

2/ Caratteristiche e analisi del suolo

René Flisch¹, Reto Neuweiler², Thomas Kuster², Hansrudolf Oberholzer¹,
Olivier Huguenin-Elie¹ e Walter Rächner¹

¹ Agroscope, 8046 Zurigo, Svizzera

² Agroscope, 8820 Wädenswil, Svizzera

Contatto: rene.flisch@agroscope.admin.ch

Indice

1. Introduzione	2/3
2. Caratterizzazione del sito	2/3
2.1 Granulometria e tipo di suolo	2/3
2.2 Tenore in humus	2/4
2.3 pH (reazione)	2/5
2.4 Tenore in calcare	2/5
3. Analisi del suolo e interpretazione dei risultati	2/6
3.1 Raccomandazioni per le analisi del suolo	2/6
3.2 Metodi d'analisi del suolo	2/7
3.3 Scelta del metodo d'analisi di base	2/7
3.4 Interpretazione dei risultati delle analisi del suolo per fosforo, potassio e magnesio per determinare il fabbisogno in concime	2/9
4. Approvvigionamento del suolo in elementi nutritivi	2/11
4.1 Correzione della concimazione fosfatica e potassica secondo il metodo CO_2	2/11
4.2 Correzione della concimazione magnesiana secondo il metodo CaCl_2	2/12
4.3 Correzione della concimazione fosfatica, potassica e magnesiana secondo il metodo $\text{H}_2\text{O}10$	2/13
4.4 Correzione della concimazione fosfatica, potassica e magnesiana secondo il metodo AAE10	2/16
4.5 Determinazione del fabbisogno in concime fosfatico, potassico e magnesiano	2/20
4.6 Aspetti particolari della concimazione fosfatica, potassica e magnesiana	2/20
4.7 Altri elementi nutritivi (macro- e microelementi)	2/21
5. Ammendamento calcareo	2/24
5.1 Determinazione dell'entità della calcitazione in funzione del pH del suolo	2/25
5.2 Determinazione dell'entità della calcitazione in funzione della capacità di scambio cationico e del tasso di saturazione in basi del suolo	2/26
5.3 Consigli pratici	2/26
6. Fertilità del suolo e gestione dell'humus	2/28
6.1 Fertilità del suolo	2/28
6.2 Funzioni e proprietà del suolo	2/28
6.3 Mantenimento del tenore in humus a lungo termine – supporto decisionale e interventi opportuni	2/28
7. Bibliografia	2/30
8. Indice delle tabelle	2/32
9. Indice delle figure	2/33

In copertina: profilo di un suolo agricolo (fotografia: Gabriela Brändle, Agroscope).

1. Introduzione

In agricoltura, il suolo è uno dei principali fattori di produzione, in quanto ospita l'apparato radicale delle piante e le rifornisce d'acqua ed elementi nutritivi. Affinché le piante coltivate possano crescere, assicurare rese soddisfacenti e produrre alimenti e foraggi di qualità ineccepibile, occorre che il suolo sia ben strutturato e sufficientemente provvisto in elementi nutritivi, disponibili e presenti in rapporto equilibrato, quali: azoto (N), fosforo (P), potassio (K), magnesio (Mg), zolfo (S) e diversi microelementi.

Una concimazione razionale consente di creare condizioni ideali per la crescita e la produzione delle piante coltivate e, nel contempo, di ridurre al minimo l'impatto sull'ambiente. Per massimizzare l'efficacia degli elementi nutritivi distribuiti, a tutto vantaggio di piante e ambiente, oltre alle esigenze nutritive delle piante occorre considerare anche lo stato nutrizionale del suolo (figura 2, modulo 1).

Le analisi del suolo consentono di quantificarne le proprietà fisiche e chimiche, nonché di stimarne le riserve in elementi nutritivi. Per determinare il fabbisogno in concime, bisogna scegliere metodi d'analisi appropriati, che permettano di valutare la disponibilità degli elementi nutritivi presenti nel suolo (stato nutrizionale del suolo). Deve essere possibile stabilire una valutazione attendibile dei risultati delle analisi del suolo in relazione agli obiettivi di produzione (p.es. resa e qualità). Di regola, questo tipo di relazione si può determinare solo tramite prove in campo aperto di lunga durata. Il metodo d'analisi è legato indissolubilmente all'interpretazione dei suoi risultati. Capita che, in funzione delle loro caratteristiche, metodi d'analisi diversi diano risultati differenti, né intercambiabili né, in generale, sufficientemente correlati tra loro.

2. Caratterizzazione del sito

Crescita e sviluppo delle colture non dipendono solo dalle proprietà chimiche del suolo, ma anche dalle sue caratteristiche fisiche e da altri suoi parametri, quali: profondità fisiologica (volume di suolo utilizzabile dalle radici), scheletro (percentuale di pietre >2 mm), struttura e stabilità dei glomeruli. La struttura determina le percentuali d'aria e acqua presenti nel suolo che, a loro volta, influenzano indirettamente, ma in modo decisivo, lo sviluppo dell'apparato radicale. Ne consegue che, nei suoli mal strutturati e compattati, la mancanza d'ossigeno e i saltuari periodi di saturazione idrica aumentano la pressione delle malattie radicali. Se, in seguito ai problemi appena descritti, l'apparato radicale risulta indebolito, la sua capacità di assorbire elementi nutritivi si riduce notevolmente. In questi casi, la carenza di elementi nutritivi che colpisce la coltura non si può compensare aumentando la concimazione.

Specialmente laddove si intende impiantare una coltura perenne si raccomanda vivamente di valutare preventivamente il profilo del suolo (figura 1). La valutazione del profilo consente di verificare l'idoneità del suolo per la coltura prevista e di capire se è necessario procedere con misure di

risanamento e colturali specifiche, quali: drenaggi, lavorazioni profonde e scelta del portinnesto, nel caso si preveda di piantare un vigneto o un frutteto. Le analisi fisiche e chimiche dei diversi orizzonti danno informazioni sulla loro stabilità strutturale, sulla dinamica degli elementi nutritivi nel sottosuolo, nonché sulla loro mobilità orizzontale e verticale.



Figura 1. Valutazione del profilo del suolo (fotografia: Andreas Naef, Agroscope).

Il termine «attività biologica del suolo» comprende e riassume tutti i processi di origine biologica che avvengono sotto terra. È un indicatore importante della fertilità del suolo (capitolo 6).

2.1 Granulometria e tipo di suolo

La granulometria, o tessitura, della terra fine ($\varnothing \leq 2$ mm) si definisce come la percentuale in peso delle particelle di diverso calibro che la compongono (argilla, silt e sabbia). Granulometria e tenore in humus del suolo (capitolo 2.2) determinano il tipo di suolo (p.es. limo-sabbioso umifero). Il tipo di suolo influenza:

- la disponibilità potenziale in elementi nutritivi;
- la dinamica degli elementi nutritivi;
- la sensibilità al compattamento;
- la stabilità della struttura e, di conseguenza, i rischi di erosione e ruscellamento;
- la permeabilità;
- la lavorabilità.

La granulometria è importante per la comprensione di molte funzioni del suolo, perciò la si prende in considerazione per interpretare i risultati dell'analisi di numerosi suoi parametri. Essa è una proprietà praticamente fissa del suolo, quindi basta una sola determinazione rappresentativa per parcella. La granulometria si può determinare per via analitica o tramite test tattile. Quest'ultimo metodo d'indagine è comunque meno preciso dell'esame analitico.

Tabella 1. Relazione tra classe di tessitura (classe d'argilla) e alcune caratteristiche del suolo.

Caratteristiche del suolo	Valori limite per l'interpretazione delle analisi degli elementi nutritivi del suolo				
	Suolo sabbioso	Suolo sabbio-limoso ¹	Suolo limoso ¹	Suolo limo-argilloso ¹	Suolo argilloso
	< 10 % d'argilla	10–19,9 % d'argilla	20–29,9 % d'argilla	30–39,9 % d'argilla	≥ 40 % d'argilla
Permeabilità	molto buona	buona	buona	media	scarsa
Ritenzione idrica	scarsa	media	elevata	elevata	molto buona ²
Aerazione	molto buona	buona	buona	media	scarsa
Ritenzione degli elementi nutritivi	scarsa	medio-scarsa	media	buona	molto buona ²
Lavorabilità	facile	facile	media	medio-difficile	difficile
Penetrazione delle radici	molto buona	molto buona	buona	mediocre	scarsa

¹ In Svizzera, «limo» e «limoso» sono le traduzioni ufficiali dal tedesco dei termini «Lehm» e «lehmig» e identificano suoli di medio impasto.

² Limitatamente alla disponibilità per le piante coltivate.

La tabella 1 riporta la classificazione dei suoli e le loro caratteristiche in funzione del loro tenore in argilla.

2.2 Tenore in humus

Per «sostanza organica del suolo» si intende l'insieme di tutte le componenti di origine vegetale e animale presenti in un suolo. L'humus, inteso come insieme di tutte le forme di sostanza organica morta, ne è il costituente principale. La parte restante è rappresentata da organismi viventi (radici delle piante, animali e microrganismi tellurici). Tuttavia, le analisi con le quali si caratterizza il suolo e si definisce la concimazione raccomandata non riescono a distinguere queste due componenti. Ne consegue che tutta la sostanza organica presente nel campione di suolo analizzato si considera come se fosse humus.

Quantità e natura della sostanza organica influenzano in maniera decisiva numerosi processi nel suolo.

- Per mineralizzazione dell'humus si intende la sua decomposizione completa, con liberazione di anidride carbonica, acqua ed elementi nutritivi, tra i quali si riscontrano soprattutto l'N e quantità minori di P e S. La mineralizzazione può essere influenzata da diversi fattori. Temperature relativamente elevate e un rapporto equilibrato tra l'aria e l'acqua del suolo stimolano la mineralizzazione dell'humus. Nell'ottica di salvaguardare la fertilità del suolo a lungo termine, il consumo di humus (mineralizzazione) deve essere regolarmente compensato dall'equivalente formazione di nuovo humus (umificazione) (capitolo 6).

Tabella 2. Valutazione pedologica del tenore in humus (SSP 2010).

Tenore in humus ¹ (%)	Valutazione
< 2 %	povero di humus
2–5 %	leggermente umifero
5–10 %	umifero
10–30 %	ricco di humus
≥ 30 %	molto ricco di humus

Tabella 3. Valutazione agronomica del tenore in humus in relazione al potenziale di liberazione di N nel suolo.

Valutazione del tenore in humus ¹ (%) in funzione del tenore in argilla del suolo				Potenziale di liberazione di N
< 10 % argilla	10–19,9 % arg.	20–29,9 % arg.	≥ 30 % argilla	
< 1,2	< 1,6	< 2,0	< 2,5	scarso
1,2–2,9	1,6–3,4	2,0–3,9	2,5–5,9	sufficiente
3,0–4,9	3,5–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	buono
5,0–19,9	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	elevato
≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	molto elevato

¹ Il tenore in humus del suolo si calcola moltiplicando il tenore di carbonio legato organicamente (C_{org}) per 1,725.

- Il tenore in humus gioca un ruolo centrale nella strutturazione del suolo, in quanto contribuisce alla formazione di complessi argillo-umici che, a loro volta, favoriscono la creazione di glomeruli e aggregati stabili. La struttura glomerulare che ne risulta assicura una buona porosità del suolo, che diventa permeabile e ben aerato. Una buona stabilità della struttura glomerulare riduce, inoltre, il pericolo di danni da erosione. Nella maggior parte dei casi, questi suoli hanno buone capacità di assorbire l'acqua piovana, anche in presenza di precipitazioni intense. Le radici delle piante colonizzano diffusamente i suoli con tenori in humus da medi a elevati.

Il tenore in humus del suolo si suddivide in 5 classi, che si possono valutare dal punto di vista sia pedologico (proprietà chimico-fisiche) (tabella 2) sia agronomico (influenza sulla dinamica dell'N nel suolo) (tabella 3). La valutazione agronomica tiene conto del fatto che il tenore ideale in humus aumenta con l'aumentare del tasso d'argilla. Se la gestione del suolo rimane costante negli anni, il tenore in humus varia molto lentamente, anche se si distribuiscono quantità elevate di sostanza organica.

2.3 pH (reazione)

La reazione del suolo si descrive attraverso il pH. Essa può risultare acida, neutra oppure alcalina (basica). Il pH esprime la concentrazione di ioni idrogeno (H^+) in una sospensione costituita da acqua distillata e un campione di suolo. I possibili risultati si suddividono in sei classi (tabella 4). Il pH del suolo varia poco nel corso degli anni. Tuttavia, si raccomanda di verificarne il valore a cadenza regolare, specialmente in suoli acidi oppure neutri.

Il pH influenza sia l'attività biologica del suolo sia la disponibilità di alcuni elementi nutritivi, quali P, Mg e gran parte dei microelementi (figura 2). La disponibilità di P è maggiore nei suoli con pH da leggermente acido a neutro, perché nei suoli alcalini una quota elevata di P si lega al calcio (Ca) sotto forma di fosfati di Ca poco solubili. Maggiore è il pH, minore è la disponibilità di ferro (Fe), manganese (Mn), zinco (Zn) e boro (B), mentre per il molibdeno (Mo) vale l'esatto contrario. In un ambiente acido, invece, aumenta considerevolmente la solubilità di Mn e alluminio (Al). pH estremi (troppo acidi oppure troppo alcalini) possono determinare carenze nutrizionali in colture sensibili oppure, specialmente in alcune colture orticole, fenomeni di fitotossicità.

Il pH dà indicazioni approssimative sulla presenza di calcare nel suolo, è importante nella scelta dei concimi, specialmente quelli fosfatici, e consente di stabilire se è necessario impiegare un ammendante calcareo. Il capitolo 5 è dedicato alla valutazione del tenore in calcare del suolo e alla sua eventuale calcitazione.

2.4 Tenore in calcare

Il calcare influenza in modo rilevante la gestione agricola sostenibile del suolo. La sua presenza dipende principalmente dalla tipologia della roccia madre dalla quale ha origine il suolo, dall'andamento delle precipitazioni e dal tipo di gestione agricola. Il tenore in calcare gioca un ruolo centrale nei processi chimici, fisici e biologici che si svolgono nel suolo. L'elenco che segue riporta quelli maggiormente influenzati dalla decomposizione e dalla migrazione del calcare.

Tabella 4. Valutazione del pH del suolo e del suo eventuale fabbisogno in calcitazione.

pH(H_2O)	Valutazione	Test HCl	Valutazione	Calcitazione ¹
< 5,3	molto acido	–	CaCO ₃ assente	necessaria
5,3–5,8	acido	–	CaCO ₃ assente	necessaria
5,9–6,7	leggermente acido	–	CaCO ₃ assente	di mantenimento
6,8–7,2	neutro	–	CaCO ₃ assente	di mantenimento
		+	CaCO ₃ presente	di mantenimento ²
7,3–7,6	leggermente alcalino	+	CaCO ₃ presente	inutile
> 7,6	alcalino	++	CaCO ₃ molto presente	inutile

¹ Prima di procedere con una calcitazione bisogna considerare le esigenze specifiche delle colture. In particolare, in foraggicoltura occorre tener conto della composizione botanica e delle piante foraggere adattate alle condizioni ambientali locali (capitolo 5.3.2).

² Solo se si nota una diminuzione di pH.

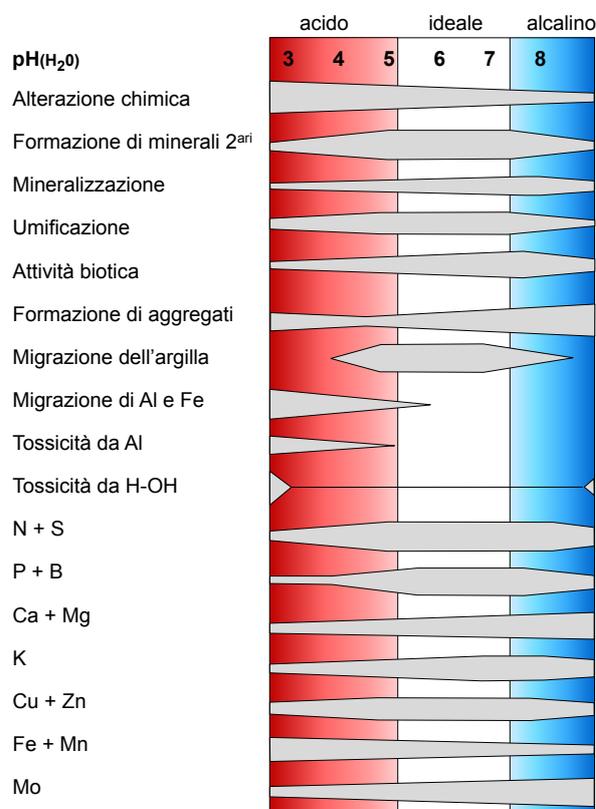


Figura 2. Influenza del pH su pedogenesi e fattori ecologici. Lo spessore della banda grigia indica l'intensità del processo considerato o la disponibilità degli elementi nutritivi corrispondenti (Schröder 1984, modificato).

- **Processi chimici:** il tenore in calcare (CaCO₃) influenza il pH e, di conseguenza, anche la disponibilità di elementi nutritivi del suolo.
- **Processi fisici:** gli ioni Ca²⁺, che si liberano in seguito alla decomposizione del CaCO₃, esercitano un'influenza positiva sulla formazione degli aggregati (formazione di legami tra le particelle d'argilla e quelle di humus) e, di conseguenza, sulla stabilità della struttura del suolo; nei suoli pesanti e in quelli soggetti al rischio di erosione, la calcitazione si esegue principalmente proprio per migliorare la struttura, in modo da favorire l'aerazione e la ritenzione idrica del suolo e, indirettamente, lo sviluppo radicale delle colture.
- **Processi biologici:** in questo caso, si tratta d'influenza indiretta. Un pH ideale e una buona circolazione di acqua e aria stimolano l'attività degli organismi tellurici; ne beneficiano la metabolizzazione dei residui colturali, la sintesi di humus stabile e la mineralizzazione di elementi nutritivi.

Pur essendo il Ca un elemento essenziale per le piante, il CaCO_3 riveste un ruolo di secondaria importanza dal punto di vista nutrizionale, in quanto, nella maggior parte dei casi, suoli acidi compresi, i tenori in Ca solubile e scambiabile sono sufficienti per coprire il fabbisogno delle colture. Solo in suoli molto poveri in Ca ha senso eseguire una calcitazione oppure distribuire concimi contenenti Ca a fini nutrizionali.

Le perdite di CaCO_3 nel suolo sono principalmente dovute al dilavamento, al fabbisogno intrinseco del suolo per la sua neutralizzazione e ai prelievi da parte delle colture. Le perdite annuali possono ammontare a diverse centinaia di chili di CaCO_3 per ettaro. Spesso, per determinare il fabbisogno in ammendante calcareo non è sufficiente conoscere il tenore in CaCO_3 totale del suolo, ma bisogna anche tenere in considerazione la sua capacità di scambio cationico (CSC) e il suo tasso di saturazione in basi (SB) (capitolo 5).

3. Analisi del suolo e interpretazione dei risultati

L'analisi del suolo è un tassello indispensabile nella definizione di un piano di concimazione calibrato sulle esigenze delle piante coltivate, che tenga conto sia delle riserve in elementi nutritivi disponibili del suolo sia delle esigenze in fatto di protezione ambientale. A questo scopo il suolo va analizzato a intervalli regolari (tabella 5).

3.1 Raccomandazioni per le analisi del suolo

Per concimare razionalmente le colture è indispensabile conoscere il loro fabbisogno in nutrienti e le caratteristiche del suolo in cui crescono. Alcune proprietà fisiche del suolo, quali la granulometria, si determinano generalmente una sola volta, a condizione di non eseguire interventi che possano modificare significativamente la natura del suolo. Nel caso di colture perenni, si raccomanda di eseguire questo tipo d'analisi prima dell'impianto e di ogni reimpianto successivo. In questo ambito, prima di impiantare un nuovo vigneto o un nuovo frutteto è utile conoscere il volume di suolo utilizzabile per le radici. Tale stima richiede il campionamento di suolo e sottosuolo. Le ulteriori analisi periodiche che scandiscono la vita dell'impianto si effettuano solo nello strato superiore del suolo, a meno che si verifichino problemi di crescita o di qualità del raccolto. La tabella 5 riporta le profondità e le frequenze di campionamento raccomandate per categoria di colture.

L'analisi delle caratteristiche fisico-chimiche e dello stato nutrizionale del suolo, utilizzata, tra l'altro, per redigere le raccomandazioni di concimazione, si esegue su un campione di suolo ottenuto miscelando più prelievi da una superficie rappresentativa. L'affidabilità dei risultati dipende principalmente dalla qualità del campionamento, visto che l'entità degli errori legati al prelievo e alla miscelazione del suolo può essere molto maggiore rispetto a quella di tutti i possibili errori di laboratorio. Il campionamento ideale presuppone la scelta di una superficie rappresentativa, la ripartizione omogenea dei singoli prelievi e la scelta corretta dell'epoca di prelievo.

3.1.1 Scelta di una superficie rappresentativa

Il campionamento si può definire rappresentativo solo se i singoli prelievi di suolo che lo compongono provengono da una superficie omogenea sia dal punto di vista delle caratteristiche del suolo sia da quello della crescita della coltura. Se questa omogeneità interessa la totalità della parcella è possibile riunire tutti i prelievi in un unico campione. Se, invece, il metodo di coltivazione e l'aspetto delle colture segnalano un'eterogeneità significativa del suolo, oppure se da un prelievo all'altro il suolo cambia colore e aspetto, si raccomanda di suddividere le parcelle in superfici omogenee e di campionarle separatamente.

3.1.2 Modalità di campionamento

Indipendentemente dalla dimensione della parcella, per comporre un campione di suolo rappresentativo bisogna partire da 20–25 prelievi, distribuiti omogeneamente su tutta la superficie interessata (Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Volume 1, Agroscope 1996). Ci vuole circa 1 kg di terra affinché il laboratorio possa preparare e analizzare agevolmente il campione nel rispetto delle prescrizioni esistenti (figura 3). Occorre evitare di inviare al laboratorio soltanto una parte dei campioni prelevati, poiché è estremamente difficile miscelare il materiale per poi estrarne una frazione omogenea. In taluni casi (come per esempio: filari di alberi da frutto inerbiti oppure lavorati, concimazioni localizzate in frutticoltura e viticoltura, ecc.), il metodo di campionamento del suolo va adeguato di conseguenza. I moduli delle colture riportano queste particolarità.



Figura 3. Preparazione dei campioni di suolo per le analisi di laboratorio: setaccio con maglie di 2 mm per separare lo scheletro dalla terra fine (fotografia: René Flisch, Agroscope).

3.1.3 Frequenza delle analisi del suolo

La frequenza con cui è necessario procedere alle analisi del suolo dipende, tra le altre cose, dal tipo di pianta coltivata (tabella 5). Analizzare il suolo con regolarità consente di ottimizzare la concimazione che si eseguirà e di verificare l'effetto di quella eseguita in passato.

Tabella 5. Raccomandazioni per il prelievo di campioni di suolo in differenti categorie di colture agricole.

L'epoca ideale per effettuare il campionamento dipende dalla categoria di colture considerata. Di solito, si esegue dopo la raccolta della coltura principale oppure, per le superfici prative, dopo l'ultimo sfruttamento annuale. In tutti i casi, il campionamento va effettuato prima di una nuova concimazione (capitoli 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.4).

Categoria di colture	Profondità di prelievo (cm)	Intervallo ¹	Note
Colture erbacee da pieno campo	0–20	4–6 anni	preferibilmente sempre nel medesimo stadio della rotazione
Prati e pascoli permanenti	0–10	5–10 anni	evitare le superfici coperte da deiezioni e da resti non pascolati, gli accessi ai pascoli, nonché le zone di riposo e quelle circostanti gli abbeveratoi
Colture orticole in campo aperto	0–20	4–6 anni	preferibilmente durante l'ultima coltura dell'anno
Colture orticole protette	0–20	2 anni	preferibilmente durante l'ultima coltura dell'anno
Vite	2–25 (suolo)	5–10 anni	prima di nuovi impianti/reimpianti e, periodicamente, per la valutazione dello stato nutrizionale del suolo; dopo importanti cambiamenti di concimazione in suoli poveri o molto ricchi ogni 5 anni; negli altri casi ogni 10 anni
	25–50 (sottosuolo)	<i>una tantum</i>	prima di nuovi impianti/reimpianti e in vigneti con problemi di crescita o di qualità del raccolto
Alberi da frutto	2–25 (suolo)	5–10 anni	prima di nuovi impianti/reimpianti e, periodicamente, per la valutazione dello stato nutrizionale del suolo; adattare il metodo di campionamento al tipo di gestione colturale e alla tecnica di concimazione
	25–50 (sottosuolo)	<i>una tantum</i>	prima di nuovi impianti/reimpianti e in frutteti con problemi di crescita o di qualità del raccolto
Piccoli frutti	0–20	4–6 anni	piccoli frutti annuali: preferibilmente durante la coltura precedente
	2–25	5–10 anni	piccoli frutti perenni: prima dell'impianto e, periodicamente, per la valutazione dello stato nutrizionale del suolo
Piante aromatiche e medicinali	0–20	4–6 anni	preferibilmente durante la coltura precedente.
Colture diverse	0–20	ca. 5 anni	

¹ Se si modifica la superficie in modo importante, se le ultime analisi hanno evidenziato uno stato nutrizionale del suolo insufficiente oppure se la coltura si sviluppa irregolarmente, si raccomanda di scegliere l'intervallo più corto.

3.1.4 Indicazioni generali concernenti le analisi del suolo

È possibile monitorare l'evoluzione dello stato nutrizionale del suolo a lungo termine, tenendo conto dei concimi distribuiti e dei prelievi effettuati dalle colture, solo se i campionamenti si eseguono correttamente (omogeneità della superficie, numero e distribuzione dei singoli prelievi, frequenza e profondità di prelievo, stadio della rotazione, ecc.) e le modalità di prelievo sono confrontabili. Per questo motivo, si raccomanda di prelevare i campioni di suolo nello stesso periodo dell'anno, dopo avere raccolto la medesima coltura e, soprattutto, prima di qualsiasi concimazione. Per i prati, l'epoca ideale di campionamento è l'autunno, subito dopo l'ultimo sfalcio. Nei pascoli bisogna evitare di campionare le superfici coperte da deiezioni e/o da resti di pascolo.

La pubblicazione «Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope» (Agroscope 1996; disponibile in tedesco e in francese) illustra dettagliatamente come procedere per campionare il terreno correttamente in funzione delle diverse categorie di colture. I laboratori certificati e i servizi di consulenza agricola forniscono, su richiesta, la documentazione necessaria in merito.

3.2 Metodi d'analisi del suolo

La tabella 6 riassume i principali metodi d'analisi utilizzati attualmente da Agroscope. Le metodologie descritte sono state messe a punto nel corso di numerosi esperimenti svolti in campo aperto sull'arco di più decenni.

3.3 Scelta del metodo d'analisi di base

Alcune proprietà di un sito, quali la granulometria, restano praticamente costanti nel tempo se, nel corso della normale gestione agricola, non si interviene significativamente sulla natura del suolo. Ne consegue che, per determinarle, è sufficiente eseguire un'analisi *una tantum*. Nello specifico caso della granulometria, è preferibile usare il metodo analitico (sedimentazione) piuttosto che affidarsi al metodo di stima (test tattile), dato che le percentuali d'argilla e silt sono importanti per l'interpretazione dei tenori e del comportamento degli elementi nutritivi.

In Svizzera, per determinare il tenore in P, K e Mg del suolo si utilizzano diversi metodi d'analisi. Alcuni tra essi si basano su mezzi d'estrazione cosiddetti «dolci», mentre altri fanno capo a mezzi d'estrazione più «aggressivi». Tra i

Tabella 6. Principali metodi d'analisi del suolo utilizzati da Agroscope per ottimizzare la concimazione.

La pubblicazione «Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope» (Agroscope 1996; disponibile in tedesco e in francese) descrive dettagliatamente i metodi d'analisi riportati in questa tabella.

Parametro da analizzare (elemento nutritivo o caratteristica del suolo)	Mezzo / metodo d'estrazione	Rapporto tra suolo e mezzo d'estrazione	Tempo d'agitazione e d'estrazione	Unità di misura del calcolo
P (metodo CO ₂)	Acqua satura di CO ₂	1:2,5	1 h	Indice P 1 = 0,0356 mg P ₂ O ₅ per 100 g di terra fine (o 0,155 mg P per kg di terra fine)
K (metodo CO ₂)	Acqua satura di CO ₂	1:2,5	1 h	Indice K 1 = 1 mg K ₂ O per 100 g di terra fine (o 8,3 mg K per kg di terra fine)
Mg	0,0125 M CaCl ₂	1:10	2 h	Indice Mg 1 = 1 mg Mg per 100 g di terra fine (o 10 mg Mg per kg di terra fine)
Mn, scambiabile	1 M acetato d'ammonio	1:10	30 min.	mg Mn per kg di terra fine
Mn, riducibile	1 M acetato d'ammonio + idrochinone	1:10	30 min.	mg Mn per kg di terra fine
B	Acqua calda	1:5	5 min. (raffreddamento tramite condensatore a riflusso)	mg B per kg di terra fine
H ⁺	Acqua distillata	1:2,5	12 h	Valore pH (pH(H ₂ O))
CaCO ₃ (calcare totale)	HCl concentrato, diluizione 1:1 (in volume)			% volume di CaCO ₃ g CaCO ₃ per 100 g di terra fine
P, K, Mg (metodo H ₂ O10)	Acqua distillata	1:10	1 h	mg P, K o Mg per kg di terra fine
P, K, Mg, Ca (metodo AAE10)	0,5 M acetato d'ammonio + 0,5 M acido acetico + 0,025 M EDTA	1:10	1 h	mg P, K, Mg o Ca per kg di terra fine
Granulometria ¹ - argilla - silt - sabbia	Sedimentazione Sedimentazione Calcolo			g per 100 g di terra fine g per 100 g di terra fine g per 100 g di terra fine
Humus ¹	Calcinazione umida con K ₂ Cr ₂ O ₇ e titolazione			% C organico (C _{org}) % humus = % C _{org} × 1,725
Humus, argilla, silt (metodo di stima)	Test tattile			%
Capacità di scambio cationico (CSC) K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ H ⁺	In suoli con pH(H ₂ O) ≤ 5,9 0,05 M HCl + 0,0125 M H ₂ SO ₄ pH per differenza	1:4 1:1	5 min 5 min	CSC = (H ⁺ + K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ per 100 g di terra fine (unità desueta: meq/100 g di terra fine)
Capacità di scambio cationico (CSC) K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ H ⁺	In suoli con pH(H ₂ O) > 5,9 0,1 M cloruro di bario + 2 M trietanolamina Titolazione	1:25	15 h a 45 °C, poi agitare per 1 h	CSC = (H ⁺ + K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ per 100 g di terra fine (unità desueta: meq/100 g di terra fine)
Tasso di saturazione in basi (SB)	Calcolo		–	SB (%) = (K ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + Na ⁺) cmol+ × 100 / CEC
N-NO ₃ N-NH ₄ ⁺	0,0125 M CaCl ₂	1:4	1 h	kg N _{min} per ha

¹ Granulometria della terra fine: somma delle percentuali d'argilla, silt, sabbia e humus = 100%.

mezzi d'estrazione «dolci» ci sono: l'acqua satura di CO₂, per la determinazione di P e K (metodo CO₂), il cloruro di calcio, per misurare il Mg (metodo CaCl₂) e l'acqua distillata, utilizzabile per dosare P, K e Mg (metodo H₂O10). Tra quelli più «aggressivi», si usa comunemente l'acetato di ammonio + acido etilendiamminotetraacetico (EDTA) per estrarre P, K e Mg (metodo AAE10).

I mezzi d'estrazione «dolci» rilevano prevalentemente gli elementi nutritivi solubili e facilmente disponibili per la pianta; il cosiddetto fattore «intensità», che corrisponde all'attività delle forme ioniche dei nutrienti nella soluzione del suolo (Frossard *et al.* 2004). Quando, invece, si utilizza un estraente più «aggressivo», si parte dal principio che gli elementi estratti siano potenzialmente utilizzabili dalle piante; in questo caso si parla di fattore «quantità», che definisce gli elementi nutritivi in grado di passare, prima o poi, nella soluzione circolante e diventare così disponibili per le piante (Frossard *et al.* 2004).

La valutazione del fattore «quantità» con il metodo d'estrazione AAE10 varia in funzione del tipo di suolo e non sempre si rivela valida. È possibile che, in talune situazioni, questo metodo estragga anche una quota di elementi nutritivi non realmente disponibili per le piante. Ciò accade in particolare per il P (Demaria *et al.* 2005). Per esempio, nei suoli non calcarei e poveri in Ca, il metodo AAE10 solubilizza anche fosfati metallici solitamente non disponibili per le piante (frazione di riserva). Questa frazione dipende dalla composizione minerale del suolo e, quindi, è un parametro che non può essere stimato nell'estratto AAE10 (Stünzi 2006b). Nei suoli calcarei, invece, il CaCO₃ si solubilizza e libera ioni Ca²⁺ in eccesso, che fanno perdere all'EDTA la capacità di estrarre altri elementi nutritivi (Zim-

mermann 1997; Stünzi 2006b). Ne consegue che il metodo AAE10 risulta affidabile solo in suoli non calcarei.

La scelta del metodo da utilizzare per determinare i tenori degli elementi nutritivi nel suolo dipende dalle esigenze di chi richiede l'analisi, dalle caratteristiche delle colture e dall'esistenza di una scala d'interpretazione dei risultati che sia affidabile per la categoria di colture indagata (tabella 7).

3.4 Interpretazione dei risultati delle analisi del suolo per fosforo, potassio e magnesio per determinare il fabbisogno in concime

L'interpretazione dei risultati delle analisi del suolo si basa, di regola, sui risultati raccolti in prove condotte in campo aperto su più anni e in diverse siti (figura 6). Le relazioni tra il tenore in elementi nutritivi del suolo e quello delle piante, nonché la risposta produttiva delle colture alla concimazione sono criteri decisivi per riuscire a interpretare i risultati delle analisi in modo affidabile.

Per calcolare il fabbisogno in P, K e Mg delle colture, tenendo conto del tenore in elementi nutritivi del suolo, si parte dalla loro norma di concimazione (espressa in kg di elementi nutritivi per ha) e la si adatta in funzione dello stato nutrizionale del suolo. L'adattamento avviene moltiplicando le norme con dei fattori di correzione ottenuti interpretando i risultati delle analisi del suolo. Questi fattori, in funzione del valore assunto, definiscono cinque classi di fertilità del suolo per P, K e Mg (tabella 8).

Il tenore in elementi nutritivi del suolo necessario per assicurare la crescita ottimale delle piante varia da una spe-

Tabella 7. Scelta del metodo d'analisi (analisi di base) per differenti categorie di colture agricole.

Categorie di colture	Parametro analizzato e metodo di riferimento ¹ [codice del metodo]						
	Caratteristiche del suolo				Elementi nutritivi (P, K, Mg, Ca) ²		
	pH _(H₂O) [pHH]	CaCO ₃ [CaCO ₃]	Humus [C _{org}]	Granulometria [KOF]	P, K, Mg [CO ₂ /CCMg]	P, K, Mg, Ca [AAE10] ³	P, K, Mg [H ₂ O10] ⁴
Colture erbacee da pieno campo e prati temporanei	x	x	x	x	x	x	
Prati e pascoli permanenti	x	x	x	x	x	x	
Colture orticole (campo aperto/colture protette)	x	x	x	x		x	x
Vite ⁵	x	x	x	x		x	x
Alberi da frutto	x	x	x	x		x	x
Piccoli frutti	x	x	x	x		x	x
Piante medicinali e aromatiche	x	x	x	x			x
Altre colture	x	x	x	x	x	x	x

¹ «Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope», Volume 1: Bodenuntersuchungen zur Düngeberatung (Agroscope 1996).

² In casi particolari, può essere necessario determinare anche altri elementi nutritivi come, per esempio, Mn e B in suoli umiferi o alcalini (la tabella 6 riporta i diversi metodi d'analisi).

³ P e Mg si possono determinare solo se il suolo non è calcareo.

⁴ P si può determinare solo in suoli con pH tra 5 e 7,8 (Gysi *et al.* 1993; Gysi *et al.* 1997).

⁵ Per calcolare la concimazione di base K in caso di nuovi impianti, è possibile basarsi sul tenore in K risultante dall'analisi della CSC (modulo 12).



Figura 4. Filtrazione di estratti di suolo (fotografia: Diane Bürge, Agroscope).



Figura 5. Determinazione di diversi elementi attraverso la spettrometria di assorbimento atomico a fiamma (AAS) (fotografia: Diane Bürge, Agroscope).



Figura 6. Prova di lunga durata (anno d'inizio: 1989) volta a determinare l'interpretazione dei risultati delle analisi del suolo sulla base di differenti concimazioni P, K e Mg (fotografia: René Flisch, Agroscope).

Tabella 8. Valutazione dello stato nutrizionale del suolo in funzione dei fattori di correzione definiti nelle tabelle 10–18.

Fattore di correzione	Valutazione	Classe di fertilità
> 1,4	povero	A
1,2–1,4	moderato	B
0,9–1,1	sufficiente	C
0,4–0,8	ricco	D
< 0,4	molto ricco	E

cie all'altra. Nel caso delle colture erbacee da pieno campo e per le superfici prative, lo schema d'interpretazione delle analisi del suolo si calibra su colture aventi capacità medio-buone di assorbire gli elementi nutritivi (p.es. cereali primaverili, colza, girasole, pisello). Se coltivate su un suolo avente classe di fertilità C, giudicata «sufficiente», queste colture non manifestano cali di resa e nemmeno problemi di qualità del raccolto, anche se non vengono concimate durante l'anno di coltivazione considerato. Una concimazione che compensi i prelievi delle colture è sufficiente per mantenere costante lo stato nutrizionale del suolo. Nel caso di colture aventi buona capacità di assorbire gli elementi nutritivi (p.es. cereali autunnali, barbabietole) oppure, viceversa, una capacità limitata (p.es. patata, trifoglio), questo livello di concimazione non è ideale (capitolo 4.6). In questi casi, la norma di concimazione va adattata di conseguenza e non corrisponde più esattamente ai prelievi della coltura. A lungo termine, questa situazione può comportare un cambiamento della classe di fertilità del suolo. Analisi del suolo periodiche consentono di identificare eventuali variazioni del tenore in nutrienti e di intervenire di conseguenza correggendo opportunamente la concimazione.

Per interpretare i tenori in P, K e Mg del suolo è necessario conoscerne la CSC (espressione della capacità di immagazzinamento degli elementi nutritivi). Questo parametro è strettamente correlato al contenuto in argilla del suolo. Se il tenore in cationi multivalenti del suolo è elevato, aumenta anche la carica positiva delle sostanze colloidali capaci di adsorbire l'anione fosfato che, di conseguenza, viene adsorbito più saldamente grazie all'aumentata attrazione elettrostatica. Per questo motivo, si raccomanda d'interpretare i tenori in P, K e Mg provenienti dall'analisi del suolo in funzione del tenore in argilla della terra fine (frazione di suolo setacciata a 2 mm), sia esso stato determinato analiticamente oppure stimato tramite semplice test tattile. Nei suoli caratterizzati da un tenore in humus superiore o uguale al 10 %, l'interpretazione del tenore in elementi nutritivi va eseguita tenendo conto anche di questo parametro (tabella 9).

I fattori di correzione risultanti dall'interpretazione dell'analisi suolo (capitoli 4.1–4.4) vanno utilizzati per correggere la concimazione di tutte le colture fino a quando una nuova analisi permetterà di determinarne di nuovi.

4. Approvvigionamento del suolo in elementi nutritivi

Il calcolo della concimazione P, K e Mg si basa sul principio di sostituzione delle quantità di elementi nutritivi prelevate dalle piante coltivate su suoli aventi una dotazione ideale in nutrienti. L'adattamento della concimazione in funzione del tenore in elementi nutritivi del suolo avviene mediante i fattori di correzione riportati nelle tabelle 10–18 (capitoli 4.1–4.4). Le tabelle sono suddivise secondo il metodo d'analisi applicato e l'elemento nutritivo considerato.

Il valore attribuito ai fattori di correzione dipende dal risultato delle analisi e dal tenore in argilla del suolo. La validità di questo modo di procedere si limita ai suoli aventi un tenore in humus inferiore al 10 %. Siccome l'humus influenza la disponibilità di elementi nutritivi per le piante, nei suoli con tenori in humus superiori o uguali al 10 % bi-

sogna applicare una correzione supplementare al risultato dell'analisi del suolo. Questa correzione è legata alla densità apparente del suolo (densità del suolo allo stato naturale) che, a sua volta, risulta essere ben correlata al tenore in humus che si determina abitualmente (Gysi *et al.* 1993). La tabella 9 riporta i relativi fattori di correzione.

4.1 Correzione della concimazione fosfatica e potassica secondo il metodo CO₂

Il metodo CO₂ (Dirks e Scheffer, 1930), utilizzato in Svizzera da decenni, è adatto per determinare i tenori in P e K del suolo disponibili per le piante. La sua validazione si fonda su un gran numero di prove pluriennali svolte in campo aperto (figure 7 e 8). Nella maggior parte dei casi analizzati, si è constatato come i tenori in P e K del suolo siano ben correlati con le rese delle colture e il loro contenuto in elementi nutritivi (Peyer 1970; Ryser 1982; Gallet *et al.* 2001).

Tabella 9. Correzione da applicare al risultato dell'analisi di suoli con tenori in humus superiori al 10 %.

Questa correzione si applica al risultato dell'analisi del suolo prima di utilizzarlo per determinare il fattore di correzione che verrà, infine, moltiplicato con la norma di concimazione della coltura (tabelle 10–18).

Tenore in humus del suolo (%)	Densità apparente del suolo	Fattore di correzione del risultato dell'analisi	Tenore in humus del suolo (%)	Densità apparente del suolo	Fattore di correzione del risultato dell'analisi
(h)	(d _h) ¹	(f) ¹	(h)	(d _h) ¹	(f) ¹
10,0	1,1005	1,000	25,0	0,7000	0,636
11,0	1,0678	0,970	30,0	0,6020	0,547
12,0	1,0361	0,941	35,0	0,5177	0,470
13,0	1,0053	0,913	40,0	0,4452	0,405
14,0	0,9754	0,886	45,0	0,3829	0,348
15,0	0,9465	0,860	50,0	0,3293	0,299
16,0	0,9183	0,834
17,0	0,8911	0,810	Calcolo della densità apparente: $d_h = 1,488 * 10^{-0,0131 * h}$		
18,0	0,8646	0,786	Calcolo della correzione secondo il tenore in humus (f): $f = d_h / d_{h=10,0}$		
19,0	0,8389	0,762			
20,0	0,8140	0,740			

¹ La correzione relativa ai tenori in humus intermedi va calcolata utilizzando la formula di cui sopra.

Esempio: Risultato dell'analisi: 110,5 per un suolo con il 12,0 % di humus
Risultato dell'analisi corretto: $110,5 * 0,941 = 104,0$ oppure $110,5 * (1,0361 / 1,1005) = 104,0$



Figura 7. Carezza di P su barbabietola da zucchero. Campo lacunoso e sviluppo delle piante insufficiente causati da carezza di P nel suolo (a sinistra); densità e sviluppo normali della coltura su suolo sufficientemente dotato di P (a destra). Le immagini sono contemporanee (fotografia: René Flisch, Agroscope).

Tabella 10. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (metodo CO₂) e in argilla della terra fine.
(indice P 1 = 0,155 mg P/kg di terra fine)

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Per le superfici prative «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative

mg P/kg	Indice P	Tenore in argilla della terra fine (%)					Suoli speciali: siltosi ¹	Suoli speciali: sabbiosi ²
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40		
0,000–0,309	0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,5	1,4
0,310–0,619	2,0–3,9	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,5	1,2
0,620–0,930	4,0–5,9	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,4	1,0
0,931–1,241	6,0–7,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,4	1,0
1,242–1,551	8,0–9,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	1,2	1,0
1,552–1,862	10,0–11,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,0	1,2	0,8
1,863–2,172	12,0–13,9	1,0	0,8	0,6	0,0	0,0	1,0	0,6
2,173–2,482	14,0–15,9	0,8	0,8	0,4	0,0	0,0	1,0	0,4
2,483–2,793	16,0–17,9	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	1,0	0,4
2,794–3,103	18,0–19,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
3,104–3,414	20,0–21,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
3,415–3,724	22,0–23,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
3,725–4,035	24,0–25,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
4,036–4,345	26,0–27,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
4,346–4,655	28,0–29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
$\geq 4,656$	$\geq 30,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Suoli siltosi derivati dalla disgregazione dei calcescisti grigionesi con un tenore in argilla $< 25\%$ e in silt $> 40\%$ espressi sulla terra fine.

² Suoli sabbiosi e acidi del Cantone Ticino con un tenore in argilla $< 10\%$ e in sabbia $> 40\%$ espressi sulla terra fine, nonché un pH $< 5,9$.

Nei suoli con più del 40 % d'argilla, malgrado si concimi abbondantemente per anni e le colture si sviluppino e producano normalmente, il metodo CO₂ rileva spesso scarsi tenori in P e/o K. In queste situazioni, tra concimazione e prelievi in elementi nutritivi, da un lato, e risultati dell'analisi del suolo, dall'altro, non sussiste che una debole correlazione. Per tenere conto di questo aspetto del metodo CO₂, il risultato dell'analisi si pondera con il tenore in argilla del suolo.

Le tabelle 10 e 11 riportano i fattori di correzione che permettono di adattare la concimazione P e K al tenore del suolo in questi elementi nutritivi, determinato con il metodo CO₂ in funzione del tasso d'argilla della terra fine. I fattori di correzione sono validi per la maggior parte dei suoli dell'Altopiano svizzero, delle Prealpi e del Giura aventi un tenore in humus inferiore al 10 %. Per i suoli con tenore in humus superiore o uguale al 10 % bisogna, inoltre, riferirsi alla tabella 9.

I suoli siltosi, derivati dalla disgregazione dei calcescisti grigionesi, e quelli sabbiosi e acidi del Cantone Ticino richiedono una valutazione speciale per il P. La sezione a destra della tabella 10 riporta i fattori di correzione da applicare in questi due casi particolari.

4.2 Correzione della concimazione magnesiacca secondo il metodo CaCl₂

L'interpretazione dei risultati delle analisi così come la correzione della concimazione che ne consegue avvengono,



Figura 8. Influenza del tenore in elementi nutritivi del suolo sulla crescita delle colture (fotografia: René Flisch, Agroscope).

Tabella 11. Fattori di correzione della concimazione K in funzione del tenore in K (metodo CO₂) e in argilla della terra fine.
(Indice K 1 = 8,3 mg K/kg di terra fine)

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Per le superfici prative «intensive» e «mediamente intensive», si raccomanda di non applicare un fattore di correzione $> 1,2$ senza prima analizzare il tenore in K nel foraggio. Se nel foraggio si rilevano più di 25 g K/kg di SS, non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Per le superfici prative «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative

mg K/kg	Indice K	Tenore in argilla della terra fine (%)				
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,00–4,14	0,0–0,4	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2
4,15–8,29	0,5–0,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0
8,30–12,44	1,0–1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	1,0
12,45–16,59	1,5–1,9	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0
16,60–20,74	2,0–2,4	1,2	1,2	1,0	1,0	0,8
20,75–24,89	2,5–2,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,6
24,90–29,04	3,0–3,4	1,0	1,0	1,0	0,8	0,4
29,05–33,19	3,5–3,9	1,0	1,0	0,8	0,6	0,4
33,20–37,34	4,0–4,4	1,0	0,8	0,8	0,6	0,0
37,35–41,49	4,5–4,9	1,0	0,8	0,6	0,4	0,0
41,50–45,64	5,0–5,4	0,8	0,8	0,6	0,4	0,0
45,65–49,79	5,5–5,9	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0
49,80–53,94	6,0–6,4	0,8	0,6	0,4	0,0	0,0
53,95–58,09	6,5–6,9	0,6	0,6	0,4	0,0	0,0
58,10–62,24	7,0–7,4	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
62,25–66,39	7,5–7,9	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
66,40–70,54	8,0–8,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
70,55–74,69	8,5–8,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
74,70–78,84	9,0–9,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
78,85–82,99	9,5–9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\geq 83,00$	$\geq 10,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

come per K, in funzione del tenore in argilla del suolo (tabella 12). Le caratteristiche di questo mezzo d'estrazione (soluzione di scambio) fanno sì che l'approvvigionamento ideale del suolo in Mg (fattore di correzione 1,0) aumenti parallelamente al suo tenore in argilla.

L'impiego del metodo CaCl₂ per determinare il Mg è prassi corrente in molti Paesi europei. In caso di difficile interpretazione dei risultati ottenuti attraverso altri metodi d'analisi, il metodo CaCl₂ fornisce risultati preziosi, comprovati da numerosi riferimenti bibliografici.

4.3 Correzione della concimazione fosfatica, potassica e magnesiacca secondo il metodo H₂O10

L'estrazione di campioni di suolo in acqua (Dirks e Scheffer 1930; Van der Paauw 1956) prevede un rapporto 1:10 tra peso del campione da estrarre e peso dell'acqua. Nell'estratto acquoso, si misurano le concentrazioni degli elementi nutritivi solubili e prontamente disponibili per le piante. Queste concentrazioni corrispondono, più o meno, a quelle realmente presenti nella soluzione circolante nel suolo. Nei suoli con pH elevati (pH $> 7,8$), è possibile che, a

causa della ridotta solubilità del P, la disponibilità effettiva di questo elemento nutritivo sia maggiore rispetto a quella rilevata attraverso l'analisi (metodo H₂O10), specialmente in presenza di un'eccedenza di Ca. Il metodo H₂O10 si utilizza per determinare il P solo quando il pH del suolo è compreso tra 5 e 7,8 (Gysi *et al.* 1993; Gysi *et al.* 1997). Per i suoli con pH $< 5,0$ e $> 7,8$, non esiste alcuna scala di interpretazione per il P. I risultati del metodo H₂O10 applicato su questi terreni vanno verificati con l'analisi fogliare. Questi casi, relativamente rari in Svizzera, andrebbero discussi con uno specialista della coltura in questione presso Agroscope.

Attualmente il metodo H₂O10 si impiega soprattutto per le colture speciali, quali: colture orticole, vite, alberi da frutto, piccoli frutti, piante ornamentali, piante aromatiche e piante medicinali, non essendo ancora stato messo a punto per le colture erbacee da pieno campo e le superfici prative. Le tabelle 13, 14 e 15 riportano i fattori di correzione che permettono di adattare la concimazione P, K e Mg al tenore del suolo in questi elementi nutritivi, determinato con il metodo H₂O10 in funzione del tasso d'argilla della terra fine. Per i suoli con tenore in humus superiore o uguale al 10 % bisogna, inoltre, riferirsi alla tabella 9.

Tabella 12. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (metodo CaCl₂) e in argilla della terra fine.
(indice Mg 1 = 10 mg Mg/kg di terra fine)

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.
Per le superfici prative «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative

mg Mg/kg	Indice Mg	Tenore in argilla della terra fine (%)				
		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–19,9	0,0–1,9	1,4	1,6	1,6	1,6	1,6
20,0–39,9	2,0–3,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,6
40,0–59,9	4,0–5,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,6
60,0–79,9	6,0–7,9	1,0	1,0	1,2	1,4	1,6
80,0–99,9	8,0–9,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4
100,0–119,9	10,0–11,9	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2
120,0–139,9	12,0–13,9	0,4	0,6	1,0	1,0	1,0
140,0–159,9	14,0–15,9	0,0	0,4	0,8	1,0	1,0
160,0–179,9	16,0–17,9	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0
180,0–199,9	18,0–19,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8
200,0–219,9	20,0–21,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6
220,0–239,9	22,0–23,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6
240,0–259,9	24,0–25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
260,0–279,9	26,0–27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
280,0–299,9	28,0–29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\geq 300,0$	$\geq 30,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabella 13. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (mg P/kg di terra fine, metodo H₂O10) e in argilla della terra fine.

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.
Questo metodo dà risultati validi solo in suoli con pH $\geq 5,0$ e $\leq 7,8$.

Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali**Vite¹**

P-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%); pH $\geq 5,0$ e $\leq 7,8$					P-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%); pH $\geq 5,0$ e $\leq 7,8$				
	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40		< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	0,0–1,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
2,0–3,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	2,0–3,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
4,0–5,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0	4,0–5,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
6,0–7,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	6,0–7,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
8,0–9,9	1,2	0,8	0,8	0,4	0,4	8,0–9,9	1,2	0,8	0,8	0,0	0,0
10,0–11,9	1,0	0,6	0,6	0,0	0,0	10,0–11,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,0–13,9	0,8	0,4	0,4	0,0	0,0	12,0–13,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
14,0–15,9	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	$\geq 14,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16,0–17,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0						
18,0–19,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
20,0–21,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
22,0–23,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0						
$\geq 24,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ I fattori di correzione sono stati ripresi da «Concimazione in viticoltura» (Spring et al. 2003).

Tabella 14. Fattori di correzione della concimazione K in funzione del tenore in K (mg K/kg di terra fine, metodo H₂O10) e in argilla della terra fine.

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali						Vite ¹					
K-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%)					K-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%)				
mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	mg K/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5,0–9,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	5,0–9,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
10,0–14,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	10,0–14,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2
15,0–19,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	15,0–19,9	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
20,0–24,9	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8	20,0–24,9	1,2	1,2	1,2	0,8	0,8
25,0–29,9	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	25,0–29,9	1,1	1,1	1,1	0,0	0,0
30,0–34,9	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	30,0–34,9	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
35,0–39,9	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	35,0–39,9	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0
40,0–44,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	40,0–44,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
45,0–49,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0	$\geq 45,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50,0–54,9	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0						
55,0–59,9	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0						
60,0–64,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
65,0–69,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
70,0–74,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0						
$\geq 75,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ I fattori di correzione sono stati ripresi da «Concimazione in viticoltura» (Spring et al. 2003).

Tabella 15. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (mg Mg/kg di terra fine, metodo H₂O10) e in argilla della terra fine.

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali						Vite ¹					
Mg-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%)					Mg-H ₂ O10	Tenore in argilla della terra fine (%)				
mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40	mg Mg/kg	< 10	10–19,9	20–29,9	30–39,9	≥ 40
0,0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0–4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5,0–9,9	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	5,0–9,9	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
10,0–14,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	10,0–14,9	1,1	1,2	1,2	1,4	1,4
15,0–19,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	15,0–19,9	0,8	1,1	1,1	1,2	1,2
20,0–24,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	20,0–24,9	0,0	1,0	1,0	1,1	1,1
25,0–29,9	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	25,0–29,9	0,0	0,8	0,8	0,9	0,9
30,0–34,9	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	30,0–34,9	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
35,0–39,9	0,0	0,6	0,6	0,8	0,8	$\geq 35,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40,0–44,9	0,0	0,4	0,4	0,6	0,6						
45,0–49,9	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4						
50,0–54,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4						
55,0–59,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4						
$\geq 60,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

¹ I fattori di correzione sono stati ripresi da «Concimazione in viticoltura» (Spring et al. 2003).

4.4 Correzione della concimazione fosfatica, potassica e magnesica secondo il metodo AAE10

Numerose ricerche, svolte sui processi chimici che avvengono durante l'estrazione con acetato di ammonio + EDTA in rapporto 1:10 (AAE10) (Hons *et al.* 1990; Zbíral 2000), hanno evidenziato come l'andamento dell'estrazione cambi passando da suoli non calcarei e poveri in Ca a suoli calcarei e ben approvvigionati in Ca. Ciò vale in special modo per la determinazione del P (Stünzi, 2006; capitolo 3.3).

Nei suoli non calcarei, l'EDTA complessa la ridotta quantità di Ca^{2+} presente, impedendo la formazione di precipitati di fosfato di Ca. Di conseguenza, il P estratto resta in soluzione. Quando la concentrazione di Ca^{2+} è molto bassa, una quota di EDTA resta libera in soluzione e può solubilizzare dei fosfati metallici supplementari (frazione di riserva). Questa frazione dipende dalla composizione minerale del suolo e, quindi, non si può determinare nell'estratto AAE10. Se si applica il metodo AAE10 a un suolo calcareo, il CaCO_3 si scioglie liberando ioni Ca^{2+} in eccesso nella soluzione. Questi ultimi si legano all'EDTA, che perde la sua capacità di estrarre gli altri elementi nutritivi (Zimmermann 1997). Con l'aumentare del tenore in CaCO_3 del suolo, la solubilità del P nell'estratto AAE10 diminuisce progressivamente. A seconda del campione, può essere ridotta in maniera più o meno decisa (fino a $1/20$).

I processi chimici appena descritti spiegano la mancata corrispondenza tra l'interpretazione dei risultati del metodo CO_2 e quelli del metodo AAE10 (Walther *et al.* 2001; Flisch *et al.* 2009). Come avvenuto per il metodo CO_2 , anche il metodo AAE10 è stato testato attraverso prove in campo aperto (figura 9). Nei suoli non calcarei, i due metodi danno risultati confrontabili per ciò che concerne il rapporto tra tenori in sostanze nutritive del suolo, da un lato, e rese e contenuto di nutrienti delle colture, dall'altro. Nei suoli acidi, con elevati tenori di fosfati di Fe e Al, vi sono alcune incertezze nell'interpretazione del tenore in P nell'estratto AAE10, poiché è impossibile valutare se, e quanti, fosfati metallici minerali siano



Figura 9. Per la cicoria belga, il tenore in K del suolo è essenziale per la produzione di grumoli di qualità. Sia nei suoli poveri in K (a sinistra) sia in quelli ricchi (a destra) la percentuale di grumoli non sufficientemente compatti, quindi invendibili, aumenta rispetto al prodotto che si ottiene da un suolo sufficientemente approvvigionato in K (al centro, classe di fertilità C) (fotografia: René Flisch, Agroscope).

stati liberati durante l'estrazione. In suoli di questo tipo, talvolta, l'estrazione con AAE10 mostra tenori in P non riproducibili. Nei suoli calcarei, le relazioni tra i tenori in P del suolo determinati con i due metodi e la reazione delle piante sono a volte simili (figura 10) e a volte molto diverse. Con l'AAE10, il tenore in P disponibile per le piante può essere sia sottovalutato sia sopravvalutato. Siccome non si può sapere quali siano i processi chimici che avvengono nelle diverse siti durante l'estrazione, l'impiego del metodo AAE10 nei suoli calcarei non permette di ottenere informazioni attendibili per quanto riguarda il fabbisogno in P.

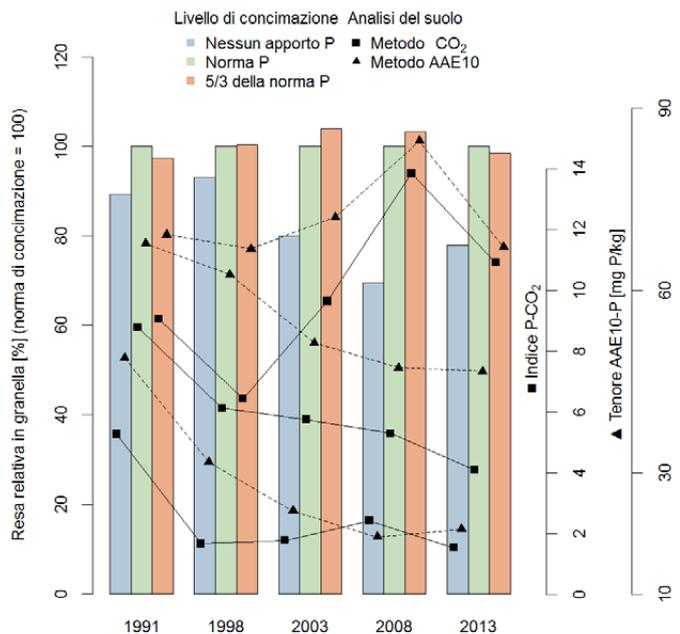


Figura 10. Influenza di differenti livelli di concimazione P (nessun apporto, norma di concimazione, 5/3 della norma di concimazione) sul tenore in P del suolo (metodi CO_2 e AAE10) e sulla resa in granella del frumento. Prova di lunga durata Agroscope, iniziata nel 1989 a Zurigo-Reckenholz. Suolo con il 2 % di humus e il 22 % d'argilla. Concimazione sempre sotto forma minerale (grafico: René Flisch, Agroscope).

La situazione sembra essere la stessa per il Mg, anche se attualmente mancano sufficienti risultati per affermarlo con certezza. Il confronto tra il metodo AAE10 e il metodo CaCl_2 , utilizzato in numerosi Paesi, mostra che, per i suoli calcarei, esistono spesso differenze notevoli relative al tenore di Mg estratto con questi due metodi. Le differenze osservate tra i due metodi non si spiegano né con la concimazione praticata negli anni precedenti né con la struttura aziendale e nemmeno con i tenori in Mg delle piante. I due metodi si differenziano principalmente per il ruolo svolto dall'agente estrattante. L'AAE10, infatti, è in grado di solubilizzare il Mg presente nella dolomia grazie all'elevata concentrazione di acido acetico presente nell'estratto, mentre con il metodo CaCl_2 avviene soltanto uno scambio di ioni.

Le tabelle 16, 17 e 18 riportano i fattori di correzione che permettono di adattare la concimazione P, K e Mg al tenore del suolo in questi elementi nutritivi, determinato con il metodo AAE10 in funzione del tasso d'argilla della terra fine. Per i suoli con tenore in humus superiore o uguale al 10 % bisogna, inoltre, riferirsi alla tabella 9.

Tabella 16. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (mg P/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine per suoli non calcarei
(test CaCO₃ negativo o pH < 6,8 o Ca-AAE10 < 4'000 mg Ca/kg di terra fine).

Per i suoli con un tenore in humus ≥ 10 %, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Per suoli calcarei (test CaCO₃ positivo o pH ≥ 6,8 o Ca-AAE10 ≥ 4'000 mg Ca/kg di terra fine) i fattori di correzione di questa tabella non sono validi per determinare il tenore in P.

Per le superfici prative permanenti «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione > 1,0.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative													
P-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%); suoli non calcarei				Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali				Vite ¹				
	mg P/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40	P-AAE10	mg P/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40
0-4,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	0-4,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5,0-9,9	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	5,0-9,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10,0-14,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	10,0-14,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
15,0-19,9	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	15,0-19,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
20,0-24,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	20,0-24,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2
25,0-29,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	25,0-29,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
30,0-34,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	30,0-34,9	1,5	1,2	1,2	1,3	0,9	0,9
35,0-39,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	35,0-39,9	1,5	1,2	1,2	1,3	0,8	0,8
40,0-44,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	40,0-44,9	1,4	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0
45,0-49,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	45,0-49,9	1,4	1,2	1,1	1,1	0,0	0,0
50,0-54,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	50,0-54,9	1,4	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
55,0-59,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	55,0-59,9	1,4	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
60,0-64,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	60,0-64,9	1,3	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0
65,0-69,9	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	65,0-69,9	1,3	0,9	0,9	0,9	0,0	0,0
70,0-74,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	70,0-74,9	1,3	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
75,0-79,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	75,0-79,9	1,3	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
80,0-84,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	80,0-84,9	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85,0-89,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	85,0-89,9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0-94,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	90,0-94,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
95,0-99,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	95,0-99,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100,0-104,9	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0-104,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
105,0-109,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	105,0-109,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
110,0-114,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	110,0-114,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
115,0-119,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0-119,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120,0-124,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,0-124,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
≥ 125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 125,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ I fattori di correzione sono stati ripresi da «Concimazione in viticoltura» (Spring et al. 2003).

Tabella 17. Fattori di correzione della concimazione K in funzione del tenore in K (mg K/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine.

Per i suoli con un tenore in humus $\geq 10\%$, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Per le superfici prative «intensive» e «mediamente intensive», si raccomanda di non applicare un fattore di correzione $> 1,2$ senza prima analizzare il tenore in K nel foraggio.

Se nel foraggio si rilevano più di 25 g K/kg di SS, non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Per le superfici prative «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione $> 1,0$.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative					Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali					Vite							
K-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%)				K-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%)				K-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%)						
mg K/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40	mg K/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40	mg K/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40
0-19,9	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	0-19,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	0-19,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
20-39,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	20-39,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	20-39,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
40-59,9	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0	40-59,9	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	40-59,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
60-79,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	60-79,9	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	60-79,9	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
80-99,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	80-99,9	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	80-99,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
100-119,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	100-119,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	100-119,9	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
120-139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8	120-139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	120-139,9	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
140-159,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	140-159,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	140-159,9	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
160-179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	160-179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	160-179,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8
180-199,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	180-199,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	180-199,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
200-219,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,6	200-219,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	200-219,9	1,0	0,8	0,8	0,0	0,0
220-239,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	220-239,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	220-239,9	0,8	0,8	0,8	0,0	0,0
240-259,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	240-259,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	240-259,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
260-279,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	260-279,9	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	260-279,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
280-299,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,0	280-299,9	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	280-299,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
300-319,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,0	300-319,9	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	300-319,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
320-339,9	0,6	0,4	0,4	0,0	0,0	320-339,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,0	320-339,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
340-359,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	340-359,9	0,6	0,4	0,4	0,0	0,0	340-359,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
360-379,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	360-379,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	360-379,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
380-399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	380-399,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	380-399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
400-419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	400-419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	400-419,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 420	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabella 18. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (mg Mg/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine per suoli non calcarei (test CaCO₃ negativo o pH < 6,8 o Ca-AAE10 < 4'000 mg Ca/kg di terra fine).

Per i suoli con un tenore in humus ≥ 10 %, bisogna correggere il risultato dell'analisi secondo la tabella 9.

Per suoli calcarei (test CaCO₃ positivo o pH ≥ 6,8 o Ca-AAE10 ≥ 4'000 mg Ca/kg) i fattori di correzione di questa tabella non sono validi per determinare il tenore in Mg.

Per le superfici prative permanenti «poco intensive», non si devono applicare fattori di correzione > 1,0.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative				Colture orticole, alberi da frutto, piccoli frutti, piante aromatiche e piante medicinali				Vite ¹									
Mg-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%): suoli non calcarei				Mg-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%): suoli non calcarei				Mg-AAE10	Tenore in argilla della terra fine (%): suoli non calcarei						
mg Mg/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40	mg Mg/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40	mg Mg/kg	< 10	10-19,9	20-29,9	30-39,9	≥ 40
0-24,9	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5	0-24,9	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	0-24,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
25-49,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5	25-49,9	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	25-49,9	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
50-74,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	50-74,9	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5	50-74,9	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5
75-99,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	75-99,9	1,0	1,2	1,2	1,4	1,4	75-99,9	1,0	1,4	1,4	1,5	1,5
100-124,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	100-124,9	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	100-124,9	0,8	1,3	1,3	1,4	1,4
125-149,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	125-149,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	125-149,9	0,0	1,1	1,2	1,3	1,4
150-174,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	150-174,9	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	150-174,9	0,0	0,9	1,0	1,3	1,3
175-199,9	0,4	0,8	1,0	1,0	1,2	175-199,9	0,6	1,0	1,0	1,0	1,2	175-199,9	0,0	0,8	0,9	1,2	1,3
200-224,9	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0	200-224,9	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	200-224,9	0,0	0,0	0,8	1,1	1,2
225-249,9	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	225-249,9	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0	225-249,9	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1
250-274,9	0,0	0,6	0,6	0,8	1,0	250-274,9	0,4	0,6	0,8	1,0	1,0	250-274,9	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0
275-299,9	0,0	0,4	0,6	0,8	1,0	275-299,9	0,4	0,6	0,8	0,8	1,0	275-299,9	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9
300-324,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8	300-324,9	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0	300-324,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
325-349,9	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8	325-349,9	0,0	0,4	0,6	0,6	0,8	325-349,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
350-374,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	350-374,9	0,0	0,4	0,4	0,6	0,8	350-374,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
375-399,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	375-399,9	0,0	0,0	0,4	0,4	0,6	375-399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
400-424,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	400-424,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	400-424,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
425-449,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	425-449,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	425-449,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
≥ 450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	≥ 450	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ I fattori di correzione sono stati ripresi da «Concimazione in viticoltura» (Spring et al. 2003).

4.5 Determinazione del fabbisogno in concime fosfatico, potassico e magnesiaco

L'analisi del suolo è fondamentale per calcolare il fabbisogno in concime P, K e Mg, perché consente, tra l'altro, di determinare il tenore di questi elementi nutritivi nel suolo e, tramite i fattori di correzione, di adattare la norma di concimazione delle colture, in modo da indirizzare o mantenere lo stato nutrizionale del suolo al livello desiderato (classe di fertilità C). Le modalità di questo processo sono schematizzate nella figura 11.

Con «prelievo in elementi nutritivi» si intende la totalità degli elementi nutritivi assorbiti dalla coltura, compresa la quota di nutrienti localizzata nelle parti di pianta che si potrebbero raccogliere, anche solo potenzialmente. Questa interpretazione è giustificata dal fatto che tutti gli organi della pianta devono essere ben approvvigionati in elementi nutritivi se si vuole che la coltura cresca, si sviluppi e produca in modo soddisfacente. Gli elementi nutri-

tivi destinati alle radici, che rimangono in campo, non vengono considerati in questo contesto. I valori necessari a stabilire il fabbisogno in concime delle diverse colture, espressi in kg/ha, si definiscono norme di concimazione e sono riportati nei moduli delle colture.

4.6 Aspetti particolari della concimazione fosfatica, potassica e magnesiacca

La **capacità delle piante di prelevare elementi nutritivi** varia da una specie all'altra e dipende dalla struttura e dall'estensione dell'apparato radicale, nonché dalla concentrazione in elementi nutritivi della soluzione circolante. Quest'ultima è, a sua volta, strettamente correlata al tenore in nutrienti del suolo. Ne consegue che il tenore ottimale in elementi nutritivi del suolo si definisce in funzione della specie coltivata.

Il **tenore ottimale in P, K e Mg del suolo** è stato definito per specie vegetali che hanno una capacità da media a buona di

Fabbisogno in concime	=	Norma di concimazione ¹	*	Fattore di correzione
(kg P/ha, kg K/ha, kg Mg/ha)		(kg P/ha, kg K/ha, kg Mg/ha)		(tab. 10–18, capitoli 4.1–4.4)
Soddisfatto da: <ul style="list-style-type: none"> • residui del precedente colturale • concimi aziendali • concimi ottenuti dal riciclaggio • concimi minerali 		Corrisponde ai kg/ha di elementi nutritivi prelevati dalla coltura, calcolati in funzione della sua resa (corretta secondo il potenziale produttivo locale) e del suo tenore in nutrienti (escluse le radici che restano in campo), corretti secondo le caratteristiche specifiche della coltura stessa. (moduli delle colture)		Consente di adattare la norma di concimazione della coltura in modo da indirizzare o mantenere lo stato nutrizionale del suolo al livello desiderato (classe di fertilità C). Il fattore di correzione dipende da: <ul style="list-style-type: none"> • metodo d'analisi • categoria di colture

¹ I moduli delle colture (moduli 8–16) trattano dettagliatamente le norme di concimazione.

Figura 11. Schema per la determinazione del fabbisogno in concime P, K e Mg.



Figura 12. Plantule di mais con carenza di P, evidenziata dalle colorazioni violacee delle foglie e da ritardi nella crescita (a sinistra), confrontate con plantule concimate normalmente su un suolo avente classe di fertilità C (a destra). Le immagini sono contemporanee (fotografia: René Flisch, Agroscope).



Figura 13. I primi sintomi di carenza di K su patata si manifestano attraverso ingiallimento e poi necrosi dei bordi delle foglie più vecchie (fotografia: René Flisch, Agroscope).

prelevare elementi nutritivi. Nel caso di queste colture, la concimazione corrisponde ai prelievi delle piante coltivate. A questo proposito, cereali autunnali e graminacee sono colture capaci di assorbire elementi nutritivi in modo molto efficiente, grazie al loro apparato radicale espanso e fittamente ramificato. Lo stesso dicasi per le piante coltivate dotate di apparato radicale fittonante in grado di penetrare profondamente nel suolo, come la barbabietola, capace di prelevare K anche dagli strati profondi del suolo. In casi simili e in suoli sufficientemente approvvigionati (classe di fertilità C), la concimazione può essere inferiore ai prelievi senza che si verifichino inconvenienti. Invece, le specie a scarso sviluppo radicale (p.es. patata e colture orticole con apparato radicale superficiale) necessitano di una maggior concentrazione di elementi nutritivi nella soluzione circolante del suolo per potersi nutrire adeguatamente. In questi casi, è necessario aumentare temporaneamente la disponibilità di elementi nutritivi. L'eventuale aggiunta di concime va considerata nella pianificazione della concimazione delle colture successive.

I **concimi minerali P** si distribuiscono generalmente prima della lavorazione primaria del suolo oppure prima della preparazione del letto di semina. Per quanto concerne la scelta della forma di P più adatta, si rimanda al capitolo 4.2.2 del modulo 4.

Per evitare il **consumo di lusso di K** da parte di alcune specie foraggere (con il rischio generale di abbassare il tenore in Mg delle piante), gli apporti superiori a 200 kg K_2O/ha vanno suddivisi in due interventi (p.es. al risveglio vegetativo e dopo il secondo sfruttamento stagionale). Nel caso di colture erbacee da pieno campo e colture orticole, gli apporti di K non devono superare i 300 kg K_2O/ha , per non rischiare fenomeni di fitotossicità nelle specie sensibili alla salinità e/o il verificarsi di eccessi di K nelle piante. Qualora siano necessari apporti K maggiori, la soluzione migliore consiste nel distribuire una quota di K sotto forma di concimi aziendali o prima di seminare un sovescio. Nei suoli sabbiosi, la distribuzione di K va fatta alla fine dell'inverno

o all'inizio della primavera, per evitare il trasferimento di una quantità non trascurabile dell'elemento a una profondità irraggiungibile dalle radici. I concimi K adatti alle diverse colture vanno scelti tenendo conto della loro composizione e delle loro caratteristiche, in particolare se sono destinati a specie sensibili al cloro (Cl) (capitolo 4.2.4, modulo 4).

Il Mg è un elemento relativamente mobile nel suolo. Per evitare **perdite di Mg per dilavamento** è opportuno considerare quanto segue: i concimi Mg solubili, sotto forma di solfato di Mg ($MgSO_4$), vanno distribuiti secondo le regole utilizzate per la distribuzione dei concimi N, quando il fabbisogno della coltura è elevato. Per migliorare lo stato nutrizionale del suolo in Mg a medio-lungo termine, bisogna apportare questo elemento, o parte di esso, sotto una forma meno solubile come, per esempio, l'ossido di Mg (MgO) e il carbonato di Mg ($MgCO_3$) presente nella dolomia (capitolo 4.2, modulo 4).

Nelle aziende dedite all'allevamento e ubicate su suoli molto ricchi in elementi nutritivi, le quantità di nutrienti prodotti possono superare, anche di molto, il fabbisogno delle colture. In queste situazioni, di regola, bisognerebbe esportare gli elementi nutritivi in eccesso. L'esportazione di concimi aziendali, per esempio quando lo stato nutrizionale del suolo in P è molto elevato, può però rendere deficitario il bilancio aziendale in altri elementi, come l'N. In tali condizioni, bisogna trovare un compromesso, accettabile sul piano agronomico ed ecologico, tra l'impiego interno di questi concimi e la loro esportazione. Anche se il fattore di correzione per un dato nutriente è inferiore a 0,8, i concimi aziendali ottenuti da foraggi prodotti in azienda si possono distribuire ugualmente, ma il loro apporto non dovrebbe superare l'80% della norma di concimazione. Se, però, tali aziende acquistano foraggio, sia grezzo sia concentrato, il bilancio aziendale degli elementi nutritivi diventa eccedentario e bisogna obbligatoriamente esportare questi ultimi attraverso la cessione di concimi aziendali.

Il programma informatico HODUFLU (UFAG 2012), previsto dalla legge sull'agricoltura, consente di gestire efficacemente gli scambi interaziendali di concimi aziendali e ottenuti dal riciclaggio.

4.7 Altri elementi nutritivi (macro- e microelementi)

4.7.1 Azoto

La determinazione dell'N minerale del suolo (N_{min}) consente di ottimizzare la concimazione N, in particolare per le colture erbacee da pieno campo e per le colture orticole. La valutazione del tenore in N_{min} del suolo in rapporto allo stadio di sviluppo della coltura è descritta nei moduli dedicati alle diverse categorie di colture. Il metodo N_{min} può essere utile anche per affrontare problemi di natura ecologica, come per esempio la valutazione della quantità di N_{min} che permane nel suolo in autunno ed è suscettibile di dilavamento. Il metodo non è adatto, invece, per verificare, dopo una concimazione o dopo il raccolto, l'adeguatezza della concimazione N appena eseguita.



Figura 14. Carezza di S su cavolo rapa (le piante al centro dell'immagine non hanno ricevuto S). La distribuzione di concimi P, K e Mg contenenti SO_4^{2-} aiuta a prevenire la carezza in S (fotografia: Hanspeter Buser, Agroscope).

4.7.2 Zolfo

In tutta l'Europa occidentale, la quantità di S presente nell'atmosfera si è sensibilmente ridotta in seguito all'impiego di combustibili poveri di questo elemento. Fino agli anni '80, invece, la quantità di S che ricadeva al suolo con le precipitazioni (30–50 kg S/ha, a volte fino a 100 kg S/ha) era sufficiente a coprire gran parte del fabbisogno delle piante, anche di quelle più esigenti. Secondo diverse fonti, oggi, la quantità annuale di S apportata dalle precipitazioni si situa, in molte regioni, al di sotto di 10 kg S/ha.

Attualmente, la principale fonte naturale di S per le piante è rappresentata dalla sostanza organica del suolo. Il rifornimento del suolo in S organico avviene attraverso residui colturali, concimi aziendali e concimi ottenuti dal riciclaggio.

Oggi, non è raro osservare sintomi di carezza in colture molto esigenti in S, come: colza, diverse specie di cavolo, leguminose e alcune liliacee (cipolle e porri), nonostante esso sia nominalmente presente in quantità sufficiente nel terreno. Ciò è dovuto alla sua inclusione nella sostanza organica, che va prima mineralizzata per renderlo disponibile per le piante. In questo ambito, la dinamica dello S è analoga a quella dell'N. La mineralizzazione della sostanza organica del suolo libera ioni solfato (SO_4^{2-}) che, nel suolo, si comportano in maniera simile agli ioni nitrato (NO_3^-) e sono altrettanto suscettibili di dilavamento.

L'esperienza ha mostrato che le colture molto esigenti in S vivono il loro periodo critico per questo elemento in primavera, perché nelle regioni molto piovose (situazione diffusa in Svizzera) gran parte del SO_4^{2-} disponibile ancora presente nel suolo alla fine dell'autunno precedente, migra in profondità, dove non è più raggiungibile dalle

Tabella 19. Parametri per la valutazione (punteggio) della disponibilità di S del suolo.

Parametro	Valutazione	Influenza sulla disponibilità di S del suolo (punteggio)
Tenore in humus del suolo (%)	< 2	1
	2–5	3
	> 5	5
Tenore in argilla del suolo (%)	< 10	1
	10–20	2
	20–30	3
	> 30	5
Scheletro (% volume)	> 30	1
	10–30	3
	< 10	5
Profondità utile del suolo (cm)	10–30	1
	31–70	5
	> 70	7
Precipitazioni dall'ottobre precedente a marzo (mm)	> 540	1
	370–540	3
	< 370	5
Impiego di concimi aziendali	mai	1
	meno di una volta ogni 3 anni	3
	almeno una volta ogni 3 anni	5
Differenza tra concimazione N effettiva e prevista ¹	supplemento > 40 kg N/ha	1
	dose prevista +/- 40 kg N/ha	3
	riduzione > 40 kg N/ha	5

¹ La concimazione N si determina con il metodo di stima oppure con il metodo N_{min} (moduli delle colture).

Tabella 20. Fattori di correzione della concimazione S in base alla disponibilità in S del suolo e al fabbisogno (prelievo) della coltura.

Fabbisogno della coltura in S ¹	Valutazione della disponibilità in S del suolo (somma punteggi tab. 19)	Fattore di correzione per il fabbisogno in S della coltura ¹
Culture molto esigenti: > 60 kg S/ha		
p.es. colza, leguminose, diverse specie di cavolo, sedano	< 15	0,75
	15–23	0,50
	> 23	0,25 ²
Culture mediamente esigenti: da 25 a 60 kg S/ha		
p.es. cereali, barbabietola da foraggio e da zucchero, mais, pisello, fagiolino, colture foraggere, asparago, cipolla	< 14	0,70
	14–20	0,50
	> 20	0
Culture poco esigenti: < 25 kg S/ha		
p.es. patata, diverse specie d'insalata	< 13	0,5
	13–18	0
	> 18	0

¹ I prelievi (fabbisogni) in S delle singole colture sono riportati nei moduli delle colture oppure si possono richiedere agli specialisti di Agroscope.

² Solo nel caso in cui si distribuiscano concimi organici contenenti S (p.es. concimi aziendali) meno di una volta ogni tre anni.

radici delle colture. Inoltre, alla ripresa vegetativa primaverile, la mineralizzazione della sostanza organica inizia in ritardo a causa delle basse temperature e limita la liberazione di S disponibile per le colture che non ne trovano a sufficienza.

Se non si tiene conto del caso particolare costituito dai suoli poveri in humus, si osserva che le carenze di S in estate e fino all'inizio dell'autunno sono piuttosto rare, anche nelle colture esigenti, perché le temperature più elevate favoriscono la liberazione continua di SO_4^{2-} attraverso la mineralizzazione della sostanza organica. Si possono verificare carenze temporanee durante, o subito dopo, periodi di abbondanti precipitazioni.

Diverse prove di concimazione hanno mostrato che una carenza di S (figura 14) in periodi colturali critici si può compensare efficacemente distribuendo concimi P, K e Mg contenenti SO_4^{2-} (superfosfato, solfato di K $[\text{K}_2\text{SO}_4]$, Patentkali, ecc.). Sono efficaci anche gli apporti di N sotto forma di solfato ammonico ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$).

La pianta assorbe S sotto forma di SO_4^{2-} , perciò si potrebbe pensare di determinare la disponibilità di SO_4^{2-} del suolo nell'estratto dei campioni utilizzati per dosare l' N_{\min} (metodo S_{\min}). Tuttavia, secondo esperimenti condotti in Germania, la determinazione dello S_{\min} è nettamente meno affidabile di quella dell' N_{\min} .

La quantità potenziale di S disponibile si può valutare con sufficiente precisione tenendo conto contemporaneamente dell'effetto di diversi parametri relativi all'ubicazione e alla modalità di conduzione dell'azienda. Tra questi ci sono: il contenuto del suolo in humus, argilla e scheletro, la profondità utile del suolo, le precipitazioni invernali e primaverili, la frequenza delle distribuzioni di concimi aziendali e le quantità di concimi N distribuiti (tabella 19). Il fabbisogno in concime S si può stabilire tenendo conto del fabbisogno della coltura (moduli delle colture) e della quantità stimata di S disponibile nel suolo (tabella 20) (Pellet *et al.* 2003a e 2003b).

4.7.3 Microelementi

La carenza di microelementi si può verificare in presenza di colture che forniscono rese elevate in suoli e condizioni colturali particolari. In situazioni eccezionali (colture particolarmente esigenti, rischio di carenza accresciuto), può essere necessario determinare il tenore in microelementi del suolo, in particolare B e Mn.

Rispetto agli elementi nutritivi principali (macroelementi), le piante assorbono i microelementi in piccole quantità, anche se esistono differenze notevoli tra un microelemento e l'altro. Il Fe si colloca in prima posizione tra i microelementi, perché le piante possono esportarne fino a 1 kg/ha con il raccolto. Seguono Mn, B, Zn e Mo, che vengono assorbiti dalla maggior parte delle piante in ragione di qualche g per ha. Questi valori sono soltanto indicativi in quanto i fabbisogni effettivi variano molto da una coltura all'altra.

I suoli sabbiosi e quelli molto ricchi di humus (torbosi), per loro natura, contengono pochi microelementi. Tutti gli altri tipi di suolo coltivabili, generalmente, ne contengono in quantità sufficiente per soddisfare le esigenze delle colture. Tuttavia, la disponibilità di microelementi può venire sensibilmente ridotta da condizioni, quali: pH sfavorevole, compattamento del suolo, ristagno idrico e siccità.

La disponibilità di microelementi si può migliorare con una lavorazione del suolo sostenibile, un'irrigazione adeguata e una modifica del pH mediante concimazione mirata. La distribuzione di concimi in grado di influenzare il pH del suolo, come la calcitazione, per quanto possibile, permette di stabilizzare il pH attorno a un valore ottimale (capitolo 5).

Nei casi di carenza temporanea, la distribuzione di microelementi si esegue principalmente per via fogliare. Non bisogna dimenticare che, per quanto concerne i microelementi, tra carenza ed eccesso intercorre una differenza minima, tanto che un'applicazione inopportuna può generare una disponibilità eccessiva di questi nutrienti, dannosa per le piante sensibili.

Una carenza di B e Mn dovuta al dilavamento o all'immobilizzazione di questi microelementi è possibile nei suoli sabbiosi irrigui, nei suoli molto alcalini o molto acidi e in quelli ricchi in humus. La maggior parte dei concimi completi impiegati in viticoltura contiene B per limitare i rischi di carenza (figura 15). In talune situazioni speciali, la concimazione con B o Mn è indispensabile. Nel caso delle colture esigenti in B (barbabietola, colza, girasole, vite), si raccomandano apporti dell'ordine di 1,5–2 kg/ha. Si ricorda che calcitazioni inopportune possono ostacolare seriamente l'assorbimento di B e Mn da parte delle colture. La tabella 21 fornisce informazioni sull'interpretazione dei risultati dell'analisi del suolo per definire la necessità di apporti mirati di B o Mn, tenendo conto del tenore in humus, del pH e del fabbisogno delle colture.

Tranne nel caso di B e Mn, la concimazione con microelementi ha senso solo in condizioni produttive e pedologiche molto particolari. Le analisi del suolo che riguardano altri microelementi, perciò, si giustificano solo in via ecce-



Figura 15. La carenza di B (p.es. dopo una calcitazione eccessiva) favorisce il marciume del cuore della barbabietola (fotografia: René Flisch, Agroscope).

Tabella 21. Concimazione con B e Mn in funzione dei risultati delle analisi del suolo, del tipo di suolo e del fabbisogno delle colture (la tabella 6 riporta il metodo d'analisi).

Elemento nutritivo	Tenore del suolo (mg/kg)		Valutazione		Tenore in humus < 10 %		Tenore in humus ≥ 10 %			
							Suoli da acidi a leggermente acidi		Suoli da neutri ad alcalini	
					Colture poco esigenti	Colture esigenti ¹	Colture poco esigenti	Colture esigenti ¹	Colture poco esigenti	Colture esigenti ¹
Boro (B)	< 0,6		povero	A	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*	1,5–2,0 kg B/ha*	2,5–3,0 kg B/ha*
	0,6–1,5		moderato	B	–	1,5–2,0 kg B/ha*	–	2,0–2,5 kg B/ha*	–	2,0–2,5 kg B/ha*
	1,6–2,0		sufficiente	C	–	1,0 kg B/ha*	–	1,0 kg B/ha*	–	1,0 kg B/ha*
	2,1–5,0		ricco	D	–	–	–	–	–	–
	> 5,0		molto ricco	E	–	–	–	–	–	–
Manganese (Mn)	Scambiable	Facilmente riducibile								
	< 2		povero	A	20–40 kg Mn/ha*	30–50 kg Mn/ha*	30–50 kg Mn/ha*	40–60 kg Mn/ha*	10–15 kg/ha solfato di manganese ²	
	> 2	< 50	moderato	B	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	20–40 kg Mn/ha*	10–15 kg/ha solfato di manganese ²	
	> 2	> 50	sufficiente	C	–	–	–	–	–	

¹ B: barbabietola, colza, girasole, sedano, vite, pomacee, drupacee; Mn: cereali, leguminose, spinacio, barbabietola, pomacee, drupacee.

² In queste condizioni, la concimazione al suolo con manganese non è efficace; in alternativa, si consiglia la concimazione fogliare con 600–1'000 l d'acqua/ha, ripetendo le applicazioni e sostituendo eventualmente il solfato di manganese con altri prodotti specifici contenenti manganese (attenzione a rispettare dosi e prescrizioni d'utilizzo).

* Concimazione al suolo: il B si può distribuire sotto forma di borace, nebulizzato sotto forma di acido borico (sul suolo!) oppure sparso sotto forma di concimi completi che ne contengono a sufficienza.

zionale e si dovrebbero prima discutere con il servizio di consulenza agricola oppure con Agroscope.

5. Ammendamento calcareo

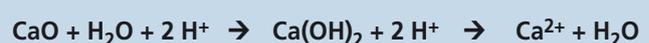
Il tenore in calcare è una caratteristica del suolo da tenere in considerazione se si vuole praticare un'agricoltura sostenibile che rispetti il territorio. Il quantitativo di CaCO₃ presente è fortemente influenzato dalla roccia madre che ha originato il suolo, dall'andamento delle precipitazioni e dal tipo di gestione agricola (capitolo 2.4).

Le perdite di calcare del suolo sono principalmente dovute a fenomeni di dilavamento, al fabbisogno intrinseco del suolo per la sua neutralizzazione e ai prelievi di Ca da parte delle colture. Le perdite annuali possono raggiungere diverse centinaia di chili di CaCO₃ per ettaro. Queste perdite si possono generalmente compensare attraverso gli apporti calcarei contenuti nei concimi aziendali, nei concimi ottenuti dal riciclaggio e nei concimi minerali, oppure tramite modesti apporti sporadici di ammendanti calcarei (calcitazioni di mantenimento). Per aumentare il tenore calcareo di suoli più o meno acidi, bisogna, invece, eseguire calcitazioni di correzione. La quantità e la frequenza delle calcitazioni dipendono dal tipo di suolo, dal suo pH,

e dal suo tasso di saturazione in basi (SB). È importante ricordare che gli ammendamenti calcarei aumentano il pH del suolo e possono, dunque, modificare la disponibilità degli elementi nutritivi per le piante.

Gli ammendanti calcarei sono sostanze a effetto alcalinizzante che fanno diminuire la concentrazione di ioni idrogeno (H⁺) del suolo e aumentare sia il suo pH sia la presenza di ioni Ca²⁺ e Mg²⁺. L'ossido di Ca (CaO), o calce viva, e l'idrossido di Ca (Ca(OH)₂), o calce spenta, così come i carbonati di Ca e Mg (CaCO₃ e MgCO₃), possiedono queste proprietà. Secondo le convenzioni internazionali, il potere neutralizzante di queste molecole è espresso in equivalenti di CaO. L'effetto neutralizzante è svolto dal CaCO₃ e dall'Ca(OH)₂, che si forma nel suolo a partire da CaO.

Formule di sintesi relative all'effetto neutralizzante degli ammendamenti calcarei:



Il gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) non è un ammendante calcareo (non modifica il pH del suolo), bensì un concime contenente S e Ca.

5.1 Determinazione dell'entità della calcitazione in funzione del pH del suolo

Il $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ del suolo può dare indicazioni di massima sulla necessità di effettuare la calcitazione e sulla quantità di ammendante calcareo da distribuire (tabella 22). Occorre tenere conto che il fabbisogno calcareo del suolo cresce con l'aumentare del suo tenore in argilla e diminuisce con il crescere del suo tenore in humus.

Per stimare la necessità della calcitazione di mantenimento, può essere utile valutare, unitamente alle esigenze

nutritive delle colture, l'effetto dei concimi minerali distribuiti sul tenore in calcare del suolo. Il grado di acidificazione o di alcalinizzazione teorico (E) di un concime, espresso in kg di CaO, si può calcolare con la formula di Sluijsmans (1970):

$$E \text{ (kg CaO)} = 1,0 \times \text{CaO} + 1,4 \times \text{MgO} + 0,6 \times \text{K}_2\text{O} + 0,9 \times \text{Na}_2\text{O} - 0,4 \times \text{P}_2\text{O}_5 - 0,7 \times \text{SO}_3 - 0,8 \times \text{Cl} - n \times \text{N}$$

(n = 0,8 per le superfici prative permanenti e 1,0 per le terre aperte)

Un E di segno positivo indica un effetto alcalinizzante, mentre un E di segno negativo indica un effetto acidificante.

Tabella 22. Valutazione di massima della quantità di ammendante calcareo da distribuire in funzione del pH del suolo, del suo tenore in argilla e della sua utilizzazione (i valori sono espressi in q di CaO equivalenti).

Tenori in argilla e humus	$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ del suolo	Calcitazione di correzione ¹		Calcitazione di mantenimento	
		q CaO/ha		q CaO/ha ogni 4-5 anni	q CaO/ha e anno
		Colture erbacee e colture orticole da pieno campo, vite, alberi da frutto	Superfici prative permanenti	Superfici prative permanenti	Alberi da frutto
< 10 % d'argilla	< 5,3	20	10	–	2,5–3,0
	5,3–5,8	15	7,5 ²	5–7 ³	1,0–2,5
	5,9–6,2	10	5 ²	5–7 ³	0,5–1,0
	> 6,2	0	0	–	0–0,75
10–20 % d'argilla	< 5,3	25	12,5	–	3,0–4,0
	5,3–5,8	20	10	6–9 ³	1,5–2,5
	5,9–6,2	15	7,5	6–9 ³	0,75–1,25
	> 6,2	0	0	–	0–1,0
20–30 % d'argilla	< 5,3	30	15	–	3,5–4,25
	5,3–5,8	25	12,5 ²	8–10 ³	2,5–3,5
	5,9–6,2	20	10 ²	8–10 ³	1,0–1,5
	> 6,2	0	0	–	0–1,25
> 30 % d'argilla	< 5,3	35	20	–	5–6
	5,3–5,8	30	17,5 ²	9–12 ²	2–5
	5,9–6,7	25	15 ²	9–12 ²	1–2
	> 6,7	0	0	–	0–1,5
≥ 10 % di humus		0	0	–	–

¹ In foraggicoltura occorre tener conto della composizione botanica e delle piante foraggere adattate alle condizioni ambientali locali. In frutticoltura, per determinare la calcitazione, non si considera più il tenore in Ca dell'estratto AAE10 (Bertschinger *et al.* 2003); lo scopo della calcitazione è quello di modificare il pH (ioni H^+) e non il tenore in Ca del suolo.

² Di norma è sufficiente una calcitazione ogni 4–5 anni.

³ Si raccomanda una calcitazione di mantenimento se si nota un calo progressivo del pH.

5.2 Determinazione dell'entità della calcitazione in funzione della capacità di scambio cationico e del tasso di saturazione in basi del suolo

I colloidi argillosi e la sostanza organica del suolo adsorbono i cationi della soluzione circolante sulla loro superficie caricata negativamente. Quando la concentrazione di cationi nella soluzione circolante diminuisce, il complesso argillo-umico cede parte degli elementi nutritivi adsorbiti, che entrano in soluzione e diventano disponibili per le piante.

Il SB rappresenta la percentuale di CSC occupata dai cationi a reazione basica (Ca_2^+ , Mg_2^+ , K^+ , Na^+). Più il SB è basso, maggiore è la concentrazione di H^+ nella soluzione circolante e, conseguentemente, il grado di acidità del suolo; il che va considerato per calcolare l'entità della calcitazione necessaria.

Ne consegue che conoscere la CSC e il SB del suolo è fondamentale per correggerne l'acidità in modo mirato. Le tabelle 23 e 24 consentono di calcolare la quantità di ammendante calcareo da distribuire in funzione della CSC, del SB e del tipo di utilizzazione agricola praticata (Walther *et al.* 1987; Collaud *et al.* 1990). In generale, un ammendamento calcareo può essere necessario se il tasso di saturazione in basi è inferiore al 50 % per le superfici prative permanenti e al 60 % per tutte le altre colture.

Tabella 23. Valutazione del tenore in calcare del suolo in funzione del tasso di saturazione in basi (SB) e del tipo di gestione agricola.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative temporanee	SB (%)		Valutazione del tenore in calcare del suolo	Classe di fertilità
	Superfici prative permanenti	Vite, alberi da frutto		
< 40	< 30	< 40	molto povero	A
40–49	30–39	40–49	povero	A
50–59	40–49	50–59	moderato	B
60–79	50–79	60–79	sufficiente	C
≥ 80	≥ 80	≥ 80	ricco	D

Tabella 24. Determinazione della quantità di ammendante calcareo da distribuire in funzione della CSC e del SB del suolo (i valori sono espressi in q di CaO equivalenti).

I valori riportati nella tabella sono calcolati per modificare il pH nei primi 20 cm di profondità del suolo. Per ammendamenti a profondità maggiori (p.es. all'impianto di un nuovo frutteto o vigneto), le quantità vanno adattate di conseguenza. La tabella 14 del modulo 4 riporta i fattori di conversione in q di CaO equivalenti di diversi ammendanti calcarei.

Colture erbacee da pieno campo e superfici prative temporanee	SB (%)		Calcitazione (q CaO/ha) in funzione della CSC (cmol+/100 g di terra fine) ¹			
	Superfici prative permanenti	Vite, alberi da frutto	< 10	10–14,9	15–19,9	≥ 20
≥ 60	≥ 50	≥ 60	0	0	0	0
50–59	40–49	50–59	7,3	12,5	15,5	20,0 ²
40–49	30–39	40–49	10,0	19,0	21,5 ²	28,0 ²
< 40	< 30	< 40	13,0	24,5 ²	27,5 ²	36,0 ²

¹ Unità desueta: meq/100 g di terra; i valori non cambiano comunque.

² Frazionare la calcitazione in 2–3 distribuzioni ad intervalli di 2–4 anni; prima di ogni nuova distribuzione, si raccomanda di verificare il pH del suolo.

5.3 Consigli pratici

5.3.1 Colture erbacee da pieno campo

In campicoltura, i valori ottimali di pH del suolo si situano in un intervallo relativamente ampio, tra acido e leggermente alcalino. Se è necessario eseguire un ammendamento calcareo, bisogna procedere prima di una coltura calciofila o perlomeno in grado di sopportare la calcitazione senza subire danni. È preferibile distribuire frequentemente piccole quantità di ammendanti calcarei piuttosto che un'unica dose massiccia, al fine di evitare il rischio d'immobilizzazione dei microelementi e/o di sottoporre le colture sensibili a uno «shock calcareo».

Con valori di pH superiori a 6,2, gli ammendamenti calcarei possono comportare dei rischi. Pertanto, si devono eseguire solo in via eccezionale e in quantità limitata (al massimo 10–15 q/ha di CaO). Le rotazioni colturali che includono la patata sono particolarmente sensibili all'eccessiva distribuzione di ammendanti calcarei, che possono causare notevoli cali di resa senza che si manifestino sintomi di carenze visibili durante la vegetazione. In questi casi, si deve rinunciare all'ammendamento calcareo.

5.3.2 Superfici prative

Per le superfici prative permanenti, i valori ottimali di pH del suolo sono generalmente inferiori a quelli visti per le colture erbacee da pieno campo. La maggior parte delle piante di buon valore foraggero cresce meglio in suoli da leggermente acidi ad acidi (pH_(H₂O) 5,5–6,7). In questo intervallo di valori, la disponibilità della maggior parte degli elementi nutritivi è buona. Nelle nostre condizioni climatiche, i suoli tendono verso una costante acidificazione. La velocità di questo processo dipende dalle condizioni pedoclimatiche locali e dal tipo di concimazione praticata. Queste considerazioni valgono anche per le superfici prative (Jeangros 2008), il cui pH andrebbe verificato regolarmente. Se il pH del suolo scende al di sotto di 5,5 (6,5 per l'erba medica), la crescita delle leguminose rallenta, così come la quantità di azoto atmosferico fissata dai batteri simbiotici delle loro radici. Ciò può comportare un calo di resa. Per contrastare questa acidificazione naturale, si racco-

manda di utilizzare regolarmente concimi N, P e/o Mg con effetto alcalinizzante o di distribuire regolarmente quantità moderate di ammendanti calcarei (tabella 22).

Se il pH del suolo scende al di sotto di 5,5 e la composizione botanica del prato non è ottimale (p.es. la presenza di leguminose è insufficiente), si può optare per una calcitazione di correzione, tenendo conto della CSC e del SB del suolo (tabelle 23 e 24). In tali situazioni, la calcitazione può avere un effetto positivo sulla percentuale di leguminose o di altre buone piante foraggere. Le quantità superiori a 15 q/ha di CaO si devono ripartire in più apporti a intervalli di due anni. Il tenore in Ca del foraggio non permette di stimare il grado di acidità del suolo e nemmeno il suo fabbisogno in ammendante calcareo, in quanto dipende fortemente dalla composizione botanica della cotica erbosa.

In foraggicoltura, se il pH è superiore a 5,5 oppure se la composizione botanica è equilibrata nonostante pH inferiori a 5,5, non è necessario ricorrere ad ammendanti calcarei. Diverse serie di prove hanno dimostrato che, spesso, dopo la calcitazione di suoli con pH superiore a 5,5 non si manifesta alcun aumento significativo della resa in foraggio (Schechter 1993; Fabre e Kockmann 2006; Huguenin-Elie *et al.* 2015). Calcitazioni eccessive possono addirittura causare una diminuzione della disponibilità di elementi nutritivi, specialmente a partire da un pH del suolo superiore a 7,0.

Prima di correggere il pH su una superficie prativa, si raccomanda di valutare attentamente le aspettative in funzione delle situazioni descritte qui di seguito.

- Nelle zone caratterizzate da condizioni climatiche sfavorevoli per lo sviluppo delle piante foraggere, mancano le buone graminacee necessarie per gestire prati e pascoli intensivamente e la produzione di foraggio subisce forti limitazioni a causa di: temperatura, piovosità, periodo vegetativo e durata dell'innevamento. Le graminacee che crescono in tali condizioni vanno gestite in modo meno intensivo e producono meno. Ne consegue che il loro fabbisogno in elementi nutritivi è minore. Più le condizioni climatiche sono difficili, più bisogna valutare criticamente le aspettative riposte nell'ammendamento calcareo.
- Una composizione botanica degradata a causa di errori di gestione, quali: concimazione eccessiva, sfruttamento troppo intensivo o compattamento del suolo non si può migliorare con la calcitazione. In superfici prative permanenti, situate su suoli da leggermente acidi ad acidi e gestite intensivamente, la calcitazione non consente, da sola, di ridurre eventuali popolazioni di ranuncolo acre e ranuncolo strisciante ben radicate (Huguenin-Elie *et al.* 2015).

5.3.3 Colture orticole, piccoli frutti annuali, piante aromatiche e medicinali

Questi gruppi di colture necessitano di un buono stato nutrizionale del suolo in P e in microelementi. Generalmente, la disponibilità di questi elementi nutritivi è ottimale con valori di pH compresi tra 6,0 e 7,0 (figura 2).

Nei suoli alcalini, una quota consistente del P è immobilizzata sotto forma di fosfati di Ca poco solubili. L'aumento del pH provoca la diminuzione della disponibilità di Fe, Mn, B, Zn e rame (Cu) e, al contrario, un incremento della disponibilità di Mo. L'acidificazione del suolo aumenta nettamente la solubilità di Mn e Al, cui può far seguito la comparsa di sintomi di fitotossicità, in particolare nei suoli soggetti al ristagno idrico, soprattutto sugli ortaggi molto sensibili come le insalate (Neuweiler 2011).

Una calcitazione di mantenimento a dosi ridotte, effettuata prima dell'impianto di una coltura intercalare o prima dell'installazione di specie calciofile come i cavoli, permette di evitare rischi per le colture più sensibili dovuti al momentaneo aumento del pH.

Nel caso dei piccoli frutti, delle piante aromatiche e di quelle medicinali, le esigenze in fatto di pH e di tenore in Ca del suolo sono diverse a seconda della specie, soprattutto se si vogliono ottenere resa e qualità del prodotto soddisfacenti (Carlen 2007). La scelta di un ambiente di coltivazione adatto è più opportuna della correzione del pH.

5.3.4 Vite

In viticoltura è raccomandata la calcitazione quando il pH è inferiore a 5,9. Se il pH è compreso tra 5,9 e 6,5, una calcitazione può essere presa in considerazione ma, molto spesso, è sufficiente effettuare la concimazione annuale con concimi a reazione alcalina. Questa soluzione è valida anche se il pH del suolo è compreso tra 6,5 e 7,0 in particolare se le misurazioni periodiche di questo parametro mostrano una tendenza verso il basso. Numerosi suoli viticoli a nord delle Alpi hanno pH superiore a 7,0. In queste situazioni, non si raccomandano né le calcitazioni né l'impiego di concimi a reazione alcalina.

In caso di reimpianto, può essere opportuno correggere il pH del sottosuolo. Questo intervento può richiedere importanti quantità di ammendante calcareo, preferibilmente a granulometria grossolana. L'ammendante si deve incorporare ad almeno 30–40 cm di profondità, meglio se durante le operazioni di scasso, in modo da evitare squilibri nutrizionali negli strati superficiali del suolo una volta impiantata la coltura. Se la situazione giustifica una calcitazione abbondante, non bisogna comunque incorporare nel suolo più di 20 q di CaO per ha, macinato molto grossolanamente e ripartito su 2–4 anni.

La calcitazione si può effettuare sulla base del valore di pH del suolo; un modo di procedere semplice, ma relativamente poco preciso (tabella 22). Per la scelta del tipo d'ammendante si rimanda alle considerazioni di cui sopra.

La scelta del portinnesto più adatto richiede la conoscenza del tenore in calcare del suolo, poiché ne esistono di molto diversi per quanto riguarda la tolleranza a questa caratteristica del suolo. All'estero, si ricorre spesso alla determinazione del calcare attivo nelle frazioni argillosa e siltosa piuttosto che alla determinazione del calcare totale.

5.3.5 Alberi da frutto

In frutticoltura, un pH del suolo compreso tra 6,0 e 7,5 è ideale. Il pH è un parametro importante, perché influenza l'attività biologica e la disponibilità della maggior parte degli elementi nutritivi del suolo. L'aumento del pH si può raggiungere con la calcitazione, mentre la sua riduzione, ben più difficile, può essere favorita dalla trinciatura dell'erba dell'interfila o impiegando concimi a reazione acida.

Le dosi annuali di ammendante calcareo indicate nella tabella 22 corrispondono a dosi di mantenimento. La calcitazione correttiva richiede apporti nettamente superiori, che devono essere calcolati tenendo conto della CSC e della SB. In questo caso, si raccomanda di rivolgersi ad un esperto.

Siccome la calcitazione può influenzare negativamente la disponibilità di alcuni microelementi, o essere la causa di fenomeni di antagonismo tra elementi nutritivi, la necessità di questo intervento deve essere ben valutata in ogni singola situazione. In ogni caso, vanno evitati apporti eccessivi.

5.3.6 Piccoli frutti

Per la maggior parte dei piccoli frutti il pH ideale è compreso tra 6,0 e 7,5. In caso di pH più elevato, esiste il rischio di clorosi a causa dell'assorbimento insufficiente di Fe e Mn. Il mirtillo costituisce un'eccezione, perché necessita di un suolo con pH compreso tra 4,0 e 5,0 e ricco di humus. Il mirtillo può essere coltivato anche in suoli con pH tra 6,0 e 6,5 a patto che non siano suoli calcarei. Questi suoli sono rari in Svizzera, tranne in Ticino. Nei casi in cui il pH del suolo non fosse adatto alla coltivazione del mirtillo, un ammendamento risulterebbe comunque molto costoso.

6. Fertilità del suolo e gestione dell'humus

6.1 Fertilità del suolo

Mantenere e migliorare la fertilità del suolo sono due obiettivi importanti della concimazione. Per tale motivo, questo capitolo è dedicato al rapporto tra concimazione e fertilità del suolo, con un occhio di riguardo alla gestione dell'humus. La legislazione svizzera (Osuolo 1998) definisce i criteri di base per dare un giudizio sulla fertilità del suolo. Un suolo è considerato fertile se:

- possiede una biocenosi biologicamente attiva, una struttura, una composizione e uno spessore tipici per la sua posizione, nonché una capacità di decomposizione intatta;
- permette la crescita e lo sviluppo normali o influenzati dall'uomo di piante e associazioni vegetali, naturali o coltivate, e non pregiudica le loro caratteristiche;
- permette una produzione vegetale di buona qualità, che non mette in pericolo la salute dell'uomo e degli animali;
- non mette in pericolo la salute dell'uomo e degli animali che lo ingeriscono direttamente.

Il campo d'applicazione di questa definizione è vasto e non copre soltanto i suoli coltivati, ma anche quelli dei biotopi naturali.

Per stimare la fertilità del suolo, si procede generalmente a una valutazione delle sue diverse funzioni. In sintesi, un suolo è considerato fertile se le sue funzioni corrispondono alle condizioni ambientali locali.

6.2 Funzioni e proprietà del suolo

In «Ein Bodenkonzept für die Landwirtschaft in der Schweiz» (Candinas *et al.* 2002) si descrivono funzioni e proprietà del suolo, nonché le basi necessarie per valutare il suo utilizzo sostenibile.

Ad eccezione della diversità del paesaggio e delle superfici edificate, le funzioni del suolo (riserva idrica, accumulo di calore, scorta di sostanze diverse, effetto filtrante, stoccaggio di CO₂, ecc.) sono associate a una o più delle sue proprietà fisiche, chimiche e biologiche. Le variazioni di una o l'altra di queste caratteristiche possono influenzare direttamente, o indirettamente, le funzioni del suolo a livelli diversi. Per questa ragione, la conoscenza delle relazioni tra proprietà e funzioni del suolo sta alla base di tutti gli interventi che mirano al mantenimento, o al miglioramento, della sua qualità. Le importanti funzioni del suolo in relazione alla concimazione, come i cicli e la trasformazione di moltissime sostanze, oppure la produzione di biomassa, sono condizionate dalla maggior parte delle proprietà del suolo. Accanto alle proprietà fisiche, come la struttura e la stabilità degli aggregati, la quantità e la qualità del carbonio organico (più semplicemente: il tenore in humus) influenzano gran parte delle funzioni del suolo. La concimazione ne condiziona le caratteristiche fisiche solo indirettamente, ma ha un effetto diretto, variato e, talvolta, persino notevole, sul suo tenore in humus. L'humus non influenza solo la capacità di ritenzione degli elementi nutritivi e gli scambi di sostanze diverse, ma costituisce, esso stesso, una fonte di elementi nutritivi, in particolare di N, che possono essere messi a disposizione delle piante in seguito alla mineralizzazione. L'effetto della sostanza organica sulla disponibilità di N è evidenziato nella tabella 3 e nei moduli delle colture. I paragrafi successivi sono incentrati sui principali fattori volti a mantenere e a migliorare il tenore in humus del suolo.

6.3 Mantenimento del tenore in humus a lungo termine – supporto decisionale e interventi opportuni

6.3.1 Analisi regolare del tenore in humus

Le prescrizioni PER, relative alla gestione delle superfici di rotazione, prevedono l'esecuzione di un'analisi almeno ogni dieci anni, per valutare l'effetto della gestione agricola sul tenore in humus del suolo. Nel caso delle colture speciali (colture orticole, vite, alberi da frutto, ecc.), spetta alle organizzazioni di settore fissare un intervallo minimo d'analisi. Prove di lunga durata, svolte in Svizzera, hanno mostrato differenze fino al 20 % del tenore in humus tra

i procedimenti a confronto (testimone non concimato escluso). Le misurazioni, svolte annualmente in piccole parcelle sperimentali, hanno confermato che molte delle differenze riscontrate sono risultate statisticamente significative. Se, però, si analizzano le parcelle solo ogni cinque anni, la maggior parte dei procedimenti non risulta più statisticamente significativa, nemmeno dopo vent'anni. Se a ciò si somma il fattore variabilità, limitato in una piccola parcella sperimentale, tipico di un campione di suolo che rappresenta una parcella coltivata, si può concludere che gli intervalli prescritti per analizzare il tenore in humus del suolo durante la pratica agricola forniscono alcune indicazioni all'agricoltore, ma sono insufficienti per quantificare l'effetto reale delle tecniche colturali sul tenore in humus del suolo e sulla sua evoluzione.

6.3.2 Valutazione dell'influenza della gestione colturale per mezzo del bilancio umico

Con lo scopo di valutare, indipendentemente dal risultato delle analisi, come la rotazione colturale e la gestione agricola influenzino il tenore in humus del suolo a lungo termine (figura 16), si sono sviluppati diversi metodi di stima, più o meno laboriosi (metodi che fanno capo al bilancio umico).

In Svizzera, nel 1997, è stato pubblicato un metodo per calcolare il bilancio umico del suolo (Neyroud *et al.* 1997), poi ulteriormente sviluppato nell'ottica di riuscire a valutare la qualità del suolo nei bilanci ecologici (Oberholzer *et al.* 2006), basandosi unicamente su poche informazioni facilmente reperibili nell'azienda agricola e sulle caratteristiche principali del suolo stesso. In questo metodo, l'influenza dei fattori «suolo» e «gestione del suolo» su decomposizione e sintesi dell'humus si valuta su ogni singola parcella, eseguendo un bilancio parcellare degli incrementi e delle perdite prevedibili di humus. In pratica, la stima delle perdite di humus per mineralizzazione tiene conto delle caratteristiche del suolo e dell'intensità con cui lo si lavora, mentre la valutazione degli incrementi considera i residui colturali, sia epigei sia ipogeï, il tipo di suolo e gli apporti di concime organico.

Si raccomanda vivamente di allestire, a intervalli regolari, un bilancio umico aziendale, nell'ottica di mantenere costante il tenore in humus del suolo, soprattutto in caso di modifiche significative della gestione agricola. Nel caso in cui le modifiche gestionali previste rendessero negativo il bilancio umico, causando la diminuzione del suo tasso nel suolo, è possibile, applicando il metodo del bilancio umico, valutare

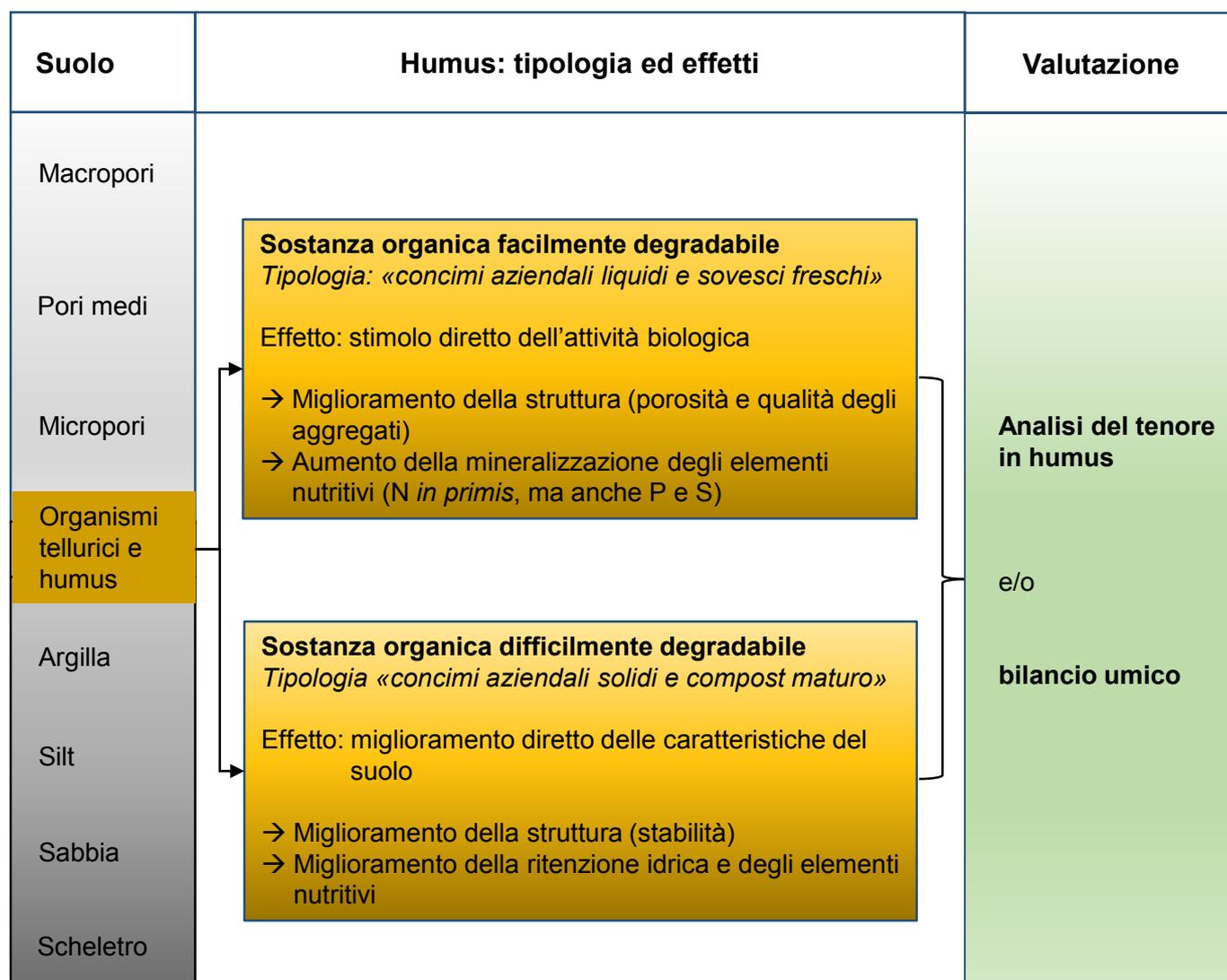


Figura 16. Effetti della distribuzione di diverse sostanze organiche sulle caratteristiche e sul tenore in humus del suolo.

gli effetti di eventuali correttivi e se del caso, pianificarne l'applicazione.

6.3.3 Risultati e raccomandazioni

L'analisi dei risultati di oltre 300 bilanci umici aziendali, calcolati nel quadro del progetto svizzero di monitoraggio agroambientale, consente di valutare, in generale, l'evoluzione dell'humus del suolo agricolo. I citati bilanci mostrano differenze significative tra le diverse tipologie aziendali. Le aziende prive di bestiame orientate verso le colture erbacee da pieno campo hanno, generalmente, bilanci umici deficitari, mentre quelle a gestione mista (allevamento-colture erbacee da pieno campo) mostrano sistematicamente bilanci di segno positivo. I bilanci deficitari delle prime vanno ricercati essenzialmente in rotazioni colturali ricche in sarchiate e povere di prati temporanei. Ciò comporta, da un lato, la diminuzione della quota di carbonio organico proveniente dall'apparato radicale delle colture e, dall'altro, l'aumento della mineralizzazione dell'humus causato dall'intensificazione delle lavorazioni del suolo. Inoltre, la limitatezza dei concimi organici distribuiti non viene compensata da maggiori apporti di residui colturali (paglia, sovesci). Qui di seguito si riportano alcune riflessioni in merito.

- Il mantenimento di un tenore soddisfacente in humus del suolo (relativamente alle condizioni pedoclimatiche locali), tramite la distribuzione di una quantità sufficiente di sostanza organica morta, capace di migliorare direttamente diverse caratteristiche del suolo, o di farlo indirettamente, attraverso la formazione di complessi argillo-umici, deve rimanere un obiettivo prioritario. Altrettanto importante è riuscire a fare in modo che la sostanza organica in entrata nel sistema suolo (essudati radicali delle colture in vegetazione compresi) nutra convenientemente gli organismi tellurici, fornendo loro energia e sostanze nutritive per assicurare il loro sviluppo e la loro attività benefica.
- Ogni combinazione tra gestione agricola e condizioni pedoclimatiche locali definisce un tenore tipico in humus del suolo, frutto dell'antagonismo tra i processi di mineralizzazione e quelli di sintesi, alimentati da residui colturali e concimazione.
- La rotazione colturale praticata dall'azienda e le caratteristiche del suolo determinano, in larga misura, il suo tenore in humus. In questo senso, le aziende che allevano bestiame seminano prati temporanei su una parte delle terre di rotazione e dispongono di sufficienti quantità di concimi aziendali.
- La scelta delle colture determina la quantità e la qualità del materiale organico che ritorna al suolo attraverso radici e residui colturali. Tra le colture erbacee da pieno campo, prati temporanei a parte (la coltura migliore da questo punto di vista), il mais da granella e il girasole sono quelle che lasciano più sostanza organica sulla superficie del suolo sotto forma di foglie e fusti, mentre barbabietola e patata sono quelle che ne lasciano di meno, perché le loro foglie si mineralizzano facilmente e perché buona parte del loro apparato ipogeo viene rac-

colto. I cereali di cui si raccoglie la paglia e la colza si trovano a metà strada tra gli esempi appena citati. Le colture intercalari esercitano un effetto sostanzialmente positivo sul tenore in humus del suolo.

- Tra le tecniche gestionali, le lavorazioni del suolo sono quelle che esercitano l'influenza maggiore. Da un lato, arieggiano e rendono il suolo più soffice e voluminoso, dall'altro incorporano e ridistribuiscono la sostanza organica nel suo orizzonte più superficiale. La combinazione di questi due risultati stimola l'attività degli organismi tellurici (più ossigeno a disposizione) e facilita il loro accesso alla sostanza organica, accelerandone la mineralizzazione. L'intensità delle lavorazioni del terreno dipende parzialmente dal tipo di coltura scelto, come dimostra l'esempio della patata, che non può essere né piantata, né raccolta senza lavorare intensivamente il suolo.
- I concimi aziendali e i concimi ottenuti dal riciclaggio, come il compost, forniscono sostanza organica al suolo (figura 16). La loro composizione e il loro grado di maturazione influiscono sulla quota di sostanza organica che si mineralizza velocemente, liberando elementi nutritivi disponibili per le piante, e su quella che, invece, si decompone con più difficoltà e contribuisce maggiormente alla formazione di nuovo humus. Di regola, i concimi organici solidi contribuiscono più di quelli liquidi alla sintesi di nuovo humus. La stessa cosa vale per il letame compostato e il compost maturi rispetto a i concimi organici freschi.

7. Bibliografia

- Agroscope, 1996. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope, Volume 1: Bodenuntersuchungen zur Düngeberatung, Ausgabe 2015. Agroscope, Zurigo.
- Bertschinger L., Gysi Ch., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Ryser J.-P., Schmid A. & Weibel F., 2003. Flugschrift Nr. 15, Grundlagen für die Düngung der Obstkulturen. Stazione di ricerca Agroscope Changins-Wädenswil FAW, Wädenswil.
- Candinas T., Neyroud J.-A., Oberholzer H.-R. & Weisskopf P., 2002. Ein Bodenkonzent für die Landwirtschaft in der Schweiz: Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung. Bodenschutz 3/02, 90-98.
- Carlen Ch. & Carron C.-A., 2007. Grundlagen für die Düngung der Gewürz- und Medizinalpflanzen. Agrarforschung 14 (1), 1-8.
- Collaud G., Ryser J.-P. & Schwarz J.-J., 1990. Capacité d'échange des cations. Revue suisse d'agriculture 22 (5), 285-289.
- Demaria P., Flisch R., Frossard E. & Sinaj S., 2005. Exchangeability of phosphate extracted by four chemical methods. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 68, 89-93.
- Dirks B. & Scheffer H., 1930. Der Kohlensäure-Bikarbonatauszug und der Wasserauszug als Grundlage zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden. Landwirtschaftliche Jahrbücher 71, 73-99.
- Fabre B. & Kockmann F., 2006. Les effets du chaulage sur les prairies permanentes ou de longue durée. Synthèse bibliographique. Fourrages 185, 103-122.
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). Agrarforschung 16 (2), 1-100.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Phosphor in Böden - Standortbestimmung Schweiz. Schriftenreihe Umwelt

- Nr. 368. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio UFAP, Berna. 174 pp.
- Gysi Ch., Ryser J.-P., Heller W. & Arbeitsgruppe Bodenuntersuchungen in Spezialkulturen, 1993. Flugschrift 129. Stazione federale di ricerche in frutticoltura, viticoltura e orticoltura, Wädenswil. 18 pp.
- Gysi Chr., Ryser J.-P. & Heller W., 1997. Bodenuntersuchung im Gemüsebau. Flugschrift Nr. 112, 2. Auflage, Stazione federale di ricerche in frutticoltura, viticoltura e orticoltura, Wädenswil, 24 pp.
- Hons F. M., Larson-Vollmer L. A. & Locke M. A., 1990. NH₄Ac-EDTA-extractable phosphorus as a soil test procedure. *Soil Science* 149 (5), 249–256.
- Huguenin-Elie O., Stutz C. J., Gago R. & Lüscher A., 2015. Wirkung der Kalkdüngung auf mit Hahnenfuss verunkrauteten Wiesen. Tagungsband der 59. Jahrestagung der AGGF in Aulendorf, 110–113. Hrsg. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei (LAZBW), Aulendorf.
- Jeangros B. & Troxler J., 2008. Effet à long terme d'une gestion différenciée sur les prairies et les pâturages d'une exploitation de montagne. *Revue suisse d'agriculture* 40 (3), 123–130.
- Neuweiler R., 2011. Düngungsrichtlinien für den Gemüsebau. Stazione di ricerca Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Wädenswil. 29 pp.
- Neyroud J.-A., Supcik P. & Magnollay F., 1997. La part du sol dans la production intégrée. 1. Gestion de la matière organique et bilan humique. *Revue Suisse Agriculture* 29, 45–51.
- Oberholzer H.-R., Weisskopf P., Gaillard G., Weiss F. & Freiermuth Knuchel, R., 2006. Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen. Agroscope, Zurigo.
- Pellet D., Mercier E., Balestra U., Lavanchy J.C., Pfeifer H.R., Keiser A. & Bezençon N., 2003a. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. I. Colza d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35, 161–167.
- Pellet D., Mercier E. & Balestra U., 2003b. Optimisation de la fumure soufrée par estimation du risque de carence. II. Blé d'automne. *Revue suisse d'Agriculture* 35 (4), 181–186.
- Peyer K., 1970. Phosphatversorgung der Pflanzen und Kennwerte des Bodenphosphats, untersucht an einigen Böden der Schweiz. ETH Diss. Nr. 4501, Zürich. Link: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-000085418> [14. 10. 2016].
- Ryser J.-P., 1982. Etude du potassium assimilable pour les cultures sur quelques sols du canton de Vaud. ETH Diss. Nr. 7095, Zürich. Link: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-000278617> [14. 10. 2016].
- Schroeder D., 1984. *Bodenkunde in Stichworten*. 4. Auflage. Verlag Ferdinand Hirt, Unterägeri. 160 pp.
- Schechtner G., 1993. Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Grünland. *Die Bodenkultur* 44 (2), 135–152.
- Spring J.-L., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., Basler P., Bertschinger L. & Häseli A., 2003. Grundlagen für die Düngung der Reben. AMTRA, Nyon. 24 pp.
- SSP, 2010. *Classificazione dei suoli della Svizzera*, 3a edizione. Società svizzera di pedologia, Lucerna. 86 pp.
- Stünzi H., 2006a. Die P-Bodenextraktionsmethoden mit Wasser und CO₂-Wasser. *Agrarforschung* 13 (7), 284–289.
- Stünzi H., 2006b. Zur P-Bodenextraktion mit Ammoniumacetat-EDTA (AAE10). *Agrarforschung* 13 (11–12), 488–493.
- UFAG, 2012. HODUFLU - Amministrazione dei flussi di concime aziendale. Ufficio federale dell'agricoltura UFAG, Berna. Link: <https://www.agate.ch/portal/web/agate/hofdungerflusse> [11. 10. 2016].
- VBBo, 1998. Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. Systematische Sammlung des Bundesrechts der Schweiz, SR 814.12, Bern.
- Van der Paauf F., 1956. Calibration of soil test methods for the determination of phosphate and potash status. *Plant and Soil* 8, 105–125.
- Walther U., Ryser J.-P., Flisch R. & Siegenthaler A., 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Stazioni federali di ricerca FAP, Zurigo, FAC, Berna, & RAC, Changins.
- Walther U., Ryser J.-P. & Flisch R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 8 (6): 2001, 1–80.
- Zbiral J., 2000. Determination of phosphorus in calcareous soils by Mehlich, CAL and Egner extractants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 31(19/20), 3037–3048.
- Zimmermann K.S., 1997. Wirkung einer gepufferten Ammonium-Acetat-EDTA-Extraktion auf ausgewählte Bodenbestandteile und natürliche Bodenproben. ETH Diss Nr. 12134, Zürich. Link: <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-001763309> [14. 10. 2016].

8. Indice delle tabelle

Tabella 1. Relazione tra classe di tessitura (classe d'argilla) e alcune caratteristiche del suolo.	2/4
Tabella 2. Valutazione pedologica del tenore in humus (SSP 2010).	2/4
Tabella 3. Valutazione agronomica del tenore in humus in relazione al potenziale di liberazione di N nel suolo.	2/4
Tabella 4. Valutazione del pH del suolo e del suo eventuale fabbisogno in calcitazione.	2/5
Tabella 5. Raccomandazioni per il prelievo di campioni di suolo in differenti categorie di colture agricole.	2/7
Tabella 6. Principali metodi d'analisi del suolo utilizzati da Agroscope per ottimizzare la concimazione.	2/8
Tabella 7. Scelta del metodo d'analisi (analisi di base) per differenti categorie di colture agricole.	2/9
Tabella 8. Valutazione dello stato nutrizionale del suolo in funzione dei fattori di correzione definiti nelle tabelle 10–18.	2/10
Tabella 9. Correzione da applicare al risultato dell'analisi di suoli con tenori in humus superiori al 10 %.	2/11
Tabella 10. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (metodo CO ₂) e in argilla della terra fine.	2/12
Tabella 11. Fattori di correzione della concimazione K in funzione del tenore in K (metodo CO ₂) e in argilla della terra fine.	2/13
Tabella 12. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (metodo CaCl ₂) e in argilla della terra fine.	2/14
Tabella 13. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (mg P/kg di terra fine, metodo H ₂ O10) e in argilla della terra fine.	2/14
Tabella 14. Fattori di correzione di concimazione K in funzione del tenore in K (mg K/kg di terra fine, metodo H ₂ O10) e in argilla della terra fine.	2/15
Tabella 15. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (mg Mg/kg di terra fine, metodo H ₂ O10) e in argilla della terra fine.	2/15
Tabella 16. Fattori di correzione della concimazione P in funzione del tenore in P (mg P/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine per suoli non calcarei.	2/17
Tabella 17. Fattori di correzione della concimazione K in funzione del tenore in K (mg K/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine.	2/18
Tabella 18. Fattori di correzione della concimazione Mg in funzione del tenore in Mg (mg Mg/kg di terra fine, metodo AAE10) e in argilla della terra fine per suoli non calcarei.	2/19
Tabella 19. Parametri per la valutazione (punteggio) della disponibilità di S del suolo.	2/22
Tabella 20. Fattori di correzione della concimazione S in base alla disponibilità in S del suolo e al fabbisogno (prelievo) della coltura.	2/22
Tabella 21. Concimazione con B e Mn in funzione dei risultati delle analisi del suolo, del tipo di suolo e del fabbisogno delle colture (la tabella 6 riporta il metodo d'analisi).	2/24
Tabella 22. Valutazione di massima della quantità di ammendante calcareo da distribuire in funzione del pH del suolo, del suo tenore in argilla e della sua utilizzazione.	2/25
Tabella 23. Valutazione del tenore in calcare del suolo in funzione del tasso di saturazione in basi (SB) e del tipo di gestione agricola.	2/26
Tabella 24. Determinazione della quantità di ammendante calcareo da distribuire in funzione della CSC e del SB del suolo.	2/26

9. Indice delle figure

Figura 1. Valutazione del profilo del suolo.	2/3
Figura 2. Influenza del pH su pedogenesi e fattori ecologici.	2/5
Figura 3. Preparazione dei campioni di suolo per le analisi di laboratorio: setaccio con maglie di 2 mm per separare lo scheletro dalla terra fine.	2/6
Figura 4. Filtrazione di estratti di suolo.	2/10
Figura 5. Determinazione di diversi elementi attraverso la spettrometria di assorbimento atomico a fiamma (AAS).	2/10
Figura 6. Prova di lunga durata (anno d'inizio: 1989) volta a determinare l'interpretazione dei risultati delle analisi del suolo sulla base di differenti concimazioni P, K e Mg.	2/10
Figura 7. Carenza di P su barbabietola da zucchero.	2/11
Figura 8. Influenza del tenore in elementi nutritivi del suolo sulla crescita delle colture.	2/12
Figura 9. Per la cicoria belga, il tenore in K del suolo è essenziale per la produzione di grumoli di qualità.	2/16
Figura 10. Influenza di differenti livelli di concimazione P (nessun apporto, norma di concimazione, 5/3 della norma di concimazione) sul tenore in P del suolo (metodi CO ₂ e AAE10) e sulla resa in granella del frumento.	2/16
Figura 11. Schema per la determinazione del fabbisogno in concime P, K e Mg.	2/20
Figura 12. Plantule di mais con carenza di P.	2/20
Figura 13. I primi sintomi di carenza di K su patata si manifestano attraverso ingiallimento e poi necrosi dei bordi delle foglie più vecchie.	2/21
Figura 14. Carenza di S su cavolo rapa.	2/22
Figura 15. La carenza di B (p.es. dopo una calcitazione eccessiva) favorisce il marciume del cuore della barbabietola.	2/23
Figura 16. Effetti della distribuzione di diverse sostanze organiche sulle caratteristiche e sul tenore in humus del suolo.	2/29

