

# L'UNIVERSO IN EVOLUZIONE

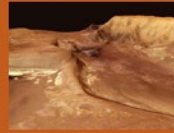
9 novembre 2009 - 2 dicembre 2009 | Biblioteca Salaborsa | Piazza Nettuno 3 Bologna

**Mostra**

**Conferenze**

**Laboratori e visite**

**Crediti**



Dai primordi del Big Bang alle stelle e galassie per arrivare ai pianeti e alla vita. Una mostra, ma anche conferenze e laboratori, sulla scienza del Cosmo



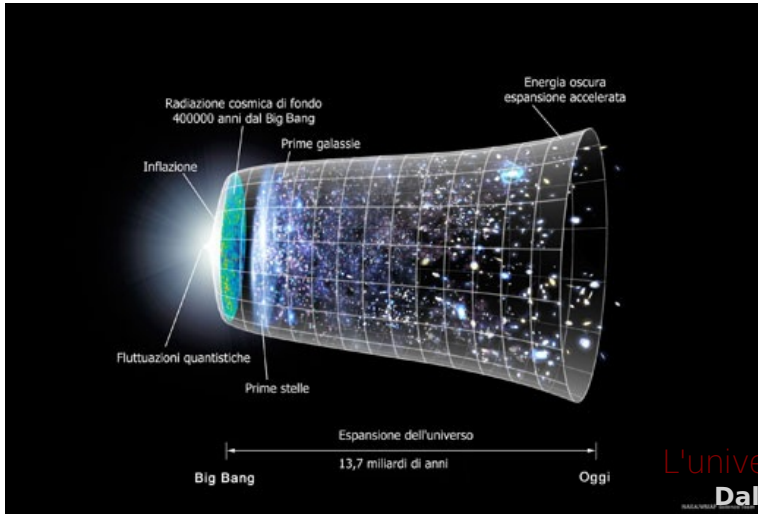
L'UNIVERSO  
A TE SCOPRIRLO  
ANNO INTERNAZIONALE DELLA  
ASTRONOMIA  
2009

Università di  
Bologna  
Dipartimento di  
Astronomia

INAF  
Osservatorio  
Astronomico di  
Bologna

MAIN SPONSOR





L'universo in evoluzione  
**Dal Big Bang alla vita**

## Presentazione

Il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Bologna e l'INAF-Osservatorio Astronomico di Bologna hanno incluso in BoAstro2009 tutte le manifestazioni ideate per celebrare il 2009 *Anno Internazionale dell'Astronomia*.

La mostra *L'universo in evoluzione* - realizzata in collaborazione con i Dipartimenti di Biologia Evoluzionistica Sperimentale e di Scienze della Terra e Geoambientali - intende presentare agli studenti e al vasto pubblico le evidenze osservative astronomiche e cosmologiche a partire dal Big Bang fino ad oggi, estese all'evoluzione dei corpi planetari fino all'origine della vita sulla Terra.

**Qualunque sia stata l'origine dell'universo, sappiamo per certo che una origine l'ha avuta e che ancora si sta espandendo. Si sa anche che all'inizio l'universo era composto solo di idrogeno e una frazione di elio (i due gas più leggeri). Questa composizione avvalendosi della forza di gravità, ha permesso l'aggregarsi dei due gas in dense nubi che successivamente sono diventate stelle brillanti. Le stelle, a loro volta, fabbricano al loro interno tutti gli elementi conosciuti, si raggruppano tra loro e formano le galassie che a loro volta si raggruppano tra loro formando giganteschi ammassi. In conclusione, tutto nell'universo è strettamente concatenato ma ogni passo è guidato dal caso. Le cose che osserviamo si spiegano così, ma avrebbero potuto andare diversamente (e non è detto che non ci siano universi, a noi inaccessibili, dove ciò è avvenuto). Questa casualità la osserviamo nei corpi inanimati ma anche meglio negli esseri viventi. Non a caso la mostra si estende dalla cosmologia all'astrofisica fino alla geologia e alla biologia.**

In conclusione nessuno meglio di Carl Sagan ha spiegato in una frase il concetto conduttore dell'intera mostra: *"Se vuoi fare una torta di mele partendo da zero, per prima cosa devi creare l'universo"*.

## La mostra

.....  
 Presentazione

.....  
 Astronomia

.....  
 Geologia

.....  
 Biologia

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



"...scienza è distinguere quello che si sa da quello che non si sa..."  
[Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, 1610]

IAY e Anno Galileiano



Nell'estate del 1609 Galileo volse al cielo, per la prima volta, un nuovo strumento che gli svelò un Cosmo del tutto diverso da quello fino allora conosciuto. Iniziava così un'avventura che avrebbe ampliato a livelli inimmaginabili ai tempi di Galileo i confini della conoscenza del nostro universo, riguardo al suo contenuto e alle sue dimensioni, alla fisica che lo governa, alle sue origini e alla sua evoluzione. (figura 1 in alto e figura 2 a sinistra)

## Le scoperte



Le scoperte di monti e valli sulla Luna e di macchie sul Sole mostravano che gli astri non erano composti di materia incorruttibile. La scoperta di nuovi satelliti in rotazione intorno a Giove mostrava che la Terra non era l'unico centro di rotazione nel



Creato. La scoperta di "un numeroso gregge di stelle", mai viste a occhio nudo, ampliava le dimensioni del Cosmo e infrangeva la sfera delle stelle fisse. La scoperta delle fasi di Venere metteva in discussione il sistema del Mondo allora vigente. (figura 3 a sinistra e figura 4 a destra)

## Le conseguenze

Tutte queste osservazioni, iniziate quell'estate di 400 anni fa, mostravano come "questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi, l'Universo" fosse del tutto differente e discordante da quello conosciuto sin dall'antichità. La nuova scienza che Galileo iniziò a costruire -

## La mostra

IAY e anno galileiano

L'evoluzione  
dell'universo

Galassie e materia  
oscura

Le distanze tra i corpi  
celesti

La materia interstellare

Sistema solare e  
dintorni

Presentazione

Geologia

Biologia



proprio a partire da quelle scoperte e nonostante critiche e processi - aprì così la strada a quella fisica che verrà definita 80 anni più tardi da Newton e che consentirà, di studiare l'universo nella sua interezza, applicandovi ovunque le stesse leggi. Dopo questa rivoluzione che ha spostato la Terra dal centro del Cosmo, altre ne seguiranno: con Darwin - 150 anni fa - per rivedere la posizione dell'Uomo sulla Terra e con Hubble - 80 anni fa - per rivedere la posizione della nostra Galassia nell'universo. (figura 5)

## La nuova scienza



Lo scienziato Galileo Galilei è passato indenne attraverso questi 400 anni, superando polemiche e condanne, e si può affermare che il maggior contributo che egli ha fornito alla storia del pensiero sia proprio quello del metodo scientifico che ci ha lasciato come sintesi tra "sensate esperienze e necessarie dimostrazioni". (figura 6)

## Oggi

Per ricordare il quarto centenario delle prime osservazioni di Galileo l'Unione Astronomica Internazionale, con il patrocinio dell'ONU e dell'UNESCO, ha proclamato il 2009 "*Anno Internazionale dell'Astronomia*" (IAY), allo scopo di "aiutare i cittadini del pianeta Terra a riscoprire il loro ruolo nell'universo attraverso la conoscenza del cielo e a provare l'entusiasmo della scoperta e della condivisione delle conoscenze".

### Le figure

Fig.1. Ritratto di Galileo, commissionato dallo scienziato a Ottavio Leoni nel 1624. [Firenze, Biblioteca Marucelliana]

Fig.2. Galileo presenta il telescopio al Doge di Venezia, in un affresco ottocentesco di Luigi Sabatelli. [Firenze, "Tribuna di Galileo"]

Fig.3. Nella prima edizione del *Sidereus Nuncius* (Venezia, 1610) compare il primo disegno di Galileo delle osservazioni della Luna che ci è pervenuto.

Fig.4. Quaderno di osservazione di Galileo in cui sono descritte le posizioni dei satelliti di Giove, scoperti il 7 gennaio del 1610, in una pagina del *Sidereus Nuncius*. [Firenze, Biblioteca Nazionale]

Fig.5. Galileo onora l'Astronomia, la Matematica e l'Ottica, presentando loro il suo cannocchiale e alcune delle sue nuove scoperte. Antiporta delle Opere di Galileo Galilei, stampate a Bologna nel 1656. [Bologna, Biblioteca del Dipartimento di Astronomia]

Fig 6. L'Astronomia e le arti liberali, in un grande tondo di Johann M. Rottmayr (1654-1730). [Laufen, Baviera]



**"La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi, io dico l'universo. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto" [Galileo Galilei, Dialogo sui due massimi sistemi, 1623]**

L'evoluzione dell'universo

## Espansione dell'universo

Attualmente l'universo si sta espandendo: come due punti sulla superficie di un palloncino che si sta gonfiando, la velocità relativa aumenta con la distanza (figura in alto). Questo è dovuto allo spazio che si sta espandendo: se lo spazio raddoppia e se due punti erano separati da due metri, ora lo saranno da 4. Se erano separati da 10, ora disteranno 20 metri.

**Quindi l'espansione è contemporanea in ogni punto dell'universo e non esiste un "centro".**

Noi non ci accorgiamo dell'espansione sia perché le velocità, a scale umane, sono piccole (alla distanza di Plutone la velocità di espansione è di un centomillesimo di chilometro per ora, quella della galassia di Andromeda è di 12000 chilometri per ora) sia perché le forze gravitazionali ed elettriche contrastano e sovrastano l'espansione. La stessa galassia di Andromeda, infatti, non partecipa all'espansione perché attirata dalla nostra galassia.

## Inflazione

Si pensa che nelle primissime fasi di vita dell'universo il vuoto possedesse un'energia che si è improvvisamente liberata, facendo espandere l'universo da una dimensione 10 con venti zeri più piccola di un protone alla dimensione di una palla di 10 cm di diametro in una frazione infinitesima di secondo.

## La mostra

.....  
IAY e Anno Galileano

L'evoluzione dell'universo

Galassie e materia oscura

Le distanze tra i corpi celesti

La materia interstellare

Sistema solare e dintorni

Presentazione

Geologia

Biologia

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## Fase attuale



Attualmente all'espansione dell'universo si contrappone la forza di gravità (attrattiva) (figura 2 a sinistra). Si è scoperto però che a grandi distanze sembra agire una forza repulsiva che fa accelerare l'espansione. Questa forza, associata ad un'energia del vuoto viene chiamata **energia oscura**.

## Futuro dell'universo

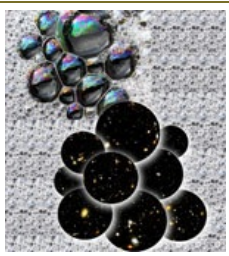
Non si sa se l'energia oscura rimarrà costante, diminuirà o aumenterà

(figura in basso a destra).

Per questo motivo potremo avere un universo che tornerà a contrarsi (*Big Crunch*), potrà espandersi per sempre (Espansione infinita) lasciando un cielo senza galassie, oppure potrà espandersi così violentemente da far letteralmente vaporizzare gli atomi (*Big Rip*). Ovviamente il tutto tra alcune decine di miliardi di anni.



## Multiversi



Attualmente alcuni scienziati pensano che, come bolle nella schiuma, possano esistere infiniti universi come il nostro. (figura a sinistra)



## Galassie e materia oscura

**"Non è cosa di poco conto aver rimosso le controversie riguardo alla galassia o via lattea, con l'aver manifestato al senso, oltre che all'intelletto, l'essenza sua" [Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, 1610]**

Le galassie sono giganteschi sistemi di stelle, gas e materia oscura, legati insieme dalla forza di gravità, che popolano l'universo osservabile in numero di almeno 100 miliardi. Sono i "mattoni" dell'universo.

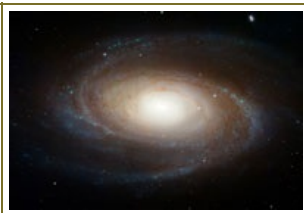
### La Via Lattea

Il Sistema solare si trova nella galassia detta Via Lattea (figura 1 in alto). Nelle notti di cielo terso e da un sito particolarmente buio, possiamo vedere una parte della Via Lattea ad occhio nudo, come una banda luminosa e continua che attraversa il cielo.

Fu Galileo nel 1610 ad osservare per primo la Via Lattea al telescopio, distinguendo in quella striscia biancastra migliaia di stelle, mentre altre, molto più numerose, rimanevano indistinte in una striscia continua.

Le macchie scure che si vedono nella foto sono immense regioni di polvere e gas, da cui le stelle continuamente si formano. La Via Lattea contiene circa 100 miliardi di stelle simili al Sole, ed è una galassia detta "a spirale".

### Le forme delle galassie



La parte visibile delle galassie consiste di due componenti fondamentali: uno sferoide di stelle, e un disco formato da stelle, gas e polveri. Nel disco si riconosce la tipica struttura dei bracci a spirale, cioè increspature nelle quali è maggiore la densità di stelle e gas.

Alcune galassie posseggono solo lo sferoide,

altre solo il disco, altre ambedue le componenti. Qui vediamo le galassie a spirale M81 (simile alla Via Lattea; figura 2 in alto a destra), M51 (con una compagna vicina; figura 3 di fianco a destra) e Sombrero (M104; figura 4 in basso a sinistra).



### La mostra

IAIY e Anno Galileano

L'evoluzione dell'universo

Galassie e materia oscura

Le distanze tra i corpi celesti

La materia interstellare

Sistema solare e dintorni

Presentazione

Geologia

Biologia

### Un universo di galassie...





Fino agli inizi del 1900 si credeva che la Via Lattea fosse l'intero Universo, perché i telescopi di dimensioni modeste in uso all'epoca non consentivano l'esplorazione al di fuori di essa. Negli anni '20 Edwin Hubble iniziò ad usare un nuovo e più grande telescopio (quello di Mt. Wilson in California, del diametro di 2,5 metri).

Scoprì così che la Via Lattea è parte di un piccolo gruppo di galassie, il Gruppo Locale, e si spinse ad osservare galassie distanti fino 500 milioni di anni luce.



Le galassie non occupano uniformemente lo spazio, ma tendono a stare in gruppi piccoli e grandi, quali gli ammassi, che contengono fino a migliaia di galassie ciascuno. Nell'immagine dell'ammasso Abell 1689 (figura 5 di fianco a sinistra), distante 2 miliardi di anni luce dalla Terra, vediamo centinaia di galassie sferoidali, e alcune galassie di forma molto allungata, disposte lungo archi. Cosa sono?

## ...e di materia oscura

La forza di gravità esercitata dall'ammasso agisce come una gigantesca lente, larga 2 milioni di anni luce, che curva e amplifica la luce proveniente da galassie molto più lontane che si trovano dietro l'ammasso, producendone immagini distorte di colore bluastro.

### **Le figure**

Fig. 1 Via Lattea; [B. Gilli, ESO]

Fig. 2 M81; [NASA, ESA, e The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]

Fig. 3 M51; [NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), e The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]

Fig. 4 Sombrero; [NASA e The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]

Fig. 5 Abell1689; [NASA, ESA, L. Bradley (JHU), R. Bouwens (UCSC), H. Ford (JHU), e G. Illingworth (UCSC)]





"...si scorgerà poi col cannocchiale un così numeroso gregge di altre stelle che appena è credibile..." [Galileo Galilei, *Siderius Nuncius*,

1610]

Le distanze tra i corpi celesti

Gli ammassi di galassie (figura 1 in alto) sono le strutture più grandi, che la forza di gravità riesce a tenere assieme, nell'universo. Il diametro medio di un ammasso misura 15 milioni di anni luce (a.l.), corrispondenti a circa  $1,5 \times 10^{20}$  chilometri, ossia 150 miliardi di miliardi di chilometri.

L'ammasso di galassie più vicino al Sole è quello della Vergine, distante da noi 63 milioni di a.l. Per raggiungerlo, utilizzando lo *Space Shuttle*, occorrerebbero ben 2268 miliardi di anni.

Un ammasso contiene, in media, alcune migliaia di galassie, molto più concentrate al centro che in "periferia". Un miliardo di anni di volo dello *Space Shuttle* separa le galassie delle regioni centrali, 33 miliardi di anni quelle delle regioni più esterne.



Più piccoli degli ammassi di galassie sono i gruppi ed in particolare quelli compatti, caratterizzati dalla presenza di alcune galassie in una regione di dimensioni comparabili a quelle di una singola galassia. In queste condizioni di estrema densità le interazioni gravitazionali fra le galassie sono particolarmente intense e se ne possono vedere gli effetti spettacolari.(figura 2 a sinistra)

Le interazioni dovute alla forza di gravità sono molto forti anche quando le galassie formano un sistema doppio e in questi casi è facile che avvenga scambio di stelle e gas fra l'una e l'altra. (figura 3 a destra)



Le dimensioni delle galassie variano molto, così come le loro forme, masse e luminosità. Le più grandi hanno diametri di 300000 a.l. , le più piccole di 3000 a.l. Per attraversare una galassia gigante, utilizzando lo *Space Shuttle*, occorrerebbero 10 miliardi di anni, per una piccola 100 milioni. Le decine di miliardi di stelle contenute in una galassia di medie dimensioni non sono distribuite uniformemente ma si concentrano al centro, lungo il piano del disco (nelle galassie a spirale) e negli ammassi globulari.(figura 4 a sinistra)

## La mostra

IAY e Anno Galileano

L'evoluzione dell'universo

Galassie e materia oscura

Le distanze tra i corpi celesti

La materia interstellare

Sistema solare e dintorni

Presentazione

Geologia

Biologia



Gli ammassi globulari hanno dimensioni medie pari ad alcune decine di a.l. e contengono svariate decine di migliaia di stelle. L'attraversamento di un ammasso globulare a bordo dello *Shuttle*



richiederebbe un milione di anni. (figura 5 a destra)

Solo i diametri delle stelle risultano a portata di *Shuttle*: appena 47 ore per percorrere una distanza corrispondente al diametro del sole e 671 ore per quella corrispondente al diametro di una stella supergigante. Ma spostarsi da una stella ad un'altra risulterebbe nuovamente impossibile: 151000 anni di navigazione separano, infatti, il sole dalla sua stella più vicina Proxima Centauri. Forse non siamo soli nell'Universo ma i contatti con altri esseri viventi non sono propriamente facili!

### Le figure

Fig. 1 L'ammasso di galassie S0740, distante 450 milioni di a. l. da noi. La galassia al centro è un'ellittica gigante (ESO 325-G004) che contiene 100 miliardi di stelle e ha dimensioni di 200 000 a.l. [NASA, ESA, e The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]

Fig. 2 HCG 90, gruppo compatto di galassie, distante da noi 100 milioni di a.l. Le tre galassie, due ellittiche e una spirale, si trovano entro una regione che si estende per 80 000 a.l. La spirale è stata allungata e distorta per effetto dell'interazione gravitazionale con le due ellittiche. [Hubble]

Fig. 3 Una coppia di galassie in interazione (NGC 5257 e NGC 5258) situata a 300 milioni di a.l. Lungo i bracci di spirale a contatto fra loro avviene scambio di materia fra le due galassie. [NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration e A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)]

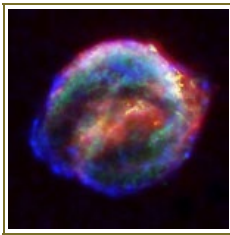
Fig. 4 M 74, galassia a spirale distante, da noi, 32 milioni di a.l. Contiene 100 miliardi di stelle ed è la galassia dominante di un gruppo contenente una dozzina di membri. Il lato più lungo dell'immagine corrisponde a circa 30 000 a.l. [NASA, ESA, and the Hubble - Heritage (STScI/AURA)-ESA / Hubble Collaboration Acknowledgment: R. Chandar (Univ. Toledo) e J. Miller (Univ. Michigan)]

Fig. 5 M 13, detto anche il grande ammasso globulare di Ercole. Situato, nella nostra galassia, ad una distanza di 22 200 a.l. da noi. Ha un diametro di 150 a.l. e contiene almeno mezzo milione di stelle. La galassia in alto a sinistra è NGC 6207 situata a 51 milioni di a.l. da noi. [Noel Carboni, Digitized Sky Survey]



"numerosse areole di colore consimile splendono qua e là per l'etere di tenue luce, chiamate dagli astronomi Nebulose" [Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius*, 1610]

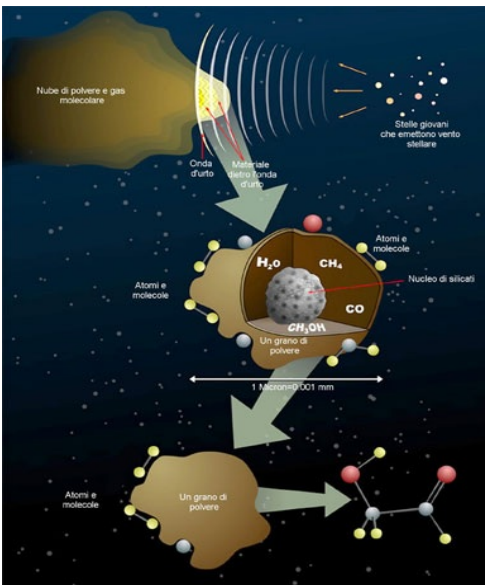
La materia interstellare



Tra una stella e l'altra le distanze sono grandi: anni luce. Questo spazio però non è vuoto. Le stelle, infatti, non emettono solo luce ma anche atomi dei vari elementi sintetizzati al loro interno. (vedi figura a sinistra.)

I venti stellari e le esplosioni di novae e supernovae allontanano dalla superficie stellare questi atomi che si aggregano. Gli atomi formano gruppi sempre più complessi dando luogo a molecole ed, addirittura, grani di polvere

interstellare. (vedi figura sotto.)



## La mostra

IAY e Anno Galileano

L'evoluzione dell'universo

Galassie e materia oscura

Le distanze tra i corpi celesti

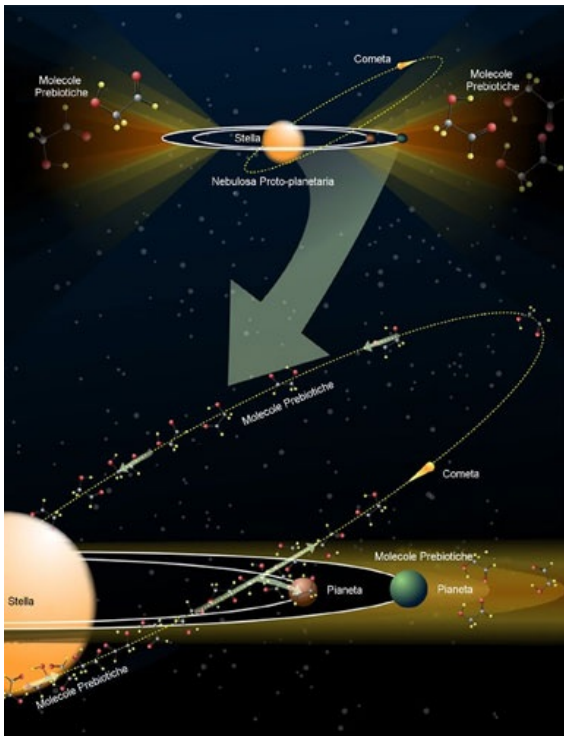
La materia interstellare

Sistema solare e dintorni

Presentazione

Geologia

Biologia



Un grano ha le dimensioni del fumo delle sigarette (pochi micron) ma su di essi avvengono reazioni chimiche complesse. Su una base di silicio e carbonio crescono molecole d'acqua e poi molecole sempre più complesse, molte delle quali organiche. Se ne conoscono più di 100. (vedi figura a sinistra)



Le molecole, grazie ad un loro meccanismo di oscillazione e rotazione emettono nelle radioonde mentre i grani assorbono e riemettono specialmente nell'infrarosso. (vedi figura a destra.)



La complessità delle molecole osservate fa pensare che possano esistere i presupposti chimico fisici per assemblare sui grani, molecole prebiotiche che possano, a loro volta, aggregarsi in molecole biotiche nell'ambiente appropriato (esempio il nostro pianeta Terra). In questo modo potrebbe avere inizio la vita batterica. Esiste anche una teoria che ipotizza che batteri originari di altri pianeti siano stati trasportati sino a noi su meteoriti staccatisi dai pianeti a seguito di violenti impatti. (vedi figura sopra)



L'astrofisica molecolare è oggi componente base di una disciplina recentemente cresciuta dal connubio di Astronomia, Astrofisica, Chimica, Biologia etc. e battezzata Astrobiologia. (vedi figura a sinistra.)



**"ora non abbiamo più un solo pianeta rotante intorno ad un altro, mentre ambedue ruotano intorno al Sole, bensì l'esperienza sensibile ci mostra quattro astri erranti intorno al Sole"[Galileo Galilei Sidereus Nuncius, 1610]**

I pianeti del Sistema solare sono otto: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno. Nel 2005 la IAU (*International Astronomical Union*) ha declassato Plutone a corpo trasnettuniano. Asteroidi come Vesta e Cerere sono stati invece promossi a Pianeti Nani, una nuova categoria di corpi del Sistema solare. (Nella figura in alto un montaggio con tutti i pianeti del Sistema solare con dimensioni in scala rispetto al Sole.)

Lo studio dei meteoriti data la nascita del Sistema solare a 4,5 miliardi di anni fa quando la Via Lattea aveva già quasi 10 miliardi di anni di età.

Da una nube di idrogeno ed elio ma ricca di polveri ed elementi pesanti (carbonio, ossigeno, calcio, magnesio,...) si è formato un disco protoplanetario in rotazione. Su questo disco "sottile" in 100 milioni di anni circa si sono formati i quattro pianeti interni ed i quattro pianeti esterni, con in più una miriade di piccoli oggetti, tra Marte e Giove, e di corpi lontani, oltre l'orbita di Nettuno in quella che viene chiamata la fascia di Kuiper.

Il metro di misura delle distanze è la distanza Terra-Sole o l'Unità Astronomica (UA) pari a 149 597 870 km.

I quattro pianeti interni sono rocciosi e sono disposti entro 1.5 UA. Solo la Terra ha un satellite, la Luna. I due satelliti di Marte, Phobos e Deimos più che satelliti sono due asteroidi catturati dal pianeta rosso. (Nella figura in basso a sinistra una immagine ad alta risoluzione della superficie di Marte presa dalla sonda *Mars Express*.)



destra ghiaccio d'acqua sulla superficie di Marte osservato da *Phoenix Lander*.)

Oltre le 5 UA e fino ai confini della fascia di Kuiper, a 30 UA, si trovano i

## Sistema solare e dintorni

***Nuncius, 1610]***

### La mostra

.....  
 IAY e Anno Galileano

.....  
 L'evoluzione dell'universo

.....  
 Galassie e materia oscura

.....  
 Le distanze tra i corpi celesti

.....  
 La materia interstellare

.....  
 Sistema solare e dintorni

.....  
 Presentazione

.....  
 Geologia

.....  
 Biologia

.....

.....

.....

.....

.....

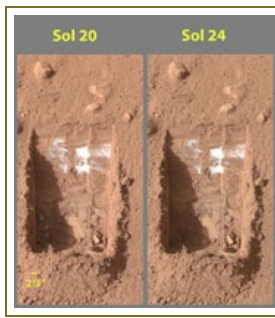
.....

.....

.....

.....

planeti esterni gassosi. Sono così chiamati perché sono composti principalmente di idrogeno e elio con percentuali inferiori di ammoniaca, metano e vapor d'acqua. Allontanandosi dal Sole diminuisce la temperatura superficiale dei pianeti che può raggiungere anche i meno 180 gradi centigradi. A differenza dei pianeti interni quelli esterni hanno un gran numero di satelliti alcuni dei quali hanno dimensioni maggiori di Mercurio. Sono solidi, ma hanno una densità nettamente inferiore a quella dei pianeti interni. Escluso Io, un satellite di Giove, gli altri satelliti hanno una superficie ghiacciata. (Nella figura in basso a destra Saturno osservati dalla Sonda Cassini.)



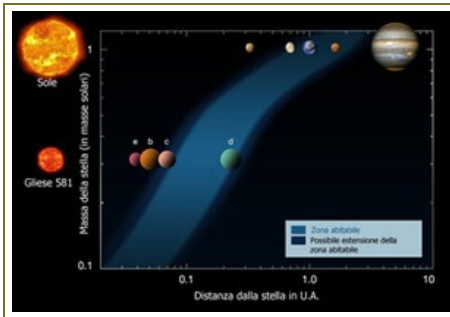
alcuni satelliti ghiacciati di

Sono stati scoperti più di mille corpi oltre Nettuno e si stima che siano oltre centomila. Dalla fascia di Kuiper provengono le comete a breve periodo mentre dalla enorme e più lontana nube di Oort provengono quelle a più lungo periodo.



Centinaia sono, o sono state, le sonde spaziali verso i pianeti interni ed esterni che hanno, o stanno esplorando, questi corpi celesti.

Il nostro Sistema solare è unico? No! Sono stati scoperti oltre 300 altri Sistemi extrasolari ma con pianeti che somigliano maggiormente ai giganti gassosi che non ai pianeti terrestri. Con i prossimi telescopi nello spazio dedicati a questi studio potremo, in un futuro non troppo lontano, osservare pianeti di dimensioni simili alla Terra! Nella figura in basso il sistema extrasolare attorno alla stella Gliese 581 comprende 4 pianeti alcuni dei quali sulla soglia della zona di abitabilità della stella centrale.



L'universo in evoluzione





L'evoluzione: ubiquità cosmica?

Gli esseri viventi occupano praticamente tutti gli *habitat* disponibili sulla Terra, compreso quelli che ci possono apparire più inospitali (nella figura in alto il Geyser di El Tatio, a 4500 metri di altezza nelle Ande Cilene. Acqua bollente, vapori, alta quota rendono questo luogo uno dei più inospitali della Terra. Foto Università di Bologna). Essi, modificandosi e adattandosi, hanno inoltre la possibilità di colonizzare ambienti completamente nuovi, come è già avvenuto durante i circa 4 miliardi di anni di evoluzione della vita terrestre. Tutto ciò suggerisce una **ubiquità cosmica per l'evoluzione**.

## E altrove nel Sistema solare?

### La mostra

.....  
L'evoluzione: ubiquità cosmica?

.....  
C'è vita su Marte?

.....  
La geografia fisica di Marte

.....  
Depositi salini a confronto

.....  
Non si cercano solo marziani

.....  
Titano

.....  
Metano

.....  
Presentazione

.....  
Astronomia

.....  
Biologia

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





## C'è vita su Marte? Gli occhi puntati sul pianeta rosso

Le missioni *Mars Science Laboratory* della NASA (partirà nel 2011) ed *ExoMars* dell'Agenzia Spaziale Europea (partirà nel 2018) hanno entrambe come obiettivo la ricerca della vita su Marte e la sua abitabilità. Ciò sarà fatto attraverso una serie di esperimenti e misurazioni effettuati dalla strumentazione scientifica trasportata sul pianeta dalle due missioni.

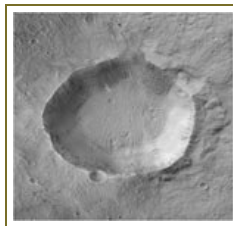
La figura in alto mostra il rover *ExoMars* dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Il rover sarà in grado di studiare la superficie, ma soprattutto di perforare il sottosuolo marziano fino alla profondità di circa 2 metri alla ricerca di possibili forme di vita nascoste (e protette) dalle rocce superficiali. Questo strumento europeo è il solo finora progettato per indagare ciò che c'è al di sotto della superficie del pianeta.  
[Immagine ESA/AOES Medialab]

## La vita come noi la conosciamo...

La vita come noi la conosciamo richiede la presenza di *acqua liquida... e su Marte?*

Esistono prove inconfutabili che l'acqua liquida c'è (o c'è stata) sul pianeta rosso. Eccone una!

Nella figura a destra la panoramica di un cratere da impatto in *Terra Sirenum*, emisfero meridionale di Marte fotografato nel dicembre 2001 dalla sonda della NASA *Mars Global Surveyor*. Il suo cratere è largo circa 7 chilometri e i suoi fianchi sono ripidi come quelli di una scarpata.



Nella figura in basso a sinistra dettagli della scarpata del cratere di *Terra Sirenum*. Notare il canale evidenziato dal tracciato.

Nella figura in basso a destra la stessa scarpata del cratere fotografata nell'aprile (e poi ancora nell'agosto) 2005 dalla stessa sonda. Il tracciato indica che nuovo sedimento (quello più chiaro) si è mobilizzato verso il basso lungo lo stesso canale della foto precedente, quando ha raggiunto il fondo piatto del cratere. Proprio come succede sulla terra alle masse di fango e acqua in movimento.

## La mostra

L'evoluzione: ubiquità  
cosmica?

C'è vita su Marte?

La geografia fisica di  
Marte

Depositi salini a  
confronto

Non si cercano solo  
marziani

Titano

Metano

Presentazione

Astronomia

Biologia



[Immagini NASA/JPL/Malin Space Science System]



La geografia fisica di Marte è più simile alla Terra di quanto si pensi

## Esempio 1: depositi eolici



Figura a sinistra: spettacolare immagine ottenuta nel 2007 con camera panoramica in super-risoluzione dal rover marziano *Opportunity* della NASA, in prossimità del margine del *Victoria Crater* di Marte. Il fantastico dettaglio della stratificazione incrociata (contorno) presente in

questi depositi fossili marziani sulla Terra si ritrova, per esempio, nelle dune fossili del deserto del Sahara tunisino (figura in basso a sinistra). Questi confronti diretti permettono di interpretare le strutture marziane, riconoscendo gli agenti che le hanno prodotte.

[Immagini della NASA/JPL-Caltech/Cornell University e della Università di Bologna]



## La mostra

L'evoluzione: ubiquità cosmica?

C'è vita su Marte?

La geografia fisica di Marte

Depositi salini a confronto

Non si cercano solo marziani

Titano

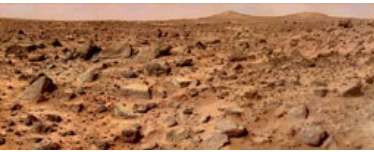
Metano

Presentazione

Astronomia

Biologia

## Esempio 2: regoliti



In basso, prima figura: polvere e ciottoli formano il regolite marziano in una immagine presa dalla missione *Pathfinder* della NASA nel 1997 da una regione nord-equatoriale di Marte. In basso, seconda figura: polvere e ciottoli formano il regolite terrestre nel Deserto di Atacama (Cile), il luogo più arido (e più marziano) che esista sulla Terra.

[Immagini NASA JPL e University e della Università di Bologna]





## Depositi salini a confronto

### Marte

Nella figura a destra fessure causate dalla concentrazione di solfati (forse gesso), che appaiono come zone chiare, sulla superficie del Meridiani Planum di Marte riprese dal rover



*Opportunity* della NASA. [Immagine NASA]

### Deserto del Sahara

Un ambiente terrestre analogo ai depositi salini di Marte: la superficie di laghi salati effimeri nel deserto del Sahara tunisino (figura in alto vicino al titolo) è simile a quella osservata sulla superficie marziana (figura in alto a

destra) negli ultimi anni. La presenza dello stesso tipo di fessurazione e di croste di sale (dettaglio nella figura a destra) è l'elemento di confronto più immediato. [Immagini Università di Bologna]



### Un analogo terrestre di habitat marziano per eccellenza: il Deserto di Atacama (Cile)

Il Deserto di Atacama è considerato molto marziano come tipo di *habitat* per la sua estrema aridità e l'alto tasso di radiazioni ultraviolette. I depositi salini (in basso figura a sinistra), che lo caratterizzano, sono colonizzati a pochi millimetri dalla superficie (in basso figura centrale) da batteri

### La mostra

.....  
L'evoluzione:ubiquità cosmica?  
.....

.....  
C'è vita su Marte?  
.....

.....  
La geografia fisica di Marte  
.....

.....  
Depositi salini a confronto  
.....

.....  
Non si cercano solo marziani  
.....

.....  
Titanio  
.....

.....  
Metano  
.....

.....  
Presentazione  
.....

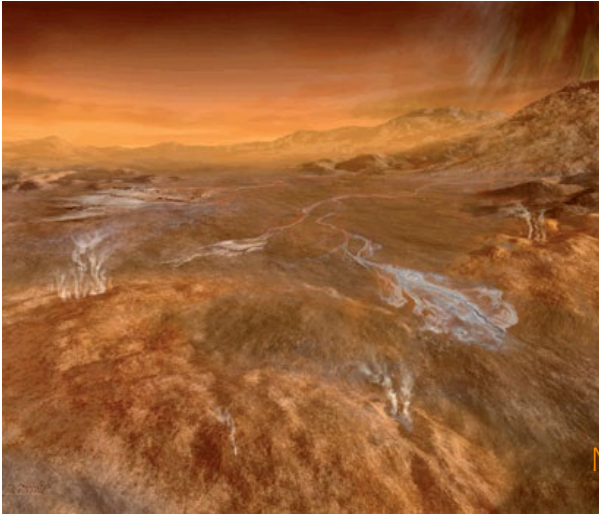
.....  
Astronomia  
.....

.....  
Biologia  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

estremofili, in grado cioè di resistere a condizioni particolarmente difficili. Queste comunità (in basso figura a destra) sembrano avvicinarsi al limite assoluto delle possibilità di sopravvivenza finora noto, per gli ambienti più aridi del nostro pianeta. I batteri di questi gruppi offrono quindi una possibilità di studio per la ricerca di forme di vita passata o presente su altri pianeti, come Marte. [Immagini Università di Bologna]



**L'universo in evoluzione**



Non si cercano solo marziani

Secondo alcuni celebri ricercatori, come Jonathan Lunine dell'Università dell'Arizona a Tucson, è Titano il maggiore indiziato di nascondere il coniglio nel cappello! Insomma, se c'è vita al di fuori del nostro pianeta, questa ha maggiori possibilità di essere presente qui su Titano piuttosto che altrove.

Titano, la maggiore luna di Saturno, ha svelato alcuni dei suoi misteri attraverso la sonda Cassini-Huygens, una missione congiunta NASA/Agenzia Spaziale Europea/Agenzia Spaziale Italiana, atterrata su Titano nel 2005.

L'immagine NASA/JPL che qui osservate è una ricostruzione artistica basata sui dati della sonda Cassini-Huygens: Titano è roccioso, ci sono fiumi, laghi e mari.

È l'unico corpo noto del Sistema solare che possiede liquidi sulla sua superficie, oltre alla nostra Terra.

La sola differenza è che i suoi laghi e mari sono riempiti di metano ed etano. Anche la sua densa atmosfera è costituita da nuvole di metano.

## La mostra

.....  
L'evoluzione:ubiquità  
cosmica?

.....  
C'è vita su Marte?

.....  
La geografia fisica di  
Marte

.....  
Depositi salini a  
confronto

.....  
Non si cercano solo  
marziani

.....  
Titano

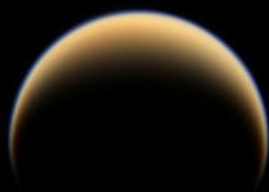
.....  
Metano

.....  
Presentazione

.....  
Astronomia

.....  
Biologia

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



Titano

**mari, laghi e fiumi dove, invece di acqua, scorre metano**

Queste immagini indicano che su Titano esistono canali, isole, baie, fiordi, e altri elementi fisici tipici delle zone costiere. Tutto come sulla Terra, con la sola differenza che, invece di acqua, i mari e laghi di Titano contengono con tutta probabilità miscele di metano e di etano



Figura a sinistra: laghi (in blu) e terre emerse (in giallo) nei pressi del polo nord di Titano. Immagine della sonda Cassini-Huygens presa nel 2006.

Figura a destra: immagine radar presa dalla sonda Cassini-Huygens nel febbraio 2007 che mostra una grande isola in mezzo a un lago nei pressi del polo nord di Titano. Per avere un'idea



delle dimensioni: quest'isola è grande circa 90 x 150 chilometri.  
[Immagini NASA/JPL]

## La mostra

.....  
L'evoluzione:ubiquità  
cosmica?

.....  
C'è vita su Marte?

.....  
La geografia fisica di  
Marte

.....  
Depositi salini a  
confronto

.....  
Non si cercano solo  
marziani

.....  
Titano

.....  
Metano

.....  
Presentazione

.....  
Astronomia

.....  
Biologia

.....

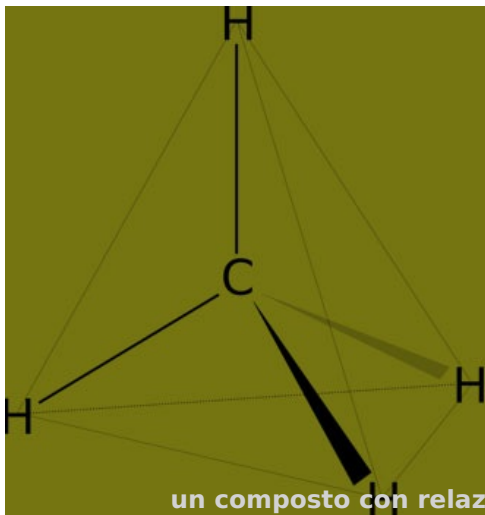
.....

.....

.....

.....





Metano

un composto con relazioni dirette (e inaspettate) con la vita

Le comunità di molluschi bivalvi della figura a sinistra [© 2003 MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute)] vivono a oltre 1000 metri di profondità, al largo della California meridionale, e hanno metabolismi basati sul metano. In pratica "vanno a metano". In che modo? Per questi animali, che sono privi di stomaco, il carbonio organico di cui necessitano per vivere viene fornito dalle



comunità di batteri che ospitano nei loro tessuti e nelle branchie, nonché nei sedimenti circostanti (qui di colore giallo pallido). Questi batteri consumano il metano, scomponendone le molecole (CH<sub>4</sub>), fornendo così energia per sé e carbonio per il loro ospiti molluschi.

Un formidabile esempio di simbiosi e di comunità biologiche adattate a condizioni totalmente prive di luce e sostenute dal metano.

Condizioni apparentemente impossibili di vita, risultano invece ottimali per comunità abbondantissime di animali. Si tratta di comunità di organismi che chiamiamo estremofili, che significa, in una nostra visione molto antropocentrica, adattati a condizioni estreme.

Sono queste straordinarie opportunità per la vita riconosciute sulla Terra che contribuiscono a rendere plausibile la presenza di vita su Titano



Animali in grado di nutrirsi di metano ce ne sono in tutti i mari del mondo, le figure a sinistra si riferiscono a dense comunità di molluschi osservate al largo della California (immagini per gentile concessione di Lisa Levin, *Scripps Institution of Oceanography*, La Jolla, California).

Sulla nostra Terra, "molluschi che vanno a metano" sono presenti da centinaia di milioni di anni: l'esempio fossile esposto qui sotto è di una comunità vissuta circa 20 milioni di anni fa nei mari da dove è in seguito emersa la Sicilia

## La mostra

L'evoluzione: ubiquità cosmica?

C'è vita su Marte?

La geografia fisica di Marte

Depositi salini a confronto

Non si cercano solo marziani

Titano

Metano

Presentazione

Astronomia

Biologia



**Sono queste straordinarie capacità della vita di occupare praticamente ogni tipo di habitat sulla Terra a rendere plausibile la presenza di vita in luoghi come Titano**

**L'universo in evoluzione**



andrea fantini studio 2009

## Abiogenesi L'ipotesi Oparin-Haldane

Il presupposto fondamentale nella formulazione di ipotesi scientifiche circa l'origine della vita è che i primi sistemi viventi si siano originati a partire da semplici composti inorganici attraverso reazioni chimiche di sintesi naturali che ebbero luogo, sul nostro pianeta, circa 4 miliardi di anni fa.

Il biochimico russo Alexandr Ivanovich Oparin (1894 - 1980) e il genetista inglese John Burdon Sanders Haldane (1892 - 1964) furono i primi a proporre, negli anni venti del secolo scorso, l'ipotesi che le condizioni ambientali della Terra primordiale fossero tali da consentire la formazione di una grande quantità di molecole organiche a partire da precursori inorganici quali metano, ammoniaca, anidride carbonica, acqua, che costituivano buona parte dell'antica atmosfera. In questa fase, l'assenza di ossigeno (la cui presenza avrebbe impedito tali reazioni) e la grande disponibilità di energia derivante dalle radiazioni ultraviolette, dal vulcanesimo e dai fulmini, favorì la formazione di un enorme quantità di composti organici differenti. Il loro progressivo accumulo nei mari primitivi (tanto da giustificare l'espressione "brodo primordiale") indusse nuove reazioni da cui originarono molecole biologiche importanti per la vita, come i costituenti di base delle proteine, degli acidi nucleici e delle membrane biologiche.

Questa ipotesi ha avuto il merito di consentire il superamento di un fondamentale ostacolo concettuale che aveva impedito, fino ad allora, un corretto approccio scientifico al problema dell'origine della vita: senza organismi viventi è impossibile avere materia organica ma gli stessi organismi sono composti da materia organica.

L'ipotesi di Oparin-Haldane, e le successive elaborazioni, attraverso la definizione di contesti e di dinamiche ambientali naturali plausibili, ci consentono oggi di affrontare in termini assolutamente scientifici la questione di un'origine spontanea della vita in un mondo privo di vita.

[Immagine Andrea Fantini studio]

### La mostra

Abiogenesi

L'esperimento di Miller Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

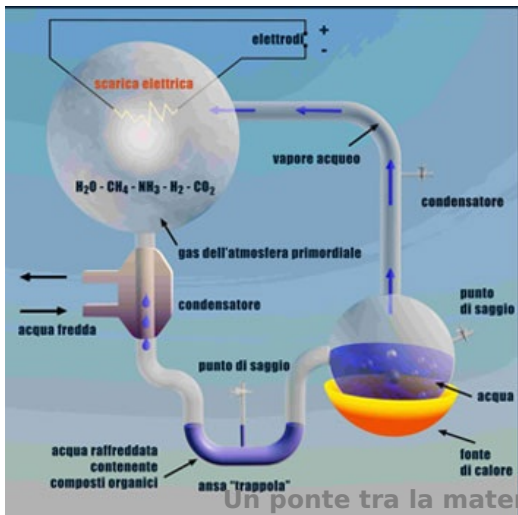
L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia



## L'esperimento di Miller-Urey

Un ponte tra la materia inorganica e la materia organica

Il 15 maggio del 1953 fu pubblicato, sulle pagine di *Science*, un articolo dal titolo *A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions*. L'autore, Stanley Miller (1930 - 2007), era un giovane dottorando di Harold Urey (1893 - 1981) premio Nobel per la Chimica (1934) e direttore del Laboratorio Chimico dell'Università di Chicago. In quel periodo Urey si interessava alla composizione dell'atmosfera della Terra primitiva; era convinto, analogamente a quanto previsto dall'ipotesi Oparin-Haldane, che essa fosse ricca di composti a base di idrogeno e priva di ossigeno libero (atmosfera riducente). Convinsse quindi Miller a costruire un apparecchio all'interno del quale simulare tali condizioni ambientali primordiali.

Miller costruì un apparecchio in cui, per riscaldamento di un pallone di vetro pieno di acqua (oceano primitivo), si otteneva vapore acqueo che veniva trasferito, tramite un circuito di tubi di vetro sigillati, ad un altro pallone pieno di una miscela di gas formata da metano, ammoniaca e Idrogeno (atmosfera primitiva).

Due elettrodi sottoponevano a continue scariche elettriche la miscela gassosa, a simulare antichi fulmini temporaleschi. I prodotti di sintesi, condensati per raffreddamento, erano costretti, dal gioco dei tubi, ad accumularsi nel pallone contenente l'acqua. Dopo una settimana, Miller analizzò il liquido scoprendo che circa il 15 per cento del carbonio utilizzato si era trasformato in composti organici tra cui amminoacidi, gli elementi di base delle proteine.

Negli anni successivi, l'esperimento di Miller è stato ripetuto utilizzando miscele gassose e fonti di energia differenti che hanno consentito la sintesi di altri importanti composti biologici. Lo stesso Miller aveva ottenuto altre sintesi i cui risultati, mai pubblicati, sono stati solo recentemente riscoperti e arricchiti sottoponendo i campioni originali a tecniche di analisi più moderne.

L'esperimento di Miller-Urey ha dimostrato che composti organici importanti per la vita, la cui sintesi si riteneva essere esclusiva degli organismi viventi, si possono ottenere a partire dai composti inorganici presenti nell'ambiente primordiale della Terra.

[Elaborazione grafica Andrea Fantini studio]

## La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia



Un antenato chiamato L.U.C.A.

In laboratorio, utilizzando alcuni dei prodotti ottenuti attraverso le sintesi milleriane è possibile derivare, in soluzione acquosa o su substrati minerali, vari tipi di strutture protocellulari, caratterizzate da individualità rispetto all'ambiente esterno e dalla capacità di operare semplici metabolismi, se dotate di opportuni corredi enzimatici.

L'enorme disponibilità di composti organici nel brodo primordiale e la naturale tendenza di alcuni di questi a polimerizzare in molecole e strutture più complesse, possono aver costituito il primo gradino di un processo che ha progressivamente consentito il raggiungimento di livelli strutturali e funzionali in grado di esprimere pienamente le proprietà dei viventi.

Da tale forma biologica ancestrale sarebbero derivati, attraverso un processo di selezione naturale, a livello strutturale e funzionale, tutte le forme attuali.

A questo ipotetico modello di organismo, che non va inteso come il primo organismo individuale vivente, è stato dato il nome di L.U.C.A., acronimo di *Last Universal Common Ancestor*, ultimo antenato universale comune. L.U.C.A. sarebbe vissuto tra i 3,6-4,1 miliardi di anni fa. Strutturalmente possiamo immaginarlo come una forma unicellulare, racchiusa in una membrana lipidica, dotata di un proprio genoma, in grado di esprimere semplici capacità metaboliche e di replicarsi.

La formulazione dell'ipotesi L.U.C.A. fece seguito alla scoperta di nuove forme batteriche note come batteri estremofili perchè eccezionalmente resistenti a condizioni ambientali estreme, caratterizzate da elevata temperatura, salinità o acidità. Questi aspetti condussero ad utilizzare la natura degli estremofili come esemplificative delle caratteristiche delle prime forme batteriche comparse sulla Terra, in un momento in cui le condizioni ambientali erano sicuramente da considerarsi estreme. E' probabile, tuttavia, che L.U.C.A. rappresenti, più che un organismo specifico, un modello organismico batterico, ormai perduto, caratterizzante le prime comunità viventi. Il rapporto di parentela con gli attuali organismi sarebbe da ricercarsi non nell'organizzazione strutturale ma nell'eredità genetica che le attuali forme di vita da essi derivarono.

[Elaborazione grafica Andrea Fantini studio]

## La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

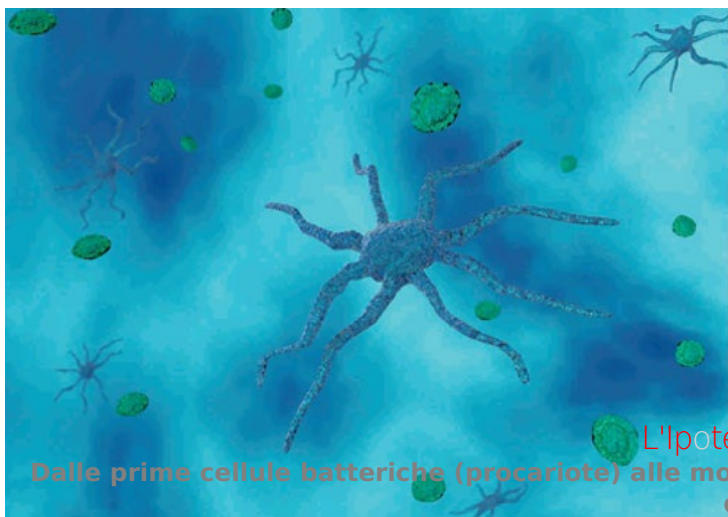
L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia



**Dalle prime cellule batteriche (procarioti) alle moderne cellule dotate di nucleo (eucariote)** **L'ipotesi endosimbiontica**

Agli inizi del secolo scorso i ricercatori notarono che il comportamento di alcuni organuli cellulari come i plastidi, responsabili della fotosintesi e i mitocondri, responsabili dei processi energetici, ricordasse molto quello dei batteri.

Grazie alla microscopia elettronica e alla scoperta del DNA, negli anni 60 si scoprì che questi organuli cellulari erano dotati di un proprio DNA, differente da quello contenuto nel nucleo cellulare, ma simile a quello batterico.

Da queste osservazioni nacque l'ipotesi secondo la quale le cellule dotate di nucleo e corredate da organuli cellulari, dette eucariote, che formano il corpo di tutti gli organismi viventi non batterici, unicellulari e pluricellulari, siano il risultato di un processo di associazione endo-simbiontica di organismi unicellulari batterici, avvenuto circa 2 miliardi di anni fa.

La prima formulazione organica dell'ipotesi endosimbionte si deve alla biologa americana Lynn Margulis (1938 - ) che pubblicò, nel 1981, un articolo intitolato *Symbiosis in Cell Evolution*. Secondo questa studiosa le cellule eucariote rappresentano il risultato finale di una cooperazione mutualmente vantaggiosa tra differenti tipi di batteri: i mitocondri deriverebbero da ancestrali microrganismi parassiti cellulari obbligati, intermedi tra virus e veri batteri (oggi rappresentati da alcuni agenti patogeni responsabili del tifo petecchiale e della febbre bottonosa), mentre i plastidi deriverebbero da batteri fotosintetizzanti oggi noti come cianofitocoe. Altri organuli, come i flagelli e le ciglia cellulari, pur privi di un proprio DNA, possono aver avuto un'origine batterica. Inoltre, invaginazioni e successive fusioni della membrana citoplasmatica nell'ancestrale batterio ospite avrebbero consentito l'organizzazione a comparti specializzati che caratterizza oggi le cellule eucariote.

La Margulis sostiene che il modello associativo rappresentato dalle cellule eucariote costituisca un importante fattore evolutivo che completa la nozione darwiniana di competizione. In pratica la vita si sarebbe sviluppata non solo attraverso fenomeni di competizione e selezione adattativa ma soprattutto attraverso fenomeni di cooperazione, d'interazione e di dipendenza tra gli organismi, in una visione quanto mai attuale se riferita al nostro sviluppo sociale: "la vita non colonizzò il mondo attraverso il combattimento, ma per mezzo dell'interconnessione" (Margulis e Sagan, 1986)

## La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia





## La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'acquisizione della pluricellularità garantì una maggiore stabilità strutturale e funzionale, che si tradusse in un aumento delle dimensioni, delle capacità rigenerative e metaboliche e della longevità. Questa condizione fu acquisita attorno agli 800 milioni di anni fa.

All'inizio del periodo noto come Cambriano (circa 550 milioni di anni fa), la documentazione fossile mostra, in seno alle faune acquatiche, un improvviso e veloce processo di diversificazione. Questo fenomeno è noto come "esplosione cambriana" ed è caratterizzato dall'improvvisa comparsa di nuove forme viventi pluricellulari dotate di piani morfologici e strutturali notevolmente più complessi rispetto a quelli delle faune precedenti. Nel giro di pochi milioni di anni comparvero tutte le architetture che caratterizzano, oggi, i grandi gruppi animali (phyla) ed il numero di "modelli" passò da 3-4 a più di 40.

Gli organismi pluricellulari precambriani, indicati come faune ediacariane, dal nome della località australiana di primo rinvenimento (Ediacara), datate a circa 620-550 milioni di anni fa, avevano un aspetto vermiforme, medusoide o simile a quello degli attuali coralli molli. Erano strutturalmente molto semplici e dotati di un corpo privo di parti rigide. Le successive faune cambriane, al contrario, sono rappresentate da organismi molto più complessi, le cui architetture presentano componenti rigide, di natura carbonatica (come le conchiglie) o proteica (come gli esoscheletri degli artropodi), utilizzate come parti di sostegno e movimento, di protezione o di offesa. Queste nuove strutture indussero un aumento della funzionalità morfo-strutturale dell'organismo e consentirono la conquista di nuovi stili di vita (nicchie ecologiche). Fu probabilmente proprio l'improvvisa disponibilità di nuove opportunità ambientali, conseguenti a dinamiche ancora poco note, e la possibilità di utilizzare, all'interno di nuove vie metaboliche, gli ioni calcio presenti nell'ambiente, a stimolare questo improvviso processo di diversificazione che portò alla comparsa di forme animali anche inconsuete, come dimostrano gli organismi provenienti dai depositi medio-cambriani di Burgess Shale (Columbia Britannica). Questi organismi avevano forme curiosissime e se per alcuni appare lecita una collocazione all'interno di gruppi attualmente noti (anellidi, artropodi, molluschi), altri rappresentano modelli assolutamente originali ed unici, ormai perduti, che testimoniano dei tentativi della vita di "provare" differenti alternative morfologiche e funzionali, solo alcune delle quali, tuttavia, costituirono le radici di linee evolutive giunte fino a noi.

### La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia







## L'ipotesi evolutiva

La spiegazione ancora oggi largamente accettata e condivisa delle trasformazioni evolutive si deve a Charles Darwin. Un insieme di fattori e condizioni consentirono a Darwin di arrivare alla formulazione della sua teoria; fra le varie ricordiamo:

- le osservazioni paleontologiche e faunistiche effettuate nel corso del suo viaggio attorno al mondo dal 1831 al 1836
- la lettura dei Principi di Geologia del fondatore della moderna geologia Lyell
- la lettura del Saggio sulle popolazioni dell'economista Malthus
- gli esperimenti di selezione artificiale effettuati dagli allevatori inglesi e da lui stesso

In sintesi Darwin assunse che la trasformazione dei viventi (peraltro già postulata da vari predecessori) era un fatto possibile; perché ad esempio in Sud America le faune fossili di vertebrati esclusivi di questa zona (come gli armadilli o i bradipi) erano somiglianti a quelle attuali? E perché ogni isola dell'arcipelago delle Galapagos doveva ospitare una differente specie di fringuello o di testuggine peraltro simili fra di loro. La soluzione andava cercata in cause che, come quelle postulate da Lyell per le trasformazioni della Terra, fossero attualmente verificabili e agissero per un tempo sufficientemente lungo, e questa soluzione era nella discendenza con modificazioni. Ogni vivente genera nel corso della vita un numero di figli più elevato di quelli che effettivamente sopravviveranno fino a riprodursi essi stessi; tale sopravvivenza differenziale è legata alla variabilità dei singoli individui che fa sì che alcuni siano più dotati di altri e quindi sopravvivano alle condizioni che vanno via via sperimentando nel corso della loro vita. Ora come l'allevatore seleziona artificialmente con incroci preordinati le pecore che danno più lana o le mucche che danno più latte, così in natura la selezione naturale agisce da setaccio filtrando gli individui meno dotati. Il protrarsi nel tempo di quest'azione di filtro su caratteristiche ereditabili porta alla progressiva trasformazione delle specie cioè alla loro evoluzione.

### La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia



## La legge di Hardy e Weinberg ovvero l'espressione matematica dell'evoluzione

Come ogni teoria scientifica anche quella evolutiva può essere rappresentata matematicamente attraverso un semplice formula trovata indipendentemente nel 1908 da due scienziati da cui prende il nome: legge di Hardy e Weinberg. Tale legge sostiene che le percentuali relative a due forme alternative di un carattere (i classici piselli gialli o verdi di mendeliana memoria) si mantengono invariate nel corso delle generazioni a condizione che gli accoppiamenti fra individui siano del tutto casuali e quindi abbiano la medesima probabilità, la popolazione interessata sia sufficientemente grande per avere significato statistico e il sistema di riferimento sia stabile e chiuso. Come si può facilmente evincere tutte queste condizioni non si realizzano praticamente mai in quanto:

a) gli accoppiamenti non sono quasi mai casuali poiché negli animali esiste molto frequentemente una scelta sessuale del partner. Questo porta a differenti probabilità che sono anche dovute alle differenze di fecondità o sopravvivenza degli individui dettate dalla selezione naturale;



b) piccole popolazioni dovute a sopravvivenza di pochi individui a fronte di un evento traumatico (collo di bottiglia) o dovute alla colonizzazione di una nuova zona (effetto del fondatore) possono non essere rappresentative della media e quindi dare luogo a fenomeni di deviazione da essa che sono indicati come deriva genetica

c) il sistema non è mai stabile in quanto il materiale ereditario è soggetto a trasformarsi o autonomamente (mutazioni spontanee) o in seguito a danneggiamento (mutazioni indotte)

d) infine i processi migratori delle popolazioni con conseguenti immigrazioni o emigrazioni le rendono aperte.

Ecco dunque che l'equilibrio postulato da Hardy e Weinberg difficilmente si mantiene perché le cose cambiano e questi cambiamenti sono la base dell'evoluzione

### La mostra

L'ipotesi Oparin-Haldane

L'esperimento di Miller-Urey

Un antenato chiamato L.U.C.A.

L'ipotesi endosimbiontica

La pluricellularità e la fauna di Burgess

L'ipotesi evolutiva

La legge di Hardy e Weinberg

Presentazione

Astronomia

Geologia



Crediti

## **Promotori**

Università di Bologna - Dipartimento di Astronomia  
INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna

## **Con il contributo di**

Fondazione Cassa di Risparmio in Bologna

Istituto Nazionale di Astrofisica  
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna  
Biblioteca Salaborsa  
Biblioteca Salaborsa Ragazzi  
CINECA Consorzio Interuniversitario  
Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna  
Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale  
Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali  
UniboCultura  
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali  
Aula didattica del Museo della Specola e di Palazzo Poggi  
Aula didattica del Musepo Geologico Capellini  
Urban Center Bologna

## **Con il patrocinio di**

Anno Internazionale dell'Astronomia 2009  
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna  
Istituto Nazionale di Astrofisica  
Società Astronomica Italiana  
Fondazione "Marino Golinelli"  
Comune di Bologna  
Provincia di Bologna  
Regione Emilia-Romagna

## **Comitato scientifico**

Roberto Barbieri, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali

Sandro Bardelli, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Roberto Bedogni, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Antonio Bonfitto, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale  
Fabrizio Bónoli, Dipartimento di Astronomia  
Paola Focardi, Dipartimento di Astronomia  
Flavio Fusi Pecci, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Giorgio Palumbo, Dipartimento di Astronomia  
Gianluigi Parmeggiani, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Silvia Pellegrini, Dipartimento di Astronomia  
Francesco Poppi, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Bruno Sabelli, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale  
Nunzia Stivaletta, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali

## **Comitato organizzativo e Segreteria**

Antonio Bonfitto, Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale  
Giuseppe Cosentino, Dipartimento di Astronomia  
Francesco Poppi, Osservatorio Astronomico di Bologna  
Silvia Rambaldi, Dipartimento di Astronomia  
Nunzia Stivaletta, Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali

## **Stampa, allestimento e comunicazione**

Contipresseservice sas Bologna  
per Contipresseservices

## **Costruzione organismi e illustrazioni (biologia)**

[www.andreafantini.com](http://www.andreafantini.com)

## **Progetto grafico**

[www.vialli-lizard.com](http://www.vialli-lizard.com)

## **Si ringraziano:**

Museo della Specola - Università di Bologna per il telescopio di Steinheil  
IASF-Bologna e ESA (*European Space Agency*) per il modello del satellite Planck

Filippo Fraternali e Mauro Ghigo per il documentario sulla formazione degli elementi

I crediti delle immagini nella sezione della mostra, dove non specificato diversamente, appartengono a NASA e ESA

Gianluigi Parmeggiani, Osservatorio Astronomico di Bologna

Dipinto a pagina iniziale: *Stream of stars* di Greg Mort

Foto pagina Crediti: *Construction workers, Empire State Building, NYC.* di Lewis W. Hine