

Introduzione allo studio del Sistema Solare

IV

Pianeti nani, asteroidi e comete

Lezione SP 4
G. Vladilo

Astronomia Osservativa C, SP 4, Vladilo (2011)

1

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 ...

Astronomia Osservativa C, SP 8, Vladilo (2011)

2

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 distanze e proprietà fisiche sono rivelatrici di diverse origini

Orbite eccentriche/inclinate

Masse trascurabili, anche rispetto a quella della Luna

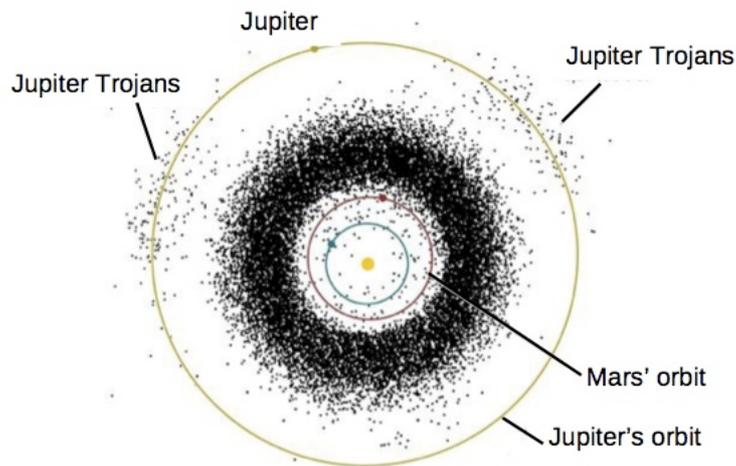
Densità medie intermedie tra quelle dei ghiacci e quelle dei silicati

Asteroidi e comete

- **Popolazioni residue di una vasta distribuzione di corpi solidi formati in diverse regioni della nebulosa solare**
 - Sopravvissute a
 - 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

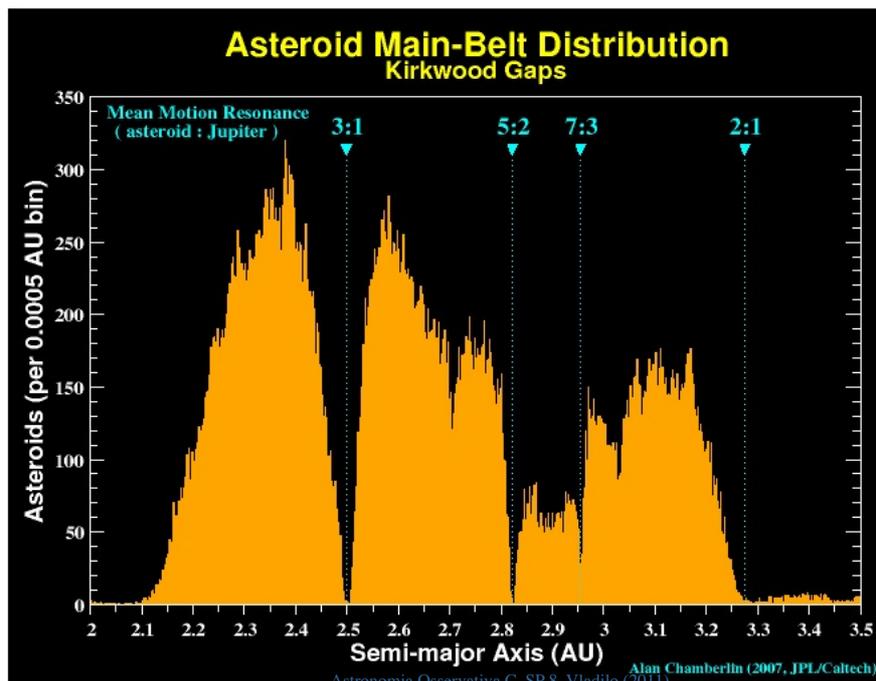
Asteroidi: distribuzione spaziale

- Concentrati tra l'orbita di Marte e quella di Giove
 - Esistono altre famiglie meno numerose e con diversa distribuzione spaziale
- Esempio: Jupiter Trojans



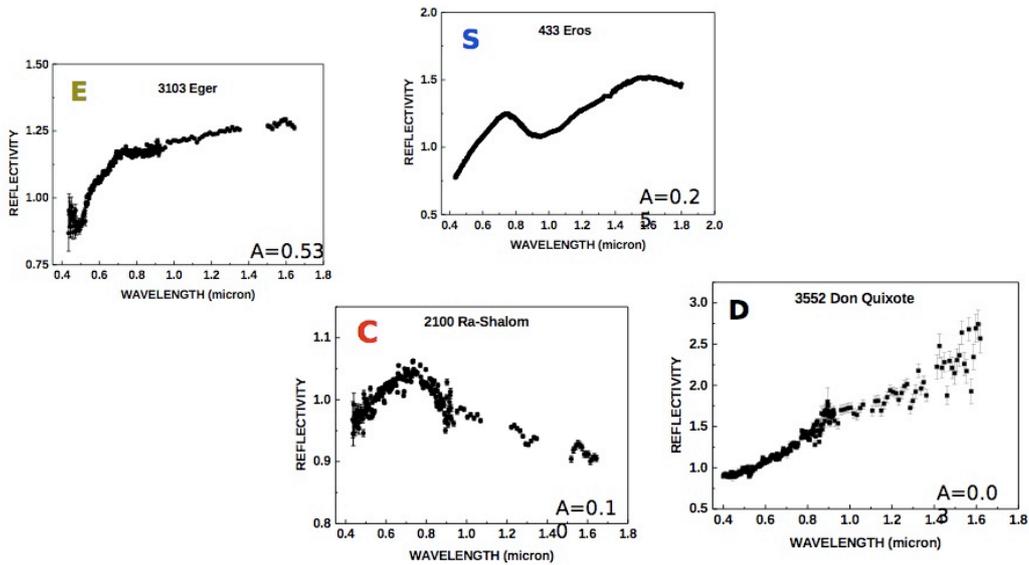
Asteroidi: distribuzione spaziale

La distribuzione in semiasse maggiore nella fascia principale degli asteroidi risente degli effetti di risonanza con il periodo orbitale di Giove



Classi tassonomiche degli Asteroidi

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

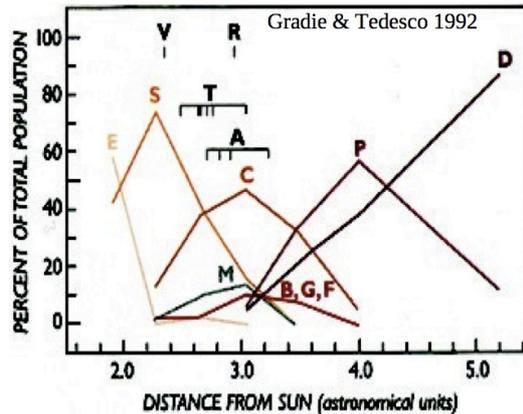


Classi tassonomiche degli Asteroidi

<u>Tax.Type</u>	<u>Minerals</u>
A	Olivine ± FeNi metal
V	Pyroxene ± Feldspar
E	Enstatite
M	Metal ± Enstatite Hydrates Silicates + Organics?
S	Metal ± Olivine ± Pyroxene
O	Olivine+Pyroxene
Q	Olivine+Pyroxene (+metal)
R	Olivine+Orthopyroxene
C	Iron-bearing hydrated Silicates
P	Anhydrous silicates + organics
D	Organics+Anhydrous silicates

Distribuzione radiale delle classi

- La distribuzione delle diverse classi varia con la distanza eliocentrica
- La distribuzione riflette un gradiente radiale di temperatura nel Sistema Solare
 - Gli oggetti più vicini al Sole sono i più processati
 - Quelli più lontani sono i più primitivi
- Le classi di asteroidi sono associate a classi di meteoriti



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...
- **La principale suddivisione è tra condriti e non-condriti**
 - Talvolta il principale tipo di suddivisione è tra petrosi (“stony”) e ferrosi (“irons”)

Condriti

- **Rappresentano il materiale più primitivo tra i meteoriti**
 - Composti da una matrice che contiene varie 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, metallo FeNi, CAIs, aggregati di olivine
 - 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)

Esempi di condriti

- **Condrite ordinaria**
 - LL3



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

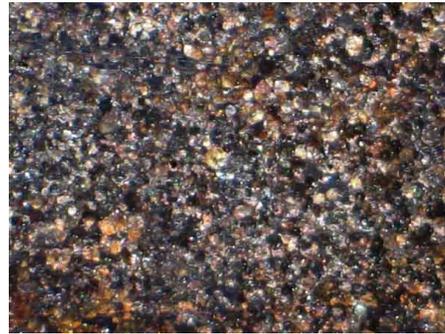


Non condriti

- **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

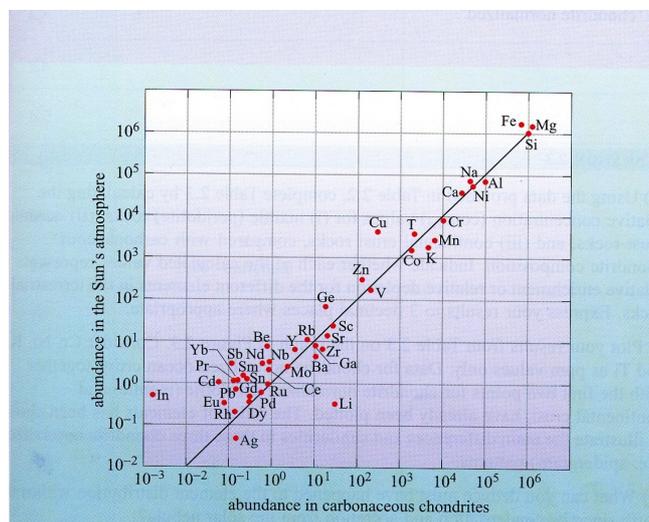


- Non condrite differenziata acondritica
 - Eucrite



Condriti carbonacee CI

- Meteoriti molto rari ma particolarmente importanti
- La loro composizione chimica è uguale a quella della fotosfera solare
 - Ci danno la composizione chimica di riferimento della nebula solare non processata
 - È anche usata come composizione chimica di riferimento per la modellizzazione degli interni di pianeti terrestri



Condriti carbonacee CI

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

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

Chondritic meteorites: temperatures and evolution

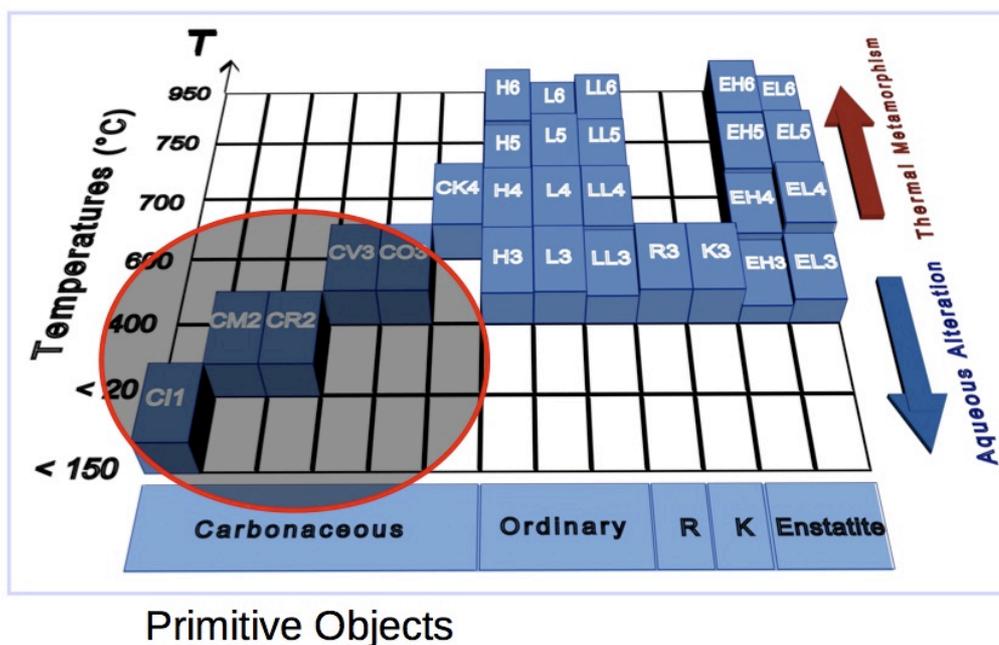


Tabella riassuntiva delle relazioni esistenti tra classi tassonomiche degli asteroidi e principali tipi di meteoriti

<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**
 - Attività cometaria
 - Classificazione
 - Evoluzione
 - Composizione chimica

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



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*

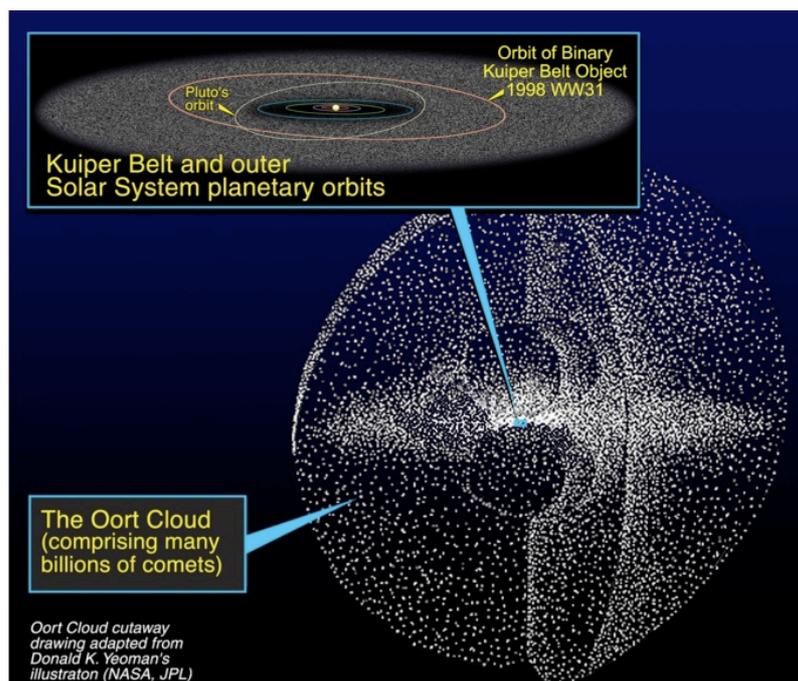
Classificazione delle comete

- La *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
 - Si ritiene che le comete della nube di Oort non siano state originate *in situ*, ma siano il risultato di processi di scattering di corpi formati nella regione dei pianeti giganti

Classificazione delle comete

- **La cintura di Kuiper (Kuiper belt)**
 - Distribuzione a forma di disco di corpi transnettuniani
 - Probabilmente originati *in situ*
 - Materiale che non è riuscito a formare un pianeta
 - L'esistenza della cintura di Kuiper era stata ipotizzata per spiegare il flusso di comete a corto periodo
 - Gli oggetti più grandi della Kuiper belt (KBO) possono essere osservati direttamente
 - 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

Comete: distribuzione spaziale



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