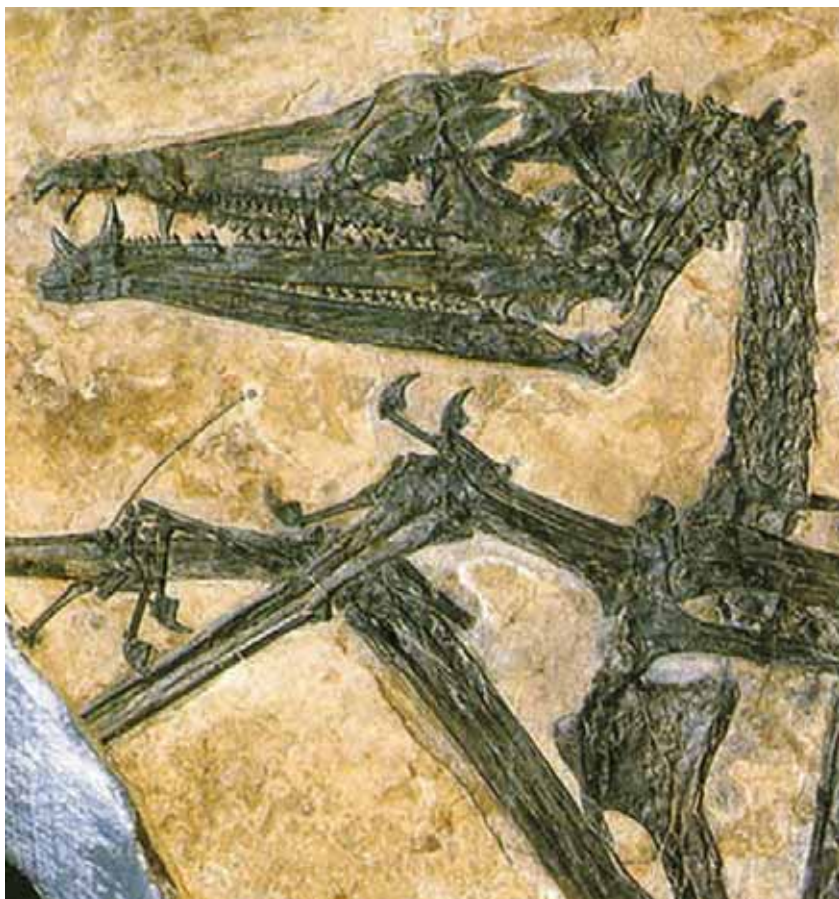
Nel 1973, durante una campagna di scavi nel territorio di Cene (BG), alcuni ricercatori fecero una sensazionale scoperta: lo scheletro del più antico pterosauro del mondo! Il primo rettile volante, attribuibile al Triassico, *Eudimorphodon ranzii* (così fu chiamato) fa oggi parte delle collezioni del Museo Civico di Scienze Naturali "E. Caffi" di Bergamo.

tronchi silicizzati). Famosa, in Italia, la foresta fossile di Dunarobba in Umbria.

Nel caso delle piante la fossilizzazione può consistere nella carbonizzazione: ciò avviene in ambienti fortemente "riducenti" dal punto di vista chimico. Tali caratteristiche si determinano in lagune o delta con forte sedimentazione e acque stagnanti povere di ossigeno: in seguito all'attacco di batteri specifici, il materiale vegetale si impoverisce di ossigeno e azoto e quindi aumenta la propria concentrazione relativa di carbonio; da qui la formazione dei giacimenti di carbon fossile, che altro non sono se non resti di piante vissute milioni di anni fa.

Un processo simile, ma su resti animali, provoca la formazione di giacimenti di idrocarburi (come petrolio e gas naturali).

L'elevato valore energetico di tali sostanze dipende dal fatto che il loro processo di fossilizzazione non





“rompe” i legami chimici più energetici fra gli atomi del materiale organico di partenza (carbonio e idrogeno essenzialmente), anzi l’impoverimento progressivo di elementi volatili come ossigeno e azoto, porta al loro relativo arricchimento.

Un altro meccanismo di fossilizzazione è quello che comporta la formazione di travertini: queste particolari rocce si formano in vicinanza di sorgenti o corsi d’acqua ricchi di calcare in soluzione: il carbonato di calcio, che tende qui a depositarsi, ingloba sovente resti di rami e foglie facilmente riconoscibili nella roccia. Normalmente si conservano solo le parti dure dell’organismo morto; eccezionalmente tuttavia la fossilizzazione può conservare anche i tessuti molli di un organismo: è il caso dei fossili di insetti o di altri piccoli animali rimasti invischiati nella resina, successivamente trasformata in ambra, o dell’ibernazione nel ghiaccio anche di grandi animali come i mammut.



Per il loro forte interesse turistico, meritano infine attenzione i ritrovamenti di scheletri di dinosauri o loro resti, come le impronte. In Italia citiamo alcuni importanti casi:

Schema di formazione dei fossili:

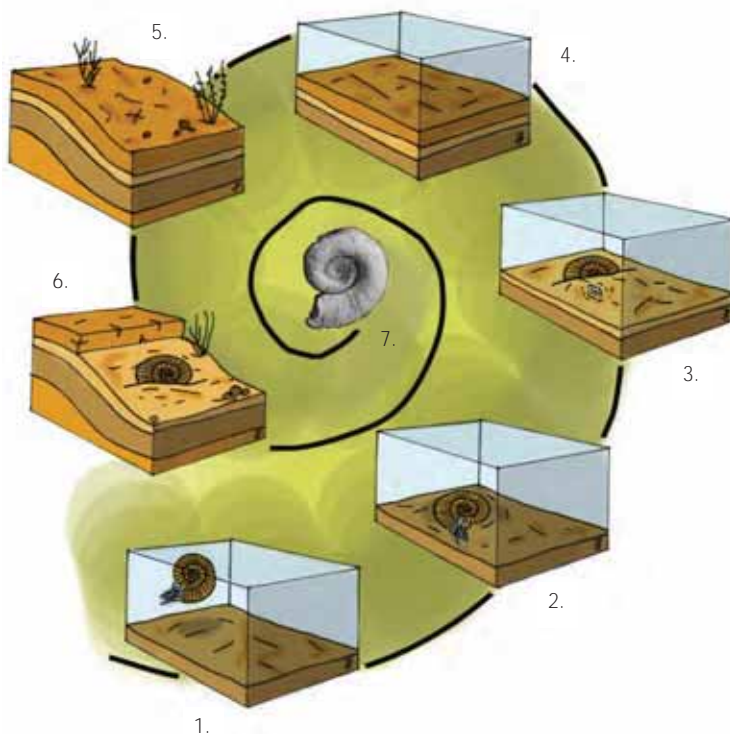
- 1 - vita dell'organismo;
- 2 - morte dell'organismo;
- 3 - decomposizione parti molli ed inizio seppellimento;
- 4 - totale seppellimento ed inizio litogenesi;
- 5 - orogenesi ed emersione rocce;
- 6 - erosione e messa a giorno del fossile;
- 7 - reperto.

> **Pietraroja** (Benevento): scheletro completo di un piccolo carnivoro, ribattezzato "Ciro", vissuto circa 110 milioni di anni fa;

> **Cene** (Bergamo): ritrovamento del più antico pterosauro (rettile volante) del mondo, risalente al Trias,

> **Rovereto** (Trento): ampia spianata calcarea ricca di impronte di dinosauri carnivori ed erbivori risalenti al Giurassico;

> **Monte Pelmetto** (Cadore): per la caduta dal Pelmetto di un masso sulla cui superficie sono state riconosciute impronte di tre specie di dinosauri erbivori (due) e carnivori (uno, riconducibile all'antenato del tirannosauro).



# La struttura delle rocce

> di G. Boschis

Con il termine “struttura” i geologi solitamente designano l'aspetto, la forma che una roccia (o parti di essa come i minerali) assume per effetto di vari fenomeni geologici (tettonici, magmatici, metamorfici, sedimentari). A volte si tratta della semplice distribuzione dei minerali impartita dalle condizioni fisico-chimiche di un'eruzione vulcanica, da un fenomeno di alterazione chimica, da deposizione dei detriti trasportati da un corso d'acqua, dalla fratturazione dovuta a degli stress tettonici o, per contro, dal ripiegamento delle stesse rocce che hanno assunto comportamento plastico (ad esempio per l'aumento della temperatura accompagnato da forti pressioni). Insomma, la categoria delle strutture si presenta molto ampia e varia, anche in base alle dimensioni delle stesse: infatti certe grandi faglie sono visibili da foto aeree o satellitari, vi sono pieghe riconoscibili in panorami geologici dell'ordine dei chilometri di estensione, mentre possiamo imbatterci in filoni e ondulazioni alla scala dei centimetri.

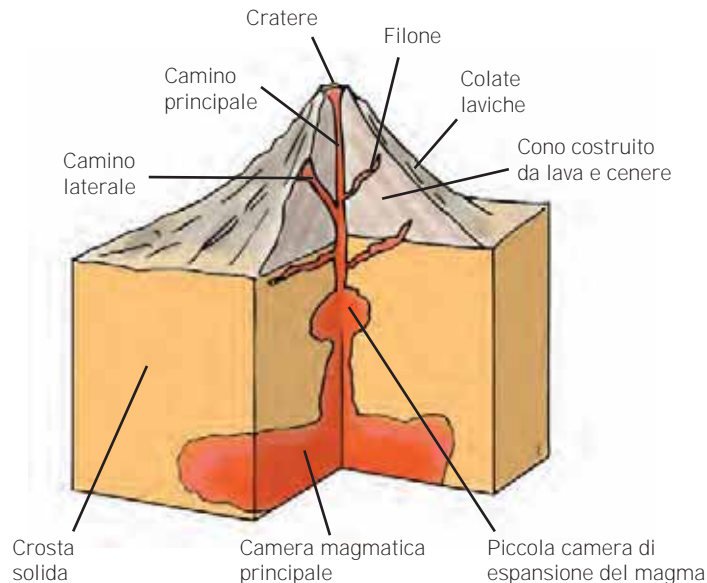
Sostanzialmente il criterio di distinzione più utilizzato è quello genetico. Ecco dunque alcuni esempi.

## ■ Strutture magmatiche

- > **Crateri.** La parte concava, sommitale di una montagna vulcanica.
- > **Duomi, dicchi e prismi di accrezione.** Dovuti al riempimento di camini vulcanici da parte di lave in risalita solidificate; l'erosione può avere successivamente smantellato parzialmente l'edificio vulcanico circostante cosicchè queste strutture ora spiccano verticali e slanciate, o con struttura a fiasco rovesciato (duomi).
- > **Filoni.** Fessure in rocce preesistenti consolidate per riempimento da parte di lave agenti all'interno di tali ammassi rocciosi.



*A fianco*  
Le Isole Eolie, vero e proprio paradiso geologico per l'osservazione di strutture vulcaniche come crateri (nella *foto in alto* quello della "Fossa" a Vulcano), strati di sedimenti piroclastici (a Lipari, nella *foto centrale*) e dei fenomeni eruttivi che li hanno determinati (in *basso* fotografia notturna dell'eruzione di Stromboli).  
*A centro pagina*  
Schema dei principali elementi che costituiscono un edificio vulcanico.



- > **Colate di lave** "a corde", "a nastro", ecc. Dovute alla forma assunta da lave, solitamente fluide, all'atto del loro consolidamento in fase di discesa post-eruttiva.
- > **Strutture a cuscino** ("a pillow"). Tipiche della rapida solidificazione di basalti di dorsale oceanica.
- > **Strutture vacuolari e porose**. Dovute alla rapida degassazione di lave viscose ricche di gas o alla deposizione di ceneri e clasti dovuti a eruzioni esplosive con pioggia di frammenti incan-

descenti; tipiche di ignimbriti (letteralmente “pioggia di fuoco”), pietre pomice, “tufi” vulcanici.

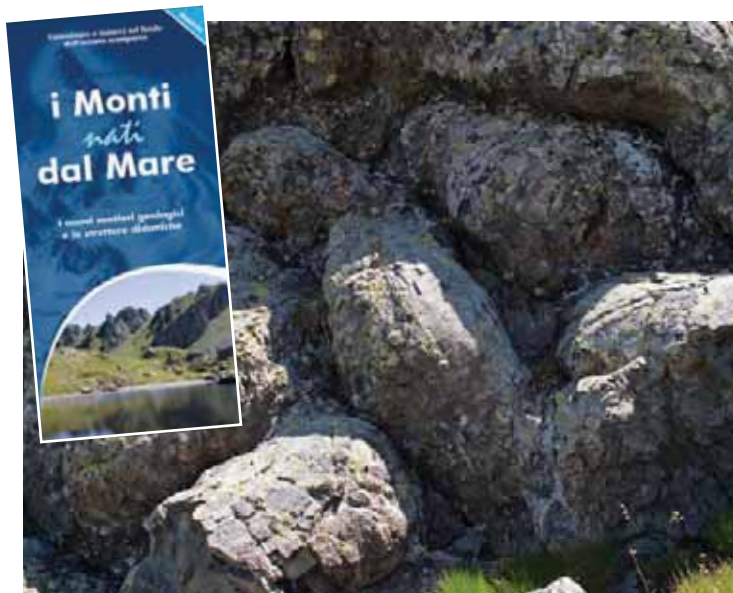
> **Strutture colonnari.** Tipiche di eruzioni basaltiche, in cui la forte contrazione subita dalla roccia, per il “gap” termico fra l'esterno freddo e l'interno caldissimo, provoca una fessurazione a volte sorprendentemente geometrica come nei basalti colonnari.

> **Tessiture amorfe o vetrose.** Dove il raffreddamento della lava è stato rapidissimo, la perdita di calore ha completamente inibito la crescita dei cristalli e il magma risulta “congelato” assumendo un aspetto vetroso, del tutto privo di aggregati cristallini; comuni nelle ossidiane.

> **Tessiture microcristalline.** Dove il raffreddamento della lava è stato rapido, ma non da impedire la parziale crescita di qualche embrione minerale, per cui alcuni microcristalli emergono da una matrice di fondo amorfa o vetrosa; comuni nei porfidi e nelle rioliti.

> **Tessiture porfiriche.** Tipiche di rocce cristalline con cristalli ben formati (fenocristalli) immersi in una matrice di fondo a piccoli cristalli; indicano uno stadio di raffreddamento lento, che ha permesso la formazione di cristalli grossi delle specie mineralogiche cristallizzanti a temperatura più alta, seguito da un raffreddamento rapido del fuso rimanente, con conseguente struttura di fondo a grana minuta.

Le lave basaltiche a cuscino (“pillow”) del Monginevro antiche di 150 milioni d'anni, meta di turismo geologico “marino” nel pieno del comprensorio sciistico olimpico di Torino 2006. (Fonte: [www.imeridiana.net](http://www.imeridiana.net)).



Successione di strati  
in rocce sedimentarie  
(torbiditi) delle  
Cinque Terre.



## Strutture sedimentarie

- > **Strati** (o struttura stratificata). Successioni parallele di clasti o granuli minerali distinguibili per dimensioni l'uno dall'altro, dovute al meccanismo della deposizione in genere fluviale (strati alluvionali di ghiaie, sabbie e limi), lacustre (strati di limi o argille), marina (strati di sabbie litorali, di argille o marne pelagiche, di torbiditi).
- > **Struttura caotica** (o non stratificata). Vi sono particolari processi di erosione o trasporto che, al contrario delle correnti d'acqua (di fiume, di mare, di lago), non conducono ad alcuna selezione dei clasti nella fase di deposizione (gli strati traggono origine proprio da questa sedimentazione selettiva); ne consegue una disposizione pressoché casuale dei detriti, come nel caso di depositi glaciali dove è evidente la mescolanza caotica di detriti di ogni dimensione, o di certi accumuli di frana dovuti a un cedimento improvviso.
- > **Dune**. Altire costituite da sedimenti fini, come sabbie e limi, con profilo asimmetrico dovuto all'azione di trasporto del vento; tipiche di deserti e zone costiere.
- > **Flysch o torbiditi**. Classiche strutture tipiche di rocce sedimentarie che hanno preso origine da correnti sottomarine, costituite da alternanze cicliche di livelli di arenaria, di argilla o marna, di detriti calcarei fini; tale alternanza è dovuta alla deposizione selettiva (prima i detriti più pesanti e poi progressiva-

mente quelli più fini) di colate franose precipitate sul fondo oceanico lungo la scarpata a partire dalla piattaforma continentale; possono essere molto spesse (anche migliaia di metri) e testimoniano degli ambienti marini del passato in molte catene montuose.

> **Ripples marks.** Increspature nella sabbia originate dal moto ondoso prossimo alla battigia; in seguito le sabbie, consolidatesi in arenarie, possono aver conservato tali strutture in qualche caso associate alla presenza di fossili.

## Strutture da deformazioni

Le rocce, successivamente alla loro formazione, possono registrare l'effetto di pressioni considerevoli che tendono a provocarne la deformazione. Oltre al tipico effetto di schiacciamento e compattazione dovuto alla pressione di strati successivi su quelli più profondi (che tuttavia non modifica la disposizione orizzontale degli strati), le deformazioni più importanti si sviluppano in genere per effetto di forze tettoniche.

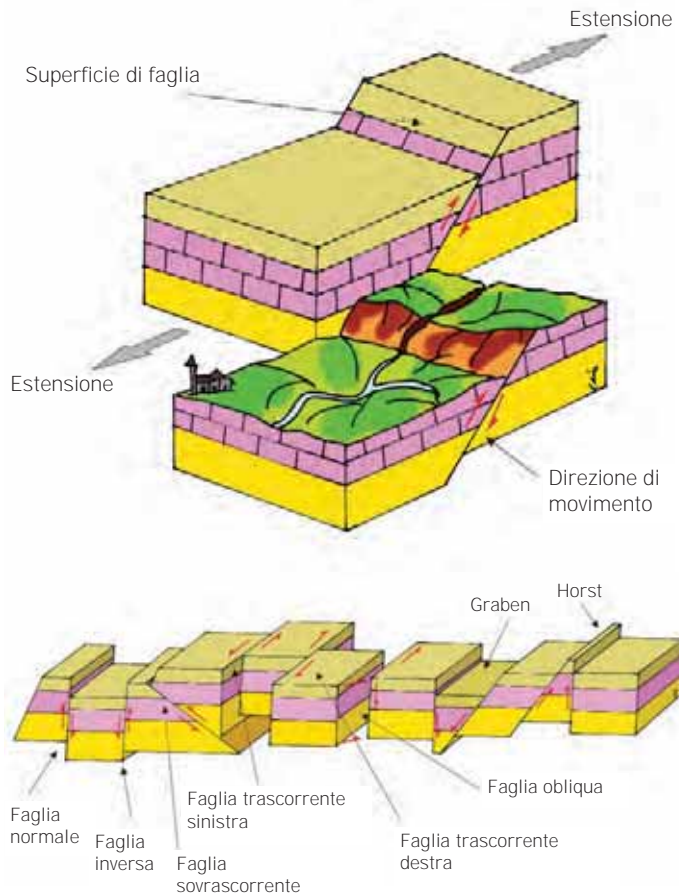
Se non facessimo riferimento a tali forze, non potremmo altresì spiegarci le molte “anomalie” che osserviamo nella struttura delle pareti delle Alpi, particolarmente di quelle occidentali, ma anche nelle Dolomiti e in quelle più orientali: strati verticalizzati, ripiegati, spezzati o interrotti da fratture, pieghe nella scistosità delle rocce metamorfiche, ecc. Rare, infatti, sono le zone montuose caratterizzate da sequenze di rocce a disposizione orizzontale ininterrotte per centinaia o migliaia di metri che suggeriscono condizioni di quiete tettonica per decine o centinaia di milioni di anni: i deserti dell'Arizona e dello Utah, il Grand Canyon del Colorado, i rilievi del Sahara ne sono esempi spettacolari quanto unici.

Molto più comunemente gli ammassi rocciosi vanno incontro nel tempo, chi prima, chi più tardi, a situazioni di stress tettonico in grado di scompaginarne l'assetto e lasciare profondi segni della loro azione sotto forma di strutture di deformazione. Tipici di questo discorso sono gli ambienti collisionali, dove si registra lo scontro fra due placche con conseguente formazione di catene montuose.

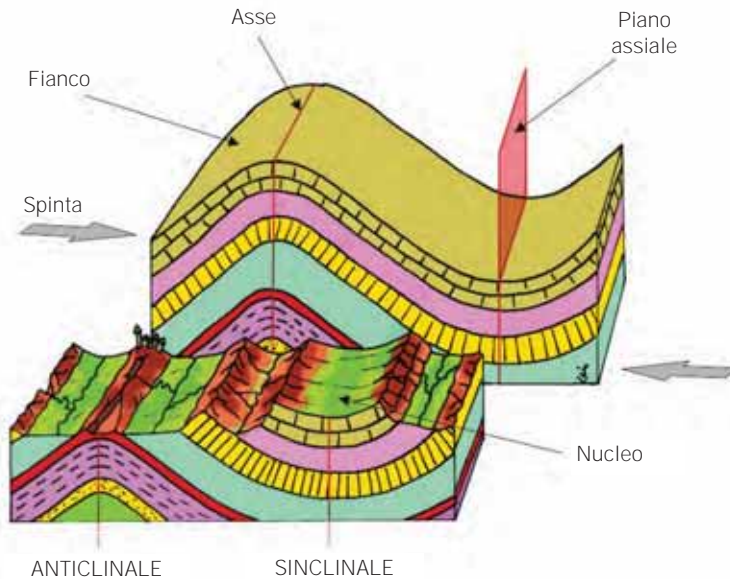
Diversi tipi di faglie.

Qui le grandi pressioni tettoniche possono aver lasciato più tipi di strutture.

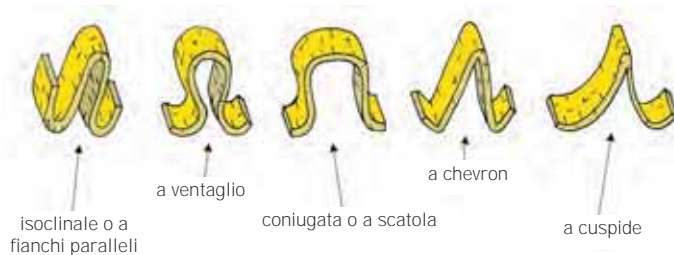
> **Faglie.** Quando un ammasso di roccia è sottoposto ad uno sforzo che supera il campo elastico della roccia, si raggiunge il punto di rottura con formazione di una frattura o faglia. Di solito il comportamento fragile si ha in condizioni di bassa temperatura e pressione, quindi generalmente a basse profondità; fanno eccezione le zone di scontro fra una placca oceanica ed una continentale dove la stessa linea di confine fra le placche è una faglia inclinata (chiamata “Piano di Benioff”) che porta la placca oceanica a sprofondare di diverse decine di chilometri. I terremoti che ne derivano indicano le profondità a cui possono agire tali faglie. La faglia è semplicemente la frattura che disloca due masse rocciose; lungo la sua superficie (piano di faglia) le rocce appaiono spesso frantumate e particolarmente friabili con formazione di miloniti. I movimenti fra i due







Diversi tipi di pieghe.



blocchi possono essere verticali o orizzontali dando vita a diversi tipi di faglie: dirette, inverse, trascorrenti. Sulle montagne le faglie sono molto comuni, anche se la loro presenza e azione è sovente mascherata dalla vegetazione o dall'erosione. Per esempio molti colli alpini o valli sono impostati lungo il piano di piccole o grandi faglie talora ancora attive: in questo caso è la sismicità a rivelarlo.

> **Scistosità.** Al contrario del comportamento fragile, le rocce reagiscono in modo duttile in zone con temperature e pressioni alte, condizioni che si trovano di solito a profondità maggiori. Le pressioni che agiscono sulle rocce soggette a temperature elevate inducono sovente uno schiacciamento ed un allineamento dei minerali secondo piani paralleli simili agli strati. Non essendo tuttavia queste strutture né originarie né sedimentarie, si usa chiamare “scistosità” e “piani di scistosità” i livelli marcati dai minerali di neo-orienta-

Pieghe a diversa scala.

A) Da decimetri a metri:

un calcescisto nel  
Parco Naturale  
Orsiera-Rocciavré.

B) Diversi metri:  
piega a "chevron" negli  
gneiss di Bard (sito  
rinomato anche come  
palestra di roccia).

C) Da centinaia di  
metri a chilometri:  
nei calcari giurassici  
della zona di Embrun  
(Alte Alpi, Francia).





mento parallelo. Questi caratteri sono tipici di rocce metamorfiche come gli gneiss ed i micascisti.

> **Pieghe.** Altra conseguenza delle pressioni è la formazione di pieghe. In questi casi pressioni opposte ed elevate temperature favoriscono la compressione plastica delle rocce (sia di quelle stratificate che scistose) con formazione di pieghe. Molto comuni sulle Alpi ed in altre catene montuose, le pieghe indicano gli effetti di forti stress tettonici come quelli conseguenti allo scontro fra due placche. Nel caso delle Alpi, lo studio delle pieghe ha fornito importanti dati sulla ricostruzione “paleo-cinematica” dello scontro fra la placca dell’Africa e quella dell’Europa, causa della loro formazione.



# La geologia delle Alpi





«Le Alpi calcaree, che ho percorso sinora, presentano un colore grigio e forme irregolari, ma originali e pittoresche, benché la roccia sia disposta in giacimenti e a strati. Ma poiché non mancano nemmeno gli strati ondulati e la roccia in generale è corrosa in modo ineguale, le sue pareti e le cime offrono gli aspetti più bizzarri».

Così scrive Johann Wolfgang Goethe, al passaggio delle Alpi, nel suo "Viaggio in Italia".

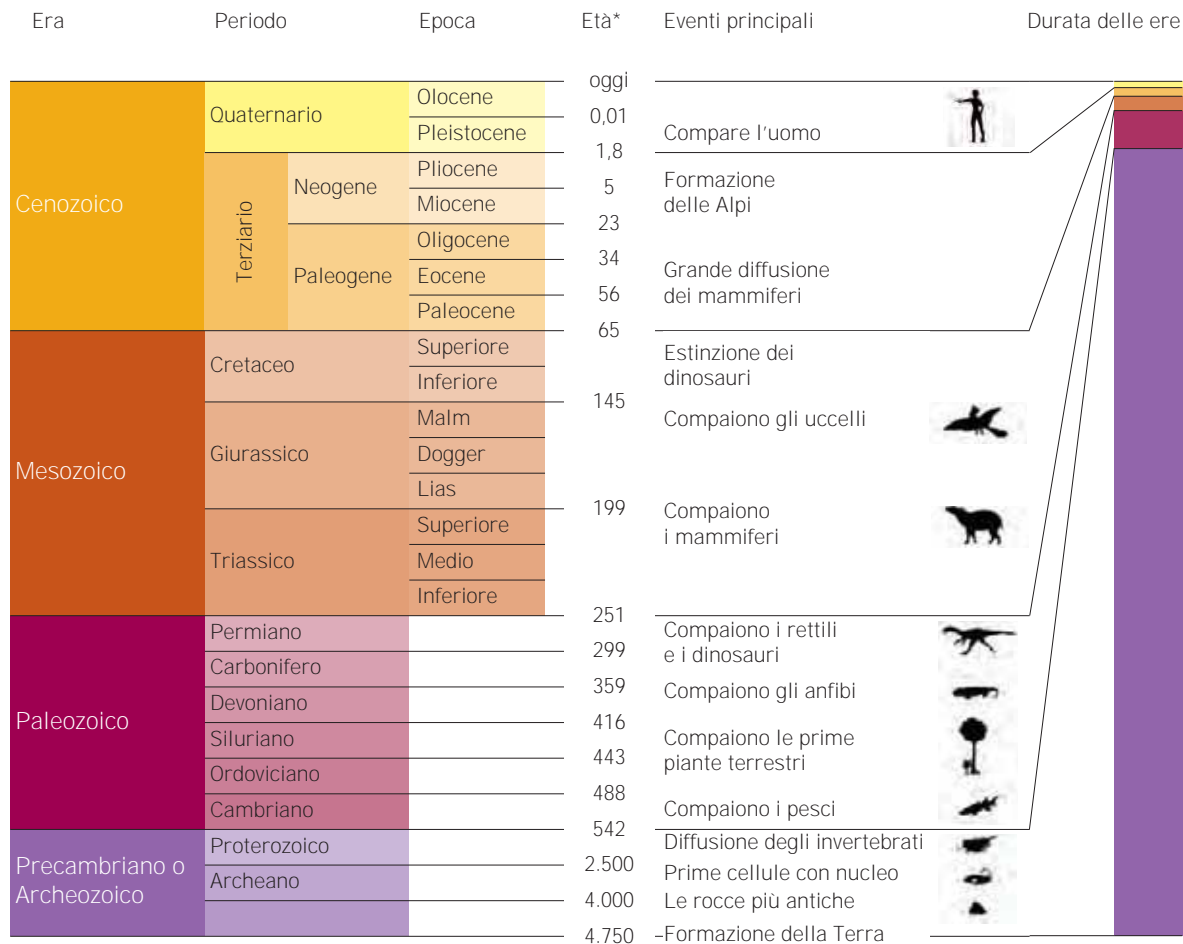
Per i suoi connotati geologici e paesaggistici, il viaggio del poeta tedesco è oggi valorizzato dal progetto "Via GeoAlpina", si consulti il sito: [www.viageoalpina.org](http://www.viageoalpina.org)





La scala dei  
tempi geologici.

\* Età espressa in  
milioni di anni



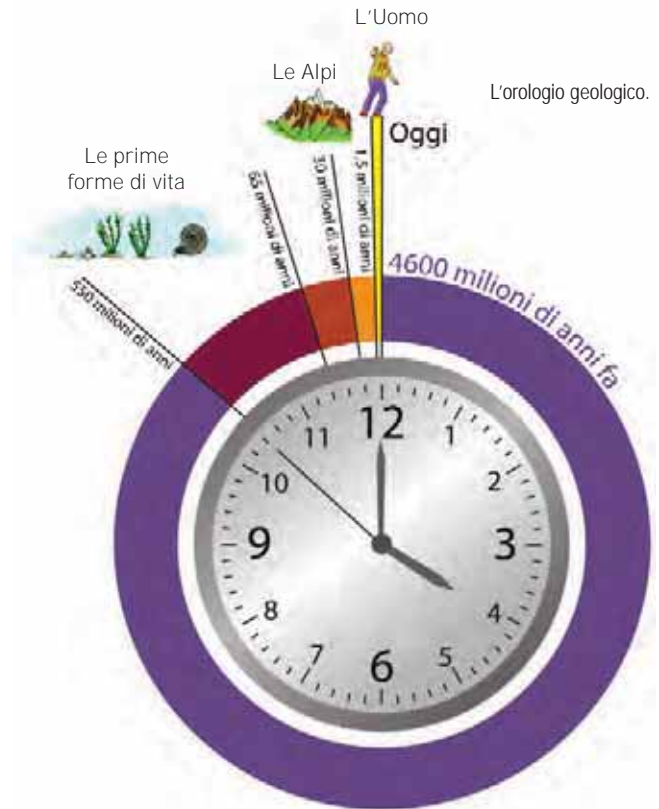
# L'orologio geologico

> di F. Bonetto

In un'epoca come la nostra in cui siamo abituati ad avere tutto “in tempo reale”, diamo per scontato che tutte le cose debbano obbedire ai nostri ritmi e alle nostre necessità. Solo alcuni di noi riescono a relativizzare in senso temporale la loro presenza all'interno del periodo storico in cui stiamo vivendo, e ancora meno sono quelli che lo fanno in rapporto alla storia del nostro Pianeta.

Chi si interessa di storia o archeologia ha a che fare con cronache e documenti vecchi di qualche centinaio o al massimo migliaio di anni perché la più antica civiltà che conosciamo non ha che 5.000 anni; chi è appassionato di antropologia sa che *l'homo sapiens*, la specie a cui apparteniamo, ha solo 200.000 anni. Sembrano già tempi lunghi, ma sono ancora misurabili con il metro della vita media umana o delle generazioni che si sono avvicendate.

La Terra ha 4,6 miliardi di anni e le rocce più antiche conosciute di miliardi di anni ne hanno 3,8. Le forme di vita più antiche, rinvenute come tracce fossili, hanno poco più di 500 milioni di anni, e le Alpi hanno incominciato a formarsi 100 milioni di anni fa. Quando ci fermiamo a pensare a cosa significa un milione di anni, istintivamente facciamo l'operazione matematica di moltiplicare 1.000 anni per 1.000 volte. Immaginiamo cioè un intervallo di tempo che va dall'epoca della prima Crociata in Terrasanta fino ad oggi e amplifi-



chiamolo di 1.000 volte. Già così è un intervallo di tempo che ci sembra incredibile, ma pensiamo che le Alpi hanno una storia 100 volte più lunga e la Terra quasi 5.000. Usando un paragone che si sente spesso fare, è come se le 12 ore dell'orologio coprissero tutta la storia della Terra; le più antiche forme di vita farebbero la loro comparsa solo dopo le ore 9, l'orogenesi alpina inizierebbe verso le 11 e 30 mentre la nostra specie apparirebbe pochi secondi prima della dodicesima ora.

Chi studia la Terra, come i geologi, grazie soprattutto alla presenza di resti fossili, ha elaborato una scala per mettere in relazione un intervallo di tempo con le rocce o gli organismi che si sono sviluppati in quel periodo. Naturalmente si è arrivati solo a suddividere le ultime "ore" del Pianeta, vale a dire gli ultimi 600 milioni di anni, e con un dettaglio ovviamente maggiore via via che ci si avvicina a mezzogiorno. La riportiamo a titolo di curiosità e per familiarizzare con alcuni termini che troveremo più avanti parlando della nascita delle Alpi. Quello che generalmente non riusciamo a percepire è l'intervallo di tempo in cui si sono formate le montagne, proprio perché ci mancano i metri di paragone; non a caso chi va in montagna lo fa anche attratto, almeno inconsciamente, dal senso di grandiosità temporale che vi associa. Paradossalmente questo enorme intervallo di tempo che rende ai nostri occhi fisse e immutabili le montagne è anche quello che spiega la loro nascita e la loro "morte". I processi che governano i movimenti della crosta terrestre si sviluppano infatti a questa scala, detta appunto dei tempi geologici, dove il concetto di tempo come lo intendiamo noi quotidianamente diventa quasi un'astrazione. Se però pensiamo che la velocità di spostamento delle placche litosferiche è simile a quella della crescita delle nostre unghie o dei nostri capelli, riusciamo forse a immaginarci come questi movimenti, protratti per milioni di anni, riescano a generare spostamenti di centinaia di chilometri e sollevamenti di molte migliaia di metri. Allo stesso modo possiamo capire come una roccia, considerata come rigida e immutabile alla scala della nostra vita, possa piegarsi, contorcersi e trasformarsi in profondità sotto l'azione di pressioni e temperature applicate per lunghissimo tempo.

Da queste considerazioni nasce anche l'importanza di saper cogliere, nella nostra breve esistenza, l'occasione di migliorare la conoscenza e la tutela del patrimonio geologico che ci circonda, frutto di trasformazioni di fronte alle quali ci sentiamo tutti molto piccoli, ma alle quali anche noi contribuiamo con le nostre attività.

## La pietra come risorsa

> di F. Bonetto



Le montagne del Piemonte non sono solo uno splendido oggetto geologico sul quale misurare e sperimentare le teorie sulla nascita delle catene montuose; sono anche il luogo di provenienza di materiali che da tempo immemorabile il genere umano ha utilizzato e valorizzato nelle sue opere. L'uomo ha appreso con l'esperienza che alcune caratteristiche delle rocce metamorfiche, quali la scistosità, potevano permettergli una lavorazione particolarmente adatta a determinati scopi.

Incominciò così a suddividere le banca-

te rocciose che lo permettevano, in lastre sempre più sottili, per ricavarne *lose* o *beole* adatte alla copertura dei tetti delle case di montagna. Allo stesso modo, osservando che alcuni sistemi di frattura dovuti alla tettonica alpina consentivano di isolare blocchi di pietra dalle forme regolari con facce ortogonali tra loro, li utilizzò nei particolari di maggior pregio delle abitazioni (architravi, mensole, davanzali). Col progredire della tecnica e l'adozione di metodi industriali lo sfruttamento si è fatto sempre più massiccio, superando il livello locale dell'utilizzo della risorsa, fino a divenire una rilevante attività economica.

Può essere interessante notare come in gergo minerario, "coltivazione" sia sinonimo di "estrazione"; questa

La scistosità (nelle rocce metamorfiche) e la stratificazione (nelle rocce sedimentarie) sono caratteristiche delle pietre da costruzione che si prestano ottimamente alla copertura delle abitazioni come nel tipico esempio delle "lose" nelle baite delle vallate alpine piemontesi.

Da generazioni gli scalpellini sfruttano la scistosità di molte rocce alpine come gneiss, micascisti o calcescisti per ricavarne preziose lastre ("lose") destinate a rivestimenti e pavimentazioni.

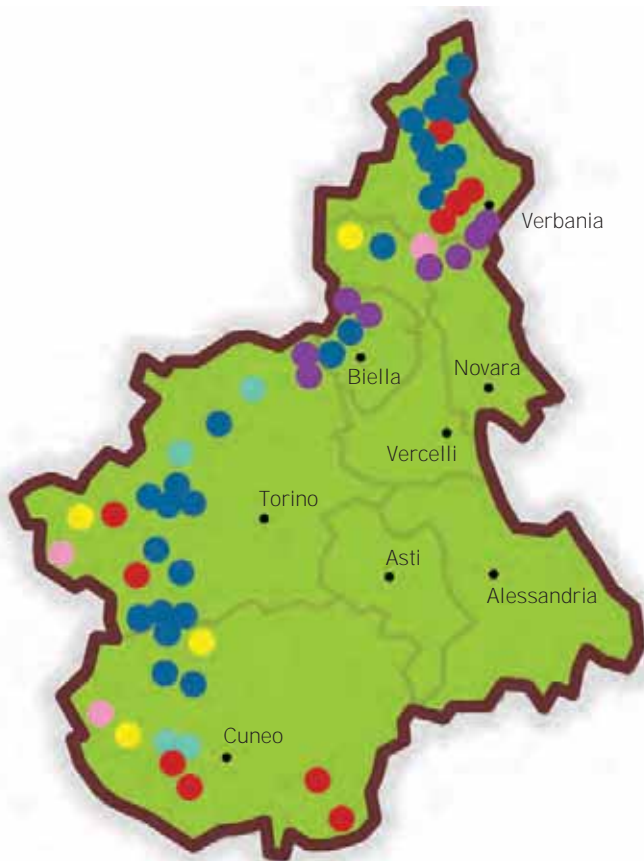
Scavo dei pun-  
ciot, incavi per  
inserire i cunei  
per spaccare i  
blocchi di roccia



espressione va oltre il puro significato meccanico dell'operazione estrattiva e sottolinea il profondo rapporto che legava un tempo gli uomini alla loro terra, fonte non solo di frutti agricoli, ma anche minerari e perciò da curare ed onorare. È indicativo come tutti i significati del verbo latino *colere*, ossia "coltivare, abitare, venerare", riflettano la figura di un uomo che trae dalla terra i suoi prodotti, senza offenderla, rispettandola: un'immagine molto lontana dallo sfruttamento minerario attuale.

Il grande flusso culturale che, partendo dal mondo greco-romano, attraverso il Medioevo e il Rinascimento, ha fortemente condizionato l'arte e l'architettura urbanistica di questa parte del nostro paese, ha fatto sì che venissero ricercati quei materiali che





per caratteristiche meccaniche e cromatiche erano meglio in grado di soddisfare le esigenze dei costruttori.

Naturalmente anche la vicinanza geografica ai luoghi di estrazione del materiale ha fatto la sua parte nella scelta delle rocce da utilizzare a questo scopo, almeno fino all'avvento della globalizzazione dei mercati.

Le rocce, oltre che come materiale per costruzione e ornamentale, sono state impiegate anche in senso industriale, là dove necessitavano grandi quantità di materiale dalle caratteristiche non particolarmente pregiate<sup>(1)</sup>.

È evidente che, se da un lato la nascita di una catena montuosa è in grado di far affiorare e mettere in stretto contatto rocce anche molto diverse tra loro, dall'altro lato proprio la struttura geologica della catena montuosa, caratterizzata da faglie, fratture, fenomeni di erosione, è in grado di condizionare negativamente l'attività estrattiva. Le cave infatti si trovano, il più delle volte,

Distribuzione delle principali cave di pietra ornamentale in Piemonte.

*In blu:* rocce silicee

(serizzi, beole, gneiss).  
*In viola:* rocce cristalline intrusive (sieniti, dioriti, graniti).

*In rossa:* rocce calcaree (marmi e alabastro di Busca).

*In rosa:* oficalci ("marmi verdi").

*In azzurro:* calcescisti per copertura di edifici.

*In giallo:* quarziti.

(1). Si pensi all'uso delle peridotiti per la fabbricazione di polvere abrasiva, delle serpentiniti per le massicciate ferroviarie, dei calcari nei dentifrici, ecc.

a sfruttare limitate porzioni “produttive”, caratterizzate da limitata fratturazione, discreto spessore degli orizzonti rocciosi, buona qualità del materiale.

Se soffermiamo la nostra attenzione sulla distribuzione delle principali cave di pietra ornamentale e da costruzione nella regione, ci accorgiamo che essa non è casuale, ma che esiste una precisa corrispondenza con le aree di affioramento dei principali complessi geologici che caratterizzano le Alpi. La particolare abbondanza di cave in alcuni di questi distretti è da mettere in relazione, oltre che con il pregio del materiale estratto e delle condizioni geologiche favorevoli, anche con lo svilupparsi nel tempo di una vera e propria tradizione o vocazione estrattiva nelle popolazioni, nonché con l'esistenza di un'efficiente rete di infrastrutture. La parte settentrionale della regione spicca per l'elevata concentrazione di cave di rocce silicee (graniti, sieniti, dioriti, gneiss), caratterizzate da notevole durezza e da una buona resistenza agli agenti atmosferici. Lungo un'ampia fascia che si estende dalla zona dei laghi (Lago Maggiore e Lago d'Orta) fino ad Ivrea, affiorano grandi masse di rocce ignee di età carbonifera, prevalentemente acide, legate all'orogenesi ercinica e facenti parte della cosiddetta “Serie dei laghi”.

Le varietà più pregiate di rocce ornamentali di questa zona sono il Granito rosa di Baveno (o del Mottarone), il Granito di Montorfano, il Granito verde di Mergozzo, il Granito di Alzo, il Granito di Omegna. Queste rocce si differenziano tra loro per la grana e per i gradevoli effetti cromatici (il rosa-rosso mattone derivante dall'ortoclasio, il verde da una mica cloritizzata, il bianco dall'abbondanza di feldspato potassico).

La qualità e la bellezza di queste rocce ornamentali ha fatto sì che venissero utilizzate in Italia e all'estero per opere di pregio, tra le quali si evidenziano: le colonne della Basilica di S. Paolo fuori le mura a Roma, quelle del Duomo di Novara, i rivestimenti della Mole Antonelliana e le centinaia di colonne dei portici dei principali corsi di Torino.

Altri materiali estratti nel settore settentrionale, sempre derivanti dal metamorfismo indotto dall'orogenesi alpina su masse granitiche di età ercinica, sono i Serizzi e le Beole. In particolare nell'alta Val d'Ossola, lungo le valli Antigorio, Formazza, Divedro e Devero, si coltiva il Serizzo, un ortogneiss a tessitura variamente scistosa a grana da medio-fine a grossolana, di colore generalmente chiaro, ma variabile a seconda del contenu-



Tipica architettura alpina, con esteso utilizzo della pietra locale per le murature e la copertura degli edifici.

to in biotite. La varietà che presenta grossi cristalli di feldspato potassico (occhi) è anche la più comune; per la sua elevata resistenza meccanica e la sua inalterabilità è molto usata come pietra ornamentale per esterni e per piani di calpestio interni (scale, pavimenti).

Sempre dalla Val d'Ossola proviene la Beola, anch'essa derivante dal metamorfismo di antichi graniti, con una tessitura scistosa nettamente orientata che la rende fissile, cioè facilmente suddivisibile a spacco in lastre piane di spessore sottile in corrispondenza dei livelletti scuri di biotite.

Parenti di queste rocce sono quelle che si trovano in un altro importante distretto marmifero del Piemonte, che si estende dalla bassa Valle di Susa fino al Monte Bracco. La loro distribuzione coincide con gli gneiss dell'Unità "Dora-Maira" che affiora, come dice la definizione, fra la Val Maira (in Provincia di Cuneo) e la Valle della Dora Riparia. Le rocce ornamentali più note in bassa Valle di Susa sono la Pietra di Borgone, la Pietra di San Giorio e Villarfocchiardo, la Pietra di San Basilio (presso Bussoleno) e la Pietra di Vayes. Molte costruzioni torinesi, oltre a porticati e palazzi, recano tracce di queste rocce: il Palazzo Reale, i ponti Regina Margherita, Umberto I e Isabella sul Po, i Murazzi, il Borgo Medioevale, la Chiesa di Santa Cristina in Piazza

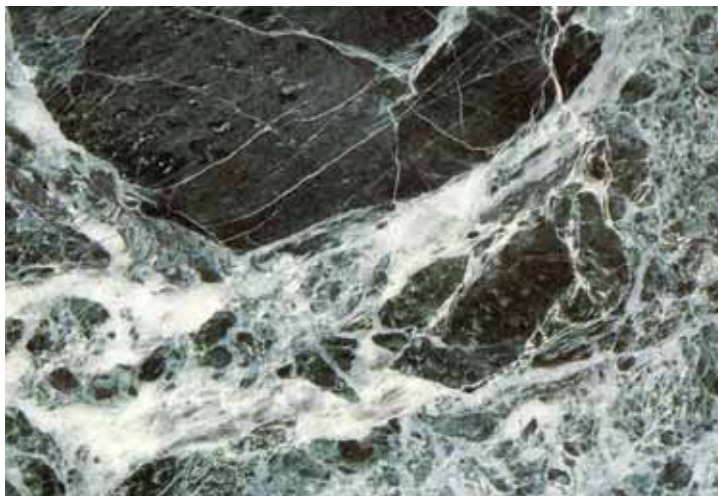
Sculpture ornamentali in  
marmo Verzino di  
Frabosa nel Castello di  
Govone (CN).

San Carlo. A cavallo tra la provincia di Torino e quella di Cuneo ci sono le coltivazioni della Pietra di Luserna, gneiss con occhi feldspatici generalmente fitti, minuti e allungati, scistoso e quindi facilmente suddivisibile in lastre dello spessore di alcuni centimetri. Tutte queste rocce, grezze o lucidate, hanno trovato impiego in rivestimenti e pavimentazioni esterne, nella realizzazione di tetti e gradini per scale. Si stima che circa l'80% dei gradini e dei marciapiedi della Torino storica sia stato realizzato con questa roccia.

Dalla complessa formazione mesozoica delle "pietre verdi" provengono sia materiali da costruzione (prasiniti, anfiboliti) utilizzati nell'architettura tradizionale, sia pietre ornamentali assai ricercate e di gran pregio esportate anche all'estero dopo lucidatura. Si tratta delle oficalci dal bel colore verde scuro con vene di calcite bianca a formare un reticolo irregolare. Esempi di queste rocce di natura brecciata sono il Verde Alpi Cesana e il Nero di Acceglio, che prendono il nome dalle rispettive località in Val Susa e in Val Maira. Della stessa formazione fanno parte i calcescisti, rocce calcaree che, sebbene di scarsa qualità, grazie alla loro grande diffusione sull'arco alpino occidentale e alla loro facile sfaldabilità in lastre sottili, occupano un posto di rilievo nell'utilizzo locale per la copertura dei tetti.

Se si esamina la famiglia dei marmi, vale a dire rocce carbonatiche metamorfosate (mentre in termini commerciali essi comprendono anche rocce di natura silicatica purché lucidabili), la varietà delle pietre che l'uo-





mo ha utilizzato con scopi ornamentali è davvero grande. Oltre alle caratteristiche meccaniche hanno assunto spesso un'importanza predominante le venature di colore e la tessitura della roccia, cosicché, per sfruttare particolari "giacimenti", in passato si sono coltivate cave in alta montagna, in luoghi di difficile accesso e con alta percentuale di sfridi. Oggi molte di queste rocce non sono più coltivate, ma ne resta testimonianza negli edifici e nei monumenti.

Il marmo più famoso è senz'altro quello di Candoglia, in sinistra del Fiume

Particolare del "Verde Accoglio", anche detto "Marmo verde" oggi non più estratto, ma un tempo pietra molto richiesta per scopi ornamentali.

Toce all'inizio della Val d'Ossola, già noto ai tempi dei Romani e usato da quasi sei secoli esclusivamente per la costruzione e la manutenzione del Duomo di Milano. Molto antico è anche lo sfruttamento, oggi non più attivo, dei marmi di Chianocco e di Foresto in Valle di Susa, utilizzati nel I secolo a.C. per la costruzione dell'Arco d'Augusto e parte dell'acquedotto di Susa. L'impiego di queste rocce dal colore chiaro, variabile dal bianco al rosa, con sfumature gialle e verdine, si è spinto sino all'epoca sabauda durante la quale furono tra le più utilizzate a scopo decorativo: ne sono testimonianza numerosi palazzi, chiese e statue che ornano il centro di Torino, fra cui il Duomo di San Giovanni (rivestimento esterno) e la facciata di Palazzo Madama. La provincia di Cuneo ha rappresentato, soprattutto in passato, una zona marmifera importante in quanto a varietà di materiali prodotti in limitate quantità e spesso oggi non più coltivati. Ricordiamo tra questi: il Diaspro rosso di Garessio, il Rosato di Rocca Rossa presso il Col di Nava, la Breccia di Casotto, la Breccia



Cipollino dorato.

di Limone, l'Alabastro calcareo di Busca, il Verzino Frabosa, il Nero Nuvolato Alpi ed altri ancora. Molto pregiati il "Verde Acceglio" (associazione di verde serpentino e bianche vene calcaree) ed il Cipollino di Valdieri, dal fondo dorato su cui spiccano vene di colore verde oliva fino a viola, mentre sempre nei pressi della stessa località esistono altri marmi bianchi e grigi tra i quali il più noto era il Bardiglio di Valdieri. Citiamo infine la famosa Quarzite di Barge, roccia silicea derivata dal metamorfismo di antiche arenarie, che si coltiva in un banco potente una quindicina di metri sul Monte Bracco tra Barge e Sanfront.

Le particolari condizioni che hanno portato alla formazione di un determinato tipo di roccia, tanto quelle chimico-fisiche che quelle legate alla deformazione responsabile della tessitura e della struttura, fanno sì che essa rappresenti un *unicum* nel suo genere. Il fatto che la risorsa non sia illimitata e che si siano introdotte tecniche di coltivazione via via più invasive, ha permesso che poco alla volta maturasse la coscienza che l'utilizzo e la valorizzazione di questi materiali deve trovare un giusto equilibrio con la tutela dell'ambiente e la conservazione delle sue peculiarità geologiche per le generazioni future.



## Un complesso mosaico di rocce

> di F. Bonetto

Da quasi tre secoli le Alpi sono percorse da uomini che non si accontentano più di osservarne meravigliati i panorami, di cacciarne la fauna o di utilizzarne la flora. Con l'Illuminismo, il Secolo dei lumi, nasceva anche la figura del naturalista-scienziato, colui che oltre ad osservare, raccogliere e ordina anche le informazioni e cerca di elaborare teorie ed ipotesi su determinati fenomeni e aspetti della natura.

Le Scienze geologiche erano allora appena agli albori e sovente comprese all'interno di branche più vaste, le Scienze naturali appunto, quando non addirittura accessorie a studi che oggi considereremmo completamente estranei (Paccard, il primo a salire il Monte Bianco insieme al cercatore di cristalli Balmat, era un medico).

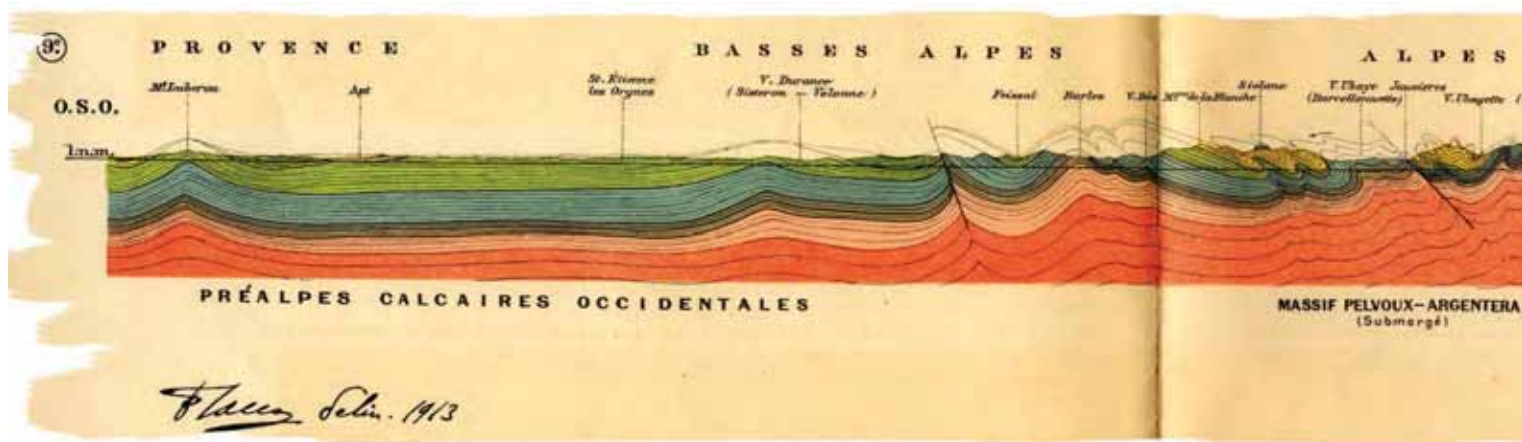
Il lavoro paziente e tenace di generazioni di geologi, aiutati dal progredire tecnico dei mezzi di indagine, ha fatto sì che le Alpi siano una delle catene montuose più studiate della Terra, ma anche la palestra ideale per verificare nuove ipotesi scientifiche. L'osservazione metodica delle rocce esposte sui versanti e nelle incisioni dei corsi d'acqua, aveva fin da subito messo in luce l'esistenza, al loro interno, anche di fossili di organismi vissuti in ambiente marino, per cui sorgeva la necessità di dare una spie-



Gabriel Paccard, vincitore del Monte Bianco, scruta ancora la via di salita dalla piazza principale di Chamonix.

gazione alla loro distribuzione spaziale, superando il concetto di casualità e di capriccio naturale, per rispondere invece a criteri di complessa logica geometrica. Con la nascita della cartografia geologica, dapprima ad opera dei geologi transalpini (svizzeri soprattutto), si incominciò finalmente a raggruppare le diverse “famiglie” di rocce secondo criteri di omogeneità, confrontandole con altre rocce simili per contenuto di minerali, di fossili, o anche solo per l'aspetto esteriore.

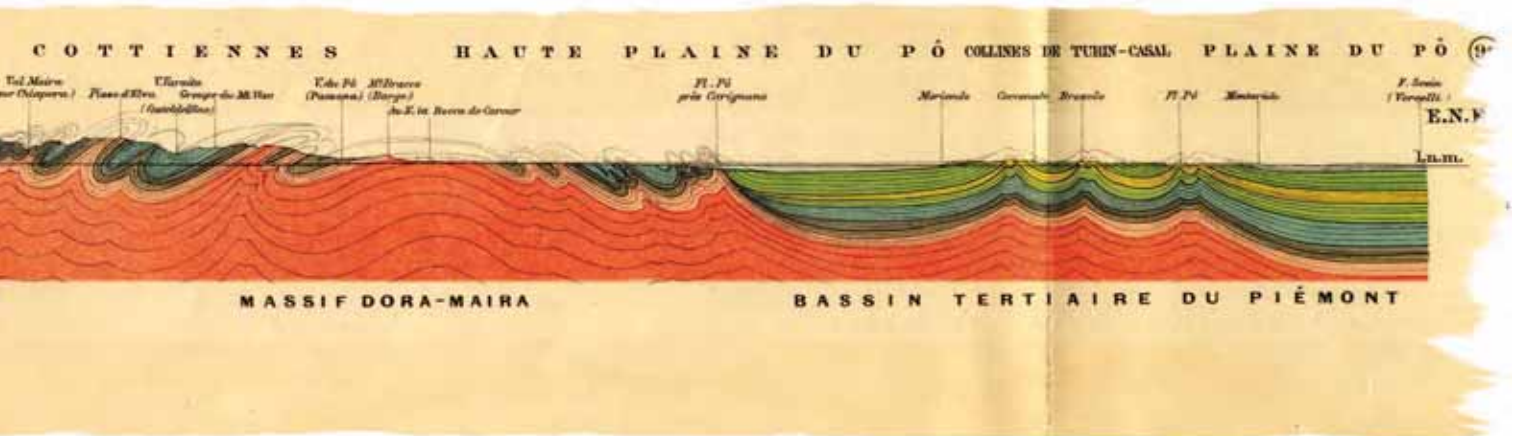
Le rocce che costituiscono le Alpi vennero così suddivise secondo approcci differenti, a seconda della scuola di pensiero dominante nei vari periodi, primo fra tutti quello prettamente stratigrafico, secondo il quale i terreni che stanno più in profondità sono necessariamente più antichi di quelli che stanno in superficie. Per spiegare il metamorfismo (fenomeno di riequilibrio mineralogico al variare delle condizioni di temperatura e pressione in cui viene a trovarsi la roccia) che interessa gran parte della catena, si faceva ricorso a meccanismi di sprofondamento dei sedimenti, che andavano via via compattandosi e trasformandosi in rocce,



entro depressioni crostali (teoria molto in voga fino ai primi del '900 detta della "geosinclinale"). In quel periodo storico la nascita delle catene montuose veniva ancora ascritta a fenomeni di contrazione della crosta terrestre in seguito al raffreddamento del pianeta. Secondo tale meccanismo le rocce formatesi all'interno di una geosinclinale si sarebbero successivamente corrugate, come la buccia di una mela raggrinzita, una dinamica essenzialmente di tipo plastico capace di mantenere comunque una certa unitarietà stratigrafica. Un bell'esempio di applicazione di questa teoria sono i profili geologici tracciati da Federico Sacco attraverso le Alpi occidentali nel suo lavoro del 1913.

Il riconoscimento sul terreno, a cavallo tra '800 e '900, di numerose ed estese porzioni di crosta più "vecchia" in posizione sovrastante a rocce più "giovani" (datate grazie ai fossili che contenevano) incominciava però a mettere in crisi un modello del genere ed obbligava gli studiosi ad ipotizzare l'esistenza di falde di ricoprimento, evoluzione di pieghe di enorme sviluppo rovesciate le une sulle altre durante i movimenti

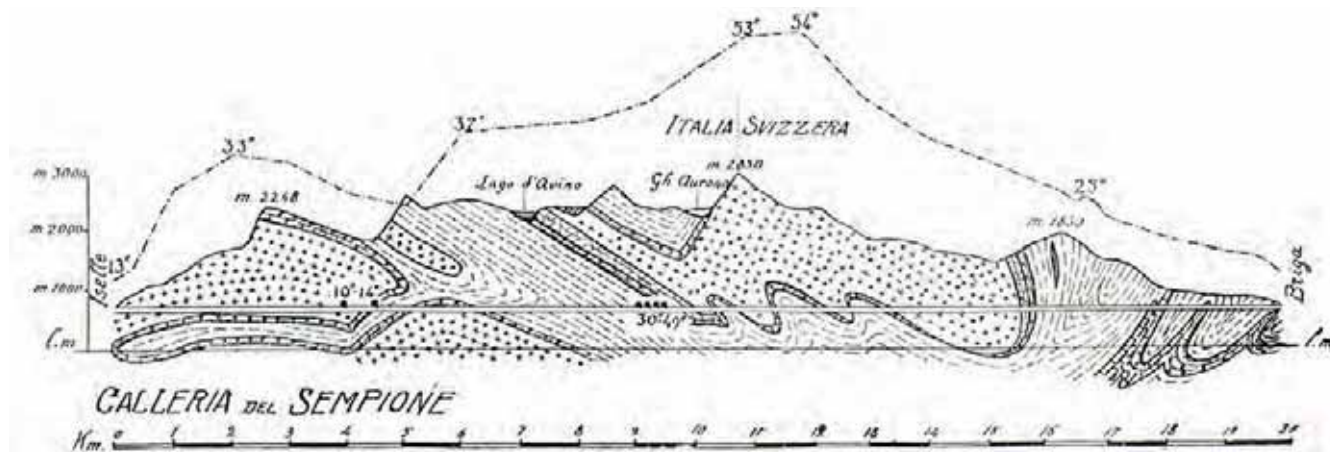
Profilo geologico tratto da "Les Alpes Occidentales" di Federico Sacco, 1913.



Profilo geologico storico stilizzato del Sempione: è stato a partire dalla disposizione e struttura delle formazioni rocciose messe in luce dai primi trafori ferroviari che Emile Argand ipotizzò la teoria di un'evoluzione della catena alpina per grandi pieghe e sovrascorrimenti.

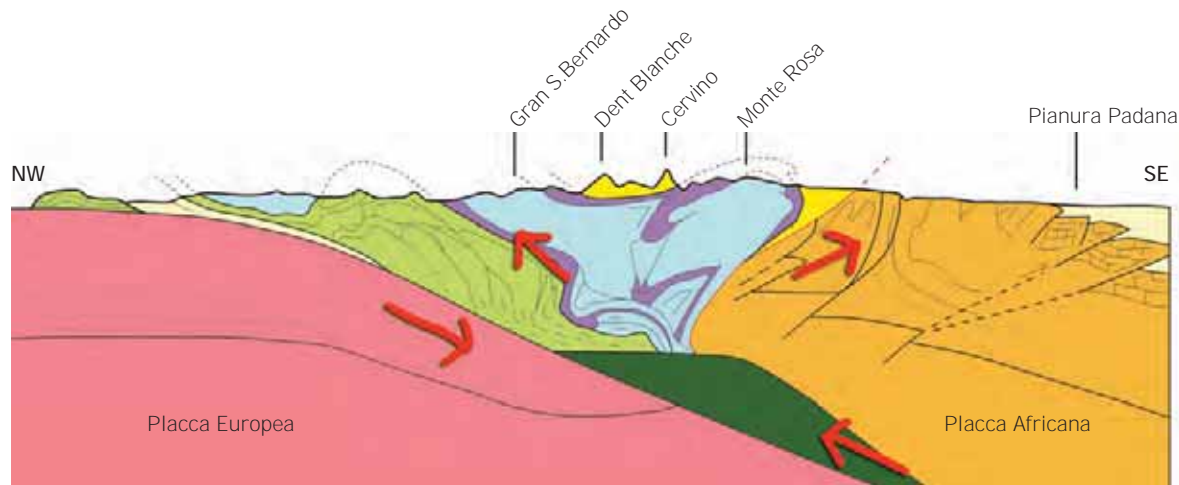
orogenetici. Nei primi decenni del secolo scorso, ad opera principalmente del geniale scienziato tedesco Alfred Wegener, si andava formando l'ipotesi che il motore di questi movimenti non fosse la contrazione del pianeta, ma lo spostamento delle placche continentali in movimento reciproco tra loro, alla "deriva" su uno strato assimilabile, alla scala dei tempi geologici, ad un fluido. In questo modo il meccanismo "fissista" veniva sostituito da quello "mobilista" e la formazione di pieghe e di falde di ricoprimento poteva giustificare raccorciamenti crostali dell'ordine delle centinaia di chilometri. Una magistrale sintesi delle nuove teorie orogeniche nelle Alpi si deve senza dubbio allo svizzero Emile Argand che applicò il concetto di "cilindrismo" (sviluppo di pieghe in senso longitudinale lungo l'asse della catena) a tutte le Alpi.

Man mano che si venivano acquisendo nuovi dati, grazie a tecniche di indagine più sofisticate e anche indirette (geochimica, cronologia radiometrica, geofisica, misure GPS, ecc.), anche questo modello evolutivo veniva ulteriormente messo in discussione ed affinato fino a giungere negli ultimi decenni del secolo all'interpretazione oggi comunemente accettata. Le Alpi sono il risultato, provvisorio, dello scontro tra le plac-





che continentali europea ed africana, un tempo (Era mesozoica, cioè fra circa 251 e 65 milioni di anni fa) divise da un oceano oggi scomparso, ma di cui permangono cospicue tracce nelle rocce marine che formano molte montagne. I rilievi della catena sono formati da una grande varietà di rocce sedimentarie (calcari, sali,



Profilo geologico semplificato attraverso le Alpi nord-occidentali (da G. V. Dal Piaz e altri, 2003, ridisegnato da P. Pozza).

- |  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|   | Crosta e Mantello di origine europea   |  | Rocce del margine continentale africano      |
|   | Crosta e Mantello di origine africana  |  | Unità tettoniche sepolte                     |
|   | Crosta (Ofioliti o "pietre verdi") e sedimenti dell'Oceano Ligure-Piemontese |  | Direzione del trasporto tettonico (vergenza) |
|   |  |  | Linea insubrica o lineamento periadriatico   |
|  | Rocce del margine continentale europeo                                       |   |  |

gessi, travertini, conglomerati, rocce fossilifere, ecc.), metamorfiche (gneiss, micascisti, calcescisti, marmi, serpentiniti, ecc.) e magmatiche (graniti, porfidi, gabbri, basalti, ecc.) appartenenti in origine alle placche europea, africana e all'oceano un tempo interposto. Alcune di queste rocce ci parlano, con i loro minerali e le loro strutture, di cicli metamorfici più antichi di quello che ha accompagnato il sollevamento delle Alpi, il che significa che le nostre montagne hanno ereditato frammenti di catene montuose di oltre 300 milioni di anni fa, oggi non più esistenti.

I profili interpretativi, frutto delle più recenti indagini, ci parlano di una placca europea sprofondata in parte sotto a quella africana, di un oceano “scomparso” e di una struttura della catena con una doppia vergenza, verso il lato interno (africano) che dà sulla pianura Padana e verso il lato esterno (europeo), che si sono deformati ed arricciati come succede alle carrozzerie di due automobili dopo uno scontro frontale. In corrispondenza dei paraurti, cioè nella fascia assiale della catena, troviamo la parte più deformata e complessa delle Alpi, dove brandelli di crosta europea e africana sono stati strappati dai bordi superiore ed inferiore delle rispettive placche in movimento e si trovano ora frammisti ai resti dell'oceano “perduto” come i trucioli sul banco del falegname<sup>(1)</sup>.

Compito della geologia moderna è indagare questo complesso mosaico o puzzle geologico attraverso sempre nuovi strumenti di indagine (geologia strutturale per le fasi deformative, curve pressioni-temperatura dei minerali per stabilire le fasi di esumazione delle rocce, ecc.). L'escursionista preparato saprà così qual è l'origine dello straordinario patrimonio paesaggistico che può ammirare. Forme e fenomeni geologici (massicci montuosi, ghiacciai, cascate, torrenti e laghi, circhi glaciali, morene, valli, gole, guglie, creste, piramidi di erosione, conche, terrazzi, versanti, conoidi...) rappresentano la prima vera ragione del turismo alpino!

(1). Siamo in una sorta di terra di nessuno, prodotta da un raccorciamento crostale di centinaia di chilometri, costituita dalla parte visibile del prisma di accrezione, così chiamato perché cresce al procedere della collisione continentale e della subduzione di una placca sotto l'altra. Come si vede, lo stile della deformazione è molto diverso da quello plastico immaginato nei primi anni del '900 ed assomiglia molto di più ad un mazzo di carte mescolato con forza.

## Il passato remoto del territorio

> di F. Bonetto

Le Alpi, con circa 1.200 km di lunghezza e 200.000 km<sup>2</sup> di superficie, rappresentano solo la parte più occidentale di un grande sistema orogenico (insieme di catene montuose) detto Alpino-Himalayano, formatosi in un periodo geologico relativamente recente del nostro pianeta compreso tra 100 e 30 milioni di anni fa. Oggi, grazie alla teoria della “Deriva dei continenti”, ci è abbastanza facile ricostruire il percorso delle grandi zolle continentali e dei loro spostamenti reciproci nel corso delle ultime ere geologiche. Proviamo a immaginarci la superficie della Terra come la pista di un’autoscontro dove le macchinine rappresentano le zolle continentali. L’unica differenza con il gioco dei luna-park, a parte gli spostamenti nell’ordine dei tempi geologici, è che le macchinine non hanno un motore loro, ma si muovono perché è la pista a spostarsi in diverse direzioni e con diverse velocità, spinta da un motore che sta sotto. Quando le macchinine si allontanano vuol dire che un nuovo pezzo di pista si sta formando tra di loro ma, siccome i bordi dell’autoscontro sono fissi e definiti, vuol anche dire che da qualche parte del gioco due automobili si staranno invece avvicinando perché la pista fra di loro si sta consumando. Se ora sostituiamo al motore, che sta sotto, il calore interno della Terra e alla pista la parte più superficiale del nostro pianeta, la cosiddetta litosfera, il gioco è fatto! Riusciamo ora a vedere anche gli scontri tra le automobili, almeno quelli verificatisi negli ultimi 200 milioni di anni, ricostruendo dove la

30 milioni di anni fa



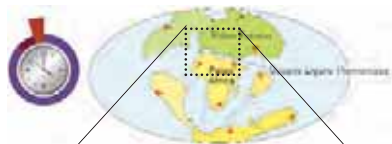
150 milioni di anni fa







Schema della Deriva dei Continenti.

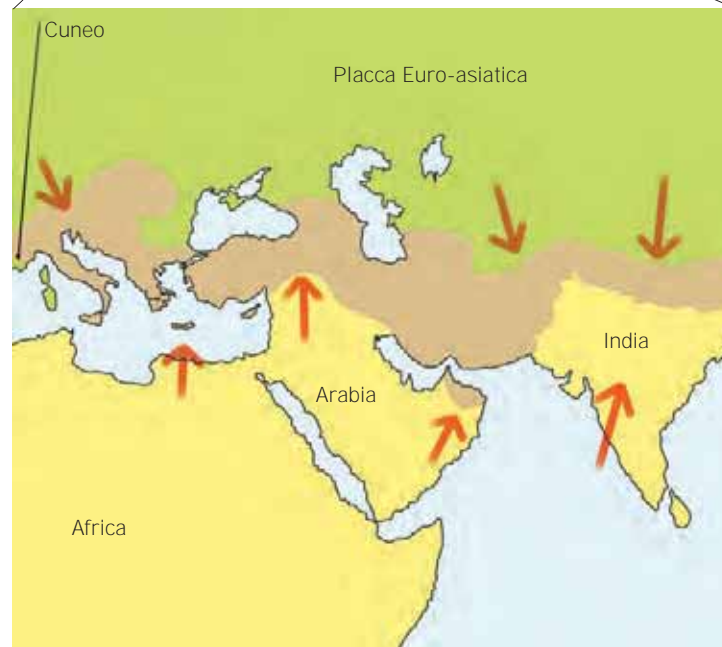
Schema tettonico geografico delle catene Alpino-Himalayane.

150 milioni di anni fa



-  Placca Euro-asiatica
-  Blocchi continentali dell'antica terra di Gondwana.
-  Catene montuose alpino-himalayane
-  Principali spostamenti crostali

30 milioni di anni fa



pista si è formata (con l'apertura di nuovi oceani) e dove invece si è consumata fino a sparire, con un processo chiamato di subduzione, ossia di sprofondamento, sotto un'altra placca continentale.

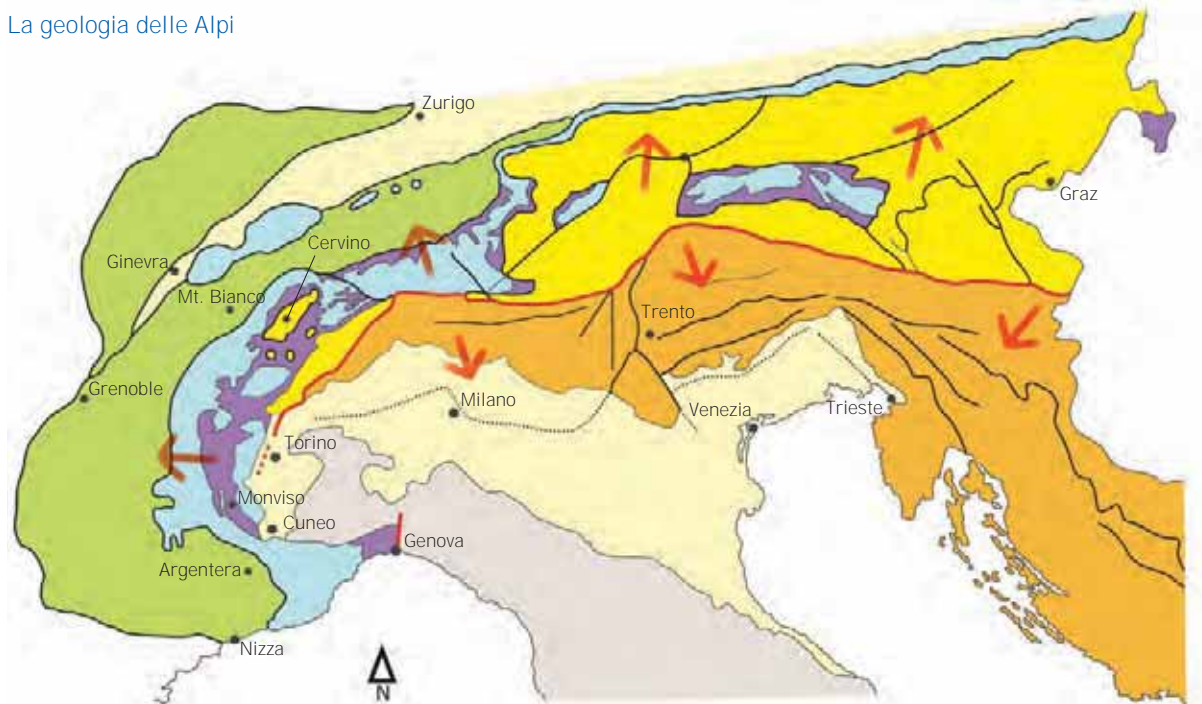
Il sistema Alpino-Himalayano rappresenta una cicatrice, lunga molte migliaia di chilometri, di un settore di oceano oggi scomparso perché consumato dalla subduzione della Placca Euro-asiatica sotto la Placca africana, frammento di quel grande super-continente chiamato Terra di Gondwana<sup>(1)</sup>. I ricercatori che hanno studiato questa lunga catena montuosa hanno scoperto che in alcuni luoghi sono conservate le rocce di una orogenesi, detta ercinica, di molto antecedente a quella alpina e datata a circa 300 milioni di anni fa. Il perché queste rocce siano inglobate adesso nelle Alpi è sempre una conseguenza della tettonica a zolle e fa parte dell'eterno ciclo delle rocce che nascono più o meno in profondità, vengono portate in superficie dalla collisione dei continenti e poi tendono a tornare agli oceani sotto forma di detriti strappati alle montagne dall'erosione. Nel caso delle catene montuose erciniche (di cui il Massiccio Centrale francese è un esempio a noi vicino) si può fare l'esempio di un sacco di cemento appoggiato su un nastro trasportatore (la placca in movimento), che corre verso una betoniera (la zona di collisione continentale tra due placche). Quando il sacco cade nella betoniera (subduzione), può darsi che alcuni blocchi di cemento non si scioglano bene nell'impasto e che, quando la malta solidificherà, sia ancora possibile riconoscerli.

Naturalmente pensare alle Alpi come a un "impasto di rocce" è una semplificazione molto grossolana, ma può rendere bene l'idea delle trasformazioni a cui sono state soggette le rocce appartenenti in origine alle placche europea, africana ed oceanica coinvolte. Non a caso le rocce maggiormente rappresentate sono quelle metamorfiche (gneiss, micascisti, calcescisti, marmi, serpentiniti, ecc.), seguono quelle sedimentarie (calcari, sali, gessi, travertini, rocce fossilifere, ecc.) e, infine, quelle magmatiche (graniti, porfidi, gabbri, basalti, ecc.). Oggi tali rocce si presentano mescolate, deformate, spezzate a seguito dell'azione delle forze tettoniche che hanno agito prevalentemente da Sud-Est a Nord-Ovest, corrugando questa significativa zona della crosta terrestre.

(1). Si ritiene che Gondwana si trovasse in tempi lontanissimi nell'emisfero australe; unendosi successivamente (verso la fine del Paleozoico) alla Placca Euroasiatica (posta nell'emisfero boreale) essa formò la Pangea, il continente unico, circondato da un unico oceano.



Schema geologico strutturale delle Alpi semplificato.



Direzione del trasporto tettonico ("vergenza").



Linea insubrica o lineamento periadriatico



Pianure adiacenti alla catena (sedimenti alluvionali e glaciali)



Rocce del margine continentale europeo (Dominio Elvetico)



Crosta (ofioliti o "pietre verdi") e sedimenti dell'Oceano Ligure-Piemontese (Dominio Pennidico).



Rocce del margine continentale africano (Dominio Austroalpino) Nord Vergenti.



Rocce del margine continentale africano (Alpi meridionali) Sud Vergenti.

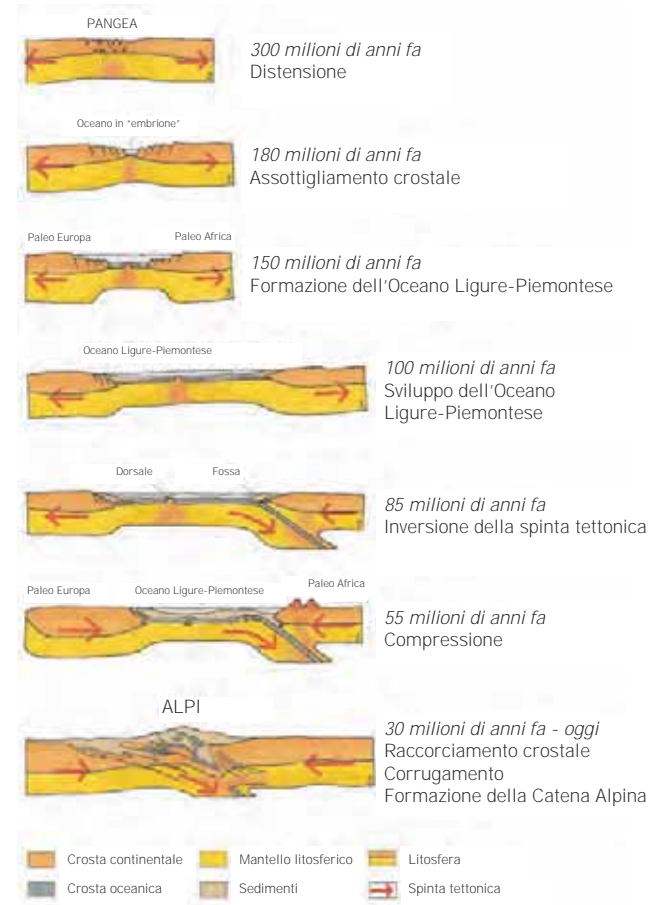


Appennini

## La suddivisione geologica delle Alpi

Se vogliamo conoscere un po' più da vicino la geologia delle Alpi, dobbiamo prima familiarizzare con una terminologia particolare. Tutti noi conosciamo dai tempi della scuola la classica suddivisione geografica delle Alpi (Marittime, Cozie, Graie, ecc. ecc.), per ricordare la quale i più smalizati mandavano a memoria la classica filastrocca "ma con gran pena le reca giù". I geologi hanno cercato anch'essi di suddividere le Alpi, ma per farlo hanno utilizzato la grande varietà di rocce presenti e i loro rapporti reciproci. Quello che salta subito all'occhio, in uno schema geologico strutturale semplificato, è che le rocce alpine possono essere raggruppate in quattro principali settori geologici, definiti "domini", separati da importanti superfici tettoniche (le linee rosse o nere) e caratterizzati da storie geologiche simili, all'interno di ogni dominio, ma differenti rispetto ai settori contigui.

La struttura geologica dell'edificio alpino si presenta molto complicata essenzialmente a causa delle dislocazioni e deformazioni delle rocce avvenute lungo le superfici tettoniche (importanti traslazioni in senso orizzontale e verticale), per le grandi masse rocciose attualmente sepolte sotto i depositi recenti delle pianure adiacenti alla catena e per i fenomeni di erosione che hanno cancellato parte delle successioni di rocce. Tuttavia è riconoscibile una distribuzione di questi domini grossomodo



paralleli tra loro. All'interno di questi domini i geologi hanno poi distinto dei sottoinsiemi a loro volta omogenei, sovrapposti gli uni agli altri con falde e scaglie intensamente deformate da piccole ed ampie pieghe, detti complessi rocciosi.

La nomenclatura di questi complessi risente del momento storico in cui è stata concepita, oltre che della loro estensione geografica o della loro composizione litologica; è rimasta tuttavia in uso fino ad oggi. Troviamo così rappresentati sulle carte geologiche delle Alpi il “Complesso dei calcescisti con pietre verdi”, il “Dora-Maira”, il “Sesia-Lanzo”, l’“Aar-Gottardo”, le “Dolomiti”, le “Arenarie di Val Gardena”, il “Granito di Bressanone” e altro ancora.

Citiamo questi complessi quasi a titolo di curiosità e non ne parleremo più se non come riferimento, per non introdurre un'eccessiva complicazione nel discorso. In questa sede ci basti sapere che, procedendo dall'interno della catena (Pianura Padana) verso l'esterno (Francia, Svizzera ed Austria), sono stati distinti i seguenti quattro domini: Alpi Meridionali (o Sudalpino), Austroalpino, Pennidico ed Elvetico.

## Le Alpi Meridionali

Le Alpi Meridionali sono delimitate a Nord da una grande superficie tettonica (Linea Insubrica<sup>(2)</sup> o Linea Periadriatica), mentre il loro margine meridionale è sepolto al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana e dei fondali del Mare Adriatico. Si estendono dalla zona di Ivrea sino oltre l'Istria per circa 500 km in senso Ovest – Est e circa 50-150 km in senso Nord-Sud.

Tutte le rocce che troviamo in questo dominio fanno ancora parte della placca africana, sovrascorsa su quella europea durante la collisione continentale. Di questa collisione esse portano le tracce attraverso le spinte tettoniche che hanno conferito alle falde rocciose un orientamento (vergenza) verso Sud, quasi un contraccolpo che ha arricciato il bordo della placca superiore verso l'interno. Altra caratteristica comune è l'assenza di significative trasformazioni mineralogiche di epoca alpina (metamorfismo), proprio perché il settore è

(2). La Linea Insubrica è una mega faglia lungo la quale si sono impostate alcune grandi valli alpine longitudinali alla catena alpina come la Valtellina. Queste valli costituiscono una anomalia rispetto all'assetto in genere radiale delle valli alpine che sono invece l'esito dell'erosione dei ghiacciai guidato dalla discesa verso le vicine pianure a Sud ed a Nord delle Alpi. L'andamento longitudinale rispetto alla catena alpina testimonia la forte attività tettonica determinatasi lungo tali superfici o faglie.



Le Tre Cime di Lavaredo, tra le più straordinarie sculture naturali delle Dolomiti, dovute all'erosione di una barriera corallina risalente a circa 220 – 210 milioni di anni fa, emersa nel corso del sollevamento alpino.

stato deformato, ma ha mantenuto una generale contiguità con la placca africana e soprattutto non è stato trascinato nelle profondità della Terra. L'increspatura ha coinvolto porzioni della crosta continentale africana a livello via via più profondo man mano che si procede da Est verso Ovest; nella zona occidentale infatti, nei pressi di Ivrea, si trova uno dei pochi spaccati al mondo dove sono esposte rocce provenienti dalla zona di transizione tra la crosta continentale e il sottostante mantello litosferico, mentre nelle Alpi Orientali (esempio classico le Dolomiti) prevalgono di gran lunga le rocce sedimentarie.

Le Alpi Meridionali sono costituite in prevalenza da un basamento di rocce metamorfiche e magmatiche di età paleozoica (ric conducibili quindi alla precedente orogenesi ercinica da 542 a 251 milioni di anni fa) in gran parte coperto da una spessa coltre di rocce sedimentarie di età mesozoica (da 251 a 65 milioni di anni fa). Fra le rocce risalenti alla fine del Paleozoico vi sono numerosi graniti come quelli di Cima d'Asta,

Bressanone e Monte Croce (in Trentino-Alto Adige) ed i cosiddetti “Graniti dei Laghi” fra il Lago Maggiore ed il Lago d’Orta in Piemonte (Montorfano, Mottarone, Baveno, Alzo). Allo stesso periodo risale il ciclo di rocce effusive con i porfidi del Trentino-Alto Adige (Val di Fiemme, Lagorai...), del Lago di Lugano e della bassa Valsesia (Gattinara). La grande abbondanza di rocce sedimentarie relativamente ben conservate in questo dominio ci permette di ricostruire l’evoluzione del loro ambiente di formazione: si passa così da condizioni di mare basso con lagune a ridosso di coste sabbiose (gessi del Passo Valles) a piattaforme coralline (Marmolada, Catinaccio, Latemar, Sassolungo...), a paludi con sedimentazione da correnti di marea (“Dolomia Principale” delle Tre Cime di Lavaredo, Cristallo, Tofane, Pelmo...) sino a sedimenti da frane sottomarine su fondali più profondi (Marne del Puez, Flysch lombardo). Ma le rocce più rappresentate sono indubbiamente quelle di ambiente corallino e lagunare che hanno abbracciato un grande arco di tempo, dal Trias al Cretaceo, oggi note come Dolomiti<sup>(3)</sup>.

Infine, in epoca relativamente recente (circa 30 milioni di anni fa), dopo la nascita delle Alpi, lungo l’allineamento della Linea Insubrica sono risaliti dei magmi che sono andati a formare delle rocce intrusive (sienite della Balma, granodioriti del Massiccio dell’Adamello-Presanella).

## Il Dominio Austroalpino

Dal punto di vista paleogeografico il Dominio Austroalpino appartiene anch’esso al continente africano ma, a differenza delle Alpi Meridionali, non è più in continuità con la placca di provenienza e viene interpretato come un insieme di falde bruscamente traslate in direzione di Francia, Svizzera ed Austria dai movimenti tettonici seguenti allo scontro fra Africa ed Europa, circa 100 milioni di anni fa, da cui il loro orientamento (vergenza) verso l’esterno della catena. A seguito della compressione e del “raccorciamento” crostale successivo allo scontro, queste falde si sono dunque accavallate e sovrapposte alle rocce del Dominio Pennidico, raggiungendo addirittura la Svizzera ed il Salisburghese, con spostamenti anche di un centinaio di chilometri.

(3). In Piemonte, l’estremità occidentale delle rocce carbonatiche forma le alture del Monte Fenera e di Sostegno (allo sbocco della Valsesia).



tri rispetto all'area di origine. Le rocce austroalpine affiorano limitatamente nel settore occidentale e in modo più esteso in quello orientale delle Alpi, particolarmente in Austria, da cui traggono il nome.

Nelle Alpi Occidentali esse sono testimoniate da alcune scaglie isolate, mentre nelle Alpi Orientali la loro continuità a Nord della Linea Insubrica è invece interrotta da due “finestre” di erosione che permettono alle sottostanti rocce del Dominio Pennidico di affiorare in Engadina e Alti Tauri.

Le falde austroalpine sono costituite essenzialmente da rocce continentali di età paleozoica, prevalentemente gneiss e mica-scisti di alto grado metamorfico (condizioni di temperatura e pressione elevati) come nel caso dei micascisti eclogitici della Zona Sesia-Lanzo (fra le Valli di Lanzo, la Valle d'Aosta e la Val Sesia) o delle kinzigiti (rocce metamorfiche derivate da antichissimi e fini sedimenti).

Appartengono al Sistema austroalpino quasi tutte le Alpi Austriache, i massicci del Bernina e Ortles-Cevedale, mentre nelle Alpi Occidentali citiamo fra gli altri l'Emilius, la Dent Blanche e i 2/3 superiori della piramide del Cervino.

## Il Dominio Pennidico

Il Dominio Pennidico, costituisce il settore più deformato e



Il Cervino, per 2/3 costituito da rocce africane traslate su rocce oceaniche (alla base della montagna) a seguito dei movimenti tettonici che hanno accompagnato il sollevamento alpino.

La parete Sud del Monte Rosa con la Punta Parrot (4.436 m, a sinistra) e la Punta Gnifetti (4.559 m, a destra), in gran parte costituita da gneiss e graniti di età pre-alpina, precipita verso l'alta Val Sesia solcata dai ghiacciai.



tormentato della catena: qui le rocce si presentano con molteplici ripiegamenti, numerose faglie ed un'impronta metamorfica sovente di alta pressione. Questo settore è maggiormente rappresentato nelle Alpi Occidentali, dove descrive un arco parallelo alla catena montuosa che si interrompe quasi bruscamente verso Est nelle Alpi centrali per riaffiorare isolatamente in Engadina e negli Alti Tauri al di sotto del Dominio Austroalpino. Verso l'esterno delle Alpi questo dominio è delimitato da un altro grande lineamento tettonico, il Fronte Pennidico, che segna il confine con la placca europea. Il Dominio Pennidico potrebbe essere efficacemente rappresentato come una sorta di cicatrice o sutura tra due continenti, dove le rocce che troviamo oggi hanno avuto origini e percorsi assai diversi tra loro e sono state trascinate a grande profondità prima di emergere nuovamente. La struttura e la costituzione di questa porzione dell'edificio alpino lasciano supporre che siano in contatto fra loro rocce sia oceaniche che continentali, che in origine erano in posi-

zione più distante, organizzate in falde di ricoprimento durante l'orogenesi.

A questo dominio vengono sostanzialmente attribuite:

- > rocce di basamento continentale di zone prossime all'Oceano pre-alpino di età paleozoica: granitoidi e gneiss del Dora-Maira (fra la Provincia di Cuneo e la Valle di Susa), del Gran Paradiso e del Monte Rosa, micascisti, gneiss e meta-sedimenti del Brianzone – Gran San Bernardo;

- > rocce della crosta dell'Oceano pre-alpino (Oceano Ligure-Piemontese) di età mesozoica: rocce magmatiche come peridotiti, gabbri, basalti e loro derivati metamorfici (serpentiniti, anfiboliti, prasiniti, ecc.), nell'insieme dette “pietre verdi” o “ofioliti”;

- > coperture sedimentarie che si depositavano sulla crosta oceanica, anch'esse di età mesozoica, comprendenti: rocce di ambiente lagunare come gessi, giacimenti di sale e carnirole, rocce calcareo-dolomitiche di ambiente corallino, sedimenti fini di fondale profondo divenuti calcescisti o radiolariti, alternanze di arenarie e marne di frane sottomarine (torbiditi e flysch).

Naturalmente tutte queste rocce, proprio perchè trascinate in profondità secondo diverse traiettorie nella subduzione derivante dallo scontro tra le placche, hanno subito un'evoluzione metamorfica di diverso grado.



La Testa del Claus (2.889 m), scolpita nel granito del Massiccio dell'Argentera, domina il Pian del Valasco, splendida meta del Parco Naturale delle Alpi Marittime.

## ■ Il Dominio Elvetico

In questo settore, ben rappresentato dalla Costa Azzurra sino alla Svizzera (da cui il suo nome) passando per Delfinato e Savoia, affiorano rocce provenienti dalla placca europea. Il Dominio Elvetico comprende le rocce più esterne alla catena alpina, con deformazioni intense, ma superficiali, caratterizzate dall'assenza di rocce oceaniche (pietre verdi) e di metamorfismo. Mentre il basamento crostale europeo sprofondava e scompariva sotto la placca africana, le coperture sedimentarie sovrastanti si andavano accavallando e rovesciando verso l'esterno della catena, dando anche qui origine a grandi falde di ricoprimento con vergenza verso Nord-Ovest. Il confine meridionale di questo dominio è il Fronte Pennidico (lineamento che marca in superficie il limite del piano di subduzione tra le placche).

Al Dominio Elvetico appartengono sostanzialmente due tipologie di rocce:

- > rocce di basamento cristallino continentale di età paleozoica e di “provenienza europea” come graniti (Argentera, Pelvoux, Monte Bianco, Aiguille Rouges, Belledonne, Aar Gottardo), gneiss e micascisti, che, con il loro allineamento, marcano con continuità l'orlo del piano di subduzione che sprofonda sotto alla catena;
- > rocce sedimentarie di età mesozoica di copertura dell'antica crosta continentale, scollatesi dalla crosta in seguito al sollevamento alpino e scivolate ai margini dei principali massicci cristallini o traslate verso Nord Ovest. In analogia a quanto abbiamo visto per il Dominio delle Alpi Meridionali, queste rocce si originarono quando il basamento continentale era in gran parte sommerso dalle acque di un bacino marino.

# Il passato prossimo del territorio

> di F. Bonetto,  
G. Boschis, E. Bonelli

Più ci si avvicina al presente e meglio si riescono a ricostruire le vicende del territorio piemontese, grazie alla presenza di indizi e testimonianze sempre più numerose e meglio conservate. In questo gioco di investigazione usiamo la lente di ingrandimento sulla scala dei tempi geologici e concentriamo la nostra attenzione sugli ultimi 7 milioni di anni.

In quell'epoca, sul finire di un periodo chiamato Miocene, il Mediterraneo si incuneava fra le Alpi e gli Appennini neo-formati costituendo un golfo molto allungato che occupava l'intera Pianura Padana. A

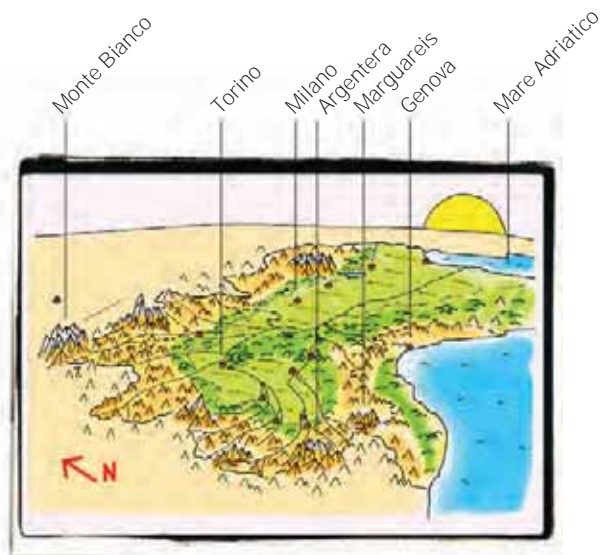
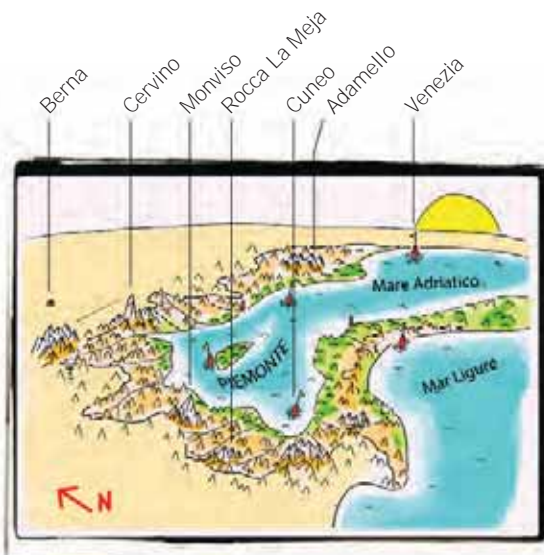
Schema idrografico del  
basso Piemonte e del  
Paleo-Tanaro.





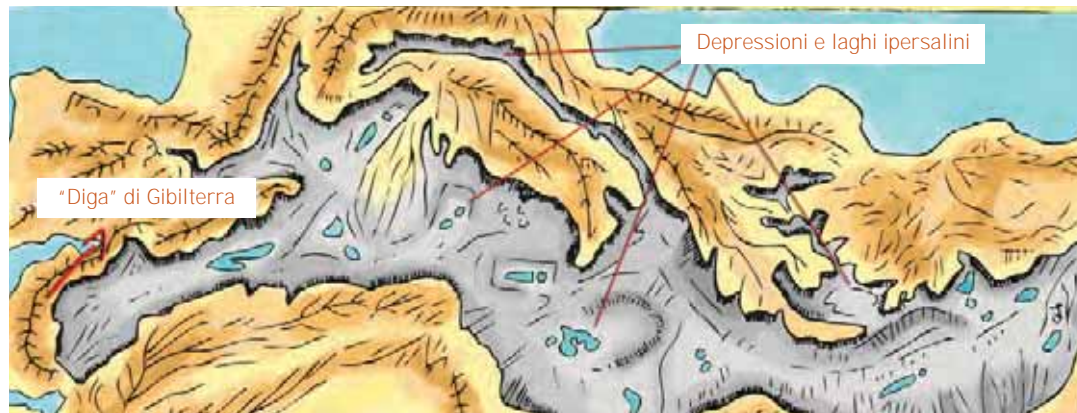
Il Mare Adriatico in  
Pianura Padana:  
a *sinistra* 5 milioni di  
anni fa, a *destra* oggi.

rivelarcelo sono i depositi prevalentemente sabbiosi con fossili marini che i sondaggi hanno raggiunto nel sottosuolo della pianura o che affiorano in diversi sistemi collinari come le Langhe ed il Monferrato. Questi depositi ci parlano quindi di un paesaggio e di un clima molto più caldo dell'attuale. Le Alpi a quell'epoca erano già completamente formate e con l'aspetto simile a quello di oggi; il grande Mare Padano, detto anche Paleo-Adriatico (più scientificamente noto come "Bacino Terziario Piemontese") arrivava a lambirne le montagne e molto probabilmente si insinuava anche in parte nelle valli, come succede oggi nei fiordi norvegesi e nelle coste rocciose della Galizia. Circa 6 milioni di anni fa lo scenario cambiò improvvisamente. L'odierno Stretto di Gibilterra, per effetto di movimenti tettonici di sollevamento, si trasformò in una "diga" che interrompe il collegamento tra l'Atlantico e il Mediterraneo. Quest'ultimo, rimasto isolato in condizio-



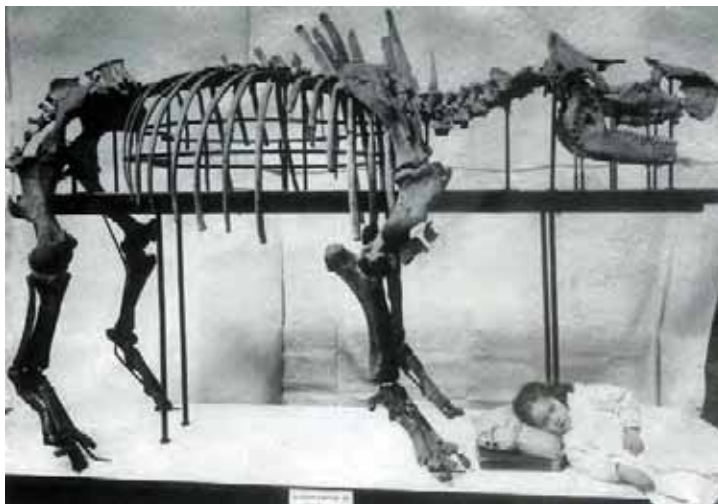


Il Mare Mediterraneo oggi (*in alto*) e durante il "Messiniano", circa 6 milioni di anni fa (*in basso*).



Lo scheletro del  
"Rinoceronte di Dusino"  
(Provincia di Asti),  
fotografato da  
Federico Sacco ai primi  
del novecento.

ni tropicali, subì così gli effetti di un rapido e sconvolgente prosciugamento. Fu una reale catastrofe ambientale, in quanto la concentrazione dei sali disciolti aumentò oltre la soglia sopportabile dalla maggioranza degli organismi marini, il livello del mare si abbassò anche oltre 2000 m e le correnti si affievolirono con conseguente impoverimento di ossigeno dei fondali. Ciò causò grandi morie di massa e la deposizione di estese bancate di cristalli di gesso e di salgemma, presenti in tutta l'area mediterranea, precipitati dalle acque sovrassature. Alcune teorie sostengono il disseccamento totale del Mediterraneo: se anche ciò non fosse, è comunque certo che le parti più profonde del bacino si siano trasformate in lagune sovrassalate. In esse la vita era impossibile per la gran parte degli organismi acquatici e gli unici abitanti furono le specie capaci di adattarsi in fretta a quelle acque insospitali. Si tratta, per esempio, del pesce *Aphanius crassicaudus*, che presenta spesso anomalie scheletriche legate all'ipersalinità, e di diverse specie di libellule, presenti per lo più come larve, tra cui l'*Oryctodiplax gypsorum*. Essi si trovano fossilizzati in abbondanza nelle marne intercalate ai gessi e la loro frequenza testimonia la quasi totale assenza di organismi decompositori, assenza giustificata dall'eccessiva salinità delle lagune e dalle condizioni anossiche dei fondali. Gli animali e le piante vittime di queste caratteristiche ambientali venivano così sepolti senza essere intaccati, fornendo oggi campioni fossili bellissimi. Queste eccezionali condizioni di fossilizzazione fanno dei depositi messiniani un enorme serbatoio di informazioni sulla vita del-



l'epoca, in quanto conservano straordinariamente bene tutti gli organismi viventi o caduti in acqua come uccelli, insetti e innumerevoli vegetali. Sopra i sedimenti evaporitici si trovano depositi di terre emerse poiché le acque ad un tratto si ritirarono del tutto e fiumi e paludi sostituirono le lagune sovrassalate. Questi sedimenti conservano sovente resti di vertebrati terrestri che indicano una fauna molto varia accostabile indicativamente a quella dell'attuale savana africana, con forme arcaiche di rinoceronti, proboscidi, bovidi, cervidi, tapiri, iene e tigri. Famoso, a tal proposito, il ritrovamento nei primi del novecento di uno scheletro completo di rinoceronte nella zona di Dusino.

In seguito, la storia geologica vide il riaprirsi dello Stretto di Gibilterra. Così il mare invase nuovamente le aree abbandonate e, a quanto testimoniato dal livello che separa i precedenti depositi continentali da quelli marini, pare sia stato un evento molto brusco. Inaugurato da un simile evento, il periodo pliocenico è dominato da un mare dalle acque calde, popolato da ricchissime faune a molluschi con specie tipiche delle aree tropicali. Il Piemonte è noto per questi fossili di estrema bellezza e varietà e l'Astigiano ne è particolarmente ricco, insieme al Roero ed al Biellese.

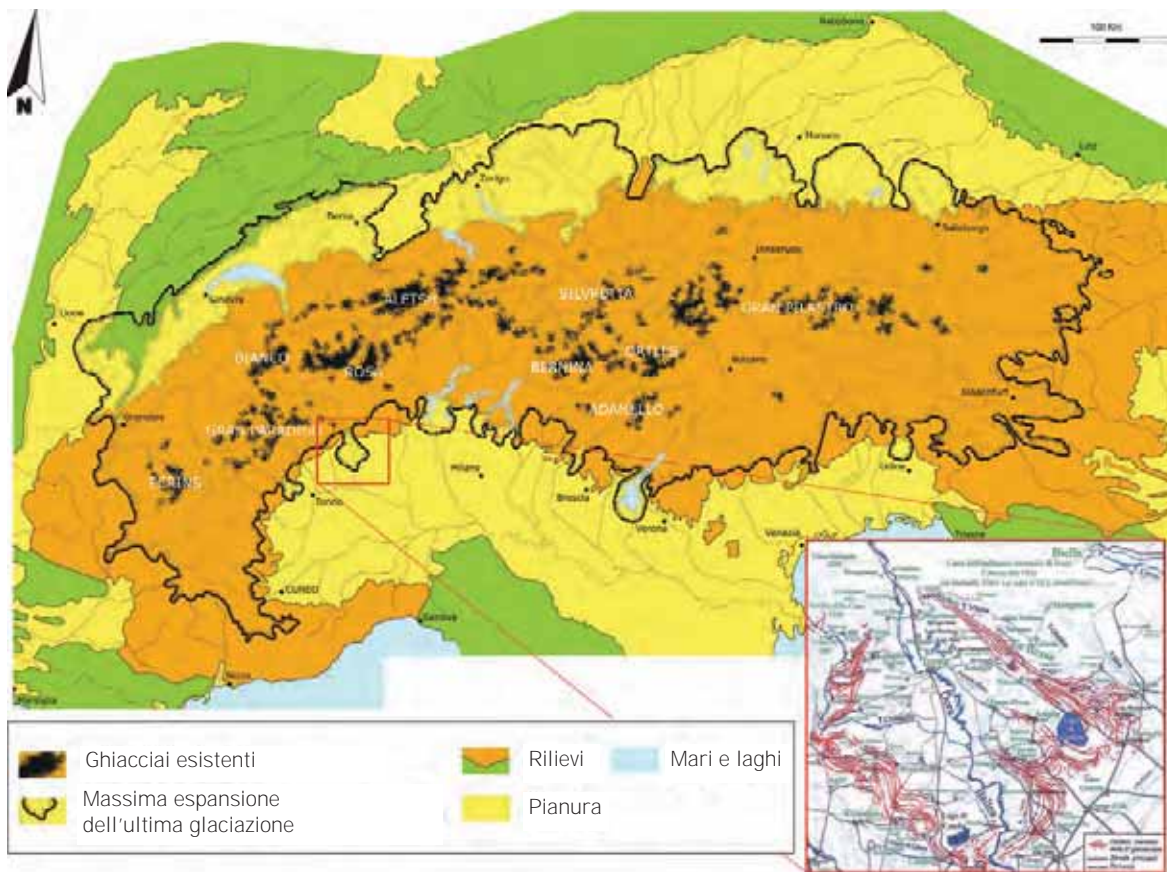
Proprio in Piemonte la spinta orogenetica nel frattempo continuò ad influenzare il bacino riducendone la profondità, processo a cui contribuì anche l'incessante apporto di sedimenti dalle aree emerse. In tal modo i depositi pliocenici riflettono un mare sempre più basso essendo dapprima rappresentati da marne, seguite poi da sabbie ("Sabbie di Asti") di ambiente costiero ed infine da sedimenti fluvio-deltizi che segnano il definitivo ritiro del Mare Padano, avvenuta circa 3 milioni di anni fa. Così termina la storia del mare in Piemonte e inizia quella della pianura.



Gli strati di gesso, associati a fanghi scuri ricchi di materia organica, che affiorano lungo il Tanaro a monte di Alba, testimoniano in Piemonte lo spettacolare fenomeno del prosciugamento del Mediterraneo avvenuto circa 6 milioni di anni fa.



Schema dell'ultima glaciazione, 11 mila anni fa (da R.C. Bachmann, 1984, ridisegnato da P.Pozza), e stralcio dell'Anfiteatro morenico di Ivrea in un disegno di Federico Sacco.





Le ghiaie, le sabbie e le argille provenienti dallo smantellamento delle rocce alpine sono state deposte dai fiumi e dai torrenti sotto forma di grandi conoidi di deiezione allo sbocco delle valli. Col progredire della sedimentazione questi conoidi si sono poi uniti tra loro, fino a costituire la Pianura.

Circa un milione ottocentomila anni fa una serie di cambiamenti climatici, primo tra tutti un aumento delle precipitazioni, determinò l'avvento di lunghe e intense glaciazioni che contribuirono ad un incisivo modellamento delle valli alpine.

Le testimonianze del glacialismo sono ancora estremamente tangibili nel paesaggio (anfiteatri morenici, cordoni, conche lacustri, dossi rocciosi levigati, massi erratici, ecc.). In Piemonte si trovano ad esempio due degli apparati morenici frontali meglio conservati dell'intero arco alpino, quello di Rivoli-Avigliana costruito dal ghiacciaio che scendeva dalla Valle di Susa, e quello di Ivrea allo sbocco della Valle d'Aosta.

Le fasi di avanzamento dei ghiacciai (periodi glaciali) si alternarono ad episodi di ritiro (periodi interglaciali) conseguenti al ripristino di condizioni di clima mite<sup>(1)</sup>.

Durante le glaciazioni, le Langhe e parte dell'Appennino erano già emersi e le formazioni sedimentarie più antiche portate alla luce. Nel Piemonte meridionale il sollevamento degli strati marini sopradescritti comportò la formazione di una sorta di altopiano debolmente inclinato verso Nord Ovest: le future Langhe ed

La geometrica linea della Serra, gioiello glaciale che si specchia nelle acque del Lago Pistono, compreso nella naturalistica zona dei "Cinque Laghi di Ivrea".



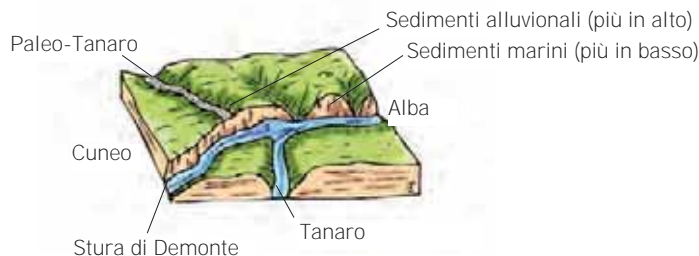
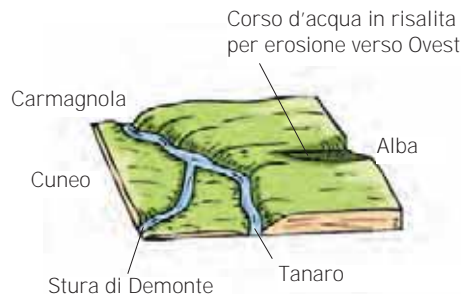
(1). Sino a poco tempo fa, l'interpretazione della storia geo-climatica delle Alpi riteneva che durante il Pleistocene fossero avvenute cinque principali glaciazioni (Donau, Günz, Mindel, Riss e Würm in ordine di età progressivamente più recente): in una visione un po' rigida, si pensava che le glaciazioni avessero coinvolto tutte le regioni alpine contemporaneamente e con le stesse caratteristiche. Oggi si è in realtà scoperto che i depositi morenici dei diversi ghiacciai delle Alpi non sono necessariamente contemporanei; si è affermata cioè l'opinione che ogni ghiacciaio abbia una sua storia, una sua vita, dipendente da un clima regionale dominante e un clima condizionato da fattori locali (esposizione al sole, morfologia dei versanti, precipitazioni nevose a scala locale...) o "microclima", che varia a seconda delle diverse zone alpine.

Il fenomeno della "Cattura del Tanaro" e l'erosione che ha portato alla luce il fondo del mare preistorico.

il Roero. Questo altopiano era solcato dai primi corsi d'acqua quali il Tanaro, il Belbo e la Bormida che scorrevano lenti verso Nord andandosi a gettare nella pianura cuneese. Così, circa 1,5 milioni di anni fa, il Tanaro presentava un percorso assai diverso dall'attuale ed una volta giunto in pianura, confluiva nel Po all'altezza di Carignano.

Ma le continue spinte tettoniche, circa 80.000 anni fa, innescarono un sollevamento dell'area sud-occidentale, accompagnato parallelamente dallo sprofondamento della Pianura alessandrina. L'influenza esercitata da tale movimento costrinse i corsi d'acqua del cuneese a deviare progressivamente verso Nord Est. Risale a quel periodo lo spettacolare fenomeno noto come "cattura" del Tanaro, dalle conseguenze impressionanti per l'evoluzione morfologica del Piemonte.

Il fiume, in corrispondenza grossomodo dell'abitato di Bra, scorreva verso Nord dopo aver raccolto le acque della Stura di Demonte. Poco più ad Est di Bra si situa-



vano probabilmente le sorgenti di un modesto torrente che drenava in direzione di Alba. Lo spartiacque che divideva i due corsi d'acqua, già piuttosto ridotto, subì gli effetti congiunti dell'azione erosiva del Tanaro, verso Est, e di quella del corso d'acqua minore, verso Ovest, fino a determinare l'incisione della sponda orientale del Tanaro in un punto prossimo alla zona fra Bra e Cherasco. Il Tanaro, "catturato" dal torrente, venne improvvisamente deviato verso Alba e la Pianura alessandrina. In tal modo il Roero, ma ancor più le Langhe, iniziarono un processo di generale ringiovanimento del paesaggio con l'accentuarsi dei fenomeni erosivi che tutt'ora agiscono e influenzano la ben nota fragilità idrogeologica di quest'aera. Tali fenomeni hanno quindi portato alla luce i depositi sedimentari descritti rendendoli visibili in formazioni talvolta spettacolari quali i calanchi, conosciuti nella zona come "Rocche", dando così la possibilità di osservare le testimonianze di quella che fu la lunga e affascinante storia del "mare padano".

A partire da 10.000 anni fa circa, sul finire dell'ultima glaciazione, nell'Olocene dunque, parallelamente alla contrazione dei ghiacciai, l'azione di erosione fu progressivamente rilevata dai corsi d'acqua e dalle frane. Il paesaggio si modificò in continuazione: piane alluvionali si svilupparono dove prima c'erano dei laghi, grandi frane di crollo o di scivolamento interessarono i versanti non più sostenuti dalla spinta laterale dei ghiacciai. L'alterazione dei depositi superficiali e la formazione dei suoli permise la colonizzazione della vegetazione e la crescita delle foreste.

Finalmente tutto fu pronto perché l'uomo facesse la sua comparsa.

## Bibliografia essenziale

- AA.VV. (1998), *Federico Sacco. Geologo e paleontologo, Fossano 1864-1948*. Casa di Studio Fondazione Federico Sacco, Fossano.
- ARPA Piemonte (2006), *Appunti sulla geologia del Piemonte*, ARPA Piemonte, Torino.
- Bachmann R.C. (1984), *Ghiacciai delle Alpi*, Zanichelli, Bologna.
- Bosellini A. (2005), *Storia geologica d'Italia. Gli ultimi 200 milioni di anni*, Zanichelli, Bologna.
- Camanni E. e Camanni S. (1995), *In principio era il mare. La storia geologica delle Alpi*, Il tempo delle Alpi. Priuli e Verlucca. Ivrea (TO).
- Casati P. (1994), *Le meraviglie delle Alpi italiane*, Paesaggi geologici. BE.MA editrice. Milano.
- Castiglioni G.B. (1989), *Geomorfologia*, UTET, Torino.
- Coenraads R.R. (2006), *Rocce e fossili*, T.C.I., Milano.
- Compagnoni R. e Peyronel G. (1995), *Minerali in Piemonte*, Collezioni invisibili. Museo Regionale di Scienze Naturali. Torino.
- Fritsche E. e Sulzenbacher G. (2003), *Viaggio nella geologia delle Alpi. Storia della Terra, delle rocce e dei rilievi*, Museo di Scienze Naturali dell'Alto Adige, Bolzano.
- Metzeltin Buscaini S. (1990), *Geologia per alpinisti*, Zanichelli, Bologna.
- Mottana A., Crespi R. e Liborio G. (1995), *Minerali e rocce*, Mondatori, Milano.
- Museo Regionale di Scienze Naturali (2008), *I tempi stanno cambiando. Come varia il clima: conoscenze attuali e scenari futuri*, Regione Piemonte, Torino.
- Museo Regionale di Scienze Naturali (2008), *I ghiacciai italiani delle Alpi Occidentali*, Regione Piemonte, Torino.
- Nangeroni G. e Saibene C. (1964), *Geografia delle Alpi*, CAI.
- Piacente S. e Poli G. (2003), *La memoria della Terra, la Terra della memoria*, L'inchiostroblu, Zola Predosa (BO).
- Piccoli G.C., Maletto G., Bosio P., Lombardo B. (2007), *Minerali del Piemonte e della Valle d'Aosta*, Gian Carlo Piccoli Editor, Associazione Amici del Museo "E.Eusebio" di Alba.
- Sacco F. (1934), *Le Alpi*, T.C.I., Milano (ristampa 2007).





## Geologia e turismo in Provincia di Cuneo.

La Provincia di Cuneo, un patrimonio di natura e paesaggio già di per sé richiamo turistico, ma ancor più se coniugato con i prodotti eno-gastro-nomici e la ricchezza di beni artistici e storici. Dietro tutto ciò si nasconde un argomento apparentemente "difficile": geologia o scienze della Terra. In realtà il legame fra geologia e turismo è strettissimo. Basti pensare alle bellissime montagne sollevate da eventi tettonici e modellate da ghiacciai e corsi d'acqua, ai terreni che formano lo "scheletro" del territorio tempestato di minerali e fossili, sovente marini. Non di meno vale per i vini ed i prodotti tipici: la parola "terroir" è infatti la sintesi della profonda relazione fra la natura dei terreni ed i frutti della Terra. Il patrimonio storico infine: basti pensare alle pietre dei monumenti e dei borghi storici, perfetta interpretazione in chiave artistica ed umanistica delle risorse minerarie. Federico Sacco (1864 – 1948), geologo nativo di queste terre, si prodigò molto per promuoverne la conoscenza: questa guida vuole essere un tributo al suo grande impegno divulgativo proponendo un percorso di geologia e turismo della "Granda" che permetta di avvicinare il pubblico ad una lettura "nuova" di un paesaggio antichissimo, quanto meraviglioso.



a cura di

