

# ALPI E APPENNINI

STORIA GEOLOGICA D'ITALIA PER  
NON GEOLOGI

VOLUME II GLI APPENNINI

# VOLUME II

# GLI APPENNINI

Savona Ottobre 2016

*Per scrivere un testo di divulgazione scientifica occorrono due certezze: essere capiti e non essere noiosi.  
L'unico modo per verificare ciò è trovare un'intelligenza diversa dalla propria disposta a rileggere criticamente il testo.*

*Grazie Letizia per la tua pazienza e il tuo affetto.*

## NASCE UN OCEANO (180 MA GIURASSICO MEDIO)

Triassico

Giurassico

Cretaceo

Paleogene

Neogene

Quaternario

*La storia dell'Appennino incomincia con una nascita, quella di un oceano che compare nel bel mezzo del tempo in cui vissero i dinosauri, il Giurassico. Di quel periodo remoto ci è pervenuta una roccia molto particolare, ancora più antica, che collega la Terra allo spazio.*



Pietra Borghese, Borzonasca (GE) – Foto M.Pregliasco.

### UNA ROCCIA VENUTA DALLO SPAZIO?

L'escursionista che sale sul Monte Aiona, alle spalle di Santo Stefano D'Aveto (GE), rimarrà stupito dai panorami che si godono dalla cima e ancor di più da un fatto sorprendente: la bussola non indicherà più il nord, ma sarà deviata di qualche grado! Per scoprire il mistero che si cela dietro questo fenomeno, bisogna giungere in località Pratomollo, sotto le pendici del monte, dove si scorge una roccia davvero bizzarra: la **Pietra Borghese**.

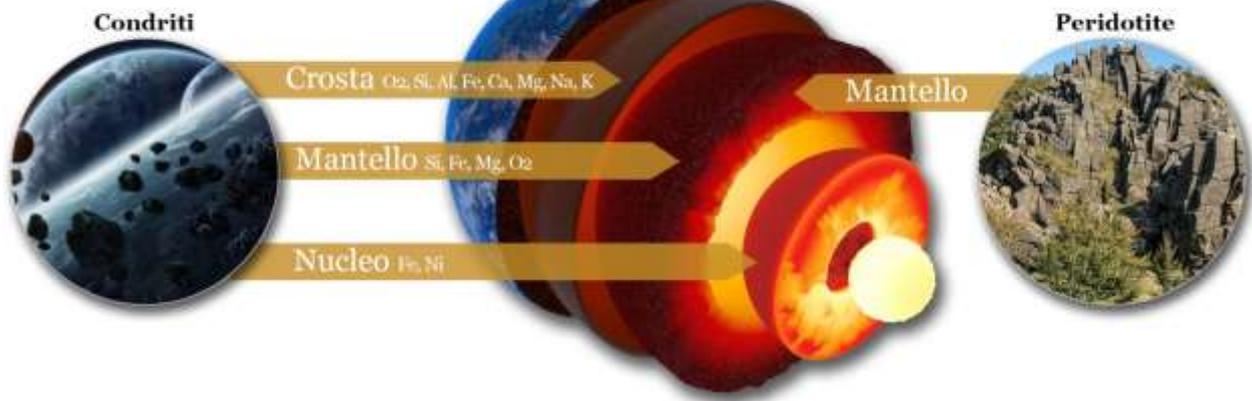


Pietra Borghese, Borzonasca (GE); particolare della bande a olivine e pirosseni - Foto M.Pregliasco.

Suddivisa in centinaia di prismi la “Pria Burgheisa” - così la chiamano i genovesi - affiora sul prato verde con le sue bande parallele costellate di bubboni che la rendono ancora più singolare. A cosa si deve questa roccia che sembra essere uno scherzo della geologia? Le bande sono costituite dall'alternarsi di due minerali che sono il marchio di fabbrica di queste rocce: il *pirosseno* scuro e le verde *olivina*, entrambi costituiti da silicati di ferro e magnesio. I pirosseni sono minerali molto resistenti, per cui formano bande in rilievo e caratteristici bubboni a scapito delle bande a olivina decisamente più erodibili. Un'altra stranezza possiamo sperimentarla se abbiamo con noi un martello: colpendo la roccia essa risuonerà come una campana. Che sia fatta di ferro? Proprio così! Il ferro contenuto in queste rocce è in quantità tale da deviare l'ago della bussola di 180°, mentre il magnesio, nocivo per le piante, rende queste valli assai povere di vegetazione. I geologi hanno chiamato questo tipo di roccia *Peridotite lherzolitica* (dal massiccio di Lherz nei Pirenei francesi) e l'hanno messa in relazione con certe meteoriti che cadono sulla Terra, le *condriti*.

Allora la Pietra Borghese è un bolide venuto dallo spazio? Sarebbe stato un gran bel botto, pari a una bomba atomica! ...In realtà non è successo nulla del genere: la nostra peridotite viene da un luogo ancora più misterioso - l'interno del nostro pianeta.

## La formazione del pianeta Terra

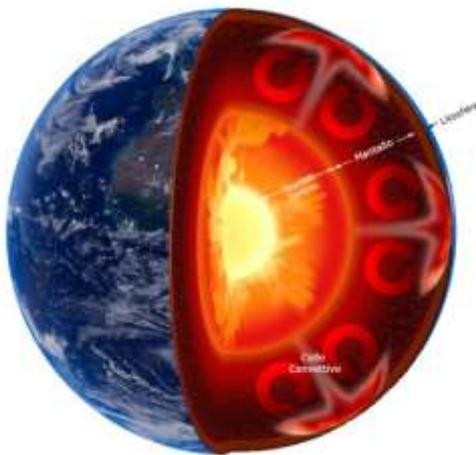


I pianeti rocciosi del sistema solare sono il prodotto dell'aggregazione di un tipo di meteoriti chiamate condriti. Le condriti sono formate principalmente da ferro, magnesio, ossigeno e silicio che hanno creato il mantello terrestre peridotitico. Contengono poi nichel ferro e zolfo che nella Terra sono sprofondati nel nucleo mentre i materiali più leggeri hanno formato la crosta. - grafica M.Pregliasco; credits Johan Swan, Sebastien Decoret, licenza 123RF.

## GEOFISICA DELLA TERRA PER CHI NON È UN FISICO

4 miliardi di anni

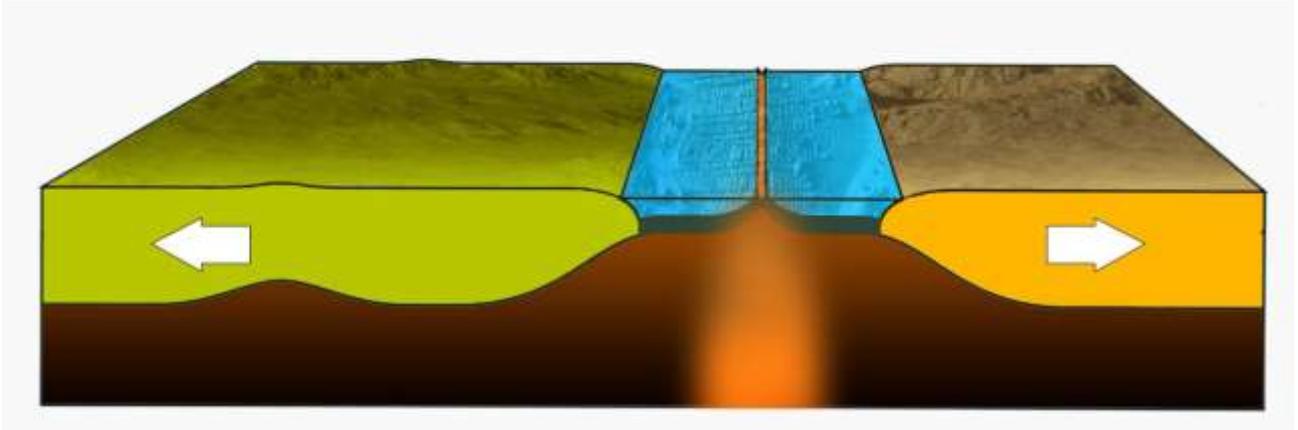
Triassico Giurassico Cretaceo Paleogene Neogene Quaternario



Celle convettive - grafica M.Pregliasco; credits Johan Swan.

Ai tempi della sua formazione ( 4,6 miliardi di anni fa) il nostro pianeta – come tutti quelli rocciosi – appariva come una grossa palla di polvere cosmica, costituita da *meteore condritiche*. Consolidandosi un po' alla volta cominciò ad assomigliare a una pesca, con una buccia solida e una polpa ancora morbida. La superficie del pianeta era composta da una crosta granitica fatta dai materiali più leggeri, mentre la polpa, o mantello, diventerà peridotite ricca di ferro e magnesio. I materiale più pesante di ciò che rimaneva dell'originale palla condritica, una lega di ferro, nichel e forse zolfo , sprofondò nel centro del Terra e formò il nucleo. Del nucleo non ne parlerò più, perché non prese mai parte alla deriva dei continenti. Il mantello invece, con il progressivo raffreddarsi del pianeta, si

solidificò in parte: la zona più vicina alla crosta (**litosfera**) divenne solida, fredda e rigida; mentre scendendo di 150 km sotto la superficie terrestre il mantello si fece più morbido (**astenosfera**). E' nell'astenosfera che le rocce vengono continuamente rimescolate dai moti convettivi capaci di trascinare le placche litosferiche in superficie. Sono questi i movimenti che, con un po' di pazienza, aprono oceani e sollevano le montagne, dando vita a quella che i geologi chiamano la **tettonica delle placche**. E quindi ecco svelato il vero rapporto tra la Pietra Borghese e le meteore: le peridotiti sono, tra le rocce che affiorano in superficie, quelle chimicamente più simili alle condriti dalle quali hanno avuto origine i pianeti rocciosi del sistema solare.



Due placche si separano – M.Pregliasco da A.Bosellini modificato.

### L'APPENNINO NEL GIURASSICO MEDIO



Il Mediterraneo nel Giurassico sup. OLP=Oceano Ligure Piemontese – da R.Gelati.

180 milioni di anni fa i dinosauri si aggiravano sul pianeta Terra, ma l'Italia non era ancora nata. Al suo posto una lunga spaccatura della crosta terrestre segnava la separazione del continente africano da quello europeo. La tettonica delle placche stava spingendo l'Africa e l'Europa in direzioni opposte e un oceano stava per aprirsi tra i due continenti. Nel punto in cui le due placche si separarono la litosfera si assottigliò, nello stesso modo in cui si assottiglia la pasta della pizza quando il pizzaiolo la tende tra le mani.

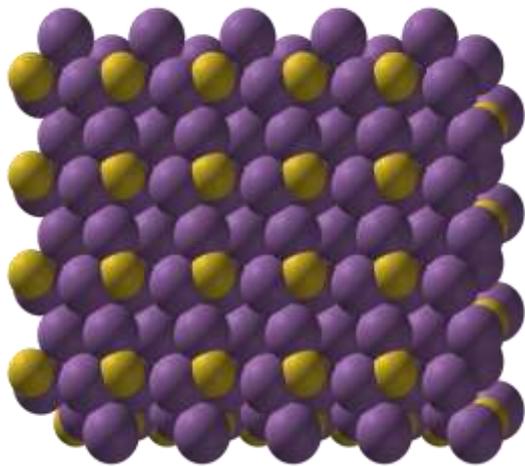


La litosfera fu tesa e lacerata come la pasta per la pizza - Credits: 123RF.

I continenti tesero e tesero la litosfera fino a raggiungere il punto di rottura: la litosfera si lacerò e i due continenti si ritrovarono definitivamente separati l'uno dall'altro. Con la litosfera assottigliata e lacerata il sottostante mantello astenosferico si ritrovò molto vicino alla superficie, libero del peso delle rocce sovrastanti, la pressione dell'astenosfera diminuì sensibilmente e le rocce cominciarono a fondere. I magmi provenienti dalla fusione parziale della peridotite cominciarono a risalire in superficie per riversarsi e consolidarsi nella conca lasciata dall'allontanamento dei due continenti. Contemporaneamente, questa conca iniziò a riempirsi d'acqua, creando un bacino molto profondo e in continua espansione: era nato l'Oceano Ligure Piemontese, o Oceano della Tetide Alpina.

Dalle numerose fratture della crosta terrestre non emergevano solo magmi, ma anche frammenti del mantello terrestre. Potrebbe essere questa la ragione che ha esposto in superficie la pietra Borghese.

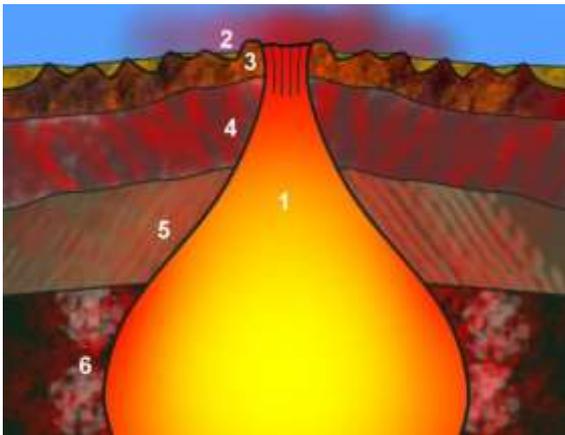
## CRISTALLI



aurostibite, AuSb<sub>2</sub> - da wikipedia

Tutto è fatto di atomi. Qualsiasi cosa noi vediamo, e anche ciò che non vediamo, è composto da queste invisibili particelle. Nel mondo minerale gli atomi hanno un comportamento singolare: si dispongono secondo precisi schemi geometrici, come ubbidendo agli ordini di un invisibile architetto, e creano così solidi tridimensionali. Queste strutture vengono replicate infinite volte fino a rendersi visibile all'occhio umano: sono i cristalli, con le loro poliedriche facce, le loro forme inusuali e sfumature di tutti i colori a costituire le fondamenta di tutte le rocce del pianeta, dando loro connotati unici.

## LA DORSALE OCEANICA E LA TRIADE DELLE OFIOLITI



Sequenza ofiolitica - da wikipedia.

1. camera magmatica
2. sedimenti che ricoprono la sequenza
3. basalti a cuscino
4. strato di basalto e dicchi di gabbri
5. gabbri
6. peridotiti e peridotiti impoverite

Quando un europeo decide di andare in America, o viceversa un americano si reca in Europa, non sa che ogni anno il percorso si allungherà di qualche centimetro. In effetti, l'Atlantico è un oceano in espansione perché America ed Europa si stanno allontanando lentamente ma inesorabilmente l'una dall'altra.

Se potessimo immergerci a oltre 2000 metri di profondità nel bel mezzo dell'oceano Atlantico vedremmo sotto i nostri occhi uno spettacolo infernale: una lunga e profonda fossa, la **rift valley**, segna la linea lungo la quale si sono separate le placche, spezzando la litosfera. Qui ha sede un'intensa attività vulcanica, dovuta alla fusione del mantello sottostante. Il riscaldamento della crosta produce un inarcamento verso l'alto dei margini delle zolle, creando due catene montuose parallele conosciute come dorsale oceanica o medio atlantica.

È una situazione molto simile a quella di 180 milioni di anni fa, quando l'Africa iniziò ad allontanarsi. Proprio osservando l'odierna dorsale atlantica gli scienziati hanno capito che nella storia del nostro pianeta questi fenomeni si sono succeduti più volte e ancora accadono, proprio mentre ne stiamo parlando.

Le rocce dell'Atlantico, come quelle ritrovate nelle antiche dorsali oceaniche, sono caratterizzate da una sequenza ricorrente: in profondità troviamo le *peridotiti*, poi i *gabbri* e infine i *basalti*. Questa triade è nota come sequenza ofiolitica. Le ofioliti dell'oceano giurassico Ligure-Piemontese sono oggi osservabili nell'arco alpino centro-occidentale, nell'Appennino ligure-piemontese e tosco-emiliano fino in Val Tiberina, in Toscana meridionale e nell'arcipelago toscano; nuclei disgiunti affiorano anche nell'Appennino calabro.

Ma come si formano le ofioliti? Sono formate dai magmi generati nel mantello terrestre, cioè dalla fusione dei pirosseni delle peridotite (la temperatura è insufficiente per avere la fusione totale). Questi fusi risalendo verso l'alto si raffreddano e si consolidano in basalti in superficie e in gabbri in profondità formando le rocce della **sequenza ofiolitica**, che ora cercherò di illustrare brevemente.



Peridotite di Pietra Borghese, Borzonasca (GE); fotografia ravvicinata – M.Pregliasco.

## PERIDOTITI

La Pietra Borghese è un frammento della roccia più profonda della sequenza ofiolitica: la peridotite che la compone ha un elevato contenuto di ferro e magnesio, che le donano un bel colore scuro. Questa sua particolare composizione la iscrive di buon diritto entro la ristretta cerchia delle **rocce**



Granito, roccia felsica.

**ultrafemiche**, ossia con un contenuto eccezionale – rispetto a tutte le altre rocce - di ferro e magnesio. Il granito, invece, contiene notevoli quantità di feldspato, che gli dona un colorito chiaro, e maggiori quantità di silicio: per questo appartiene alla categoria delle **rocce felsiche** (da feldspato e silicio). Le rocce felsiche sono più chiare, meno dense e meno pesanti di quelle femiche. A fare la differenza è il diverso contenuto di ferro.

La crosta basaltica oceanica, che proviene dalla fusione delle peridotiti, è densa e pesante ed è dunque ultrafemica; al contrario la crosta continentale, di tipo granitico, è più leggera e meno densa e quindi è felsica. Quando una placca continentale si scontra con una placca oceanica la diversa densità gioca un ruolo fondamentale. Ci torneremo più avanti.

Continuiamo ora a esaminare la nostra peridotite: i grandi cristalli di olivina e pirosseno, evidentissimi a occhio nudo, dimostrano che questa roccia si è formata a chilometri di profondità, da un magma che si è raffreddato molto lentamente (forse nell'arco di milioni di anni). Le analisi radiometriche fanno risalire la formazione di alcune di queste rocce a un'epoca molto remota (miliardi di anni fa). La superficie delle peridotiti esposte all'aria è generalmente rossastra-aranciata, "rugginosa" a causa dell'ossidazione del ferro; spaccando la roccia si può ben osservare il suo cuore scuro e i cristalli di olivina e di pirosseno nel loro aspetto originale. In alcune peridotiti lherzolitiche, ad esempio presso gli affioramenti alle Capanne di Marcarolo (GE) o alla foresta della Deiva (SV), sono visibili i segni del loro viaggio all'interno della Terra.



I minerali di serpentino formano la roccia chiamata serpentinite; geoparco del Beigua (SV-GE) - Foto M.Pregliasco.

#### LE PERIDOTITI NON SONO PER TUTTI: IL SERPENTINO

Sulle catene alpine e appenniniche è difficile trovare la peridotite, o meglio la si trova completamente trasformata in un'altra roccia: la serpentinite. Per spiegare questo scambio di identità è necessario scendere dai monti e osservare da vicino le dorsali oceaniche, stirate, deformate e percorse da attività vulcanica e sismica. Questi fenomeni producono fratture nella crosta, che consentono all'acqua di penetrare in profondità, dove i cristalli delle rocce scambiano i propri ioni, cercando di costruire un edificio sempre più solido. I chimici definiscono questo processo *scambio metasomatico*.

La fredda acqua oceanica contiene molti gas disciolti capaci di innescare reazioni chimiche nei minerali con cui viene a contatto: l'ossigeno si combina con il ferro dell'olivina formando l'*ematite*, mentre l'idrogeno e lo ione solfato danno origine alla *magnetite* e alla pirite. Infine, l'anidride carbonica forma la *calcite*.

Ma la reazione regina degli scambi metasomatici è quella che dà origine al minerale **serpentino**

Olivina + acqua → magnetite + serpentino

Ecco dunque che nelle peridotiti, almeno in tutte quelle che non sfuggono alla metasomatosi, il minerale serpentino sostituisce il minerale olivina, anche se in verità il serpentino può anche sostituire i pirosseni. La roccia formata dal serpentino, la **serpentinite**, diventa più leggera e aumenta di volume, mentre gli atomi del serpentino si dispongono su di un piano, formando dei foglietti impilati l'uno sull'altro (sono dei fillosilicati), ragione per cui i minerali del serpentino si

sfaldano facilmente lungo dei piani e spesso hanno un aspetto scaglioso. Questi foglietti di atomi sono talmente sottili che possono ripiegarsi come si piega una foglia di tabacco per creare un sigaro, formando microscopici cristalli aciculari: *l'amianto*, responsabile di una gravissima malattia ai polmoni: l'asbestosi. Fortunatamente l'amianto non è frequente in natura, ma è chiaro che si può accompagnare alle serpentiniti.



Gabbro; Val Graveglia presso il Ponte di Lagoscuro Zerli (GE) – Foto M.Pregliasco.

## I GABBRI

Durante la loro risalita i magmi provenienti dalla fusione della peridotite possono raffreddare e solidificare prima di raggiungere la superficie del fondale oceanico. Restano cioè intrappolati a diversi chilometri di profondità dentro le camere magmatiche o all'interno dei basalti formatesi in precedenza. Sono quelle rocce vulcaniche che i geologi chiamano intrusive, il lento raffreddamento permette ai magmi di sviluppare grossi cristalli che nel gabbro sono di plagioclasio e di pirosseno.

Un oceano in espansione è necessariamente caratterizzato da continui movimenti, terremoti e instabilità nella zona di allontanamento delle due placche. I basalti della dorsale oceanica risultano così molto fratturati. Il gabbro risale da queste fratture e si consolida in strutture singolari chiamate "dicchi". A contatto con le pareti della frattura i magmi raffreddano più velocemente e quindi sviluppano cristalli più piccoli rispetto a quelli presenti nei magmi che raffreddano ben distanti dalle pareti. Nelle camere magmatiche può avvenire un fenomeno ancora diverso: i cristalli più pesanti cadono per gravità sul fondo della camera o si attaccano alle pareti formando rocce particolari, le cumuliti.



Basalti a cuscino; Bargone, comune di Casarza Ligure (SV) – foto M.Pregliasco.

## I BASALTI

Quando finalmente il magma riesce a raggiungere la superficie del fondale oceanico il raffreddamento è pressoché immediato: si formano cristalli molto piccoli, caratteristici delle rocce effusive. Il basalto ha la stessa composizione chimica del gabbro che però, come abbiamo visto, raffredda in profondità. Quando sul fondale oceanico il magma incontra l'acqua può accadere un fenomeno abbastanza curioso: la lava raffredda immediatamente, formando una crosta esterna vetrificata ma ancora calda e quindi deformabile. La parte interna invece rimane ancora liquida e continua a essere alimentata da nuova lava che proviene dalle profondità della roccia. Si gonfia così una sorta di palloncino o si forma un tubo di lava che avanza nell'oceano, con un involucro semirigido e un interno ancora liquido. Quando il fenomeno cessa perché il palloncino rotola e si stacca dal condotto di alimentazione, queste strutture solidificano mantenendo la loro forma. Il fenomeno prende il nome di lava a cuscini.



Lava a cuscini, particolare – foto M.Pregliasco.

Osservando più nel dettaglio il cuscino si possono fare delle osservazioni molto interessanti: la crosta esterna è di colore diverso rispetto all'interno perché il raffreddamento a contatto con l'acqua è stato così veloce da creare un vetro. In sostanza, gli atomi non hanno avuto il tempo di disporsi in un reticolo cristallino e si sono disposti in modo disordinato, dando luogo a un solido amorfo. Al contrario, all'interno del cuscino il raffreddamento è stato più lento e quindi si sono creati dei cristalli, per quanto molto più piccoli rispetto a quelli visibili in rocce raffreddate in profondità come il gabbro, e difficilmente visibili a occhio nudo. Il raffreddamento del cuscino è avvenuto in pochi giorni; il raffreddamento delle rocce intrusive può richiedere milioni di anni.

## JAMES HUTTON: LO SCOPRITORE DEL TEMPO

L' esplorazioni dei fondali oceanici attuali, con carotaggi e raccolta di campioni di roccia, hanno permesso di ricostruire la dinamica degli oceani antichi come il nostro oceano Ligure-Piemontese. Questo approccio scientifico ha un nome e si chiama attualismo. Fu lo scozzese James Hutton a ipotizzare per primo che il presente fosse la chiave del passato perché gli stessi fenomeni geologici che vediamo oggi si sono ripetuti nel passato. Ancora più rivoluzionario fu il suo pensiero quando concluse che i fenomeni geologici avvengono in tempi lunghissimi. Oggi sappiamo che lo spostamento annuo di pochi millimetri delle placche, nel corso di milioni di anni, crea oceani e catene montuose. Hutton fu l'uomo che scoprì il tempo profondo della geologia.



Scala dei tempi geologici - da wikipedia

# I CONTINENTI RALLENTANO

(160 MA GIURASSICO SUP. - 105 MA CRETACEO INF.)

Triassico

Giurassico

Cretaceo

Paleogene

Neogene

Quaternario

*Nel Giurassico superiore e per tutto il Cretaceo inferiore nell'Oceano Ligure Piemontese al posto delle ofioliti cominciano a depositarsi spessori chilometrici di sedimenti. Che cosa era successo? La dinamica delle placche era cambiata: l'Europa e l'Africa si stavano fermando.*



Miniera di Gambatesa; comune di Ne (GE) - foto M.Pregliasco.

## UN METALLO IMPORTANTE DAL FONDO DELL'OCEANO

Se qualcuno ci chiedesse qual è la lega più importante per i paesi industrializzati, risponderemmo senza esitare: "l'acciaio". Pochi però sanno che per produrre buon acciaio è indispensabile il manganese. Per oltre un secolo tutto il manganese italiano è stato estratto da una miniera situata in Val Graveglia, a pochi chilometri da Chiavari (GE). Chi ha la ventura di capitare da quelle parti non può fare a meno di notare le pareti di diaspro rosso dalle quali generazioni di minatori graveglini

hanno estratto la *braunite*, il prezioso minerale di manganese. Il presunto esaurimento del giacimento negli anni sessanta portò la miniera sull'orlo della chiusura. Il giacimento si era interrotto in corrispondenza di una *faglia* che sembrava aver messo fine allo sfruttamento. Ma le faglie sono i luoghi dove le rocce scorrono le uno sulle altre: un blocco si alza mentre l'altro si abbassa. Lo sapeva bene il minatore Giovanni Cafferata, convinto che il giacimento poteva proseguire dall'altra parte della faglia, solo che poteva essere stato spostato un più su, o un po' più in giù. Così Cafferata, con altri pochi fedelissimi, decise di seguire il suo fiuto e di disobbedire ai ferrei ordini del direttore. Correndo il rischio di un licenziamento su due piedi scavarono in gran segreto una nuova galleria per intercettare il minerale. Fu così che venne scoperta la più grande lente di manganese d'Europa. "Glielo dice Lei e glielo dico io alla proprietà della miniera che abbiamo scoperto il filone" - esordì Cafferata nell'ufficio del direttore. La scoperta assicurò anni di lavoro a tutti i minatori, e a Cafferata la promozione a nuovo direttore delle miniere di Gambatesa.

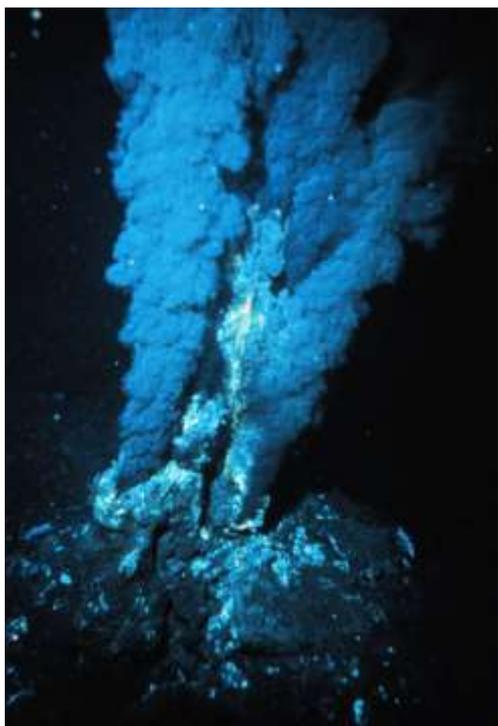
Gambatesa, come molte altre miniere, ha anche storie che non sono a lieto fine: diaspro e manganese sono legati indissolubilmente l'uno all'altro e i diaspri sono fatti di un minerale che lega un atomo di silicio a due di ossigeno ( $\text{SiO}_2$ ). Questo cristallo, che per la sua formula chimica è anche chiamato diossido di silicio, è il quarzo che nel diaspro ha dimensioni piccolissime (microcristallino), che purtroppo si libera durante lo scavo delle gallerie fissandosi irrimediabilmente nei polmoni dei malcapitati minatori che lo respirano. La conseguenza è l'insorgenza di una gravissima malattia, la silicosi. Quindi il diaspro è fatto di silicio e ossigeno e contiene la ricchezza di ciò che fu, nei tempi passati, una delle principali fonti di reddito della Val Graveglia: il manganese. Ma da dove arriva tutto ciò? Arriva ovviamente dal passato, in un tempo in cui nell'oceano giurassico stavano avvenendo grandi cambiamenti.

### L'OCEANO LIGURE-PIEMONTESE IN QUIESCENZA

Se con la macchina del tempo potessimo tornare indietro di 160 milioni di anni (Giurassico superiore) per gettare uno sguardo sull'area dove oggi è situata la miniera di Gambatesa, vedremmo l'Oceano Ligure Piemontese fraporsi tra l'Africa e l'Europa. Rispetto all'Atlantico era un oceano piccolo, largo non più di 500-600km. e profondo alcune migliaia di metri. Nelle sue profondità stavano sedimentando le rocce che fecero la fortuna della Val Graveglia. Nella storia geologica d'Italia qualcosa stava cambiando.

I continenti, che fino a quel momento si stavano allontanando, a un certo punto rallentarono la loro corsa, per poi fermarsi: le placche stavano esaurendo la loro spinta. È un preludio a quello che succederà dopo e che porterà allo scontro continentale. Nell'Appennino ligure questo *periodo di quiescenza*, così i geologi definiscono l'assenza di attività da parte delle placche, inizia nel Giurassico superiore e si protrasse per tutto il successivo Cretaceo Inferiore. Nelle Alpi questo fenomeno fu anticipato, mentre a sud avvenne con un certo ritardo.

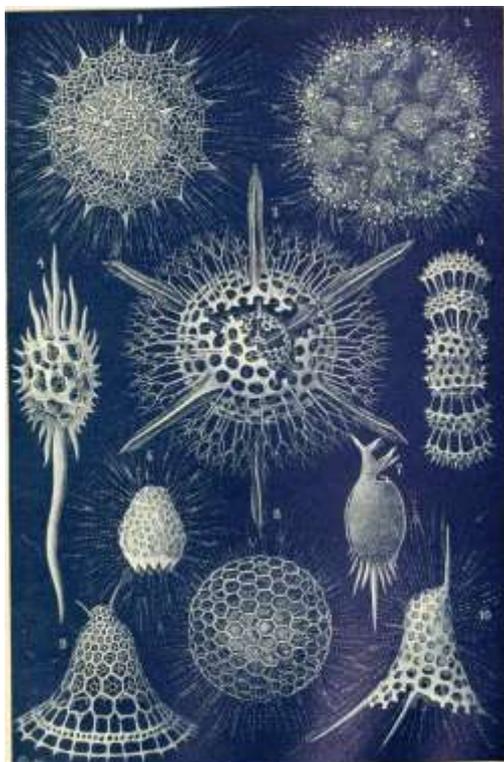
Durante questa fase lungo la dorsale oceanica ai fenomeni vulcanici si affiancò e probabilmente si sostituì un'intensa **attività idrotermale**: l'acqua dell'oceano s'insinuava in profondità nel pavimento oceanico diffusamente fratturato e scendendo incontrava temperature sensibilmente più alte. Si trattava di acqua rovente nel vero senso del termine poiché a quelle profondità e a



Black smoker - da wikipedia.

quelle pressioni la temperatura poteva superare i 200 gradi centigradi. L'acqua così super-riscaldata riusciva a mandare in soluzione notevoli quantità di specie minerali (questo fenomeno è chiamato lisciviazione) e risaliva in superficie con il suo carico di materiale disciolto. A contatto con il freddo oceano, l'acqua rilasciava i metalli sul pavimento oceanico. Probabilmente anche su quel fondale avremmo visto i black smoker che oggi possiamo trovare nell'oceano Atlantico e nell'oceano Pacifico: bocche idrotermali dalle quali fuoriescono colonne di acque rese scure dalla presenza di minerali concentrati in soluzione. È così che sul fondo oceanico l'attività idrotermale depositò lenti di manganese, di rame e di ferro. Tutto intorno andavano ad accumularsi i fanghi formati dai resti di miliardi e miliardi di microorganismi, i radiolari, che nel corso di milioni di anni avrebbero costituito rocce spesse anche migliaia di metri: i diaspri.

### ROCCE DAGLI ANIMALI? NELL'AMBIENTE PELAGICO È POSSIBILE.



Radiolari - da wikipedia.

Chi l'avrebbe mai detto che alcune rocce hanno origine nel mondo animale? Eppure le rocce organogene, come i calcari che tutti conosciamo, sono formate da ciò che resta di miliardi di organismi del passato.

Tutti gli animali hanno il problema di sfuggire ai loro predatori: c'è chi, nel corso dell'evoluzione, ha sviluppato gambe lunghe o una vista acuta, chi ha imparato a mimetizzarsi con l'ambiente circostante e chi si è costruito una solida corazza. Per poterlo fare serve la materia prima: carbonato di calcio o silicio, due sostanze presenti in grandi quantità nel mare. Basta una goccia d'acqua e poco sforzo per ottenere dal carbonato di calcio un granello di calcite, o dal silicio un granello di quarzo. Se le temperature sono abbastanza alte, come nei mari tropicali è persino più facile.

L'Oceano Ligure Piemontese nel Cretaceo inferiore è un luogo ideale per i *radiolari*, microscopici organismi che prosperavano nei mari tropicali e, morendo, lasciavano sul

fondo dell'oceano i frutti di una vita di lavoro: i loro gusci silicei. Non mancavano sicuramente neanche organismi costruttori di gusci calcarei, ma di loro, spesso, non rimane traccia. Forse erano

meno numerosi, forse i loro gusci si sono semplicemente disciolti. Questo potrebbe essere facilmente avvenuto perché gli oceani possono raggiungere profondità notevolmente elevate, tanto da superare la cosiddetta curva di compensazione del carbonato di calcio, oltre la quale la calcite si scioglie. Quindi è possibile che nei punti più profondi dell'Oceano solo i gusci silicei abbiano potuto conservarsi e trasformarsi in una roccia chiamata *radiolarite*, mentre i carbonati si sono preservati solo nelle zone meno profonde, trasformandosi progressivamente in *calcare*. Nell'Oceano Ligure Piemontese tutti questi organismi vivevano in mare aperto (o zona pelagica). Qui, sospesi e trasportati dalle correnti, radiolari, diatomee, foraminiferi, e altri microorganismi lasciavano cadere un'incessante pioggia di gusci. Si creava così sul fondo dell'oceano un fango carbonatico o siliceo, che era ricoperto da altri strati di fango, con spessori di più di mille metri. Il peso e la pressione di tutti questi strati di fango su quelli sottostanti, un poco alla volta li compattarono tra loro, spremendo fuori tutta l'acqua e unendo tra loro i minerali che li compongono, trasformandoli così in rocce, secondo un processo che i geologi chiamano *diagenesi*.

E' quasi incredibile pensare che, nel Cretaceo, rocce dello spessore di centinaia di metri vennero create da organismi che, per la maggior parte, erano unicellulari. Il *nanoplancton* era costituito infatti da un'unica cellula rivestita da uno scheletro protettivo. Gli esemplari più grandi, tanto per avere un'idea, arrivavano a misurare pochi micron. Eppure questi microscopici esserini diedero un contributo fondamentale per la costituzione di una formazione rocciosa abbondantemente diffusa nel nostro paese: la maiolica.



Maiolica in affioramento a Cantiano (PU) - da wikipedia.

## LA MAIOLICA

In tutta Italia, dalle Alpi meridionali alla Sicilia, è possibile osservare una formazione geologica di colore bianco, con sfumature dal marroncino al verdastro, che contiene noduli o lenti di selce di colore variabile dal rosato, al grigio, al nero. Sono calcari a grana finissima, formati da frammenti dei gusci carbonatici di organismi pelagici con dimensioni decisamente microscopiche (nanoplacton). Per questa ragione la roccia è particolarmente uniforme, priva di asperità, levigata e in facilmente in forme arrotondate dovute all'erosione. La maiolica è forse la formazione carbonatica più caratteristica del periodo di quiescenza dell'Oceano Ligure-Piemontese, se non altro per la sua diffusione in tutto lo stivale. Nelle varie regioni la formazione assume nome diversi:

biancone, lattimusa, calcare rupestre, mentre in Liguria si trova un'analogha formazione sedimentaria chiamata Calcari a Calpionelle.

### I DIASPRI

Le impurità di ferro presenti nei diaspri che conferiscono ai loro affioramenti vivaci colorazioni, rosse (se il ferro è ossidato) e verdi (se il ferro è allo stato ridotto). I diaspri sono stati le prime rocce a sedimentare nell'Oceano Ligure-Piemontese e sono costituite esclusivamente da quarzo microcristallino. Hanno una grana finissima (dell'ordine del micron) e solitamente contengono microfossili, in particolare spicole di spugna e radiolari visibili solo al microscopio. Si formano per compattazione dei fanghi di quarzo (che, ricordiamo, è diossido di silicio) e per la sedimentazione degli scheletri silicei di radiolari, diatomee, spugne. I diaspri formati unicamente da gusci di radiolari prendono il nome di radiolariti.



**Diaspri del monte Treggin; Bargone , comune di Casarza Ligure (SV) – foto M.Pregliasco.**

### LE ARGILLE A PALOMBINI

Nella Liguria di levante, guardando sopra ai diaspri è possibile osservare i Calcari a Calpionelle e sopra ancora una formazione chiamata Argille a Palombini. Questa sequenza non è affatto casuale, ma come sempre accade in geologia, ci racconta una storia del passato più remoto.

I Calcari a Calpionelle, l'omologo ligure della maiolica, testimoniano la fine della sedimentazione dei radiolari, che a fine Giurassico furono sostituiti dagli organismi carbonatici.

Le Argille a Palombini, invece, chiudono il periodo di quiescenza dell'Oceano Ligure-Piemontese, che nel Cretaceo si preparava a entrare in una nuova fase: grandi quantità di sedimenti terrigeni venivano trasportati dai fiumi e dai torrenti formatisi sulle terre emerse, e si mescolavano ai fanghi carbonatici nelle profondità oceaniche. Ne risultò un'argillite alternata a livelli di calcare di colore grigio, simile al piumaggio delle colombe, da cui il suggestivo nome di "Argille a Palombini".



La Val Graveglia (GE) è un tesoro geologico nella quale è possibile osservare l'intera sequenza ofiolitica con la sua copertura sedimentaria - foto M.Pregliasco.



Il *Rosso ammonitico*, con i suoi calcari rossi nodulari e la ricca fauna ad ammoniti, testimonia l'approfondimento dell'Oceano Ligure Piemontese nel Giurassico medio, evento che precede il periodo di quiescenza. Affiora nelle Alpi meridionali, nell'Appennino umbro-marchigiano e nell'Appennino meridionale fino alla Sicilia – foto M.Pregliasco.

### DIMMI COME SEDIMENTI E TI DIRÒ CHI SEI

Lo studio delle rocce che costituiscono il sedimento di un fondo oceanico permette di ricostruire l'ambiente al tempo in cui quel materiale si è depositato. La sedimentazione silicea (di materiali composti da silicio come ad esempio il quarzo) quando dà origine a diaspri e selci indica un ambiente di mare profondo, mentre la sedimentazione prettamente carbonatica indica un ambiente meno profondo, ma sicuramente marino. Il contenuto fossilifero all'interno dei sedimenti permette di avanzare ipotesi sull'ambiente di deposizione. Tutti gli organismi viventi, infatti, si sono specializzati a vivere in un determinato contesto: in ambienti caldi o freddi, in mari bassi o profondi, in laghi e fiumi o sulle terre emerse. I fossili hanno un altro straordinario merito: la loro presenza consente di datare il campione di roccia nella quale si trovano, in particolare le ammoniti sono il *fossile guida* per eccellenza del Mesozoico (dal Triassico al Cretaceo).

Le argille e le sabbie generalmente arrivano dalle terre emerse e sono il risultato dello smantellamento dei rilievi ad opera degli agenti atmosferici. I detriti vengono trasportati da fiumi e torrenti fino in mare aperto dove le correnti li trasportano a grande distanza, fino nelle fosse oceaniche. Questi tipi di sedimenti sono chiamati *silicoclastici* o *terrigeni*. Analizzandoli è possibile scoprire da dove vengono, e quale rotta hanno seguito.

### L'APPENNINO TRA GIURASSICO E CRETACEO INF.

Verso la fine del Giurassico alla sedimentazione dei diaspri si sostituì quella dei calcari. Gradualmente aumentò l'apporto dei materiali provenienti dalla terra ferma, che si consolidarono in rocce sempre più argillose. Nel Cretaceo superiore (100 milioni di anni fa) la sedimentazione continentale assunse caratteri "catastrofici": stava iniziando una nuova era di terremoti, segno che i tempi stavano cambiando. Africa ed Europa avevano ripreso a muoversi, ma questa volta in senso opposto, si stavano avvicinando.

### CIRO, L'ISOLANO

Il piccolo *Ciro* è forse il dinosauro più famoso d'Italia. *Ciro* visse 113 milioni di anni fa, nel Cretaceo inferiore, in un isolotto in mezzo al mare, ben distante dalle coste Africane. Come fanno gli scienziati a sapere che *Ciro* era un isolano? Per essere un *Coelurosauria* (un vicino parente del ben più celebre *Velociraptor*) aveva una corporatura piuttosto minuta. Le specie terrestri che si evolvono sulle isole, e in particolare i predatori come *Ciro*, devono infatti fare i conti con il cibo disponibile limitato dal confine della terra emersa o dallo spazio a disposizione. Per questo motivo si sviluppano specie con una corporatura minuta, più piccoli ma capaci di sopravvivere con più scarse risorse alimentari e con meno esigenze territoriali. Dunque molto probabilmente ai confini dell'Oceano Ligure Piemontese una serie di isole popolava un mare caldo e basso delle quali *Ciro* è un testimone che ci arriva dal passato.



*Scipionyx samniticus*, conosciuto come *Ciro* – credits Alessandro Zocchi, licenza 123RF.

# I CONTINENTI SI AVVICINANO

(100 MA CRETACEO SUPERIORE)

Triassico

Giurassico

Cretaceo

Paleogene

Neogene

Quaternario

*La convergenza continentale, ossia il nuovo avvicinamento tra Africa ed Europa, non avvenne ovunque nello stesso modo. La zona degli Appennini iniziò presumibilmente a convergere nel Cretaceo superiore, mentre nelle Alpi lo scontro continentale era già avvenuto qualche tempo prima (nel periodo Aptiano) e aveva già provocato l'orogenesi. I movimenti di convergenza sono sempre accompagnati da terremoti lungo i margini continentali. Questi terremoti provocano frane sottomarine accompagnate da "correnti di torbida" che sono il vero e proprio marchio dei processi convergenti.*



Il rosone delle Basilica di San Salvatore dei Fieschi, costruita con l'impiego di marmo e ardesia; Cogorno (GE) –Foto M.Pregliasco.

## L'ARDESIA

Esiste un mestiere che nella sua apparente semplicità ha qualcosa di prodigioso. È quello dello spacchino, l'artigiano che divide in sottili lastre il blocco di ardesia che proviene dalla cava. Egli percuote con un mazzuolo un cuneo affilato appoggiato sulla pietra, dividendola perfettamente in due parti. Non importa se il blocco è grande quanto un'automobile, alla fine sarà suddiviso dal piccolo cuneo appoggiato su di una estremità della pietra. Lo spacchino ripete l'operazione più volte, percuotendo il cuneo sapientemente appoggiato sull'ardesia, fino a trasformare il blocco in un insieme di lastre dello spessore di alcuni millimetri. La perfezione dello spacco è tale che le lastre di ardesia, una volta levigate, possono essere impiegate come piani per le lavagne e i tavoli da biliardo. Come è possibile che una roccia possa essere sezionata in lastre sottili senza impiegare alcuna lama o sega, ma solo percuotendo con un cuneo la sua superficie?



Il mestiere dello spacchino - per gentile concessione Ardesia Mangini snc, Cicagna (GE).

Tanto per cominciare lo spacchino sa bene che il cuneo deve essere appoggiato dal lato giusto della roccia, altrimenti sono guai! Egli osserva attentamente il blocco per individuare il verso di rottura (tecnicamente chiamato *clivaggio*) nel quale il materiale si suddivide senza rompersi in mille pezzi. Il clivaggio è la proprietà di alcune rocce a dividersi naturalmente secondo piani paralleli. Nelle ardesie, come in molte rocce metamorfiche, questa caratteristica è particolarmente accentuata. Il clivaggio è infatti l'esito delle temperature e delle pressioni alle quali le rocce sono state soggette quando giacevano in profondità, sepolte sotto strati di sedimenti. Come se non bastasse, le ardesie sono state ulteriormente deformate e compresse dai movimenti delle placche che stavano chiudendo l'Oceano Ligure-Piemontese. Tutto ciò ha prodotto la formazione di cristalli lamellari sottili e appiattiti, con superfici piane orientate perpendicolarmente alla pressione. È un po' come prendere le tessere di un puzzle da una scatola e metterle sul tavolo. Nella scatola le tessere sono disordinate, mentre sul tavolo hanno tutte la superficie piana rivolta verso l'alto a meno di voler fare giochi di equilibrismo. I cristalli hanno così formato dei piani paralleli sovrapposti, come le pagine di un libro o la pasta sfoglia, che suddividono il blocco di ardesia. Basta capire in quale direzione sono disposti i piani per dividere la roccia in fogli sottilissimi, solo con l'ausilio di un semplice cuneo.

Nel fango cretaceo, oltre ai livelli argilloso-calcarei dai quali hanno avuto origine le ardesie, vi erano livelli argillosi che si sono trasformati in *argilliti* e altri ancora di natura sabbiosa, che hanno dato luogo alle *arenarie*. Per questo motivo i cavaatori, che ogni giorno estraggono blocchi di materiale dalle cave, devono fare i conti con ciò che c'è sotto e ciò che c'è sopra l'ardesia, che non ha alcun valore commerciale. Ciò che viene più o meno rapidamente eliminato come scarto di cava è in realtà il prodotto di milioni di anni di attività dei continenti, delle acque, e dei terremoti.



Cava di Ardesia in Valfontanabuona (GE) - foto M.Pregliasco.

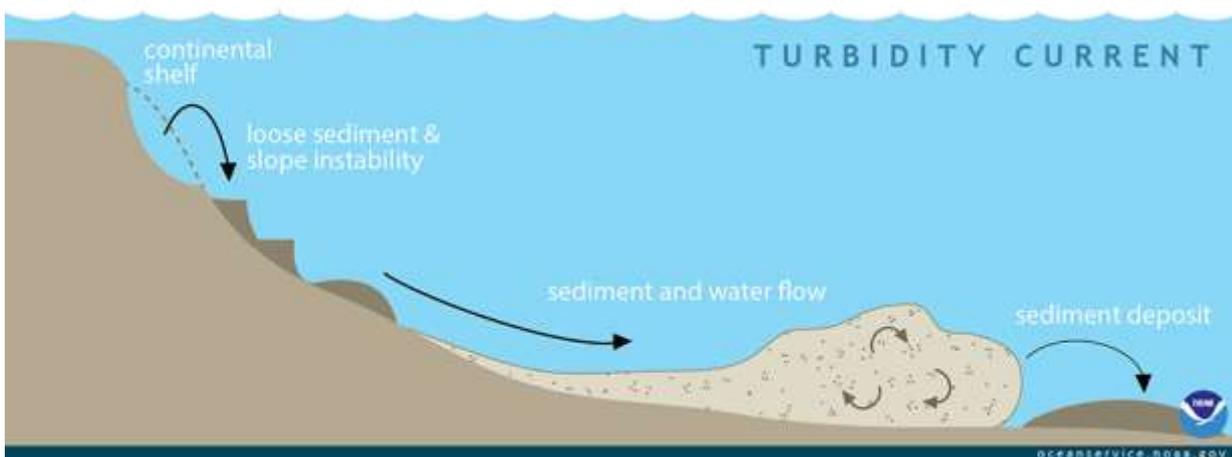
## 1929, QUANDO AMERICA E EUROPA NON PARLARONO PIÙ

Nel novembre del 1929 al largo della penisola di Terranova, nell'oceano Atlantico, si consumò un fenomeno catastrofico che mandò in tilt le comunicazioni tra nuovo e vecchio continente. Dopo una scossa di terremoto di magnitudo 7.2, tredici cavi telegrafici transoceanici si ruppero in successione l'uno dopo l'altro. Inizialmente si pensò che il disastro fosse attribuibile al terremoto stesso, ma alcuni cavi furono recisi ben tredici ore dopo l'evento sismico e a oltre 700 km di distanza

dall'epicentro. Il terremoto doveva aver innescato qualcosa che avanzava sulla piana oceanica come una cesoia; ma di che cosa si trattava?

In base alla distanza tra i cavi e l'ora in cui furono tranciati venne calcolata la velocità di propagazione: oltre 25 Km/h, quindi ben al di sopra della velocità delle correnti marine, che solitamente non superano i 9-10 Km/h.

Colpevoli risultarono i sedimenti depositati dalle foci dei fiumi che normalmente riposano nella parte sommersa dei continenti, provvisoriamente "parcheggiati" sulla piattaforma continentale. La piattaforma ha una debole pendenza che si raccorda con la profonda piana abissale attraverso una ripida scarpata, vero e proprio scivolo naturale. Durante l'evento sismico i sedimenti furono spinti verso la scarpata e scivolarono giù come una valanga, raggiungendo la velocità di 100Km/h e dilagando nella piana abissale dove erano posti i cavi telegrafici. S'innescò così una corrente sottomarina caratterizzata da una densa sospensione di detriti e acqua. Questa turbolenza investì ed erose tutto quello che le si trovava davanti, incidendo profondi canyon sottomarini prima di rallentare e depositare il suo carico di sabbia e fango. La corrente può viaggiare per chilometri grazie alla differente densità tra la sospensione torbida e l'acqua che, complice la gravità, crea energia di movimento anche lungo pendii poco acclivi. Questi flussi turbolenti sono conosciuti come **correnti di torbida**, e i depositi da loro lasciati sono detti **torbiditi** o **flysch**, termine svizzero che indica una china scivolosa, perché queste formazioni sono particolarmente instabili e franose.



Da wikipedia

### INTANTO IN ITALIA...

Lungo l'Appennino è facile imbattersi in pareti costituite da alternanze di rocce chiare e rocce scure. Avvicinandosi si può notare che le rocce chiare sono costituite da piccoli granuli di sabbia, mentre quelle scure hanno un aspetto più uniforme perché formate da invisibili granuli di argilla. Le rocce chiare, o *arenarie*, sono più compatte e resistenti delle rocce scure, chiamate *argilliti* o *peliti* (dal greco πηλός = fango, argilla), per questo appaiono in rilievo.

Queste sequenze erano già conosciute fin dall'inizio dell'Ottocento, ma nessuno sapeva spiegarne l'origine. Furono due geologi Italiani di scuola toscana, Carlo Ippolito Migliorini e Roberto Signorini, a risolvere il mistero.

Signorini fu il primo (1936) ad accorgersi che le arenarie di queste formazioni hanno un'altra particolarità: i granuli hanno dimensioni maggiori mano a mano che si procede verso il basso. La scoperta di questi "strati gradati" mise sulla buona strada il collega Migliorini che proprio in quel periodo stava studiando le formazioni del Macigno appenninico. Contemporaneamente in Olanda un altro geologo, Kuenen, riuscì a ricreare depositi gradati in laboratorio, facendo fluire miscele di acqua, argilla e sabbia in una vasca e simulando così gli effetti catastrofici delle correnti di torbida.

Migliorini, geologo di terreno, e Kuenen, ricercatore di laboratorio, s'incontrarono casualmente a Londra in occasione del XVIII Congresso Internazionale di Geologia. Non ci misero molto a tirare le somme dei loro rispettivi lavori: le rocce del Macigno appenninico sono di origine torbida.

## I DEPOSITI GRADATI

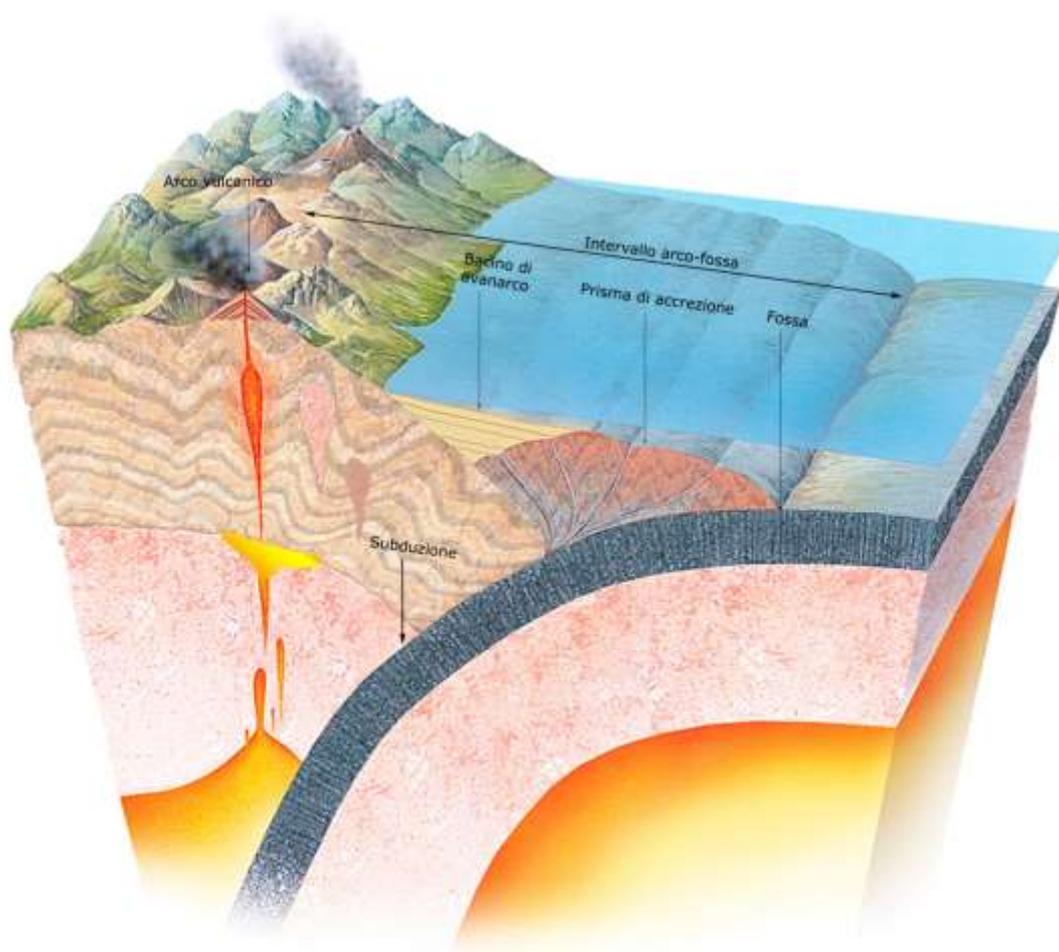


La tipica sequenza di deposizione nelle correnti di torbida, conosciuta anche come sequenza di Bouma - da wikipedia:

- A. Sabbie da grossolane a fini (inizio della torbida).
- B. Sabbie con laminazione parallela (la corrente ha un velocità elevata).
- C. Sabbie con laminazioni convolute (la velocità della corrente diminuisce).
- D. Fanghi fini (si deposita la parte ultima della torbida).

Quando le correnti di torbida raggiungono la base della scarpata continentale si espandono e invadono la piana oceanica; qui perdono progressivamente energia e velocità e un poco alla volta cominciano a rilasciare sul fondo il loro carico di sedimenti. Quelli più grossolani e pesanti, come ciottoli e ghiaie grosse, si depositano per primi, mentre i sedimenti più fini e leggeri rimangono ancora in sospensione nella coda della corrente di torbida, a volte per mesi o per anni, fino a quando la corrente perde ogni energia. Il deposito che ne risulta è quindi *gradato*, con depositi grossolani in basso seguiti da depositi sempre più fini verso l'alto degli strati.

Questi depositi ai piedi delle scarpate continentali hanno una tipica forma lobata, simile a un'unghia, e sono chiamati *conoidi sottomarine*.



### L'APPENNINO NEL CRETACEO SUP .

L'era dei dinosauri volgeva ormai al tramonto. Africa e Europa si fronteggiavano, separate dall'Oceano Ligure-Piemontese: sulla costa europea già si intravedevano terre che un giorno sarebbero diventate la Corsica, la Sardegna e più a sud la Calabria e la Penisola Iberica. La costa africana si protendeva sull'oceano con una microplacca, **Adria**, destinata – col passare del tempo – a scontrarsi contro il blocco sardo-corso.

Il viaggio di Adria verso L'Europa cominciò nel Cretaceo superiore. Al momento dello scontro tra le due placche, la litosfera oceanica, più pesante e più densa, cominciò a sprofondare sotto la litosfera continentale ("subduzione"): poco alla volta, l'Oceano Ligure-Piemontese s'infilò sotto all'Europa (probabilmente sotto alla Corsica); intanto, il fronte della placca europea come un bulldozer raschiava il fondo dell'oceano, accumulando tutto il sedimento che trovava in **prismi di accrezione**. Mano a mano che l'Africa avanzava l'Oceano Ligure-Piemontese diventava sempre più piccolo, la litosfera oceanica si consumava sotto la placca europea e il cuneo di accrezione s'ispessiva, accrescendosi in direzione dell'Africa.

In questo prisma di accrezione finirono i sedimenti oceanici: diaspri, argille, calcari, ma anche brandelli del basamento ofiolitico che sfuggivano alla subduzione. L'accumulo dei materiali innalzò il fondo oceanico portando in alto i sedimenti. Contemporaneamente, però, l'avvicinamento delle

placche innescò terremoti lungo tutto il fronte di subduzione. I terremoti scrollavano il cuneo di accrezione, innescando le correnti di torbida, le imponenti frane sottomarine che accumulavano grandi volumi di sedimenti ai piedi delle scarpate continentali e dei bacini marini.

### DI QUA O DI LÀ

La storia dell'”Oceano Ligure-Piemontese nella dinamica appenninica non è certa: alcuni sostengono che nel Cretaceo sia finito in subduzione sotto l'Adria, altri che sia sprofondato sotto l'Europa. Una parte dei terreni formatisi sopra il prisma di accrezione sono ripiegati (fenomeno che i geologi definiscono più propriamente *vergenza*) verso l'Europa, a conferma di una subduzione africana; altri però appaiono piegati verso l'Africa! Un gran bel mistero ancora oggi da risolvere...

Le cose si faranno chiare quando la Corsica e la Sardegna si avvicineranno all'Adria, ma per parlare di questo dobbiamo aspettare di arrivare all'Oligocene.



La suggestiva veduta sui Calcari di Monte Antola dalla passeggiata Anita Garibaldi di Nervi (GE) – foto M.Pregliasco.



Lo scenario che si vede dal vaporetto che collega Camogli con San fruttuoso; Calcarei di Monte Antola piegati dall'orogenesi - foto M.Pregliasco.

### DA CAMOGLI A SAN FRUTTUOSO

Imbarcarsi sui vaporetti che salpano da Camogli per raggiungere l'abbazia di San Fruttuoso è il modo più semplice per raggiungere uno dei monasteri più affascinanti del levante ligure, immerso nello scenario del Parco Naturale di Portofino. Dal battello, che ci evita una lunga anche se suggestiva scarpinata sul margine della scogliera, si può ammirare lo spettacolare affioramento dei *Calcarei del Monte Antola* che si susseguono dalla partenza fino a Punta Chiappa, dove iniziano i conglomerati.

Il monte di Portofino è famoso per la varietà della sua flora, dovuta alla coesistenza di due mondi posti a nord e a sud del promontorio. Il versante meridionale è caratterizzato da un ambiente mediterraneo con un clima caldo e particolarmente siccitoso d'estate, a tal punto che le euforbie (*Euphorbia dendroides*) invertono il ciclo vegetativo: perdono le foglie nella stagione secca per

mantenerle durante l'inverno. Sul versante settentrionale invece la vegetazione è tipica del clima atlantico, più freddo e umido, che favorisce castagni, querce, carpini e altre specie mesofile (amanti dei climi freschi e umidi). Questa ricca biodiversità suggerisce l'importante impatto della geomorfologia sulla vegetazione, capace di adattarsi alla diversa esposizione dei versanti e a climi nettamente differenti tra loro.

I Calcari del Monte Antola hanno una storia tutta particolare da raccontarci: altro che semplici calcari! La nettissima alternanza di marne chiare, arenarie e argilliti scure, evidenziate dall'erosione e dalle numerose pieghe, suggerisce all'osservatore più attento che siamo in presenza di una formazione prodotta da una corrente di torbida. I calcari dell'Antola sono quindi, in realtà, dei flysch, delle torbiditi depositate nell'Oceano Ligure-Piemontese verso la fine del Cretaceo sup. (Campaniano). Questa roccia ha anche un altro nome: *flysch a elmintoidi*, perché in alcuni punti è



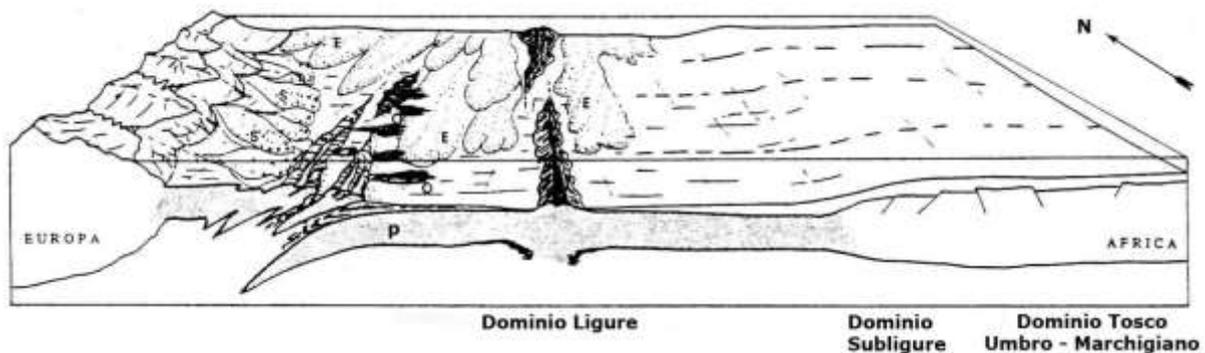
Elmintoidi sul Calcare del Monte Antola – foto M.Pregliasco.

possibile osservare le tracce di un animaletto che scavava gallerie nel fango depositato sul fondale oceanico. Questo verme perlustrava accuratamente ed in modo geometrico il terreno alla ricerca di nutrimento lasciando caratteristiche impronte chiamate elmintoidi. Bisogna sbarcare dal battello e avvicinarsi al flysch, senza confonderlo con i conglomerati con i quali confina, per tentare di scorgere veri e propri labirinti in rilievo sulla pietra.

Anche la magnifica abbazia di San Fruttuoso ci consente qualche osservazione geologica. La sua copertura è costituita da ardesie collocate nel tipico stile ligure: in particolare vale la pena di soffermarsi a osservare la copertura a “scaglie di pesce” della torre campanaria.

### UN NOME PER OGNI COSA: MARNE O CALCARI?

I geologi sono persone notevolmente scrupolose e hanno sempre un termine appropriato per ogni cosa. Il detrito oceanico e continentale che compone i flysch, ad esempio, può avere un contenuto variabile di carbonato di calcio e argilla. Quando la composizione degli affioramenti è mista si parlerà di “marna”, quando prevale il carbonato di calcio si parlerà di calcare. Esistono anche le vie di mezzo: i Calcari del Monte Antola sono, dal punto di vista petrografico, calcari che si avvicinano alla composizione delle marne (calcari-marnosi) perché, quando si sono formati, hanno ricevuto apporti di tipo carbonatico e in misura minore di tipo argillitico.



Fase di chiusura dell'oceano nel Cretaceo sup.; si notino le provenienze dei depositi di torbide: *nord* per le torbiditi calcaree (E) che hanno depositato i flysch a elmintoidi; *ovest*, dove era situato il massiccio sardo-corso, per quelle terrigene (S) che, tra le altre cose, hanno dato luogo alle ardesie della Val Fontanabuona. La placca oceanica (P) sta andando in subduzione sotto l'Europa; sono anche rappresentati i depositi ofiolitici (O) – da Gianfranco Gasperi 1995 modificato.

### DA DOVE ARRIVAVANO LE TORBIDITI?

I sedimenti delle correnti di torbida, potevano provenire da tre regioni: dalle Alpi a nord, dal massiccio sardo (che in seguito della chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese, si stava sollevando a ovest), e dalle piattaforme carbonatiche africane a est. Tra Africa ed Europa, ovviamente, c'era ancora il profondo Oceano Ligure Piemontese. La subduzione della placca aveva creato tutta una serie di bacini sul fondo oceanico che raccoglievano e tenevano separati, gli uni dagli altri, i diversi apporti sedimentari che oggi costituiscono le sequenze torbiditiche. La composizione prevalentemente carbonatica di alcune torbiditi (ad es. i *flysch a elmintoidi* del Monte Antola) suggerisce una loro possibile provenienza dalle piattaforme carbonatiche Africane o da quelle antistanti le neonate catene Alpine settentrionali. Una composizione terrigena (chiamata anche *silicoclastica*) indica invece una provenienza dai massicci alpini della Corsica e della Sardegna; nella Liguria di ponente sono un esempio il *Gruppo del Lavagna*, del quale fanno parte le famose ardesie della Val Fontanabuona. Ci sono poi torbiditi che hanno ricevuto sedimenti da entrambe le direzioni e sempre nella Liguria di ponente ne è un esempio il *Complesso di Casanova*.

### LIGURIDI: LE ROCCE DELL'OCEANO NELL'APPENNINO

Non è difficile trovare in Appennino le rocce che l'Europa ha raschiato sul fondo dell'antico Oceano Ligure-Piemontese: ciò che resta dell'antico prisma di accrezione può essere osservato dalla Liguria di levante fino alla Pianura Padana. Il termine *Dominio Ligure* o *Unità Ligure* richiama le ofioliti e la loro copertura di sedimenti, e tutta la lunga e travagliata storia dell'Oceano Ligure Piemontese. Per completare la nostra carrellata dei domini, la zona di confine tra quella che era la crosta oceanica e l'Africa è chiamato *Dominio Subligure* e confinava con il *Dominio Tosco-Umbro-Marchigiano* sul suolo paleosamente africano. I terreni europei in Appennino non sono presenti, sono rimasti sulle Alpi, nel blocco sardo corso e in Calabria!

# LO SCONTRO CONTINENTALE (EOCENE)

Triassico

Giurassico

Cretaceo

Paleogene

Neogene

Quaternario

## IL SANTUARIO DELLA VERNA



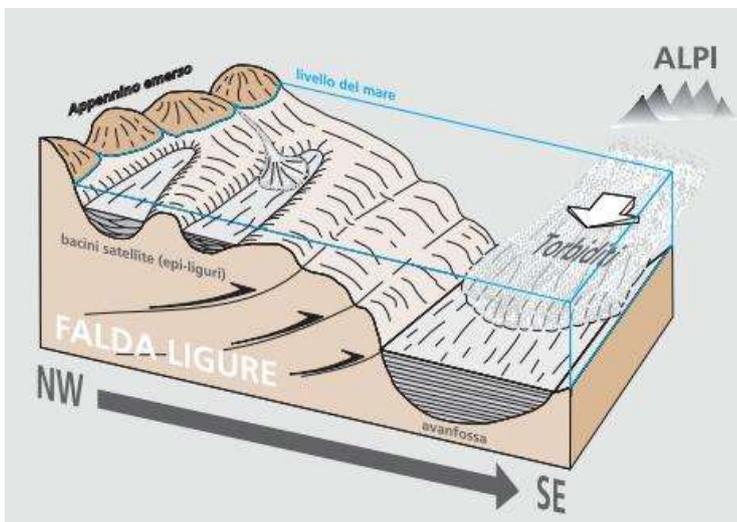
Santuario della Verna, Chiusa della Verna (AR) – foto M.Pregliasco.

La roccia ha da sempre avuto rapporti molto profondi con la storia, l'economia e la religiosità dell'uomo. Luoghi come il Monte Penna della Verna poi, con pareti solcate da burroni e precipizi, evocano un legame con la spiritualità, il trascendente e il soprannaturale. Perfino a Dante non passò inosservata la rupe che così venne descritta nel XI canto del Paradiso "Crudo sasso intra Tevero et Arno...". Qui, tra diavoli e dei pagani, trovò rifugio San Francesco d'Assisi e il monte divenne luogo di elezione della spiritualità francescana. Tornando alle cose terrene, per i geologi la rupe della Verna è in realtà un colosso con i piedi di argilla, costituita da calcari (*Unità Epiliguri*) che poggiano sulle infide argilliti (*Unità Liguri*).

Il peso della placca della Verna grava sulle argilliti che sono letteralmente spremute dal blocco che le sovrasta. È come calpestare la gomma da masticare: il materiale, plastico e flessibile, cede sotto il peso e viene estruso fuori.

Alla placca calcarea della Verna viene così a mancare letteralmente il terreno sotto i piedi, la placca si fraziona in blocchi che si abbassano e creano quelle suggestive e ampie fratture verticali nella roccia tra le quali trovò rifugio il Poverello di Assisi e che piacquero tanto al diavolo con cui Francesco ebbe qui più di uno scontro. Ma non è soltanto Francesco ad aver alimentato le pagine della storia: anche le rocce della Verna hanno un viaggio molto antico da raccontare.

### LE EPILIGURI A CAVALCIONI DELL'OCEANO (EOCENE)

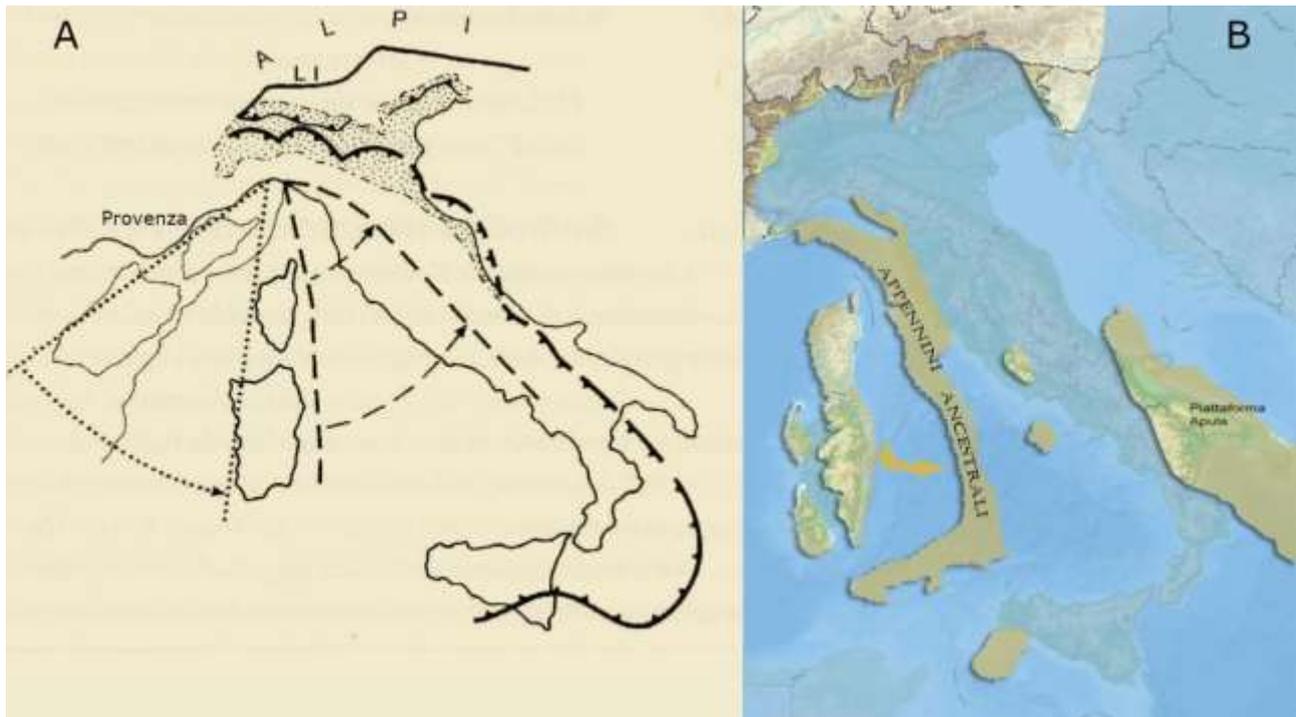


Le Epiliguri - Fonte ignota.

Nell'Eocene medio l'Oceano Ligure Piemontese non c'era più, consumato e inghiottito sotto l'Europa. Ora a scontrarsi erano direttamente le due placche continentali europea e africana. Sul cuneo di accrezione però continuavano a depositarsi sedimenti e nei bacini creati dal loro peso si depositavano le torbide. Erano mari più bassi rispetto ai fondali oceanici, ma comunque in grado di contenere grandi quantità di materiali. Proprio qui si formò, tra le altre, la sequenza sedimentaria su cui sorge il Santuario della Verna.

Questi bacini erano letteralmente a cavallo del cuneo di accrezione, per cui con scarsa fantasia i geologi li hanno chiamati semplicemente *piggyback*, dall'inglese "a cavalluccio". Di fatto i *piggyback* erano "in spalla" alle Unità Liguri, e per questo sono stati chiamati Unità Epiliguri.

Attenzione però! Il cuneo di accrezione si era formato lungo le coste europee, che a quel tempo erano le coste della Corsica e della Sardegna. Come hanno fatto le Epiliguri a finire sotto il Santuario della Verna in provincia di Arezzo?



(A) Oligocene, la rotazione della Corsica e della Sardegna; (B) Miocene, situazione delle terre emerse, la catena appenninica avanza spinta dalla rotazione del blocco sardo-corso - da R.Gelati, A.Bosellini modificato.

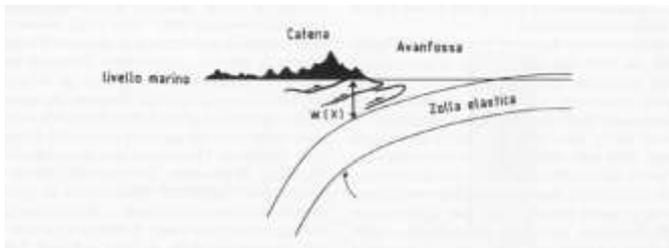
### LA ROTAZIONE DELLA CORSICA E DELLA SARDEGNA (OLIGOCENE)

Nell'Oligocene (28-30 milioni di anni fa) avvenne qualcosa di rivoluzionario. La Corsica e la Sardegna, che fino a quel momento se n'erano state buone buone attaccate al continente europeo, decisero di migrare verso oriente. Il motivo di questo spostamento è l'apertura del Bacino Balearico-Provenzale, un neonato oceano che cominciò con l'assottigliare e fratturare la litosfera continentale europea (fase di rifting) per poi aprirsi separando il blocco sardo-corso dalla Catalogna e dalla Provenza. La Corsica e la Sardegna ruotarono come un tergicristallo, con un movimento che faceva perno sul golfo di Genova, e si staccarono dalla Provenza e dalla Catalogna. Lo spostamento terminò nel Miocene inferiore (16-18 milioni di anni fa), quando le isole raggiungono l'attuale posizione.

L'africana Adria vide arrivarsi addosso il blocco europeo sardo-corso: le due placche, che già si erano avvicinate, si scontrarono e da questa collisione prese il via *l'orogenesi appenninica*.

Assieme al blocco sardo-corso ruotò anche l'antistante cuneo di accrezione che, con le sue Unità Epiliguri, finì sopra Adria, raggiungendo aree che oggi si trovano nella Pianura Padana, in Toscana e in Emilia-Romagna. Ecco spiegato perché sotto il Santuario della Verna ci sono le argilliti.

## LE AVANFOSSE



Da [www.sinipro.it](http://www.sinipro.it).

L'orogenesi appenninica, intanto, stava formando questa catena che si innalzava sotto la spinta del blocco sardo-corso. La litosfera, plastica, si piegò sotto il peso delle nascenti montagne e formò un profondo bacino nella zona antistante a quella in cui stava avvenendo l'orogenesi. Una enorme *avanfossa* (così i geologi chiamano questa depressione) si frappose così tra Adria e gli Appennini.

Mano a mano che l'Europa avanzava verso l'Africa, l'avanfossa iniziò a raccogliere i sedimenti provenienti dalle terre emerse. Il peso dei sedimenti premeva ulteriormente sulla litosfera, provocando l'apertura di una nuova avanfossa. Si spiega così la serie di torbiditi che dall'estremo levante ligure si spinge fino alle Marche, in una successione di flysch che i geologi definiscono amichevolmente come "la triade".



La Formazione marnosa-arenacea, una delle più note torbiditi di avanfossa, in affioramento al Passo dei Mandrioli alle Scalacce (AR) – foto wikipedia, Nicola Andrucci.



Il flysch in affioramento sull'Appennino Tosco-Romagnolo; veduta dal Monte Falterona sulla pianura romagnola - Foto M.Pregliasco.

## LA TRIADE

Nel nostro viaggio nella geologia dell'Appennino, iniziato con l'Oceano Ligure Piemontese, prosegue ora verso est, in Toscana e nell'area Umbro-Marchigiana, dove a partire dall'Oligocene arriva "l'onda" dell'orogenesi appenninica.

All'inizio dell'Oligocene la sedimentazione delle torbiditi cambia. Nel periodo precedente (Cretaceo-Eocene) i flysch delle Unità Liguri erano sedimentati sulla crosta oceanica dell'Oceano Ligure Piemontese, ed erano legati alla subduzione della crosta oceanica sotto i continenti. Una volta scomparso l'oceano, i flysch delle *Unità Toscane* e *Umbro-Marchigiane* cominciarono a sedimentare sulla placca continentale di Adria, testimoni della subduzione dell'africana Adria sotto il blocco sardo-corso europeo.

Lo scontro tra placche continentale aprì l'avanfossa a ovest degli Appennini, avanfossa in cui l'adiacente catena alpina riversava i suoi sedimenti. Le Alpi, che nell'Oligocene si erano già sollevate, stavano infatti iniziando a essere erose dai fenomeni atmosferici. I frammenti di rocce vulcaniche, di gneiss, e di rocce metamorfiche che arrivavano da nord testimoniano la loro origine alpina.

Si formarono così tre grandi successioni terrigene (o *silicoclastice* se preferiamo riferirci ai contenuti in silicati) distribuite nell'arco di 250 chilometri tra l'Appennino emiliano e l'Umbria. Sono tre torbiditi di età sempre più giovane mano a mano che ci si spostando verso est: il *Macigno* si è formato nel Tardo Oligocene-Aquitano (33 milioni di anni fa), il *Cervarola* nell'Aquitano-Langhiano (23 milioni di anni fa) e la torbidite *Marnosa-Arenacea* nel Serravalliano-Tortoniano (13 milioni di anni fa). Abbiamo così fatto conoscenza della celeberrima "triade" (cfr. Gelati R. "Storia geologica del paese Italia").



La Marnosa-Arenacea in affioramento nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, mostra la sequenza di Bouma - Foto M.Pregliasco.

### INTANTO NELL'APPENNINO MERIDIONALE: IL FLYSCH NUMIDICO

Durante la sedimentazione della "triade" dell'Appennino settentrionale, il meridione d'Italia non stava certo a guardare. Qui sedimentò un flysch che affiora per 200 chilometri da Gibilterra all'Appennino meridionale passando attraverso il Marocco, l'Algeria, Tunisia e Sicilia. Secondo Gelati, si distingue per l'alta percentuale di quarzo proveniente dall'erosione delle Arenarie Nubiane del cratone africano.



Cava di marmo, Alpi Apuane – foto M.Pregliasco.

## IL MARMO

Michelangelo Buonarroti era una persona che non lasciava nulla al caso. Si recava personalmente nelle Apuane, in Alta Versilia, per scegliere personalmente i blocchi di marmo dai quali avrebbe ricavato le sue opere. Michelangelo non voleva brutte sorprese: doveva essere sicuro che il materiale non presentasse difetti di colore e di qualità.

La storia dei marmi scelti da Michelangelo è avvincente, e lo è ancora di più se si pensa che la storia di quei blocchi è un'avventura di oltre duecento milioni di anni.

Nel Giurassico la Toscana era una scogliera corallina con un caldo mare tropicale. Sui suoi fondali si depositavano copiosamente i fanghi carbonatici destinati a diventare presto un bel calcare massiccio. Mare caldo e poco profondo erano le condizioni ideali perché il calcare potesse trasformarsi in una roccia ancora più compatta e uniforme, particolarmente apprezzata dagli scultori: il marmo.

Questo paesaggio così simile a quello delle Bahamas sparì nel corso dell'orogenesi appenninica, finendo a più di 20 km di profondità sotto il peso dei materiali che si accumularono successivamente.

Se le cose fossero rimaste così, Michelangelo avrebbe dovuto cercare il suo marmo da qualche altra parte perché nessuno avrebbe potuto tirarlo fuori dal profondo della crosta terrestre. A dargli una mano ci pensò l'apertura del mar Tirreno, nel Miocene superiore (8 milioni di anni fa). Sotto la spinta dei moti dell'astenosfera la crosta terrestre posta tra il blocco sardo-corso e la neonata catena appenninica cominciò ad assottigliarsi fino ad aprire il mare Tirreno. Si assottigliò anche la crosta che interessava il margine occidentale della Toscana, che venne intensamente fratturata. Alcune zone cominciarono ad abbassarsi mentre altre si alzarono, in un gioco di alti e bassi che portò all'innalzamento delle Alpi Apuane. Esposte al vento, all'acqua e al gelo le Apuane persero rapidamente la recente copertura sedimentaria esponendo così le antiche rocce giurassiche costituite dai marmi bianchi. Questo scorcio su quanto avvenne in un lontano passato è definito dai geologi *finestra tettonica*.



Il messiniano - grafica M.Pregliasco da Ron Blakey.

## LA CRISI DI SALINITÀ DEL MESSINIANO

Circa 6,9 milioni di anni fa la placca europea e africana, dopo un lento avvicinamento, entrarono in collisione. Contemporaneamente una glaciazione causò l'abbassamento del livello marino e i movimenti tettonici innalzarono tutta l'area mediterranea. Lo stretto di Gibilterra si chiuse e il Mediterraneo divenne un mare chiuso, soggetto ad una intensa evaporazione che determinò un ulteriore abbassamento del livello delle acque, con la conseguente emersione di vaste aree. I fiumi

cominciarono a erodere zone profonde . A quei tempi è probabile che il Rodano e il Nilo formassero cascate di 1500 metri di altezza!

Circa 3,5 milioni di anni fa l'acqua cominciò nuovamente ad entrare dallo stretto di Gibilterra : cascate alte 3000 metri cominciarono a riempire il bacino del mediterraneo. Di tutto questo oggi ci restano imponenti sequenze evaporitiche, in particolare gessi messiniani che affiorano dalla Sicilia fino al Monferrato.

### **I GEOPARCHI DELL'APPENNINO**

Per ammirare da vicino questa lunga e straordinaria avventura, possiamo visitare i sette geoparchi degli Appennini. Il Tuscan Mining Geopark, in provincia di Grosseto, è uno dei due parchi geominerari italiani riconosciuti nella rete mondiale dei geoparchi . Il Geoparco delle Apuane è invece legato ai marmi che fin dai tempi dei romani hanno rappresentato una ricchezza economica per la Toscana. La Primula di palinuro (*Primula palinuri*) e il Pino loricato (*Pinus heldreichii*) sono i simboli rispettivamente del Geoparco del Cilento e del Geoparco del Pollino. Nel Geoparco della Rocca di Cerere in Sicilia affiorano i depositi evaporitici della crisi messiniana, mentre nel Geoparco delle Madonie si scoprono i 200 milioni di anni di storia dell'isola.

# SOMMARIO

---

Nasce un oceano (180 Ma Giurassico medio) .....	2
Una roccia venuta dallo spazio? .....	2
Geofisica della Terra per chi non è un fisico .....	4
L'Appennino nel Giurassico medio .....	5
Cristalli .....	6
La dorsale oceanica e la triade delle ofioliti .....	6
Peridotiti .....	7
Le peridotiti non sono per tutti: il serpentino .....	8
I gabbri .....	9
I basalti .....	10
James Hutton: lo scopritore del tempo .....	11
I continenti rallentano (160 ma Giurassico sup. – 105 Ma Cretaceo inf.) .....	12
Un metallo importante dal fondo dell'oceano .....	12
L'Oceano ligure-piemontese in quiescenza .....	13
Rocce dagli animali? Nell'ambiente pelagico è possibile .....	14
La Maiolica .....	15
I diaspri .....	16
Le Argille a Palombini .....	17
dimmi come sedimenti e ti dirò chi sei .....	18
L'Appennino tra Giurassico e Cretaceo inf. ....	19
Ciro, l'isolano .....	19
I continenti si avvicinano (100 ma cretaceo superiore) .....	20
L'ardesia .....	21
1929, quando America e Europa non parlarono più .....	22
Intanto in Italia .....	23

I depositi gradati.....	24
L'Appennino nel Cretaceo Sup .....	25
Di qua o di là.....	26
Da Camogli a San Fruttuoso .....	27
Un nome per ogni cosa: Marne o calcari? .....	28
Da dove arrivavano le torbiditi? .....	29
Liguridi: le rocce dell'oceano nell'appennino.....	29
Lo scontro continentale (Eocene) .....	30
Il santuario della Verna.....	30
Le Epiliguri a cavalcioni dell'oceano (Eocene).....	31
La rotazione della Corsica e della Sardegna (Oligocene).....	32
Le avanfosse .....	33
La triade.....	34
Intanto nell'Appennino meridionale: il flysch numidico .....	35
Il marmo .....	36
La crisi di salinità del Messiniano .....	37
I geoparchi dell'Appennino.....	38
Bibliografia .....	41

## BIBLIOGRAFIA

---

- BOSELLINI A. - *La Terra dinamica*, Bologna, Zanichelli, 2011
- BOSELLINI A. - *Storia geologica d'Italia*, Bologna, Zanichelli, 2005
- BALLY, CATALANO, OLDOW - *Elementi di tettonica regionale*, Bologna, Pitagora Editrice, 1985
- BROWN G.C., MUSSET A.E. - *La Terra inaccessibile*, Bologna, Pàtron, 1985
- CHAMBERS J., MITTON J. – *Dalla polvere alla vita*, Milano, Hoepli, 2016
- COLI M., E. LIVI, C. TANINI - *La pietra serena dal macigno di flesole*, Università di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra
- GASPERI G.- *Geologia regionale* Bologna, Pitagora Editrice, 1995
- GELATI R. - *Storia geologica del paese Italia*, Parma, Diabasis, 2013
- FRANCO, RICCI, LUCCHI – *Sedimentologia*, Clueb, Bologna, 1980
- FACCINI F., MARESCOTTI P., ROBBIANO A. - *La Val Graveglia*, Genova, Ente Parco dell'Aveto
- MATTAUER M.- *Messaggi di pietra*, Bologna, Zanichelli, 2011
- MARTHALER M. – *Il cervino è africano?*, Biella,Eventi e progetti, 2010
- PALMA M. - *Inquadramento biostratigrafico della sezione paleocenico-eocenica del torrente terche (mel, bl)*, Tesi di lauree, Università di Padova.
- POGGI E. - *Rocce di Liguria*, Gavi, Il Piviere, 2011
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA – *Alpi Liguri*, Milano, BE-MA editrice, 1991
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA – *Alpi dal M.Bianco al Lago Maggiore*, Milano, BE-MA editrice, 2004
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA – *Alpi e Prealpi Lombarde*, Milano, BE-MA editrice, 2002
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA - *Appennino Ligure-Emiliano*, Milano, BE-MA editrice, 2002
- SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA - *Appennino Tosco-Emiliano*, Milano, BE-MA editrice, 2004
- TERRANOVA R - *Le ardesie della Liguria dalla geologia all'arte*, Genova, Erga Edizioni 2010

ISPRA, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1-50.000 – foglio 232 Sestri levante

ISPRA, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1-50.000 – foglio 215 Bedonia

ISPRA, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1-50.000 – foglio 214 Bargaglia

ISPRA, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1-50.000 – foglio 265 Bagno di Romagna

ISPRA, Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1-50.000 – foglio 260 Viareggio