

1. I Dinosauri e la Geologia

1.1 Il tempo geologico

In questo libro si parla di fatti avvenuti decine di milioni di anni fa, un tempo inimmaginabile per noi esseri umani (a parte i geologi: per me 10.000 anni fa è stamattina, mentre per la maggior parte di voi già 1000 anni sono un tempo piuttosto lungo...). Per potervi dare una misura del tempo prendiamo una linea ideale, ci posizioniamo al suo estremo e camminiamo nello spazio come se si camminasse nel tempo, considerando 1 millimetro come la lunghezza di un anno. La nascita di Cristo è a 2 metri di distanza, mentre l'adozione dell'agricoltura nel Vicino Oriente a 11 (risale infatti a circa 11.000 anni fa) e l'ultimo massimo glaciale, 20.000 anni fa, a 20 metri. Cioè, se si parte da una stanza ne siamo già usciti anche solo per avvenimenti tutto sommato recenti. Andiamo oltre: bisogna percorrere 40 metri per arrivare agli ultimi Neandertaliani mentre a circa 100 e 200 metri si collocano rispettivamente l'uscita di *Homo sapiens* dall'Africa e la sua comparsa. A questo punto le distanze si dilatano enormemente: occorre camminare più di 2 km per arrivare al momento in cui compaiono in Africa orientale i primi esponenti del genere *Homo* mentre bisogna farne ben 65 per arrivare all'estinzione dei dinosauri e 220 per arrivare alla loro prima comparsa. Se poi vogliamo concludere il nostro cammino arrivando alla formazione della Terra, si devono percorrere ben 4.700 km.

Vediamo alcuni avvenimenti principali della storia della vita sulla Terra nella tabella 1.1, in cui oltre all'età indico una distanza considerando un anno un millimetro. Osservate anche una particolarità della grafica geologica, nata con la necessità di descrivere le serie stratigrafiche: gli avvenimenti più antichi sono in basso.

Tab. 1.1 Paragone fra età e distanze considerando un anno come un millimetro

Età assoluta	Età relativa	evento	distanza
70 anni	Età contemporanea	Fine della II guerra mondiale	7 cm
520 anni	Età moderna	Scoperta dell'America	52 cm
2.000 anni	Età antica	Nascita di Cristo	2 m
11.000 anni	Olocene	Inizio delle pratiche agricole nel Vicino Oriente	11 m
20.000 anni	Pleistocene	Ultimo massimo glaciale	20 m
40.000 anni	Pleistocene	Estinzione definitiva di <i>Homo neanderthalensis</i>	40 m
100.000 anni	Pleistocene	<i>Homo sapiens</i> esce dall'Africa	100 m
200.000 anni	Pleistocene	Comparsa di <i>Homo sapiens</i>	200 m
2,2 MA	Pliocene	Primi <i>Homo</i>	2,2 km
5–7 MA	Miocene	Divergenza fra gli antenati di <i>Homo</i> e di <i>Pan</i>	5–7 km
65 MA	Fine Cretaceo	Estinzione dei dinosauri e di altre forme di vita	65 km

200 MA	Fine Triassico	Estinzione di massa: i dinosauri si salvano e diventano i padroni della Terra	200 km
237 MA	Triassico Medio	Comparsa dei primi dinosauri	237 km
251 MA	Fine del Permiano	La più grande estinzione di massa della storia	251 km
290 MA	Permiano Inferiore	I primi rettili antenati dei mammiferi sono chiaramente distinguibili dagli altri rettili	290 km
310 MA	Carbonifero Superiore	Inizia il dominio dei rettili	310 km
370 MA	Devoniano superiore	Il primo anfibio, l' <i>Ichtyostega</i>	370 km
470 MA	Ordoviciano	I primi veri pesci	470 km
540 MA	Inizio del Cambriano	Primi animali dotati di scheletro	540 km
4.700 MA	Adeano	Formazione della Terra	4.700 km

Per inquadrare gli avvenimenti della storia della Terra si usa la scala dei tempi geologici su cui mi devo soffermare un attimo perché è una base importante senza la quale si potrebbe fare un po' di confusione. Innanzitutto vediamo la differenza fra cronologia assoluta e relativa: sono entrambe importanti e si completano fra di loro. La cronologia assoluta ci fornisce la data esatta (più o meno...) di un avvenimento, quella relativa invece individua e dà un nome ad intervalli di tempo che hanno delle caratteristiche simili.

Dire che un fatto è avvenuto 80 milioni di anni fa o che è avvenuto nel Cretaceo sono entrambe asserzioni vere ed inconfutabili, come dire che Dante è vissuto tra il 1265 e il 1311 oppure dire che è vissuto nel Medioevo.

Per capire perché usare la scala assoluta o quella relativa facciamo un paragone: l'Autostrada del Sole è lunga circa 760 km e siete in macchina. Vi chiama un amico che vi chiede dove siete; voi potete rispondere in due modi: *siamo al km 325* oppure *siamo tra Firenze e Arezzo*. Se il vostro amico percorre abitualmente questa strada stando attento alle progressive kilometriche la prima risposta sarà assolutamente soddisfacente, ma siccome non ritengo probabile che sia così informato, la seconda risposta sarà sicuramente più chiara.

Ma se foste degli operai che devono fare un lavoro la risposta più utile sarà sicuramente *al km 325*, anzi dovrete sapere anche qualcosa di più, per esempio che il guard-rail da riparare è al km 325+450.

Ecco quindi in cosa consiste la differenza fra scala assoluta e relativa: la prima ci dà una indicazione puntuale in cifre, ma spesso è meglio averne una non matematica che però dà un'idea migliore della posizione. Anche io se leggo una data, per esempio 120 milioni di anni fa, per avere un'idea più chiara devo *tradurre* da assoluto a relativo e dire *ah, sì... ok... siamo nel Cretaceo Medio*.

Per molte questioni la scala relativa è sufficientemente precisa, anche se è meglio sapere che se parliamo del Giurassico parliamo di qualcosa avvenuto all'incirca tra 150 e 200 milioni di anni fa e

non 320 o 50. In altri casi, come appunto per collegare nel tempo i fenomeni che hanno concorso all'estinzione dei dinosauri, bisogna essere molto più precisi.

Anche dicendo di essere fra Firenze ed Arezzo potreste essere ancora più precisi, per esempio dire di trovarvi fra i caselli di Incisa e Valdarno. Allo stesso modo le ere sono divise in periodi, i quali a loro volta sono divisi in epoche, a loro volta suddivise in età.

La scala geologica relativa era già stata delineata a metà del XIX secolo in Inghilterra, ed era sostanzialmente basata sui ritrovamenti paleontologici: i limiti principali corrispondono ad alcune delle principali estinzioni di massa e non a caso l'era Mesozoica inizia dopo l'evento della fine del Permiano e finisce con quello della fine del Cretaceo.

Ci sono altre scale, per esempio quella *magnetostratigrafica*, ed è importante parlarne un attimo, perché si rivelerà fondamentale per quello che vi sto raccontando. È un altro sistema di datazione relativa: il campo magnetico terrestre influenza la disposizione dei minerali ferromagnetici quando si solidifica un magma o quando si deposita un sedimento ed è sottoposto ad inversioni che avvengono ad intervalli irregolari; per cui osservando le rocce si può riuscire a capire se in quel momento il campo magnetico terrestre era come oggi oppure era disposto in maniera inversa. In molti casi si riesce anche a ricavare un'idea approssimata della latitudine a cui queste rocce si sono formate. La stratigrafia magnetica è un ottimo supporto a quella ricavata con i fossili e molto utile quando abbiamo a che fare con rocce vulcaniche nelle quali ovviamente di fossili non ce ne possono essere, se non in sedimenti intrappolati fra due colate successive. Un altro vantaggio è che è uguale in tutta la Terra, mentre le stratigrafie basate sui fossili possono essere diverse perché le varie specie non sono mai distribuite su tutta la Terra.

I periodi della stratigrafia magnetica sono detti *Chron*. Una *Chron* è quindi l'intervallo di tempo in cui il campo magnetico è rimasto costante tra due inversioni. Ci sono *Chron normali* (il

campo magnetico è uguale a quello odierno) e *Chron inverse*, in cui il campo magnetico è inverso rispetto a quello attuale. Oltre a queste inversioni i poli magnetici si muovono costantemente e quindi il campo magnetico si muove di continuo.

1.2 Le estinzioni di massa

Nella storia della vita sulla Terra le specie si estinguono continuamente e continuamente ne compaiono di nuove. Fondamentalmente in Natura una specie si estingue perché qualcosa cambia nell'ambiente: variazioni climatiche, eventi geologici, perdita della fonte di cibo, competizione con una nuova specie (talvolta imparentata: un ramo collaterale della stessa specie che ha accumulato delle variazioni genetiche particolari che la rendono più competitiva rispetto all'originale), oppure per una malattia che la colpisce selettivamente. Ovviamente meno la specie è numerosa e/o minore la sua distribuzione areale più è a rischio. Il Diavolo della Tasmania è un emblema di ciò: questo carnivoro marsupiale, diffuso in tutta l'Australia prima della colonizzazione europea, ma ormai confinato in un'area ristretta, è preda di una malattia ed è a gravissimo rischio di estinzione. Se ci fossero altre popolazioni più lontane dal luogo della crisi la specie correrebbe meno rischi.

Una specie può estinguersi oppure evolversi in una diversa. La cosa sorprendente è che l'evoluzione non è una cosa lenta e continua, ma procede a salti, i cosiddetti *equilibri punteggiati*.

Ho detto poc'anzi che una specie si evolve quando cambia qualcosa. Perché? Semplice, in un ambiente costante le mutazioni difficilmente "pagano". Per esempio se grazie ad una mutazione compare un cambio di colore, questo difficilmente potrà essere positivo: è molto probabile che quello normale sia più utile. Ma se l'ambiente cambia, una mutazione genetica potrebbe cambiare il colore della pelle con uno che mimetizza meglio e il portatore di questa variazione lo lascerà alla sua discendenza che, avendone un

vantaggio, si riprodurrà più facilmente rispetto ai suoi simili dal colore vecchio. Ho fatto l'esempio del colore, ma un mutamento utile può coinvolgere una qualsiasi parte del corpo e se utile può fissarsi in una specie in tempi straordinariamente brevi.

Un fatto ricorrente nella storia della vita sulla Terra sono dei momenti in cui il tasso di estinzione è aumentato in maniera esponenziale, provocando la contemporanea scomparsa di interi gruppi animali fino a quel momento particolarmente in salute (come i dinosauri nel Cretaceo) con poche o nessuna relazione diretta fra loro. Quella della fine del Cretaceo è l'ultimo pesante di una lunga serie di eventi.

Nella Scienza i concetti vanno definiti chiaramente e una buona definizione serve moltissimo a questo. Quello di estinzioni di massa è stato introdotto nel 1963 da Norman Newell (1919 – 2005) (Newell, 1963); per lui c'erano stati 6 eventi del genere: alla fine del Cambriano e dell'Ordoviciano, nel Devoniano Superiore e alla fine di Permiano, Triassico e Cretaceo.

Nel 1986 J. Jack Sepkoski (1948 – 1999), un grande talento mancato prematuramente alla Scienza, le definì come *“estinzioni significative di forme viventi che interessano vari gruppi non correlati fra loro, hanno una distribuzione globale su tutta la Terra e si svolgono in un lasso di tempo molto breve”*.

Insisto su questi 3 punti perché sono molto importanti:

1. devono colpire molti gruppi e, soprattutto, questi gruppi devono essere molto diversi fra loro, per origine, fisiologia, ambiente di vita ed altro. Non si può parlare di estinzione di massa se vengono solo colpiti dei gruppi in stretta correlazione fra loro
2. una estinzione di massa è un fatto globale ed è quindi slegata da circostanze locali e deve interessare la più vasta serie di ambienti: marini e terrestri, caldi e freddi, di alte e basse latitudini etc etc. Un cambiamento qualsiasi può produrre drastiche conseguenze in un'area ristretta (anche un continente intero!), ma se nel resto del mondo non succede niente di particolare non si può parlare di estinzione di massa

Facciamo due esempi recenti di vaste estinzioni ma che non possono essere considerate estinzioni di massa:

- circa 3 milioni di anni fa l'istmo di Panama collegò le due Americhe e i mammiferi placentati provenienti dall'America Settentrionale sostituirono le faune a mammiferi del continente sudamericano: scomparvero interi gruppi come i notoungulati ed i carnivori marsupiali. Quella non è una estinzione di massa perché ha riguardato il solo continente sudamericano
 - circa 2,5 milioni di anni fa, al passaggio fra Pliocene e Quaternario, l'inizio delle glaciazioni quaternarie ha coinciso con cambiamenti climatici che hanno provocato un riordino delle fasce climatiche. Per esempio in Spagna diminuirono fortemente le precipitazioni e le nuove condizioni climatiche provocarono la sostituzione di un ambiente boscato con uno aperto, il che innescò rapidi cambi faunistici (Montuire, 1999). Il raffreddamento fu fatale per i Primati che abitavano tutta l'Europa meridionale. Ma non si può considerare una estinzione di massa perché è limitata alla parte settentrionale dei continenti boreali
3. il tutto deve svolgersi in un tempo breve a scala geologica: poche decine di migliaia di anni o al massimo qualche centinaio

In precedenza Sepkoski insieme a David M. Raup tolse dall'elenco di Newell l'evento della fine del Cambriano, per cui rimasero quelle che sono state chiamate le "*Big Five*" (Raup e Sepkoski, 1982).

Ci sono altri aspetti delle estinzioni di massa che meritano di essere ricordati:

4. le estinzioni di massa eliminano gran parte delle forme viventi del loro tempo, ma i superstiti hanno l'occasione di ricolonizzare mari, terre ed anche l'aria; la vita prima e dopo questi eventi può essere completamente diversa perché alle volte scompare qualsiasi traccia di gruppi in precedenza particolarmente rigogliosi e salgono alla ribalta gruppi precedentemente marginali che compiono una rapida differenziazione
5. alcuni gruppi, anziché estinguersi, presentano un massiccio

- ricambio delle specie, che prima e dopo l'evento possono essere completamente diverse
6. sono eventi particolarmente selettivi: alcuni gruppi passano la crisi praticamente nessuna conseguenza, altri vengono completamente annientati
 7. alcuni di questi episodi prima di essere riconosciuti definitivamente sono stati ipotizzati proprio per la presenza di rapide ed improvvise radiazioni di alcuni gruppi animali
 8. è quindi chiaro che in alcuni momenti della storia della Terra sia successo qualcosa che ha influenzato in maniera pesante la biosfera. C'è chi propone che gli eventi di estinzione di massa abbiano tutti la stessa causa (impatti di corpi celesti sulla Terra o la messa in posto di estese coperture basaltiche, per esempio) e c'è chi invece pensa che ognuno di questi eventi abbia avuto un meccanismo particolare

Il XIX secolo ha visto la lotta fra i creazionisti antievoluzionisti e gli evoluzionisti. I creazionisti sostenevano che Dio avesse creato le specie così come sono mentre gli evoluzionisti sostenevano che la vita fosse iniziata con esseri unicellulari poco complessi che successivamente si sono evoluti. Il contraltare geologico erano i catastrofisti, secondo i quali la superficie terrestre era stata modellata da pochi, significativi, eventi catastrofici ed i gradualisti, che sostenevano il *principio dell'attualismo* elaborato da James Hutton (1726 – 1797), secondo il quale i fenomeni geologici attuali sono anche quelli che hanno governato la Terra nel passato.

Il modo con cui noi classifichiamo le specie viventi risale al grande naturalista svedese Carlo Linneo (1707 – 1778), che lo presentò nel *Systema Naturae* nel 1735, aggiornandolo durante tutta la sua vita.

La classificazione di Linneo è stata un passo avanti semplicemente incredibile nelle Scienze Naturali perché ha consentito da quel momento in poi la precisa collocazione nel quadro generale dei viventi di ogni animale e di ogni pianta, anche di quelli, numerosissimi, che sono state scoperti da allora.

Anche se è stata una ispirazione non da poco per chi in seguito ha pensato all'evoluzione dei viventi, la classificazione linneiana non risponde strettamente alla ricerca di una origine comune o di una stretta parentela, inimmaginabile per un'epoca in cui si pensava che le specie fossero state create tutte insieme e nello stesso momento da Dio, ma si basa su somiglianze anatomiche, che, comunque, hanno quasi sempre un significato evolutivo. Dico quasi sempre perché gli studi paleontologici e geologici a cui negli ultimi decenni si sono aggiunti quelli genetici hanno un po' modificato le cose. Per esempio i cetacei erano stati classificati da Linneo come ordine autonomo; oggi i dati genetici hanno dimostrato che sono imparentati con i mammiferi ungulati a dita pari, gli artiodattili (suini, ovini, cervidi, bovidi, ippopotami ed altri); e siccome gli ippopotami sono più parenti dei cetacei che degli altri artiodattili, molti Autori hanno unito i due ordini creati da Linneo uno solo, i *Cetartiodattili*.

Fino alla prima metà del XIX secolo erano pochi ancora gli scienziati che proponevano una qualche forma di evoluzione.

La vittoria di gradualismo ed evoluzionismo è stata dovuta in larga parte a due Charles: Charles Lyell (1797 – 1875) pubblicò nel 1830 i *Principles of Geology*, un monumento all'attualismo, mentre Charles Darwin (1809 – 1882) nel 1859 con *L'Origine delle specie* concluse il dibattito tra creazionismo ed evoluzionismo.

Ci sono a questo proposito alcune considerazioni da fare e cioè:

1. Darwin non *inventò* l'evoluzione, tantomeno fu il primo evoluzionista: ma viene così tanto ricordato perché ne "l'origine delle specie" presentò una serie di prove, frutto di 20 anni di studi, talmente accurate e circostanziate da non lasciare dubbi in proposito e da quel momento l'evoluzionismo fu accettato senza esitazioni dalle nuove generazioni di scienziati
2. viene ricordato anche perché dopo un secolo di dibattito è stato il primo a presentare un meccanismo credibile che la consentisse: la *selezione naturale*. Alfred Russel Wallace (1823-1913) arrivò indipendentemente alla stessa conclusione e ne

parlò prima di tutto in una lettera a Darwin stesso del 1858, al quale comunque resta la prima paternità dell'idea in quanto aveva scritto un manoscritto in proposito nel 1844 e aveva già parlato di questo argomento in lettere e riunioni con amici (nonostante fosse ancora restio a pubblicare definitivamente i suoi pensieri). Sempre nel 1844 un accenno alla selezione naturale fu scritto in un librettino anonimo, le cosiddette *Vestigia della storia naturale della creazione*. Qualcuno della sua cerchia era convinto che l'anonimo scrittore fosse Darwin stesso; in realtà molte piste portano a Robert Chambers (1802 – 1871), un giornalista privo di qualsiasi formazione scientifica! Ma ci sono voluti altri 30 anni prima che, verso il 1890, la selezione naturale fosse accettata come meccanismo fondamentale della evoluzione

3. Darwin preferì usare il termine *discendenza con modificazioni* e non *evoluzione*, concetto questo che a quei tempi avrebbe implicato la presenza di un qualcosa che spingeva al miglioramento (e che serviva ad alcuni per mettere al centro l'Uomo in generale e quello europeo in particolare – se non addirittura quello inglese!). Anche la *sopravvivenza del più adatto* non è un termine di Darwin, ma fu coniato da un filosofo, Herbert Spencer (1820 – 1903) e ampiamente usato dal Darwinismo sociale, osteggiato proprio dal buon Charles, il quale oltretutto era contro lo schiavismo e il razzismo, checchè ne dicano i suoi detrattori.

Parti del manoscritto di Darwin del 1844, una sua lettera ad un altro naturalista del 1857 e il saggio con cui Wallace illustrò la selezione naturale furono letti contemporaneamente in una memorabile riunione, svoltasi a Londra il 1° luglio 1858 alla *Burlington House*, sede delle più importanti società scientifiche inglesi di allora. Ma l'importanza di quanto era appena avvenuta lì per lì non fu capita. Il primo a formulare il concetto di estinzione di massa fu, al solito, Georges Cuvier. Questa idea deriva direttamente da quanto l'illustre naturalista francese ha osservato

in campagna: una differenza notevole nel contenuto fossilifero dei sedimenti mesozoici immediatamente sottostanti a sedimenti terziari. Cuvier fu anche il primo a teorizzare una cosa fino ad allora ritenuta impossibile: l'estinzione di alcune specie. Perché era considerata impossibile? Perché tutte le specie erano state create da Dio e siccome la Creazione era perfetta nessuna delle specie che Lui stesso aveva creato poteva scomparire. Invece riconobbe che uno scheletro trovato nell'Ohio nel 1801 non apparteneva a nessuna specie ancora vivente (si trattava del fossile di un proboscidato, il Mastodonte).

È curioso che Cuvier, dopo essere stato il fondatore dell'anatomia comparata e il primo a teorizzare le estinzioni (sia singole che di massa) sia rimasto poi tutta la vita un antievoluzionista: per lui dopo queste catastrofi la Terra si ripopolava grazie a pochi scampati che vivevano in luoghi remoti. Non è vero, come molti pensano, che avesse ipotizzato “nuove e ripetute creazioni”: furono degli Autori inglesi di ispirazione antievoluzionista e religiosa a mettergli in bocca queste parole.

Le estinzioni di massa sono state un ottimo punto di vista per creazionisti e catastrofisti e hanno dato parecchio fastidio a gradualisti e evolucionisti, soprattutto per l'impronta gradualistica estrema proveniente dall'impianto originale darwiniano che non poteva accettare salti improvvisi e dove le estinzioni erano considerate solo ed esclusivamente una conseguenza della lotta per la vita: non c'era la nozione di cause esterne che potevano condizionarle. Quindi non se ne parlò molto fino agli anni '50 (Hallam e Wignall, 1999a).

1.3 *Le Large Igneous Provinces*

Fra le cose fondamentali e necessarie per leggere questo libro devo introdurre il concetto di *Grandi Province Magmatiche*, in Inglese *Large Igneous Provinces*, che spesso chiamerò per brevità con la sigla derivata dal nome inglese, cioè LIP.

È difficile rendersi conto di cosa possa essere un fenomeno del genere e soprattutto chi ne sente parlare per la prima volta è tentato a pensare che siamo più sulla fantascienza che sulla scienza...

Precedentemente veniva usato (e viene usato ancora adesso) il termine *Flood Basalt* (letteralmente: *alluvione di basalto*) che dà un'idea di cosa si tratti.

I primi a proporre questo termine furono Coffin e Eldholm (1991), in occasione di un workshop tenuto nel 1991 a Woods Hole, nel Massachusetts.

Una LIP è un massiccio quantitativo di lave (e di magmi solidificati all'interno della crosta terrestre sotto alle lave) messe in posto in un tempo geologicamente breve: solitamente il clou dell'attività dura meno di un milione di anni. Questa fase consiste in una serie di grandi eruzioni, ognuna delle quali ha messo in posto un quantitativo di magmi compreso fra 100 e 1000 km cubi. Il totale è dell'attività è enorme: centinaia di migliaia, anzi milioni di km³ di magmi. Se oltre alle lave eruttate si tiene conto di quelle che si sono solidificate all'interno della crosta i quantitativi passano regolarmente i 3 milioni di km³.

Tanto per fare un paragone in 30 anni l'eruzione a Hawaii del Kilauea ha formato solo 4 km cubi di materiale; in confronto sono molto più bravi i vulcani islandesi: il Bardarbunga in Islanda mentre sto scrivendo ha emesso 1,5 km³ cubi di lave in quattro mesi, il Laki nel XVIII secolo ne ha emessi 15 in 8 mesi e nel X secolo l'Eldgjá ben 20 in una attività durata non meno di 3 anni. Sembrano cifre enormi, ma sono tutti dei nani in confronto ad un *flood basalt*.

Le eruzioni islandesi che ho citato e quelle dei *flood basalts* non escono da un punto singolo contrassegnato da un vulcano, ma da una frattura o una serie di fratture e per questo si chiamano eruzioni lineari (figura 1.1). L'eruzione in corso del Bardarbunga, in Islanda è un pallido esempio di quello che succede in casi del genere: fontane di lava alte fino a 50 metri formano delle colate calde e molto fluide che si muovono lungo il debole pendio per parecchi chilometri. Nel caso di un *Flood Basalt* le fontane sono

alte anche centinaia di metri, la frattura o la serie di fratture può raggiungere una lunghezza di decine di km e le colate ne percorrono altrettanti. Queste eruzioni emettono anche imponenti quantità di ceneri, metalli pesanti e gas (vapore acqueo, CO_2 , SO_2 ed altre sostanze che non possono propriamente essere definite salubri) che raggiungono direttamente la stratosfera avvolgendo tutta la Terra.

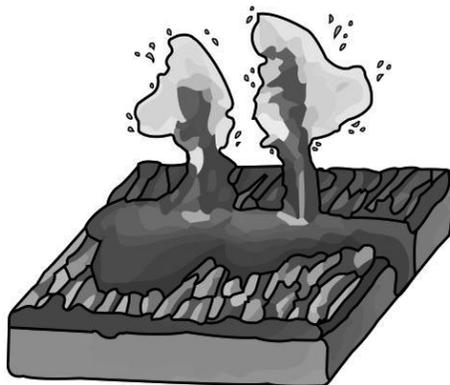


Fig. 1.1. Una eruzione lineare: il magma non proviene da un vulcano ma da una frattura che può essere lunga parecchi km.

La durata di una singola eruzione di una *Large Igneous Province* è nell'ordine della decina di anni.

Ci sono due tipi di LIP:

- i *flood-basalts* continentali: si mettono in posto sui continenti e le loro tracce rimangono evidenti per milioni di anni, anche se più il tempo passa e più le lave vengono erose. Per cui di quelli più vecchi di 300 milioni di anni di solito sono rimaste solo le parti più profonde
- i *plateau oceanici*: si mettono in posto su crosta oceanica, della quali sono una caratteristica particolarmente evidente, formando rialzi spesso lunghi oltre 1.000 km che si elevano anche di 3 km dal fondo circostante

Naturalmente i plateau oceanici vengono consumati nelle zone di subduzione come la crosta che coprono. Pertanto se oggi abbiamo tracce abbastanza evidenti di LIP continentali vecchie di oltre un miliardo di anni, la permanenza di quelli oceanici è breve.

Alcune parti di queste grandi strutture rimangono coinvolte nella formazione delle catene montuose: ad esempio troviamo resti del Plateau Caraibico nelle Ande settentrionali e altre rocce del genere di età paleozoica le troviamo nelle catene dell'Asia centrale.

In genere, finita la fase parossistica della LIP, in cui si mettono in posto queste immense quantità di lava, il magma continua a fuoriuscire dall'interno della Terra per qualche decina di milioni di anni (ma anche di più), sia pure in misura minore, formando delle dorsali sottomarine che spesso nell'Oceano Pacifico emergono formando le ghirlande di isole.

Molte LIP continentali si trovano su entrambe le rive opposte degli oceani, perché ne hanno preceduto la formazione. Esempi classici sono la *provincia magmatica dell'Atlantico Settentrionale* (Groenlandia, Isole Britanniche, Norvegia), quella *dell'Atlantico centrale* (costa atlantica degli USA, America Meridionale, Europa, Africa nordoccidentale), i *basalti del Paranà – Etendeka* (Brasile, Uruguay, Namibia), di *Karoo – Ferrar* (Sudafrica, Antartide) o del Madagascar (Madagascar, India e Antartide).

Nel punto corrispondente alla LIP lungo la dorsale che si è successivamente impostata determinando l'espansione del fondo oceanico si trova spesso un'isola con un vulcano attivo (intorno all'Africa australe Tristan da Cunha, Marion Island e Isola Bouvet ne sono ottimi esempi) e da lì si diramano nelle due direzioni opposte due dorsali che raggiungono il continente: nella figura 1.2 sono indicate con pallini le LIP che hanno determinato nel Mesozoico la fratturazione del grande continente di Gondwana. A queste si deve aggiungere, fra Patagonia e Antartide, la provincia silicea di *Chon Aike*, più o meno contemporanea ai basalti di Karoo, la cui origine sembrerebbe dovuta a intrusioni di basalto

nella crosta continentale, che in questo caso non sono arrivate in superficie ma con il loro calore sono riuscite a fondere parti della crosta sovrastante, da cui derivano i magmi.

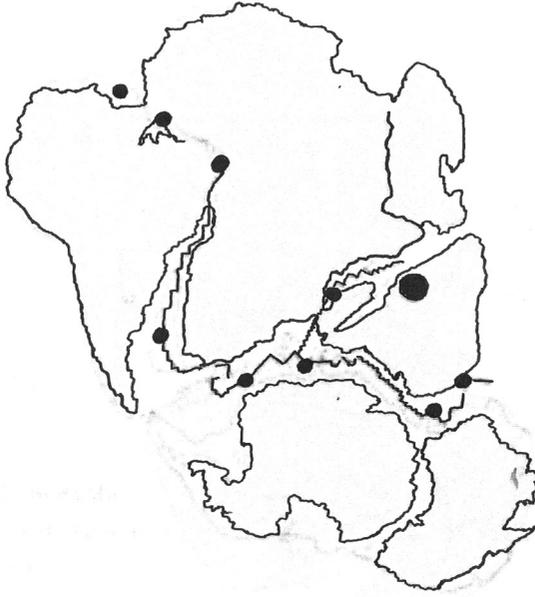


Fig. 1.2. Le varie grandi province magmatiche lungo le zone in cui si è rotto dal Giurassico in poi il continente di Gondwana

L'idea che le catene di isole come le Hawaii e altri arcipelaghi del Pacifico con un vulcano attivo sulla più recente e di età progressivamente maggiore allontanandosi dal vulcano siano la traccia del passaggio di una zolla sopra un punto caldo risale al grande John Tuzo Wilson, uno dei padri della tettonica a zolle e uno degli idoli per gli studenti di geologia negli anni 70 e 80. Il suo articolo del 1963 è stato uno dei più letti dagli studenti di Geologia per la sua chiarezza e la sua semplicità (Wilson, 1963).

In altri casi il rift non si è poi trasformato in un oceano (per esempio nel caso dei Trappi siberiani). In altri ancora le LIP continentali non sono associate ad un rift e i basalti del Deccan ne sono un esempio classico.

Oggi nel corno d'Africa i basalti dell'Afar rappresentano una LIP in posizione originaria: le forze della tettonica delle placche non hanno ancora diviso in due il continente, ma in mezzo a queste lave potrebbe nascere un nuovo oceano: la crosta si sta espandendo con la messa in posto di magmi lungo fratture parallele ai margini del rift (Ebinger *et al.*, 2010). Succede con una certa regolarità: per esempio, tra il 14 settembre e il 4 ottobre 2005 una eruzione lungo una di queste fratture ha innescato una crisi sismica: le analisi dei terremoti e di una rete di sensori GPS appositamente dislocati hanno provato che c'è stata una intrusione magmatica che ha allontanato fra loro le rocce ai suoi lati.

Anche alcune LIP oceaniche sono legate a episodi di divergenza fra zolle, come il *plateau delle Kerguelen* nell'Oceano Atlantico, o quello di *Ontong Java*, oggi fratturato dall'espansione dei fondi oceanici in 3 blocchi diversi distanti migliaia di km tra loro. Ci sono anche qui delle rilevanti eccezioni, come lo *Shatzky Rise* nel Pacifico Settentrionale. Nella figura 1.3 vediamo la distribuzione delle LIP degli ultimi 250 milioni di anni oggi conosciute (con aggiunta di una più antica, quella della Yakuzia).

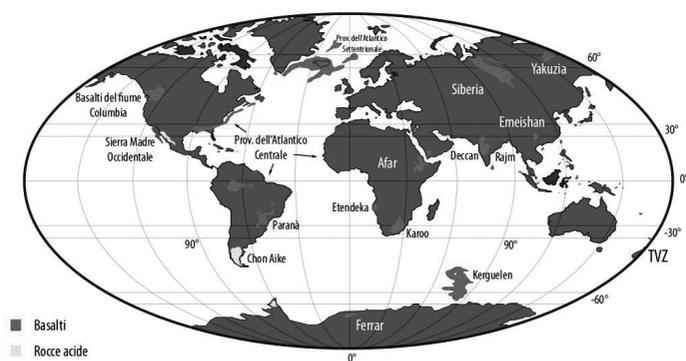


Fig. 1.3. Le Grandi Province Magmatiche degli ultimi 300 milioni di anni

Quindi la differenza principale fra le LIP e le dorsali oceaniche è che la messa in posto dei *flood basalts* avviene improvvisamente e in tempi molto ristretti (inferiori al milione di anni), in contrasto con la lenta, continua e costante produzione di crosta oceanica lungo le dorsali mediooceaniche.

Un'altra caratteristica delle *Large Igneous provinces* è la loro rarità nel tempo: negli ultimi 300 milioni di anni contiamo meno di una ventina di episodi del genere (fra quelli sui continenti e quelli messi in posto sulla crosta oceanica).

Le LIP sembrano legate alla presenza nel Mantello terrestre di due zone molto calde, che oggi sono una sotto l'Africa e una nel Pacifico. La presenza di piccole ma significative tracce di tante LIP nelle catene montuose del Paleozoico dell'Europa è il sintomo che quell'area tra 500 e 300 milioni di anni fa si trovava sopra la dove oggi c'è l'Africa. Quelle dell'Asia Orientale denotano invece il passaggio di quelle zolle sopra la zona calda che ora si trova sotto l'Oceano Pacifico (oggi la maggior parte delle terre emerse è nell'emisfero settentrionale ma a quell'epoca la maggior parte dei continenti era situata nell'emisfero meridionale).

Recentemente la definizione di cosa sia una Large Igneous Province è stata un po' rivisitato e precisato (Bryan e Ernst, 2008): una LIP per esserlo deve assolvere ad una serie di condizioni:

- devono essere stati prodotti almeno 100.000 km cubici di lave
- che devono essersi depositi in meno di 50 milioni di anni
- almeno il 75% dei prodotti deve essere immesso in meno di 5 milioni di anni

Interessante è questo prolungamento dell'attività dopo la fase parossistica che si colloca in genere all'inizio – molto brusco – della storia della provincia.

1.4 I Trappi del Deccan

Tra le tante Grandi Province Magmatiche esistenti al mondo, in questo libro bisogna focalizzare l'attenzione sui Trappi del

Deccan. Affiorano nella parte occidentale della penisola indiana e come le altre LIP sono semplicemente impressionanti: il dato non è ancora definitivo perché hanno formato delle montagne di una certa altezza e subito fino ad oggi 65 milioni di anni di erosione, ma secondo le ultime stime l'estensione originaria era di circa 1,5 milioni di Km quadrati, praticamente quanto Spagna, Francia e Germania messe insieme, con un volume di 1,2 milioni di km³ di magma.

Particolarmente eccezionali sono alcune colate che, fuoriuscite dal nucleo dei trappi nel lato occidentale della penisola indiana, hanno raggiunto dopo 1.500 km il mare dall'altra parte dell'India, in quello che oggi è il golfo del Bengala e all'epoca era un oceano aperto, vicino alla città di Rajahmundri. Sono le più lunghe colate laviche oggi conservate.

Le colate basaltiche, quando raggiungono volumi notevoli possono comportarsi come fiumi se incontrano una valle. Ad esempio circa 8.000 anni fa dal Bardarbunga, il vulcano islandese in attività mentre scrivo, i 21 km cubi di lava prodotti si sono incanalati verso sud lungo la valle del fiume Thorsa, arrivando al mare dopo un viaggio di 140 km. E qui si parla di soli 21 km cubi, contro le migliaia di ogni megafflusso dell'attività della fine del Cretaceo in India.

La cosa straordinaria è che una gran parte di queste lave si è depositato in poche decine di migliaia di anni, un tempo geologicamente molto breve e che, come vedremo, corrisponde all'estinzione di fine Cretaceo.

All'epoca di queste eruzioni l'India era una massa continentale isolata come lo è oggi l'Australia; si trovava ad Est del Madagascar e a sud dell'Equatore e si muoveva velocemente verso nord est, diretta verso la zona dove si scontrerà con quella che oggi è l'Asia centrale generando l'Himalaya. I dati documentano che in un ristretto lasso di tempo intorno al K/T l'India si è mossa ad una velocità eccezionale, di circa 20 centimetri l'anno (oggi le velocità massime delle zolle sono circa la metà). Questa velocità così elevata è proprio derivata dal passaggio dell'India sopra il punto

caldo e dalla enorme produzione di lave avvenuta in quella fase: a causa della risalita di materiale caldo meno viscoso nella parte più esterna del mantello gli sforzi che provocano i movimenti delle zolle riuscirono a farla procedere ad una velocità enormemente maggiore del solito (Faccenna *et al.*, 2013). L'effetto sulla tettonica globale fu talmente importante da far cessare l'apertura dell'Atlantico meridionale perché l'Africa invertì temporaneamente il suo lento movimento verso est che la contraddistingue.

La figura 1.4 evidenzia in maniera grossolana la struttura interna dei trappi del Deccan: i prodotti dei vari cicli di attività si sovrappongono in maniera regolare (Jerram e Widdowson, 2005).

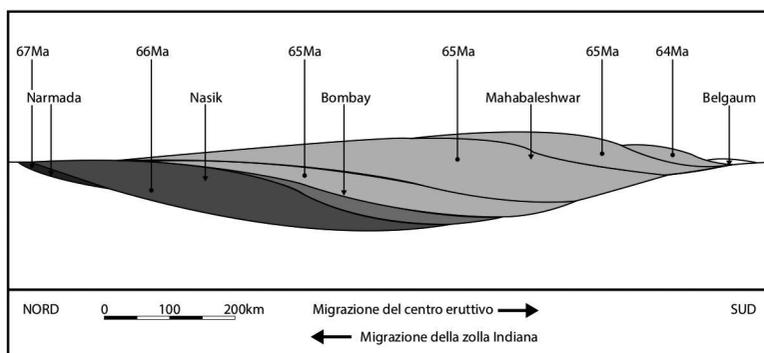


Fig. 1.4. La struttura interna delle varie unità principali in cui sono suddivisi i trappi del Deccan.

L'attività si è svolta in 3 fasi distinte, ciascuna in una propria posizione nella stratigrafia magnetica. La fase più antica affiora nella parte più settentrionale e occidentale, più o meno dall'altezza di Mumbai verso nord. È iniziata poco dopo la metà del Maastrichtiano, 67,4 MA, in corrispondenza dell'inizio della *Chron* C30N, il periodo a campo magnetico normale prima della *Chron* a polarità inversa C29R. È responsabile della messa in posto di circa il 6% delle lave dell'intero sistema e potrebbe essere durata poche decine di migliaia di anni.

Seguirono un paio di milioni di anni in cui successe poco fino a quando, più o meno in coincidenza con il passaggio alla *Chron* C29R, iniziò la messa in posto dei magmi della seconda fase, responsabile dell'80% dell'intero complesso lavico. I suoi prodotti in parte coprono quelli della prima fase e si estendono per altri 500 km verso sud. Lo spostamento dell'asse delle emissioni è compatibile con una deriva verso NE di oltre 300 km della zattera indiana durante l'intervallo fra i primi due periodi eruttivi.

Gli studi sui fossili contenuti nei sedimenti che si sono depositati fra una colata e l'altra dimostrano che la seconda fase del magmatismo indiano si colloca verso la fine del Cretaceo e dunque l'estinzione di massa è avvenuta durante la messa in posto di queste lave.

I basalti della terza ed ultima fase, si sono messi in posto nel Paleocene inferiore più o meno in corrispondenza del passaggio tra la *Chron* C29R e la *Chron* C29N, quindi 200.000 anni dopo l'inizio del Daniano, e hanno prodotto il restante 14% delle lave.

C'è da notare anche la corrispondenza fra l'inizio delle tre fasi del magmatismo indiano con tre inversioni del campo magnetico terrestre che ci sono state in quel lasso di tempo.

All'interno di ogni fase l'attività non è stata costante: ci sono chiari segnali di parossismi, di durata oscillante fra 10 e 50 anni, intervallate da periodi di attività più scarsa.

Abbiamo visto che spesso dove si è messa in posto una LIP l'attività vulcanica prosegue, sia pure in tono minore e questi prodotti formano delle dorsali in mezzo agli oceani.

Fu W. J. Morgan il primo a suggerire nel 1972 che il vulcanismo del Deccan sia iniziato nel tardo Cretaceo al passaggio della placca indiana sopra il punto caldo oggi posto sotto l'isola di Reunion (Morgan, 1972). Dopo la messa in posto della LIP il punto caldo ha continuato la sua attività e a causa del movimento della zolla indo – australiana si è formata la sua traccia, una catena sottomarina della quale emergono numerosi atolli che dalla costa indiana forma le isole Laccadive e arriva alle Chagos: senza i trappi del Deccan non ci sarebbe quella meraviglia che sono le isole Maldive!