

LA FERTILITÀ DEL TERRENO

MASSIMO FAGNANO
fagnano@unina.it



ASPETTI GENERALI

- Definizioni
- Aspetti Fisici
- Aspetti Chimici
- Aspetti Biologici
- Ruoli della Sostanza Organica
- Effetti sulle Colture e sull'Ambiente

TECNICHE AGRONOMICHE

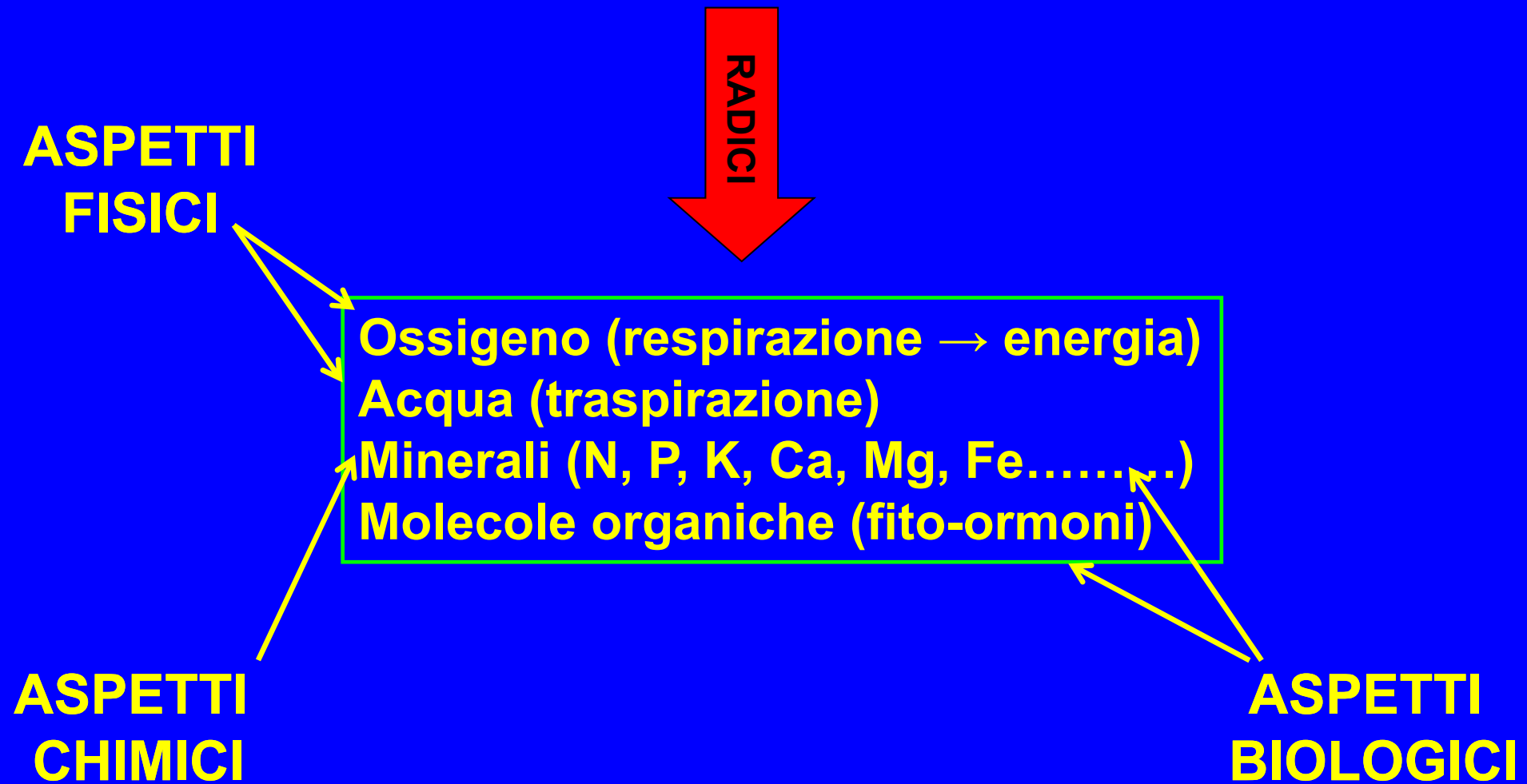
- Lavorazioni
- Pacciamatura
- Sovescio/Inerbimento
- Apporti di S.O. Esogena

ANALISI delle ESIGENZE dei SISTEMI COLTURALI

- Bilancio dell'azoto
- Bilancio dell'humus

FERTILITA' DEL TERRENO

capacità di sostenere condizioni ottimali
di crescita per le piante



I diversi aspetti legati tra loro in equilibrio dinamico

FERTILITA' FISICA =

TESSITURA, STRUTTURA → giusto equilibrio tra fase solida-liquida-gassosa (POROSITA') → circolazione di acqua e aria

FERTILITA' CHIMICA =

N P K oligoelementi, pH, potere tampone, salinità → disponibilità ELEMENTI NUTRITIVI

FERTILITA' BIOLOGICA =

**MICROORGANISMI UTILI → CICLI DEI NUTRIENTI,
MINERALIZZAZIONE/UMIFICAZIONE
BIODIVERSITA' → STABILITA' ECOSISTEMA**

TESSITURA: tipo e quantità di particelle

Aspetti fisici

SABBIA

- Povertà chimica: minime superfici di scambio/ Non trattiene i fertilizzanti
- Forte drenaggio
- Elevato arieggiamento: troppo rapida mineralizzazione della SO
- Rapido riscaldamento
- Scioltezza e facilità di lavorazione
- Facile accesso ai campi

LIMO

- Polverosità (allo stato secco)/fangosità (allo stato umido)
- Non struttura, intasa, quindi bassa permeabilità
- Povero di elementi nutritivi
- Forma croste superficiali e zolle dure
- Lento riscaldamento
- Produttivo se con buone fertilizzazioni organiche e chimiche

ARGILLA

- elevata dotazione di elementi nutritivi
- riserve idriche buone
- di difficile lavorazione
- molto produttivi, ma più difficili da gestire

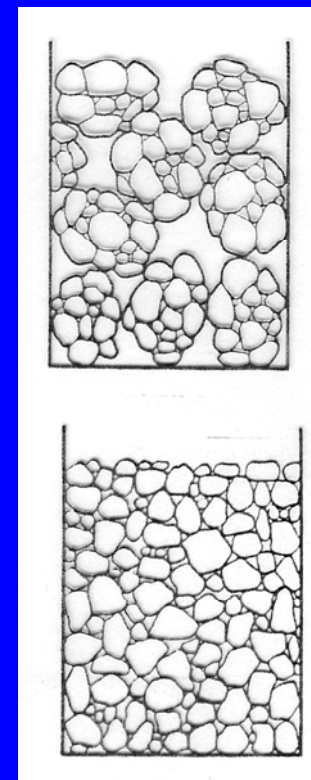
STRUTTURA: livello di aggregazione tra le particelle (1-5 mm)

Interazione tra fattori naturali

pioggia (energia cinetica, ristagni),
rigonfiamento e crepacciamento,
ciclo inumidimento-essiccamento,
accrescimento radicale,
azione di humus stabile e Ca, Fe e Al,

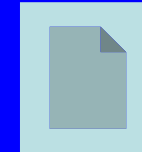
e fattori antropici

lavorazioni (azione meccanica/compattamento
mineralizzazione S.O.)
salinizzazione (Na e K).



→ Perdita di porosità →

La riduzione della POROSITÀ (soprattutto in terreni argillosi):



- minore **capacità di ritenzione idrica**,
- minori **movimenti** di fauna, acqua, aria
- riduzione presenza di **ossigeno**:
 - ambiente riducente → denitrificazione (N_2O , N_2)
 - minore assorbimento radicale
 - minore **sviluppo e approfondimento radicale**
 - maggior sviluppo di **patogeni** nel suolo
- la riduzione **dell'infiltrazione** ⇒ aumento deflussi superficiali (nei terreni in pendio) ⇒ aumento erosione



Perdita di suolo fertile



Dispersione N e P
Problemi alle rete idrografica

La misura diretta della porosità è difficile.

Si misura, in genere, la **massa volumica apparente** (o **densità apparente**) che corrisponde al peso secco di un'unità di volume del suolo, spazi vuoti compresi

La densità assoluta di un suolo (cioè il peso specifico, non considerando i vuoti) è abbastanza costante e vale $2,6 - 2,65 \text{ t m}^{-3}$.

Fanno eccezione i terreni umiferi (humus = $1,2 \text{ t m}^{-3}$) e quelli fortemente ferrosi (ematite = 5 t m^{-3})

Quindi la porosità si può calcolare:

$$[(2.651 - \text{densità apparente}) / 2.651] \times 100$$

	<u>da (t/m³)</u>	<u>porosità (%)</u>
Sabbioso	1,4 - 1,5	47 - 43
limoso-sabbioso	1,2 - 1,3	55 - 51
argilloso	1,2	55
umifero	1,0	62
tessitura media	1,3	51

NON E' COSTANTE

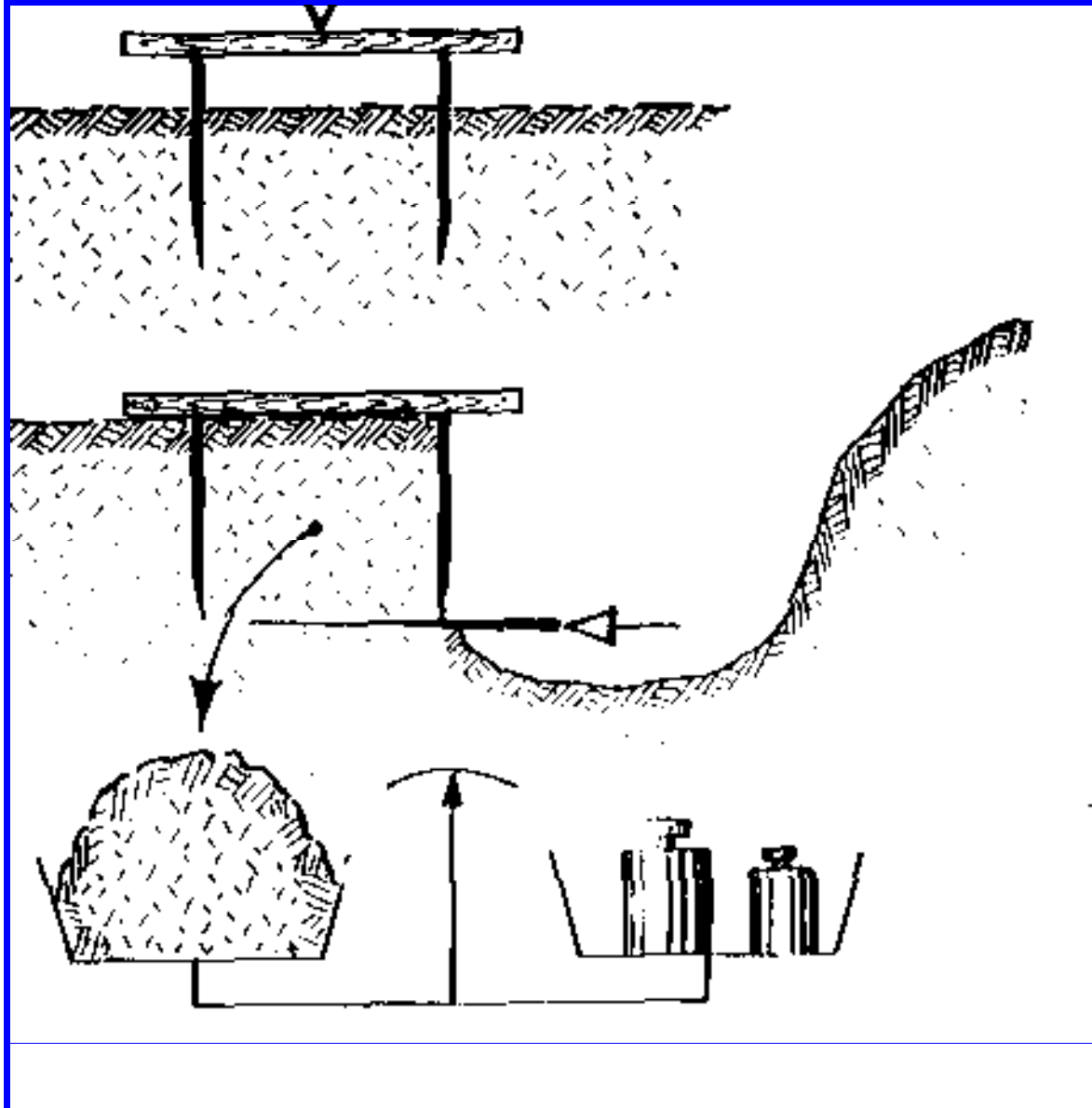
La densità varia per **lavorazioni**, azione del **gelo**,
compattamento (**passaggio** di mezzi meccanici, crescita
radici, pioggia, irrigazione)



POROSITÀ



CiC PaP



1) inserire il cilindretto nel suolo, usando una tavoletta di legno

2) scavarlo fuori dal terreno

3) pesare il terreno del cilindretto dopo essiccazione

A CHE SERVE LA DENSITA' APPARENTE ?

- ⇒ Definire la porosità (qualità fisica)**
- ⇒ Trasformare il volume del terreno in peso**
- ⇒ Calcolo dei volumi irrigui**
- ⇒ Calcolo dell'umidità del suolo**
- ⇒ Calcolo delle dosi di concime**
- ⇒ Stima della mineralizzazione / umificazione**

DISPONIBILITA' ELEMENTI NUTRITIVI

CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO

pH

FERTILITA' CHIMICA

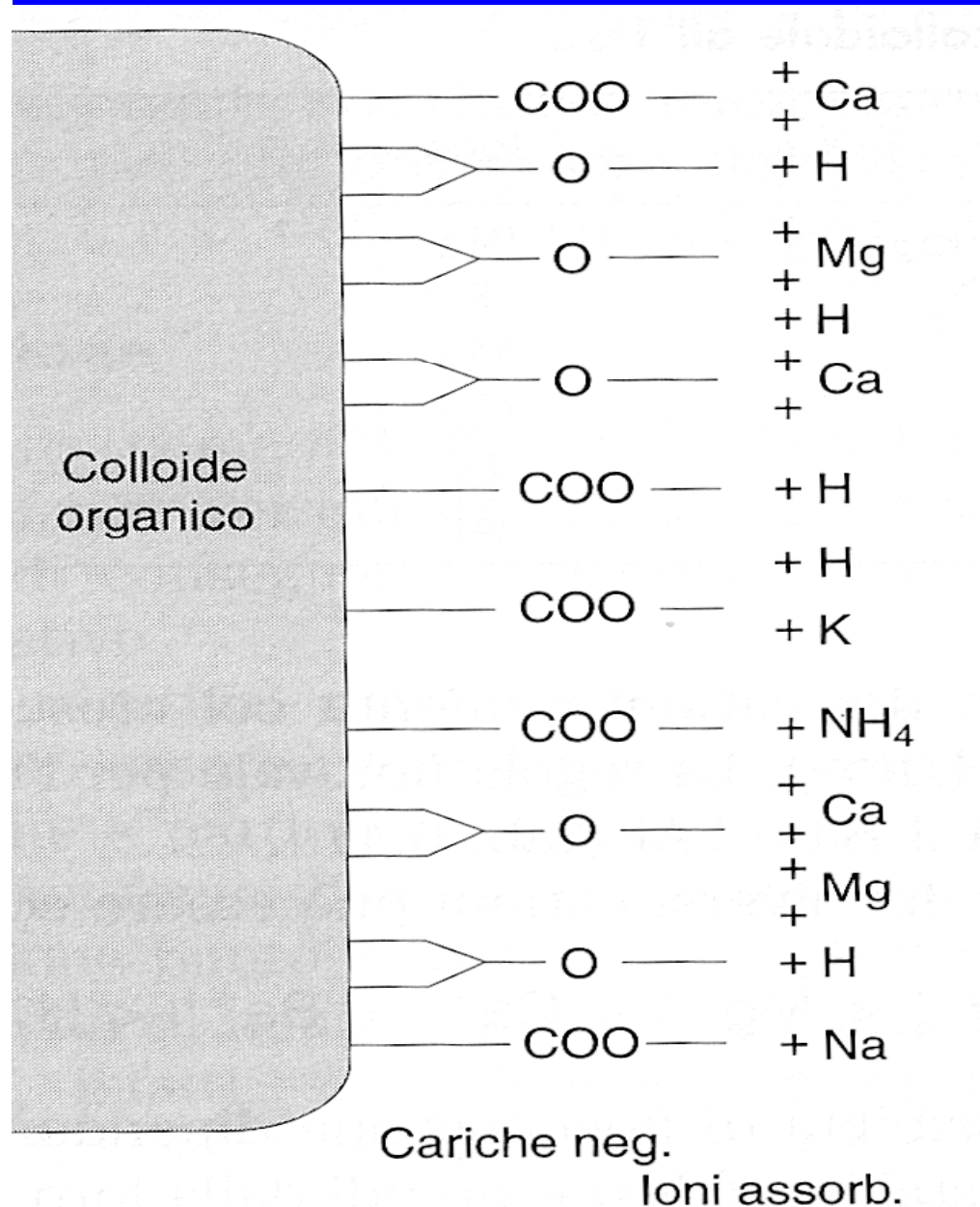
Elementi (*)		M. basso	Basso	Medio	Alto	M. alto
N totale	‰	< 0,25	0,25-0,60	0,60-1,00	1,00-1,70	> 1,70
P totale	‰	< 0,10	0,10-0,20	0,20-0,35	0,35-0,60	> 0,60
P ₂ O ₅ totale	‰	< 0,25	0,25-0,45	0,45-0,80	0,80-1,40	> 1,40
Passim. (m. Bray)	ppm	< 5	5-15	15-30	30-40	> 40
P ₂ O ₅	ppm	< 11	11-35	35-69	69-90	> 90
Passim. (m. Olsen)	ppm	< 3	3-6	6-10	10-17	> 17
P ₂ O ₅	ppm	< 6	6-13	13-25	25-40	> 40
Passim. (m. Morgan)	ppm	< 15	15-30	30-45	45-60	> 60
P ₂ O ₅	ppm	< 40	40-70	70-100	100-120	> 120
Passim. (m. Ferrari)	ppm	> 13	13-22	22-30	30-44	> 44
P ₂ O ₅	ppm	< 30	30-50	50-70	70-100	> 100
K disponibile	ppm	< 40	40-80	80-125	120-165	> 165
K ₂ O	ppm	< 50	50-100	100-150	150-200	> 200
Fe	ppm	< 10	10-30	30-100	100-300	> 300
Ca	ppm	< 700	700-1 400	1 400-2 800	2 800-4 300	> 4 300
CSC	meq	< 20	20-30	30-50	50-70	> 70
Saturazione cationica	%	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80
Ca scambiabile	ppm	< 400	400-1 000	1 000-2 000	2 000-4 000	> 4 000
Mg scambiabile	ppm	< 60	60-180	180-360	360-960	> 960
Ca/Mg scamb.		< 1,5	1,5-2,5	2,5-6,0	6,0-12,0	> 12,0
K scambiabile	ppm	< 40	40-120	120-240	240-480	> 480
Na scambiabile	ppm	< 30	30-90	90-200	200-600	> 600

LIVELLI DI FERTILITA' PER GLI OLIGOELEMENTI

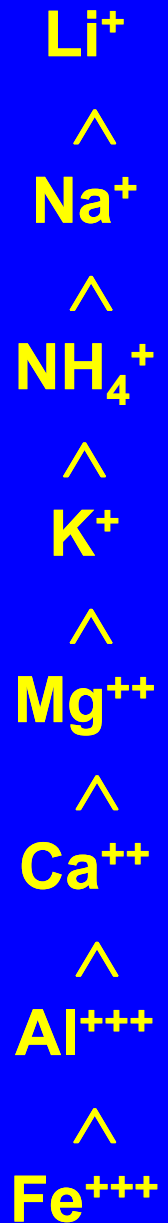
<i>Livelli</i>		<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>B</i>	<i>Mo</i>
Basso	ppm	45	100	1,5	0,6	0,2	0,03
Medio	ppm	166	260	6,0	3,8	0,7	0,20
Alto	ppm	350	350	12,0	8,0	1,4	0,40

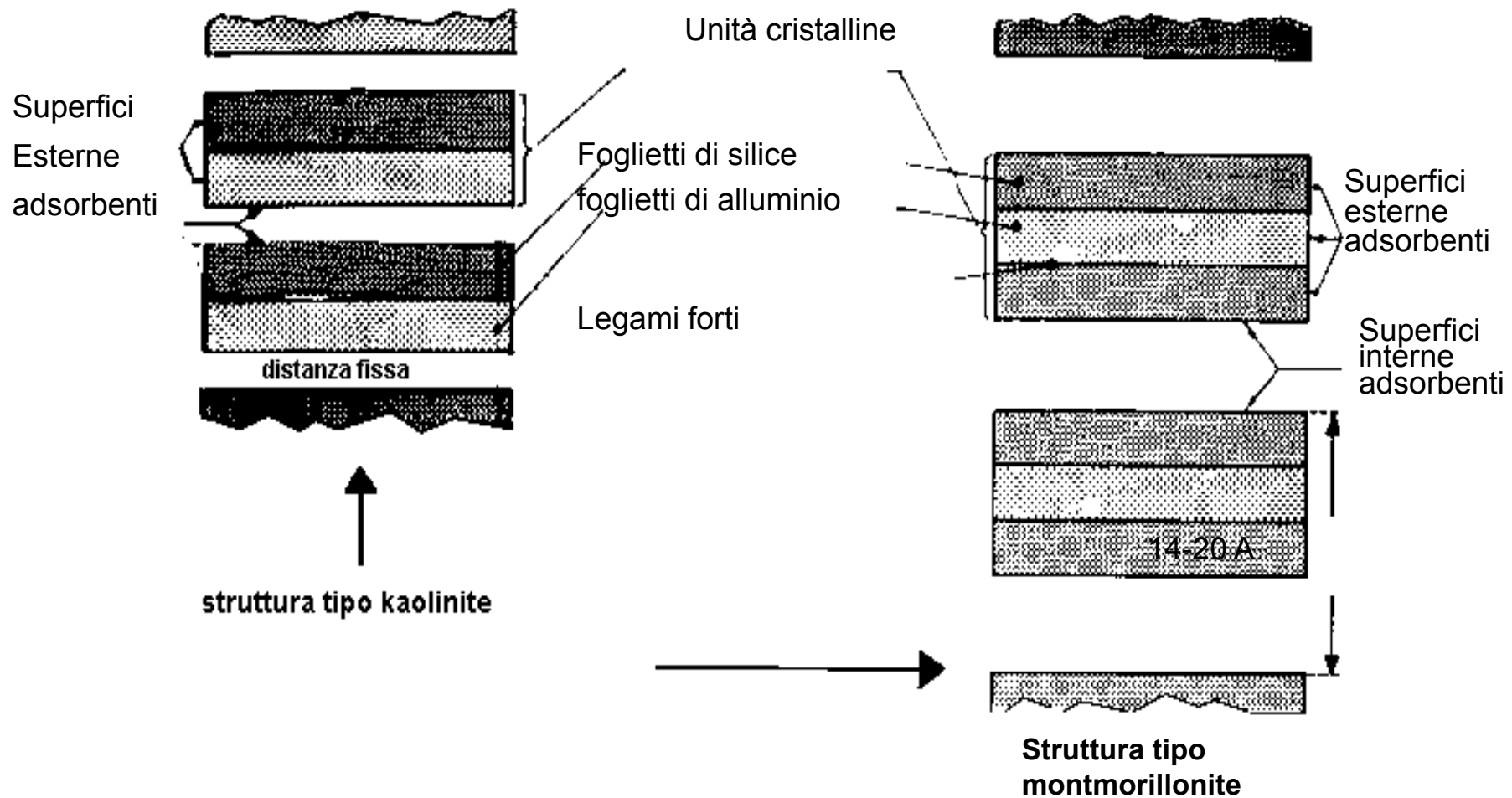
CAPACITA' DI SCAMBIO CATIONICO

FERTILITA' CHIMICA



FORZA DI LEGAME





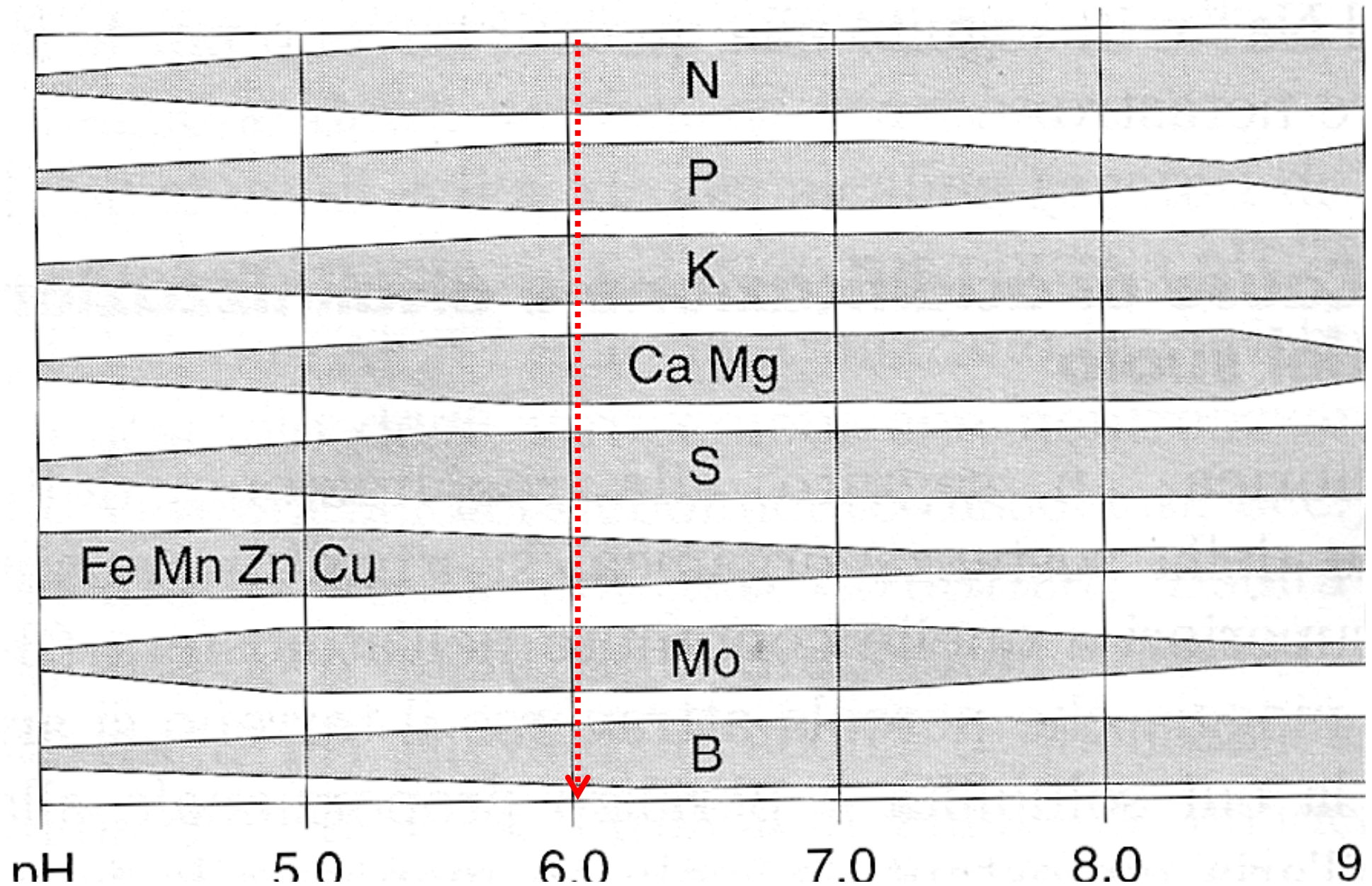
La kaolinite ha superfici di scambio ridotte (SOLO LE ESTERNE): 20 m² per grammo

La montmorillonite ha 20 m² per grammo di superficie esterna + 800 m² per grammo di superficie interna tra i foglietti

Tab. 5 - Alcune caratteristiche chimiche di materiali utilizzabili per la preparazione di substrati
(Autori diversi)

Materiali	Capacità di scambio (me/100 g)	pH (H ₂ O)
Humus	200	—
Minerali argillosi:		
• Vermiculite	100-150	—
Montmorillonite	80-150	—
Illite	10-40	—
Caolinite	3-15	—
Argilla fine	56-63	—
Argilla grossolana	22-52	—
Limo	3-7	—
Sabbia	3-6	—
Terreno sabbioso	5-15	—
Terreno limoso	10-25	—
Terreno argilloso	15-50	—
Terriccio di foglie	45-55	4,6
Terreno di brughiera	50-65	4,0
Torba bionda di sfagno	100-150	3,6
Segatura di sequoia	30	—
Corteccia di pino	58,5	4,0
Vermiculite	44-45	8,3
Perlite	1,5	6,8
Argilla espansa	—	6,4
Pozzolana	4,6	5,9
Tufo vulcanico	72-75	—

DISPONIBILITA' DI ELEMENTI NUTRITIVI IN BASE AL pH



Batteri: da 1-2 a 70 kg ha⁻¹

aerobi: ossidanti, in genere utili;

anaerobi: riducenti, in genere dannosi

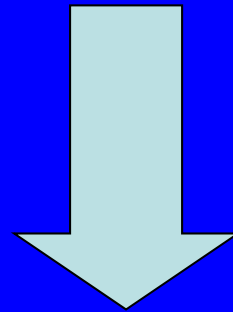
Esigenze:

- aerazione (pochi batteri in profondità)
- T°: optimum 21-30 °C
- Umidità: livello ottimale alla CC
- pH 6 - 8
- Presenza di Ca (neutralizza gli acidi prodotti dal loro metabolismo)

Biodiversità

EFFETTI GENERALI

(La complessità di un sistema è proporzionale alla sua stabilità)

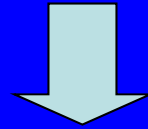


Aumenta la capacità di reazione a variazioni (clima, suolo,...)

Riduce la possibilità che si sviluppi microflora dannosa

EFFETTI SPECIFICI

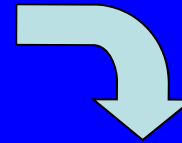
Vegetazione (rotazioni, consociazioni, siepi, frangivento,.....)



- Biodiversità microflora (essudati radicali, residui colturali,....)
- Biodiversità artropodofauna
- Assorbimento di macro e micronutrienti più equilibrato (in qualità e nella distribuzione nel profilo del suolo)
- Struttura del suolo (apparati radicali diversi per profondità e tipologia)
- Riduzione infestanti (operazioni colturali in epoche differenti)
- Riduzione dei rischi (climatici e di mercato)

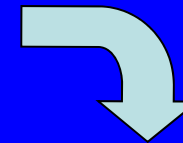
EFFETTI SPECIFICI (**Microflora**)

-Miglioramento della catena trofica,



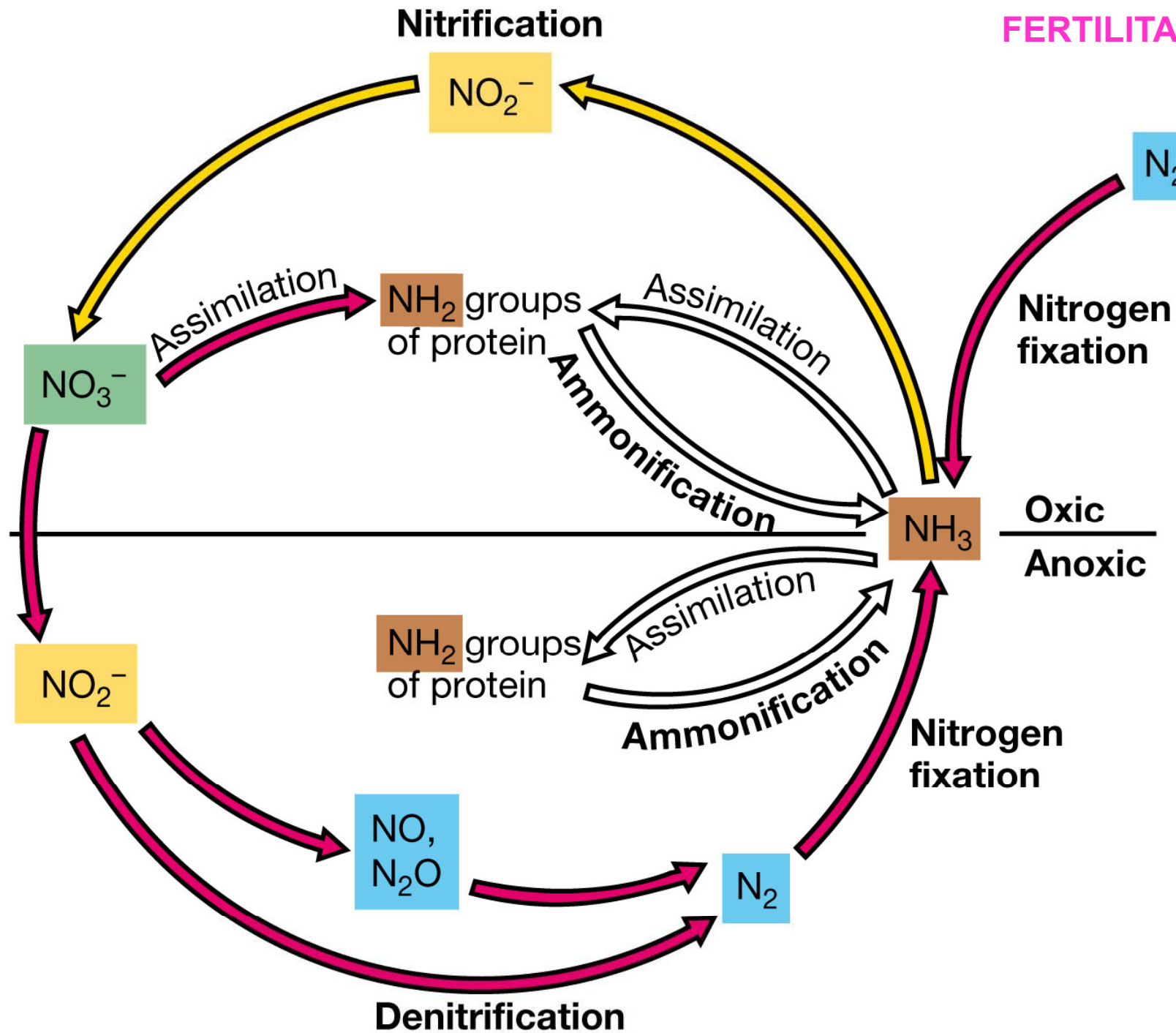
(Aumento disponibilità nutrienti)

-Aumento della sostanza organica umificata



(Struttura, caratteristiche colloidali :CSC, AD)

-Inibizione sviluppo patogeni



Key Processes and Prokaryotes in the Nitrogen Cycle

Processes	Example organisms
Nitrification ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$)	
$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$	<i>Nitrosomonas</i>
$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$	<i>Nitrobacter</i>
Denitrification ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$)	<i>Bacillus</i> , <i>Paracoccus</i> , <i>Pseudomonas</i>
N₂ Fixation ($\text{N}_2 + 8\text{H} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2$)	
Free-living	
Aerobic	<i>Azotobacter</i> Cyanobacteria
Anaerobic	<i>Clostridium</i> , purple and green bacteria
Symbiotic	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Frankia</i>
Ammonification (organic-N $\rightarrow$ NH_4^+)	Many organisms can do this



Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

I PGPR stimolano la crescita delle radici e dell'intera pianta attraverso una serie di meccanismi utilizzati singolarmente o in combinazione

Azioni dirette:

- **Sintesi di ormoni;**
- **Solubilizzazione di nutrienti minerali;**
- **Fissazione dell'azoto atmosferico**

Azioni indirette:

- **Biocontrollo dei fitopatogeni tramite:**
 - **Sintesi di siderofori;**
 - **Sintesi di enzimi;**
 - **Sintesi di sost. antagonistiche**
 - **Efficiente colonizzazione radicale**

MIGLIORARE LA FERTILITA' DEI TERRENI:

TERRENI ARGILLOSI: aumento porosità, lavorabilità, riduzione tenacità



TERRENI SABBIOSI: aumento ritenzione idrica, CSC, coesione

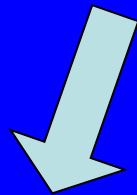
CARATTERISTICHE DELLA SOSTANZA ORGANICA

La frazione idrofila e solubile definita anche non umica (principalmente carboidrati, ma anche acidi aromatici e alifatici, glicolipidi, cere, peptidi, aminoacidi, ac.nucleici):

- ha importanza rispetto alla struttura solo nel breve periodo;
- è il principale substrato per la mineralizzazione e quindi sostiene la nutrizione minerale delle colture;
- trasporta elementi nutritivi anche in profondità:
 - è substrato per i microbi negli aggregati e negli orizzonti profondi (cicli di N e C, es. risintesi di macromolecole);
 - trasporta metalli e protoni (anche metalli pesanti);
 - stabilizza colloidali e aggregati lontani dalla superficie.

La frazione più stabile, definita umica (umina, acidi umici e fulvici):

1. resiste all'aggressione microbica per protezione idrofobica.
2. presenta numerosi gruppi funzionali, che:
 - conferiscono al suolo maggiore CSC
 - consentono la formazione di complessi con le argille o con altre molecole idrofile (S.O. fresca), favorendo l'aggregazione tra particelle (STRUTTURA) mediata da cationi polivalenti (generalmente Ca^{++}).
3. conferisce anche alle altre particelle di suolo le proprie caratteristiche idrofobiche proteggendole dalla degradazione e dispersione



Stabilità struttura

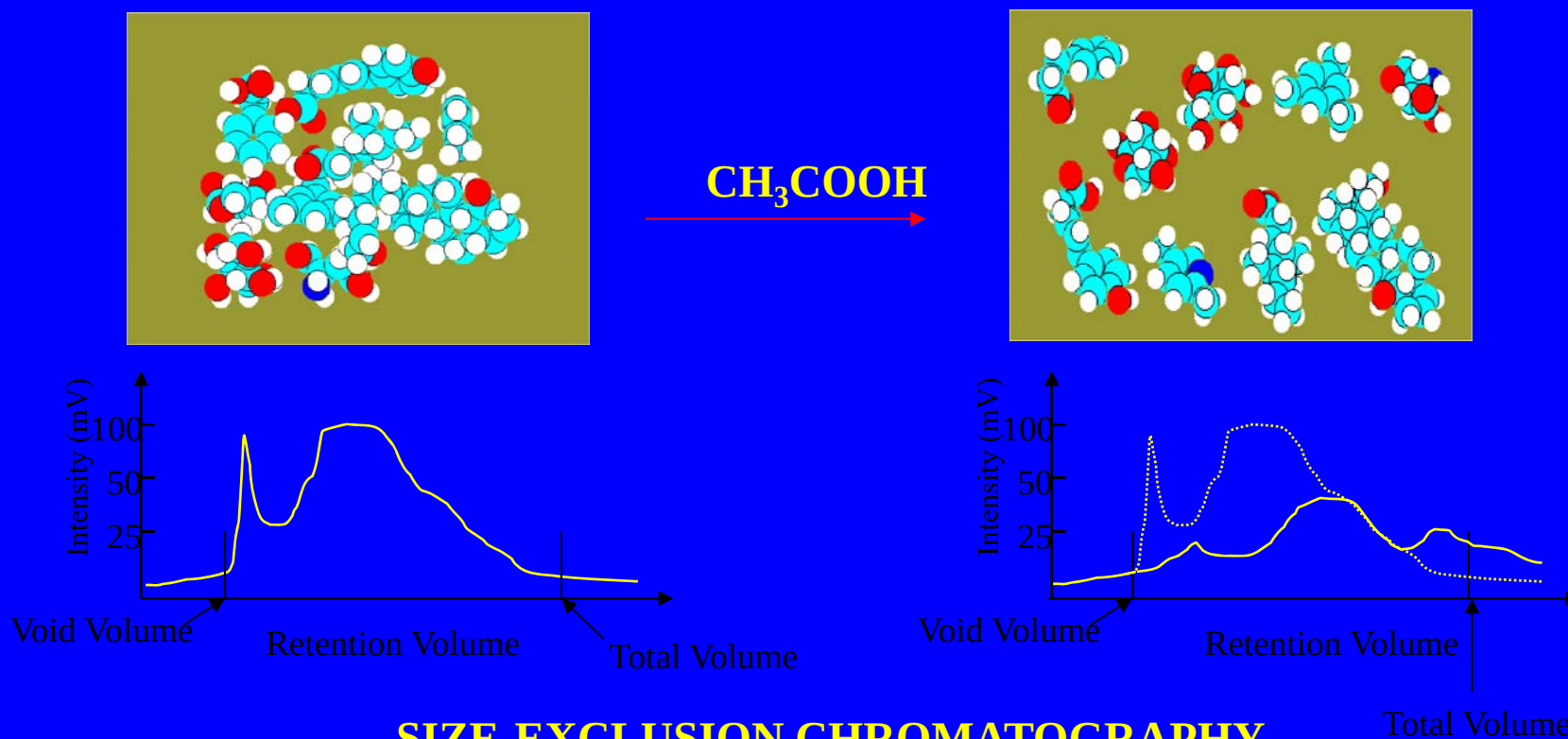


Accumulo di C nel suolo

LA STRUTTURA SOVRAMOLECOLARE

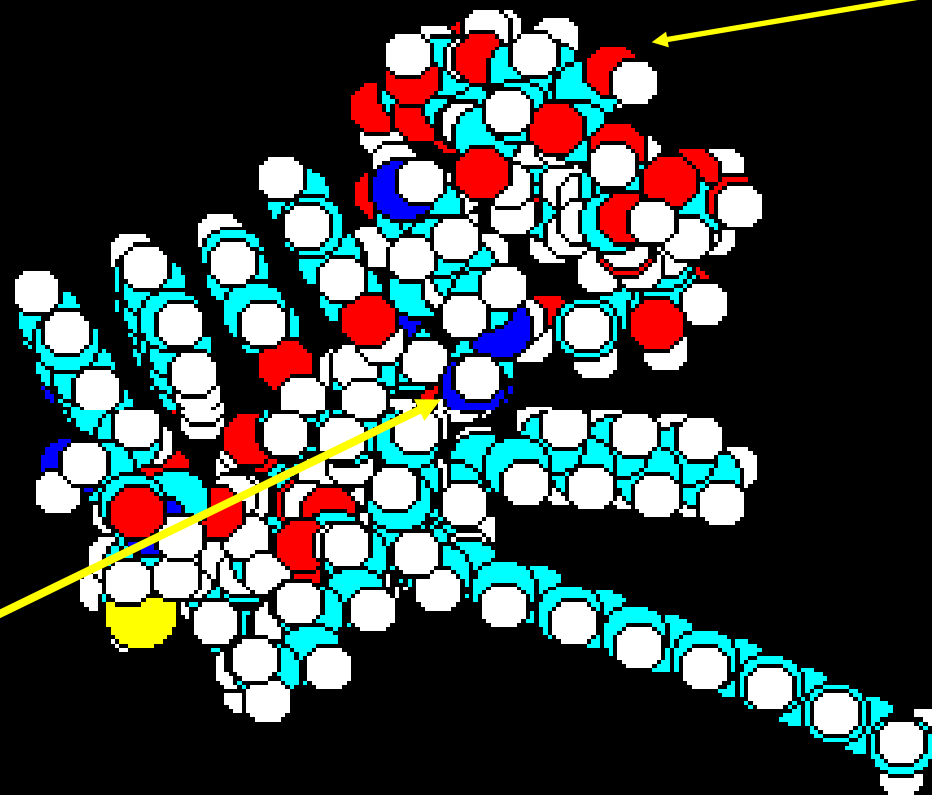
Recenti risultati sperimentali ottenuti a Portici indicano che le sostanze uniche sono associazioni sovramolecolari di molecole eterogenee e relativamente piccole (≤ 1000 Da) stabilizzate da legami deboli (H-bonds, van der Waals, π - π , CH- π) che possono essere distrutti da acidi organici.

Per maggiori informazioni cfr. corso di Chimica Agraria ambientale
(alpiccol@unina.it) <http://www.suprahumic.unina.it>



- Carbonio
- Ossigeno
- Idrogeno
- Zolfo
- Azoto

OH⁻ = sono all'esterno nell'interfaccia con l'acqua (CSC)



N = protetto all'interno delle catene idrofobiche di C

Acidi organici deboli (e ossigeno) sono in grado di disaggregare la struttura (i legami covalenti sono più forti):

- in presenza di vegetazione (essudati radicali)
- dopo le lavorazioni (condizioni ossidative)

le sostanze umificate sono scomposte in molecole (es. carboidrati) facilmente degradabili da parte della microflora del terreno

DINAMICA DELLA SOSTANZA ORGANICA

Apporti di S.O. esogena

Residui colturali

Culture di copertura

Stimolo microflora

FRAZIONE NON UMICA

FRAZIONE UMICA

**Mineralizzazione
veloce**

**Umificazione
(K1)**

**Mineralizzazione
lenta (K2)**

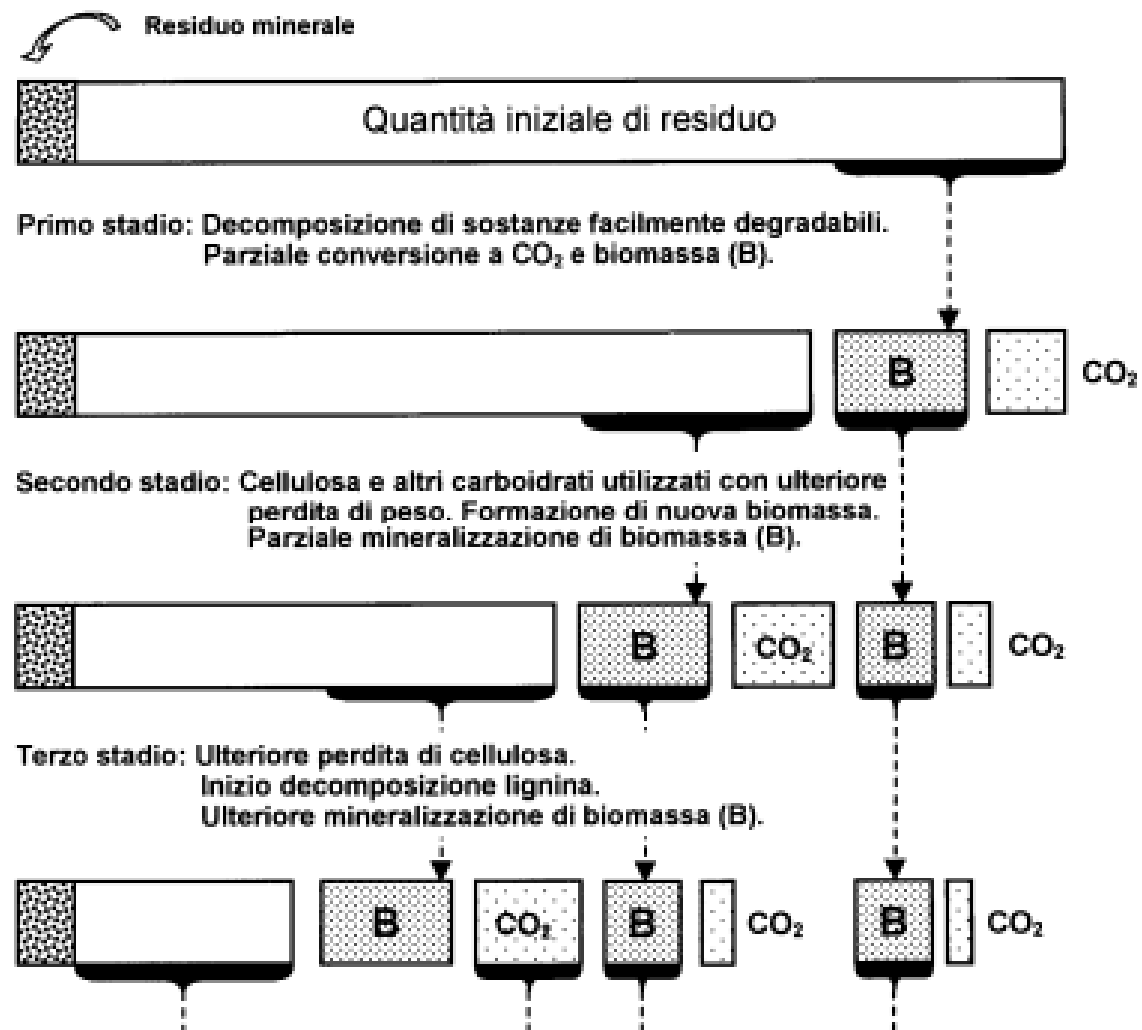
Effetto concimante

Effetto ammendante

Dinamica della sostanza organica

I nutrienti prima di diventare disponibili per le piante passano attraverso la biomassa microbica

$C/N = 8-10$



(Stevenson F.J., 1986. *Cycles of Soil*. John Wiles & Sons, New York, USA.)

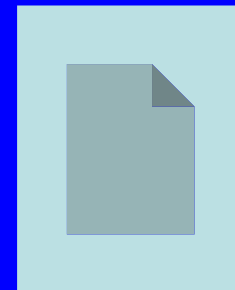
Stadi della decomposizione di residui organici nel suolo.

B = biomassa microbica.

Ogni stadio prevede una parziale conversione del carbonio (C) in anidride carbonica (CO₂) e sintesi di biomassa microbica (B).

LA MINERALIZZAZIONE E' FAVORITA DA:

- $C/N < 15-20$;
- temperatura $> 20^{\circ}\text{C}$;
- umidità a capacità di campo (con acqua in $< 90\%$ dei pori);
- aerobicità (dipende da tessitura, struttura, porosità, lavorazioni);
- alto contenuto iniziale di sostanza organica.



LA MINERALIZZAZIONE TROPPO VELOCE (es. materiali freschi) può determinare anche problemi alle colture:

- veloce degradazione microbica → riduzione dell'ossigeno e del potenziale redox → aumentare la mobilità di alcuni metalli in traccia;
- immobilizzazione delle riserve di N del suolo (C/N alto, >70),
- liberazione di N: N-NH₄, con rischi di fito-tossicità e N-NO₃ con rischio di inquinamento delle falde (C/N basso, < 20);
- fitotossicità per la presenza di acidi organici semplici;
- alterazione degli equilibri della microflora ⇒ patogeni (agenti del marciume radicale).

PROPRIETÀ	EFFETTI
Colore scuro	Favorisce il riscaldamento del suolo.
Capacità di idratarsi (trattengono acqua fino a 20 volte il loro peso)	Previene l'essiccamento e la contrazione del suolo.. Ritenzione idrica.
Insolubile	Previene perdite per lisciviazione, percolazione, ecc.
Capacità di formare legami con componenti minerali del suolo.	Agisce come cementante, induce la formazione di aggregati stabili, condiziona la struttura
Potere tampone nei confronti della reazione del suolo.	Stabilizza il pH del suolo, controllando delicati equilibri chimici e biologici.
Capacità di Scambio Cationico (fino al 70% della CSC di molti suoli).	Determina la capacità di un suolo di trattenere e rilasciare macro e microelementi. Nutrizione minerale delle piante.
Capacità di formare complessi stabili (chelati) con microelementi.	Condiziona la solubilità e la disponibilità di molti microelementi, quali rame (Cu^{2+}), manganese (Mn^{2+}), Zinco (Zn^{2+}) ed altri
Capacità di interagire con fitofarmaci e sostanze xenobiotiche.	Ne condiziona bioattività, persistenza, biodegradabilità e ne influenza i criteri di somministrazione e dosaggio.
Decomposizione e mineralizzazione.	Rilascio di anidride carbonica (CO_2), ioni ammonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), solfato (SO_4^{2-}).
EFFETTI INDIRETTI DELLA SOSTANZA ORGANICA	

L'effetto netto diretto dei materiali umici sull'accrescimento vegetale coinvolge probabilmente una serie di stimoli ed inibizioni biochimiche

1. diretto assorbimento di molecole organiche;

2. stimolazione di processi biochimici a livello di pareti, membrane o citoplasma.

Meccanismo	Effetto
Assorb. macroelementi	N, Mg e, in particolare, PO_4^{3-}
Assorb. microelementi	Cu, Zn, Fe, Mn, probabilmente per aumento solubilità
Assorb.sostanze umiche	Traslocazione molecole umiche a basso peso molecolare da radice a germoglio
Permeabilità membrane	Aumento assorbimento nutrienti
Fotosintesi e respirazione	Aumento contenuto clorofilla e consumo di ossigeno
Sintesi proteica e acidi nucleici	Modifiche dell'attività enzimatica e di alcuni processi biochimici
Azione ormono-simile	Modifiche dell'attività enzimatica ed influenza sull'accrescimento

EFFETTI DELLA SOSTANZA ORGANICA SULL'AMBIENTE

Accumulo di C nel suolo (riduzione gas serra nell'atmosfera)

Fissazione N minerale (riduzione inquinamento delle falde)

Aumento porosità e maggiore infiltrazione:

in pendenza: riduzione ruscellamento ed erosione

in piano: riduzione ristagni e denitrificazione (N_2O)

Adsorbimento sostanze inquinanti:

riduzione mobilità passiva metalli pesanti (fito-estrazione)

stimolo biodegradazione inquinanti organici:

trinitrotoluene (TNT), total petroleum hydrocarbons (TPH), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), pentachlorophenol (PCP), Pesticidi, solventi BTX (benzene, toluene, xylene) e clorurati (TCA, TCE).