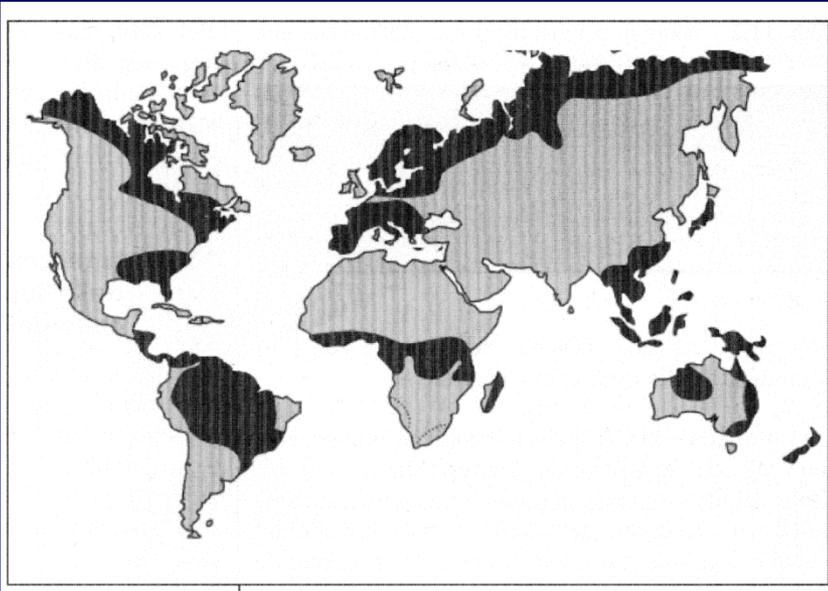


Suoli particolari.
Suoli acidi, calcarei, salini, alcalini

I suoli acidi

La caratteristica dominante nei terreni acidi ($\text{pH} < 5.5$) è la presenza sul complesso di scambio di notevoli quantità di ioni H^+ e Al^{3+} , più che di acidi liberi che sono peraltro soggetti a dilavamento. Il complesso di scambio è insaturo ($\text{GSB} < 50\%$).

L'acidificazione del suolo è un processo naturale in molti contesti pedoclimatici. Può essere promossa da attività antropiche.

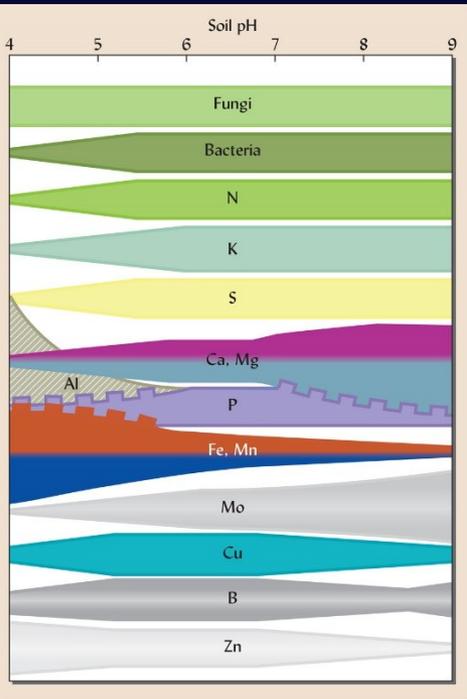


Tab. 11.1 - Estensione delle aree caratterizzate da acidità ($\text{pH} < 7,0$) e delle aree coltivate rispetto a tutte le aree libere dal ghiaccio presenti nei diversi Continenti (modificata da Uexküll e Mutert, 1995).

	Mondo	Africa	Australia/ Nuova Zelanda	Europa	Asia	America		
						Nord	Centro	Sud
Aree acide ($\text{pH} < 7$) · 10^9 ha	3,950	0,659	0,239	0,177	1,043	0,662	0,036	0,916
Aree totali · 10^9 ha	13,150	3,010	0,820	0,480	3,230	2,110	0,100	1,750
Aree acide/Aree totali (%)	30	22	29,1	37	32,3	31,3	36	52,3
Aree coltivate · 10^9 ha	1,400	0,158	0,032	0,154	0,519	0,239		0,077
Aree coltivate/Aree totali (%)	10,6	5,2	3,9	32,1	16	11,3		4,4

I suoli acidi

Fertilità chimica e biologica nei terreni acidi è compromessa da:



- alta mobilità e fitotossicità di Al, Mn, Fe, H⁺
- ridotta disponibilità di Ca, Mg, K, P, Mo e N
- alterata composizione e attività della componente biotica, con blocco della mineralizzazione della SOM, della nitrificazione e della azotofissazione biologica
- maggiore mobilità e bioattività di metalli pesanti

L'organizzazione strutturale è generalmente buona

I suoli acidi

Il recupero agronomico dei suoli acidi si realizza incorporando nel suolo quantità adeguate di correttivo al fine di modificare la composizione del complesso di scambio (aumentando il GSB) e spostare il pH verso la neutralità.

I correttivi più utilizzati (detti anche "calce", in gergo agronomico) sono in realtà composti basici del calcio e del magnesio, derivanti da rocce calcaree macinate o calcinate, quali: CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaO , MgO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Sostanza	Potere correttivo
CaCO_3	1,00
CaO	1,79
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,35
MgCO_3	1,19
MgO	2,50
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	1,09

A parità di grado di amminutamento (superficie attiva) il potere correttivo di tali composti viene convenzionalmente riferito a quantità equivalenti di CaCO_3 .

I suoli acidi

La “calce” aggiunta al suolo, reagisce con CO_2 e H_2O con formazione di ioni bicarbonato che, per idrolisi, liberano ioni OH^- :



La presenza di calcio e magnesio nel sistema induce la rimozione dalle superfici degli scambiatori degli ioni H^+ e Al^{3+} :



La progressiva neutralizzazione della carica positiva di H^+ e Al^{3+} , favorita dalla disponibilità di ioni OH^- , porta ad eliminare, anche se temporaneamente, le principali cause di acidificazione.

I suoli acidi

Viene definito **fabbisogno in calce** (FC) la quantità di CaCO_3 , o la quantità equivalente di CaO o di Ca(OH)_2 (espressa in tonnellate $\cdot \text{ha}^{-1}$ per una profondità di 30 centimetri), necessaria per portare il pH del suolo al valore desiderato. La quantità di calcare da impiegare varia in funzione della tessitura del suolo, risultando maggiore per più elevato contenuto di argilla.

La valutazione del fabbisogno in calce consiste nel titolare una sospensione del campione di suolo con una soluzione a titolo noto di una base standard (di solito Ca(OH)_2), accertando, dopo un tempo sufficiente a consentire completa neutralizzazione, la quantità di base necessaria per portare il pH del suolo al valore stabilito.

CaO e Ca(OH)_2 vengono messi sul mercato come polveri e la loro superficie attiva risulta, pertanto, sempre elevata.

L'amminutamento (finezza) del CaCO_3 deve essere garantito.

I suoli acidi

Il FC varia in funzione:

- del $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ del suolo (soil pH)
- del $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ desiderato (target pH)
- della tessitura e del contenuto in sostanza organica del suolo.

Normalmente per determinare il FC necessario per la correzione di un suolo acido si ricorre ad analisi di laboratorio ed all'impiego di valori tabellati del fattore di correzione (*lime factor*), secondo la formula:

$$\text{FC (t/ha)} = (\text{target pH} - \text{soil pH}) \times \text{lime factor (t/ha)}$$

E' consigliabile *aumentare di 0,2 unità il valore del pH desiderato* per garantire una maggiore e più durevole efficacia della calcitazione. Inoltre, poiché l'efficacia dell'azione correttiva si protrae solo per un limitato periodo di tempo è opportuno prevedere interventi periodici di correzione.

I suoli acidi

Quantità di correttivo (*lime factor*) (t/ha) necessario per innalzare il pH di una unità (da Giardini, Agronomia generale, 1992, modificato).

Tipo di suolo	CaO	Ca(OH) ₂	CaMg(CO ₃) ₂	CaCO ₃
Sabbioso	1,0-2,0	1,3-2,6	1,6-3,3	1,8-3,6
Limoso (10-20% argilla)	2,0-3,0	2,6-3,9	3,3-4,9	3,6-5,4
Argilloso o organico	3,0-5,0	3,9-6,6	4,9-8,2	5,4-9,0

Quantità di correttivo (*lime factor*) (CaCO₃ t/ha) necessario per innalzare il pH di una unità in suoli agrari ad una profondità di 20 cm secondo l'Agenzia Inglese di Supporto allo Sviluppo in Agricoltura (da Ashman and Puri, Essential Soil Science, 2002, modificato).

Tipo di suolo	pH target	pH di correzione	Lime factor
Sabbioso (> 70% sabbia)	6,5	6,7	6
Limoso (10-20% argilla)	6,5	6,7	7
Franco argilloso e argilloso	6,5	6,7	8
Organico (> 10% SOM)	6,2	6,4	10
Torboso (> 25% SOM)	5,8	6,0	16

I suoli acidi

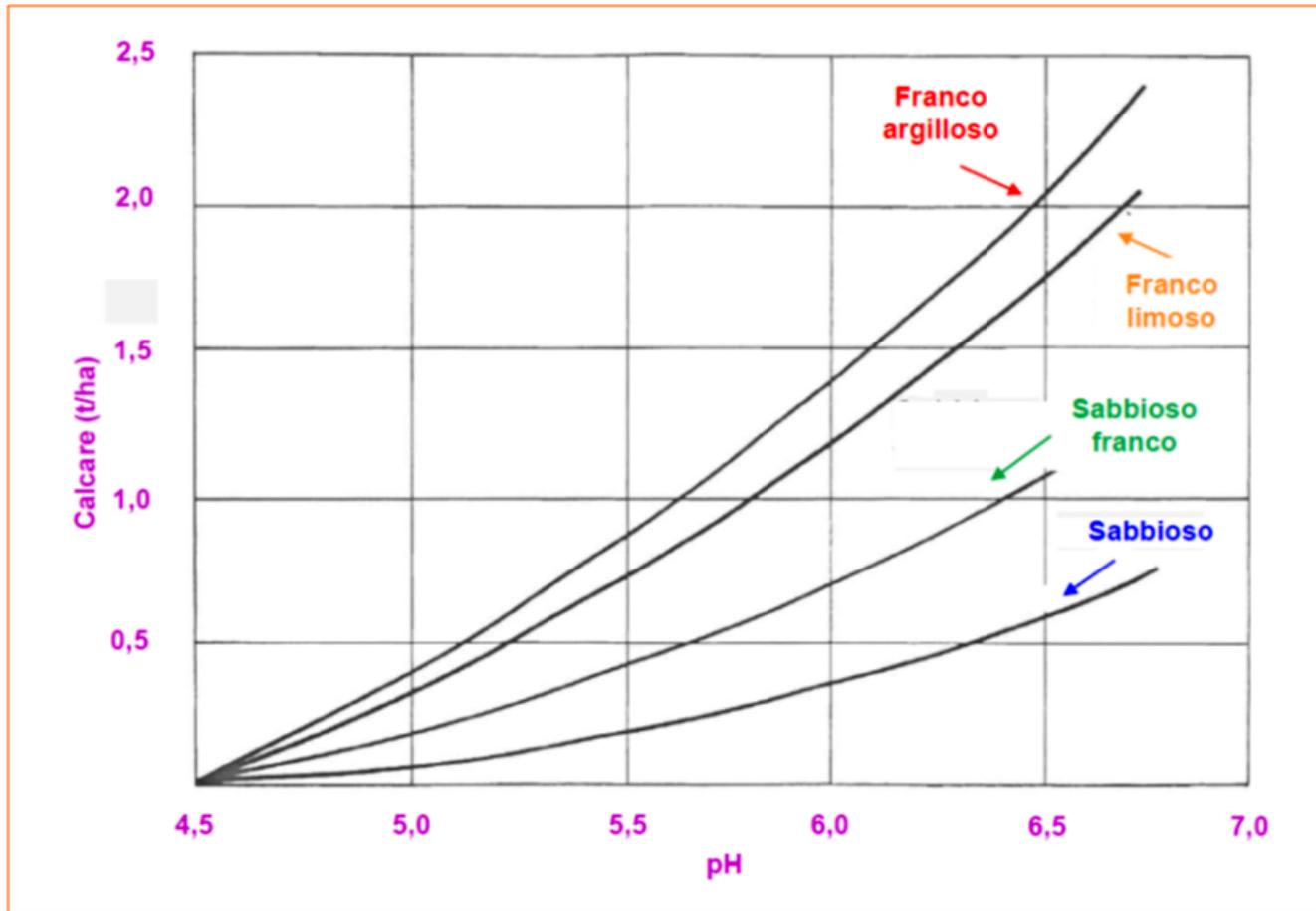


Fig. 17.11 - Variazione in funzione della tessitura della quantità di calcare per portare il pH del suolo al valore desiderato.

I suoli acidi: calcolo del FC

$$Q_{\text{correttivo}} = 10^{-7} \cdot (60 - \text{GSB}) \cdot \text{CSC} \cdot \frac{\text{PM}}{n} \cdot S \cdot p \cdot \rho_{\text{app}}$$

$Q_{\text{correttivo}}$: quantità di CaCO_3 da distribuire (t/ha)

GSB: in %; 60 è il valore di riferimento

CSC: in cmol_+/kg

PM: peso molecolare del CaCO_3 (100 g/mole)

n: numero di moli di H^+ scambiate ($n=2$)

S: superficie 1 ha ($10^4 \text{ m}^2/\text{ha}$)

p: profondità 0.30 m

ρ_{app} : massa volumica apparente (t/m^3)

Se si usa un diverso correttivo dividere per il fattore di equivalenza: CaO 1,79; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1,36; CaO 1,79; MgCO_3 1,19; MgO 2,50

I terreni calcarei, alcalini, salini

Sono suoli con restrizioni anche significative alla coltivazione. Presentano un forte accumulo di sali solubili, oppure fenomeni di alcalinità.

La salinità è dovuta a cause pedogenetiche o antropiche.

L'alcalinità di un suolo è sempre dovuta a processi di idrolisi a carico dei suoi costituenti.

Si definisce alcalinità:

- ✓ **costituzionale**, quella indotta da carbonati di Ca^{2+} e Mg^{2+}
- ✓ **sodica**, quella dovuta ad idrolisi del complesso assorbente ricco in ioni Na^+ scambiabili. Per perdita di sali solubili i terreni salini possono evolvere in sodici.

I terreni calcarei

I terreni calcarei (Calcisols)

I terreni calcarei presentano una alcalinità di tipo costituzionale, legata all'idrolisi dei carbonati (CaCO_3), presenti come calcite o aragonite, variamente rappresentati in funzione dell'origine geologica del substrato e dell'ambiente climatico.

L'idrolisi alcalina del carbonato determina una serie di equilibri acido-base controllati dalla solubilità del carbonato e dalla pressione parziale della CO_2 .

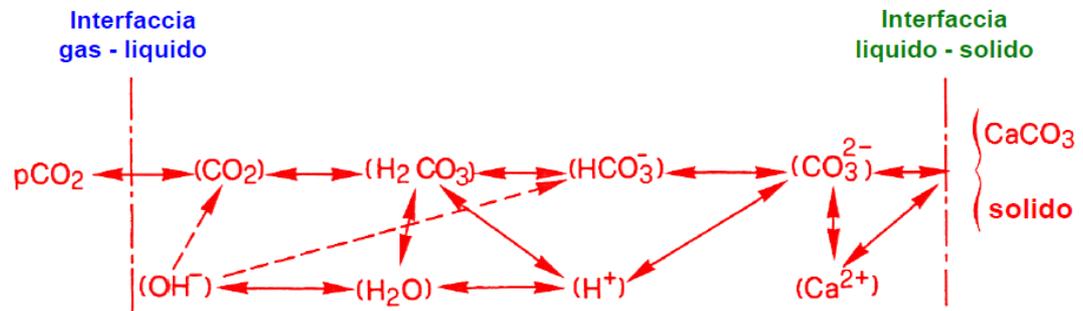
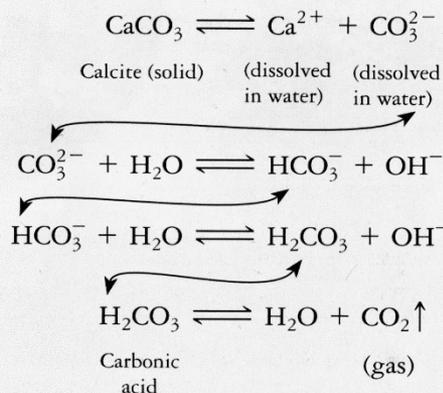


Fig. 18.2 - Schematizzazione degli equilibri che, in presenza di elevata quantità di CaCO_3 , si stabiliscono nel suolo in funzione della pressione parziale di CO_2 ($p\text{CO}_2$).

I terreni calcarei

I terreni calcarei (Calcisols)

Il pH dei suoli calcarei, controllato dalla pressione parziale della CO_2 e dalla dissociazione del carbonato, è < 8.5 .

L'espressione:

$$pH = K - \frac{1}{2}\log(pCO_2) - \frac{1}{2}\log[Ca]$$

dove:

pCO_2 = **pressione parziale di CO_2**

$[Ca]$ = **concentrazione molare degli ioni Ca^{2+} nella fase liquida**

$K = 4.8$ per la calcite pura, 5.2 per i carbonati presenti nel suolo molto più solubili della calcite

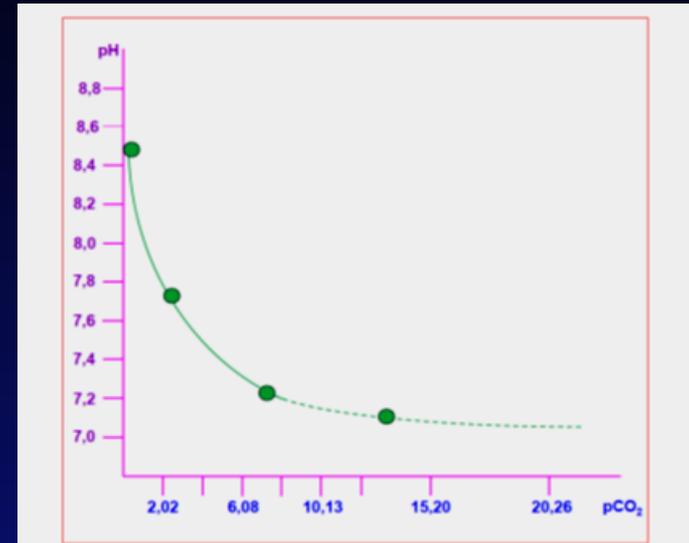


Fig. 18.3 - Relazione tra pH di un suolo calcareo e pressione parziale della CO_2 (in kPa).

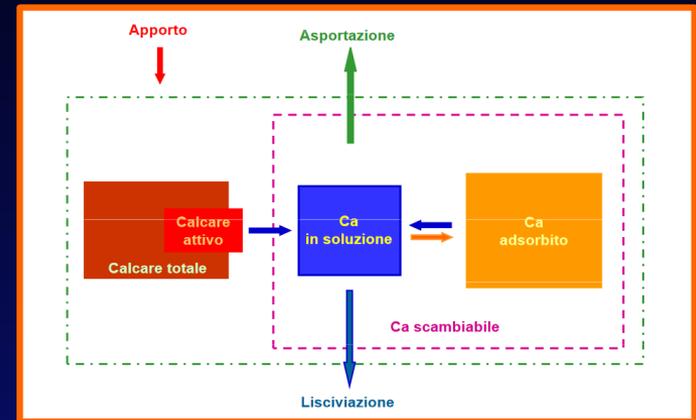
Tab. 16.2 - Valore di pH previsto per un suolo contenente $CaCO_3$ e in equilibrio con CO_2 a diversa pressione parziale.

Concentrazione (M) di Ca^{2+}	Pressione parziale di CO_2 (kPa)		
	0.36	3.60	10.00
0.001	pH		
	8.42	7.92	7.70

I terreni calcarei

Sono classificati in base al contenuto in carbonati totali

Classe di dotazione	% CaCO_3
Non calcareo	< 2,5
Lievemente calcareo	2,5 - 9,0
Mediamente calcareo	9,1 - 18,0
Sensibilmente calcareo	18,1 - 25,0
Fortemente calcareo	25,1 - 50,0
Calcareo	> 50,0

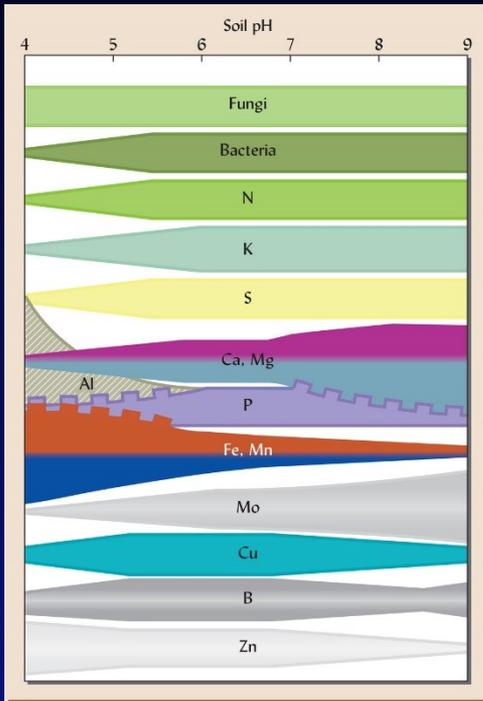


e in calcare attivo (estratto in ossalato di ammonio)

Classe di dotazione	% CaCO_3 attivo
Scarsa	< 2
Normale	2 - 5
Elevata	5 - 10
Molto elevata	> 10

I terreni calcarei

I terreni calcarei manifestano:



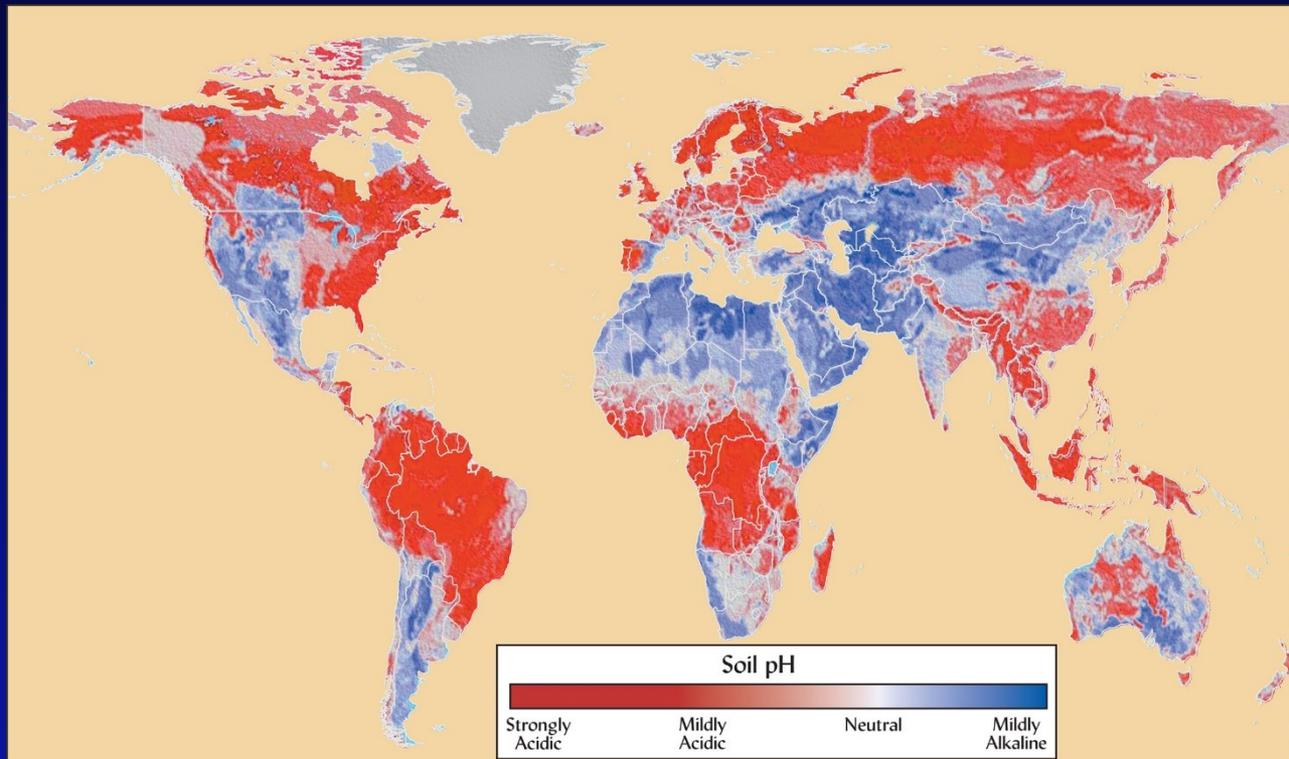
- pH alcalino, ma mai superiore a 8,0 - 8,4
- buone proprietà strutturali
- buon sviluppo dei batteri nitrificanti
- correzione difficile e non economica
- disponibilità ridotta di P, B, Fe, Cu, Zn e Mn
- tossicità da Mo
- antagonismo di assorbimento fra Ca, Mg e K
- perdite di N per volatilizzazione di NH_3

Gestione agronomica dei terreni calcarei

- ✓ coltivazione con specie adatte (piante calciofile)
- ✓ abbondanti ed equilibrate concimazioni, apporti di SOM (letame, residui colturali, ammendanti, etc.)

Suoli salini, salino-sodici e sodici

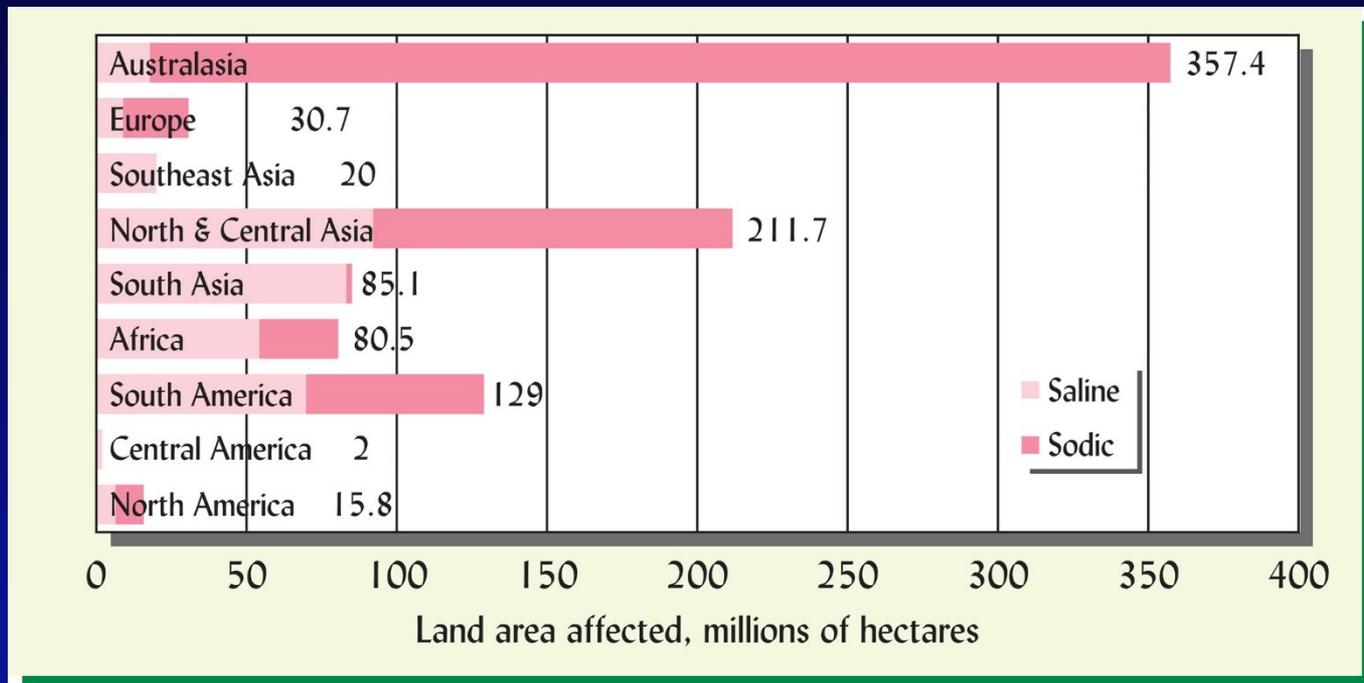
Sono suoli che si sviluppano in regioni con regime di umidità aridico, associato a proprietà che tendono a mantenerli asciutti o secchi per prolungati periodi dell'anno. Per questo risultano scarsamente lisciviati e con orizzonti sottosuperficiali in cui argille, carbonati, silice, sali e/o gesso si accumulano. Sono molto diffusi e rappresentano circa il 10% delle terre libere dai ghiacci.



(da Weil & Brady, 2017)

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I suoli affetti da salinità occupano una superficie di poco superiore a 950 milioni di ettari (23% delle aree coltivate e ~50 delle aree irrigue). Tipicamente si rinvengono in territori dove il rapporto precipitazione/evaporazione è < 0.75 , ma possono generarsi anche in zone umide e subumide. Presentano elevato GSB e $\text{pH} > 7.4$.



(da Weil & Brady, 2017)

Suoli salini, salino-sodici e sodici

Processi pedogenetici (soprattutto litologia e clima) e fattori antropici determinano la genesi dei suoli alomorfi.

Cause naturali (salinizzazione primaria)

- ✓ Mineralogia ed alterazione pedogenetica del substrato accompagnata da ridotta o nulla lisciviazione dei sali solubili
- ✓ Apporto atmosferico di aerosol marino
- ✓ Infiltrazione sub-superficiale di acque saline
- ✓ Risalita capillare da falda freatica superficiale
- ✓ Solubilizzazione di depositi fossili salini

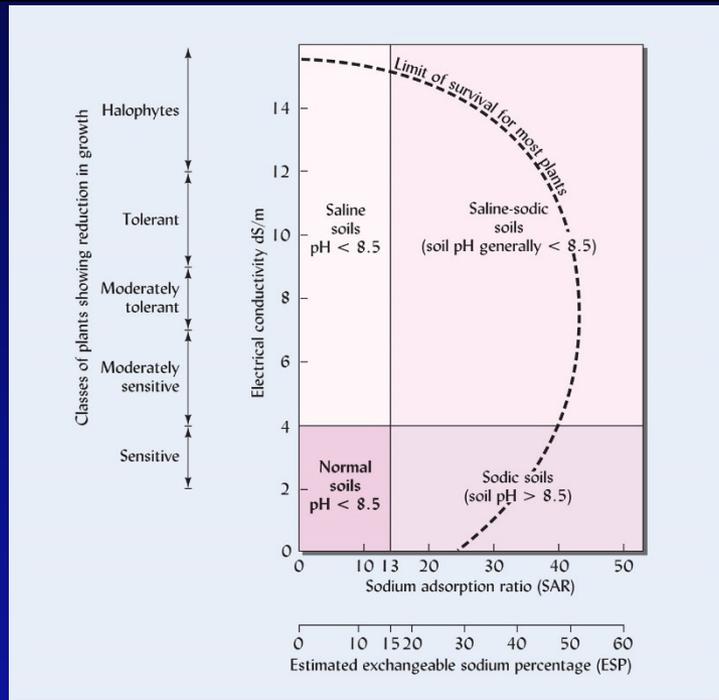
Cause antropiche (salinizzazione secondaria)

- Impiego ripetuto di acque irrigue salmastre, di bassa qualità e con sistema di drenaggio non appropriato
- Applicazione di concimi ed ammendanti ricchi in sali solubili

Suoli salini, salino-sodici e sodici

Classificazione dei suoli alomorfi secondo U.S. Laboratory Salinity Staff (Riverside, CA).

Tipo di suolo	CE_e (dS m ⁻¹)	ESP (%)	pH
Non salino	< 4.0	< 15	< 8.5
Salino o salso (<i>saline soil</i>)	> 4.0	< 15	< 8.5
Salino-sodico (<i>saline-sodic soil</i>)	> 4.0	> 15	< 8.5
Sodico (<i>sodic soil</i>)	< 4.0	> 15	> 8.5



I sali solubili contengono cationi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ed anioni Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} e NO_3^- .
I suoli salini possono evolvere a generare suoli sodici

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I terreni salini (Solonchack)

Sono caratterizzati dalla presenza di elevate quantità di sali solubili ($EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$) che si accumulano nel terreno, senza essere dilavati, come accade negli ambienti caldo-aridi. La salsedine può essere di origine autoctona (pedogenesi *in situ*) o alloctona (trasporto e deposito), oppure antropica (uso di acque salse e scarso drenaggio).

Tipica formazione della crosta salina bianca sulla superficie del suolo salino.



(da Weil & Brady, 2017)

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I terreni salini manifestano

- pH alcalino, ma mai superiore a 8.5
- complesso di scambio dominato da Ca^{2+} e Mg^{2+}
- buone proprietà strutturali e nutrizionali
- alta pressione osmotica della fase liquida del terreno (aumenta Ψ_s , aridità fisiologica)
- antagonismo tra ioni nell'assorbimento vegetale (squilibri nutrizionali)
- tossicità per la pianta di singoli ioni (Cl, Na, B)

Gestione agronomica dei terreni salini

- ✓ coltivazione con specie salino-tolleranti
- ✓ razionalizzazione delle pratiche irrigue (LR) e di drenaggio
- ✓ valutazione della vulnerabilità del suolo alla alcalinizzazione sodica

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I terreni salino-sodici

Sono caratterizzati dalla presenza di elevate quantità di sali solubili ($EC_e > 4 \text{ dS m}^{-1}$), presenza di Na^+ di scambio e $\text{pH} < 8.5$. Sono molto più comuni sia dei suoli salini che di quelli sodici. Sebbene presentino buone proprietà strutturali, sono di più difficile gestione agronomica poiché il semplice dilavamento con acque dolci può aumentare il pH, peggiorare la struttura, deflocculare le argille e determinare l'evoluzione del terreno verso la sodicità. Inoltre, l'elevata presenza di Na^+ di scambio può risultare tossica per la pianta.

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I terreni sodici o alcalini (Solonetz)

Sono caratterizzati dalla presenza di elevate quantità di sodio scambiabile ($ESP > 15\%$) e da un pH superiore a 8.5. La loro origine è legata all'evoluzione dei terreni salini o salino-sodici quando, per eventi naturali od antropici, subiscono un processo di lisciviazione dei sali solubili con conseguente saturazione sodica delle superfici di scambio.

Tipica formazione di un orizzonte sottosuperficiale natrico con struttura colonnare.



Suoli salini, salino-sodici e sodici

I terreni sodici manifestano

- elevata alcalinità ($\text{pH} > 8.5$)
- scarsa disponibilità di micronutrienti (Zn, Cu, Mn, Fe)
- antagonismo nutrizionale del Na verso Ca, K e Mg
- perdite di N
- elevata disponibilità di fosfato solubile
- tossicità da Na, B e Mo
- pessime caratteristiche fisico-meccaniche (impermeabilità, asfissia)
- depressione dell'attività microbica
- solubilizzazione della SOM (*black sodic soils*)
- orizzonte A (10-20 cm) friabile ed incoerente
- orizzonte B lapideo (se asciutto) o impermeabile (se umido)

Suoli salini, salino-sodici e sodici

Gestione agronomica dei terreni sodici

- ✓ bonifica difficile e onerosa mediante interventi di correzione
- ✓ impiego di specie vegetali e varietà tolleranti
- ✓ scelta dei concimi ed apporto di sostanza organica
- ✓ razionalizzazione delle pratiche irrigue e di drenaggio

Si definisce fabbisogno di gesso (FG) la quantità di $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (espressa in $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ per una profondità di 30 centimetri) da somministrare ai suoli sodici per rimuovere l'eccesso di ioni sodio presenti sulle superfici degli scambiatori. Per consuetudine, si ritiene che per scambiare ciascuna cmol_+ di Na^+ per chilogrammo di suolo con il calcio siano necessari circa $4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ di gesso.

Suoli salini, salino-sodici e sodici

I correttivi adoperati per il recupero dei suoli sodici possono essere raggruppati in tre categorie:

- **sali di calcio solubili (per esempio, gesso o calcio cloruro)**
- **acidi o sostanze che formano acidi (per esempio, zolfo elementare, acido solforico, ferro solfato, alluminio solfato, pirite)**
- **sali di calcio poco solubili (per esempio, polvere di calcare)**

Tab. 19.1 - Quantità equivalente di sostanze diverse utilizzate per la correzione di suoli sodici.

Correttivo	Quantità equivalenti (Mg) (*)
Gesso [$\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]	1,00
Calcio cloruro [CaCl_2]	0,85
Acido solforico [H_2SO_4]	0,57
Ferro solfato [$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$]	1,62
Alluminio solfato [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]	1,29
Zolfo elementare [S] (**)	0,19
Pirite [FeS_2] - 30% di S (**)	0,63

(*) Le quantità indicate si riferiscono a composti puri al 100%. Per materiali caratterizzati da purezza inferiore, è necessario apportare le opportune correzioni. Così se il gesso disponibile ha un grado di purezza pari all'80%, la quantità da utilizzare sarà: $1,00 \cdot 100/80 = 1,25$ Mg

(**) Le quantità equivalenti riportate per zolfo e pirite presuppongono il 100% dell'ossidazione del materiale perché questi possano agire efficacemente come correttivi

I suoli sodici: calcolo del FG

$$Q_{\text{correttivo}} = 10^{-7} \cdot (\text{ESP}_{\text{att}} - \text{ESP}_{\text{t}}) \cdot \text{CSC} \cdot \frac{\text{PM}}{n} \cdot S \cdot p \cdot \rho_{\text{app}}$$

$Q_{\text{correttivo}}$: quantità di gesso da distribuire (t/ha)

ESP: in %; ESP_{att} attuale; ESP_{t} obiettivo

CSC: in cmol_+/kg

PM: peso molecolare del CaSO_4 (172 g/mole)

n: numero di moli di Na^+ scambiate ($n=2$)

S: superficie 1 ha ($10^4 \text{ m}^2/\text{ha}$)

p: profondità 0.30 m

ρ_{app} : massa volumica apparente (t/m^3)

Se si usa un diverso correttivo dividere per il fattore di equivalenza: CaCl 0,85; FeSO_4 1,62