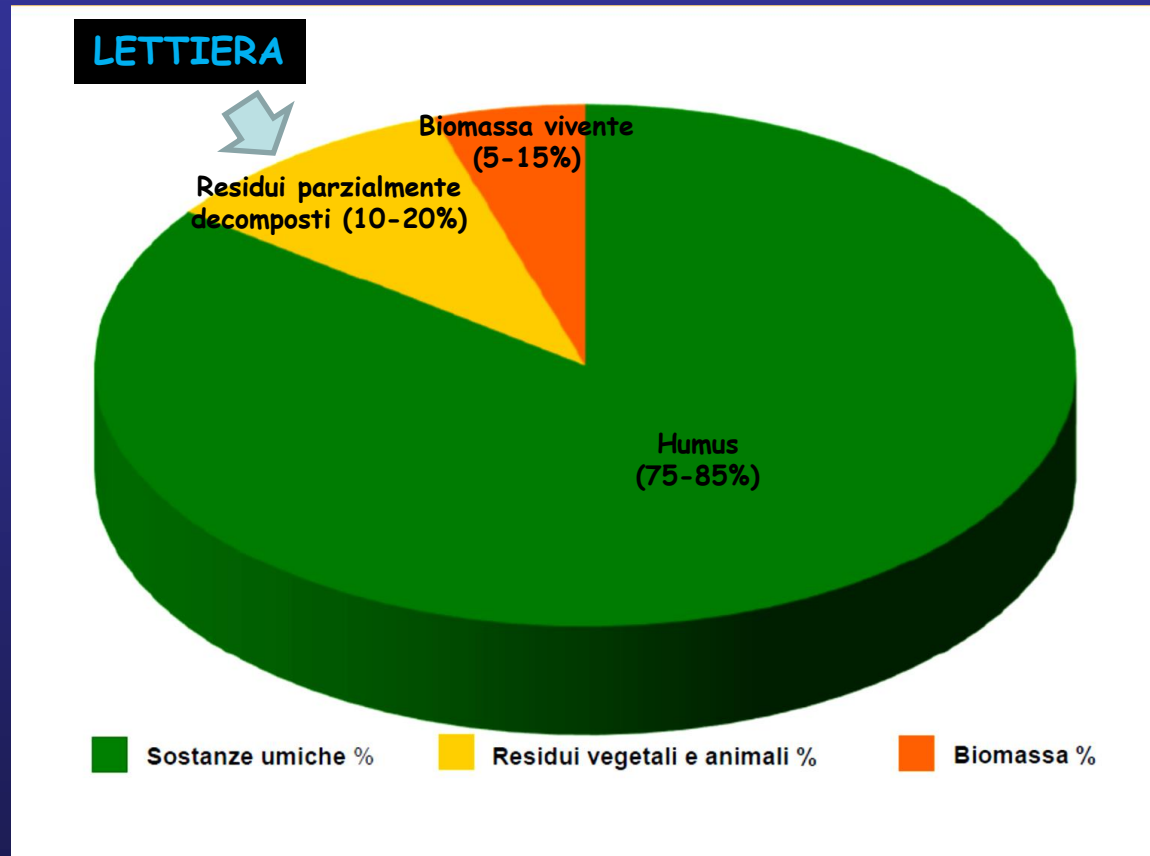




# Composizione (% in peso sulla ss) della sostanza organica del suolo

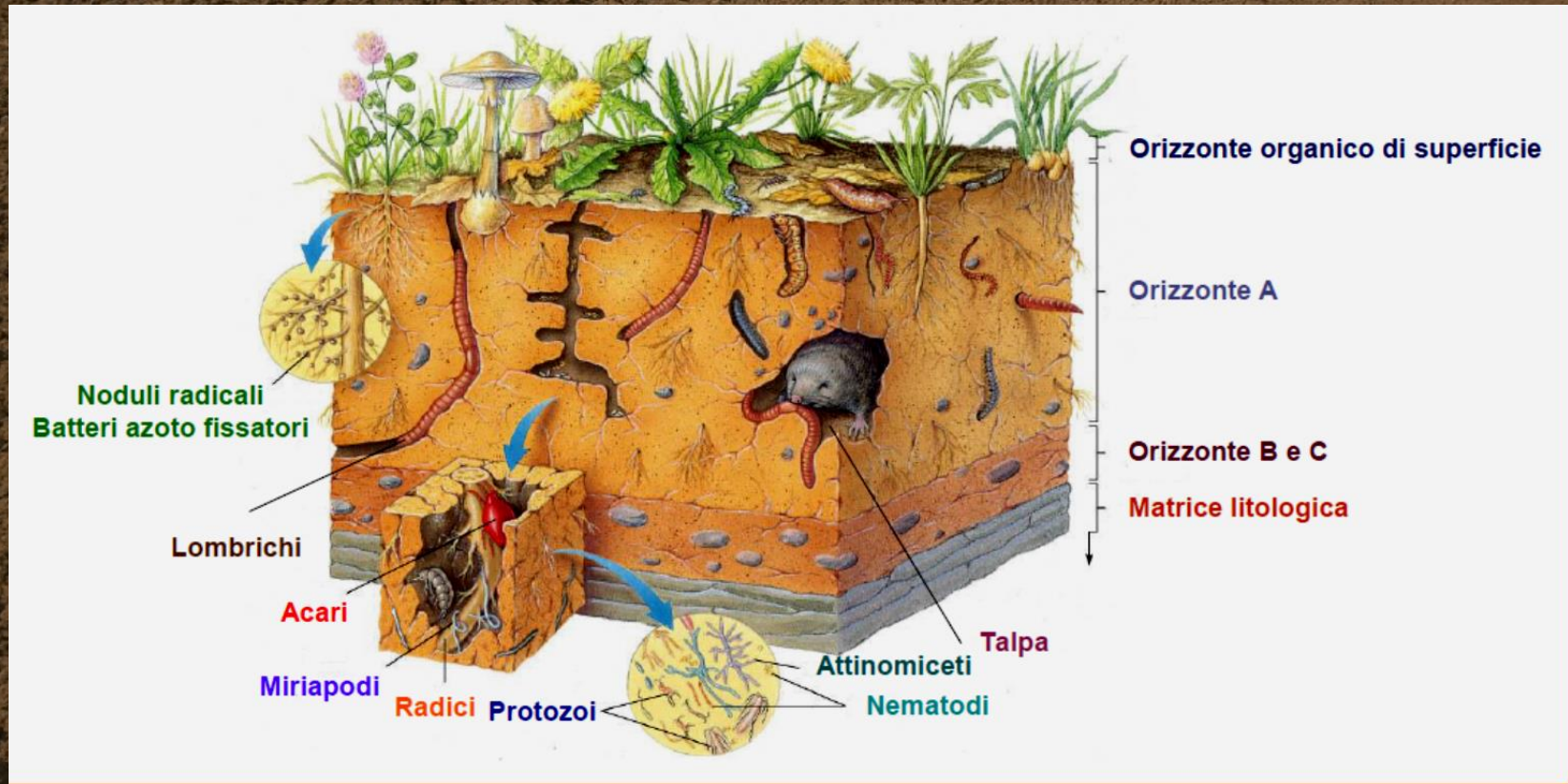


# Il suolo sono sistemi biologicamente attivi



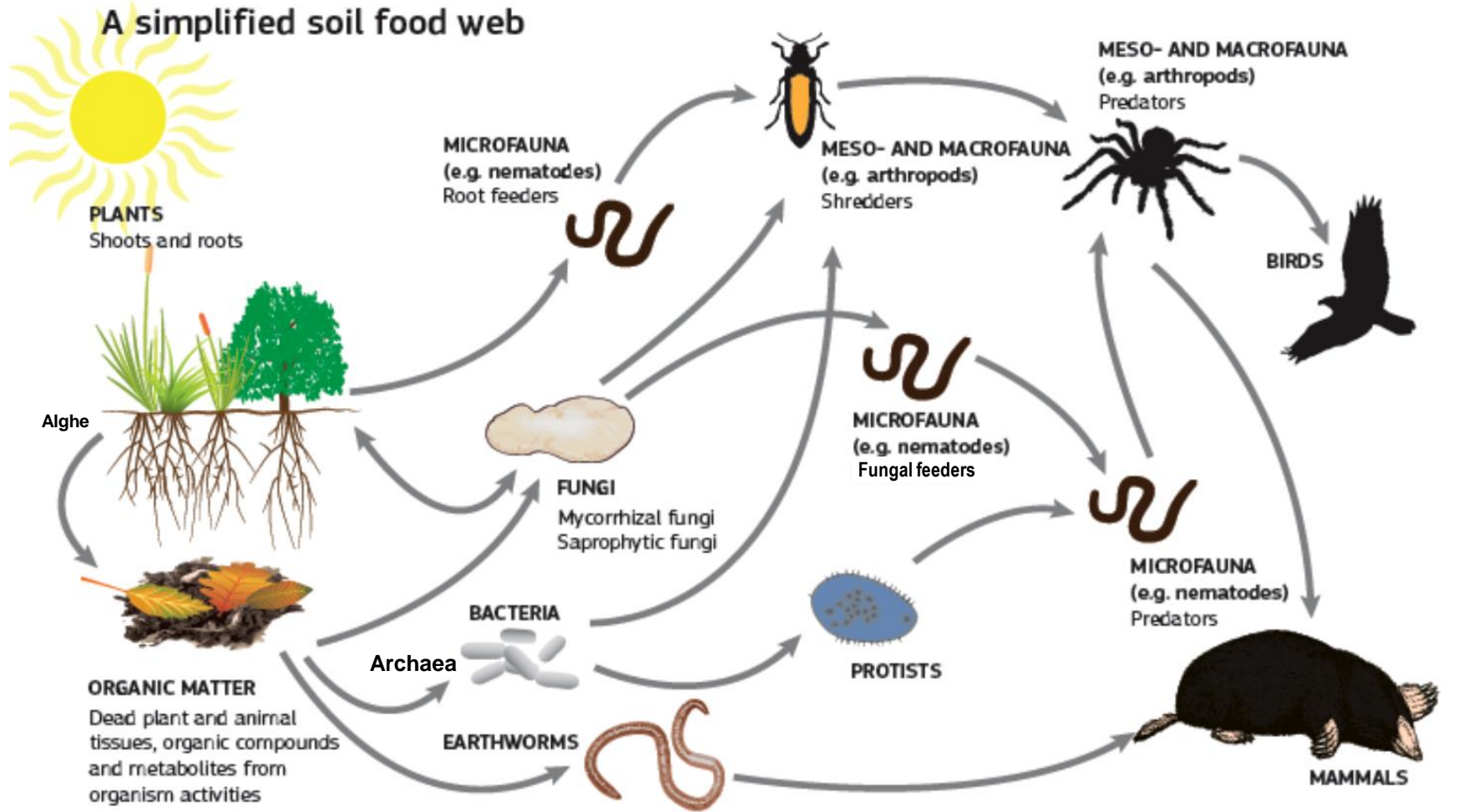
Le condizioni fisico-chimiche del suolo costituiscono lo spazio biologico delle biocomunità telluriche

# Il suoli sono sistemi biologicamente attivi



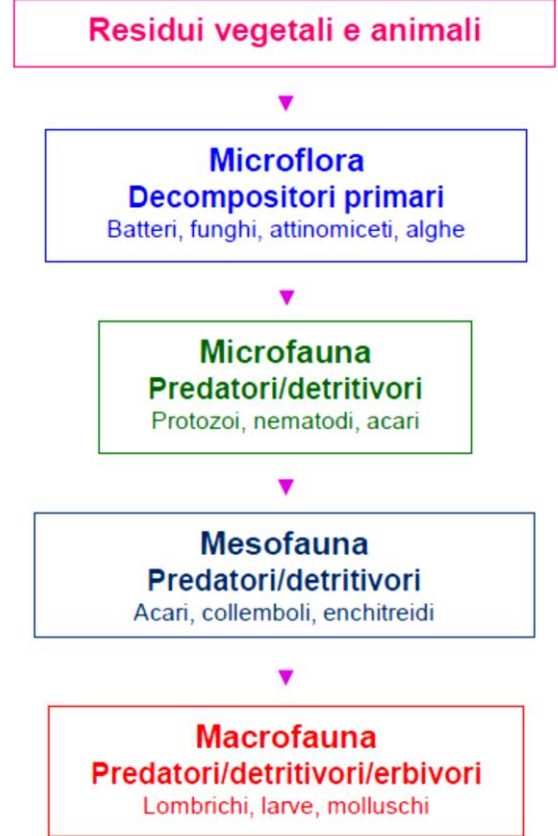
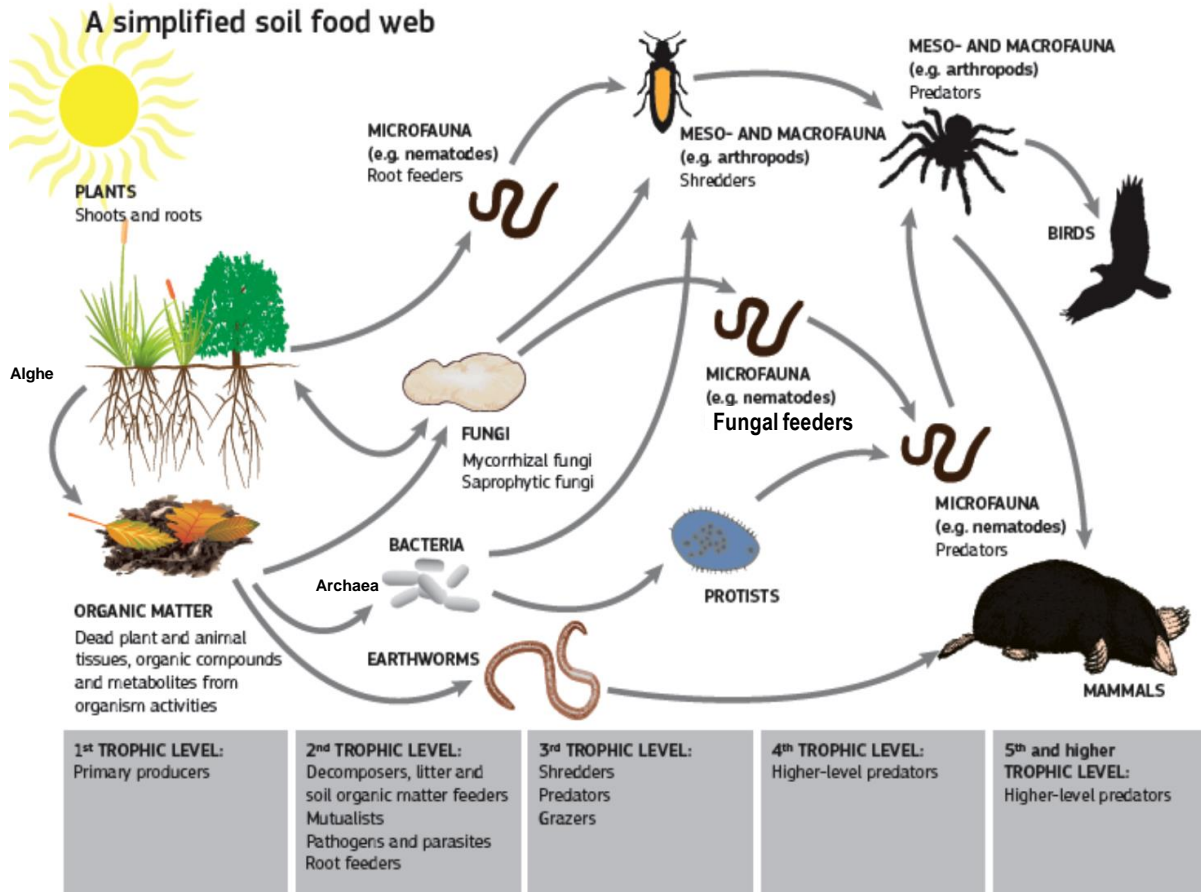
Le comunità edafiche (*soil biota*) costituiscono una complessa rete trofica, basata sulla degradazione della sostanza organica morta (*input primario* e *input secondario*) che viene utilizzata come fonte di C, nutrienti e di energia metabolica.

Modello concettuale che mostra le relazioni trofiche che collegano ecologicamente gli organismi viventi della comunità edafica mediante trasferimento di C, nutrienti ed energia metabolica.



<p><b>1<sup>st</sup> TROPHIC LEVEL:</b> Primary producers</p>	<p><b>2<sup>nd</sup> TROPHIC LEVEL:</b> Decomposers, litter and soil organic matter feeders Mutualists Pathogens and parasites Root feeders</p>	<p><b>3<sup>rd</sup> TROPHIC LEVEL:</b> Shredders Predators Grazers</p>	<p><b>4<sup>th</sup> TROPHIC LEVEL:</b> Higher-level predators</p>	<p><b>5<sup>th</sup> and higher TROPHIC LEVEL:</b> Higher-level predators</p>
---	---	---	--	---

Modello concettuale che mostra le relazioni trofiche che collegano ecologicamente gli organismi viventi della comunità edafica mediante trasferimento di C, nutrienti ed energia metabolica.



# Il soil biota si classifica in funzione della natura della fonte di energia metabolica e di carbonio

Table 11.3

**METABOLIC GROUPING OF SOIL ORGANISMS ACCORDING TO THEIR SOURCE OF METABOLIC ENERGY AND THEIR SOURCE OF CARBON FOR BIOCHEMICAL SYNTHESIS**

Source of carbon	Source of energy	
	Biochemical oxidation	Solar radiation
Combined organic carbon	<p><b>Chemoheterotrophs:</b> All animals, plant roots, fungi, actinomycetes, and most bacteria</p> <p>Examples:</p> <p>Earthworms</p> <p><i>Aspergillus sp.</i></p> <p><i>Azotobacter sp.</i></p> <p><i>Pseudomonas sp.</i></p>	<p><b>Photoheterotrophs:</b></p> <p>A few algae</p>
Carbon dioxide or carbonate	<p><b>Chemoautotrophs:</b> Some bacteria, many archaea</p> <p>Examples:</p> <p>Ammonia oxidizers—<i>Nitrosomonas sp.</i></p> <p>Sulfur oxidizers—<i>Thiobacillus denitrificans</i></p>	<p><b>Photoautotrophs:</b> Plant shoots, algae, and cyanobacteria</p> <p>Examples:</p> <p><i>Chorella sp.</i></p> <p><i>Nostoc sp.</i></p>

(da Weil & Brady, 2017)

Gli organismi autotrofi sono molto meno numerosi degli eterotrofi. Tuttavia, processi biotici come la fissazione chemiosintetica e fotosintetica del C e l'ossidazione di specie inorganiche ridotte del Fe, dell'N e dello S giocano un ruolo fondamentale per il funzionamento dell'intero sistema suolo.

# Il soil biota si classifica anche su base dimensionale

**Table 11.1**

**SOME IMPORTANT SOIL ORGANISMS GROUPED BY SIZE**

Generalized grouping by body width and food source	Major taxonomic groups	Examples
<b>Macro-organisms (&gt;2 mm)</b>		
All heterotrophs: herbivores, detritivores, fungivores, bacterivores, and predators	Vertebrates	Gophers, moles, snakes, salamanders
	Arthropods	Ants, beetles and their larvae, centipedes, grubs, maggots, millipedes, spiders, termites, large collembola
All heterotrophs: herbivores, detritivores, fungivores, bacterivores	Annelids	Earthworms
	Mollusks	Snails, slugs
Largely autotrophs	Vascular plants	Feeder roots
	Bryophytes	Mosses
<b>Meso-organisms (0.1–2 mm)</b>		
All heterotrophs: detritivores, fungivores, bacterivores, and predators	Arthropods	Mites, collembola (springtails), pseudoscorpions
All heterotrophs: detritivores, fungivores, bacterivores	Annelids	Enchytraeid (pot) worms



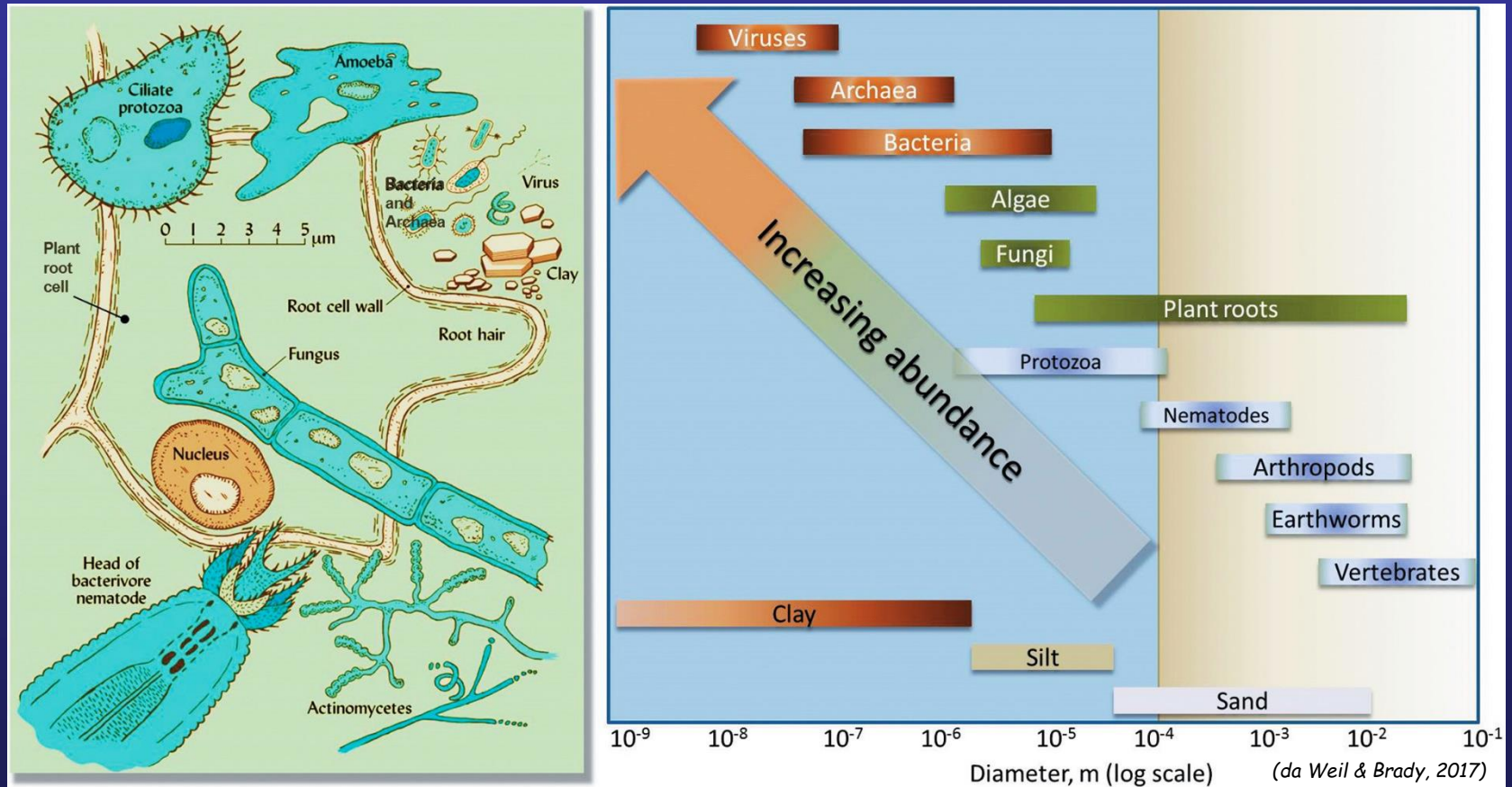
# Il soil biota si classifica anche su base dimensionale

**Table 11.1**  
**SOME IMPORTANT SOIL ORGANISMS GROUPED BY SIZE**

Generalized grouping by body width and food source	Major taxonomic groups	Examples
Microorganisms (<0.1 mm)		
All heterotrophs: detritivores, predators, fungivores, bacterivores	Nematoda	Nematodes
	Rotifera	Rotifers
	Tardigrades	Water bears, <i>Macrobiotus sp.</i>
	Protozoa	Amoebae, ciliates, flagellates
Largely autotrophs	Vascular plants	Root hairs
	Algae	Greens, yellow-greens, diatoms
Largely heterotrophs	Fungi	Yeasts, mildews, molds, rusts, mushrooms
Heterotrophs and autotrophs	Bacteria	Acidobacteria, proteobacteria
	Cyanobacteria	Blue-green algae
	Actinobacteria	Streptomyces
	Archaea	Methanotrophs, <i>Thermoplasma sp.</i> , halophiles

(da Weil & Brady, 2017)

# Il soil biota si classifica anche su base dimensionale



Gli organismi edafici comprendono specie da piccolissime (virus ed archea) a vertebrati circa  $1 \times 10^6$  volte più grandi. Come in molti ecosistemi, la numerosità degli individui è inversamente correlata alla loro dimensione corporea.

# Quantità di biomassa vivente mediamente presente negli orizzonti superficiali del suolo

**Table 11.4**

## **NUMBERS AND BIOMASS OF ORGANISMS COMMONLY FOUND IN SURFACE SOIL HORIZONS**

*Microorganisms and earthworms dominate the biomass of most humid region soils.*

Organisms	Biodiversity	Number <sup>a</sup>		Biomass <sup>b</sup>	
	Taxa <sup>c</sup>	Per m <sup>2</sup>	Per g	kg/ha	g/m <sup>2</sup>
<b>Microorganisms</b>					
Bacteria and Archaea <sup>d</sup>	1–9,000/g	10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup>	10 <sup>9</sup> –10 <sup>10</sup>	400–5,000	40–500
Actinomycetes		10 <sup>12</sup> –10 <sup>13</sup>	10 <sup>7</sup> –10 <sup>8</sup>	400–5,000	40–500
Fungi	1–300/g	10 <sup>6</sup> –10 <sup>8</sup> m	10–10 <sup>3</sup> m	1,000–15,000	100–1,500
Algae	—	10 <sup>9</sup> –10 <sup>10</sup>	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>	10–500	1–50
<b>Fauna</b>					
Protista (protozoa)	1–5,000/g	10 <sup>7</sup> –10 <sup>11</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>6</sup>	20–300	2–30
Nematodes	10–1,000/m <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup> –10 <sup>7</sup>	1–10 <sup>2</sup>	10–300	1–30
Mites	100–500/m <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup>	1–10	2–500	0.2–5
Collembola	10–100/m <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup>	1–10	2–500	0.2–5
Earthworms	2–10/m <sup>2</sup>	10–10 <sup>3</sup>		100–4,000	10–400
Other fauna	30–3,000/m <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>4</sup>		10–100	1–10

<sup>a</sup>A fungus individual is hard to define, so abundance is given as meters hyphal length.

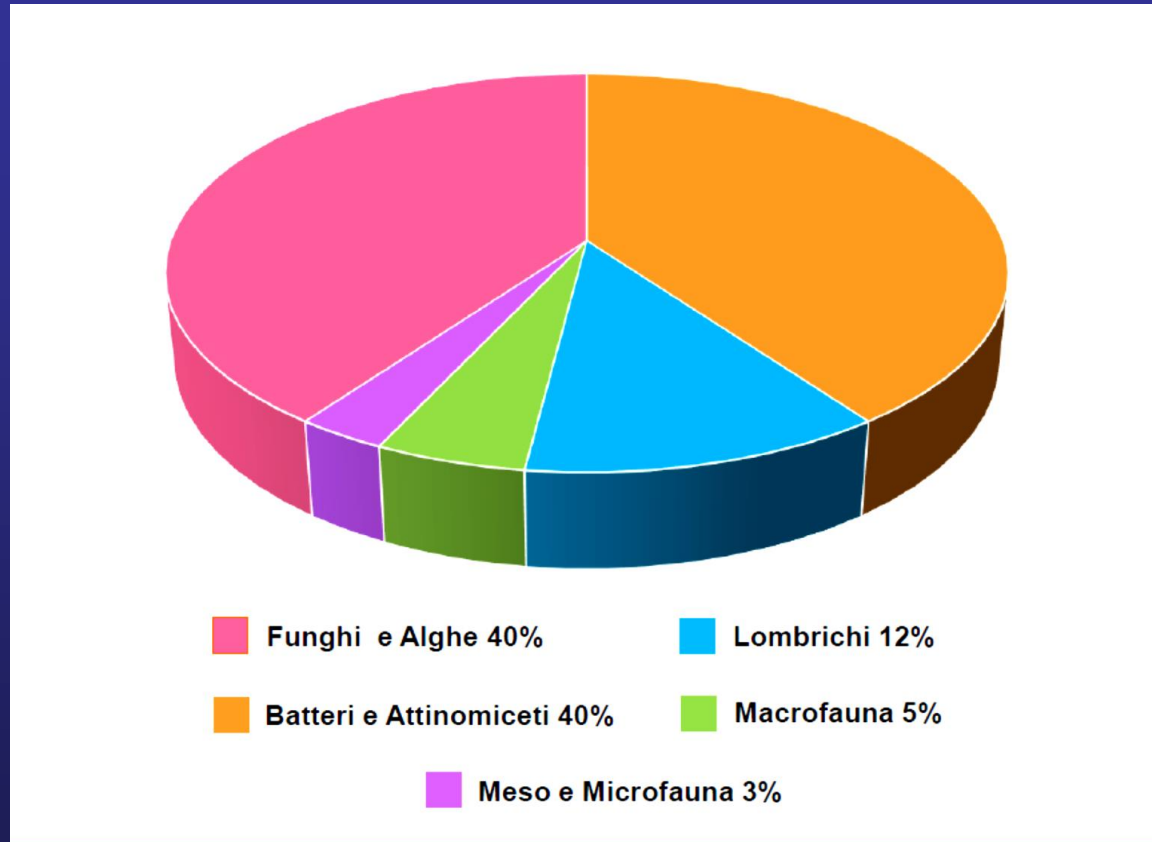
<sup>b</sup>Biomass values are on a live weight basis. Dry weights are about 20–25% of these values.

<sup>c</sup>Species or genome equivalents per unit of soil (g or m<sup>2</sup> of A horizon).

<sup>d</sup>Estimated numbers of bacteria and archaea from Torsvik et al. (2002); biodiversity estimates based on Bardgett and van der Putten (2014); other estimates from many sources.

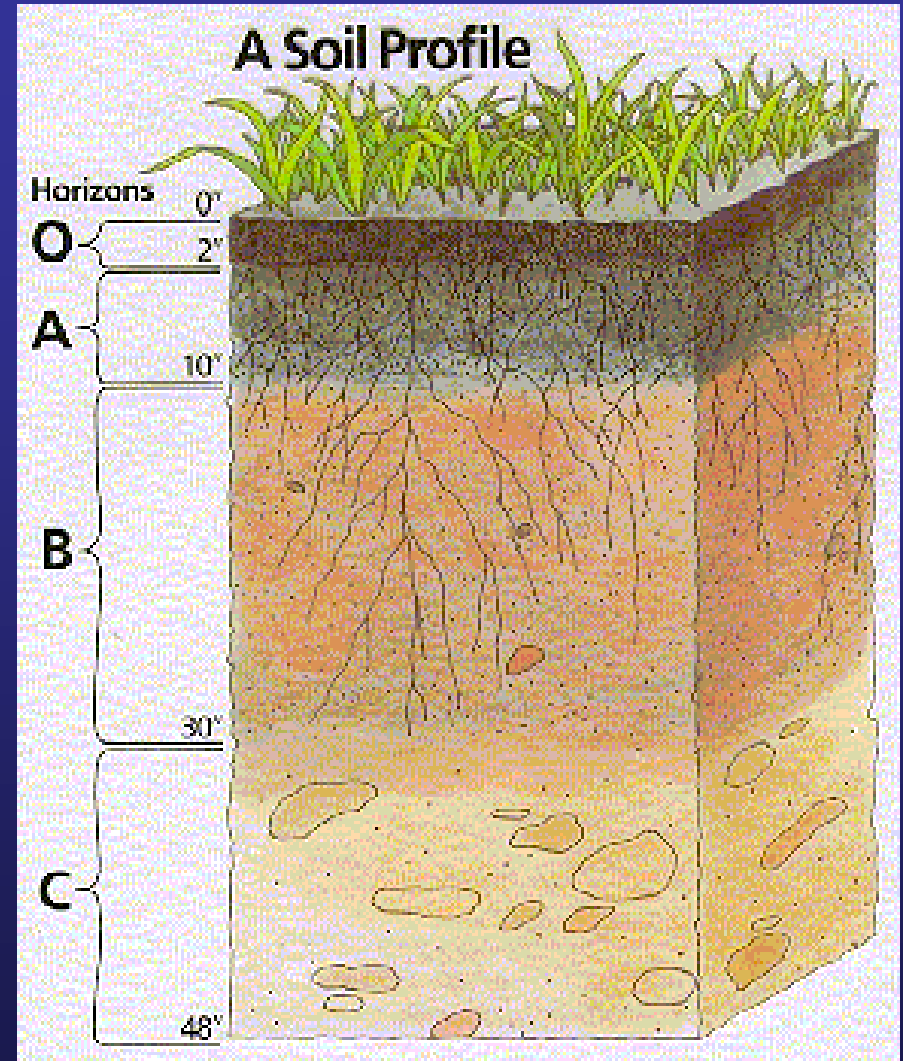
(da Weil & Brady, 2017)

# Composizione (% in peso) della biomassa vivente del suolo

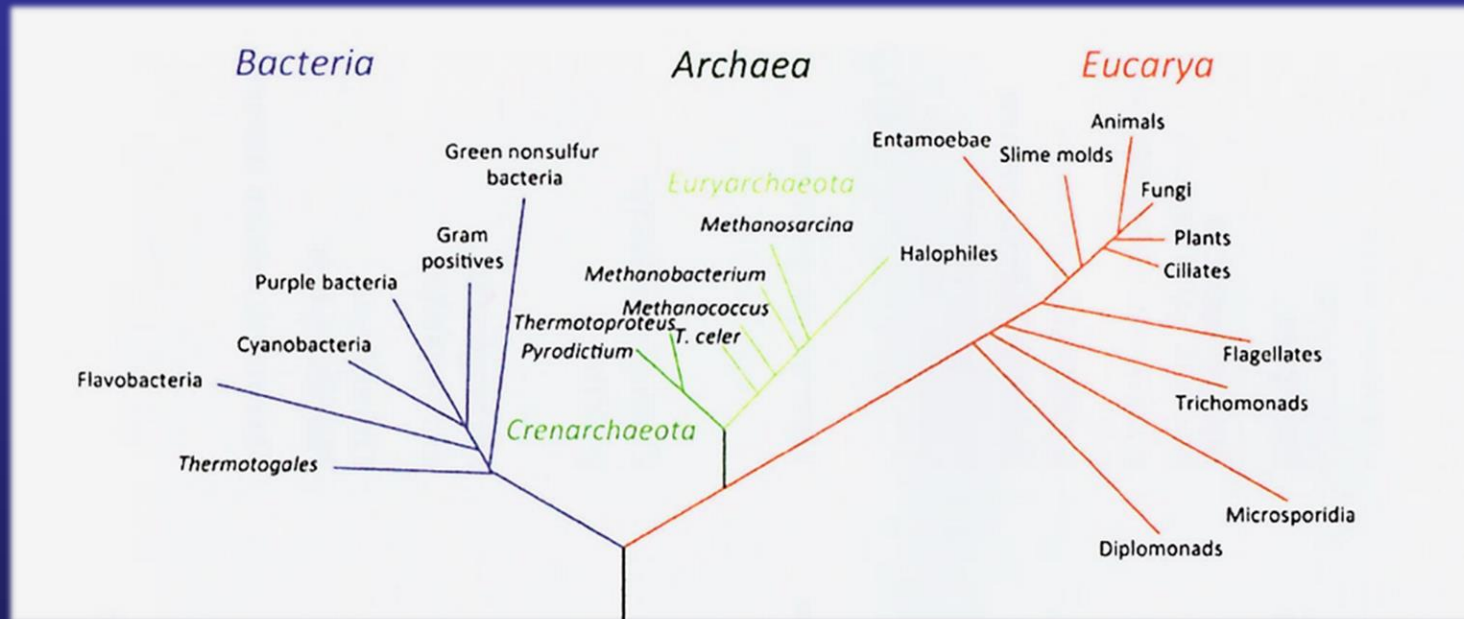


# Distribuzione della biomassa vivente lungo il profilo

La distribuzione delle comunità biotiche del suolo dipende dalla presenza di *input primario* ed è concentrata negli orizzonti più superficiali del profilo. Crescita ed attività metabolica delle comunità edafiche sono influenzate anche dalle condizioni fisiche, chimiche, termiche, idriche, vegetazionali e di gestione.



# Classificazione filogenetica del soil biota

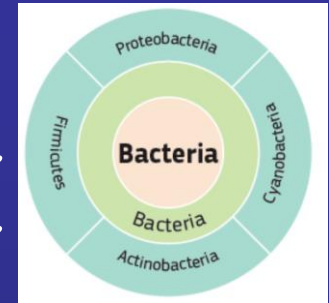


Albero filogenetico generale ottenuto in base ad analisi comparata di sequenze geniche codificanti la sintesi di RNA ribosomale



# Procarioti - Bacteria

I **Batteri** comprendono organismi di dimensione microscopica ( $\sim 0.2 \mu\text{m}$  dia.  $\times$   $2-8 \mu\text{m}$ ) presenti come cellule single, colonie o simbionti.



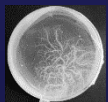
Metabolicamente ed ecologicamente molto versatili, possono adattarsi a condizioni ambientali estreme di temperatura, pH, salinità, umidità, ossigeno, quantità e tipologia di substrati. Rispondono velocemente alle mutate condizioni di habitat.



I **Proteobatteri** formano il più numeroso e diversificato raggruppamento che comprende batteri coinvolti nei cicli del C, di S e di N e nella degradazione della SOM, aerobi ed anaerobi, autotrofi ed eterotrofi, fototrofi e non fototrofi.



Nel suolo, gli aerobi chemio-eterotrofi **Attinobatteri** sono attivi nella decomposizione di molecole complesse rilasciando enzimi e altri metaboliti (es. antibiotici); alcuni fissano  $\text{N}_2$  (Frankia).



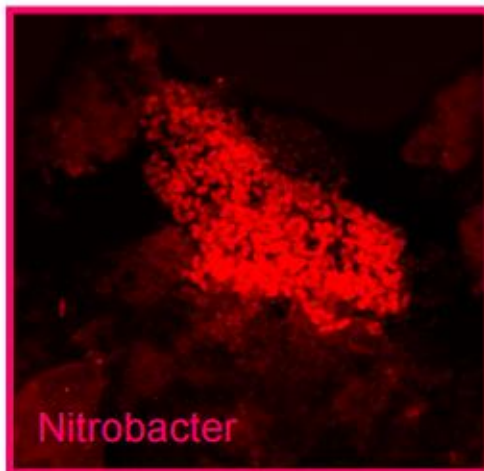
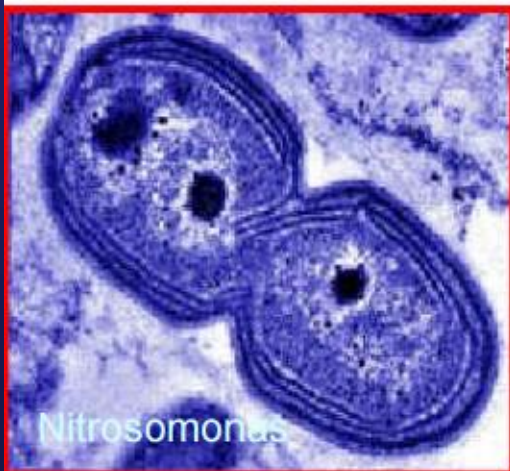
I foto-autotrofi **Cianobatteri** sono capaci di fissare  $\text{N}_2$  e stabilire relazioni simbiotiche con piante e funghi.



# Batteri coinvolti nel ciclo di N ed S

Importanti gruppi specializzati di batteri sono:

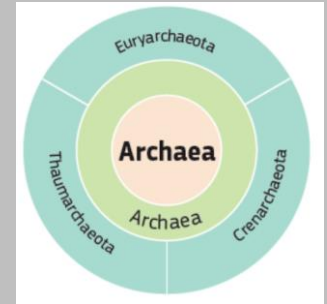
- i batteri nitrificanti autotrofi (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) che ossidano lo ione ammonio  $[\text{NH}_4^+]$  a ione nitrito  $[\text{NO}_2^-]$  e ione nitrato  $[\text{NO}_3^-]$
- i batteri azoto fissatori liberi (*Azotobacter*) o simbiotici (*Rhizobium*) che riducono l' $\text{N}_2$  molecolare atmosferico ad azoto organico
- i batteri denitrificanti che, in ambienti riducenti, sono capaci di utilizzare gli ioni  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$  come fonte di ossigeno
- i solfo, ferro, manganese batteri che ossidano  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ .







# Procarioti - Archaea



Gli **Archaea** sono organismi unicellulari, con una grande varietà di forme e geometrie cellulari (pleomorfismo), alcuni molto antichi.

Capacità di adattamento ad un vastissimo *range* di condizioni ambientali, anche estreme, superiore ad ogni altro organismo vivente come: pH (da 0 a 12), T (da 0 a 120°C), salinità (fino al 32%), anaerobiosi stretta.

Gli **Euryarchaeota** hanno la maggiore varietà fisiologica e diversità e comprendono i metanigeni, gli alofili estremi ed alcuni termofili.

I **Crenarchaeota** tollerano temperature sino a 100°C, pH acido, e sono energeticamente coinvolti in processi redox a carico di S o Fe.



I **Thaumarchaeota** includono per lo più archea mesofili, coinvolti nell'ossidazione aerobica dell'ammonio (nitrificazione).

# Eukarya - Funghi



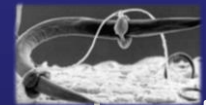
Organismi chemio-eterotrofi, i **Funghi** con le loro ife colonizzano habitat terrestri, si trovano nelle praterie, nei suoli agrari, ma soprattutto nei suoli forestali dove costituiscono una porzione significativa della biomassa vivente e non vivente.



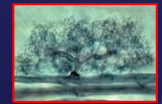
Più degli Archaea e dei Batteri, i **Funghi** tollerano condizioni di aridità e di basse temperature.



In funzione delle loro interazioni ecologiche agiscono come saprofiti, parassiti o agenti micorrizici.



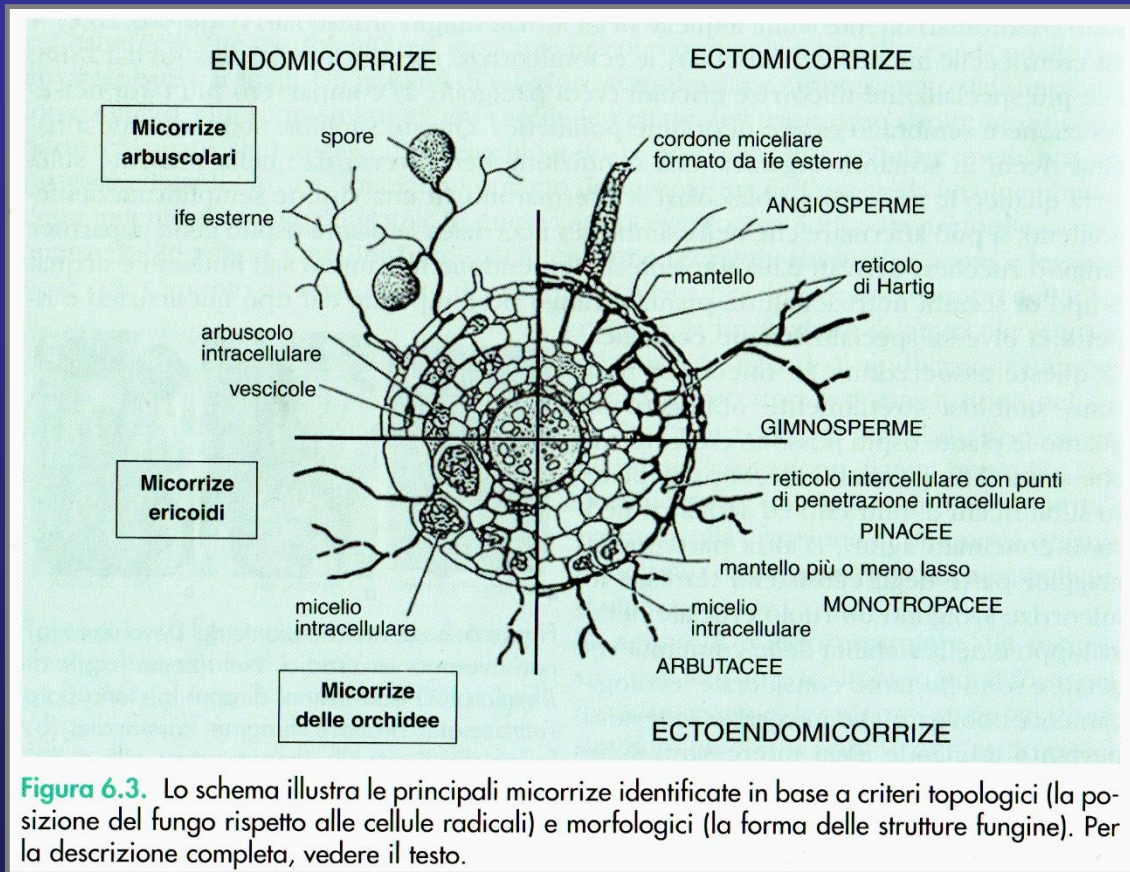
Con la loro attività saprofitica a carico anche delle biomolecole più recalcitranti partecipano alla sintesi dell'humus e ridistribuiscono atomi di C e energia metabolica all'interno delle reti trofiche del suolo.



Agenti eziologici di molte malattie delle piante, di animali (soprattutto invertebrati) e altri funghi. Producono micotossine.

Le associazioni mutualistiche con le radici della pianta (**micorrize**) facilitano l'acquisizione di nutrienti ed acqua.

# Associazioni micorriziche



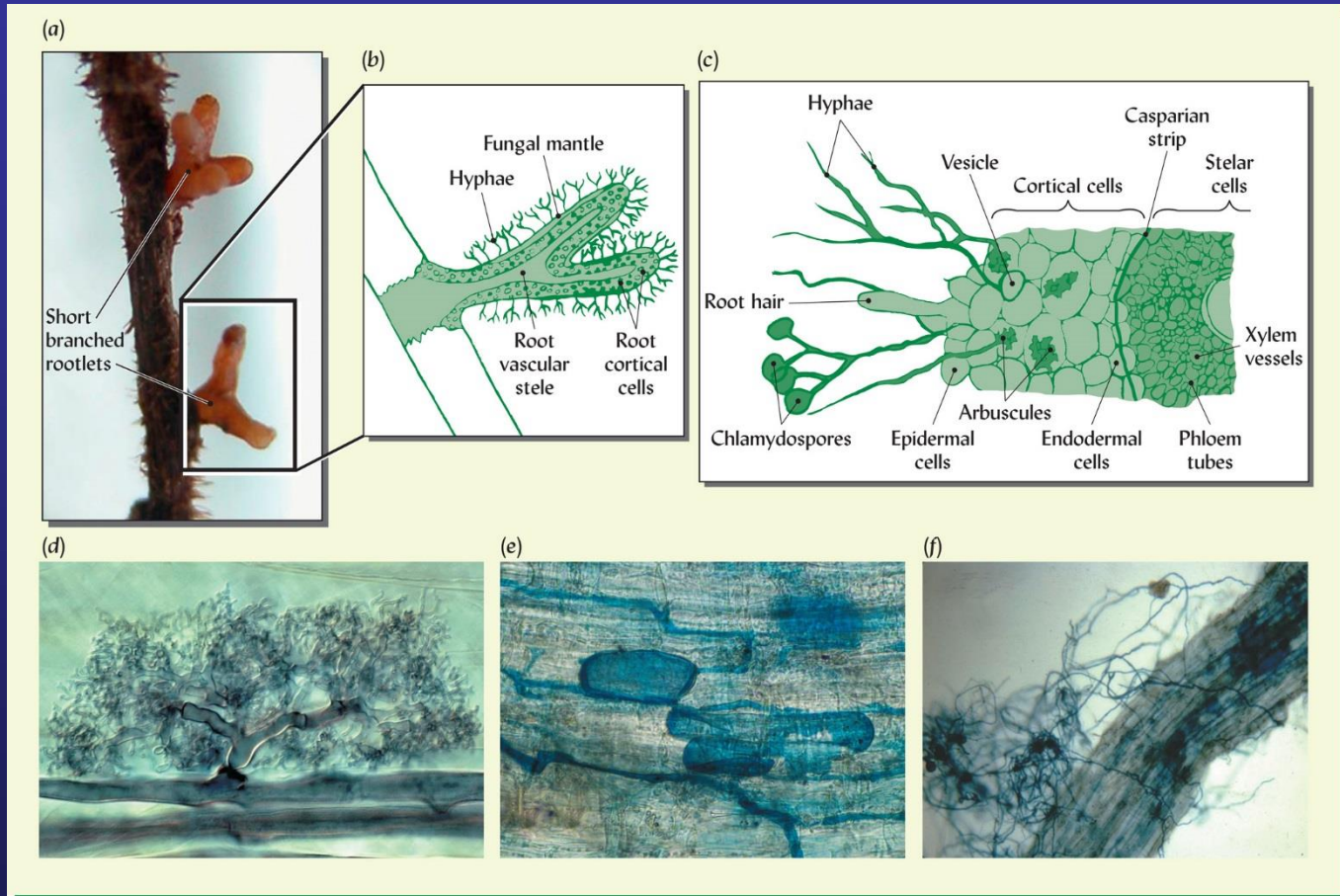
**Figura 6.3.** Lo schema illustra le principali micorrize identificate in base a criteri topologici (la posizione del fungo rispetto alle cellule radicali) e morfologici (la forma delle strutture fungine). Per la descrizione completa, vedere il testo.

Le micorrize rappresentano una strategia ecologica mutualistica per aumentare la superficie assorbente della radice della pianta ed assorbire nutrienti poco mobili dal terreno.

Sono un elemento comune al ~90% delle piante terrestri e la loro comparsa è coincisa con l'evoluzione delle piante ospiti. Assenti nelle Cruciferae e nelle Chenopodiaceae.

Oltre al ruolo nutrizionale, i funghi micorrizici difendono la pianta ospite da numerosi stress di tipo abiotico (stress idrico, tossicità da inquinanti) e biotico (patogeni radicali).

# Associazioni micorriziche



(da Weil & Brady, 2017)

Diagram of ectomycorrhiza and arbuscular mycorrhiza (AM) associations with plant roots.

# Eukarya - Algae



Le alghe sono organismi autotrofi che, utilizzando energia luminosa per il soddisfacimento delle proprie necessità nutrizionali.

Negli strati più superficiali del suolo si accertano generalmente le **Cloroficee** (alghe verdi), le **Cianoficee** (alghe blu-verdi), le **Diatomee** (attive nel processo di immobilizzazione della silice)

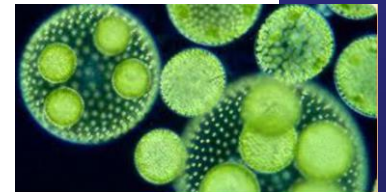
Le Cloroficee e le Diatomee predominano nei suoli delle regioni temperate mentre le Cianoficee prevalgono nei suoli tropicali.

Le alghe verdi preferiscono i suoli acidi, le alghe blu-verdi, al contrario, prediligono i suoli caratterizzati da grado di reazione neutro o alcalino.

Hanno dimensioni comprese tra 2 e 20  $\mu\text{m}$  e sono caratterizzate da motilità nell'acqua presente nei pori relativamente grandi che caratterizzano l'organizzazione strutturale del suolo.

Svolgono nella pedosfera importanti funzioni:

- **mantenimento della fertilità, in particolare nei suoli tropicali**
- **incremento del contenuto di carbonio organico**
- ***cementazione delle particelle terrose con conseguente riduzione e prevenzione di fenomeni erosivi***
- **secrezione di mucillagini igroscopiche che possono favorire l'aumento della capacità di ritenzione idrica del suolo per più lunghi periodi di tempo**
- **liberazione di notevoli quantità di ossigeno, per attività di fotosintesi, che favoriscono l'aerazione di suoli sommersi e l'ossigenazione dell'ecosistema**
- ***weathering delle rocce e stabilizzazione dei microaggregati strutturali ( $\varnothing > 250 \mu\text{m}$ ) per azione del collante biologico glomalina***





# Eukarya - Protozoa



I protozoi costituiscono le forme più semplici di vita animale.

Si ritiene che esistano oltre 70000 specie di protozoi.

Molto abbondanti e ben distribuiti in tutto lo spessore dei primi centimetri del suolo, sono presenti in quantità variabile da 20 a 300 kg · ha<sup>-1</sup>.

Le classi dei **rizopodi**, dei **flagellati** e dei **ciliati** rappresentano la maggior parte dei protozoi del suolo, soprattutto nell'ambito di quelle comunità biologiche assai particolari esistenti in prossimità delle radici delle piante (rizosfera)

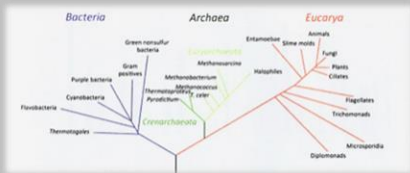
I protozoi sono particolarmente importanti nell'ecologia complessiva del suolo e il loro ruolo è sostanzialmente quello di esercitare un controllo sulle popolazioni di batteri di cui si nutrono

Vivono in genere predando batteri, attinomiceti, alghe e nematodi, ma possono anche utilizzare saprofiticamente glucidi e proteine.

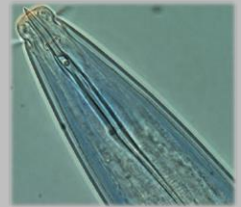
In condizioni ambientali favorevoli (aerazione e disponibilità di nutrienti) possono moltiplicarsi notevolmente inducendo, indirettamente difficoltà nutrizionali alle piante coltivate.



Fig. 6.25 - Protozoi presenti nel suolo, appartenenti alle classi dei rizopodi a), dei flegellati b) e dei ciliati c).



# Eukarya - Nematodes



I nematodi sono presenti in numero elevato ( $10^5$ - $10^7 \cdot m^{-2}$ ) in quasi tutti i suoli. Sono state identificate più di 20000 specie di nematodi.

Sono conosciute specie **predatrici**, **fitofaghe** e **saprotitiche**.

Le specie predatrici (***Anatonchus spp.***), che si nutrono di funghi, batteri e alghe ma che possono attaccare anche altri nematodi, protozoi e larve d'insetti, hanno un apparato boccale caratteristico (Figura 6.26) (Figura 6.27)

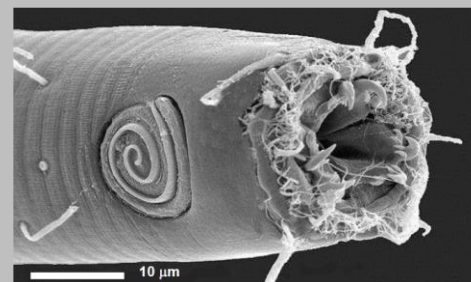
Le specie fitofaghe (***Heterodera spp.***) attaccano in forma parassitaria le radici di piante superiori provocando notevoli danni alle colture (Figura 6.28).

In particolare, i nematodi costituiscono serio pericolo per le piante coltivate in serra.

I nematodi capaci di formare **cisti** (depositi di uova) (***Heterodera glicines***) inducono gravi danneggiamento alla soia mentre quelli che producono **galle radicali** (***Meloidogyne spp.***) sono causa di notevoli deterioramento per gli alberi da frutto e per le Solanacee (Figura 6.29) (Figura 6.30) (Figura 6.31).

Le cisti sono organi di conservazione dell'infezione.

Condizioni ambientali avverse inducono comportamenti di quiescenza e di criptobiosi in grado di conservare il potenziale d'infettività per oltre 20 anni anche se ridotto nel tempo.





# Eukarya - Lombrichi



I lombrichi appartengono al phylum degli Annelidi (classe Clitellata, sottoclasse Oligochaeta). Se ne conoscono circa 7000 specie. Sensibili al regime idrico, pH e inquinanti. Presenti in tutti i suoli del pianeta, anche nell'Antartide, sono organismi importanti nel mantenerne la fertilità.

Organismi geobionti di lunghezza corporea da pochi cm a 2 m, per la maggior parte compresa tra 5 e 15 cm.

Non disponendo di enzimi digestivi, ospitano nel tratto digerente un'abbondante microflora intestinale che li rende capaci di assimilare substrati vegetali complessi. Possono ingerire ogni giorno da 2 a 30 volte il loro peso in suolo corrispondente a più di 50 ton di suolo per anno. Rilasciano coproliti.

Si distinguono tre gruppi funzionali:

- epigeici (1-5 cm), colonizzano la lettiera superficiale (1 cm);
- endogeici (1-20 cm) non pigmentati vivono nei primi 30 cm di suolo;
- anecici (10-110 cm) si spostano verticalmente per nutrirsi di lettiera miscelata a suolo.

