

IL PIANETA DEI MINATORI: I LIMITI MINERALI DELLA SOCIETA' INDUSTRIALE

Ugo Bardi, ASPO-Italia
www.aspoitalia.net

Tornerai alla terra, perché da essa sei stato tratto: polvere tu sei ed in polvere ritornerai" (Gen. 3,17.19).



Tutte le creature viventi sono fatte di elementi che, in un momento o in un altro, hanno fatto parte della crosta terrestre. Esiste un volume di spazio immenso (l'ecosfera) dove il mondo inorganico, (la geosfera) e quello organico, (la biosfera) si scambiano minerali. Dall'ecosfera, le creature viventi assorbono principalmente sei elementi: carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, zolfo e fosforo. Le creature più semplici usano solo questi, ma quelle più complesse arrivano a incorporare 27 elementi nel proprio metabolismo. Di questi, soltanto quattro, ovvero carbonio, ossigeno, idrogeno e azoto si trovano in abbondanza nell'atmosfera. Le creature marine trovano gli altri disciolti nell'acqua di mare. Per le creature che vivono sulla terra, gli elementi necessari

alla vita devono essere estratti dal suolo. La Terra è un'immensa miniera a cielo aperto e le piante sono dei minatori.

Se le piante sono dei minatori, le loro miniere non si esauriscono mai; sono continuamente rifornite dai cicli naturali dell'ecosfera. Quando muoiono, gli esseri viventi ritornano polvere, e la polvere ritorna a formare creature viventi attraverso l'humus, substrato vitale che trattiene i minerali e li restituisce alle piante. L'erosione corrode la roccia fornendo nuovi minerali all'humus e gradualmente, le montagne vengono distrutte e trasportate nell'oceano dai fiumi. I movimenti della crosta terrestre creano continuamente nuove montagne. Allo stesso tempo, le eruzioni vulcaniche e le intrusioni di magma riportano nell'ecosfera minerali che i movimenti crostali avevano trasportato all'interno delle viscere semifuse del pianeta.

Si parla a volte di "equilibrio naturale" ma l'ecosfera non è in equilibrio e non potrebbe esserlo. Tuttavia, i flussi di massa che la geosfera e la biosfera si scambiano devono, in media, bilanciarsi, altrimenti la vita sulla terra non sarebbe potuta esistere per miliardi di anni. Questa condizione la possiamo chiamare *omeostasi* ed è regolata da un gran numero di cicli fisici, chimici e biologici. La complessità di questi cicli è qualcosa che abbiamo cominciato a capire soltanto in tempi recenti; solo da qualche decennio ci rendiamo conto di come siano fondamentali per determinare l'aspetto del mondo in cui viviamo. I cicli minerali, quello del carbonio in particolare, hanno un'effetto stabilizzante importantissimo sull'ecosfera aiutando a mantenere costante la temperatura del pianeta.

I cicli che ricostituiscono i minerali dell'ecosfera sono lentissimi; richiedono centinaia di migliaia, o milioni, di anni, ma sono rapidi abbastanza per rifornire l'ecosfera di minerali. Hanno garantito l'esistenza delle creature che vivono sulla superficie terrestre per oltre mezzo miliardo di anni e per più di tre miliardi di anni per quelle che vivono negli oceani.



Ma oggi qualcosa è cambiato. C'è tutto un popolo di minatori, gli esseri umani, che sta lavorando sul pianeta. Stanno scavando, estraendo, ridistribuendo e spargliando minerali di ogni tipo; il tutto a velocità mai viste prima nell'ecosfera. E' la prima volta in più di 500 milioni di anni che una specie animale si mette a estrarre direttamente gli elementi della geosfera senza prenderli dalle piante. Se, poi, la biosfera fino ad oggi si è

contentata di 27 elementi al massimo, gli esseri umani hanno trovato usi per tutti i 92 elementi naturali della tavola periodica, arrivando anche a crearne di artificiali. Hanno creato una nuova sfera ecologica, la *tecnosfera*. L'ecosfera e la tecnosfera hanno caratteristiche simili in come sfruttano energia e minerali. L'ecosfera usa energia per trasformare i minerali in creature viventi; la tecnosfera usa energia per trasformare i minerali in creature tecnologiche; macchinari, edifici, attrezzature, eccetera.



Come ogni buon minatore sa, estrarre un minerale vuol dire separarlo dalla matrice di roccia in cui è contenuto, ovvero concentrarlo. Ci vuole tanta più energia quanto più è bassa la concentrazione del minerale nella roccia sorgente¹. Le piante terrestri devono contentarsi di quel che trovano a portata di radice; dove la concentrazione di minerali è bassissima e la loro estrazione richiede molta energia. Per questo le piante sono averse di minerali e attente alla conservazione. Questo è specialmente vero nel caso di una foresta tropicale che ricicla praticamente tutti i minerali al suo interno. Gli umani, invece, vanno a cercarsi minerali ad alta concentrazione, che chiamano "vene" o "depositi." La presenza di questi depositi è una cosa molto rara nella crosta terrestre, dovuta a processi particolari che si sono verificati in tempi remoti. L'estrazione di questi minerali richiede enormemente meno energia di quanto ne richiederebbe estrarre dalla crosta indifferenziata, come fanno le piante.



Le quantità di minerali estratti, sia dalla biosfera come dalla tecnosfera, sono immense. Ogni anno si producono circa 60 miliardi di tonnellate all'anno di nuova biomassa sulla superficie terrestre e altre 40 miliardi circa negli oceani. La massa totale di minerali estratti dagli esseri umani è oltre 10 miliardi di tonnellate all'anno². L'energia necessaria per la produzione di biomassa da parte delle piante corrisponde a un totale di 3.6×10^9 (3.6 miliardi) di terajoule (TJ) all'anno. Gli esseri umani usano energia generata principalmente dai minerali che estraggono, combustibili fossili, che è circa 3.5×10^8 (350 milioni) di TJ all'anno, ovvero circa un fattore 10 inferiore all'energia prodotta dalla biosfera.

In termini di massa prodotta per unità di energia disponibile, la biosfera e la tecnosfera sono più o meno alla pari; dove la tecnosfera batte nettamente la biosfera è nella produzione di metalli. La biosfera produce metalli soltanto in tracce, principalmente come catalizzatori per i processi metabolici. Al contrario, per la tecnosfera i metalli sono fondamentali come materiali strutturali e funzionali. Il rame, per esempio, è importantissimo per la tecnosfera che si basa in gran parte sul controllo del moto degli elettroni nei metalli. E' meno importante per la biosfera, anche se ne è un componente metabolico ed è presente in media intorno alle 5 parti per milione negli esseri viventi.

La concentrazione di rame negli esseri viventi corrisponde a una produzione di circa trecentomila tonnellate all'anno per la biomassa continentale. Quasi tutto questo rame è riciclato attraverso l'humus, ma dobbiamo tener conto che circa 20 miliardi di tonnellate di sedimenti sono persi ogni anno negli oceani³. Non ci sono dati certi su quanto rame vada perso in questo processo, ma come ordine di grandezza è sicuramente molto inferiore alle centomila tonnellate all'anno. Per rimpiazzarlo, una quantità equivalente deve essere estratta dal suolo dalle piante.

I minatori umani, invece, estraggono enormemente più rame, circa 14 milioni di tonnellate all'anno. Il totale del rame che circola nel sistema industriale umano è dell'ordine di svariate centinaia di milioni di tonnellate; viceversa, nei 500 miliardi di tonnellate di biomassa totale presenti sul pianeta, non ci sono più di 2 milioni e mezzo di tonnellate di rame. Anche considerando l'humus, che contiene probabilmente ancora qualche milione di tonnellate di rame, i minatori umani hanno messo in circolazione nell'ecosfera almeno *cento volte più rame* di quanto non abbiano fatto le piante. Proporzioni simili valgono per metalli, come zinco, piombo, ferro e altri. La presenza del popolo dei minatori ha cambiato la faccia del pianeta in molti sensi.

Gli umani sono dei bravi minatori di metalli, ma hanno un problema: stanno esaurendo le sorgenti ad alta concentrazione che sanno utilizzare così bene. Per estrarre da sorgenti a bassa concentrazione occorre sempre più energia e questa sta diventando scarsa. Per dare un'idea del problema che i minatori umani si trovano di fronte, consideriamo ancora il rame.

Secondo i dati disponibili⁴ per estrarre e raffinare una tonnellata di rame da un minerale che ne contiene una concentrazione del 2%, occorrono 64 GJ (Gigajoules). Altre fonti danno valori leggermente più bassi⁵. Se assumiamo un valore di 50 GJ/Ton, la produzione mondiale (15 milioni di tonnellate all'anno) richiede un totale di 750 milioni di gigajoule all'anno (750×10^6 GJ), ovvero circa 0,75 milioni di terajoule (TJ).

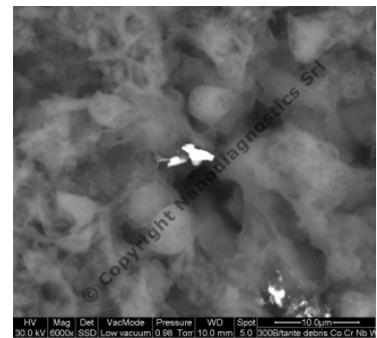
Questa frazione è circa lo 0.2% del totale della produzione mondiale di energia primaria (350 milioni TJ/anno). Lo 0.2% non è tantissimo, ma non è nemmeno trascurabile. Non è per niente trascurabile se consideriamo che l'energia necessaria per estrarre un minerale aumenta esponenzialmente con il diminuire della sua concentrazione e che quindi è destinata ad aumentare parallelamente alla riduzione della disponibilità di energia che si può ottenere dai combustibili fossili.

Se la tendenza continua, gli umani si troveranno costretti a estrarre da sorgenti sempre più diluite. A lungo andare, l'energia necessaria sarebbe immensa. Considerando ancora il rame, la concentrazione media nella crosta terrestre è 70 parti per milione (70 ppm), ovvero in un kg di roccia ci sono circa 70 milligrammi

di rame in media. Detto in un altro modo, per ottenere un kg di rame, dovremmo polverizzare a livello atomico 14 tonnellate di roccia. L'energia media per la formazione di una roccia tipica è circa 10 MJ per kg⁶. Pertanto, estrarre un kg di rame dalla roccia indifferenziata costerebbe almeno 140 GJ (gigajoules), un fattore oltre tre ordini di grandezza più grande in confronto a quello necessario agli umani per estrarre dalle miniere attuali. E questo è il minimo; un processo industriale pratico richiederebbe molta più energia, qualcosa come 500 GJ per kg. Per ottenere l'attuale produzione di rame, 15 milioni di tonnellate all'anno, avremmo bisogno di qualcosa come 10¹⁰ TJ, ovvero quasi due ordini di grandezza di più dell'attuale produzione di energia primaria mondiale. Valori simili si ottengono per altri metalli, come il piombo, lo zinco e altri.

Ovviamente, è impossibile mantenere i ritmi attuali di estrazione con le fonti di energia di cui disponiamo adesso, i combustibili fossili. Anche se qualche miracolo tecnologico ci fornisse quantità di energia sufficienti per estrarre ai ritmi attuali dalla roccia indifferenziata, si rischierebbe di surriscaldare il pianeta dato che si arriva a livelli non tanto diversi dall'energia irradiata dal sole su tutto il pianeta. Estrarre minerali dagli oceani sarebbe meno costoso in termini energetici, ma le quantità di minerali disciolte sono troppo piccole per sostenere a lungo la civiltà industriale.

Riciclare i minerali estratti non cambierebbe molto le cose. Se gli umani sono bravi minatori, in confronto alle piante sono anche dei pessimi riciclatori. Il meglio che riescono a fare con metalli come il rame, ferro, zinco e piombo è di rimetterne nel ciclo la metà, se va bene il 60%. Il resto lo buttano via. Per capire quanto gli umani sono sciagurati, pensate che ritengono che il loro sistema industriale produca "rifiuti" dei quali è necessario "liberarsi" e questo lo fanno bruciando il tutto in una macchina che chiamano "inceneritore". I risultati li vediamo, per esempio, nella foto qui a destra presa al microscopio elettronico⁷. Si vede una minuscola particella metallica, probabilmente generata da un inceneritore, che è andata a fermarsi all'interno del tessuto vivente. La particella contiene ferro, cromo, cobalto e niobio; specialmente questi ultimi sono minerali rari. Sparpagliati per l'atmosfera in questo modo, recuperarli richiederebbe energie dello stesso ordine di grandezza di quelle necessarie per estrarli dalla roccia indifferenziata: Nella pratica, sono persi per sempre per la tecnosfera. Incidentalmente, queste nanoparticelle fanno anche male alla salute degli umani che le producono; un'ulteriore evidenza della loro sciagurataggine.



Così, le attività minerali umane diventano sempre più difficili; sia perché le loro sorgenti di energia si stanno progressivamente esaurendo, sia perché l'estrazione di minerali sempre più diluiti richiede sempre più energia. A questi due problemi, carenza di energia e richiesta di energia sempre maggiore se ne aggiunge un terzo, quello del danno che i sottoprodotti della tecnosfera stanno facendo all'ecosfera. Le miniere umane diventano sempre più grandi via via che si sfruttano risorse più diluite, questo fa dei danni immensi alla biosfera e, di riflesso, agli umani stessi. Tre problemi difficili – forse insolubili – per la tecnosfera che si rinforzano fra loro e che arrivano allo stesso momento. Gli umani hanno un termine per questo tipo di situazione: la chiamano la "tempesta perfetta".

Così come stanno le cose, la tecnosfera sta fronteggiando un problema che potremmo chiamare di *desertificazione tecnologica*; in analogia con quello che può succedere alla biosfera che si può desertificare in termini biologici. Con sempre meno minerali a disposizione, la tecnosfera rischia seriamente di inaridirsi e sparire. Se questo avverrà, i geologi di un remoto futuro ne troveranno come unica traccia un sottile strato di metalli pesanti; non molto diverso dallo strato di iridio che vediamo oggi come il risultato dall'impatto di un asteroide circa 65 milioni di anni fa. Una nuova tecnosfera non potrà ricomparire sul pianeta prima che i processi naturali non avranno ricostituito riserve minerali comparabili a quelle disponibili agli albori della nascita della civiltà umana; per questo ci vorranno milioni di anni.

Non possiamo escludere qualche colpo di scena che eviti la desertificazione tecnologica. Ingegnosi come sono, i minatori umani potrebbero trovare il modo di ingrandire le loro riserve; per esempio spostandosi su altri pianeti o inventando sorgenti di energia al momento impensabili. Più saggiamente, potrebbero cercare di imitare la biosfera e cercare di chiudere il cerchio dello sfruttamento dei minerali; riciclandoli al 100% così come fa la biosfera. Questo vorrebbe dire cambiare profondamente il loro modo di fare. Non è impossibile, ma dovranno imparare molte cose.

¹ Per essere esatti, l'energia necessaria dipende anche dall'entropia e sarebbe corretto parlare di "exergia di estrazione" dove il termine "exergia" indica un parametro che tiene conto del fattore entropico. Per un minerale disperso nella roccia, tuttavia, il fattore entropico è molto piccolo e lo si può trascurare.

² (<http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0068-98/fs-0068-98.pdf>)

³ Robert M. Garrels and Fred T. Mackenzie: *Evolution of Sedimentary Rocks*, W.W. Norton & Co., New York, 1971, pp. 104-106

⁴ http://www.minerals.csiro.au/sd/CSIRO_Paper_LCA_Sust.pdf,

⁵ Ayres 2006 <http://ec.europa.eu/environment/enveco/waste/ayres.pdf>

⁶ Ringrazio Stefano Caporali per questa stima ottenuta facendo la media pesata delle energie di formazione dei minerali più comuni

⁷ Stefano Montanari e Antonietta Gatti, www.nanodiagnosics.it