

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**

**Giovanni B. Andreozzi**

DIPARTIMENTO di  
SCIENZE della TERRA



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

**Settimana della Scienza**  
**24 Settembre 2012**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



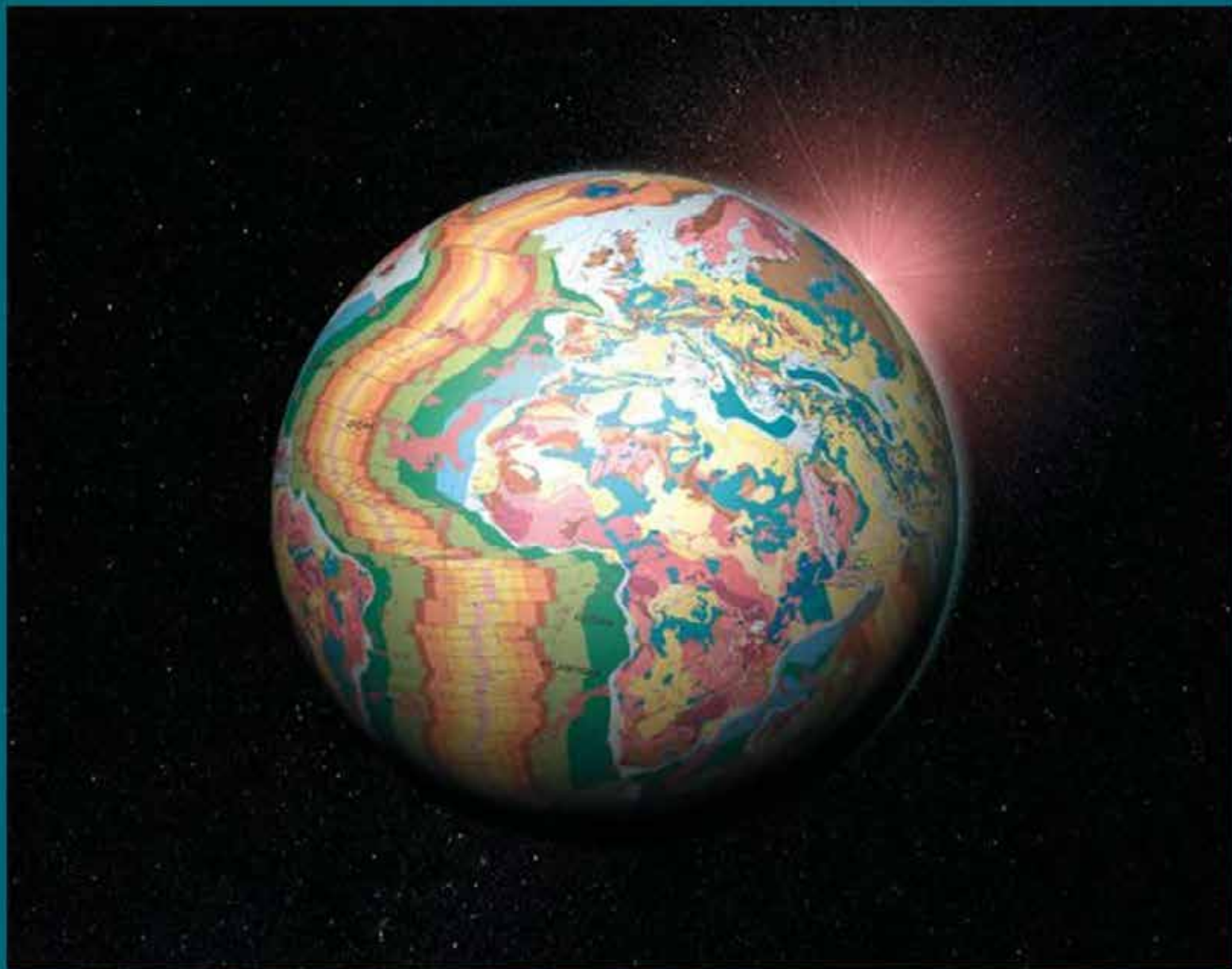
**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**



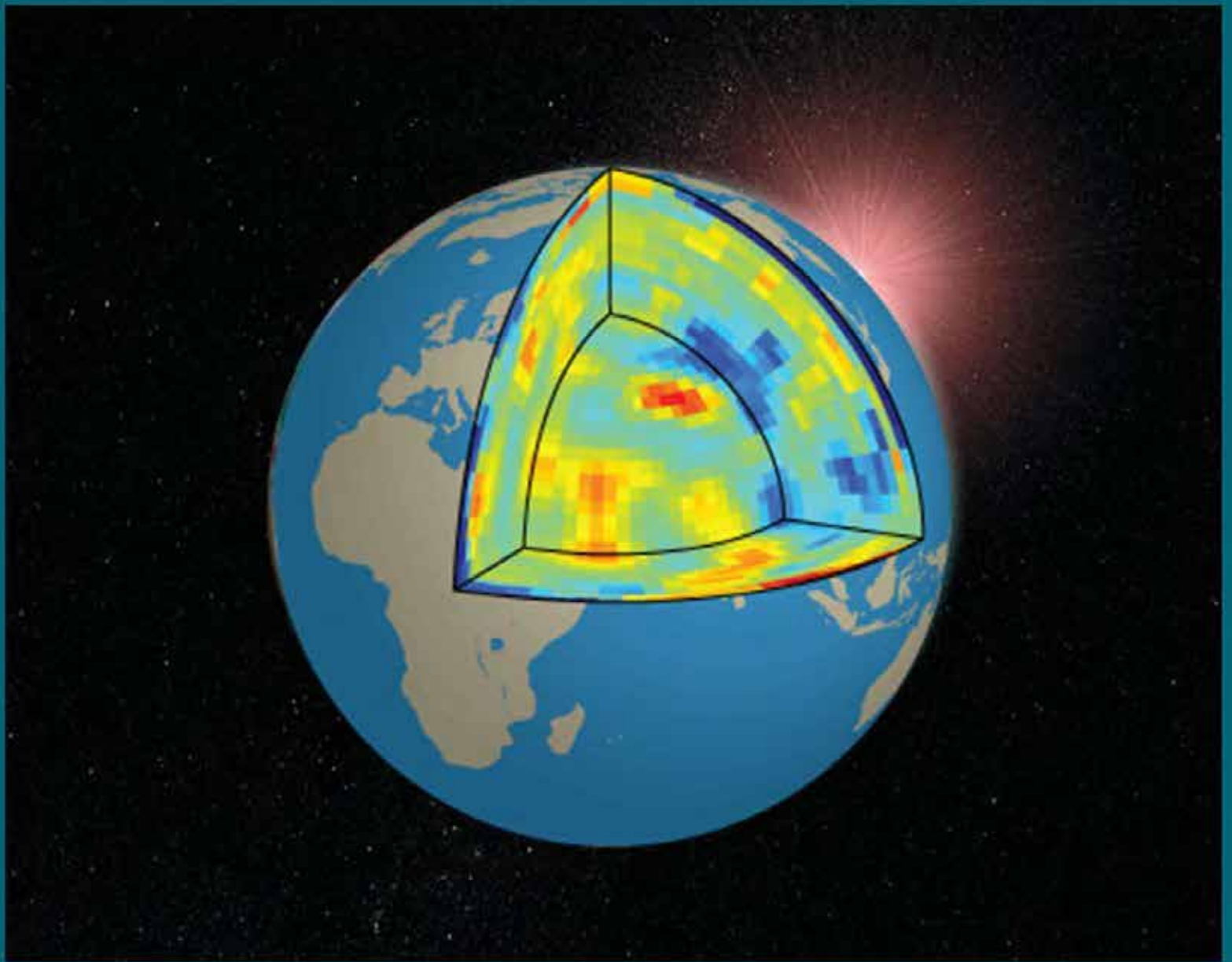
**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**



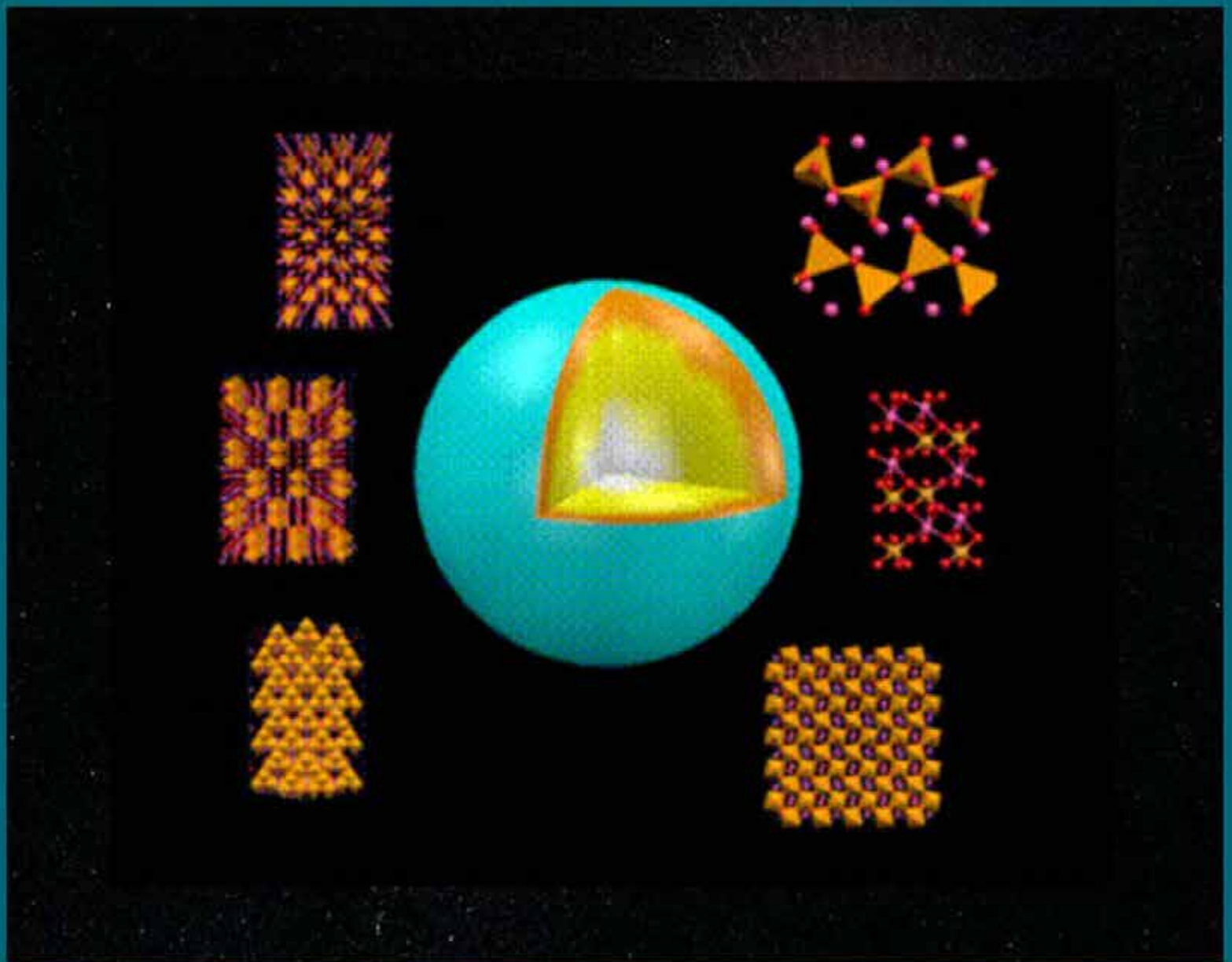
**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**



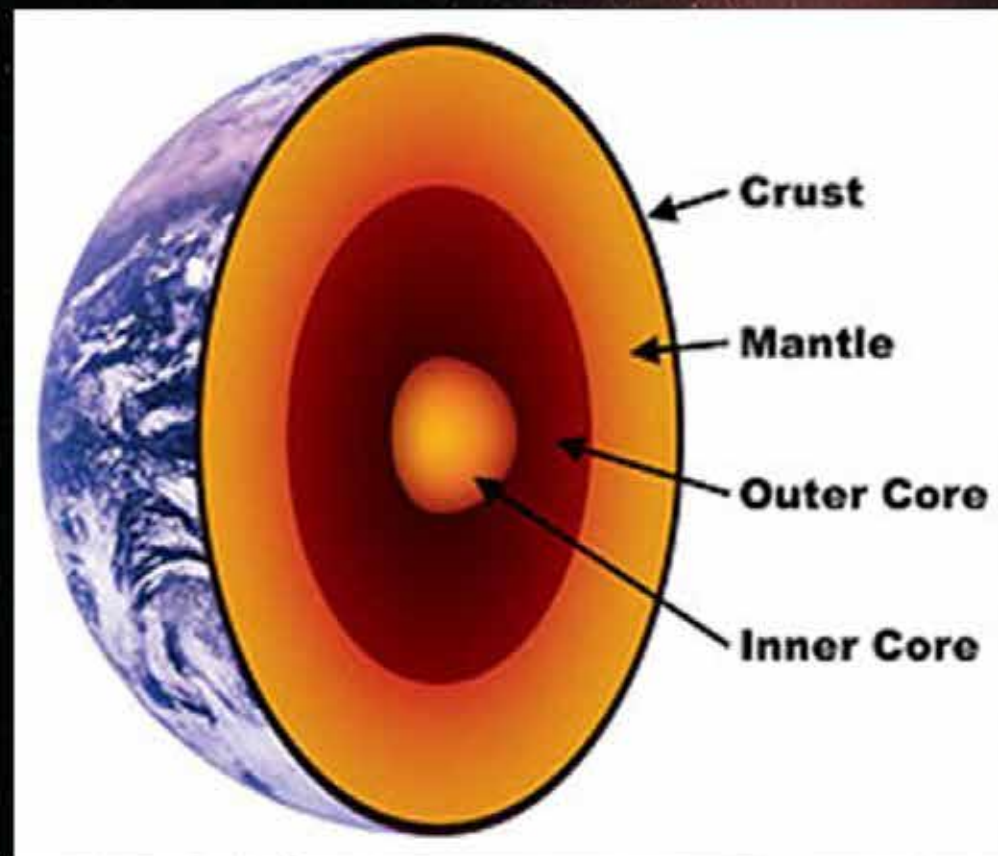
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

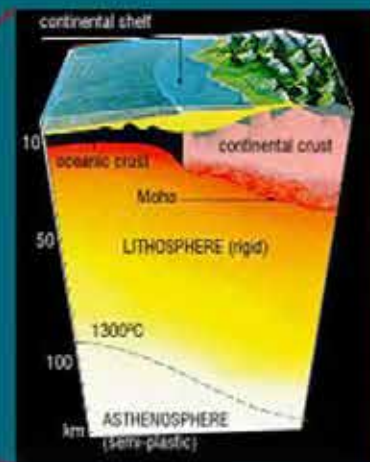
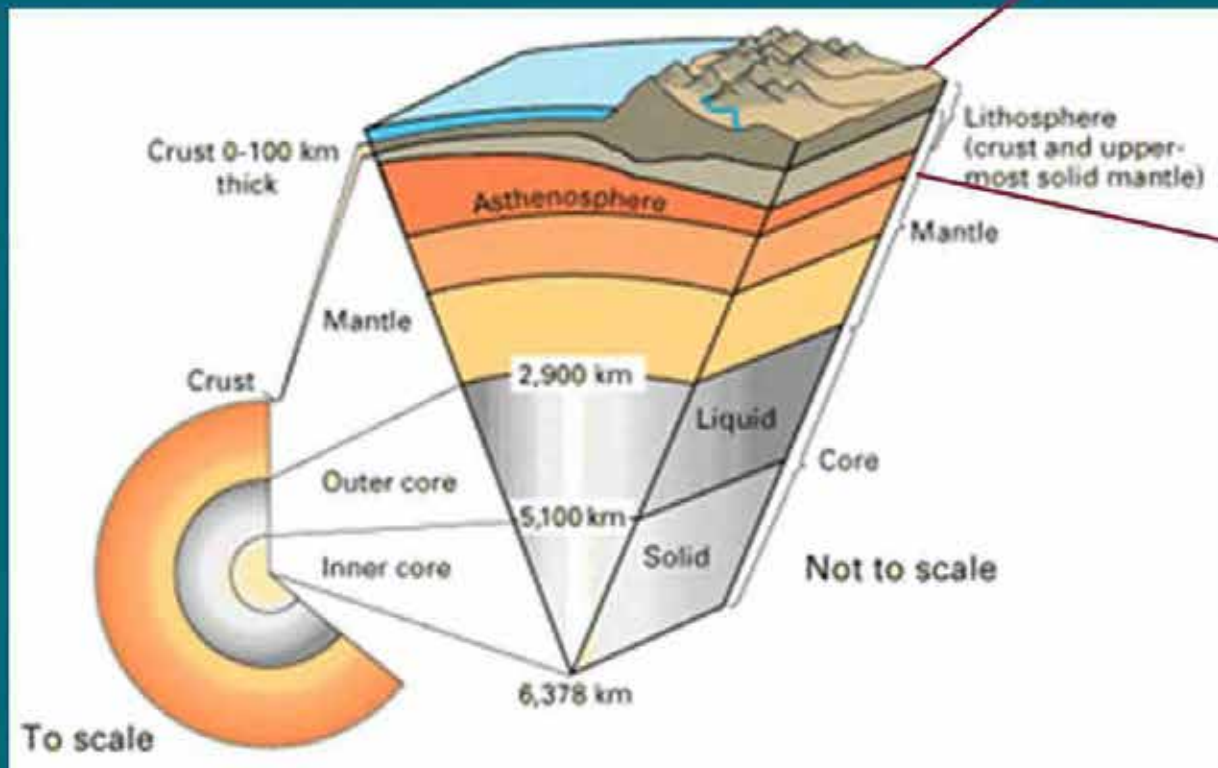
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

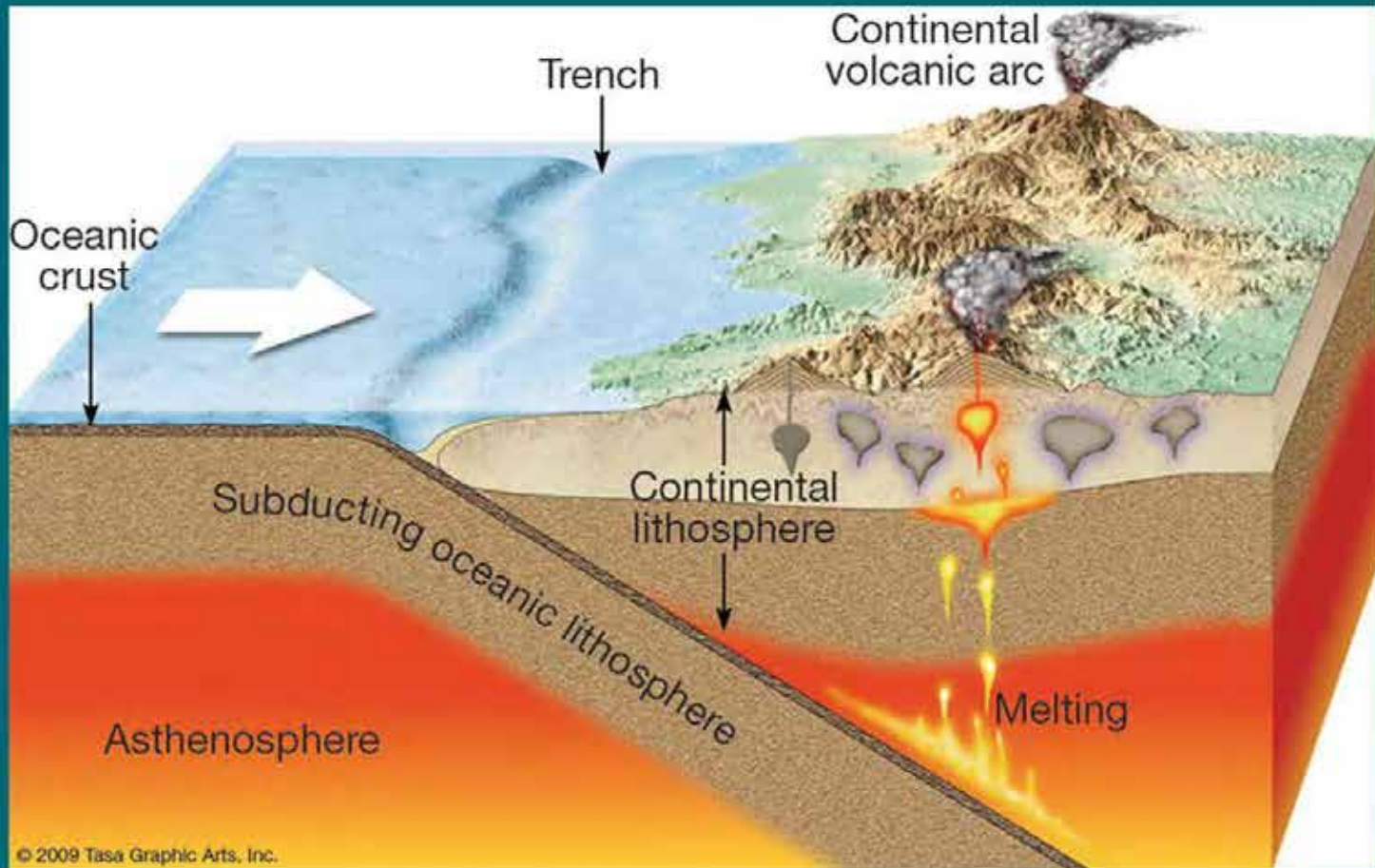
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra





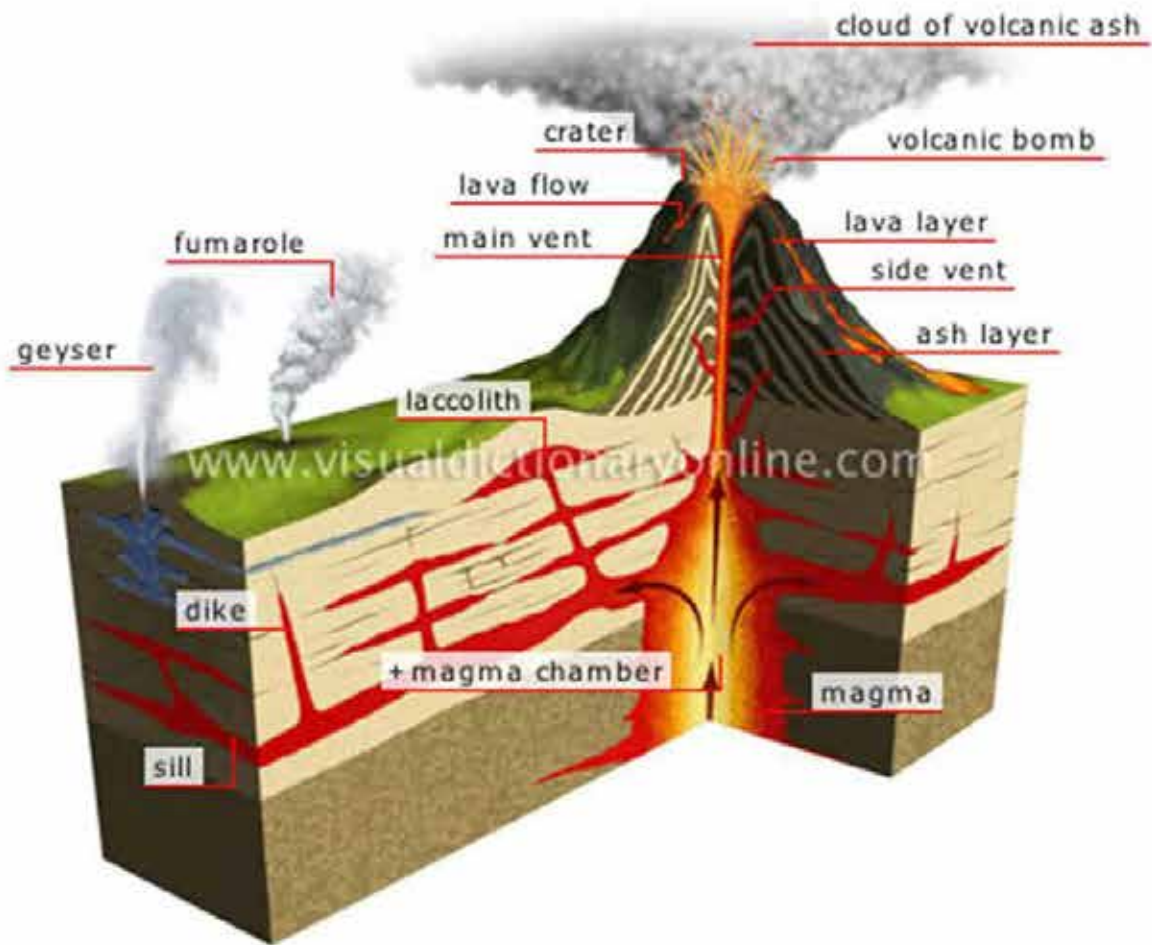
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



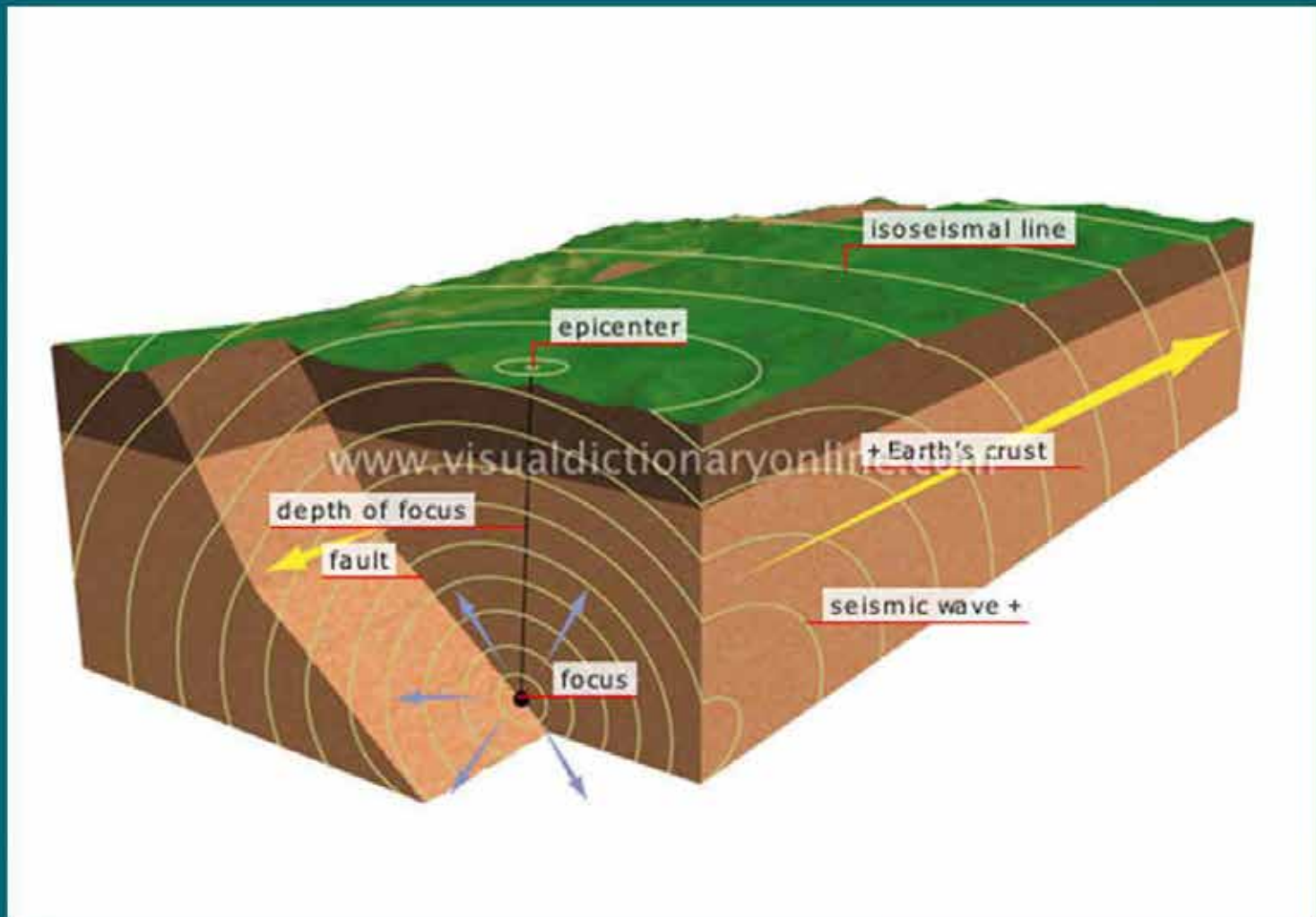
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



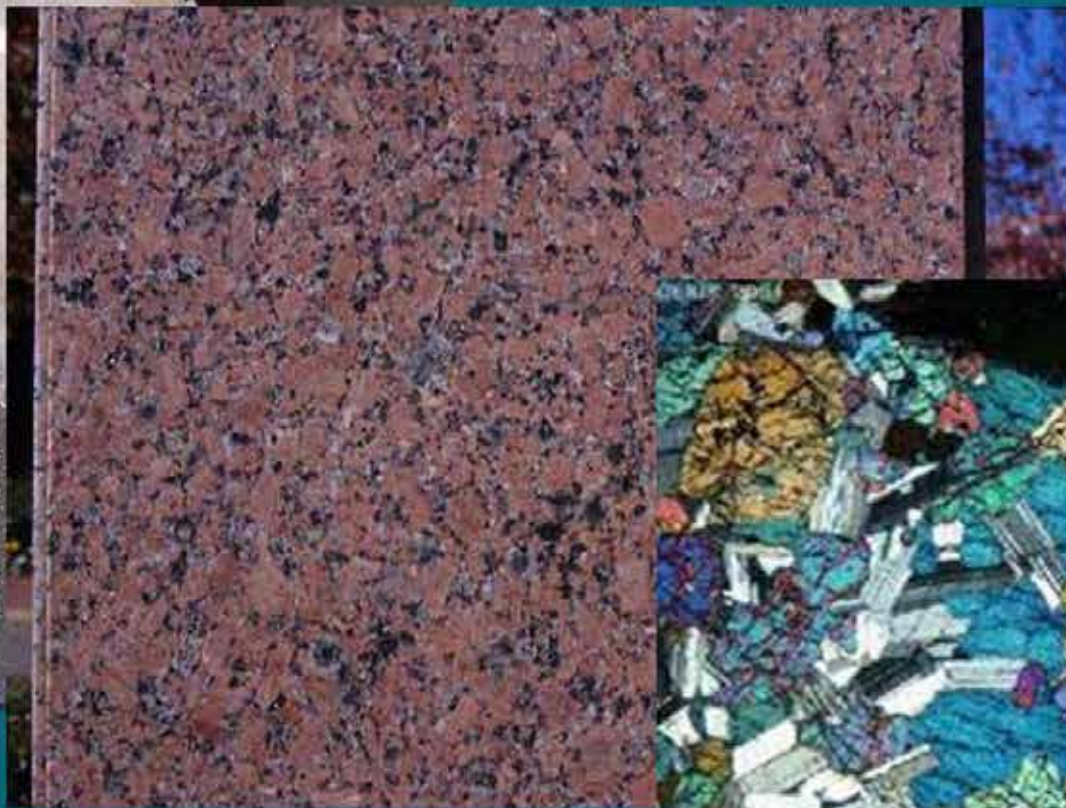
**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**



**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**



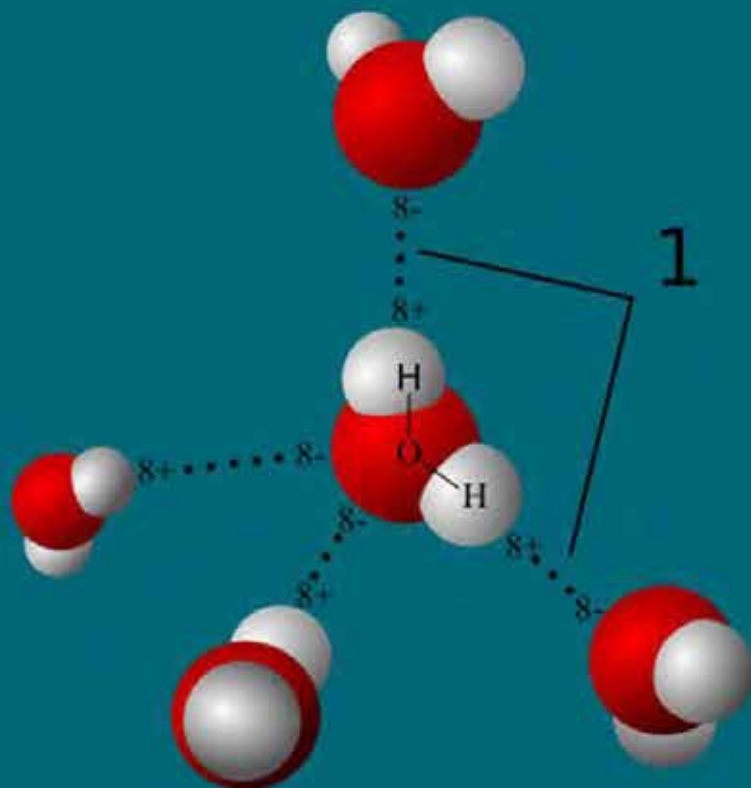
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

Definizione di minerale:

*Un minerale è una sostanza naturale,  
generalmente solida e inorganica,  
con struttura cristallina e  
composizione chimica definita (ma non fissa)*





G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

Nella primavera 1912 **Max von Laue, Paul Knipping e Walter Friedrich** eseguirono il primo esperimento esplorativo sulla diffrazione dei raggi X utilizzando un **crystallo sintetico di solfato di rame,  $\text{CuSO}_4$** .

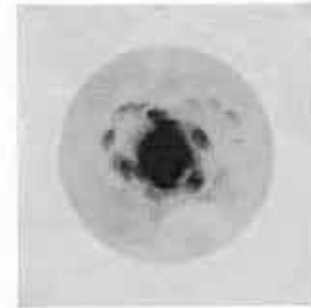


Fig. 4-4(1). Friedrich & Knipping's first successful diffraction photograph.

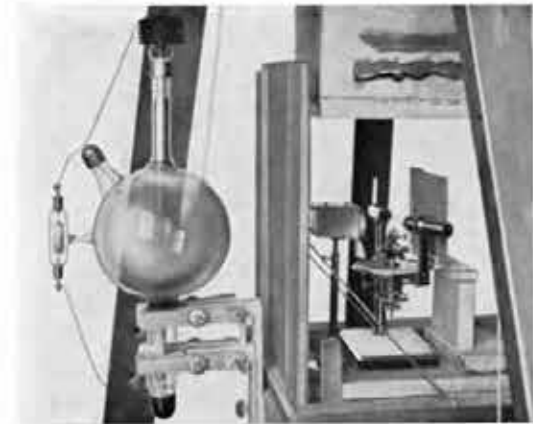
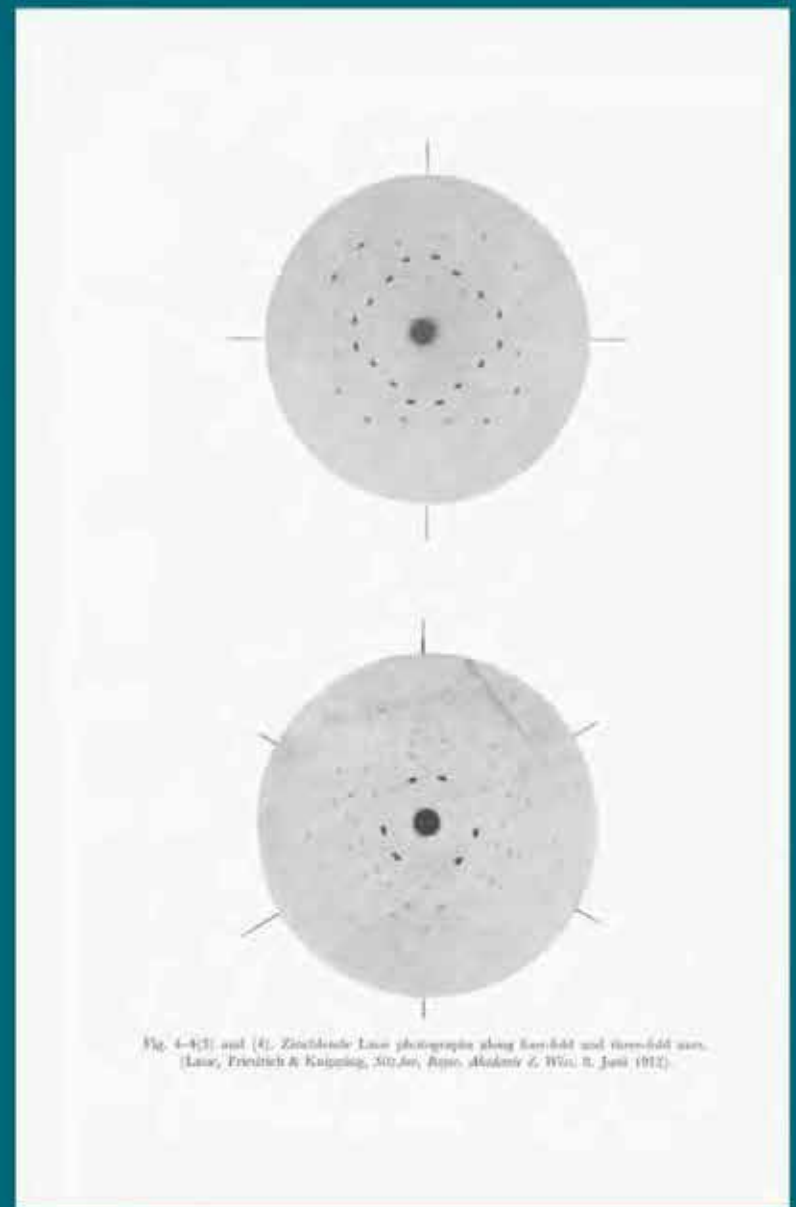


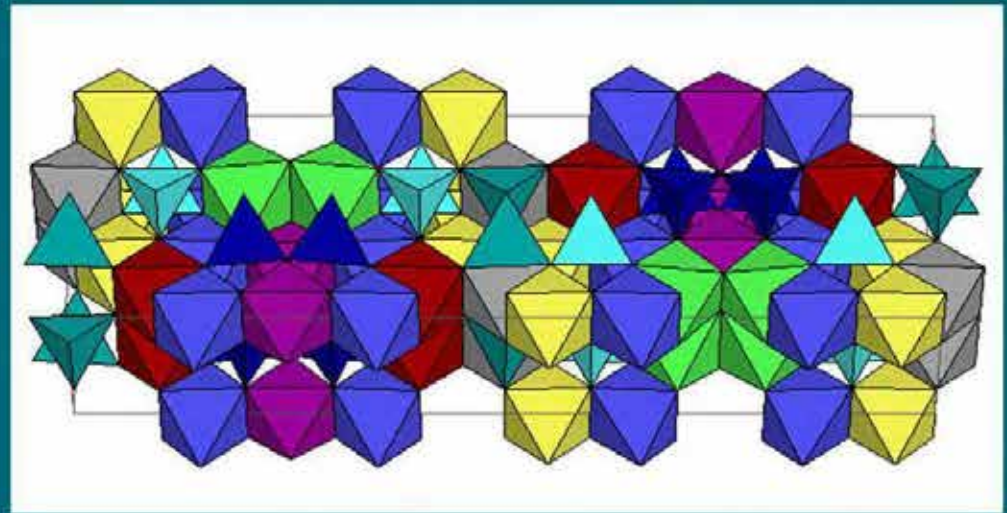
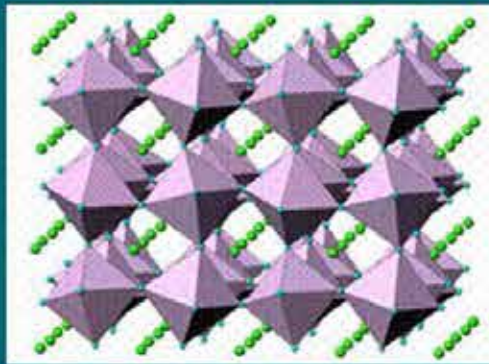
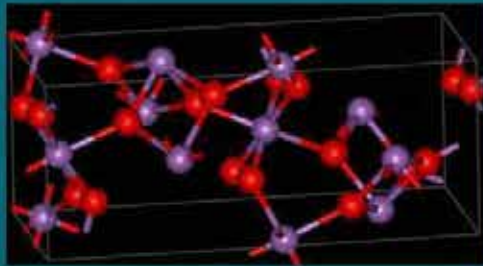
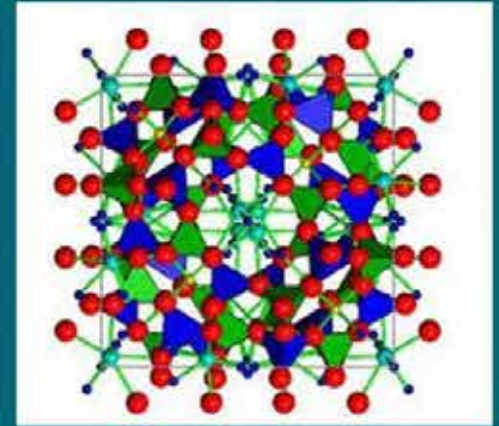
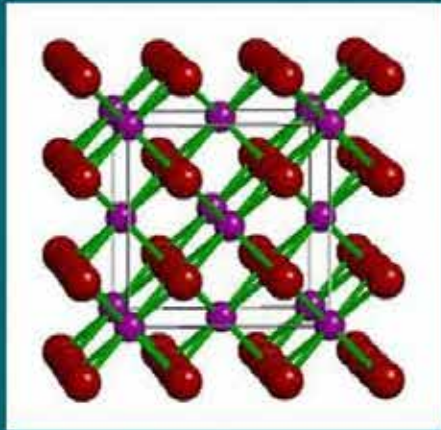
Fig. 4-4(2). Friedrich & Knipping's improved set-up.

L'esperimento fu perfezionato e ripetuto utilizzando un **crystallo naturale di sfalerite, ZnS**.



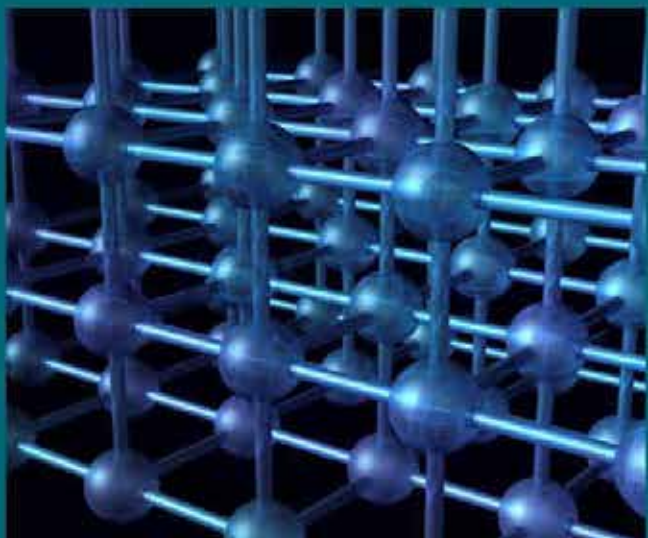
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



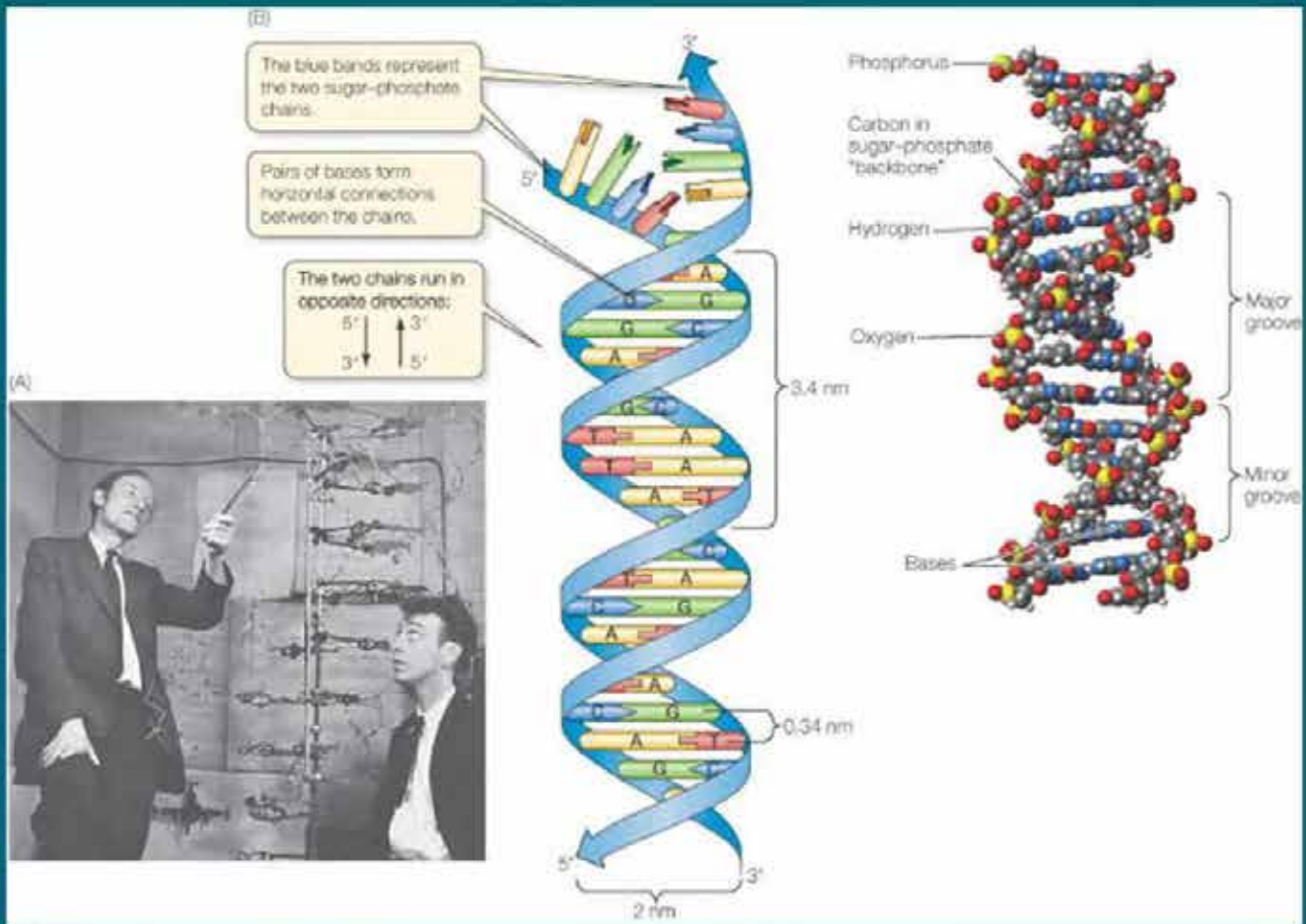
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



G.B. Andreozzi

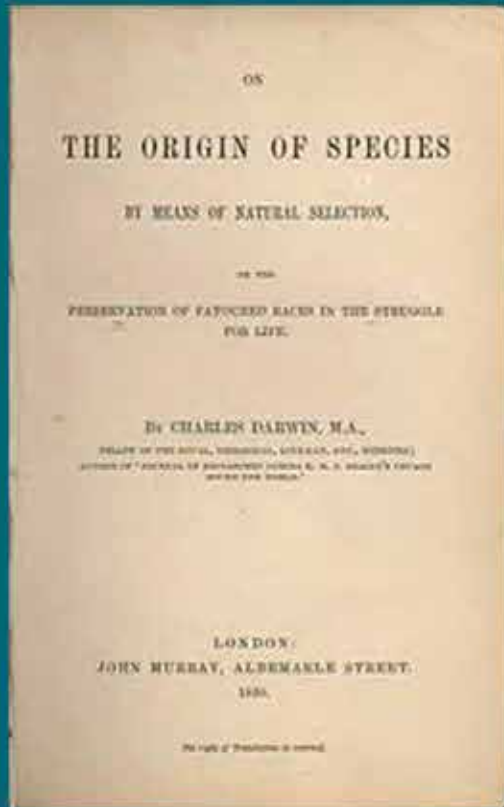
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# Minerali: Evoluzione?



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



«C'è qualcosa di grandioso in questa idea della vita, con le sue infinite potenzialità, originariamente infuse in pochissime o in una sola forma; e, mentre questo pianeta ha continuato a roteare seguendo le immutabili leggi di gravità, da un inizio così semplice infinite forme, sempre più belle e meravigliose, si sono evolute e tuttora si evolvono.» C. Darwin, 1859

**G.B. Andreozzi**

**Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra**





"L'evoluzione dei minerali è ovviamente diversa dall'evoluzione darwiniana - i minerali non mutano, non si riproducono né competono come gli organismi viventi. Tuttavia, sia la varietà sia l'abbondanza relativa dei minerali è cambiata drasticamente nei circa 4.5 miliardi di anni della storia della Terra." R. Hazen, 2008

G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

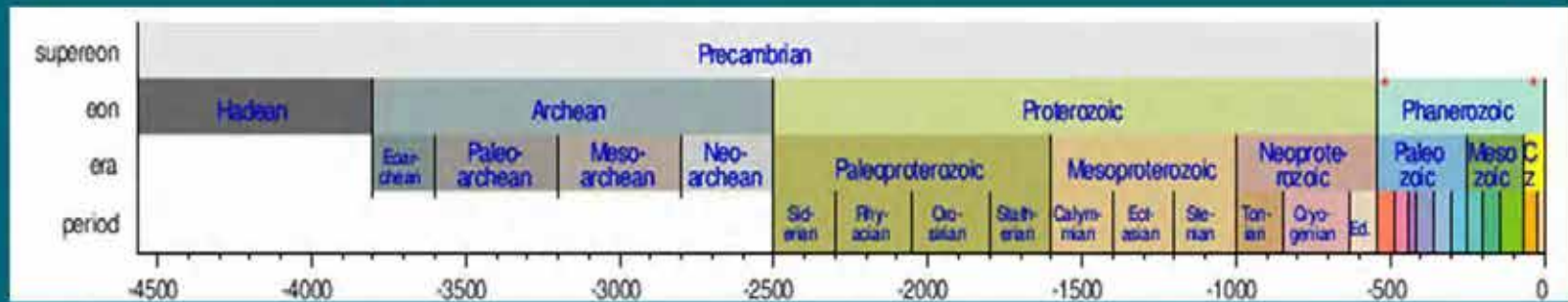
# Scala del tempo geologico

Prenebulare "Ur-minerals"

Era I - Planetary accretion

Era II - Crust and Mantle reworking

Era III - Biologically mediated mineralogy



G.B. Andreozzi

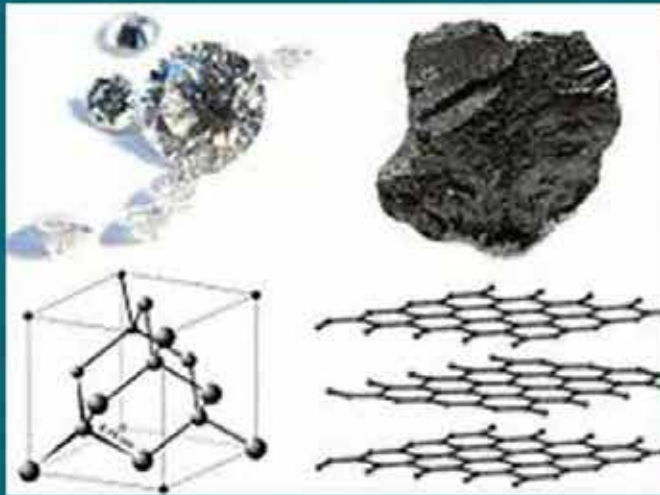
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

<b>Era/Stage</b>	<b>Age (Ga)</b>	<b>N. of mineral species</b>
<b>Prenebular "Ur-minerals"</b>	>4.6	12
<b>Era I - Planetary accretion</b>		
1. Primary chondrite minerals	>4.56	60
2. Achondrite and planetesimal alteration	>4.56 - 4.55	250
<b>Era II - Crust and Mantle reworking</b>		
3. Igneous rock evolution	4.55 - 4.0	350-500
4. Granite and pegmatite formation	4.0 - 3.5	1000
5. Plate tectonics	>3.0	1500
<b>Era III - Biologically mediated mineralogy</b>		
6. Anoxic biological world	3.9 - 2.5	1500
7. Great Oxidation Event	2.5 - 1.9	>4000
8. Intermediate Ocean	1.9 - 1.0	>4000
9. Snowball Earth events	1.0 - 0.54	>4000
10. Phanerozoic era of biomineralization	0.54 - present	~5000

## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

**elementi nativi: diamante, grafite (C)**



Diametro: 4000 Km

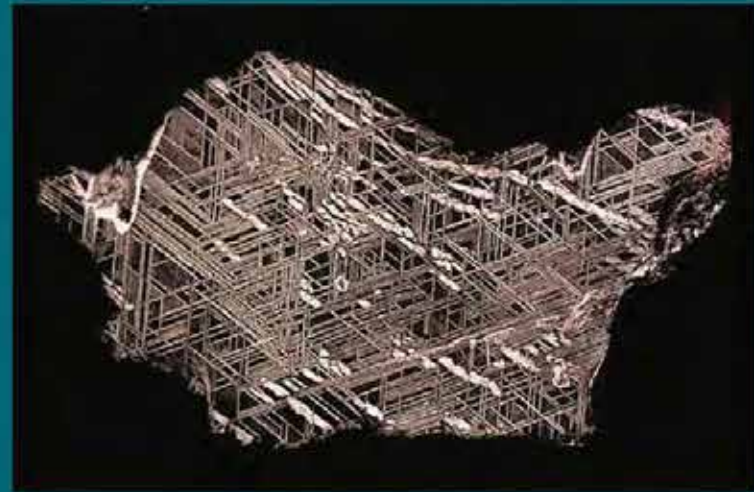
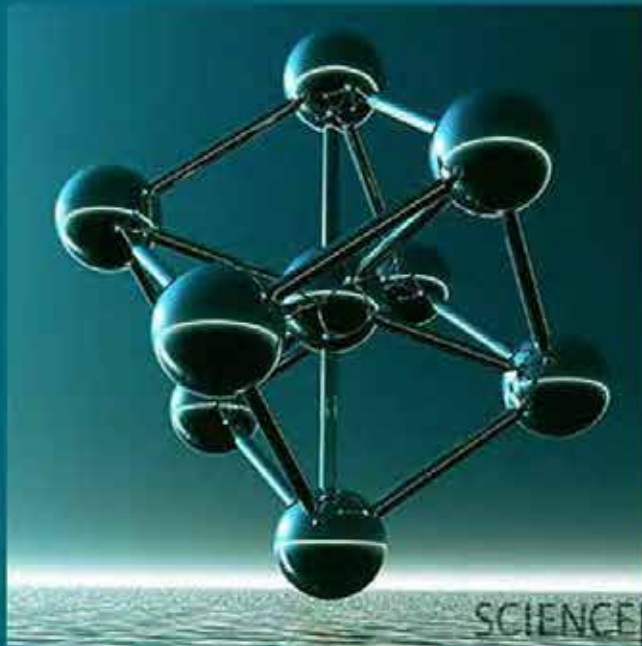
Distanza: 50 anni luce

## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

elementi nativi: diamante, grafite (C)

leghe metalliche: **kamacite (Fe,Ni)**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

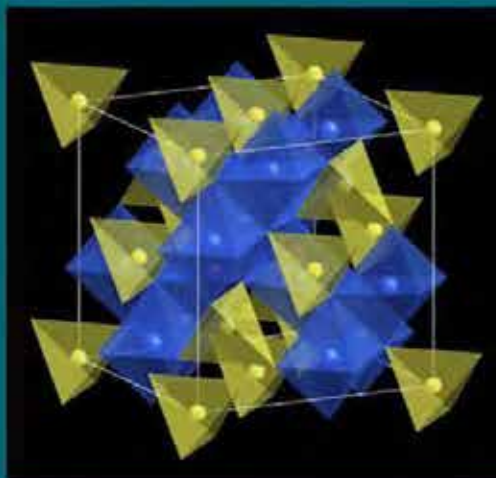
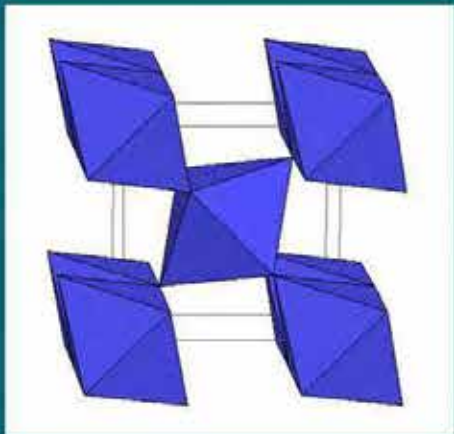
elementi nativi: diamante, grafite (C)

leghe metalliche: kamacite (Fe,Ni)

carburi: moissanite (SiC), cohenite (Fe<sub>3</sub>C)

nitruri: osbornite (TiN), nierite (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

**ossidi: rutilo (TiO<sub>2</sub>), corindone (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), spinello (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

elementi nativi: diamante, grafite (C)

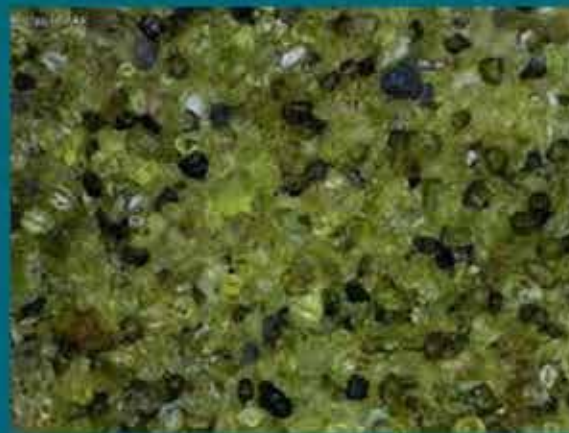
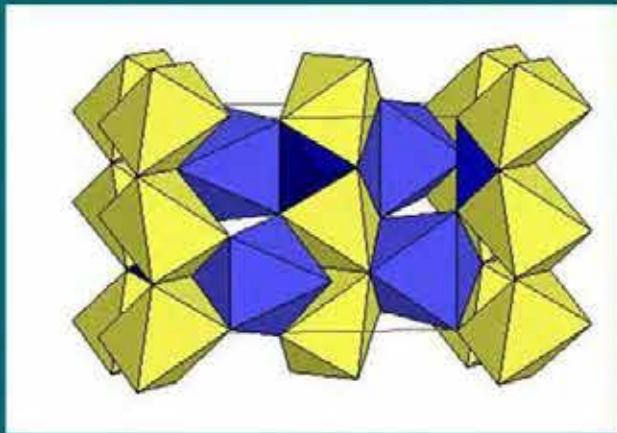
leghe metalliche: kamacite (Fe,Ni)

carburi: moissanite (SiC), cohenite (Fe<sub>3</sub>C)

nitruri: osbornite (TiN), nierite (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)

ossidi: rutilo (TiO<sub>2</sub>), corindone (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), spinello (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

**silicati: forsterite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), perovskite-MgSiO<sub>3</sub>**



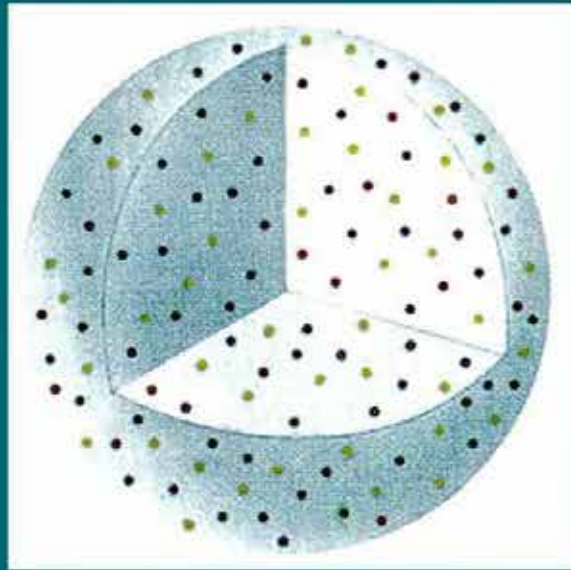
G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

<b>Era/Stage</b>	<b>Age (Ga)</b>	<b>N. of mineral species</b>
<b>Prenebular "Ur-minerals"</b>	>4.6	12
<b>Era I - Planetary accretion</b>		
1. Primary chondrite minerals	>4.56	60
2. Achondrite and planetesimal alteration	>4.56 - 4.55	250
<b>Era II - Crust and Mantle reworking</b>		
3. Igneous rock evolution	4.55 - 4.0	350-500
4. Granite and pegmatite formation	4.0 - 3.5	1000
5. Plate tectonics	>3.0	1500
<b>Era III - Biologically mediated mineralogy</b>		
6. Anoxic biological world	3.9 - 2.5	1500
7. Great Oxidation Event	2.5 - 1.9	>4000
8. Intermediate Ocean	1.9 - 1.0	>4000
9. Snowball Earth events	1.0 - 0.54	>4000
10. Phanerozoic era of biomineralization	0.54 - present	~5000



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



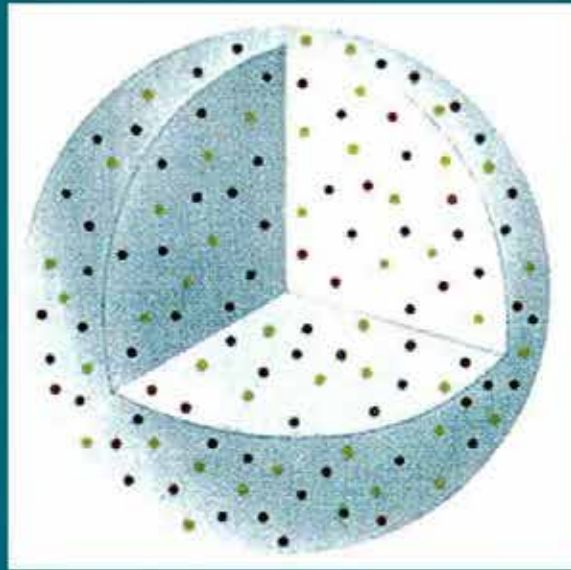
Fase 1



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



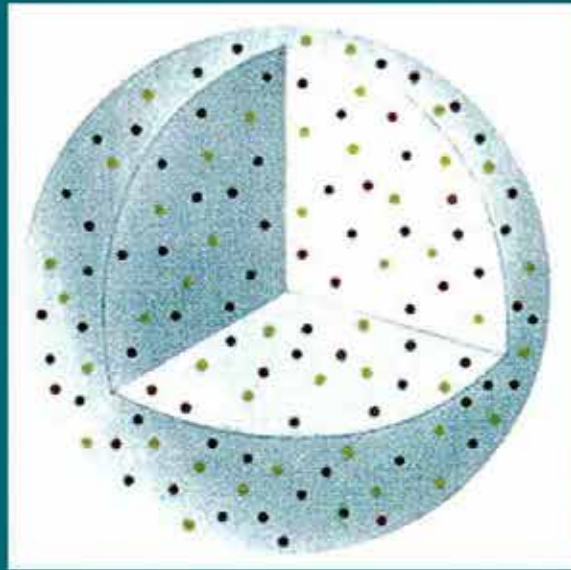
Fase 1



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



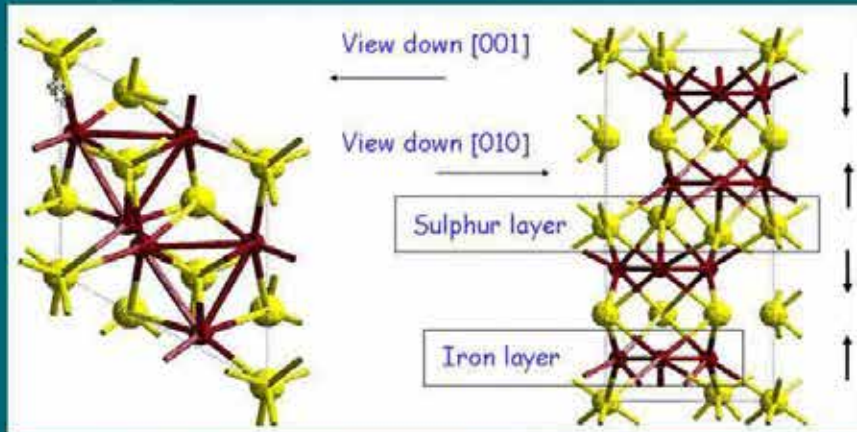
## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

olivine

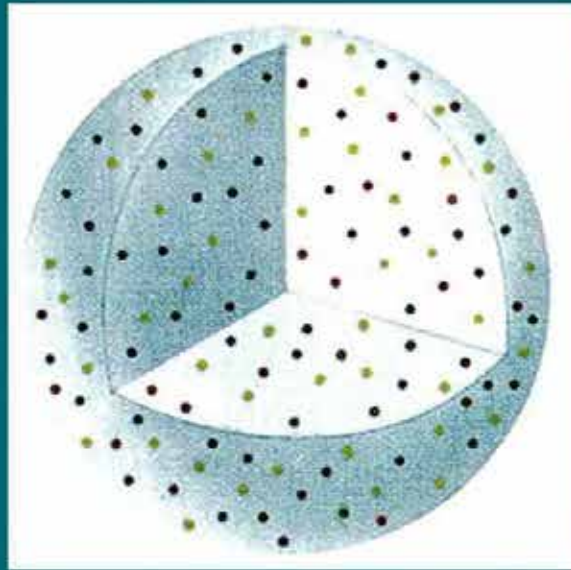
**troilite (FeS)**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

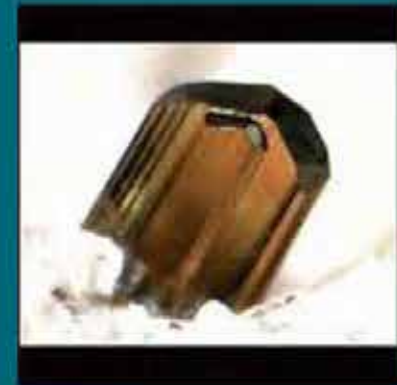
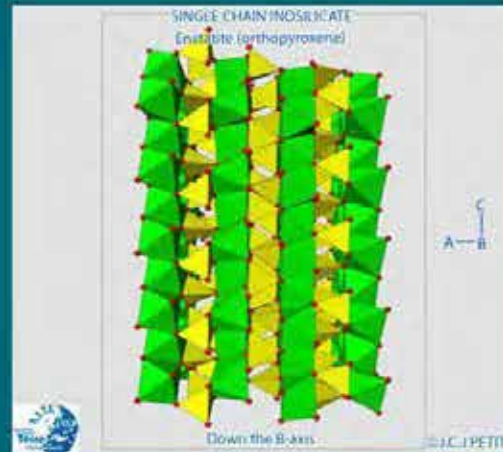
leghe metalliche ferro-nichel

olivine

troilite (FeS)

**bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)**

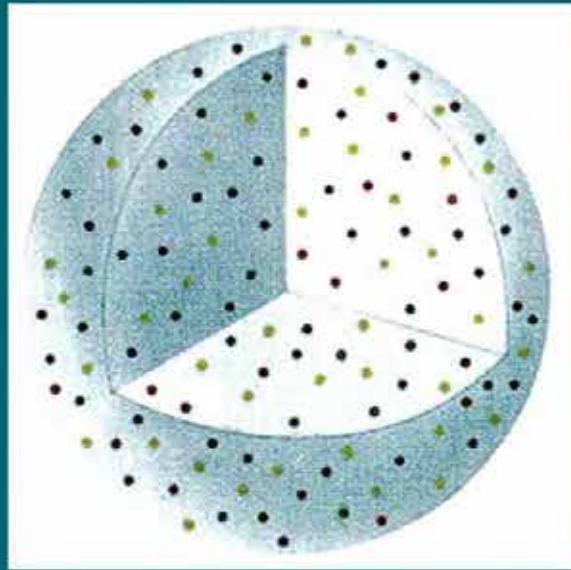
**ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

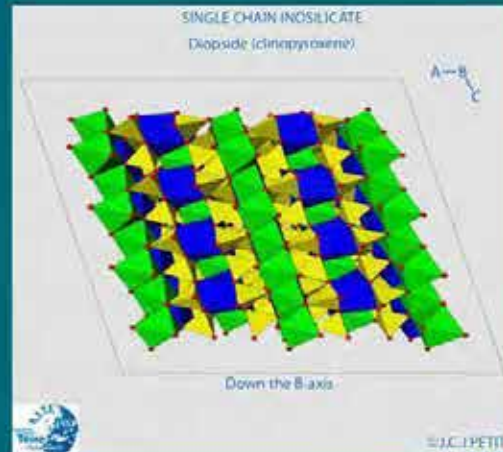
olivine

troilite (FeS)

bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)

ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)

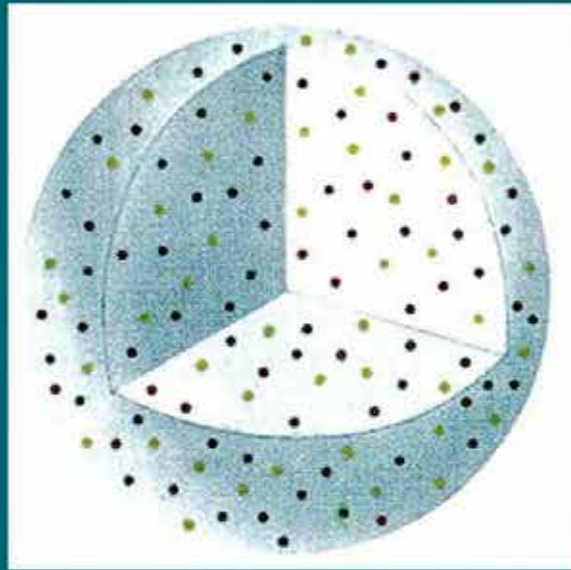
**pigeoniti (clinopirosseni Ca,Mg,Fe)**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

olivine

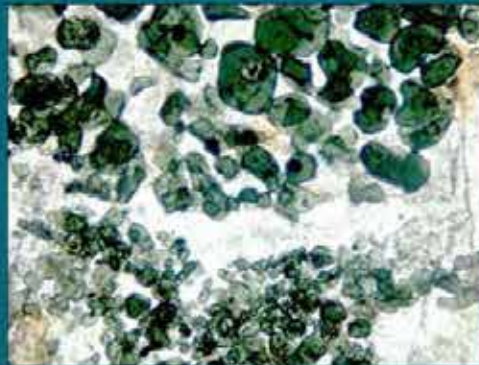
troilite (FeS)

bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)

ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)

pigeoniti (clinopirosseni Ca,Mg,Fe)

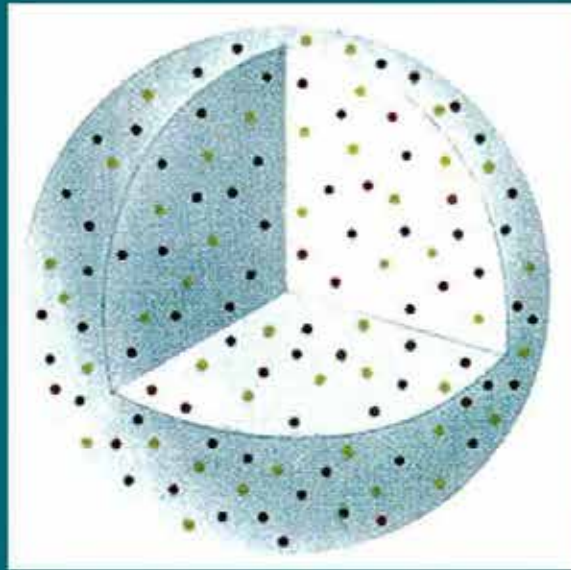
spinello - ercinite  $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

olivine

troilite (FeS)

bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)

ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)

pigeoniti (clinopirosseni Ca,Mg,Fe)

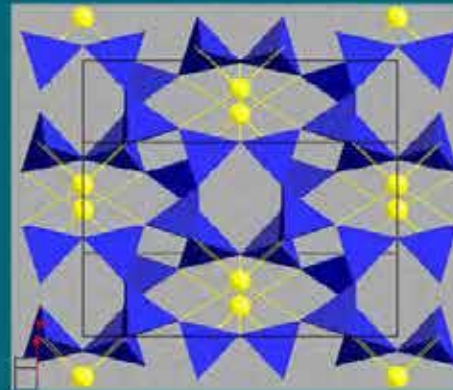
spinello - ercinite  $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$

meliliti  $(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 - \text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7)$

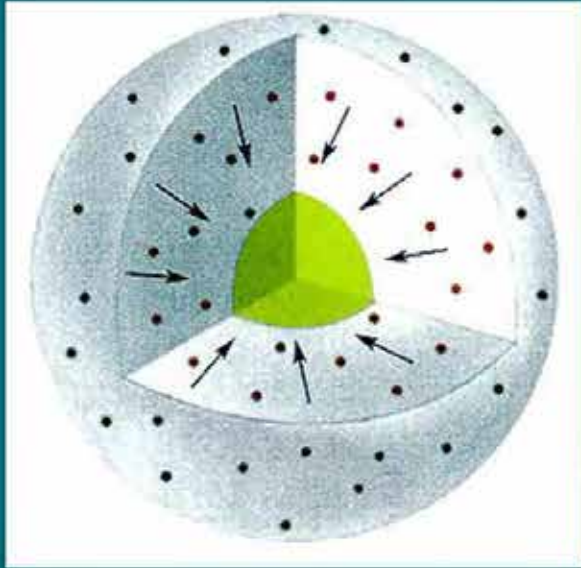
anortite  $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$

.....

**TOT = 60 minerali**



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Separazione  
del nucleo

Minerali delle  
acondriti

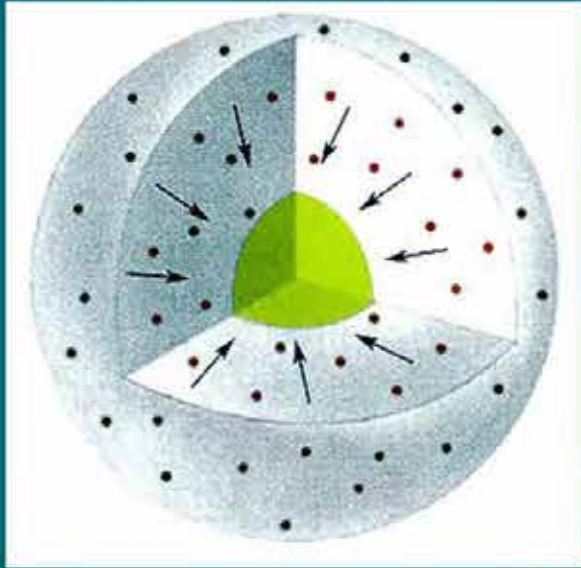


G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



## I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



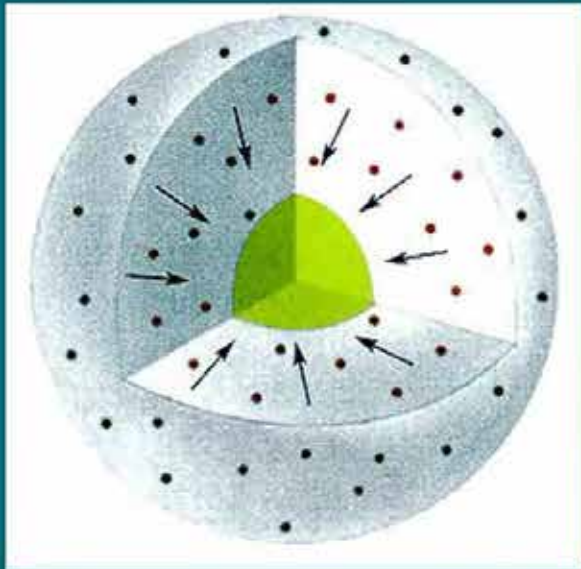
### Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



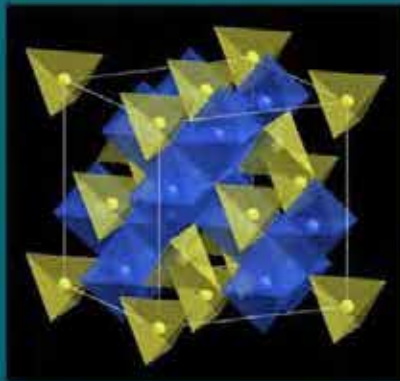
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

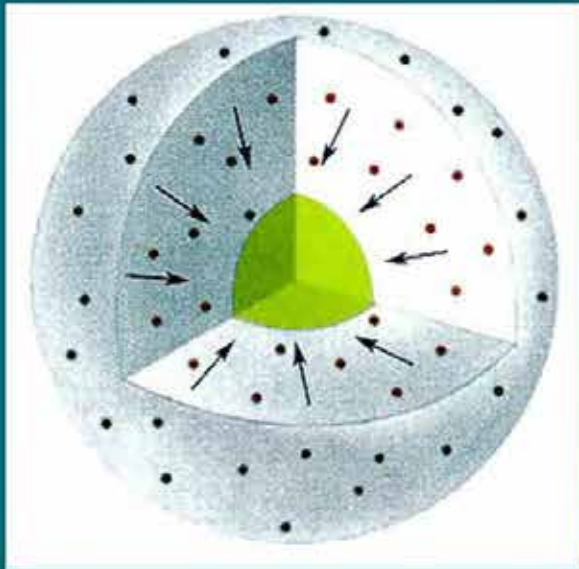
Formazione di nuovi minerali:  
**magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



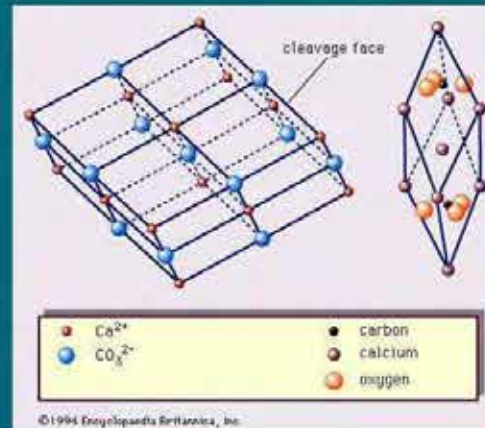
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

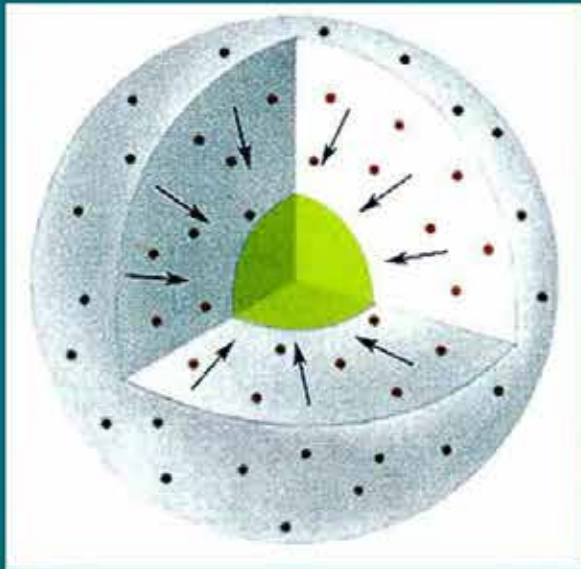
Formazione di nuovi minerali:  
**calcite  $\text{CaCO}_3$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



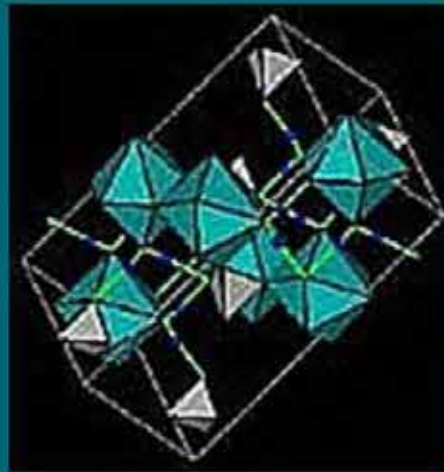
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

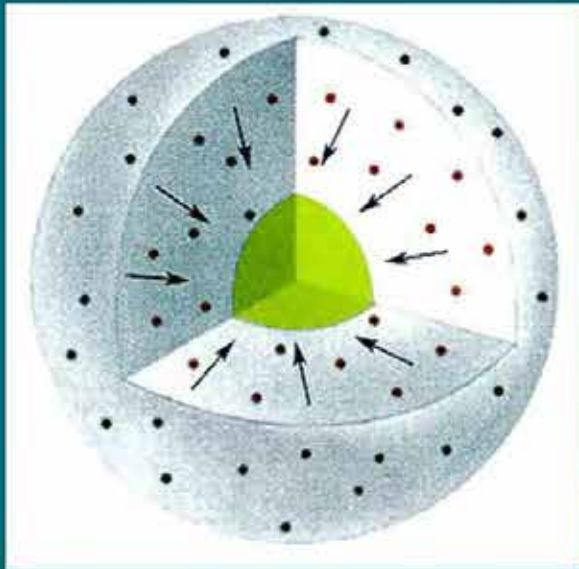
Formazione di nuovi minerali:  
**gesso  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



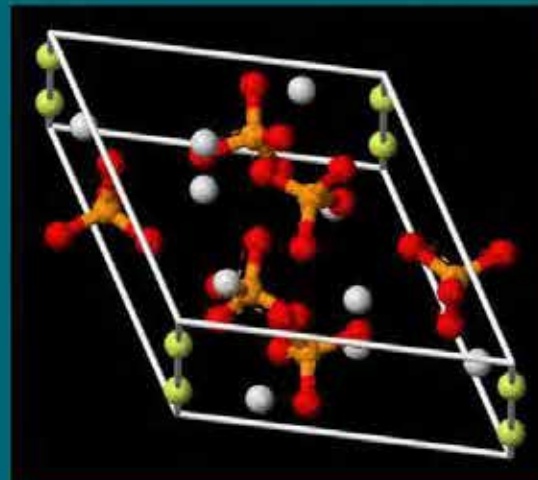
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

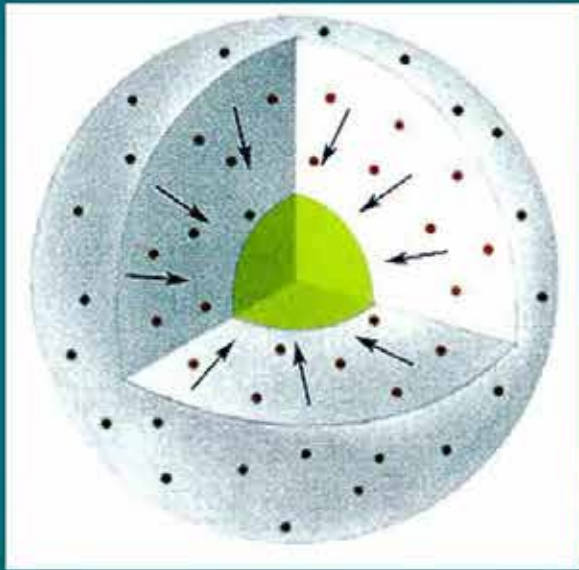
Formazione di nuovi minerali:  
**apatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



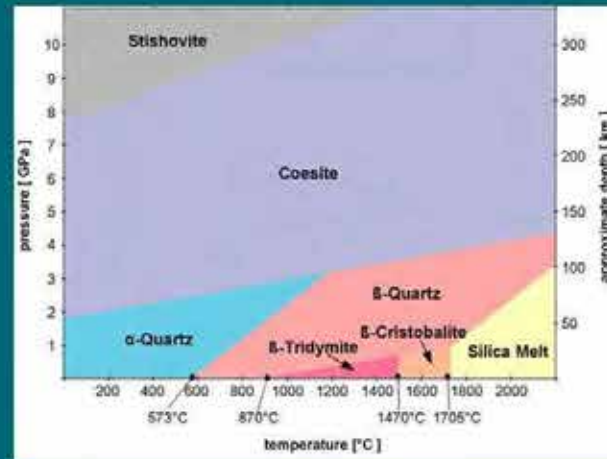
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

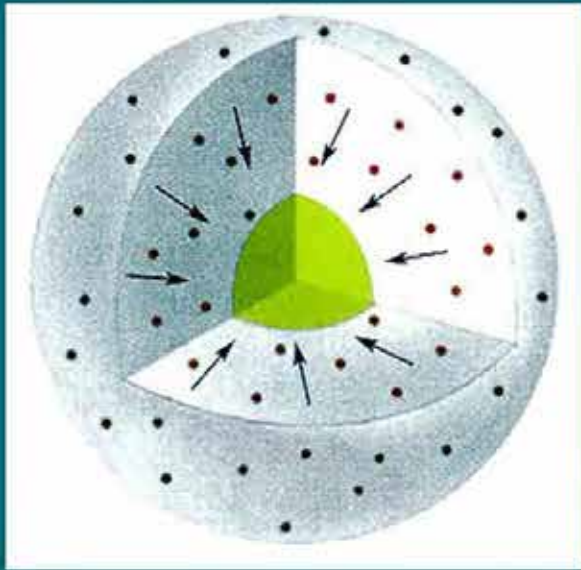
Formazione di nuovi minerali:  
**quarzo  $\text{SiO}_2$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



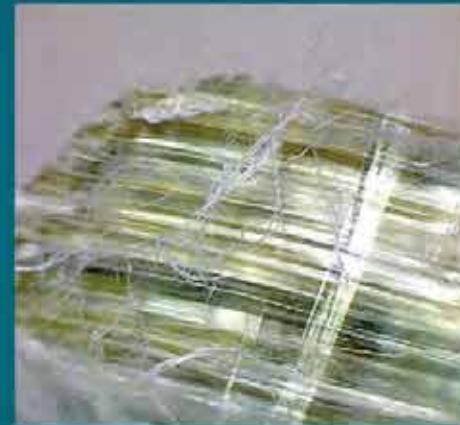
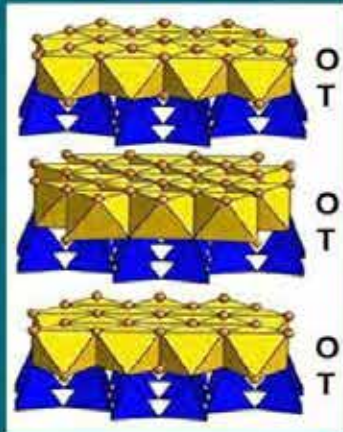
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

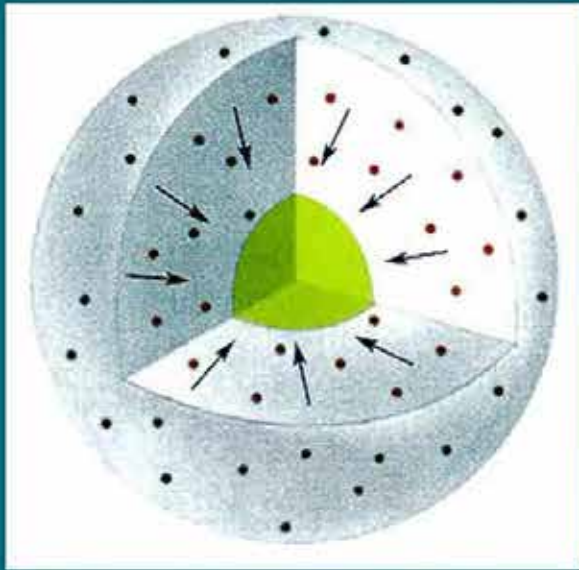
Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

Formazione di nuovi minerali:  
**crisotilo  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$**



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

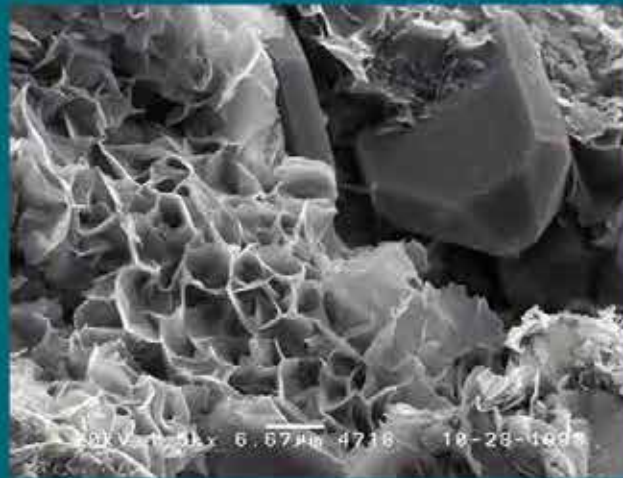
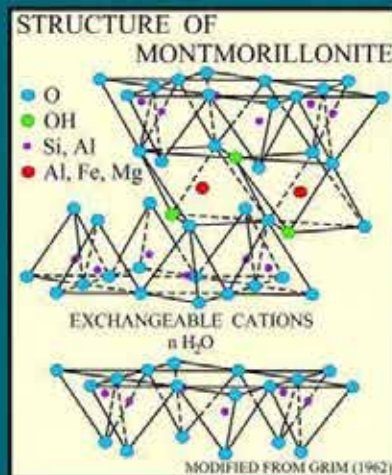
Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

Formazione di nuovi minerali:

**montmorillonite**  $(\text{Na}, \text{Ca}_{0.5})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 n\text{H}_2\text{O}$

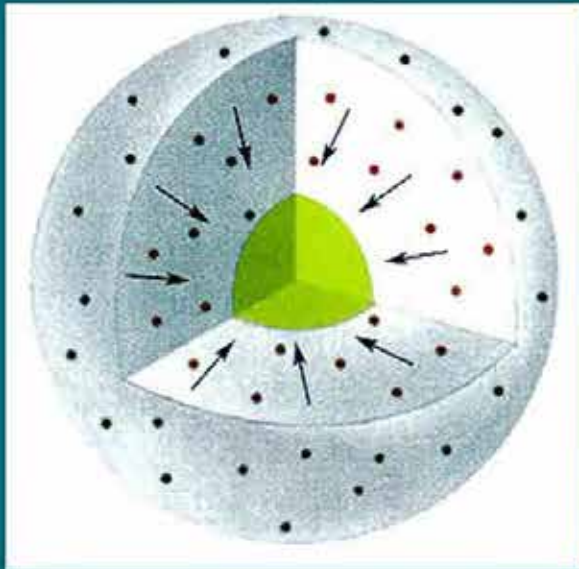


G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

Formazione di nuovi minerali:

**pirrotite**

**pentlandite**

**epsomite**

**smectite**

**maghemite**

**halite**

**albite**

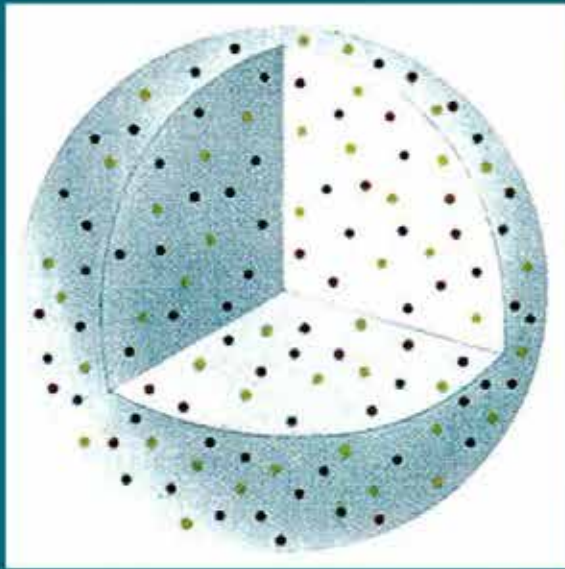
**nefelina**

**richterite**

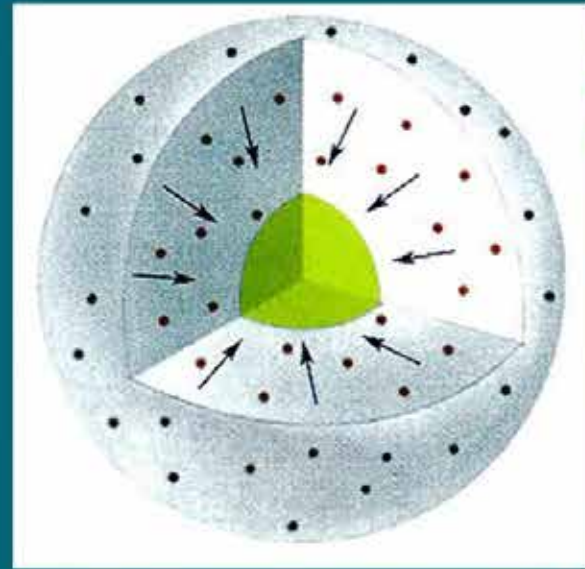
.....

**TOT = 250 minerali**

**Era I -  
Planetary  
accretion**

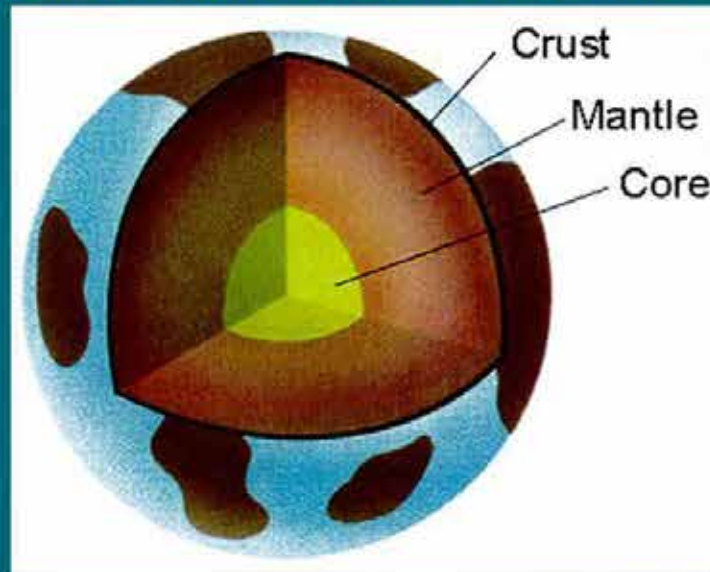


Fase 1  
60  
minerali



Fase 2  
250  
minerali

**Era II -  
Crust and Mantle  
reworking**



Fase 3  
4.55 - 4.0 Ga  
Evoluzione delle rocce ignee  
Separazione Mantello - Crosta

G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

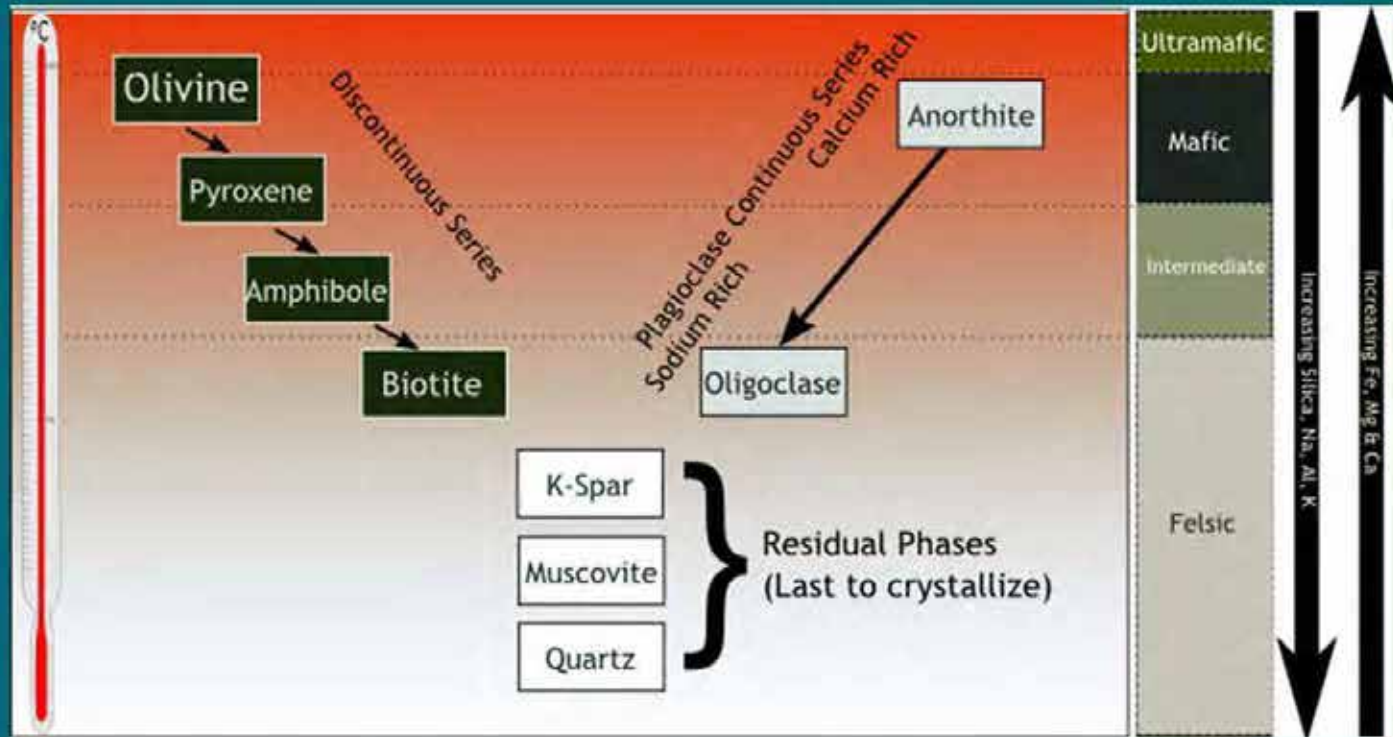
### Fase 3

4.55 - 4.0 Ga

Evoluzione delle rocce ignee

**Nuovi minerali: silicati, idrossidi, carbonati, minerali delle evaporiti**

**TOT = 500 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

### Fase 4

4.0 - 3.5 Ga

Formazione dei graniti e delle pegmatiti

**Nuovi minerali: minerali di Li, Be, B, Nb, Ta, U, REE**

**TOT = 1000 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

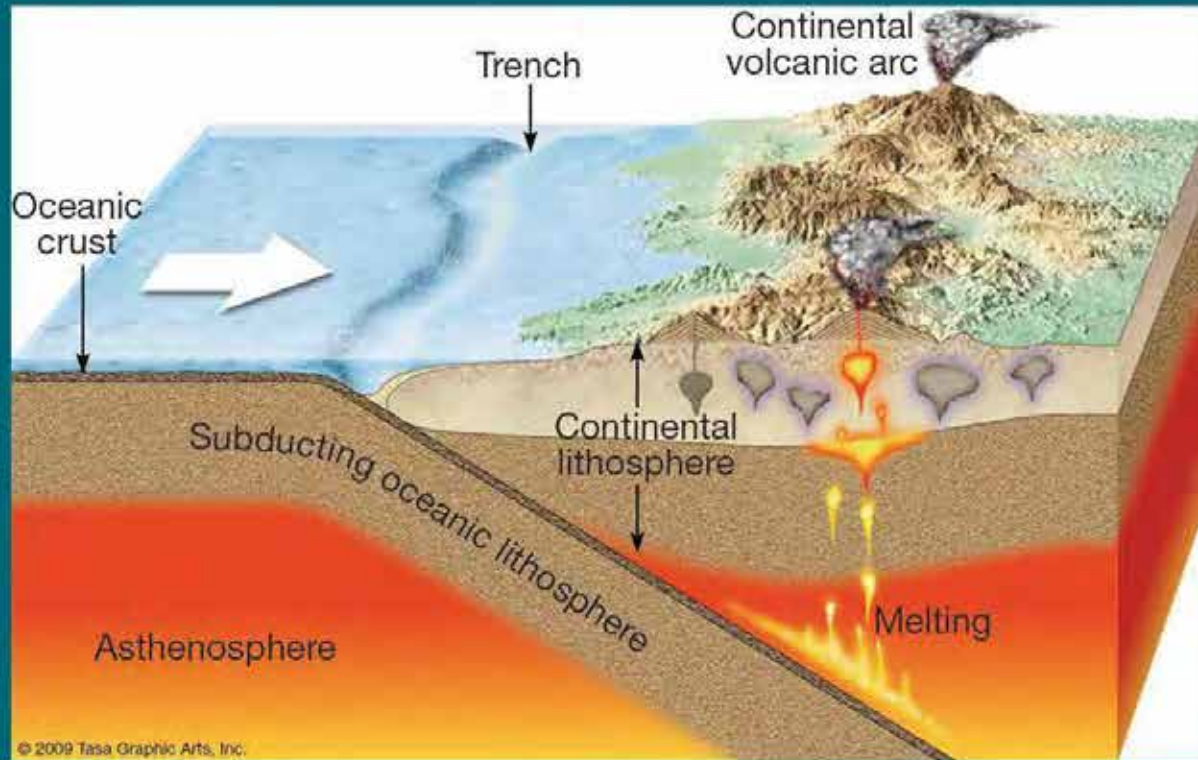
Fase 5

4.0 - 2.8 Ga

Tettonica delle placche

**Nuovi minerali: solfuri, solfosali, zircone, titanite, granati, epidoti, clorite, talco, cianite**

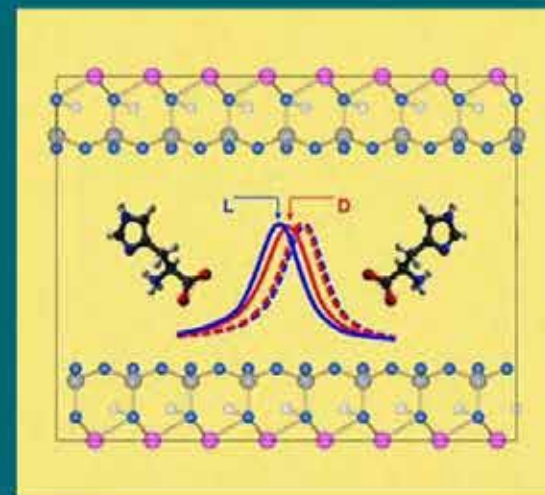
**TOT = 1500 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

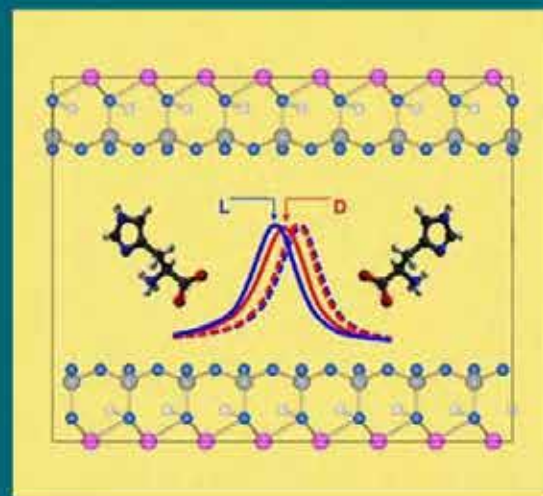
Nel frattempo...



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# Origine della Vita (~3.9 Ga)



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

<b>Era/Stage</b>	<b>Age (Ga)</b>	<b>N. of mineral species</b>
<b>Prenebular "Ur-minerals"</b>	>4.6	12
<b>Era I - Planetary accretion</b>		
1. Primary chondrite minerals	>4.56	60
2. Achondrite and planetesimal alteration	>4.56 - 4.55	250
<b>Era II - Crust and Mantle reworking</b>		
3. Igneous rock evolution	4.55 - 4.0	350-500
4. Granite and pegmatite formation	4.0 - 3.5	1000
5. Plate tectonics	>3.0	1500
<b>Era III - Biologically mediated mineralogy</b>		
6. Anoxic biological world	3.9 - 2.5	1500
7. Great Oxidation Event	2.5 - 1.9	>4000
8. Intermediate Ocean	1.9 - 1.0	>4000
9. Snowball Earth events	1.0 - 0.54	>4000
10. Phanerozoic era of biomineralization	0.54 - present	~5000



### III - Era of Biologically Mediated Mineralogy (>2.5 Ga - presente)

Fase 6

3.9 - 2.5 Ga

Ambiente biologico anossico

**Nuovi minerali: dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , siderite  $\text{FeCO}_3$ , uraninite  $\text{UO}_2$**

**TOT  $\geq 1500$  minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

### III - Era of Biologically Mediated Mineralogy (>2.5 Ga - presente)

Fase 7

2.5 - 1.9 Ga

La Grande Ossidazione

**Nuovi minerali: tutti i minerali contenenti forme ossidate di Fe, U, Ti, V, Cr, Mn, Co, Cu...**

**TOT > 4000 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## III - Era of Biologically Mediated Mineralogy (>2.5 Ga - presente)

Fase 8

1.9 - 1.0 Ga

Oceano intermedio

**TOT > 4000 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

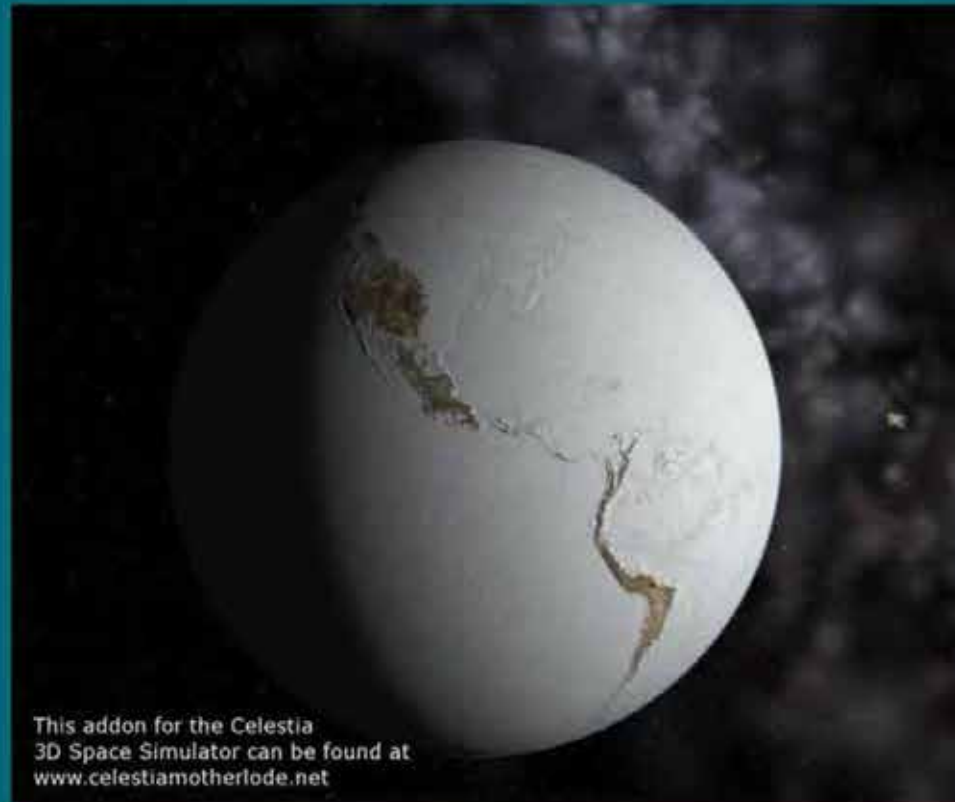
## III - Era of Biologically Mediated Mineralogy (>2.5 Ga - presente)

Fase 9

1.0 - 0.54 Ga

Terra a "palla di neve"

**TOT > 4000 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# III - Era of Biologically Mediated Mineralogy (>2.5 Ga - presente)

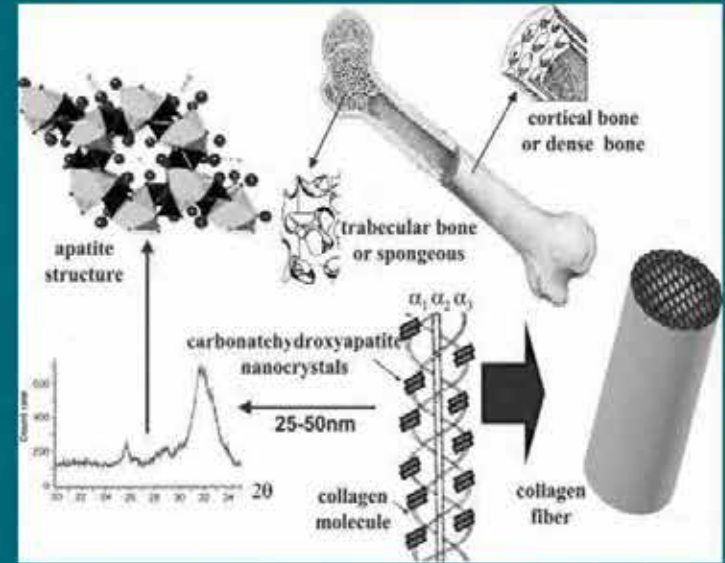
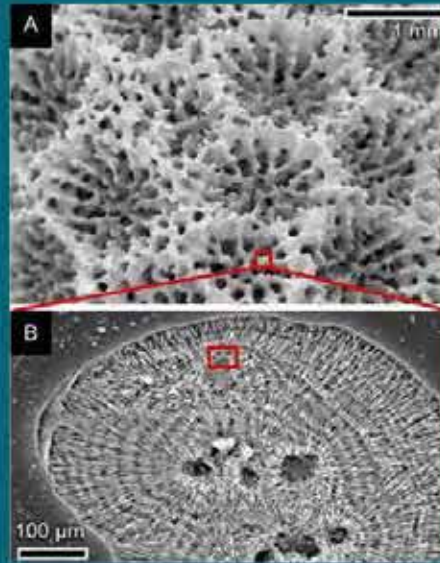
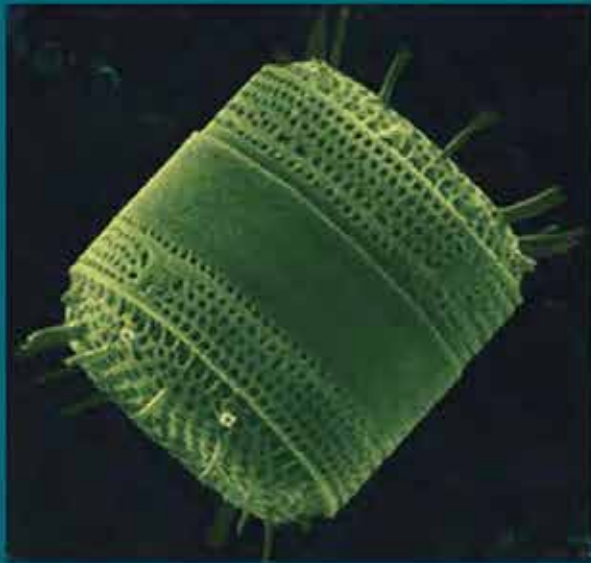
Fase 10

0.54 Ga - presente

Biom mineralizzazione

**Suoli, biocostruzioni, gusci, scheletri (silicati, carbonati, fosfati, nanominerali)**

**TOT ~ 5000 minerali**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

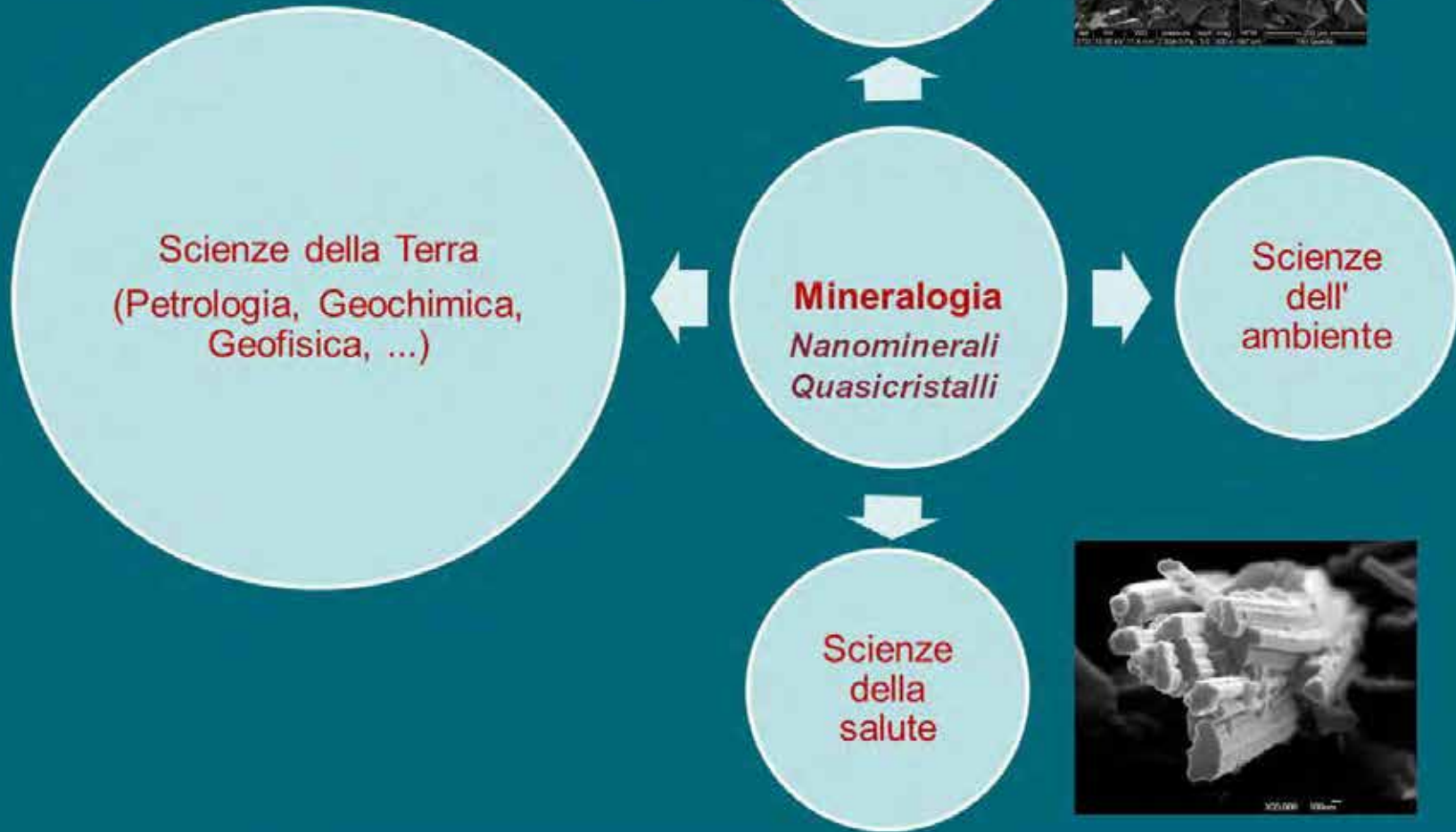


**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

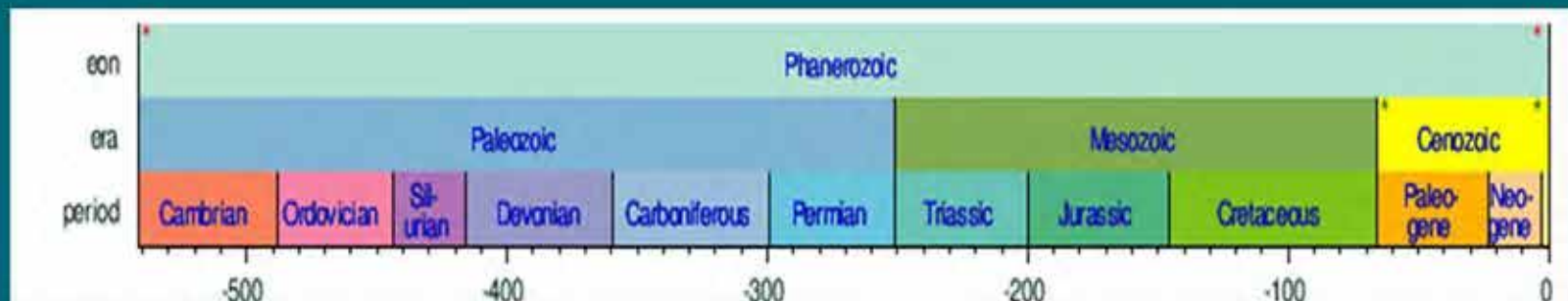
# Mineralogia: Stato dell'arte ed evoluzione



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## Scala del tempo geologico

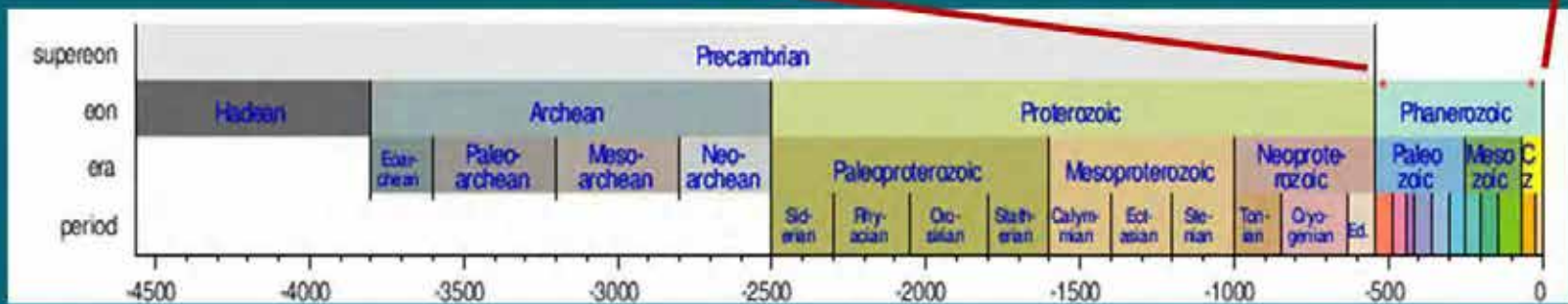
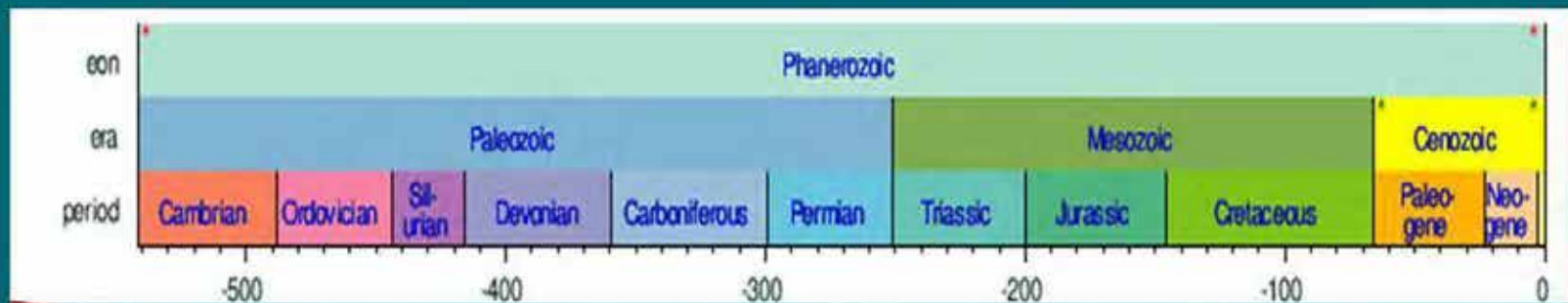


G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



# Scala del tempo geologico



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# Il nucleo

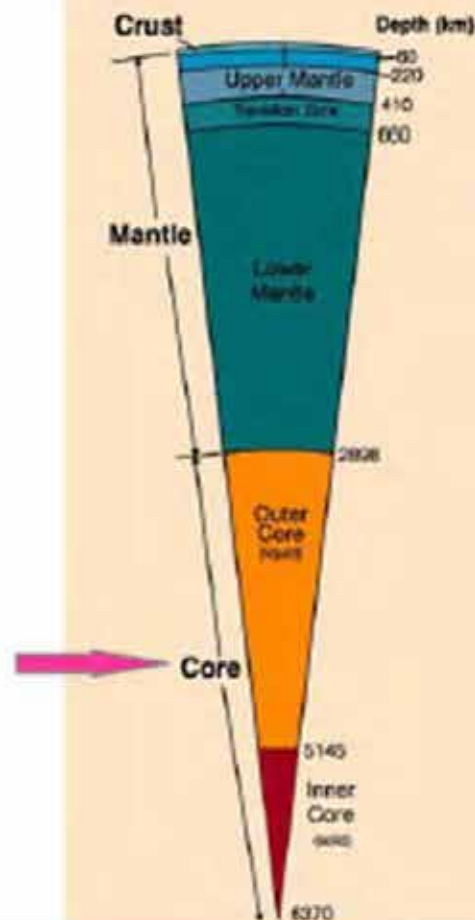
Lega metallica di Fe-Ni (~90%), forse con S, O, H, C (non ci sono silicati)

Nucleo esterno liquido (senza onde di tipo S)

Nucleo interno solido (a causa delle fortissime pressioni)

Densità  $> 10 \text{ g/cm}^3$

Campo magnetico risultante dalle correnti presenti nel nucleo liquido



# Il mantello

E' "stratificato" sia in termini di composizione chimica che mineralogica

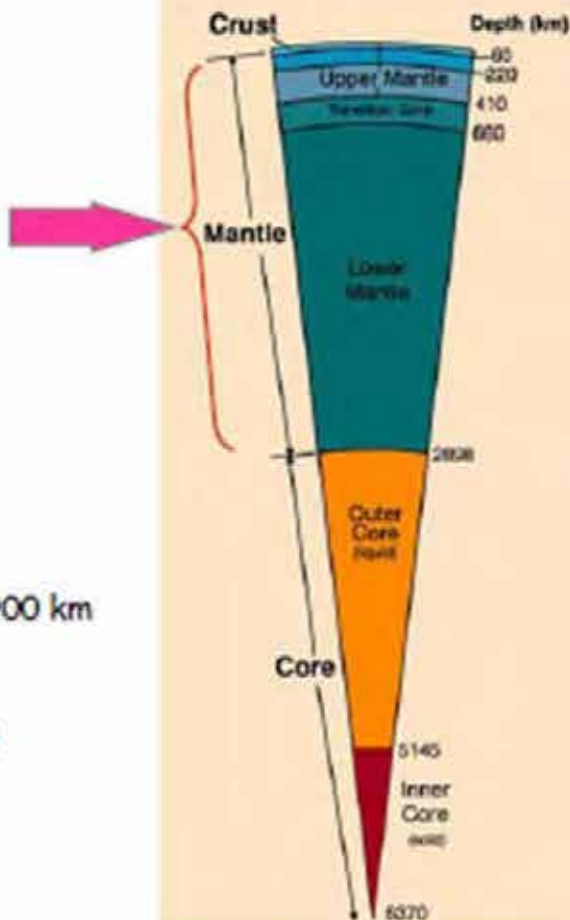
Si può suddividere in tre zone:

**Mantello Superiore** fino a 410 km

**Zona di Transizione** (410-660 km)

**Mantello Inferiore (Mesosfera)** fino a 2900 km

Alla base del mantello è presente un'altra importante discontinuità chiamata discontinuità di Gutenberg



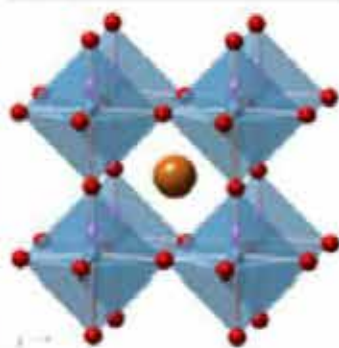
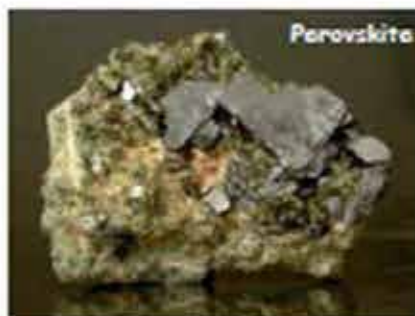
# Il mantello

## Mantello inferiore

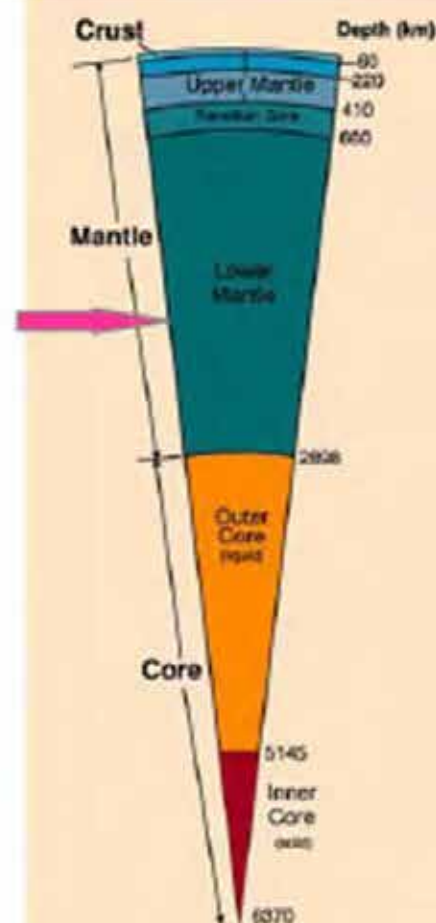
Conosciamo molto poco di questo volume della Terra

**Perovskite** ( $MgSiO_3$ ) e **magnesiowustite** ( $MgO$ ) sono probabilmente le fasi più abbondanti

La perovskite probabilmente costituisce più dell'80% del mantello inferiore (quindi è il minerale più abbondante della Terra)



Multiview CrystalMaker 4.0 • <http://www.crystalmaker.nl>



# Il mantello

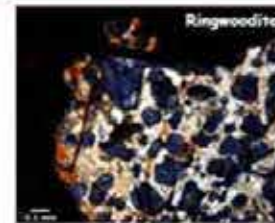
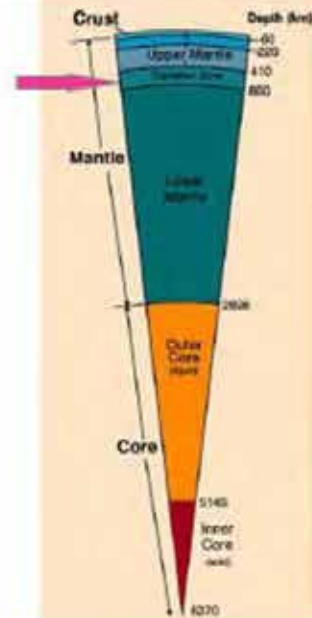
## Zona di Transizione

A partire da 410 km la velocità delle onde sismiche aumenta rapidamente.

Questa variazione è dovuta al cambio strutturale dell'olivina ( $Mg_2SiO_4$ ) in wadsleyite ( $Mg_2SiO_4$ ). Cambia SOLO la struttura del minerale (da rombica a monoclina)

A 500 km l'olivina (ora wadsleyite) cambia di nuovo struttura e diventa cubica (ringwoodite)

A 660 km la ringwoodite si trasforma in perovskite ( $MgSiO_3$ ) e magnesiowustite ( $MgO$ ), fasi ancora più dense.

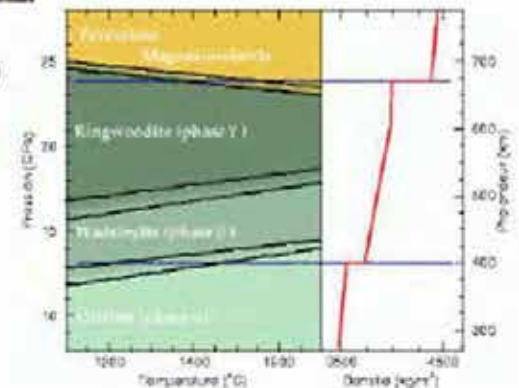


Perovskite ( $MgSiO_3$ ) e magnesiowustite ( $MgO$ )

Ringwoodite ( $Mg_2SiO_4$ ) struttura cubica

Wadsleyite ( $Mg_2SiO_4$ ) struttura monoclina

Olivina ( $Mg_2SiO_4$ ) struttura rombica



# Il mantello superiore

Fino a 410 km

Mantello litosferico (solido) spessore variabile (in genere fino a ~80 km)

Mantello astenosferico (parzialmente fuso) ~80-220 km

Mesosfera di nuovo solida

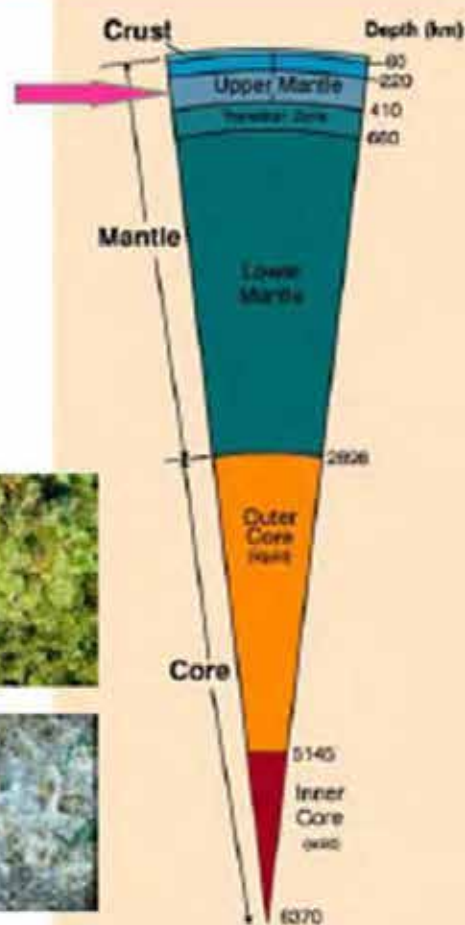
## Composizione

Peridotite (roccia ultramafica)

60% olivina  $(Mg, Fe)_2SiO_4$

40% pirosseno  $(Fe, Mg, Na, Ca)SiO_3$

Peridotite a granato



## Minerali: Evoluzione?



NOMINATED  
NEW BRAND OF THE YEAR



DANISH  
BEAUTY  
AWARD '12

MINERAL EVOLUTION



MINERAL MAKEUP

FIND YOUR  
COLOR  
HERE

G.B. Andreozzi

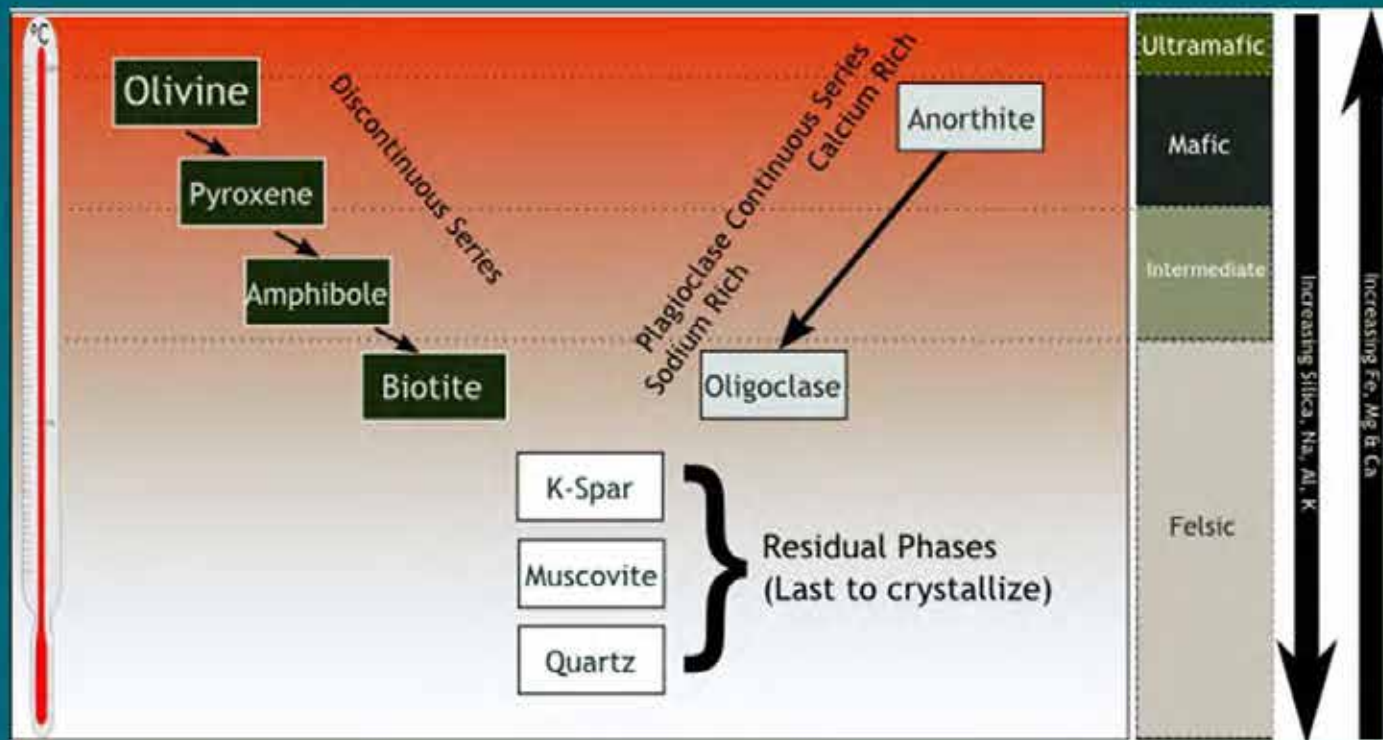
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

### Fase 3

4.55 - 4.0 Ga

Evoluzione delle rocce ignee



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra



## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

### Fase 4

4.0 - 3.5 Ga

Formazione dei graniti e delle pegmatiti



G.B. Andreozzi

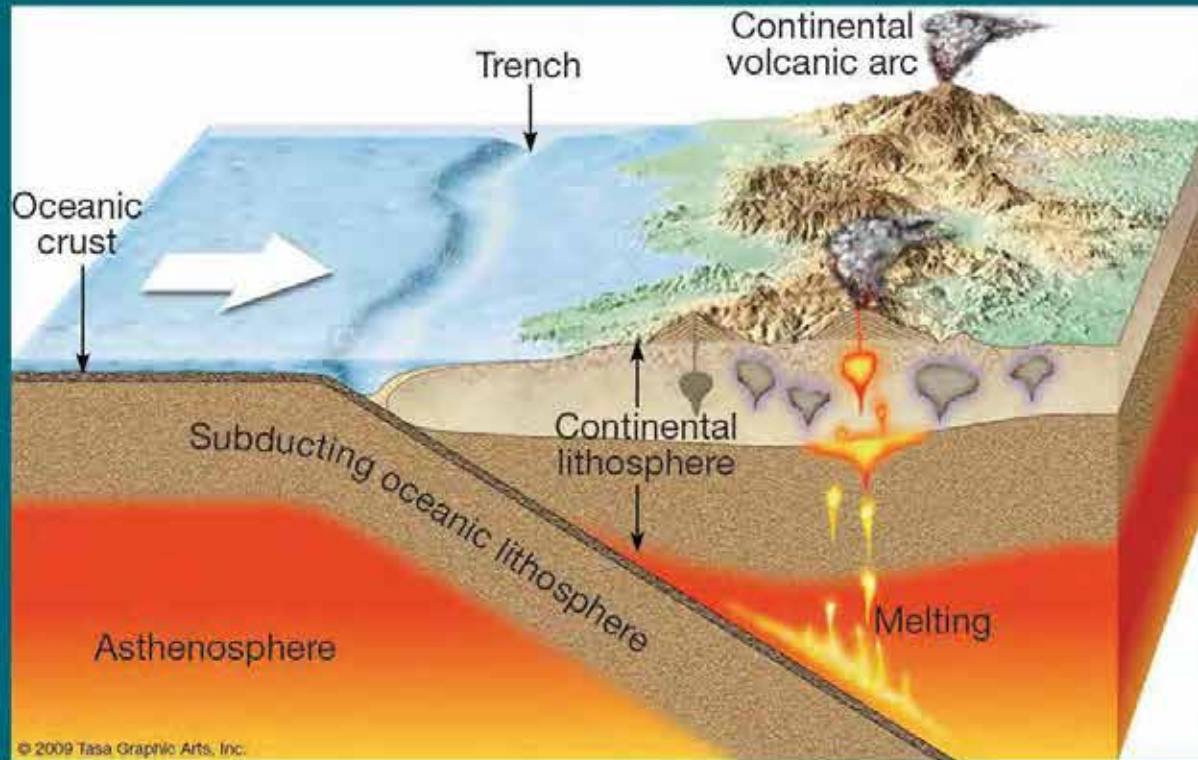
Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

## II - Era of Crust and Mantle Reworking (4.55 - 2.8 Ga)

### Fase 5

4.0 - 2.8 Ga

Tettonica delle placche



<b>Era/Stage</b>	<b>Age (Ga)</b>	<b>N. of mineral species</b>
<b>Prenebular "Ur-minerals"</b>	>4.6	12
<b>Era I - Planetary accretion</b>		
1. Primary chondrite minerals	>4.56	60
2. Achondrite and planetesimal alteration	>4.56 - 4.55	250
<b>Era II - Crust and Mantle reworking</b>		
3. Igneous rock evolution	4.55 - 4.0	350-500
4. Granite and pegmatite formation	4.0 - 3.5	1000
5. Plate tectonics	>3.0	1500
<b>Era III - Biologically mediated mineralogy</b>		
6. Anoxic biological world	3.9 - 2.5	1500
7. Great Oxidation Event	2.5 - 1.9	>4000
8. Intermediate Ocean	1.9 - 1.0	>4000
9. Snowball Earth events	1.0 - 0.54	>4000
10. Phanerozoic era of biomineralization	0.54 - present	~5000

## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

elementi nativi: diamante, grafite (C)

leghe metalliche: kamacite (Fe,Ni)

**carburi: moissanite (SiC), cohenite (Fe<sub>3</sub>C)**



## Prenebular "Ur-Minerals" (>4.6 Ga)

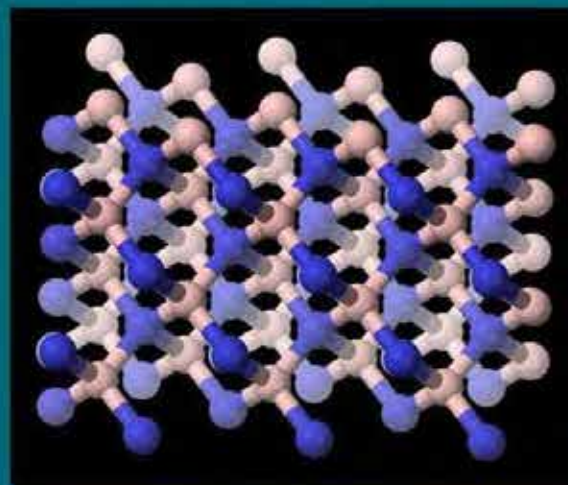
Il numero di specie minerali era molto ridotto, quasi sicuramente non superiore a una dozzina

elementi nativi: diamante, grafite (C)

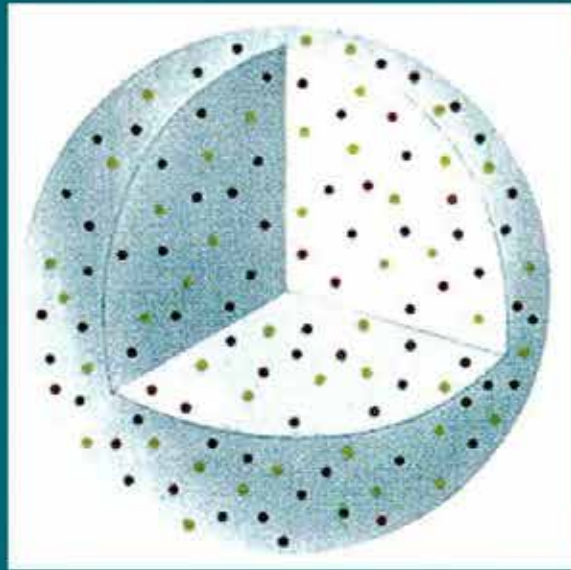
leghe metalliche: kamacite (Fe,Ni)

carburi: moissanite (SiC), cohenite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )

**nitruri: osbornite (TiN), nierite ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )**



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

olivine

troilite (FeS)

bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)

ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)

pigeoniti (clinopirosseni Ca,Mg,Fe)

spinello - ercinite  $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$

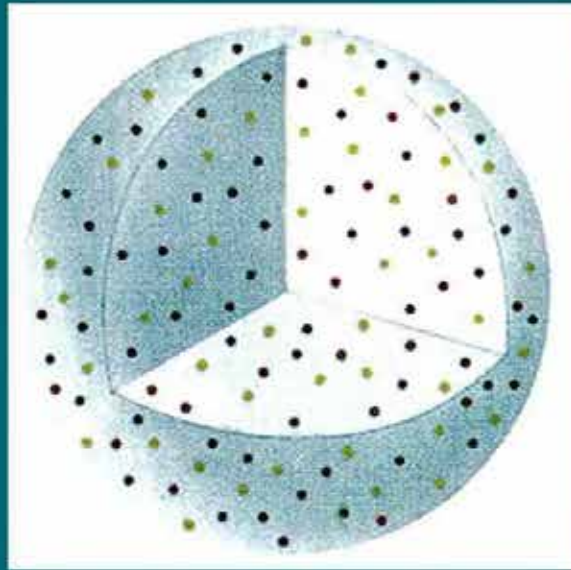
meliliti  $(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 - \text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7)$



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra

# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



## Fase 1

Minerali delle condriti

leghe metalliche ferro-nichel

olivine

troilite (FeS)

bronziti (ortopirosseni Mg,Fe)

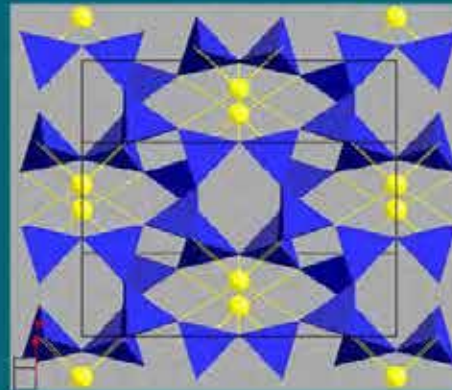
ipersteni (ortopirosseni Fe,Mg)

pigeoniti (clinopirosseni Ca,Mg,Fe)

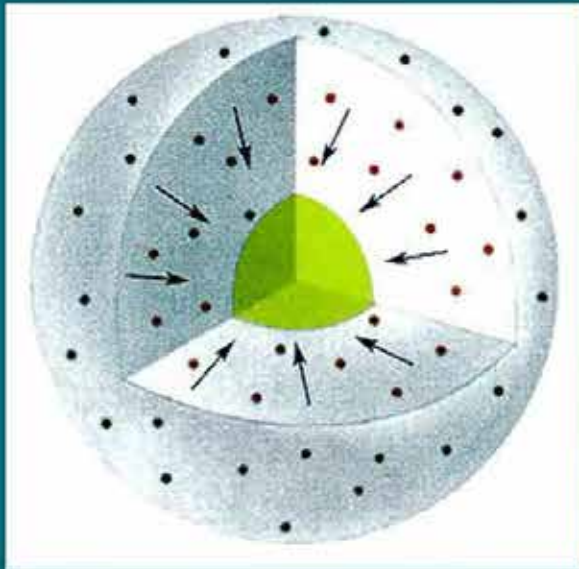
spinello - ercinite  $(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$

meliliti  $(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 - \text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7)$

**anortite  $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$**



# I - Era of Planetary accretion (>4.55 Ga)



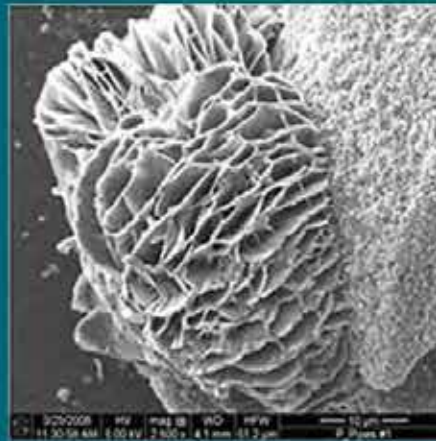
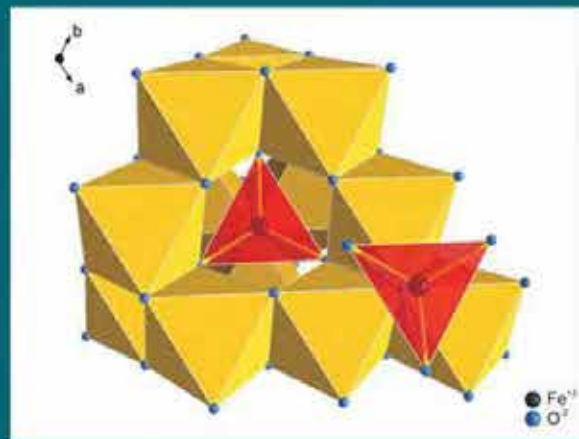
## Fase 2 (4.56 - 4.55 Ga)

Termometamorfismo per decadimento radioattivo

Interazione con ghiaccio proveniente da comete e asteroidi

Alterazione dei minerali di prima formazione

Formazione di nuovi minerali:  
**ferridrite  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$**



G.B. Andreozzi

Alla scoperta dei minerali, le cellule del pianeta Terra