



Formazione degli Asteroidi

Fase di Riscaldamento

(di Leonardo Malentacchi)

INDICE

1. Riscaldamento degli asteroidi	2
1.1. Riscaldamento da Induzione elettromagnetica	2
1.2. Riscaldamento da Decadimento Radioattivo.....	2
1.2.1. Alluminio 26.....	2
1.2.1.1. Rapporto Canonico.....	3
1.2.2. Ferro 60.....	3
1.2.3. Struttura degli asteroidi a cipolla.....	3
1.3. Riscaldamento da Collisione	4
1.3.1. Correlazione.....	4
1.3.2. Obiezioni Di Klaus Keil	4
1.3.3. Porosità.....	5
2. Raffreddamento di un corpo celeste	5
3. Bibliografia e info. documento	6



1. Riscaldamento degli asteroidi

In varie classi di meteoriti si riscontrano tracce di un passato riscaldamento che li ha portati ad un livello di fusione. Al fine da giustificare tale riscaldamento vi sono diverse teorie:

1. Riscaldamento da isotopi radioattivi.
2. Collisione fra Asteroidi.
3. Induzione elettromagnetica.

Mentre i cosmochimici ritengono che il riscaldamento sia prevalentemente dovuto al decadimento isotopico, Alan E. Rubin ritiene che gli impatti siano il meccanismo predominante. Comunque vi sono vari indizi che fanno pensare che il riscaldamento sia avvenuto per entrambe le cause. La teoria dell'Induzione elettromagnetica invece trova meno consensi.

1.1. Riscaldamento da Induzione elettromagnetica

Il Sole primordiale potrebbe aver generato un vento solare ionizzato che avrebbe potuto trasportare il campo magnetico a velocità di alcune centinaia di Km/sec. In asteroidi conduttivi vi sarebbe indotta una corrente elettrica elevata a tal punto da riscaldare il corpo. Questa teoria però non è molto seguita a causa di molti punti non chiariti. Deve essere dimostrato, che il Sole avesse avuto un vento solare così intenso da determinare una corrente indotta sufficiente a determinare la fusione di un asteroide. In genere questo accade nelle stelle molto giovani, ma i flussi emessi tendono ad uscire nelle zone polari, e non nella zona equatoriale, dove presente il disco di accrescimento, dove si stanno aggregando gli asteroidi.

1.2. Riscaldamento da Decadimento Radioattivo

E' stato ipotizzato che gli asteroidi possono essere stati scaldati grazie all'energia di decadimento da parte di isotopi radioattivi a breve durata. I candidati a tale scopo sono:

- ^{26}Al
- ^{60}Fe

L'azione del riscaldamento radioattivo sarebbe in grado di agire per alcuni milioni di anni, ma il calore generato, grazie alle piccole dimensioni non viene trattenuto a lungo e vi sarebbe l'opinione che sommando gli effetti combinati degli isotopi dell' ^{26}Al e ^{60}Fe non sarebbero stati in grado di riscaldare il corpo a tal punto da raggiungere la fusione degli asteroidi.

1.2.1. Alluminio 26

L'isotopo dell'alluminio (^{26}Al), fu proposto verso gli anni 1950 dal premio nobel per la chimica Harold Urey. Il tempo di dimezzamento è di 730.000 anni e decade nell'isotopo del magnesio (^{26}Mg). Tale meccanismo di riscaldamento non può persistere per molto a lungo, nel giro di qualche



milione di anni quasi tutto l'isotopo dell'alluminio si è trasformato in magnesio. Al fine da dimostrare la teoria, negli asteroidi si deve evidenziare abbondanza di magnesio in quei minerali che in genere presentano abbondante presenza di alluminio e minore presenza di magnesio.

1.2.1.1. Rapporto Canonico

In recenti analisi su minerali quali:

- Anortite
- Hibonite

è stata evidenziata una presenza di magnesio derivato dall' ^{26}Al in inclusioni refrattarie (aggregati di minerali inglobati accanto ai condriti) di meteoriti condritiche. Dato che questi tipi di minerali si formano solo a temperature di circa 1180°C . Si può presumere che tali inclusioni refrattarie si siano formate ai primordi della storia del sistema solare, prima che la nube si fosse raffreddata. Nella maggior parte delle inclusioni è stato riscontrato un rapporto fra i due isotopi dell'alluminio ($^{26}\text{Al} / ^{27}\text{Al}$), al momento della formazione del sistema solare, pari a circa $4,5 \cdot 10^{-5}$. Questo rapporto è stato chiamato "***Rapporto Canonico***". Può sembrare un'abbondanza minima ma in grado di provocare un riscaldamento delle rocce. Tale rapporto risulta essere identico in inclusioni su tutte le classi di condriti.

1.2.2. Ferro 60

L'isotopo radioattivo ^{60}Fe presenta un tempo di dimezzamento pari a 1,5 Milioni di anni e rende come prodotto finale il nichel 60 (^{60}Ni). Da analisi effettuate da Alexander Shukolyukov e Gunter Lugmair e Shogo Tachibana e Gary Huss sulle Eucriti e sulle Condriti si perviene ad una stima di abbondanza primordiale molto bassa. Il rapporto isotopico del ferro risulta essere di circa $3 \cdot 10^{-7}$. Da calcoli effettuati da Kunihiro e colleghi il riscaldamento provocato da tale radioisotopo è tale da far salire la temperatura ad un asteroide di circa 180° .

1.2.3. Struttura degli asteroidi a cipolla

I vari isotopi radioattivi a tempo di decadimento breve sarebbero stati prodotti all'interno di una stella e avrebbero fatto il loro ingresso nella nebulosa solare primordiale dopo che questa è esplosa come una supernova circa 4,6 Miliardi di anni fa. L'esplosione avrebbe modificato la composizione della nube distribuendo uniformemente i vari isotopi e provocando successivamente il collasso e la nascita del nostro Sole. Questi isotopi, decadendo, avrebbero fornito l'energia per il successivo riscaldamento dei corpi che si andavano aggregando. Se l'abbondanza di questi elementi era elevata, molti asteroidi potrebbero essersi fusi poco dopo la loro formazione, ma i vari asteroidi che continuano la fase di aggregazione accumulano superficialmente percentuali di isotopi radioattivi via via inferiori (dovuto al decadimento), determinando una struttura a cipolla. Questo provoca che al loro interno hanno un nucleo caldo che si raffredda lentamente. I gusci più esterni invece presenterebbero un metamorfismo più lento (dovuto al minore riscaldamento), e andrebbero a formare quello che noi oggi definiamo condriti di tipo 3, 4 e 5. Se il contributo più importante al riscaldamento primordiale è dovuto prevalentemente agli impatti il modello standard a cipolla



verrebbe meno. Da una verifica dei dati su tempi di raffreddamento di un gruppo di condriti ordinarie, Ed Scott dell'università delle Hawaii a Manoa, ha concluso che non vi sia il supporto alla tesi della struttura a cipolla.

1.3. Riscaldamento da Collisione

La teoria collisionale trova implicazioni nella storia dell'evoluzione del sistema solare. Tutti i corpi, dagli asteroidi, ai pianeti alle comete avrebbero subito gli stessi impatti. Dato che i corpi della fascia degli asteroidi avrebbero dovuto formare un pianeta, si possono evidenziare processi di formazione primordiale comune a tutti i pianeti. Tali analisi indicano come la frequenza di impatti di elevata energia sono persistiti per centinaia di milioni di anni. Conoscerne i dettagli è importante, perché alcune di queste collisioni potevano essere così violente da poter far vaporizzare gli oceani e rendere sterile la crosta terrestre. Prove a favore della teoria collisionale sono:

1. Segni di impatti rilevati su meteoriti.
2. Composizione porosa degli asteroidi.
3. Correlazione tra il grado di metamorfismo delle condriti e l'entità delle strutture da shock.

I modelli di riscaldamento collisionali su condriti con percentuale maggiore di oggetti metamorfosati (segni di un passato riscaldamento) mostrano che dovrebbero essere quelli con maggiori strutture da shock. Questo trova riscontro con le condriti ordinarie e carbonacee. Se il contributo più importante al riscaldamento primordiale è dovuto prevalentemente agli impatti il modello standard a cipolla, del decadimento radioattivo da parte di isotopi a tempo di vita breve, verrebbe meno.

1.3.1. Correlazione

Analisi su 1650 condriti ordinarie del "Catalogue of Meteorites" mostrano che le rocce che hanno subito maggiori impatti si devono essere scaldati maggiormente.

1.3.2. Obiezioni Di Klaus Keil

Klaus Keil direttore dell'Institute of Geophysics and Planetology dell'Università delle Hawaii ha evidenziato quanto segue:

1. Un singolo impatto può sollevare solo di qualche grado un corpo di dimensioni asteroidali.
2. L'elevato rapporto Superficie/Volume dissipa velocemente la temperatura in eccesso tra un urto e l'altro.
3. Un tipico impatto produce quantità minuscole di roccia fusa rispetto al volume dei detriti.
4. La bassa gravità permetterebbe la fuga della materia più riscaldata.

Le obiezioni di Klein sono corrette, ma perché siano valide occorre che gli asteroidi non siano



porosi e presentino una composizione compatta come la Terra o la Luna. Ma la scoperta che molti asteroidi hanno una bassa densità lascia pensare che questi corpi siano porosi annullando molte di queste obiezioni.

1.3.3. Porosità

A secondo del grado di porosità di un asteroide i crateri si distinguono per la loro forma fornendo un indizio della compattezza del corpo impattato. Un grande meteorite che giunge fino a Terra crea un cratere poco profondo, a forma di coppa, ed espelle grandi quantità di detriti, una parte dei quali ricopre la depressione formando un cratere apparente, in genere una profondità circa la metà di quello reale. Ma se l'impatto raggiunge un corpo meno compatto, poroso, scaverebbe una depressione più profonda, quasi cilindrica. In tal caso, la maggior parte dell'energia cinetica, del corpo impattante, è spesa in percentuale minore per espellere detriti e maggiormente per scaldare in modo più efficiente le rocce all'interno dell'asteroide. I residui della collisione ricadono poi nel cratere, formando una copertura che ritarda la dispersione termica, ed anche se globalmente l'asteroide non subisce un innalzamento di temperatura rilevante, le regioni interne dell'impatto possono aver raggiunto un riscaldamento tale che alcune rocce possono essere state fuse. Il tempo di raffreddamento delle rocce risulterebbero comunque di gran lunga inferiori rispetto al riscaldamento della teoria del decadimento radioattivo, ma impatto dopo impatto, varie regioni dell'asteroide subiscono un processo di fusione locale. Ed è per questo che la teoria degli impatti ha trovato maggior credito dopo che, grazie ad osservazioni ravvicinate eseguite dal satellite NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) nel 1997 sull'asteroide Mathilde si è scoperto che potrebbe essere poroso. La porosità calcolata dell'asteroide è del 50%, e significherebbe che per metà del volume lo spazio è vuoto. Inoltre questi dati sono avvallati anche da varie analisi eseguite sui meteoriti trovati sulla Terra. Se ancora oggi gli asteroidi possono essere in parte porosi, a maggior ragione lo erano durante la loro fase di accrescimento. Se la fase di accrescimento è avvenuta a velocità molto lenta, probabilmente ha formato strutture soffici. Per generare strutture più compatte sono necessari impatti ad energia molto elevata che possano comprimere i materiali porosi.

2. Raffreddamento di un corpo celeste

La teoria del riscaldamento primordiale deve tenere in considerazione la capacità di raffreddamento di un corpo, se si raffredda più velocemente di quanto si riscalda, non raggiungerà mai le temperature di fusione. La difficoltà è che il raffreddamento di un corpo dipende dalla sua dimensione. Gli oggetti grandi trattengono il calore meglio di un corpo piccolo. I corpi tendono a raggiungere la stessa temperatura dell'ambiente che lo circonda raggiungendo un equilibrio termodinamico attraverso i ben noti meccanismi di passaggio di calore tramite conduzione, convezione e irradiazione. Questi scambi avvengono solo tramite meccanismi superficiali, mentre la quantità di calore è accumulato grazie al volume. E' per tale motivo che per raffreddare un componente elettronico si fa uso di parti metalliche alettate, con lo scopo di aumentare la superficie di contatto e di irradiazione verso l'ambiente. Nelle varie geometrie possibili, i corpi celesti essendo prevalentemente sferici, presentano un pessimo rapporto superficie/volume $R_{(sv)}$. Più un pianeta è grande peggiore risulta tale rapporto. Questo parametro è un indice di qualità di scambio del calore, più è grande e più è veloce, viceversa più è piccolo e meno è efficiente. La superficie della sfera



aumenta in funzione del raggio “ r ” con legge quadratica, ma il suo volume con legge cubica, pertanto il rapporto $R_{(sv)}$, è inversamente proporzionale al raggio, ovvero l’efficienza cala linearmente in funzione del raggio. Ad esempio preso un pianeta con raggio doppio, con stessa densità, presenterà un volume doppio rispetto alla superficie e a parità di temperatura impiegherà circa un tempo doppio per dissipare l’energia termica in eccesso verso l’ambiente circostante. Partendo con gli stessi parametri fisici, un pianeta delle dimensioni di Marte si raffredda circa 2 volte più velocemente rispetto ad un pianeta delle dimensioni della Terra, ed a sua volta sarà circa 12 volte più veloce rispetto ad un pianeta di dimensioni come quelle di Giove. Ed è per tale motivo che corpi più piccoli si raffreddano più velocemente in virtù delle loro ridotte dimensioni, ma si raffreddano ancor più velocemente se la loro forma è diversa da quella sferica. La forma di un asteroide o di una cometa è di aspetto più spesso allungata e bitorzoluta, come una patata, cosicché la superficie risulta decisamente superiore rispetto al suo volume che non rispetto ad una forma sferica perfetta. Il rapporto $R_{(sv)}$ essendo più grande risulta più favorevole ad una dissipazione veloce. Se si considera inoltre che in tali corpi sono presenti anche crateri da impatto, in definitiva la superficie risulta ancora più elevata. Questo spiega perché un corpo come la terra (12.740 Km di diametro) si raffreddi molto lentamente garantendo l’attuale stato interno fuso con una dinamica vulcanica attiva, mentre invece la nostra Luna, molto simile in composizione, con un diametro 4 volte inferiore, si è raffreddata con una velocità circa 4 volte superiore, cessando in tal modo la sua attività vulcanica quasi 3 Miliardi di anni fa. Pertanto, per garantire che un asteroide presenti al suo interno delle zone con rocce fuse, si deve individuare un meccanismo che sia stato in grado di mantenere elevato il riscaldamento per un tempo superiore alla velocità di raffreddamento.

3. *Bibliografia e info. documento*

- Bibliografia:
- [1] Note di Leonardo Malentacchi
 - [2] Le Scienze n° 443 Luglio 2005 “Corpi Roveni” di Alan E. Rubin

Revisione documento: **Rev. 01 del 18/07/2005**
Autore articolo: **Leonardo Malentacchi**
Revisore Scientifico: **Leonardo Malentacchi**