



**MUSEO DI
STORIA
NATURALE**



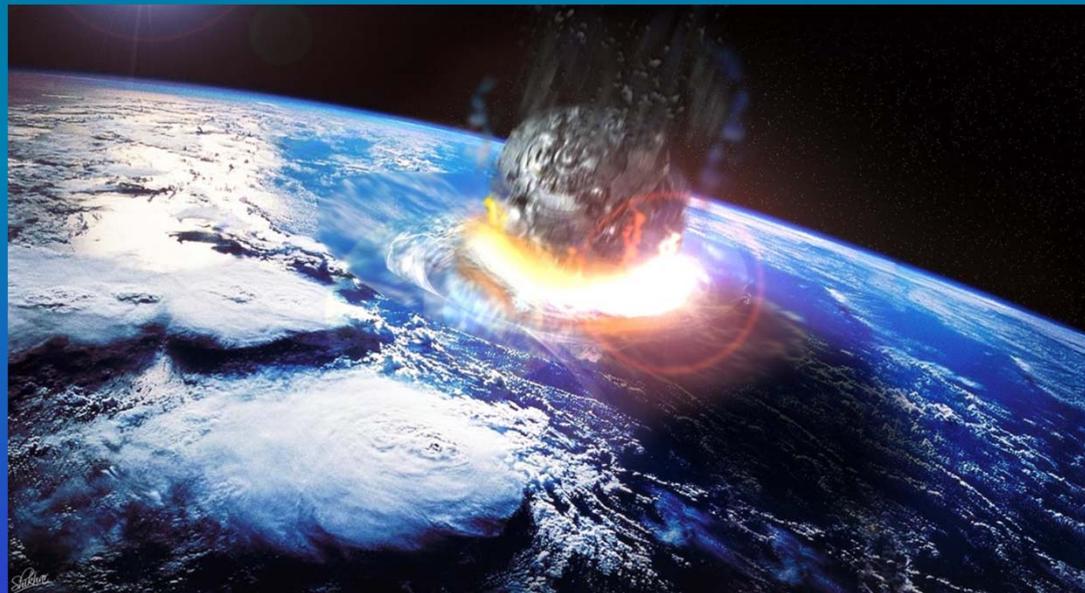
Martedì 16 Maggio 2017 – Giornata nazionale PRISMA Day

**Dalla raccolta alla classificazione e allo studio
delle meteoriti:**

la procedura per denominare una meteorite

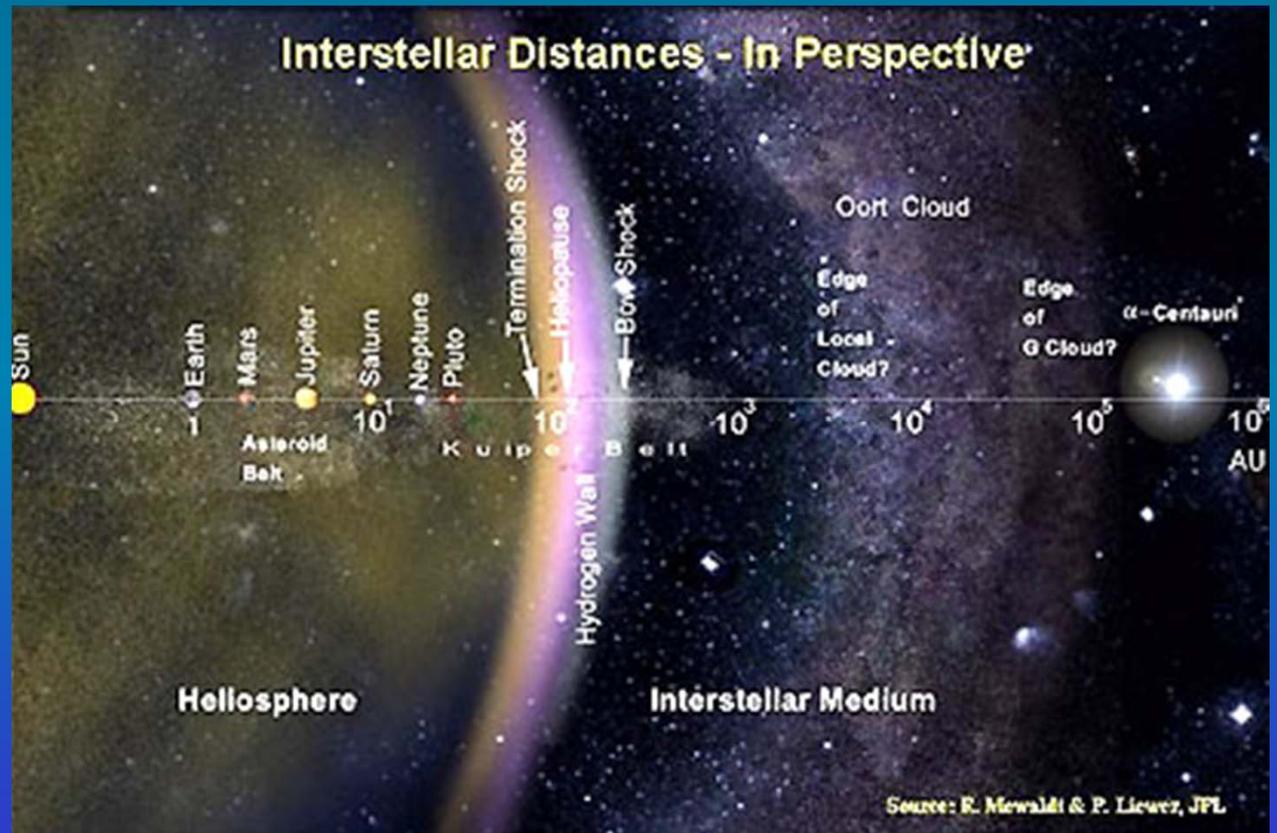
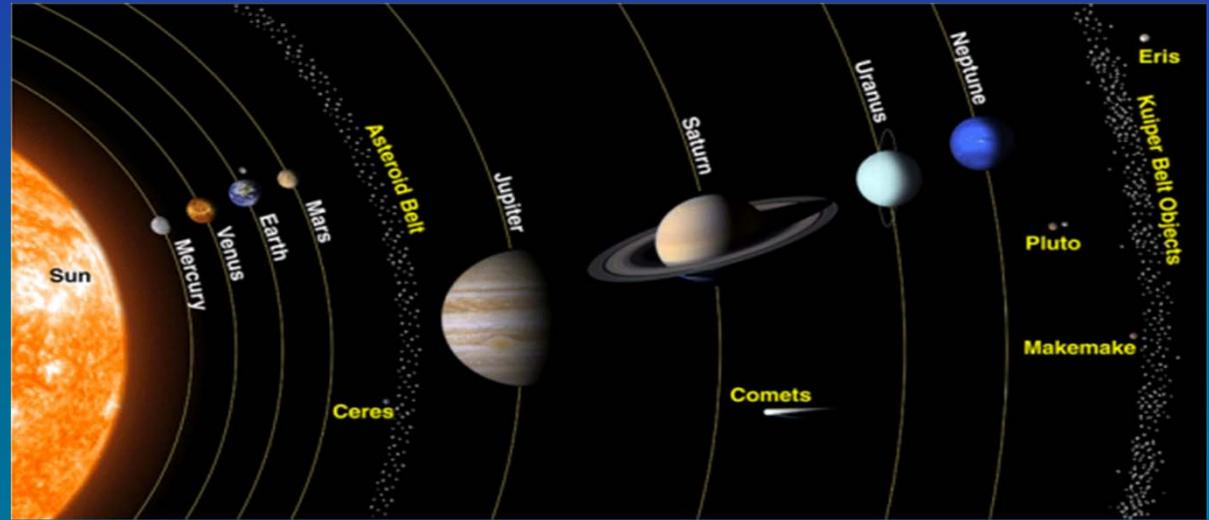
Vanni Moggi Cecchi

Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze



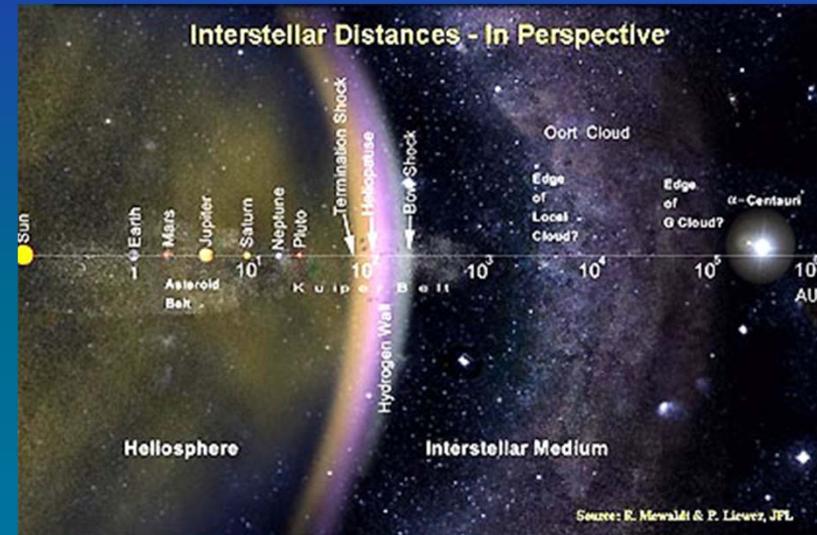
Dove nascono le meteoriti?

- Il Sistema Solare contiene almeno tre "fasce" di piccoli corpi (Main, Kuiper, Oort)
- Le distanze tra queste sono enormi
- Oltre il 99% delle meteoriti ritrovate si originano su piccoli corpi (comete o asteroidi)



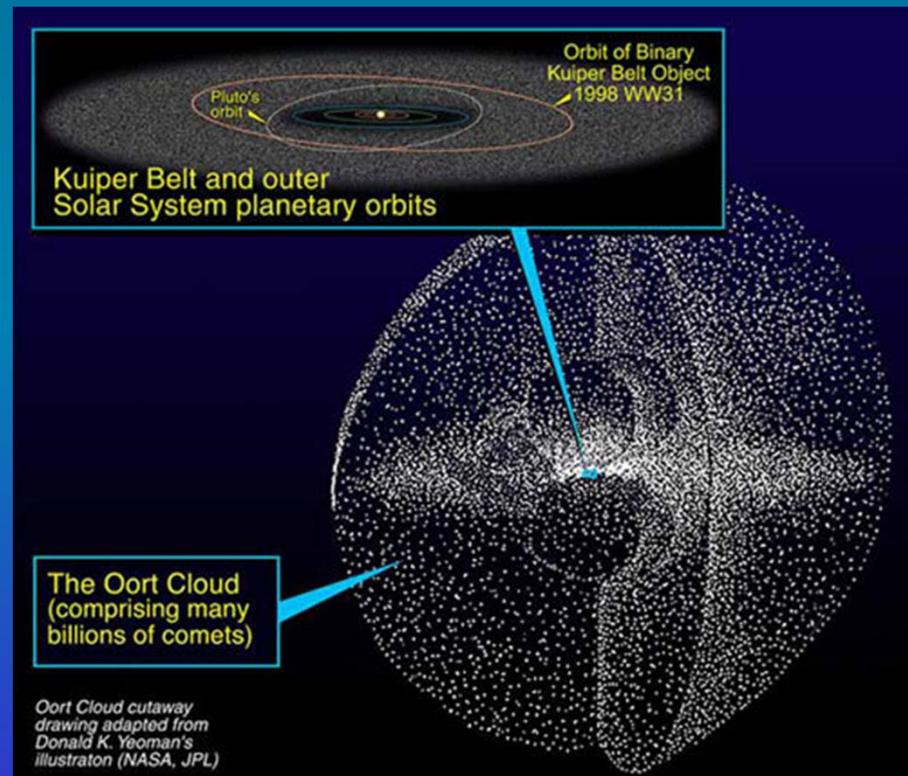
Dove nascono le meteoriti?

- Il Sistema Solare contiene almeno tre "fasce" di piccoli corpi (Main, Kuiper, Oort)
- Le distanze tra queste sono enormi
- Oltre il 99% delle meteoriti ritrovate si originano su piccoli corpi (comete o asteroidi)



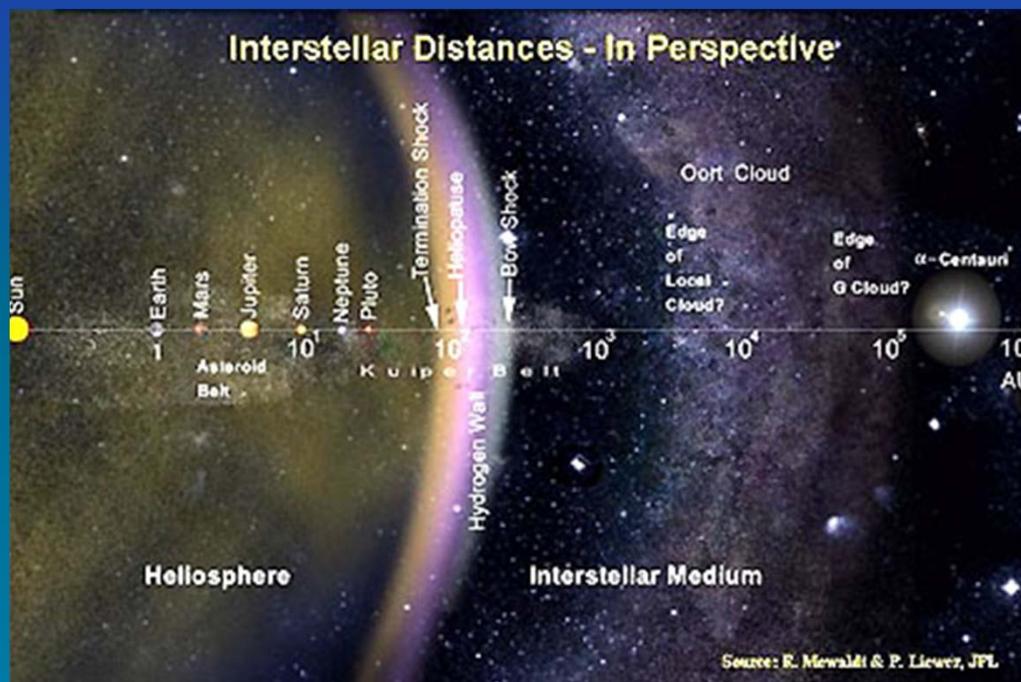
- **Comete**

- Alcune condriti primitive possono essersi originate da comete estinte



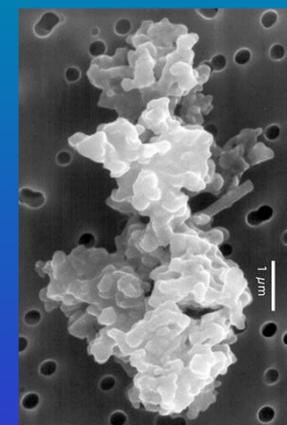
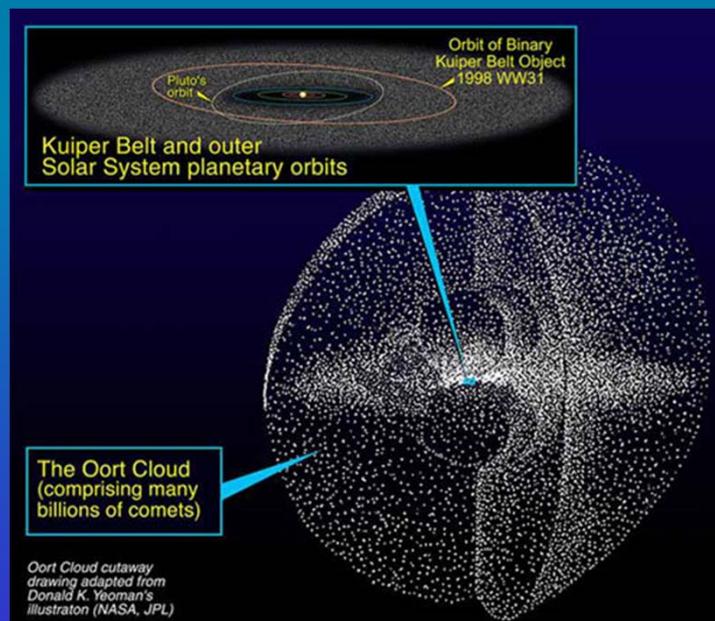
Dove nascono le meteoriti?

- Il Sistema Solare contiene almeno tre "fasce" di piccoli corpi (Main, Kuiper, Oort)
- Le distanze tra queste sono enormi
- Oltre il 99% delle meteoriti ritrovate si originano su piccoli corpi (comete o asteroidi)



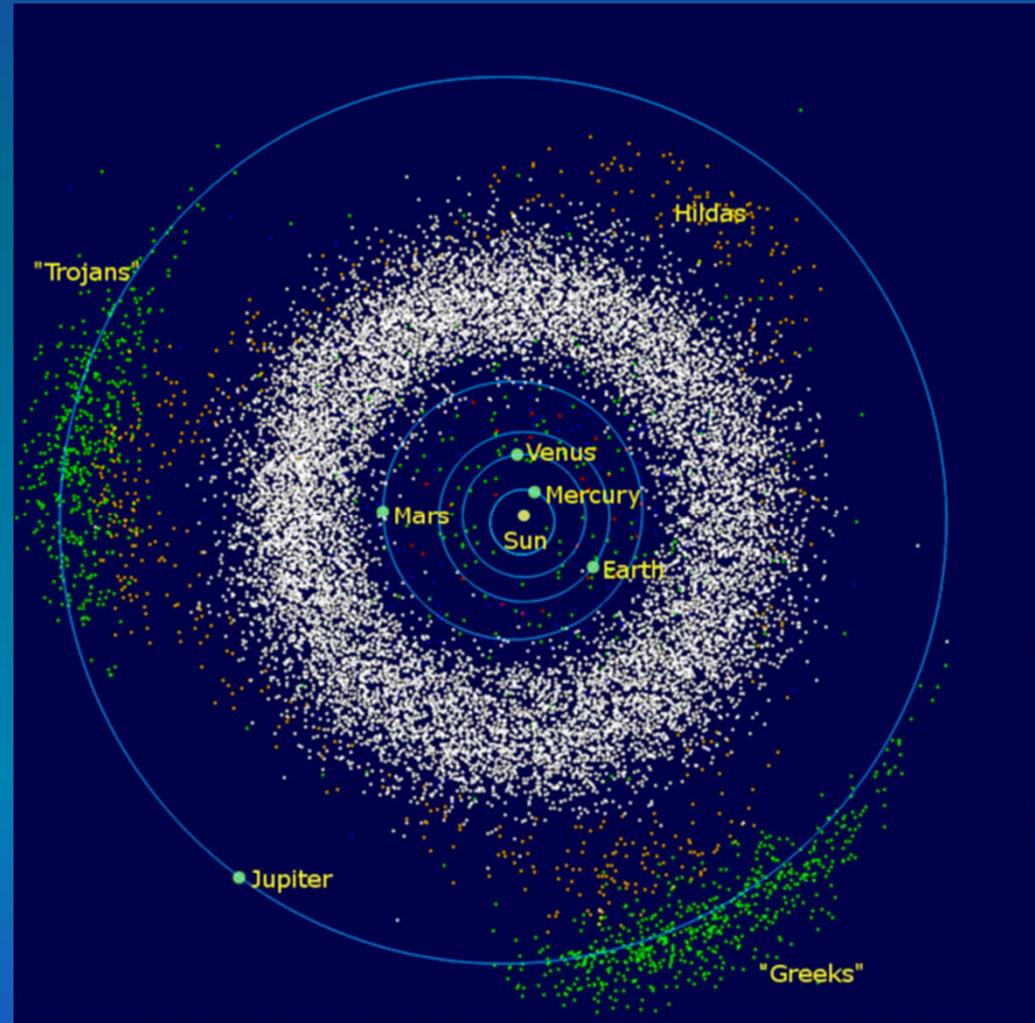
- **Comete**

- Alcune condriti primitive possono essersi originate da comete estinte
- Alcune particelle condritiche porose possono entrare nell'atmosfera terrestre ad alta velocità e sono probabilmente di origine cometaria (*IDP*, *interplanetary dust particles*)



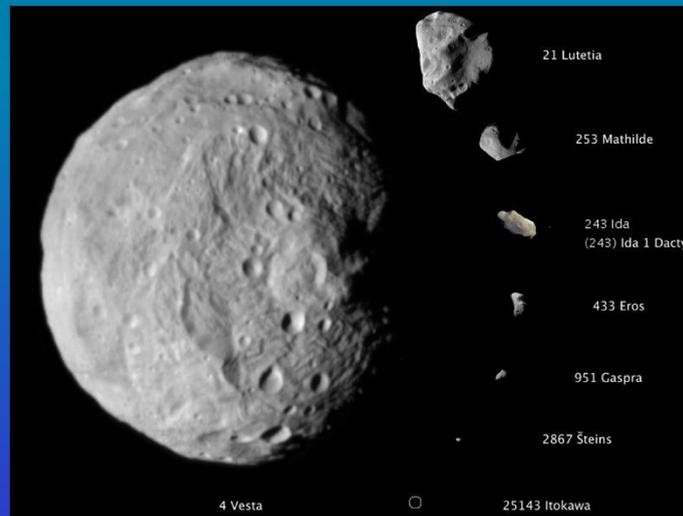
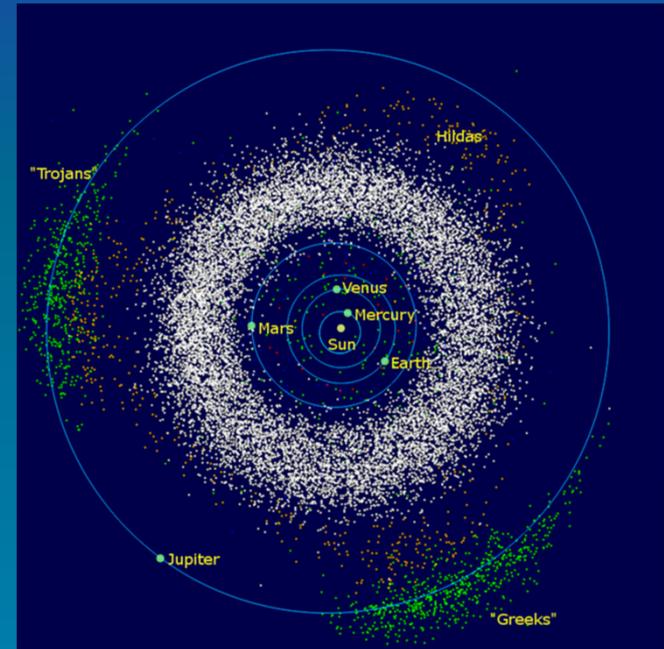
Dove nascono le meteoriti?

- Asteroidi
 - Alcune delle meteoriti più evolute (acondriti, meteoriti metalliche) si originano sicuramente da asteroidi
 - C'è una stretta corrispondenza tra alcune meteoriti e gli spettri degli asteroidi ripresi da satellite
 - Sono stati identificati più di 135 corpi parentali differenti



Dove nascono le meteoriti?

- Asteroidi
 - Alcune delle meteoriti più evolute (acondriti, meteoriti metalliche) si originano sicuramente da asteroidi
 - C'è una stretta corrispondenza tra alcune meteoriti e gli spettri degli asteroidi ripresi da satellite
 - Sono stati identificati più di 135 corpi parentali differenti
 - Il gruppo delle HED ha origine dall'asteroide Vesta



Dove nascono le meteoriti?

- Terrestri
 - *Tectiti*, detrito da impatto fuso e riconsolidato in atmosfera
 - Non sono mai state trovate meteoriti terrestri



Dove nascono le meteoriti?

- Terrestri

- *Tectiti*, detrito da impatto fuso e riconsolidato in atmosfera
- Non sono mai state trovate meteoriti terrestri

- Lunari

- Circa 242 conosciute
- Composizione di massa (bulk) simile a quella dei campioni di Luna portati dalla missione Apollo
- Si originano negli altipiani (breccie anortositiche) e nei mari (lave basaltiche) della crosta lunare
- Hanno età di circa 4 Ga o superiori



Dove nascono le meteoriti?

- Terrestri

- *Tectiti*, detrito da impatto fuso e riconsolidato in atmosfera
- Non sono mai state trovate meteoriti terrestri



- Lunari

- Circa 242 conosciute
- Composizione di massa (bulk) simile a quella dei campioni di Luna portati dalla missione Apollo
- Si originano negli altipiani (brecce anortositiche) e nei mari (lave basaltiche) della crosta lunare
- Hanno età di circa 4 Ga o superiori



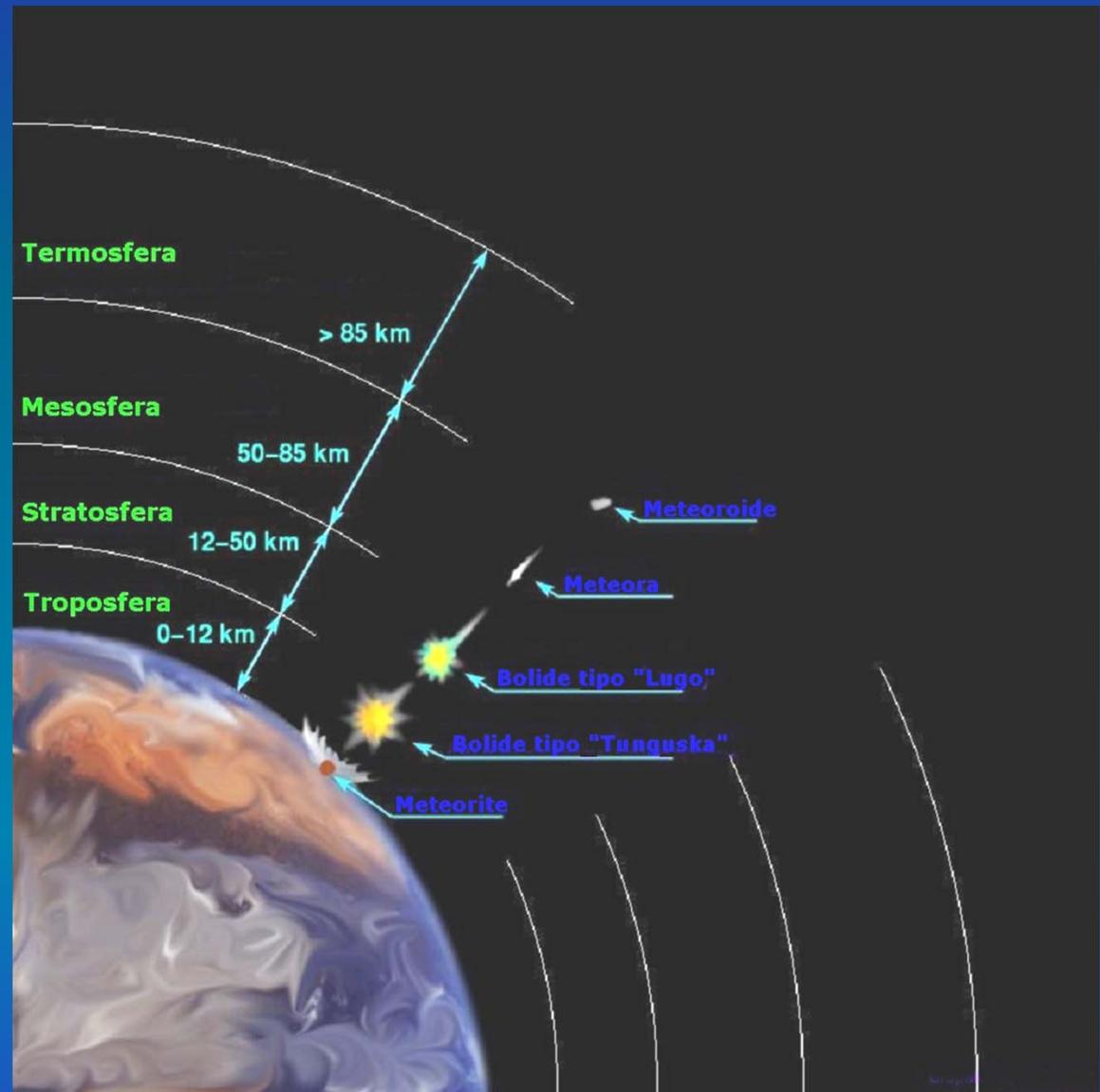
- Marziane

- Circa 150 conosciute che comprendono 5 cadute osservate
- Hanno una composizione della roccia, una quantità dei gas nobili e degli isotopi dei gas uguali a quelle delle misure del Viking
- Prevalentemente giovani, con età di formazione di 1.3 Ga, tranne la ALH84001 (4.5 Ga)



Definizioni

- **Meteoroide:** roccia vagante nello spazio
- **Meteora:** meteoroidi in caduta che si brucia completamente nel passaggio in atmosfera
- **Meteorite:** meteora che impatta sulla superficie terrestre, di solito di *origine asteroidale*
- **Bolide:** grossa meteora che spesso esplose
- **Pioggia di meteore:** tasso anomalo di meteore con una zona di provenienza apparente comune, detta *radiante*, solitamente di *origine cometaria*



E' importante sapere che

- L'origine extraterrestre delle meteoriti fu universalmente accettata solo agli inizi dell' 800, parallelamente alla scoperta degli asteroidi
- La transizione tra meteoroidi e asteroidi è discutibile
- Alcune meteoriti ci forniscono informazioni sullo stato del materiale primitivo e sui processi avvenuti nella nebulosa solare dal momento che non hanno subito differenziazione con l'accrezione

E' importante sapere che

- L'origine extraterrestre delle meteoriti fu universalmente accettata solo agli inizi dell' 800, parallelamente alla scoperta degli asteroidi
- La transizione tra meteoroidi e asteroidi è discutibile
- Alcune meteoriti ci forniscono informazioni sullo stato del materiale primitivo e sui processi avvenuti nella nebulosa solare dal momento che non hanno subito differenziazione con l'accrezione

Effetti sulle meteoriti del passaggio in atmosfera

- Crosta di fusione che le ricopre in tutto o in parte



E' importante sapere che

- L'origine extraterrestre delle meteoriti fu universalmente accettata solo agli inizi dell' 800, parallelamente alla scoperta degli asteroidi
- La transizione tra meteoroidi e asteroidi è discutibile
- Alcune meteoriti ci forniscono informazioni sullo stato del materiale primitivo e sui processi avvenuti nella nebulosa solare dal momento che non hanno subito differenziazione con l'accrescimento

Effetti sulle meteoriti del passaggio in atmosfera

- Crosta di fusione che le ricopre in tutto o in parte
- Spaccature sulla superficie



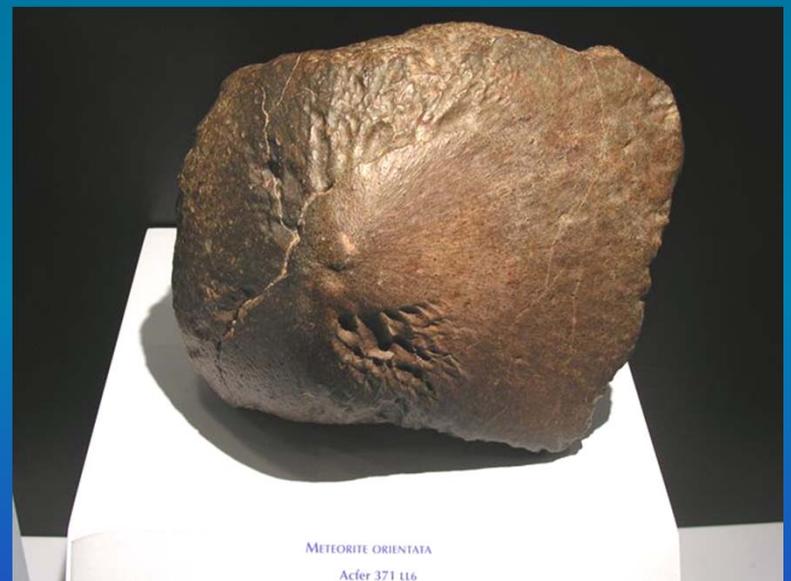
- Cavità simili ad impronte di dita dette regmagliti



- Cavità simili ad impronte di dita dette regmagliti



- Forma a scudo



Meteoriti "fall" e "find"

- Fall: meteoriti viste cadere



Meteorite Claxton, condrite ordinaria L6

Meteoriti "fall" e "find"

- Fall: meteoriti viste cadere



Meteorite Claxton, condrite ordinaria L6

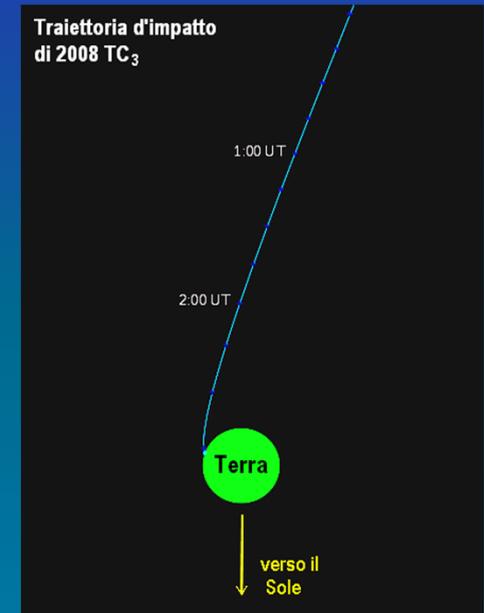
- Find: meteoriti raccolte dopo la loro caduta



Le più recenti cadute spettacolari

Almahata Sitta

- Meteoroida 2008 TC₃ dall'orbita prossima a quella terrestre, che il giorno 7 ottobre 2008 ha impattato la Terra in corrispondenza del Sudan
- La detonazione è stata rilevata da satelliti americani a 20,8° nord di latitudine ed a 32,2° est di longitudine, ad un'altezza di 37 km
- per la prima volta è stato identificato un oggetto celeste prima che impattasse la Terra
- per la prima volta sono stati recuperati i frammenti di un oggetto tracciato e studiato nello spazio prima che colpisse la Terra.
- Confronto tra i risultati delle analisi a distanza con quelli condotti in laboratorio
- Tipo: ureilite (acondrite primitiva)



Le più recenti cadute spettacolari

Čeljabinsk

- 15 febbraio 2013, ore 9:13
- regione a sud degli Urali, in Russia
- circa 15 metri di diametro e una massa di 10.000 tonnellate
- ha colpito l'atmosfera alla velocità di 54.000 km/h e si è frantumato sopra la città di Čeljabinsk
- dal lago Čebarkul' il 16 ottobre 2013 è stato ripescato un pezzo di circa 500 kg di peso
- Tipo: LL5



A caccia di meteoriti...

Deserti



Antartide

Fase 1: la ricerca sul campo ed i criteri di identificazione

Sono basati su due parametri:

- Caratteristiche lasciate dal passaggio in atmosfera
 - Parametri fisici e caratteristiche superficiali
- **Caratteristiche del passaggio in atmosfera:**
 - Descritte in precedenza: crosta di fusione, spaccature, regmagliti, forma esterna
 - **Parametri fisici misurabili in campagna:**
 - Magnetismo (ma non tutte sono magnetiche!!!): calamita, metal detector
 - Caratteristiche interne visibili dall'esterno: presenza di condrule sulla superficie.

Fase 2: il taglio

- **Taglio grossolano:**

- Non tutto è come sembra!!
- La superficie di taglio dà informazioni sulla tessitura grossolana alla scala centi-decimetrica
- Sega circolare o a filo diamantato
- Parametri fisici e caratteristiche superficiali



- **Taglio fine:**

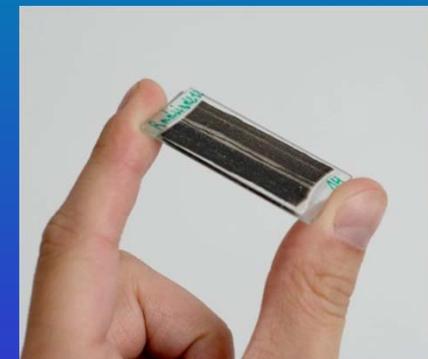
- Se il campione è molto piccolo occorre usare una lama molto sottile o filo diamantato



Fase 3: la preparazione della sezione sottile lucidata

Dal primo taglio occorre ricavare un frammento per l'analisi:

- Il frammento deve essere preparato per l'analisi in microscopia ottica e EMPA: si prepara una sezione sottile lucidata
 - Inglobato in resina poliesteri
 - Tagliato allo spessore di 100 micron circa
 - Molato a mano o a macchina fino a 60 micron
 - Portato a spessore (30 micron) e lucidato a specchio con panni e paste diamantate a granulometria decrescente (fino a 1 micron)



Fase 4: l'analisi ottica al microscopio polarizzante

- È indispensabile per osservare vari parametri:
 - Osservazione della tessitura complessiva e dei rapporti condrule/matrice
 - Osservazione di tipi e dimensioni delle condrule.
 - Osservazione delle singole fasi trasparenti alla luce (silicati, carbonati) in luce trasmessa a nicol paralleli ed incrociati
 - Osservazione delle singole fasi opache (ossidi, solfuri, fosfuri) in luce riflessa
 - Determinazione del tipo petrologico
 - Determinazione dello weathering grade e dello shock stage



NESSUNA CLASSIFICAZIONE O CARATTERIZZAZIONE PUO' PRESCINDERE DALL'ANALISI OTTICA MICROSCOPICA!!!

Fase 5: l'analisi minerochimica mediante EMPA

- "Basta guardarle al SEM": NIENTE DI PIU' FALSO!!
 - Il microscopio elettronico a scansione (SEM), basato sullo spettrometro EDS, non fornisce solitamente analisi quantitative ma semi-quantitative
 - Perché? Mancanza di adeguata standardizzazione e di valutazione accurata del rapporto P/F
 - Analisi "chiusa a 100". Non si può valutare se il punto analisi è corretto o presenta problemi.
 - Impossibile determinare gli elementi minori con adeguata accuratezza e precisione
 - Solo con MICROSCONDA ELETTRONICA (EMPA)
 - Spettrometro WDS a cristallo
 - Standardizzazione per ogni elemento
 - Limiti di rivelabilità molto bassi (fino a 0.1 wt.%)



**NESSUNA CLASSIFICAZIONE PUO' PRESCINDERE
DALL'ANALISI MINEROCHIMICA QUANTITATIVA!**

Fase 6: il report per la Meteoritical Society

- Dal complesso delle analisi si ricavano una serie di informazioni di base che vengono riassunte in una scheda inviata al Nomenclature Committee della Meteoritical Society
 - Dati generali: circostanze ritrovamento (fall, find, purchase), aspetto esteriore, presenza di crosta, caratteristiche della massa principale, numero di frammenti.
 - Dati petrologici: tessitura, condrule, tipo petrologico
 - Dati minerochimici: analisi EMPA su singole fasi, analisi isotopiche, analisi ICP-MS dei siderofili per le metalliche.
 - Dati di archiviazione: chi detiene la Main Mass; dove è il "type specimen" (v.dopo)

7. APPROVAL, REVISION, AND ANNOUNCEMENT OF METEORITE NAMES

7.1 New meteorites. All new meteorite names must be approved by the Committee. The minimum information required to name a meteorite, which the Committee should only modify under special circumstances, is:

- a. The location, preferably as geographic coordinates, of the fall or find;
- b. The circumstances of the fall or find (narrative);
- c. The total known mass and number of pieces recovered;
- d. An authoritative classification;
- e. The location of the main mass;
- f. The location of a type specimen. Type specimens must be deposited in institutions that have well-curated meteorite collections and long-standing commitments to such curation. At the time of submission of the meteorite to the Committee, the type specimen must be in the permanent custody of the institution that is the type specimen repository;
- g. The type specimen mass. The minimum mass of a type specimen should be 20% of the total mass or 20 g, whichever is the lesser amount. For newly paired meteorites from dense collection areas (§4.2b), the minimum required mass shall be whatever is needed to bring the aggregate mass of existing type specimens (if any) to 20% of the aggregate mass of the entire pairing group or 20 g, whichever is less.

Larger type specimens are recommended (but not required) for meteorites larger than 400 g:

Mass	Recommended type specimen
400 g - 10 kg	at least 5% of total mass
> 10 kg	at least 500 g

Fase 6: il report per la Meteoritical Society II

- Che cos'è il Type specimen??
 - È il campione-tipo che deve essere detenuto obbligatoriamente da un'istituzione (repository) riconosciuta dalla Meteoritical Society.
 - Serve per detenere un'aliquota di materiale disponibile per ulteriori analisi e per studio da parte di altri laboratori.
- Quanto ne è richiesto?
 - Almeno 20 grammi se la massa principale è superiore a 100 g
 - Almeno il 20% se inferiore

7. APPROVAL, REVISION, AND ANNOUNCEMENT OF METEORITE NAMES

7.1 New meteorites. All new meteorite names must be approved by the Committee. The minimum information required to name a meteorite, which the Committee should only modify under special circumstances, is:

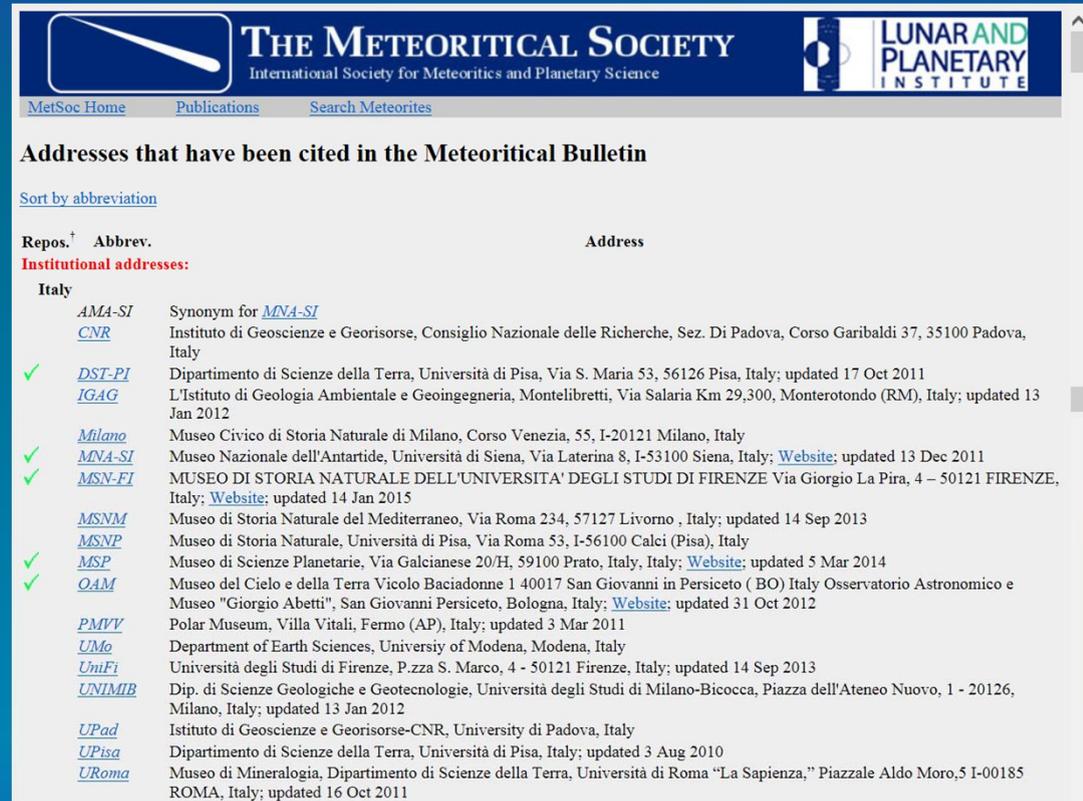
- The location, preferably as geographic coordinates, of the fall or find;
- The circumstances of the fall or find (narrative);
- The total known mass and number of pieces recovered;
- An authoritative classification;
- The location of the main mass;
- The location of a type specimen. Type specimens must be deposited in institutions that have well-curated meteorite collections and long-standing commitments to such curation. At the time of submission of the meteorite to the Committee, the type specimen must be in the permanent custody of the institution that is the type specimen repository;
- The type specimen mass. The minimum mass of a type specimen should be 20% of the total mass or 20 g, whichever is the lesser amount. For newly paired meteorites from dense collection areas (§4.2b), the minimum required mass shall be whatever is needed to bring the aggregate mass of existing type specimens (if any) to 20% of the aggregate mass of the entire pairing group or 20 g, whichever is less.

Larger type specimens are recommended (but not required) for meteorites larger than 400 g:

Mass	Recommended type specimen
400 g - 10 kg	at least 5% of total mass
> 10 kg	at least 500 g

Fase 6: il report per la Meteoritical Society III

- Che cos'è un Repository?
 - È un'istituzione scientifica di rilevanza internazionale presso la quale è depositata una collezione di meteoriti consistente numericamente o comunque rilevante dal punto di vista storico
 - Deve esistere un curatore ufficiale della collezione competente in materia in grado di gestire le richieste di scambio e di prestito di materiale meteoritico



THE METEORITICAL SOCIETY
International Society for Meteoritics and Planetary Science

LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE

MetSoc Home Publications Search Meteorites

Addresses that have been cited in the Meteoritical Bulletin

Sort by [abbreviation](#)

Repos. [†]	Abbrev.	Address
Institutional addresses:		
Italy		
	AMA-SI	Synonym for MNA-SI
	CNR	Istituto di Geoscienze e Georisorse, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sez. Di Padova, Corso Garibaldi 37, 35100 Padova, Italy
✓	DST-PI	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Via S. Maria 53, 56126 Pisa, Italy; updated 17 Oct 2011
	IGAG	L'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Montelibretti, Via Salaria Km 29,300, Monterotondo (RM), Italy; updated 13 Jan 2012
	Milano	Museo Civico di Storia Naturale di Milano, Corso Venezia, 55, I-20121 Milano, Italy
✓	MNA-SI	Museo Nazionale dell'Antartide, Università di Siena, Via Laterina 8, I-53100 Siena, Italy; Website ; updated 13 Dec 2011
✓	MSN-FI	MUSEO DI STORIA NATURALE DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE Via Giorgio La Pira, 4 – 50121 FIRENZE, Italy; Website ; updated 14 Jan 2015
	MSNM	Museo di Storia Naturale del Mediterraneo, Via Roma 234, 57127 Livorno, Italy; updated 14 Sep 2013
	MSNP	Museo di Storia Naturale, Università di Pisa, Via Roma 53, I-56100 Calci (Pisa), Italy
✓	MSP	Museo di Scienze Planetarie, Via Galcianese 20/H, 59100 Prato, Italy, Italy; Website ; updated 5 Mar 2014
✓	OAM	Museo del Cielo e della Terra Vicolo Baciadonne 1 40017 San Giovanni in Persiceto (BO) Italy Osservatorio Astronomico e Museo "Giorgio Abetti", San Giovanni Persiceto, Bologna, Italy; Website ; updated 31 Oct 2012
	PMVV	Polar Museum, Villa Vitali, Fermo (AP), Italy; updated 3 Mar 2011
	UMo	Department of Earth Sciences, University of Modena, Modena, Italy
	UniFi	Università degli Studi di Firenze, P.zza S. Marco, 4 - 50121 Firenze, Italy; updated 14 Sep 2013
	UNIMIB	Dip. di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza dell'Ateneo Nuovo, 1 - 20126, Milano, Italy; updated 13 Jan 2012
	UPad	Istituto di Geoscienze e Georisorse-CNR, University di Padova, Italy
	UPisa	Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Italy; updated 3 Aug 2010
	URoma	Museo di Mineralogia, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza," Piazzale Aldo Moro,5 I-00185 ROMA, Italy; updated 16 Oct 2011

NO type specimen, NO REPOSITORY, NO NAME!!!

Sono requisiti obbligatori

Fase 7: la pubblicazione sul Meteoritical Bulletin Database

- Solo dopo un attento processo di revisione (per il quale talvolta occorrono mesi) la meteorite viene pubblicata sul Meteoritical Bulletin Database, l'unico bollettino ufficiale globale delle meteoriti.
- Solo ora il nome può essere usato nelle pubblicazioni

Northwest Africa 1054																									
Information about the name	Name: Northwest Africa 1054 This is an OFFICIAL meteorite name. Official abbreviation: NWA 1054																								
Catalogs:	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NHM Catalogue</th> <th>MetBase</th> <th>Recommended</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Observed fall:</td> <td>-</td> <td>No</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Year found:</td> <td>-</td> <td>2001</td> <td>2001</td> </tr> <tr> <td>Class:</td> <td>-</td> <td>Acapulcoite</td> <td>Acapulcoite</td> </tr> <tr> <td>Country:</td> <td>-</td> <td>Morocco</td> <td>Morocco</td> </tr> <tr> <td>Coordinates:</td> <td>-</td> <td>unknown</td> <td>unknown</td> </tr> </tbody> </table> <p>Catalog links: This is 1 of 373 approved meteorites from Morocco This is 1 of 90 approved Primitive achondrites This is 1 of 38 approved meteorites classified as Acapulcoite</p>		NHM Catalogue	MetBase	Recommended	Observed fall:	-	No	No	Year found:	-	2001	2001	Class:	-	Acapulcoite	Acapulcoite	Country:	-	Morocco	Morocco	Coordinates:	-	unknown	unknown
	NHM Catalogue	MetBase	Recommended																						
Observed fall:	-	No	No																						
Year found:	-	2001	2001																						
Class:	-	Acapulcoite	Acapulcoite																						
Country:	-	Morocco	Morocco																						
Coordinates:	-	unknown	unknown																						
References:	Published in Meteoritical Bulletin, no. 89, MAPS 40, A201-A263 (2005) Find references in NASA ADS																								
Mass:	86 g																								
Writeup from MB 89:	<p>Northwest Africa 1054 Morocco Found 2001 Acapulcoite</p> <p>A stone of 86 g was bought in Erfoud (Morocco) by an anonymous dealer. Classification and mineralogy (G.Pratesi, V.Moggi-Cecchi, L. Mancini, <i>MSP</i>; petrography and EMPA; G. Sighinolfi and S. Lugli, <i>UMo</i>; EMPA): composed of a fine-grained aggregate. In thin section it displays an granular texture with grains mainly represented by olivine, pyroxene, Fe,Ni alloy and troilite and ranging from 200 to 700 µm in dimensions. Olivine is homogeneous and has a typical forsteritic composition, (Fa_{6.4}), orthopyroxene is bronzitic (Fs_{7.8}Wo_{1.3}). High Ca-pyroxene (Fs_{3.3}En_{51.2}Wo_{45.4}, Al = 1.50 mol %) and plagioclase (An_{14.3}Ab_{79.5}Or_{6.3}) are also common. Apart from silicates, major phases are metal and troilite. Accessory phases include Na-Merrillite and magnesiochromite (Cr/(Cr+Al) = 0.96; Fe:Mn:Mg ratios = 0.60:0.12:0.28). This meteorite shows a recrystallization texture with abundant 120° triple junctions and many interstices filled with metal. Based on texture (fine grained), mineralogy and chemistry (Cr content of diopside varying from 1.17 to 1.35 wt. %) the meteorite is classified as an acapulcoite. Terrestrial weathering grade is rather low (W1); optical features (sharp extinction of olivine) indicate that the sample is very weakly or not shocked (S1). The meteorite may be paired with NWA 1052. Specimens: main mass with buyer; type specimen (17.9 g) and thin section, <i>MSP</i>.</p>																								
Data from: MB89 Table 7 Line 7:	<p>Origin or pseudonym: Morocco Place of purchase: Erfoud Date: 2001 Mass (g): 86 Pieces: 1 Class: Acap Type spec mass (g): 17.9 Info: classified by V. Moggi Cecchi, <i>MSP</i></p>																								
Institutions and collections	<i>MSP</i> : Museo di Scienze Planetarie, Via Galcianese, 20/h, 59100 Prato, Italy. <i>UMo</i> : Department of Earth Sciences, University of Modena, Modena, Italy.																								
Photos:	From Encyclopedia of Meteorites : Photo courtesy Matteo Chinellato (added to database 2006-07-29)																								

La catalogazione secondo le norme ICCD

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI
ISTITUTO CENTRALE PER IL CATALOGO E LA DOCUMENTAZIONE

Strutturazione dei dati delle schede di catalogo

Scheda BNPL Beni Naturalistici – Planetologia

Coordinamento generale: S. Vasco (ICCD); G. Pratesi (CRUI)
Coordinamento settoriale: G. Pratesi; R. Francescangeli; F. Ferrante
Collaborazione tecnico-scientifica: F. Duca; E. Imperatori
Segreteria tecnica: F. Duca

La classificazione: storia dell'evoluzione

- Rose (1836):
 - 3 gruppi di «ferri»
 - 7 gruppi di «pietre»
- Tschermak (1883)
 - «Ferri» suddivisi sulla base dell'ampiezza delle lamelle di kamacite
 - «Ferrose-pietrose»
- Brezina
 - Condriti
 - Acondriti
- Prior (1916)
 - Regole di Prior
 - 3 gruppi di ordinarie
 - Acondriti ricche e povere in Ca
- Urey-Craig plot (1953)
 - Uso di un primo criterio scientifico per la classificazione
 - Solo analisi di massa

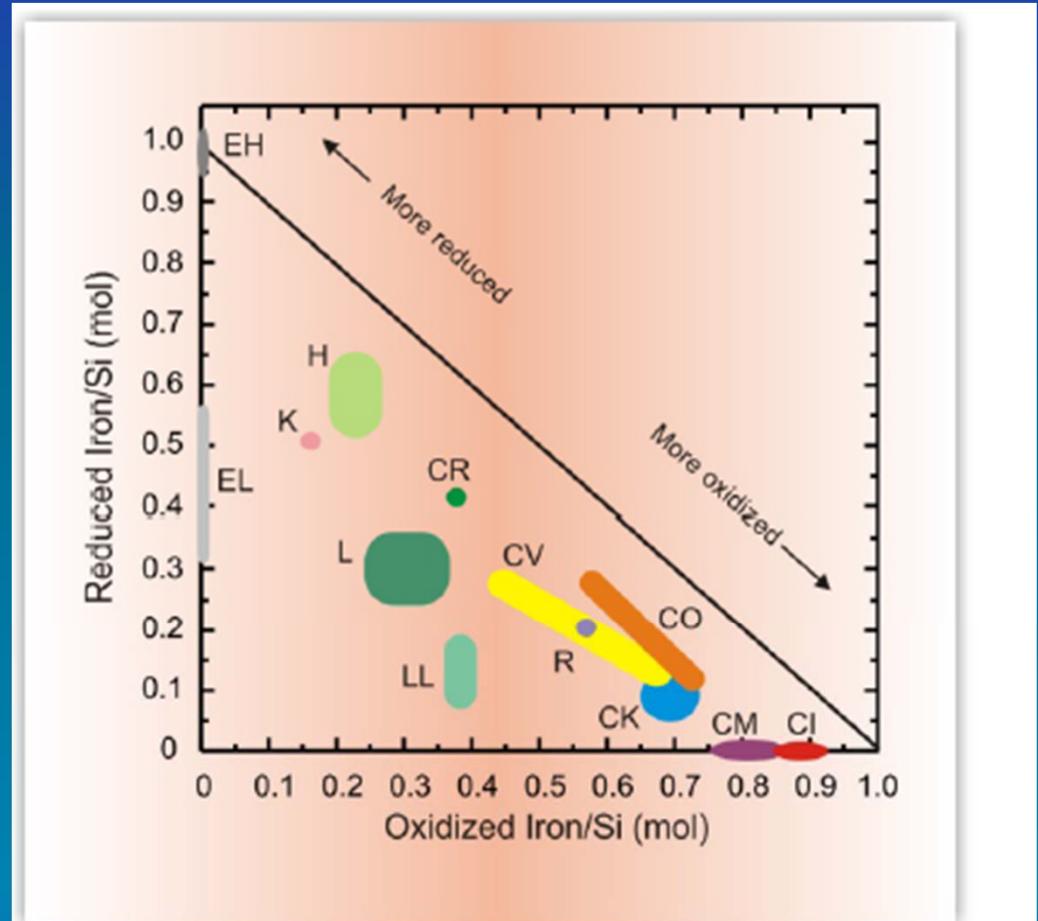


Figure 1.2: Urey-Craig plot, modified from [1.24], showing how the ratio of reduced iron (metal and sulphides) varies with oxidized iron (silicates and oxides) amongst the different chondrite groups. The line (slope -1) is that along which meteorites with the same total iron content but different oxidation states would fall [1.24]

La classificazione moderna

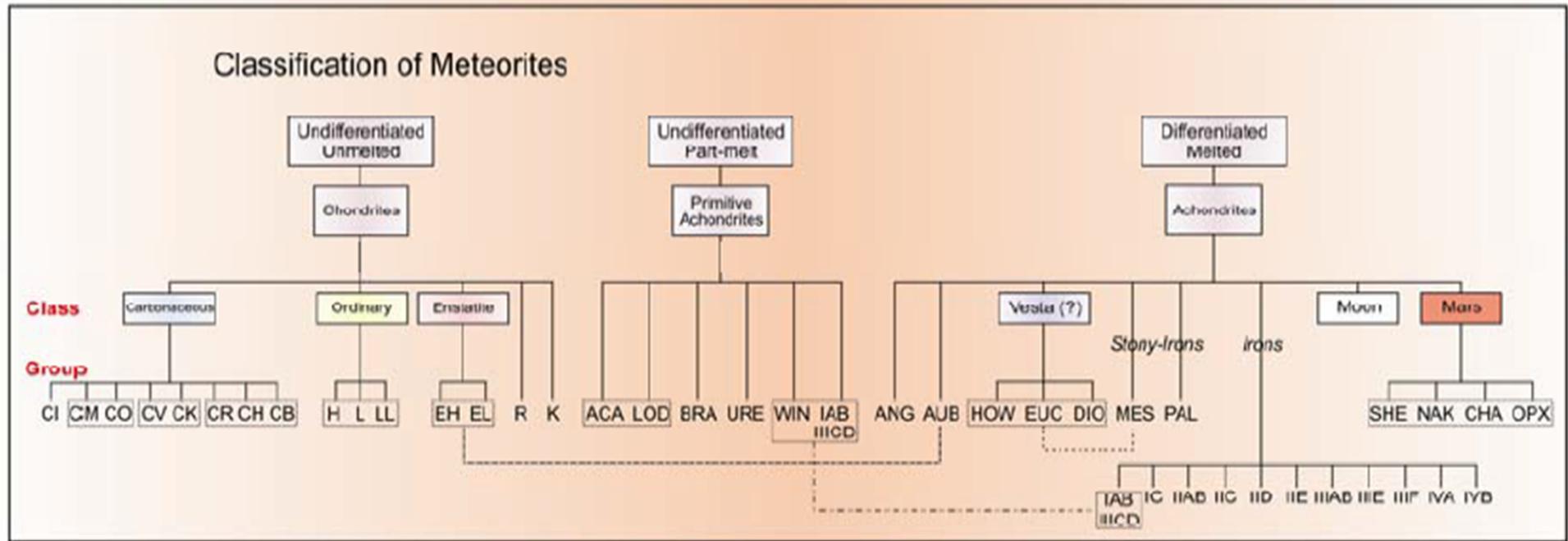
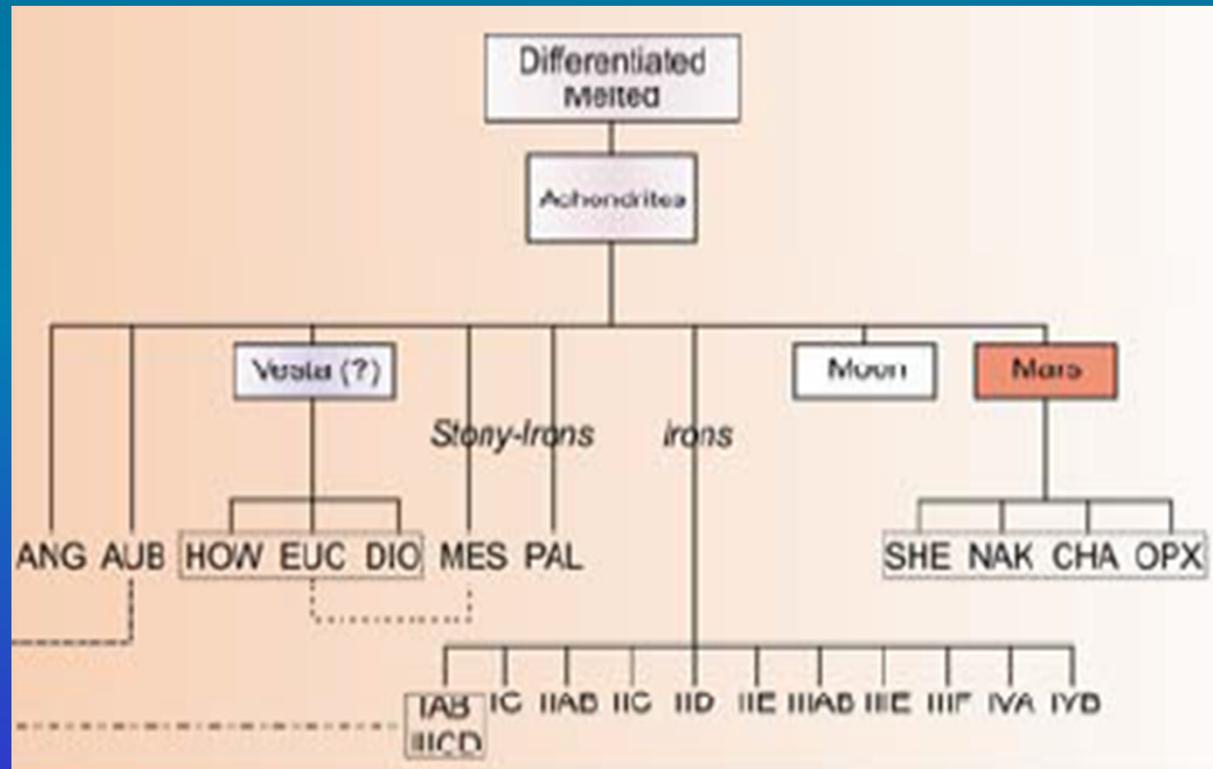
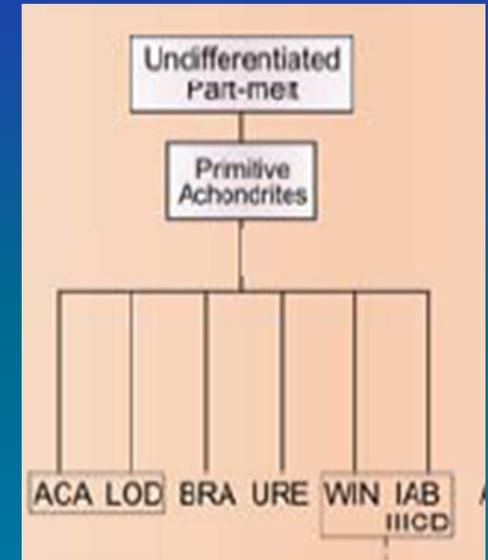
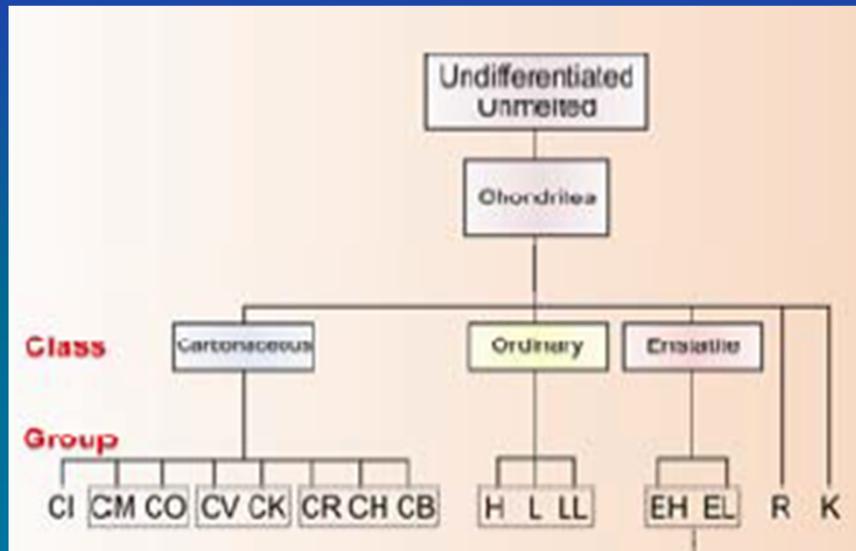


Figure 1.1: Schematic classification of meteorites, showing the main groups of each class. The dashed boxes and lines indicate clans (or supergroups) of meteorites that might have formed in closely neighbouring nebula or parent body locations [1.7].
 ACA – Acapulcoites; ANG – Angrites; AUB – Aubrites; BRA – Brachinites; CHA – Chassignites; DIO – Diogenites; EUC – Eucrites; HOW – Howardites; LOD – Lodranites; MES – Mesosiderites; NAK – Nakhilites; OPX – Orthopyroxenite; PAL – Pallasites; SHE – Shergottites; URE – Ureilites; WIN – Winonaites. After [1.6, 1.7].

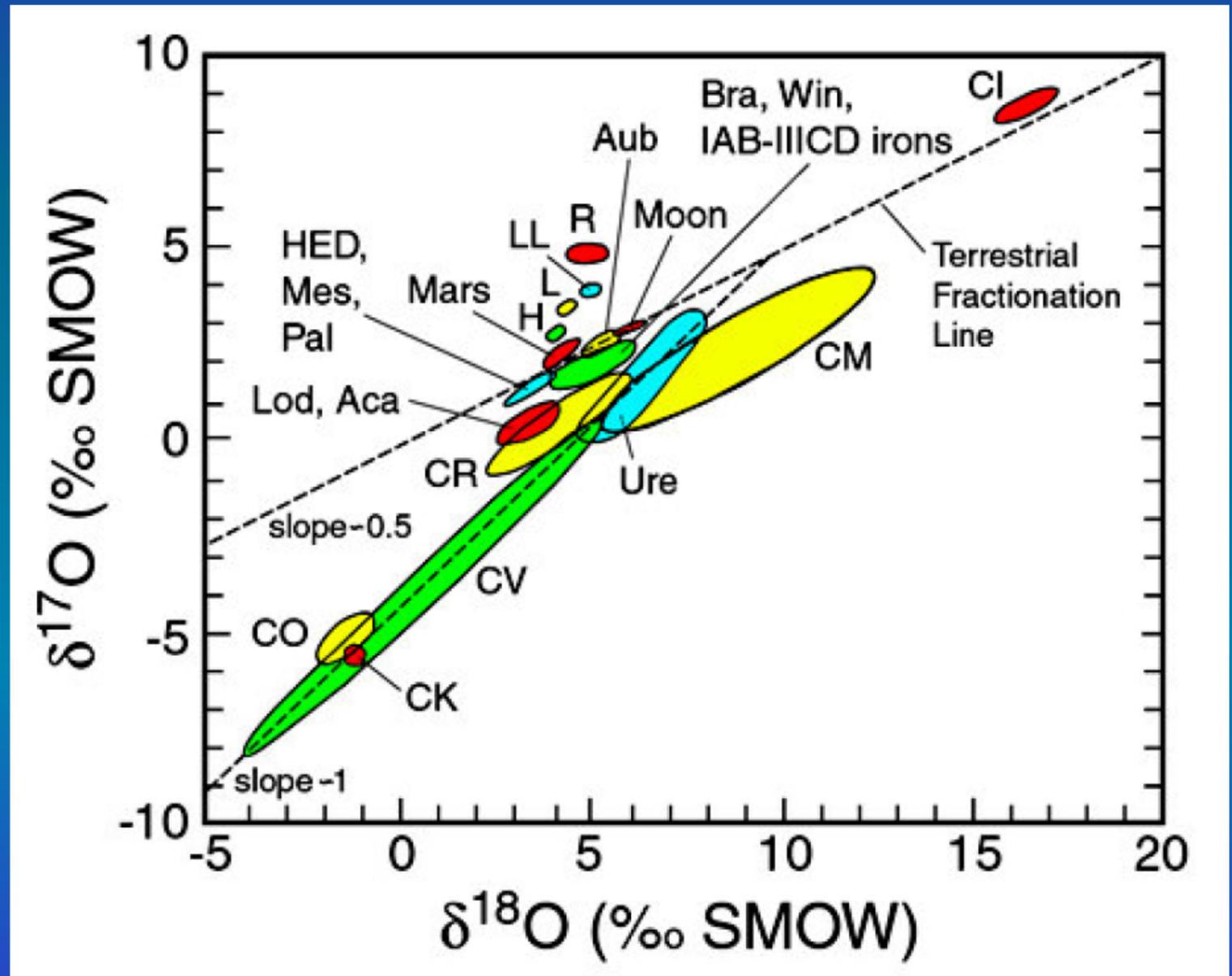
Da «Atlas of Meteorites» di Grady, Pratesi e Moggi Cecchi, Cambridge University Press, 2014

La classificazione moderna



Criterio guida: gli isotopi. Ma non bastano...

- Alcuni gruppi non sono separati
- Non presenti le metalliche

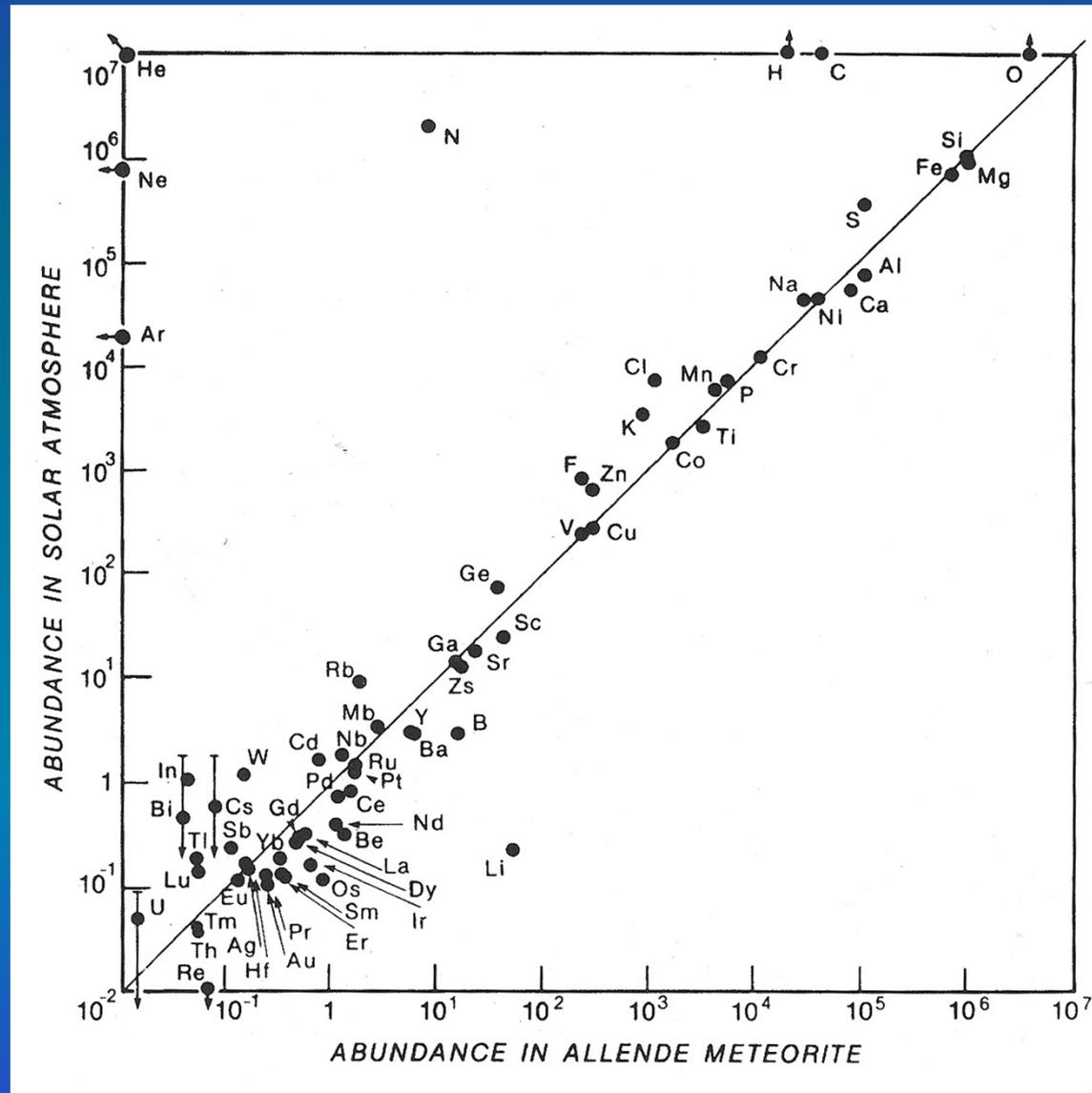


*Oxygen Isotope diagram for meteorites
(from Grady et al., 2014)*

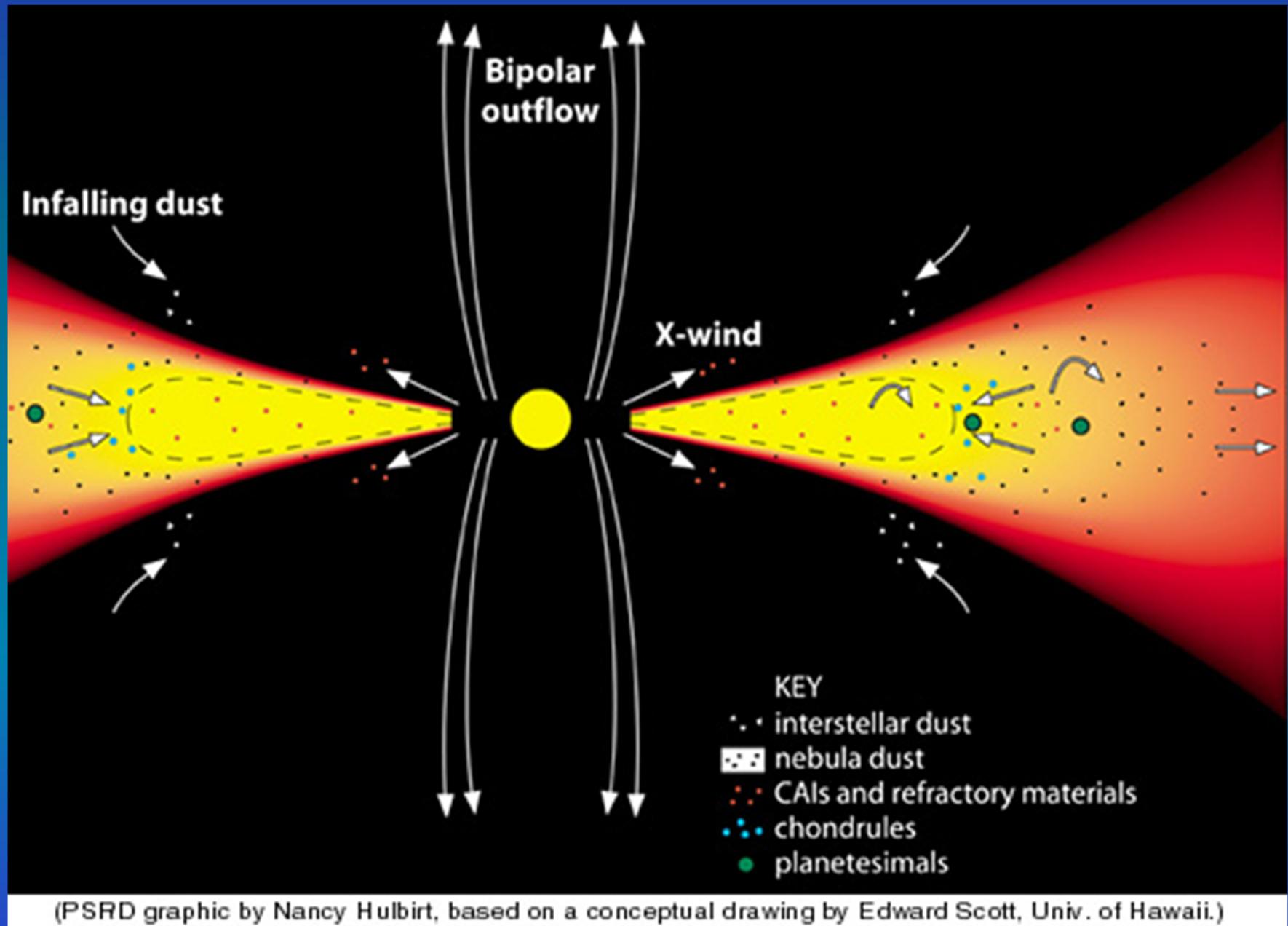
Meteoriti Condritiche

- Meteoriti litiche *primitive*
- Si sono originate su asteroidi non differenziati che non hanno subito fusione parziale
- Sono composte da materiale condensato direttamente dalla nebulosa solare
- Non sono uniformi alla piccola scala macroscopica, poiché contengono *condrule* (piccole inclusioni ignee quasi sferiche che si sono solidificate da gocce di fuso) e *CAIs* (inclusioni refrattarie ricche in Ca e Al)
- Sono chiamate così perché contengono le *condrule*
- Sono state talvolta modificate dall'*alterazione acquosa*, a riprova del fatto che contenevano acqua
- Sono costituite da silicati, metalli e altri minerali, intimamente concresciuti in una matrice rocciosa
- Hanno una *composizione* vicina a quella media del Sistema Solare
- Non si sono più fuse dalla loro formazione, avvenuta 4.56 Ga fa

Composizione della condrite carbonacea Allende (CV3) paragonata a quella solare



Condrule e CAI nella nebulosa protosolare



Meteoriti indifferenziate - Condriti

- **Condriti carbonacee**
 - Le più ricche di elementi volatili
 - Suddivise in sette gruppi maggiori che differiscono leggermente per composizione (CI, CM, CO, CV, CH, CK, CB)
- **Condriti ordinarie**
 - Le meteoriti primitive più comuni
 - Si classificano in H, L e LL, sulla base del rapporto Fe/Si decrescente



Condrite carbonacea CM2



Condrite ordinaria H3

Meteoriti indifferenziate - Condriti

- Condriti enstatitiche

- Prendono il nome dal minerale dominante, il pirosseno *enstatite* (MgSiO_3)
- Sono suddivise in EH e EL
- Si sono formate in condizioni *estremamente riducenti*



- I *tipi petrologici* di tutte le condriti sono legati ai processi avvenuti sugli asteroidi
 - Vanno da 1 a 6
 - Il tipo 3 sembra il meno alterato e rappresenta le condizioni protoplanetarie, i tipi da 4 a 6 indicano aumento del metamorfismo, mentre quelli da 3 a 1 aumento dell'alterazione acquosa
 - Il tipo 1 non presenta condrule, forse distrutte a causa dell'alterazione acquosa

Meteoriti differenziate - Acondriti

- Meteoriti litiche
- Ne esistono 14 tipi, alcune più evolute, altre più primitive
- Sono solitamente prive di condrule (ma con eccezioni!!!)
- Sono *differenziate*, cioè si sono originate in corpi al cui interno sono avvenuti processi di separazione delle fasi mineralogiche in porzioni distinte del corpo (es. crosta, mantello, nucleo) per densità
- Sono marcatamente *impoverite in ferro e elementi siderofili (affini al ferro)*, che si sono concentrati al centro dei corpi parentali
- La *composizione media* è arricchita in elementi litofili (affini al silicio) e/o calcofili (affini allo zolfo)

Meteoriti differenziate - Acondriti

I tipi più importanti sono i gruppi HED e SNC:

- Gruppo HED: howarditi, eucriti e diogeniti, probabilmente originatisi su Vesta
- Gruppo SNC: shergottiti, nakhliti e chassigniti, originatisi certamente su Marte
- Le acondriti lunari, originatisi dal regolite e dai basalti lunari

Eucrite



Shergottite

Lunare



Meteoriti differenziate – litico metalliche

- Si sono originate su un *corpo differenziato*
- Pallasiti
 - Hanno una matrice di lega Fe-Ni con *noduli di olivina* solitamente di 5 mm di diametro
 - Hanno origine ignea
 - Si sono probabilmente formate al *confine tra nucleo e mantello*, dove l'olivina appena formatasi è sprofondata in un ambiente ricco di metallo fuso
- Mesosideriti
 - Miscugli di metallo e rocce silicatiche



Pallasite



Mesosiderite

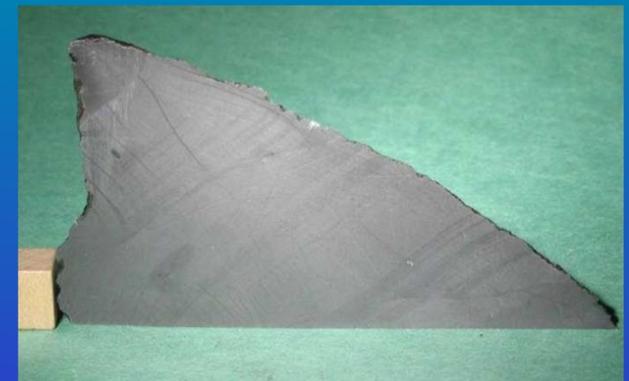
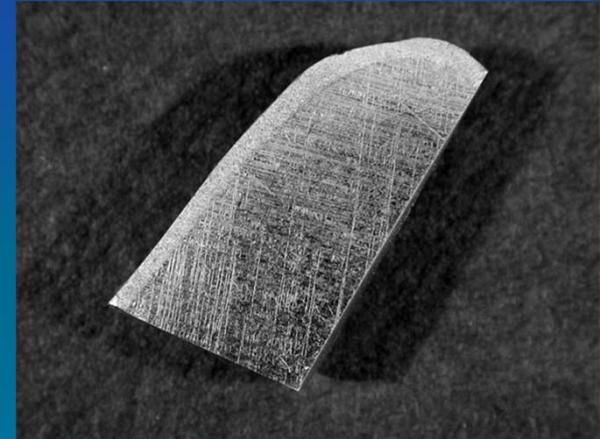
Meteoriti differenziate - metalliche

- Si sono originate dal *nucleo metallico di un corpo differenziato*
- Sono classificate sulla base del contenuto degli elementi Gallio e Germanio (Ga e Ge)
- Le variazioni composizionali sono correlate alle differenze strutturali
- Il reticolo di cristallizzazione di *Widmanstätten* (che da origine alle *figure di Widmanstätten*) dipende dal tasso di raffreddamento del fuso



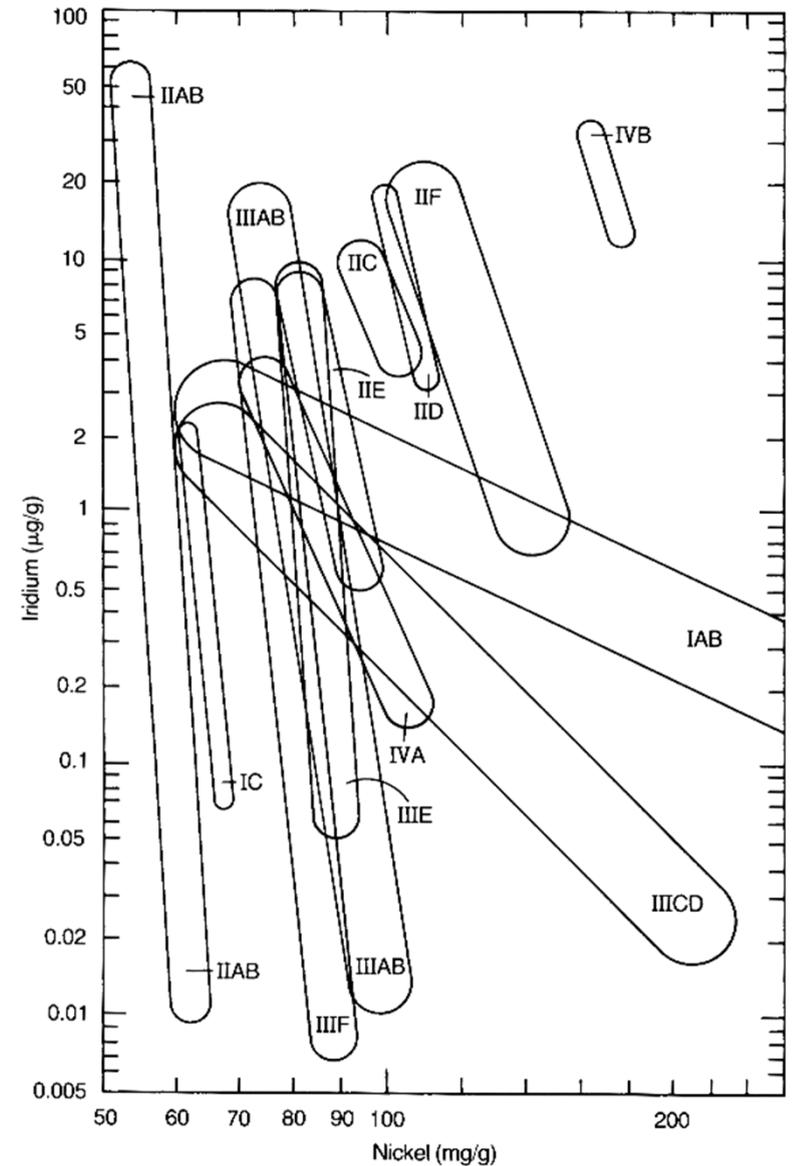
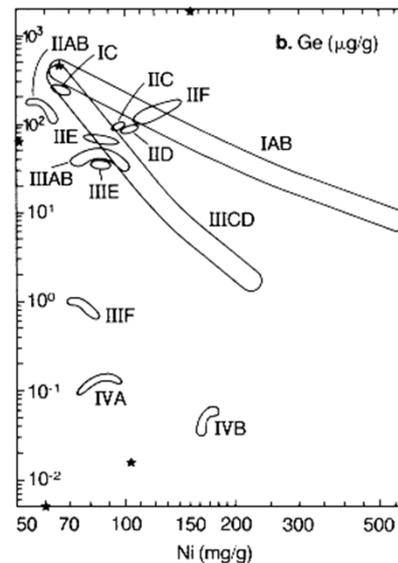
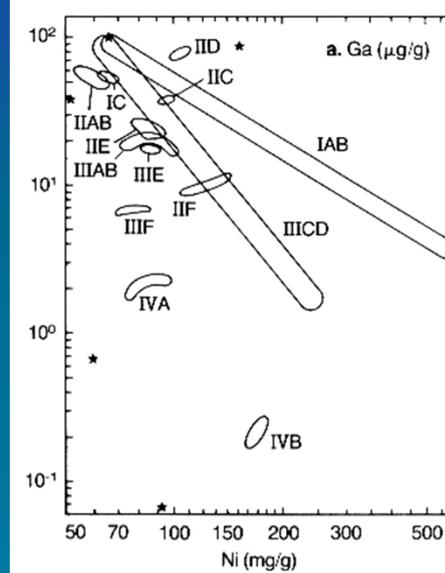
Vecchia classificazione metalliche:

- Proprietà tessiturali:
esaedriti, ottaedriti, atassiti
- Esaedriti: principalmente
kamacite, < 7% Ni, linee di
Neumann
- Ottaedriti: Ni >7, < 13%
 - Suddivise in 6 gruppi (sulla
base dell'ampiezza delle
lamelle di kamacite)
- Atassiti: taenite pura nessuna
struttura



Nuova classificazione metalliche:

- Contenuti di Ge, Ir and Ga
- 4 gruppi da I a IV
- Lettere da A a G
- 14 sottogruppi



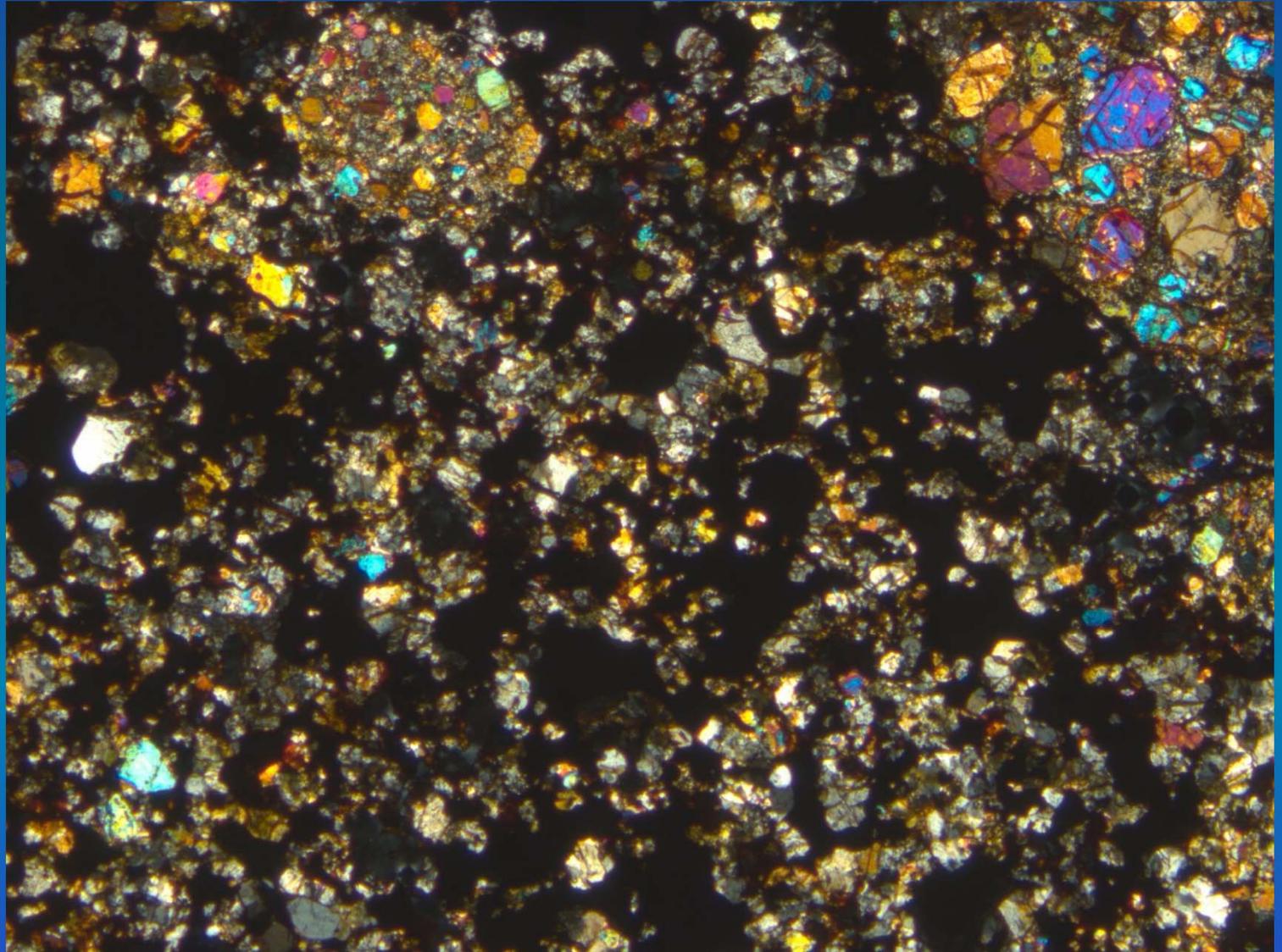
Vi sembrano condriti?

- Le condriti CB e CH sono ricchissime di metallo



Vi sembrano acondriti?

- Le Winonaiti contengono talvolta condrule relitte

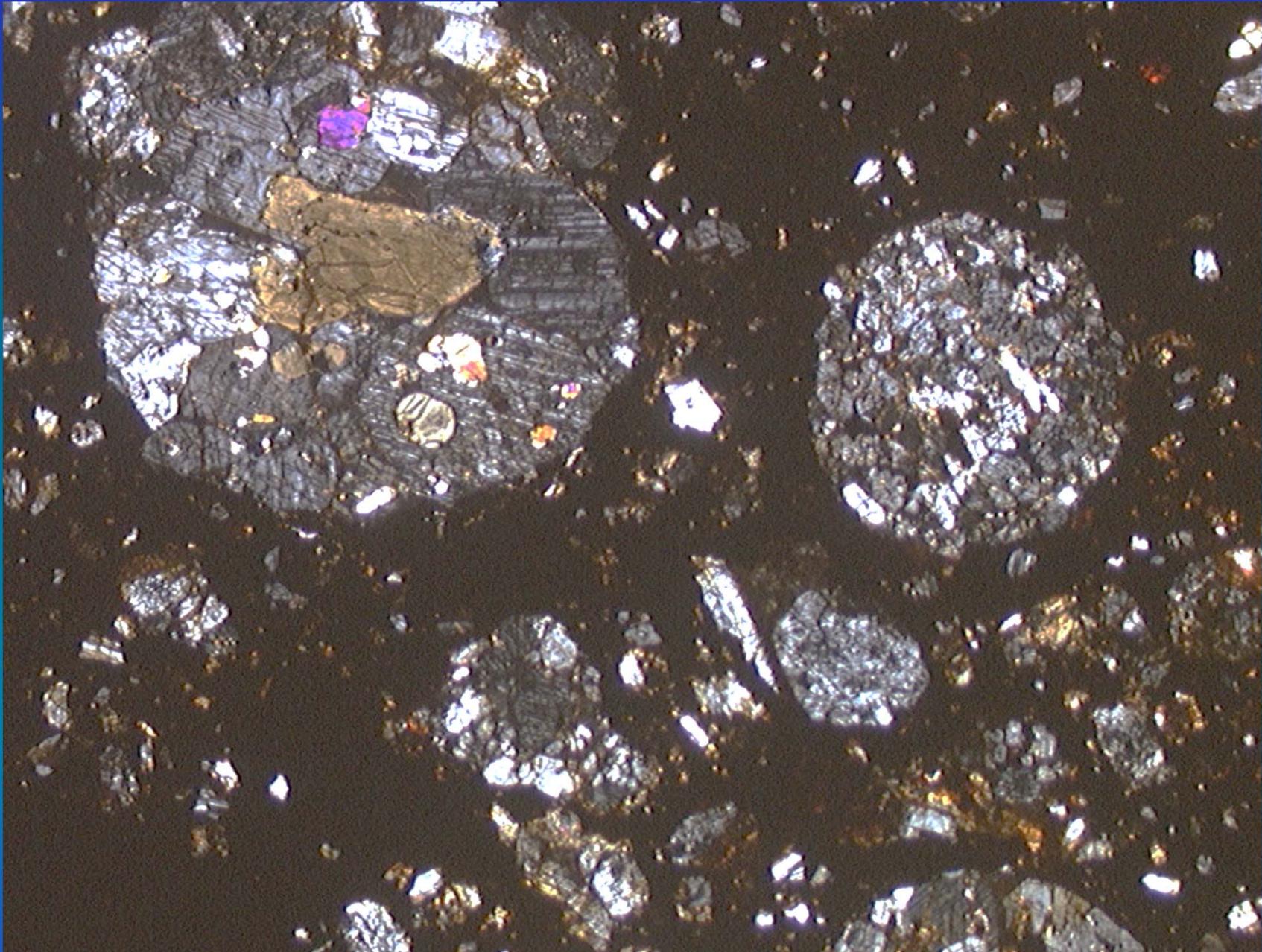


Perché sono importanti le meteoriti per la scienza?

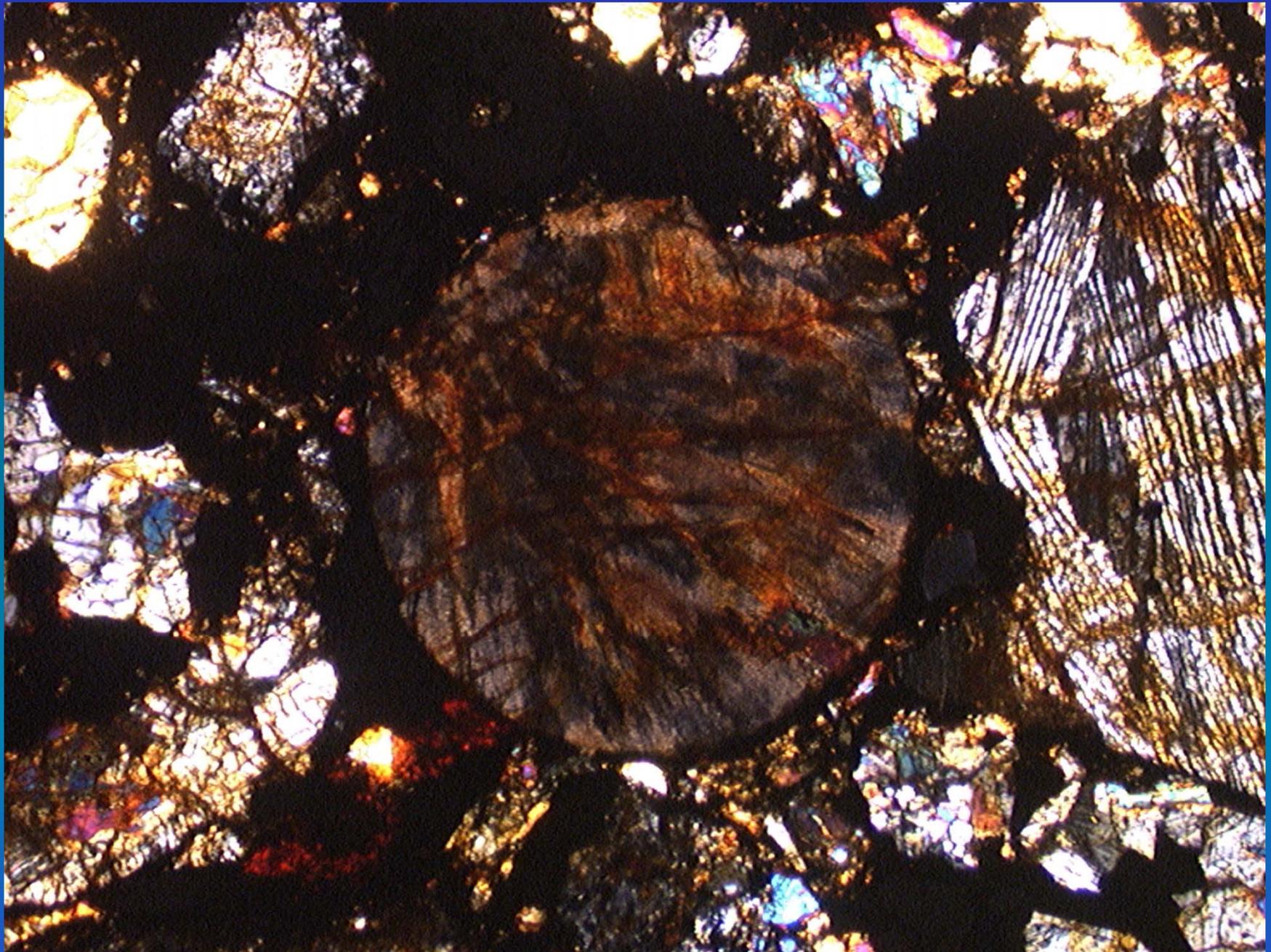
- Le meteoriti ci permettono di datare l'origine del Sistema Solare con una precisione dello 0.1 %
- I solidi condritici si sono formati nell'arco di 20 Ma
- L'età del sistema solare, basata sulla datazione degli isotopi $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ all'interno dei CAI della condrite Allende (CV3) è di 4.563 ± 0.004 Ga
- Le meteoriti provenienti da corpi differenziati sono appena più giovani
- Quasi tutte le meteoriti sono più vecchie delle rocce lunari (3-4.45 Ga) e terrestri (<4 Ga)

Ma perchè le meteoriti sono così affascinanti?

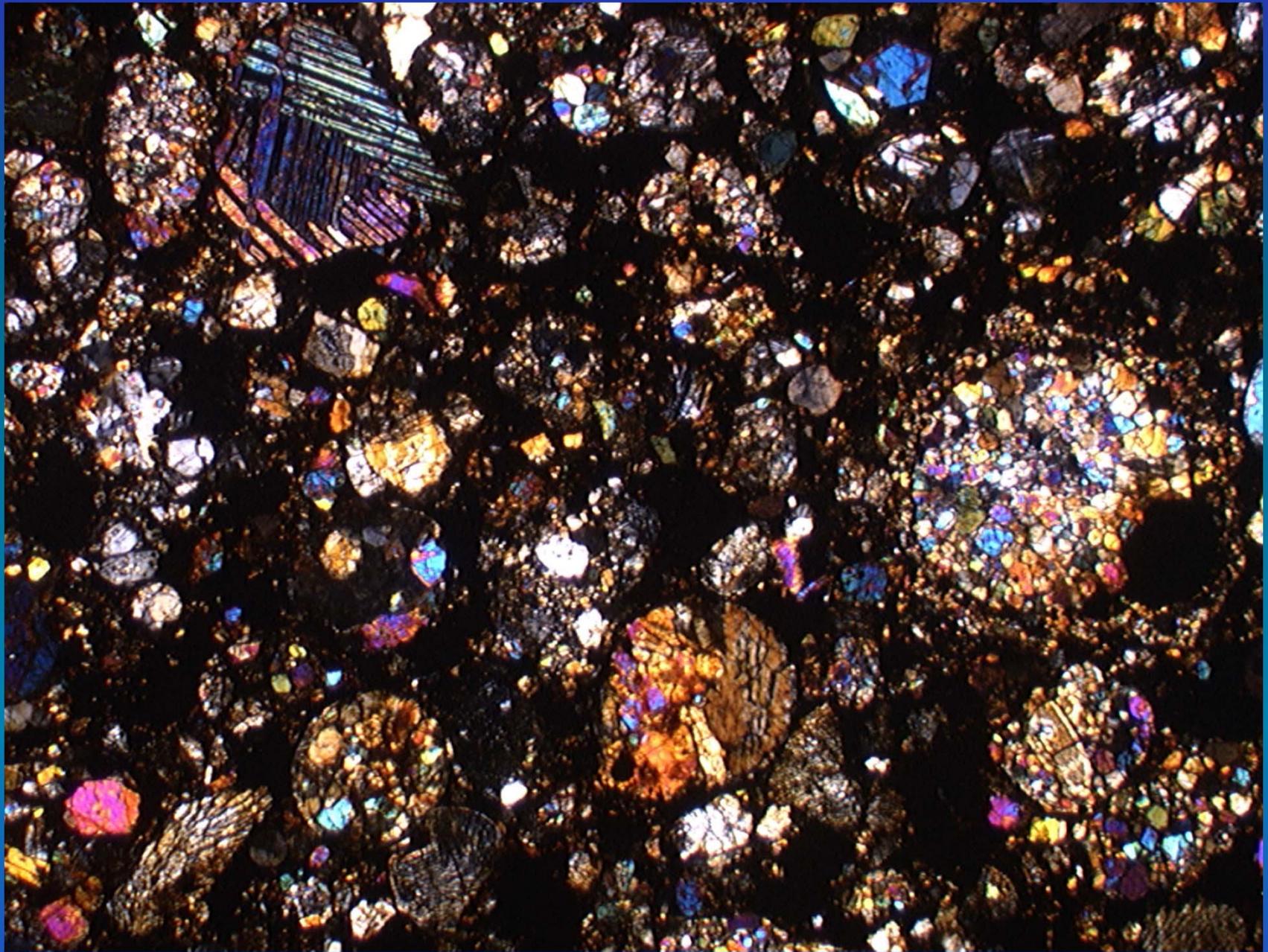
**In fondo sembrano sassi comuni ma dentro...
...uno spettacolo di colori**



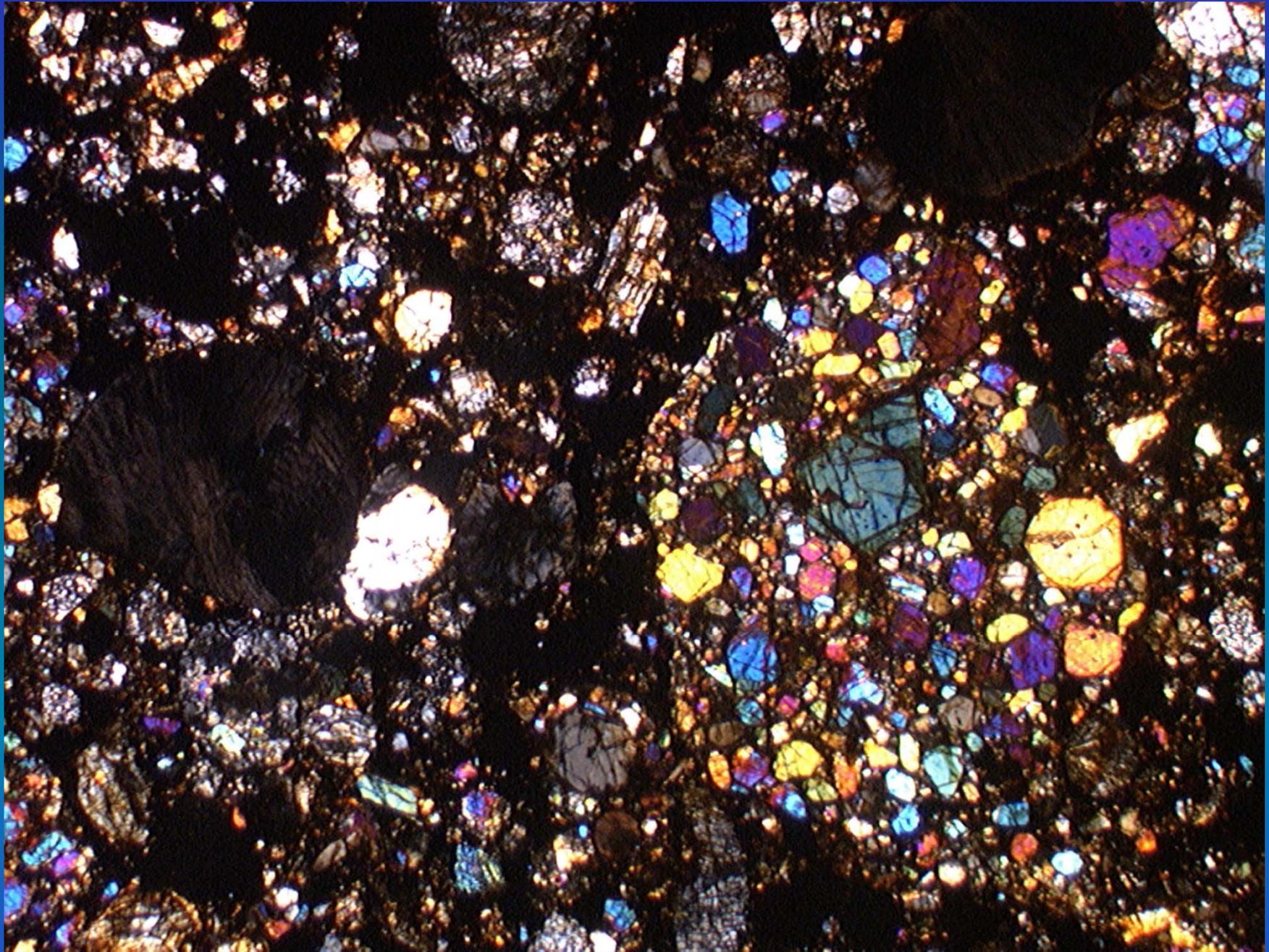
Kota kota (enstatit-condrite)



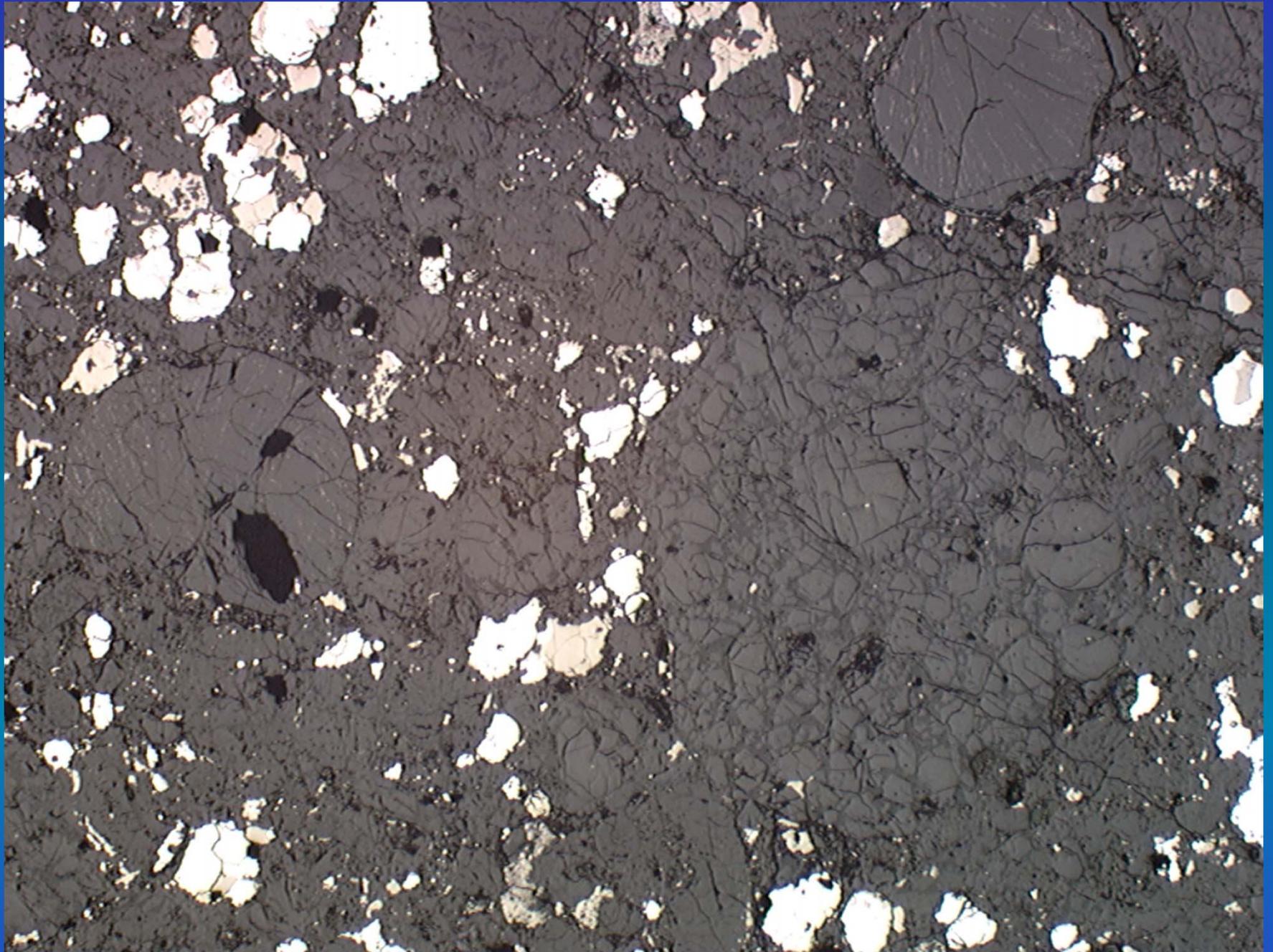
ALH 88036 (condrite ordinaria H3)



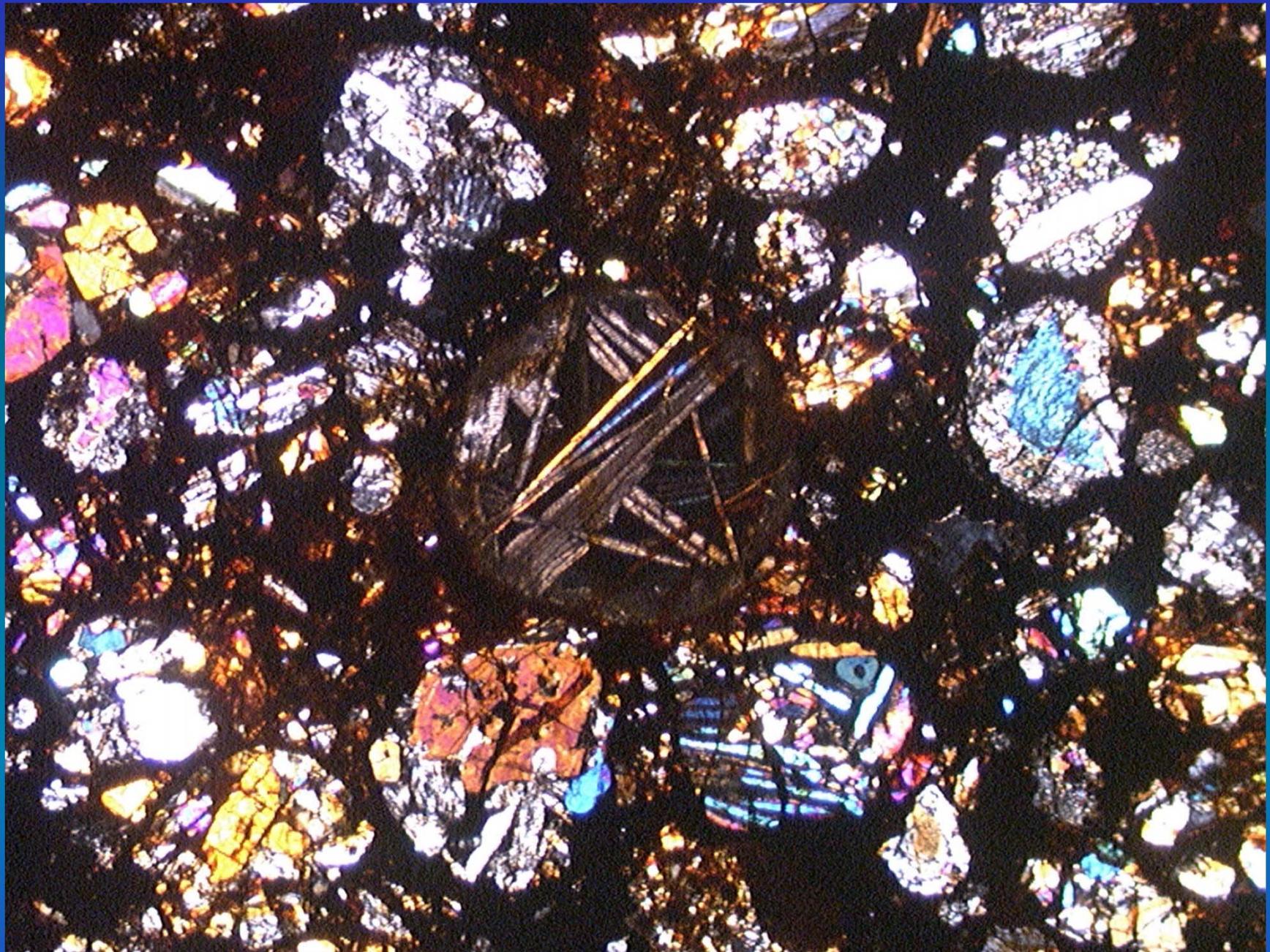
ALH 88020 (condrite H3)



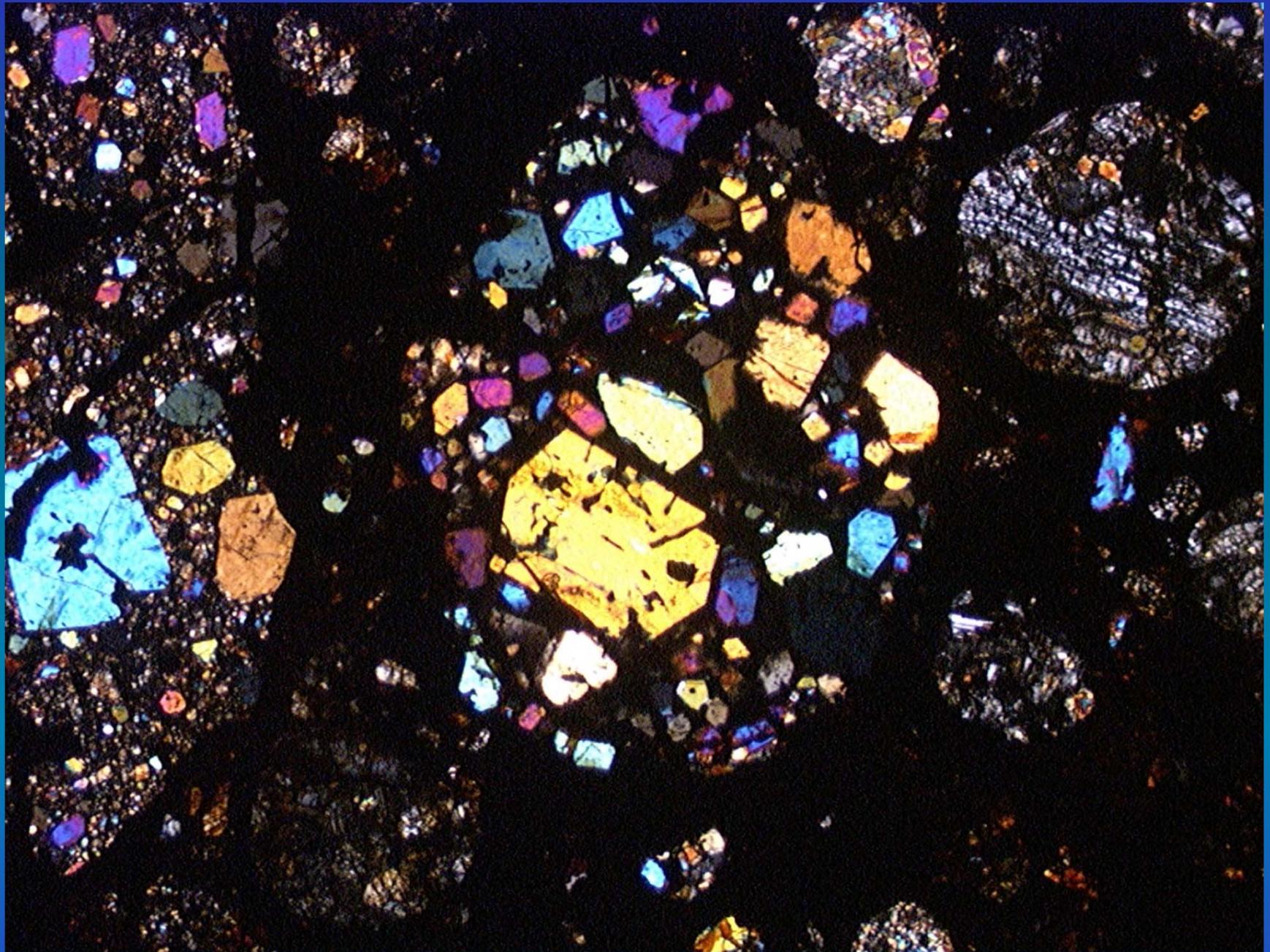
ALH 88020 (condrite ordinaria H3)



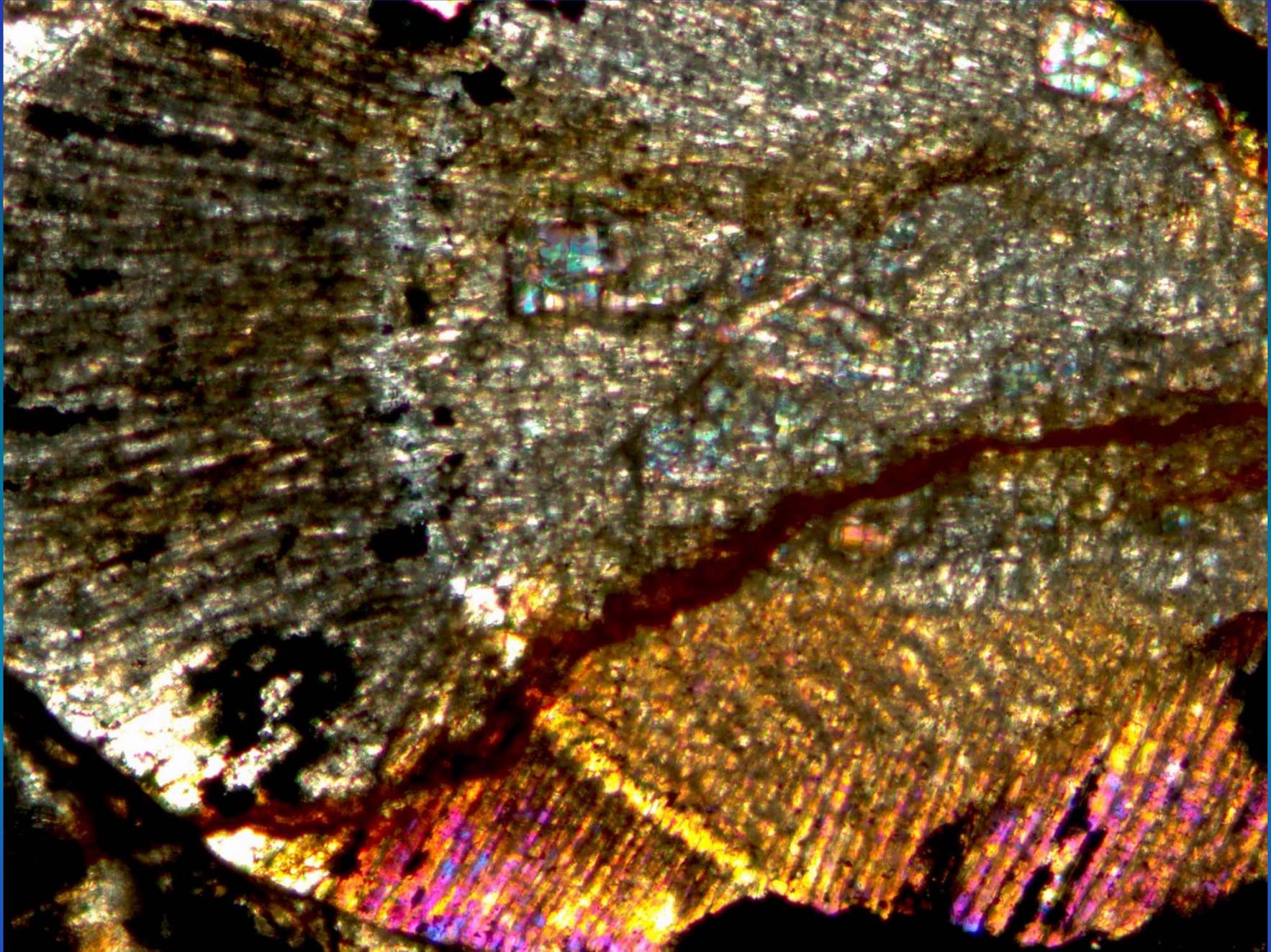
ALH 88020 (condrite ordinaria H3, luce riflessa)



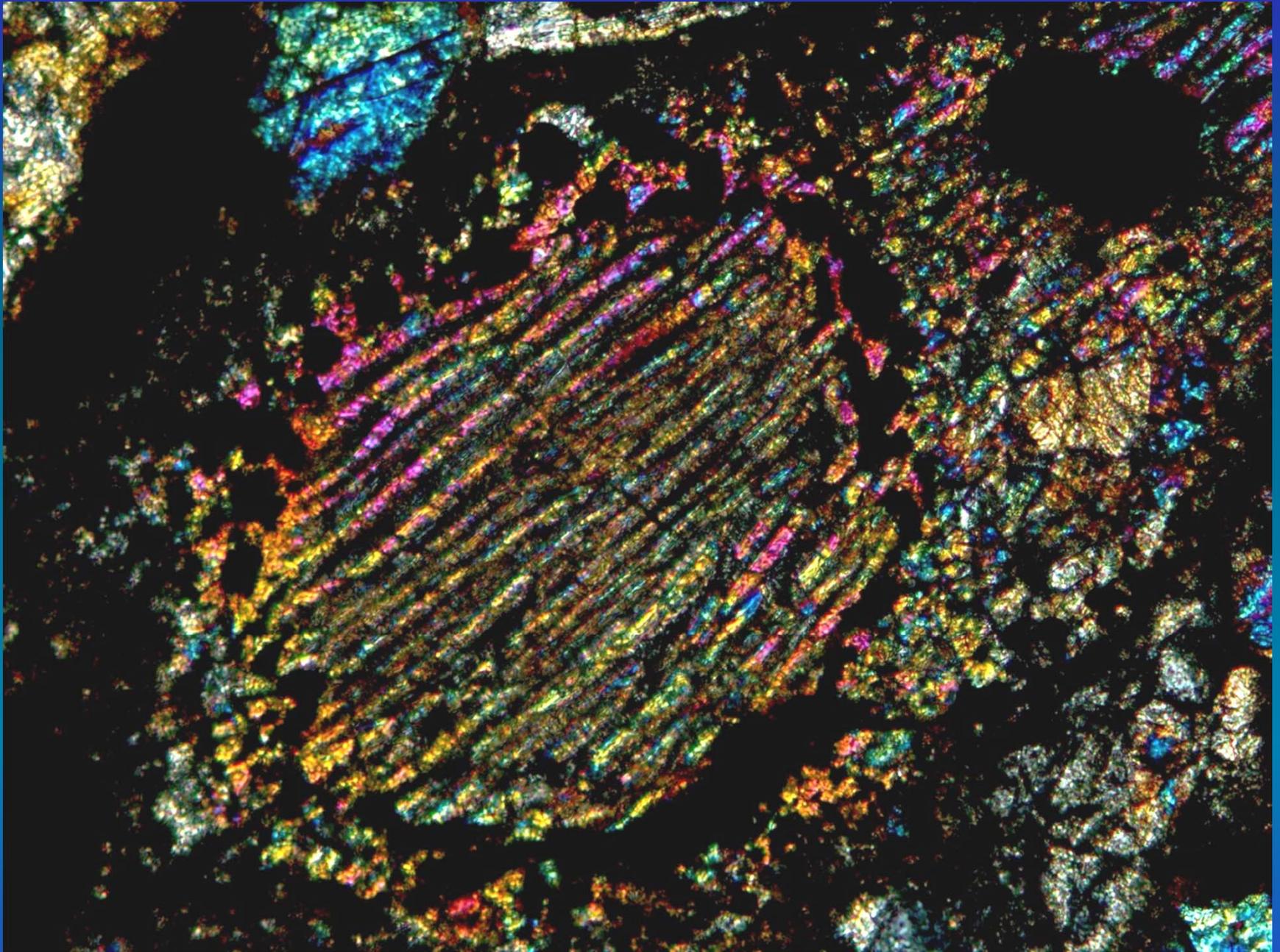
Prairie Dog Creek (chondrite ordinaria H3)



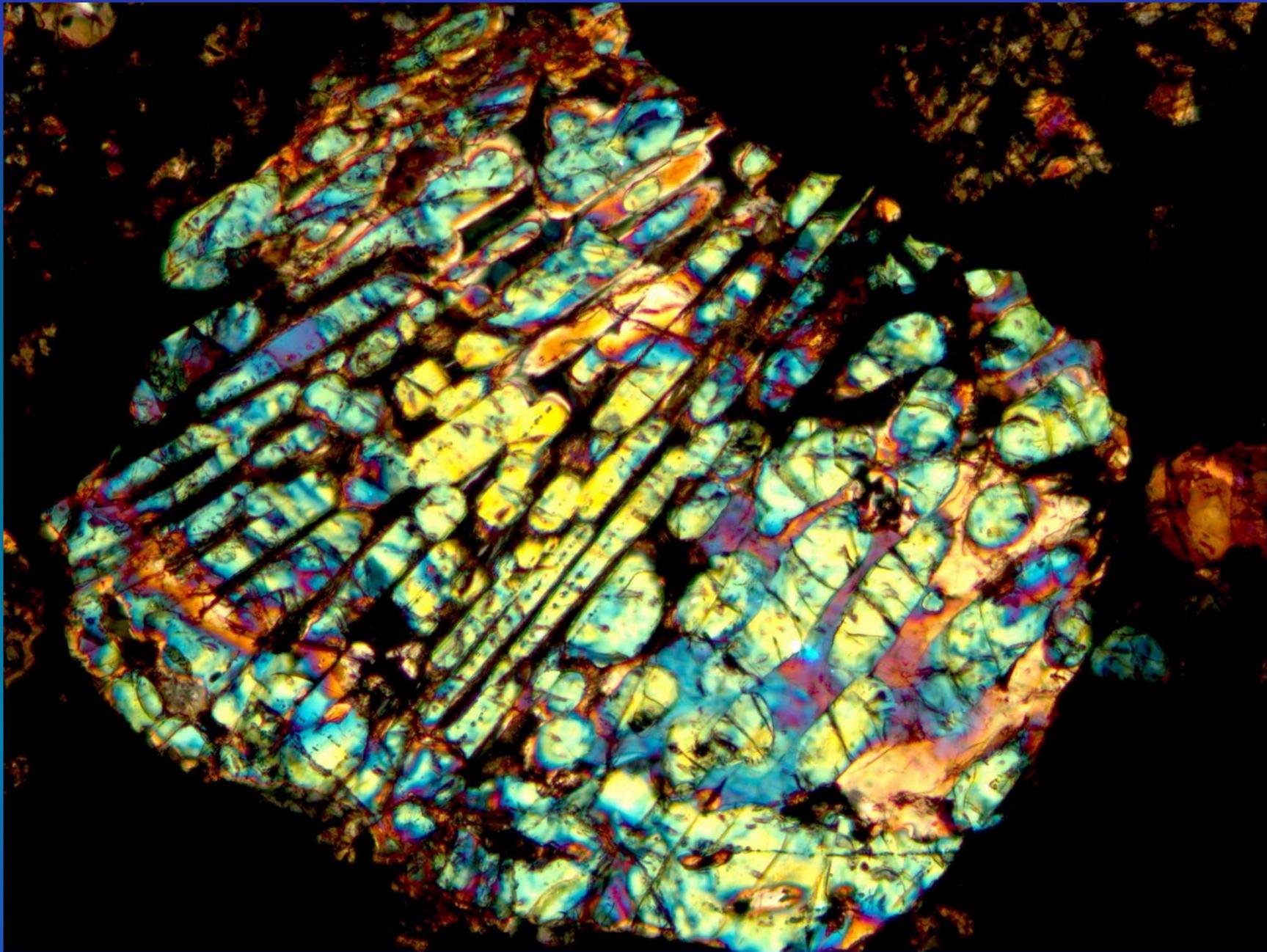
Prairie Dog Creek (condrite ordinaria H3)



Carraweena (condrite ordinaria L3)



Mezo - Madaras (condrite ordinaria L3)



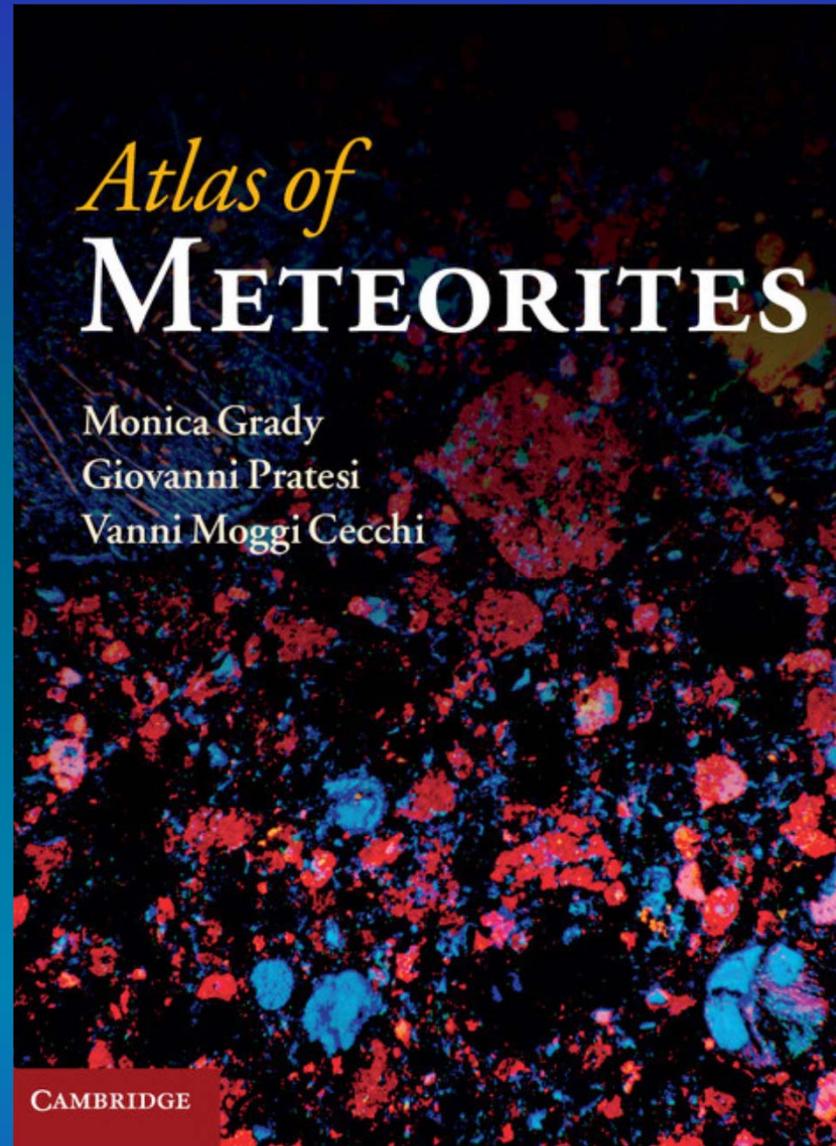
Vigarano (condrite carbonacea CV3.3)

È tutto già noto? Niente affatto!!!

- 71 acondriti su 2216 sono citate nel Bollettino come "ungrouped achondrites"
- 62 condriti su 2937 come "ungrouped chondrites"
- 117 su 1122 metalliche come "ungrouped irons"

- Quindi:

**C'è tanto lavoro da fare
ancora!!**



**Grazie per l'attenzione e....
Buona Caccia!!**