

Angelo Peccerillo

ARIA, ACQUA, TERRA, FUOCO

Come funziona il sistema Terra

Morlacchi Editore

Tutte le immagini, le tabelle e i grafici sono stati realizzati dall'Autore, salvo dove diversamente specificato.

Prima edizione: 2019

Redazione, impaginazione e progetto di copertina: Jessica Cardaioli

ISBN/EAN: 978-88-9392-115-2

Copyright © 2019 by Morlacchi Editore, Perugia. Tutti i diritti riservati.

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la copia fotostatica, non autorizzata. Finito di stampare nel mese di agosto 2019, per conto dell'Editore Morlacchi, presso la tipografia Logo srl, via Marco Polo 8, Borgoricco (PD).

Mail to: redazione@morlacchilibri.com | www.morlacchilibri.com

Sommario

Prefazione	9
CAPITOLO 1. IL MONDO NASCOSTO SOTTO DI NOI	
Struttura e composizione della Terra	
Premessa	15
1.1 Xenoliti, meteoriti, terremoti: testimoni del sottosuolo	16
1.2 Come è fatta la Terra	20
1.3 Litosfera e astenosfera: la sede dei processi geologici	25
In sintesi	27
SCHEDA 1.1 – MINERALI E ROCCE	28
CAPITOLO 2. TERRA, ARIA, ACQUA	
I processi geologici esogeni	
Premessa	33
2.1 Le rocce e i suoli	34
2.2 L'atmosfera	35
2.3 I mari	36
2.4 Il ciclo sedimentario: le interazioni tra terra, aria e acqua	39
2.4.1 La degradazione delle rocce	39
2.4.2 Il trasporto dei sedimenti	41
2.4.3 La deposizione dei sedimenti	41
2.4.4 La diagenesi e la ricostituzione delle rocce	43
2.5 Quel che resta dei monti	43
2.6 La sorte della materia organica: carbone fossile e idrocarburi	44
In sintesi	47
SCHEDA 2.1 – L'INTERAZIONE TERRA-ARIA-ACQUA: UN PO' DI CHIMICA DI BASE	48
SCHEDA 2.2 – I CALCARI, ROCCE BENEMERITE	50

CAPITOLO 3. IL FUOCO

La grande migrazione di materia e di energia: il magmatismo

Premessa	53
3.1 Brevi nozioni di magmatologia	54
3.1.1 I magmi: come e perché	54
3.1.2 I principali tipi di magma	56
3.1.3 Ascesa e solidificazione dei magmi	57
3.2 Il magmatismo e la struttura della Terra	58
3.2.1 Dal caos all'ordine	60
3.3 Il vulcanismo	63
3.4 Il vulcanismo e l'ambiente terrestre	64
3.4.1 Effetti climatici	64
3.4.2 Le grandi province magmatiche e le estinzioni di massa	65
3.5 La distribuzione globale del magmatismo	67
3.5.1 Il vulcanismo recente e attivo in Italia	69
In sintesi	72
SCHEDA 3.1 – IL MAGMATISMO E I GIACIMENTI MINERARI	73
SCHEDA 3.2 – IL FLUSSO DI CALORE E L'ENERGIA GEOTERMICA	74

CAPITOLO 4. IL GEOMAGNETISMO

Lo scudo spaziale del Pianeta Terra

Premessa	77
4.1 Il campo magnetico terrestre	79
4.2 La memoria delle rocce : il paleomagnetismo	82
4.2.1 Inversione magnetica	84
4.3 Paleomagnetismo, continenti e oceani	85
In sintesi	89

CAPITOLO 5. SISMICITÀ

La vitalità della Terra

Premessa	91
5.1. Faglie e terremoti	92
5.2 Onde sismiche: meccanismi e velocità di propagazione	95
5.3 Sismometri e sismogrammi	96
5.4 Magnitudo e intensità	98
5.5 Maremoti o Tsunami	100
5.6 Distribuzione dei terremoti	101
5.7 I terremoti in Italia	105
In sintesi	107
SCHEDA 5.1 – PREVISIONE DEI TERREMOTI E MITIGAZIONE DEI LORO EFFETTI	108

CAPITOLO 6. TETTONICA DELLE PLACCHE

La Grande Teoria Unificante

Premessa	111
6.1 Dal fissismo al mobilismo	112
6.2 Tettonica delle placche: i fondamenti	116
6.3 I margini delle placche	119
6.4 Il motore delle placche	126
6.5 Subduzione: dove, come, perché	128
In sintesi	130
SCHEDA 6.1 – ITALIA: UN PAESE SCHIACCIATO TRA DUE PLACCHE	132

CAPITOLO 7. I CICLI GEOCHIMICI

Il sistema circolatorio della Terra

Premessa	135
7.1 I cicli geochimici degli elementi	136
7.1.1 Il ciclo dell'acqua	136
Alcune considerazioni sul ciclo dell'acqua	138
7.1.2 Il ciclo del sodio	140
Alcune considerazioni sul ciclo del sodio	142
7.1.3 Il ciclo del carbonio	142
Alcune considerazioni sul ciclo del carbonio	145
7.1.4 Il ciclo del fosforo	147
Alcune considerazioni sul ciclo del fosforo	149
7.1.5 Il ciclo dell'azoto	150
7.1.6 Il ciclo dell'ossigeno	152
7.2 I cicli geochimici e l'ambiente terrestre	154
7.2.1 CO ₂ e l'effetto serra	155
7.2.2 CO ₂ e l'acidificazione degli oceani	157
In sintesi	159
SCHEDA 7.1 – IL CICLO GLOBALE DEL CARBONIO: ALCUNI EPISODI DI UNA LUNGA STORIA	160
SCHEDA 7.2 – IL SEQUESTRO DI CO ₂ : RIMETTIAMO IL “DIAVOLO IN INFERNO”	162

CAPITOLO 8. DALL’ADEANO ALL’ANTROPOCENE

Storia di un pianeta fortunato

Premessa	165
8.1 Dalla nebulosa solare alla formazione dei pianeti	165
8.2 L'inferno adeano (~ 4600-4000 Ma)	167
8.3 L'Archeano (4000-2500 Ma): l'inizio della vita e della tettonica delle placche	170
8.4 Il Proterozoico e l'arrivo dell'ossigeno (2500-541 Ma)	172

8.5 Il Fanerozoico e l'esplosione della vita (541-0 Ma)	175
8.5.1 La diffusione degli organismi complessi	177
8.5.2 L'ipotesi Gaia	179
8.6 E alla fine, arrivò l'Antropocene	181
In sintesi	183
SCHEDA 8.1 – LA GEOCRONOLOGIA: ETÀ ASSOLUTA ED ETÀ RELATIVA	184
CAPITOLO 9. EPILOGO	
9.1 L'anomalia Terra	187
9.2 Il migliore dei mondi possibili	189
9.3 Tempi storici, tempi geologici	191
9.3.1 Tecnologia, risorse naturali e inquinamento ambientale	191
9.3.2 Combustibili fossili e cambiamenti climatici	193
9.3.3 <i>Natura, non nisi parendo vincitur</i>	197
Indice analitico	201

Prefazione

Accade, di quando in quando, che importanti risultati della ricerca scientifica superino lo stretto ambito degli specialisti per avere una diffusione più ampia attraverso i mezzi di comunicazione di massa. Le novità del mondo della scienza più frequentemente divulgate da stampa e televisione riguardano per lo più la medicina, la biologia e la fisica, in particolare l'astrofisica. Per contro, raramente le scoperte nel campo delle Scienze della Terra suscitano l'attenzione dei media, sebbene esse interessino importanti fenomeni naturali che hanno un impatto diretto sull'ambiente in cui viviamo.

Recentemente, alcuni ricercatori inglesi e italiani hanno dimostrato che in talune fasi della storia della Terra, si sono avuti forti incrementi dell'intensità del campo geomagnetico, come conseguenza di modificazioni del nucleo terrestre metallico. Il campo magnetico esercita una decisiva azione protettiva sugli organismi viventi contro gli effetti del vento solare; la sua presenza ha permesso lo sviluppo dei primi microorganismi e può essere stata una causa della diffusione di animali superiori avvenuta circa 540 milioni di anni fa, la cosiddetta esplosione cambriana. In sostanza, senza la presenza di un intenso campo magnetico, la vita sulla Terra non esisterebbe.

Ci si sarebbe aspettato che un tema di così grande importanza non fosse del tutto ignorato dai media, come, di fatto, è accaduto. Identica sorte è toccata al rinvenimento di strutture particolari in rocce antichissime della Groenlandia che retrodatano l'inizio della vita sulla Terra di

molte centinaia di milioni di anni rispetto a quanto prima ipotizzato, oppure ad alcuni antichissimi depositi idrotermali che provano l'esistenza di microrganismi durante le fasi più precoci della vita del pianeta. Per non dire della ben nota disputa sull'aumento di CO₂ nell'atmosfera terrestre, un processo geologico di importanza primaria che quasi mai viene inquadrato nel suo corretto contesto scientifico e cioè nell'ambito del ciclo geochimico del carbonio, argomento del tutto sconosciuto ai più.

Le presenti e innumerevoli altre considerazioni mi portano ad affermare che la divulgazione scientifica in Italia non tiene in grande considerazione la Geologia, un corpo di discipline riguardanti le caratteristiche chimico-fisiche, la dinamica e l'evoluzione del pianeta Terra, argomenti che divengono degni di qualche attenzione, spesso improntata al sensazionalismo e alla spettacolarità, soltanto in occasione di catastrofi naturali.

Mi sono chiesto più volte quali possano essere le ragioni di così poco interesse. Una attiene forse a fattori storico-culturali di radice ancestrale. Il mondo ipogeo è stato fonte di sinistre fobie fin dai tempi più antichi ed è ovvio che tra la terra nascosta sotto di noi e il cielo stellato sopra di noi sia quest'ultimo ad esercitare fascino e curiosità non solo nei poeti e filosofi ma anche nella gente comune.

Una parte non secondaria delle responsabilità può essere assegnata, a mio giudizio, alla classe accademica italiana che, fatte salve poche ancorché lodevoli eccezioni, ha tradizionalmente considerato la divulgazione scientifica un'attività minore, poco utile se non dannosa per la carriera.

In contrasto con le idee dominanti, mi sono deciso a scrivere, sperabilmente in maniera semplice e comprensibile, di Geologia di base, illustrando, senza pretesa di completezza o di originalità, alcuni tra i principali processi geologici attivi sulla superficie e all'interno del nostro pianeta. Queste nozioni sono normale bagaglio culturale dei geologi, o almeno di una gran parte di essi, ma ho ragione di ritenere che siano poco conosciute, se non del tutto ignote, ai più.

Quindi, questo libro non è indirizzato agli specialisti, ma alla gente comune che nutra qualche curiosità su quello che accade nel mondo circostante. I colleghi geologi potrebbero forse apprezzare il tentativo di inquadrare in un contesto olistico i più disparati processi geologici, e ritenere interessante la particolare ottica con cui sono affrontati i vari argomenti, sensibilmente orientata verso gli aspetti geochimici.

Affermava Giuseppe Tomasi di Lampedusa: *“Quello di scrivere a una certa età le proprie memorie ed esperienze dovrebbe essere un dovere*

imposto dallo stato. Il materiale che si accumulerebbe dopo tre o quattro generazioni avrebbe un valore inestimabile: molti problemi psicologici e storici che assillano l'umanità sarebbero risolti. Non esistono memorie, per quanto scritte da personaggi insignificanti, che non racchiudono valori di prim'ordine".

Se tutto questo è vero per le esperienze personali della gente comune, lo stesso dovrebbe valere, e forse a maggior ragione, per la conoscenza scientifica. E, quindi, si può parafrasare il grande siciliano dicendo che se ogni scienziato decidesse di scrivere le sue esperienze, di illustrare quello che ha compreso della sua scienza, di trasmettere in maniera semplice le proprie scoperte, la diffusione della cultura scientifica potrebbe ricevere un vigoroso impulso.

Il libro è costituito da nove capitoli, incluso un Epilogo finale. I primi tre sono di natura propedeutica e descrivono la struttura della Terra, i processi sedimentari e magmatici e i loro effetti sull'evoluzione del pianeta. I Capitoli 4 e 5 sono dedicati alla fisica della Terra e in particolare al geomagnetismo e alla sismicità. I Capitoli 6 e 7 sono quelli più importanti; in essi vengono riassunte e integrate le informazioni dei capitoli precedenti per illustrare come funzionano la tettonica delle placche e i cicli geochimici, due argomenti cardinali della Geologia.

Il penultimo capitolo contiene una succinta storia dell'evoluzione della Terra dalla sua formazione nella nebulosa solare fino al tempo presente. Una miscela più o meno informe di divagazioni pseudo-filosofiche sulla specificità del nostro pianeta, nonché alcuni dati e idee su quali possano essere le scelte geologicamente fondate sulle più scottanti tematiche ambientali, costituiscono l'oggetto dell'Epilogo.

I vari capitoli sono stati organizzati in maniera da poter essere letti anche isolatamente e senza un ordine preciso. Questo ha comportato qualche inevitabile ripetizione che rende il testo a tratti ridondante. Ovviamente la lettura continua e completa del libro fornisce un quadro molto più organico e completo su come funziona il nostro pianeta. Ma poiché *"la vita è breve e grande è la prolissità del mondo"* (Josè Saramago), ho ritenuto opportuno aggiungere alla fine di ogni capitolo una breve sintesi dei temi trattati. Una scorsa preliminare ai soli riassunti può essere utile per farsi un'idea generale del contenuto del libro, un primo passo per eventuali approfondimenti attraverso la lettura dei singoli capitoli. In fondo ad alcuni capitoli, sono riportate delle schede di approfondimento su aspetti specialistici dei temi via via trattati. Le schede non sono

indispensabili per la comprensione del testo ma hanno lo scopo di soddisfare le curiosità di chi vuole saperne di più su certi argomenti.

Sebbene la trattazione sia a livello divulgativo, sono stati inseriti vari rimandi a pubblicazioni specialistiche allo scopo di dare informazioni sulla attendibilità delle fonti e di orientare chi volesse approfondire certe tematiche.

Un prezzo da pagare alla divulgazione scientifica è quello di abbassare il rigore della trattazione, di tralasciare molti dettagli che appesantirebbero in maniera eccessiva la narrazione e di inserire elementi che possono apparire puramente esornativi. Le pagine che seguono non sfuggono a questa regola, anche se ho fatto del mio meglio per rendere il tributo alla semplificazione il meno oneroso possibile, almeno dal punto di vista della correttezza scientifica.

Il testo ha beneficiato della lettura critica e dei suggerimenti e correzioni di alcune persone. Mia moglie Angela De Marco ha utilizzato la sua esperienza di insegnante di scienze per suggerire numerose semplificazioni e correzioni che hanno reso molto più snella la trattazione. Franco Cerini, da valente fisico, ha individuato alcuni errori e imprecisioni e ha suggerito sostanziali miglioramenti. Carlo Bartolini, Claudio Bini e Alba Santo hanno fatto rilievi più pertinenti alla geologia proponendo importanti modifiche. A queste persone vanno i miei ringraziamenti, fermo restando che quanto scritto è pura responsabilità dell'autore.

Questo lavoro è dedicato a mio nipote Alessandro Leonardo.

Angelo Peccerillo
lathebiosas46@gmail.com