

## LA SERIE DI BOWEN E LA CRISTALLIZZAZIONE FRAZIONATA

Si potrebbe pensare, esaminando la grande varietà di rocce ignee presenti nella litosfera, che ciascuna derivi da un ugual numero di magmi originari, ma in realtà non è così. I tipi fondamentali sono soltanto due, tanto che si parla di dualismo dei magmi. E allora proviamo ad immaginare come sia possibile, da questi soltanto, originare tutta questa variabilità.

L'ordine con cui si formano i vari minerali a partire da un magma indistinto è legato alla temperatura di cristallizzazione di ciascuno. Per primi cristallizzano i minerali altotondenti (T 1200°→900°), ossia quelli femici, e per primo in assoluto l'olivina.

A seconda del tipo di minerale il destino può essere duplice.

In base ad esperimenti condotti a partire dal 1915 in laboratorio, portando a fusione completa alcuni tipi di rocce e controllando la natura dei minerali che si formavano via via che il "magma" artificiale si raffreddava lentissimamente, N.L. Bowen scoprì che esistevano due tipi di sequenze di cristallizzazione diverse:

- 1- SERIE DISCONTINUA
- 2- SERIE CONTINUA



### 1- Serie discontinua

Cerchiamo di seguire idealmente il destino dei minerali che si formeranno in questa serie.

Partendo dal magma fuso, la temperatura comincia a scendere. Arriverà a un certo punto la T di cristallizzazione del primo minerale che è l'olivina e si formano i primi cristalli di essa. Siccome è un passaggio di stato, la T resta costante finché tutta l'olivina non è cristallizzata (sosta termica).

L'olivina tuttavia rimane a contatto col fuso mentre la temperatura inizia nuovamente a decrescere. Nelle condizioni di temperatura nuove, più basse, l'olivina non è più in equilibrio termodinamico con l'ambiente circostante, reagisce allora chimicamente col fuso in modo da dare un minerale che sarà invece in equilibrio con le nuove condizioni. Si formano in tal modo i pirosseni, ma il meccanismo continua, i pirosseni ancora immersi nel fuso reagiscono con esso quando la temperatura continua ad abbassarsi e si formano gli anfibioli e poi ancora la biotite. Se la composizione del magma iniziale lo consente, quindi se l'abbondanza di silice (SiO<sub>2</sub>) è notevole, può alla fine cristallizzare il feldspato-K e il quarzo.

E' ovvio che se il magma contiene molto ferro avremo il permanere di cristalli di olivina, se invece ne contiene una piccola quantità, e al contrario contiene molta silice, l'olivina viene tutta riassorbita fino ai minerali successivi che potranno essere presenti nelle rocce ad acidità maggiore.

La serie discontinua viene chiamata così perché si passa progressivamente a minerali completamente diversi. Il diagramma di stato sarebbe fatto a scalini.

Da notare come si passi da silicati più semplici (neso) a silicati più strutturati (ino → fillo → tecto).

La serie discontinua infine avrà importanza anche nell'ambito delle rocce sedimentarie, in quanto i minerali che vengono alterati per primi sono quelli che si sono formati in condizioni più lontane dall'ambiente superficiale, quindi proprio l'olivina, che è stata la prima a cristallizzare sarà la prima ad essere alterata chimicamente, mentre il quarzo sarà il più resistente.

## 2- Serie continua

Bowen scoprì che i plagioclasii, che sono una miscela isomorfa, cristallizzano in modo diverso rispetto alla serie discontinua. Intanto c'è da dire che la loro cristallizzazione inizia parallelamente all'altra, ossia mentre cristallizza l'olivina, inizia anche a cristallizzare il plagioclasio-Ca senza che i due reagiscano minimamente tra loro (questo meccanismo di cristallizzazione di due minerali affiancati l'uno all'altro viene chiamata *cristallizzazione eutettica*).

Dunque il primo plagioclasio che cristallizza sarà quello con solo calcio (anortite), ma mentre la temperatura comincia ad abbassarsi, ecco che di nuovo si hanno condizioni di instabilità come nel caso precedente, soltanto che qui il meccanismo avviene in modo continuo, il minerale resta il medesimo. Progressivamente, in modo continuo, esso si arricchisce in sodio (Na<sup>+</sup>) e silice. La composizione dei cristalli che si formano (ricordo che sono tectosilicati) si arricchisce in proporzione di sodio, il fuso residuo per contro si impoverisce di sodio visto che questo si trasferisce nel solido.

Il diagramma di stato stavolta è continuo, non a scalini, molto simile a quello delle leghe metalliche.

Tali reazioni in genere non arrivano a completarsi in tutti i cristalli, per cui in ogni momento possono coesistere quantità variabili di diversi tipi di questi minerali. La composizione finale dipende dalla composizione del fuso iniziale: più questo è ricco in silice, più il plagioclasio che alla fine si forma sarà ricco in albite.

Se quindi l'intero meccanismo procedesse in modo ottimale, il plagioclasio alla fine costituirebbe una massa grigia indistinta, con la stessa composizione del magma iniziale, senza la presenza di cristalli distinti tra loro. Ma in natura l'abbassamento di T e pressione o degli altri parametri chimico-fisici preposti alle trasformazioni non è mai uniforme, perché ci sono sicuramente disomogeneità locali e sbalzi di temperatura dovuti a movimenti caotici della massa magmatica al suo interno. Ecco che quindi si ottengono molti cristalli, non una massa cristallina unica, che posseggono una caratteristica "zonazione" cioè la parte più interna risulta più scura e ricca in Ca mentre la parte più esterna risulta più chiara e ricca in Na. I plagioclasii, sono distinguibili al microscopio polarizzatore proprio per le zonature e per le geminazioni, che sono dovute alle anomalie durante la cristallizzazione, anomalie che costituiscono non un'eccezione ma una regola.

L'ordine riportato dai libri di testo alla fine delle due serie è soltanto un ordine cronologico e di temperatura, con cui avvengono le cristallizzazioni, non è possibile infatti che dall'ortoclasio (feldspato-K) si formi il quarzo, come dalla biotite non è possibile che si formi la muscovite. I plagioclasii invece derivano ciascuno dal termine precedente. Se la composizione iniziale del fuso è tale che consente di arrivare alla cristallizzazione dei minerali finali delle due serie, e avanza ancora del fuso, si cristallizzano da questo direttamente dei cristalli di feldspato potassico, muscovite e quarzo senza interferenze con le due serie.

Le serie di Bowen sono soltanto le trasformazioni fisico-chimiche di un magma che si raffredda in un ambiente tranquillo, ideale, senza ricevere altri apporti, né dalle rocce incassanti (che possono essere fuse a contatto con la massa magmatica ed il fuso andare ad aggiungersi ad essa per *assimilazione*) né dal *mescolamento* con altri magmi.

La grande varietà delle rocce ignee dipende di fatto dalle infinite possibilità che si possono verificare in un processo caotico come il raffreddamento di un magma. Infatti, a complicare il destino di un magma, quindi a determinare la sua completa evoluzione, vi è la cosiddetta **CRISTALLIZZAZIONE FRAZIONATA**, cioè la separazione non necessariamente completa dei cristalli già consolidatisi dalla porzione ancora fusa, che progressivamente cambia composizione. Essa si può realizzare in 3 modi diversi: la *differenziazione gravitativa* che si realizza per contrasto di densità fra la fase liquida e il solido (fase minerale) che da esso si segrega, per la quale i cristalli, più densi del liquido, tendono a depositarsi sul fondo della massa magmatica; il *flusso laminare o colonnare*, dovuto ai movimenti convettivi che possono sussistere al suo interno o ai movimenti dei cristalli nelle zone a maggiore velocità di flusso; infine il cosiddetto meccanismo *filtro-prensa*, dovuto alla migrazione di sacche di magma ancora fluido che restano immerse in un feltro di cristalli nella fase finale del raffreddamento, attraverso il quale esso viene spremuto per andare ad accumularsi in piccole zone separate