

## Mantello e crosta terrestre (16/06/10)

Cominciamo con una curiosità riguardante i grandi acceleratori di particelle. Un fisico di origine sovietica, oggi al Fermilab, lavora da oltre vent'anni a una raccolta e interpretazione capillare di dati di tipo geologico provenienti da una quindicina di acceleratori di particelle distribuiti in tutto il mondo. Questi dati riguardano microscopici spostamenti spontanei dei magneti che assicurano la collimazione dei fasci di particelle. I risultati indicano che, in media, ciascun punto della superficie terrestre è soggetto a piccoli movimenti dell'ordine di 0,1 micron al minuto. Le direzioni di questi movimenti sono del tutto casuali e perciò, almeno in parte, si annullano. Comunque, siccome agiscono cumulativamente su tempi lunghi, possono richiedere riallineamenti dei magneti ogni tanto. Il motivo di questi movimenti non è stato chiarito, ma la loro struttura ricorda molto quella dei frattali. Un modello della crosta terrestre compatibile con questi spostamenti è che la crosta sia costituita da una serie di agglomerati rocciosi di dimensione variabile, con i più grandi in profondità e i più piccoli vicino alla superficie, e che il movimento di un blocco di grandi dimensioni dovuto alle spinte che provengono dal mantello si ripercuota fino alla superficie, filtrato da questa rete di blocchi sempre più piccoli. In passato, movimenti di questo genere (ma di dimensione molto maggiore) erano stati osservati in prossimità di faglie sismiche attive: mai in zone lontane da terremoti. La crosta terrestre, dunque, è viva luogo per luogo e istante per istante. Non esistono solo i grandi terremoti, ma anche piccoli movimenti quotidiani, troppo deboli per essere registrati dai sismografi, che nel tempo modificano anche le superfici terrestri non soggette a terremoti. Al punto che è ormai chiaro come, nella progettazione del prossimo acceleratore lineare da 57 km di lunghezza, dovranno essere esplicitamente tenuti in considerazione meccanismi per compensare automaticamente i movimenti crostali.

Perché avviene tutto ciò? La volta scorsa avevamo visto come, tra il bordo inferiore del mantello e la crosta, ci siano circa 2800 km di rocce relativamente leggere e, fino a non molto tempo fa, si pensava che il mantello, ricco di silicati, si trovasse in uno stato semi-fluido. Semplici calcoli mostrano come, in una situazione come quella descritta, le celle convettive si muovano molto lentamente, in modo "laminare" e cioè piuttosto ordinato, quel pochissimo necessario a spiegare la deriva dei continenti lungo milioni e milioni di anni. Da poco tempo, crediamo di sapere che non è così (il "crediamo" è ancora d'obbligo, in questo momento) e, al contrario, il mantello è sede di movimenti piuttosto veloci e vigorosi, tipici della convezione "turbolenta" come nel caso dell'ebollizione. Per capire come questi movimenti si riflettano sulla superficie terrestre, dobbiamo ricordare che la crosta terrestre vera e propria, e cioè la parte ricca non solo in silicati, ma anche in carbonati, e "solida" in senso lato, è molto sottile, relativamente parlando. Al centro delle placche continentali, dove è più spessa, può raggiungere una trentina di km. Sotto l'Italia sarà al più 15-20 km, e sotto gli oceani si assottiglia a non più di una decina di km. In questo senso, considerando le dimensioni del nostro pianeta e degli strati interni, la crosta è sottilissima, ma è la regione in cui si concentra tutta la biosfera. Ci si può chiedere se la tecnologia non metta a disposizione la possibilità di trivellare pozzi che raggiungano il mantello. In questo momento si tratterebbe di un'impresa proibitiva, a causa delle enormi pressioni e temperature: il pozzo più profondo mai trivellato non supera i 9 km, e le condizioni al fondo sono tali da fondere i materiali necessari al contenimento.

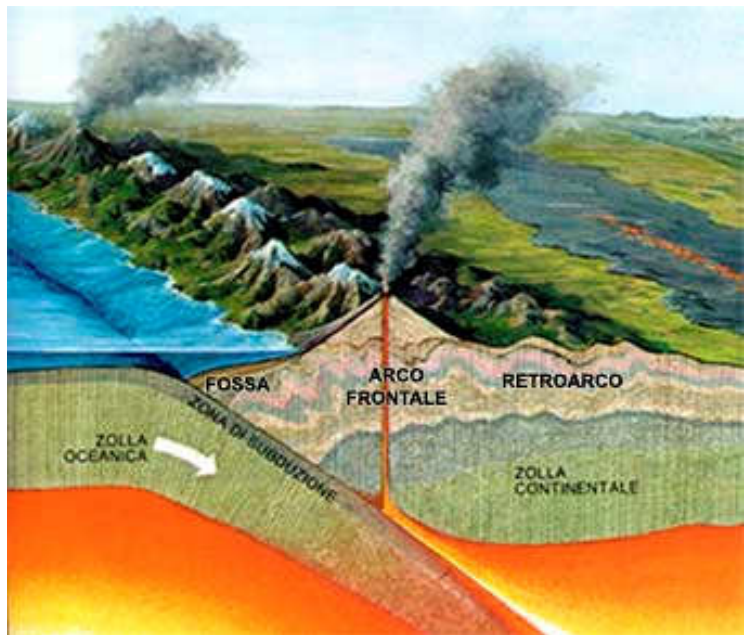
Dunque, il gioco tra mantello e crosta si svolge in modo molto più vigoroso che non secondo i tempi della deriva dei continenti, e di questo bisogna tenere conto quando si parla dell'influenza del mantello terrestre sulla biosfera. Purtroppo, questo tipo di scoperte è piuttosto recente, e siamo ancora a livello di ipotesi, più che di dati certi. Quindi è opportuno soffermarsi sulle informazioni scientifiche più consolidate: quelle relative alla deriva dei continenti nel passato e oggi.

Ora dobbiamo aggiungere un'altra informazione di ordine astronomico: se la fascia di abitabilità attorno a una stella è la regione in cui può esistere acqua superficiale allo stato liquido, la Terra si trova verso il bordo destro, freddo, di questa fascia. Non per niente, per molti anni i climatologi si sono trovati di fronte al cosiddetto problema della "Terra bianca". Infatti, ogni modello

climatologico finiva per convergere a una glaciazione completa della superficie terrestre, zone equatoriali comprese, e questa situazione era irreversibile a causa dell'altissimo albedo. Oggi questo problema è stato almeno parzialmente superato tenendo in considerazione l'effetto serra, ma quattro miliardi di anni fa, quando si formarono la prima crosta terrestre e i primi oceani, il Sole era circa due volte meno luminoso di oggi, e la Terra si trovava al bordo estremo della fascia di abitabilità, se non addirittura fuori. Dunque, questi dati (la maggior parte dei quali ormai scientificamente associati oltre ogni dubbio) suggeriscono un'unica soluzione: da sempre, la Terra deve aver beneficiato di un effetto serra considerevole, probabilmente molto più vigoroso rispetto a quello attuale, almeno nei primissimi tempi della sua esistenza (uno o due miliardi di anni), altrimenti non si sarebbe potuta sviluppare la vita.

Purtroppo, pensare a un'atmosfera primordiale ricca di CO<sub>2</sub> come unica soluzione a questi problemi non conduce lontano. Infatti, tutti abbiamo familiarità con le rocce calcaree: costituiscono intere catene di montagne e i suoli di tipo carsico. Ma come si sono originate queste rocce? Nel fondo degli oceani, come deposizione e accumulo, in strati di chilometri di spessore, di scheletri di esseri che assorbono il CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, e lo trasformano in sali carbonati, principalmente carbonato di calcio. Ma anche i batteri primitivi, con ogni probabilità, fissavano il CO<sub>2</sub>, e dobbiamo perciò concludere che l'atmosfera terrestre sia costantemente rifornita di questo gas, altrimenti esso sarebbe scomparso da tempo. Per ribadire il concetto, ricordiamo che di tutto il CO<sub>2</sub> emesso dall'uomo bruciando combustibili fossili, solo il 25% resta nell'atmosfera, e il 75% viene catturato dagli oceani. Infatti, una delle soluzioni proposte all'inquinamento da CO<sub>2</sub> è quella di inseminare gli oceani con organismi modificati per rendere più efficiente la cattura di CO<sub>2</sub>; il rischio è che si ecceda, e ci si trovi poi a fronteggiare una situazione di glaciazione.

Chi è che rifornisce di CO<sub>2</sub> l'atmosfera, a prescindere dal contributo antropico? Essenzialmente i vulcani. Osserviamo la figura accanto. In fondo si ha il mantello: la sua temperatura è molto elevata, e sono i suoi movimenti a spingere la crosta. Vediamo sopra, sulla sinistra, la zolla oceanica (crosta sottile ricoperta di sedimenti calcarei) che viene spinta contro la zolla continentale, più spessa. Poiché quest'ultima è più leggera del mantello sottostante, il suo minor peso la fa galleggiare sopra la zolla oceanica, che s'infiltra sotto (zona di subduzione) e, alla fine, fonderà e andrà a mescolarsi col mantello. La spinta fa sollevare montagne, e le fratture portano fino alla superficie il materiale interno, dissociato dal calore, per cui tutte le rocce calcaree finiscono per riportare in atmosfera il CO<sub>2</sub>. Poiché questo meccanismo si ripete da sempre, non sono mai mancati apporti consistenti di CO<sub>2</sub>; anzi: in certe epoche, come quando la zolla Indiana ha urtato contro quella Asiatica facendo sollevare la catena dell'Himalaya, il vulcanismo deve aver raggiunto livelli parossistici, se si considera che l'intero altipiano del Tibet è dovuto a colate laviche che hanno avuto luogo proprio in quell'epoca. Tra l'altro, almeno in quei tempi, la quantità di CO<sub>2</sub> presente in atmosfera doveva essere ben maggiore dell'attuale.



Ecco dunque che, da una serie di osservazioni ai giorni nostri, e dalla loro proiezione all'indietro (più di 400 milioni di anni fa, quando tutte le terre emerse erano riunite in Pangea, non si riesce a fare), per lo meno siamo riusciti ad avere indizi sul perché la Terra abbia sempre goduto di un discreto effetto serra, necessario a impedire la deriva verso la "Terra bianca".