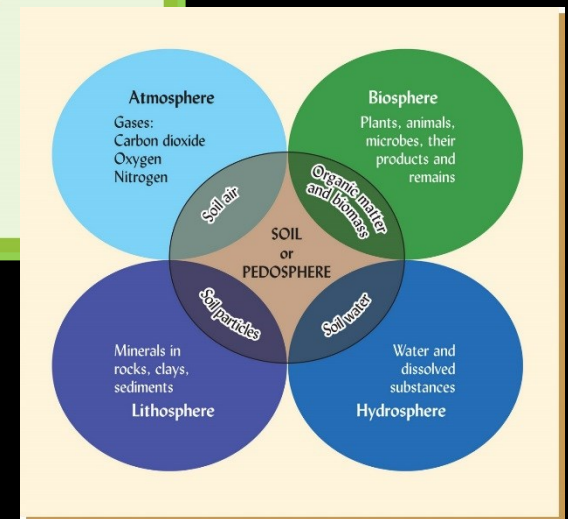
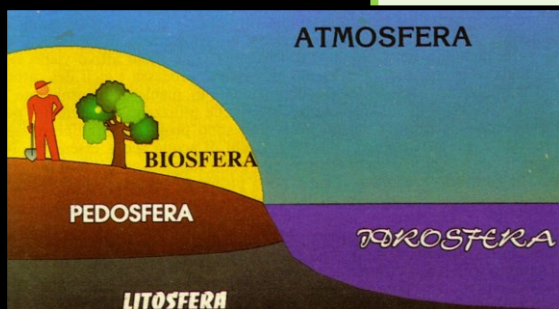
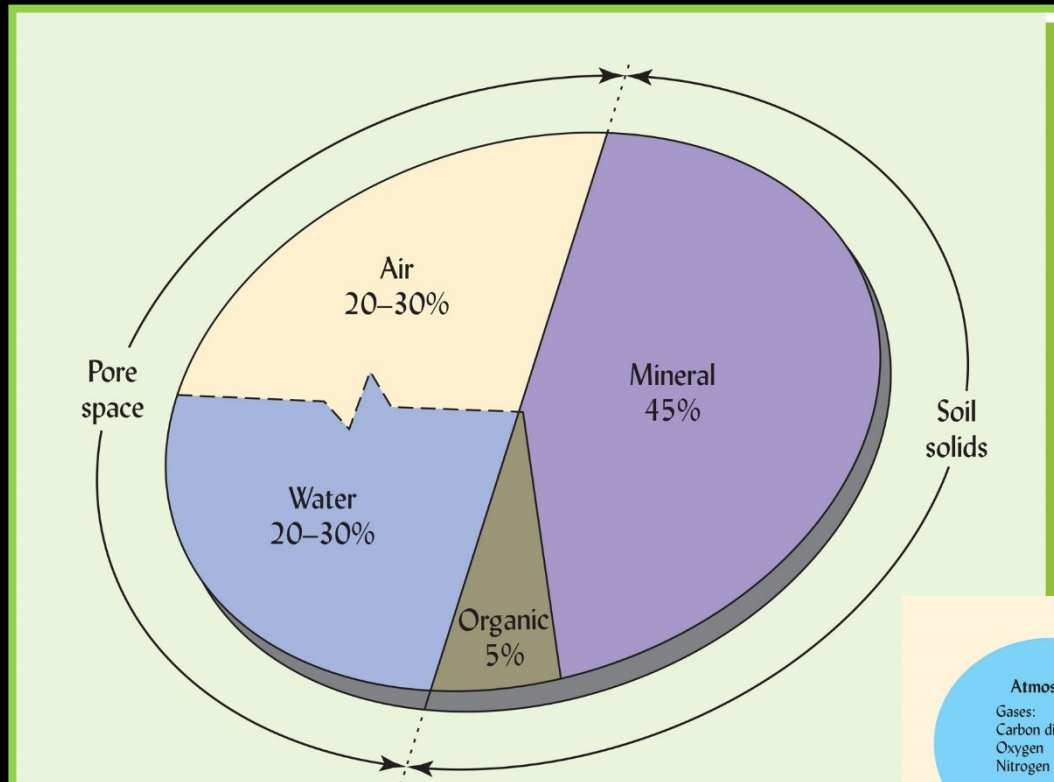
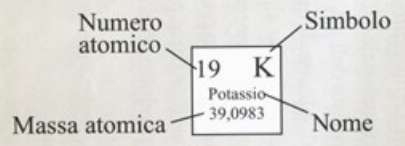


I componenti della fase solida del suolo.  
*Input* organico primario e secondario

# Il suolo è un sistema tridimensionale, polifasico, eterogeneo, dinamico e biologicamente attivo

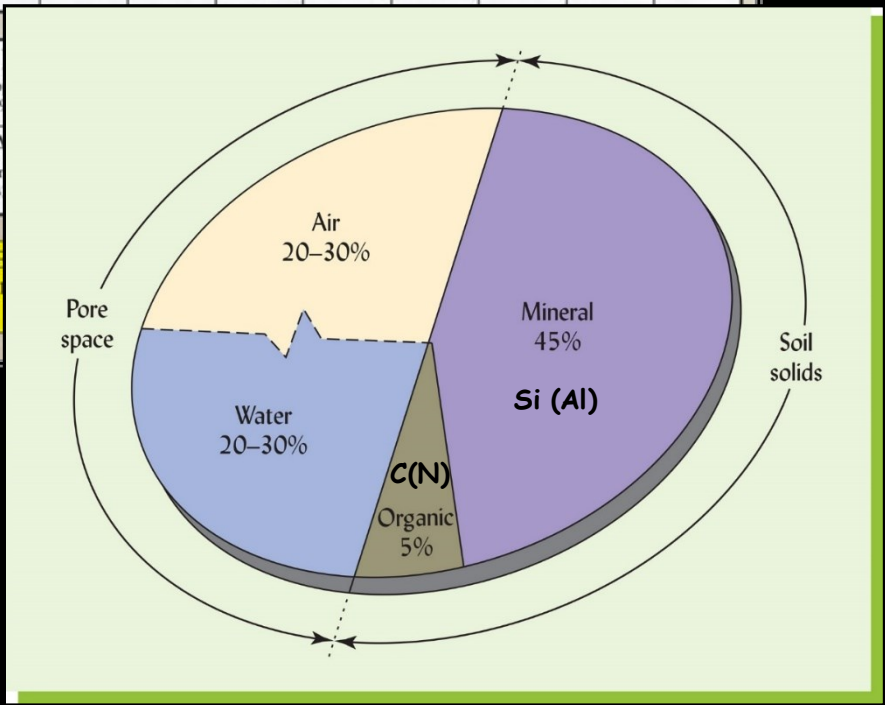


1 H Idrogeno 1,00794																	18 He Elio 4,002602
3 Li Litio 6,941	4 Be Berillio 9,012182											5 B Boro 10,811	6 C Carbonio 12,011	7 N Azoto 14,00674	8 O Ossigeno 15,9994	9 F Fluoro 18,998403	10 Ne Neon 20,1797
11 Na Sodio 22,989768	12 Mg Magnesio 24,3050											13 Al Alluminio 26,981539	14 Si Silicio 28,0855	15 P Fosforo 30,973762	16 S Zolfo 32,066	17 Cl Cloro 35,4527	18 Ar Argo 39,948
19 K Potassio 39,0983	20 Ca Calcio 40,078	21 Sc Scandio 44,955910	22 Ti Titanio 47,867	23 V Vanadio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganese 54,93805	26 Fe Ferro 55,845	27 Co Cobalto 58,93320	28 Ni Nichel 58,6934	29 Cu Rame 63,546	30 Zn Zinco 65,39	31 Ga Gallio 69,723	32 Ge Germanio 72,61	33 As Arsenico 74,92159	34 Se Selenio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Cripto 83,80
37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Stronzio 87,62	39 Y Ittrio 88,90585	40 Zr Zirconio 91,224	41 Nb Niobio 92,90638	42 Mo Molibdeno 95,94	43 Tc Tecnezio [98]	44 Ru Rutenio 101,07	45 Rh Rodio 102,90550	46 Pd Palladio 106,42	47 Ag Argento 107,8682	48 Cd Cadmio 112,411	49 In Indio 114,818	50 Sn Stagno 118,710	51 Sb Antimonio 121,760	52 Te Tellurio 127,60	53 I Iodio 126,90447	54 Xe Xeno 131,29
55 Cs Cesio 132,90543	56 Ba Bario 137,327	†	72 Hf Afnio 178,49	73 Ta Tantalio 180,9479	74 W Tungsteno 183,84	75 Re Renio 186,207	76 Os Osmio 190,23	77 Ir Iridio 192,217	78 Pt Platino 195,08	79 Au Oro 196,96654	80 Hg Mercurio 200,59	81 Tl Tallio 204,3833	82 Pb Piombo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98037	84 Po Polonio [209]	85 At Astatio [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francio [223]	88 Ra Radio [226]	‡	104 Rf Rutherfordio [267]	105 Db Dubnio [268]	106 Sg Seaborgio [271]	107 Bh Bohrio [272]	108 Hs Hassio [270]	109 Mt Meitnerio [276]	110 Ds Darmstazio [281]	111 Rg Roentgenio [280]	112 Cp Copernicio [285]	113 Uut Ununtrio [284]	114 Uuq Ununquadio [289]	115 Uup Ununpentio [288]	116 Uuh Ununhexio [293]	117 Uus Ununseptio [?]	118 Uuo Ununoctio [294]



† Lantanidi	57 La Lantanio 138,9055	58 Ce Cerio 140,115	59 Pr Prasodimio 140,90765	60 Nd Neodimio 144,24	61 Pm Promezio [145]	62 Sm Samario 150,36	63 Eu Euro 151,96
‡ Attinidi	89 Ac Attinio [227]	90 Th Torio 232,0381	91 Pa Protoattinio 231,03588	92 U Uranio 238,0289	93 Np Nettunio [237]	94 Pu Plutonio [244]	95 Am Americio [243]

Elementi essenziali per i vegetali, assorbiti da aria e acqua	Elementi essenziali per i vegetali, assorbiti dal terreno	Elementi benefici, forse essenziali per i vegetali	Elementi essenziali per i vegetali, assorbiti dal terreno
---	---	--	---



# La sostanza organica del suolo

Per sostanza organica del terreno (**SOM = soil organic matter**) si deve intendere l'insieme complesso ed eterogeneo di tutte le componenti organiche, che costituiscono organismi viventi e non più viventi, di origine animale, vegetale o microbica, parzialmente o completamente modificate che sono presenti nel suolo.

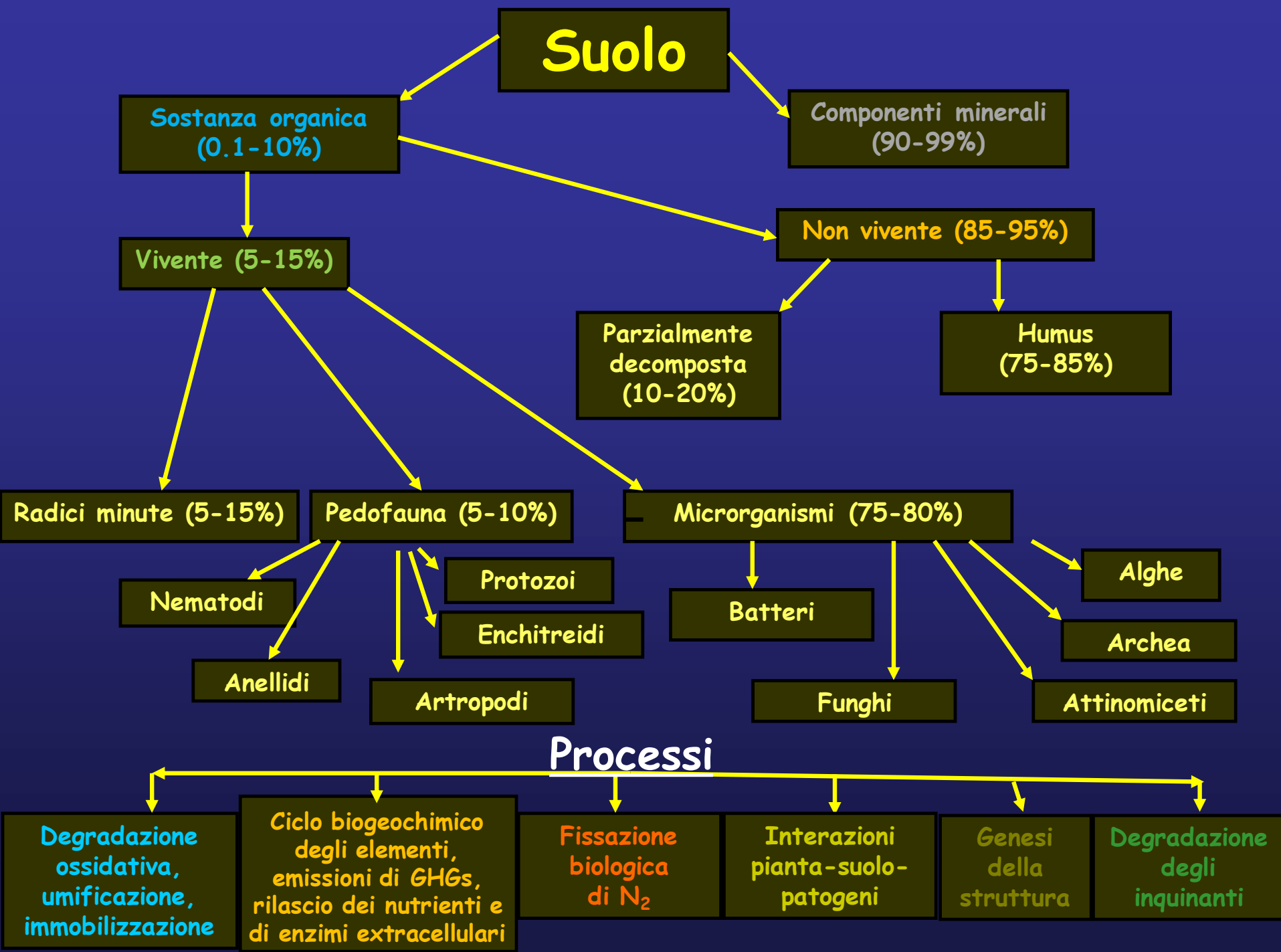
Per convenzione vengono esclusi i residui vegetali grossolani (radici con diametro > 2 cm) ed i vertebrati edafici.

# La sostanza organica del suolo

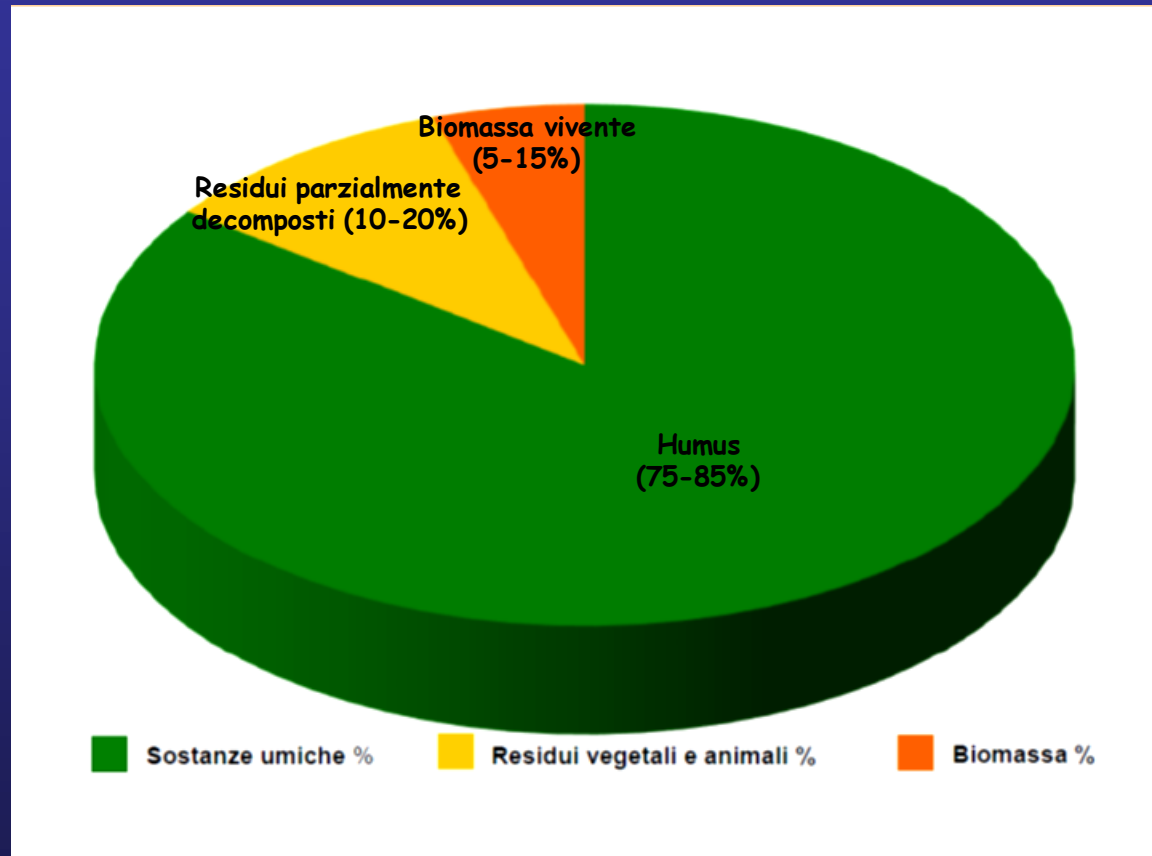
Componenti	Definizione
Sostanza organica del suolo	Insieme di tutte le sostanze organiche naturali termicamente o biologicamente modificate che si accertano nel suolo o sulla superficie del suolo, indipendentemente se originatesi da entità viventi, morte o in via di decomposizione, escluse le parti epigee delle piante in via di sviluppo
Componenti viventi <i>Fitomassa</i> <i>Biomassa microbica</i> <i>Biomassa animale</i>	Tessuti di piante viventi o residui d'origine vegetale Materiale organico costituente le cellule di microrganismi bioattivi Materiale organico componente la fauna edafica
Componenti non viventi <i>Resti di piante in superficie</i> <i>Resti di piante sepolti</i>  <i>DOM = Dissolved Organic Matter</i> <i>POM = Particulate Organic Matter</i>	Detriti organici presenti sulla superficie del suolo, derivanti da strutture vegetali Detriti organici con diametro >2mm presenti nella matrice del suolo e separabili per setacciamento  Componenti organici solubili in acqua presenti nella soluzione del suolo, per definizione caratterizzate da dimensioni <0,45 µm Frammenti di detriti organici di dimensioni comprese fra 53 e 2000 µm, caratterizzati da evidente struttura cellulare e che è possibile raccogliere su setaccio con maglie di 53 µm dopo completa dispersione di un suolo con elevato contenuto di residui vegetali
<i>HUM = Humus</i> <i>Sostanza organica resistente</i>	Materiale organico di dimensioni <53 µm che resta dopo rimozione di POM e DOM Materiale organico ad elevato contenuto di carbonio (carbone, residui vegetali fossilizzati, grafite)

Appartengono alla **SOM non vivente** composti organici diversi per composizione chimica e fisica, per funzioni e dinamiche, risultanti dai processi di **accumulo**, **degradazione**, **decomposizione** e **risintesi** di residui rilasciati da organismi microbici, animali e vegetali residenti nel terreno.





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

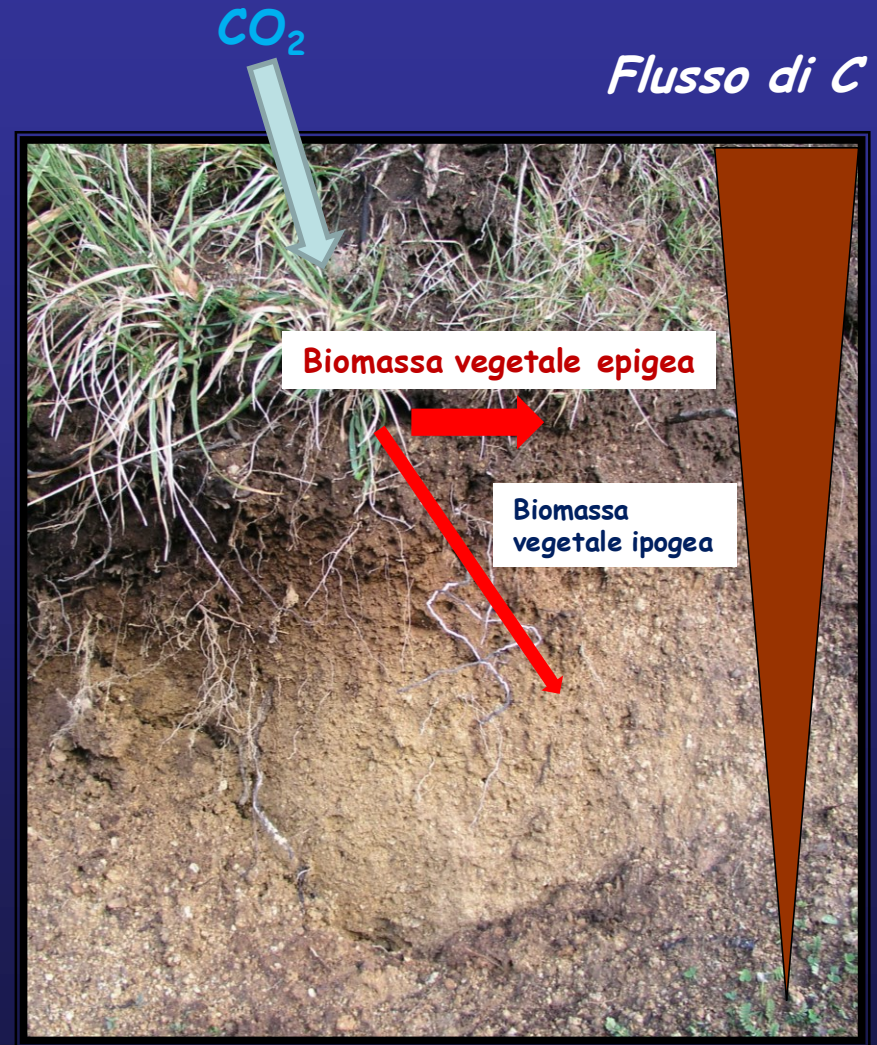


# Origine degli apporti organici al suolo

Fonte primaria del C organico del suolo è il C fotosintetico rilasciato dalla pianta come necromasse vegetali epigee ed ipogee (**input primario**).

Sotto la copertura vegetale esiste un flusso continuo di carbonio (**flusso di C**) che dall'atmosfera attraverso le piante rifornisce gli orizzonti del suolo distribuendosi in modo diversificato lungo il profilo.

I residui vegetali costituiscono la principale fonte sia di substrati assimilabili (atomi di C, nutrienti) sia di energia metabolica per le comunità biotiche residenti nel suolo (*soil biota*). Le necromasse microbiche e animali ed i loro prodotti di elaborazione biologica costituiscono l'**input secondario**.





# Fonte primaria della SOM del suolo è il C fotosintetico (*input primario*)

Germogli, foglie, ramoscelli, radici di alberi e arbusti, essenze erbacee, piante spontanee, residui colturali forniscono al suolo quantità elevate di sostanza organica (**input primario**).

Amminutati e in parte decomposti dall'attività della mesofauna, i residui vegetali diventano parte integrante del suolo per fenomeni di mescolamento e di incorporazione fisica.

Le specie animali vengono considerate fonte secondaria di sostanza organica (**input secondario**), anche se forniscono prodotti di elaborazione metabolica e, a conclusione del ciclo vitale, lasciano nel suolo la loro massa organica.

Alcune forme di vita animale, lombrichi, miriapodi, formiche, svolgono un ruolo importante nel mescolamento e nella traslocazione dei residui delle piante.

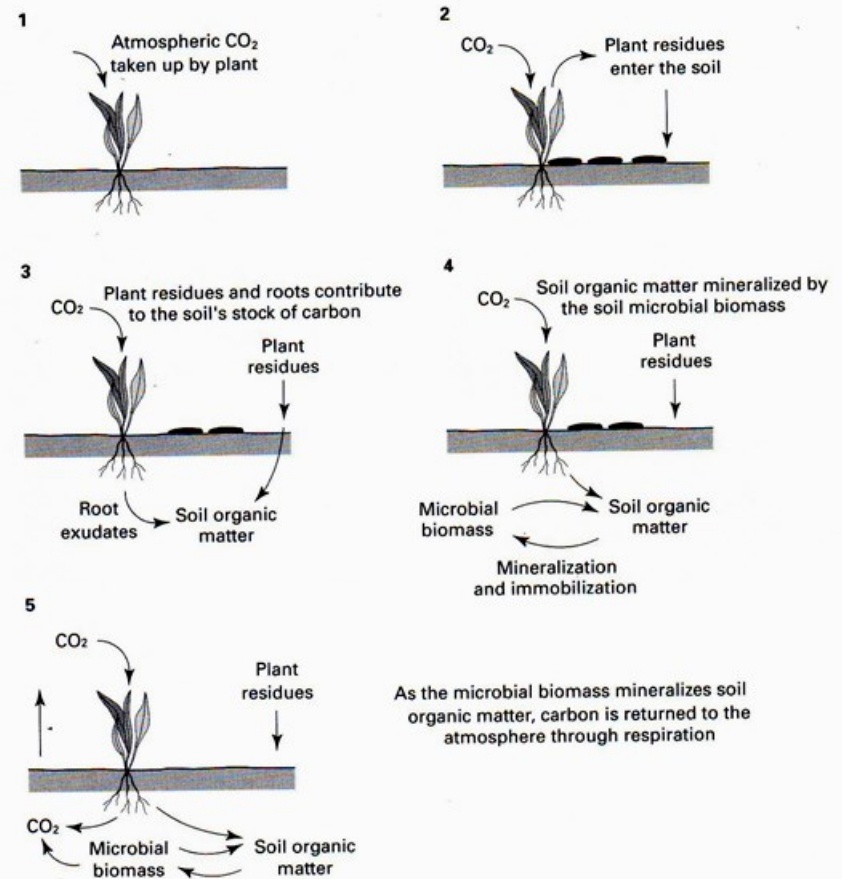
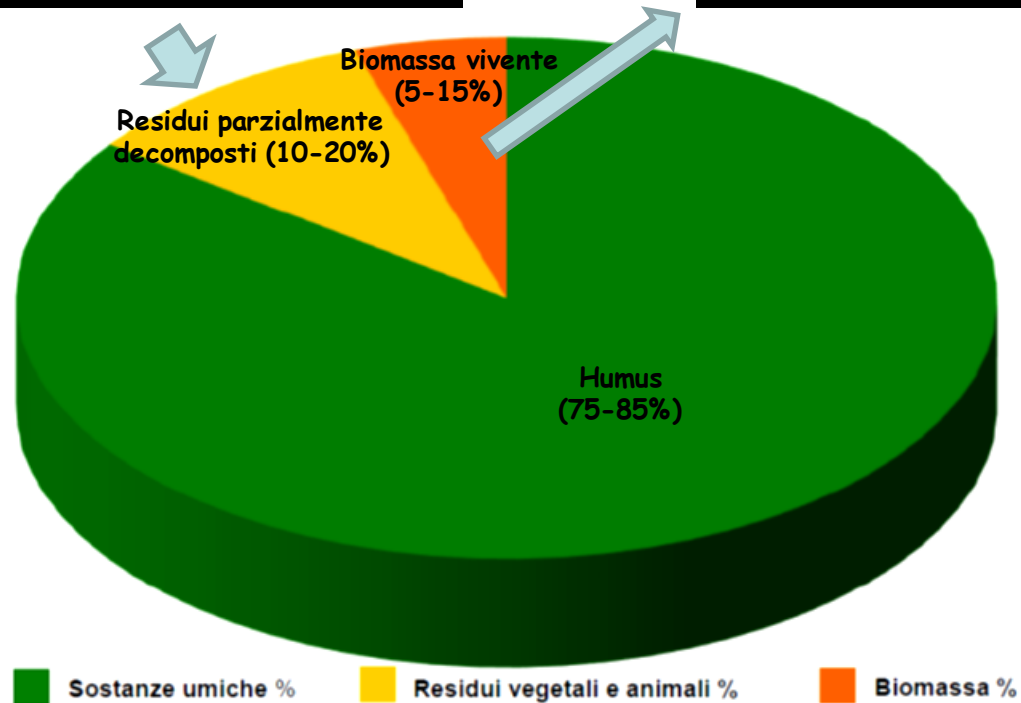


Fig. 4.7 For clarity we can show the carbon cycle in a series of stages. In reality all these processes would be happening simultaneously.

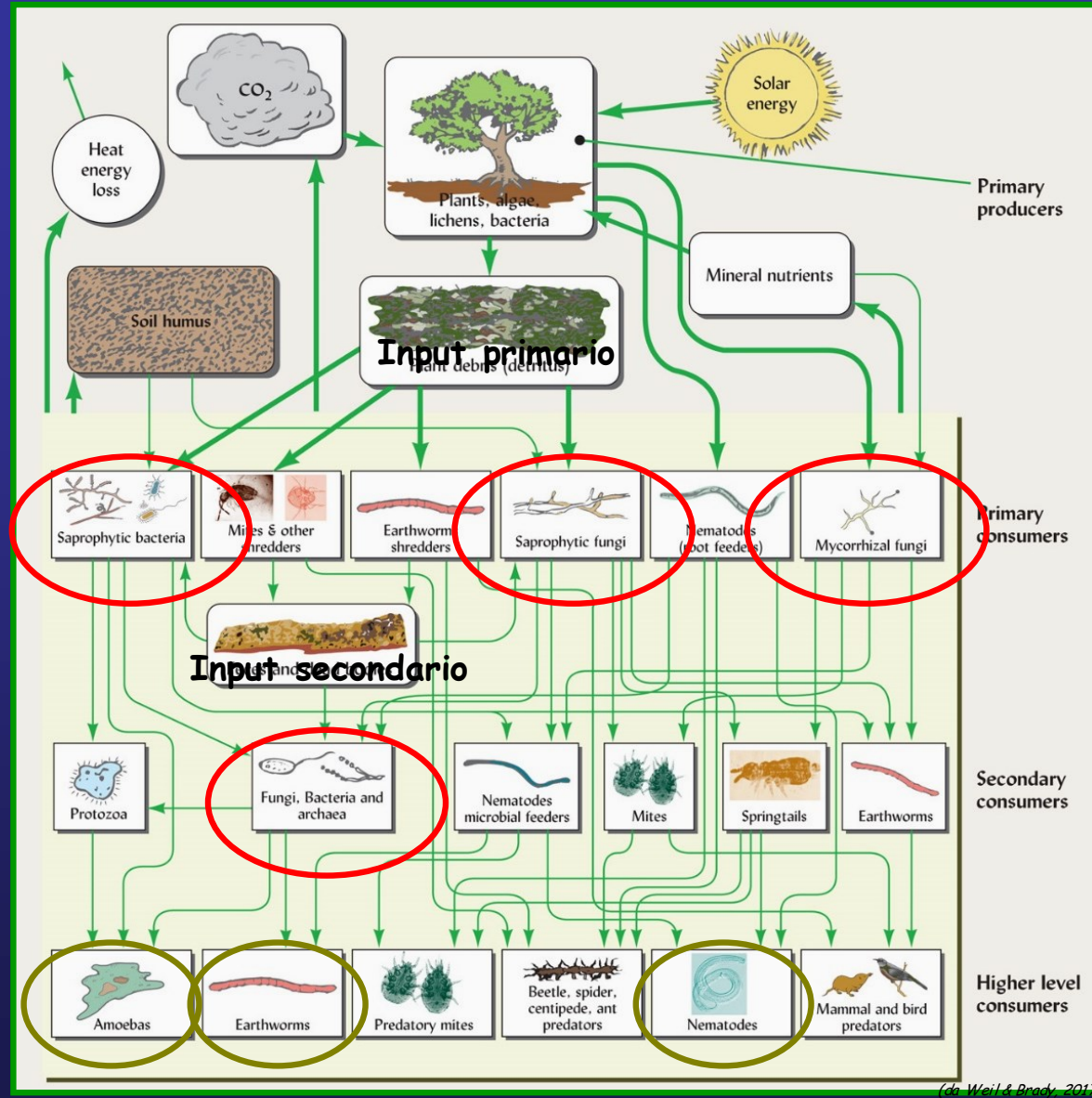
# Composizione (% in peso sulla ss) della sostanza organica del suolo

Il C (ed energia) è catturato dalle piante come  $CO_2$  ed apportato al suolo come biomolecole

Il C è rilasciato come  $CO_2$  per ossidazione delle biomolecole



# Le comunità edafiche trasferiscono atomi ed energia



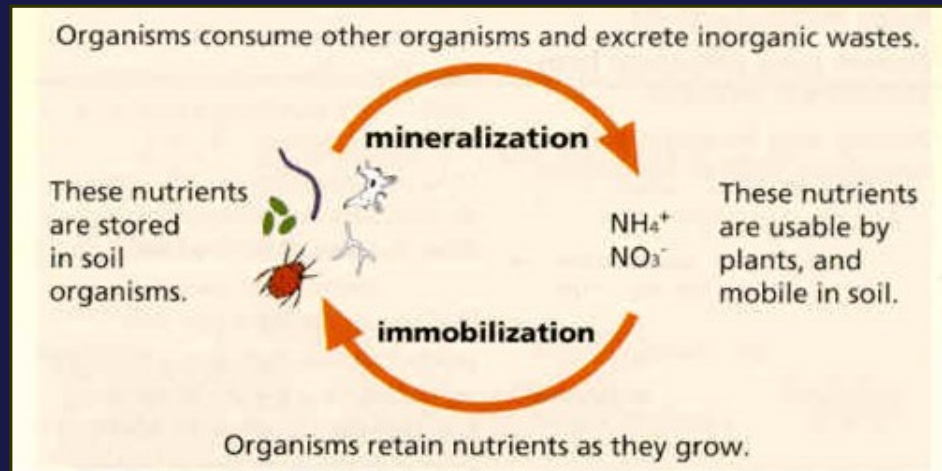
Catene trofiche del suolo responsabili della demolizione dei detriti vegetali, della genesi dell'humus, del ricircolo del C e dei nutrienti, del trasferimento di energia.

## L'input primario viene utilizzato biologicamente, trasformato e trasferito tra diversi comparti della SOM

- ❖ **Necromasse vegetali integre o in fase più o meno avanzata di demolizione delle strutture cellulari**
- ❖ **Biomasse degli organismi viventi animali e microbici costituenti le comunità edafiche**
- ❖ **Necromasse animali e microbiche integre o in fase più o meno avanzata di demolizione delle strutture cellulari**
- ❖ **Metaboliti rilasciati nel suolo dagli apparati radicali (essudati radicali, rizodeposizioni) e dai microrganismi (enzimi extracellulari, esopolisaccaridi, fattori di crescita, etc.)**
- ❖ **Macromolecole di neogenesi, di natura complessa e di struttura chimica non ancora ben definita, meno suscettibili di decomposizione e genericamente indicate con il nome di *sostanze umiche***

# La SOM rappresenta un comparto dinamico

I residui organici rilasciati sia durante le fasi vitali che come necromasse vegetali (*input primario*), animali e microbiche (*input secondario*) subiscono continuamente nel suolo processi di trasformazione. Il processo biotico di conversione della SOM in forme minerali solubili è definito *mineralizzazione*; il processo di incorporazione di atomi negli organismi viventi a seguito di assimilazione è definito *immobilizzazione*; il processo di genesi di composti stabili del C sotto forma di humus è detto *umificazione*.

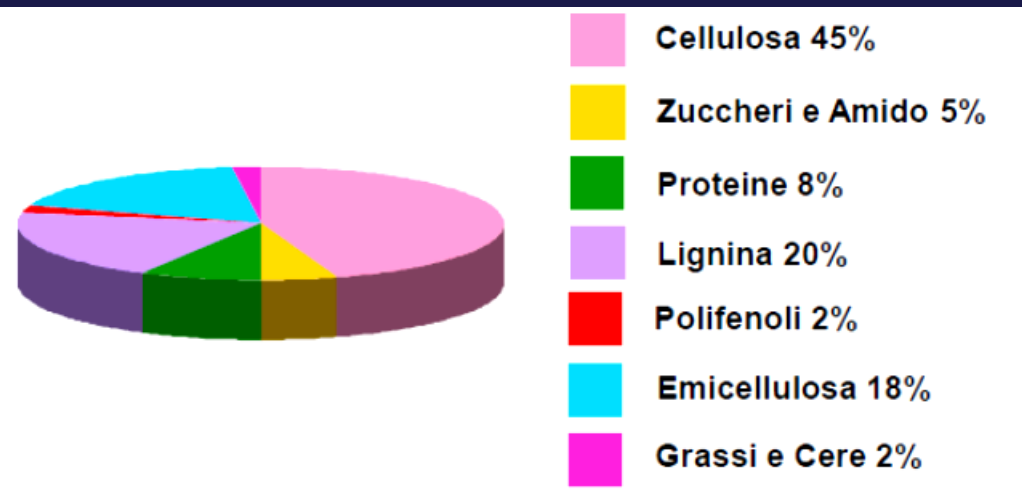




# Composizione chimica dell'input primario e secondario

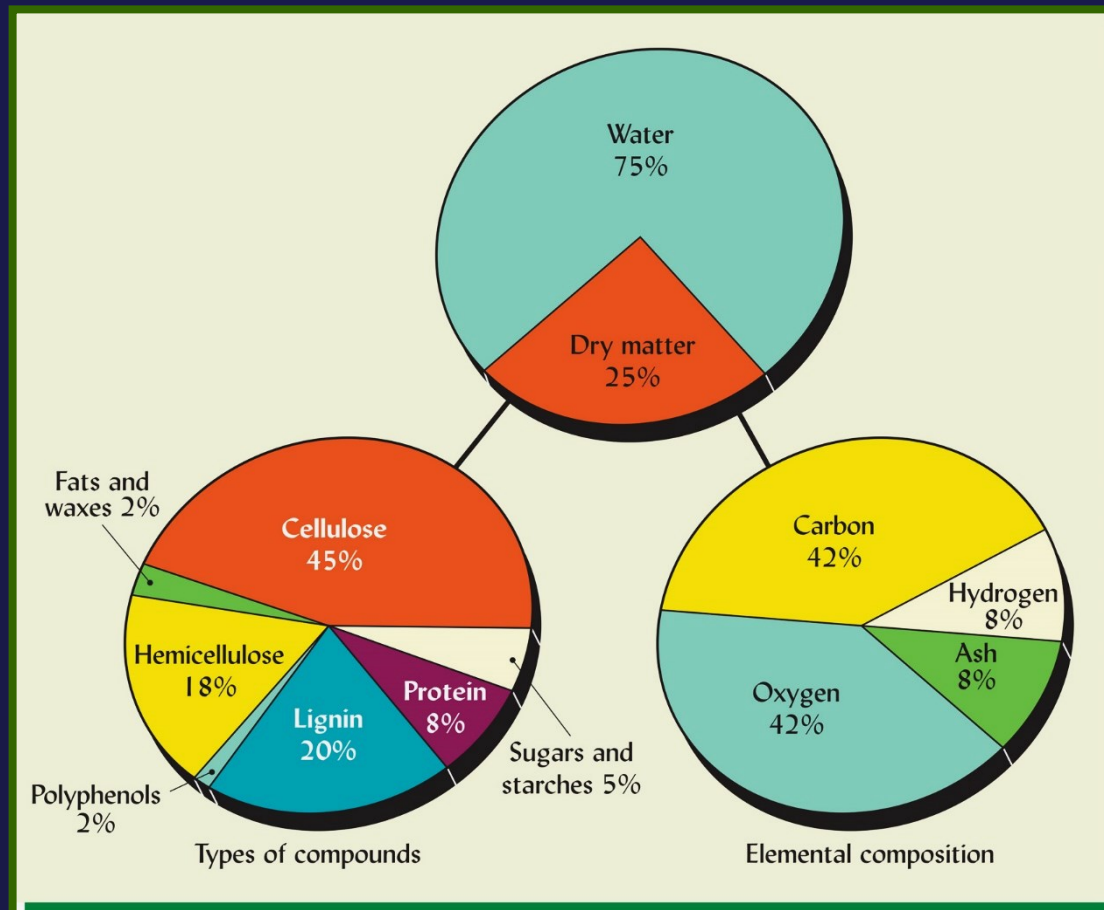
I composti che costituiscono i residui vegetali ed animali possono essere raggruppati nelle classi:

- **carboidrati (monosaccaridi, oligosaccaridi e polisaccaridi)**
- **composti azotati (ammino zuccheri, amminoacidi, proteine, acidi nucleici)**
- **composti solforati (esteri solforici, solfolipidi, amminoacidi solforati)**
- **composti fosforati (fosfolipidi, acidi tecoici, acidi nucleici)**
- **lipidi (grassi, cere, resine, steroli, terpeni)**
- **biopolimeri resistenti alla decomposizione (lignina, tannini)**



# Composizione elementari della lettiera

La lettiera vegetale contiene, mediamente, dal 60 al 90% (p/p) di acqua. La sostanza secca (determinata per riscaldamento a 60 °C, 3 giorni) è costituita da biomolecole contenenti principalmente **C** (42%), **O** (42%), **H** (8%), oltre ad altri elementi essenziali (N, S, P, Ca, K, Mg, etc.) presenti come ioni nelle ceneri (*ash*).



(da Weil & Brady, 2017)

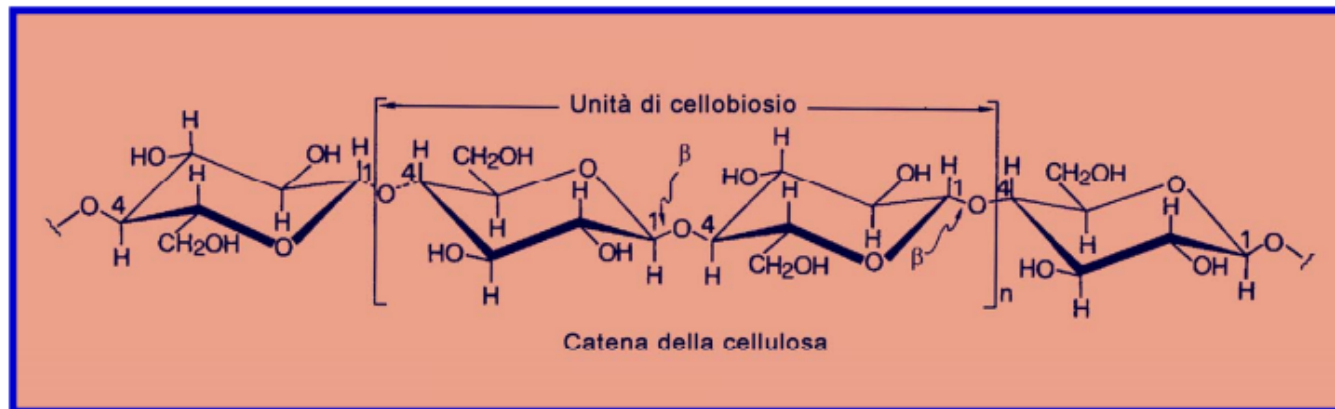
# Composizione chimica elementare dell'input primario e secondario

Specie	C (%)	N (%)	P (%)	S (%)	K (%)
Mais ( <i>Zea mais</i> )	44	1,4	0,2	0,17	0,9
Cavolo ( <i>Brassica oleracea</i> )	42	4,3	0,45	1,6	2,5
Avena ( <i>Avena sativa</i> )	40	0,5	0,22	0,12	2,4
Erba medica ( <i>Medicago sativa</i> )	45	3,3	0,28	0,44	0,9
Legno di pino ( <i>Pina excelsa</i> )	46	0,13	0,006	0,005	0,03
Batteri ( <i>Escherichia coli</i> )	50	15	3,2	1,1	-
Attinomiceti ( <i>Streptomyces cerevisiae</i> )	50	11	1,5	0,4	1,8
Lieviti ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	47	6,2	0,7	0,3	2,0
Funghi ( <i>Penicillium chrysogenum</i> )	44	3,4	0,6	0,4	0,6
Lombrichi ( <i>Lumbricus terrestris</i> )	46	10	0,9	0,8	1,1
Letame bovino	37	2,8	0,54	0,7	5,1

Composizione chimica elementare (% della sostanza secca)  
di alcune piante, di altre entità biotiche e del letame

# Composizione chimica dell'input primario e secondario

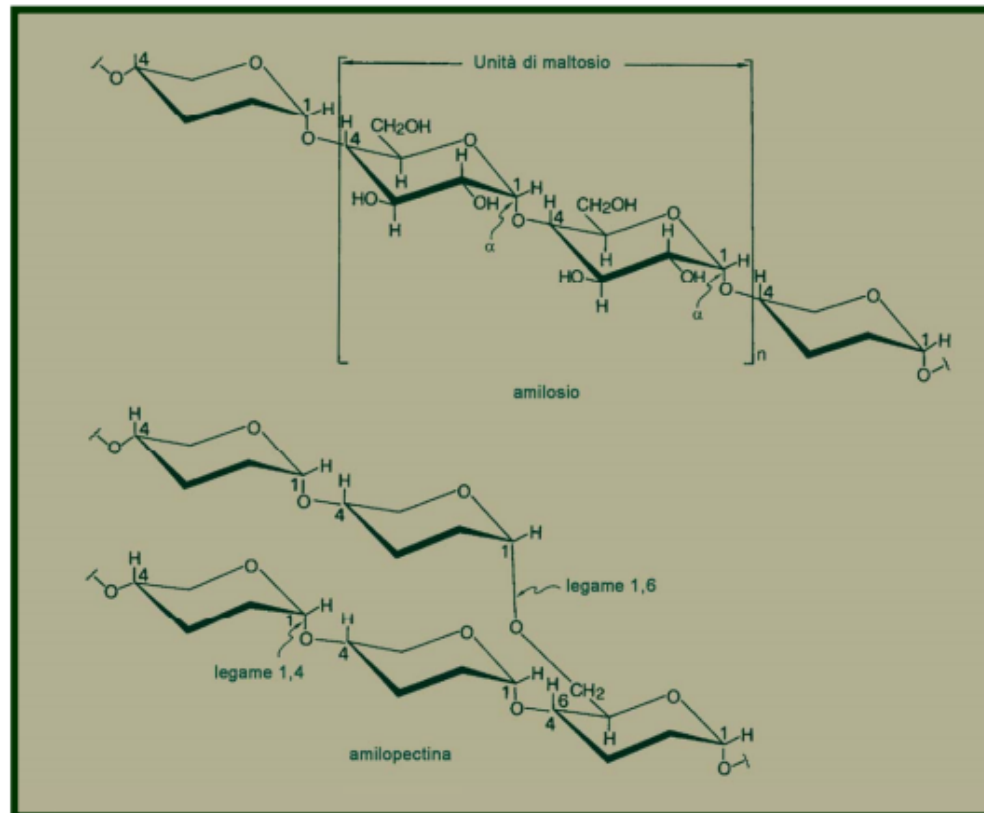
La **cellulosa** è polimero non ramificato del glucosio con ponti 1,4 in configurazione  $\beta$ .  
Costituisce il 30-60% delle strutture legnose e dei tessuti maturi delle piante superiori.  
E' presente nelle pareti cellulari delle alghe e di alcuni funghi.  
E' stata calcolata pari a  $3 \times 10^{10}$  tonnellate la quantità di carbonio che annualmente arriva al suolo con la cellulosa.  
Le **emicellulose** sono poliosio misti di esosi e pentosi. Alcuni svolgono ruolo di riserva energetica, altre (gli xilani) entrano nell'organizzazione strutturale delle pareti cellulari.



Struttura parziale di una molecola di cellulosa

# Composizione chimica dell'input primario e secondario

I **carboidrati**, quali l'**amido** (**amilosio** e **amilopectina**), presenti negli organi di riserva delle piante non si accertano in quantità significative nei residui vegetali che arrivano al suolo.



Struttura della frazione amilosa e amilopectinica dell'amido



# Composizione chimica dell'input primario e secondario

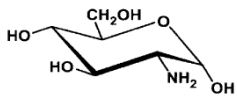
I composti azotati sono componenti minori della SOM.

Il contenuto totale d'azoto nel suolo varia fra 200 e 5000 mg · kg<sup>-1</sup>, con un valore medio pari a 2000 mg · kg<sup>-1</sup>. Le forme organiche ne costituiscono circa il 90%.

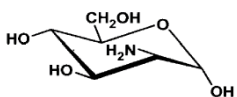
Tra i costituenti azotati organici presenti nei residui vegetali e animali che arrivano negli strati superficiali della geosfera sono da ricordare:

- gli **ammino zuccheri**
- gli **amminoacidi**
- le **proteine**
- gli **acidi nucleici**

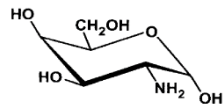
D-glucosammina



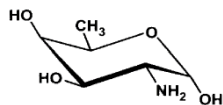
D-mannosammina



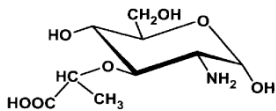
D-galattosammina



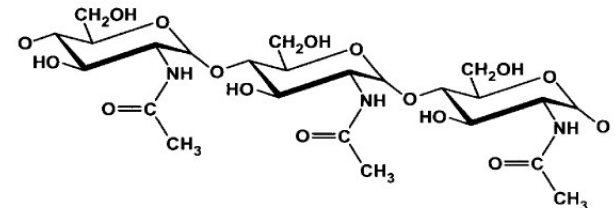
D-fucosammina



Acido murammico



*Chitina*



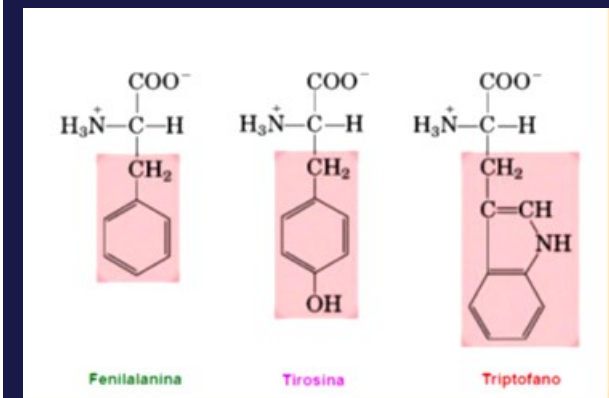
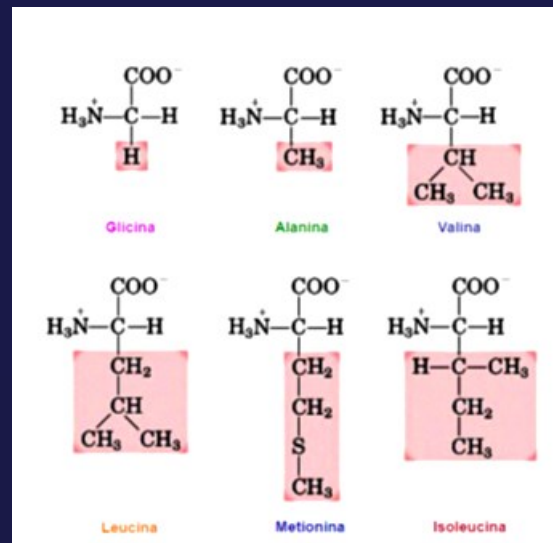
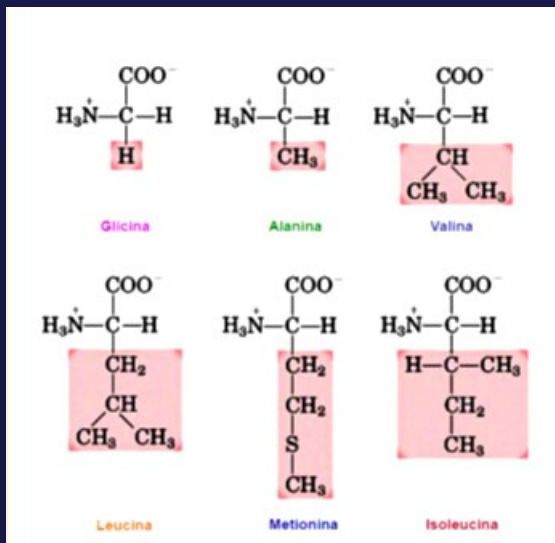
# Composizione chimica dell'input primario e secondario

I composti azotati sono componenti minori della SOM.

Il contenuto totale d'azoto nel suolo varia fra 200 e 5000 mg · kg<sup>-1</sup>, con un valore medio pari a 2000 mg · kg<sup>-1</sup>. Le forme organiche ne costituiscono circa il 90%.

Tra i costituenti azotati organici presenti nei residui vegetali e animali che arrivano negli strati superficiali della geosfera sono da ricordare:

- gli **ammino zuccheri**
- gli **amminoacidi**
- le **proteine**
- gli **acidi nucleici**



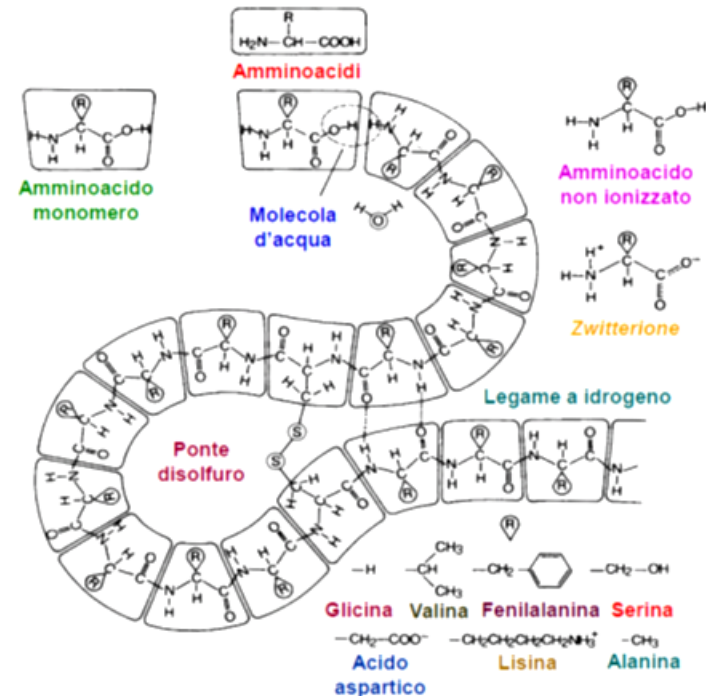
# Composizione chimica dell'input primario e secondario

I composti azotati sono componenti minori della SOM.

Il contenuto totale d'azoto nel suolo varia fra 200 e 5000 mg · kg<sup>-1</sup>, con un valore medio pari a 2000 mg · kg<sup>-1</sup>. Le forme organiche ne costituiscono circa il 90%.

Tra i costituenti azotati organici presenti nei residui vegetali e animali che arrivano negli strati superficiali della geosfera sono da ricordare:

- gli **ammino zuccheri**
- gli **amminoacidi**
- le **proteine**
- gli **acidi nucleici**



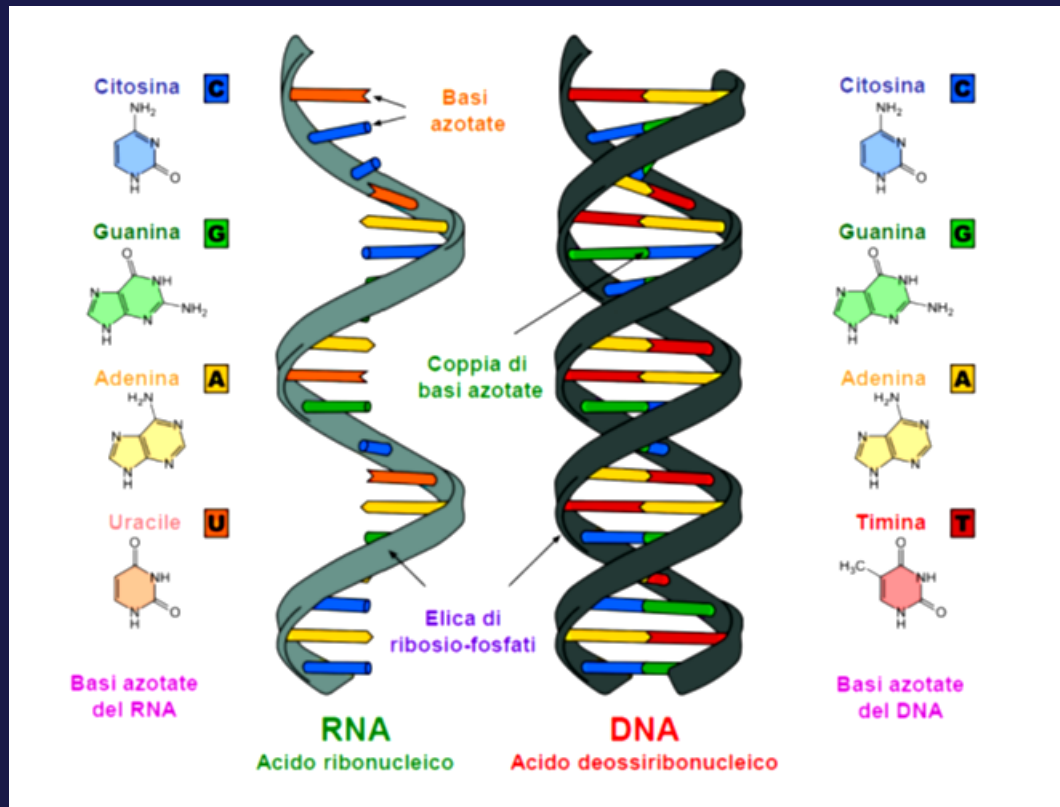
L'azoto proteico concorre alla formazione di:

- **proteine enzimatiche**
- **proteine di deposito**
- **proteine strutturali**

# Composizione chimica dell'input primario e secondario

Si accertano due tipi di acidi nucleici:

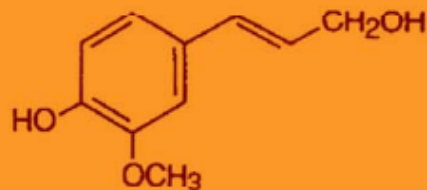
- l'**acido deossiribonucleico** (DNA) costituente del nucleo delle cellule
- l'**acido ribonucleico** (RNA) presente nel nucleolo e nella membrana citoplasmatica nucleare



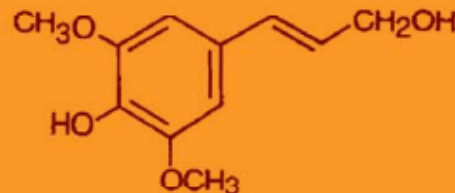
# Composizione chimica dell'input primario e secondario

Le **lignine** rappresentano un gruppo di composti che si accumulano durante la lignificazione dei tessuti delle piante superiori. Hanno edificio molecolare costituito da unità del fenilpropano ( $C_6-C_3$ ) del tipo rappresentato dagli alcool coniferilico, sinapilico e p-cumarilico.

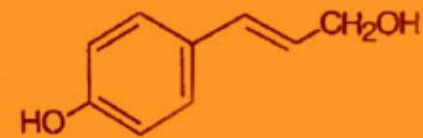
Nelle lignine da legni teneri (gimnosperme) prevale l'**alcool coniferilico**, nelle lignine da altri legni duri (angiosperme dicotiledoni) l'**alcool sinapilico**, nei tessuti delle piante erbacee l'**alcool p-cumarilico**.



Alcool coniferilico



Alcool sinapilico



Alcool p-cumarilico

Struttura molecolare dell'alcool coniferilico, dell'alcool sinapilico e dell'alcool p-cumarilico



# Lignina

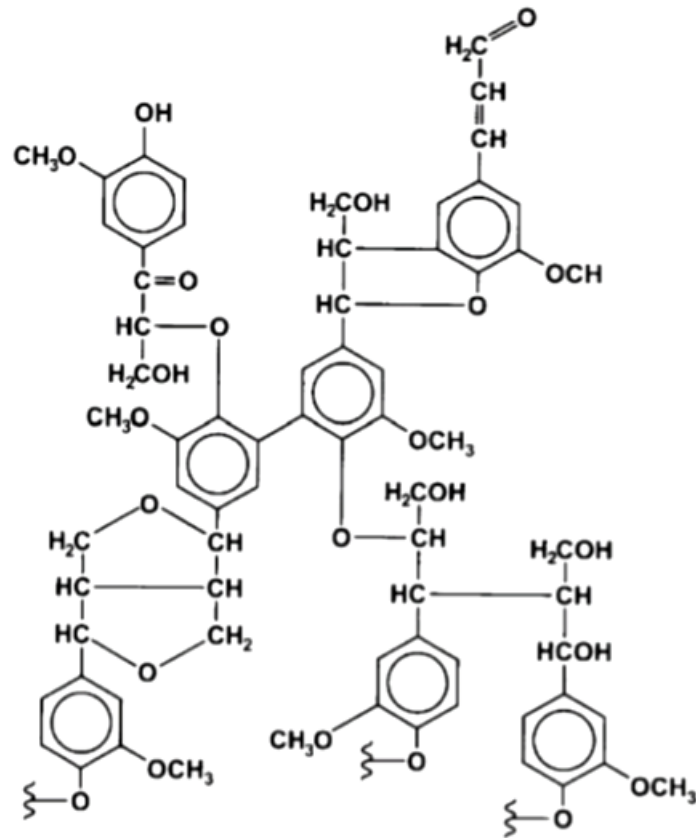


Fig. 8.49 - Struttura molecolare della lignina.

La persistenza della lignina nel suolo è da riferire alla prevalente aromaticità della struttura e alla complessità dei legami che uniscono le unità monomeriche.

La lignina è virtualmente indistruttibile in ambienti anaerobici e si può accumulare, per esempio, nelle torbiere.

In condizioni aerobiche, al contrario, la sua decomposizione è dovuta all'attività di entità fungine filamentose (*Coriolus* e *Phanaerochaete*).

Questi organismi secernono enzimi extracellulari che, in modo specifico, rompono i legami β-O-4 e ossidano le catene alifatiche laterali.

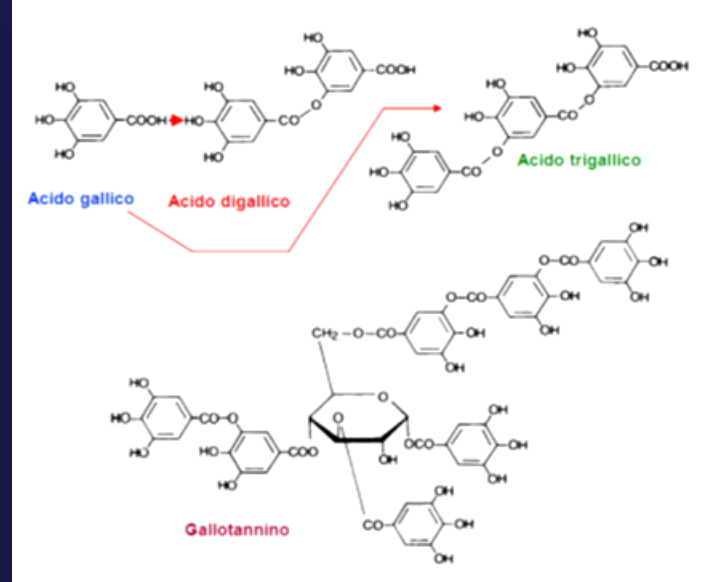
# Composizione chimica dell'input primario e secondario

## I tannini (polifenoli)

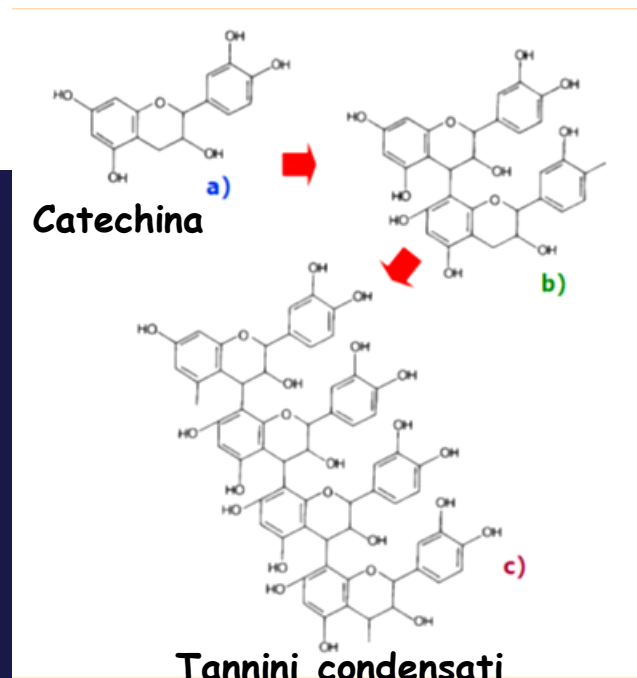
Costituiscono un altro gruppo di biopolimeri resistenti alla decomposizione. Pur arrivando al suolo in quantità limitate, queste sostanze regolano la velocità del disfacimento dei tessuti vegetali che li contengono. La loro quantità, infatti, influenzando l'appetibilità delle foglie, ne determina la rapidità della decomposizione operata dalla pedofauna. I tannini sono composti polifenolici comuni nelle piante vascolari, di cui la più ricca è il Castagno (*Castanea sativa* L.) che ne contiene, all'interno dei suoi tessuti, circa il 7% del totale.

Nelle Angiosperme, in particolare sono associati ai tessuti legnosi.

Si distinguono due classi di tannini, distinte dal percorso biosintetico di formazione e dalla stereochemica:



Tannini idrolizzabili

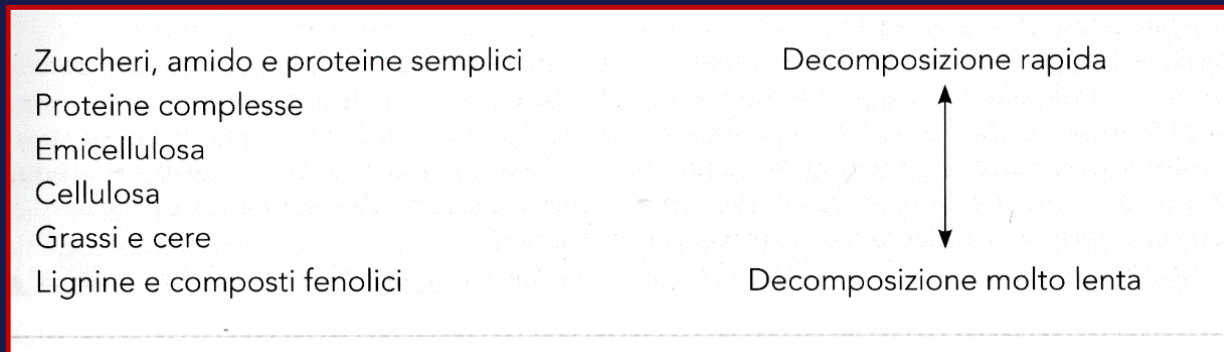


Tannini condensati

# Degradabilità delle diverse classi di biomolecole presenti nell'input primario e secondario

La decomposizione delle strutture cellulari è caratterizzata da tre processi distinti ma non separati:

- il **biochimismo della senescenza** che, senza evidente modificazione dei tessuti vegetali e animali, è definito da reazioni di idrolisi e di ossidazione con parziale degradazione dei polimeri e alterazione delle sostanze aromatiche
- l'**amminutamento meccanico** che, operato dalla mesofauna, porta al mutamento fisico dei tessuti favorendo il successivo attacco microbico
- la **decomposizione microbica** che, compiuta dalla microflora e dalla microfauna, assicura alle entità biotiche eterotrofe e saprofitiche la disponibilità delle sostanze più semplici indispensabili per le diverse attività metaboliche



In relazione alla loro natura chimica, le diverse classi di biomolecole hanno velocità distinte di decomposizione.  
Il biota del suolo trasforma l'input primario e secondario.