



7/ Concimazione e ambiente

Walter Richner¹, Daniel Bretscher¹, Harald Menzi² e Volker Prasuhn¹

¹ Agroscope, 8046 Zurigo, Svizzera

² Agroscope, 1725 Posieux, Svizzera

Contatto: walter.richner@agroscope.admin.ch

Indice

1. La concimazione è parte integrante del ciclo degli elementi nutritivi	7/3
2. Potenziale impatto ambientale dei concimi e loro idoneità a integrarsi in una concimazione mirata, economica e rispettosa dell'ambiente	7/3
3. Misure volte a evitare perdite di elementi nutritivi	7/4
3.1 Volatilizzazione dell'ammoniaca	7/4
3.2 Denitrificazione	7/6
3.3 Dilavamento e percolazione	7/6
3.4 Ruscellamento ed erosione	7/8
4. Conseguenze della sovraconcimazione	7/8
5. Sostanze nocive e agenti patogeni	7/8
6. Basi legali	7/10
7. Raccomandazioni riassuntive per concimare rispettando l'ambiente	7/10
8. Bibliografia	7/11
8.1 Bibliografia citata nel testo	7/11
8.2 Bibliografia di approfondimento	7/11
9. Indice delle tabelle	7/12
10. Indice delle figure	7/12

In copertina: fotografia realizzata da Agroscope.

1. La concimazione è parte integrante del ciclo degli elementi nutritivi

La concimazione restituisce al suolo gli elementi nutritivi prelevati dalle piante coltivate. Molte aziende agricole applicano il principio di concimazione promosso in Svizzera (figura 2, modulo 1), secondo cui la maggior parte degli elementi nutritivi va restituita utilizzando, in primo luogo, i residui colturali e i concimi aziendali. In questo ambito, i concimi extraziendali, sia organici sia minerali, si distribuiscono soltanto in seconda battuta, per coprire gli eventuali deficit che si possono creare tra il fabbisogno delle colture e la produzione di elementi nutritivi all'interno dell'azienda.

Per evitare perdite inquinanti e preservare la fertilità del suolo a lungo termine, occorre che le quantità di nutrienti in entrata e in uscita dal ciclo degli elementi nutritivi (figura 1, modulo 1) si equivalgano il più possibile. Suisse-Bilanz (Agri-dea e UFAG 2016) è uno strumento, ormai collaudato, che consente di assicurare l'equilibrio di bilancio degli elementi nutritivi a livello aziendale, confrontando il fabbisogno delle colture con le quantità disponibili di elementi nutritivi.

Nelle aziende detentrici di bestiame, è fondamentale che il tenore in elementi nutritivi dei concimi aziendali si accordi con il fabbisogno delle colture e con lo stato nutrizionale dei suoli. È, quindi, importante adattare l'intensità di gestione alle condizioni pedoclimatiche locali. Gli elementi nutritivi di origine animale non dipendono solo dalla composizione dell'effettivo di animali detenuto ma, e in modo determinante, anche dal foraggiamento che ruota attorno al fabbisogno degli animali in energia, proteine e sali minerali. Ciò presuppone un piano di foraggiamento che tenga conto in funzione della loro produttività. La razione foraggera ideale si può ottenere combinando, secondo necessità, foraggi grezzi, ricchi di energia e di fibra grezza, con erba a elevato tenore in proteine, completando la razione di base con quantità mirate di foraggio concentrato e sali minerali oppure impiegando foraggi speciali, quali mangimi per suini a basso tenore in azoto (N) e fosforo (P).

Nell'ottica di garantire un bilancio equilibrato degli elementi nutritivi a livello aziendale, è necessario tenere in debito conto anche il potenziale produttivo locale. Nelle aziende di pianura si possono valorizzare quantità maggiori di elementi nutritivi rispetto a quanto è possibile fare nelle aziende di montagna. Per questo motivo, il carico di bestiame per unità di superficie delle prime può essere più elevato. Inoltre, nell'ottica di favorire la fertilità del suolo, si dovrebbe puntare su una concimazione equilibrata, per evitare che, in talune circostanze, l'eccedenza di alcuni elementi nutritivi, combinata con la carenza di altri, impedisca la corretta valorizzazione dei primi e rappresenti un pericolo potenziale per l'integrità dell'ambiente.

Un bilancio equilibrato in elementi nutritivi è un obiettivo di per sé rilevante, ma non sufficiente, per garantire che la concimazione non pregiudichi l'ambiente. Perciò, è necessario che ogni azienda sia in grado di utilizzare i concimi, specialmente quelli aziendali, in modo mirato ed ecologicamente sostenibile. Il modulo 4 contiene diverse raccomandazioni in merito.

2. Potenziale impatto ambientale dei concimi e loro idoneità a integrarsi in una concimazione mirata, economica e rispettosa dell'ambiente

A seconda delle loro caratteristiche specifiche, i concimi possono avere un impatto diverso sull'ambiente (tabella 1). Anche i costi da sopportare per stocarli e distribuirli in modo ecologicamente sostenibile variano di conseguenza.

I concimi aziendali e quelli ottenuti dal riciclaggio possiedono un potenziale inquinante piuttosto elevato per le ragioni seguenti:

- la sincronizzazione tra fabbisogno N delle colture (quantità ed epoca) e disponibilità dell'N legato alla parte organica di questi concimi è insufficiente, perché la mineralizzazione e la dinamica della sostanza organica (SO) nel suolo dipendono da fattori naturali incontrollabili. Ciò fa aumentare il rischio di perdite N a diversi livelli (p.es. dilavamento di nitrati $[\text{NO}_3^-]$ o emissione di protossido di azoto $[\text{N}_2\text{O}]$);
- la maggior parte del loro N minerale è costituita dallo ione ammonio (NH_4^+), che può liberarsi nell'atmosfera sotto forma di ammoniaca (NH_3) gassosa;
- rispetto a quanto capita con i concimi minerali, il loro tenore in elementi nutritivi varia molto e, generalmente, non si può determinare con precisione;
- gran parte dei concimi aziendali e di quelli ottenuti dal riciclaggio sono liquidi e soggiacciono, quindi, ai rischi di perdite legati a questo loro stato fisico (dilavamento, ruscellamento).

Dal momento che la produzione di alimenti di origine animale comporta sempre una produzione di concimi aziendali, il modo più logico e vantaggioso per valorizzare questi ultimi, salvaguardando l'ambiente, è utilizzarli direttamente in azienda per sostenere la produzione vegetale. Essi vanno distribuiti mettendo in pratica tutte le misure possibili volte a evitare qualsiasi rischio ambientale (ottimizzazione del tenore in elementi nutritivi dei foraggi, stoccaggio corretto, epoca e tecnica di distribuzione appropriate). Una premessa essenziale per ridurre al minimo i rischi di perdite inquinanti è dotarsi di una sufficiente capacità di stoccaggio per i concimi aziendali (capitolo 2.5.1, modulo 4), in modo da evitare la distribuzione di liquami e letame al di fuori del periodo vegetativo. In questo modulo non si approfondiscono ulteriormente le problematiche sollevate dalla distribuzione di concimi durante il riposo vegetativo, perché questa tematica è trattata esaurientemente nel documento «Aiuto all'esecuzione per la protezione dell'ambiente nell'agricoltura, modulo «Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft» pubblicato nel 2012 da UFAM e UFAG e disponibile in tedesco o francese.

È importante far notare la relazione esistente tra quantità di concimi aziendali e rischio di inquinamento. In generale, all'aumentare della quantità di concimi aziendali da distribuire per unità di superficie, i rischi ambientali aumentano più che proporzionalmente. In quest'ottica, l'effettivo di ani-

Tabella 1. Potenziale impatto ambientale di diversi tipi di concime e costi correlati alla riduzione dell'impatto su suolo, acqua e aria.
I dati riportati in questa tabella si fondano su basi scientifiche e su pareri di esperti. Si parte dal principio che tutti i concimi siano impiegati in modo ottimale per quanto riguarda la quantità e l'epoca di distribuzione. La fossa per i liquami, il cumulo di letame e l'azienda costituiscono i limiti di sistema. Non si tiene conto dei potenziali rischi ecologici rappresentati dai concimi aziendali presenti in stalla, né di quelli correlati alla produzione e al trasporto di concimi minerali e concimi ottenuti dal riciclaggio.

Tipo di concime	Impatto ambientale potenziale per				Parametri tecnici ed economici		
	Suolo ¹	Falda freatica ²	Acque superficiali ³	Aria ⁴	Costi di stoccaggio e utilizzazione	Costi di una distribuzione precisa	Costi e vincoli di una distribuzione rispettosa dell'ambiente ⁸
Liquami	3	3	3	3	3	3	3
Letame	2	3	2	2	2	2	3
Digestato liquido ⁵	3	3	3	3	2	3	3
Digestato solido ⁵	2	3	2	2	2	2	3
Compost	2	2	2	2	2	2	2
Concime min. N ^{6, 7}	1	2	1	2	1	2	2
Concime min. P ^{6, 7}	2	1	1	0	1	2	1
Concime min. K ^{6, 7}	1	2	1	0	1	2	1
Concime min. Mg ^{6, 7}	1	1	1	0	1	2	1
Concime min. S ^{6, 7}	1	2	1	0	1	2	1

Scala di valutazione del potenziale inquinante e dei costi tecnici ed economici:
0 = assente, 1 = limitato, 2 = medio, 3 = elevato.

Tipo di concime: min. = minerale, N = azoto, P = fosforo, K = potassio, Mg = magnesio, S = zolfo.

¹ Immissioni di sostanze inquinanti e compattamento del suolo.

² Potenziale inquinante di nitrato (NO₃⁻), cloruro (Cl⁻), solfato (SO₄²⁻), agenti patogeni e altre sostanze.

³ Potenziale inquinante di fosforo (P), azoto (N), agenti patogeni e altre sostanze.

⁴ Emissioni di ammoniaca (NH₃) e protossido di azoto (N₂O).

⁵ Proveniente da impianti agricoli e industriali per la produzione di biogas.

⁶ Il potenziale inquinante di produzione e trasporto in azienda non è considerato.

⁷ Nel caso di concimi composti, la valutazione tiene conto del componente avente valore più elevato.

⁸ Investimenti (edifici, macchine) e ore di lavoro necessarie.

mali presente in azienda deve essere necessariamente adeguato alla produzione foraggera dell'azienda stessa che, a sua volta, dipende dal potenziale produttivo locale. L'eccedenza di concimi aziendali va allontanata dall'azienda e valorizzata nel pieno rispetto dell'ambiente.

Anche l'impiego di concimi minerali rappresenta un rischio potenziale per l'ambiente. In primo luogo, perché la loro produzione si basa quasi sempre sullo sfruttamento di risorse naturali non rinnovabili (fonti energetiche fossili, materie prime non rinnovabili) e poi perché, se non si utilizzano correttamente (quantità, epoca e tecnica di distribuzione), l'ambiente può risentirne (p.es. dilavamento di NO₃⁻, eutrofizzazione delle acque superficiali). Tuttavia, i concimi minerali si possono impiegare in modo più mirato rispetto a quanto è possibile fare con quelli aziendali, perché si conosce il loro tenore in elementi nutritivi, nonché la velocità con la quale questi nutrienti diventano disponibili per le piante.

3. Misure volte a evitare perdite di elementi nutritivi

Le perdite di elementi nutritivi inquinano l'ambiente e rappresentano uno spreco economico per l'agricoltore. Le perdite significativamente più importanti sono quelle legate a: volatilizzazione di NH₃, denitrificazione, dilavamento, percolazione, ruscellamento ed erosione. Naturalmente, se si concima senza rispettare le «buone pratiche agricole», il rischio di incorrere in perdite inquinanti aumenta.

3.1 Volatilizzazione dell'ammoniaca

L'NH₃ di origine agricola si forma partendo dallo ione NH₄⁺, si volatilizza nell'atmosfera sotto forma di gas e poi ricade, in massima parte, sulla superficie del suolo. Tra gli effetti negativi di questo apporto incontrollato di N proveniente dall'atmosfera si possono citare l'influsso negativo su alcuni ecosistemi sensibili (sovrakoncimazione, acidificazione) e l'incremento del dilavamento di NO₃⁻ nei suoli. Inoltre, l'NH₃ gassosa favorisce diversi processi indesiderati a livello atmosferico reagendo, per esempio, con acido nitrico e acido sol-

forico. Queste reazioni danno origine ad aerosol secondari, che contribuiscono massicciamente ad aumentare il tasso di polveri fini nell'atmosfera (Spirig e Neftel 2006).

La riduzione delle perdite gassose di NH_3 va a vantaggio anche dell'azienda agricola, che può contare su maggiori quantità di N disponibile per le piante e, quindi, ridurre l'acquisto di concimi N di una quantità corrispondente. Per contenere le perdite di ammoniaca in stalla e durante lo stoccaggio dei concimi aziendali, occorre ridurre le superfici «sporche», pulirle regolarmente e coprire le fosse per i liquami.

Le maggiori perdite di NH_3 si riscontrano dopo la distribuzione dei concimi aziendali. La tabella 2 riassume alcuni semplici accorgimenti per ridurre questo tipo di perdite. In questo ambito, la scelta del momento in cui distribuire i concimi aziendali riveste un'importanza fondamentale (condizioni meteorologiche, stato del suolo, presenza di col-



Figura 1. Le tecniche che distribuiscono liquami e digestati liquidi depositandoli sulla superficie del suolo per caduta (qui una barra equipaggiata con tubi flessibili a strascico) consentono di ridurre notevolmente la volatilizzazione dell' NH_3 rispetto ai metodi che li disperdono nell'aria (deflettore a piattello, distributore oscillante, ecc.) (fotografia: Harald Menzi, Agroscope).

Tabella 2. Parametri che influenzano la volatilizzazione dell' NH_3 durante e dopo la concimazione organica e misure volte a ridurre le emissioni. I dati riportati in questa tabella si fondano su basi scientifiche e su pareri di esperti.

Parametro	Condizioni	Rischio	Misure volte a evitare le perdite di NH_3	
			Liquami e digestati liquidi	Letame e digestati solidi
Condizioni meteorologiche	Temperatura dell'aria elevata, aria secca, ventoso	Elevato	Distribuzione nei giorni freschi e umidi	Distribuzione nei giorni freschi e umidi
	Fresco, umido, assenza di vento	Medio	Distribuzione il tardo pomeriggio o la sera	
	Pioggia durante la distribuzione	Basso	Distribuzione subito prima o durante una leggera pioggia (attenzione al ruscellamento)	Distribuzione subito prima o durante una leggera pioggia (attenzione al ruscellamento)
Stato del suolo	Superficie del suolo satura d'acqua, disseccata, compattata, con pori superficiali ostruiti o crosta superficiale	Elevato	Distribuzione di liquami solo su suoli con buona capacità di assorbimento	
	Suolo umido con buona capacità di assorbimento	Da basso a medio		
Copertura del suolo nelle colture erbacee da pieno campo	Presenza di paglia trinciata, pacciamatura naturale o residui vegetali (semina diretta)	Elevato	Rottura delle stoppie contemporanea all'iniezione dei liquami nel suolo (assolcatore apposito) oppure precedente la liquamazione	
	Copertura vegetale fitta	Da medio a elevato	Distribuzione di liquame nel mais: favorire la sua incorporazione nel suolo (p.es. dopo sarchiatura dell'interfila), distribuzione sottochioma	
	Suolo privo di copertura vegetale	Medio	Diluire il liquame sufficientemente	
Grado di diluizione dei liquami ¹	Non diluito	Elevato	Liquame completo bovino: diluizione minima 1:1, meglio se 1:2; liquame povero di sterco e liquame suino: diluizione minima 1:2, meglio se 1:3	
	Moderatamente diluito (fino a 1:1)	Medio		
	Fortemente diluito (oltre 1:2)	Basso		
Tecnica di distribuzione (modulo 5)	Distribuzione sull'intera superficie	Elevato	Tecniche di distribuzione: tubi flessibili a strascico, tubi semirigidi con assolcatore terminale, iniezione/ incorporazione del liquame nel suolo tramite speciali assolcatori o lavorando il suolo durante o subito dopo la liquamazione	Incorporazione immediata (nelle prime ore dopo la distribuzione) con aratro o coltivatore pesante
	Distribuzione localizzata (lungo la fila, ecc.) ²	Medio		
	Incorporazione immediata nel suolo ^{2,3}	Basso		

¹ Parti di liquame:parti d'acqua.

² Possibile solo per liquami o digestati liquidi.

³ Nessuna diluizione particolare richiesta.

ture intercalari sulle terre aperte). Considerevoli riduzioni delle perdite di NH_3 e delle emissioni di cattivi odori si ottengono anche utilizzando adeguate tecniche di distribuzione (tubi flessibili a strascico, tubi semirigidi con assoltatore terminale, iniezione/incorporazione del liquame nel suolo tramite speciali assoltatori oppure lavorando il suolo subito dopo la concimazione) (modulo 5). Quando la conformazione del territorio lo consente, bisognerebbe distribuire i liquami utilizzando le tecniche appena elencate, che lo rilasciano direttamente sulla superficie del suolo (figura 1) invece di disperderlo nell'aria, come capita con i macchinari tradizionali. Il letame utilizzato per concimare i campi si dovrebbe incorporare nel suolo, tramite apposite lavorazioni, entro poche ore dalla sua distribuzione.

3.2 Denitrificazione

Per nitrificazione si intende la trasformazione di NH_4^+ in NO_3^- . La trasformazione di NO_3^- in N_2 gassoso (N_2) si definisce, invece, denitrificazione e, dal punto di vista di chi concima, rappresenta sempre una perdita netta di N dal «sistema azienda». Sia durante il processo di nitrificazione sia quando avviene la denitrificazione si può liberare del protossido di azoto o ossido di diazoto (N_2O), in qualità di sottoprodotto nel primo processo e di prodotto intermedio nel secondo. Il N_2O è un gas a effetto serra, che contribuisce in modo significativo al riscaldamento dell'atmosfera. Per misurare le emissioni di N_2O e di tracce di altri gas nei «sistemi agricoli» è necessario utilizzare strumenti di misura costosi (figura 2).



Figura 2. Misura della quantità di N_2O prodotto in un pascolo sperimentale con la tecnica detta «Eddy covariance» (correlazione turbolenta) (fotografia: Raphael Felber, Agroscope).

I parametri che favoriscono la nitrificazione nel suolo sono: alte temperature e buona disponibilità di ossigeno (contenuto idrico del suolo non eccessivo). Tuttavia, la denitrificazione è, spesso, la principale responsabile della produzione di N_2O e delle conseguenti perdite di N. La denitrificazione avviene praticamente solo quando il suolo è privo di ossigeno, cioè in condizioni di anaerobiosi. Questa situazione si riscontra, specialmente, in suoli con attività microbica elevata e insufficiente apporto di ossigeno tramite diffusione gassosa attraverso i pori del suolo. Le condizioni che favoriscono le perdite di N attraverso la denitrificazione si verificano soprattutto all'interno degli aggregati se: sono presenti SO e sufficiente NO_3^- , la temperatura non è troppo bassa e la diffusione di ossigeno è ostacolata da un eccessivo contenuto idrico del suolo. Inoltre, quantità ulteriori di N_2O si possono formare in autunno e in primavera in presenza di brina e rugiada. I processi biochimici legati a questi fenomeni sono ancora poco noti.

Gli apporti di N sotto forma di concimi aziendali, concimi ottenuti dal riciclaggio e concimi minerali, nonché sotto forma di residui colturali, aumentano la disponibilità di NH_4^+ e NO_3^- nel suolo e, di solito, favoriscono sia la nitrificazione sia la denitrificazione. Entrambi questi processi naturali sono difficili da influenzare con le misure gestionali applicate in agricoltura. Mediamente, una percentuale degli apporti di N si perde sotto forma di N_2O (*Default Emission Factor*, secondo IPCC 2006). Durante l'intero processo di denitrificazione, che termina con la formazione di N_2 , le perdite di N ammontano generalmente al 10 % anche se, talvolta, possono essere maggiori. A questo proposito, i risultati di diversi studi indicano che le emissioni di N_2O , in presenza di una disponibilità molto elevata di N minerale, aumentano in maniera sovrapporzionale, soprattutto in caso di concimazione superiore al fabbisogno delle piante (Snyder et al. 2009; Van Groenigen et al. 2010). Da ciò consegue che eccedenze temporanee e localizzate di NH_4^+ e NO_3^- nel suolo vanno ridotte al minimo attraverso una concimazione N il più conforme possibile alle esigenze delle piante coltivate.

Nitrificazione e denitrificazione non avvengono solo nei suoli agricoli, ma assumono un ruolo significativo anche in ecosistemi seminaturali a causa della deriva di NH_3 e NO_3^- provenienti dall'agricoltura. Le corrispondenti emissioni di N sono spesso più elevate della media. Nell'ottica di una produzione agricola rispettosa del clima è, perciò, importante monitorare l'insieme dei flussi di N e ridurre al minimo tutti i tipi di perdite N applicando le raccomandazioni riportate nelle tabelle 2, 3 e 4.

3.3 Dilavamento e percolazione

Attraverso il dilavamento gli elementi nutritivi solubili (NO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} ecc.), vengono trasportati in profondità. L'acqua scende verso il basso e li porta con sé fino a raggiungere le acque sotterranee (flusso matriciale). L'infiltrazione rapida e diretta di liquami e digestati liquidi attraverso i macropori del suolo o le fessure lasciate dalle radici (flusso preferenziale) si definisce, invece, percolazione. La percolazione avviene quando nel suolo sono presenti deter-

minate condizioni. Entrambi i fenomeni sono responsabili del trasporto degli elementi nutritivi in profondità (fuori dalla portata delle radici) e pregiudicano la qualità dell'acqua di falda. Spesso, il dilavamento e la percolazione degli elementi nutritivi nella realtà gestionale agricola si monitorano installando dei lisimetri (figura 3).

La concimazione di superfici drenate richiede una particolare attenzione, perché i drenaggi favoriscono significativamente

il movimento dell'acqua accorciandone il percorso. Di conseguenza, il rischio di perdere elementi nutritivi attraverso il flusso, sia matriciale sia preferenziale, aumenta considerevolmente, come peraltro il rischio di compromettere la qualità delle acque superficiali. La fertirrigazione di colture speciali coltivate su substrato deve prevedere la raccolta della soluzione nutritiva esausta e il suo riciclaggio nella concimazione razionale di altre colture.

Tabella 3. Parametri che influenzano le perdite per dilavamento e percolazione degli elementi nutritivi distribuiti con la concimazione e misure volte a ridurre il rischio di perdite durante la distribuzione di liquami e digestati liquidi.

I dati riportati in questa tabella si fondano su basi scientifiche e su pareri di esperti.

Parametro	Condizioni	Rischio di perdite per dilavamento e percolazione	Carico sopportabile di concimi liquidi; misure concernenti la distribuzione di concimi liquidi, dose massima per singolo apporto ¹
Condizioni meteorologiche	Precipitazioni intense e/o persistenti	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
Porosità del suolo	a. Classificazione e forma dei pori:		
	permeabilità elevata, pori grossolani, suolo fessurato, drenaggi artificiali	Elevato	Carico sopportabile da limitato a nullo; fino a 25 m ³ /ha
	permeabilità limitata, pori fini, ristagno idrico frequente	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
	permeabilità normale, pori medi	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
	b. Ritenzione idrica:		
	suolo privo di capacità di ritenzione, saturo d'acqua	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
	suolo con capacità di ritenzione media, possibilità di assorbire 3–5 mm di liquidi	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
Profondità fisiologica del suolo	a. Profondità fisiologica da insufficiente a limitata (< 30 cm)	Elevato	Carico sopportabile limitato; fino a 25 m ³ /ha
	b. Profondità fisiologica sufficiente (30–50 cm)	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
	c. Profondità fisiologica da buona a molto buona (> 50 cm)	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
Capacità di ritenzione del suolo	a. Suolo con capacità di ritenzione limitata: tenore in humus < 2 % tenore in argilla < 10 %	Elevato	Carico sopportabile limitato; fino a 25 m ³ /ha
	b. Suolo con capacità di ritenzione ridotta: tenore in humus < 5 % tenore in argilla > 30 %	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
	c. Suolo con capacità di ritenzione buona: tenore in humus 2–10 % tenore in argilla 10–30 %	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
Copertura del suolo ² (fabbisogno in elementi nutritivi della coltura considerata)	a. Fabbisogno in elementi nutritivi attuale o imminente	Basso	Carico sopportabile normale; distribuzione commisurata alla situazione
	b. Fabbisogno in elementi nutritivi nullo:		
	colture erbacee da pieno campo	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
	superfici prative	Elevato	Carico sopportabile limitato; fino a 25 m ³ /ha

¹ I volumi massimi indicati si riferiscono a liquami sufficientemente diluiti. In caso di diluizione limitata, i volumi vanno ridotti tenendo in considerazione le quantità massime di N ammissibili per singolo apporto. Per le colture erbacee da pieno campo, queste quantità si possono trovare nella tabella 26 del modulo 8, mentre per le superfici prative si rimanda al modulo 9.

² Per determinare se vi è un fabbisogno in elementi nutritivi della coltura oppure no, si può fare riferimento al concetto di riposo vegetativo. La pubblicazione UFAM e UFAG (2012) contiene informazioni dettagliate sull'argomento.

* Si tratta di volumi solitamente troppo elevati per un singolo apporto e che andrebbero, quindi, suddivisi in due apporti di minore entità.



Figura 3. Parcelle sperimentali di colza, prato temporaneo e barbabietola da zucchero monitorate attraverso lisimetri, installati da Agroscope presso il sito di Zurigo-Reckenholz (fotografia: Volker Prasuhn, Agroscope).



Figura 4. Il ruscellamento convoglia direttamente le acque meteoriche di questo campo verso un tombino, facilitando l'inquinamento delle acque superficiali con elementi nutritivi, sedimenti e prodotti fitosanitari di origine agricola (fotografia: Volker Prasuhn, Agroscope).

L'applicazione di tecniche colturali adeguate permette di ridurre considerevolmente il rischio di perdite per dilavamento e percolazione (tabella 3).

3.4 Ruscellamento ed erosione

L'acqua piovana che non riesce a penetrare nel suolo e il materiale eroso possono trascinare lontano i concimi presenti in superficie. In questo modo, gli elementi nutritivi conte-

nuti nei sopracitati concimi possono inquinare le acque superficiali (eutrofizzazione, moria di pesci, ecc.). Liquami e digestati liquidi utilizzati in modo scorretto e/o in condizioni pedoclimatiche sfavorevoli possono scorrere direttamente sulla superficie del suolo appena distribuiti. Nel caso di superfici declive, le acque meteoriche confluiscono direttamente nelle acque superficiali attraverso fossi e cunette oppure, indirettamente, tramite la rete di tombini che raccoglie l'acqua di strade e sentieri (figura 4), rappresentando una fonte d'inquinamento molto pericolosa (sedimenti, elementi nutritivi e prodotti fitosanitari). Queste aree a rischio si definiscono anche «critical source areas» (Frey et al. 2011). La creazione di fasce tampone sufficientemente larghe lungo le acque superficiali, le strade e i sentieri drenati permette di ridurre il rischio d'inquinamento. La tabella 4 mostra quali precauzioni occorre prendere nel campo della concimazione per prevenire questi rischi.

4. Conseguenze della sovraconcimazione

Se sul lungo periodo si distribuisce un elemento nutritivo in quantità superiore rispetto a quanto prelevato dalle piante, esso si accumula nel suolo oppure esce dal ciclo aziendale degli elementi nutritivi perdendosi nelle acque e/o nell'atmosfera. L'elevato arricchimento del suolo in nutrienti può avere diverse conseguenze negative, tra cui:

- instaurarsi di un rapporto squilibrato tra gli elementi nutritivi del suolo;
- eccessiva e indesiderata presenza di nutrienti nelle piante indotta dal cosiddetto «consumo di lusso» (p.es. di NO_3^- e potassio [K]) con conseguente possibile calo della qualità di alimenti e foraggi;
- modifica della composizione botanica di prati e pascoli (aumento delle malerbe, riduzione della biodiversità);
- aumento del rischio di perdite di elementi nutritivi.

La dispersione di elementi nutritivi nell'ambiente può, inoltre, pregiudicare la qualità delle acque, inquinare l'atmosfera e provocare l'eutrofizzazione di ecosistemi seminaturali, con conseguente impoverimento del numero di specie presenti.

Le conseguenze negative della sovraconcimazione aumentano più che proporzionalmente man mano che il divario tra esigenze colturali e apporti di concime aumenta. Distribuire dosi di concime calibrate sul fabbisogno delle piante coltivate, tenendo in debito conto il tenore in elementi nutritivi del suolo, è un aspetto fondamentale della concimazione a basso impatto ambientale. Basandosi sui dati riportati nel modulo 2, si riesce così a riequilibrare il tenore in elementi nutritivi del suolo, riportandolo a un livello «sufficiente» (classe di fertilità C). Il ripristino dell'equilibrio può richiedere, a seconda del nutriente considerato, anche parecchi anni.

5. Sostanze nocive e agenti patogeni

La concimazione può favorire l'accumulo di **sostanze nocive** nel suolo. Le prescrizioni contenute nell'ordinanza sui concimi (OCon; RS 916.171) e nell'ordinanza sul libro dei concimi

Tabella 4. Parametri che influenzano le perdite per ruscellamento ed erosione degli elementi nutritivi distribuiti con la concimazione e misure volte a ridurre il rischio di perdite durante la distribuzione di liquami e digestati liquidi.

I dati riportati in questa tabella si fondano su basi scientifiche e su pareri di esperti.

Parametro	Condizioni	Rischio di perdite per ruscellamento ed erosione	Carico sopportabile di concimi liquidi; misure concernenti la distribuzione di concimi liquidi, dose massima per singolo apporto ¹
Condizioni meteorologiche	Piogge persistenti o temporali imminenti	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
Porosità del suolo	a. Suolo privo di copertura vegetale: ²		
	capacità d'infiltrazione ridotta (compattamento, crosta superficiale, ostruzione dei pori superficiali, saturazione idrica, congelamento, superficie impermeabile)	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
	buona capacità d'infiltrazione (terra smossa, asciutta, suolo con superficie irregolare)	Da medio a basso	Carico sopportabile da ridotto a normale; fino a 60 m ³ /ha *
	b. Suolo con copertura vegetale:		
	capacità d'infiltrazione ridotta (compattamento, crosta superficiale, ostruzione dei pori superficiali, saturazione idrica, congelamento, superficie impermeabile)	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
	buona capacità d'infiltrazione (terra smossa, asciutta, suolo con superficie irregolare)	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
	c. Suolo innevato:		
	neve asciutta e ghiacciata	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
	neve in fusione	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione
Condizioni topografiche	Colture erbacee da pieno campo Pericolo d'erosione e di ruscellamento secondo la Carta del rischio d'erosione su reticolo 2x2 m (CRE2) ³ e la Carta delle superfici collegate ad acque superficiali (GAK2) ⁴ :		
	Nessun pericolo d'erosione	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
	Pericolo d'erosione	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
	Elevato pericolo d'erosione	Elevato	Carico sopportabile limitato; fino a 25 m ³ /ha [△]
	Superfici prative Declività:		
	≤ 18 %	Basso	Carico sopportabile normale; fino a 60 m ³ /ha *
	19–35 %	Medio	Carico sopportabile ridotto; fino a 40 m ³ /ha
	36–50 %	Elevato	Carico sopportabile limitato; fino a 20 m ³ /ha
	> 50 %	Molto elevato	Nessun carico sopportabile; evitare la distribuzione

¹ I volumi massimi indicati si riferiscono a liquami sufficientemente diluiti. In caso di diluizione limitata, i volumi vanno ridotti tenendo in considerazione le quantità massime di N ammissibili per singolo apporto.

² Il campo è già seminato (piantato) oppure lo sarà subito dopo la distribuzione di liquami o digestati liquidi.

³ Informazioni sulla carta del rischio d'erosione si trovano in Gisler *et al.* (2011) e sul Geoportale della Confederazione Svizzera: <https://map.geo.admin.ch/> > Geocatalogo > Natura e ambiente > Suolo > Rischio erosione qualitativo 2.

⁴ Informazioni sulla carta delle superfici collegate ad acque superficiali si trovano in Alder *et al.* (2015) e sul Geoportale della Confederazione Svizzera: <https://map.geo.admin.ch/> > Geocatalogo > Natura e ambiente > Suolo > Superfici collegate ad acque.

* Si tratta di volumi solitamente troppo elevati per un singolo apporto e che andrebbero, quindi, suddivisi in due apporti di minore entità.

[△] Oltre al pericolo d'erosione secondo la carta CRE2, per calibrare la concimazione bisogna considerare la copertura vegetale (coltura) esistente.

(OLCon; RS 916.171.1), nonché i valori limite per le sostanze nocive riportati nell'allegato 2.6 dell'ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim; RS 814.81) hanno, tra gli altri, lo scopo di ridurre al minimo l'inquinamento del suolo e dei raccolti da parte di sostanze nocive provenienti dai concimi.

Tra le sostanze nocive da seguire con più attenzione ci sono i metalli pesanti. Questi non sono contenuti unicamente nei

concimi ottenuti dal riciclaggio, ma anche in alcuni concimi aziendali [p.es. rame (Cu) e zinco (Zn) nel liquame suino] e minerali [p.es. cadmio (Cd) nei concimi fosfatici]. Solitamente, chi utilizza i concimi non dispone di informazioni sul tenore in metalli pesanti dei singoli lotti a sua disposizione. Il responsabile legale della fornitura di concimi minerali a basso tenore in metalli pesanti è la ditta produttrice e/o importatrice. Nel caso di concimi ottenuti dal riciclaggio, la responsabilità è dell'impianto di compostaggio e/o di fermentazione. I Can-

toni, su mandato dell'Ufficio federale dell'agricoltura, verificano periodicamente il tenore in sostanze nocive dei concimi

Vi sono tuttora poche informazioni sull'effetto dell'accumulo nel suolo di: farmaci veterinari (in special modo antibiotici), inquinanti organici, sostanze simili agli ormoni e metalli pesanti radioattivi, come l'uranio. Questi inquinanti derivano in parte dai concimi ottenuti dal riciclaggio. Ad eccezione dell'uranio, che raggiunge il suolo tramite i concimi minerali fosfatici, la fonte primaria di tutte le altre sostanze appena elencate sono i concimi aziendali e i concimi ottenuti dal riciclaggio.

I concimi aziendali e quelli ottenuti dal riciclaggio possono contenere anche **agenti patogeni** (Fuchs et al. 2014) che, una volta raggiunto il suolo o le piante, sono in grado di sopravvivere per diversi mesi. Lo stoccaggio del liquame e il riscaldamento che avviene durante le prime fasi del compostaggio contribuiscono a rendere questi patogeni praticamente inoffensivi.

6. Basi legali

A tutela dell'ambiente, per l'omologazione e l'utilizzo dei concimi vanno osservate le disposizioni di diverse basi legali federali (UFAM e UFAG 2012):

- ordinanza sui prodotti chimici (OPChim, RS 813.11);
- ordinanza contro il deterioramento del suolo (Osuolo, RS 814.12);
- legge federale sulla protezione delle acque (LPAC, RS 814.20);
- ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc, RS 814.201);
- ordinanza sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici (ORRPChim, RS 814.81);



Figura 5. Concimare in modo razionale e nel rispetto dell'ambiente significa distribuire i concimi in quantità necessaria e al momento giusto, in modo che le piante possano valorizzare al meglio gli elementi nutritivi in essi contenuti (fotografia: Gabriela Brändle, Agroscope).

- legge federale sulla protezione dell'ambiente (LPAmb, RS 814.01);
- legge federale sull'agricoltura (LAgr, RS 910.1);
- ordinanza sui concimi (OCon, RS 916.171);
- ordinanza sul libro dei concimi (OLCon, RS 916.171.1).

Le prescrizioni contenute in tali basi legali, relative all'impiego dei concimi, sono integrate nei diversi moduli che compongono la pubblicazione «Aiuto all'esecuzione per la protezione dell'ambiente nell'agricoltura», tra cui spiccano i moduli «Nährstoffe und Verwendung von Düngern» (UFAM e UFAG 2012) e «Baulicher Umweltschutz» (UFAM e UFAG 2011), disponibili entrambi in tedesco o francese.

Le aziende agricole gestite secondo i principi della prova che le esigenze ecologiche sono rispettate (PER) devono, inoltre, rispettare le prescrizioni contenute nell'ordinanza sui pagamenti diretti all'agricoltura (OPD, RS 910.13) e nei relativi strumenti d'applicazione (p.es. Suisse-Bilanz). Chi partecipa ad altri programmi facoltativi deve rispettare anche le prescrizioni delle seguenti basi legali:

- ordinanza sull'agricoltura biologica (RS 910.18);
- ordinanza del DEFR sull'agricoltura biologica (RS 910.181).

7. Raccomandazioni riassuntive per concimare rispettando l'ambiente

Una concimazione mirata e rispettosa dell'ambiente garantisce la salvaguardia della fertilità del suolo a lungo termine, riduce le perdite di elementi nutritivi e, di conseguenza, i costi di concimazione, nonché contribuisce a preservare la qualità delle acque superficiali, di quelle sotterranee, dell'aria e del clima. Tuttavia, è spesso difficile riuscire a concimare rispettando contemporaneamente tutte le condizioni che consentono di proteggere l'ambiente. È compito di ogni agricoltore, sulla base delle proprie esperienze, con l'aiuto della consulenza e con l'ausilio dei mezzi disponibili, pianificare la concimazione in modo che si adattati al fabbisogno delle piante, tenga conto delle condizioni pedoclimatiche locali e si esegua al momento giusto (figura 5). Occorre altresì sottolineare che determinate misure volte a ridurre specifiche perdite potenziali di elementi nutritivi possono favorirne involontariamente altre (*Pollution Swapping*; Stevens e Quinton 2009). Per esempio, la riduzione della volatilizzazione di NH_3 comporta un aumento di N minerale nel suolo e un conseguente maggior rischio di dilavamento di NO_3^- e di produzione di N_2O tramite denitrificazione. Perciò, quando si applica una misura specifica con l'intenzione di ridurre puntualmente l'inquinamento potenziale dell'ambiente non bisogna mai perdere di vista l'insieme della problematica.

Il principio delle 4C proposto da Roberts (2007) illustra sinteticamente i punti fondamentali per ottimizzare la concimazione:

- corretto tipo di concime;
- corretta quantità di concime;
- corretta epoca di distribuzione;
- corretto sito di distribuzione.

Principali misure volte a limitare al minimo l'impatto ambientale della concimazione:

- Adattare l'effettivo di animali alle condizioni pedoclimatiche locali e al fabbisogno in elementi nutritivi delle colture.
- Pianificare accuratamente la concimazione (piano di concimazione dettagliato), tenendo conto della rotazione colturale e dei risultati di analisi del suolo affidabili.
- Utilizzare in modo mirato gli elementi nutritivi contenuti nei concimi aziendali; l'analisi periodica del tenore in elementi nutritivi di questi concimi è utile per conseguire questo obiettivo.
- Impiegare gli elementi nutritivi di origine extraaziendale (concimi aziendali di terzi, concimi ottenuti dal riciclaggio, concimi minerali) unicamente per integrare il fabbisogno in elementi nutritivi non coperto dai concimi aziendali.
- Adattare il tipo di concime, la sua dose e la sua epoca di distribuzione all'evoluzione del fabbisogno delle piante coltivate, ai tenori in nutrienti del suolo, nonché alle condizioni pedoclimatiche locali.
- Evitare gli apporti di concimi N al di fuori del periodo vegetativo (prevedere sufficiente spazio per lo stoccaggio di letame e liquami).
- Distribuire liquami e digestati liquidi unicamente quando il suolo è in grado di assorbirli (non su suoli saturi d'acqua, fortemente compattati, con crosta superficiale, ricoperti di neve o congelati); bisogna prestare particolare attenzione ai suoli drenati artificialmente.
- Distribuire liquami e digestati liquidi tramite tecniche a bassa emissione di NH_3 .
- Distribuire liquami e letame con tempo fresco e in giornate poco ventose (se possibile con temperatura inferiore a 15°C e umidità relativa dell'aria superiore al 70 % durante e nelle 24 ore successive alla distribuzione); per le colture erbacee da pieno campo, dove possibile, erpicare prima della distribuzione dei concimi oppure incorporarli rapidamente nel suolo.
- Evitare di lasciare il suolo privo di copertura vegetale (coltura intercalare, sovescio, trasemina, semina su lettiera, ecc.).

8. Bibliografia

8.1 Bibliografia citata nel testo

- Agridea & UFAG, 2016. Guida a Suisse-Bilanz, Edizione 1.13. Ufficio federale dell'agricoltura UFAG, Berna. 26 pp.
- Alder S., Prasuhn V., Liniger H.P., Herweg K., Hurni H., Candinas A. & Gujer H.U., 2015. A high-resolution map of direct and indirect connectivity of erosion risk areas to surface waters in Switzerland – A risk assessment tool for planning and policy-making. *Land Use Policy* 48, 236–249.
- Frey M., Konz N., Stamm C. & Prasuhn V., 2011. Identifizierung von Flächen, die überproportional zur Gewässerbelastung beitragen. *Agrarforschung Schweiz* 2 (4), 156–161.
- Fuchs J., Baier U., Berner A., Philipp W. & Schleiss K., 2014. Abschätzung des hygienischen Risikos im Zusammenhang mit der Anwendung von flüssigem Gärgut in der Schweiz – Schlussbericht. Publikation Nr. 290982. Ufficio federale dell'energia UFE, Berna.
- Gisler S., Liniger H.P. & Prasuhn V., 2011. Erosionsrisikokarte im 2x2-Meter-Raster (ERK2). *Agrarforschung Schweiz* 2 (4), 148–155.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 «Agriculture, Forestry and Other Land Use», Chapter 11 « N_2O Emissions from Managed Soils, and CO_2 Emissions from Lime and Urea Application». Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. Link: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> [6.10.2016].
- Roberts T.L., 2007. Right product, right rate, right time, and right place ... the foundation of BMPs for fertilizer. *Better Crops* 91 (4), 14–15.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen T. L. & Fixen P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (3–4), 247–266.
- Spirig C. & Neftel A., 2006. Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und Feinstaub. *Agrarforschung* 13 (9): 392–397.

Stevens C.J. & Quinton J.N., 2009. Diffuse pollution swapping in arable agricultural systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39 (6), 478–520.

UFAM & UFAG, 2011. Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug N. 1101. Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Berna. 123 pp.

UFAM & UFAG, 2012. Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Umwelt-Vollzug Nr. 1225. Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Berna. 62 pp.

Van Groenigen J., Velthof G.L., Oenema O., Van Groenigen K.J. & Van Kessel C., 2010. Towards an agronomic assessment of N_2O emissions: a case study for arable crops. *European Journal of Soil Science* 61 (6), 903–913.

8.2 Bibliografia di approfondimento

- BBDU, 2004. Hofdünger – gezielt eingesetzt. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 4 pp.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2005. Ammoniakverluste bei der Hofdüngerausbringung reduzieren. *UFA-Revue* 12, 33–34.
- BDU-Arbeitsgruppe «Ammoniak», 2011. Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft – Wissenswertes in Kürze. 2. aktualisierte Auflage. Beratergruppe «Boden Düngung Umwelt» BDU, Lindau. 2 pp.
- UFAM & UFAG, 2004. Merkblatt «Düngen zur richtigen Zeit». 2. unveränderte Auflage. Stazione federale di ricerche in agroecologia e agricoltura FAL, Zurigo. 4 pp.
- UNECE, 2014. Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen. Versione tedesca del documento ECE/EB.AIR/120ECE/EB.AIR/120, redatto su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Berna. 98 pp.

9. Indice delle tabelle

Tabella 1. Potenziale impatto ambientale di diversi tipi di concime e costi correlati alla riduzione dell'impatto su suolo, acqua e aria.	7/4
Tabella 2. Parametri che influenzano la volatilizzazione dell' NH_3 durante e dopo la concimazione organica e misure volte a ridurre le emissioni.	7/5
Tabella 3. Parametri che influenzano le perdite per dilavamento e percolazione degli elementi nutritivi distribuiti con la concimazione e misure volte a ridurre il rischio di perdite durante la distribuzione di liquami e digestati liquidi.	7/7
Tabella 4. Parametri che influenzano le perdite per ruscellamento ed erosione degli elementi nutritivi distribuiti con la concimazione e misure volte a ridurre il rischio di perdite durante la distribuzione di liquami e digestati liquidi.	7/9

10. Indice delle figure

Figura 1. Le tecniche che distribuiscono liquami e digestati liquidi depositandoli sulla superficie del suolo per caduta (qui una barra equipaggiata con tubi flessibili a strascico) consentono di ridurre notevolmente la volatilizzazione dell' NH_3 rispetto ai metodi che disperdono i liquami in pressione nell'aria (deflettore a piattello, distributore oscillante, ecc.).	7/5
Figura 2. Misura della quantità di N_2O prodotto in un pascolo sperimentale con la tecnica detta «Eddy covariance» (correlazione turbolenta).	7/6
Figura 3. Parcelle sperimentali di colza, prato temporaneo e barbabietola da zucchero monitorate attraverso lisimetri, installati da Agroscope presso il sito di Zurigo-Reckenholz.	7/8
Figura 4. Il ruscellamento convoglia direttamente le acque meteoriche di questo campo verso un tombino, facilitando l'inquinamento delle acque superficiali con elementi nutritivi, sedimenti e prodotti fitosanitari di origine agricola.	7/8
Figura 5. Concimare in modo razionale e nel rispetto dell'ambiente significa distribuire i concimi in quantità necessaria e al momento giusto, in modo che le piante possano valorizzare al meglio gli elementi nutritivi in essi contenuti.	7/10