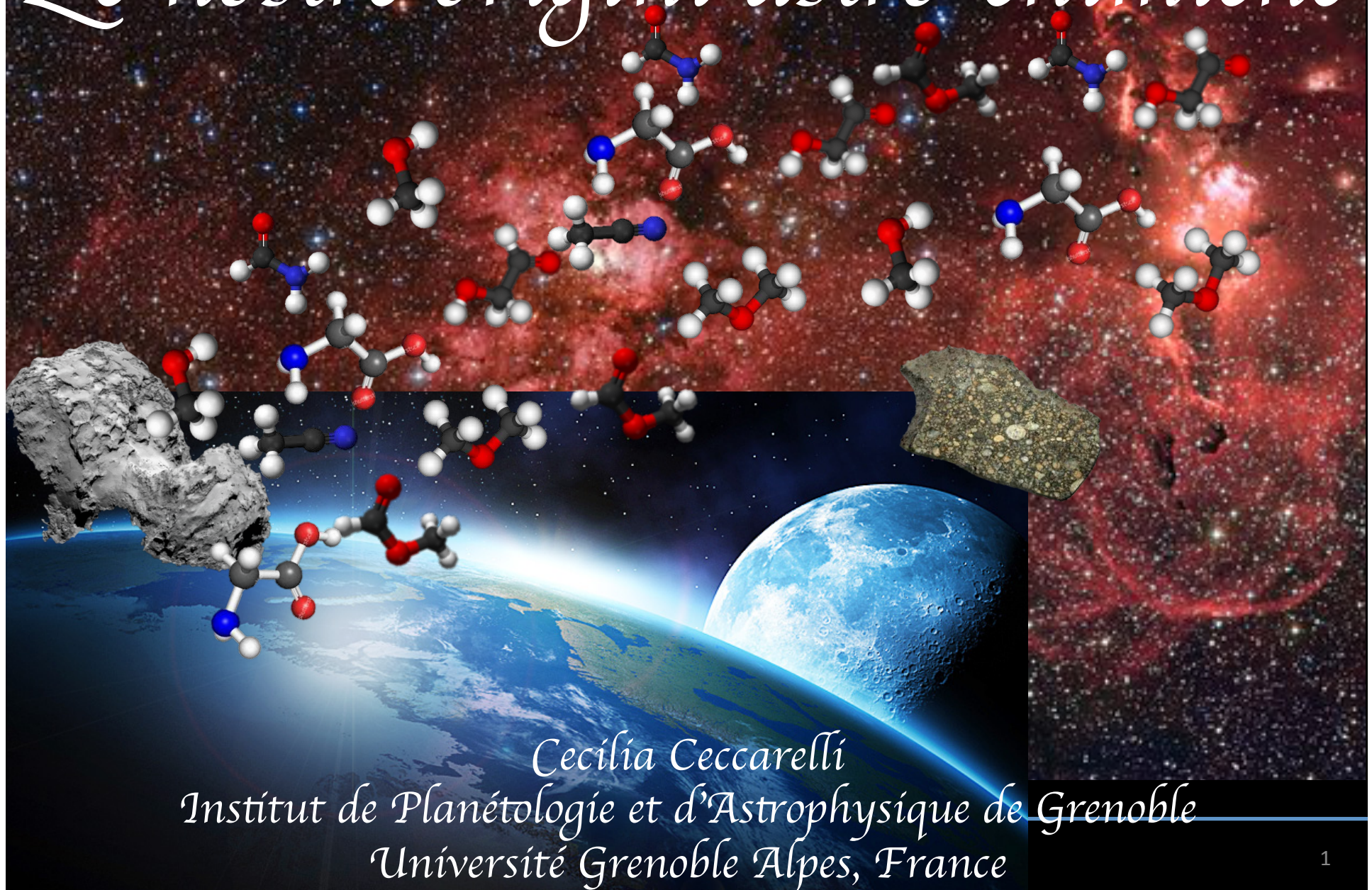


Le nostre origini astro-chimiche



*Cecilia Ceccarelli
Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble
Université Grenoble Alpes, France*



Il Sistema Solare e la Terra sono il
prodotto di un processo lungo e complesso


Eravamo una nube della Galassia.

Il Sistema Solare e la Terra sono il prodotto di un processo lungo e complesso



Eravamo una nube della Galassia.
Siamo diventati un sistema di pianeti.

Il Sistema Solare e la Terra sono il prodotto di un processo lungo e complesso



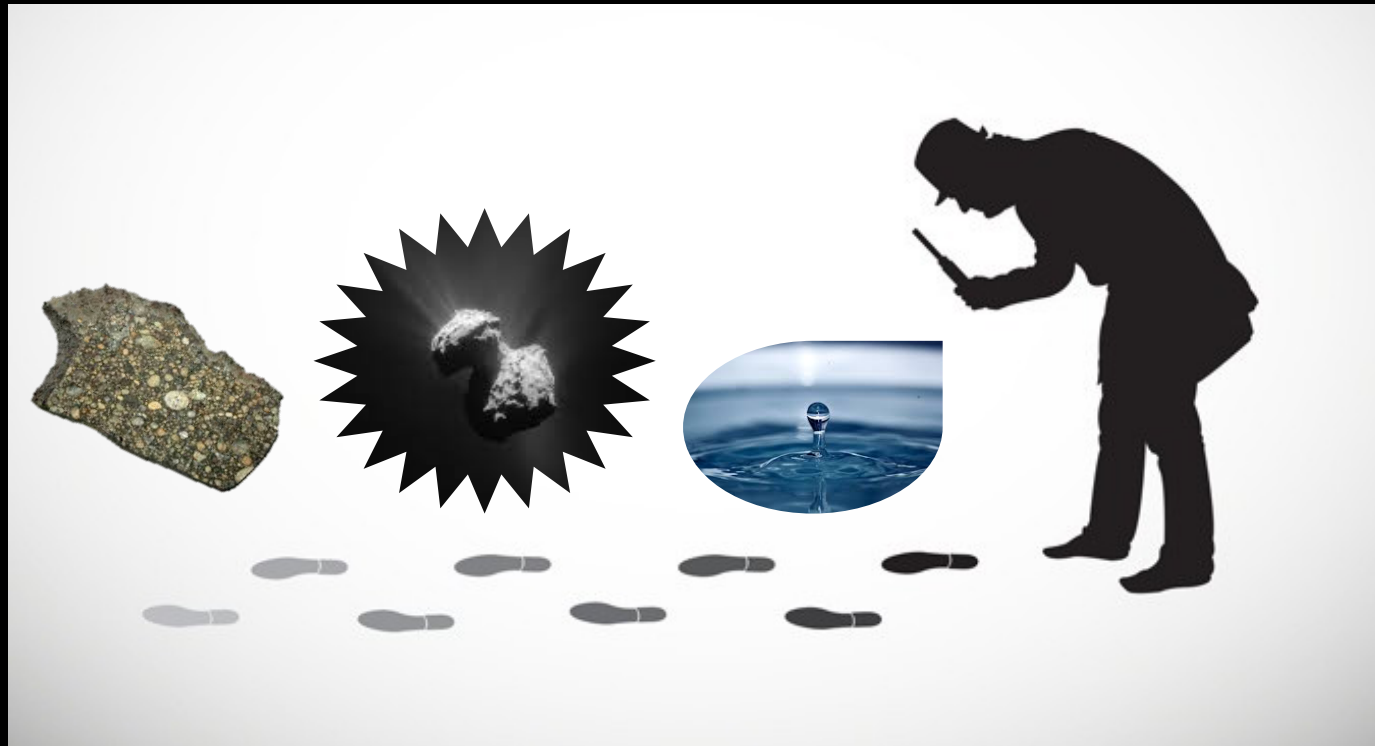
Eravamo una nube della Galassia.
Siamo diventati un sistema di pianeti.
Sulla Terra è emersa la vita.

Il Sistema Solare e la Terra sono il prodotto di un processo lungo e complesso



Che cosa è successo ?

Che cosa è successo ?



Meteoriti, comete e la Terra contengono delle tracce che ci aiuteranno a scoprirlo

DA DOVE VIENE L'ACQUA DELLA TERRA?

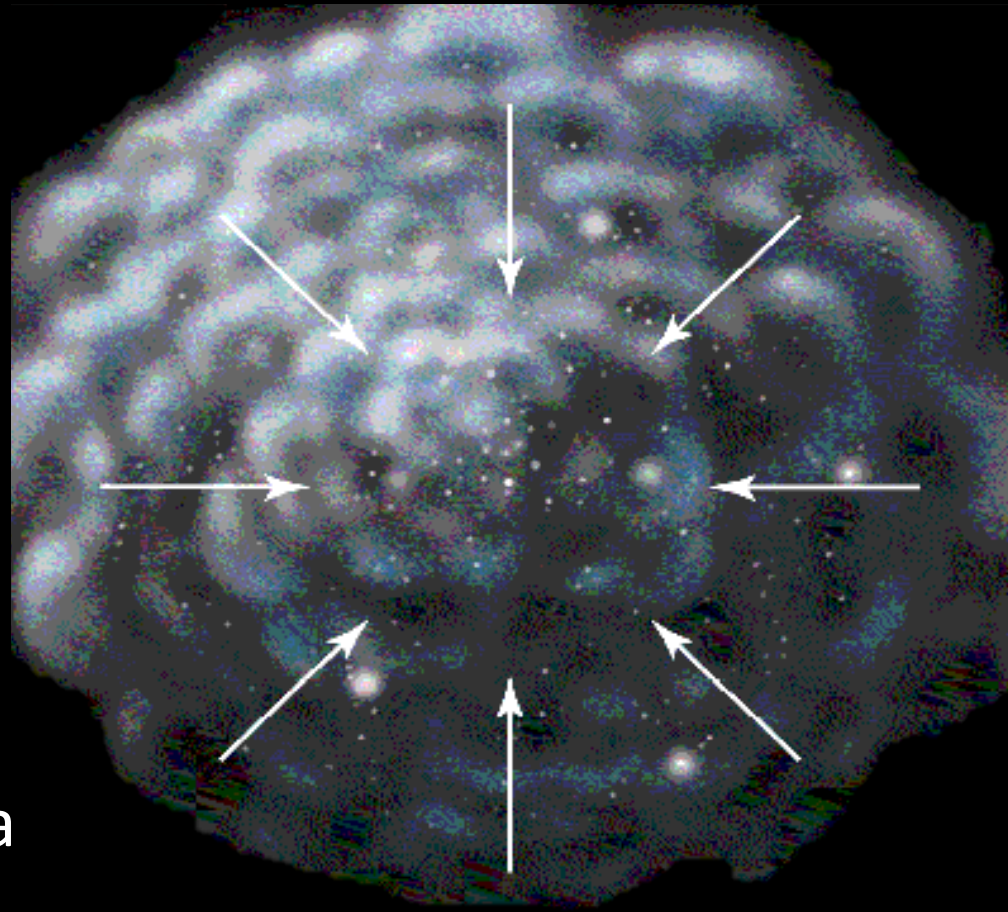


- a) Dove viene fabbricata l'acqua?
- b) Come arriva sulla Terra?



LE TAPPE PER FORMARE UN SISTEMA SOLARE

1- In un "grumo" della nube un po' alla volta la materia cade verso il centro sotto l'azione della gravità.



Temperatura
circa -263°C a
 -100°C

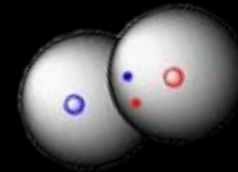
Fase di circa
100,000 anni

Di che cosa è fatta la "materia"?

1) GAS

L'elemento più abbondante nell'Universo è l'idrogeno, seguito da elio, ossigeno, carbonio, azoto...

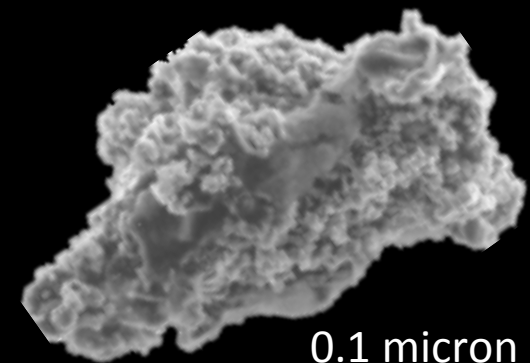
→ La materia del "grumo" è principalmente costituita da H_2 .



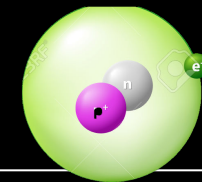
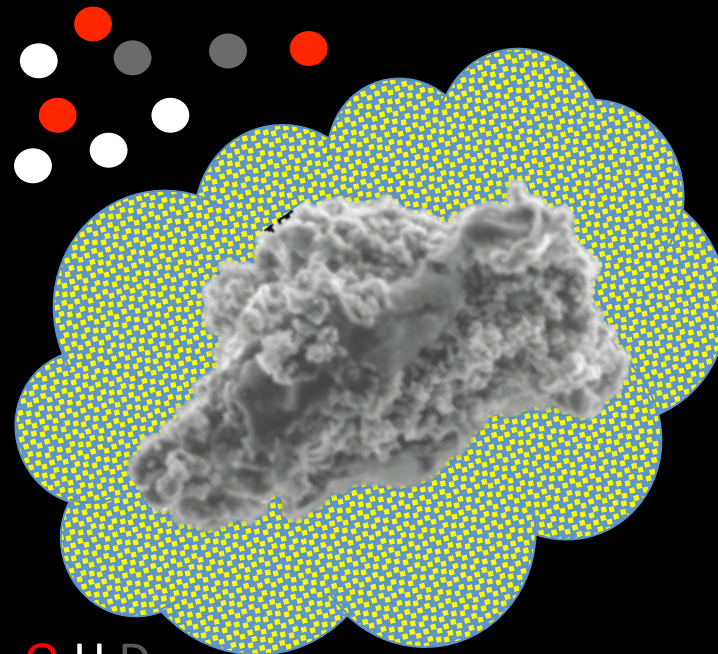
2) POLVERE

Altri elementi più pesanti come il silicio rappresentano 1/100 in massa.

→ Questi condensano in piccoli grani di silicati, e cioè di polvere.



Durante la fase "fredda" del collasso i grani di polvere si ricoprono di uno strato di ghiaccio



NOTA: Il deuterio è un atomo con 1 protone, come l'idrogeno, più 1 neutrone



Composizione del ghiaccio:

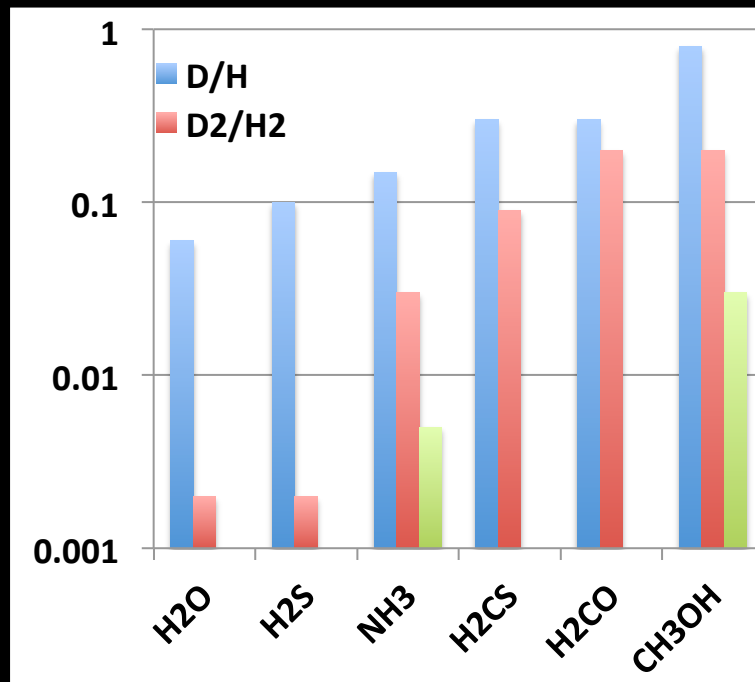
H_2O , HDO , D_2O e altre molecole "deuterate"

→ L'ACQUA SI FORMA NEL "GRUMO" ←

Il fenomeno della SUPER-DEUTERATION

Rapporto di abbondanza di deuterio e idrogeno nell'Universo:
 $D/H = 0.000015$

→ Se gli atomi di D e H fossero distribuiti statisticamente
 $HDO/H_2O = 0.000032$ e $D_2O/H_2O = 0.00000000026$



OSSERVAZIONI
 $HDO/H_2O \sim 0.01-0.1$
 $D_2O/H_2O \sim 0.002$

Causa dell'anomalia:
l'ambiente
estremamente freddo,
a -263°C

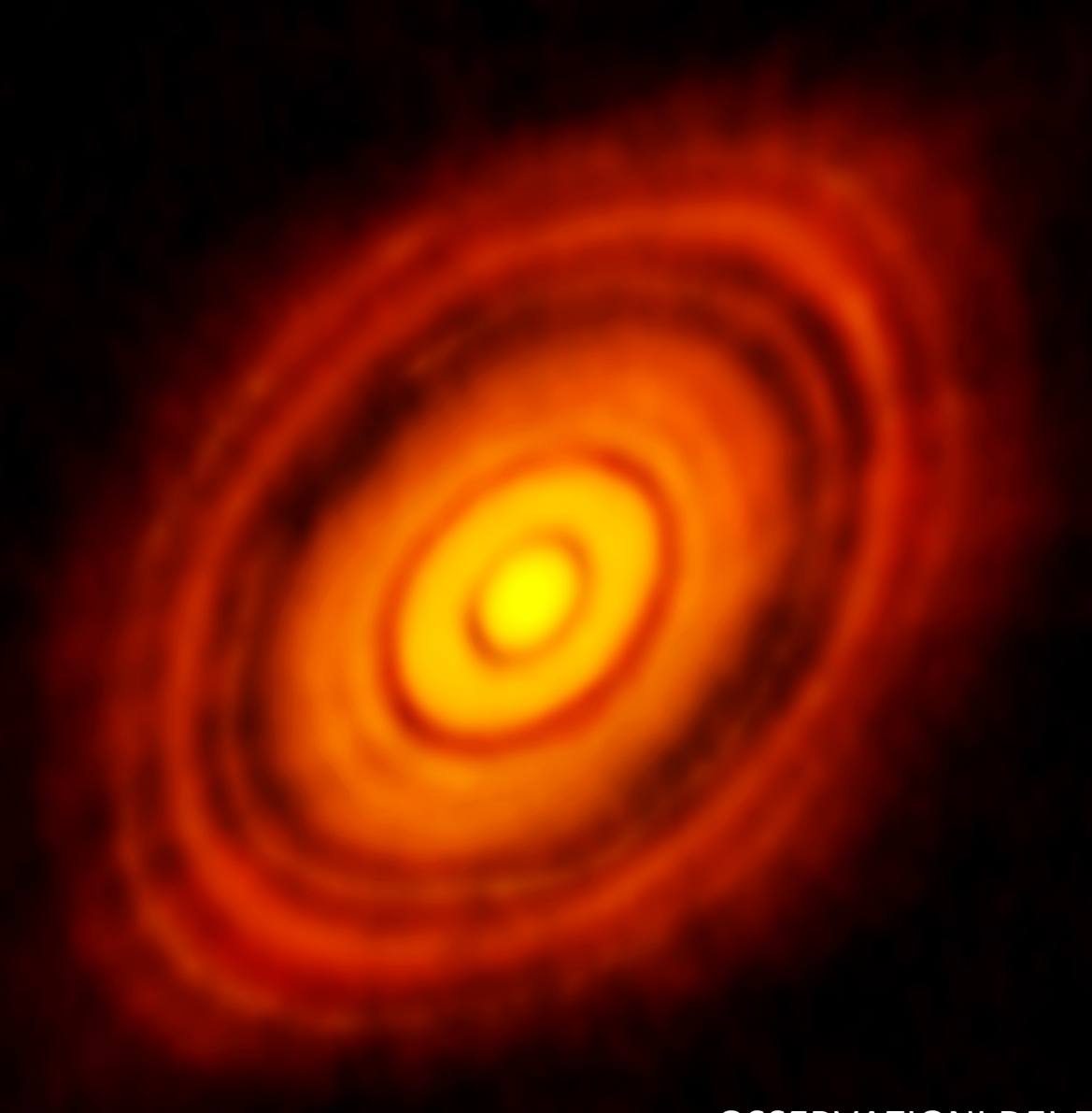
LE TAPPE PER FORMARE UN SISTEMA SOLARE

2- A causa della rotazione iniziale, mentre una parte della materia cade sulla futura stella, un'altra si distribuisce in un disco.



Temperatura
circa -263°C a
 2000°C

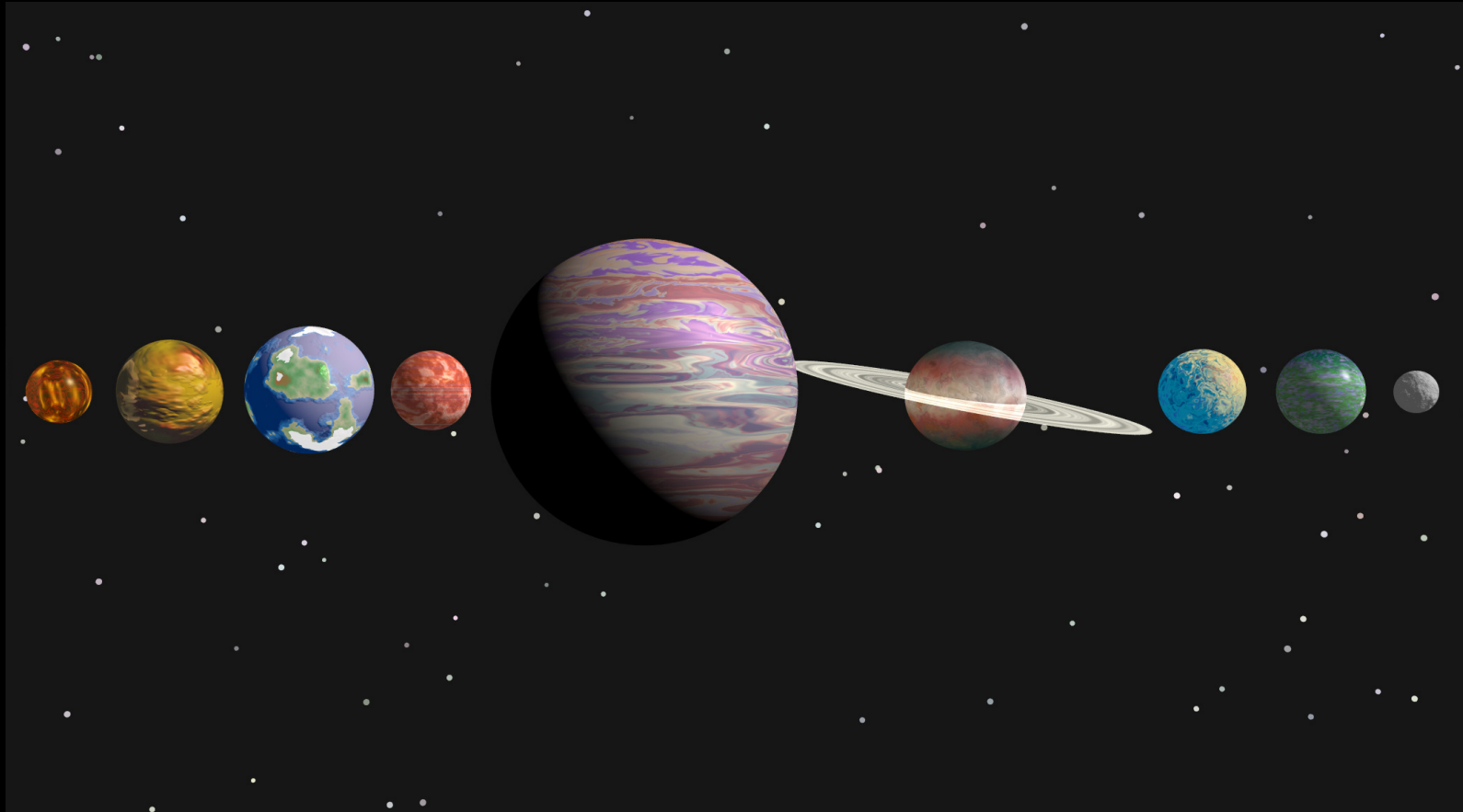
Fase di circa
1 milione di
anni



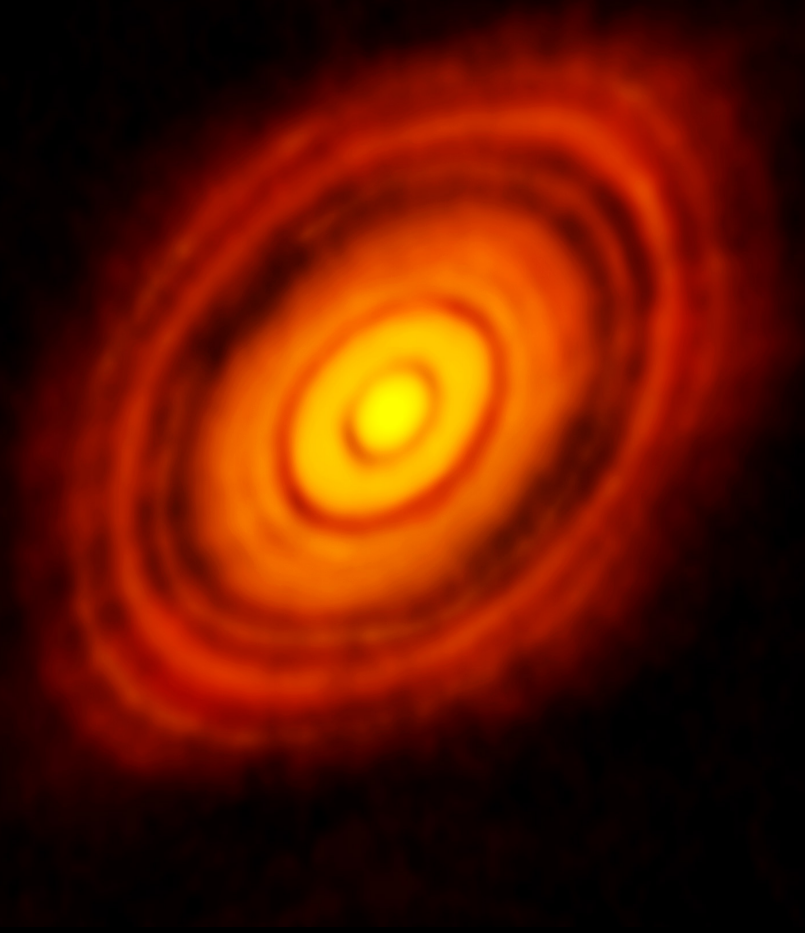
OSSERVAZIONI DEL TELESCOPIO ALMA

LE TAPPE PER FORMARE UN SISTEMA SOLARE

3- Nel disco si formano i pianeti, le comete, gli asteroidi, in circa 1-10 milioni di anni.

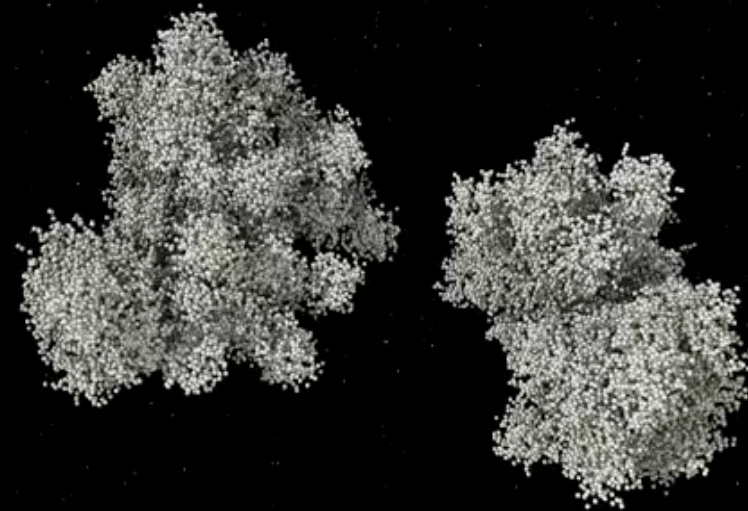


Nelle zone dense del disco i grani di polvere coagulano e ingrandiscono... fino a formare un pianeta roccioso.



Material: 1.2 μm amorphous silicate grains

Collision Velocity: 1 m/s
Impact Parameter: 0.25



Number of Particles: 85812
Initial Coordination Number: 2.63

© 2012 Alexander Seizinger

Courtesy C.Dominik

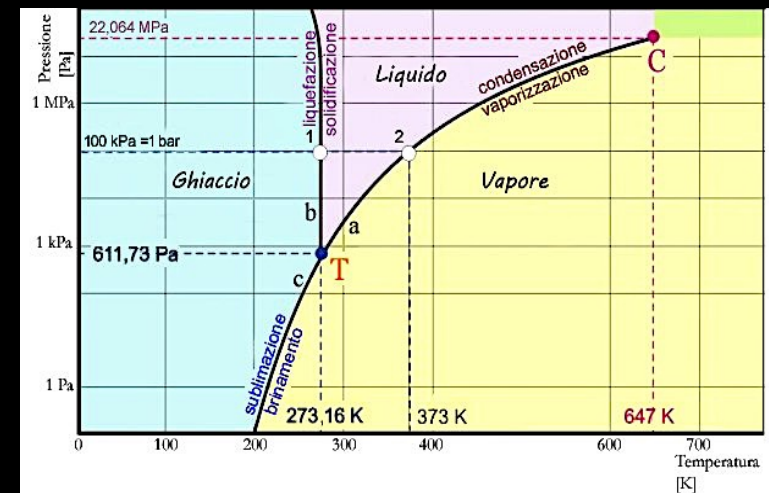
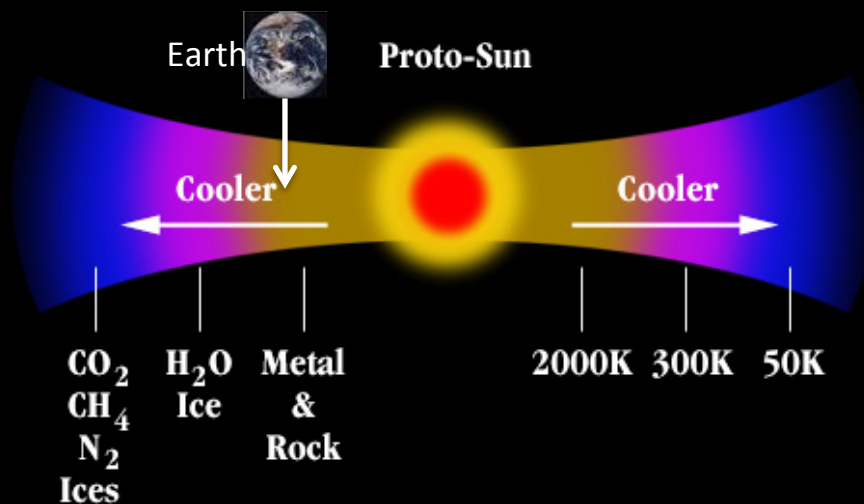
L'ORIGINE DELL'ACQUA TERRESTRE

- 1) I grani di polvere sono ricoperti di uno strato di ghiaccio;
- 2) I pianeti rocciosi si formano per l'aggregazione dei grani.

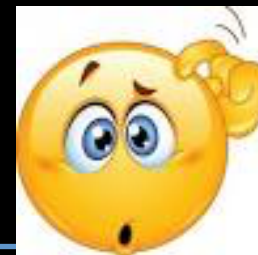
L'ORIGINE DELL'ACQUA TERRESTRE

PROBLEMA :

Alla distanza della Terra i grani sono "asciutti" ...



DA DOVE VIENE L'ACQUA?



Dove è fabbricata l'acqua terrestre ?

I DATI DEL
PROBLEMA

1- QUANTITA'

Component	Mass (10^{18} kg)
Oceans	1371
Marine sediments	180
Ice	28
Continental groundwater	15
Sedimentary rocks	232
Oceanic crust	41
Mantle	200-2500

Dove è fabbricata l'acqua terrestre ?

I DATI DEL
PROBLEMA

1- QUANTITA'

2- IL VALORE D/H

Component	Mass (10^{18} kg)	D/H ($\times 10^{-6}$)
Oceans	1371	156
Marine sediments	180	156
Ice	28	101
Continental groundwater	15	154
Sedimentary rocks	232	144
Oceanic crust	41	?
Mantle	200-2500	146?
Elemental		12

Dove è fabbricata l'acqua terrestre ?

I DATI DEL
PROBLEMA

- 1- QUANTITA'
- 2- IL VALORE D/H

Component	Mass (10^{18} kg)	D/H ($\times 10^{-6}$)
Oceans	1371	156
Marine sediments	180	156
Ice	28	101
Continental groundwater	15	154

L'acqua è un'eredità della fase "fredda" del
Sistema Solare



Beviamo acqua vecchia di 4.5 miliardi d'anni !

Da dove viene l'acqua terrestre ?

Apporto postumo

L'acqua è stata portata dalle comete quando la Terra era già formata.



Apporto caotico

La Terra si è formata con già il suo bagaglio d'acqua, perché costruita con pezzi di roccia che venivano anche dall'esterno.



Da dove viene l'acqua terrestre ?

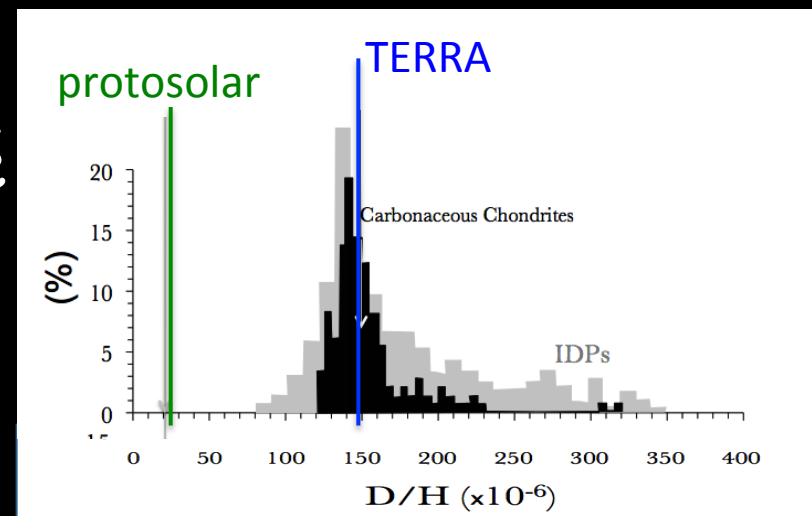
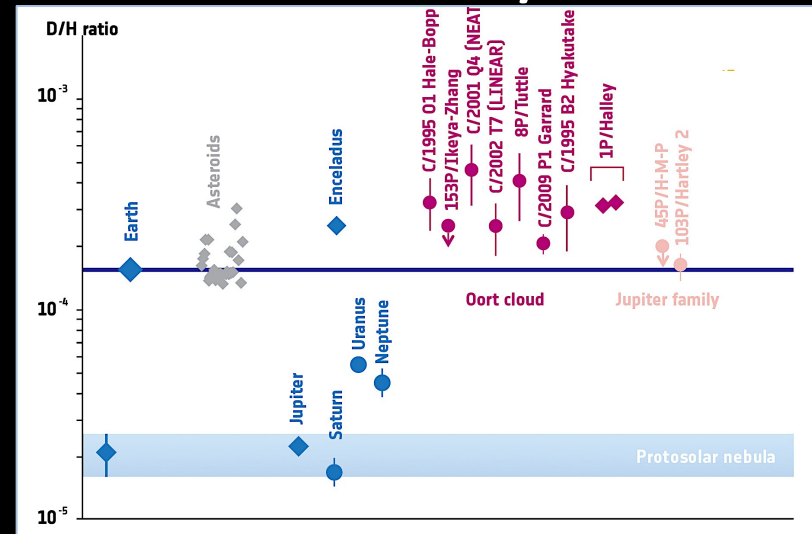
Ce lo dice il valore D/H

Apporto postumo

L'acqua è stata portata dalle comete quando la Terra era già formata.

Apporto caotico

La Terra si è formata con già il suo bagaglio d'acqua, perché costruita con pezzi di roccia che venivano anche dall'esterno.



Da dove viene l'acqua terrestre ?

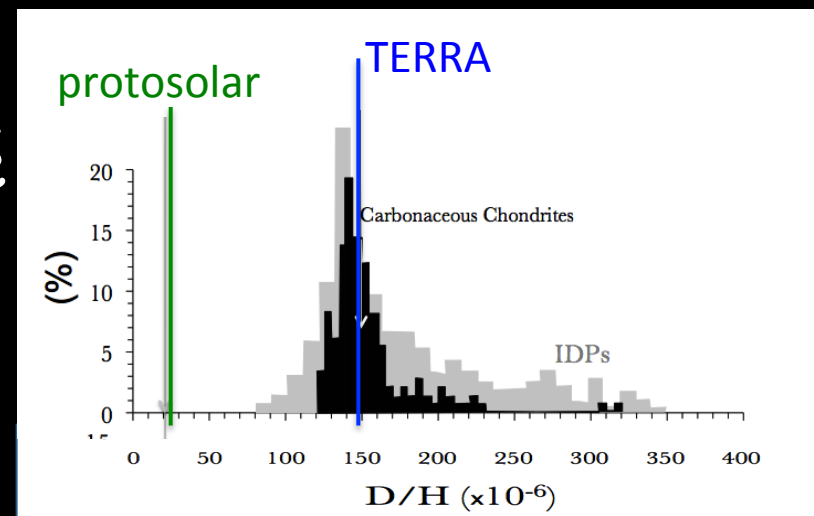
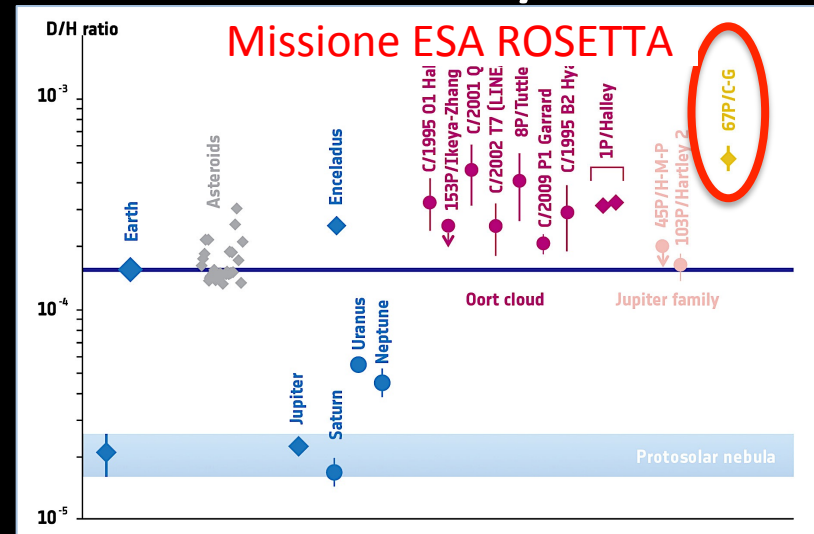
Ce lo dice il valore D/H

Apporto postumo ?????

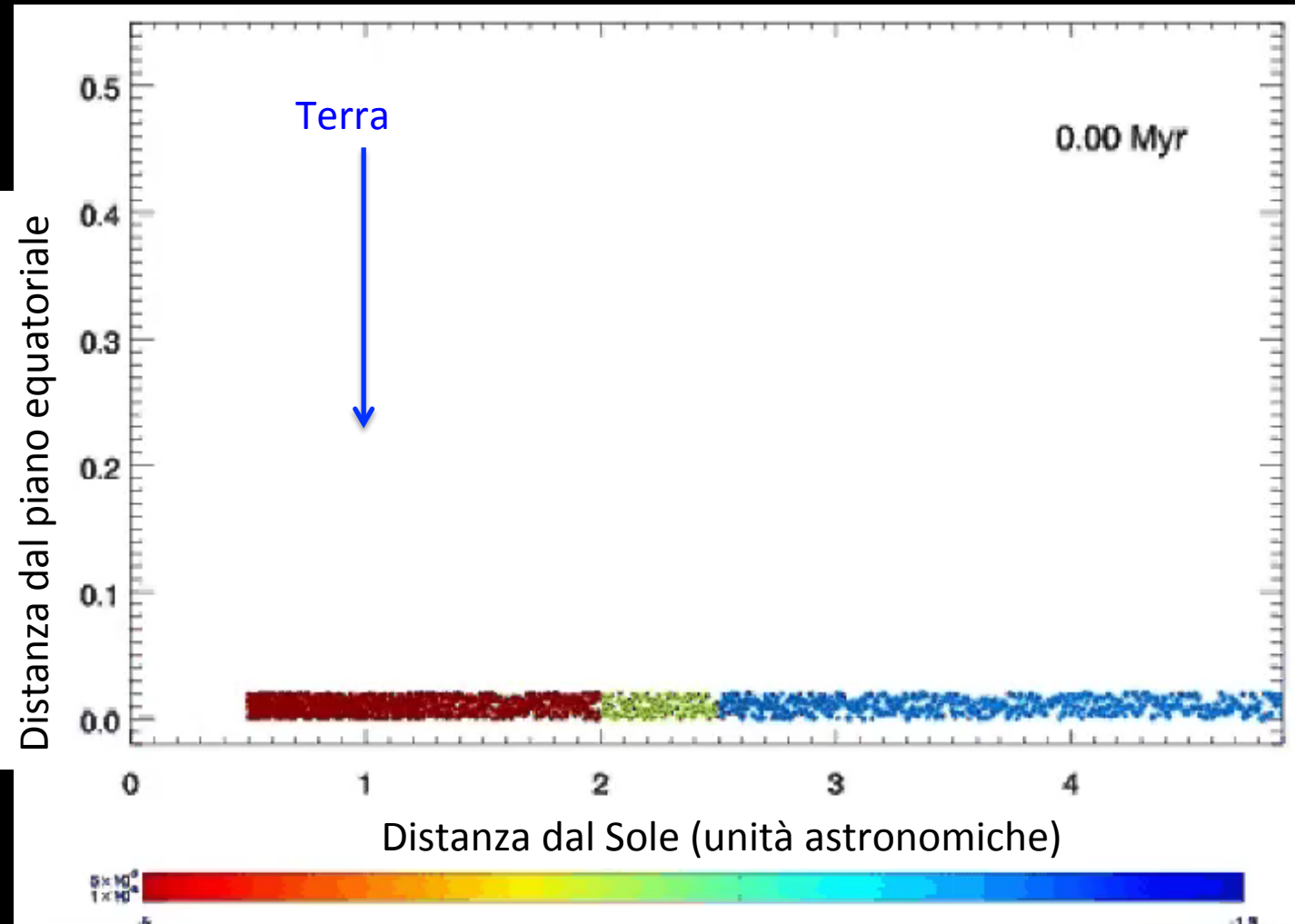
L'acqua è stata portata dalle comete quando la Terra era già formata.

Apporto caotico

La Terra si è formata con già il suo bagaglio d'acqua, perché costruita con pezzi di roccia che venivano anche dall'esterno.



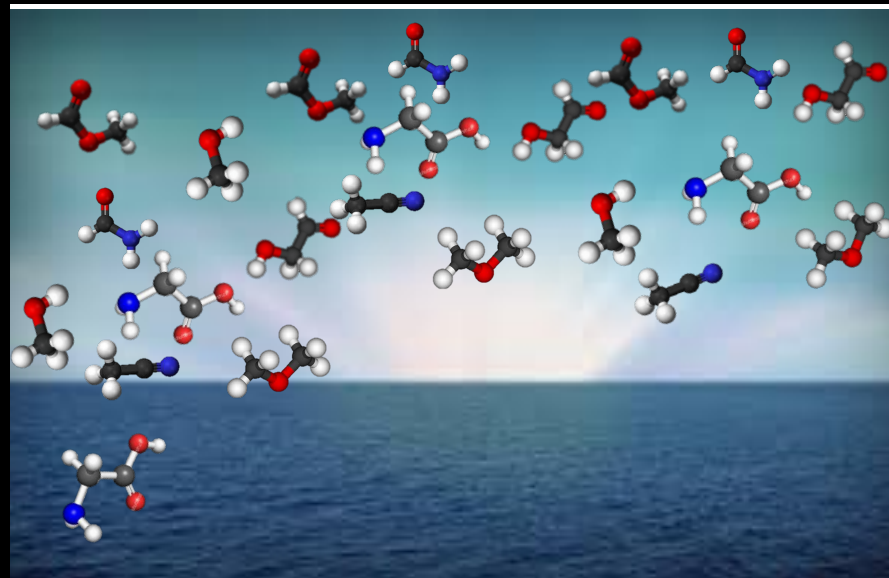
Apporto caotico dell'acqua terrestre



Courtesy A.Morbidelli

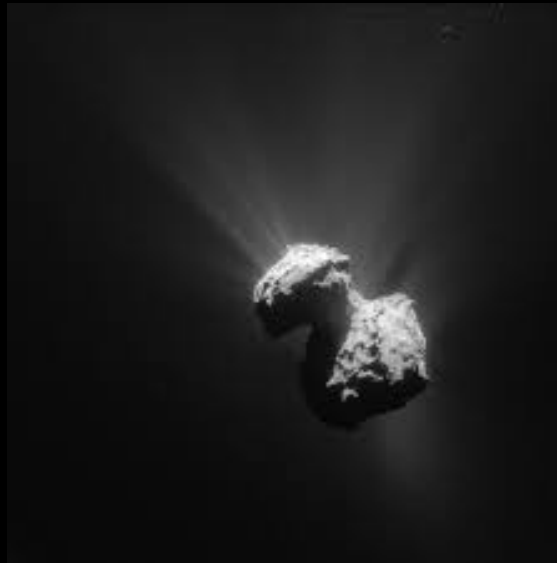
L'acqua terrestre è stata fabbricata
Alla nascita del Sistema Solare 4.5
miliardi di anni fa e l'abbiamo ereditata
al momento della formazione della Terra

COS'ALTRO ABBIAMO EREDITATO ?



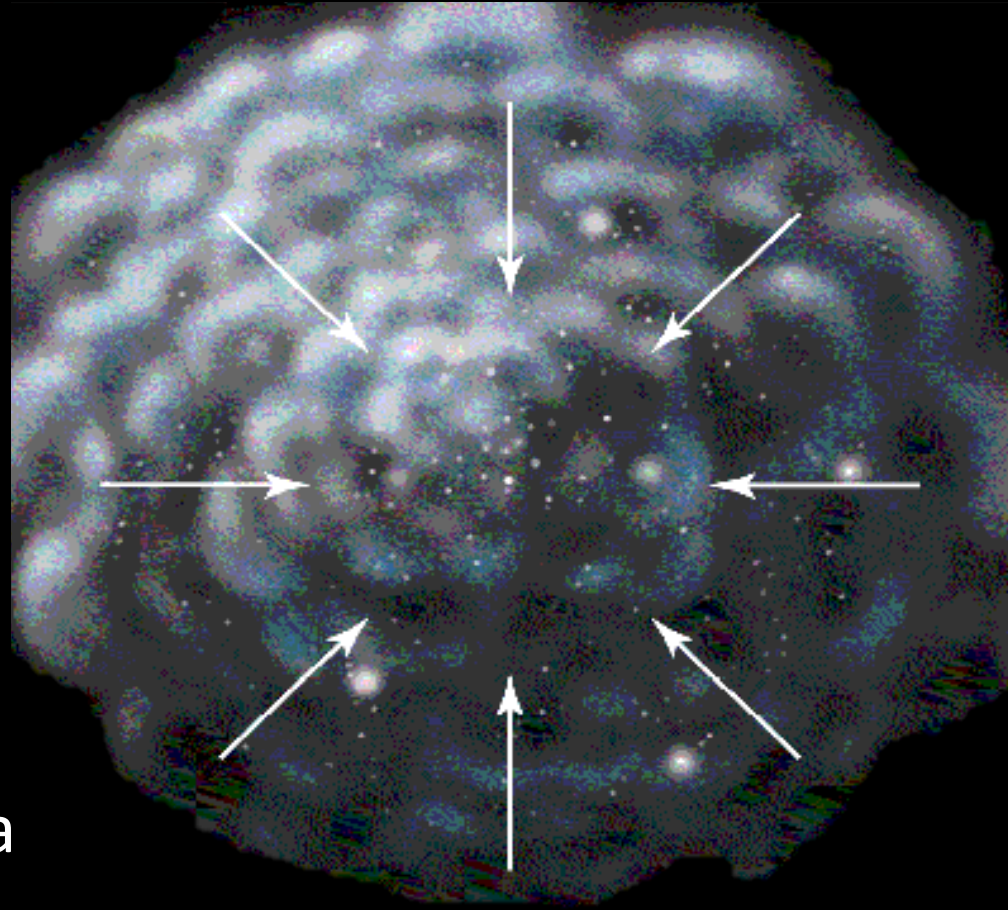
MOLECOLE ORGANICHE INTERSTELLARI

I mattoncini della vita vengono
dallo spazio?



LE TAPPE PER FORMARE UN SISTEMA SOLARE

1- In un "grumo" della nube un po' alla volta la materia cade verso il centro sotto l'azione della gravità.

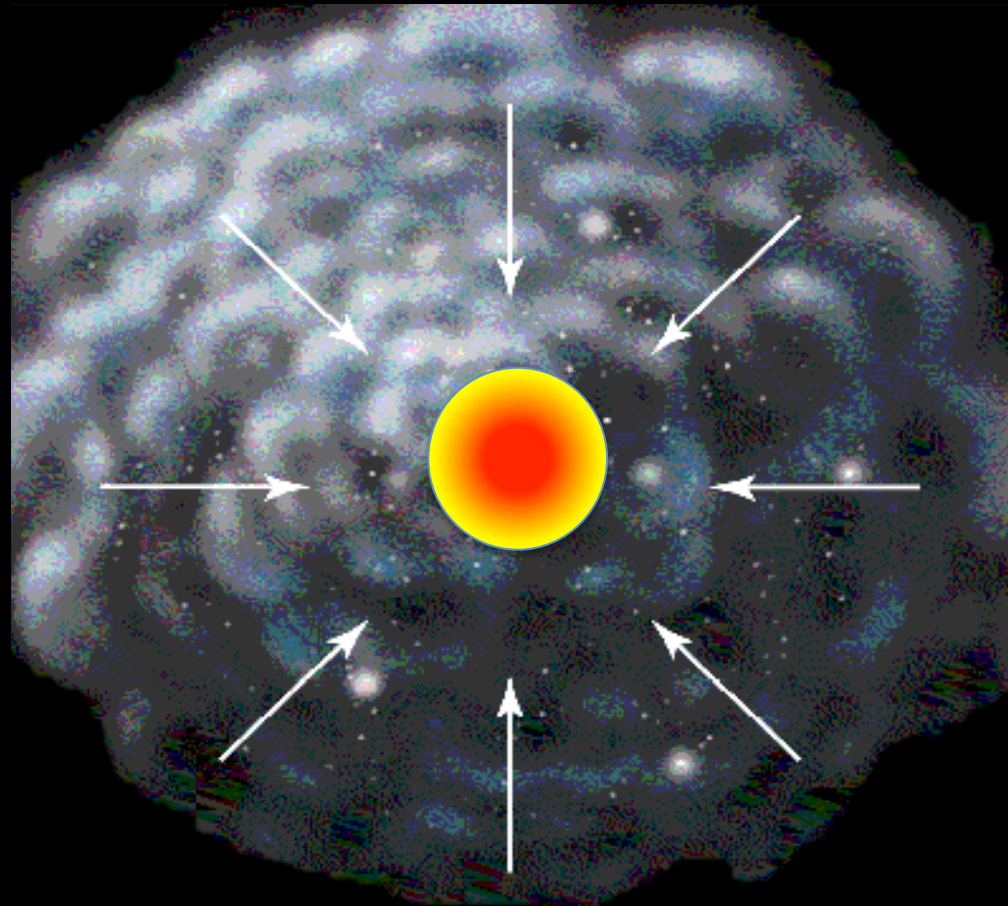


Temperatura
circa -263°C a
 -100°C

Fase di circa
100,000 anni

LE TAPPE PER FORMARE UN SISTEMA SOLARE

→ Al centro del grumo c'è una zona calda, un piccolo "cuore" chiamato "Hot Corino"

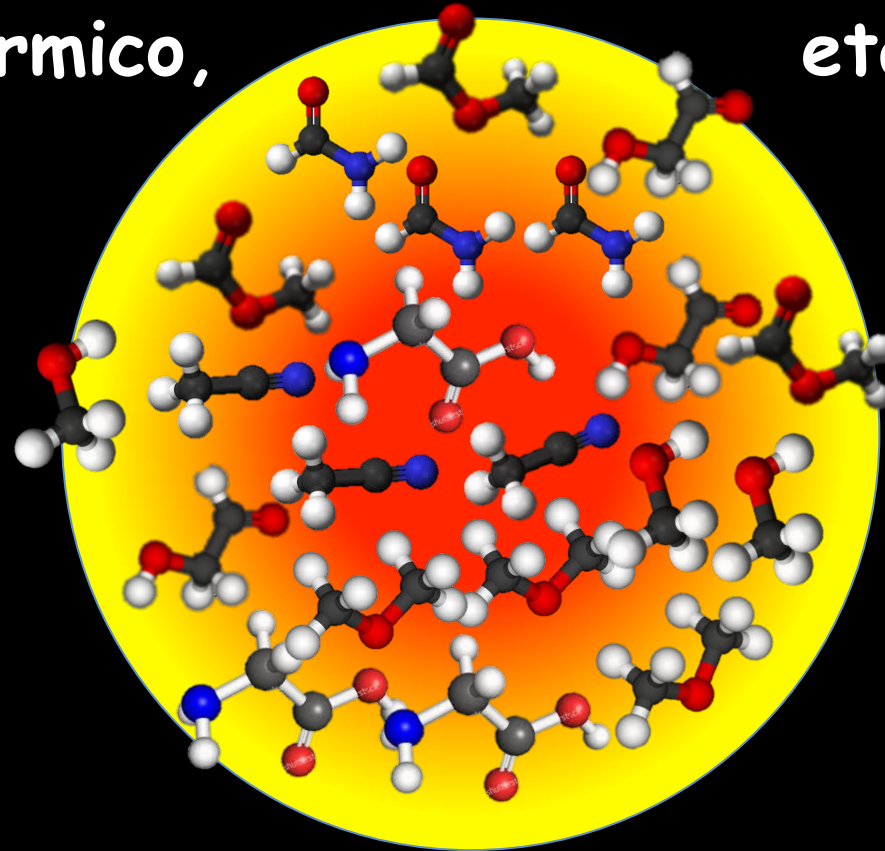


Temperatura
circa -100°C

HOT CORINOS

Fabbriche di molecole organiche complesse
(rispetto ai parametri di un astronomo!)

iCOMs: metanolo, metile formiato, acetone,
acido formico, etanolo,...



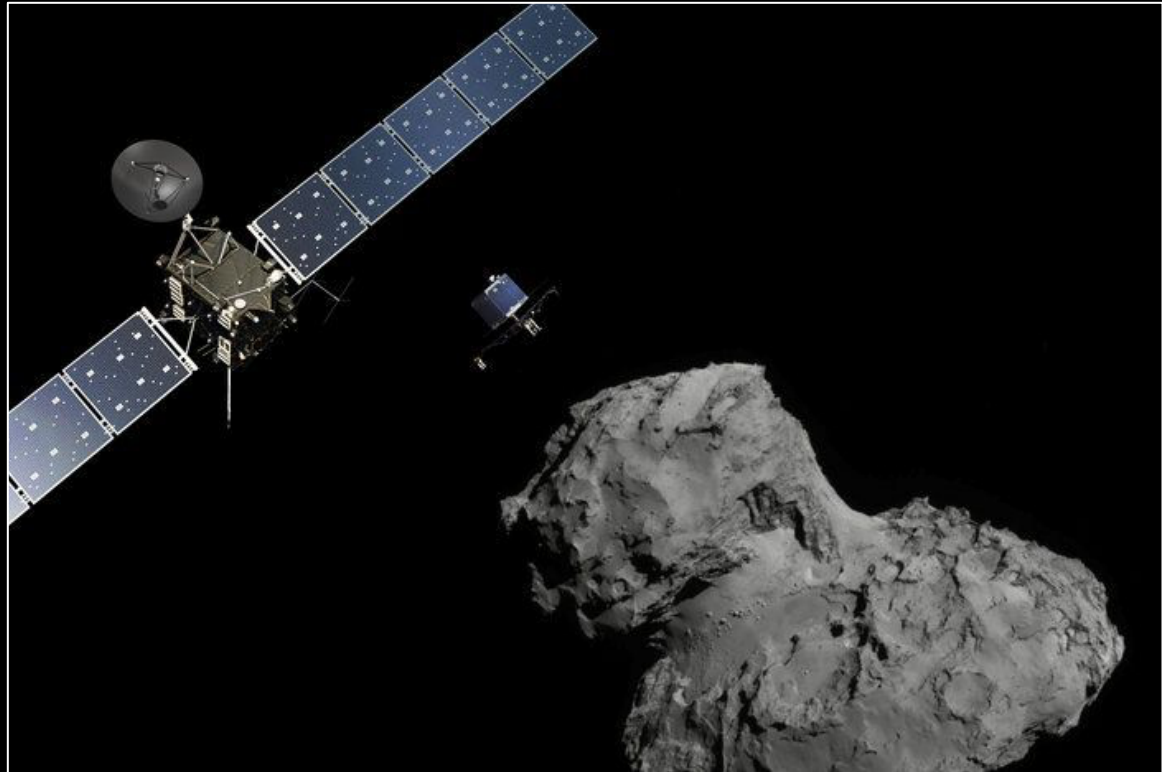
i mattoncini
della vita

Temperatura
circa -100°C

I mattoncini ci sono anche nelle comete
osservate con i telescopi sulle montagne e nello spazio.

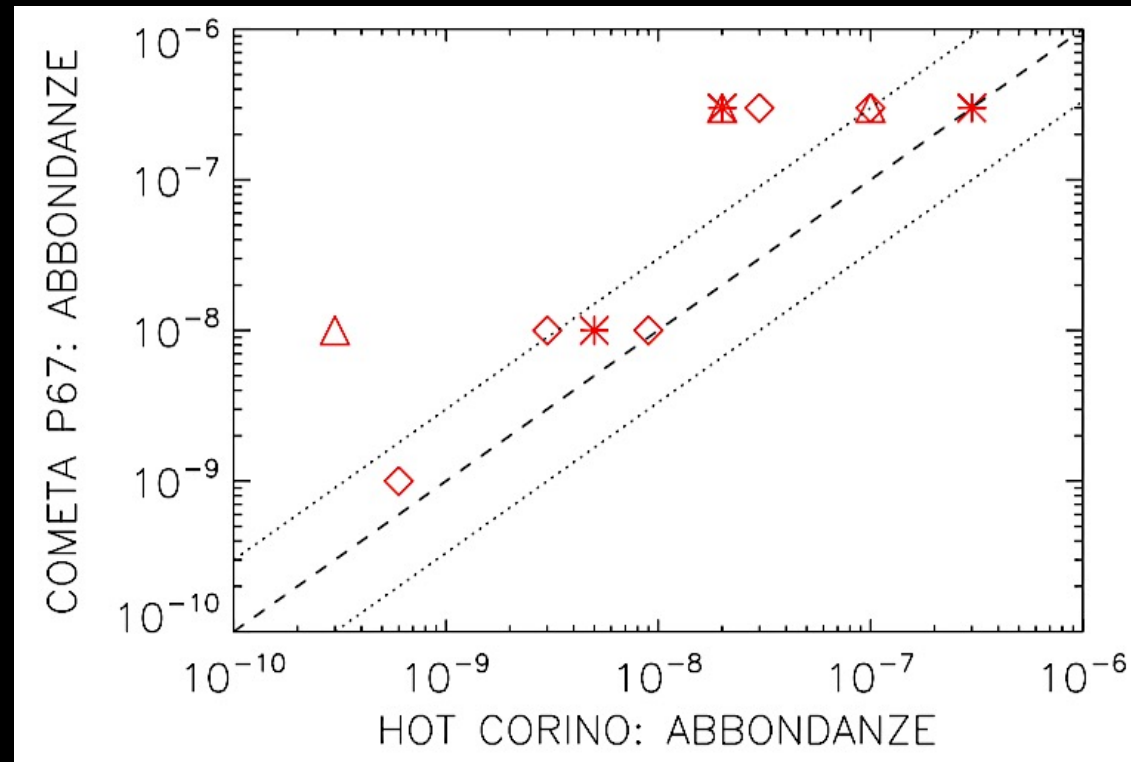


IRAM



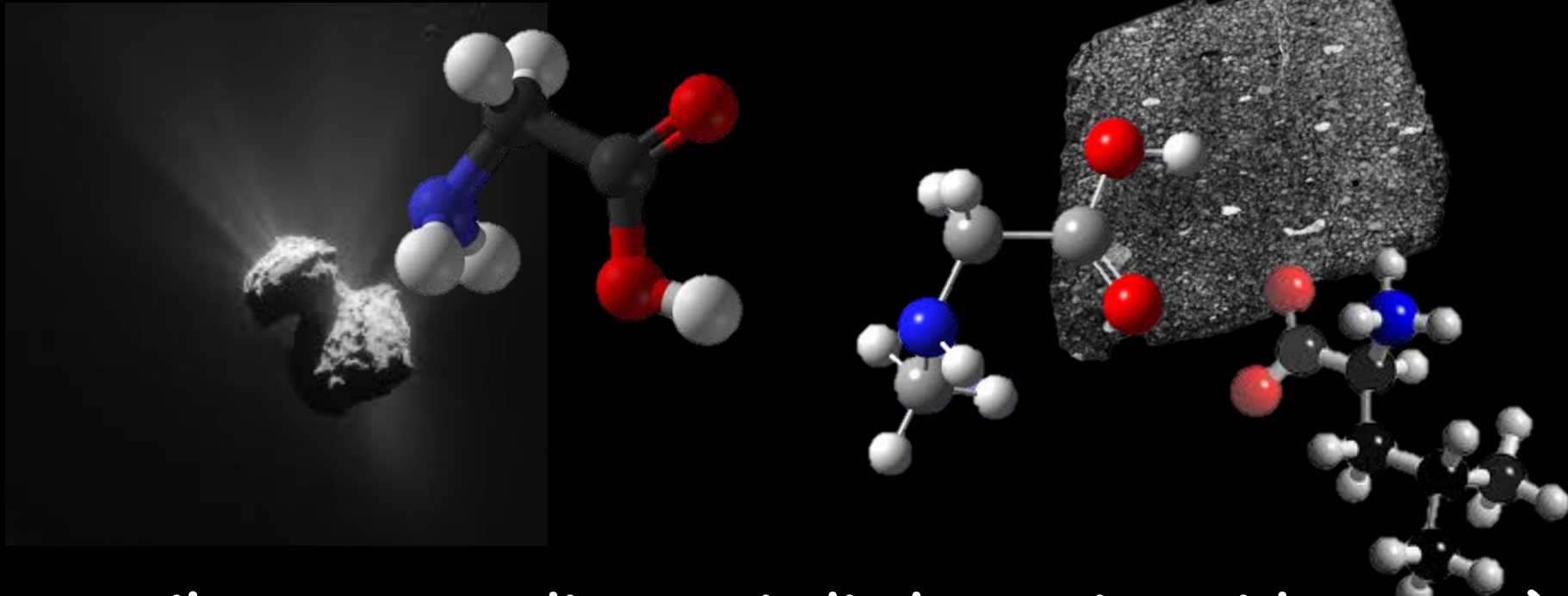
Satellite ESA ROSETTA: osservazioni in situ della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

I mattoncini ci sono anche nelle comete
osservate con i telescopi sulle montagne e nello spazio.



**LE iCOMs IN 67P HANNO ABBONDANZE MOLTO SIMILI
A QUELLE NEGLI HOT CORINOS
→ IL SISTEMA SOLARE E' STATO UN HOT CORINO ←**

Dei mattoncini ancora più complessi si trovano nelle comete e nelle meteoriti: gli AMINOACIDI



...e il rapporto di atomi di deuterio e idrogeno è
di nuovo più di 10 volte quello nell'Universo !
➔ Aminoacidi formati 4.5 miliardi di anni fa ←

Per concludere...

Abbiamo ereditato l'acqua fabbricata alla nascita del Sistema Solare e forse anche i mattoncini usati nella chimica della vita sulla Terra...

I mattoni della vita si formano naturalmente nella nostra Galassia e, molto probabilmente, anche altrove nel Cosmo. **I semi della vita sono universali.**

La vita è una manifestazione obbligatoria della materia, scritta nella struttura dell'Universo e ci devono essere molti posti con la vita nella nostra e in altre galassie (C. De Duve, Nobel 1997).

