

LIMITI E CONFINI PLANETARI, IL CICLO DI AZOTO E FOSFORO

IL CICLO DI DUE TRA GLI ELEMENTI CHIMICI ESSENZIALI PER GLI ORGANISMI VIVENTI È STATO PESANTEMENTE PERTURBATO DALL'UOMO, CON PROBLEMI DI INQUINAMENTO ED EFFETTO SERRA (AZOTO) E RISCHI DI ESAURIMENTO DELLE RISORSE NOTE (FOSFORO).

Limiti, confini e cicli biogeochimici

L'equilibrio biogeochimico che il pianeta Terra ha raggiunto nel corso delle ere geologiche è molto delicato e, quindi, il crescente utilizzo delle risorse deve confrontarsi da un lato con limiti materiali [1,2] e, dall'altro, con la necessità di non superare determinati confini [1], oltre i quali la biosfera non sarebbe più in grado di sostenere la vita. I limiti sono dettati dalla disponibilità di risorse, ad esempio i combustibili fossili [3], mentre i confini riguardano gli effetti di eventuali alterazioni delle condizioni della biosfera, come ad esempio i cambiamenti climatici [4-6]. Nell'ambito della biosfera, lo scambio fra materia vivente e non vivente è molto intenso: gli atomi degli elementi che costituiscono le molecole presenti negli organismi viventi passano al mondo inorganico, dal quale vengono in seguito nuovamente assunti.

Dei circa novanta elementi chimici presenti in natura, soltanto ventisette sono considerati essenziali per gli organismi

viventi [1]. Fra questi i più importanti sono idrogeno (H), ossigeno (O), carbonio (C), azoto (N), il cui equilibrio naturale è già stato pesantemente perturbato dall'uomo, e il fosforo (P), che ben presto comincerà a scarseggiare.

Il ciclo naturale dell'azoto

L'azoto è un elemento indispensabile per gli esseri viventi, poiché entra a far parte di molecole biologiche di importanza fondamentale quali proteine e acidi nucleici. Nonostante la sua disponibilità in natura sia molto elevata, la forma sotto cui si trova prevalentemente, N_2 (che costituisce circa il 78% in volume dell'atmosfera), non è utilizzabile dagli organismi superiori per la sintesi della materia organica. Le piante, infatti, riescono ad assimilare l'azoto inorganico solo sotto forma di ammoniaca o di ione nitrato, mentre gli animali non sono in grado di utilizzare nessun composto inorganico dell'azoto e, quindi, sono costretti ad assumerlo nella sua forma

organica dalle piante. Potendo avere tutti i gradi di ossidazione da -3 (ammoniaca) a +5 (nitrati), l'azoto dà origine a una grande varietà di composti e quindi il suo ciclo naturale è costituito da una complicata sequenza di reazioni (figura 1).

Molto schematicamente, alla fissazione dell'azoto atmosferico N_2 in azoto ammoniacale da parte di batteri o microrganismi che vivono in simbiosi con le radici delle piante, seguono:

- 1) la conversione batterica in nitriti e nitrati (e viceversa)
- 2) l'utilizzo da parte delle piante dei composti inorganici dell'azoto per ottenere composti organici azotati
- 3) la successiva trasformazione dell'azoto organico, proveniente dalla decomposizione di organismi e da prodotti di escrezione, in azoto ammoniacale da parte di microbi
- 4) l'ossidazione dell'azoto ammoniacale a nitriti e nitrati
- 5) infine, con la denitrificazione batterica, che avviene in assenza di ossigeno, si riforma N_2 che viene restituito all'atmosfera chiudendo il ciclo.

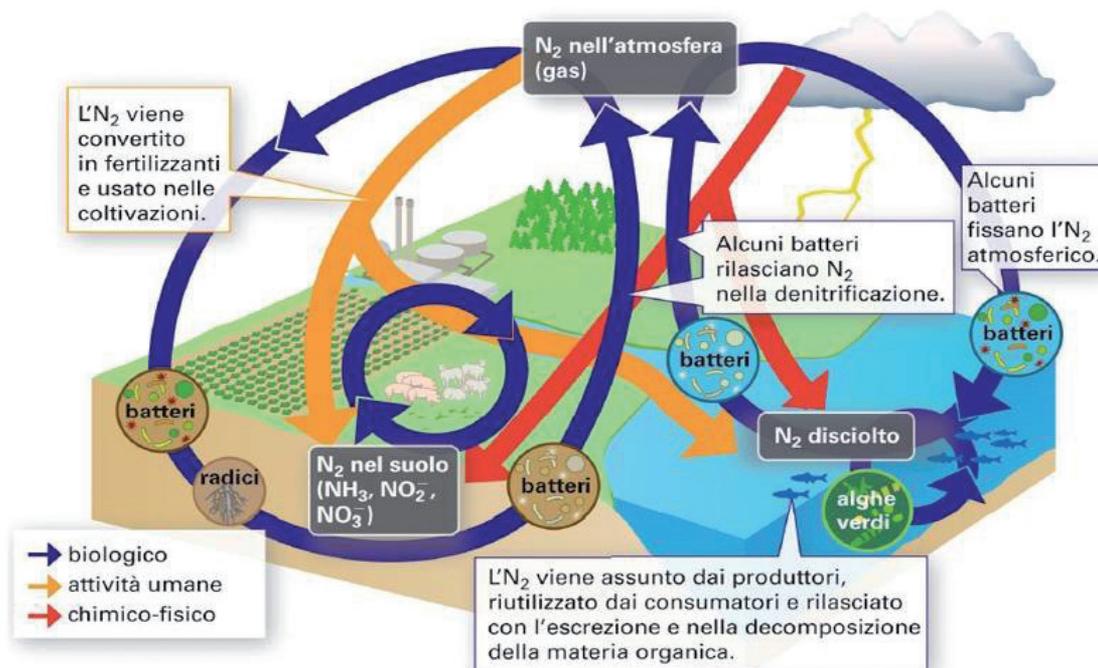


FIG. 1
CICLO DELL'AZOTO

L'azoto è coinvolto in una complicata sequenza di processi naturali, sia di tipo biologico che chimico-fisico, sui quali si è inserita l'attività umana.

Influenza dell'uomo sul ciclo dell'azoto.

Il ciclo dell'azoto è stato pesantemente perturbato dall'uomo negli ultimi cento anni a causa dello sviluppo di processi industriali (figura 1) che usano l'azoto molecolare, N_2 , per ottenere ammoniaca e successivamente fertilizzanti ed esplosivi, della produzione intensiva di cereali e dell'uso massiccio dei combustibili fossili.

Le conseguenze sono molteplici:

- 1) aumento della quantità di ossido di diazoto (N_2O) prodotto dalla fertilizzazione agricola, dalla combustione delle biomasse e da attività industriali, con gravi effetti negativi perché N_2O contribuisce a distruggere l'ozono e ad aumentare l'effetto serra (è un gas serra trecento volte più potente di CO_2)
- 2) forte aumento di ossidi di azoto (NO_x) nell'atmosfera, generati da processi di combustione ad alta temperatura, responsabili dello smog fotochimico, delle piogge acide e dell'insorgenza di gravi patologie nell'uomo
- 3) aumento di composti azotati che finiscono nei fiumi, laghi e mari generando il fenomeno dell'eutrofizzazione, con danni agli ecosistemi e riduzione della biodiversità
- 4) contaminazione delle falde freatiche da parte dello ione nitrato, un pericoloso inquinante per le acque potabili.

elemento. I fosfati, molto solubili, vengono assorbiti da piante, funghi e batteri che, per mezzo di enzimi, lo trasformano (fosforilazione) in fosfato organico, $[R-O-PO_3]^{2-}$ (R = gruppo organico). Attraverso la catena alimentare, il fosforo viene trasferito agli animali (uomo compreso) che lo restituiscono al suolo tramite le escrezioni e la decomposizione della materia organica. Il fosforo organico viene poi nuovamente trasformato da specifici microrganismi in ione fosfato che si accumula nel suolo. Per dilavamento, i fosfati si sciolgono nelle acque e giungono fino al mare, dove il fosforo viene in parte incorporato nei gusci e negli scheletri degli organismi marini e in parte viene fissato dal fitoplancton e trasferito alla catena alimentare, dai pesci agli uccelli fino all'uomo. Gli uccelli che si cibano di pesci riportano sul suolo parte del fosforo sotto forma di guano, che in passato era la fonte principale dei fertilizzanti. Poiché il fosforo che si deposita nei sedimenti (sul suolo o nelle profondità marine) rimane intrappolato per tempi lunghissimi, nel corso delle ere geologiche si è stabilito un equilibrio tra le esigenze della biosfera e le riserve complessive di fosforo presenti nella litosfera e nell'idrosfera. Anche su questo equilibrio si è inserito pesantemente l'uomo.

Influenza dell'uomo sul ciclo del fosforo.

Lo sfruttamento intensivo dei terreni necessita di elevate quantità di fertilizzanti che oggi vengono prodotti a partire dalle rocce fosfatiche. Questo uso spesso eccessivo di fertilizzanti ha due pesanti conseguenze: intacca profondamente i giacimenti di fosforo e, a causa del dilavamento del terreno, arricchisce fiumi, laghi e mari di composti contenenti fosforo, che al pari dei composti azotati sono responsabili del fenomeno dell'eutrofizzazione.

Grandi quantità di fosforo vengono anche impiegate per ottenere prodotti chimici di largo uso come pesticidi e detersivi. Agli attuali ritmi di consumo, i giacimenti di minerali ricchi di fosforo potrebbero esaurirsi entro cinquant'anni. Pertanto, nonostante sia presente in quantità notevoli sulla crosta terrestre, il fosforo è uno di quegli elementi che diventeranno sempre più scarsi, tanto che già si studiano processi biotecnologici per recuperarlo anche dalle urine [7].

Vincenzo Balzani, Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician",
Università di Bologna

Ciclo naturale del fosforo

Il fosforo, come l'azoto, è un elemento indispensabile per gli organismi viventi, ma a differenza dell'azoto il suo ciclo non coinvolge l'atmosfera. Infatti, poiché sia il fosforo elementare che i suoi composti organici e inorganici sono solidi, lo scambio può avvenire solo attraverso il suolo e l'acqua (figura 2).

Il fosforo presente nel suolo deriva dalla degradazione delle rocce fosfatiche, che rappresentano il serbatoio di questo

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] V. Balzani, M. Venturi, 2014, *Energia, risorse, ambiente*, Zanichelli.
- [2] U. Bardi, 2014, *Extracted. How the Quest for Mineral Wealth Is Plundering the Planet*, Chelsea Green, White River Junction, Vermont, Usa.
- [3] N. Armadori, V. Balzani, 2011, *Energy for a Sustainable World - From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH.
- [4] J. Rockstrom et al., 2009, *Nature*, 461, 472.
- [5] M. Jennings, 2013, *Global Policy*, 4, 32.
- [6] M.E. Man, 2014, *Scientific American*, April, 79.
- [7] S. K. Ritter, 2012, *Chem. Eng. News*, 90 (26), 12.

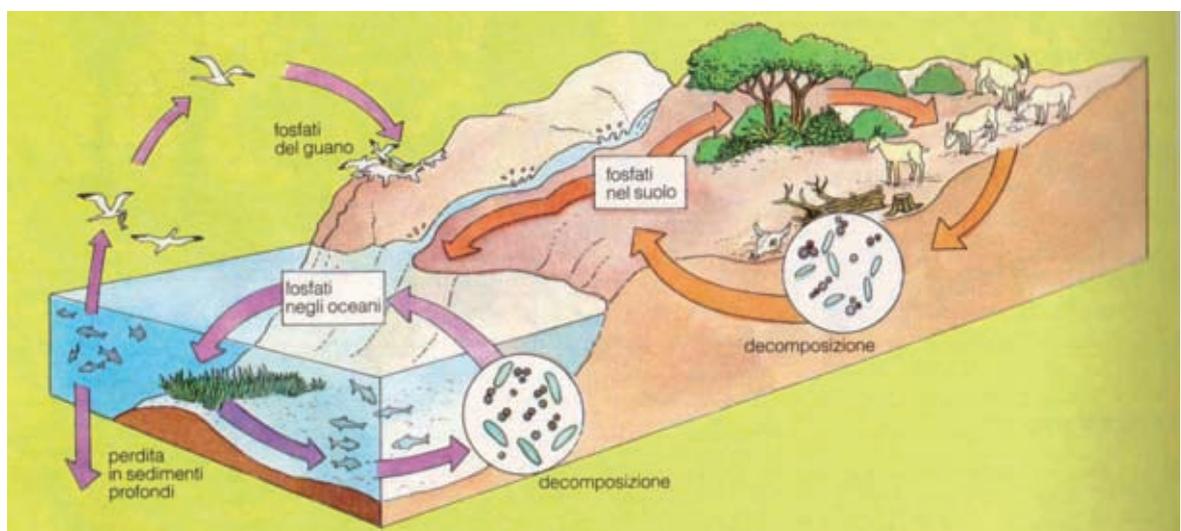


FIG. 2
CICLO DEL FOSFORO

Il ciclo naturale
del fosforo.