

Struttura della cellula microbica

Microrganismi procariotici

batteri

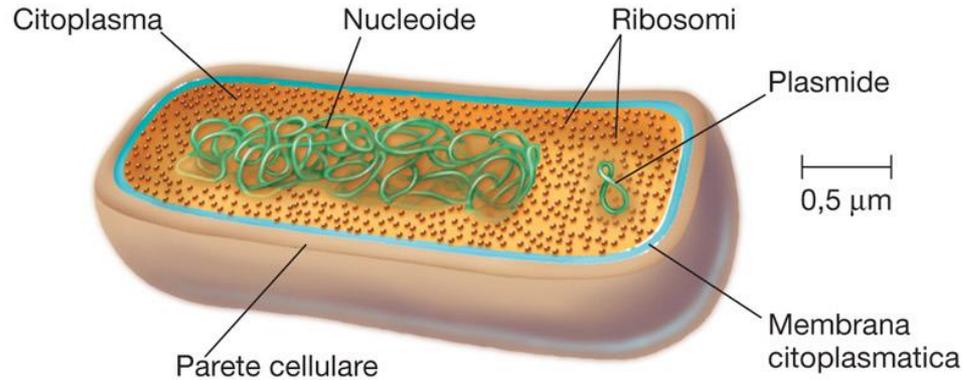
Citoplasma

Acqua

Macromolecole

Piccole molecole organiche

Ioni inorganici



(a)

Microrganismi eucariotici

Alghie

Protozoi

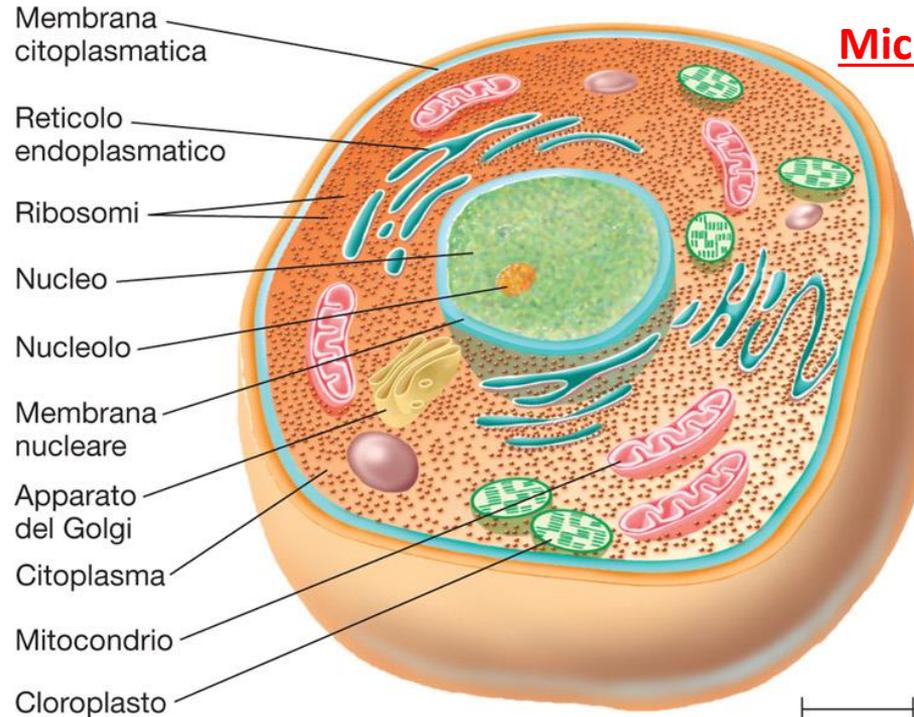
Funghi

Organelli

Nucleo

Mitocondri

Cloroplasti



(b)

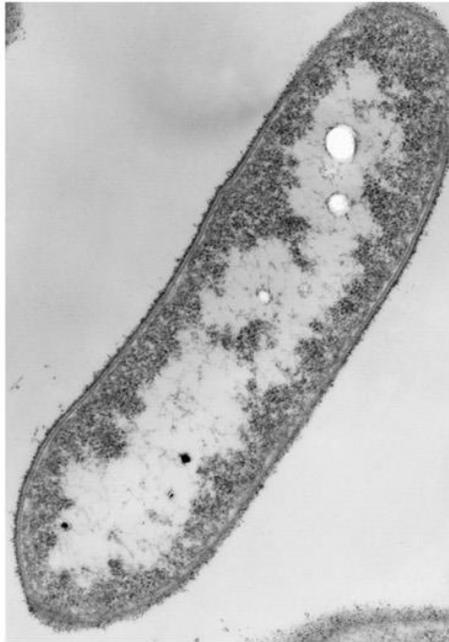
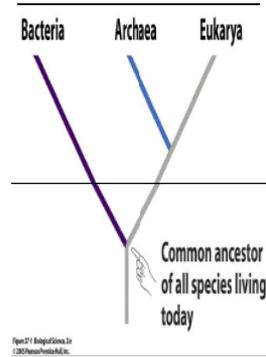
Le **cellule procariotiche** presentano una struttura cellulare semplice
(mancano di organelli delimitati da membrane)

Batteri

Bacteria
Archaea

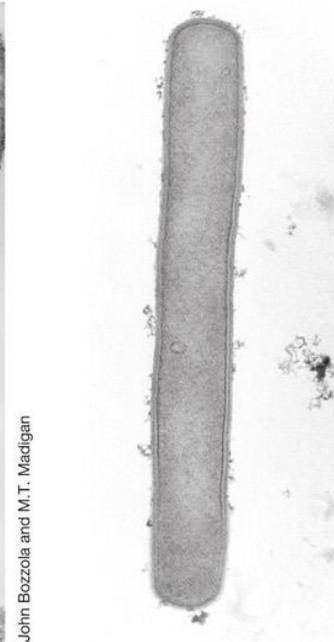


Strutturalmente simili;
Diversa storia evolutiva.



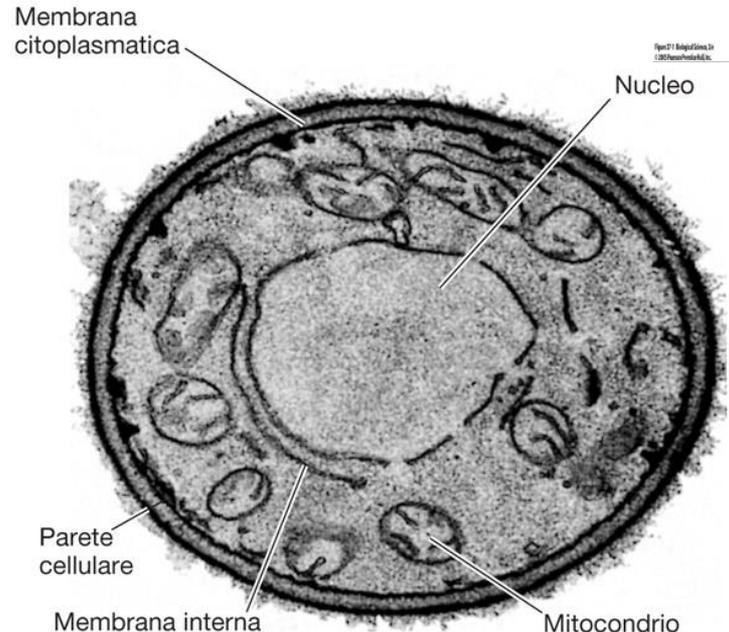
John Bozzola and M.T. Madigan

(a)



R. Rachel and K.O. Stetter

(b)



S.F. Conti and T.D. Brock

(c)

Heliobacterium modesticaldum
1x3 μm (*Bacteria*)

Methanopyrus kandleri
0,5x4 μm (*Archaea*)

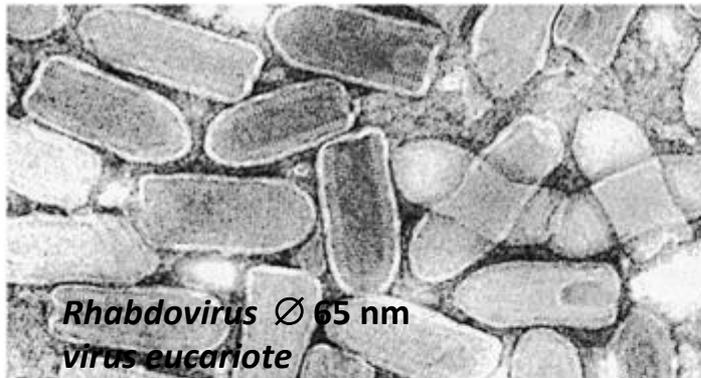
Saccharomyces cerevisiae
 \varnothing 8 μm (*Eukarya*)

Dipendono dall'apparato biosintetico della cellula ospite

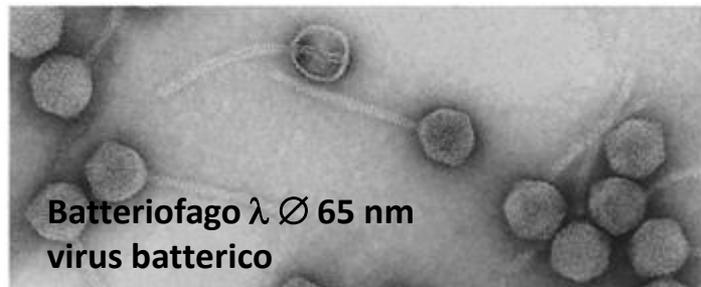


I virus (classe molto numerosa)

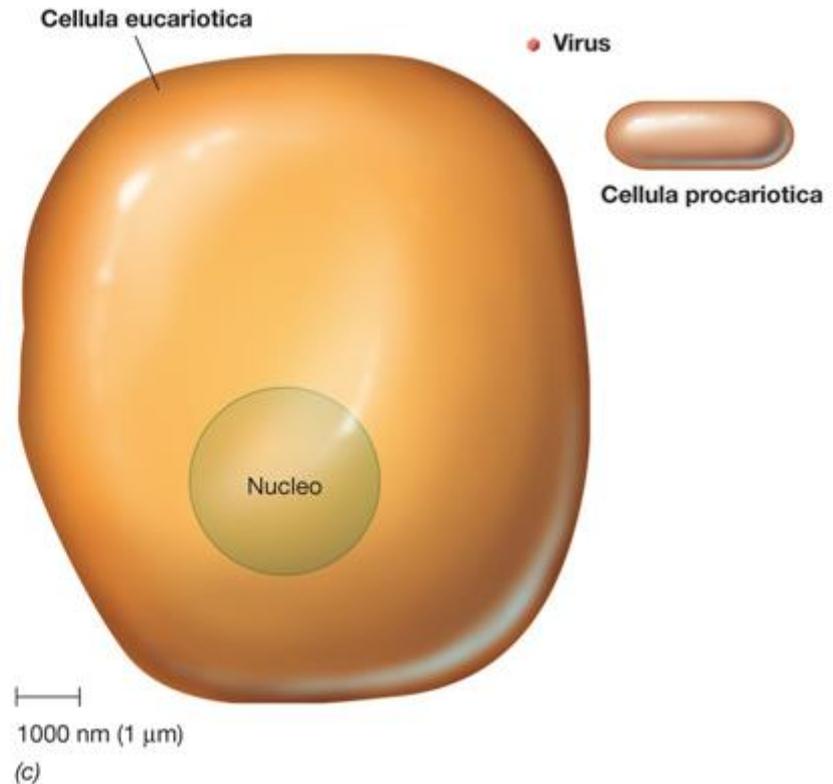
- non sono cellule!
- non sono sistemi dinamici aperti (struttura statica);
- non possiedono attività metaboliche proprie (non possono essere considerati veri organismi viventi);
- mancano di ribosomi;
- **possiedono geni propri;**
- il più piccolo misura 10 nm di diametro.



(a)

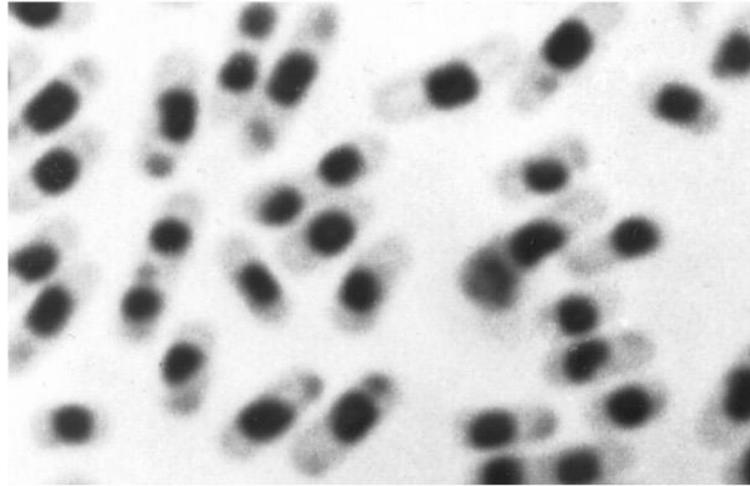


(b)



Organizzazione del DNA nei batteri

I processi vitali sono governati dal contenuto genetico
(tutti i geni → **GENOMA**)



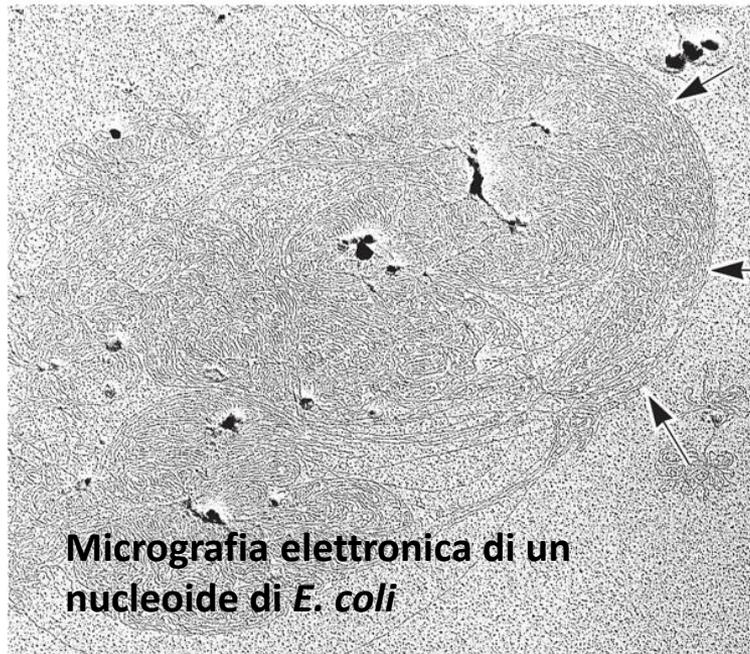
Fotomicrografia in campo chiaro di *E. coli* trattata in modo da evidenziare il **nucleoide**.

E. Kellenberger

(a)

GENE: un segmento di DNA che codifica una proteina (mRNA) o una molecola di RNA (rRNA, tRNA)

Escherichia coli possiede un cromosoma circolare singolo (~4,68 milioni di paia di **basi**) contenente **4.300 geni**



Micrografia elettronica di un nucleoide di *E. coli*

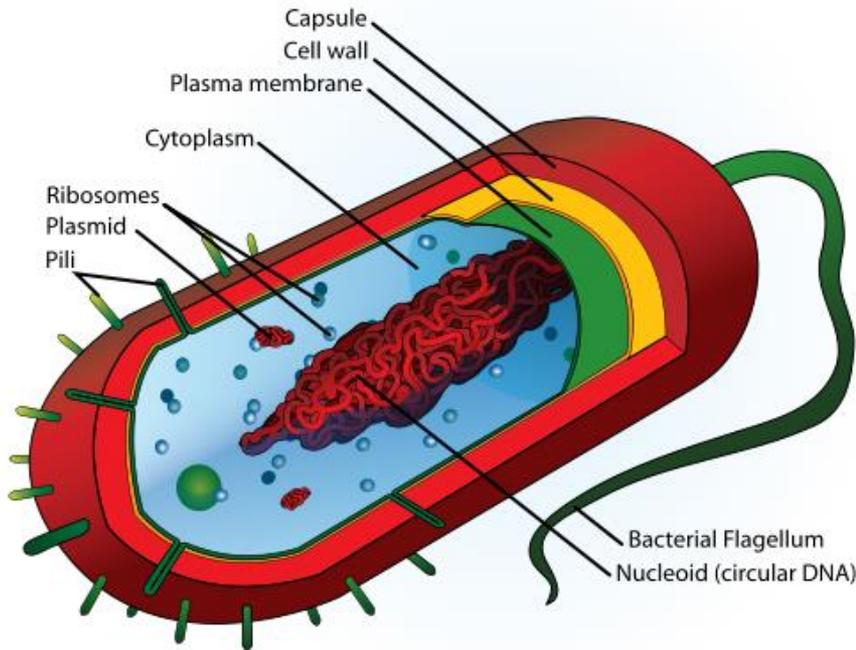
B. Arnold-Schulz-Gahmen

Il **DNA** è organizzato sotto forma di una grande **molecola circolare a doppio filamento (cromosoma batterico)**

Di solito cromosoma singolo

I procarioti sono geneticamente **aploidi**

(b)



I geni localizzati sul **cromosoma** sono **essenziali** (***geni housekeeping***) per la sopravvivenza della cellula.

Molti procarioti possiedono **plasmidi**

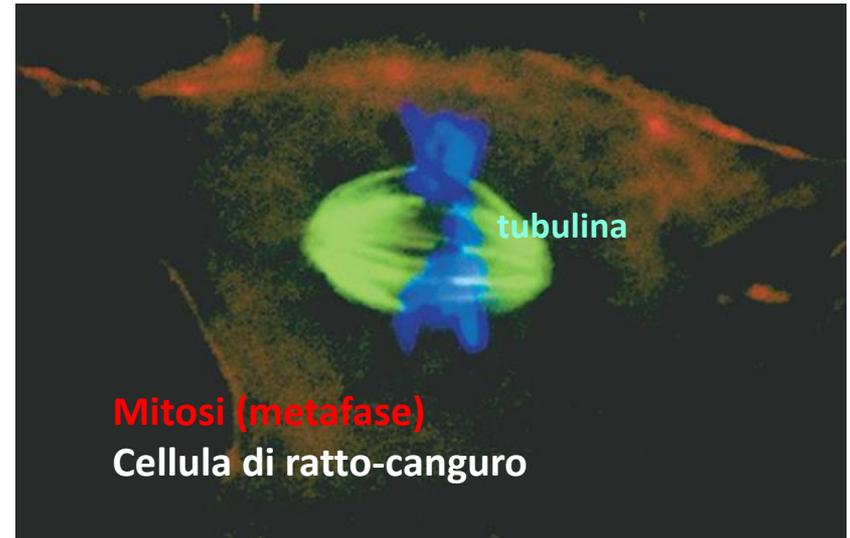


DNA extracromosomico, organizzato in molecole circolari.

I plasmidi, non essenziali per la sopravvivenza del batterio, sono in grado di replicarsi in modo autonomo (indipendentemente dai cromosomi) e contengono **geni accessori** che conferiscono alla cellula **proprietà speciali**:

- Resistenza agli antibiotici;
- Resistenza a metalli pesanti;
- Degradazione xenobiotici;
- Scambio fra batteri, anche di specie diverse (coniugazione);
- Impiego in studi di ingegneria genetica
- ...

Negli **eucarioti** il DNA si presenta sotto forma di molecole lineari all'interno del nucleo, impacchettato in modo da formare degli elementi fortemente condensati (**cromosomi**).



Mitosi (metafase)

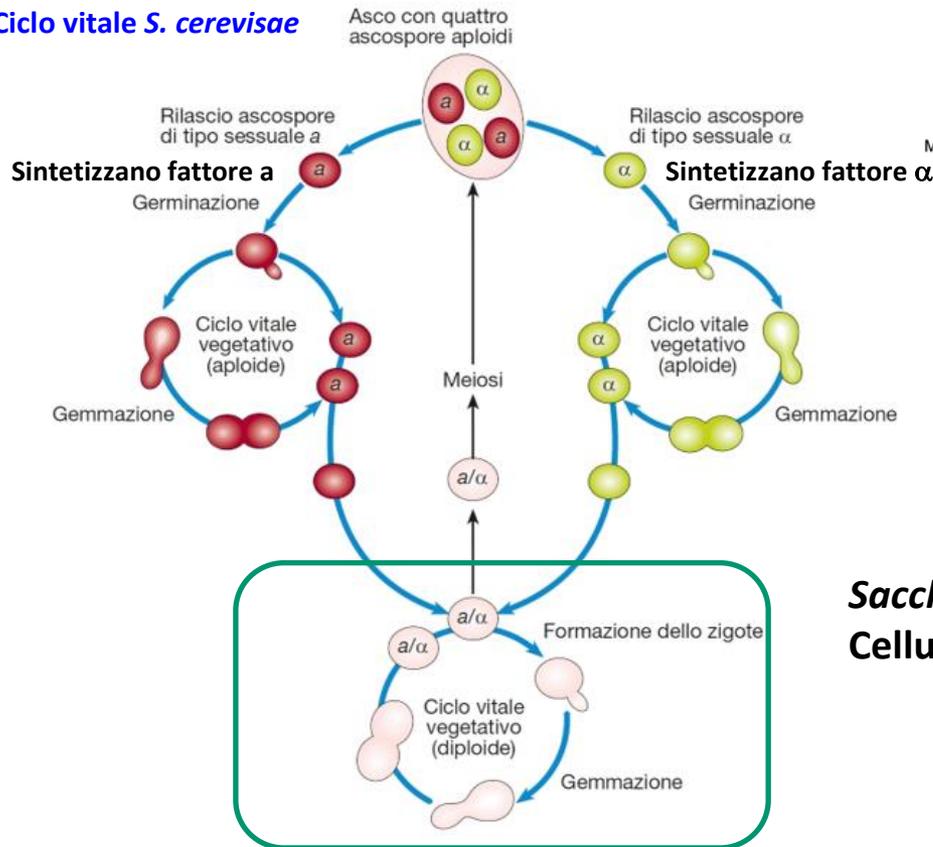
Cellula di ratto-canguro

M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, Biologia dei Microrganismi

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Ciclo vitale *S. cerevisiae*



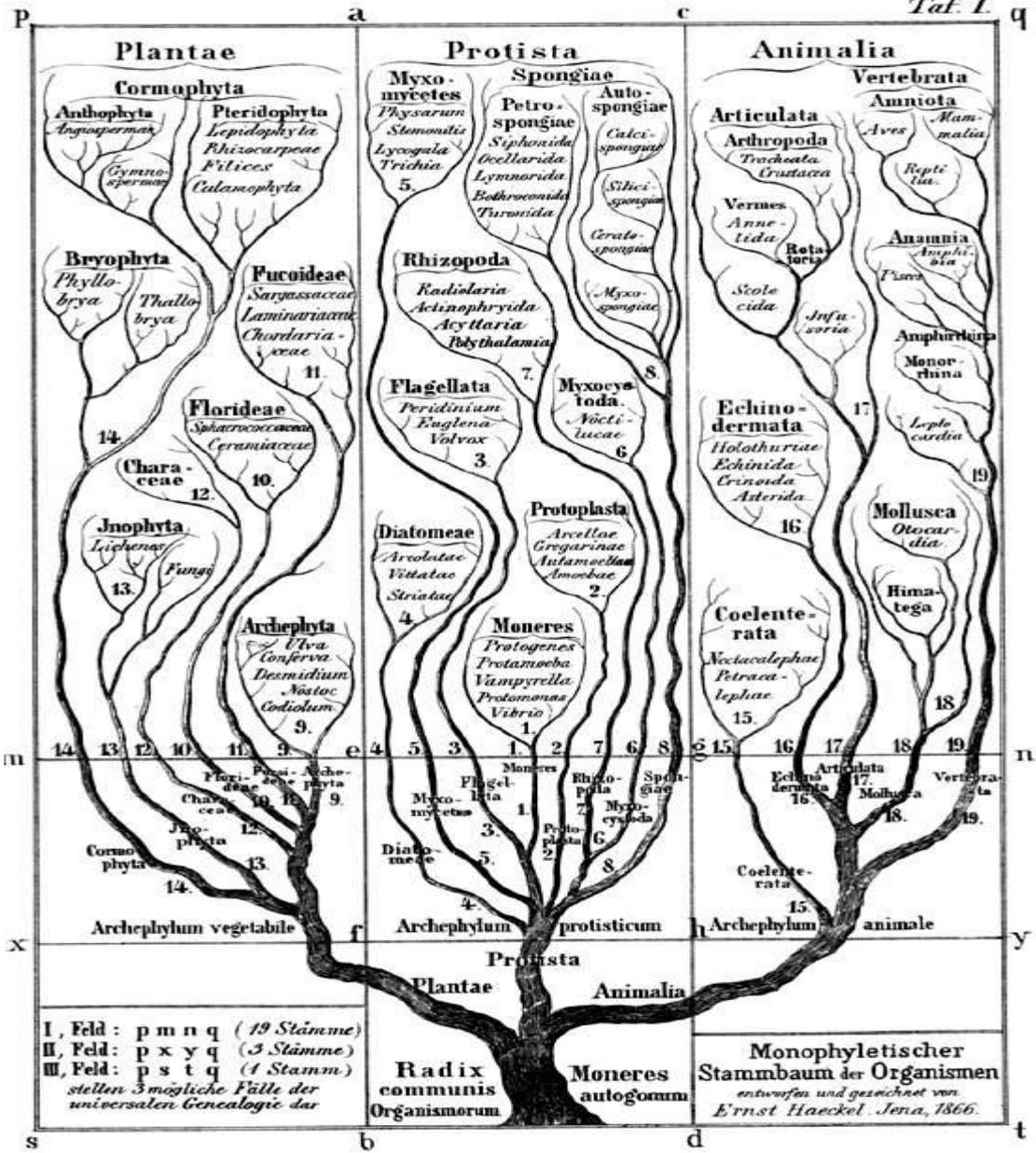
Saccharomyces cerevisiae

organismo unicellulare eucariotico semplice che può esistere sia in forma **aploide** che in forma **diploide**.

Saccharomyces cerevisiae → **16 cromosomi diversi (n)**

Cellule umane (diploidi) → ?

La mitosi avviene anche nei **procarioti**?



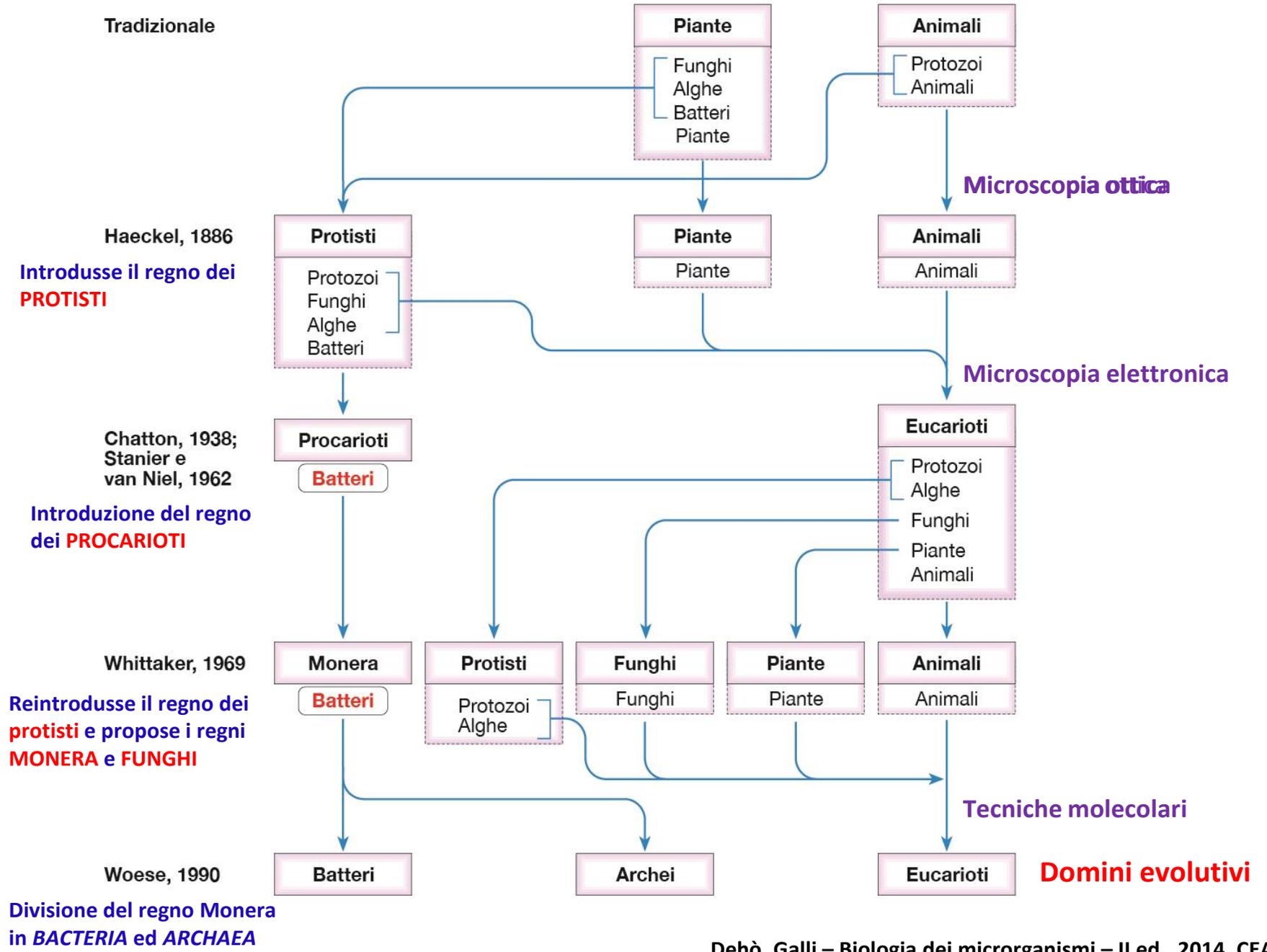
Il primo albero filogenetico della vita (1866)

Ernst Haeckel

Generelle Morphologie der Organismen: Allgemeine Grundzüge der Organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz-Theorie, Berlin, Georg Reimer, 1866

Monophyletischer Stammbaum der Organismen
entworfen und gezeichnet von Ernst Haeckel. Jena, 1866.

EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI ORGANISMI VIVENTI



BACTERIA

ARCHAEA

EUKARYA

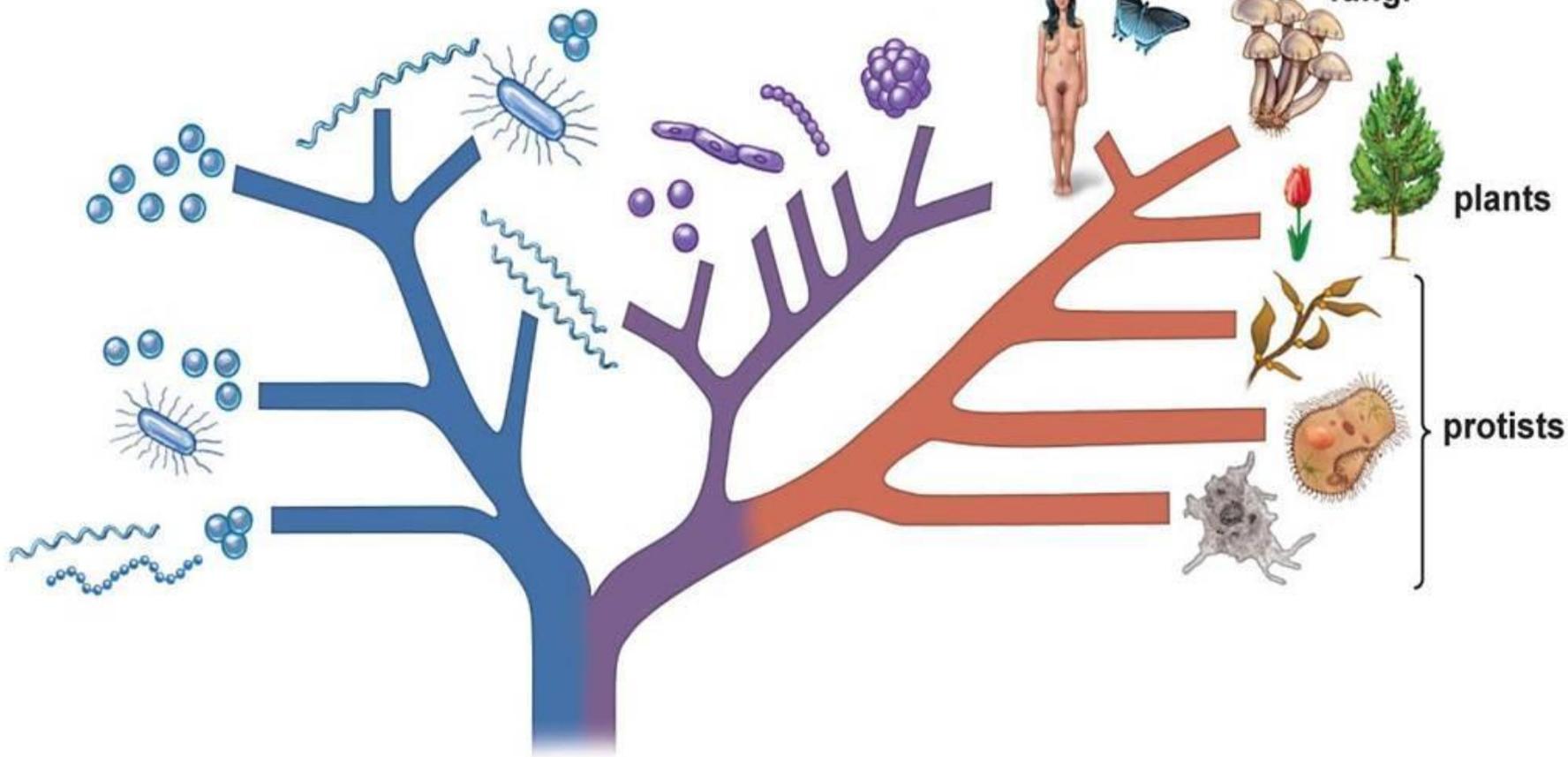
animals

fungi

plants

protists

FIRST CELLS

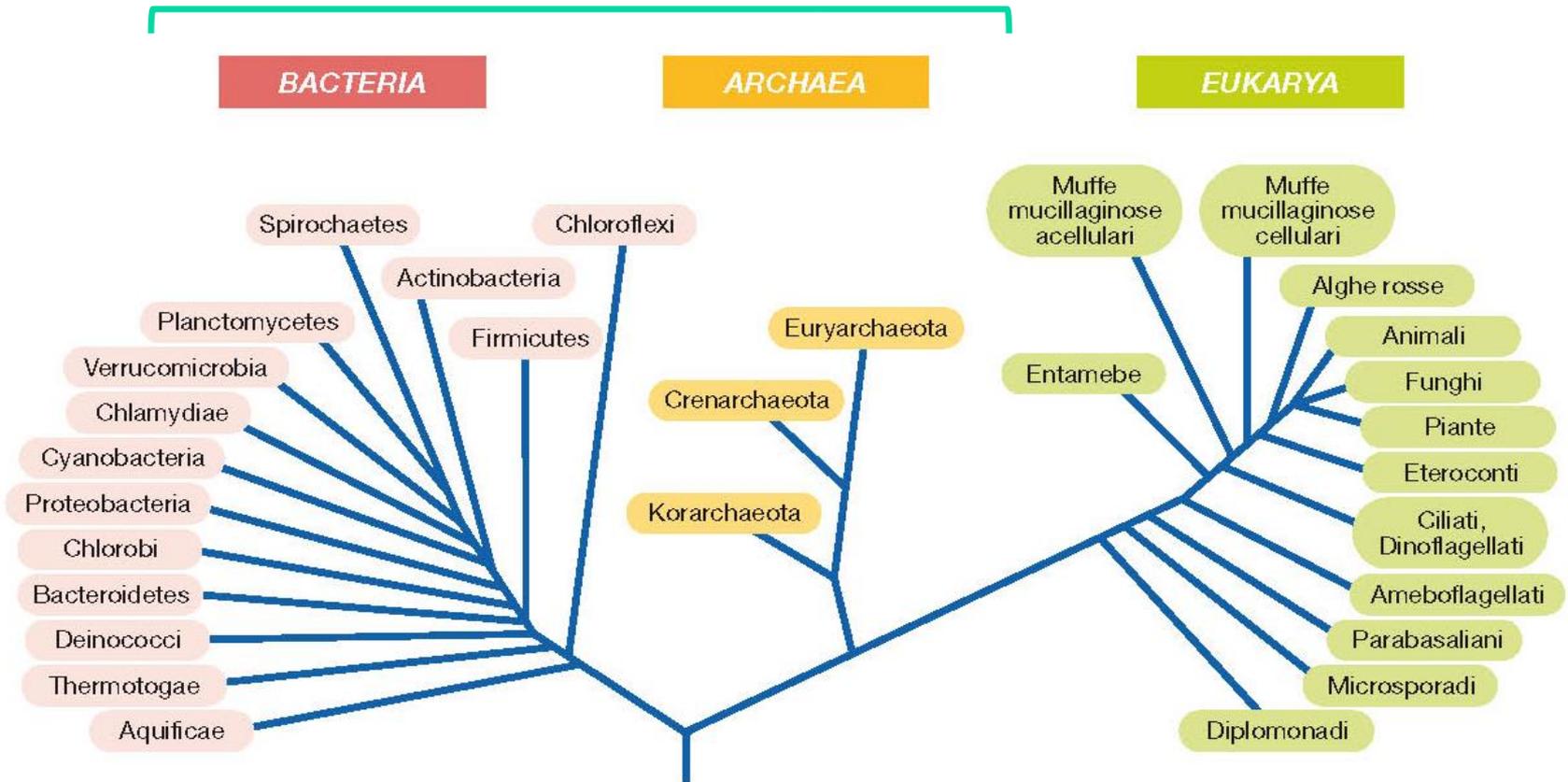


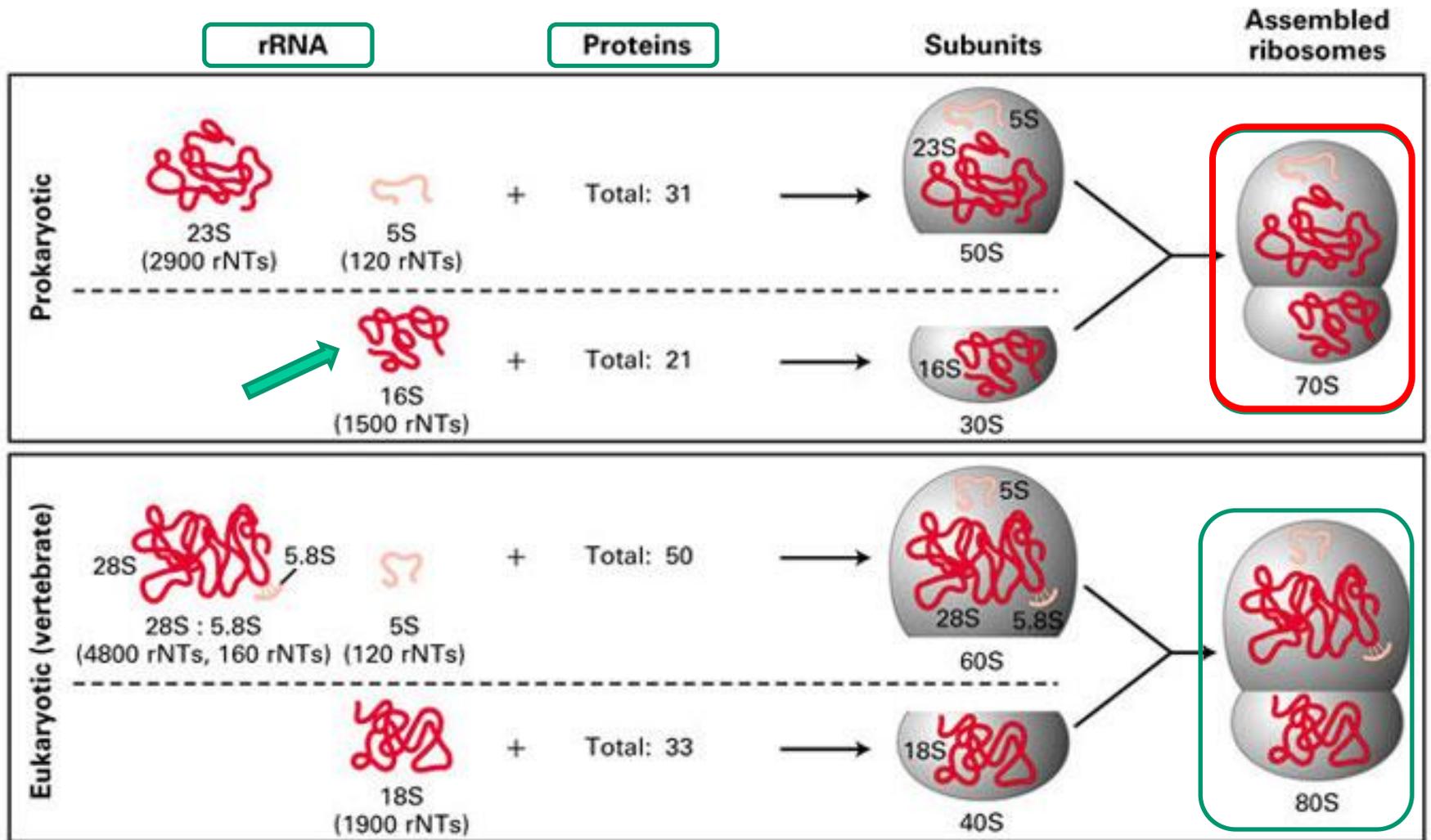
Albero filogenetico universale

Costruito sulla base del sequenziamento

dei geni per gli rRNA →

rRNA 16S/18S → orologi molecolari degli organismi viventi





Svedberg value = sedimentation coefficient, a measure of time (10^{-13} sec)

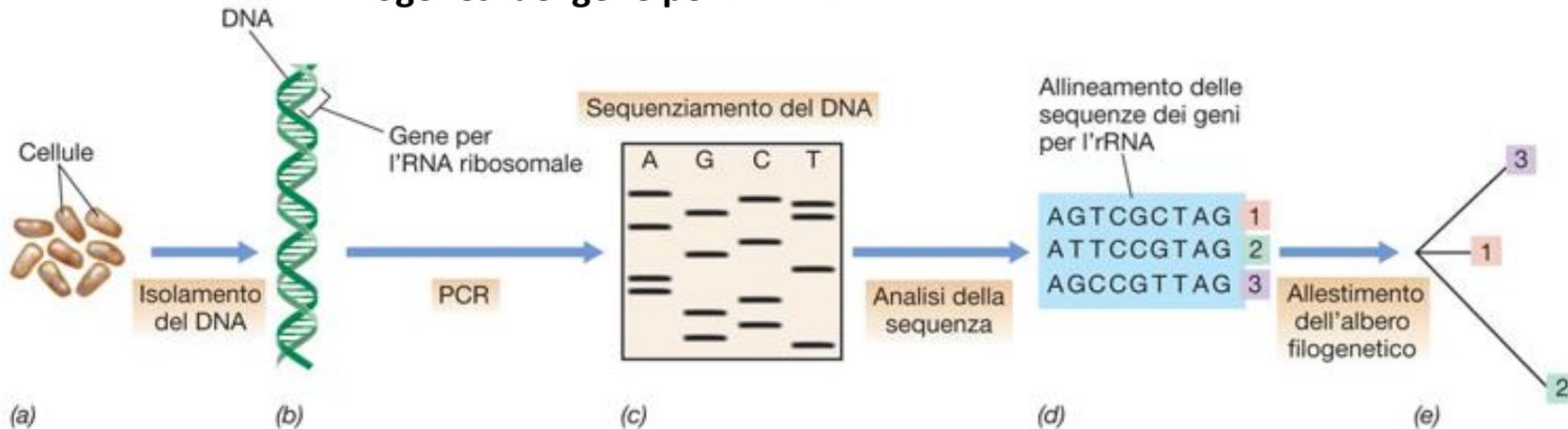
Albero filogenetico (molecolare) della vita

Evoluzione: cambiamento in una linea di discendenti che, nel tempo, porta alla comparsa di nuove specie o varietà

Filogenesi:

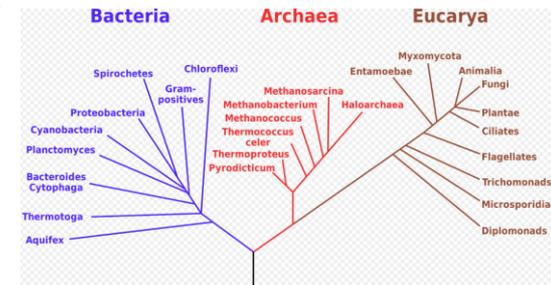
Studia i rapporti evolutivi tra le forme viventi

Tecnologia (PCR) impiegata per sequenziamento e filogenesi del gene per l'rRNA.



I **geni codificanti gli rRNA** degli organismi vengono sequenziati e le sequenze vengono poi comparate: **maggiore è la differenza nelle sequenze dei geni per gli rRNA più grande è la distanza evolutiva tra i microrganismi.**

Le distanze evolutive vengono rappresentate sotto forma di alberi filogenetici.

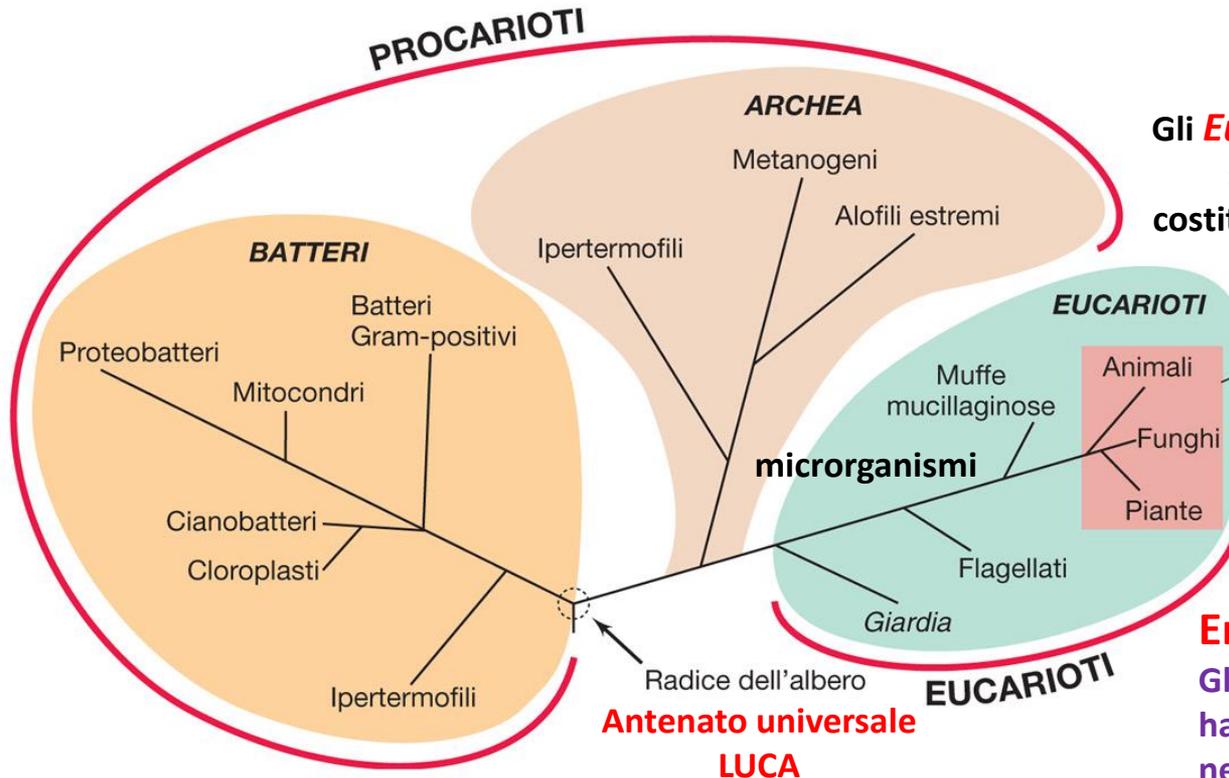


Le cellule procariotiche note sono filogeneticamente distinte da quelle eucariotiche.

Non tutte le cellule procariotiche sono correlate dal punto di vista evolutivo!

Gli **RNA ribosomali** sono degli eccellenti **orologi molecolari** che permettono di misurare le **correlazioni evolutive**

In base alle sequenze dell'rRNA sono state identificate 3 distinte **linee evolutive (domini evolutivi)**



Gli **Eukarya** sono considerati una sorta di «**chimera genetica**», costituita da geni derivati in parte dai *Bacteria* ed in parte dagli *Archaea*.

I microrganismi eucariotici sono stati gli antenati di quelli multicellulari

Endosimbiosi

Gli **organelli** degli eucarioti hanno la loro origine evolutiva nel dominio dei Batteri.

Bacteria ed **Archaea** sono filogeneticamente distinti tra loro.

L'albero della vita mette in risalto che le specie batteriche appartenenti agli **Archaea** sono più strettamente correlate agli eucarioti che ai **Bacteria**.

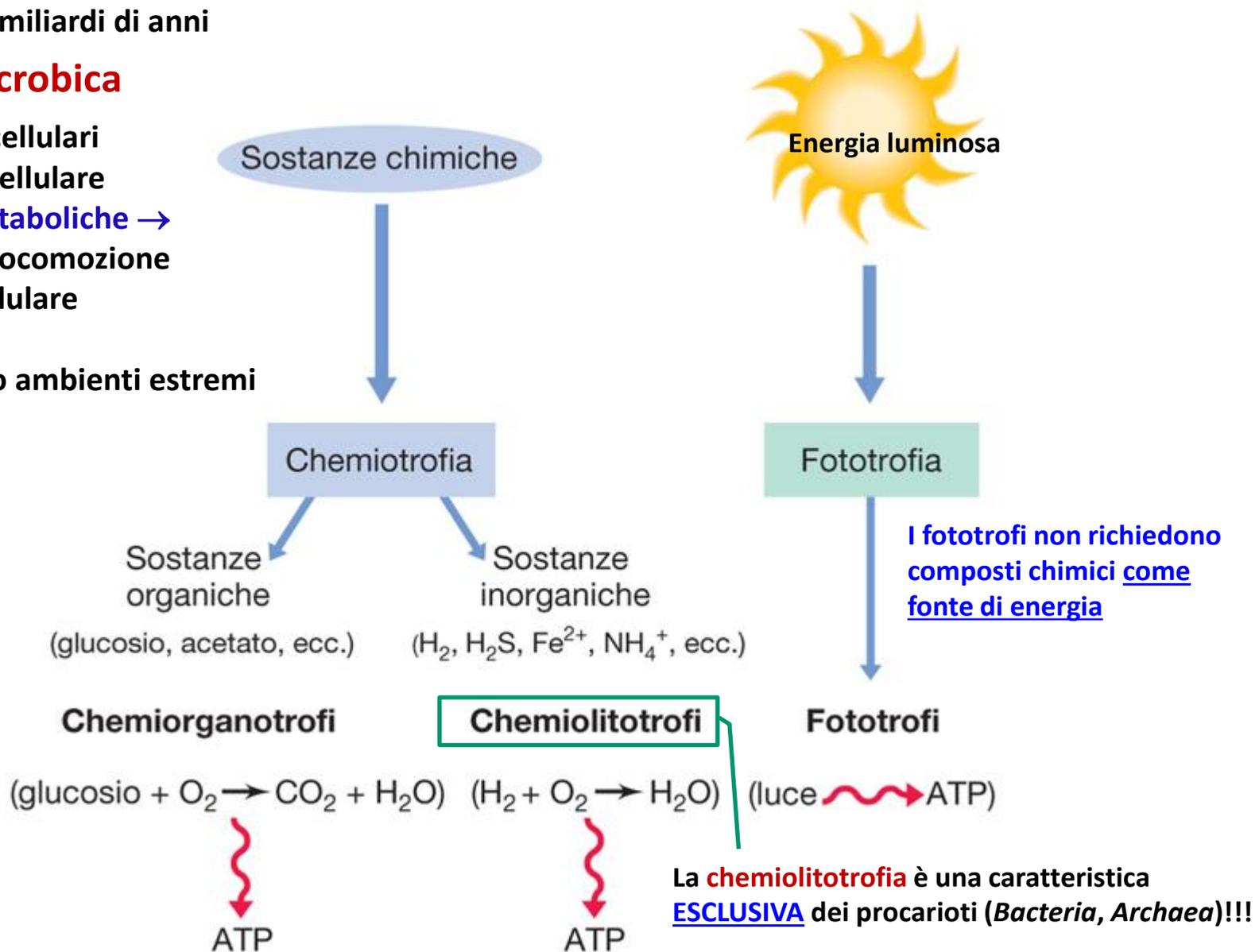
Evoluzione

↓ ~ 4 miliardi di anni

Diversità microbica

- Dimensioni cellulari
- Morfologia cellulare
- Strategie metaboliche →
- Modalità di locomozione
- Divisione cellulare
- Patogenicità
- Adattamento ambienti estremi
- ...

Tutte le cellule hanno bisogno di **ENERGIA**



Diversità microbica

Tutte le cellule hanno bisogno anche di CARBONIO



Eterotrofi

Microrganismi che utilizzano **composti organici** come fonte di carbonio

Autotrofi

Microrganismi che utilizzano solo **CO₂** come fonte di carbonio (produttori primari)

Chemiorganotrofi → quasi esclusivamente **eterotrofi**

Chemiolitotrofi e fototrofi → prevalentemente **autotrofi**

•FOTOAUTOTROFO

Usa la **luce** come fonte di **energia** e **CO₂** come fonte di **C**

•FOTOETEROTROFO

Usa la **luce** come **fonte di energia** e **composti organici** come fonte di **C**

•CHEMIOAUTOTROFO

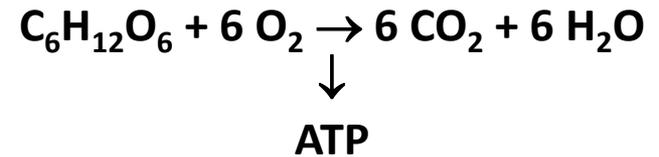
Usa **composti chimici** come fonte di energia (ossidazione) e **CO₂** come fonte di **C**

•CHEMIOETEROTROFO

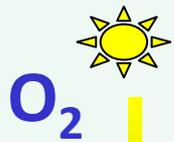
Usa **composti chimici** come fonte di energia (ossidazione) e **composti organici** come fonte di **C**

Diversità microbica

Accettori finali di e⁻

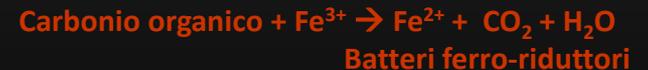
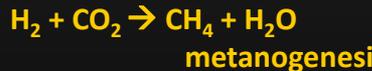
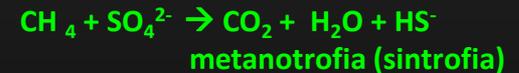
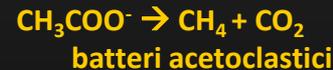
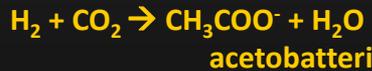
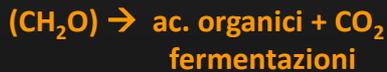
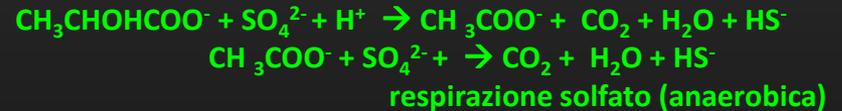
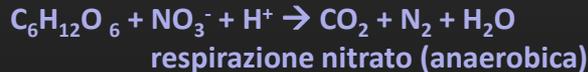
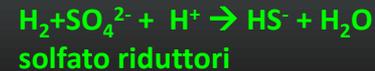
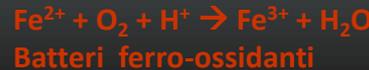
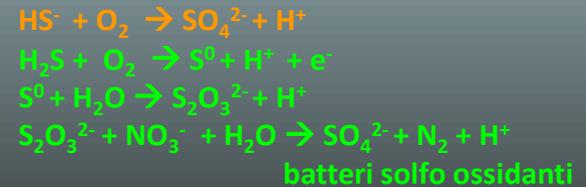
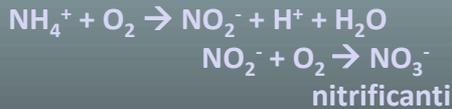
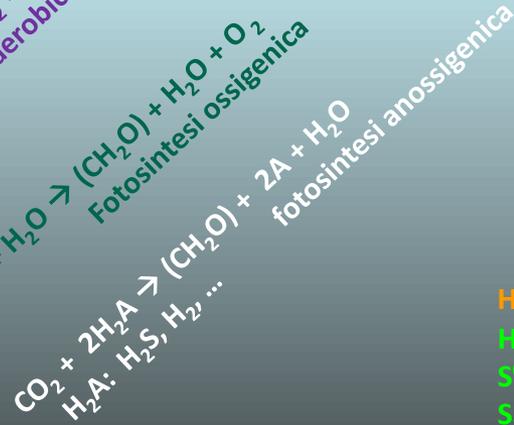
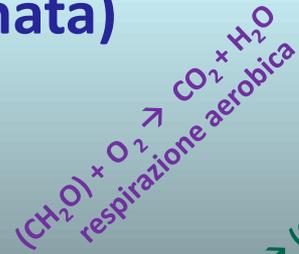


RESPIRAZIONE AEROBICA	Accettore finale di e ⁻ → O ₂
RESPIRAZIONE ANAEROBICA	Accettore finale di e ⁻ → composto minerale diverso dall'O ₂ (NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₂ , ...)
FERMENTAZIONE	Accettore finale di e ⁻ → composto organico



Diversità microbica nella colonna d'acqua

Zona ossica (illuminata)



Zona anossica ed afotica

Diversità microbica

I microrganismi colonizzano qualsiasi ambiente che permetta la vita sulla terra!

La sterilità, intesa come assenza di qualsiasi forma vivente, in un campione naturale è un fatto assolutamente raro.

Estremi	Tipo	Genere /Specie	Dominio	Habitat	Minimo	Optimum	Massimo
Temperatura Alta	Ipertermofili	<i>Pyrolobus fumarii</i>	Archea	Molto caldo, sorgenti idrotermali sottomarine	90 °C	106 °C	113 °C ^b
Bassa	Psicrofili	<i>Polaromonas vacuolata</i>	Batteri	Banchise polari	0 °C	4 °C	12 °C
pH Basso	Acidofili	<i>Picrophilus oshimae</i>	Archea	Sorgenti calde acide	-0,06 °C ^a	0,7 °C ^c	4
Alto	Alcalofili	<i>Natronobacterium gregoryi</i>	Archea	Laghi con elevata concentrazione di carbonato di sodio	8,5 °C ^a	10 °C ^d	12
Pressione	Barofili	<i>Moritella yayanosii</i> ^e	Batteri	Fondali oceanici	500 atm	700 atm	> 1000 atm
Concentrazione di sali (NaCl)	Alofili	<i>Halobacterium salinarum</i>	Archea	Salino	15%	25%	32% (saturazione)

^a Di ciascuna categoria è citato l'organismo che detiene il primato in relazione alla richiesta di condizioni di crescita estreme.

^b Un nuovo archea isolato sembra poter crescere fino a 121 °C.

^c *P. oshimae* è anche un termofilo con crescita ottimale a 60 °C.

^d *N. gregoryi* è anche un alofilo estremo con crescita ottimale al 20% di NaCl.

^e *Moritella yayanosii* è anche uno psicrofilo con temperature di crescita ottimali di circa 4 °C.

Estremofili

Organismi che vivono in ambienti estremi

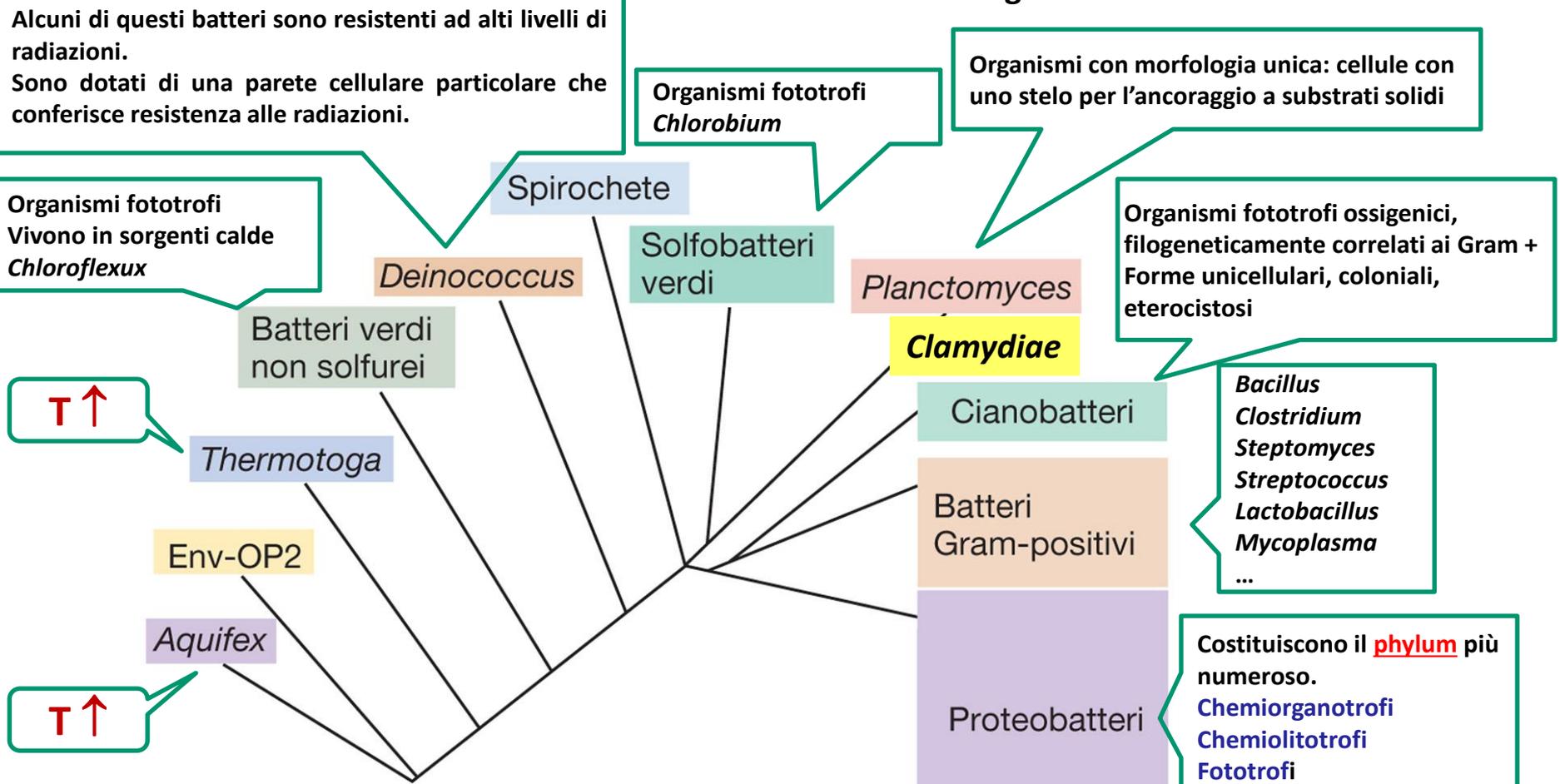
Definiscono i limiti chimico-fisici della vita!

Diversità microbica

evoluzione e caratteristiche morfo/fisiologiche

Albero filogenetico dei **BACTERIA**

- microrganismi chemiorganotrofi (*E. coli*)
- microrganismi fototrofi
- microrganismi chemiolitotrofi



Alcuni di questi batteri sono resistenti ad alti livelli di radiazioni. Sono dotati di una parete cellulare particolare che conferisce resistenza alle radiazioni.

Organismi fototrofi
Chlorobium

Organismi con morfologia unica: cellule con uno stelo per l'ancoraggio a substrati solidi

Organismi fototrofi
Vivono in sorgenti calde
Chloroflexus

Organismi fototrofi ossigenici, filogeneticamente correlati ai Gram +
Forme unicellulari, coloniali, eterocistosi

T ↑

Bacillus
Clostridium
Streptomyces
Streptococcus
Lactobacillus
Mycoplasma
...

T ↑

Costituiscono il **phylum** più numeroso.
Chemiorganotrofi
Chemiolitotrofi
Fototrofi
E. coli
Pseudomonas
Azotobacter
Salmonella
...

Tutti i microrganismi patogeni finora conosciuti appartengono al dominio dei *Bacteria*

Diversità microbica
esempi di Proteobacteria

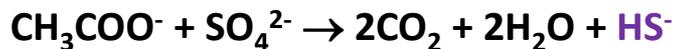
Sia *Chromatium* che *Achromatium* ossidano H₂S (acido solfidrico).

In entrambi i tipi di cellule si notano granuli di zolfo allo stato elementare (S⁰).



M.T. Madigan, J.M. Martinko

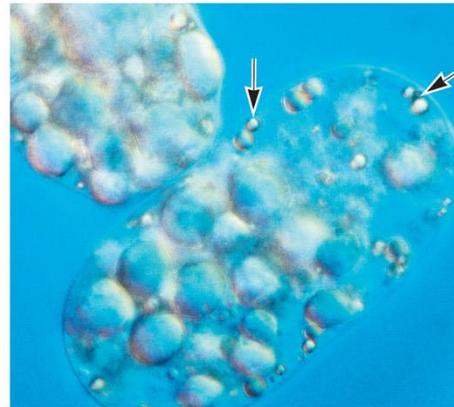
batteri solfato-riduttori (chemiorganotrofi)



(a)

D. E. Caldwell

Proteobatteri fototrofi
Chromatium
(solfobatterio purpureo)
↓
cellule rosse a forma di bastoncino (10 μm).



(b)

Hans-Dietrich Baerbohn

Proteobatteri chemiolitotrofi
zolfo-ossidanti
Achromatium (20 μm).

Brock, *Biologia dei Microrganismi*

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

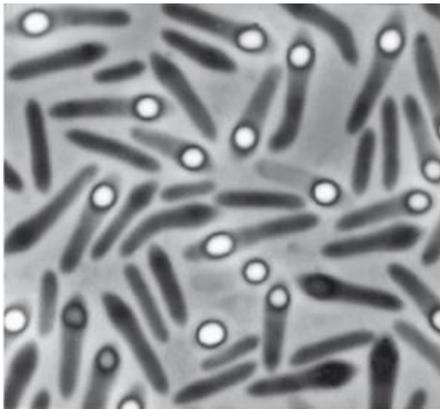
Diversità microbica

Batteri Gram positivi

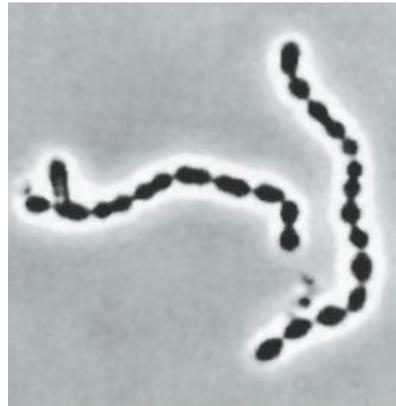
possiedono una parete cellulare strutturalmente simile



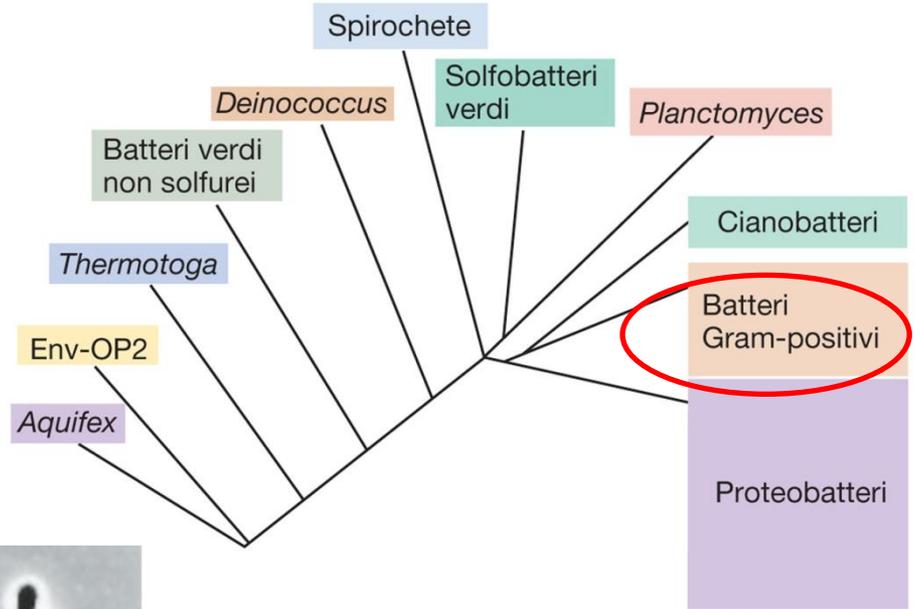
Bacillus, batterio a forma di bastoncino con endospore. Strutture resistenti al calore, agli agenti chimici, alle radiazioni, etc.



Hans Hippe

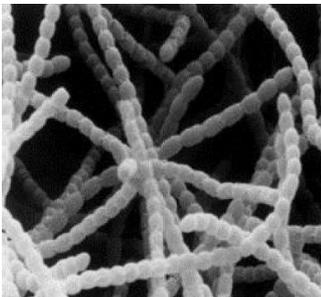


T.D. Brock



Brock, Biologia dei Microrganismi Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Streptococcus, batteri di forma sferica che tendono ad aggregarsi sotto forma di catena.



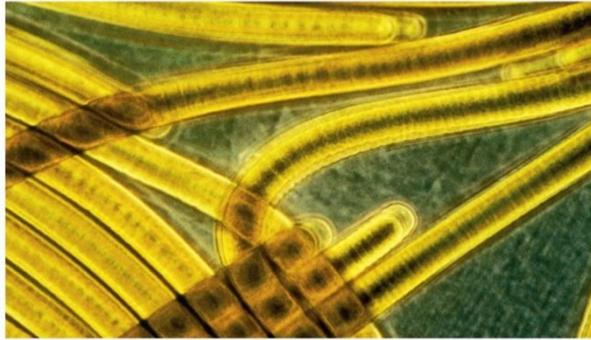
Streptomyces

Alcuni sono in grado di produrre antibiotici

Alcuni batteri sono privi di parete cellulare!!!

- Mycoplasma (Bacteria)**
- Thermoplasma (Archaea)**
- Ferroplasma (Archaea)**

Cianobatteri filamentosi



(a) *Oscillatoria*



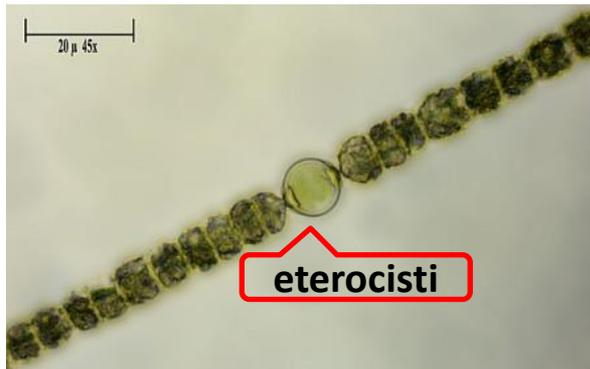
(b) *Spirulina*

I cianobatteri, milioni di anni fa, sono stati i primi organismi a produrre O₂, in un ambiente originariamente anossico.

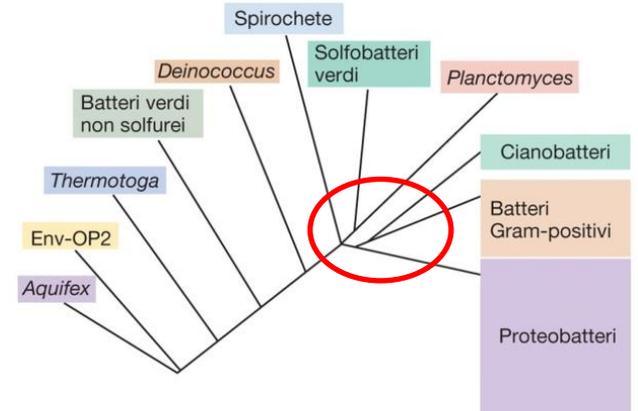
Esistono molte forme morfologiche:
Unicellulari,
A colonie,
Produttori di eterocisti,
...

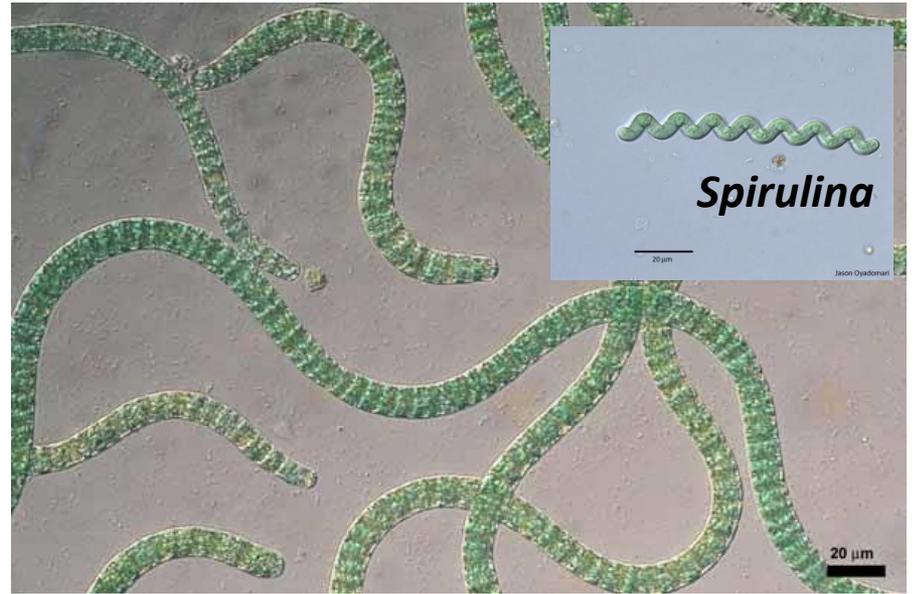
M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, Biologia dei Microorganismi Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

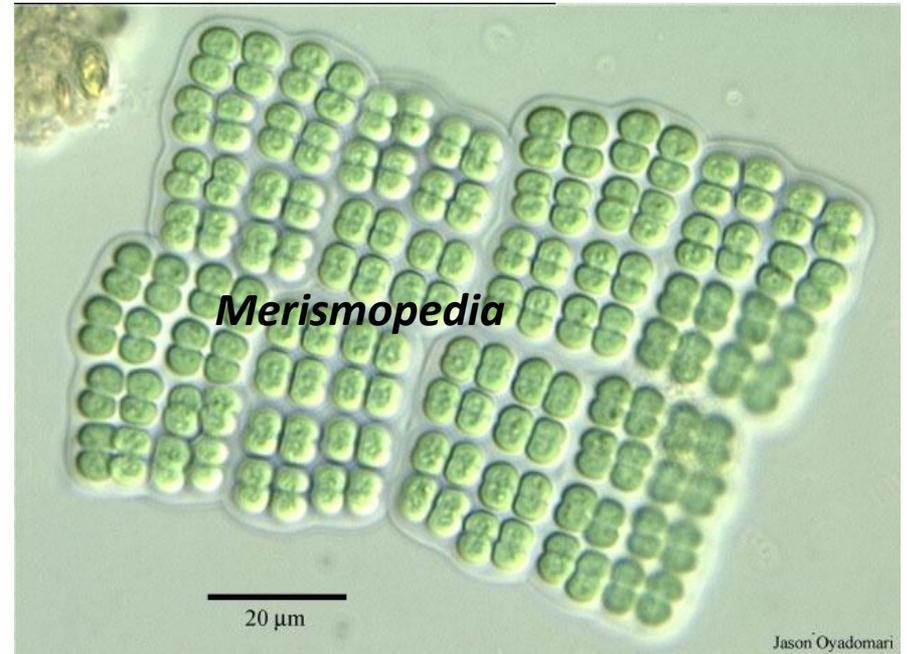


Anabaena sp.





Cianobatteri

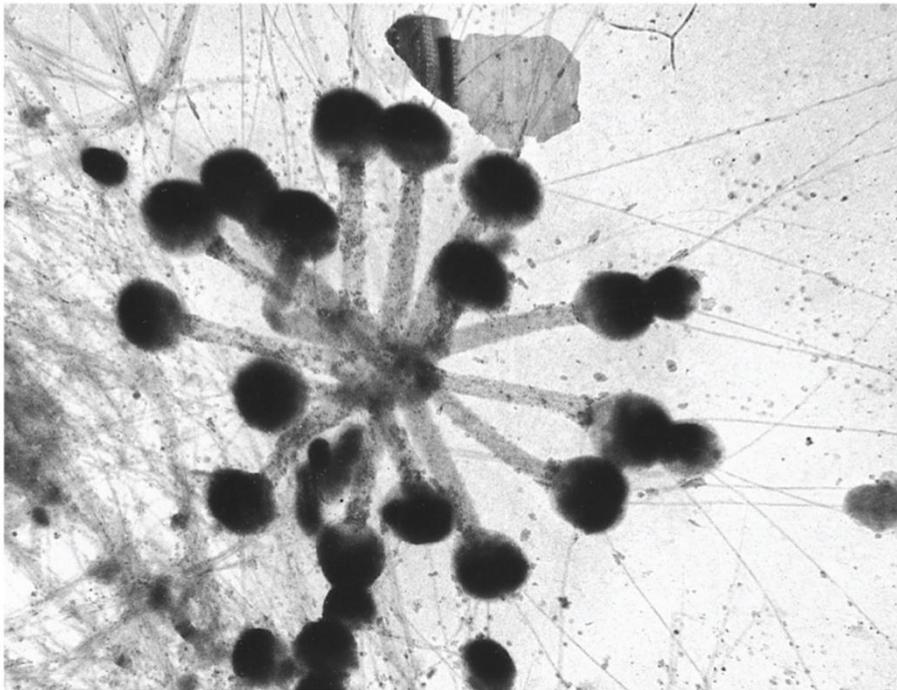
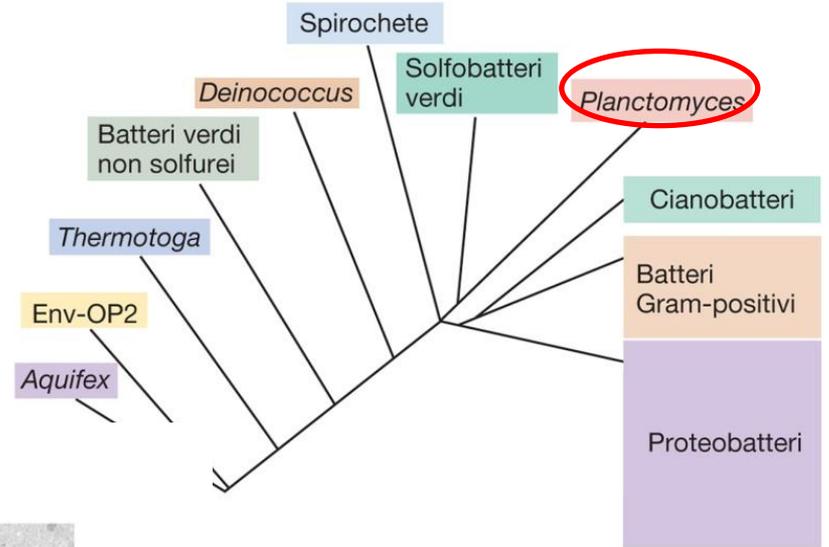


Diversità microbica

Planctomyces

Riferibili ai Gram -

Cellule attaccate mediante il loro peduncolo a formare una struttura a rosetta.



James T. Staley

Brock, *Biologia dei Microrganismi* Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Diversità microbica

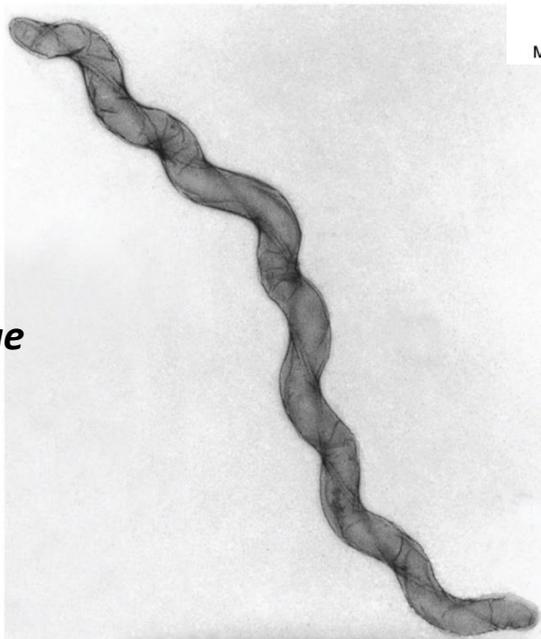
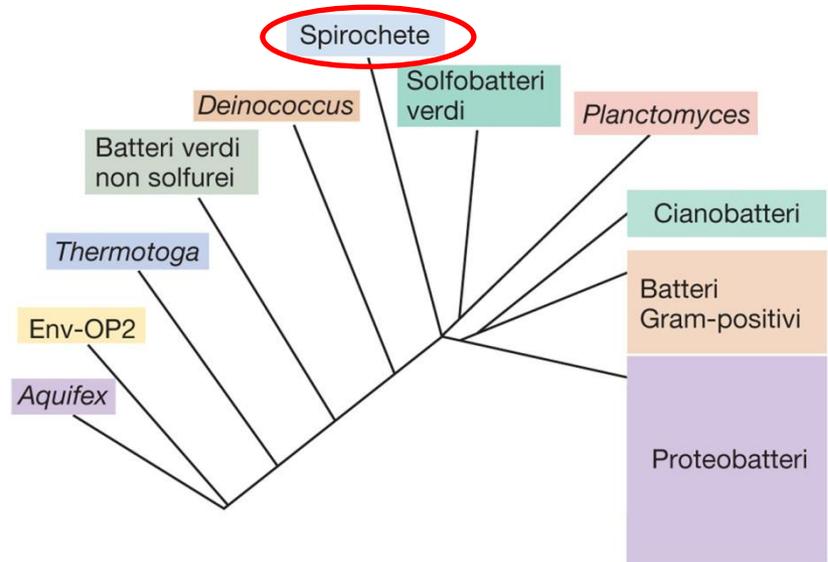
Spirochete

Sono diffuse in natura

Alcune specie possono provocare gravi malattie:

- la sifilide
- la malattia di Lyme (borreliosi).

Sono distinte sia morfologicamente che filogeneticamente



Spirocheta zuelzerae

M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, *Biologia dei Microorganismi*

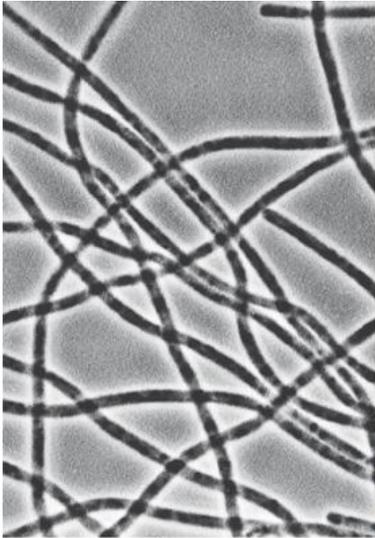
Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Diversità microbica

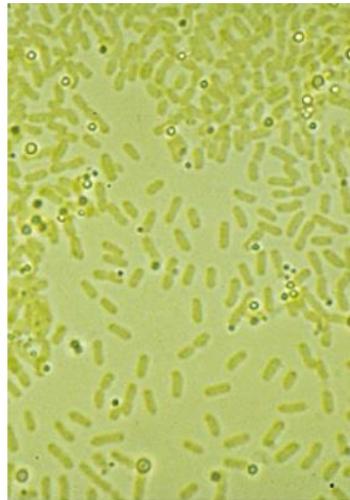
Batteri verdi (solfurei e non-solfurei) fototrofi autotrofi

Chloroflexus

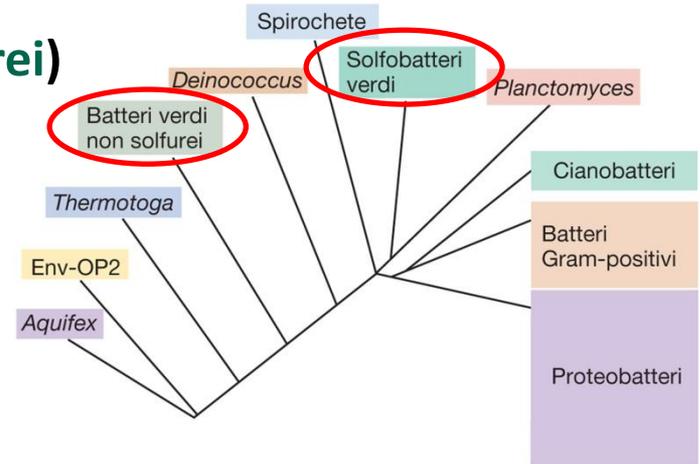
Batterio verde non solfureo, filamentoso
colonizza le sorgenti calde e le baie marine



M.T. Madigan



Norbert Pflügel



M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, Biologia dei Microorganismi

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Chlorobium

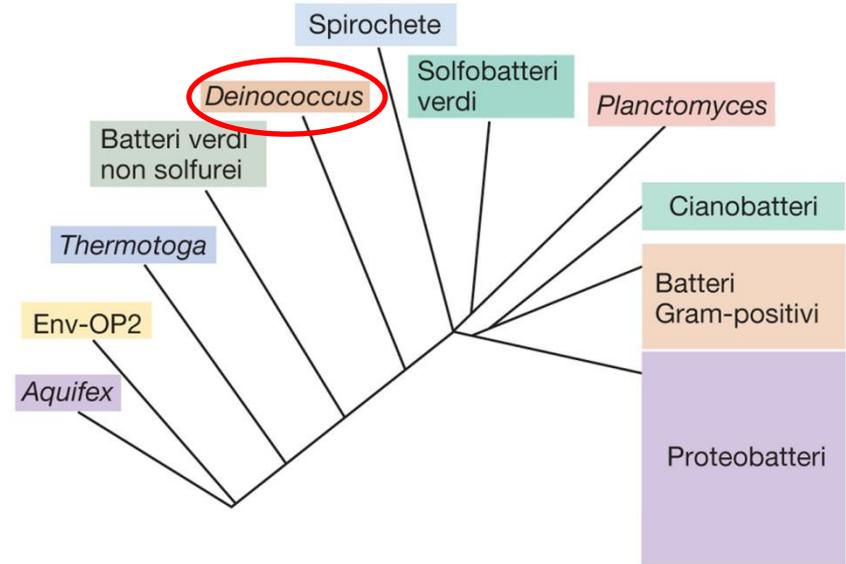
Batterio verde solfureo

Pur presentando molte caratteristiche in comune (pigmenti e strutture membranose) questi microrganismi sono filogeneticamente piuttosto distanti.

Diversità microbica

Deinococcus radiodurans

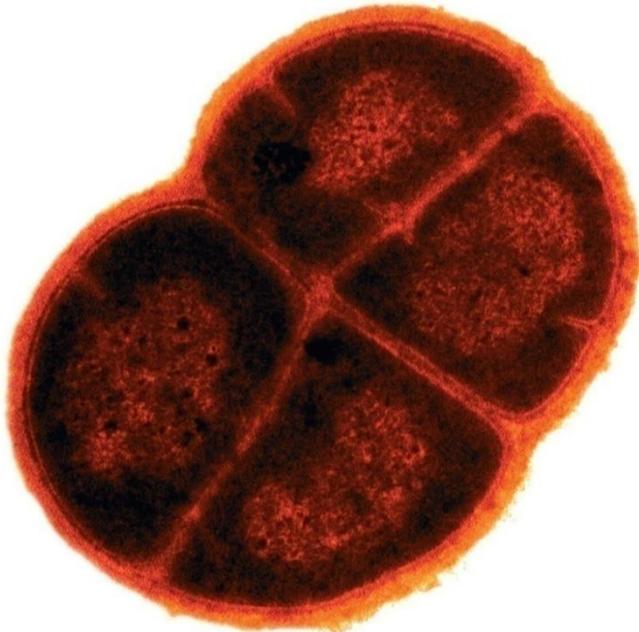
Microrganismo altamente resistente ad elevate radiazioni. Resistono a livelli di radiazioni in grado di uccidere un uomo.



M.T. Madigan, J.M. Martinko

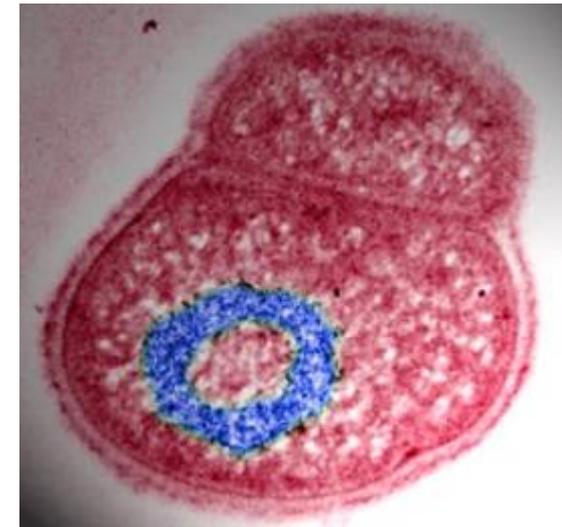
Brock, *Biologia dei Microorganismi*

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana



Michael J. Daly

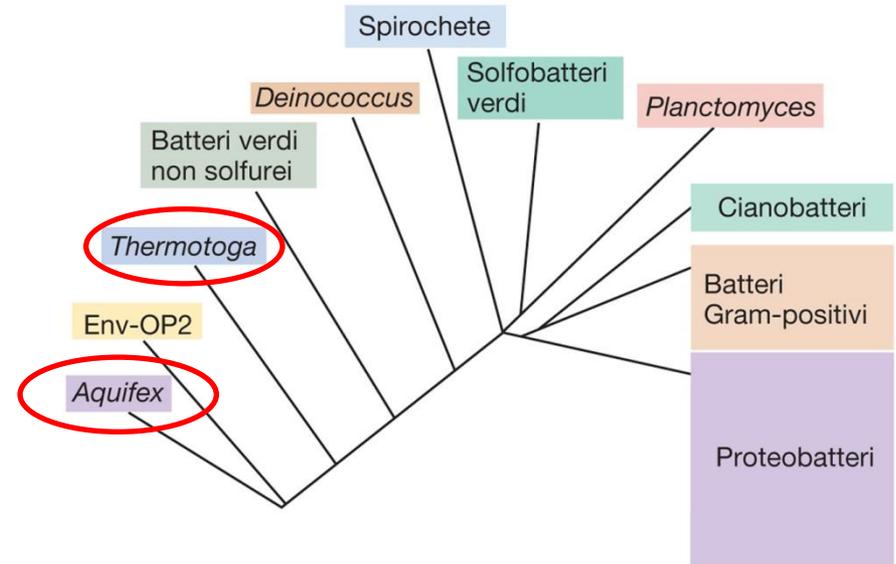
Sono in grado di riparare il proprio DNA anche dopo che è stato frammentato da alte dosi di radiazioni.



Diversità microbica

Aquifex e *Thermotoga*

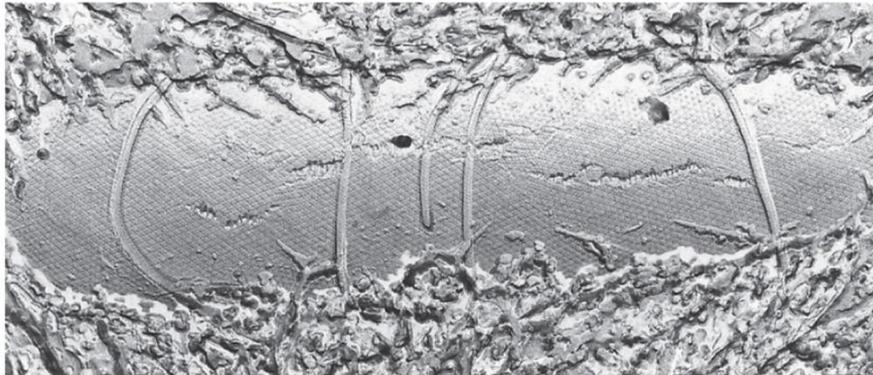
Anche se filogeneticamente diverse, condividono la capacità di crescere a temperature prossime a quelle di ebollizione dell'acqua (**ipertermofilia**).



M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, *Biologia dei Microrganismi*

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana



R. Rachel and K. O. Stetter

Aquifex

Microrganismo resistente alle alte temperature (ipertermofilo): ha una temperatura **ottimale** di crescita oltre gli **80°C**.

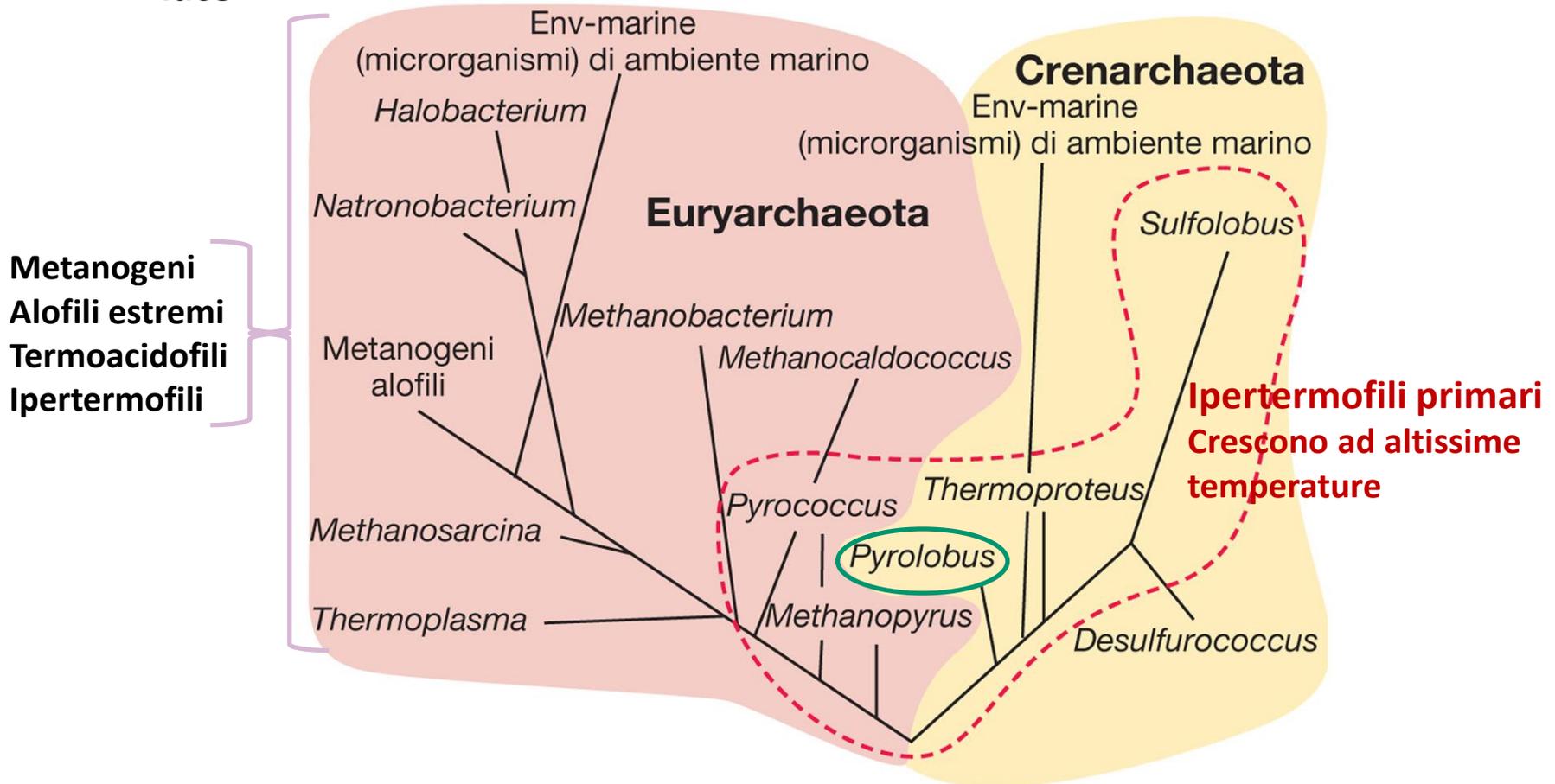
Albero filogenetico di alcuni gruppi degli *Archaea*

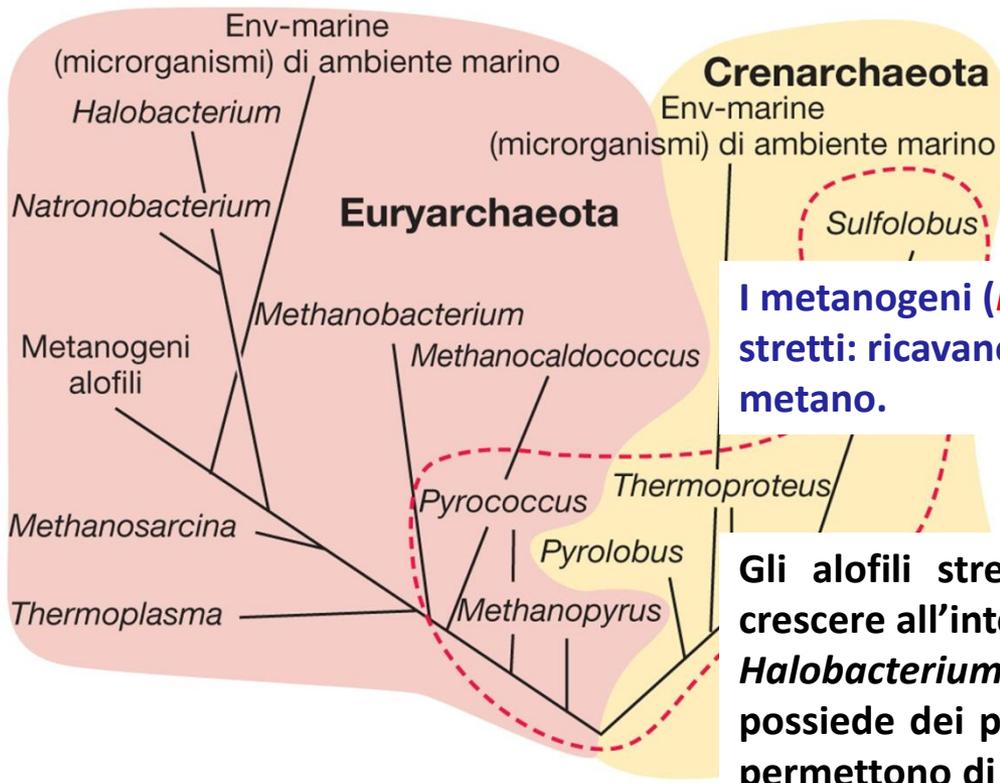
Nell'ambito del dominio degli *Archaea* sono stati individuati due gruppi:

Euryarcheota e Crenarcheota

- **Microrganismi chemiotrofi**
- **Sia organo- che litotrofi**
- ***Halobacterium* può produrre ATP dalla luce**

Sono prevalentemente estremofili





Alcune specie richiedono **ossigeno** (aerobi), mentre per altre è tossico (anaerobi); alcune specie crescono a **pH** estremamente acidi o basici.

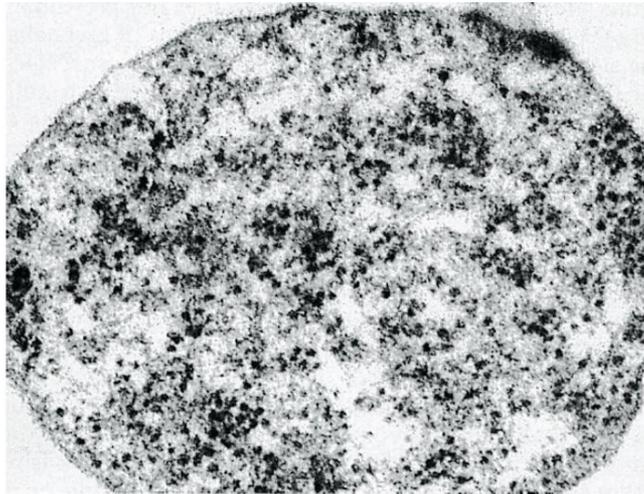
I metanogeni (*Methanobacterium*) sono anaerobi stretti: ricavano energia associata alla produzione di metano.

Gli alofili stretti (*Halobacterium*) possono crescere all'interno dei cristalli di sale. *Halobacterium*, pur senza clorofilla, possiede dei pigmenti sensibili alla luce che permettono di produrre ATP.

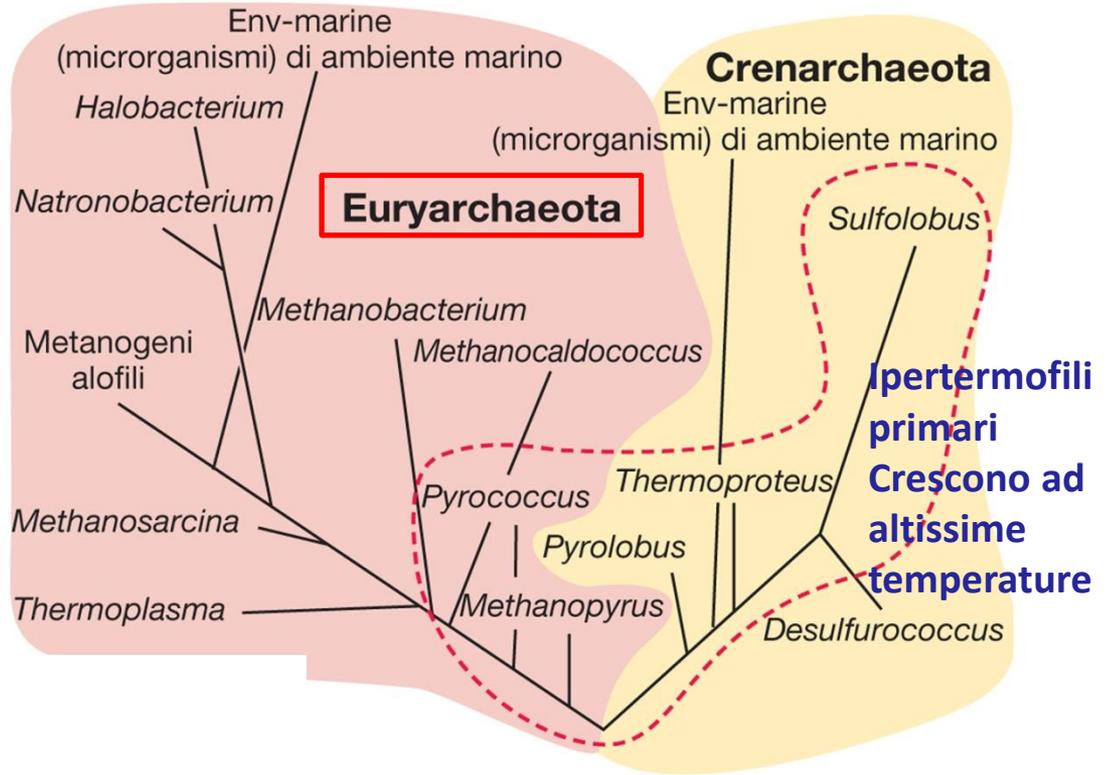


Natronobacterium

- **alcalofilo**: colonizza le acque con elevate concentrazioni di CaCO_3 : tra i microrganismi, è quello che vive ai valori più alti di pH.
- Si comporta anche da **alofilo estremo**.

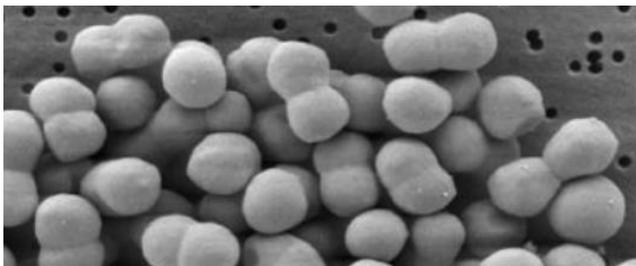


T.D. Brock



Thermoplasma

- Senza parete cellulare;
- cresce a pH estremamente bassi (**acidofilo estremo**) ed a temperature moderatamente elevate (**ipertermofilo**)

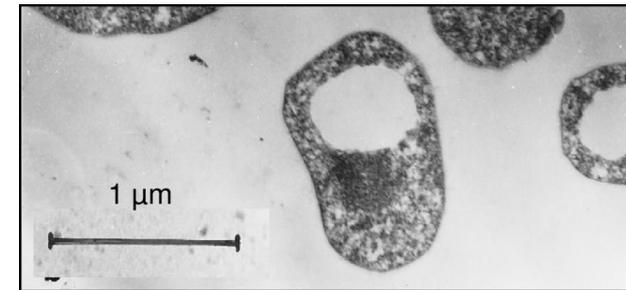


Pyrococcus

Ipertermofilo ($T_{\text{ottimale}} > 80^{\circ}\text{C}$)

Brock, Biologia dei Microrganismi

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

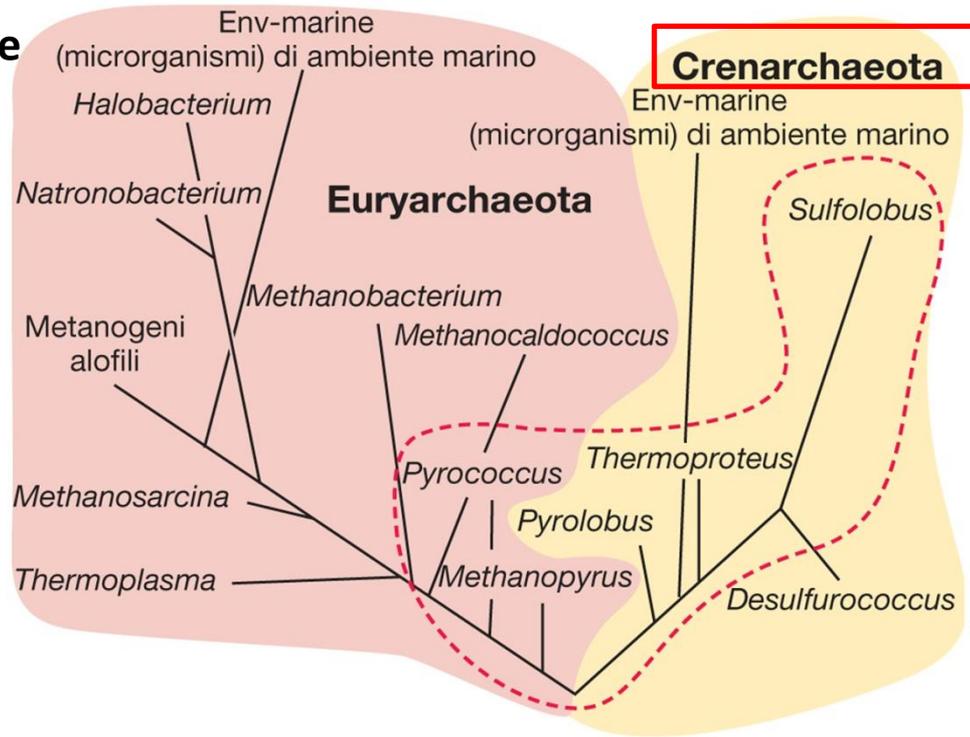
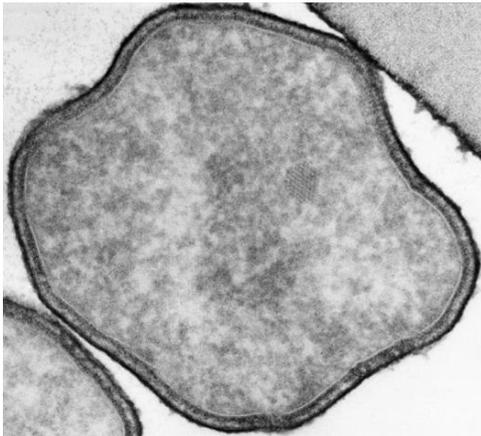


Picrophilus, termoacidofilo
(il procariote più acidofilo)

Crenarchaeota

Prevalentemente specie batteriche ipertermofile ed anaerobiche

- Chemiolitotrofi
- Chemiorganotrofi



M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, *Biologia dei Microrganismi*

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Pyrolobus, archeobatterio
chrenarcheota ipertermofilo



Optimum di crescita 106°C,
ben oltre il punto di ebollizione
dell'acqua.

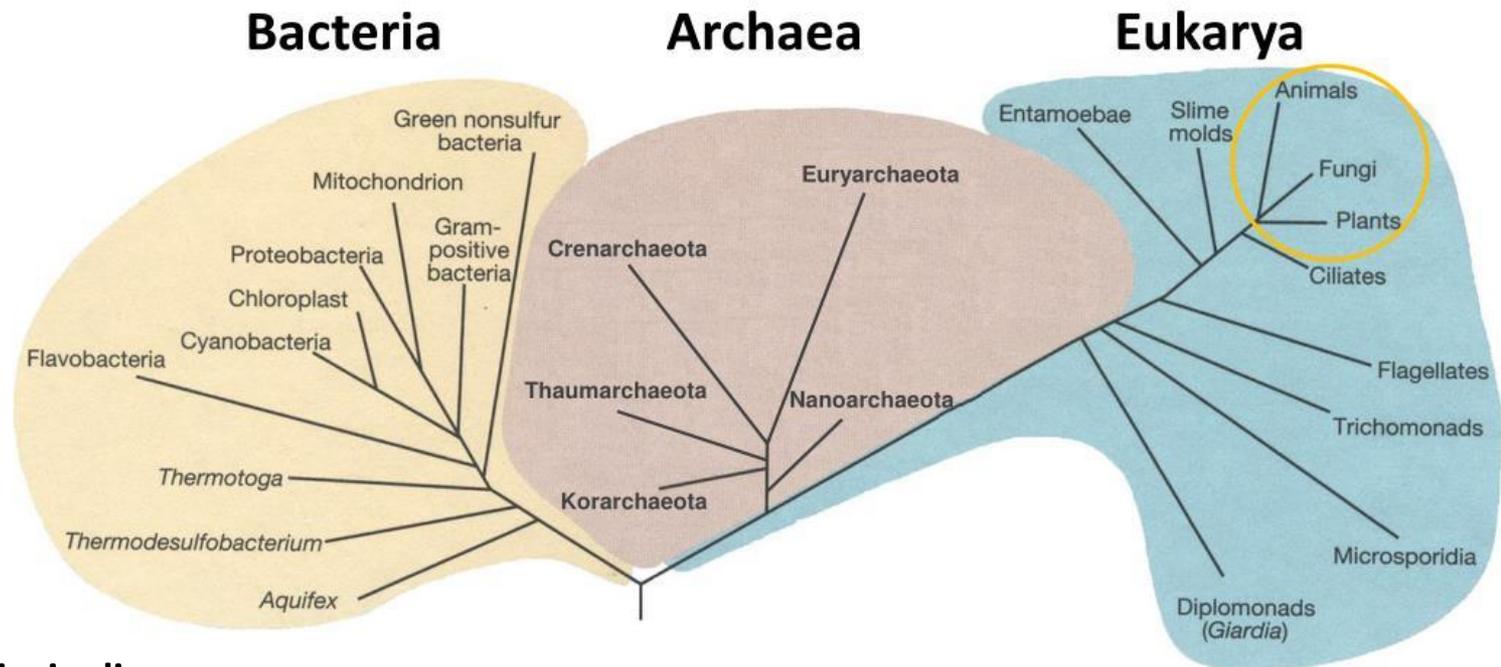
Tra i *Crenarchaeota* anche specie
marine aerobiche e psicrofile

Env-marine (gruppo marino)

Sequenze **rRNA** di *Archaea* marini, molti dei
quali non ancora coltivati.

L'acquisizione di ulteriori conoscenze consente un continuo aggiornamento nella costruzione dell'albero filogenetico universale.

Tree of Life



Archaea

7 phyla principali

5 dei quali sono riferibili alle specie di archeobatteri coltivabili

La maggior parte delle specie coltivabili appartengono ai phyla *Euryarchaeota* e *Crenarchaeota*

Modified from: Madigan et al., Brock Biology of Microorganisms 12th ed.

Microrganismi eucariotici (Eukarya)

Protozoi: Organismi microscopici con un'organizzazione abbastanza semplice (unicellulare). A differenza dei procarioti, possiedono un vero e proprio nucleo (eucarioti).

Non possiedono parete cellulare.

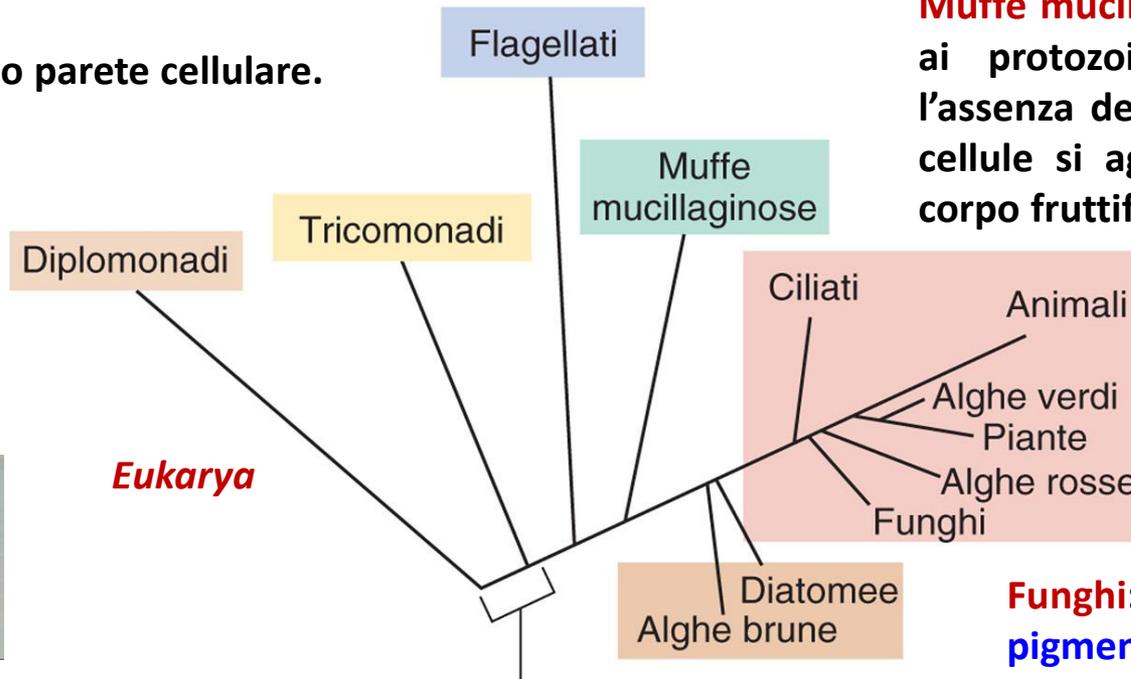


Muffe mucillaginose: assomigliano ai protozoi per la motilità e l'assenza della parete cellulare. Le cellule si aggregano a formare il corpo fruttifero (multicellulare)



Giardia

Trichomonas



Eukarya

Ramificazione precoce, assenza di mitocondri

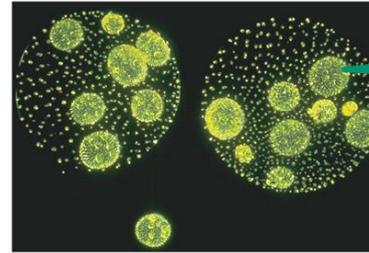


Funghi: non possiedono pigmenti fotosintetici, possono essere unicellulari (lieviti) o filamentosi (muffe), sono attivi degradatori.

Algae (fototrofi → produttori primari): possiedono cloroplasti, ricchi di clorofilla, che consentono di vivere in ambienti contenenti solo sostanze minerali (K, P, Mg, N, S), H₂O, CO₂ e luce.

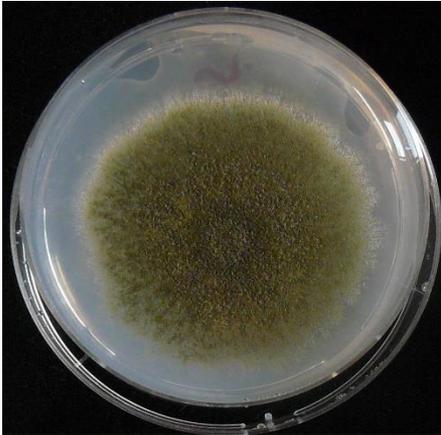
Esempi di microrganismi eucariotici

Alge coloniali verdi *Volvox*

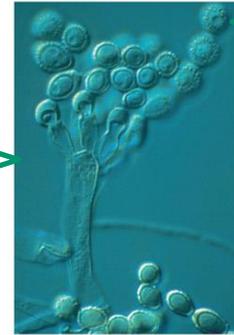


cloroplasti

(a)



Funghi filmentosi (muffe)



spore

sporangio
contenete spore

(b)

Paramecium
protozoo ciliato (motilità)



(c)

M.T. Madigan, J.M. Martinko

Brock, **Biologia dei Microrganismi**

Copyright © 2007 Casa Editrice Ambrosiana

Licheni

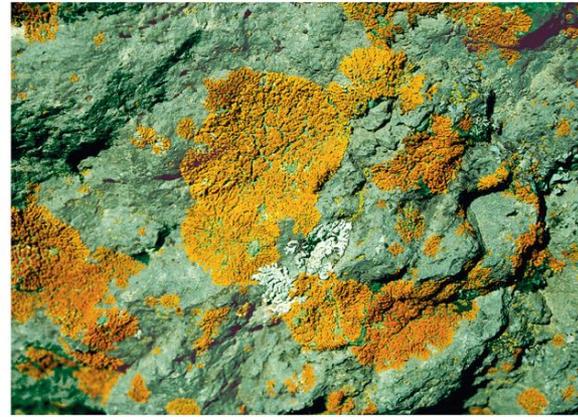
organismi pionieri simili a foglie.

Esempio di **mutualismo microbico**

(simbiosi mutualistica)

Fungo + **alga** (eucariote)

Fungo + **cianobatterio** (procariote)



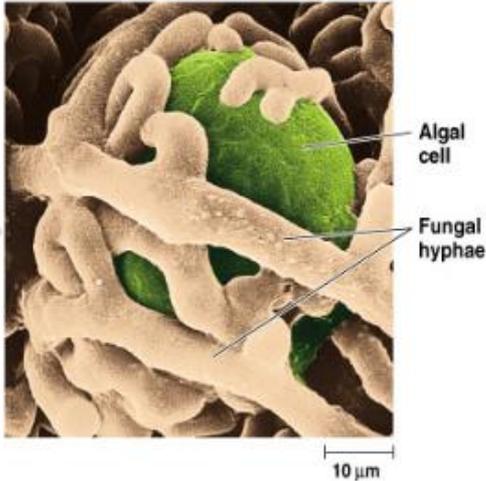
Licheni arancione
(presenza di pigmenti)

(a)



Licheni con pigmenti gialli:
il colore è dovuto alla
componente pigmentata
delle alghe

(b)

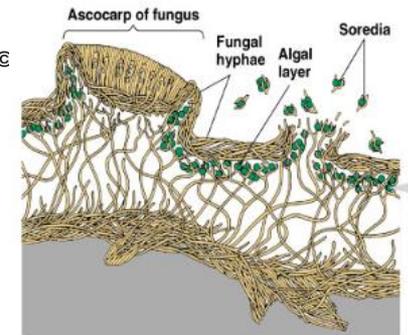


Jan, J.M. Martinko

Brock, *Biologia dei Microrganismi*

Copyright ©

Alga o cianobatterio → rappresenta la
componente fototrofica (produttore
primario)



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.