

IL NEOPROTEROZOICO

Rosalino Sacchi

Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche

Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino

e-mail sacchi@dsmp.unito.it

Il periodo dai 1000 ai 545 milioni di anni fa (Neoproterozoico) è un complesso mosaico di grandi sconvolgimenti geologico-ambientali, alcuni dei quali non hanno l'equivalente nel Fanerozoico. Si tratta del periodo nel quale sono maturati la esplosione filetica del Cambriano e gli importanti cambiamenti faunistici che l'hanno preceduta. Vale la pena di delineare questo mosaico, in quanto è probabile che qualche tassello abbia contribuito a creare le condizioni per i grandi cambiamenti biologici.

Il Neoproterozoico comincia con un evento che si è ripetuto tre o quattro volte nella storia del pianeta, e cioè l'aggregazione delle masse continentali in un'unica "Pangea" (*Rodinia*, c. 1000 Ma). La formazione di una Pangea ha ricadute cospicue. Anzitutto l'eustatismo negativo: il supercontinente si colloca a livello topografico alto, per quello che viene chiamato effetto *blanket* (insufficiente smaltimento del calore di origine profonda), ed è soggetto a diffusa alterazione meteorica. Dato che questa consiste soprattutto in una carbonatazione dei silicati, il processo utilizza CO₂ atmosferico, e quindi è un fattore di raffreddamento del clima. Nello stesso senso agisce la diminuzione del vulcanismo legata al ridotto sviluppo delle dorsali oceaniche caratteristico della situazione di Pangea.

Un supercontinente è intrinsecamente instabile per ragioni termiche, e in effetti anche *Rodinia* non ebbe vita lunga. 700 Ma fa non solo si era già disgregata (con formazione di nuovo bacini oceanici), ma era in fase di ri-aggregazione almeno parziale a bassa latitudine, come ci dice il paleomagnetismo. Il risultato fu un nuovo supercontinente (*Gondwana*)

che si realizzò sui 650-600 Ma riunendo quelli che sono gli attuali continenti australi, grazie ad una serie di orogenesi collisionali, oggi perfettamente identificabili, e alla conseguente chiusura di alcuni, relativamente effimeri, oceani post-Rodinia.

Il periodo da 700 a 600 Ma (“Criogeniano”), dominato da grandi cambiamenti climatici, si aprì e si chiuse con due glaciazioni che si estesero alle basse latitudini, e furono quindi di entità superiore a quelle fanerozoiche. Alla frammentazione di Rodinia, infatti, non si era associato un miglioramento climatico. Lo sviluppo di nuovi, lunghi margini continentali sommersi (siti di rapida sedimentazione) aveva probabilmente comportato un forte sequestro di CO₂ atmosferico mediante rapido seppellimento di materiale organico.

La principale documentazione delle glaciazioni è costituita da diamictiti che si intercalano entro le sequenze neoproterozoiche. Questi peculiari conglomerati, infatti, sono generalmente riferiti a deposito in ambiente glaciale, anche se non mancano vedute alternative, e qualcuno li ha addirittura interpretati come prodotti di impatto di grandi corpi extratellurici (*impact ejecta*). E' nota la difficoltà di correlare tra loro le sequenze sedimentarie precambriche, data la scarsità (quando non assenza) di fossili. Malgrado ciò, correlazioni soddisfacenti sono state oggi raggiunte nel Neoproterozoico, grazie alla estrema precisione delle datazioni radiometriche e in particolare del metodo U-Pb su zirconi, che è stato applicato con successo sui livelli vulcanitici intercalati nelle sequenze sedimentarie. Ha contribuito anche l'utilizzo di indicatori isotopici misurati in sedimenti marini (in particolare C, S e Sr), indicatori per i quali si sono potute costruire curve di variazione di valore globale.

Il numero delle glaciazioni neoproterozoiche è stato a lungo discusso, ma il progresso delle correlazioni ha infine permesso di raggiungere un ampio consenso. Si riconoscono una glaciazione intorno a 700 Ma (*Sturziana*) ed una a 600-590 Ma (*Marinoana*), entrambe note anche con vari altri nomi regionali, tra le quali si colloca un picco del valore del rapporto ³⁴S/³²S probabilmente connesso con una variazione dell'attività dei batteri solfato-riducenti (i quali utilizzano selettivamente l'isotopo leggero). A queste due glaciazioni se ne aggiunge dubitativamente una meno importante a 570 Ma. La correlazione copre ormai un ambito amplissimo, dall'Australia al

Canada alle Svalbard alla Namibia alla Polonia alla Siberia al Mali, solo per citare le ubicazioni più note.

Le due principali glaciazioni neo-proterozoiche hanno alcune caratteristiche che le distinguono nettamente dalle fanerozoiche:

1. La bassa latitudine, della quale si è già detto
2. La presenza dei *cap carbonates* postglaciali: sottili formazioni calcaree al tetto delle diamictiti, che suggeriscono clima caldo, e quindi una “virata” climatica rapidissima. La loro origine è controversa, e non è questa la sede per soffermarvisi.
3. La fortissima anomalia negativa del valore di $\delta^{13}\text{C}$ nei *cap carbonates* e insieme la sua fortissima escursione dell'ordine di 20‰ rispetto ai valori preglaciali, molto superiore a qualsiasi escursione individuata nel Fanerozoico.
4. Valori preglaciali insolitamente alti di delta ^{13}C (+10 per il Marinoano, +8 per lo Sturziano).
5. Estremo sincronismo della de-glaciazione (quanto meno per la Marinoana)

La variazione dei rapporti isotopici del carbonio è di segno opposto a quella che è nota nel Fanerozoico per i periodi di deterioramento climatico, nei quali delta ^{13}C ha valori positivi che suggeriscono una buona produttività biologica. I valori fortemente negativi in corrispondenza delle glaciazioni neoproterozoiche suggeriscono invece estinzioni di massa ed una ridottissima attività biologica.

E' sulla base di questi caratteri che è stato proposto per queste glaciazioni, in particolare per la Marinoana, il cosiddetto modello *Snowball Earth*, il quale assume una glaciazione globale incrementata per *feedback* positivo dall'aumento dell'albedo, glaciazione che avrebbe portato all'annullamento dell'attività biologica negli oceani. Ingegnoso quanto controverso, il modello postula una deglaciazione dovuta a un effetto serra indotto dal CO_2 di origine vulcanica e dalla assenza del *sink* costituito dalla materia

organica e incrementato (*feedback* positivo) dal vapor d'acqua creato dalla deglaciazione stessa. In un'atmosfera ricca di CO₂, piogge acide avrebbero portato molti cationi all'oceano inducendo rapida precipitazione di carbonati (*cap carbonates*). Il modello dovrebbe presupporre il venir meno dell'apporto di detrito continentale nel periodo glaciale, e quindi una diminuzione del valore di $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ che però non si riscontra (al contrario, si ha un aumento).

Con la formazione del *cap carbonate* marinoano si fa cominciare l'ultimo periodo del Neoproterozoico ("Neoproterozoico Terminale"). Sempre in condizioni di Pangea, compaiono i grandi acritarchi acantomorfi e poi, a circa 570 Ma, la fauna di Ediacara, che potrebbe avere trovato il suo spazio ecologico preparato dal declino degli stromatoliti e dalla probabile estinzione di massa legata alla glaciazione marinoana. Comparsa in corrispondenza di una anomalia negativa di delta ¹³C, tale fauna scompare a circa 544 Ma con un'altra anomalia negativa di delta ¹³C ed una anomalia positiva di iridio analoga a quella del limite Cretacico-Terziario: due fattori che suggeriscono una estinzione di massa causata da impatto meteorotico. La durata dell'anomalia di C è valutata sul milione di anni. A circa 544 Ma risale anche la drastica diminuzione di ampiezza della curva di variazione di delta ¹³C, che taluno attribuisce all'effetto di tampone degli organismi secretori di carbonato.

Un imbarazzante *gap* faunistico di circa 15 Ma, riempito solo dai peculiari taxa del Tommotiano, sembra interpersi tra l'estinzione della fauna di Ediacara e la principale esplosione filetica.

Abbiamo lasciato l'evoluzione geologica al tempo della grande glaciazione marinoana: al limite Pc/C le condizioni sono cambiate. Gondwana sta frammentandosi e tra i frammenti si sviluppa un intenso vulcanismo da *rift* che va arricchendo l'atmosfera in CO₂. Mentre il clima si scalda, e si alza il livello eustatico, piattaforme continentali sommerse e mari epicontinentali forniscono un'abbondanza di nicchie ecologiche. Un'estinzione di massa ha creato spazio ecologico.

La frammentazione di Gondwana, e gli eventi che la precedono, predispongono condizioni favorevoli per l'esplosione della Vita. Forse Gaia, questa volta "coglie l'occasione" che aveva perso con la frammentazione di Rodinia?

BIBLIOGRAFIA

Nell'ambito di una bibliografia ormai molto ampia, si fa seguire semplicemente l'indicazione di alcuni recenti lavori che hanno valore di utili reviews sul Neoproterozoico con particolare riferimento al Neoproterozoico Terminale.

Frimmel H.E., Almond J., Gresse P.G., "Gariiep Belt and Nama Basin". Gondwana-10 Conference Excursion Guidebook, Capetown, 75 pp., 1998

Kennedy M.J. et al, "Two or four Neoproterozoic glaciations?". *Geology*, 26, 1059-1063, 1998

Knoll A.H., "Learning to tell Neoproterozoic time". *Precambrian Research*, 100, 3-20, 2000

Walter M.R. et al., "Dating the 840-544 Ma Neoproterozoic interval by isotopes of strontium, carbon, and sulphur in seawater, and some interpretative models". *Precambrian Research*, 100, 371-433, 2000