



8/ Concimazione delle colture erbacee da pieno campo

Sokrat Sinaj¹, Raphaël Charles¹, Alice Baux¹, Brice Dupuis¹,
Jürg Hiltbrunner², Lilia Levy¹, Didier Pellet¹, Guillaume Blanchet¹ e
Bernard Jeangros¹

¹ Agroscope, 1260 Nyon, Svizzera

² Agroscope, 8046 Zurigo, Svizzera

Contatto: sokrat.sinaj@agroscope.admin.ch

Indice

1. Introduzione	8/3
2. Caratteristiche generali e fabbisogno in elementi nutritivi	8/3
2.1 Cereali a paglia	8/3
2.2 Patata	8/5
2.3 Oleaginose	8/7
2.4 Proteaginose	8/9
2.5 Mais	8/10
2.6 Barbabietola da zucchero	8/12
2.7 Sistemi colturali e intercalari	8/13
3. Norme di concimazione	8/15
3.1 Concimazione azotata	8/21
3.2 Concimazione fosfatica, potassica e magnesiana	8/28
3.3 Zolfo	8/30
3.4 Boro, manganese e altri microelementi	8/31
4. Residui colturali	8/32
5. La concimazione nella pratica	8/32
5.1 Piano di concimazione	8/32
5.2 Scelta dei concimi	8/32
5.3 Epoca e frazionamento della concimazione	8/34
5.4 Tecniche di distribuzione	8/37
5.5 Possibilità di ottimizzare o di ridurre la concimazione azotata	8/37
5.6 Possibilità di semplificare la concimazione fosfatica, potassica e magnesiana	8/37
6. Bibliografia	8/38
7. Indice delle tabelle	8/41
8. Indice delle figure	8/42
9. Allegato	8/43

In copertina: effetto della concimazione azotata sulla crescita del frumento in una prova di lunga durata a Changins (fotografia: Carole Parodi, Agroscope).

1. Introduzione

La concimazione razionale delle colture erbacee da pieno campo deve considerare molteplici fattori, quali: il fabbisogno delle piante in elementi nutritivi, la loro disponibilità nel suolo e la loro restituzione attraverso i residui colturali, la quantità e la forma chimica di tali elementi distribuiti per mezzo dei concimi minerali e aziendali, il percorso e le trasformazioni degli elementi nutritivi nel sistema suolo – pianta – ambiente (aria, acqua), nonché la redditività economica delle singole colture.

I differenti metodi/criteri di concimazione delle colture erbacee da pieno campo mirano a fornire alle piante la giusta quantità di elementi nutritivi, affinché questi ultimi non risultino limitanti per lo sviluppo della coltura. La concimazione non è che uno dei numerosi fattori che contribuiscono a una raccolta di successo: la scelta varietale, le condizioni climatiche (precipitazioni, temperatura), così come la pressione di malattie e parassiti, svolgono altresì un ruolo sotto questo aspetto.

Il presente modulo mette a disposizione del mondo agricolo informazioni relative a:

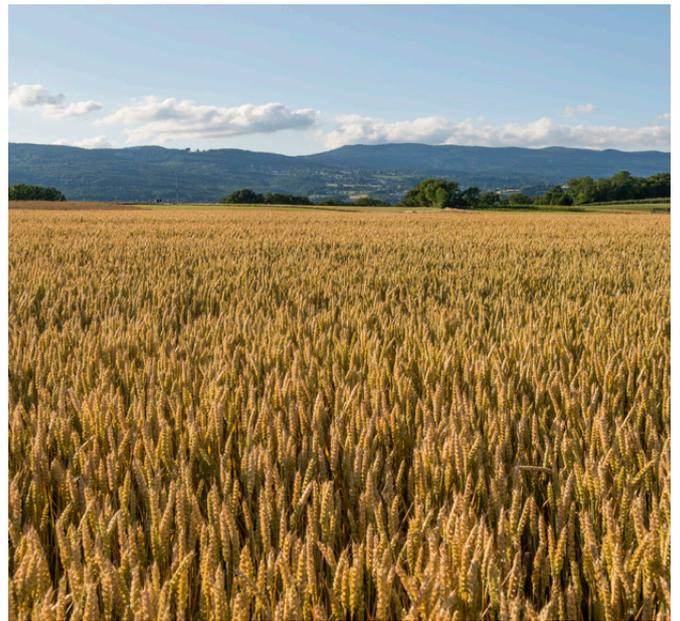
- (i) particolarità delle colture erbacee da pieno campo nei confronti della concimazione (fisiologia del prelievo, esigenze legate alla fertilità dei suoli e all'ambiente, requisiti concernenti la qualità dei prodotti raccolti, ecc.);
- (ii) fabbisogno delle diverse colture in elementi nutritivi;
- (iii) metodi per razionalizzare la concimazione e determinare le norme di concimazione per ogni coltura o gruppo di colture;
- (iv) tecniche di concimazione.

Queste informazioni, già riportate nella versione precedente «Dati di base per la concimazione in campicoltura e foraggicoltura» (Sinaj *et al.* 2009), sono state aggiornate grazie al lavoro svolto da Agroscope nel corso degli ultimi sette anni.



Parcella con facelia (fotografia: Agroscope).

2. Caratteristiche generali e fabbisogno in elementi nutritivi



Parcella con frumento (fotografia: Agroscope).

2.1 Cereali a paglia

2.1.1 Caratteristiche generali

In Svizzera, nel 2015, si sono coltivati 128'135 ettari di cereali a paglia, di cui 75'248 di frumento panificabile, 8'182 di frumento foraggero, 28'182 d'orzo, 8'447 di triticale, 1'974 di segale, 1'633 d'avena e 4'146 tra spelta e altri cereali panificabili (swiss granum 2015).

I cereali autunnali si seminano tra fine settembre (orzo) e fine ottobre (frumento e triticale). I cereali a paglia si possono anche seminare più tardivamente, ma l'accestimento e, di conseguenza, la resa potenziale in granella diminuiscono. La mietitrebbiatura si esegue tra fine giugno e metà agosto in funzione della specie coltivata e dell'ambiente di coltivazione.

Frumento e spelta si sviluppano bene su suoli da mediamente pesanti a pesanti con pH neutro, mentre il triticale si può coltivare anche in zone marginali (Vullioud 2005). La segale si adatta a suoli poveri, caratterizzati da tessitura leggera e pH acido. L'orzo teme l'acidità e preferisce suoli ben aerati. L'avena possiede un apparato radicale ben sviluppato e sopporta anche suoli acidi e mal strutturati, purché la disponibilità d'acqua sia sufficiente.

Difficoltà durante la lavorazione del suolo e la semina possono tradursi in uno sviluppo radicale mediocre che limiterà la crescita della pianta, perché l'assorbimento d'acqua e di elementi nutritivi risulta compromesso. Il compattamento del suolo o la gestione scorretta delle malattie radicali, come il mal del piede dei cereali, possono essere ulteriori cause di una scarsa radicazione. Anche in questi casi, l'effetto finale sulla resa dipende altresì da altri fattori, quali le precipitazioni (Lucas *et al.* 2000).

2.1.2 Fabbisogno in elementi nutritivi

I cereali a paglia hanno esigenze in azoto (N) abbastanza elevate, ma sono poco esigenti in fosforo (P) e potassio (K). Il loro fabbisogno in zolfo (S) non è molto elevato ma, in situazioni a rischio (suoli con tessitura leggera e debole capacità di ritenzione idrica oppure in presenza di abbondanti piogge invernali), si raccomanda un apporto sotto forma di solfato (SO_4^{2-}) (UNIFA 2015). La distribuzione di SO_4^{2-} si può abbinare alla concimazione N.

La figura 1 illustra l'assorbimento di elementi nutritivi (N, P, K, S) durante la crescita del frumento. La dinamica d'assorbimento varia a se-

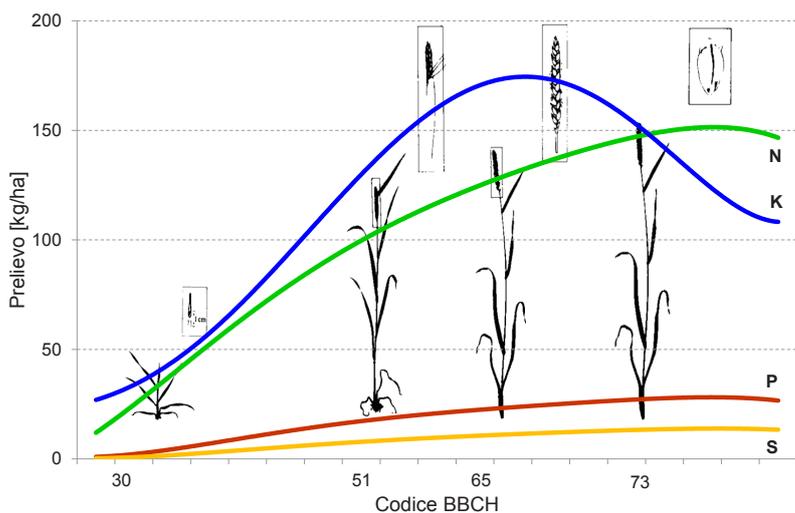


Figura 1. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, S) in funzione dello sviluppo fisiologico del frumento [scala BBCH di Hack (1993)], pianta intera e resa di 60 q/ha (SCPA, 1995).

conda dell'elemento: quella di K, fortemente presente nelle foglie, inizia precocemente poi rallenta durante il riempimento e la maturazione della granella. N, P e S, invece, sono assorbiti regolarmente durante tutto il periodo di crescita. P e N sono trasferiti nella granella durante il suo riempimento, mentre il K resta nelle foglie (Schvartz *et al.* 2005). Nel caso dell'orzo, i tenori in elementi nutritivi nella granella e nelle foglie variano molto in funzione delle condizioni ambientali e del tipo di varietà (orzo distico o esastico) (Charles *et al.* 2012). La concentrazione di K nella paglia è tripla rispetto a quella riscontrata nella granella.

2.1.3 Concimazione N e resa in granella

La resa in granella dei cereali a paglia è influenzata da diversi fattori, tra cui spicca la concimazione N (Levy e Brabant 2016; Charles *et al.* 2012; Levy e Schwaerzel 2009; Levy *et al.* 2007; Levy *et al.* 2009). In molti casi, la concimazione N aumenta la resa in granella ma, superato il livello ottimale di concimazione, l'efficacia dell'N cala con l'aumentare della quantità distribuita (Levy e Brabant 2016; Levy e Schwaerzel 2009).

2.1.4 Concimazione e qualità della granella

I cereali a paglia trovano sbocchi commerciali in molteplici settori. La maggior parte della produzione si utilizza per la panificazione (frumento, segale, spelta) e per produrre foraggio (triticale, orzo, frumento foraggero, avena). Una quota marginale, invece, si valorizza sotto forma di biscotti, fiocchi, zuppe, eccetera. In Svizzera, le varietà di frumento si classificano secondo la loro attitudine alla panificazione e si raccomandano in funzione della loro utilizzazione specifica. Recentemente, la filiera dei cereali ha introdotto, in via sperimentale, il pagamento dei frumenti di classe TOP (varietà d'alta gamma destinate alla panificazione) in funzione del loro tenore in proteine (Sonderregger e Scheuner 2014). Le esigenze qualitative richieste dai trasformatori sono specifiche per ogni tipo d'utilizzazione.

2.1.4.1 Influenza della concimazione azotata sulla qualità del frumento panificabile

La scelta varietale è all'origine di un terzo della variabilità del tenore in proteine del frumento (Levy e Brabant 2016); un altro terzo è funzione della concimazione N. La differenza tra situazioni di carenza di N (0 kg N/ha) e situazioni in cui gli apporti sono vicini alla norma (140 kg N/ha) è maggiore per il tenore in proteine che per la resa in granella (Levy e Brabant 2016).

Tabella 1. Effetto della concimazione N sui parametri qualitativi del frumento in funzione della sua valorizzazione.

Parametri qualitativi	Effetto della concimazione N	Valutazione in base al tipo di valorizzazione		
		Frumento panificabile	Frumento biscottiero	Frumento foraggero
Peso ettolitrico	o/+	o/+	o/+	o/+
Peso di mille semi	o	o	o	o
Tenore in proteine	+	+	-	+
Indice di Zeleny ¹	+	+	-	o
Durezza della granella	+	+	-	o
Capacità d'assorbimento idrico della farina	o/+	o/+	o/-	o
Stabilità dell'impasto	+	+	-	o
Perdita di consistenza dell'impasto	+	+	-	o
Tenacità dell'impasto	+	+	-	o
Tenacità / estensibilità dell'impasto	+	+	+	o
Gelatinizzazione massima	+	o/+	o	o

o ininfluente; + influenza positiva; - influenza negativa.

¹ L'indice di Zeleny esprime la qualità delle proteine e la loro attitudine al rigonfiamento in soluzione di acido lattico.

Anche se la concimazione N aumenta il tenore in proteine, un tenore maggiore non assicura necessariamente una migliore qualità panificabile (Brabant e Levy 2016). Una concimazione N più importante genera un cambiamento nella composizione delle proteine: il tasso di glutine umido aumenta, mentre l'indice di glutine (indicatore della qualità del glutine) diminuisce (Brabant e Levy 2016). L'indice di Zeleny aumenta frazionando l'N in tre apporti, mentre non reagisce se si intensifica la concimazione N. Il peso ettolitrico è essenzialmente determinato dalla varietà, ma una concimazione N più importante può influenzarlo positivamente (Levy *et al.* 2007; Levy e Brabant 2016).

2.1.4.2 Influenza della concimazione azotata sulla qualità del frumento biscottiero

Le caratteristiche qualitative della farina richieste dalla filiera biscottiera sono molto diverse da quelle auspiccate dalla filiera panificatoria, quando, come capita spesso, non sono addirittura opposte. La filiera biscottiera esige frumenti a basso tenore in proteine, basso potere d'idratazione nonché con forte estensibilità e debole elasticità dell'impasto. Questi parametri non sono influenzati solo dalla scelta varietale, ma anche dalla concimazione N (tabella 1).

2.1.4.3 Influenza della concimazione azotata sulla qualità dei cereali foraggeri

Diverse specie di cereali, come l'orzo e il triticale, sono utilizzate principalmente per produrre foraggio. Nel 2001, dopo la liberalizzazione del mercato cerealicolo, il frumento di qualità panificabile declassato è stato sostituito da varietà di frumento foraggero molto produttive, ma a basso tenore in proteine. Attualmente, la valutazione della qualità dei cereali foraggeri si basa sostanzialmente sul peso ettolitrico; un parametro facilmente misurabile, ma poco affidabile (tabella 1). Il peso ettolitrico è influenzato in modo molto marginale dalla concimazione N (Charles *et al.* 2012). Altri parametri, più specifici per i diversi utilizzi (tenore in proteine, in lisina, in acidi grassi, ecc.), rivestono un ruolo importante nella valutazione della qualità. L'indice PUFA-MUFA (IPM), riportato sistematicamente per le varietà d'orzo autunnale (Courvoisier *et al.* 2015), è maggiore per l'orzo rispetto al frumento, ma non dipende dallo stato nutrizionale N della pianta. Analogamente, la viscosità dei cereali foraggeri è cruciale per il foraggiamento degli animali monogastrici, perché esercita un effetto negativo, tra le altre cose, sull'assorbimento degli alimenti (Levy *et al.* 2013). Tuttavia, anche quest'ultimo parametro non è influenzato dalla concimazione N.

2.1.5 Concimazione e malattie

Numerosi studi (Neumann *et al.* 2004; Olesen *et al.* 2003; Jordan *et al.* 1989; Smiley e Cook 1973) mostrano che lo sviluppo delle malattie dei cereali non è influenzato solo dal livello di concimazione N, ma anche dal momento in cui si distribuisce l'N e dalla sua forma chimica. L'abbondanza di N favorisce lo sviluppo dell'oidio (*Blumeria graminis*) e della ruggine bruna (*Puccinia triticina*) nonché la pullulazione di afidi sulla spiga (Charles *et al.* 2011; Mascagni *et al.* 1997; Gash 2012). Altre malattie, come la fusariosi della

spiga, non dipendono né dalla forma chimica, né dal livello della concimazione N (Krnjaja *et al.* 2015; Lemmens *et al.* 2004). Tuttavia, limitare la disponibilità di N o in altri elementi nutritivi oppure ancora mettere sotto stress la coltura non è certamente una soluzione. Alcuni studi (Buschbell e Hoffmann 1992; Olesen *et al.* 2000) mostrano che patogeni e parassiti attaccano più facilmente le colture indebolite.



Parcella con patata (fotografia: Agroscope).

2.2 Patata

2.2.1 Caratteristiche generali

In Svizzera, la patata copre 11'330 ettari (Swisspatat 2015), di cui 1'500 coltivati a patata da semina. La quota restante si divide tra varietà per il consumo fresco (60 %) e varietà destinate alla trasformazione industriale (40 %).

In Svizzera, la patata si pianta generalmente tra fine marzo e inizio maggio. Dopo la piantagione impiega 2–3 settimane per emergere in superficie, a seconda del suo grado di pregermogliamento e della temperatura esterna. Passano poi diverse settimane prima che il fogliame ricopra completamente il suolo. L'apparato radicale della patata è molto superficiale e si concentra principalmente nei primi 30 centimetri di suolo. Esistono differenze varietali importanti a livello di massa radicale, il che spiega perché alcune varietà valorizzino meglio gli elementi nutritivi (Iwama 2008; Sinaj *et al.* 2014). Queste differenze sono abbastanza stabili e non dipendono né dal tipo di suolo, né dalla concimazione e nemmeno dalla densità di piantagione. Se le condizioni di crescita sono buone, cioè in assenza di stress idrici e nutrizionali, le differenze tra masse radicali sono soprattutto legate alla precocità delle varietà. Le radici delle varietà tardive hanno più tempo per allungarsi, sviluppando masse radicali più consistenti e penetrando più profondamente nel suolo, talvolta anche fino a un metro (Iwama 2008). Anche la temperatura svolge un ruolo im-

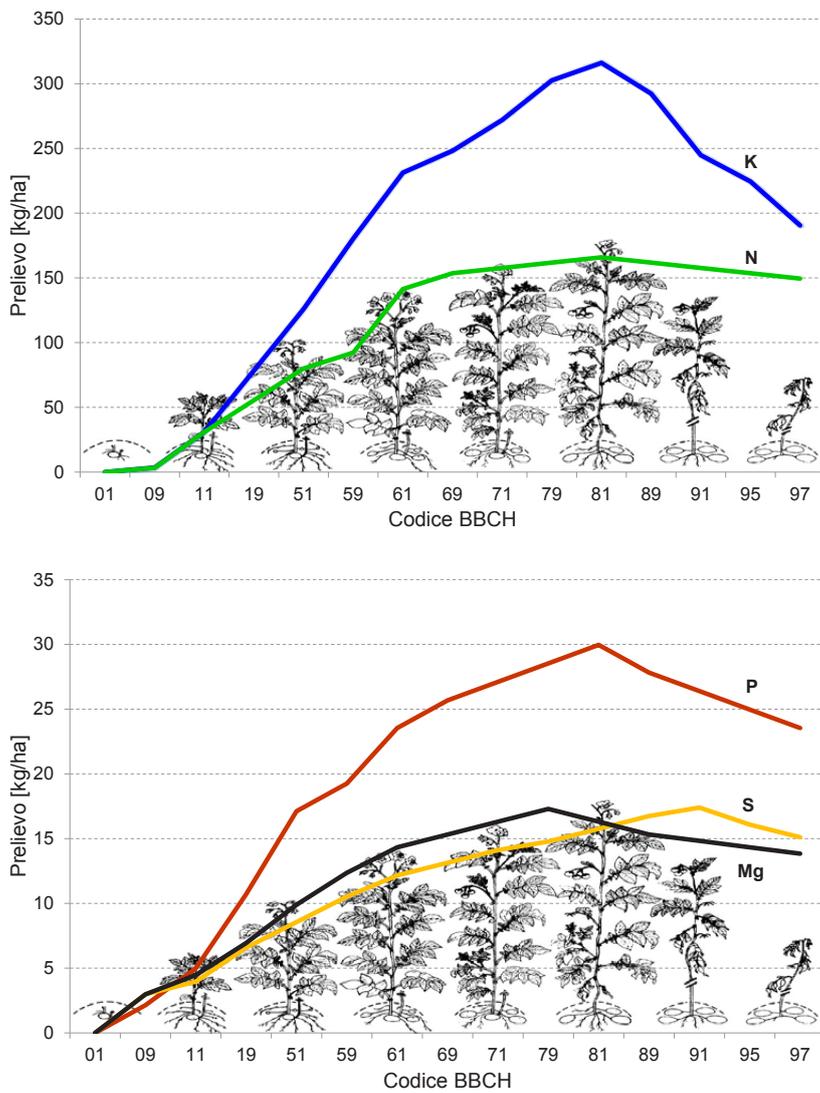


Figura 2. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, S, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico della patata [scala BBCH di Hack (1993)], varietà José e resa di 45 t/ha (SCPA 1995).

portante per lo sviluppo dell'apparato radicale; le condizioni ottimali si registrano attorno ai 20°C (Sattelmacher *et al.* 1990).

2.2.2 Fabbisogno in elementi nutritivi

La patata non è esigente solo in N, ma anche in P e K (figura 2). Si stima un prelievo di elementi nutritivi pari a 0,45–0,90 kg di P e 3,5–5,0 kg di K per tonnellata di tuberi prodotti. Essa è anche sensibile alla carenza di manganese (Mn) e boro (B).

Generalmente, apporti di N elevati favoriscono uno sviluppo fogliare rigoglioso e prolungano la crescita della vegetazione, mentre apporti di N ridotti accelerano la senescenza della pianta e fanno aumentare il tenore in sostanza secca (SS) (composta principalmente da amido) dei tuberi (Westermann e Kleinkopf 1985; Cao e Tibbitts 1998).

Il P è un elemento essenziale per la patata. Una sospensione della concimazione P si può giustificare se le analisi del suolo mostrano una riserva sufficiente di P disponibile. Bisogna, tuttavia, essere prudenti, perché una carenza di P può causare un calo di resa fino al 10 % (Ryckmans 2009). La resa massima si ottiene quando la disponibilità di P è sufficiente fin dall'inizio del ciclo vegetativo della pianta e tale si mantiene per tutto il periodo durante il quale i tuberi si ingrossano. I prelievi in P aumentano velocemente man mano che il periodo d'incubazione avanza per lasciare spazio a quello di tuberizzazione, restano costanti durante l'ingrossamento dei tuberi e si interrompono con la senescenza della pianta (figura 2; Ryckmans 2009; Tindall *et al.* 1993).

La patata è una delle colture più esigenti in K. Una sospensione della concimazione K non è consigliabile, perché può causare un calo di resa fino al 40 % se il suolo non è ben approvvigionato di K (Allison *et al.* 2001b). La quantità di SS (composta principalmente da amido) dei tuberi diminuisce quando si distribuisce molto K, soprattutto se sotto forma di cloruro (Cl⁻) piuttosto che di SO₄²⁻ (Allison *et al.* 2001b). Il picco di utilizzazione di K si localizza durante l'ingrossamento dei tuberi, a fine fioritura (Kolbe e Stephan-Beckmann 1997; SCPA 1995) (figura 2). Le varietà che possiedono apparati radicali ben sviluppati assorbono meglio il K (Karam *et al.* 2009; Trehan e Sharma 2002).

Il magnesio (Mg) è vitale per le piante (Columb 1992); esso interviene a livello della fotosintesi e del metabolismo di N e P. Durante

Tabella 2. Influenza della concimazione N, P e K sulla qualità dei tuberi di patata.

Parametri qualitativi	N	P	K
Commerciabilità dei tuberi (calibro)	+	o	+
Resistenza agli urti e alla maculatura nera	-	+	+
Tenore in amido	-	+	o/+
Tenore in SS	-	o	o/+
Cuore nero	-	o	+
Imbrunimento durante la frittura (tenore in zuccheri riduttori)	-	o	o/+
Annerimento dopo la cottura	o/-	o/+	o/+
Perdita di peso durante la conservazione	o	o	o

o ininfluenza; + influenza positiva; - influenza negativa.

l'intero ciclo vegetativo della patata, la principale fonte di Mg è il suolo. In suoli carenti, gli aumenti di resa generati dalla concimazione Mg sono modesti e superano raramente il 15 % (Allison *et al.* 2001a; Colomb 1992). Diversi studi mostrano che l'aumento della concimazione K causa il calo della concentrazione di Mg in piccioli e tuberi (carenza indotta). Ciononostante, non esistono prove scientifiche che questa competizione tra K e Mg abbia un effetto sulla resa.

Il limitato fabbisogno della patata in S (figura 2) e la coincidenza tra la sua fase di crescita e la mineralizzazione dello S organico del suolo fanno sì che le riserve del terreno coprano la maggior parte delle esigenze della coltura (Cohan 2014; Fritsch 2003).

2.2.3 Concimazione e qualità del raccolto

La concimazione N è uno dei fattori determinanti la qualità della patata (tabella 2) (Reust *et al.* 2006). Essa va differenziata secondo il tipo di suolo, gli apporti organici, le condizioni climatiche e la destinazione dei tuberi. Il frazionamento della concimazione N (tabella 26) influenza la qualità dei tuberi. Si raccomanda di distribuire l'ultimo N prima della tuberizzazione. Apporti eccessivi di N prolungano la crescita vegetativa della pianta, ritardando la senescenza e la maturazione dei tuberi. Ciò impedisce alla buccia dei tuberi di irrobustirsi, aumentando la loro sensibilità ai danni meccanici durante la raccolta e compromettendo la loro conservabilità (appassimento accelerato durante l'immagazzinamento).

La concimazione PK influenza anche la qualità dei tuberi di patata (tabella 2). Un apporto di P localizzato alla piantagione accelera lo sviluppo dei tuberi.

2.2.4 Concimazione e malattie

Troppo N favorisce la fitoftora quando la pressione della malattia è elevata, perché l'N stimola la crescita del fogliame. Si crea così un microclima umido, particolarmente propizio alla fitoftora, e diventa difficile per i fungicidi raggiungere gli strati inferiori del fogliame che sono, quindi, poco protetti contro le infezioni del fungo (Agu 2006; Kolbe e Stephan-Beckmann 1997).

Nei suoli molto calcarei, sussiste un rischio importante di attacco della scabbia comune. Questo rischio si può attenuare utilizzando concimi acidificanti, quali solfato ammonico $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ e/o solfato di potassio (K_2SO_4) (Colin e Goffart 1998; Pavlista 2005).

Si sconsiglia di concimare la patata con concimi aziendali ricchi di paglia, perché fanno aumentare il rischio che si sviluppino malattie, quali la rizotonia e la scabbia comune.



Parcella con colza (fotografia: Agroscope).

2.3 Oleaginose

2.3.1 Caratteristiche generali

La colza autunnale, con circa 23'000 ettari, è la principale oleaginosa coltivata in Svizzera. Il girasole, introdotto sul territorio elvetico attorno alla metà degli anni '90, grazie alla selezione di ibridi precoci a resa elevata, copre circa 3'500 ettari. Queste due colture svolgono ruoli molto diversi nell'ambito della rotazione colturale e presentano un fabbisogno in elementi nutritivi notevolmente differenti.

La colza si semina tra fine agosto e inizio settembre. È in grado di assorbire grandi quantità di N in autunno, valorizzando quello liberato dai concimi organici, ma svolgendo anche il ruolo di vera e propria «trappola per nitrati». Assorbe N fino dopo la fioritura, poi la mobilizzazione delle riserve presenti nel fusto e nelle foglie assicura l'accumulo di proteine nel seme. È una coltura annuale che copre il suolo per un periodo molto lungo (10–11 mesi), visto che si raccoglie tra giugno e luglio. Possiede un apparato radicale fittonante sensibile al compattamento del suolo e alla suola d'aratura.

Il girasole è una coltura primaverile, caratterizzata da uno sviluppo vegetativo vigoroso, abbastanza tollerante lo stress idrico e tradizionalmente coltivata nelle regioni calde. Esso è meno sensibile del mais alle basse temperature e, quindi, lo si può seminare un po' più precocemente, a partire dal mese d'aprile. Nei primi giorni dopo l'emergenza, la crescita dell'apparato radicale è favorita rispetto a quella della parte aerea. Il suo ciclo di sviluppo si estende su 130–150 giorni. Il girasole possiede un fittone circondato da numerose radici secondarie, molto sensibile ai problemi strutturali dello strato lavorato. Se il fittone non incontra ostacoli, riesce a esplorare il suolo fino a 2 metri di profondità, il che gli conferisce una certa autonomia per ciò che concerne l'approvvigionamento in elementi nutritivi e una buona tolleranza allo stress idrico.

2.3.2 Fabbisogno in elementi nutritivi

Il fabbisogno in N della colza è elevato (figura 3). Essa può assorbire una quantità importante in autunno. Una parte di questo N non resta nella pianta a causa della caduta delle foglie in inverno e può essere parzialmente mobilizzato di nuovo nella primavera successiva. La concimazione primaverile mira a integrare la quantità di N assorbita durante l'autunno. Di conseguenza, il fabbisogno in N può variare molto in funzione dell'N già assorbito dalla pianta entro la fine dell'inverno. Il metodo di calcolo della concimazione N sviluppato da «Terres Inovia» (Francia) considera lo sviluppo della coltura al risveglio vegetativo, permettendo di ridurre l'apporto di N sulle colture di colza più sviluppate, senza comprometterne la resa (Lagarde e Champolivier 2006). Si raccomanda di frazionare l'N in due apporti a partire dal risveglio vegetativo. Si sconsiglia vivamente, salvo rare eccezioni, di distribuire N già in autunno, visto che una crescita eccessiva delle piante prima dell'inverno non è auspicabile e può causare l'allungamento del fusto. Le eccezioni citate concernono, per esempio, la distribuzione di N dopo l'incorporazione nel suolo della paglia di cereali.

La colza appartiene alle colture esigenti in P per tutta la durata del ciclo di sviluppo (figura 3), ma riesce raramente a mobilizzare le riserve di questo elemento presenti nel suolo. Quindi, un arresto della concimazione P può causare fenomeni di carenza.

Il K è un elemento essenziale per la colza (figura 3), che ne assorbe quantità importanti, immagazzinandole in gran parte nei fusti e nelle foglie sotto forma solubile. Questo K diventa disponibile per la coltura successiva dopo la decomposizione dei residui colturali.

Il fabbisogno in S della colza è importante in primavera. Se tale esigenza non è soddisfatta dalla mineralizzazione di S organico del suolo (di-

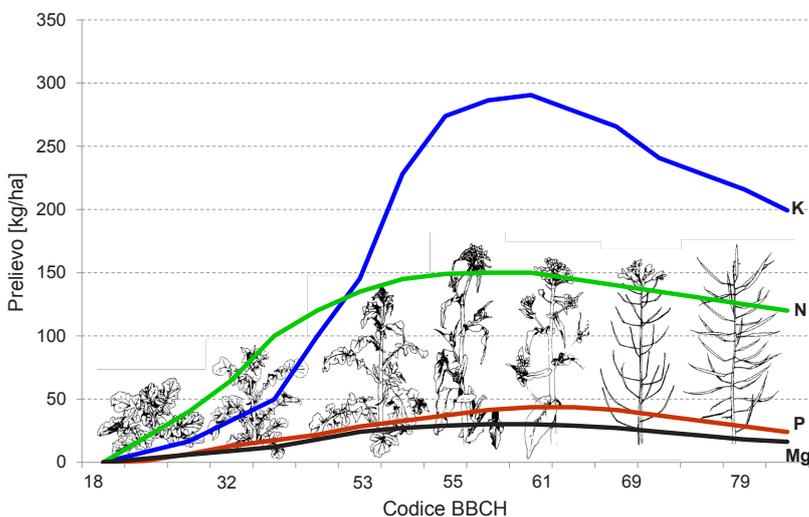


Figura 3. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico della colza [scala BBCH di Hack (1993)].



Piante di girasole (fotografia: Agroscope).

pende dal tipo di suolo e dalle condizioni climatiche), una distribuzione di S sotto forma di SO_4^{2-} è essenziale a partire dal risveglio vegetativo, per evitare carenze che possono causare perdite di resa considerevoli. Se si distribuisce regolarmente sostanza organica (SO) sulle parcelle coltivate a colza, il rischio di carenza è più limitato e distribuire S può rivelarsi superfluo.

Il fabbisogno in N del girasole è modesto e in gran parte coperto dal suo assorbimento dagli strati profondi del suolo, a patto che l'apparato radicale sia ben sviluppato. Si stima un fabbisogno attorno ai 45 kg di N per tonnellata di granella prodotta. La concimazione N si esegue alla semina. Un apporto eccessivo di N è sconsigliabile, perché l'eccesso può favorire lo sviluppo di malattie, ritardare la maturazione e causare il calo del tenore in olio. È, talvolta, possibile sospendere la concimazione N (capitolo 3.1.3).

Il girasole è mediamente esigente in K e poco esigente in P. Eventuali carenze in questi elementi possono comunque frenare la crescita della pianta e limitarne la resa. Le carenze si possono verificare se il suolo è povero o lo sviluppo dell'apparato radicale è insufficiente.

2.3.3 Concimazione e qualità del raccolto

Il tenore in olio della granella delle oleaginose e il tenore in glucosinolati della granella di colza sono due parametri qualitativi importanti, che possono essere influenzati dalla concimazione. Il tenore in olio è influenzato anche da altri fattori, tra i quali ci sono la varietà, le condizioni ambientali e la concimazione azotata. In Svizzera, attualmente, questo parametro non è preso in considerazione per remunerare i raccolti.

Tabella 3. Effetti delle concimazioni N e S sul tenore in olio e sulla concentrazione di glucosinolati della colza.

Concimazione	Olio	Glucosinolati
Concimazione N	-	o
Concimazione S (rischio di carenza medio/alto)	+	+
Concimazione S (rischio di carenza debole)	o	+

o ininfluenza; + influenza positiva; - influenza negativa.

2.3.3.1 Influenza delle concimazioni azotata e sulfurea sul tenore in olio

L'aumento della concimazione N (fino alla distribuzione di un livello ottimale di N) comporta un'evoluzione positiva della resa in granello e una diminuzione del tenore in olio (tabella 3). Ne consegue che la resa in olio aumenta con la concimazione N fino a un livello ottimale di N, inferiore a quello relativo alla resa in granello. Distribuendo 40 kg di N oltre la dose ottimale il tenore in olio diminuisce da 0,3 a 1,2 punti percentuali (Champolivier e Reau 2005). Una tendenza analoga si osserva anche per il girasole.

La concimazione S della colza può avere un effetto positivo sul tenore in olio del raccolto quando il rischio di carenza di S è moderato. Se, però, questo rischio è trascurabile, tanto che non si raccomanda alcuna concimazione S, l'eventuale apporto di S non ha alcun effetto sul tenore in olio della granello (Pellet *et al.* 2003a).

2.3.3.2 Influenza della concimazione sulfurea sulla concentrazione in glucosinolati

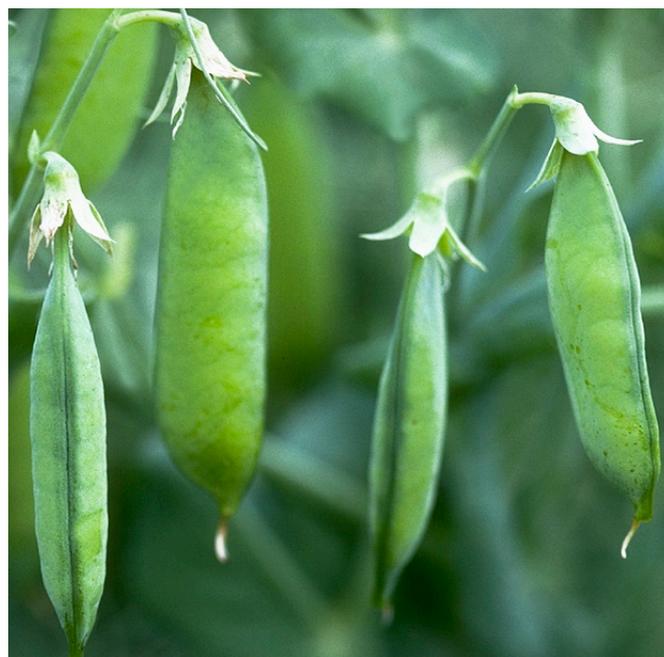
I glucosinolati sono composti solforati che penalizzano la qualità del pannello di colza, destinato a foraggiare gli animali monogastrici (suini e pollame). In Svizzera, il loro tenore massimo nei semi di colza è fissato a 20 $\mu\text{mol/g}$. Esistono grandi differenze varietali, ma la concentrazione dei glucosinolati è anche influenzata dalla disponibilità di S del suolo. In una serie di prove realizzate su suoli a rischio di carenza di S da debole a medio, si è constatato un forte aumento del tenore in glucosinolati con l'aumentare della concimazione S (tabella 3). Questo effetto è particolarmente evidente nelle situazioni che richiedono la concimazione S (Pellet *et al.* 2003a). Una concimazione S eccessiva deve, quindi, essere evitata.

2.3.4 Concimazione e malattie

Nel caso della colza, Söchting e Verreet (2004) hanno constatato che un'abbondante concimazione N favorisce la sclerotinia, ma non ha effetto sulla necrosi del colletto (*Phoma*). Viceversa, Aubertot *et al.* (2003) hanno mostrato che una forte disponibilità di N in autunno può favorire lo sviluppo della necrosi del colletto.

Il girasole può mobilizzare le riserve di N degli strati profondi del suolo e soddisfare gran parte del suo fabbisogno in questo elemento nutritivo grazie al suo apparato radicale fittonante. Una concimazione N eccessiva causa abbondante sviluppo vegetativo e conseguente maggior rischio di allettamento e di sviluppo di malattie. Debaeke e Estragnat (2003) hanno mostrato che l'intensificazione della concimazione N fa aumentare il numero di fusti colpiti da phomopsis quando la pressione dell'inoculo è debole. Al contrario, quando l'inoculo è ben presente e le condizioni di umidità sono favorevoli, una carenza di N può favorire la progressione della malattia, la cui gravità è accentuata dalla densità della coltura. Anche la necrosi del fusto (*Phoma*) sarebbe influenzata dalla disponibilità di N, contrariamente alla necrosi del colletto (Debaeke e Perez 2003). Infine, la sclerotinia è essenzialmente favorita da

particolari condizioni meteorologiche o irrigue e solo parzialmente dalla concimazione N (Mestries *et al.* 2011).



Baccelli di pisello proteico (fotografia: Agroscope).

2.4 Proteaginose

2.4.1 Caratteristiche generali

Le principali proteaginose coltivate in Svizzera sono: pisello, soia, favino e lupino. Il pisello è largamente dominante con circa 3'700 ettari, seguito da favino (465 ha) e lupino (80 ha). La soia, coltivata per l'olio e le proteine, occupa circa 1'400 ettari. Tutte queste colture fissano l'N atmosferico grazie a specifici batteri simbiotici (*Rhizobium*) presenti nei noduli che si formano sulle loro radici. Ogni proteaginosa presenta un apparato radicale diverso. Il pisello ha un fittone poco sviluppato e numerose radici secondarie e terziarie, su cui si sviluppano i noduli radicali. Pertanto, è sensibile ai difetti strutturali e al compattamento del suolo. Il lupino e il favino hanno fittoni robusti che influenzano positivamente la struttura del suolo. Il lupino ha la capacità di modificare il pH della sua rizosfera (fino a due unità), il che gli permette di mobilizzare alcune forme di elementi nutritivi (P, K, zinco [Zn], ecc.), altrimenti non disponibili. Anche la soia ha un robusto fittone che può penetrare profondamente nel suolo, ma che si limita, di regola, entro lo strato arato. Sul fittone della soia si inseriscono quattro palchi di radici secondarie, a loro volta fittamente ramificate, che costituiscono una massa radicale concentrata prevalentemente nei 15–20 centimetri più superficiali del suolo.

Per quanto concerne il pisello, si distinguono due tipi di varietà: quelle autunnali, seminate a partire da metà ottobre e raccolte a inizio luglio, e quelle primaverili, un po' più sensibili alle basse temperature, seminate in febbraio e raccolte durante il mese di luglio. La soia è una coltura primaverile da seminare in suoli già relativamente caldi (maggio) e da raccogliere in autunno.

2.4.2 Fabbisogno in elementi nutritivi

Pisello, lupino, favino e soia, come tutte le leguminose, non hanno bisogno della concimazione N. È necessario inoculare le sementi di lupino e soia, perché i loro batteri azotofissatori (*Rhizobium*) sono specifici. Qualora si coltiva con regolarità queste leguminose sulla stessa parcella, i batteri azotofissatori riescono a sopravvivere nel suolo dalla raccolta della coltura fino al suo ritorno. Occasionalmente, le proteaginose possono ricevere concimi aziendali che non si sarebbero potuti valorizzare diversamente. Il pisello e il favino sono mediamente esigenti in P e K. Il lupino e la soia sono poco esigenti in P e mediamente esigenti in K.

Le leguminose hanno un effetto benefico sulla fertilità del suolo. Il pisello è un ottimo precedente per le colture autunnali (colza, frumento), in quanto permette di ridurre la concimazione N. Questo effetto è particolarmente marcato per le colture seminate già alla fine dell'estate, come la colza, che possono assorbire grandi quantità di N in autunno (Charles e Vulliod 2001).



Spiga di mais matura (fotografia: Agroscope).

2.5 Mais

2.5.1 Caratteristiche generali

Anche se in molte regioni del mondo il mais è principalmente destinato all'alimentazione umana, la maggior parte di quello coltivato in Svizzera si utilizza per produrre foraggio. Complessivamente, in Svizzera, il mais si coltiva su circa 61'000 ettari. Esso è la terza coltura erbacea da pieno campo più diffusa dopo i cereali panificabili e quelli foraggeri. In funzione della destinazione prevista per il raccolto, ciò che conta sono la resa e la qualità della pianta intera (mais da silo, erbaio di mais o «mais verde») oppure la resa e la qualità della sola granella (mais da granella). A seconda della quota di mais nella razione foraggera, della

composizione di quest'ultima e dell'utilizzo che se ne vuole fare, la qualità del raccolto acquista importanza diversa.

L'apparato radicale del mais è costituito da radici seminali molto robuste e da numerose radici avventizie. Le radici avventizie ipogee hanno origine dai nodi basali del culmo e si sviluppano sottoterra, mentre quelle aeree sostengono il culmo e partono dai suoi primi 2–3 nodi aerei. Man mano che le radici avventizie crescono e si sviluppano, le radici seminali perdono progressivamente importanza. La loro formazione dipende spesso dalla varietà. Appena penetrano nel terreno, le radici avventizie iniziano subito a funzionare. L'apparato radicale si sviluppa più superficialmente, o in profondità, a dipendenza del tipo di suolo e della sua disponibilità in elementi nutritivi. Le radici si sviluppano lateralmente fino a 1 metro, mentre una parte della massa radicale può scendere fino a 2,5 metri di profondità. Lo sviluppo radicale dipende, però, anche dallo stato del suolo (compattamento, profondità) e dalla sua disponibilità idrica. Il mais cresce abbastanza lentamente fino allo stadio di 6 foglie. Durante questo periodo, il suo fabbisogno in elementi nutritivi è relativamente modesto (figura 4). In seguito, le esigenze in nutrienti aumentano, ma in sincronia con l'aumento della loro disponibilità nel suolo (in particolare grazie all'N reso disponibile attraverso la mineralizzazione). Siccome le radici si approfondiscono parallelamente allo sviluppo della pianta, l'aumento della disponibilità di elementi nutritivi (p.es. localizzando la concimazione sulla fila) favorisce lo sviluppo giovanile del mais, soprattutto quando gli elementi nutritivi sono poco mobili nel suolo (P) oppure quando si coltivano suoli che si riscaldano lentamente in primavera. In questo contesto, anche i microrganismi tellurici utili (micorrize) possono favorire lo sviluppo giovanile delle piante di mais attraverso la scelta oculata della rotazione colturale e di colture intercalari adatte. La formazione della granella avviene quando la crescita delle radici è terminata (Arnon 1975).

2.5.2 Fabbisogno in elementi nutritivi ed esigenze pedologiche

Il mais non è molto esigente in fatto di suolo, anche se in condizioni favorevoli la resa ne è influenzata positivamente. Il pH ideale varia da 5,3 a 7,0. Nella coltivazione del mais, le condizioni climatiche risultano spesso più limitanti di quelle pedologiche (Holzkämper *et al.* 2015). Suoli profondi, non troppo pesanti, ben aerati e che si riscaldano velocemente in primavera, si prestano bene alla coltivazione del mais. Anche se in primavera i suoli sabbiosi si riscaldano velocemente e permettono un rapido sviluppo del mais, i rischi legati allo stress idrico e alla carenza di elementi nutritivi aumentano, a causa della scarsa capacità di questi suoli di trattenere entrambi. Di principio, il mais si può coltivare anche su suoli torbosi, nonostante siano più soggetti alle gelate sia precoci sia tardive. Nelle regioni dove piove poco, il mais trae beneficio da suoli con buona ritenzione idrica (suoli argillosi). I suoli compatti e soggetti al ristagno idrico non sono idonei alla coltivazione di mais. Anche quelli soggetti alla formazione di crosta superficiale sono poco adatti, perché il mais si semina in file distanti 75–80 centimetri e, quindi, il suolo è esposto maggior-

mente all'erosione e alla formazione della sovraccitata crosta. Ciò vale soprattutto in caso di parcelle declive e di suoli con insufficiente struttura glomerulare. A questo proposito, i suoli poveri di humus e quelli lavorati troppo intensivamente sono ancora più a rischio.

Il mais valorizza efficacemente i concimi aziendali. Il suo ciclo di sviluppo e il fabbisogno in elementi nutritivi gli permettono di sfruttare ottimamente l'N che si mineralizza nel suolo. In condizioni favorevoli e con sufficiente disponibilità idrica, l'assorbimento giornaliero di N di una coltura di mais nella fase di crescita principale può raggiungere 5 kg N/ha (figura 4).

Il fabbisogno maggiore di P si ha durante la fase giovanile della coltura (tra la quarta e la decima settimana di crescita). Visto lo sviluppo limitato delle radici in questa prima fase, la localizzazione di piccole dosi di P disponibile vicino ai semi può favorire lo sviluppo giovanile della pianta. Nel periodo che va dalla fecondazione alla maturazione, l'assorbimento di P è molto elevato, tanto che l'apparato radicale del mais assorbe, in questo lasso di tempo, circa il 63 % del fabbisogno totale in P (Arnon 1975).

Le piante di mais ben provviste in K valorizzano meglio le risorse idriche. Ciò ne migliora la resistenza alla siccità e al freddo. Il K favorisce la sintesi di carboidrati e aumenta la stabilità delle piante di mais e la loro resistenza a malattie e parassiti. Il maggior fabbisogno in K si riscontra nella fase tra la formazione della sesta foglia e fine fioritura (figura 4). Durante questo periodo, il mais assume giornalmente fino a 10 kg K/ha.

Confrontato con quello degli altri elementi nutritivi, il fabbisogno in Mg del mais è piuttosto modesto. Nelle aziende che allevano bestiame, la maggior parte di questo fabbisogno è coperto dai liquami. In alternativa, il Mg necessario si può distribuire sotto forma di ammendanti calcareo-magnesiaci, Kieserite o altri concimi disponibili sul mercato.

Il mais preleva dal suolo circa 30 kg S/ha, che vengono solitamente forniti dalla distribuzione regolare di concimi aziendali o dalla mineralizzazione della SO. Su suoli leggeri, può essere necessario distribuire concimi minerali contenenti S, perché lo S, come il nitrato (NO_3^-), è facilmente dilavabile.

Il mais assorbe circa l'80 % del suo fabbisogno in K entro lo stadio di sviluppo BBCH 19 (Hack 1993), quindi piuttosto precocemente.

A titolo di paragone, la stessa percentuale di N si ritrova nella pianta appena prima della fioritura (BBCH 59), mentre per P e Mg si deve aspettare fino dopo la fine della fioritura (BBCH 80).

2.5.3 Concimazione e qualità del raccolto

La qualità dell'insilato di mais (pianta intera) dipende in parte dalla spiga (tenore in amido) e in parte dalla digeribilità di fusto e foglie. In questo contesto, la densità di semina gioca un ruolo importante, visto che lo sviluppo delle spighe è più contenuto in un campo di mais fitto rispetto a un campo con meno piante per unità di superficie. In generale, distribuendo crescenti dosi di N è possibile aumentare la percentuale di piante che portano una seconda spiga completamente sviluppata. Ciò non è, però, sempre auspicabile, perché lo sviluppo incompleto della seconda spiga può favorire anche la comparsa della fusariosi. Concimazioni esagerate di N e P, senza contemporanei apporti di K che

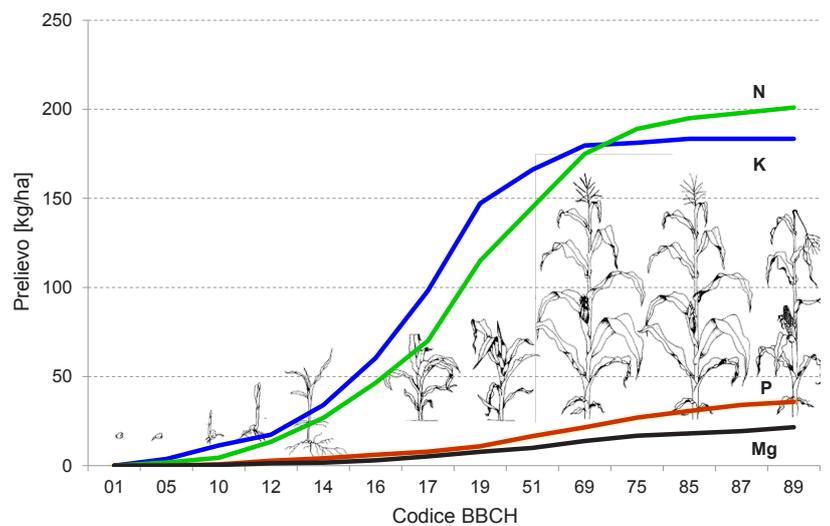


Figura 4. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico del mais [scala BBCH di Hack (1993)] (Buchner e Sturm 1985, UNIFA 2015 – modificato).

Tabella 4. Influenza positiva della carenza o dell'eccedenza in N, K, Mg e S sullo sviluppo di alcune malattie del mais (Datnoff et al. 2009).

Disponibilità di elementi nutritivi	Malattia/Sintomo	Patogeno
Eccedenza di N	Maculatura fogliare da cercospora	<i>Cercospora zae-maydis</i>
Carenza di N	Marciume del culmo	<i>Gibberella zae</i> (Schwein.) Petch *; <i>Diplodia maydis</i> (Berk.) Sacc.
Carenza di N	Produzione di aflatossine	Gruppo <i>Aspergillus-flavus</i>
Carenza di K	Maculatura fogliare da elmintosporiosi	<i>Exserohilum turcicum</i>
Carenza di K	Marciume del culmo	<i>Fusarium moniliforme</i> ; <i>Gibberella zae</i> (Schwein.); <i>Diplodia zae</i> ; <i>Diplodia maydis</i> (Berk.) Sacc.; <i>Fusarium verticilloides</i> (Sacc) Nirenberg; <i>Colletotrichum graminicola</i> (Ces.) G. W. Wils; <i>Pythium</i> sp.; <i>Fusarium culmorum</i>
Eccedenza di Mg	Maculatura fogliare da elmintosporiosi	<i>Bipolaris maydis</i>
Carenza di S	Marciume del culmo	<i>Pythium aphanidermatum</i> ; <i>Fusarium moniliforme</i> J. Sehd.

* Oppure anche in caso di concimazione ammoniacale e pH acido.

riequilibrino i rapporti tra i tre elementi, possono, inoltre, aumentare i problemi di conservabilità (Arnon 1975). Lo squilibrio nutrizionale può anche influenzare indirettamente la qualità e la resa in modo negativo, così come può favorire i danni causati da cinghiali alla semina della coltura successiva. Dosi crescenti di N possono fare aumentare il contenuto di proteine del mais da granella (Arnon 1975; Buchner e Sturm 1985). Circa il 60 % dell'N necessario allo sviluppo della granella proviene dalle foglie, più o meno il 10 % dalle brattee e il restante 20–25 % dal culmo o da altre parti della pianta. Se la pianta non riesce a approvvigionarsi sufficientemente in elementi nutritivi, la loro disponibilità sarà minore anche per il trasferimento verso la spiga. Ciò influenza negativamente sia la resa sia la qualità del raccolto. In ragione della forte crescita del mais durante la fioritura, la scarsa disponibilità idrica può influire sull'assorbimento di elementi nutritivi e, di conseguenza, compromettere la formazione di biomassa e la qualità (Arnon 1975).

2.5.4 Concimazione e malattie

La disponibilità di elementi nutritivi può influenzare la sensibilità del mais alle malattie. Le piante di mais scarsamente provviste in nutrienti sono meno tolleranti alle malattie. Nella maggior parte dei casi, la concimazione insufficiente favorisce le infezioni. Vi sono, tuttavia, eccezioni (tabella 4).



Parcella con barbabietola (fotografia: Agroscope).

2.6 Barbabietola da zucchero

2.6.1 Caratteristiche generali

In Svizzera, nel 2014, la barbabietola è stata coltivata su 21'000 ettari e ha prodotto 1,9 milioni di tonnellate di radici con un tenore in zucchero del 17,7 %, corrispondenti a 340'000 tonnellate di zucchero. La barbabietola è una specie biennale che si raccoglie alla fine del primo anno di crescita vegetativa. Durante questo periodo, la sua crescita è

fortemente influenzata dalle condizioni ambientali. In primavera, la partenza della coltura è lenta e espone il suolo ai rischi d'erosione e compattamento superficiale (pioggia battente). In estate, la crescita è fortemente condizionata dalla disponibilità d'acqua (quantità di pioggia, profondità del suolo). In autunno, la crescita prosegue e la resa può essere considerevole. L'epoca di raccolta delle radici è determinata principalmente dalle esigenze dell'industria di trasformazione (zuccherificio), dalle condizioni del suolo, dallo stato sanitario della coltura e dal sopraggiungere dell'inverno. La selezione varietale della barbabietola si è rivelata particolarmente efficace. Negli ultimi decenni si è, infatti, registrata una crescita annua costante della resa dell'1 % circa. Una proiezione basata sui raccolti 1995–2014 indica una resa media di 90 t/ha nel 2020, con un rapporto di 1,9 tra la biomassa fresca delle radici e quella delle foglie. L'apparato radicale della barbabietola è particolarmente ben sviluppato sia a livello di densità delle radici sia a livello di profondità di esplorazione. La coltura predilige i suoli di medio impasto, ma si adatta anche a quelli pesanti e ai suoli scuri, ricchi in SO. Tollera i periodi di siccità grazie alle radici profonde. Il pH ottimale del suolo varia tra 6,5 e 7,5.

2.6.2 Fabbisogno in elementi nutritivi e qualità del raccolto

La concimazione N della barbabietola cerca di conciliare resa elevata in radici, alto tenore zuccherino e alto tasso di estraibilità dello zucchero, per massimizzare la produzione di zucchero e la redditività della coltura.

La concimazione N della barbabietola serve ad integrare la disponibilità naturale di N del suolo in modo da soddisfare l'elevato fabbisogno della biomassa aerea e sotterranea della coltura, che è di 265 kg N/ha per una produzione di 90 t/ha di radici. La norma di concimazione è di 100 kg N/ha anche se il fabbisogno reale può variare tra 0 e 200 kg N/ha. Per ottimizzare la concimazione N bisogna conoscere bene la capacità di mineralizzazione della SO del suolo. Nelle aziende prive di bestiame e nelle parcelle povere di SO può essere necessario aumentare la concimazione N. Viceversa, una sua diminuzione ha senso su parcelle regolarmente ammendate con concimi aziendali, se il suolo è profondo, pesante e ricco in SO e se la primavera si presenta mite e precoce. In qualsiasi caso, gli apporti di N vanno concentrati all'inizio della crescita vegetativa, non oltre lo stadio di 6–8 foglie, quando la mineralizzazione della SO è ancora limitata. Una concimazione N eccessiva e tardiva riduce la qualità delle barbabietole, perché ne limita l'accumulo di zucchero e ne aumenta il tenore in N, che

Tabella 5. Influenza delle concimazioni N, P e K sulla qualità della barbabietola da zucchero.

Parametri qualitativi/concimazione	N	P	K
Tenore in zucchero	–	o	+
Estraibilità	–	o	– (se in eccesso)

o ininfluente; + influenza positiva; – influenza negativa.

influenza negativamente l'estraibilità dello zucchero (tabella 5). Sul sito del Centro Bieticolo Svizzero (<http://www.liz-online.de/CH/npro/frz/Npro-CH-frz.htm>) è disponibile un programma per calcolare il fabbisogno totale di N minerale (N_{min}), che considera i numerosi fattori di correzione della concimazione N.

La capacità della barbabietola di esplorare il suolo le facilita l'assorbimento di K. Essa riesce a prelevare questo elemento anche dagli strati profondi del suolo. Tenuto conto di questa sua capacità, la concimazione K si può limitare all'80 % del fabbisogno della coltura. Il K, così come il sodio (Na), esercitano un'influenza positiva sul tenore in zucchero. Tuttavia, la disponibilità eccessiva di entrambi agisce negativamente sulla qualità tecnologica della barbabietola, causando perdite durante la raffinazione.

Il fabbisogno in microelementi della barbabietola interessa soprattutto il boro (B), la cui carenza causa la fisiopatia nota come «cuore nero», e il manganese (Mn). Gli eventuali apporti di questi due elementi vanno distribuiti al più tardi alla chiusura della fila e sotto forma di concimi fogliari.

Visto che il metodo di pagamento delle barbabietole tiene conto della loro qualità, è opportuno prestare particolare attenzione alla gestione della concimazione. I bollettini di consegna del raccolto sono un buon metro per valutare la correttezza della concimazione.

Bietole con un tenore in zucchero grezzo del 18 % possono perderne il 2 % circa durante la raffinazione, corrispondente a un tasso d'estraibilità del 90 %. Queste perdite sono provocate da agenti melassigeni sfavorevoli all'estrazione, quali: N alfa-amminico (accettabile nell'intervallo 0,6–1,2 mmol/100 g), sali di K (3–4 mmol/100 g), Na (0,1–0,3 mmol/100 g) e altre componenti solubili che non contengono zuccheri (composti organici azotati, composti organici non azotati, sali minerali). I valori al di fuori degli intervalli summenzionati forniscono preziose indicazioni per correggere la concimazione della campagna successiva.



Copertura vegetale composta da diverse specie (fotografia: Agroscope).



Lavorazione del suolo. A sinistra: semina diretta, a destra: semina dopo aratura (fotografia: Agroscope).

2.7 Sistemi colturali e intercalari

La riduzione dell'intensità di lavorazione del suolo e il ricorso più sistematico a sovesci intercalari modificano il ciclo degli elementi nutritivi nel suolo agricolo. Per una gestione della concimazione che tenga conto del sistema colturale utilizzato, vanno considerati tre processi principali: (i) la riduzione dell'intensità di lavorazione del suolo modifica la dinamica (tempi) e la portata (quantità) della mineralizzazione della SO, (ii) il sovescio (coltura intercalare) assorbe elementi nutritivi di origine e forma chimica diverse che vengono poi restituiti al suolo in forme disponibili per la coltura successiva e (iii) le leguminose presenti nelle colture intercalari apportano N al suolo grazie alla fissazione biologica (simbiotica) dell'N atmosferico. Questi processi possono rendere necessari adattamenti della concimazione delle colture principali sia per garantirne la nutrizione adeguata sia per migliorare l'efficienza della concimazione.

2.7.1 Influenza della riduzione dell'intensità di lavorazione del suolo

Qualsiasi lavorazione del suolo ne modifica la struttura, l'aerazione e la temperatura, con conseguente aumento dell'attività microbica e della mineralizzazione della SO. Il tipo di suolo e le condizioni climatiche determinano la dinamica di questi processi e le loro conseguenze sulle esigenze di concimazione.

La lavorazione minima del suolo o la semina diretta non favoriscono la mineralizzazione, perché mobilitano il suolo limitatamente. Ne consegue che, con queste tecniche di lavorazione, al momento dell'installazione della coltura, la liberazione di N nella soluzione circolante è limitata rispetto a quanto succede lavorando il suolo intensivamente. Nel caso di colture primaverili, non lavorare il suolo comporta un ritardo della mineralizzazione della SO tanto più pronunciato quanto più a lungo il suolo rimane freddo

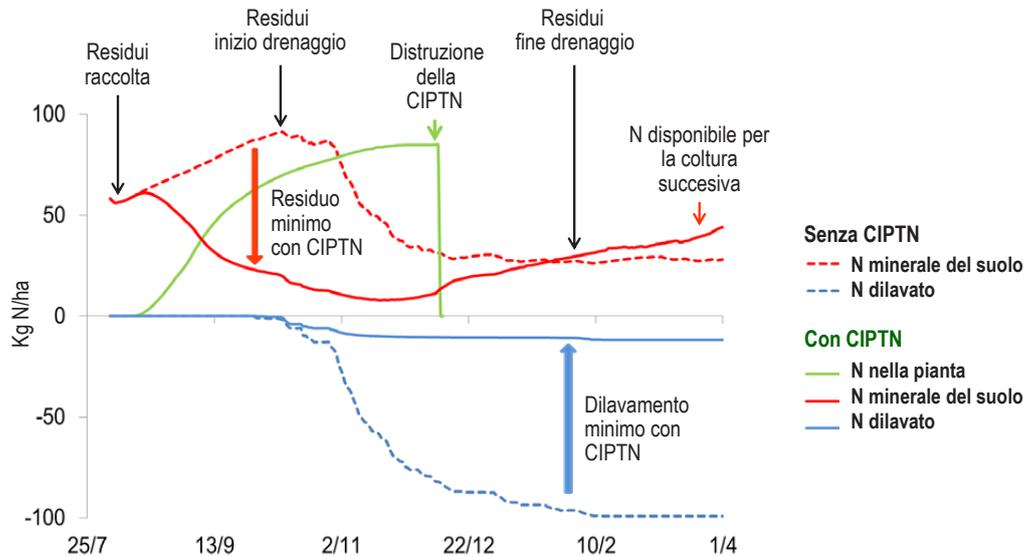


Figura 5. Gestione di N tra due colture principali, da fine luglio a fine marzo. CIPITN: coltura intercalare trappola per nitrati (Justes et al. 2013).

durante l'emergenza delle colture. In questi casi, può essere necessaria una concimazione N supplementare alla semina, in particolare per accelerare l'installazione e l'emergenza delle colture. In estate e in autunno, invece, la mineralizzazione della SO dipende principalmente dai precedenti colturali, dal tenore in SO del suolo e dalla sua umidità. Nelle nostre condizioni, l'N mineralizzato durante l'estate è generalmente sufficiente, se non addirittura eccessivo. L'incorporazione di paglia, la lavorazione minima del suolo e la siccità prolungata possono indurre situazioni di carenza di N nelle colture autunnali precoci (colture intercalari, colza, prati temporanei, orzo, ecc.). I rischi aumentano nei suoli poveri di SO, nelle aziende prive di bestiame e in quelle che hanno ridotto l'intensità di lavorazione del suolo solo di recente. Si può sopperire a questa mancanza di N con diversi interventi colturali: lavorare il suolo (rottura delle stoppie), ritardare la semina, coltivare leguminose (consociazione, sovescio intercalare) o apportare N (soluzione raccomandata in caso si interri la paglia del precedente colturale).

2.7.2 Influenza dei sovesci intercalari sul ciclo degli elementi nutritivi

Queste colture aumentano la disponibilità di elementi nutritivi per le colture principali successive in diversi modi. Una produzione di biomassa considerevole e tenori in elementi nutritivi elevati permettono di immagazzinare grandi quantità di elementi nutritivi nei sovesci intercalari (Wendling et al. 2016). Inoltre, si evitano perdite di nutrienti, sia perché esse riducono il drenaggio sia perché proteggono il suolo dall'erosione. Gli elementi nutritivi immagazzinati in queste colture vengono poi restituiti al momento della loro distruzione. La gestione di N attraverso i sovesci intercalari si svolge in tre tappe: gestione dei residui di N del precedente colturale, assorbimento di N mineralizzato nell'intervallo tra due colture principali e liberazione di questo N a beneficio della coltura successiva (figura 5).

Anche l'estrazione di elementi nutritivi difficilmente accessibili per alcune colture e la loro disponibilità per le colture successive svolgono un ruolo in questo contesto. Nelle edizioni precedenti dei PRIC (già DBC), il tenore in elementi nutritivi dei sovesci intercalari e i loro prelievi erano indicati con valori generici. La tabella 6 riporta questi valori in modo più dettagliato. Ne consegue che la gestione degli elementi nutritivi si orienta sempre più verso la considerazione del valore nutritivo rappresentato da queste colture intercalari al momento della loro distruzione.

La liberazione dell'N contenuto nei sovesci intercalari a beneficio della coltura principale successiva dipende dal rapporto esistente tra carbonio (C) e N della biomassa del sovescio al momento della sua incorporazione nel suolo. Infatti, il rapporto C/N determina la velocità di mineralizzazione della SO. Un tenore elevato in N favorisce la decomposizione

Tabella 6. Prelievi di elementi nutritivi di alcuni sovesci intercalari.

Sovesci	Resa	Prelievi (kg/ha)			
	q/ha SS	N	P	K	Mg
Avena strigosa	35	85	14	142	6
Crucifere	35	73	12	134	6
Facelia	35	90	19	181	6
Pisello proteico	35	156	19	107	11

Tabella 7. Stima dell'N restituito o immobilizzato da alcuni sovesci intercalari in funzione del loro rapporto C/N e della loro crescita (Justes et al. 2009).

Parametro	Leguminose	Senape	Graminacee
Rapporto C/N	10–15	15–20	20–30
N mineralizzato in % dell'N della coltura intercalare	40–50	15–30	da -15 a 15
kg N/ha liberati o immobilizzati			
- Crescita media	20–25	7–15	da -7 a 7
- Crescita elevata	40–50	15–30	da -15 a 15

Tabella 8. Riassunto di: effetti, vantaggi e limiti di differenti tipi di sovesci intercalari (Justes *et al.* 2013).

Parametro	Non leguminose graminacee	Non leguminose crucifere	Leguminose	Miscele di leguminose e non leguminose
Esigenze	Semina abbastanza precoce Non o poco sensibili al gelo	Semina precoce Sensibili al gelo a seconda di specie e temperatura	Semina molto precoce Sensibili al gelo	Adattare la miscela alle condizioni pedoclimatiche
Diminuzione del dilavamento	da 30 a 80 %	da 30 a 90 %	da 0 a 40 %	da 20 a 60 %
Effetto dell'N a breve termine (N liberato in % dell'N assorbito)	da -20 a +10 %	da -10 a +30 %	da +10 a +50 %	da +10 a +40 %
Vantaggi	Efficacia con livelli elevati di apporti N	Ampia efficacia	Efficacia con livelli moderati di apporti N	Efficacia intermedia, adattabilità secondo le condizioni pedoclimatiche
Condizioni sconsigliate o da evitare	Suolo argilloso se distruzione tardiva	Suolo argilloso se non sensibili al gelo o se distruzione tardiva	Concimazione N intensiva e distribuzione di liquami	Concimazione N intensiva

dell'intercalare e aumenta la quota di N disponibile (N_{disp}) per la coltura successiva. Viceversa, per decomporre un intercalare svernante, lignificato e con tenore elevato in C, i microrganismi tellurici hanno bisogno di assorbire parte dell'N del suolo, immobilizzandolo. Questa fase intermedia obbligata rallenta la mineralizzazione e riduce la disponibilità di N. Ciò concorre alla nutrizione minerale delle piante e può causare carenze di N simili a quelle originate dall'incorporazione di paglia nel suolo (Maltas *et al.* 2012a e b; Maltas *et al.* 2013). La tabella 7 riporta l'N restituito da alcuni sovesci intercalari aventi rapporto C/N e livelli di crescita differenti.

Per valorizzare al meglio il suo potenziale d'umificazione, un sovescio intercalare dovrebbe essere distrutto e incorporato nel suolo quando è ancora in vegetazione (generalmente prima dell'inverno). Se si incorpora un sovescio lignificato si raccomanda di farlo con largo anticipo rispetto alla data di semina della coltura successiva o, addirittura, di aumentare la concimazione N durante il periodo d'installazione della coltura da seminare. Ciò concerne soprattutto le colture primaverili che seguono un sovescio svernante (protezione invernale del suolo). La tabella 8 riassume effetti, vantaggi e limiti dei sovesci intercalari relativamente all'N (Justes *et al.* 2013).

Gli effetti dei sovesci intercalari sul ciclo degli altri elementi nutritivi (P, K, Mg) si considerano generalmente neutri. Ciò spinge a trascurare la capacità di alcune specie di prelevare elementi nutritivi difficilmente accessibili e di renderli poi biodisponibili al momento della loro decomposizione. La considerazione della quantità di elementi nutritivi dei sovesci (Büchi *et al.* 2016) è finalizzata a valorizzarli ancora di più, in particolare nel caso di specie che hanno una spiccata capacità di prelievo. In un suolo sufficientemente o ben approvvigionato in elementi nutritivi, si raccomanda, attualmente, di considerare come effettivamente disponibile l'insieme degli elementi nutritivi contenuti nella loro biomassa e di dedurli dalle esigenze di concimazione della coltura successiva. Nei suoli meno approvvigionati, invece, per precauzione, conviene considerare neutro l'effetto del sovescio sul ciclo di P, K e Mg.

2.7.3 Influenza delle leguminose nei sistemi colturali

Le leguminose sono sempre più utilizzate come sovescio intercalare sia come precedente della colza sia prima dei cereali. In condizioni favorevoli di crescita, le leguminose si riforniscono di N prelevandolo dal terreno (0–50 kg N/ha) oppure grazie alla fissazione biologica (simbiotica) dell'N (più di 100 kg N/ha) (Büchi *et al.* 2015). Questa quantità di N è interessante come alternativa diretta ai concimi N o per compensare situazioni di scarsa mineralizzazione. Rappresenta, però, anche un rischio per l'ambiente (perdite sotto forma di NO_3^-). L'interesse delle leguminose nei diversi sistemi colturali è giustificato da numerosi motivi. Un sovescio costituito da sole leguminose può mettere a disposizione della coltura successiva 40–80 kg N/ha (Büchi *et al.* 2015). In suoli poveri di SO, o lavorati in modo poco intensivo, seminare un sovescio a base di leguminose, dopo avere incorporato della paglia, permette di ottenere una copertura del suolo efficace e di risparmiare una quantità di N equivalente a quella necessaria a decomporre la paglia interrata (Maltas *et al.* 2012a). Un sovescio di leguminose che precede la colza restituisce fino a 30 kg N/ha deducibili dalla concimazione prevista per la crucifera (Terres Inovia). L'efficienza dell'associazione cereali-proteaginose è superiore a quella di una coltura pura (Bedoussac *et al.* 2015). L'utilizzo più frequente di leguminose nei sistemi colturali merita, dunque, una particolare attenzione sia per la quantità di N fornito sia per la loro efficienza.

3. Norme di concimazione

Le norme di concimazione rappresentano il fabbisogno in elementi nutritivi (N, P, K e Mg) delle colture erbacee da pieno campo, che permette di ottenere una resa media di riferimento. Queste norme si correggono in funzione di diversi fattori relativi a piante, suolo e clima.

Le tabelle 9 e 10 riportano i prelievi delle colture in N, P, K, e Mg, nonché le norme di concimazione corrispondenti. Il livello di resa considerato corrisponde alla resa media ottenuta in Svizzera, stimata in base ai risultati delle statistiche agricole dell'Unione svizzera dei contadini (USC 2014). I tenori in elementi nutritivi si ricavano dai risultati di nume-

Tabella 9. Rese di riferimento, prelievi e norme di concimazione N, P, K e Mg per le diverse colture erbacee da pieno campo.

(Le norme di concimazione P, K e Mg tengono conto della capacità d'assorbimento delle colture [tabella 21]).

Spiegazioni: i calcoli si basano sui prelievi di P, K e Mg dei prodotti raccolti (prodotti principali) e dei residui colturali (sottoprodotti).

Il prelievo totale equivale alla somma dei prelievi dei prodotti raccolti e dei residui colturali.

Coltura	Resa di riferimento ¹ q/ha	Prodotto	Prelievi basati sulla resa di riferimento				Norma di concimazione			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Frumento panificabile e biscottiero autunnale	60	granella	121	21 (49)	22 (26)	7				
	70	paglia	22	6 (13)	62 (75)	5				
	Totale		143	27 (63)	84 (101)	12	140	27 (63)	67 (81)	15
Frumento foraggero autunnale	75	granella	130	27 (62)	27 (32)	9				
	75	paglia	21	6 (14)	66 (80)	5				
	Totale		151	33 (76)	93 (113)	14	140	33 (76)	74 (90)	15
Frumento primaverile	50	granella	101	18 (41)	18 (22)	6				
	60	paglia	19	5 (11)	53 (64)	4				
	Totale		120	23 (52)	71 (86)	10	120	23 (52)	71 (86)	10
Orzo autunnale	60	granella	89	22 (50)	27 (32)	7				
	60	paglia	26	6 (13)	80 (96)	4				
	Totale		115	28 (64)	107 (128)	11	110	28 (64)	86 (103)	15
Orzo primaverile	55	granella	81	20 (46)	25 (30)	6				
	55	paglia	24	5 (12)	73 (88)	3				
	Totale		105	25 (58)	98 (118)	9	90	25 (58)	98 (118)	10
Avena autunnale	55	granella	88	19 (44)	23 (28)	6				
	70	paglia	35	8 (19)	122 (147)	6				
	Totale		123	27 (63)	145 (175)	12	90	27 (63)	116 (140)	15
Avena primaverile	55	granella	91	19 (44)	23 (28)	6				
	70	paglia	29	8 (19)	122 (147)	6				
	Totale		120	27 (63)	145 (175)	12	90	27 (63)	145 (175)	15
Segale autunnale	55	granella	72	19 (44)	23 (28)	6				
	70	paglia	21	6 (14)	70 (84)	7				
	Totale		93	25 (58)	93 (112)	13	90	25 (58)	74 (89)	15

¹ Con un tenore in acqua medio alla raccolta.

Tabella 9 (continuazione)

Coltura	Resa di riferimento ¹ q/ha	Prodotto	Prelievi basati sulla resa di riferimento				Norma di concimazione			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Segale ibrida autunnale	65	granella	85	23 (52)	27 (33)	7				
	75	paglia	23	7 (15)	75 (90)	8				
	Totale		108	30 (67)	102 (123)	15	90	30 (67)	82 (98)	15
Spelta	45	granella	72	16 (36)	19 (23)	5				
	70	paglia	35	8 (18)	70 (84)	7				
	Totale		107	24 (54)	89 (107)	12	100	24 (54)	71 (85)	15
Triticale autunnale	60	granella	96	19 (43)	24 (29)	5				
	75	paglia	25	5 (11)	112 (135)	5				
	Totale		121	24 (54)	136 (164)	10	110	24 (54)	109 (132)	10
Triticale primaverile	55	granella	88	17 (40)	22 (27)	5				
	70	paglia	23	4 (10)	105 (126)	4				
	Totale		111	21 (49)	127 (153)	9	100	21 (49)	127 (153)	10
Farro, farro piccolo	25	granella	55	9 (20)	11 (13)	4				
	45	paglia	18	6 (14)	34 (41)	3				
	Totale		73	15 (34)	45 (53)	7	30	15 (34)	36 (42)	10
Miglio	35	granella	58	10 (23)	8 (10)	4				
	45	paglia	75	11 (25)	85 (102)	11				
	Totale		133	21 (48)	93 (112)	15	70	22 (51)	95 (114)	12
Mais da granella	100	granella	130	26 (59)	33 (40)	9				
	110	paglia	80	12 (26)	160 (191)	14				
	Totale		210	38 (85)	193 (231)	23	110	46 (103)	195 (235)	25
Mais da silo	185 ²	pianta intera	218	38 (89)	200 (241)	24				
	Totale		218	38 (89)	200 (241)	24	110	46 (103)	195 (235)	25
Erbaio di mais o «mais verde»	60 ²	pianta intera	114	17 (39)	134 (162)	6				
	Totale		114	17 (39)	134 (162)	6	70	17 (39)	134 (162)	10

¹ Con un tenore in acqua medio alla raccolta.

² Resa in sostanza secca (SS).

Tabella 9 (continuazione)

Coltura	Resa di riferimento ¹ q/ha	Prodotto	Prelievi basati sulla resa di riferimento				Norma di concimazione			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Patata per il consumo fresco e l'industria di trasformazione Gruppo 1 ^a Gruppo 2 ^b Gruppo 3 ^c	450	tuberi	135	26 (59)	202 (243)	9				
	200	foglie	28	4 (10)	108 (130)	8				
	Totale		163	30 (69)	310 (373)	17	80 ^a 120 ^b 160 ^c	36 (82)	372 (448)	20
Patata precoce Gruppo 1 ^a Gruppo 2 ^b Gruppo 3 ^c	300	tuberi	69	20 (45)	125 (150)	6				
	200	foglie	66	6 (14)	116 (140)	12				
	Totale		135	26 (59)	241 (290)	18	70 ^a 110 ^b 150 ^c	31 (71)	289 (348)	20
Patata da seme Gruppo 1 ^a Gruppo 2 ^b Gruppo 3 ^c	250	tuberi	58	17 (38)	104 (125)	5				
	200	foglie	66	6 (14)	116 (140)	12				
	Totale		124	23 (52)	220 (265)	17	60 ^a 100 ^b 140 ^c	28 (62)	264 (318)	20
Barbabietola da zucchero	900	radici	108	24 (54)	149 (180)	27				
	475	foglie e colletti	157	17 (38)	248 (299)	43				
	Totale		265	41 (92)	397 (479)	70	100	40 (92)	318 (383)	70
Barbabietola da foraggio	175 ²	radici	193	38 (88)	261 (315)	23				
	400	foglie e colletti	140	14 (32)	232 (280)	36				
	Totale		333	52 (120)	493 (595)	59	100	52 (120)	394 (476)	60
Colza autunnale	35	principale (granella)	102	22 (51)	25 (30)	8				
	90	secondario (paglia)	54	6 (14)	142 (171)	4				
	Totale		156	28 (64)	167 (201)	12	150	28 (69)	167 (202)	15
Colza primaverile	25	principale (granella)	65	16 (37)	17 (21)	7				
	45	secondario (paglia)	32	4 (9)	46 (56)	7				
	Totale		97	20 (46)	63 (77)	14	120	20 (46)	63 (77)	15

¹ Con un tenore in acqua medio alla raccolta.

² Resa in sostanza secca (SS).

^{a,b,c} Nel caso della patata, si propongono correzioni a seconda della varietà considerata, per assicurare resa e qualità del raccolto. Le varietà di patata della lista raccomandata (Schwaerzel *et al.* 2016) si classificano in 3 gruppi in funzione del loro fabbisogno in N (tabella 10). Si osservano variazioni importanti della risposta varietale alla concimazione N tra un luogo e l'altro, principalmente con il variare del tenore in SO del suolo alla piantagione (Dupuis *et al.* 2009). Di conseguenza, si raccomanda di correggere sempre la concimazione N di una varietà di patata non solo secondo il suo fabbisogno effettivo, ma anche considerando la quota di N_{disp} nel suolo alla piantagione (Hebeisen *et al.* 2012; Dupuis *et al.* 2009; Sinaj *et al.* 2009; Reust *et al.* 2006).

Tabella 9 (continuazione)

Coltura	Resa di riferimento ¹ q/ha	Prodotto	Prelievi basati sulla resa di riferimento				Norma di concimazione			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Girasole	30	granella	95	14 (33)	21 (25)	9				
	60	paglia	54	7 (16)	306 (369)	45				
	Totale		149	21 (49)	327 (394)	54	60	21 (49)	327 (394)	55
Canapa da olio	13	granella	60	14 (33)	12 (14)	7				
	60	paglia	54	10 (23)	70 (84)	9				
	Totale		114	24 (56)	82 (98)	16	60	24 (56)	82 (98)	20
Canapa da fibra ³	100	principale (steli)	30	13 (30)	75 (90)	5				
	40	secondario (foglie e granella)	110	26 (60)	91 (110)	20				
	Totale		140	39 (90)	166 (200)	25	100	39 (90)	166 (200)	25
Lino da olio	20	granella	109	10 (24)	16 (19)	1				
	25	paglia	15	6 (13)	37 (45)	2				
	Totale		124	16 (37)	53 (64)	3	80	16 (37)	53 (64)	5
Lino da fibra	45	fibra	45	14 (32)	75 (90)	9				
	15	granella	82	8 (18)	12 (14)	1				
	Totale		127	22 (50)	87 (104)	10	60	22 (50)	87 (104)	10
Miscanto	200 ²	pianta intera	42	9 (20)	93 (112)	6				
	Totale		42	9 (20)	93 (112)	6	30	9 (20)	93 (112)	10
Kenaf	50 ²	pianta intera	100	26 (60)	66 (80)	10				
	Totale		100	26 (60)	66 (80)	10	70	26 (60)	66 (80)	10
Pisello proteico	40	granella	140	17 (39)	40 (48)	5				
	50	paglia	100	17 (39)	66 (80)	11				
	Totale		240	34 (78)	106 (128)	16	0	34 (78)	127 (154)	20
Favino	40	granella	160	24 (56)	46 (56)	10				
	45	paglia	135	7 (16)	75 (90)	15				
	Totale		295	31 (72)	121 (146)	25	0	31 (72)	145 (175)	25

¹ Con un tenore in acqua medio alla raccolta.

² Resa in sostanza secca (SS).

³ A seconda dell'epoca e della tecnica utilizzata, si raccoglie la pianta intera o il solo fusto.

Tabella 9 (continuazione)

Coltura	Resa di riferimento ¹ q/ha	Prodotto	Prelievi basati sulla resa di riferimento				Norma di concimazione			
			N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg	N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Mg
			kg/ha				kg/ha			
Soia	30	granella	180	15 (35)	48 (58)	6				
	30	paglia	105	15 (35)	53 (64)	9				
	Totale		285	30 (70)	101 (122)	15	0	30 (71)	121 (147)	15
Lupino dolce	30	granella	165	13 (30)	34 (41)	6				
	30	paglia	105	5 (12)	50 (60)	12				
	Totale		270	18 (42)	84 (101)	18	0	18 (42)	101 (121)	20
Sovescio (con leguminose)	35 ²	pianta intera	153	16 (37)	102 (123)	9				
	Totale		153	16 (37)	102 (123)	9	0	0 (0)	0 (0)	0
Sovescio (senza leguminose)	35 ²	pianta intera	85	14 (32)	143 (173)	8				
	Totale		85	14 (32)	143 (173)	8	0	0 (0)	0 (0)	0
Colture intercalari (per utilizzazione)	25 ²	pianta intera	70	10 (24)	75 (90)	6				
	Totale		70	10 (24)	75 (90)	6	30	10 (24)	55 (67)	10
Tabacco Burley	25 ²	foglie	75	8 (18)	104 (125)	7				
	30 ²	steli	69	10 (22)	112 (135)	6				
	Totale		144	18 (40)	216 (260)	13	170	18 (40)	216 (260)	15
Tabacco Virginia	25 ²	foglie	63	6 (14)	99 (119)	5				
	25 ²	steli	25	9 (21)	104 (125)	10				
	Totale		88	15 (35)	203 (244)	15	30	15 (35)	203 (244)	15
Riso	60	granella	66	18 (41)	27 (32)	5				
	60	paglia	39	8 (18)	102 (123)	11				
	Totale		105	26 (60)	129 (155)	16	110	26 (60)	120 (145)	10

¹ Con un tenore in acqua medio alla raccolta.

² Resa in sostanza secca (SS).

Tabella 10. Correzione della concimazione N in funzione della varietà di patata.

Gruppo	Varietà	Correzione della norma
Gruppo 1 (varietà poco esigenti)	Agria, Fontane, Jelly e Nicola	Norma – 40 kg N/ha
Gruppo 2 (varietà mediamente esigenti)	Agata*, Annabelle*, Amandine*, Bintje, Celtiane*, Challenger, Désirée*, Ditta*, Erika*, Gourmandine, Gwenne*, Hermes*, Lady Christl, Laura, Markies, Panda, Pirol*, Venezia* e Verdi	Norma
Gruppo 3 (varietà molto esigenti)	Charlotte, Innovator, Lady Claire, Lady Rosetta e Victoria	Norma + 40 kg N/ha

Le varietà con l'asterisco sono state inserite nel gruppo 2 per difetto, ma le prove per determinare il loro fabbisogno in N proseguono.

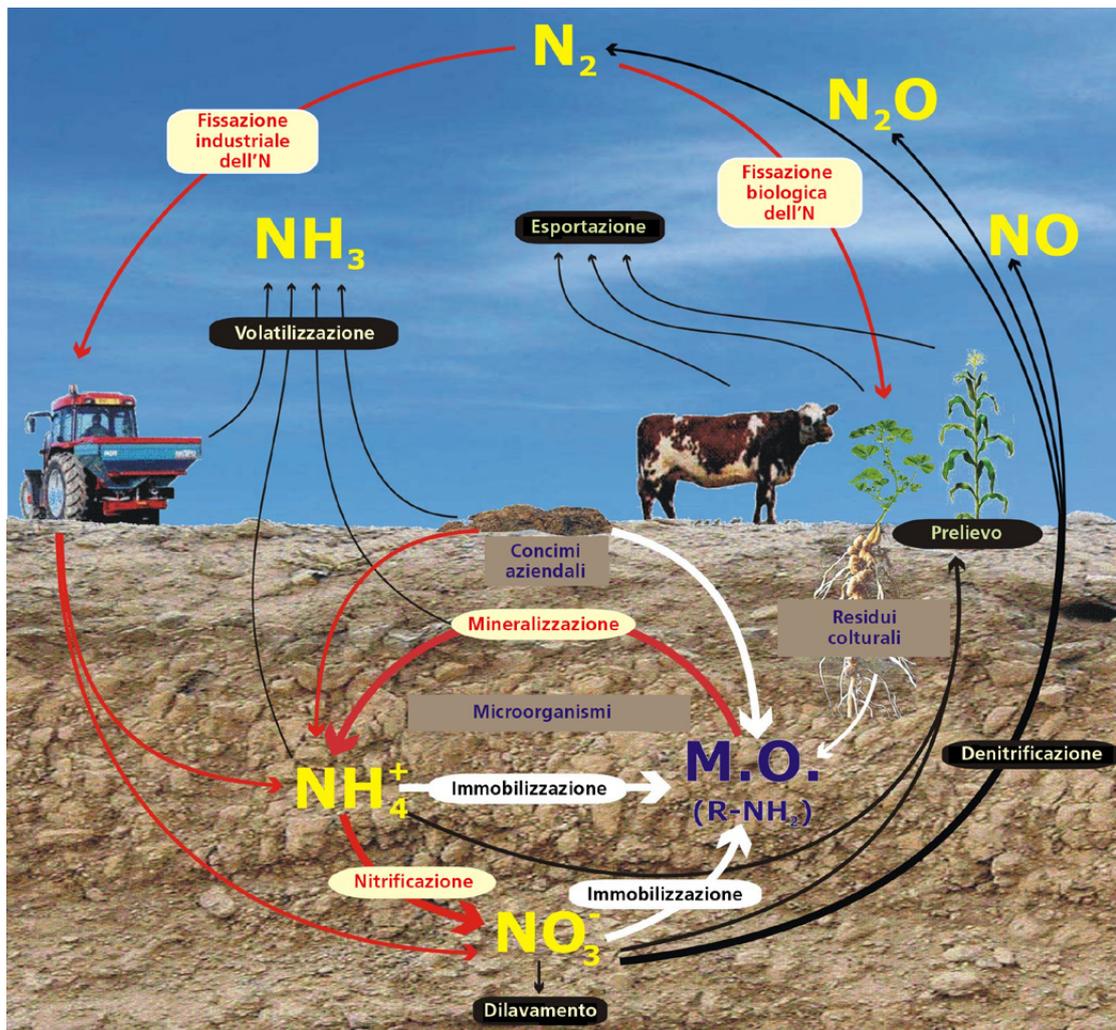


Figura 6. Ciclo dell'azoto a livello parcellare.

rose prove svolte da Agroscope. Le norme per P, K, e Mg derivano direttamente dai prelievi calcolati a partire da questi dati, mentre le norme per l'N, sempre basate sui risultati di prove condotte da Agroscope, rappresentano solo una parte dei prelievi effettivi.

3.1 Concimazione azotata

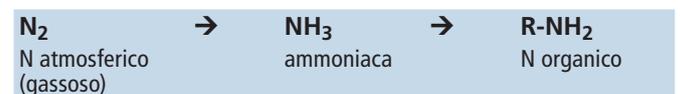
La concimazione N si definisce razionale quando prevede di adattare gli apporti di concimi minerali e organici al fabbisogno in N delle colture per raggiungere un obiettivo di produzione prefissato; il tutto tenendo in debito conto gli apporti di N provenienti dal suolo, (COMIFER 2013). Questi adattamenti della norma, attenti alle esigenze e a tutti gli apporti in gioco, contribuiscono alla gestione tecnico-economica della produzione agricola e a limitare le perdite di N nell'ambiente. $L'N_{disp}$ nel suolo si ottiene sommando all' N_{min} , presente in un dato momento, il saldo tra l'N che si libera e quello che si perde da quel momento alla fine del periodo di crescita della coltura. Questo valore va, tuttavia, ancora relativizzato in funzione dell'evoluzione della disponibilità di N nel tempo e nello spazio e in funzione della coltura stessa. Infatti, una coltura dotata di apparato radicale profondo può accedere a una quantità di N maggiore rispetto a una coltura con radici più superficiali. Inoltre, una pianta ancora giovane non riesce a prelevare

l'N presente in profondità, al di sotto delle sue radici (modulo 2).

3.1.1 Ciclo dell'azoto

L'N è un elemento essenziale per la crescita delle colture. In una parcella, i possibili apporti esterni di N sono dovuti a: distribuzione di concimi minerali di sintesi, valorizzazione di residui colturali e concimi aziendali oppure fissazione biologica dell'N atmosferico (N_2) attraverso le leguminose (simbiosi). Nel ciclo dell'N (figura 6), i processi di fissazione, mineralizzazione e nitrificazione aumentano la disponibilità di N nel suolo, mentre la denitrificazione, la volatilizzazione, l'immobilizzazione, il dilavamento e i prelievi delle piante ne causano la diminuzione in prossimità dell'apparato radicale delle colture.

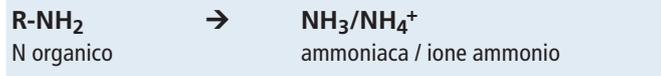
La fissazione dell'azoto è il processo di conversione dell' N_2 in una forma disponibile per le piante.



Può essere industriale (produzione di concimi minerali di sintesi) o biologica (batteri presenti nei noduli radicali delle leguminose). La fissazione biologica dell'N sottrae

alla pianta energia, enzimi e sali minerali. Pertanto, appena possibile, essa utilizzerà l'N minerale disponibile nel suolo anziché fissare quello gassoso dell'atmosfera.

La **mineralizzazione** è il processo attraverso il quale i microrganismi trasformano N organico (concimi aziendali, residui colturali, SO del suolo) in NH_3 .



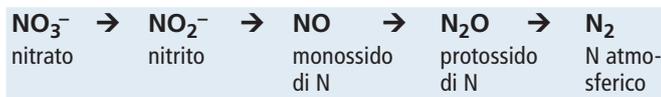
L'intensità della mineralizzazione dipende da: tenore e qualità della SO del suolo, precedente colturale, effetto residuo dei concimi organici (concimi aziendali, residui colturali, sovesci), clima (temperatura, umidità) e presenza d'ossigeno nel suolo (aerazione).

La **nitrificazione** è il processo attraverso cui i microrganismi (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) trasformano l'ammonio NH_4^+ in nitrito (NO_2^-) e poi in NO_3^- per ottenere energia.



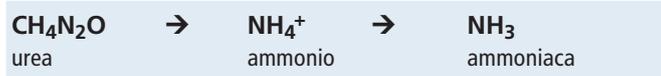
Il NO_3^- è la forma di N del suolo più disponibile per le piante, ma è anche quella più facilmente dilavabile.

La **denitrificazione** è il risultato della trasformazione del NO_3^- in molecole gassose contenenti N, quali: monossido di N (NO), protossido di N (N_2O) e N_2 .



Siccome la denitrificazione avviene in assenza d'ossigeno, le emissioni di N_2O sono più importanti nei suoli pesanti, compattati e mal drenati e/o nelle zone dove l'acqua ristagna.

La **volatilizzazione** dell' NH_3 nell'aria ha luogo principalmente nelle ore seguenti la distribuzione superficiale di concimi contenenti NH_3 .



Questo fenomeno tocca in particolare letame e liquami che contengono elevate quantità di NH_4^+ e può ridurre sensibilmente la loro efficacia fertilizzante. Il modo migliore per ridurre le perdite per volatilizzazione è incorporare nel suolo questi concimi aziendali il prima possibile, anche superficialmente. Naturalmente, anche le condizioni atmosferiche e l'attrezzatura utilizzata influenzano molto la volatilizzazione dell' NH_3 .

L'**immobilizzazione** è il processo inverso della mineralizzazione.



È collegata al prelievo di NO_3^- e di NH_4^+ da parte dei microrganismi tellurici con conseguente riduzione della loro disponibilità per le piante.

Il **dilavamento** del NO_3^- avviene quando i terreni ricevono più acqua di quanta ne possano trattenere. L'acqua in eccesso s'infiltra nel suolo e porta con sé il NO_3^- , che raggiunge il sistema di drenaggio sotterraneo e poi la falda freatica o i corsi d'acqua. Questo fenomeno è più marcato nei suoli leggeri e poco profondi. La profondità raggiunta dal NO_3^- dipende dalla quantità d'acqua che s'infiltra nel suolo, dallo stato idrico del suolo prima delle precipitazioni e dal tipo di suolo. I concimi N contenenti NO_3^- sono soggetti a queste perdite a partire dal momento della loro distribuzione. Una piccola quantità di NH_4^+ può essere dilavata anche nei suoli sabbiosi.

Il **prelievo da parte delle piante** è il primo obiettivo della gestione della concimazione N (minerale e organica). Per aumentare l'efficacia d'utilizzazione dell'N e ridurre le perdite ambientali ed economiche, l'agricoltore deve ottimizzare soprattutto tre aspetti: (i) quantità distribuita (diversi studi hanno dimostrato che, superando la dose di N ottimale il coefficiente d'utilizzazione dell'N da parte di diverse colture diminuisce sensibilmente e il rischio di perdite nell'ambiente aumenta considerevolmente), (ii) epoca di distribuzione (tabella 26) e (iii) condizioni del suolo (la maggior parte dei processi di trasformazione dell'N dipende dall'attività biologica del suolo). Le condizioni climatiche e le proprietà fisico-chimiche del suolo giocano un ruolo di primo piano in questo contesto. L'efficacia della concimazione N migliora se il suolo ha una buona struttura ed è ben drenato.

3.1.2 Metodi per calcolare la quantità di concime azotato

In Svizzera, si impiegano due metodi per calcolare la quantità di concime N da distribuire: (i) il metodo della norma corretta, chiamato anche metodo di stima, e (ii) il metodo dell'azoto minerale o metodo N_{min} . Un recente studio (Maltaš *et al.* 2015) ha dimostrato che entrambi i metodi sono efficaci e permettono di raccomandare quantità di concime N vicine alla dose ottimale.

3.1.2.1 Metodo della norma corretta

Il metodo della norma corretta stima la quantità di N da apportare correggendo una dose di riferimento, in funzione delle condizioni pedoclimatiche e colturali locali. La dose di riferimento, chiamata anche **norma di concimazione**, corrisponde, per una determinata coltura, alla quantità di N che bisogna distribuire in condizioni standard (suolo sufficientemente approvvigionato in N) per ottenere la resa media o **resa di riferimento** osservata in Svizzera (tabella 9). Le norme di concimazione e le rese di riferimento risultano da prove che hanno permesso di determinare la curva di risposta delle diverse colture alla concimazione N, dall'esperienza degli agricoltori e dalle conoscenze degli esperti.

Non appena le condizioni pedoclimatiche differiscono dalla situazione standard, si applicano dei fattori di corre-

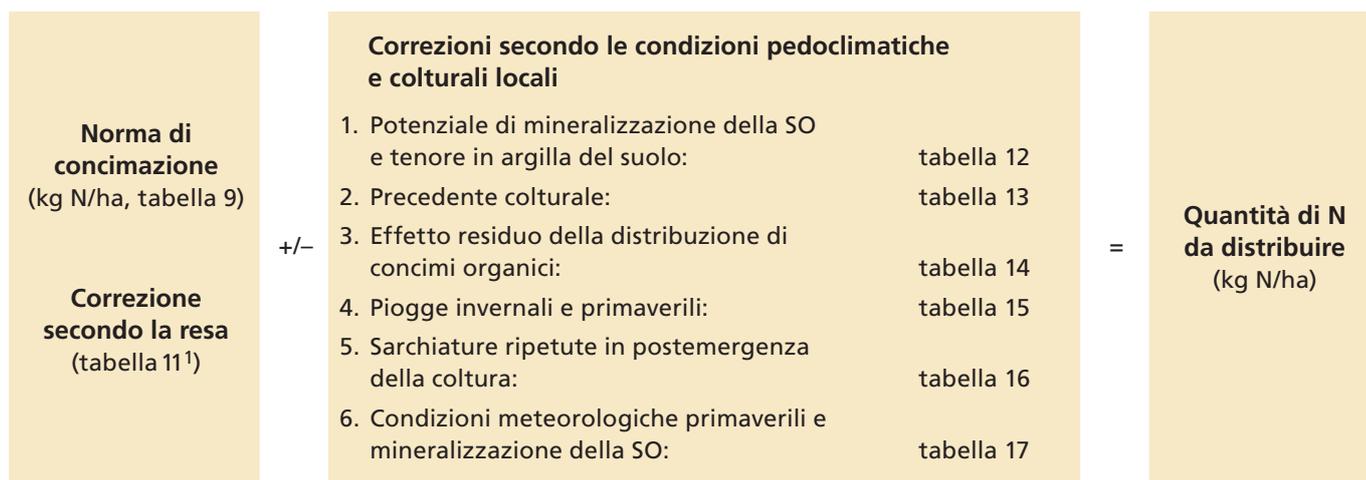


Figura 7. Rappresentazione schematica del metodo della norma corretta. ¹ La norma di concimazione si corregge secondo la resa solo per le colture incluse nella tabella 11.

zione alla norma di concimazione. Si utilizzano sette fattori di correzione che possono assumere valori sia negativi sia positivi (equazione 1). Il fattore resa (f_{Resa}) indica la correzione N da applicare per un obiettivo di resa superiore o inferiore a quella di riferimento (tabella 11; Richner *et al.* 2010). Altri cinque fattori permettono di stimare l'influenza delle condizioni pedoclimatiche locali sull'N disponibile nel suolo. Considerando che questi fattori si som-

mano e non interagiscono, la quantità di N da apportare (X) è riassunta nell'equazione seguente:

$$X = \text{Norma} + (f_{Resa} + f_{ASO} + f_{PC} + f_{CO} + f_{PGA} + f_{SA} + f_{PR}) \quad \text{Eq. 1}$$

f_{ASO} considera l'influenza del tenore in argilla e della SO del suolo sulla mineralizzazione della SO (tabella 12), f_{PC} tiene conto dell'influenza del precedente colturale e della sua data di incorporazione nel suolo sulla mineralizzazione dei residui colturali (tabella 13), f_{CO} calcola l'effetto residuo dell'N contenuto nei concimi organici distribuiti sul precedente colturale, sotto forma di percentuale dell'N totale (tabella 14), f_{PGA} stima l'influenza della pioggia sulle perdite di N per dilavamento durante inverno e primavera (tabella 15) e f_{SA} simula l'influenza positiva di più sarchiature sulla mineralizzazione della SO (tabella 16).

Per le sarchiate primaverili (mais, barbabietola, girasole, patata, ecc.), il periodo tra la fine dell'inverno e la semina è relativamente lungo. In questo intervallo di tempo le colture non prelevano N, anche se si ha una buona mineralizzazione della SO. Se, in queste settimane, pluviometria e temperatura favoriscono la mineralizzazione della SO, le scorte di N_{min} al momento della semina possono essere anche molto elevate (Maltas *et al.* 2015). La tabella 17 tiene conto di questa situazione e indica un nuovo fattore di correzione (f_{PR}) che integra l'influenza delle condizioni meteorologiche primaverili (umidità e temperatura) sulla mineralizzazione della SO e la disponibilità di N minerale.

Tabella 11. Correzione della concimazione N qualora l'obiettivo di resa differisca dalla resa di riferimento.

Coltura	Correzione della concimazione N secondo la resa (kg N/q granella supplementare)	Obiettivo massimo di resa (q granella/ha)
Frumento panificabile autunnale	1,0	80
Frumento foraggero autunnale	1,0	95
Orzo autunnale	0,7	90
Segale autunnale	0,8	80
Segale ibrida autunnale	1,2	90
Triticale autunnale	0,3	95
Colza autunnale	3,0	45

Esempio: per una resa attesa di 75 q/ha di frumento autunnale panificabile (di 15 q/ha superiore alla resa di riferimento), aggiungere 15 kg N alla norma di concimazione.

Tabella 12. Correzione della concimazione N in funzione del potenziale di mineralizzazione della sostanza organica (SO).

Potenziale di mineralizzazione della SO del suolo	SO (%)			Correzioni rispetto alla norma (kg N/ha)
	< 15 % argilla	15–30 % argilla	> 30 % argilla	
Da scarso a medio	< 1,2	< 1,8	< 2,5	da 0 a +40
Medio	1,2–2,9	1,8–3,9	2,5–5,9	0
Da medio a elevato	3,0–6,9	4,0–7,9	6,0–9,9	da 0 a –40
Da elevato a molto elevato	7,0–19,9	8,0–19,9	10,0–19,9	da –40 a –80
Molto elevato	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 20,0	da –80 a –120

Tabella 13. Correzione della concimazione N in funzione del precedente colturale.

Precedente colturale	Correzione per la coltura prevista (kg N/ha)	
	aratura / incorporazione	
	autunno	primavera
Prato permanente o prato temporaneo (3 anni o più)	-30	-40
Prato temporaneo (2 anni)	-20	-30
Prato temporaneo (1 anno)	-10	-20
Prato permanente o temporaneo (3 anni o più) come precedente del precedente colturale ¹	-10	-10
Prato temporaneo trinciato prima della spigatura delle graminacee		da -30 a -60 ²
Prato temporaneo trinciato prima della fioritura delle graminacee		da -20 a -40 ²
Cereali o mais (paglia incorporata nel suolo) prima di:		
- una coltura autunnale	+20	
- una coltura primaverile (semina in febbraio-marzo)	+10	
Leguminosa da granella (pisello, favino, soia e lupino) prima di:		
- una coltura autunnale precoce	da 40 a 60	
- una coltura autunnale tardiva	da 20 a 40	
- una coltura primaverile	da 0 a 20	
Barbabietola (foglie incorporate nel suolo)	-20	
Sovescio non svernante (facelia, senape gialla, ecc.)	-10	0
Sovescio non svernante a base di leguminose	-20	-10
Sovescio svernante (colza, ravizzone, ecc.)	0	-20
Sovescio svernante a base di leguminose	0	-30
Canapa da fibra	-10	
Patata	-10	
Altri precedenti colturali ³	0	

¹ Questa correzione si può cumulare con un'altra correzione di questa tabella.

² Valore minore: con poche leguminose; valore maggiore: con molte leguminose.

³ Cereali (paglia raccolta), mais da silo, colza, girasole, soia, tabacco, colture intercalari, ecc.

Tabella 14. Correzione della concimazione N in funzione dell'effetto residuo degli apporti di concimi organici.

La tabella 7 del modulo 4 illustra l'efficacia dell'N contenuto nei concimi aziendali già durante l'anno di distribuzione.

Concime organico	Quota (%) dell'N totale utilizzabile l'anno successivo a quello della distribuzione del concime organico; quantità da dedurre dalla norma di concimazione N della coltura prevista
Liquame completo e povero di sterco bovini	10
Letame di mucchio e di stabulazione libera	10
Letame compostato	15
Compost di letame	20
Letame di cavallo	5
Letame ovino o caprino	10
Liquami e letame suini	10
Deiezioni di ovaiole (nastro per deiezioni)	10
Pollina di ovaiole (allevamento al suolo)	10
Pollina di pollame da ingrasso (polli, tacchini)	5
Compost	0
Calce d'Aarberg	10

Tabella 15. Correzione della concimazione N in funzione delle precipitazioni invernali e primaverili.

Culture	Correzione della concimazione N (kg N/ha)			
	Periodo e intensità delle precipitazioni			
	Riposo vegetativo (novembre–gennaio)		Risveglio vegetativo e semina (marzo–maggio)	
	deboli (< 60 mm/mese)	forti (> 90 mm/mese)	deboli (< 60 mm/mese)	forti (> 90 mm/mese)
Colza autunnale	-10	+10	0	0
Cereali autunnali	-20	+20	0	0
Cereali primaverili	-20	0	-10	+10
Patata precoce	-20	+10	-10	+30
Bietola, mais, patata (da seme – da consumo – per la trasformazione industriale).	0	+10	-10	+30

Tabella 16. Liberazione di N supplementare a seguito di sarchiature ripetute in postemergenza della coltura, in funzione del tenore in SO del suolo.

Tenore in SO (%)	Correzione della concimazione N (kg N/ha)
< 8	-10
8–20	-15
> 20	-20

Queste correzioni non si devono utilizzare nel caso si esegua una sola sarchiatura su barbabietole, patate e mais, visto che ciò rappresenta lo standard della maggior parte delle prove condotte su queste colture.

La figura 7 illustra schematicamente come applicare il metodo della norma corretta per ottimizzare la concimazione N delle colture erbacee da pieno campo.

3.1.2.2 Metodo dell'azoto minerale o metodo N_{\min}

Il metodo N_{\min} consiste nel misurare le riserve di N minerale del terreno in un preciso momento (poco prima del primo apporto N previsto per la coltura) e di sottrarre questo dato da un valore di riferimento (soglia). Il valore di riferimento è maggiore della norma di concimazione N, perché è comprensivo del valore di N_{\min} . Il valore di riferimento scaturisce da numerose prove sperimentali, svolte in campo aperto, che hanno permesso di mettere in relazione i valori di N_{\min} e le dosi di N ottimali (Neeteson 1990). Rispetto al metodo della norma corretta, questo approccio ha il vantaggio di misurare direttamente l' N_{\min} del suolo, evitando di doverlo stimare sulla base di tabelle di riferimento. L'epoca e la profondità di prelievo per determinare l' N_{\min} del suolo dipendono dalla coltura considerata (tabella 18).

Il valore di N_{\min} tiene conto dell'influenza dei fattori colturali e pedoclimatici della parcella da concimare, stimati grazie alle tabelle su cui si basa il metodo della norma corretta. Ciò semplifica il calcolo della dose ottimale di N da distribuire, ma non considera l'influenza che questi fattori esercitano dopo la data in cui si misura l' N_{\min} . Per ovviare a questo aspetto, si applicano dei fattori di correzione, come nel caso del metodo della norma corretta. Si considera solo un numero limitato di fattori di correzione, tutti

Tabella 17. Correzione della concimazione N in funzione delle condizioni meteorologiche primaverili (umidità e temperatura) e dello stato del suolo.

Condizioni primaverili	Correzione della concimazione N (kg N/ha)
Primavera calda con suolo sufficientemente approvvigionato in acqua e ben strutturato	-20
Condizioni medie	0
Primavera fredda con suolo molto umido, oppure molto secco, e struttura degradata	+20

di valore negativo (tabelle 19 e 20). Per la colza, l'aggiunta di un nuovo fattore di correzione, che tenga conto dello stato della colza all'epoca di misurazione di N_{\min} , potrebbe migliorare questi risultati (capitolo 3.1.3).

L'analisi N_{\min} si esegue misurando l'N nitrico ($N-NO_3^-$) e quello ammoniacale ($N-NH_4^+$) disponibili nei differenti strati di suolo. Affinché il metodo N_{\min} si possa utilizzare in modo affidabile occorre prestare particolare attenzione a diversi punti. In primo luogo, bisogna rispettare l'epoca e la profondità di prelievo previsti per le diverse colture (tabella 18). Poi, tenuto conto delle possibili variazioni delle caratteristiche del suolo, servono almeno 10–12 prelievi affinché il campionamento sia rappresentativo. La stima obiettiva dello scheletro del terreno è un ulteriore punto da rispettare. Infine, bisogna fare in modo che i campioni arrivino rapidamente in laboratorio e siano sempre ben protetti dal calore grazie a contenitori refrigerati o congelandoli. I risultati dell'analisi N_{\min} si esprimono in kg $N-NO_3^-$ e kg $N-NH_4^+$ /ha. Non è consigliabile determinare l' N_{\min} tramite test rapidi, anche se convalidati, a causa della loro imprecisione.

3.1.3 Altri strumenti per gestire la concimazione azotata

3.1.3.1 Metodo del bilancio previsionale

Il metodo del bilancio previsionale mira a equilibrare il fabbisogno in N della coltura tramite gli apporti di N del suolo e dei concimi (COMIFER 2013). Ciò richiede la valutazione precisa delle esigenze N della coltura per una determinata

resa, così come la stima dell'apporto N del suolo durante il periodo di crescita. L' N_{\min} del suolo si può misurare, oppure stimare, a seconda dell'approccio e dei metodi scelti. Il metodo del bilancio sembra interessante perché permette di considerare le diverse situazioni che si possono presentare in pratica e perché si può anche utilizzare durante la stagione per gestire gli apporti frazionati (Schvartz *et al.* 2005). Questo approccio è, tuttavia, poco utilizzato perché si situa a metà strada tra semplicità (metodo

della norma corretta o metodo N_{\min}) e complessità (modello di simulazione) (Burns 2006). Per allestire un bilancio bisogna confrontarsi con due problematiche: (i) la quantificazione precisa dell'N fornito dal suolo e (ii) la stima del fabbisogno N calcolato in funzione di un obiettivo di produzione prefissato, che può variare durante il periodo di crescita vegetativa. Un modello dinamico, che permetta aggiustamenti nel corso della stagione, sarebbe molto più preciso e idoneo.

Tabella 18. Epoca e profondità di prelievo dei campioni per la determinazione del contenuto di N_{\min} .

Colture	Epoca di prelievo	Profondità di prelievo (cm) ¹
Cereali autunnali e colza	Poco prima del risveglio vegetativo	0–30, 30–60, 60–90
Cereali primaverili	Dalla semina a 3 foglie	0–30, 30–60, 60–90
Bietola ²	Da 4 a 6 foglie	0–30, 30–60, 60–90
Mais ²	Da 5 a 6 foglie (contare solo le foglie sviluppate completamente!)	0–30, 30–60, 60–90
Patata	Poco prima della piantagione	0–30, 30–60

¹ Nella pratica, i prelievi sono spesso limitati a 60 cm di profondità. In tal caso, i valori di riferimento per il calcolo della concimazione azotata devono essere adattati di conseguenza. La documentazione idonea è reperibile presso il laboratorio d'analisi o il servizio di consulenza agricola.

² Il metodo N_{\min} fornisce risultati affidabili solo se la concimazione N distribuita alla semina o alla piantagione non supera i 40 kg N/ha.

Tabella 19. Concimazione N dei cereali in funzione del tenore in N_{\min} del suolo (prelievi tra 0 e 90 cm).

Coltura	1° apporto	2° apporto ¹	3° apporto ^{1, 2}
	kg N/ha		
Frumento autunnale	120 meno N_{\min}	30	40
Frumento primaverile, spelta	110 meno N_{\min}	30	40
Orzo autunnale	80 meno N_{\min}	30	40
Triticale autunnale	90 meno N_{\min}	30	40
Orzo e triticale primaverili, segale autunnale	80 meno N_{\min}	30	30
Avena	100 meno N_{\min}	30	30

Queste raccomandazioni sono valide soltanto alle condizioni seguenti:

- potenziale produttivo della parcella uguale o superiore ai valori della tabella 9;
- rischio di allettamento minimo (eventuale impiego di un regolatore di crescita);
- rischio limitato di perdite di resa causate da malattie e parassiti (scelta della varietà, tecnica colturale, rotazione colturale, eventuale impiego di fungicidi o insetticidi);
- tenore in SO nel suolo inferiore al 5 % e profondità utile del suolo superiore a 70 cm.

Nei seguenti casi particolari bisogna considerare le opportune correzioni (queste deduzioni non si possono cumulare; la correzione massima per singolo apporto è di 30 kg N/ha).

Motivo della correzione	1° apporto	2° apporto	3° apporto
	kg N/ha		
Prato temporaneo di diversi anni o prato permanente quale precedente colturale	-20	-10	-20
Tenore del suolo in SO tra 5 e 20 %	-10	-20	-20
Profondità utile del suolo inferiore a 70 cm o potenziale produttivo della parcella da scarso a medio (zone marginali per le colture erbacee da pieno campo)	-10	-10	-20
Rinuncia ai regolatori della crescita	da -10 ³ a -20 ⁴	-10	0

La tabella 26 riporta le indicazioni relative al frazionamento della concimazione N e le quantità massime dei singoli apporti.

¹ A seconda delle particolari condizioni di crescita e di sviluppo della coltura, queste dosi di N si possono aumentare o ridurre di 10 kg/ha.

² In caso di forti attacchi di malattie bisogna rinunciare al 3° apporto.

³ Orzo, triticale, segale.

⁴ Frumento, spelta, avena.

Tabella 20. Concimazione N delle sarchiate in funzione del tenore in N_{\min} del suolo (prelievi tra 0 e 90 cm).

Culture	1° apporto (kg N/ha)	2° apporto ¹ (kg N/ha)
Mais	0–30	$N_{\min} > 120$: 200 meno N_{\min} $N_{\min} < 120$: 180 meno N_{\min}
Barbabietola da zucchero e da foraggio	0–30	180 meno N_{\min}
Patata per il consumo fresco e l'industria di trasformazione	200 meno N_{\min} (alla piantagione)	
Patata precoce e patata da seme	180 meno N_{\min} (alla piantagione)	
Colza autunnale	0–40 (alla semina)	160 meno N_{\min}
Correzioni legate a un tenore in SO elevato o a uno scarso potenziale produttivo della parcella:		
Tenore del suolo in SO tra 5 e 20 %	da 0 a –30	da –20 a –40
Potenziale produttivo della parcella da scarso a medio	0	da –20 a –40

Non vanno apportate correzioni per l'effetto residuo di colture intercalari, sovesci o concimi aziendali, perché questo effetto residuo è in gran parte compreso nel valore di N_{\min} misurato nel terreno.

La tabella 26 riporta le indicazioni relative al frazionamento della concimazione N e le quantità massime dei singoli apporti di N. Il 1° apporto si distribuisce solitamente alla semina o alla piantagione; esso si può tuttavia tralasciare se il precedente colturale rilascia molto N_{\min} nel suolo o se il potenziale di mineralizzazione del suolo è particolarmente elevato. Il 2° apporto si effettua subito dopo aver ricevuto il risultato dell'analisi N_{\min} (per l'epoca di prelievo, tabella 18).

¹ Un frazionamento dell'N in 2 apporti è particolarmente raccomandabile su suoli con profondità utile inferiore a 70 cm e per regioni molto piovose (più di 260 mm tra aprile e giugno). A seconda delle condizioni meteorologiche e di crescita, l'intervallo tra gli apporti va da 2 a 4 settimane.

Attualmente, nella realtà agricola svizzera, questo tipo di strumento è disponibile soltanto per la barbabietola da zucchero. Grazie a un'applicazione web, si può allestire un bilancio previsionale basato su raccomandazioni e valori individuali relativamente dettagliati. L'accesso a questa applicazione è possibile sul sito del Centro Bieticolo Svizzero (<http://www.liz-online.de/CH/npro/frz/Npro-CH-frz.htm>).

3.1.3.2 Modelli di simulazione

I modelli dinamici di simulazione valutano l'influenza dei fenomeni meteorologici, del suolo e delle tecniche di coltivazione, nonché delle loro interazioni, sulla resa delle colture e sull'ambiente. Questi modelli possono tenere conto automaticamente dell'evoluzione delle interazioni tra suolo e pianta relative all'offerta e alla domanda di N durante la crescita. Le raccomandazioni si possono anche adattare alle condizioni pedoclimatiche specifiche della parcella, visto che i dati considerati comprendono solitamente il tipo di suolo, le tecniche di coltivazione e le condizioni climatiche. I modelli dinamici di simulazione hanno un grande potenziale. Ciononostante, a causa dell'incertezza sui parametri considerati e sui sistemi d'equazioni, le raccomandazioni ricavate sono spesso imprecise (Naud et al. 2008). La messa a punto di numerosi modelli in Europa testimonia l'interesse crescente che circonda i modelli dinamici di simulazione. Il software francese AzoFert® (Machet et al. 2003) è uno tra i modelli più promettenti. Basato su un bilancio completo di N_{\min} , AzoFert® integra la dinamica degli apporti di N e della crescita della pianta. L'impostazione informatica del software permette di adattarlo alle diverse situazioni pedoclimatiche e alle tecniche praticate nelle singole aziende. La valutazione delle prestazioni di questo software nella realtà svizzera, eseguita con una versione AzoFert® utilizzata nel Nord della Francia, ha mo-

strato che la dose ottimale di N prevista dal software è soddisfacente e perlomeno equivalente a quella ottenuta con i metodi della norma corretta e N_{\min} . In un contesto svizzero diverso, particolarmente in ambito climatico e agro-pedologico, non deve sorprendere che le prestazioni del software non siano in linea con le sue potenzialità (Maltais et al. 2015).

3.1.3.3 Strumenti decisionali complementari

Malgrado tutti gli sforzi profusi per stimare con precisione gli apporti di N del suolo, un bilancio o una norma previsionali rimangono pur sempre solo «metodi previsionali». Gli strumenti complementari permettono di correggere, durante la crescita, le variazioni dovute agli imprevisti climatici e non. Secondo Schwartz et al. (2005), prove svolte in campo aperto mostrano che l'applicazione di metodi del tipo: JUBIL®, Hydro N-Tester, Héliotest e Densità doppia permette di migliorare l'affidabilità del bilancio previsio-



N-Tester (fotografia: Agroscope).

nale per l'N utilizzato in Francia. Questi metodi sono tuttavia specifici per certe colture e non possono essere generalizzati all'insieme delle colture erbacee da pieno campo.

Finestra di controllo. Le finestre di controllo sono superfici delimitate, di circa un'ara, sulle quali si riduce la concimazione N (-40 kg N/ha) o la si elimina del tutto. Esse aiutano a prendere decisioni operative e sono uno strumento prezioso per il controllo dell'efficacia della concimazione N. Per ogni singolo apporto N si deve predisporre una nuova finestra. In cerealicoltura, il confronto tra lo stato della coltura all'interno e all'esterno della finestra di controllo fornisce indicazioni su come ottimizzare il successivo apporto di N. Per il girasole si applica un concetto leggermente diverso. Il criterio decisionale dell'Héliotest (Terres Inovia) è il confronto visivo tra una fascia di terreno concimata alla semina e la superficie restante della parcella non concimata alla semina. Tra gli stadi «6 foglie» e «14 foglie» si osservano tutte le differenze (colore, altezza, volume della vegetazione) tra le piante delle due varianti. Lo stadio fenologico del girasole in cui appare una differenza permette di valutare l'eventuale complemento di N necessario. Quanto prima si manifesta la differenza tanto maggiore è la carenza di N. A partire dai contenuti di N del suolo e dalle esigenze della coltura (a maturità, la pianta intera assorbe 4,5 kg di N per quintale di granella prodotta), si può utilizzare il metodo della norma corretta per calcolare la quantità di N da apportare, in funzione dello stadio fenologico nel quale compare la differenza visiva e dell'obiettivo di resa (Pellet e Grosjean 2007).

Densità doppia. Questo metodo, praticato in cerealicoltura, si basa sulla comparsa di una carenza nel testimone, seminato a densità doppia rispetto al resto del campo. Il principio è che nella superficie a densità doppia le piante consumano più N rispetto a quanto capita nel resto del campo, seminato a densità normale. Di conseguenza, l'N presente nel suolo del testimone si esaurirà più rapidamente e i primi sintomi di carenza si manifesteranno anticipatamente, sotto forma di ingiallimenti più pronunciati. Il primo apporto di N si distribuisce a partire dalla comparsa dei primi sintomi nel testimone. Per decidere quando effettuare il secondo apporto si attende che le piante seminate a densità doppia, che nel primo avevano ricevuto la stessa quantità di N del resto del campo, ingialliscano nuovamente rispetto alle piante seminate a densità normale (Limaux *et al.* 1999).

Analisi del succo vegetale. Con questo metodo d'analisi basato su test rapidi (Nitrachek, Jubil® o altri), si misura il tenore in N del succo delle piante. Per i cereali, i prelievi si effettuano alla base del culmo principale e in un'epoca

ben precisa. Grazie a una taratura degli strumenti specifica per ogni varietà, i risultati ottenuti possono fornire indicazioni utili per determinare gli apporti di N (Pellet 2000 a&b).

Misurazione della clorofilla. La valutazione del tenore in clorofilla (metodo N-Tester, Yara 2008) è un test rapido indiretto, che misura la colorazione delle foglie e dà informazioni sullo stato nutrizionale delle piante. Il metodo esige una taratura specifica per ogni varietà. Il colore delle foglie non è influenzato solo dal tenore in N, ma anche da altri fattori (p.es. il tenore in S), che possono rendere delicata l'interpretazione dei valori misurati.

Farmstar. Concepito da Astrium (Airbus Defence & Space) e ARVALIS-Institut du végétal (Francia), Farmstar è uno strumento più recente che utilizza le riprese satellitari. Anche questo metodo cerca di valutare il tenore in clorofilla del fogliame, associato all'indice LAI (superficie fogliare presente sull'unità di superficie del suolo), basandosi su misurazioni realizzate da sensori installati su satelliti. Molto precisi e, soprattutto, localizzati, i dati raccolti alimentano modelli e forniscono due variabili agronomiche: (i) la biomassa e (ii) il livello di N del fogliame. La gestione della concimazione N si basa su una diagnosi realizzata a inizio levata (aprile), che si traduce in un consiglio di concimazione fornito sotto forma di una cartina per ogni parcella. La cartina illustra la variabilità della concimazione N consigliata all'interno della parcella e anche una dose media applicabile su tutta la superficie. Quest'ultimo dato è destinato agli agricoltori che non hanno i mezzi tecnici per modulare la concimazione.

Réglette azote (Terres Inovia). Questo metodo permette di calcolare la quantità di N da distribuire in primavera sulla colza. Esso tiene conto dell'N già assorbito dalla pianta in autunno, permettendo di ridurre sensibilmente la concimazione N della colza sviluppatasi notevolmente prima dell'inverno (se ne pesano le parti aeree al risveglio vegetativo), senza comprometterne la resa. Il metodo è disponibile gratuitamente sul sito (<http://www.regletteazotecolza.fr>). Per potere utilizzare questo metodo nella realtà pedoclimatica svizzera, esso va calibrato opportunamente (Micheneau *et al.* 2016).

3.2 Concimazione fosfatica, potassica e magnesica

Contrariamente a quanto capita per l'N, la concimazione P, K e Mg delle colture erbacee da pieno campo si basa su due parametri importanti: (i) i prelievi della coltura e (ii) il risultato delle analisi del suolo. Si considerano anche la capacità d'assorbimento delle colture e i residui del precedente colturale (figura 8).

Prelievo

$$\left[\text{Resa di riferimento} \times \text{Concentrazione nella pianta} \right] \times \text{Correzione colturale} = \text{Norma di concimazione}$$

$$(\text{Norma di concimazione} \times \text{Correzione suolo}) - \text{Residui del precedente colturale} = \text{Norma corretta}$$

Figura 8. Procedimento per il calcolo della norma di concimazione P, K e Mg.

3.2.1 Determinazione della norma di concimazione

La determinazione della concimazione P, K e Mg si basa sul fabbisogno della coltura e sui suoi prelievi di P, K e Mg (tabella 9). Questi parametri sono definiti dall'obiettivo di resa (resa di riferimento) e dalla concentrazione in elementi nutritivi dei prodotti vegetali raccolti (allegato 1). Allo scopo di considerare il miglioramento genetico delle colture e l'evoluzione delle tecniche colturali e produttive è necessario aggiornare le rese di riferimento a ogni nuova edizione del presente documento. Anche la concentrazione in elementi nutritivi dei diversi prodotti delle colture erbacee da pieno campo va costantemente aggiornata. Gli aggiornamenti devono provenire da prove di concimazione svolte in condizioni ideali e non dalla pratica.

La capacità di prelevare elementi nutritivi varia a seconda della coltura. Infatti, anche se nel suolo la disponibilità di un elemento nutritivo fosse sufficiente per soddisfare il fabbisogno delle piante, alcune colture non riuscirebbero a assorbirne abbastanza per la loro crescita, mentre altre ne assorbirebbero troppo rispetto alle loro esigenze. L'approccio attuale dei PRIC definisce la classe di fertilità del suolo «sufficiente» indipendentemente dalla coltura. Di conseguenza, bisogna inserire un fattore di correzione che differenzi le colture in funzione delle loro esigenze e della loro capacità d'assorbimento. La tabella 21 propone tali

Tabella 21. Fattori di correzione della norma di concimazione P, K e Mg a seconda della coltura.

Coltura	P	K	Mg
Cereali autunnali	1,0	0,8	1,0
Mais	1,2	1,0	1,0
Patata	1,2	1,2	1,2
Barbabietola da zucchero e da foraggio	1,0	0,8	1,0
Leguminose da granella	1,0	1,2	1,0
Colture intercalari	1,0	0,8	1,2
Altre colture	1,0	1,0	1,0



Campo per prove di concimazione P e K di lunga durata (fotografia: Agroscope).

fattori di correzione stabiliti empiricamente in base alle conoscenze degli esperti.

3.2.2 Correzione della norma di concimazione in funzione delle analisi del suolo

L'analisi del suolo permette di modulare la norma di concimazione P, K e Mg in funzione del livello di disponibilità dell'elemento nutritivo nel suolo. Ciononostante, per esempio, nel caso del P, la frazione realmente disponibile di questo elemento è sempre rimasta un concetto un po' teorico, perché non esiste un metodo universale per dosare il P disponibile che consenta di interpretare con precisione la diversità esistente tra tutti i parametri coinvolti: suolo, clima e coltura (Demaria *et al.* 2005; Frossard *et al.* 2004). La maggior parte dei paesi si indirizzano verso un numero limitato di mezzi d'estrazione (due, in generale) e un'interpretazione dei risultati che sia valida per i suoli aventi le caratteristiche più comuni. Fin dalle prime edizioni dei PRIC (già DBC), la «ricchezza» del suolo fu stabilita basandosi sulle analisi ottenute con il metodo d'estrazione all'acqua satura di CO₂ (Dirks-Scheffer 1930). Nel 1995, il nuovo metodo d'estrazione ufficiale divenne quello all'acetato di ammonio + EDTA (AAE10, Agroscope 1996).

3.2.2.1 Correzione della norma di concimazione fosfatica e potassica in base al metodo d'estrazione all'acqua satura di CO₂

La correzione delle norme di concimazione P e K in base alla loro disponibilità nel suolo si effettua, per il metodo all'acqua satura di CO₂, utilizzando i fattori di correzione riportati dalle tabelle 10 e 11 (modulo 2). Questi fattori di correzione sono validi per la maggior parte dei suoli dell'Altopiano svizzero, delle Prealpi e del Giura che possiedono un tenore in SO inferiore al 10%. Per i suoli contenenti più del 10% di SO bisogna inoltre fare riferimento alle cifre riportate nella tabella 9 (modulo 2). L'esperienza ha dimostrato che i suoli siltosi, originatisi dalla disgregazione dei calcescisti dei Grigioni, e quelli sabbiosi e acidi del Cantone Ticino richiedono una valutazione speciale per il P. La tabella 10 (modulo 2) riporta anche i fattori di correzione per questi terreni.

3.2.2.2 Correzione della norma di concimazione magnesiacca in base al metodo d'estrazione al cloruro di calcio (CaCl₂)

L'interpretazione dei risultati analitici di questo metodo d'estrazione e la correzione della norma di concimazione Mg avvengono, analogamente a quanto visto per P e K, in funzione del tenore in argilla del suolo. Date le caratteristiche dell'agente estraente, l'approvvigionamento ottimale del suolo (fattore di correzione 1,0) aumenta con l'aumentare del tenore in argilla (tabella 12, modulo 2).

3.2.2.3 Correzione della norma di concimazione fosfatica, potassica e magnesiacca in base al metodo d'estrazione all'acetato di ammonio + EDTA (AAE10)

La correzione della norma di concimazione P, K e Mg si esegue utilizzando i fattori di correzione riportati dalle tabelle da 16 a 18 (modulo 2), considerando sia la «ricchezza» del

Tabella 22. Parametri per la valutazione del rischio di carenza di S e per la stima del fabbisogno della concimazione S per le diverse colture.

Parametri	Criteri di valutazione	Punti
Sostanza organica del suolo (%)	< 2	1
	2–5	3
	> 5	5
Argilla del suolo (%)	< 10	1
	10–30	3
	> 30	5
Scheletro del suolo (% del volume)	> 30	1
	10–30	3
	< 10	5
Profondità utile del suolo (cm)	10–30	1
	31–70	5
	> 70	7
Precipitazioni da ottobre a marzo (mm)	> 540	1
	370–540	3
	< 370	5
Distribuzione di concimi aziendali	Mai	1
	Meno di una volta ogni 3 anni	3
	Almeno una volta ogni 3 anni	5
Differenza tra la quantità di N distribuita e quella raccomandata ¹	Supplemento > 40 kg N/ha	1
	Dose prevista +/- 40 kg N/ha	3
	Riduzione < 40 kg N/ha	5

I punti ottenuti per ogni parametro di valutazione vanno sommati. Il totale dei punti va poi confrontato con le indicazioni della tabella 23.

¹ Quantità di N calcolata in base al metodo della norma corretta o al metodo N_{min} .

suolo in P, K e Mg, sia il suo tenore in argilla. Per i suoli contenenti più del 10 % di SO bisogna inoltre fare riferimento alle cifre riportate nella tabella 9 (modulo 2).

3.3 Zolfo

Oggi giorno, il fabbisogno in S delle colture viene principalmente coperto da residui colturali, concimi aziendali e concimi minerali. Durante alcuni decenni precedenti il 1980, la maggior parte degli apporti di S proveniva da ricadute atmosferiche legate alla combustione di carbone e olio da riscaldamento. Questi apporti erano dell'ordine di 30–50 kg S/ha all'anno, con punte di 100 kg attorno agli agglomerati urbani. Un tale apporto soddisfaceva anche il fabbisogno delle piante più esigenti (tabella 23). L'abbandono del carbone e l'eliminazione dello S dall'olio da riscaldamento, avvenuto a partire dagli anni '80, hanno determinato una forte riduzione degli apporti di S provenienti dall'atmosfera. Ciò ha comportato la comparsa di casi di carenza di S nelle colture più esigenti.

3.3.1 Procedimento per determinare il rischio di carenza di zolfo

La maggior parte delle riserve di S del suolo (> 95 % S_{tot}) si trova sotto forma organica (SO del suolo, concimi orga-

nic). La pianta assorbe S sotto forma di SO_4^{2-} . Tenendo conto delle caratteristiche locali (suolo, pianta, tecnica colturale e clima), si può valutare se la parcella ha le potenzialità per soddisfare il fabbisogno in S delle colture previste. I parametri considerati sono: (i) tenori del suolo in SO, argilla(e) e scheletro, (ii) profondità utile del suolo, (iii) precipitazioni da ottobre a marzo, (iv) distribuzione di concimi organici e di N (tabella 22). L'eventuale necessità di distribuire S si determina confrontando il risultato scaturito dalla tabella 22 con il fabbisogno in S delle colture previste (tabella 23, v. anche Pellet *et al.* 2003 a e b).

3.3.2 Forma e epoca della concimazione sulfurea

La concimazione S si effettua rispettando le stesse regole viste per quella N (le piante assorbono S sotto forma di SO_4^{2-} , il quale si comporta in modo simile al NO_3^-). La concimazione di base è assicurata dai concimi aziendali (1 t di letame o 1 m³ di liquame completo bovino contengono circa 0,3–0,4 kg di S). Il modo migliore per eseguire la concimazione sulfurea consiste nell'impiegare un concime minerale N contenente S (tabella 13, modulo 4). In alternativa, si possono scegliere concimi K, magnesiaci o concimi composti aventi sufficiente tenore in S (tabella 13, modulo 4). In presenza di sintomi di carenza, è possibile coprire parte del fabbisogno in S della pianta a breve termine,

Tabella 23. Prelievi di S di alcune colture e raccomandazioni per la relativa concimazione S.

Coltura	Prelievo di S (kg/ha)	Concimazione S in funzione del punteggio ottenuto nella tabella 22 (kg S/ha)		
Colture molto esigenti		< 15 punti	15–23 punti	> 23 punti
Colza	80	60	35	0
Colture mediamente esigenti		< 14 punti	14–20 punti	> 20 punti
Barbabietola	35	25	15	0
Erba medica	30	20	15	0
Mais	28	20	15	0
Colture poco esigenti		< 13 punti	13–18 punti	> 18 punti
Frumento	23	20	10	0
Orzo	20	10	0	0
Patata	20	10	0	0
Altre colture	< 20	0	0	0

Tabella 24. Apporti di B e Mn in funzione dei risultati delle analisi del suolo, del tipo di suolo e della coltura prevista.

Elemento	Classe di fertilità	Valutazione	Tenore del suolo (mg/kg)	Suolo da ricco a molto ricco in SO (> 10 %)					
				Suolo da povero in SO a umifero (< 10 %)		Suolo da acido a debolmente acido		Suolo da neutro a alcalino	
				Coltura poco esigente	Coltura esigente ¹	Coltura poco esigente	Coltura esigente ¹	Coltura poco esigente	Coltura esigente ¹
B	A	povero	< 0,6	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²	1,5–2,0 kg B/ha ²	2,5–3,0 kg B/ha ²
	B	moderato	0,6–1,5	–	1,5–2,0 kg B/ha ²	–	2,0–2,5 kg B/ha ²	–	2,0–2,5 kg B/ha ²
	C	sufficiente	1,6–2,0	–					
	D	ricco	2,1–5,0						
E	molto ricco	> 5,0							
			Scambiabile	Facilmente riducibile					
Mn	A	povero	< 2	–	20–40 kg Mn/ha ³	30–50 kg Mn/ha ³	40–60 kg Mn/ha ³	10–15 kg Mn/ha ³	
	B	moderato	> 2	< 50	20–40 kg Mn/ha ³		20–40 kg Mn/ha ³	10–15 kg Mn/ha ³	
	C	sufficiente	> 2	> 50	–				

¹ B: barbabietola, colza, girasole; Mn: cereali, leguminose.

² Concimazione sul suolo: il B si può distribuire sotto forma di borace, polverizzare sotto forma di acido borico oppure sotto forma di concimi composti contenenti B.

³ In queste condizioni, distribuire Mn sul suolo non è efficace. Si consiglia allora la concimazione fogliare, che va eseguita con 600–1'000 l d'acqua/ha, ripetendo le applicazioni e sostituendo, eventualmente, il solfato di Mn (MnSO₄) con altri prodotti specifici contenenti Mn. Bisogna rispettare le istruzioni d'utilizzazione.

ricorrendo a una concimazione fogliare con un prodotto compatibile (solfato di magnesio o Epsomite [solfato di magnesio eptaidrato]).

3.4 Boro, manganese e altri microelementi

Nella realtà svizzera, di solito, non è necessario distribuire regolarmente microelementi. La composizione della roccia madre della maggior parte dei suoli fa sì che la loro dispo-

nibilità sia sufficiente per assicurare la resa ottimale delle colture. Solo in alcuni casi è possibile che si debba concimare con boro (B) e manganese (Mn). Succede quando si coltivano su suoli alcalini colture esigenti, come barbabietola, colza e girasole, il cui fabbisogno in B è pari a 1,5–2 kg/ha. La disponibilità di Mn è fortemente ridotta nei suoli alcalini e ricchi di SO. Massicce dosi di calcio (Ca) possono causare alle colture serie difficoltà di approvvigionamento in B e Mn. In casi particolari, è indispensabile

valutare il tenore di Mn e B del suolo. La tabella 24 riporta l'interpretazione dei risultati delle analisi specifiche e le quantità necessarie di concimi contenenti B e Mn. Per gli altri microelementi l'analisi del suolo si giustifica solo in via eccezionale e dopo aver consultato un servizio di consulenza agricola o un laboratorio d'analisi del suolo certificato.

4. Residui colturali

Le norme di concimazione indicano sia il fabbisogno in elementi nutritivi del prodotto principale raccolto sia quello dei sottoprodotti o residui colturali (tabella 9). Se i residui colturali (paglia, stoppie, fusti, foglie, ecc.) rimangono sul campo, il loro tenore in elementi nutritivi va sottratto dalla norma di concimazione della coltura successiva. Analogamente a quanto visto per i concimi aziendali, la concimazione della coltura successiva considera la totalità dei tenori in P, K e Mg dei residui colturali (tabella 9). Per quanto concerne l'N, invece, se si utilizza il metodo della norma corretta bisogna considerare i valori riportati nella tabella 13. Se una parte dei residui colturali viene raccolta, la deduzione applicata alla concimazione della coltura successiva deve essere proporzionale alla quota di residui rimasta sul campo.

5. La concimazione nella pratica

Ogni azienda agricola è un caso a sé stante. Pianificarne razionalmente la concimazione significa considerare tutte le sue peculiarità. Il piano di concimazione deve, quindi, contemplare i molteplici aspetti che la caratterizzano, quali: indirizzo produttivo (azienda con colture erbacee da pieno campo, con superfici prative e concimi aziendali, con entrambi i settori), caratteristiche pedoclimatiche e situazione parcellare (ubicazione, esposizione, dimensione e declività delle parcelle), senza dimenticare la forma di produzione scelta (convenzionale, PER, biologica), che complica ulteriormente le cose. Per ogni realtà, il piano di concimazione considera: le norme di concimazione, gli obiettivi di resa, lo stato nutrizionale del suolo (interpretazione delle analisi), nonché la quantità, il tipo e le caratteristiche dei concimi aziendali e minerali utilizzati.

5.1 Piano di concimazione

Allestire coscienziosamente un piano di concimazione annuale è l'unico sistema che permette di rispondere alle molteplici esigenze di una concimazione razionale, mirata e attenta sia al fabbisogno delle colture sia al rispetto dell'ambiente. Moduli e programmi informatici necessari all'elaborazione del piano di concimazione si possono richiedere presso i servizi di consulenza agricola e la maggior parte dei laboratori d'analisi del suolo certificati.

Procedura per l'allestimento del piano di concimazione

1. Stabilire le esigenze delle colture in funzione della loro resa (tabelle 9, 10 e 11).

2. Correggere le norme di concimazione P, K e Mg (tabella 9) in funzione dei risultati delle analisi del suolo (tabelle 10–18, modulo 2) e sottrarre alle norme, così corrette, l'apporto fornito dai residui del precedente colturale (tabella 13).
3. Correggere la norma di concimazione N con i fattori di correzione ottenuti grazie al metodo della norma corretta (tabelle 12–17) oppure con i risultati delle analisi previste dal metodo N_{\min} (tabelle da 18–20).
4. Stimare i tenori in elementi nutritivi dei concimi aziendali (tabella 6, modulo 4) e determinarne la quantità da distribuire sulle singole colture.
5. Calcolare la differenza tra fabbisogno delle singole colture e gli apporti assicurati dai concimi aziendali.
6. Completare gli eventuali ammanchi distribuendo concimi aziendali di altre aziende, concimi ottenuti dal riciclaggio e/o concimi minerali reperibili sul mercato. L'utilizzo di questi concimi extraaziendali deve tenere in debito conto gli aspetti ecologici, pedologici, agronomici, tecnici, economici e legali.

Qualora si volesse allestire un piano di concimazione con mezzi informatici è importante assicurarsi in anticipo che il software rispetti la procedura appena descritta. La tabella 25 riporta un piano di concimazione fittizio.

5.2 Scelta dei concimi

Nella scelta dei concimi bisogna considerare, in primo luogo, le esigenze delle piante e le caratteristiche del suolo, ma sempre tenendo ben presenti i vincoli posti dalla tecnica colturale. I criteri più importanti per la scelta di un concime sono le esigenze specifiche delle diverse colture, le caratteristiche del suolo, che influenzano il comportamento degli elementi nutritivi nel sistema concime-suolo-pianta (pH, SO, tessitura, disponibilità di elementi nutritivi, ecc.) e il loro contenuto sia in elementi nutritivi secondari (Ca, S, microelementi) sia in elementi indesiderati (sostanze nocive). Gli aspetti economici dovrebbero entrare in linea di conto solo quando si tratta di decidere tra concimi aventi caratteristiche simili e in grado di soddisfare gli stessi fabbisogni in elementi nutritivi. Le tabelle 9–12 del modulo 4 descrivono gli effetti e le caratteristiche delle diverse forme di elementi nutritivi presenti nei concimi.

5.2.1 Cereali

Nel caso dei cereali, la concimazione N con una miscela liquida a base di N in forma nitrica ($N-NO_3^-$) e ureica (CH_4N_2O) garantirebbe la disponibilità regolare di N per le piante. Tuttavia, lo sviluppo di questa tecnica è stato frenato: dalla necessità di avere una meccanizzazione adatta (stoccaggio e distribuzione del concime liquido), dal rischio di causare bruciature legato allo stadio di sviluppo della coltura e alle condizioni meteorologiche al momento della distribuzione, nonché dal pericolo di causare perdite per volatilizzazione legato al pH del suolo. Attualmente, sono in piena fase di sviluppo i concimi N a lenta cessione, che permetteranno di semplificare il frazionamento della concimazione N, raccomandato per i concimi a base di nitrato ammonico (NH_4NO_3) (tabella 26).

Tabella 25. Esempio di piano di concimazione.

Restrizioni di concimazione	Nessuna						
Uso della superficie	Specificazione	Superficie	Resa				
Parcella	Dietro il bosco	1,17 ha					
Precedente colturale	Frumento autunnale, paglia interrata	1,17 ha	60 q/ha				
Coltura intercalare o sovescio	Sovescio non svernante con leguminose	1,17 ha	35 q/ha				
Coltura principale	Mais da granella	1,17 ha	100 q/ha				
Analisi del suolo	Risultato	Unità	Metodo	Interpretazione	Fattori di correzione		
Anno	2016						
Argilla	20	[%]		Medio, silto-limoso			
Silt	70	[%]					
Sabbia	10	[%]					
pH	6,4	[H ₂ O]		Neutro			
SO	4,5	[%]		Leggermente umifero			
P	22,7	[mg/kg]	AA-EDTA	Moderato	1,2 (tabella 16, modulo 2)		
K	137	[mg/kg]	AA-EDTA	Sufficiente	1,0 (tabella 17, modulo 2)		
Mg	112,8	[mg/kg]	AA-EDTA	Moderato	1,2 (tabella 18, modulo 2)		
Fabbisogno [kg/ha] (+)				N	P	K	Mg
Norma di concim. coltura interc. o sovescio	(tabella 9)			0	0	0	0
Norma di concimazione coltura principale	(tabella 9)			110	38	195	25
Correzione per la resa della coltura principale	(tabella 11)			0	0	0	0
Potenziale di mineraliz.	(tabella 12)	Da medio a elevato		-20	0	0	0
Precedente colturale	(tabella 13)	Sovescio		-10	0	0	0
Piogge invernali e primaverili	(tabella 15)	Forti tra marzo e maggio		30	0	0	0
Sarchiatura	(tabella 16)			0	0	0	0
Effetto delle condizioni meteo primaverili	(tabella 17)	Primavera calda		-20	0	0	0
Fattori di correzione	(vedere analisi del suolo)				1,2	1,0	1,2
(1) Somma dei fabbisogni corretti				90	46	195	30
Apporti dell'anno precedente [kg/ha] (-)				N	P	K	Mg
Saldo dell'anno precedente	(valori > 0: concime in eccesso)			-	-15	-10	7
Effetto residuo di N	(tabella 14)			0	-	-	-
Residuo del precedente colturale	(tabella 9)			0	6	62	5
Correzione libera				0	0	0	0
(2) Somma degli apporti dell'anno precedente				0	-9	52	12
(3) Fabbisogno totale corretto = (1)-(2)				90	55	143	18
Apporti dei concimi minerali reperibili sul mercato [kg/ha] (-)		Apporto/ha	N	P	K	Mg	
Nitrato ammonico 27 %		3,30 q/ha	89	0	0	0	
Potassa magnesiaca (25 % K / 6 % Mg)		5,70 q/ha	0	0	143	34	
Supertriplo (20 % P)		2,75 q/ha	0	55	0	0	
(4) Somma degli apporti dei concimi minerali			89	55	143	34	
Saldo finale = (3)-(4) (valori > 0: deficit di concimazione)				1	0	0	-16

5.2.2 Patata

La patata è una pianta acidofila che reagisce positivamente ai concimi acidificanti. Distribuire questo tipo di concimi, come solfato ammonico $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ e/o solfato di potassio (K_2SO_4) , può, in effetti, mitigare l'influsso delle caratteristiche del suolo sulla patata (Fritsch 2003).

I concimi N liquidi o contenenti N in forma ureica $(\text{CH}_4\text{N}_2\text{O})$ sono più soggetti alla volatilizzazione dell' NH_3 rispetto al NH_4NO_3 . La diversa efficacia di questi tre tipi di concimi N è riconducibile principalmente alla tecnica di distribuzione. L'interramento del concime durante la rincalzatura permette di limitare, o perfino di annullare, le perdite per volatilizzazione. In questo caso, le tre forme di N hanno efficacia comparabile. Invece, se il concime viene distribuito in superficie, sia dopo sia parecchi giorni prima della rincalzatura, il NH_4NO_3 ha il vantaggio di limitare le perdite per volatilizzazione, soprattutto in assenza di precipitazioni.

Nel caso in cui l'intero apporto N sia fornito alla piantagione o durante la rincalzatura, è preferibile privilegiare l' $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ o il solfato ammonico $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ perché liberano N più lentamente rispetto al NH_4NO_3 .

Le concimazioni K sotto forma di cloruro di K (KCl) o di K_2SO_4 hanno effetti simili sulla resa. I concimi a base di Cl riducono gli imbrunimenti durante la friggitura e permettono anche di moderare il tenore in amido delle patate, al contrario del SO_4^{2-} che permette di aumentarlo.

Per quanto concerne il P, vanno privilegiati i concimi solubili, facilmente assimilabili dalle piante (Cohan 2014; Ryckmans 2009).

5.2.3 Mais

Il mais valorizza bene sia i concimi organici, che rilasciano lentamente i loro elementi nutritivi, sia l'N mineralizzato, messo a disposizione dal suolo grazie al suo periodo di crescita che si protrae dalla primavera all'autunno.

Tra i concimi organici di origine animale, come liquami e letame, il ruolo principale spetta ai primi. La liquamazione in presemina andrebbe fatta in prossimità della semina stessa e interrando i liquami, per prevenire le perdite gassose di NH_3 . I liquami si possono distribuire anche in preemergenza e in postemergenza del mais, a patto di interrare immediatamente, lavorando leggermente l'interfila, e di ridurre al minimo l'imbrattamento delle foglie, sempre con l'obiettivo di limitare la volatilizzazione dell' NH_3 .

Anche i concimi minerali di sintesi si possono usare senza particolari controindicazioni, purché calibrati sulle esigenze della mais e sulla disponibilità del suolo. Localizzando piccole quantità di P disponibile e di N vicino ai semi di mais, si può favorirne lo sviluppo giovanile, soprattutto nei suoli freddi.



Apporto di concimi differenziati su frumento (fotografia: Agroscope).

5.3 Epoca e frazionamento della concimazione

5.3.1 Cereali

La concimazione N si suddivide abitualmente in 2 o 3 frazioni (tabella 26), distribuite in precisi stadi di sviluppo dei cereali (figura 1). La valorizzazione dell'N dipende da numerosi fattori, in particolare dalla pluviometria, dal tipo di suolo e dallo stadio di sviluppo raggiunto dalle piante. Alcuni studi mostrano che il coefficiente d'utilizzazione dell'N del concime aumenta col progredire del ciclo della coltura, passando dal 40–50 % allo stadio di accostimento a circa l'80 % quando la foglia a bandiera è completamente spiegata (Arvalis 2014).

Recenti prove hanno confermato che le dosi di N e il suo frazionamento hanno un'influenza notevole sulla resa in granella e sul suo tenore in proteine (Levy e Brabant 2016). A parità di N distribuito, un apporto tardivo alla fioritura comporta sistematicamente una diminuzione della resa rispetto a un apporto più precoce. Un terzo apporto di N aumenta spesso il tenore in proteine della granella, cosa di notevole importanza per il frumento panificabile di classe Top. A parità di N distribuito (140 kg N/ha), un apporto considerevole alla comparsa della foglia a bandiera (80 kg N/ha invece di 40 kg N/ha) aumenta il tenore in proteine (dello 0,4 %), senza condizionare la resa (Levy e Brabant 2016). La scelta varietale rimane comunque il mezzo più semplice da gestire per influenzare il tenore in proteine della granella di frumento.

5.3.2 Patata

Il frazionamento della concimazione N permette di limitare le perdite per dilavamento e di adattare gli apporti alla dinamica dei fabbisogni della pianta (tabella 26 e figura 2). L'ultimo apporto non deve essere troppo tardivo per non favorire lo sviluppo della parte aerea della pianta, senza nessun beneficio per lo sviluppo dei tuberi. Idealmente, l'ultima concimazione N va eseguita prima dell'inizio della tuberizzazione, cioè quando le piante raggiungono approssimativamente l'altezza di 20 centimetri (codice BBCH 105). Le varietà di patata presentano dinamiche

Tabella 26. Frazionamento, epoca di distribuzione ottimale e quantità massima ammissibile per i vari apporti di N in funzione di pluviometria e condizioni pedologiche.

Coltura o gruppo di colture	Regioni siccitose ¹ o suoli profondi ²		Regioni umide ³ o suoli superficiali ⁴	
	Epoca o stadio di sviluppo della coltura	Apporto massimo (kg N/ha)	Epoca o stadio di sviluppo della coltura	Apporto massimo (kg N/ha)
Cereali, miglio e mais				
Cereali autunnali	In autunno (prima o dopo la semina)	0	In autunno (prima o dopo la semina)	0
	Da fine inverno al risveglio vegetativo	60	Al risveglio vegetativo	60
	Da inizio levata al 1° nodo	80	Al 1° nodo	70
	Con la foglia a bandiera spiegata	80	Dalla comparsa della foglia a bandiera a inizio spigatura	80
	Frumento biscottiero: evitare 3° apporto		Frumento biscottiero: evitare 3° apporto	
Cereali primaverili	Alla semina	40	Alla semina	30
	Dall'accestimento a inizio levata	80	Da 3 foglie a inizio accestimento	50
	Da 2 nodi alla guaina della foglia a bandiera aperta	40	Al 1° nodo	40
			Dalla comparsa della foglia a bandiera a inizio spigatura	40
Miglio	Alla semina	40	Alla semina	40
	All'accestimento	40	All'accestimento	40
Mais da granella e mais da silo	Alla semina	80	Alla semina	40
	Da 6 a 8 foglie	80	Da 4 a 6 foglie	40
			Da 6 a 8 foglie	80
Erbaio di mais	Alla semina	60	Alla semina	40
	Da 4 a 6 foglie	30	Da 4 a 6 foglie	40
Tuberi e radici				
Patata per il consumo diretto e per la trasformazione industriale	Alla piantagione	80	Alla piantagione	40
	Dall'emergenza a piante alte 10 cm	80	Piante alte da 10 a 15 cm	80
			Appena prima che le foglie delle piante della stessa fila si tocchino	40
Patata precoce	Alla piantagione	60	Alla piantagione	40
	Dall'emergenza a piante alte 10 cm	60	Piante alte da 10 a 15 cm	80
Patata da seme	Alla piantagione	50	Alla piantagione	40
	Dall'emergenza a piante alte 10 cm	50	Piante alte da 10 a 15 cm	60
Barbabietola da zucchero e da foraggio	Alla semina	80	Alla semina	40
	Da 4 a 6 foglie	80	Da 4 a 6 foglie	60
			Da 6 a 8 foglie	60
Oleaginose e piante destinate alla produzione di fibra				
Colza autunnale	Alla semina	0	Alla semina	0
	Da fine inverno al risveglio vegetativo	80	Al risveglio vegetativo	80
	All'inizio della levata	80	In levata (30–40 cm)	80
Colza primaverile	Alla semina	50	Alla semina	30
	Dalla formazione della rosetta a inizio levata	80	Alla formazione della rosetta	60
			In levata (30–40 cm)	40
Girasole	Alla semina	80	Alla semina	60
Canapa da olio	Alla semina	40	Alla semina	40
	Con piante alte 15–20 cm	40	Con piante alte 15–20 cm	30

¹ Somma delle precipitazioni da gennaio a giugno < 450 mm.² Riserve d'acqua facilmente disponibile > 70 mm.³ Somma delle precipitazioni da gennaio a giugno > 450 mm.⁴ Riserve d'acqua facilmente disponibile < 70 mm.

Tabella 26 (continuazione)

Coltura o gruppo di colture	Regioni siccitose ¹ o suoli profondi ²		Regioni umide ³ o suoli superficiali ⁴	
	Epoca o stadio di sviluppo della coltura	Apporto massimo (kg N/ha)	Epoca o stadio di sviluppo della coltura	Apporto massimo (kg N/ha)
Oleaginose e piante destinate alla produzione di fibra				
Canapa da fibra	Alla semina	50	Alla semina	40
	Con piante alte 15–20 cm	70	Con piante alte 15–20 cm	80
Lino da olio	Alla semina	50	Alla semina	20
	Con piante alte 15–20 cm	30	Con piante alte 15–20 cm	40
Lino da fibra	Alla semina	30	Alla semina	20
	Con piante alte 15–20 cm	30	Con piante alte 15–20 cm	40
Miscanto	A inizio vegetazione	40	A inizio vegetazione	40
Kenaf	Alla semina	50	Alla semina	30
	Con piante alte 15–20 cm	50	Con piante alte 15–20 cm	60
Colture diverse				
Sovescio	Alla semina	40	Alla semina	40
Tabacco Burley	Alla piantagione	100	Alla piantagione	80
	Da 4 a 6 foglie	80	Da 4 a 6 foglie	100
Tabacco Virginia	Alla piantagione	30	Da 4 a 6 foglie	30

¹ Somma delle precipitazioni da gennaio a giugno < 450 mm.

² Riserve d'acqua facilmente disponibile > 70 mm.

³ Somma delle precipitazioni da gennaio a giugno > 450 mm.

⁴ Riserve d'acqua facilmente disponibile < 70 mm.



Apporto di concimi differenziati su patata (fotografia: Agroscope).

diverse di prelievo dell'N durante il ciclo di sviluppo. Per esempio, nella fase iniziale della coltura, la varietà Laura assorbe meno N della varietà Bintje (figura 9), perché necessita di più tempo per sviluppare l'apparato radicale e iniziare la tuberizzazione (Sinaj et al. 2014). Differenze di questo tipo giustificano il frazionamento della concimazione N in modo che ogni varietà possa disporre dell'N necessario al suo sviluppo nel momento in cui ne ha bisogno.

Anche il frazionamento degli apporti di K è possibile, soprattutto nei suoli leggeri sog-

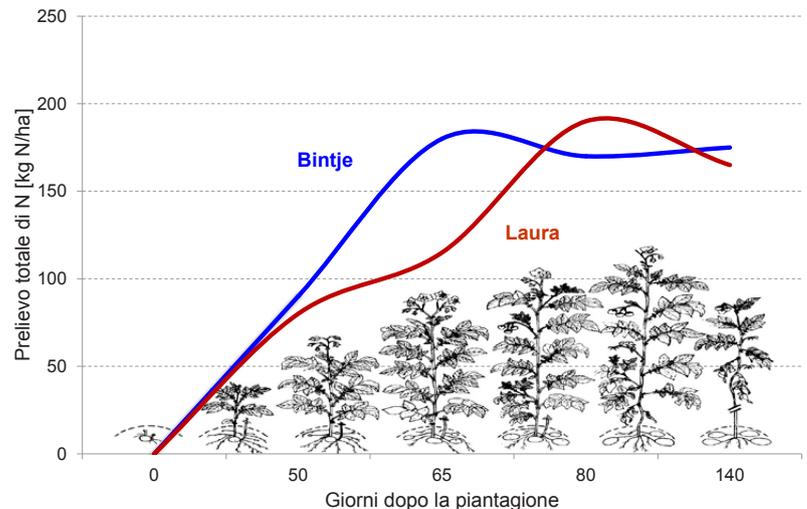


Figura 9. Curve di assorbimento di N delle varietà Bintje e Laura per un apporto totale di 120 kg N/ha (Sinaj et al. 2014).

getti al dilavamento. Nella pratica, metà del K viene distribuito tra gennaio e marzo (in forma organica o minerale), l'altra metà alla piantagione. Si può anche procedere con una concimazione K complementare dopo la rincalzatura o anche durante la tuberizzazione.

Il P va preferibilmente distribuito al momento della piantagione, per evitare i problemi legati alla sua fissazione sulla fase solida del suolo e aumentare la sua utilizzazione da parte delle piante. È possibile inserire un secondo apporto, sotto forma di concime fogliare, poco dopo l'inizio della tuberizzazione. Nel caso si pratici una sola concimazione P e K nella stagione, si raccomanda di effettuarla presto per sopperire alla debolezza dell'apparato radicale.

5.3.3 Mais

Il fabbisogno in elementi nutritivi del mais è modesto fino allo stadio di circa 6 foglie (figura 4). Nei suoli che si riscaldano lentamente in primavera si può accelerare lo sviluppo della plantula localizzando concime vicino ai semi. Gli elementi poco mobili, come P e K, si distribuiscono idealmente prima della semina mentre l'N, a rischio di dilavamento, va distribuito preferibilmente a partire dalla semina e in dosi frazionate (tabella 26), soprattutto laddove piove molto oppure nei bacini imbriferi dei laghi. In questi casi, la concimazione N di copertura andrebbe eseguita appena prima dell'aumento del fabbisogno della pianta (figura 4). Vista la sincronia esistente tra la dinamica di mineralizzazione dell'N del suolo e l'evoluzione del fabbisogno N del mais, gli apporti di N hanno efficacia massima fino allo stadio di 8 foglie della coltura, perché riescono a coprire le elevate necessità del mais fino allo stadio di fioritura.

5.4 Tecniche di distribuzione

5.4.1 Patata

Il frazionamento della concimazione N (tabella 26) è sempre meno praticato dai produttori di patate, che tendono a distribuire tutto l'N necessario alla coltura in un unico apporto in fase di piantagione. Questa soluzione si adatta molto bene alle sempre più diffuse tecniche di piantagione «all in one» che, in un solo passaggio, piantano, rincalzano e concimano la coltura. Se fino a qualche tempo fa si usava effettuare la concimazione N sulle porche, appena prima di rincalzare, oggi giorno è pratica comune distribuire il concime N prima della piantagione o localmente sulla fila (Martin 2014). Dal punto di vista dell'ottimizzazione della disponibilità di N per la pianta, questa pratica non è ideale perché buona parte dell'N distribuito può essere dilavato prima che la pianta abbia il tempo di sviluppare l'apparato radicale (Sinaj *et al.* 2014).

Negli Stati Uniti e nei Paesi del Bacino mediterraneo si pratica la fertirrigazione da diversi anni. La tecnica consiste nell'associare concimazione e irrigazione e offre due vantaggi principali: (i) la facilità d'attuazione (una volta installato il sistema d'irrigazione) e (ii) la sua «dinamicità», nel senso che permette di fornire alle piante acqua e elementi nutritivi nel momento in cui ne hanno bisogno. Le tecniche di fertirrigazione goccia a goccia permettono di limitare le perdite per dilavamento rispetto all'irrigazione tramite «sprinkler» (Darwish *et al.* 2003). D'altro canto, la fertirrigazione non mostra alcun aumento significativo di resa rispetto alla concimazione classica (Battilani *et al.* 2008; Mohammad *et al.* 1999).

5.4.2 Mais

I concimi si distribuiscono e si interrano in presemina e su tutta la superficie oppure si localizzano lungo la fila (P, N). I successivi apporti N vanno frazionati e calibrati in funzione di suolo e meteorologia, rispettando le indicazioni (epoca e quantità massime) della tabella 26. La concima-

zione di copertura si può eseguire su tutta la superficie, a patto di non causare bruciature alle foglie. Localizzare la concimazione lungo la fila, abbinandola alla sarchiatura o alle operazioni di semina, ha il vantaggio di posizionare gli elementi nutritivi vicino all'apparato radicale. Le radici si sviluppano prevalentemente nelle immediate vicinanze delle zone dove si localizza la concimazione o dove si trovano accumuli di elementi nutritivi disponibili. Viceversa, la concimazione di superficie e la conseguente diffusa disponibilità di elementi minerali favoriscono una ramificazione maggiore dell'apparato radicale.

Se possibile, i concimi aziendali vanno iniettati direttamente nel suolo oppure interrati subito dopo la distribuzione, per minimizzare le perdite gassose di NH_3 .

5.5 Possibilità di ottimizzare o di ridurre la concimazione azotata

L'ottimizzazione dell'impiego di N, proposta dai metodi di concimazione presentati in precedenza (capitolo 3.1), si può ulteriormente potenziare applicando una strategia di concimazione dinamica a livello aziendale. Un'alternativa possibile consiste semplicemente nell'estensificare la concimazione N. Se si sceglie questa seconda via, si devono considerare le raccomandazioni seguenti:

- nel quadro di una concimazione equilibrata a livello aziendale, distribuire un contingente limitato di N sulle singole colture in base a criteri economici;
- diluire a sufficienza i liquami da distribuire (al minimo 1:2, idealmente 1:3), per limitare le perdite per volatilizzazione (modulo 7);
- diminuire il rischio di perdite per volatilizzazione, scegliendo concimi N contenenti quote elevate di NO_3^- ;
- evitare singoli apporti superiori a 60 kg N/ha;
- tenere sistematicamente conto delle riserve del suolo (N_{\min} o metodo della norma corretta);
- pianificare la distribuzione di N a livello aziendale, per tenere conto dei fabbisogni specifici delle colture più esigenti e delle colture che lo valorizzano meglio;
- ridurre, o addirittura rinunciare, al terzo apporto N in cerealicoltura oppure posticipare il 2° apporto, soprattutto quando si coltiva estensivamente il frumento foraggero;
- considerare le previsioni meteorologiche a medio termine, per evitare di distribuire un'eccessiva quantità di N prima di un periodo particolarmente piovoso oppure troppo tardi in caso sia previsto un periodo siccitoso;
- eliminare l'apporto di N alla semina o alla piantagione per barbabietola, mais e patata;
- non concimare i sovesci con N, ma seminare miscele a base di leguminose quando le condizioni pedoclimatiche non permettono una mineralizzazione sufficiente della SO.

5.6 Possibilità di semplificare la concimazione fosfatica, potassica e magnesiacca

La concimazione di rotazione permette di semplificare la concimazione annuale con P, K e Mg in parcelle la cui rotazione colturale è chiaramente definita. Essa consiste nel

Tabella 27. Possibilità di rinunciare alla concimazione minerale P, K e Mg in funzione della ricchezza del suolo e della sua profondità utile.

Classe di fertilità del suolo secondo l'analisi	Profondità utile del suolo ¹	Possibilità di rinunciare a P e K	Possibilità di rinunciare a Mg
Povero	Superficiale	No	No
	Profondo	No	No
Moderato	Superficiale	No	No
	Profondo	Sì	Sì
Sufficiente	Superficiale	Sì	No
	Profondo	Sì	Sì
Ricco	Superficiale	Sì	Sì
	Profondo	Sì	Sì

¹ Suolo superficiale: profondità utile < 70 cm ;
suolo profondo: profondità utile > 70 cm.

sommare i fabbisogni netti in P, K e Mg di tutte le colture della rotazione, nel dividerli per il numero di colture e, infine, nel distribuire ogni anno la quantità media ottenuta sulle parcelle interessate. Questa procedura presuppone l'allestimento di un piano di concimazione pluriennale e una rotazione stabile. La si applica facilmente su parcelle il cui stato di fertilità è «sufficiente» o «ricco» (classe di fertilità C o D). La concimazione di rotazione può diventare problematica se il suolo è «povero» e se la rotazione comprende (i) una coltura con elevati fabbisogni nutritivi rispetto alle altre oppure (ii) colture inclini a un consumo di lusso per uno qualsiasi degli elementi nutritivi considerati.

Quando si elabora il piano di concimazione può accadere che la quantità di concimi P, K e Mg da distribuire su determinate parcelle sia limitata o risulti difficile da applicare per motivi tecnici. In questi casi si può considerare di rinunciare alla concimazione secondo le indicazioni della tabella 27.

Rinuncia: si rinuncia a qualsiasi apporto di concime minerale in quanto il fabbisogno della coltura prevista è assicurato ampiamente dalle riserve del suolo, dai residui del precedente colturale o, se del caso, dalla concimazione organica e dalla deduzione anticipata dei residui colturali della coltura prevista (p.es. K nel caso si voglia seminare girasole). È anche possibile rinunciare se le quantità di concime minerale da apportare sono molto limitate e rappresentano soltanto una frazione della norma di concimazione.

Soglia di rinuncia: la soglia di rinuncia è (i) al di sotto di 100 kg/ha per i concimi P e K (semplici o composti) e (ii) al di sotto di 50 kg/ha per i concimi Mg specifici.

Ripporto dei deficit: rinunciare alla concimazione implica che i deficit di bilancio parcellare siano riportati, e debitamente considerati, nel piano di concimazione dell'anno successivo.

6. Bibliografia

- Agroscope, 1996. Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope, volume 1: Analyse de terre et du substrat pour conseil de fumure. Édition 2015.
- Agu C. M., 2006. Effect of nitrogen and phosphorus combination on late blight disease and potato yield. *Tropical Science* 44 (4), 163–165.
- Allison M. F., Fowler J. H. & Allen E. J., 2001a. Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (*Solanum tuberosum*). *Journal of Agricultural Science* 137, 397–409.
- Allison M. F., Fowler J. H. & Allen E. J., 2001b. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. *Journal of Agricultural Science* 136, 407–426.
- Arvalis, 2014. Optimiser l'alimentation de la plante en fractionnant l'azote. In: Interventions de printemps : un tournant décisif pour réussir ses cultures. ARVALIS-CETIOM infos, janvier 2014, 3–4.
- Arnon I., 1975. Mineral nutrition of Maize. International potash institute, Bern, Switzerland. 452 pp.
- Aubertot J. N., Pinochet X. & Doré T., 2003. The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on *Leptosphaeria maculans* development on winter oilseed rape. *Crop Protection* 23 (7), 635–645.
- Battilani A., Plauborg F., Hansen S., Dolezal F., Mazurczyk W., Bizik J. & Coutinho J., 2008. Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of fertigated potatoes. *Acta Horticulturae* 792, 61–67.
- Bedoussac L., Journet E.-P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Jensen E. S., Prieur L. & Justes E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 911–935.
- Brabant C. & Levy Häner L., 2016. Influence de la fumure azotée et de son fractionnement sur la qualité boulangère du blé. *Recherche Agronomique Suisse* 7 (2), 88–97.
- Büchi L., Gebhard C.-A., Liebisch F., Sinaj S., Ramseier H. & Charles R., 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil* 393 (1), 163–175.
- Büchi L., Mouly P., Amossé C., Bally C., Wendling M., et Charles R., 2016. Méthode non destructive d'estimation de la biomasse et des nutriments de couverts végétaux. *Recherche Agronomique Suisse* 7 (3), 136–143.
- Buchner A. & Sturm H., 1985. Gezielter Düngen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany. 381 pp.
- Burns I. G., 2006. Assessing N fertilizer requirements and the reliability of different recommendation systems. *Acta horticulturae* 700, 35–48.
- Buschbell T. & Hoffmann G. M., 1992. The effects of different nitrogen regimes on the epidemiologic development of pathogen on winter-wheat and their control. *Journal of Plant Diseases and Protection* 99, 381–403.
- Cao W. & Tibbitts T. W., 1998. response of potatoes to nitrogen concentrations differ with nitrogen forms. *Journal of Plant Nutrition* 21 (4), 615–623.
- Champolivier L & Reau R., 2005. Améliorer la richesse en huile des oléagineux pour répondre aux besoins du marché. *Oléoscope* 82, 10–13.
- Charles R., Cholley E., Mascher-Frutschi F., 2011. Maladies et rendement de blé d'automne: influence du système de culture. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (6), 264–271.

- Charles R. & Vullioud P., 2001. Pois protéagineux et azote dans la rotation. *Revue suisse d'Agriculture* 33 (6), 265–270.
- Charles R., Collaud J.-F., Levy L. & Sinaj S., 2012. Variétés, densité de semis et fumure azotée sur orge d'automne. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (2), 88–95.
- Cohan J.P., 2014. Engrais, bien choisir la forme à apporter. In: *Innovations et performances pour la pomme de terre*. ARVALIS infos, juin 2014, 14–15.
- Colin J. & Goffart J. P., 1998. La gale commune de la pomme de terre en Belgique: Ses causes, ses conséquences, ses remèdes. Centre de Recherche Agronomique, Gembloux; Station de Phytotechnie, Louvain-la-Neuve; Université Catholique du Louvain, Clinique des Plantes (CORDER). 35 pp.
- Colomb B., 1992. Le Magnésio: bases disponibles pour l'élaboration d'un système de recommandation de fumure. In: *Le Magnésio en agriculture*. Éditions C.H.E.M.C., INRA, Paris, France, 187–209.
- COMIFER, 2013. Calcul de la fertilisation azotée – Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales – Cultures annuelles et prairies. Editions COMIFER, www.comifer.asso.fr, 159 pp.
- Courvoisier N., Levy Häner L., Schwaerzel R., Bertossa M., Thévoz E., Hiltbrunner J., Anders M., Stoll P., Weissflog T., Scheuner S., Dugon J. & Grünig K., 2015. Liste recommandée des variétés de céréales pour la récolte 2016. *Recherche Agronomique Suisse* 6 (6), 1–8.
- Darwish T., Atallah T., Hajhasan S. & Chranek A., 2003. Management of nitrogen by fertigation of potato in Lebanon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 67 (1), 1–11.
- Datnoff L. E., Elmer W. H. & Huber D. M., 2009. Mineral nutrition and plant disease. 2nd edition. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 278 pp.
- Debaeke P. & Estragnat A., 2003. A simple model to interpret the effects of sunflower crop management on the occurrence and severity of a major fungal disease: *Phomopsis stem canker*. *Field crop research* 83, 139–155.
- Debaeke P. & Perez, A. 2003. Influence of sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop management on Phoma black stem (*Phoma macdonaldii* Boerema). *Crop Protection* 22, 741–752.
- Demaria P., Flisch R., Frossard E. & Sinaj S., 2005. Exchangeability of phosphate extracted by four chemical methods. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 89–93.
- Dirks-Scheffer, 1930. Der Kohlensäure-Bikarbonatauszug und der Wasserausgang als Grundlage zur Ermittlung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 71; 73–99.
- Dupuis B., Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2009. Fumure azotée de nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (4), 209–214.
- Fritsch F., 2003. Anwendung von Düngemitteln in landwirtschaftlichen Kulturen: Kartoffeln. In: *Praxishandbuch Dünger und Düngung*, AGRIMEDIA GmbH, Bergen/Dumme, Germany. 311 pp.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Le phosphore dans le sol. Etat de la situation en Suisse. *Cahier de l'environnement n°368*, Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio, Berna, Svizzera, 180 pp.
- Gash A. F. J., 2012. Wheat nitrogen fertilisation effects on the performance of the cereal aphid *Metopolophium dirhodum*. *Agronomy* 2 (1), 1–13.
- Hack H., 1993. Echelle BBCH des stades phénologiques de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). *JKI Open Journal System* 7.
- Holzschläger A., Fossati D., Hiltbrunner J. & Fuhrer J., 2015. Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland. *Regional Environmental Change* 15 (1), 109–122.
- Hebeisen T., Ballmer T., Wüthrich R. & Dupuis B., 2012. Réaction à la fumure azotée de nouvelles variétés de pommes de terre admises à la liste officielle. *Recherche Agronomique Suisse* 1 (3), 82–87.
- Iwama K., 2008. Physiology of the Potato: New Insights into Root System and Repercussions for Crop Management. *Potato research* 51 (3–4), 333–353.
- Jordan V. W. L., Stinchcombe G. R. & Hutcheon J. A., 1989. Fungicide and nitrogen applications in relation to the improvement of disease control and yield in winter barley. *Plant Pathology* 38, 26–34.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J. P., Souchère V., Tournebize J., Savini I. & Réchauchère O., 2013. Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable. Editions Quae, Versailles, France. 112 pp.
- Justes E., Mary B. & Nicolardot B., 2009. Quantifying and modelling C and N mineralization kinetics of catch crop residues in soil: parameterization of the residue decomposition module of STICS model for mature and non mature residues. *Plant and Soil* 325, 171–185.
- Karam F., Roupahel Y., Lahoud R., Breidi J. & Colla G., 2009. Influence of genotypes and potassium application rates on yield and potassium use efficiency of potato. *Journal of agronomy* 8 (1), 27–32.
- Kolbe H. & Stephan-Beckmann S., 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). II. Tuber and whole plant. *Potato Research* 40 (2), 135–153.
- Krnjaja V., Mandic V., Levic J., Stankovic S., Petrovic T., Vasic T., Obradovic A., 2015. Influence of N-fertilisation on Fusarium head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection* 67, 251–256.
- Lagarde F. & Champolivier L., 2006. Le raisonnement et les avancées techniques permettent de réduire la fertilisation azotée: le cas de Farmstar-colza®. *OCL* 13, 384–387.
- Lemmens M., Haim K., Lew H. & Ruckenbauer P., 2004. The Effect of Nitrogen Fertilization on Fusarium Head Blight Development and Deoxynivalenol Contamination in Wheat. *Journal of Phytopathology* 152 (1), 1–8.
- Levy L., Schwaerzel R., Kleijer G. & Crozet N., 2009. Influence de la fumure azotée sur la qualité des blés biscuitiers. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (5), 277–282.
- Levy L., Schwaerzel R. & Kleijer G., 2007. Influence de la fumure azotée sur la qualité des céréales panifiables. *Revue suisse d'Agriculture* 39, 255–260.
- Levy L. & Schwaerzel R., 2009. Fumure azotée et performances agronomiques de variétés de blé et de triticales. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (3), 161–165.
- Levy Häner L., Stamp P., Kreuzer M., Bouguennec A. & Pellet D., 2013. Experimental Determination of Genetic and Environmental Influences on the Viscosity of Triticale. *Cereal Research Communications* 41 (4), 613–625.
- Levy Häner L. & Brabant C. 2016. L'art de fractionner l'azote pour optimiser le rendement et la teneur en protéines du blé. *Recherche Agronomique Suisse* 7 (2), 80–87.
- Limaux F., Recous S., Meynard J.M. & Guckert A., 1999. Relationship between rate of crop growth at date fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat. *Plant and Soil* 214, 49–59.
- Lucas M. E., Hoad S. P., Russell G. & Bingham I. J., 2000. Management of cereal root systems. *Research review N. 43*. HGCA.
- Machet J.M., Recous S., Jeuffroy M.H., Mary B., Nicolardot B. & Parnaudeau V., 2003. A dynamic version of the predictive balance sheet method for fertilizer N advice. In: *Controlling nitrogen flows and losses*, 12th Nitrogen Workshop, 21st–24th September 2003, Exeter, Devon, UK.
- Maltas A., Oberholzer H., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012a. Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (3), 148–155.
- Maltas A., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012b. Effet à long terme des engrais organiques sur le rendement et la fertilisation azotée des cultures. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (3), 156–163.
- Maltas A., Charles R., Jeangros B. & Sinaj S., 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop ni-

- trogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Suisse. *Soil & Tillage Research* 126, 11–18.
- Maltas A., Charles R., Pellet D., Dupuis B., Levy L., Baux A., Jean-gros B. & Sinaj S., 2015. Evaluation de deux méthodes pour optimiser la fertilisation azotée des grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse* 6 (3), 84–93.
- Martin M., 2014. Implantation : attention à la structure du sol. In: *Innovations et performances pour la pomme de terre*, ARVALIS infos, Juin 2014, 10–12.
- Mascagni H.J. Jr., Harrison S.A., Russin J.S., Desta H.M., Colyer P.D., Habetz R.J., Hallmark W.B., Moore S.H., Rabb J.L., Hutchinson R.L. & Boquet D.J., 1997. Nitrogen and fungicide effects on winter wheat produced in the Louisiana Gulf Coast region. *Journal of Plant Nutrition* 20 (10), 1375–1390.
- Mestries E., Desanlis M., Seassau C., Moinard J., Debaeke P. & De-champ-Guillaume G., 2011. Impact de la conduite de culture sur les maladies du tournesol. *Innovations agronomiques* 14, 91–108.
- Micheneau A., Champolivier L., Courtois N., Sinaj S., & Baux A., 2016. Réglette azote colza®: adaptation pour la Suisse d'un outil d'aide à la fertilisation azotée du colza. *Recherche Agronomique Suisse* 7 (9), 378–383.
- Mohammad M. J., Zuraïqi S., Quasameh W. & Papadopoulos I., 1999. Yield response and nitrogen utilization efficiency by drip-irrigated potato. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54 (3), 243–249.
- Naud C., Makowski D. & Jeuffroy M. H., 2008. Is it useful to combine measurements taken during the growing season with a dynamic model to predict the nitrogen status of winter wheat? *European Journal of Agronomy* 28, 291–300.
- Neeteson, J. J., 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fertilizer research* 26 (1–3), 291–298.
- Neumann S., Paveley N.D., Beed F.D. & Sylvester-Bradley R. 2004. Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis f.sp. tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathology* 53 (6), 725–732.
- Olesen J. E., Mortesen J. V., Jorgensen L. N. & Andersen M. N., 2000. Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. I. Yield yield components and nitrogen uptake. *Journal of Agricultural Science* 134 (1), 1–11.
- Olesen J.E., Jorgensen L.N., Petersen J. & Mortensen J.V., 2003. Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control. *Journal of Agricultural Science* 140 (1), 1–13.
- Pavlista A.D., 2005. Early-Season Applications of Sulfur Fertilizers Increase Potato Yield and Reduce Tuber Defects. *Agronomy Journal* 97, 599–603.
- Pellet D., 2000a. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. I. La méthode Jubil est-elle adaptée aux variétés cultivées en Suisse? *Revue suisse d'Agriculture* 32 (3), 103–108.
- Pellet D., 2000b. Dosage du nitrate dans les tiges pour affiner le pilotage de la fumure azotée du blé d'automne. II. La méthode Jubil comme complément à celle des normes corrigées. *Revue suisse d'Agriculture* 32 (4), 165–171.
- Pellet D., Mercier E., Lavanchy J., Pfeiffer H., 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 (4), 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.
- Pellet D. & Grosjean Y., 2007. Fumure azotée du tournesol: intérêt de la méthode Héliotest pour la Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* 39 (1), 5–9.
- Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2006. Fumure azotée et nouvelles variétés de pommes de terre cultivées en Suisse. *Revue suisse d'Agriculture* 38 (6), 309–313.
- Richner W., Flisch R., Sinaj S., Charles R., 2010. Détermination des normes de fumure azotée pour les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse* 1 (11–12), 410–415.
- Ryckmans D., 2009. Quelques rappels sur la fumure phospho-potassique. In: *Fiwap info*, février 2009, 8.
- Sattelmacher B., Kuene R., Malagampa P. & Moreno U., 1990. Evaluation of tuber bearing Solanum species belonging to different ploidy levels for its yielding potential at low soil fertility. *Plant and Soil* 129, 227–233.
- Schvart, C., Decroux J. & Muller J. C., 2005. Guide de la fertilisation raisonnée: grandes cultures et prairies. Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée. Éditions France Agricole, Parigi, Francia. 414 pp.
- Schwaerzel R., Torche J.-M., Ballmer T., Musa T. & Dupuis B., 2016. Liste suisse des variétés de pommes de terre 2015. *Recherche Agronomique Suisse* 5, 11–12.
- SCPA, 1995. Les courbes d'absorption d'éléments minéraux. Ministère de l'agriculture, France
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (1), 98.
- Sinaj S., Maltas A., Dupuis B. & Pellet D., 2014. Response of two potato cultivars to nitrogen fertilization in Switzerland. In: 19th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, 2014. Editions EAPR, Bruxelles, Belgium.
- Smiley R. W. & Cook R. J., 1973. Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. nitrate-nitrogen. *Phytopathology* 63, 882–890.
- Söchting H. P & Verreet J.-A., 2004. Effects of different cultivation systems (soil management, nitrogen fertilization) on the epidemics of fungal diseases in oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*). *Journal of Plant Diseases and Protection* 111 (1), 1–29.
- Sonderegger O. & Scheuner S., 2014. Bekenntnis zur Qualitätsstrategie – Getreidebranche einigt sich auf Proteinbezahlung. *SwissGranum*, Berne, Suisse. Link: <https://www.swissgranum.ch/>.
- Swiss granum, 2015. Produktionsflächen / Surfaces de production. Link: https://www.swissgranum.ch/files/2015-12-18_anbauflaechen.pdf. [6. 2. 2017].
- Swisspatat, 2015. Données statistiques 2014 sur la production et la mise en valeur des pommes de terre. Link: <https://www.kartoffel.ch>.
- Tindall T. A., Westermann D. T., Stark J. C., Ojala J. C. & Kleinkopf G. E., 1993. Phosphorus Nutrition of Potatoes. *Current Information Series No. 903*, University of Idaho, USA.
- Trehan S. P. & Sharma R. C., 2002. Potassium uptake efficiency of young plants of three potato cultivars as related to root and shoot parameters. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 33 (11–12), 1813–1823.
- UNIFA, 2015. Les outils de raisonnement de l'apport de soufre. Link: <https://fertilisation-edu.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation/azote-et-soufre/les-outils-de-raisonnement.html>. [6. 2. 2017].
- USP, 2014. Chapitre 2: Production végétale. In: *Statistiques et évaluations concernant l'agriculture et l'alimentation 2013*, Agrisat, Suisse. Link: <https://www.sbv-usp.ch/>.
- Vullioud P., 2005. Rotation des cultures en terres assolées. *Revue suisse d'Agriculture* 37 (4), 1–4.
- Wendling M., Büchi L., Amossé C., Sinaj S., Walter A. & Charles R., 2016. Influence of root and leaf traits on the uptake of nutrients in cover crops. *Plant Soil* 1–16.
- Westermann D. T. & Kleinkopf G. E., 1985. Nitrogen requirements of potatoes. *Agronomy journal* 77, 616–621.
- Yara, 2008. N-Tester®, le pilotage de l'azote tout simplement. Opuscolo disponibile su: <https://www.yara.fr>, 12 pp. [6. 2. 2017]

7. Indice delle tabelle

Tabella 1. Effetto della concimazione N sui parametri qualitativi del frumento in funzione della sua valorizzazione.	8/4
Tabella 2. Influenza della concimazione N, P e K sulla qualità dei tuberi di patata.	8/6
Tabella 3. Effetti delle concimazioni N e S sul tenore in olio e sulla concentrazione di glucosinolati della colza.	8/8
Tabella 4. Influenza positiva della carenza o dell'eccedenza in N, K, Mg e S sullo sviluppo di alcune malattie del mais.	8/11
Tabella 5. Influenza delle concimazioni N, P e K sulla qualità della barbabietola da zucchero.	8/12
Tabella 6. Prelievi di elementi nutritivi di alcuni sovesci intercalari.	8/14
Tabella 7. Stima dell'N restituito o immobilizzato da alcuni sovesci intercalari in funzione del loro rapporto C/N e della loro crescita.	8/14
Tabella 8. Riassunto di: effetti, vantaggi e limiti di differenti tipi di sovesci intercalari.	8/15
Tabella 9. Rese di riferimento, prelievi e norme di concimazione N, P, K e Mg per le diverse colture erbacee da pieno campo (le norme di concimazione P, K e Mg tengono conto della capacità d'assorbimento delle colture (tabella 21).	8/16
Tabella 10. Correzione della concimazione N in funzione della varietà di patata.	8/20
Tabella 11. Correzione della concimazione N qualora l'obiettivo di resa differisca dalla resa di riferimento.	8/23
Tabella 12. Correzione della concimazione N in funzione del potenziale di mineralizzazione della SO.	8/23
Tabella 13. Correzione della concimazione N in funzione del precedente colturale.	8/24
Tabella 14. Correzione della concimazione N in funzione dell'effetto residuo degli apporti di concimi organici.	8/24
Tabella 15. Correzione della concimazione N in funzione delle precipitazioni invernali e primaverili.	8/25
Tabella 16. Liberazione di N supplementare a seguito di sarchiature ripetute in postemergenza della coltura, in funzione del tenore in SO del suolo.	8/25
Tabella 17. Correzione della concimazione N in funzione delle condizioni meteorologiche primaverili (umidità e temperatura) e dello stato del suolo.	8/25
Tabella 18. Epoca e profondità di prelievo dei campioni per la determinazione del contenuto di N_{min}	8/26
Tabella 19. Concimazione N dei cereali in funzione del tenore in N_{min} del suolo.	8/26
Tabella 20. Concimazione N delle sarchiate in funzione del tenore in N_{min} del suolo.	8/27
Tabella 21. Fattori di correzione della norma di concimazione P, K e Mg a seconda della coltura.	8/29
Tabella 22. Parametri per la valutazione del rischio di carenza di S e per la stima del fabbisogno della concimazione S per le diverse colture.	8/30
Tabella 23. Prelievi di S di alcune colture e raccomandazioni per la relativa concimazione S.	8/31
Tabella 24. Apporti di B e Mn in funzione dei risultati delle analisi del suolo, del tipo di suolo e della coltura prevista.	8/31
Tabella 25. Esempio di piano di concimazione.	8/33
Tabella 26. Frazionamento, epoca di distribuzione ottimale e quantità massima ammissibile per i vari apporti di N in funzione di pluviometria e condizioni pedologiche.	8/35
Tabella 27. Possibilità di rinunciare alla concimazione minerale P, K e Mg in funzione della ricchezza del suolo e della sua profondità utile.	8/38
—	
Allegato. Tenore in elementi nutritivi dei prodotti vegetali.	8/43

8. Indice delle figure

Figura 1. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, S) in funzione dello sviluppo fisiologico del frumento, pianta intera e resa di 60 q/ha.	8/4
Figura 2. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, S, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico della patata, varietà José e resa di 45 t/ha.	8/6
Figura 3. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico della colza.	8/8
Figura 4. Curve d'assorbimento degli elementi nutritivi (N, P, K, Mg) in funzione dello sviluppo fisiologico del mais.	8/11
Figura 5. Gestione di N tra due colture principali, da fine luglio a fine marzo. CITPN: coltura intercalare trappola per nitrati.	8/14
Figura 6. Ciclo dell'azoto a livello parcellare.	8/21
Figura 7. Rappresentazione schematica del metodo della norma corretta.	8/23
Figura 8. Procedimento per il calcolo della norma di concimazione P, K e Mg.	8/28
Figura 9. Curve di assorbimento di N delle varietà Bintje e Laura per un apporto totale di 120 kg N/ha.	8/36

9. Allegato

Tenore in elementi nutritivi dei prodotti vegetali.															
Coltura	Resa del prodotto raccolto	Prodotto	Sostanza secca (SS)	Tenori in elementi nutritivi (kg/t di sostanza fresca [SF])											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
	q/ha	%	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	
Frumento panificabile e biscottiero autunnale	60	granella	85	15,0	25,0	20,2	3,3 (7,5)	4,4 (10,0)	3,6 (8,2)	2,9 (3,5)	4,6 (5,5)	3,6 (4,3)	0,8	1,2	1,2
	70	paglia	85	3,0	7,0	3,1	0,4 (1,0)	1,3 (3,0)	0,8 (1,9)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	8,9 (10,7)	0,6	1,0	0,7
Frumento foraggero autunnale	75	granella	85	15,0	25,0	17,3	3,3 (7,5)	4,4 (10,0)	3,6 (8,2)	2,9 (3,5)	4,6 (5,5)	3,6 (4,3)	0,8	1,2	1,2
	75	paglia	85	2,8	7,0	2,8	0,4 (1,0)	1,3 (3,0)	0,8 (1,9)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	8,9 (10,7)	0,6	1,0	0,7
Frumento primaverile	50	granella	85	18,0	26,0	20,2	3,1 (7,0)	4,3 (9,8)	3,6 (8,2)	2,5 (3,0)	4,2 (5,0)	3,6 (4,3)	1,0	1,4	1,2
	60	paglia	85	3,0	7,0	3,1	0,5 (1,2)	1,0 (2,2)	0,8 (1,9)	6,6 (8,0)	11,6 (14,0)	8,9 (10,7)	0,3	0,7	0,7
Orzo autunnale	60	granella	85	13,0	17,0	14,8	3,5 (8,0)	4,4 (10,0)	3,7 (8,4)	2,7 (4,5)	6,2 (7,5)	4,5 (5,4)	0,8	1,2	1,1
	60	paglia	85	3,0	6,0	4,3	0,8 (1,8)	1,2 (2,8)	1,0 (2,2)	10,0 (12,0)	19,9 (24,0)	13,3 (16,0)	0,2	0,6	0,6
Orzo primaverile	55	granella	85	10,0	16,0	14,8	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,7 (8,4)	4,2 (5,0)	5,8 (7,0)	4,5 (5,4)	0,9	1,3	1,1
	55	paglia	85	3,0	7,0	4,3	0,8 (1,8)	1,2 (2,6)	1,0 (2,2)	13,3 (16,0)	19,9 (24,0)	13,3 (16,0)	0,2	0,6	0,6
Avena autunnale	55	granella	85	13,0	19,0	16,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,0
	70	paglia	85	3,0	7,0	5,0	0,9 (2,3)	1,7 (3,1)	1,2 (2,7)	14,9 (18,0)	19,9 (24,0)	17,4 (21,0)	0,6	1,2	0,9
Avena primaverile	55	granella	85	13,0	19,0	16,5	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,0
	70	paglia	85	3,0	7,0	4,1	1,0 (2,3)	1,4 (3,1)	1,2 (2,7)	14,9 (18,0)	19,9 (24,0)	17,4 (21,0)	0,6	1,2	0,9
Segale autunnale	55	granella	85	13,0	18,0	13,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	70	paglia	85	3,0	7,0	3,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	0,9 (2,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Segale ibrida autunnale	65	granella	85	13,0	18,0	13,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	75	paglia	85	3,0	7,0	3,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	0,9 (2,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Spelta	45	granella	85	14,0	18,0	16,0	3,1 (7,0)	3,9 (9,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,9	1,3	1,1
	70	paglia	85	3,0	7,0	5,0	0,9 (2,0)	1,3 (3,0)	1,1 (2,5)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,8	1,2	1,0
Triticale autunnale	60	granella	85	15,0	20,0	16,0	3,1 (7,0)	4,8 (11,0)	3,1 (7,2)	4,1 (4,9)	5,8 (7,0)	4,1 (4,9)	0,8	1,2	0,9
	75	paglia	85	3,3	10,0	3,3	0,6 (1,4)	1,5 (3,5)	0,6 (1,4)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	14,9 (18,0)	0,6	0,9	0,6
Triticale primaverile	55	granella	85	15,0	20,0	16,0	3,1 (7,0)	4,8 (11,0)	3,1 (7,2)	4,1 (4,9)	5,8 (7,0)	4,1 (4,9)	0,8	1,2	0,9
	70	paglia	85	3,3	10,0	3,3	0,6 (1,4)	1,5 (3,5)	0,6 (1,4)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	14,9 (18,0)	0,6	0,9	0,6

Coltura	Resa del prodotto raccolto q/ha	Prodotto	Sostanza secca (SS) %	Tenori in elementi nutritivi (kg/t di sostanza fresca [SF])											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
				inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.
Farro, farro piccolo	25	granella	85	17,0	27,0	22,0	2,6 (6,0)	4,4 (10,0)	3,5 (8,0)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,8	2,0	1,4
	45	paglia	85	3,0	5,0	4,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	5,8 (7,0)	9,1 (11,0)	7,5 (9,0)	0,4	0,8	0,6
Miglio	35	granella	85	15,2	18,4	16,6	2,4 (5,5)	3,2 (7,3)	2,8 (6,4)	1,8 (2,2)	2,7 (3,3)	2,4 (2,9)	0,9	1,4	1,2
	45	paglia	85	9,3	11,6	10,7	1,3 (3,0)	3,3 (7,6)	2,4 (5,5)	12,6 (15,2)	25,3 (30,5)	18,8 (22,7)	1,8	2,7	2,4
Mais da granella	100	granella	85	11,0	15,0	13,0	1,7 (4,0)	3,5 (8,0)	2,6 (5,9)	3,3 (4,0)	4,6 (5,6)	3,3 (4,0)	0,6	1,4	0,9
	110	paglia	85	4,0	8,0	7,3	1,0 (2,4)	1,9 (4,4)	1,1 (2,4)	11,6 (14,0)	24,9 (30,0)	14,5 (17,4)	0,7	1,9	1,3
Mais da silo ¹	185	pianta intera	100	10,0	15,0	11,8	1,7 (4,0)	3,1 (7,0)	2,1 (4,8)	8,3 (10,0)	17,4 (21,0)	10,8 (13,0)	0,9	1,5	1,3
Erbaio di mais o «mais verde» ¹	60	pianta intera	100	14,0	24,0	19,0	2,4 (5,5)	3,3 (7,5)	2,8 (6,5)	18,3 (22,0)	26,6 (32,0)	22,4 (27,0)	0,8	1,2	1,0
Patata per il consumo fresco e l'industria di trasformazione	450	tuberi	22	2,2	3,8	3,0	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,6 (1,3)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,5 (5,4)	0,2	0,2	0,2
	200	foglie	14	0,9	1,9	1,4	0,1 (0,3)	0,3 (0,7)	0,2 (0,5)	3,3 (4,0)	7,5 (9,0)	5,4 (6,5)	0,2	0,5	0,4
Patata precoce	300	tuberi	18	1,7	2,9	2,3	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,7 (1,5)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,2	0,2	0,2
	200	foglie	8	2,5	4,1	3,3	0,2 (0,5)	0,4 (0,9)	0,3 (0,7)	3,3 (4,0)	8,3 (10,0)	5,8 (7,0)	0,3	0,8	0,6
Patata da seme	250	tuberi	18	1,7	2,9	2,3	0,4 (1,0)	0,9 (2,0)	0,7 (1,5)	3,3 (4,0)	5,0 (6,0)	4,2 (5,0)	0,2	0,2	0,2
	200	foglie	8	2,5	4,1	3,3	0,2 (0,5)	0,4 (0,9)	0,3 (0,7)	3,3 (4,0)	8,3 (10,0)	5,8 (7,0)	0,3	0,8	0,6
Barbabietola da zucchero	900	radici	22	1,2	2,5	1,2	0,3 (0,6)	0,4 (1,0)	0,3 (0,7)	1,7 (2,0)	3,3 (4,0)	1,7 (2,0)	0,2	0,4	0,3
	475	foglie e coltetti	15	2,0	4,0	3,3	0,3 (0,6)	0,9 (2,0)	0,3 (0,7)	4,2 (5,0)	5,8 (7,0)	5,2 (6,3)	0,4	1,0	0,9
Barbabietola da foraggio	175	radici ¹	100	9,0	13,0	11,0	1,7 (4,0)	2,6 (6,0)	2,2 (5,0)	12,5 (15,0)	17,4 (21,0)	14,9 (18,0)	1,1	1,5	1,3
	400	foglie	15	2,0	4,5	3,5	0,3 (0,6)	0,4 (1,0)	0,3 (0,8)	5,0 (6,0)	6,6 (8,0)	5,8 (7,0)	0,5	1,3	0,9
Colza autunnale	35	principale (granella)	90	26,0	34,0	26,1	5,7 (13,0)	8,3 (19,0)	6,4 (14,6)	6,6 (8,0)	9,1 (11,0)	7,1 (8,5)	2,0	3,2	2,4
	90	secondario (paglia)	85	5,0	10,0	7,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	0,9 (2,0)	10,3 (12,4)	14,9 (18,0)	10,3 (12,4)	0,6	2,0	0,6
Colza primaverile	25	principale (granella)	90	26,0	34,0	26,1	5,7 (13,0)	8,3 (19,0)	6,4 (14,6)	6,6 (8,0)	9,1 (11,0)	7,1 (8,5)	2,0	3,2	2,6
	45	secondario (paglia)	85	5,0	10,0	7,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	0,9 (2,0)	10,3 (12,4)	14,9 (18,0)	10,3 (12,4)	1,0	2,0	1,5
Girasole	30	granella	85	28,0	35,0	31,5	3,9 (9,0)	5,7 (13,0)	4,8 (11,0)	6,0 (7,2)	8,0 (9,6)	7,0 (8,4)	2,3	3,7	3,0
	60	paglia	60	8,0	10,0	9,0	1,1 (2,5)	1,2 (2,8)	1,2 (2,7)	45,7 (55,0)	56,4 (68,0)	51,0 (61,5)	6,5	8,5	7,5
Canapa da olio	13	granella	90	40,0	52,0	46,0	8,7 (20,0)	13,1 (30,0)	10,9 (25,0)	5,8 (7,0)	12,5 (15,0)	9,1 (11,0)	4,1	6,7	5,4
	60	paglia	85	7,0	11,0	9,0	1,3 (3,0)	2,2 (5,0)	1,7 (4,0)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	11,6 (14,0)	1,0	2,0	1,5

¹ Rese e tenori riferiti alla sostanza secca (SS).

Coltura	Resa del prodotto raccolto q/ha	Prodotto	Sostanza secca (SS) %	Tenori in elementi nutritivi (kg/t di sostanza fresca [SF])											
				N			P (P ₂ O ₅)			K (K ₂ O)			Mg		
				inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.	inf.	sup.	val.
Canapa da fibra	100	principale (steli)	85	2,0	4,0	3,0	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	5,8 (7,0)	9,1 (11,0)	7,5 (9,0)	0,3	0,7	0,5
	40	secondario (foglie e granella)	90	23,0	32,0	27,5	5,2 (12,0)	7,8 (18,0)	6,5 (15,0)	16,6 (20,0)	29,1 (35,0)	22,8 (27,5)	3,0	7,0	5,0
Lino da olio	20	granella	90	45,0	64,0	54,5	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	5,8 (7,0)	10,0 (12,0)	7,9 (9,5)	0,3	0,7	0,5
	25	paglia	85	4,0	8,0	6,0	1,7 (4,0)	2,6 (6,0)	2,2 (5,0)	10,8 (13,0)	19,1 (23,0)	14,9 (18,0)	0,5	1,2	0,9
Lino da fibra	45	granella	85	8,0	12,0	10,0	2,6 (6,0)	3,5 (8,0)	3,1 (7,0)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	1,0	3,0	2,0
	15	paglia	90	45,0	64,0	54,5	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	5,8 (7,0)	10,0 (12,0)	7,9 (9,5)	0,3	0,7	0,5
Miscanto ¹	200	pianta intera	100	1,8	2,4	2,1	0,3 (0,8)	0,5 (1,1)	0,4 (1,0)	3,7 (4,5)	5,6 (6,7)	4,6 (5,6)	0,2	0,3	0,3
Kenaf ¹	50	pianta intera	100	15,0	25,0	20,0	3,9 (9,0)	6,5 (15,0)	5,2 (12,0)	10,0 (12,0)	16,6 (20,0)	13,3 (16,0)	1,0	3,0	2,0
Pisello proteico	40	granella	85	30,0	40,0	35,0	3,5 (8,0)	5,2 (12,0)	4,4 (10,0)	8,3 (10,0)	11,6 (14,0)	10,0 (12,0)	0,9	1,5	1,2
	50	paglia	85	16,0	24,0	20,0	2,2 (5,0)	4,4 (10,0)	3,3 (7,5)	10,8 (13,0)	15,8 (19,0)	13,3 (16,0)	1,8	2,6	2,2
Favino	40	granella	85	30,0	50,0	40,0	4,8 (11,0)	7,4 (17,0)	6,1 (14,0)	8,3 (10,0)	14,9 (18,0)	11,6 (14,0)	2,0	3,0	2,5
	45	paglia	85	20,0	40,0	30,0	1,3 (3,0)	1,7 (4,0)	1,5 (3,5)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	2,8	3,8	3,3
Soia	30	granella	85	45,0	75,0	60,0	4,4 (10,0)	7,8 (18,0)	5,1 (11,7)	12,5 (15,0)	19,1 (23,0)	16,0 (19,3)	2,0	3,0	2,0
	30	paglia	85	25,0	45,0	35,0	4,4 (10,0)	6,5 (15,0)	5,1 (11,7)	16,6 (20,0)	33,2 (40,0)	17,8 (21,4)	2,9	8,0	2,9
Lupino dolce	30	granella	88	45,0	65,0	55,0	3,5 (8,0)	5,2 (12,0)	4,4 (10,0)	9,1 (11,0)	13,3 (16,0)	11,2 (13,5)	1,6	2,4	2,0
	30	paglia	85	25,0	45,0	35,0	1,3 (3,0)	2,2 (5,0)	1,7 (4,0)	12,5 (15,0)	20,8 (25,0)	16,6 (20,0)	3,0	5,0	4,0
Sovescio ¹ (con leguminose)	35	pianta intera	100	34,1	49,4	43,6	3,0 (6,9)	5,8 (13,3)	4,5 (10,3)	22,8 (27,5)	41,2 (49,6)	29,1 (35,1)	1,9	3,4	2,7
Sovescio ¹ (senza leguminose)	35	pianta intera	100	10,6	38,6	24,2	2,7 (6,2)	10,2 (23,4)	3,9 (8,9)	16,1 (19,4)	64,8 (78,1)	40,9 (49,3)	1,1	6,1	2,2
Colture intercalari ¹ (per utilizzazione)	25	pianta intera	100	24,0	32,0	28,0	3,5 (8,0)	4,8 (11,0)	4,1 (9,5)	20,8 (25,0)	37,4 (45,0)	29,1 (35,0)	2,0	3,0	2,5
Tabacco Burley ¹	25	foglie	100	25,0	35,0	30,0	2,8 (6,5)	3,5 (8,0)	3,2 (7,3)	33,2 (40,0)	49,8 (60,0)	41,5 (50,0)	2,3	3,3	2,8
	30	steli	100	20,0	26,0	23,0	2,8 (6,5)	3,5 (8,0)	3,2 (7,3)	29,1 (35,0)	45,7 (55,0)	37,4 (45,0)	1,5	2,5	2,0
Tabacco Virginie ¹	25	foglie	100	20,0	30,0	25,0	2,2 (5,0)	2,6 (6,0)	2,4 (5,5)	33,2 (40,0)	45,7 (55,0)	39,4 (47,5)	1,5	2,5	2,0
	25	steli	100	8,0	12,0	10,0	3,3 (7,5)	4,1 (9,5)	3,7 (8,5)	33,2 (40,0)	49,8 (60,0)	41,5 (50,0)	3,0	5,0	4,0
Riso	60	granella		9,0	13,0	11,0	2,6 (4,0)	3,5 (8,0)	3,0 (6,0)	3,3 (4,0)	5,8 (7,0)	4,6 (5,5)	0,6	1,2	0,9
	60	paglia		6,0	7,0	6,5	0,9 (2,0)	1,7 (4,0)	1,3 (3,0)	10,8 (13,0)	23,2 (28,0)	17,0 (20,5)	1,2	2,4	1,8

¹ Rese e tenori riferiti alla sostanza secca (SS).

