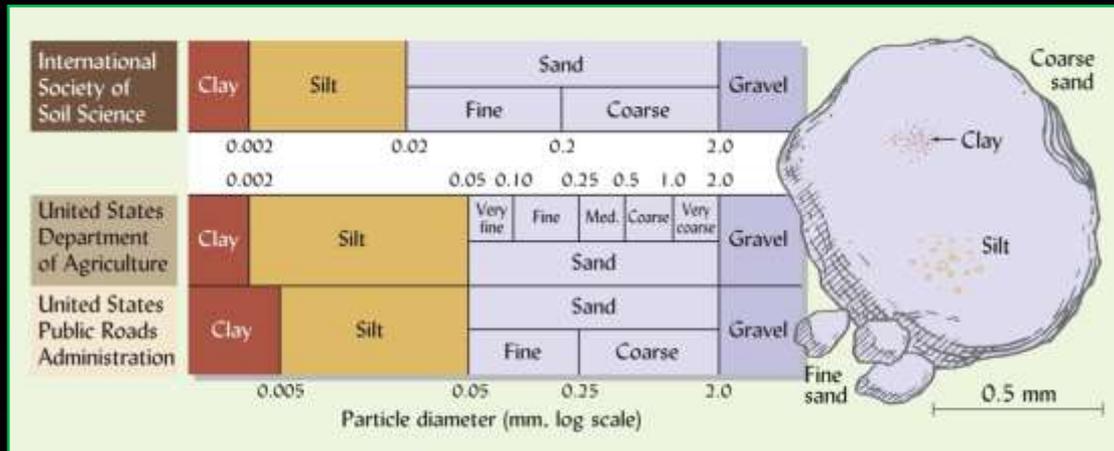


# Indicatori della fertilità fisica del suolo e loro significato diagnostico

Indicatore	Informazione
<b>Granulometria e tessitura</b>	Aerazione; ritenzione e movimento di acqua, di nutrienti, di inquinanti; contenuto in SOM e popolazioni edafiche; stato termico; lavorabilità; erodibilità.
<b>Densità apparente e porosità</b>	Grado di compattazione; erodibilità; rapporti tra le fasi; abitabilità fisica (capacità di ospitare aria, acqua, apparati radicali, <i>soil biota</i> ).
<b>Stabilità della struttura</b>	Coesività degli aggregati; resistenza all'erosione; suscettibilità al compattamento e al ristagno idrico; lavorabilità; riserva idrica.
<b>Profondità utile del suolo</b>	Volume di espansione radicale; riserva di acqua e di nutrienti; erodibilità; coltivabilità; forme d'uso del suolo.
<b>Conducibilità idrica satura, permeabilità, drenaggio interno, rischio di incrostamento</b>	Movimento dell'acqua in eccesso; erodibilità; tendenza al ristagno; capacità depurativa dei suoli; attitudine a ricevere lo spandimento di effluenti zootecnici, fanghi ed acque reflue; vulnerabilità delle risorse idriche.

# La granulometria

Indica la percentuale in peso delle diverse classi dimensionali (sabbia, limo, argilla) presenti nella terra fine ( $\emptyset < 2\text{mm}$ ).



(da Weil & Brady, 2017)

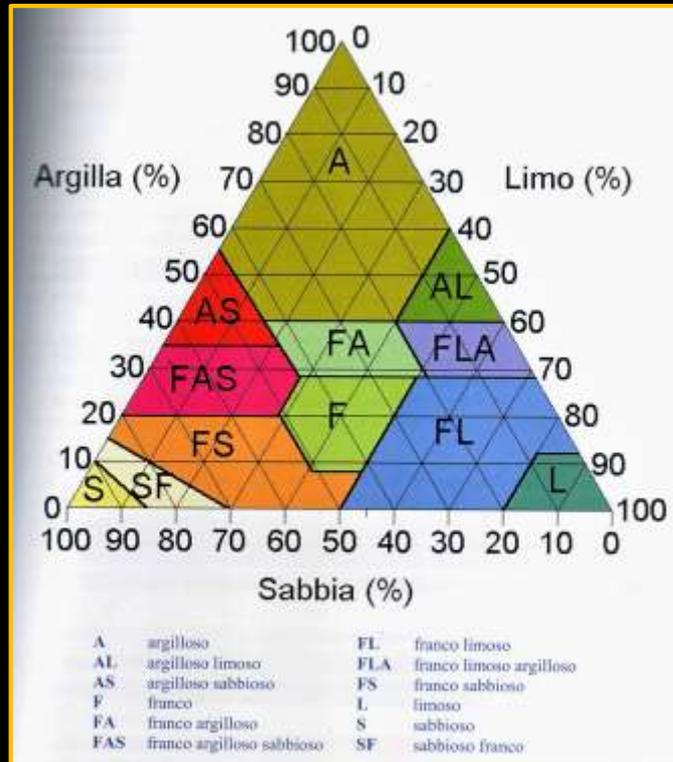
E' una **proprietà pedogenetica** e può essere determinata:

- in campagna mediante **valutazione sensoriale** al modellamento di un cilindretto di suolo bagnato,
- in laboratorio dopo rimozione dei cementi organici ed inorganici, dispersione e **sedimentazione diversificata** (legge di Stokes).

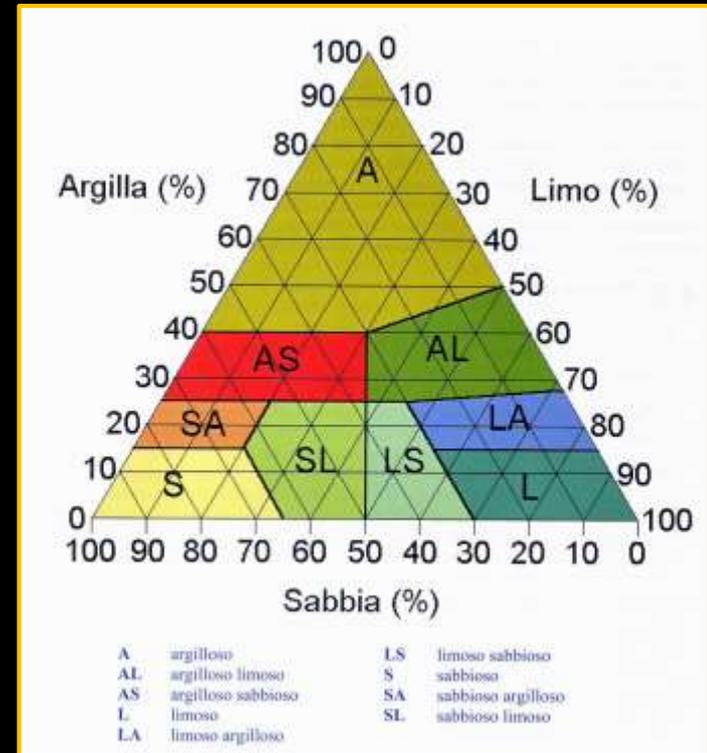
La granulometria di un suolo ne condiziona:

colore, profilo termico, capacità di riserva idrica, permeabilità all'aria e all'acqua, struttura, contenuto di sostanza organica,  $E_h$ , reattività delle superfici, disponibilità nutrienti, mobilità inquinanti, lavorabilità ed erodibilità.

# La classe tessiturale di un suolo viene attribuita mediante il triangolo della tessitura



**Triangolo della tessitura secondo USDA**



**Triangolo della tessitura secondo ISSS**

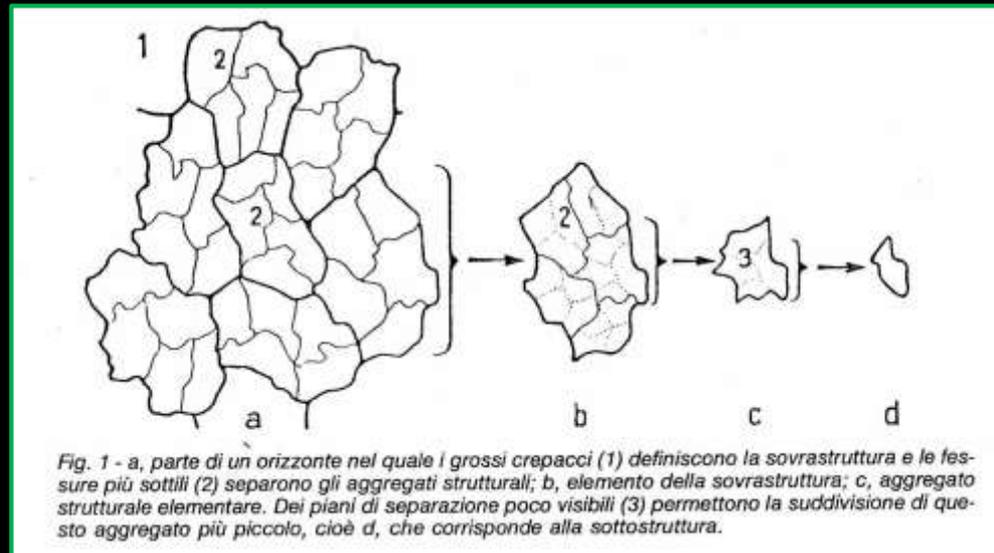
# Influenza delle tre frazioni granulometriche su alcune caratteristiche del suolo

Caratteristiche e comportamento del suolo	Classe granulometrica		
	Sabbia	Limo	Argilla
Aerazione	Eccellente	Buona	Scarsa
Drenaggio	Eccellente	Buono	Scarso
Capacità di fissare i nutrienti	Scarsa	Discreta	Elevata
Capacità di trattenere l'acqua	Scarsa	Discreta	Elevata
Distribuzione in profondità del calore	Rapido	Moderato	Lento
Lavorabilità dopo eventi piovosi	Eccellente	Discreta	Scarsa
Contenuto di sostanza organica	Scarso	Discreto	Elevato
Capacità di decomporre la sostanza organica	Eccellente	Discreta	Scarsa
Capacità di compattazione	Scarsa	Moderata	Elevata
Capacità di espansione e di contrazione	Molto scarsa	Scarsa	Moderata
Suscettibilità all'erosione operata dal vento	Moderata	Elevata	Scarsa
Suscettibilità all'erosione operata dall'acqua	Scarsa	Elevata	Elevata
Capacità di tamponare variazioni di pH	Scarsa	Discreta	Elevata

(da Violante, 2013)

# La struttura

Esprime l'arrangiamento spaziale delle particelle del suolo a costituire grumi o aggregati secondo una scala gerarchica di aggregazione a formare architetture fisicamente eterogenee e spazialmente complesse, circondate da un articolato sistema di pori.



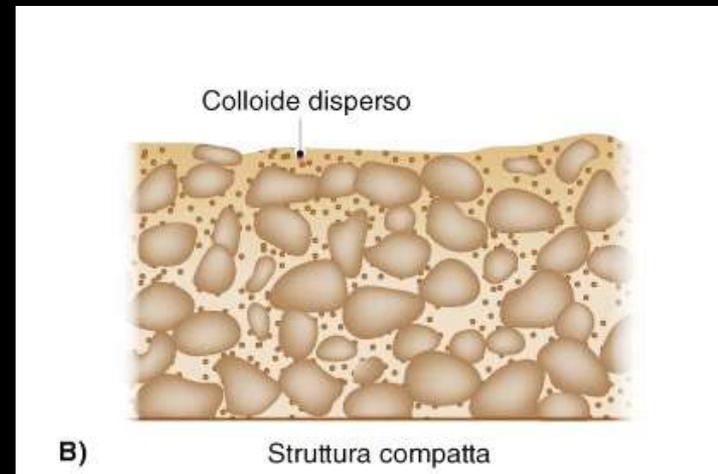
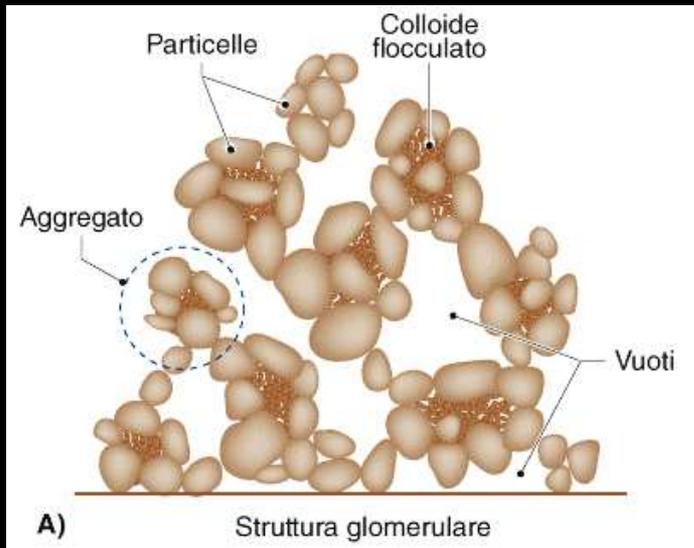
E' una **proprietà dinamica** e può essere determinata:

- in campagna mediante **ispezione visiva del suolo**,
- in laboratorio con metodi di **analisi di immagine di microsezioni di suolo**.

Rappresenta il principale indicatore della fertilità fisica

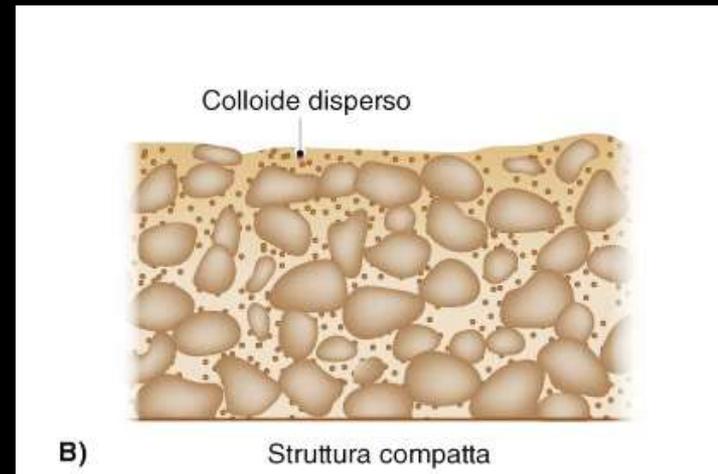
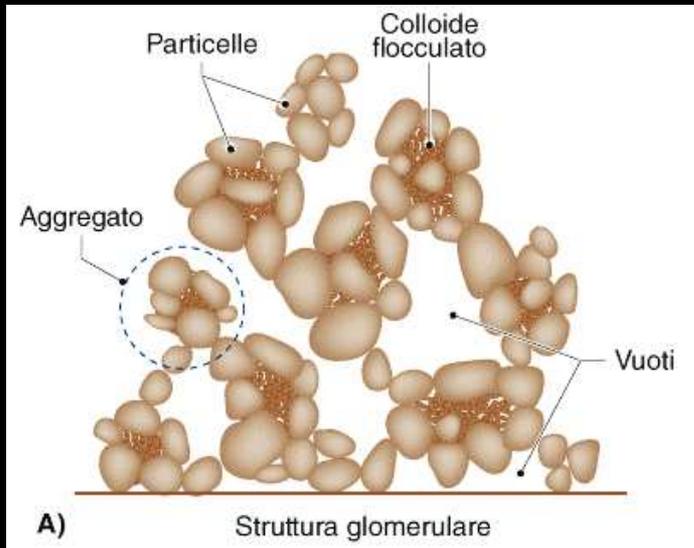
## La struttura può essere distrutta:

- da lavorazioni frequenti, energiche e profonde
- dall'azione battente della pioggia e dalla compressione soprattutto su suolo nudo
- dai processi di rapido inumidimento che generano compressione dell'aria all'interno del sistema dei pori
- per dispersione dei colloidi dovuta al Na di scambio, o a perdita di SOM per mineralizzazione
- terreni limosi e argilloso-sodici sono i più vulnerabili



## La struttura può essere ripristinata:

- riducendo le lavorazioni
- assicurando una copertura vegetazionale continua (graminacee e leguminose) per limitare i danni dell'azione battente della pioggia
- utilizzando i residui colturali come pacciamante
- apportando matrici organiche (ammendanti, sovescio) per favorire l'attività biotica, il rilascio di humus e di polisaccaridi
- evitando l'apporto Na di scambio con le acque irrigue e favorirne il dilavamento nei suoli salini
- apportando cationi flocculanti (Ca) e gestendo l'apporto di K



# Un importante indicatore fisico è rappresentato dall'indice di stabilità degli aggregati (ISS)

Metodo a vaglio umido (Tiulin modif.)



$$I.S.S. = \frac{P_{dispersione\_aggregati} - P_{residuo}}{P_{tot}} \cdot 100$$

Tab. A4.2 Classificazione della struttura del terreno in base all'Indice di Stabilità (I.S.S.).

Indice di struttura	Qualità della struttura
0	Assente
1-10	Pessima
10-20	Scadente
20-30	Mediocre
30-50	Discreta
50-70	Buona
> 70	Ottima

# La profondità utile del suolo

La profondità utile dei suoli individua lo spessore di suolo biologicamente attivo, esplorabile e utilizzabile dalle piante per trarne acqua ed elementi nutritivi. La profondità utile, espressa in centimetri, è definita come distanza tra la superficie del terreno e lo strato del profilo che costituisce un ostacolo alla penetrazione della maggior parte delle radici (roccia madre, orizzonte indurito, strato eccessivamente ghiaioso o sabbioso, falda acquifera). Si determina in campagna mediante **ispezione visiva del suolo**.

Valutazione	cm
Molto scarsa	< 25
Scarsa	25 - 50
Moderatamente elevata	51 - 100
Elevata	101 - 150
Molto elevata	> 150

La profondità utile del suolo determina la riserva idrica, l'accesso ai nutrienti, l'areeggiamento del suolo, l'ancoramento della pianta, l'erodibilità, la capacità protettiva, lo spazio biologico per il *soil biota*.

# La profondità utile del suolo



Esempio di sistemazione del terreno a bauli per accrescere il volume di suolo esplorabile dalle radici: nuovo impianto di agrumeto presso l'azienda Xirumi (SR).

# La profondità utile del suolo



Esempio di sistemazione del terreno a bauli per accrescere il volume di suolo esplorabile dalle radici: agrumeto in produzione presso campi Anecoop (Valencia, E).

# La profondità utile del suolo



L'instabilità dovuta a suoli poco profondi (o resi tali da processi erosivi) vale anche in ambito forestale.

# Permeabilità e conducibilità idraulica satura

La permeabilità esprime il flusso idrico nel suolo saturo d'acqua (secondo la legge di Darcy) ed è influenzata dalle sue proprietà fisiche (tessitura, struttura, porosità).

$$\frac{Q}{t} = A \cdot K_{\text{sat}} \cdot \frac{\Delta\psi}{L}$$

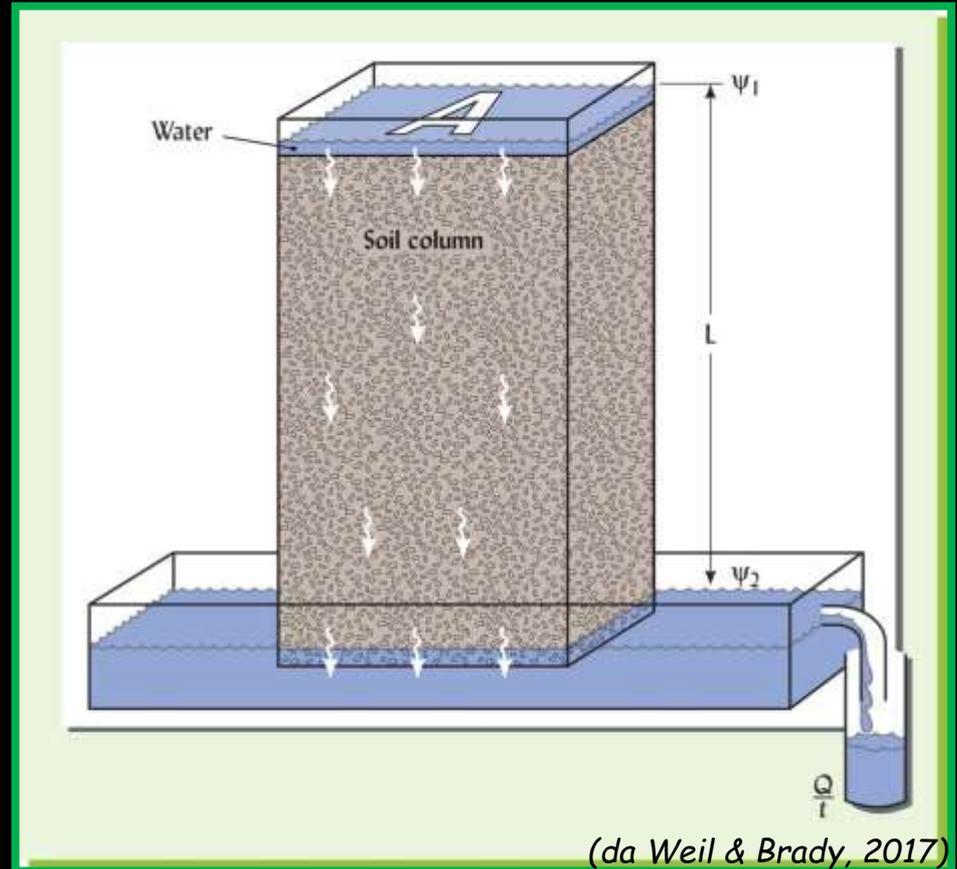
dove:

$Q/t$  = flusso idrico

$A$  = sezione della colonna di suolo

$K_{\text{sat}}$  = conducibilità idraulica in condizioni di saturazione

$\Delta\psi/L$  = gradiente idraulico



Misurando sperimentalmente la permeabilità e riarrangiando la legge di Darcy si può calcolare il valore di  $K_{\text{sat}}$ .

# Permeabilità e conducibilità idraulica satura

Il valore di  $K_{sat}$  è definito dalla porosità del mezzo, in particolare dalla dimensione dei pori, dalla tessitura, struttura, figure superficiali.

Classe del drenaggio del suolo	Conducibilità idrica in condizioni di saturazione $K_{sat}$ ( $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	Classe tessiturale del suolo
I: molto lento	<0,1	Argillosa
II: lento	0,1 - 0,5	Franco-argillosa
III: moderatamente lento	0,5 - 2,0	Franco- argilloso-limosa
IV: moderato	2,0 - 6,0	Franco-limosa
V: moderatamente rapido	6,0 - 12,5	Franca
VI: rapido	12,5 - 25,0	Franco sabbiosa
VII: molto rapido	>25,0	Sabbiosa

Cod	Classe	$K_{sat}$ ( $\mu\text{m/s}$ )	$K_{sat}$ ( $\text{mm/h}$ )
1	Molto bassa	<0,01	<0,036
2	Bassa	0,01-0,1	0,036-0,36
3	Moderatamente bassa	0,1-1	0,36-3,6
4	Moderatamente alta	1-10	3,6-36
5	Alta	10-100	36-360
6	Molto alta	>100	>360

(National Soil Handbook)

# Stima della permeabilità

La  $K_{sat}$  permette di stimare la classe di permeabilità che, riferita all'intero suolo, è quella dell'orizzonte per cui è stata stimata la classe più bassa della sezione di controllo, oppure dello strato 0-150 cm, se più profondo.

Nome	Cod.	Classe	Proprietà del suolo
ELEVATA	6	Molto alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- frammentale</li> <li>- tessitura sabbiosa o sabbiosa grossolana e consistenza sciolta</li> <li>- pori verticali medi o più grossolani con alta continuità &gt;0,5%</li> </ul>
	5	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- altri materiali sabbiosi, sabbiosi-frammentali o limi grossolani che sono molto friabili, friabili soffici o sciolti.</li> <li>- da molto bagnato a umido ha una struttura granulare moderata o forte oppure poliedrica forte di ogni dimensione o prismatica più fine della molto grossolana, e molte figure superficiali eccetto facce di pressione o <i>slickensides</i> sulle facce verticali degli aggregati;</li> <li>- pori verticali medi o più grossolani con alta continuità da 0,5 a 0,2%</li> </ul>
MEDIA	4	Moderatamente alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- classi sabbiose di diversa consistenza eccetto che estremamente massive o cementate;</li> <li>- 18-35% di argilla con struttura moderata esclusa la lamellare e la prismatica forte molto grossolana e comuni figure superficiali eccetto facce di pressione e <i>slickensides</i>;</li> <li>- pori verticali medi o più grossolani con alta continuità da 0,1 a 0,2%</li> </ul>
	3	Moderatamente bassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- altre classi sabbiose da estremamente massive a cementate;</li> <li>- 18-35% di argilla con altre strutture e figure superficiali eccetto facce di pressione e <i>stress cutans</i></li> <li>- &gt;35% di argilla con struttura moderata eccetto la lamellare o prismatica molto grossolana e con comuni figure superficiali eccetto <i>stress cutans</i> o <i>slickensides</i></li> <li>- pori verticali medi o più grossolani con alta continuità &lt;0,1%</li> </ul>
LENTA	2	Bassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cementazione continua moderata o debole;</li> <li>- &gt;35% di argilla e con le seguenti proprietà: struttura debole; struttura debole con poche o nulle figure superficiali verticali; struttura lamellare; comuni o molti <i>stress cutans</i> o <i>slickensides</i>.</li> </ul>
	1	Molto Bassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cementazione continua indurita o fortemente cementata e poche radici;</li> <li>- &gt;35% di argilla e massiva o chiari strati orizzontali di deposizione e poche radici.</li> </ul>

# Attitudine dei suoli allo spargimento degli effluenti

Allo scopo di limitare il rischio di inquinamento degli acquiferi ed il rischio di degradazione del suolo, l'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento, acque reflue e digestato deve essere subordinata alla conoscenza delle caratteristiche pedoambientali ed alla variabilità spaziale delle stesse.

La valutazione dell'attitudine dei suoli allo spandimento di tali prodotti costituisce parte integrante del piano di utilizzazione agronomica. Tale valutazione dovrà considerare una serie di caratteri del suolo, in particolare:

- capacità di accettazione di liquami senza scorrimento superficiale
- capacità depurativa del suolo
- rischio di incrostamento
- rischio di inondazione

# Attitudine dei suoli allo spargimento degli effluenti

La valutazione combinata della capacità di accettazione degli effluenti, della capacità depurativa dei suoli, del rischio di incrostamento e del rischio di inondazione consente di definire le classi di attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici.

**Tabella 11 – Attitudine allo spandimento (A+B+C+D)**

QUALITÀ DELLE TERRE	ATTITUDINE ALLO SPANDIMENTO		
	Elevata	Moderata	Bassa
Capacità di accettazione dei liquami senza rischi di scorrimento (A)	Molto alta - Alta	Moderata	Bassa – Molto bassa
Capacità depurativa (B)	Molto alta - Alta	Moderata	Bassa – Molto bassa
Rischio di incrostamento (C)	Basso	Moderato	Elevato
Rischio di inondazione (D)	Assente	Raro	Occasionale

Nei suoli che presentano bassa attitudine allo spandimento degli effluenti, il limite massimo di  $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  deve essere ridotto del 30%, se l'attitudine è moderata la riduzione sarà del 20%.

# Indicatori della fertilità chimica del suolo e loro significato diagnostico

## Indicatore

## Informazione

pH

Biodisponibilità dei nutrienti; disponibilità e mobilità degli inquinanti; abitabilità per la pianta e il *soil biota*

Capacità di scambio cationico

Potere tampone del suolo; capacità di ritenzione e di rilascio dei nutrienti

Grado di saturazione in basi

Potere tampone del suolo

Ca, Mg, K e Na scambiabili

Disponibilità per la nutrizione minerale della pianta; bilanciamento ionico; sodicità

Conducibilità elettrica

Disponibilità dei nutrienti per le piante; salinità

Calcare totale e attivo

pH; disponibilità dei nutrienti per le piante; struttura

Micronutrienti, metalli pesanti (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) ed agrofarmaci

Livelli di contaminazione locale e diffusa; attitudine a ricevere lo spandimento di fanghi, reflui e compost; vulnerabilità del suolo e delle risorse idriche; forma d'uso del suolo

C totale (e sostanza organica)

Riserva di nutrienti e delle risorse biologiche, stabilità della struttura, ritenzione di pesticidi e di acqua

Forme organiche e minerali dell'azoto e dello zolfo

Riserva di nutrienti e qualità della sostanza organica, tasso di immobilizzazione e di mineralizzazione, potenziale di lisciviazione del nitrato e di inquinamento delle falde

P assimilabile

Disponibilità per la nutrizione minerale della pianta



# Classificazione dei terreni in base al grado di reazione

Scala IUSS		Scala USDA	
Classificazione	pH in H <sub>2</sub> O	Classificazione	pH in H <sub>2</sub> O
		Estremamente acidi	< 4,5
		Molto fortemente acidi	4,5-5,0
Peracidi	< 5,3	Fortemente acidi	5,1-5,5
Acidi	5,4-5,9	Moderatamente acidi	5,6-6,0
Subacidi	6,0-6,7	Debolmente acidi	6,1-6,5
Neutri	6,8-7,2	Neutri	6,6-7,3
Subalcalini	7,3-8,1	Debolmente alcalini	7,4-7,8
Alcalini	8,2-8,8	Moderatamente alcalini	7,9-8,4
Peralcalini	> 8,8	Fortemente alcalini	8,5-9,0
		Molto fortemente alcalini	> 9,0

# Il grado di reazione (pH) del suolo

**Table 4.3.1.1.3.2.—Agronomic Interpretations (Indications and Associated Conditions) of pH Ranges (HACH Co, 1993; Ryan et al., 2001).**

pH	Interpretation
pH <5.5	Soil is deficient in Ca and Mg and should be limed. Poor root growth due to low cation-exchange capacity (CEC) and possible Al <sup>3+</sup> toxicity. Phosphorus deficiency is likely.
pH 5.5–6.5	Soil is low in carbonate but should be monitored. Satisfactory for many crops.
pH 6.5–7.5	Ideal range for most crops. Soil CEC is near 100%.
pH 7.5–8.4	Free carbonate present in soil. Usually excellent infiltration and percolation of water related to high Ca saturation of clays. Typically P and micronutrients less available.
pH >8.4	Typically, indicative of sodic soil. Poor soil physical conditions. Low infiltration and percolation. Possible root deterioration and organic matter dissolution.

Il variare del grado di reazione modula le differenti caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo

# La capacità di scambio cationico

La capacità di scambio cationico (CSC) è espressa come la somma dei cationi scambiabili per unità di massa di suolo, ovvero in  $\text{meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  o, più correttamente secondo il SI, come  $\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

La CSC è quindi pari alla somma della carica superficiale di tipo permanente (dovuta a sostituzione isomorfa eterovalente nei minerali argillosi) e di tipo variabile (dovuta a dissociazione di gruppi  $-\text{OH}$  di spigolo nei minerali argillosi e di gruppi  $\text{R}-\text{COOH}$  e  $\text{Ph}-\text{OH}$  delle sostanze umiche).

Valutazione	$\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ di suolo
Molto bassa	< 5
Bassa	5 - 10
Moderatamente bassa	11 - 15
Moderatamente alta	16 - 24
Alta	25 - 50
Molto alta	> 50

# CSC e tessitura

Esiste una correlazione tra la classe tessiturale di un suolo e la sua CSC. Esempio di un suolo con  $\text{pH} < 7.0$ .

Classe tessiturale	CSC ( $\text{cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ di suolo)
Sabbiosa	1-8
Sabbiosa franca	9 - 12
Franco sabbiosa o franco limosa	13 - 20
Franca	21 - 28
Franco argillosa	29 - 40
Argillosa	> 40

# CSC e proprietà del suolo

Esiste una interdipendenza tra la CSC di un suolo ed alcune sue caratteristiche.

CSC ( $\text{cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ di suolo)	
1-10	11-50
Elevato contenuto di sabbia	Elevato contenuto di argilla
Bassa SOM	Alta SOM
Scarso potere tampone	Elevato potere tampone
Scarsa capacità di riserva di nutrienti, lisciviabilità	Elevata capacità di riserva di nutrienti, competizione con la pianta
Scarsa riserva idrica	Elevata riserva idrica
Macroporosità	Microporosità

# I cationi di scambio e il GSB

Il contenuto delle basi di scambio ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) è sperimentalmente determinato contestualmente alla analisi CSC.

Il grado di saturazione in basi (GSB) esprime il contenuto complessivo delle basi di scambio che saturano il complesso assorbente di un suolo, calcolato rispetto alla CSC, ed è così classificato:

Valutazione	GSB, %
Molto basso	< 35
Basso	35 - 50
Moderatamente alto	50 - 60
Alto	60 - 80
Molto alto	> 80

(SISS, 2006)

GSB è una variabile chimica collegata al potere tampone del suolo il quale è massimo quando il GSB è pari a 50%.

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di K<sup>+</sup> scambiabile:

Valutazione contenuto	mg K <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> di suolo
Molto basso	< 50
Basso	51 - 100
Medio	101 - 150
Alto	151 - 200
Molto alto	> 200

(SISS, 2006)

Secondo la tessitura del suolo, si considerano valori di sufficienza i seguenti contenuti di K<sup>+</sup> scambiabile

Tessitura	mg K <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> di suolo
Sabbiosa	66 - 82
Limosa	82 - 98
Argillosa	98 - 133

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di $\text{Ca}^{2+}$ scambiabile:

Valutazione contenuto	mg $\text{Ca}^{2+}$ $\text{kg}^{-1}$ di suolo
Molto basso	< 300
Basso	301 - 600
Medio	601 - 1000
Alto	1001 - 2000
Molto alto	> 2000

(SISS, 2006)

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di $\text{Mg}^{2+}$ scambiabile:

Valutazione contenuto	mg $\text{Mg}^{2+}$ $\text{kg}^{-1}$ di suolo
Molto basso	< 50
Basso	51 - 100
Medio	101 - 150
Alto	151 - 200
Molto alto	> 200

(SISS, 2006)

Mediamente il contenuto di  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  presenti come cationi di scambio nel suolo è così ripartito:

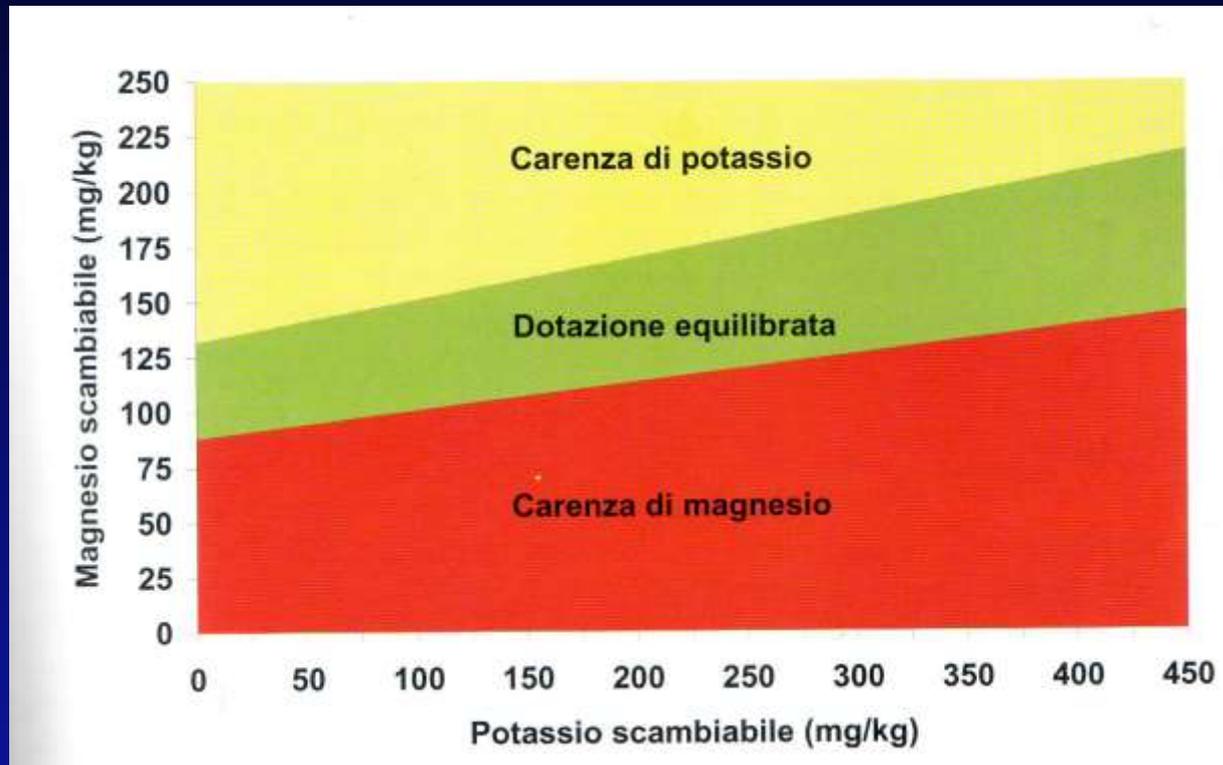
Specie chimica	Me/CSC, %
$\text{Ca}^{2+}$	60 - 80
$\text{Mg}^{2+}$	15 - 20
$\text{K}^+$	5 - 10

Poiché tra di essi vi è un rapporto di antagonismo nell'assorbimento radicale, non è tanto rilevante la quantità assoluta ma la quantità relativa con cui Ca, Mg e K sono presenti in forma scambiabile nel suolo.

	Rapporto di assorbimento ottimale (in meq · 100 g <sup>-1</sup> )
$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	10/1
$\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$	(5-2)/1

Il  $\text{Mg}^{2+}$  è il meno competitivo nella nutrizione minerale vegetale e può facilmente determinare fenomeni di carenza nella pianta se non si correggono gli squilibri nutrizionali del suolo con interventi mirati.

Dotazioni ottimali di magnesio nel suolo in funzione della quantità di potassio scambiabile. Il rapporto ottimale  $Mg^{2+}/K^+$  è tra 0.6 e 1.6 (se le quantità sono espresse in  $mg\ kg^{-1}$ ), mentre è tra 2 e 5 (se le quantità sono espresse in  $meq\ 100\ g^{-1}$ ).



Per una corretta valutazione dello stato nutrizionale dei suoli occorre quindi considerare non singolarmente, ma complessivamente la dotazione delle tre basi di scambio.

*Tabella 5.8.1 - Classificazione dei suoli in base ai contenuti di potassio scambiabile (mg/kg di K), magnesio scambiabile (mg/kg di Mg) e calcio scambiabile (mg/kg di Ca) secondo il sistema interpretativo Agrelan dell'ARPAV (per potassio e magnesio i giudizi sono riferiti a terreni di media CSC e argilla e con equilibrato rapporto Mg/K).*

Giudizio	ARPAV		
	Potassio	Magnesio	Calcio
molto povero	< 40	< 50	< 1000
scarso	40-80	50-100	1000-2000
medio	80-120	100-150	2000-3000
buono	120-180	150-200	3000-4000
ricco	180-240	200-250	4000-5000
molto ricco	> 240	> 250	> 5000

(ARPAV, 2007)

L'interazione tra elementi diversi all'interfaccia suolo-radice costituisce un aspetto di notevole rilievo nella nutrizione minerale delle piante.

# Il sodio

Ben rappresentato nella crosta terrestre (2.8%). La concentrazione di Na decresce in suoli sabbiosi ed in regioni climatiche fredde e piovose, mentre aumenta nelle regioni a clima caldo-arido. Nel suolo è sempre presente come  $\text{Na}^+$  e dimostra una scarsa affinità per le superfici di scambio. Nei suoli sodici, la formazione di carbonati e bicarbonati di Na idroliticamente alcalini innalza il pH del suolo oltre 8.5.

Le piante utilizzano quantità molto ridotte dell'elemento. Elevate concentrazioni nel suolo causano effetti tossici alla coltura.

Da notare che:

- ✓ il Na è sempre presente nelle acque superficiali o profonde
- ✓ elevate concentrazioni di Na creano carenze di Mg e Ca
- ✓ nel suolo determina dispersione della frazione colloidale con conseguente distruzione della struttura

# Il sodio

Il contenuto di Na si valuta non solo come contenuto assoluto, ma più efficacemente come % Na<sup>+</sup> scambiabile rispetto alla CSC, ovvero come ESP:

Tipo di suolo	Conduttività elettrica dell'estratto acquoso alla pasta satura (dS · m <sup>-1</sup> )	ESP	pH
Salino	> 4	< 15	< 8.5
Sodico	< 4	> 15	> 8.5
Salino-sodico	> 4	> 15	< 8.5

Classificazione dei suoli salini secondo l'U.S. Salinity Laboratory Staff

Per una corretta valutazione del Na nel suolo occorre ricordare che:

- sono temuti gli *eccessi* e non le *carenze*
- utili indici di attività del Na nel suolo sono l'ESP ed il SAR
- l'infiltrazione profonda di acque salmastre può apportare Na al profilo
- si può rimuovere l'eccesso di Na trattando il suolo con gesso

# La conducibilità elettrica (CE) dell'estratto acquoso di suolo

La CE rappresenta un indicatore chimico del contenuto di sali solubili presenti nel suolo per pedogenesi o per azione antropica.

La CE viene analiticamente determinata:

- sulla **pasta satura**, ovvero sul suolo portato alla sua capacità idrica massima ( $CE_e$ )
- su una **sospensione suolo/acqua 1:2** (p/v) ( $CE_{1:2}$ )
- su una **sospensione suolo/acqua 1:5** (p/v) ( $CE_{1:5}$ )

La CE determina:

- ✓ la classificazione dei suoli in salini o non salini
- ✓ la suscettibilità alla salinizzazione
- ✓ la concentrazione dei nutrienti solubili per le specie vegetali
- ✓ il potenziale idrico del suolo e la disponibilità idrica
- ✓ l'abitabilità per specie salino sensibili e le forme di gestione

# La CE misura la quantità di sali solubili del suolo

La CE di un suolo viene misurata mediante analisi conduttimetrica.

Valutazione	$EC_{1:2.5}$ (dS m <sup>-1</sup> , 25°C)
Trascurabile	0 - 0.5
Moderata	0.6 - 1.0
Forte	1.1 - 2.0
Molto forte	2.1 - 4.0
Eccessiva	> 4.0

(SISS, 2006)

Le colture presentano diversa sensibilità alla salinità del suolo.

ECe (mS/cm)	$EC_{1:2.5}$ (mS/cm)	Pericolo di depressione delle colture
<2,0	<0,5	Nessuno
da 2,1 a 4,0	da 0,5 a 1,0	Per colture sensibili
da 4,1 a 8,0	da 1,1 a 2,0	Per la maggior parte delle colture
da 8,1 a 16,0	da 2,1 a 4,0	Anche per le colture tolleranti
>16,0	>4,0	Per tutte le colture: resistono solo le piante alofile

(ARPAV, 2007)

# La salinità del suolo interferisce con la produttività

Livello di sensibilità o tollerabilità	Colture arboree	Colture orticole	Colture foraggere	Colture industriali e da granella
Sensibili (< 0,95 dSm <sup>-1</sup> )	Albicocco Arancio Ciliegio Limone Mandorlo Melo Pero Pesco Susino	Carota Cima di Rapa Cipolla Fagiolo Fragola Lampone		
Moderatamente Sensibili (0,95-1,95 dSm <sup>-1</sup> )	Pompelmo Vite	Cavolfiore Cavolo cappuccio Cavolo di Bruxelles Cetriolo Cocomero Fava Finocchio Lattuga Mais dolce Melanzana Melone Patata Peperone Pisello Pomodoro Radicchio Ravanello Sedano	Avena Erba medica Mais Trifoglio	Girasole Lino Mais Soia
Moderatamente Tolleranti (1,9-4,5 dS m <sup>-1</sup> )	Amarena Fico Mandarino Pioppo	Aglio Bietola da orto Broccolo Cavolo broccolo Spinacio Zucchino	Loiessa Orzo Veccia Vigna	Avena Cartamo Frumento tenero Riso Sorgo Soia
Tolleranti (4,5-7,7 dS m <sup>-1</sup> )	Olivo	Asparago Carciofo Fagiolino	Loglio perenne	Barbabietola Frumento duro Orzo Triticale
Molto tolleranti (7,7-12,2 dS m <sup>-1</sup> )	Palma da datteri	Rapa	Bromo catartico Ginestrino Gramigna	Canna da zucchero Cotone

**Tabella 4. Sensibilità e tolleranza relative alla salinità di diverse colture agrarie (da Flagella et al., 1999; Maas e Grattan, 1999)**

# Il calcare totale

Il calcare totale rappresenta la componente minerale costituita prevalentemente da carbonati di calcio, magnesio e sodio. Può costituire anche più della metà della frazione solida del terreno contribuendo in maniera determinante a definirne le proprietà.

Il contenuto di calcare totale è una caratteristica pedogenetica e può essere misurato:

- in campagna mediante **reazione di effervescenza** provocata dal contatto con una soluzione acquosa di HCl diluito 1:10,
- in laboratorio mediante **lettura al calcimetro** (metodo gas-volumetrico).

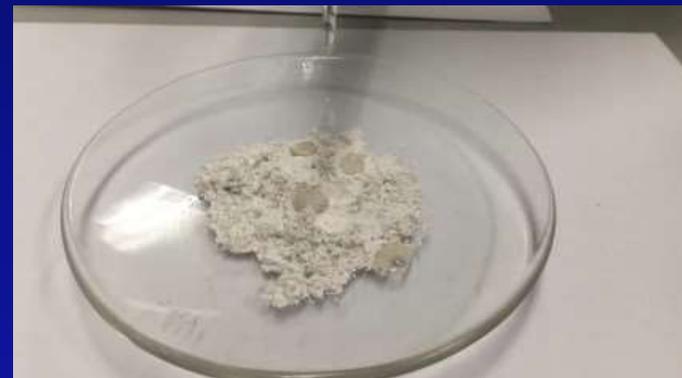
Il calcare totale del suolo determina:

- ❖ il pH del suolo e l'alcalinità costituzionale
- ❖ le caratteristiche fisiche (colore, struttura) del sistema
- ❖ la mobilità e biodisponibilità dei nutrienti e dei contaminanti
- ❖ il tasso di mineralizzazione della sostanza organica

# Il calcare totale

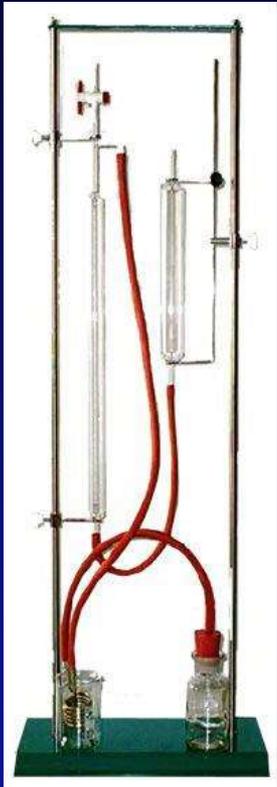
Il contenuto di calcare totale può essere stimato in campagna mediante reazione con soluzione acquosa di HCl diluito ed apprezzando sensorialmente (vista, udito) lo sviluppo di effervescenza.

Cod.	Classe	Effetti all'udito (campione tenuto vicino all'orecchio)	Effetti alla vista	Carbonati totali stimati (%)
0	Nulla	Nessuno	Nessuno	0
1	Molto debole	Da indistinto fino a scarsamente udibile	Nessuno	0,5
2	Debole	Da indistinto fino a moderatamente udibile	Debole effervescenza limitata a singoli granuli, appena visibile	2
		Da moderatamente a distintamente udibile	Debole effervescenza generale visibile ad una attenta osservazione	
3	Forte	Facilmente udibile	Moderata effervescenza; bolle evidenti fino a 3 mm di diametro	5
4	Violenta	Facilmente udibile	Forte effervescenza generale; ovunque bolle, fino a 7 mm di diametro, facilmente visibili.	>10



# Il calcare totale

Il contenuto di calcare totale può essere analiticamente misurato in laboratorio utilizzando il calcimetro di Dietrich-Fruhling.



Valutazione	Contenuto (%)
Non calcareo	< 0.5
Scarsamente calcareo	0.5 - 1.0
Debolmente calcareo	1.1 - 5.0
Moderatamente calcareo	5.1 - 10.0
Molto calcareo	10.1 - 20.0
Fortemente calcareo	20.1-40.0
Estremamente calcareo	> 40.0

(SISS, 2006)

# Il calcare attivo

Il calcare attivo rappresenta la frazione di calcare totale più finemente suddiviso, con una maggiore superficie specifica e quindi maggiormente reattivo in quanto più facilmente solubile ed idrolizzabile.

Il contenuto di calcare attivo viene determinato:

- in laboratorio mediante **estrazione e titolazione** (metodo Drouineau-Gallet).

Valutazione	Calcare attivo, g kg <sup>-1</sup>
Basso	< 50
Medio e alto	50 - 100
Molto alto	> 100

(SISS, 2006)

Il calcare attivo del suolo condiziona:

- il pH del suolo
- la biodisponibilità di P, Fe, Mn e Zn per la nutrizione minerale
- l'abitabilità per le specie agrarie (soprattutto arboree)
- il rilascio di forme solubili di Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>
- l'assimilabilità di K<sup>+</sup>

# Indice del potere clorosante (IPC)

Parametro proposto da Juste e Pouget (1972) misura il possibile disordine nutrizionale legato alla carenza di ferro assimilabile nei suoli calcarei.

$$IPC = (\text{CaCO}_3)_{\text{attivo}} \times 10^3 / (\text{Fe})^2$$

dove:

- $\text{CaCO}_3$  esprime il contenuto di calcare attivo ( $\text{g kg}^{-1}$ )
- Fe esprime il contenuto di Fe estraibile in ossalato di ammonio ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Valori di IPC  $> 100$  indicano suscettibilità della coltura alla clorosi, che comunque varia con la specie vegetale e la varietà

La clorosi ferrica si manifesta alla ripresa vegetativa con l'ingiallimento delle foglie apicali a partire dalle estremità



# Le proprietà fisico-chimiche del suolo impongono scelte colturali

Tabella 27.4. Requisiti ottimali per la coltivazione degli agrumi, anche ai fini della qualità.

REQUISITI	CONDIZIONI
<b>Climatici</b>	
Temperatura	> 3°C; < 30°C
Temperatura minima assoluta	0 - 1°C
Umidità atmosferica	> 50%
Precipitazioni	Integrabili dall'irrigazione fino a 900-1.000 mm anno <sup>-1</sup>
<b>Pedologici</b>	
Profondità	> 60 cm
Tessitura	franca o tendenzialmente tale
Permeabilità	50 - 150 mm h <sup>-1</sup>
Drenaggio	buono
Disponibilità di ossigeno	elevata e costante
Reazione (pH)	preferibilmente 6,5 - 7,5
Salinità del suolo	su arancio amaro < 3,5 dS m <sup>-1</sup> su citrange < 2,5 dS m <sup>-1</sup>
Calcare attivo	su arancio amaro < 10% su citrange < 7%
<b>Gestionali</b>	
Salinità dell'acqua irrigua	su arancio amaro < 3,0 dS m <sup>-1</sup> su citrange < 2,0 dS m <sup>-1</sup>

# Le proprietà fisico-chimiche del suolo impongono scelte colturali

Tabella 28.15. Caratteristiche dei portinnesti maggiormente utilizzati in Italia.

Portinnesto	Resistenza al calcare attivo	Soglia massima indice di potere clorosante	Vigoria	Adattamento al suolo	Resistenza alla siccità	Comportamento
1103 PAULSEN (Berl. X Rup.)	17%	30	Medio/ alta	Terreni argilloso-calcarei, non molto fertili, anche compatti e salmastri	Elevata	Tende a ritardare la maturazione dell'uva Elevata resistenza al salmastro
SO4 (Berl. X Rip.)	17%	30	Medio/ alta	Terreni freschi di medio impasto o sciolti; anche umidi	Scarsa	Molto selettivo verso il potassio Tende a ritardare la maturazione dell'uva
KOBER 5BB (Berl. X Rip.)	20%	40	Alta	Terreni argilloso-calcarei profondi	Scarsa	Imprime notevole vigoria alla marza, talvolta a scapito della gradazione zuccherina delle uve. Tende ad anticipare la maturazione dell'uva
420 A (Berl. X Rip.)	20%	40	Media	Terreni argilloso-calcarei profondi	Media	Soffre carenze in potassio, poco adatto nei reimpianti
140 RUGGERI (Berl. X Rup.)	40%	90	Alta	Terreni tendenti all'argilloso, fortemente calcarei e clorosanti, asciutti	Elevata	Teme l'umidità. Elevatissima resistenza alla clorosi
110 RICHTER (Berl. X Rup.)	17%	30	Alta	Terreni argilloso-calcarei, non molto fertili	Elevata	Tende a ritardare la maturazione dell'uva. Si adatta anche ai terreni acidi. Bassa resa in vivaio

# I microelementi

L'indice di disponibilità dei micronutrienti dà indicazioni sulla frazione potenzialmente utilizzabile dalle piante ed è valutato, per convenzione, in base all'efficacia di specifiche soluzioni estraenti scelte in funzione della correlazione tra contenuto di ciascun micronutriente nei tessuti vegetali e quantità dell'elemento rimovibile dal suolo.

Il grado di reazione del suolo rappresenta uno delle variabili più importanti nella valutazione della disponibilità dei micronutrienti.

Il contenuto di microelementi viene determinato analiticamente:

- in suoli neutri o alcalini mediante estrazione da suolo con soluzione di  $DTPA/CaCl_2$  e TEA tamponata a pH 7.3 (metodo Lindsay e Norvell);
- in suoli acidi mediante estrazione da suolo con soluzione di  $EDTA/CH_3COOH$  tamponata a pH 4.65 (metodo Lakanen ed Ervio);
- il B richiede un'estrazione con soluzione acquosa salina bollente.

Le soglie di carenza e di tossicità dei microelementi sono tra loro molto vicine e variano con il tipo di pianta.

Microelemento	Lindsay e Norvell (1978) <sup>1</sup>			Lakanen ed Ervio (1971) <sup>2</sup>		
	Povero	Normale	Ben dotato	Povero	Normale	Ben dotato
Rame (Cu)	< 0,2	0,2-1,0	> 1,0	< 5	5-10	> 10
Ferro (Fe)	< 2,5	2,5-4,5	> 4,5		50-100	
Manganese (Mn)	< 1,0	1,0-1,5	> 1,5	< 50	50-100	> 100
Zinco (Zn)	< 0,5	0,5-1,0	> 1,0	< 5	5-10	> 10
Boro (B)	Estratto di suolo in acqua calda <sup>3</sup>					
	< 0,2	0,2-0,5	> 0,5			
Molibdeno (Mo)	Estrazione con soluzione di Tamm (Grigg, 1953) <sup>4</sup>					
	< 0,2	0,2-0,4	> 0,5			
Cloro (Cl)	Estratto in acqua <sup>5</sup>					
	< 5	05-10	> 10	Dipende molto dalla tolleranza di ciascuna specie vegetale		
Cobalto (Co)	Estratto in acido acetico 2,5% a pH 2,5 <sup>6</sup>					
	< 0,1	0,1-2	> 2	Metodo per suoli con pH > 6,5 Valori superiori per suoli acidi		

# Metodi di analisi del carbonio organico del suolo

Analisi chimica per determinazione del contenuto totale di SOM (in  $\text{g kg}^{-1}$  di suolo, o in %) mediante:

- misura della perdita a fuoco per riscaldamento ad alte T ( $> 500\text{ }^\circ\text{C}$ ). Il metodo, veloce ma poco accurato, fornisce una misura indiretta della **sostanza organica del suolo**, calcolata come differenza di peso del campione prima e dopo il trattamento termico. Metodo non ufficiale.

- ossidazione del carbonio con dicromato di potassio 1 N ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) in ambiente acido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ed in condizioni controllate, seguita da titolazione redox con sale di Mohr [ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ]. E' il metodo più diffuso e stima direttamente il **contenuto di carbonio organico** (in  $\text{g C kg}^{-1}$  di suolo), che viene successivamente convertito in titolo di sostanza organica moltiplicando il valore sperimentalmente ottenuto per 1.724 (fattore di van Bemmelen). Metodo ufficiale

- analisi elementare di CN (S,O,H) mediante sistemi strumentali automatizzati. Metodo ufficiale.

# Metodi di analisi dell'azoto del suolo

Analisi chimica per determinazione del contenuto totale di azoto (in  $\text{g kg}^{-1}$  di suolo, o in %) mediante:

- ossidazione del campione di suolo in acido solforico concentrato (metodologia Kjeldahl), successiva distillazione in ambiente alcalino e titolazione acido-base. E' il metodo più diffuso e stima direttamente il **contenuto di azoto totale** (in  $\text{g N kg}^{-1}$ ). Metodo ufficiale
- misura dell'azoto inorganico (nitrico e ammoniacale) di scambio mediante estrazione da suolo con 2 M KCl (1:10, p/v, suolo soluzione) e successiva determinazione analitica strumentale. Metodo ufficiale.
- analisi elementare di **CN (S,O,H)** mediante sistemi strumentali automatizzati. Metodo ufficiale.

## Secondo il contenuto in carbonio organico totale ed azoto totale i suoli sono così classificati:

Valutazione contenuto	g C kg <sup>-1</sup> suolo secco
Molto scarso	< 4.5
Scarso	4.5 - 9.0
Medio	9.1 - 13.6
Elevato	13.7 - 18.1
Molto elevato	> 18.1

(SISS, 2006)

Valutazione suoli	g N kg <sup>-1</sup> suolo secco
Poveri	< 1.0
Mediamente dotati	1.0 - 1.5
Ben dotati	1.6 - 2.2
Ricchi	2.3 - 5.0
Molto ricchi	> 5.0

(SISS, 2006)

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di N minerale

Valutazione contenuto	mg N kg <sup>-1</sup> suolo secco
Basso	< 10
Medio	10 - 20
Ben fornito	> 20

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di S totale

Valutazione contenuto	mg S kg <sup>-1</sup> suolo secco
Basso	80
Medio	200
Ben fornito	450

# Metodi di analisi del fosforo del suolo

E' possibile determinare diversi *pool* del P nel suolo:

- ✓ P totale (per mineralizzazione con attacco acido a caldo)
- ✓ P organico (per trattamento termico ad elevata T)
- ✓ P assimilabile (mediante soluzioni estraenti: Olsen, Bray-Kurtz, Mehlich 3, acqua)

## Classificazione dei suoli secondo il contenuto di P assimilabile

Valutazione contenuto	mg P Olsen kg <sup>-1</sup> di suolo
Molto basso	< 10
Basso	10 - 20
Medio	20 - 30
Elevato	> 30

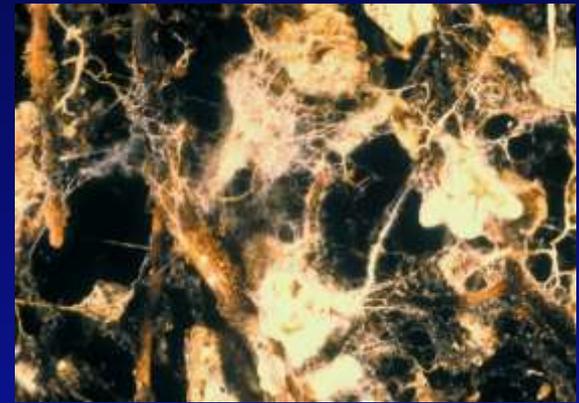
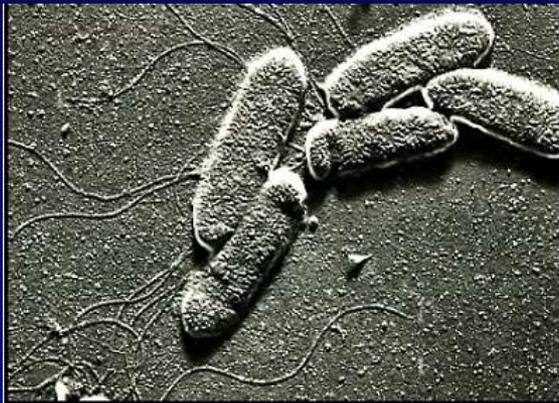
# Indicatori della fertilità biologica del suolo e loro significato diagnostico

PARAMETRO	INFORMAZIONE
Biomassa microbica	Dinamica degli elementi nutritivi, impatto di composti inquinanti e delle pratiche colturali
Respirazione basale	Ossidabilità della sostanza organica, impatto di fattori ambientali e/o antropici sullo stato fisiologico delle comunità microbiche
Azoto potenzialmente mineralizzabile	Stima della potenzialità del suolo a rifornire le piante di azoto, potenzialità di lisciviazione del nitrato
Attività enzimatiche	Dinamica degli elementi nutritivi, impatto degli inquinanti e delle pratiche colturali
Carica microbica	Dimensione della comunità microbica, impatto di sostanze inquinanti e delle pratiche colturali
Struttura delle comunità microbiche	Presenza di gruppi eco-fisiologici all'interno delle comunità microbiche, capacità di risposta e di adattamento delle comunità microbiche ai fattori di pressione ambientale e/o antropica
Microfauna (protozoi e nematodi)	Disponibilità degli elementi nutritivi, impatto di composti inquinanti e delle pratiche colturali
Mesofauna (collemboli ed acari)	Presenza di inquinanti
Macrofauna (lombrichi)	Impatto degli inquinanti e delle pratiche colturali
Piante bioindicatrici	Proprietà chimiche e fisiche del suolo, monitoraggio di inquinanti inorganici
Indicatori di diversità (S, H', E)	Stima della diversità tassonomica e/o metabolica delle comunità biotiche, capacità di risposta e di adattamento a fattori di pressione ambientale e/o antropica

# Indicatori biochimici

## Quantità della biomassa microbica

- ✓ Metodo della fumigazione con  $\text{CHCl}_3$  ed incubazione per 10 giorni a  $25^\circ\text{C}$  (CFI)
- ✓ Metodo della fumigazione con  $\text{CHCl}_3$  ed estrazione con  $0.5\text{ M K}_2\text{SO}_4$  (CFE)



$\text{CHCl}_3$

Determinazioni analitiche: MBC, MBN, MBP

# Determinazione del C e dell'N della biomassa microbica con il metodo CFE



Coltura	pH	Sostanza organica	Biomassa
Grano in monosuccessione (letamato)	7,6	4,83	393
Grano in monosuccessione (non letamato)	8,0	1,60	157
Foresta	7,5	7,40	786
Terreno a riposo	6,4	4,70	262
Prato	6,3	17,04	3220
Foresta	3,9	5,07	288
Foresta	7,7	5,50	554
Foresta	5,4	5,85	700
Prato (parco)	5,1	5,33	655

Tabella 12.1 – Valori della biomassa microbica (in mg C/g terreno) in terreni diversi per pH, sostanza organica (in %) e coltivazione (da Vance et al., 1987).

(ARPAV, 2007)

Il C della biomassa microbica rappresenta un indicatore sensibile e precoce dei cambiamenti legati alla gestione agronomica del suolo

Rotazione	Biomassa
Prato stabile	659,4±90
Rotazione Sessennale (medica, grano, bietola e mais)	217,3±15
Monosuccessione di grano	162,9±2

Tabella 12.2 – Valori della biomassa (in mg C/g terreno, media di 3 ripetizioni) di terreni della pianura veneta sottoposti per 20 anni alle stesse rotazioni.

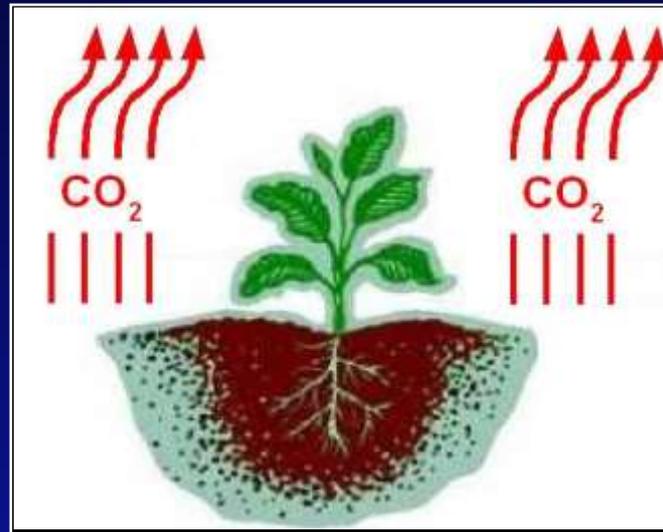
(ARPAV, 2007)

# Indicatori biochimici

## Attività della biomassa microbica

La respirazione del terreno ( $R_{bas}$ )

Viene sperimentalmente determinata come sviluppo di  $CO_2$  emessa dal suolo a seguito della mineralizzazione della sostanza organica. Dipende dalla natura e dalla quantità del residuo organico.

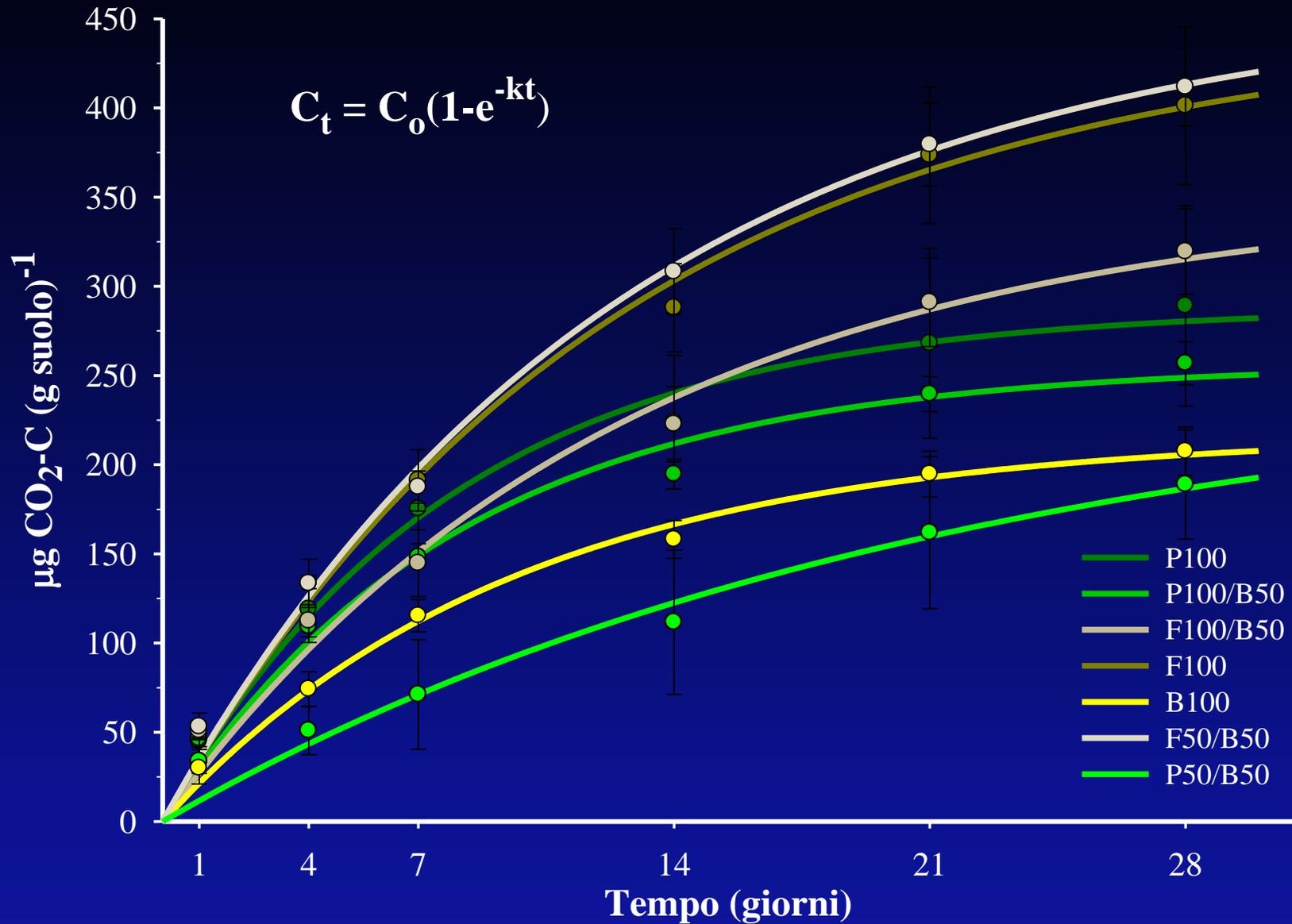


La respirazione del terreno può essere stimata mediante misure in laboratorio oppure mediante monitoraggi eseguiti *in situ*.

Nelle misure in laboratorio l'efflusso di  $\text{CO}_2$  indica le potenzialità della componente microbica del terreno di mineralizzare i substrati organici naturalmente presenti o sperimentalmente addizionati. Viene determinata mediante incubazione in condizioni ambientali controllate.



# Curve di respirazione basale di un suolo agrario



# Le fonti bibliografiche dei metodi analitici

## Metodi di diagnostica fogliare ed analisi della pianta

Reuter D.J. and Robinson J.B. 1986. **Plant analysis**: An interpretation manual. Inkata Press Melbourne, Australia

Jones Jr. J. Benton. 2001. **Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis**. CRC Press, Boca Raton, FL

Mills H. A. and J. B. Jones Jr. 1996. **Plant analysis handbook II**, Micro-Macro, Athens, GA

# Metodi ufficiali di analisi del suolo e dei fertilizzanti (Mipaaf)

Approvazione dei "Metodi ufficiali di **analisi fisica del suolo**". D.M. 1 agosto 1997, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 273 alla Gazzetta Ufficiale n. 204 del 2 settembre 1997.

Approvazione dei "Metodi ufficiali di **analisi chimica del suolo**". D.M. 13 settembre 1999, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 185 alla Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21 ottobre 1999.

**Rettifiche** al D.M. 13 settembre 1999 riguardante l'approvazione dei metodi ufficiali di **analisi chimica del suolo**. D.M. 25 marzo 2002, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 84 del 10 aprile 2002.

Approvazione dei "Metodi ufficiali di **analisi delle acque** per uso agricolo e zootecnico". D.M. 23 marzo 2000, pubblicato sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 87 del 13 aprile 2000.

Approvazione ed ufficializzazione dei "Metodi di **analisi microbiologica del suolo**". D.M. 8 luglio 2002, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 156 alla Gazzetta Ufficiale n. 179 del 1 agosto 2002.

Approvazione dei "Metodi ufficiali di **analisi biochimica del suolo**". D.M. 23 febbraio 2004, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 42 alla Gazzetta Ufficiale n. 61 del 13 marzo 2004.

Approvazione dei "Metodi ufficiali di **analisi mineralogica del suolo**". D.M. 21 marzo 2005, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 60 alla Gazzetta Ufficiale n. 79 del 6 aprile 2005.

# Metodi ufficiali di analisi del suolo e dei fertilizzanti (Mipaaf)

Raccolta di metodi a cura dell'Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo Agricolo e Forestale del MIPAAF in collaborazione con la Società Italiana della Scienza del Suolo.

1. Metodi di analisi **fisica** del suolo. 1997 (coord. M. Pagliai), Franco Angeli ed.
2. Metodi di analisi **chimica** del suolo. 2000 (coord. P. Violante), Franco Angeli ed.
3. Metodi di analisi delle **acque** per uso agricolo e zootecnico. 2001 (coord. G. Mecella), Franco Angeli ed.
4. Metodi di analisi **microbiologica** del suolo. 2002 (coord. G. Picci e P. Nannipieri), Franco Angeli ed.
5. Metodi di analisi **biochimica** del suolo. 2004 (coord. A. Benedetti e L. Gianfreda), Franco Angeli ed.
6. Metodi di analisi **mineralogica** del suolo. 2005 (coord. P. Adamo), Franco Angeli ed.
7. Metodi di analisi **molecolare** per lo studio dei microrganismi del suolo. 2010 (coord. S. Mocali), Ed. Cantagalli.
8. Metodi di analisi per i **fertilizzanti**. 2006. (coord. A. Trinchera, L. Leita, P. Sequi), CRA-MIPAAF, Roma
9. Metodi di analisi **chimica** del suolo. 2015, 3<sup>a</sup> versione, (C. Colombo, T. Miano a cura di), SISS-SILPA.