

Introduzione allo studio del Sistema Solare

IV

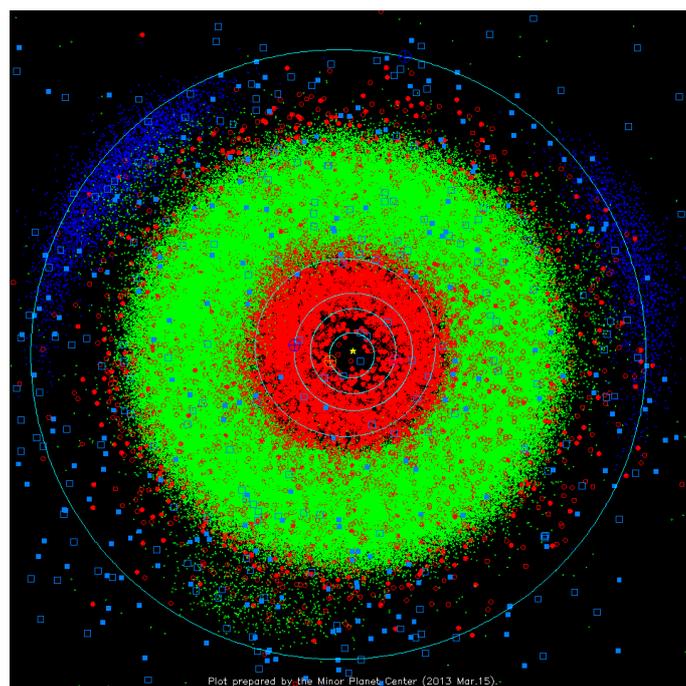
Pianeti nani, asteroidi e comete

Lezione SolSys 4
G. Vladilo

1

Corpi minori nel Sistema Solare interno

Verde: fascia
degli asteroidi



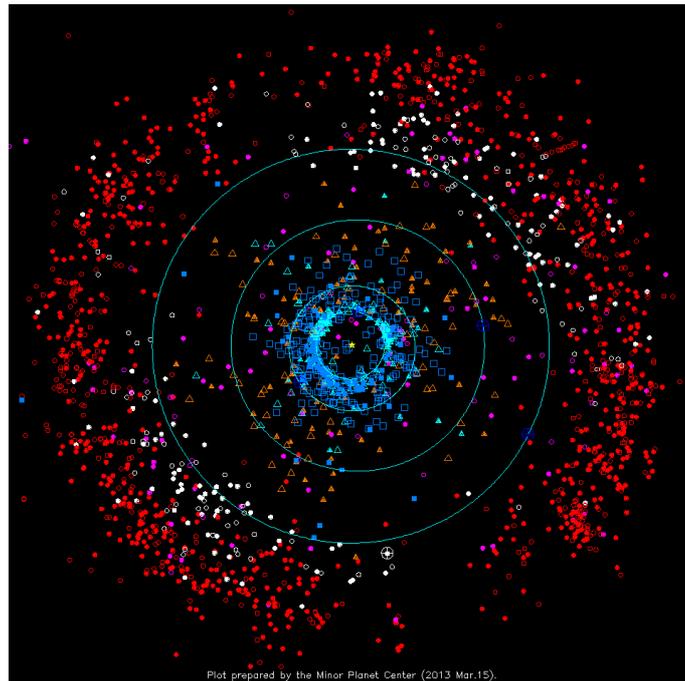
Blu: Troiani
nell'orbita di
Giove

<http://www.minorplanetcenter.net>

2

Corpi minori nel Sistema Solare esterno

Rosso:
transnettuniani
(TNO)



<http://www.minorplanetcenter.net>

3

Pianeti nani

- **Definizione**

International Astronomical Union (IAU)

- corpo celeste orbitante attorno al Sole, ma non attorno a un pianeta, sufficientemente massiccio affinché la sua forma sia determinata da forze gravitazionali
- non ha ripulito la propria orbita da altri oggetti
- **Per definizione, si trovano nelle regioni del Sistema Solare non ripulite da corpi minori**
 - Nella fascia degli asteroidi, tra Marte e Giove, un solo esempio conosciuto:
 - ✓ Cerere
 - Nelle regioni transnettuniane si conoscono alcuni esempi, ma si presume ne esistano altri
 - ✓ Plutone, Eris ...

4

Esempi

Vesta e Cerere si trovano entrambi nella fascia degli asteroidi, dunque non possono essere classificati come pianeti (orbita non ripulita)

Vesta è un corpo minore (asteroide) in quanto non sferico;

Cerere è sferico, dunque è classificato come pianeta nano.

Vesta



Cerere



5

Proprietà dei pianeti nani

| Nome | regione | M [M_{Luna}] | ρ [g/cm ³] | a [AU] | e | i [°] |
|-------|-------------------|---------------------|--------------------------------|-----------|-------|----------|
| Ceres | Fascia asteroidi | 0.013 | 2.1 | 2.77 | 0.078 | 10.6 |
| Pluto | Cintura di Kuiper | 0.178 | 2.0 | 39.5 | 0.249 | 17.1 |
| Eris | Disco scatterato | 0.227 | 2.5 | 67.7 | 0.442 | 44.2 |

Le diverse proprietà fisiche e orbitali sono rivelatrici di diverse origini

Orbite eccentriche/inclinate

Masse trascurabili, anche rispetto a quella della Luna

Densità medie intermedie tra quelle dei ghiacci e quelle dei silicati

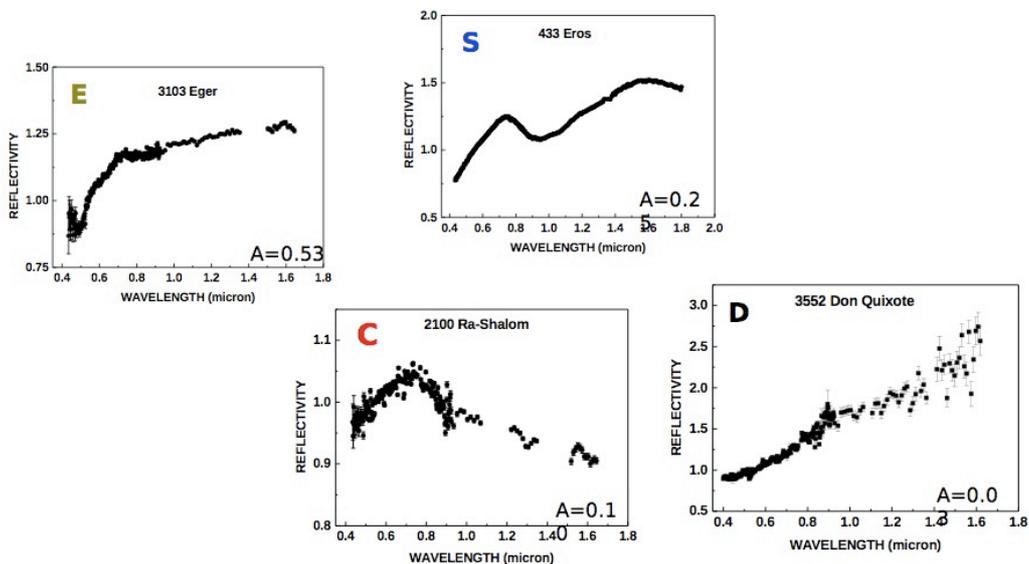
6

Asteroidi e comete

- **Popolazioni residue di una vasta distribuzione di corpi solidi formati in diverse regioni della nebulosa solare**
 - Sopravvissute a
 - Disgregazione
 - Incorporazione nei pianeti
 - Eiezione dal Sistema Solare
- **Comete**
 - Contengono ghiacci in quanto si sono formate in regioni fredde (esterne) della nebulosa solare
 - Possono diventare attive se si avvicinano al Sole, a causa della sublimazione dei ghiacci in superficie
- **Asteroidi**
 - Non contengono ghiacci in quanto si sono formati in regioni calde (interne) della nebulosa solare
 - La mancanza di ghiacci fa sì che non presentino fenomeni di attività cometaria

Classi tassonomiche degli Asteroidi

- **Ricavate dallo studio della loro riflettività in diverse bande spettrali**
 - Sono indicative di differenti mineralogie
 - Esempio: **S: Silicati**



Meteoriti

- Corpi solidi di materiale extraterrestre che penetrano l'atmosfera e raggiungono la superficie terrestre
- La maggior parte dei meteoriti sono frammenti di asteroidi
 - Alcuni sono frammenti della superficie di Marte e della Luna
- Vengono principalmente trovati in zone poco popolate
 - Antartide; deserti dell'Australia e del Nord Africa
- Attualmente se ne conoscono $\sim 1.7 \times 10^4$
- Ci permettono di studiare le prime fasi di formazione del Sistema Solare
 - Datazione, composizione chimica primordiale, materiale da cui si sono formati i pianeti, processi di formazione, processi di differenziazione chimica, ...

Classificazione dei meteoriti

- Vengono classificati sulla base della loro composizione chimica e struttura
 - Classificazione complessa che comprende due categorie a loro volta suddivise in classi, gruppi, tipi petrologici, sotto-gruppi...
 - Esistono diversi tipi di classificazione

Le classi di meteoriti sono associate a classi di asteroidi

Classificazione dei meteoriti

Si ritiene che le diverse caratteristiche dei meteoriti (e degli asteroidi) siano in parte dovute al tipo di processamento (alterazione) subito nel corso delle fasi di formazione e nelle epoche successive

Tra i principali tipi di alterazione ci sono quelle acquose e quelle termiche, indicative del tipo di processamento subito

- La principale suddivisione è tra **condriti e non-condriti**
 - In alcuni tipi di classificazione la principale suddivisione è tra petrosi (“stony”) e ferrosi (“irons”)

13

Condriti

- **Rappresentano il materiale più primitivo tra i meteoriti**
 - Composti da una matrice che contiene un gran numero di inclusioni
 - La matrice ha una grana molto fine
 - E' una miscela otticamente opaca di grani minerali
 - Rappresenta il materiale meno processato
 - Le inclusioni sono di vario tipo
 - Condrule
 - Strutture a forma di grano composte principalmente di silicati
 - Prodotte in episodi brevi ma intensi di riscaldamento
 - CAI
 - Calcium-Aluminum inclusions, particolarmente refrattarie, ed estremamente antiche: il materiale più antico formatosi nel Sistema Solare (4.56 Ga)
 - Metallo FeNi, troilite (FeS), aggregati di olivine

Esempi di condriti

- **Condrite ordinaria**
 - LL3

La matrice rappresenta solo una piccola parte della struttura dei condriti, che è dominata dalle inclusioni



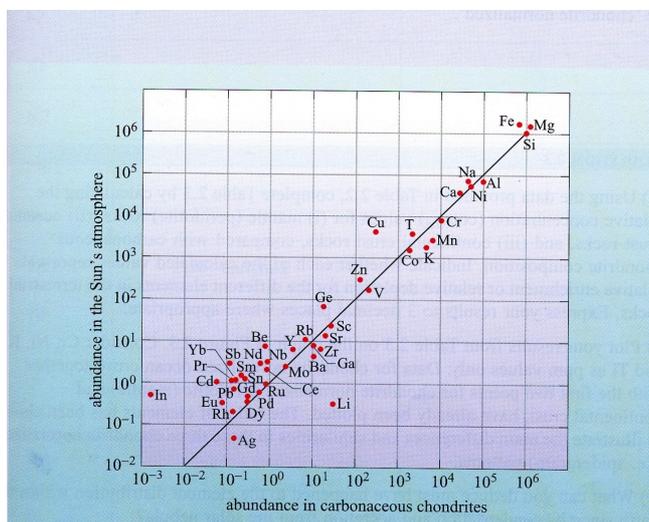
- **Condrite carbonacea con inclusione CAI**
 - CV3

Nelle condriti carbonacee le inclusioni sono meno evidenti



Condriti carbonacee CI

- Meteoriti molto rari ma particolarmente importanti
- La loro composizione chimica è uguale a quella della fotosfera solare
 - Ad eccezione di alcuni elementi volatili e gas nobili
 - Ci danno la composizione chimica di riferimento della nebula solare non processata
 - Anche usata come riferimento per la modellizzazione degli interni di pianeti terrestri



Condriti carbonacee CI

- Nonostante siano tra i meteoriti meno processati, non si notano le inclusioni



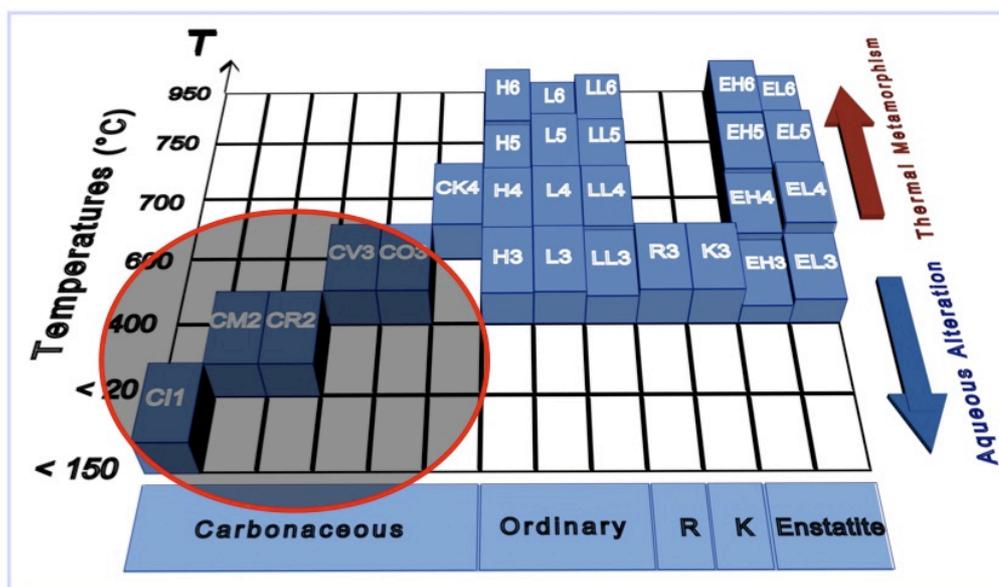
Il meteorite Allende è un esempio di condrite carbonacea

Si ritiene che nelle condriti carbonacee le inclusioni siano state cancellate da alterazioni acquose avvenute sull'asteroide

- In passato tali asteroidi devono aver avuto fenomeni di attività simili a quelli delle comete

17

Chondritic meteorites: temperatures and evolution



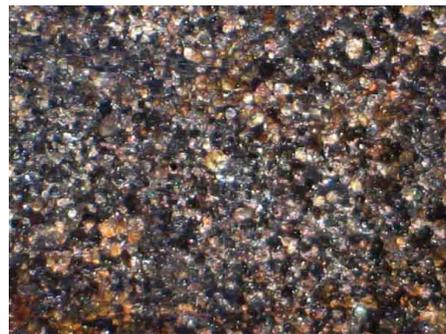
Primitive Objects

Non condriti

- **Rappresentano materiale già abbastanza processato**
 - Non presentano inclusioni
 - Le inclusioni probabilmente si sono metamorfosate
 - Mostrano evidenze di fusione e/o differenziazione di materiale primitivo
- **Provengono da corpi già differenziati**
 - Frammenti di asteroidi in stadi avanzati, o finali, della loro formazione
 - Raramente, frammenti di Marte, di Luna

Esempi di non condriti

- **Non condrite primitiva**
 - Lodranite



- **Non condrite differenziata acondritica**
 - Eucrite



Tabella riassuntiva delle relazioni esistenti tra classi tassonomiche degli asteroidi e principali tipi di meteoriti

| <u>Tax.Type</u> | <u>Minerals</u> | <u>Possible Meteorite Analogous</u> |
|-----------------|---|---|
| A | Olivine ± FeNi metal | Olivine Achondrites Pallasites Olivine-metal partial melt residues |
| V | Pyroxene ± Feldspar | Eucrites, Howardites, Diogenites |
| E | Enstatite | Enstatite achondrites (aubrites) Iron-bearing Enstatites Fe-bearing Aubrites |
| M | Metal ± Enstatite Hydrates Silicates + Organics? | Iron Meteorites Enstatite Chondrites |
| S | Metal ± Olivine ± Pyroxene | Pallasites with accessory py. Olivine-dominated Stony-Iron Ureilites and primitive achondrites Ordinary Chondrites |
| O | Olivine+Pyroxene | L6-LL6 Ordinary chondrites |
| Q | Olivine+Pyroxene (+metal) | Ordinary Chondrites |
| R | Olivine+Orthopyroxene | Olivine-pyroxene cumulates Olivine-pyroxene partial melt residues |
| C | Iron-bearing hydrated Silicates | CI1 and CM2 Chondrites Dehydrated CI1 and CM2 assemblages |
| P | Anhydrous silicates + organics | Olivine-organic cosmic dust particles |
| D | Organics+Anhydrous silicates | Organic-olivine cosmic dust particles |

Comete

- **Residui dei solidi formati nelle regioni più esterne e fredde della nebulosa solare**
 - Si ritiene contengano materiale meno processato rispetto a quello rinvenuto nei meteoriti
 - Tuttavia non sono una popolazione omogenea
 - Si sono formate in un intervallo di distanze e quindi di temperature
- **Esaminiamo alcune caratteristiche**
 - Classificazione
 - Attività cometaria
 - Evoluzione
 - Composizione chimica

Classificazione delle comete

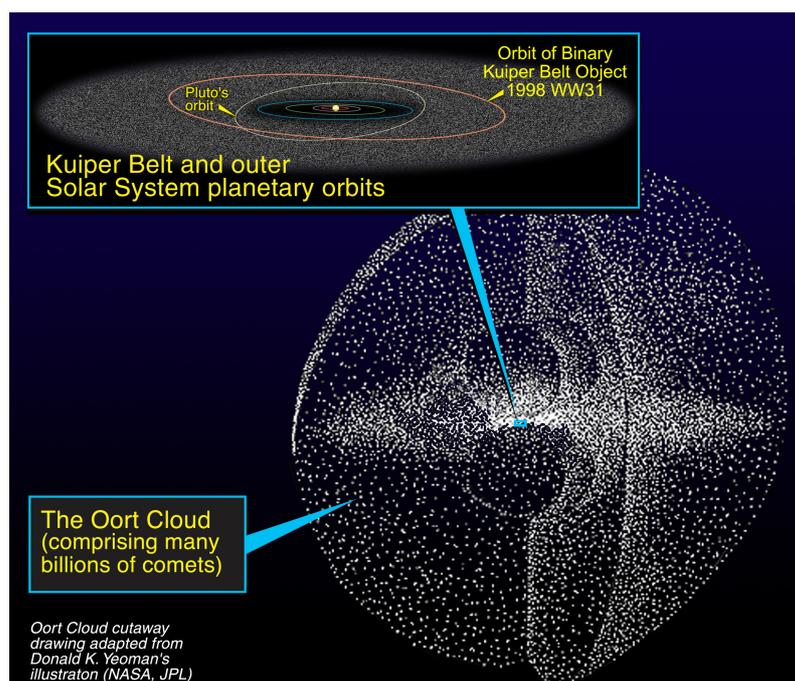
- **Sulla base del periodo orbitale**
 - Comete a lungo periodo (LP)
P > 200 anni
 - Comete a corto periodo (SP)
P < 200 anni
 - Se P > 30 anni ⇒ tipo Halley
 - Se P < 30 anni ⇒ famiglia di Giove
- **Sulla base della loro origine nel Sistema Solare**
 - Le comete si trovano per la maggior parte del tempo entro due regioni:
la *nube di Oort* e la *cintura di Kuiper*

Classificazione delle comete

- **La *cintura di Kuiper* (*Kuiper belt*)**
 - Distribuzione a forma di disco di corpi transnettuniani
 - L'esistenza della cintura di Kuiper era stata originariamente ipotizzata per spiegare il flusso di comete a corto periodo
 - Successivamente gli oggetti più grandi della Kuiper belt (KBO) sono diventati accessibili alle osservazioni
 - L'esistenza dei KBO è confermata dalle osservazioni
 - Tali oggetti vengono anche chiamati TNO (trans-neptunian objects)
 - Se ne conoscono ormai circa un migliaio e si stima che esistano $\sim 10^5$ KBO con diametro maggiore di 50 km

Classificazione delle comete

- **La nube di Oort (Oort cloud)**
 - Distribuzione estesa di comete su orbite con inclinazione casuale
Nube a simmetria sferica
 - Si estende fino a 5×10^4 AU
Fino al limite delle perturbazioni gravitazionali con stelle esterne
 - L'esistenza della nube di Oort è stata ipotizzata per spiegare il flusso osservato di comete a lungo periodo
Le comete nella nube di Oort sono troppo lontane (e inattive) per poter essere osservate direttamente



Attività cometaria

- Se una cometa si avvicina al Sole, l'aumento d'intensità della luce solare genera un rilascio di gas, polvere e rocce
- Il materiale rilasciato genera un'atmosfera rarefatta, chiamata chioma
 - Una chioma sferoidale di idrogeno, dovuta a radiazione Lyman alfa, è visibile nell'ultravioletto
- La pressione di radiazione e il vento solare, agendo sulla chioma, formano le caratteristiche code cometarie
 - Possono raggiungere dimensioni maggiori di 10^6 km

- La coda di polvere è osservabile in quanto riflette la luce solare
 - La coda di polvere è sospinta dalla pressione di radiazione solare e si può incurvare seguendo la traiettoria della cometa
- Il gas rilasciato si ionizza, formando anche una coda di ioni
 - La ionizzazione avviene mediante (1) fotoionizzazione da parte della radiazione UV solare e (2) trasferimento di carica con particelle del vento solare
 - La coda di ioni è spazzata dal vento solare ed è ben allineata con la direzione solare

Esempio: cometa Hale-Bopp
coda di ioni e coda di polvere



Evoluzione delle comete

- Se si avvicinano al Sole e presentano attività, le comete hanno tempi di vita brevi a causa di vari effetti
 - Instabilità orbitale
 - Perdita di volatili
 - Frammentazione
- Possono trasformarsi in oggetti inattivi di tipo asteroidale



Composizione

- Le comete sono costituite da composti volatili e non volatili
- La maggior parte dei volatili sono ghiacci
 - Il ghiaccio d'acqua è un costituente principale che domina l'attività e l'evoluzione fisica cometaria
 - Il ghiaccio CO, più volatile di quello d'acqua, spiega l'attività cometaria osservata a grandi distanze dal Sole
 - Esistono numerose molecole, principalmente organiche, la cui abbondanza varia notevolmente da cometa a cometa
- I non volatili sono principalmente silicati
 - I non volatili sono studiabili mediante le osservazioni della polvere cometaria
 - Le osservazioni della polvere sono (1) di tipo astronomico nell'infrarosso, (2) misure *in situ* da sonde spaziali, (3) analisi di particelle di polvere interplanetaria raccolte a Terra