

Introduzione sui fenomeni di contaminazione e trasporto nel suolo e sottosuolo

Ing. Michele Leccese

D.I.T.S.

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

Roma, 6 giugno 2005

Il suolo

Parte superficiale della CROSTA TERRESTRE costituita da:

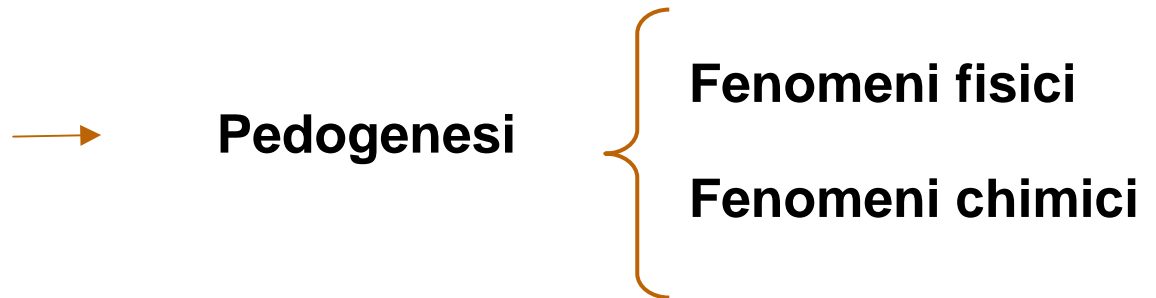
ROCCE

(SUBSTRATO
LITOIDE)



SUOLO

(PROPRIAMENTE
DETTO)



Fenomeni pedogenetici

FISICI

Disgregazione

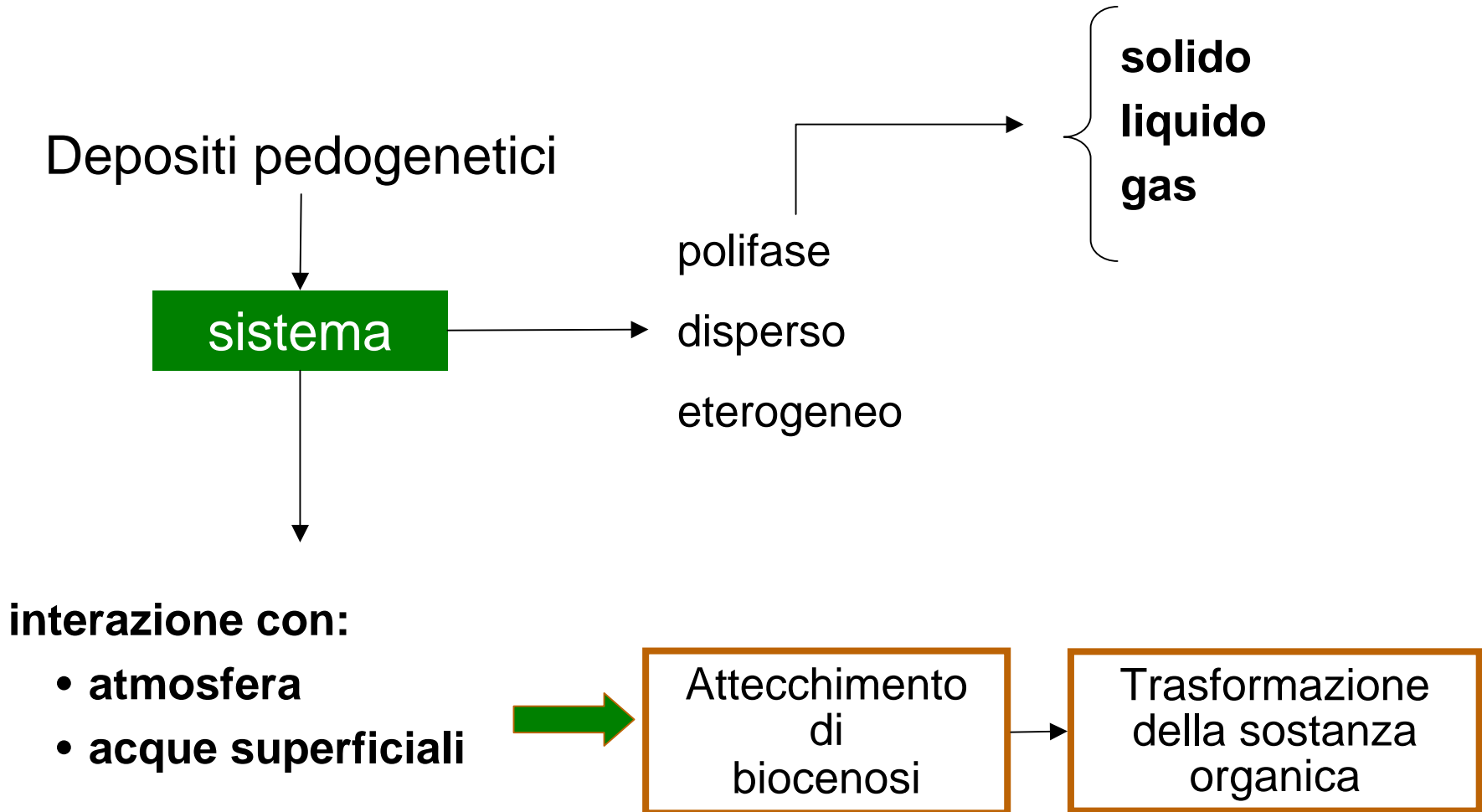
- Azione disgregante del gelo e del disgelo
- Inumidimento ed essiccamento
- Variazioni di temperatura
- Azione meccanica delle radici

CHIMICI

Alterazione per l'azione dell'acqua

- Azione solvente
- Idrolisi
- Idratazione
- Ossidazione e riduzione

Fenomeni pedogenetici



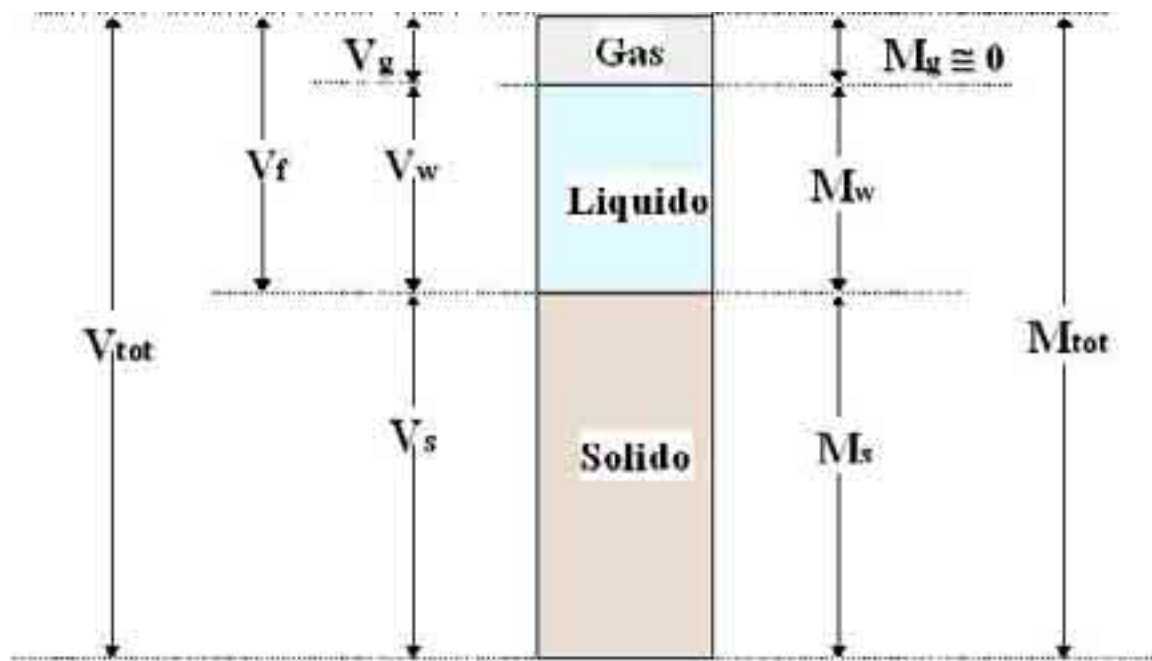
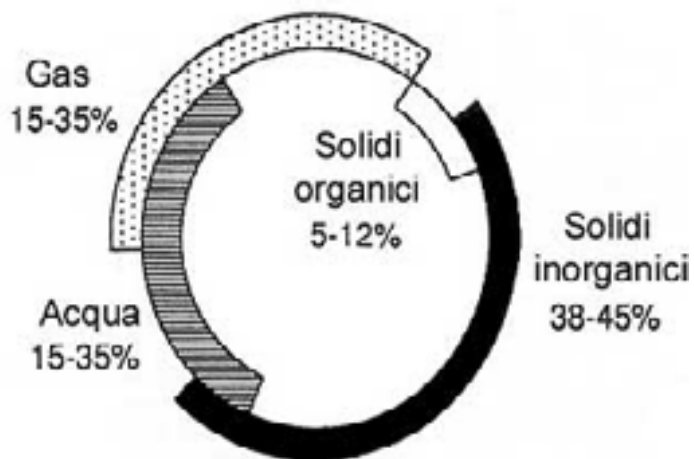
Schematizzazione di un campione di terreno

Sistema polifase

gas

solido

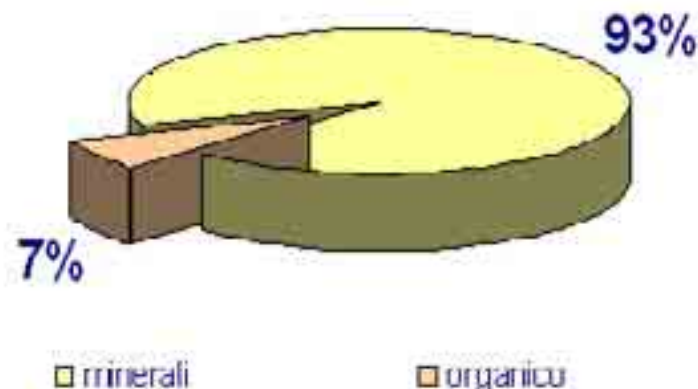
liquido



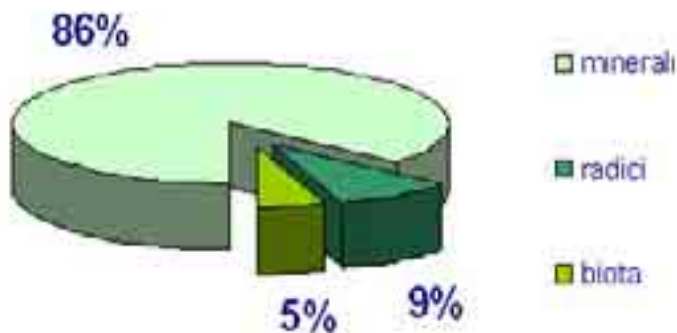
Composizione del suolo:

1) la matrice solida

SUOLO TOTALE



PARTE ORGANICA

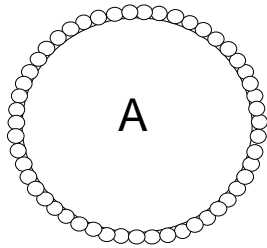


BIOTA DEL SUOLO

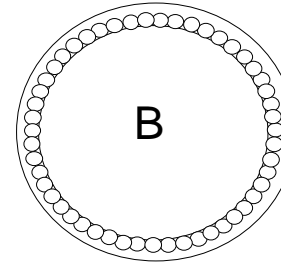


Composizione del suolo: 2) l'acqua

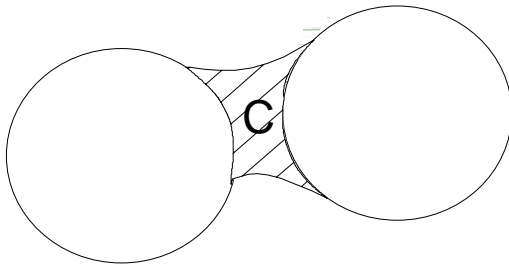
(A) Acqua igroscopica



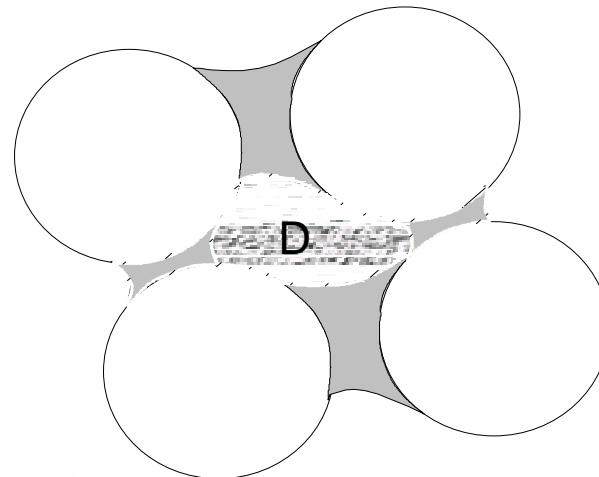
(B) Acqua pellicolare



(C) Acqua capillare



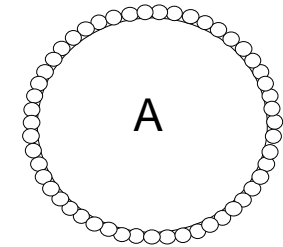
(D) Acqua gravitica



Composizione del suolo: 2) l'acqua

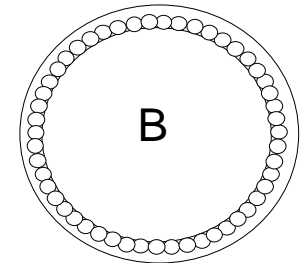
(A) Acqua igroscopica o di adsorbimento

le molecole bipolari dell'acqua, per fenomeni di adsorbimento, vengono legate ai micropori esistenti sulla superficie dei granuli e formano un velo sottilissimo: questa acqua, può essere spostata o estratta solo per calcinazione



(B) Acqua pellicolare

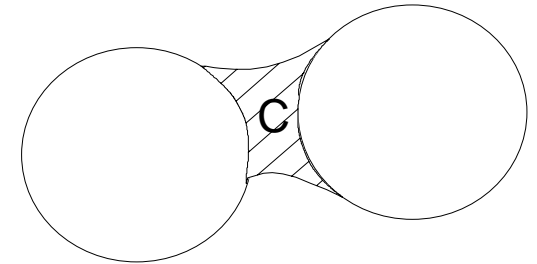
intorno a ciascun granulo ed alla sua acqua igroscopica si genera un sottile film di acqua pellicolare a causa di fenomeni di adesione: può essere eliminata solo per centrifugazione ed il suo volume è in rapporto con la superficie specifica dei granuli e risulta, dunque, inversamente proporzionale alla granulometria del terreno;



Composizione del suolo: 2) l'acqua

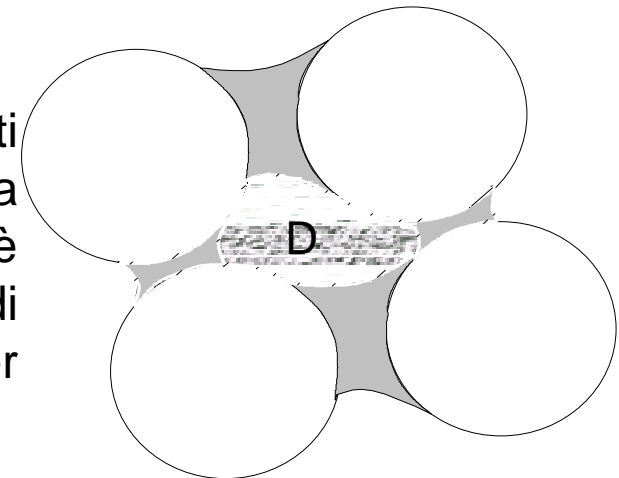
(C) Acqua capillare

negli spazi intergranulari sufficientemente stretti, l'acqua viene fissata per fenomeni di attrazione molecolare



(D) Acqua gravitica o libera

il volume dei vuoti che non è occupato dai precedenti tipi di acqua è disponibile per contenere l'acqua gravitica cioè che è soggetta alla forza di gravità ed è libera di muoversi nel sottosuolo sotto l'azione di pressioni idrostatiche diverse e che si elimina per drenaggio o pompaggio



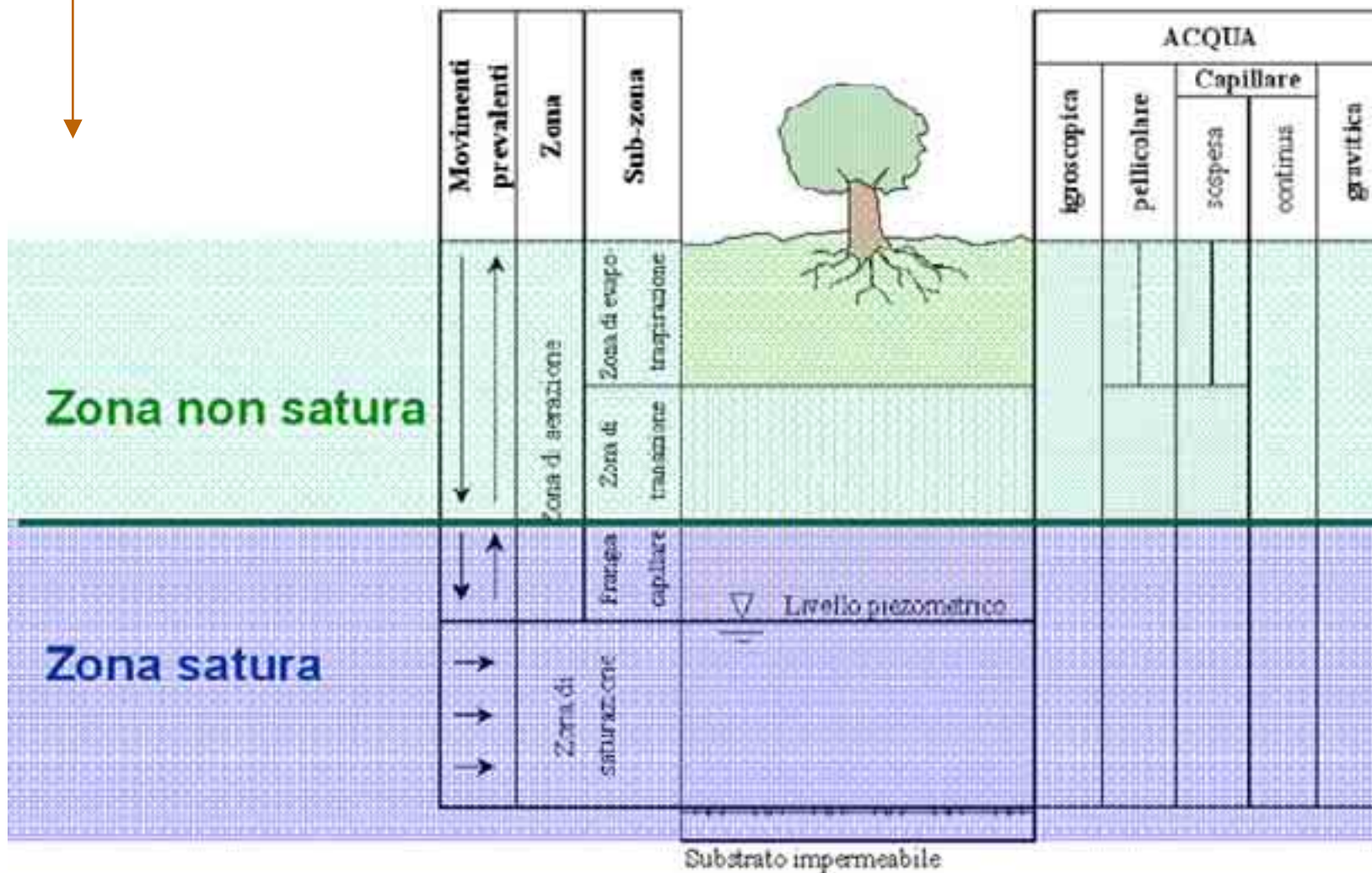
Composizione del suolo:

3) i gas interstiziali

aria che satura alcuni dei pori. L'aria all'interno del suolo ha, a grandi linee, la medesima composizione dell'aria atmosferica (l'azoto, l'argon e gli altri gas nobili sono presenti nelle stesse percentuali e così pure la somma dell'ossigeno e dell'anidride carbonica) sebbene il contenuto di vapor d'acqua possa essere superiore a quello dell'aria atmosferica.

- ✓ **azoto (N₂)** ⇒ processi di fissazione biologica
- ✓ **vapor d'acqua (H₂O)** ⇒ impedisce l'essiccamento di radici
- ✓ **anidride carbonica (CO₂)** ⇒ processi di organicazione del carbonio
- ✓ **ossigeno (O₂)** ⇒ respirazione delle radici e le reazioni di ossidoriduzione

Il suolo



Il sottosuolo – gli acquiferi

accumuli d'acqua contenuti nel sottosuolo permeanti la matrice rocciosa, posti al di sotto del livello di saturazione permanente.

- **superficiali**

suscettibili di venire a contatto con
le acque di superficie

- **profonde**

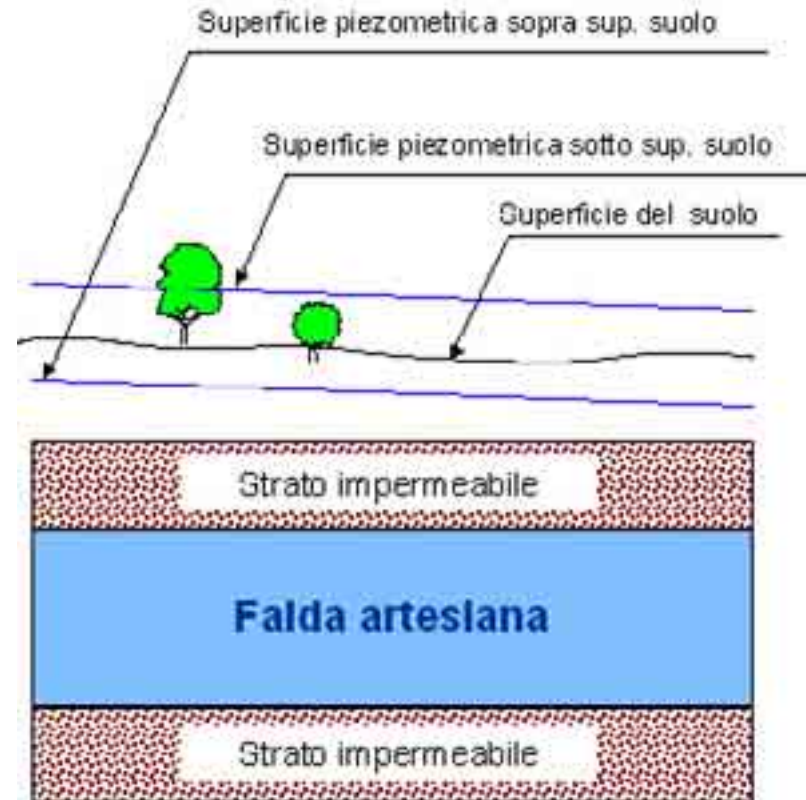
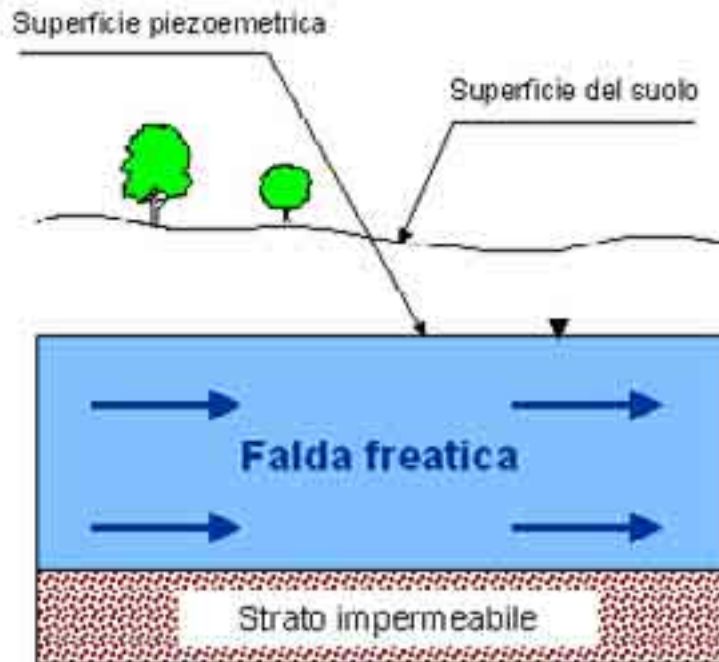
protette dal contatto con le acque
superficiali



Il sottosuolo – gli acquiferi

Falde freatiche

Falde artesiane



Proprietà fisiche del suolo

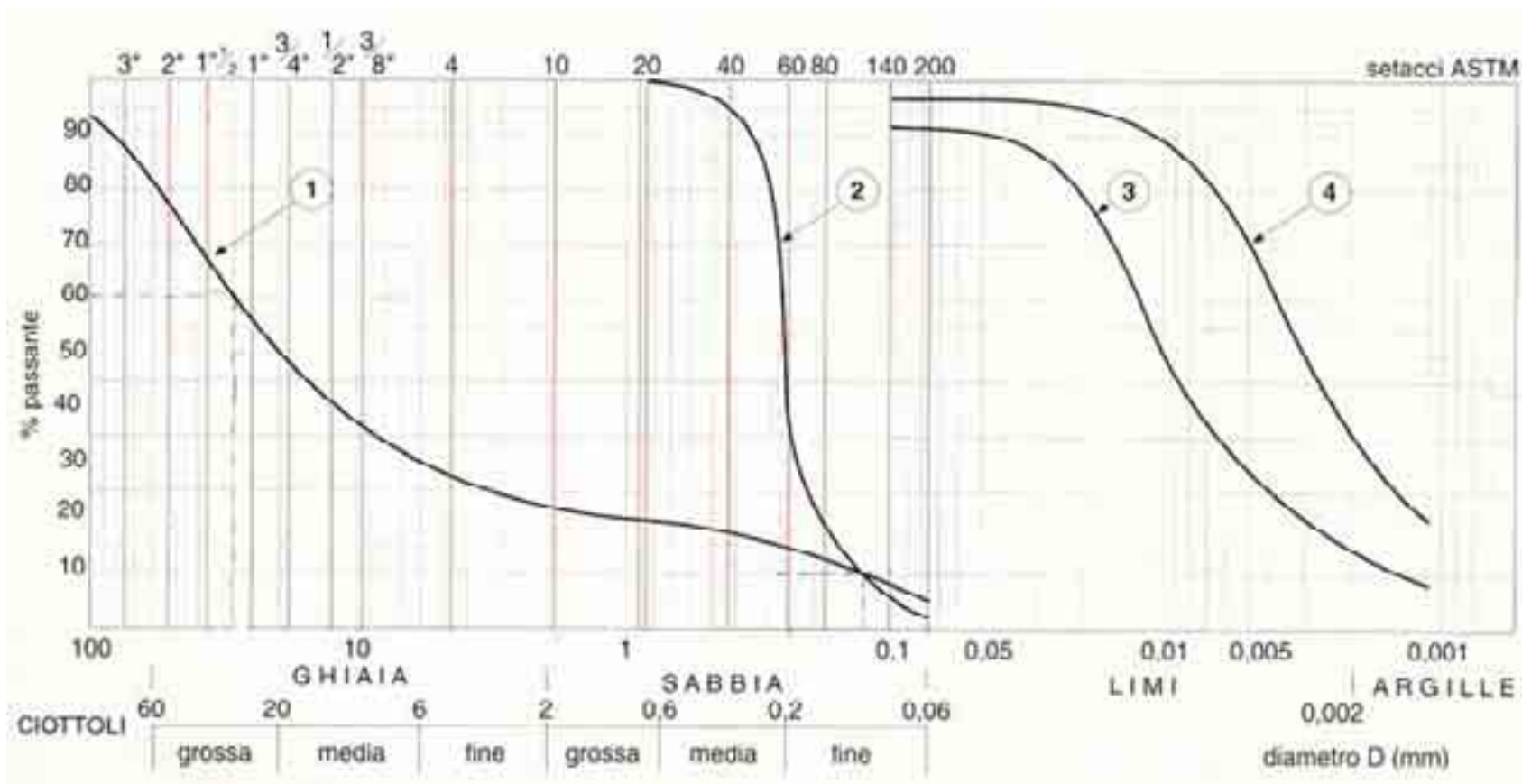
- ✓ **Tessitura, struttura, granulometria**
- ✓ **Porosità**
- ✓ **Permeabilità**
- ✓ **Contenuto d'acqua**
- ✓ **Temperatura**

Granulometria

la distribuzione percentuale dei grani di un campione di terreno secondo le dimensioni e viene rappresentata dalla cosiddetta “*curva granulometrica*”

Frazione	Diametro medio (mm)
Argilla	< 0.002
Limo	0.02 - 0.063
Limo fine	0.002 - 0.006
Limo medio	0.006 - 0.020
Limo grossolano	0.020 - 0.07
Sabbia	0.07 - 2.0
Sabbia fine	0.063 - 0.2
Sabbia media	0.2 - 0.63
Sabbia grossolana	0.63 - 2.0
Ciottoli, pietre (scheletro)	>2.0

Curva Granulometrica



Struttura

la disposizione delle particelle primarie in aggregati o grumi di diverse dimensioni, più o meno resistenti all'azione di fattori esterni. La tendenza all'aggregazione delle particelle primarie è regolata da fattori di tipo chimico-colloidale e biologico variabili nel tempo e costituisce, pertanto, una proprietà dinamica in quanto dinamici sono i fattori che la determinano e che influenzano la sua stabilità.

Porosità

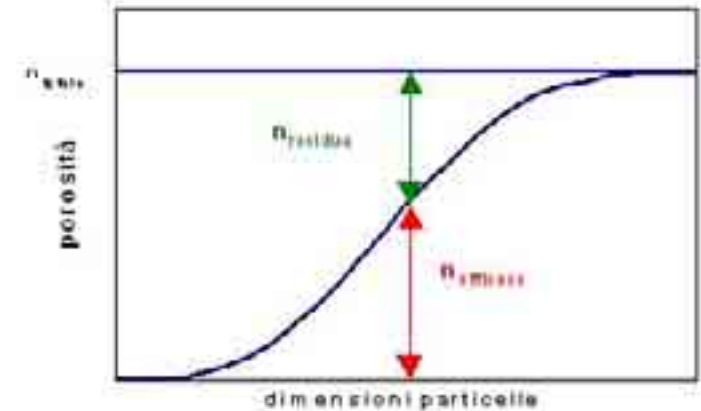
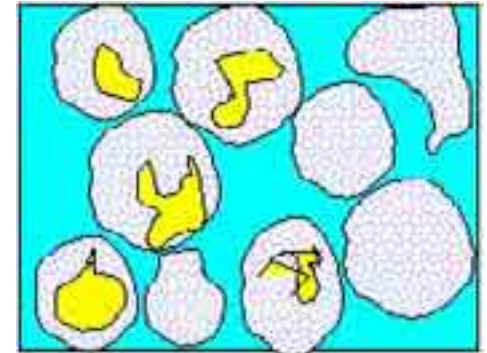
è fisicamente rappresentata dagli spazi vuoti compresi tra i granuli del terreno ed è una misura della possibilità per gas e liquidi di raccogliersi nel terreno.

- **porosità totale:** $V_f =$  $+$ 

$$n = \frac{V_f}{V_{tot}} \times 100$$

- **porosità efficace:** $V_{f^*} =$ 

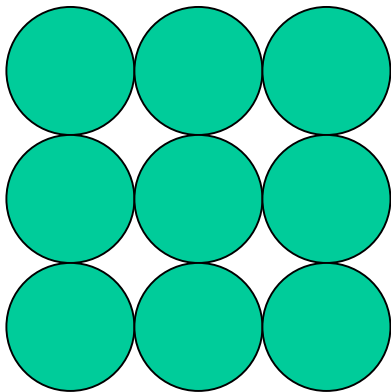
$$n_{eff} = \frac{V_{f^*}}{V_{tot}} \times 100 \quad n_{eff} < n$$



Porosità

Dipende dalle caratteristiche strutturali tessiturali e dimensionali del suolo

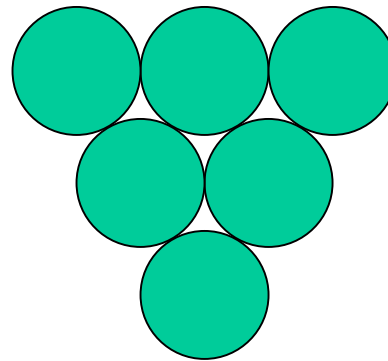
(A)



Disposizione cubica
di sfere $D=\text{cost}$

($n=47.64\%$)

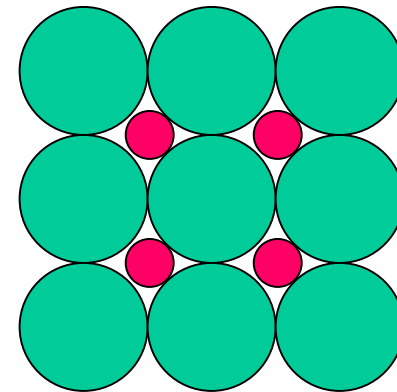
(B)



Disposizione romboeoidrica
di sfere $D=\text{cost}$

($n=29.96\%$)

(C)



Disposizione cubica di
sfere D variabile

Permeabilità

l'attitudine di un terreno ad essere attraversato dai fluidi.

Un materiale è permeabile se contiene vuoti continui o per meglio dire comunicanti. Quindi l'acqua passa sia attraverso l'argilla che attraverso la ghiaia, ma con intensità completamente diversa; pertanto terreni aventi la stessa porosità possono avere differente permeabilità.

Fattori che influenzano la permeabilità:

- ✓ dimensioni dei grani;
- ✓ quantità, tipologia e distribuzione delle frazioni fini;
- ✓ densità (al diminuire della densità aumenta la permeabilità);
- ✓ disposizione dei grani (nel senso che le particelle possono essere più o meno stratificate ed avere un'orientazione prevalente);
- ✓ presenza di discontinuità presenti nei depositi.

Capacità idrica

È la capacità del terreno di immagazzinare l'acqua

- ✓ **Capacità idrica massima** quantità di acqua necessaria a saturare il terreno
- ✓ **Capacità idrica minima** quantità di acqua che il terreno riesce a trattenere (ritensione)

La misura del contenuto di acqua nel suolo:

- ✓ **diretta:** pesata di campioni asciugati in stufa a 105°C
- ✓ **indiretta:** strumenti che misurano la variazione di resistenza elettrica (o di capacità elettrica)

Temperatura

Il regime termico del suolo dipende dal bilancio di energia alla superficie, dalla conducibilità termica e capacità termica del suolo.

- ✓ Il trasporto convettivo di calore nel suolo è trascurabile così come il trasporto radioattivo. Il calore viene, pertanto, trasportato per conduzione molecolare.
- ✓ Data la bassa capacità di conduzione dell'aria contenuta nei pori del suolo, la conduzione avviene prevalentemente nei punti di contatto tra le particelle solide.
- ✓ Un suolo asciutto ha una conducibilità molto bassa (dell'ordine di $0.001 \text{ cal cm}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ s}^{-1}$) che aumenta considerevolmente a causa della presenza dell'acqua, in quanto incrementa l'area di contatto tra le particelle solide del suolo.

Temperatura

✓ **Zona superficiale (<30 m)**

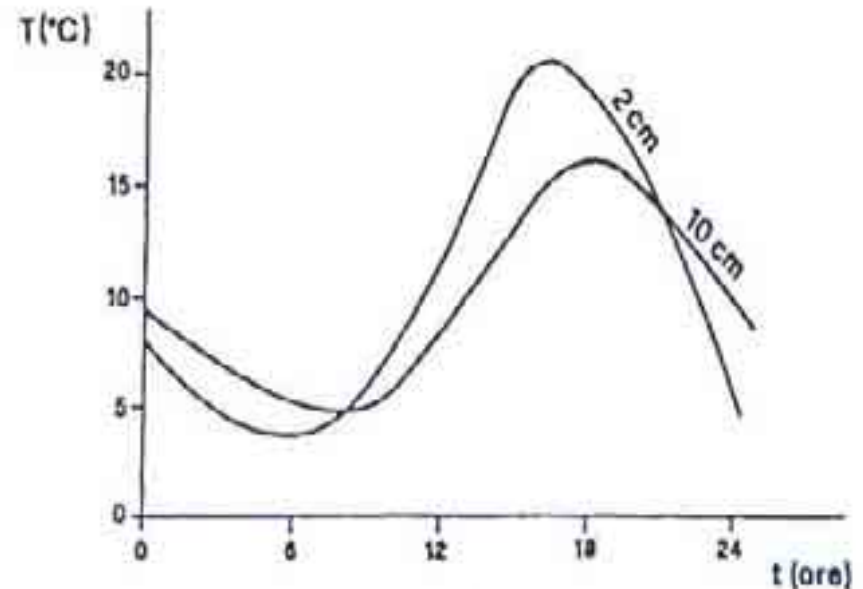
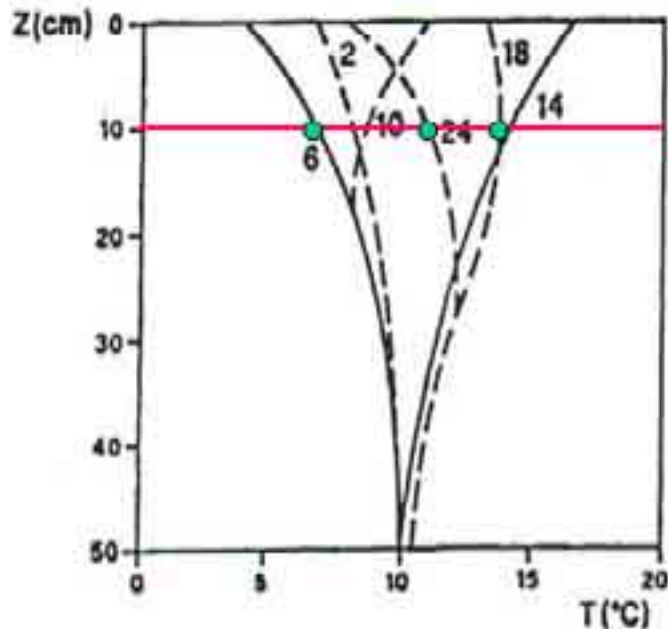
- cambiamenti climatici stagionali
- cicli di irraggiamento diurni
- presenza di vegetazione e di uno strato organico

✓ **Zona intermedia (30 - 50 m)**

Temperatura media stagionale

✓ **Zona profonda (<50 m)**

Temperatura aumenta con il gradiente geotermico
($\Delta T/\Delta z = 3^\circ\text{C}/100\text{m}$)



I Cicli ambientali

✓ **CICLO GEOLOGICO PRINCIPALE**

✓ **CICLO GEOCHIMICO SECONDARIO**

CICLI BIOLOGICI

- ciclo dell'azoto
- ciclo del carbonio
- ciclo dello zolfo
- ciclo del fosforo
- ciclo degli elementi biogeni

Il ciclo geologico principale

- ✓ E' il ciclo che determina le caratteristiche morfologiche della Terra, la distribuzione degli elementi che la costituiscono.
- ✓ Si compie in tempi ,molto più lunghi di tutta la storia della civiltà umana (ere geologiche) misurabili in centinaia di milioni di anni.
- ✓ L'energia che alimenta questo ciclo è quella derivante dal calore interno della terra.

Processi che lo alimentano

- **Erosione**
- **Sedimentazione**
- **Movimenti Orogenetici**
- **Attività vulcanica**
- **Trasporto biologico**
- **fall-out atmosferico**

Il ciclo geochimico secondario

- ✓ E' il ciclo che raggruppa i singoli cicli specifici di ciascun elemento chimico (C, N, S, P) e determina le caratteristiche di vita e le condizioni di sviluppo terrestre.
- ✓ Si compie in tempi inferiori alla durata della vita umana.
- ✓ L'energia che alimenta questo ciclo è quella solare.

POOL DI RISERVA: Costituisce il componente più ampio, meno attivo e generalmente non biologico (compartimento di accumulo geologico con pochi o lenti scambi col mondo vivente)

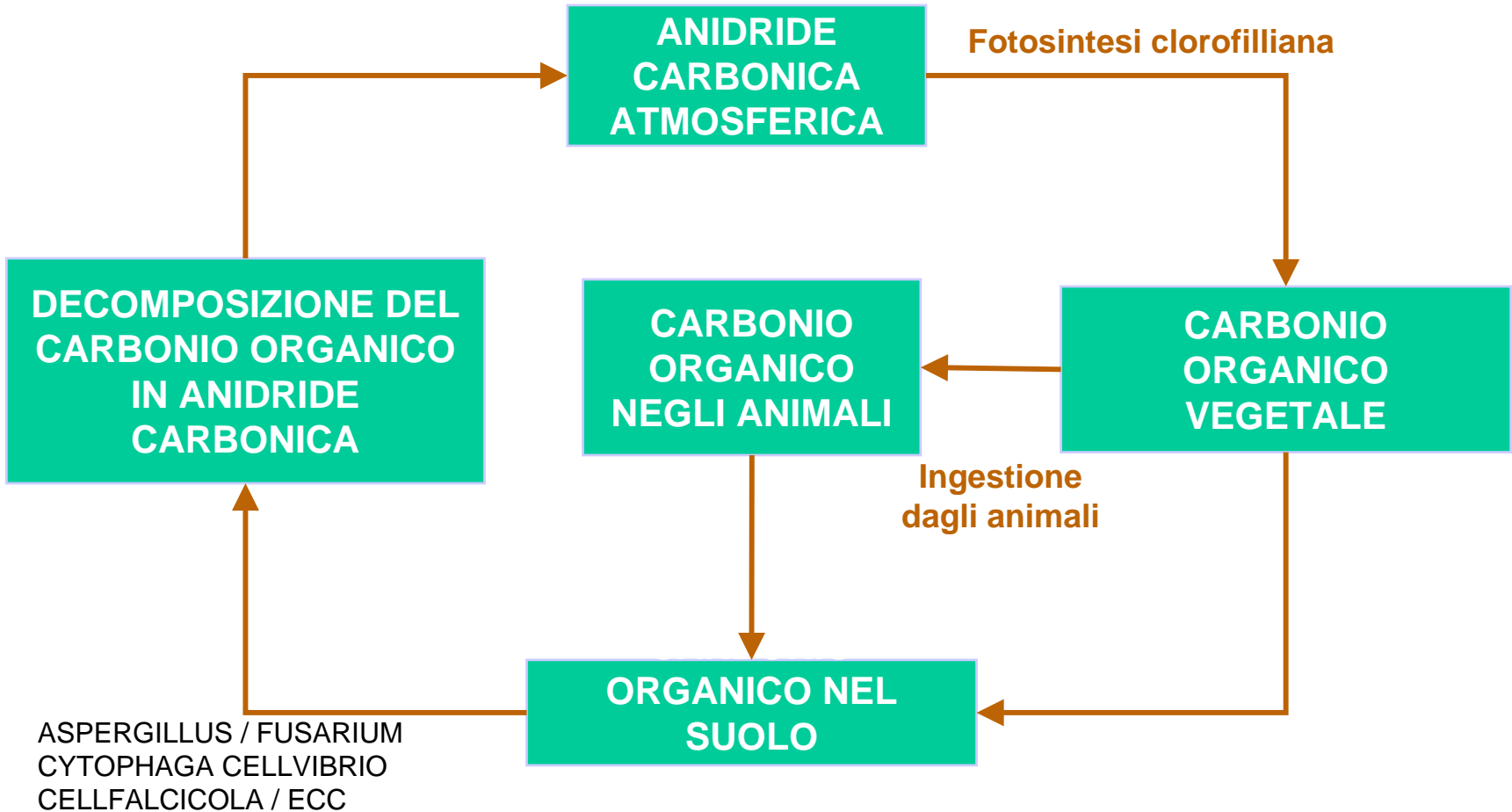
POOL DI SCAMBIO: Costituisce un componente molto piccolo, ma più attivo e rapido nei movimenti (è costituito dai *cicli nutritivi* di grande interesse per la crescita dei microrganismi)

Il ciclo geochimico secondario

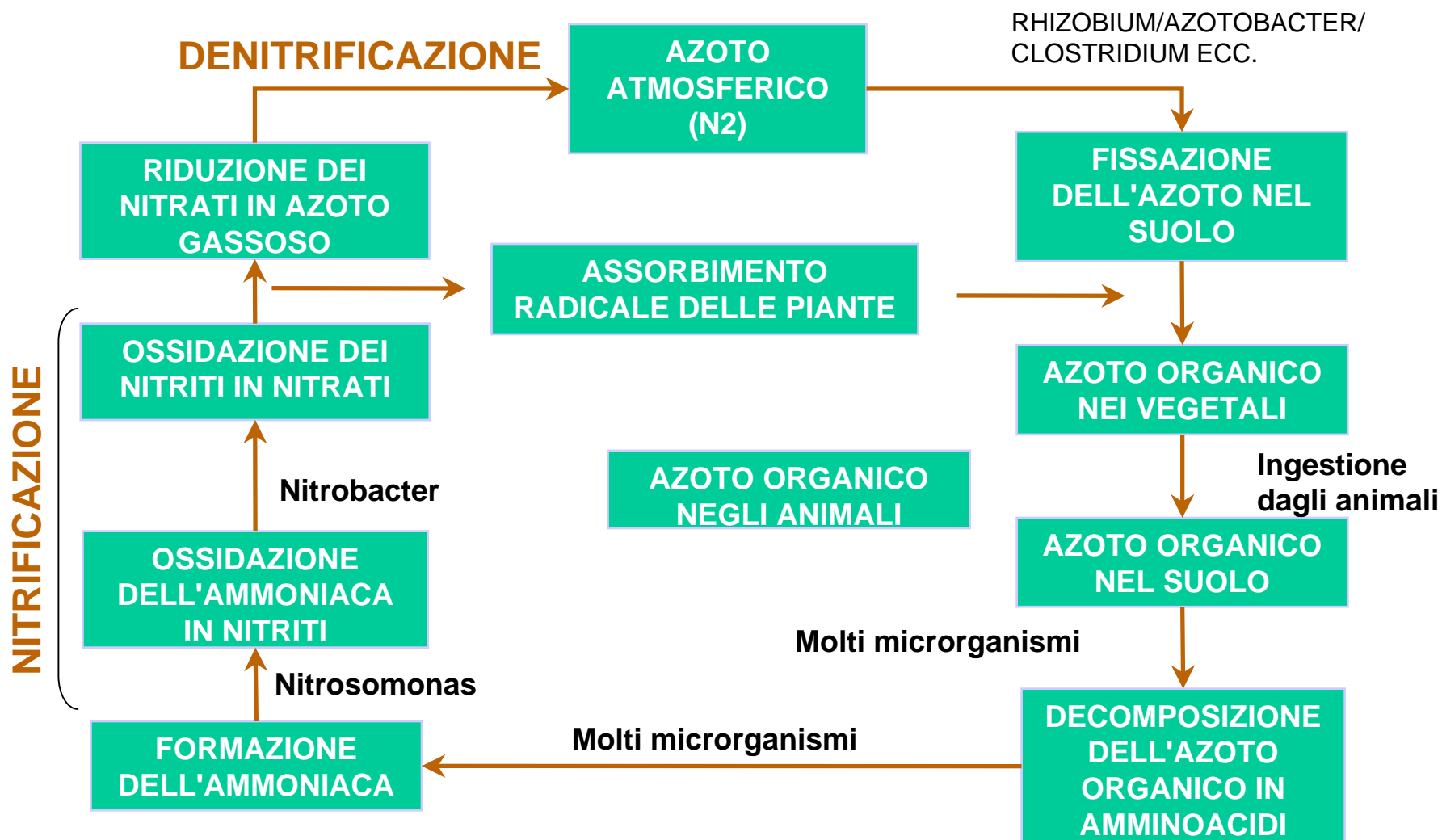
I cicli biogeochimici si classificano in:

- ✓ Cicli gassosi (con una grande riserva gassosa o idrica; ad es. la CO_2 , H_2O , N_2);
- ✓ Cicli sedimentari (con ampie riserve nei fondali oceanici e nella crosta terrestre).

Il ciclo del carbonio



Il ciclo dell'azoto



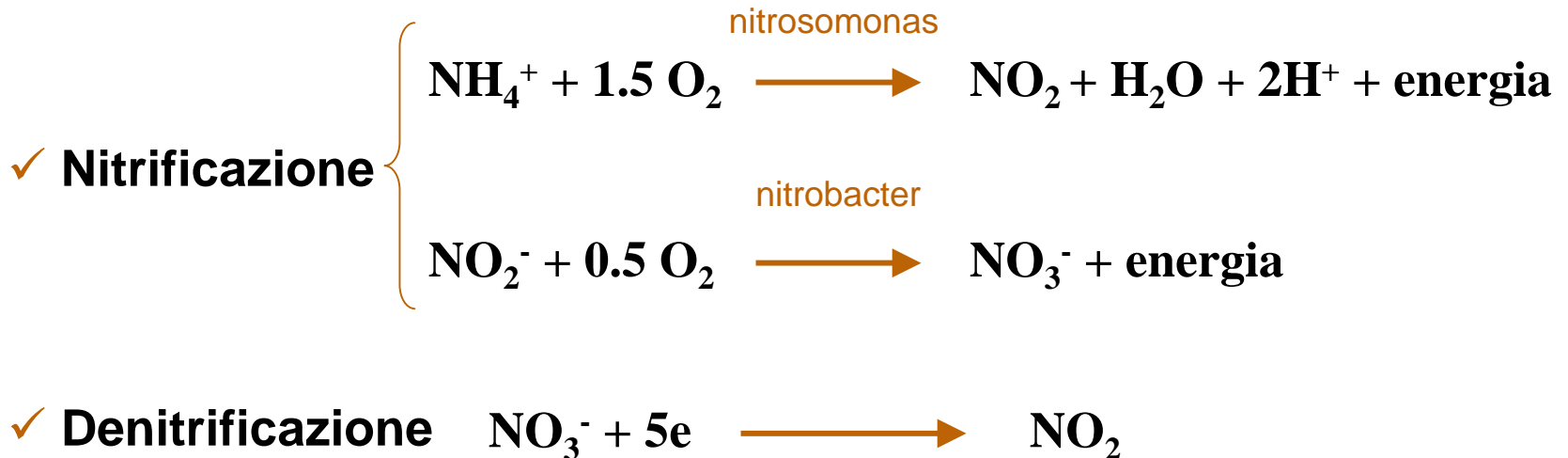
Il ciclo dell'azoto

CATABOLISMO (produzione di energia)

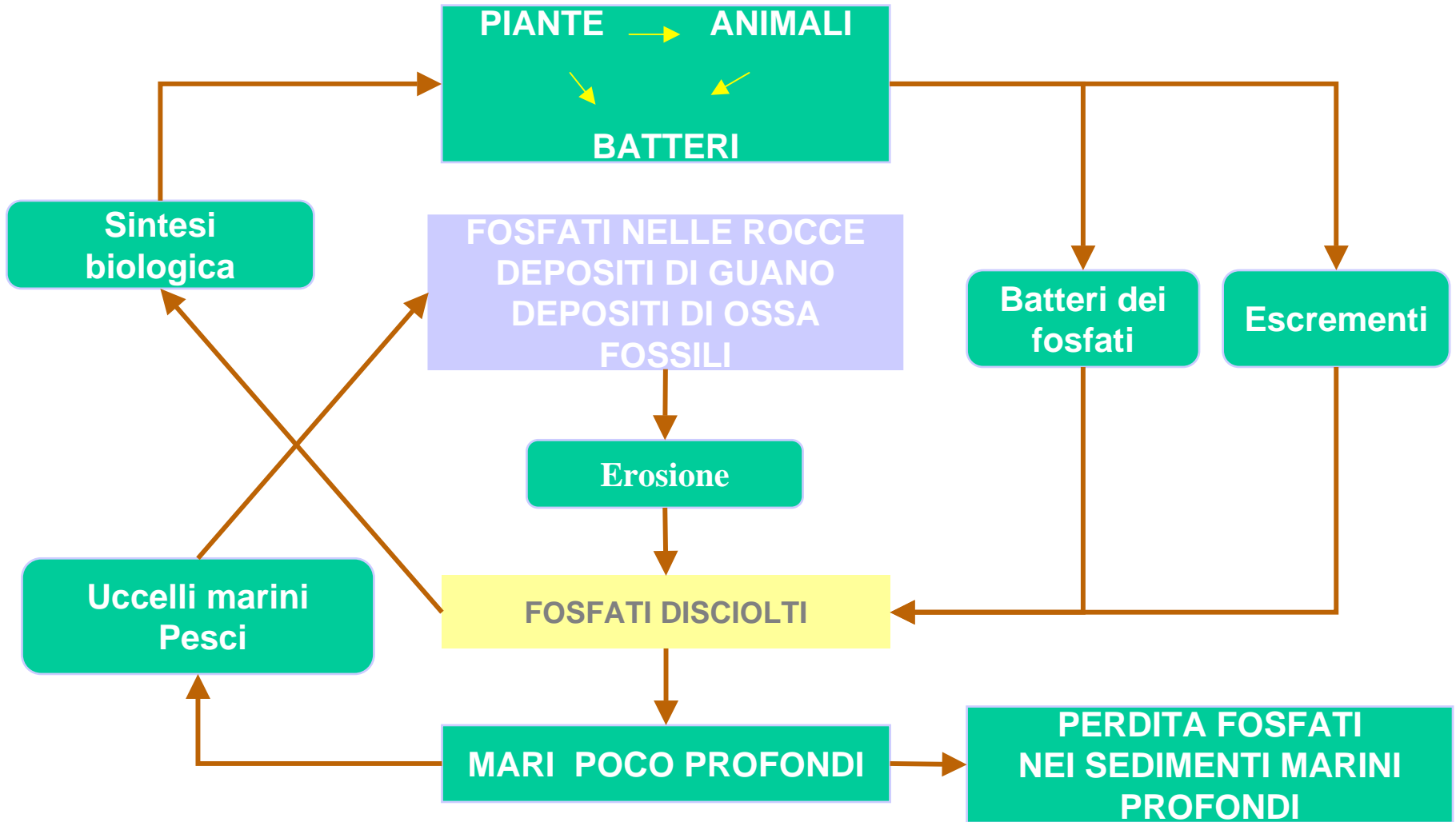


ANABOLISMO (consumo di energia)

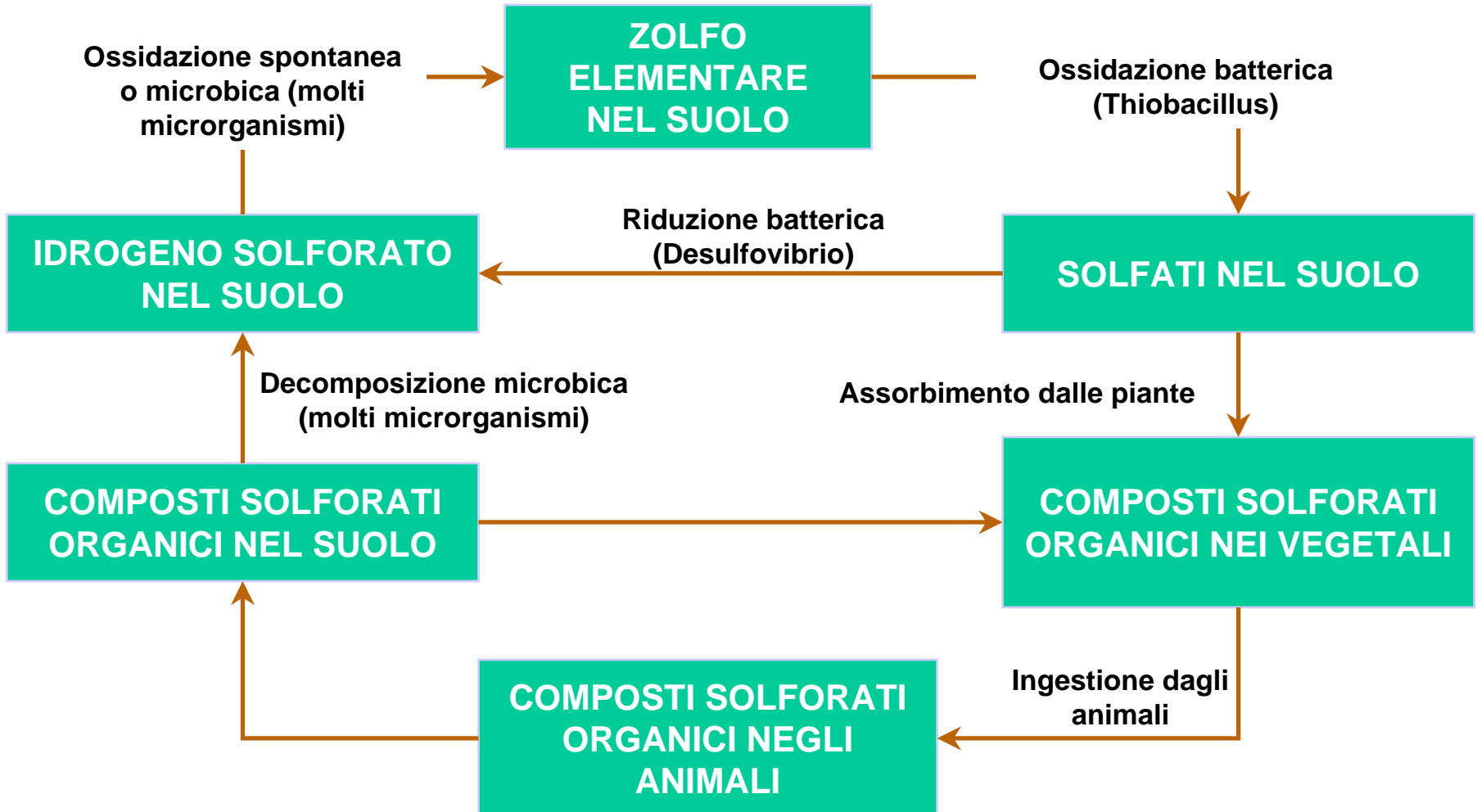
Fenomeni fondamentali:



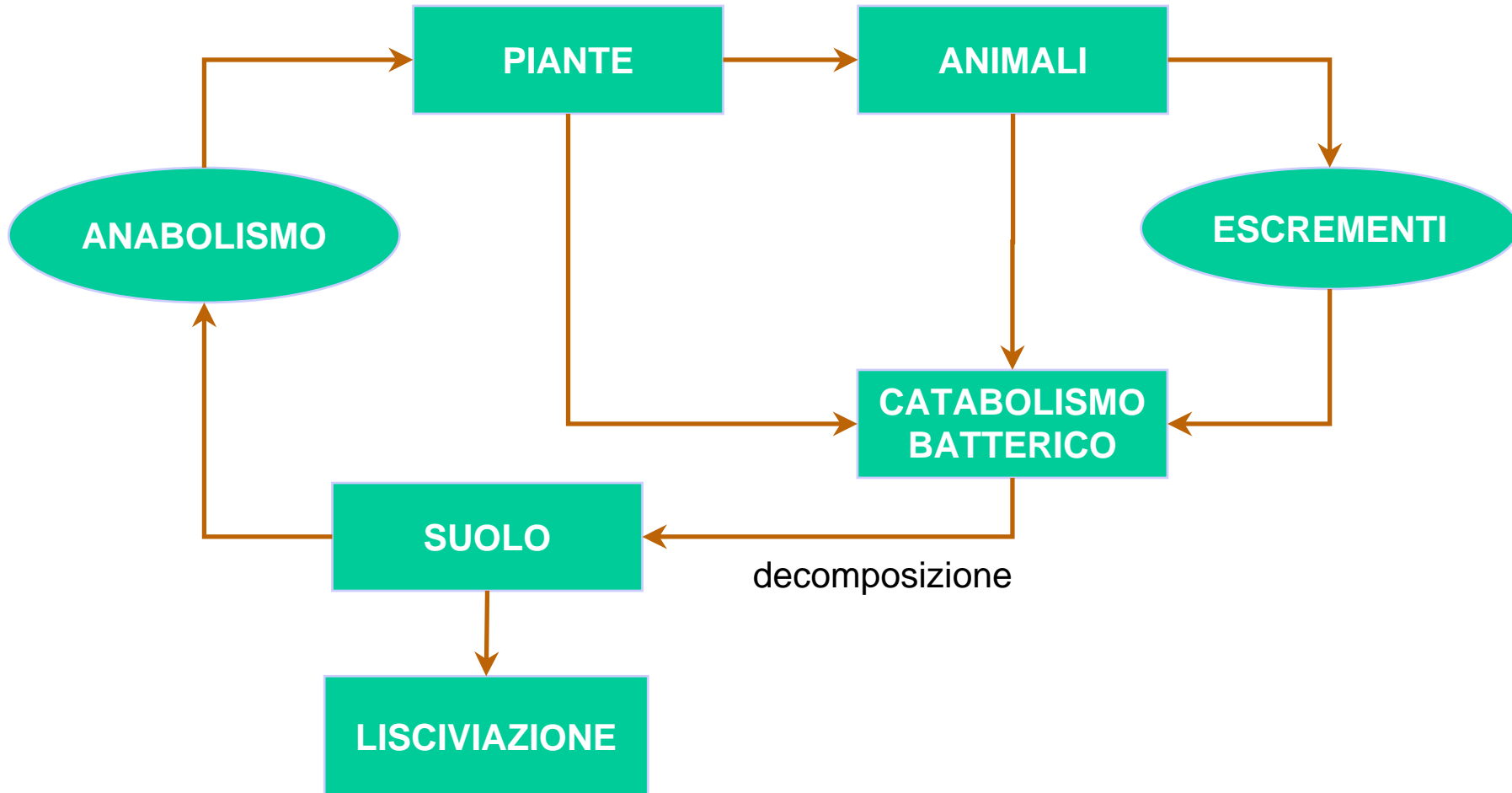
Il ciclo del fosforo



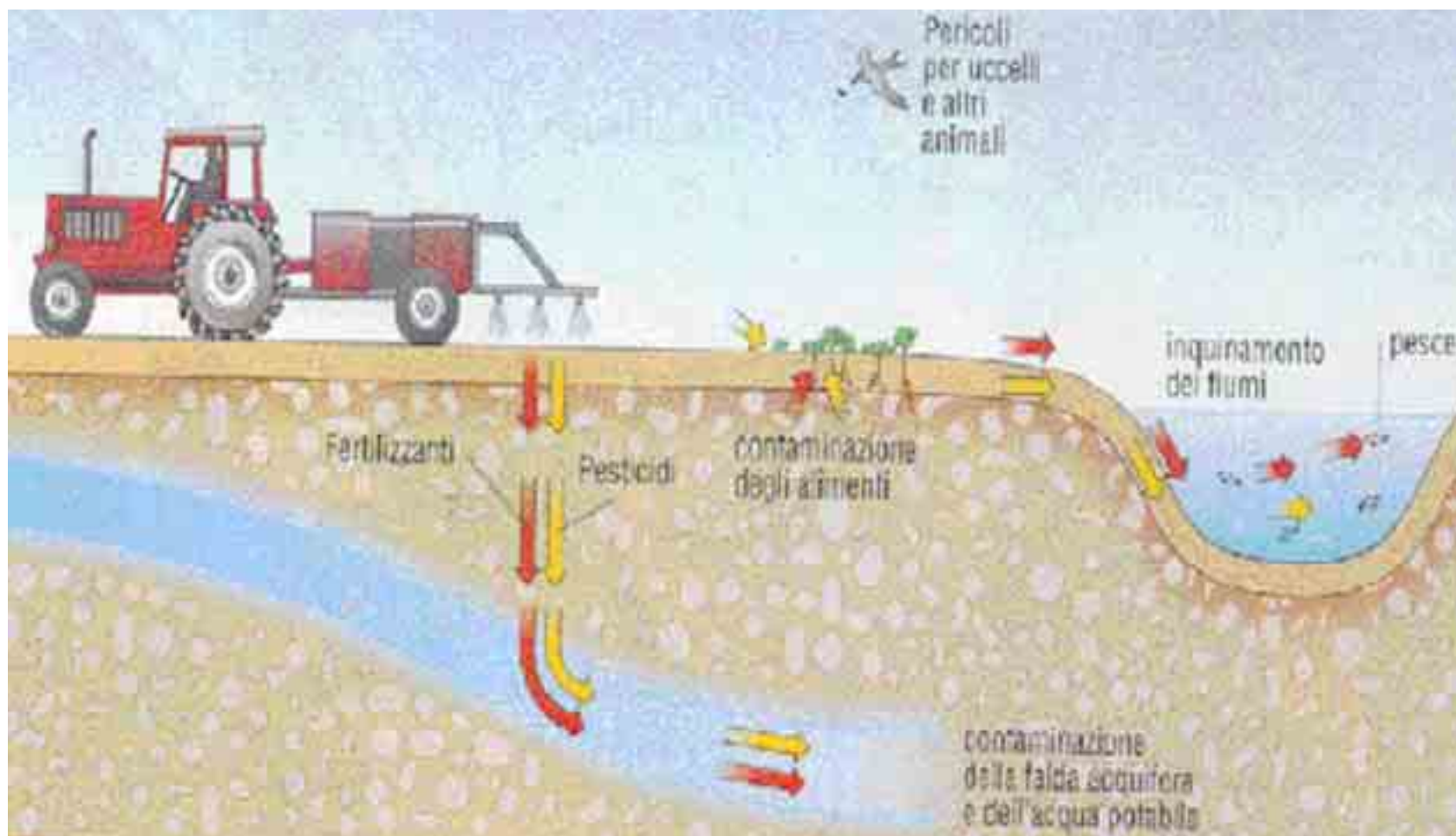
Il ciclo dello zolfo



Il ciclo degli elementi biogeochimici (K, Ca, Mg)



L'inquinamento del suolo



Inquinamento del suolo

- ✓ Inquinamento diretto
 - ✓ Inquinamento indiretto
- } **In relazione alle fonti o agli effetti**
- ✓ Effetti generici dell'inquinamento



La scala di gravità degli effetti dipende dal grado di industrializzazione del paese

- industrializzati - Tossico >> Metabolico >> Estetico >> Infettivo
- in via di sviluppo - Infettivo >> Metabolico >> Estetico >> Tossico

Le fonti dell'inquinamento

DIRETTE:

di origine agricola:

- ✓ Concimazioni minerali
- ✓ Concimazioni organiche
- ✓ Somministrazione di fitofarmaci (pesticidi, erbicidi)

di origine industriale e civile:

- ✓ Attività legate alla gestione dei rifiuti
- ✓ Attività legate ai processi produttivi

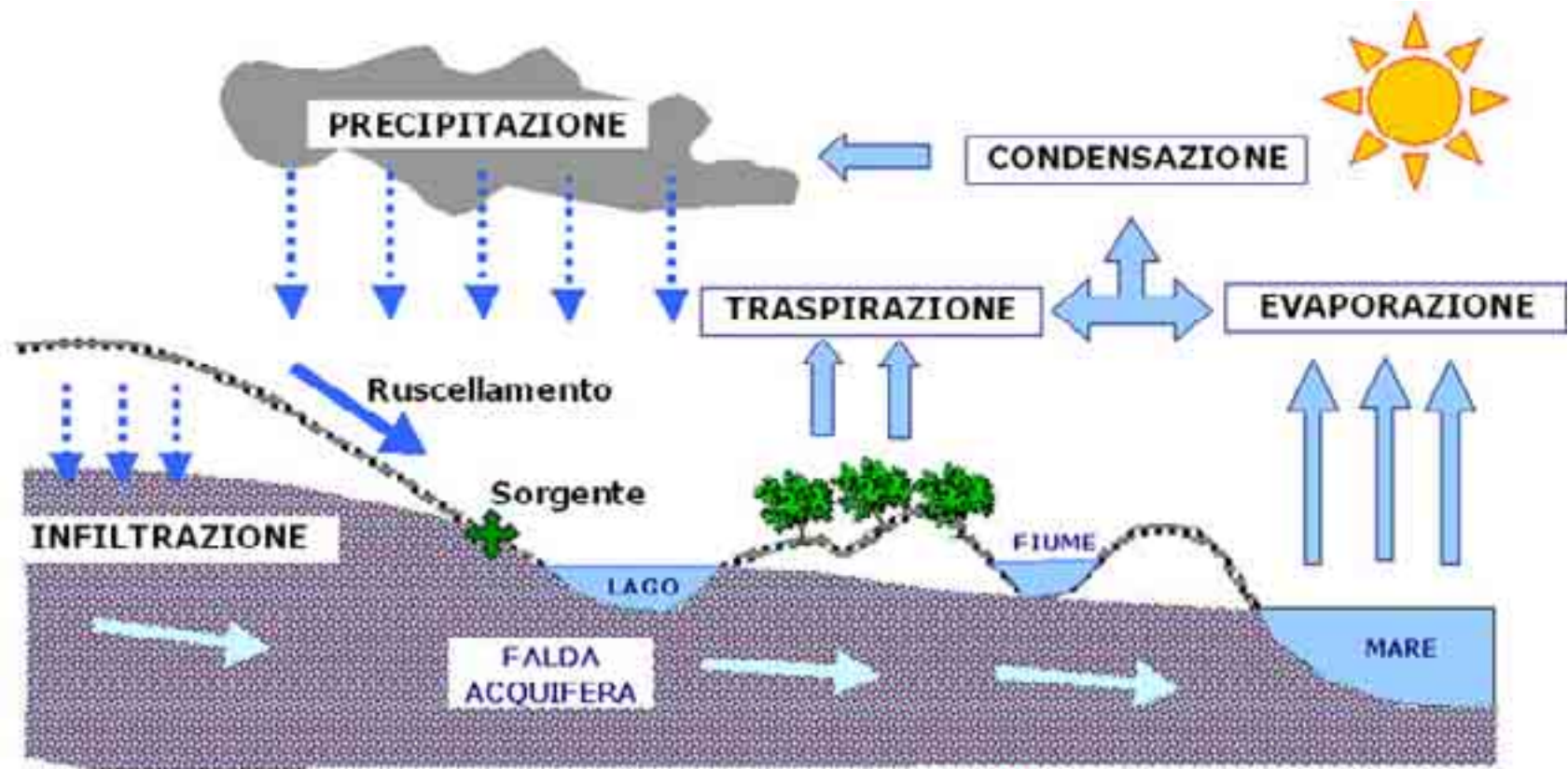
INDIRETTE:

- ✓ Fall-out atmosferico
- ✓ Acque di irrigazione contaminate

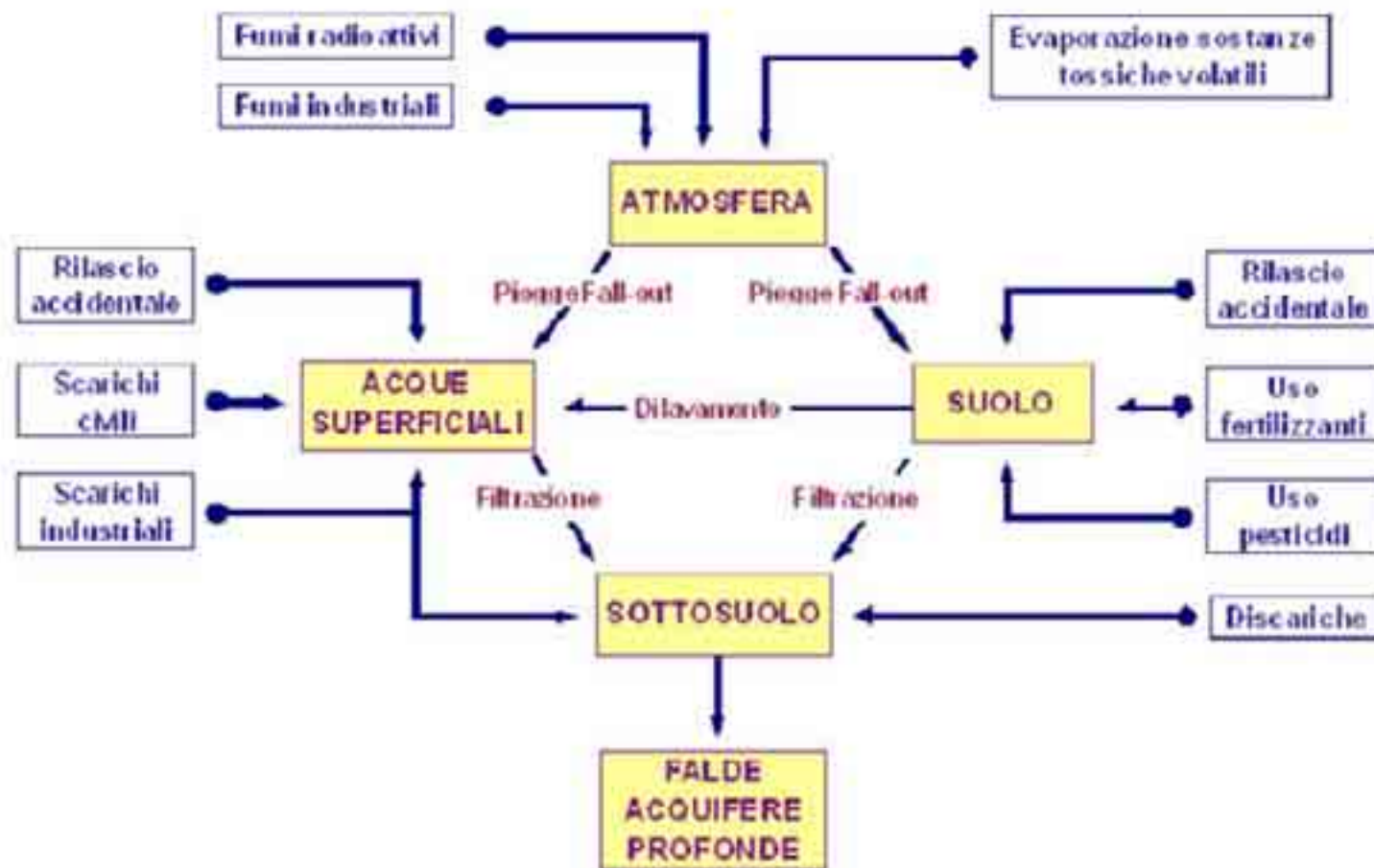
Gli effetti dell'inquinamento

- ✓ **Effetti diretti e indiretti sulle biocenosi animali e vegetali**
 - ◆ Fitotossicità
 - ◆ Zootossicità
- ✓ **Effetti diretti e indiretti sulla collettività umana**
 - ◆ Bioaccumulo
- ✓ **Effetti specifici:**
 - ◆ Modifica delle caratteristiche proprie
 - ◆ Presenza di agenti infettanti e di tossici
 - ◆ Compromissione della qualità delle acque superficiali e profonde
 - ◆ Danneggiamento estetico e ricreativo

Le interazioni fra il suolo e gli altri comparti ambientali



Le interazioni fra il suolo e gli altri comparti ambientali



Tipologia di inquinamento

(A) Biologico

(B) Fisico

(C) Chimico

(A) Inquinamento biologico

È legato alla presenza di microrganismi che rappresentano una minaccia per le altre biocenosi

- ✓ **microrganismi saprofiti** → **Vivono in un proprio ambiente**
- ✓ **microrganismi patogeni** → **Vivono in simbiosi con altri organismi creando un ambiente che rappresenta la malattia per l'organismo ospite**

(B) Inquinamento fisico

Radioattività

ci preoccupa per le elevate concentrazioni che può raggiungere in particolari distretti territoriali

- naturale raggi cosmici
 materiali terrestri

- indotta per : traslazione
 abbandono

(C) Inquinamento chimico

differenziazione in base alla natura dei contaminanti:

- ✓ Solidi disciolti
- ✓ Sostanze Organiche:
 - ✓ Sostanze bioreagenti
 - ✓ Sostanze non bioreagenti
- ✓ Metalli pesanti (zinco, cadmio, mercurio, cobalto)
- ✓ Fertilizzanti organici e minerali (N, K, P)
- ✓ Pesticidi

Solidi disciolti

- ✓ L'elevato contenuto di solidi disciolti (TDS) causato dalla utilizzazione di acque ad elevata salinità.
- ✓ Aumento della pressione osmotica dovuto all'abbassamento del gradiente di concentrazione fra suolo (generalmente più diluito) e succhi cellulari (più concentrati)



Problemi all'assorbimento dei nutrienti da parte dell'apparato radicale.

Sostanze organiche

BIOREAGENTI:

Materiali organici vegetali ed animali
derivanti da attività urbane ed industriali

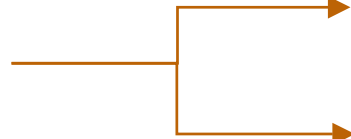
quantità
(capacità metabolica
delle biomasse)



Sostanze presenti in fase
liquida non acquosa NAPL

LNAPL (BTEX)

DNAPL (CAHs)



NON BIOREAGENTI:

Sostanze derivate da processi di
polimerizzazione

Persistenza e tossicità



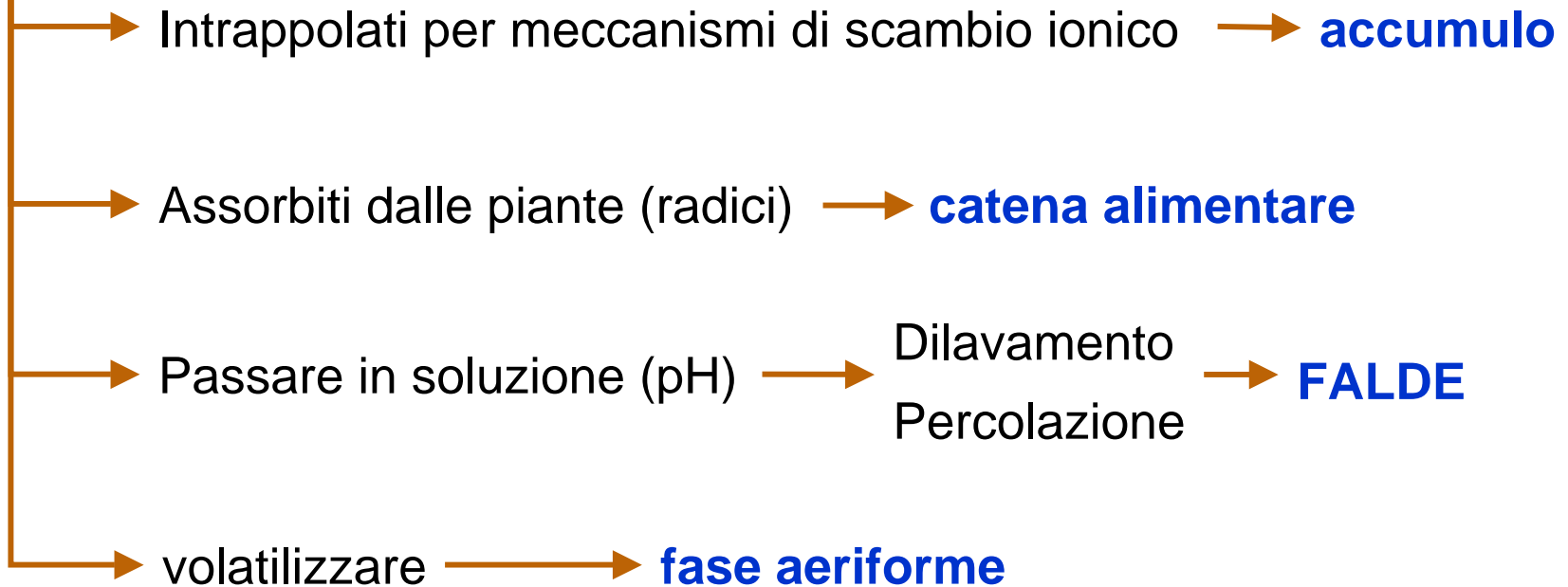
Metalli pesanti (Zn, Cd, Hg, Co, etc.)



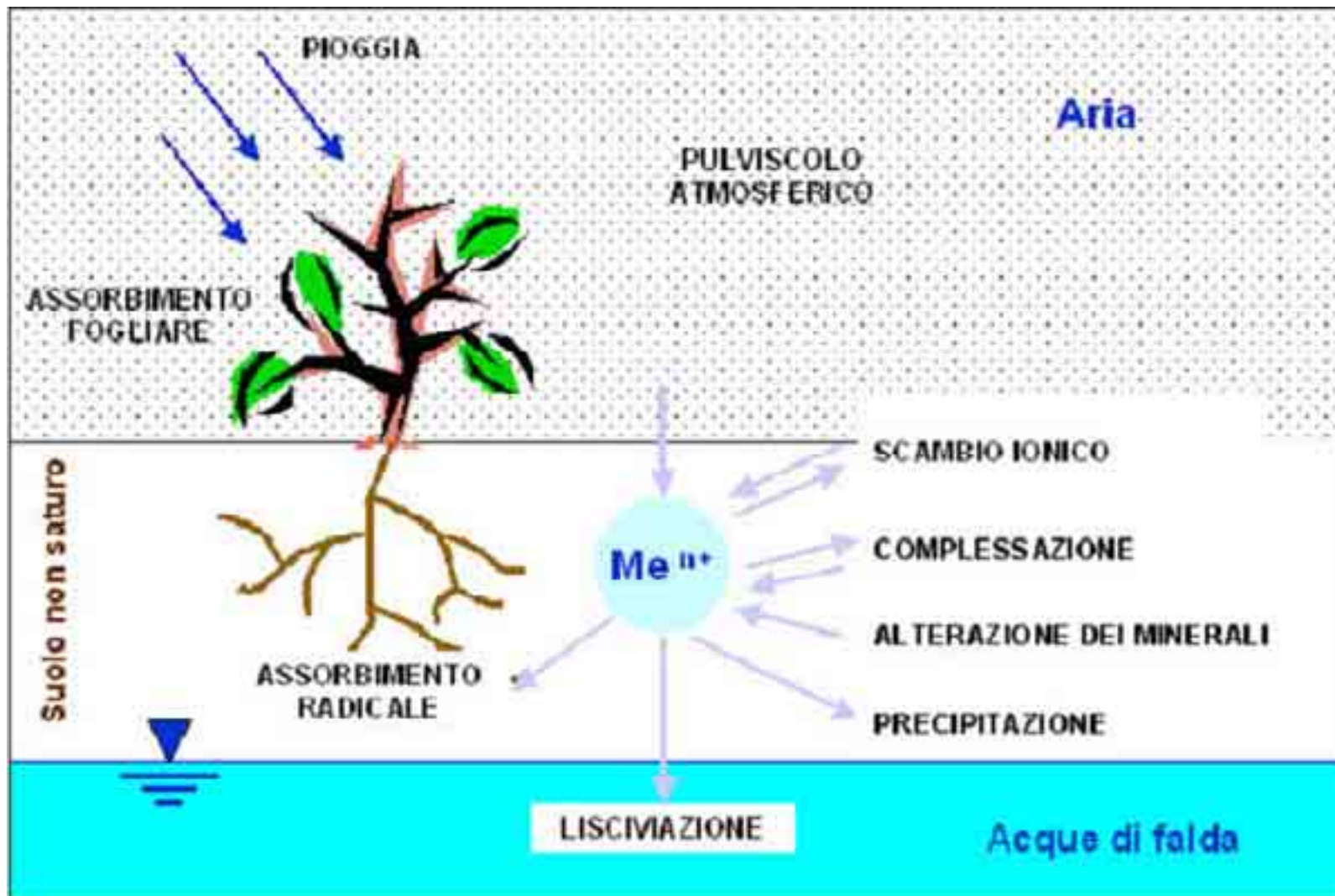
Metalli pesanti (Zn, Cd, Hg, Co, etc.)

DESTINO dipende dai parametri chimico-fisici

- pH
- Potenziale redox (Eh)
- C.S.C.



Processi che influenzano il comportamento dei metalli pesanti nel suolo



Fertilizzanti

Consentono l'aumento della fertilità del terreno e si classificano in:

✓ **CONCIMI:**

Forniscono gli elementi necessari allo svolgimento del ciclo vegetativo (**N** (nitrati) **P** (fosfati), oligominerali)

✓ **AMMENDANTI :**

Modificano le proprietà e le caratteristiche del terreno (struttura, tessitura, etc.)

Fertilizzanti

Effetti:

Il loro accumulo e la presenza in esuberanza può modificare gli equilibri nel terreno mediante:

- ✓ inibizione dell'attività delle flore batteriche;
- ✓ raggiungimento del comparto acqua andando ad ingenerare problemi di eutrofizzazione dei corpi idrici recettori.

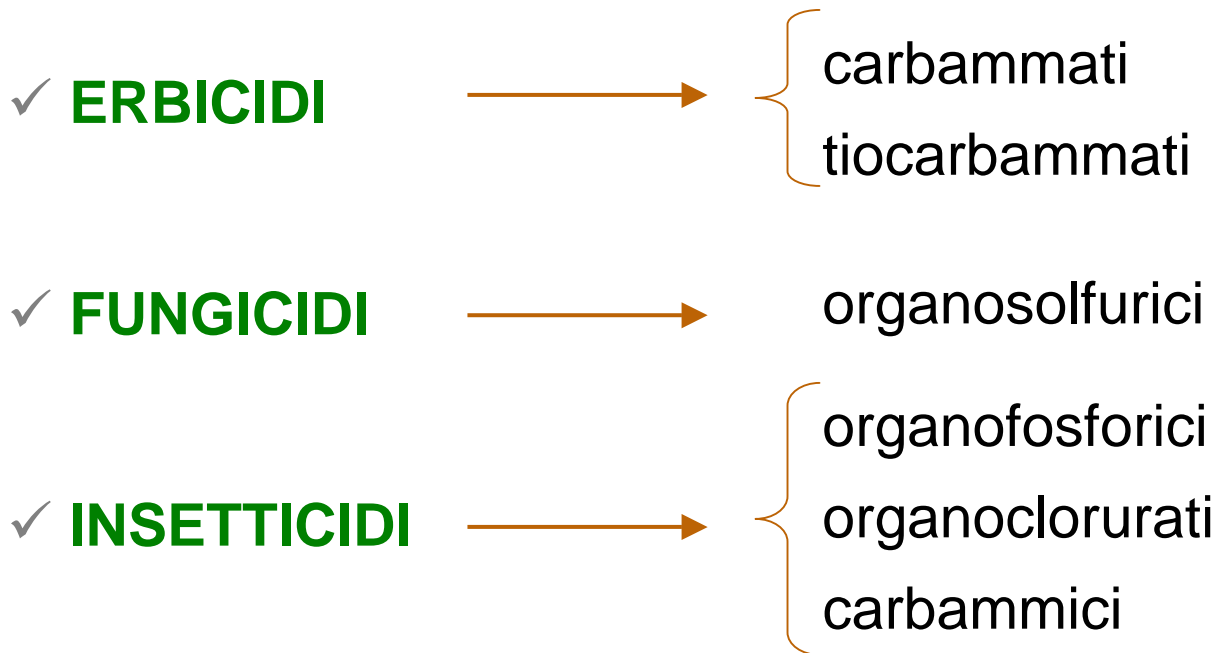
Destino:

- ✓ **sali azotati (N)** scarsa capacità di immobilizzazione (spesso richiede l'utilizzo di quantità esuberanti che poi possono raggiungere le acque per lisciviazione).
- ✓ **sali fosfatati (P)** tendono ad essere immobilizzati.

Pesticidi o Fitofarmaci

Medicinali per le piante che vengono utilizzati per eliminare le specie animali, vegetali o microbiche che danneggiano la produzione agricola

Classificazione in base all'individuo che combattono:



Pesticidi o Fitofarmaci

Meccanismi di azione

tossicità indotta nei confronti della biocenosi bersaglio, tuttavia la mancanza di **selettività** può indurre tossicità anche nei confronti di biocenosi diverse dal bersaglio.

VIA CHIMICA

Inibizione della produzione dell'enzima *acetilcolinestrerasi*, che regola la trasmissione degli impulsi nervosi alle sinapsi

VIA FISICA

1. Abrasione/adsorbimento che provocano asportazione del rivestimento ceroso del tegumento → **disidratazione**
2. Penetrazione per capillarità nell'apparato tracheale → **asfissia**

Effetti

Tossicità dei metaboliti → **esaltazione**

Bioaccumulo biomagnificazione → Assunzione dall'apparato radicale delle piante e introduzione nella catena alimentare (lipidi)

Pesticidi o Fitofarmaci

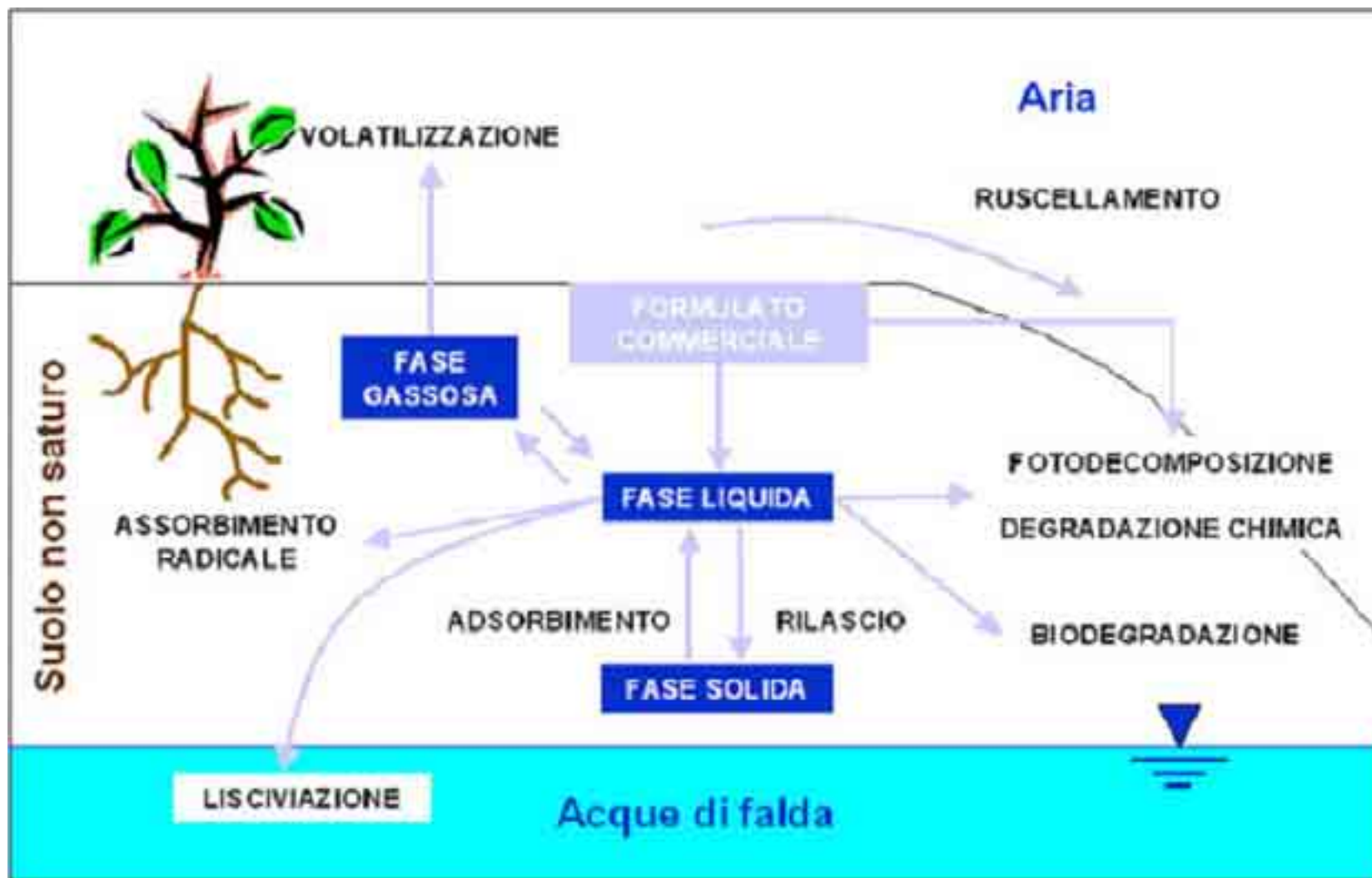
PERSISTENZA → Fattore importante in relazione alla possibilità di **ACCUMULO** dell'inquinante

PERIODO DI SICUREZZA

Periodo minimo di tempo che deve essere atteso fra l'ultima somministrazione e la raccolta in modo da garantire un sufficiente abbattimento della tossicità



Processi che influenzano il comportamento degli erbicidi nel suolo



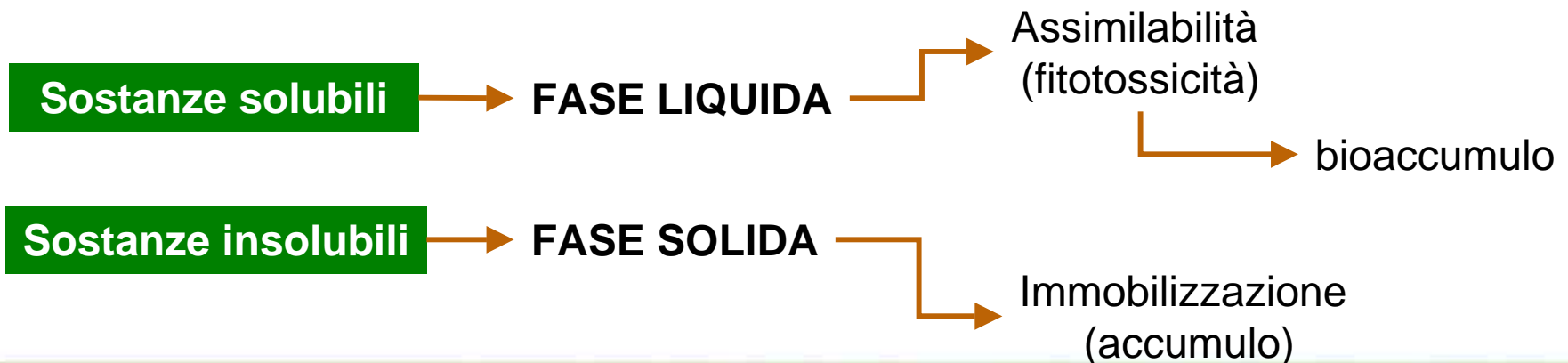
Trasformazione degli inquinanti chimici nel suolo

Inquinanti inorganici

a) Reazione (solubilità \longrightarrow pH)

b) Potenziale di ossido-riduzione (solubilità \longrightarrow Eh)

c) Contenuto in sostanza organica (C.S.C.)



Trasformazione degli inquinanti chimici nel suolo

Inquinanti organici:

Biomasse → Cicli naturali

Prodotti di sintesi →

- a) fotodecomposizione
- b) degradazione chimica
- c) degradazione microbiologica

a) degradazione chimica → { idrolisi
fotodecomposizione
redox

b) assorbimento da parte delle piante

Pesticidi →

- c) lisciviazione
- d) co-distillazione $\Delta C \rightarrow$ fase liquida $\rightarrow \Delta(TV) \rightarrow$ volatilizzazione
- e) volatilizzazione
- f) degradazione microbiologica → { natura del contaminate
tipo di biocenosi
solubilità

Processi autodepurativi del suolo

Detossificazione (totale o parziale) e non un trasferimento

✓ I FATTORI IDROGEOLOGICI

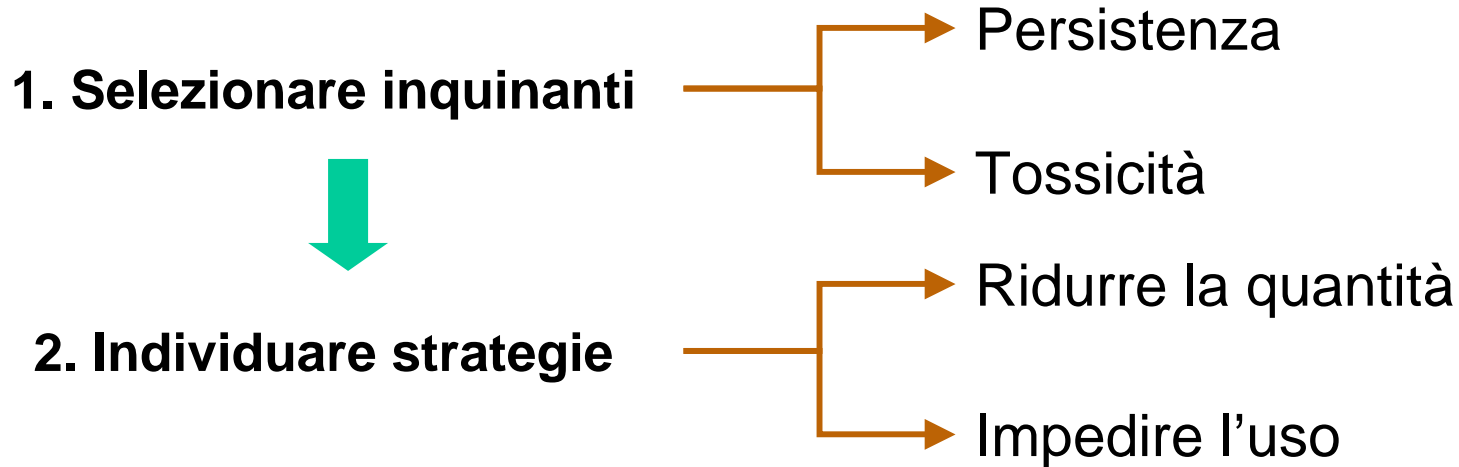
✓ VARIAZIONE DELLO STATO FISICO E CHIMICO DEGLI INQUINANTI

- ◆ densità
- ◆ solubilità
- ◆ reattività
- ◆ inerzia biochimica

✓ PROCESSI FONDAMENTALI

- ◆ precipitazione chimica
- ◆ adsorbimento
- ◆ scambio-ionico
- ◆ ossido-riduzione
- ◆ biodegradazione
- ◆ idrolisi
- ◆ osmosi
- ◆ volatilizzazione

Strategie di controllo dell'inquinamento:



Misure di controllo:

- ✓ **A LIVELLO AGRICOLO** →
 - Controllo dei metalli pesanti
 - Controllo dei fertilizzanti
 - Controllo dei pesticidi
- ✓ **A LIVELLO INDUSTRIALE E CIVILE**

Misure di controllo a livello agricolo

Intensificazione della lotta biologica: (alterazione dell'omeostasi ecologica)

- ✓ Introduzione di agenti biologici antagonisti Nemici naturali della specie che si vuole eliminare
- ✓ Introduzione di piante resistenti → Sostituzione delle colture con altre resistenti all'agente parassita
- ✓ Controllo genetico → Introduzione di insetti sterilizzati (ridurre la fertilità della specie parassita)
- ✓ Metodi biotecnici: fisici e chimici → Attirano gli animali in una trappola e li mettono a contatto con un agente pesticida lontano dalla pianta
- ✓ Controllo bioambientale → Modifica delle pratiche agricole in modo da creare un ambiente ostile
- ✓ Lotta integrata

Misure di controllo a livello industriale e civile

- ✓ Intervenire sul traffico veicolare
- ✓ Programmazione e gestione della raccolta, allontanamento e smaltimento dei rifiuti liquidi e solidi di varia origine e natura
- ✓ Controllare lo stato delle condotte fognarie per limitare le perdite