

# Fertilizzazione azotata dei cereali autunno-vernini

Alessandro Masoni

Professore Associato di Agronomia e Coltivazioni Erbacee – Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema – Università di Pisa

Silvia Pampana

Tecnico laureato – Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema – Università di Pisa

## 1. Introduzione

La necessità di adottare nuovi modi di fare agricoltura che consentano un maggior rispetto dell'ambiente e una riduzione dei costi di produzione è ormai divenuta pressante. Tra le pratiche agronomiche la fertilizzazione è quella che deve essere maggiormente razionalizzata in quanto fortemente implicata nella contaminazione dell'ambiente, nelle problematiche fitosanitarie e nella quantità e qualità delle produzioni.

Ottimizzare la concimazione dal punto di vista agronomico ed ambientale significa sostanzialmente far assorbire alla coltura la maggior parte, se non la totalità, dell'elemento nutritivo apportato. Inoltre, la quantità fornita, unitamente alle eventuali disponibilità naturali, deve trovarsi in forma facilmente assimilabile dalle piante nei periodi, e solo in questi, in cui hanno la necessità di assorbire gli elementi nutritivi.

### Quadro 1

#### COSA SONO I NITRATI

I nitrati sono composti minerali in cui è presente l'azoto e l'ossigeno ( $\text{NO}_3$ ).

Si formano a partire da altri composti azotati in presenza di ossigeno.

Sono assimilabili dalle piante per il loro nutrimento ma sono pericolosi per l'ambiente in quanto molto solubili e, quindi, molto mobili nel suolo con il rischio che vengano trasportati nelle falde idriche.

Sembrano avere un elevato effetto cancerogeno sulla specie umana.

Tutto ciò è ancora più importante per l'azoto, considerato che le colture necessitano di quantità molto elevate di questo elemento e che la forma chimica essenzialmente assorbita dalle piante, quella nitrica, presenta una elevata mobilità che lo sottopone ad elevati rischi di lisciviazione, con trasporto in profondità ed ingresso nel ciclo dell'acqua locale e globale.

A questo riguardo la Direttiva CE n. 91/676, relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, stabilisce che gli Stati membri elaborino uno o più codici di buona pratica agricola.

Il Regolamento CE n. 1257/99 stabilisce che gli impegni agroambientali e le indennità compensative debbano tenere conto delle ordinarie pratiche agricole che sono individuate come "l'insieme dei metodi colturali che un agricoltore diligente impiegherebbe in una regione interessata". Le misure agroambientali (misura F) devono, invece, prevedere impegni che addirittura oltrepassano la buona pratica agricola "normale" (art. 23, comma 2, del Reg. CE n. 1257/99).

Il produttore agricolo che adotta i Disciplinari di Produzione Integrata deve motivare l'apporto dei fertilizzanti ed esplicitare gli interventi di concimazione che intende attuare mediante la redazione di un piano di fertilizzazione. Tale piano definisce quantità, tempi e modalità di impiego dei fertilizzanti per coltura e per anno.

Il presente opuscolo, destinato agli agricoltori e ai tecnici del settore, è finalizzato alla razionalizzazione della tecnica di concimazione azotata dei cereali autunno-vernini con l'intento di fornire indicazioni circa le possibilità di ottenere produzioni soddisfacenti senza provocare inquinamenti ambientali.

## 2. Azoto

L'azoto è un nutriente ad azione plastica ed occupa una posizione unica tra gli elementi essenziali per la crescita delle piante a causa della elevata quantità assorbita. Viene assorbito principalmente nella fase vegetativa delle piante ed esercita un'azione stimolante sulla crescita, ma viene richiesto anche nella formazione degli organi riproduttivi. Sicuramente è l'elemento nutritivo che maggiormente influenza il livello produttivo delle colture sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo.

La deficienza di azoto determina l'ingiallimento delle foglie, la riduzione della fotosintesi, una crescita stentata e, alla fine, una produzione ridotta e in alcuni casi di scarsa qualità. L'eccesso di azoto, invece, rallenta lo sviluppo delle piante provocando l'allungamento del ciclo, provoca una riduzione della resistenza alle avversità climatiche e parassitarie, un aumento del consumo idrico, l'accumulo di nitrati nei tessuti vegetali, l'inquinamento delle falde idriche e, nei cereali autunno-vernini, favorisce l'allettamento.

In base alla loro concentrazione di azoto totale una valutazione agronomica dei terreni è riportata in tabella 1. In Toscana i valori si aggirano normalmente intorno all'1-2‰ in peso.

Tabella 1. Classificazione agronomica dei terreni in base alla loro concentrazione di azoto totale.	
Azoto totale (g/kg)	Valutazione agronomica
inferiore a 0,5	molto basso
tra 0,5 e 1	basso
tra 1 e 1,5	mediamente fornito
tra 1,5 e 2,2	ben fornito
tra 2,2 e 5,0	ricco
maggiore di 5,0	eccessivamente dotato

In un ettaro di un terreno di medio impasto, con una densità apparente di 1,3 t/m<sup>3</sup> e una

concentrazione di azoto dell'1‰, il quantitativo di azoto totale presente nel suo strato superiore di 40 cm, che è quello maggiormente interessato dall'apparato radicale dei cereali autunno-vernini, si calcola nel modo seguente:

Contenuto di azoto totale del terreno = superficie interessata (m<sup>2</sup>) × profondità (m) × densità apparente (t/m<sup>3</sup>) × concentrazione di azoto (‰);

e risulta pari a:  $10.000 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ m} \times 1,3 \text{ t/m}^3 \times 0,001 = 5,2 \text{ t/ha}$ ;

e, ovviamente, se la concentrazione di azoto del terreno fosse pari al 2‰ il quantitativo totale salirebbe a 10,4 t/ha.

Nel terreno le forme chimiche dell'azoto maggiormente presenti ed importanti sono:

1. azoto organico: è l'azoto contenuto nella sostanza organica del terreno. Non è direttamente utilizzabile dalle piante ma viene lentamente reso disponibile mediante la sua trasformazione in N-NH<sub>4</sub> e in N-NO<sub>3</sub> attraverso il processo di mineralizzazione dell'humus;
2. azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>): è solubile in acqua, ma è trattenuto dal potere assorbente del terreno. Le riserve di azoto ammoniacale del terreno si trovano legate alla sostanza organica e alle argille, grazie soprattutto alla capacità di scambio cationico di queste sostanze;
3. azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>): è solubilissimo in acqua e, in quanto anione, non viene trattenuto dal potere assorbente del terreno. I nitrati presenti nella soluzione circolante del terreno possono essere assorbiti dalle piante e da altri organismi viventi ed entrare così a far parte della frazione organica, essere denitrificati ad azoto molecolare (N<sub>2</sub>) e tornare nell'atmosfera, essere lisciviati verso gli strati più profondi e alla fine verso le falde idriche;

Nel terreno l'azoto si trova per più del 95% del suo contenuto totale in forma organica e per il resto è prevalente la forma ammoniacale, entrambe non direttamente assorbibili dalle piante. La forma nitrica, che è quella assorbibile dalle colture, si trova nel terreno, rispetto alle altre, in quantità molto ridotte e in qualche caso, come, ad esempio, dopo un periodo di intense precipitazioni atmosferiche, il suo quantitativo può scendere fino quasi a zero. La concentrazione di azoto totale del terreno, quindi, deve essere considerata come un indice della fertilità del terreno, più che come valore assoluto, e le elevate quantità presenti non devono assolutamente far pensare di poter ottenere produzioni sufficientemente alte senza ricorrere alla concimazione.

Il ciclo dell'azoto è di tipo gassoso in quanto il suo pool di riserva si trova nell'atmosfera dove è presente sottoforma molecolare (N<sub>2</sub>). Da questa, l'azoto entra nel terreno attraverso:

1. la fissazione biologica, ossia la fissazione dell'azoto molecolare operata dai microrganismi simbiotici e non simbiotici;
2. la fissazione atmosferica, ossia attraverso le piogge;
3. la fissazione industriale, ossia attraverso la concimazione minerale.

Negli ecosistemi naturali il processo più importante è quello dell'azotofissazione biologica, con il quale possono venire apportati al terreno più di 300 kg/ha per anno. I batteri fissatori di azoto si dividono in due gruppi: quelli che vivono liberi nel terreno e quelli che vivono in simbiosi con le piante superiori. I primi fissano quantità di azoto nettamente inferiori a quelle dei secondi e nell'Italia centrale raramente superano una decina di chilogrammi per ettaro per anno. In un sistema agricolo gli azotofissatori liberi non determinano apporti significativi

dell'elemento.

I microrganismi azotofissatori simbiotici dipendono direttamente da alcune piante, normalmente piante superiori, da cui ricevono energia e sostanze nutritive. Il più importante gruppo di batteri simbiotici è quello dei rizobi. Questi batteri vivono in simbiosi con le piante leguminose, e si trovano sulle radici della pianta ospite che li rifornisce di elementi minerali e sostanza organica, mentre i simbiotici riforniscono la pianta di azoto (Tab. 2).

La fissazione atmosferica si verifica a causa delle scariche elettriche (fulmini) che si verificano nell'atmosfera e che forniscono un quantitativo di energia sufficiente a rompere la molecola dell'azoto. In due atomi risultanti sono estremamente reattivi e possono legarsi all'ossigeno o all'idrogeno formando ossidi di azoto o ammoniaca. Successivamente le piogge trasporteranno questi composti dall'atmosfera al terreno.

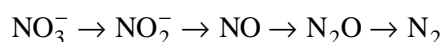
Tabella 2. Stima della quantità di azoto fissato da batteri azotofissatori simbiotici. I valori si riferiscono solo all'azoto contenuto nella parte aerea delle piante.

Specie	Azoto fissato
	kg/ha per anno
Erba medica	300
Trifoglio ladino	180
Trifoglio violetto	300
Pisello	72
Soia	103
Fagiolo	40
Lupino	150
Trifoglio ibrido	130

Infine, la fissazione industriale dell'azoto avviene attraverso i processi industriali di sintesi che portano alla produzione dei concimi chimici.

Le perdite di azoto dal terreno possono avvenire mediante tre vie principali: la denitrificazione, la volatilizzazione e la lisciviazione

La denitrificazione consiste nella progressiva riduzione dei nitrati e/o dei nitriti che vengono trasformati in composti gassosi, come l'azoto molecolare ( $N_2$ ) o il protossido d'azoto ( $N_2O$ ). Essa prevede più tappe e precisamente:



L'azoto perduto per denitrificazione nei suoli agrari italiani, salvo casi molto particolari quali le risaie, non sembra raggiungere livelli particolarmente consistenti e tali da destare preoccupazioni sull'efficienza della fertilizzazione. In particolare, l'entità di tali perdite può essere stimata intorno a 1-5 kg di azoto per ettaro e per ciclo colturale.

La volatilizzazione si verifica quando nel terreno si forma ammoniaca gassosa ( $NH_3$ ); il tasso del fenomeno dipende dal livello di umidità, dalla temperatura e dal pH. Se la superficie del

terreno è umida, l'acqua evapora passando nell'atmosfera e l' $\text{NH}_3$  viene portata nell'atmosfera con il vapore. Sono da menzionare anche le perdite di azoto dal terreno per volatilizzazione dell'ammoniaca contenuta direttamente o derivante dai fertilizzanti, con particolare riferimento alla forma ureica. In Italia questo processo è responsabile di una perdita media del 2% della quantità di fertilizzante azotato somministrata (Tab. 3). Sebbene di entità solitamente limitata, le perdite di azoto per volatilizzazione assumono qualche rilievo in terreni a reazione nettamente alcalina, dove la temperatura della superficie del suolo raggiunge i  $30^\circ\text{C}$  e/o dove l'ammoniaca o le fonti di essa (urea e solfato ammonico fra i concimi) sono applicate in superficie ed in quantità eccedenti la capacità di assorbimento del terreno.

La lisciviazione è il movimento dell'azoto, ad opera delle acque di percolazione, lungo il profilo del suolo fino ad oltrepassare lo strato interessato dall'apparato radicale delle piante. Normalmente la lisciviazione interessa la forma nitrica dell'elemento, sebbene nei suoli sabbiosi possa interessare anche la forma ammoniacale. In conseguenza della lisciviazione, l'azoto viene sottratto all'utilizzazione da parte degli organismi vegetali e disperso nelle acque drenanti del terreno. Il processo rappresenta una perdita sia dal punto di vista nutrizionale sia da quello economico; inoltre, il dilavamento dell'azoto dal terreno può causare inquinamento delle acque di falda superficiali e profonde e, conseguentemente, dei pozzi di acque potabili. L'inquinamento delle acque può provocare danni alla salute dell'uomo e degli animali e può determinare il fenomeno dell'eutrofizzazione. L'assunzione da parte degli organismi di un tasso elevato di nitrati può comportare l'insorgere di metaemoglobinemia, che riduce la capacità del sangue di trasportare ossigeno, causando gravi problemi sanitari ed in alcuni casi la morte. Esistono anche preoccupazioni in ordine alla possibilità che i nitrati si trasformino in nitrosammine che hanno effetti cancerogeni.

Tabella 3. Perdite di azoto ammoniacale per volatilizzazione per concimi non interrati. I valori sono in percentuale dell'azoto apportato con la concimazione.

Tipo di concime	Perdita di $\text{N-NH}_4$ per volatilizzazione (%)
Solfato ammonico	8-15
Nitrato ammonico	2-10
Urea	6-25
Fosfato biammonico	1-5
Fosfato monoammonico	4-5
Concimi composti	1-4
Calciocianammide	2-4

L'entità delle perdite di azoto per lisciviazione risulta legata alle caratteristiche climatiche con particolare riferimento all'entità e alla distribuzione delle piogge, alle caratteristiche chimico-fisiche del terreno, alla pianta coltivata e agli interventi agronomici, tra i quali, soprattutto alla quantità di fertilizzante azotato distribuita e all'epoca della distribuzione.

### 3. Concimazione

L'obiettivo primario della concimazione è la corretta nutrizione delle colture, mantenendo o migliorando la fertilità dei suoli.

In altre parole, la concimazione delle colture comprende l'insieme delle pratiche volte a favorire la nutrizione delle piante mediante l'apporto degli elementi nutritivi e attraverso il miglioramento delle caratteristiche del terreno che influenzano lo sviluppo e la capacità di assorbimento delle radici. Queste finalità, diverse ma complementari, trovano riscontro a livello normativo (L. 748/1984) nella suddivisione dei fertilizzanti in "concimi" ed in "ammendanti e correttivi". I primi apportano sostanze minerali od organiche al terreno per migliorarne la funzione trofica, i secondi sono prodotti naturali o sintetici, minerali od organici, capaci di modificare e migliorare le proprietà e le caratteristiche fisico-meccaniche, chimiche e biologiche del terreno.

La concimazione minerale viene effettuata con composti chimici naturali o sintetizzati industrialmente, contenenti i principali nutrienti essenziali, quali azoto (N), fosforo (P) e potassio (K), ma anche zolfo (S), ferro (Fe) ed altri. L'obiettivo fondamentale della concimazione è di fornire alla coltura una disponibilità di elementi nutritivi uguale a quella richiesta dalle piante per il loro accrescimento ottimale.

La fertilizzazione è una delle tecniche che maggiormente influenzano il risultato produttivo, sia per gli aspetti quantitativi che qualitativi. La sua applicazione razionale è indispensabile per mantenere un adeguato livello di fertilità nel terreno, evitare squilibri nutrizionali a carico della coltura e ridurre l'impatto ambientale. Poiché non esistono formule standard di concimazione, si deve operare in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche del terreno e dello stato nutrizionale della coltura, tenendo presente l'insieme delle pratiche agronomiche applicate (avvicendamento colturale, lavorazioni del terreno, irrigazione, ecc.).

#### 4. Classificazione dei concimi

Sulla base legge 19.10.1984 n. 748 "Nuove norme per la disciplina dei fertilizzanti" e successive modificazioni i concimi vengono classificati in:

##### Concimi minerali:

- ü concimi minerali semplici: contengono un solo elemento (es. azotati, fosfatici, potassici, solfatici, ecc.);
- ü concimi minerali composti: contengono due o più elementi (es. binari fosfo-azotati, solfo-potassici, ecc., terziari NPK);
- ü concimi minerali a base di elementi secondari: contengono uno degli elementi secondari: calcio, magnesio sodio o zolfo (es. solfato di calcio, idrossido di magnesio, ecc.);
- ü concimi minerali a base di microelementi (oligoelementi): contengono uno o più microelementi (es. concime borato in soluzione, sale di cobalto, ecc.);

##### Concimi organici:

- ü concimi organici azotati: contengono esclusivamente azoto organico (es. pennone, cornunghia, borlanda, ecc.);
- ü concimi organici NP: contengono azoto organico e fosforo (es. guano, pollina, farina d'ossa, ecc.);

##### Concimi organo-minerali:

- ü concimi organo-minerali azotati: contengono azoto organico da concimi organici e azoto derivante da uno o più concimi minerali semplici (concime organo minerale azotato e concime organo minerale azotato in sospensione);
- ü concimi organo-minerali NP: contengono azoto organico e fosforo derivanti da concimi organici e azoto e fosforo da concimi minerali (concime organo minerale NP e concime organo minerale NP in sospensione);
- ü concimi organo-minerali NK: contengono azoto organico derivante da concimi organici e azoto e potassio da concimi minerali (concime organo minerale NK e concime organo minerale NK in sospensione);
- ü concimi organo-minerali NPK: contengono azoto organico e fosforo derivanti da concimi organici e azoto, fosforo e potassio da concimi minerali (concime organo minerale NPK e concime organo minerale NPK in sospensione).

In base allo stato fisico, i prodotti possono essere solidi o fluidi, che a loro volta si dividono in gassosi e liquidi (soluzioni e sospensioni).

Inoltre, ai fini della commercializzazione sono classificabili come “concimi CE” e “concimi nazionali”; i primi rispondono alle norme UE e possono essere commercializzati in tutti i Paesi della Comunità Europea, i secondi soddisfano i requisiti della legge italiana.

## 5. La concimazione azotata

La concimazione azotata, per la sua funzione, per il comportamento nel suolo delle varie forme di azoto e per i problemi di carattere ambientale, rappresenta l'intervento più complesso da gestire da parte dell'operatore agricolo.

La problematica investe l'identificazione di:

1. dose da distribuire,
2. epoca di distribuzione,
3. tipo di concime o forma azotata da impiegare,
4. modalità di distribuzione.

### 5.1. Dose da distribuire

La dose di concime da distribuire rappresenta il quantitativo di azoto necessario per ottenere il risultato quanti-qualitativo previsto. Si distingue una dose tecnica ottimale, che è quella oltre la quale si annulla la produttività marginale, e una dose economica ottimale, oltre la quale si annulla il reddito marginale della coltura.

Dal punto di vista agronomico la dose ottimale è quella che permette di raggiungere il miglior risultato tecnico sia per quantità e qualità del prodotto che per il mantenimento o l'innalzamento della fertilità del suolo. Dal punto di vista economico è quella che massimizza il reddito e dal punto di vista ambientale è quella che minimizza le alterazioni ambientali.

L'obiettivo agronomico di una buona concimazione azotata è quello di commisurare gli apporti e le epoche di distribuzione dei fertilizzanti ai reali fabbisogni delle colture nell'ambiente pedoclimatico in cui sono attuate.

La dose distribuita al terreno non viene tutta assorbita dalla coltura ma può essere immobilizzata dalla sostanza organica, adsorbita dai colloidali, dilavata per runoff, lisciviata, persa

per volatilizzazione. Secondo stime, largamente approssimative, il destino della dose di azoto distribuita con i concimi è il seguente: il 25-70% viene rimossa dalla coltura concimata, lo 0-30% viene lisciviata nell'anno di applicazione, lo 0-30% viene fissata come sostanza organica, lo 0-10% viene volatilizzata come ammoniaca e lo 0-5% viene denitrificata.

L'efficienza di una concimazione è il rapporto percentuale tra la quantità dell'elemento nutritivo assorbita dalla coltura e quella distribuita con il concime. Ovviamente l'efficienza di utilizzazione dell'elemento fertilizzante diminuisce progressivamente con l'aumentare della dose distribuita (Tab. 4). Oltre a ciò questo parametro è influenzato dal regime pluviometrico, dalle caratteristiche del terreno, dall'epoca e dalla modalità di distribuzione.

La dose di concime azotato da distribuire è il primo parametro da determinare nella formulazione dei piani di concimazione. Un piano di fertilizzazione si basa sul metodo del bilancio semplificato, procedendo alla determinazione o alla stima dei seguenti elementi:

1. fabbisogno delle colture;
2. stato delle riserve di nitrati nel terreno (o azoto pronto);
3. apporti conseguenti la mineralizzazione della sostanza organica;
4. apporti derivanti dalle colture precedenti;
5. apporti residuali derivanti dalla distribuzione, in forma saltuaria o regolare, di fertilizzanti organici.
6. perdite ambientali causate dalla lisciviazione, dalla denitrificazione e dalla volatilizzazione.

Tabella 4. Esempio di risposta del frumento tenero alla concimazione azotata.			
Dose di azoto	Produzione granellare	Asportazioni di azoto	Efficienza di utilizzazione
	t/ha	kg/ha	%
0	3,0	75	-
50	4,5	117	84
100	5,0	140	65
150	5,3	159	56
200	5,5	165	45
250	5,2	172	39

In sintesi per il calcolo della dose di azoto da distribuire si ricorre al bilancio:

Concimazione azotata = Fabbisogno colturale - Apporti ambientali + Asportazioni ambientali.

È necessario procedere con la seguente logica:

1. stimare il fabbisogno di azoto della coltura;
2. stimare quanto può essere reso disponibile dall'ambiente di coltivazione;
3. stimare quanto può essere sottratto dall'ambiente di coltivazione.



### 5.1.1. Stima del fabbisogno della coltura

Il fabbisogno della coltura si determina moltiplicando la produzione attesa dalla coltura per il suo contenuto percentuale dell'elemento nutritivo (Tab. 5).

La resa attesa può essere definita o basandoci su quella conseguita mediamente negli anni precedenti, sullo stesso terreno e con la stessa tecnica colturale, o facendo riferimento a quella mediamente ottenuta nella zona in cui si opera con tecniche di coltivazione considerabili standard. In questo secondo caso, negli anni successivi dovranno essere apportate le necessarie modifiche per ricondurre la situazione media territoriale a quella particolare dell'azienda o addirittura del singolo appezzamento di terreno.

Nei cereali autunno-vernini la concentrazione di azoto (%) dei diversi organi della pianta non è la stessa ma, alla raccolta, è più elevata per la granella che per le foglie, i culmi e le radici. La produzione di biomassa totale della coltura viene quindi suddivisa nelle sue parti principali e cioè, sempre nel caso dei cereali autunno-vernini, in granella, paglia e radici. Successivamente, ciascuno dei valori di biomassa precedenti viene moltiplicato per il relativo contenuto percentuale di azoto in modo da ottenere il contenuto di azoto di ciascuna parte e, facendo una semplice sommatoria, il totale dell'elemento contenuto nella biomassa totale e quindi utilizzato da quella coltura per ottenere quella produzione.

Normalmente il dato meglio conosciuto è quello relativo alla produzione granellare. Da questa si può risalire alla produzione di biomassa dell'intera pianta conoscendo l'harvest index<sup>(1)</sup>, che nei cereali autunno-vernini è mediamente pari a 0,4, e considerando che, sempre mediamente, la biomassa dell'apparato radicale è pari al 15% del peso dell'intera parte aerea. Ad esempio, per una coltura di frumento duro che ha prodotto 40 q/ha di granella si può risalire al peso dei residui aerei utilizzando l'harvest index, e cioè:

- il peso dell'intera parte aerea è pari alla produzione granellare diviso l'harvest index:  $40/0,4=100$  q/ha;
- il peso dei residui aerei è pari al peso dell'intera pianta meno quello della granella:  $100-40=60$  q/ha;
- il peso delle radici è pari al 15% del peso dell'intera parte aerea:  $100 \times 0,15=15$  q/ha.

Tabella 5. Contenuto percentuale di azoto, di fosforo e di potassio del prodotto di alcune specie coltivate. I valori sono riferiti alla sostanza secca.				
Coltura		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		%		
Avena	Granella	1,9	0,7	0,6
	Paglia	0,6	0,2	2,9
Frumento duro	Granella	2,3	1,0	0,6
	Paglia	1,1	0,2	2,3
Frumento tenero	Granella	2,3	0,9	0,6
	Paglia	0,5	0,3	2,3

<sup>1</sup> Harvest index o indice di raccolto: percentuale in peso della granella riferita all'intera parte aerea.

Orzo	Granella	1,9	0,7	0,6
	Paglia	0,6	0,3	1,6
Segale	Granella	2,0	0,9	0,6
	Paglia	0,7	0,2	1,2
Triticale	Granella	1,7	0,8	0,5
	Paglia	0,7	0,3	1,5

E' bene precisare che la concimazione prevede sempre una anticipazione di elemento nutritivo, anticipazione indispensabile per ottenere il risultato produttivo prefisso.

Solo dopo avere stimato la quantità di elemento nutritivo necessario per ottenere una determinata produzione si può passare alla stima delle quantità dell'elemento che l'ambiente (tutto ad eccezione della coltura) potrà mettere a disposizione o sottrarre, in modo da definire la dose di concime da distribuire. Se apporti ed asportazioni esterne risulteranno pari a zero la quantità di elemento nutritivo necessaria per ottenere quella determinata produzione corrisponderà esattamente alla quota da distribuire con la concimazione. Se, invece, dalla differenza tra apporti ed asportazioni ambientali si ottiene un risultato positivo questo andrà sottratto dalla quota precedentemente stimata e la quantità da distribuire con la concimazione diminuirà e viceversa se il risultato è negativo.

Esempio: si stima che una coltura di frumento duro produrrà 40 q/ha di granella, 60 q/ha di residui aerei (culmi, foglie e pula) e 15 q/ha di radici. Si stima anche che quella coltura, in fase di maturazione piena avrà una concentrazione di azoto pari al 2% per la granella e all'1% per residui aerei e radici (che normalmente presentano lo stesso valore). Da questi valori si può risalire alla quantità di azoto della quale la coltura di frumento duro ha bisogno per fornire quella determinata produzione quanti-qualitativa, e cioè: 80 kg/ha si troveranno nella granella, 60 kg/ha nei culmi e nelle foglie e 15 kg/ha nelle radici, per un totale di 155 kg/ha di azoto.

Ammettendo di poter seminare il 15 ottobre e di raccogliere il 1 luglio, in questi 8 mesi e mezzo di ciclo colturale una certa quantità di azoto potrebbe derivare da apporti diversi dalla concimazione e un'altra quota potrebbe invece lasciare l'ambiente di coltivazione e non trovarsi più a disposizione della coltura.

Gli apporti possono derivare:

1. dal terreno, attraverso il processo di mineralizzazione della sostanza organica;
2. dalle precipitazioni atmosferiche;
3. dalla coltura precedente;
4. da concimazioni organiche.

Le asportazioni possono essere dovute a:

1. processo di umificazione dei residui colturali della coltura precedente o del concime organico distribuito;
2. denitrificazione;
3. volatilizzazione;
4. lisciviazione.

#### 5.1.2. Apporti derivanti dalla mineralizzazione della sostanza organica

Come abbiamo visto la maggior parte dell'azoto presente nel terreno si trova all'interno

della sostanza organica, umificata e non, che mediamente contiene il 5% di azoto. La sostanza organica del terreno viene progressivamente decomposta ed ossidata ad opera di microrganismi ed agenti atmosferici per cui libera l'azoto che contiene. Uno strato di 50 cm di un terreno di medio impasto, avente un contenuto di sostanza organica del 2%, contiene in forma organica circa 6.000 kg/ha di azoto. Ammettendo che l'humus del terreno venga degradato con un tasso medio annuo dell'1%, si può stimare che da quel terreno si liberino, in un anno, circa 60 kg/ha di azoto minerale.

E' bene precisare, però, che in condizioni standard l'agricoltore non può e non deve far conto su questa quantità per ridurre la dose di concimazione azotata. Innanzitutto, perché solo una parte di questo azoto potrà essere effettivamente utilizzata dalla coltura in quanto una quota percentualmente rilevante verrà utilizzata dai microrganismi del terreno per costruire nuova sostanza organica attraverso il processo di umificazione. In secondo luogo perché, nel tempo, si provocherebbe una riduzione del contenuto di humus del terreno con pesanti ripercussioni negative sulla fertilità dello stesso.

#### 5.1.3. Apporti derivanti dalle precipitazioni atmosferiche

La fissazione atmosferica apporta quantità di azoto al terreno diverse in dipendenza dell'entità delle piogge e della loro concentrazione di azoto. Quest'ultima presenta discrete variazioni durante l'anno risultando più elevata in inverno e più ridotta in estate, comunque, nella Toscana litoranea, può essere mediamente considerata pari a 2 mg/l, per cui, ammettendo di avere una precipitazione annua di 1.000 mm (pari a 10.000 m<sup>3</sup>/ha), che corrisponde a quella media di Pisa, l'apporto di azoto dovuto alle piogge può essere considerato mediamente pari a 20 kg/ha per anno.

#### 5.1.4. Apporti derivanti dalla coltura precedente

Una certa quantità di azoto può derivare dalla coltura precedente se questa era una leguminosa, viceversa se la coltura precedente era una graminacea e specialmente se per questa sono stati interrati i residui colturali è possibile che si verifichi una sottrazione di azoto.

Le specie leguminose riescono a fissare, grazie ai batteri simbiotici, elevate quantità di azoto che, però, rimangono per la quasi totalità contenute nella biomassa della coltura e vengono asportate dal campo con il raccolto (ad esempio il fieno delle specie da prato) o entrano nel ciclo della sostanza organica del terreno, per cui prima di essere rese disponibili per l'assorbimento della coltura successiva devono essere umificate e poi mineralizzate.

Ad esempio, un prato di erba medica in tre anni può fornire una produzione di 250 q/ha di fieno, che con una concentrazione media di azoto del 3%, contiene 750 kg/ha di azoto, pari a 250 kg/ha per anno. A questa quota si aggiungono circa 40 q/ha di radici con una concentrazione di azoto del 2% e un contenuto di 80 kg/ha. Però il fieno, e l'azoto in esso contenuto, viene asportato dal campo, per cui nel terreno rimane solo l'azoto contenuto nelle radici e nella parte basale degli steli non sfalciati e cioè più o meno 100 kg/ha dopo 3 anni. Questa quantità è ovviamente in forma organica e non può essere considerata tutta prontamente disponibile per la coltura successiva. E' difficile fornire un valore preciso della quantità di azoto che la medica o altre specie leguminose possono lasciare nel terreno in forma prontamente assimilabile per le colture che le seguono nell'avvicendamento, comunque, mediamente, si può pensare che questa quantità ammonti al massimo a 30 kg/ha.

#### 5.1.5. Apporti derivanti da concimazioni organiche

Dopo una letamazione con circa 300 q/ha è possibile stimare che nel primo anno siano disponibili 20-30 kg/ha di N, nel secondo 10-15 kg/ha di N.

I disciplinari di produzione integrata della Regione Toscana prevedono che le quantità di azoto, fosforo e potassio apportate al terreno con la letamazione, nella misura massima di 300 q/ha per anno, possono non essere sottratte ai quantitativi massimi indicati per ciascuna coltura nelle relative schede, in quanto la funzione del letame è in massima parte ammendante, finalizzata al ripristino della fertilità del terreno. Per dosi di letame superiori ai 300 q/ha, si devono conteggiare le unità fertilizzanti di N per i soli quantitativi in eccedenza, nella misura di un valore medio stimato dello 0,2%, tenuto conto delle immobilizzazioni nel terreno. Non si considera l'apporto di P e K per le motivazioni esposte per i concimi organici. Allo stesso modo non verranno conteggiati gli apporti di N, P e K derivanti da colture da sovescio e da compost.

Le colture di specie graminacee per le quali è stata interrata la paglia provocano in genere una immobilizzazione dell'azoto del terreno. La sostanza organica incorporata nel suolo andrà incontro al processo di umificazione per la sua trasformazione in humus. In questo processo i microrganismi interessati operano prima una demolizione dei residui colturali e poi una ricostruzione delle sostanze ottenute fino alla formazione dell'humus. La sostanza organica di partenza, i residui colturali, e quella di arrivo, l'humus, presentano però delle importanti differenze di costituzione, e cioè di composizione chimica, compresa la loro concentrazione di azoto.

Ad esempio, i residui colturali dei cereali autunno-vernini, formati da culmi, foglie, pula e radici, contengono mediamente poco più dello 0,5% di azoto mentre l'humus ne contiene il 5%. Ammettendo di interrare 50 q/ha di paglia di frumento si immettono nel terreno circa 25 kg/ha di azoto. Ora, non tutta la sostanza organica interrata diventa humus, ma una elevata percentuale di questa viene utilizzata dai microrganismi responsabili del processo, quantità che è mediamente pari a poco meno del 90%, per cui da 50 q di paglia si ottengono circa 6 q di humus. In questo esempio, quindi, si parte da una disponibilità di 25 kg/ha di azoto e si arriva ad un prodotto che ne contiene 30 kg/ha, con il prelievo dal terreno dei 5 kg mancanti. Per questo motivo è buona norma distribuire un chilogrammo di azoto per ogni 10 quintali di paglie da interrare e i Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Toscana consentono la distribuzione di azoto sulle paglie dei cereali fino a 30 kg/ha.

#### 5.1.6. Asportazioni dovute alla denitrificazione

Come già accennato l'azoto perduto per denitrificazione non raggiunge nelle normali condizioni toscane livelli consistenti e può essere stimata una perdita massima di 5 kg/ha di azoto per anno.

#### 5.1.7. Asportazioni dovute alla volatilizzazione

Se la distribuzione del concime azotato viene effettuata in maniera appropriata, ed essenzialmente evitando le distribuzioni in copertura su terreni a pH basico, in periodi caldi e con formazione di rugiada, senza interrarli, la volatilizzazione può essere considerata pari a zero.

#### 5.1.8. Asportazioni dovute alla lisciviazione

I fattori che maggiormente influenzano la lisciviazione dell'azoto di un cereale autunno-vernino sono l'entità e la distribuzione delle piogge, la tessitura del terreno e il suo contenuto di sostanza organica, la evapotraspirazione, la dose di concime azotato distribuita, il tipo di concime utilizzato e l'epoca della distribuzione.

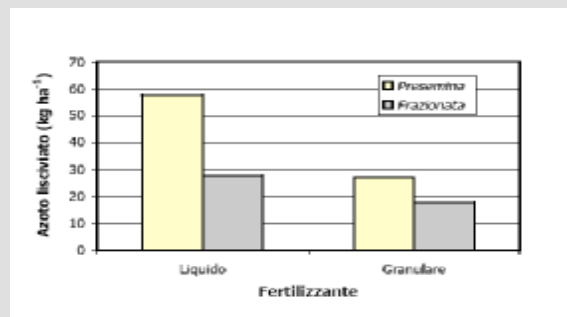
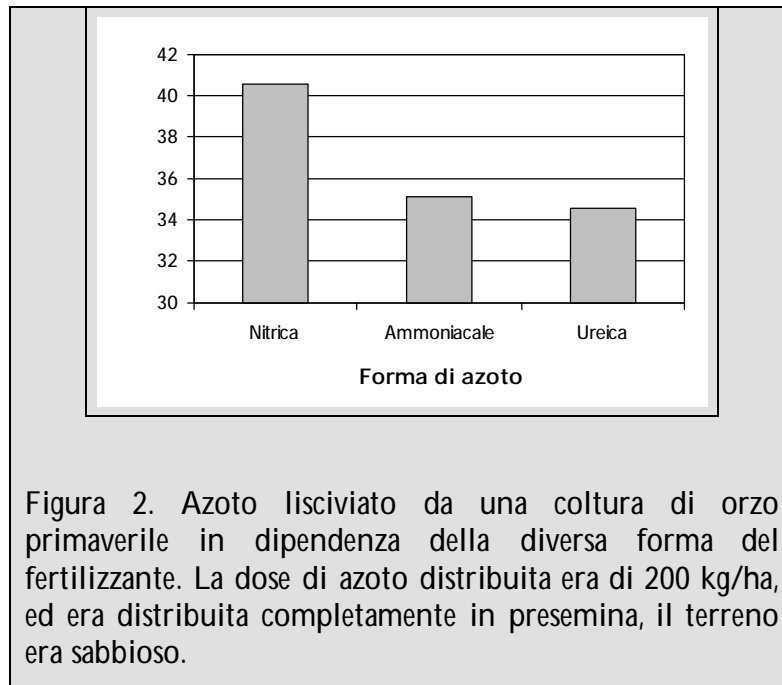


Figura 1. Azoto lisciviato da terreno sabbioso in dipendenza della forma fisica del fertilizzante e del tipo di frazionamento. La distribuzione frazionata era effettuata in 3 interventi di pari entità: il primo in presemina e gli altri due all'inizio della levata. La dose di azoto era pari a 200 kg/ha.

L'acqua costituisce il veicolo mediante il quale l'azoto nitrico si sposta nel terreno e la lisciviazione dell'azoto è, quindi, un fenomeno che, a parità di nitrati presenti, è strettamente dipendente dal bilancio idrico del suolo. Le maggiori perdite di azoto nitrico per lisciviazione si verificano nei periodi in cui le precipitazioni sono elevate e l'evapotraspirazione e l'assorbimento di azoto da parte delle piante sono minimi, ossia, nei nostri ambienti, durante l'autunno e l'inverno. E' bene precisare che la lisciviazione dell'azoto è un fenomeno ineludibile che si verifica anche in assenza di concimazione azotata, in quanto un certo quantitativo di nitrati viene comunque prodotto, naturalmente, dalla mineralizzazione della sostanza organica e dall'ossidazione dello ione ammonio, in qualsiasi terreno. La tessitura del terreno riveste in questo caso un'importanza determinante e i terreni più fertili, più ricchi di humus, e quindi di azoto organico, sono quelli che presentano le perdite più elevate. In assenza di concimazione azotata, ad esempio, un terreno di medio impasto tendente all'argilloso, ben dotato di sostanza organica (2%) può perdere, durante il periodo interessato ad una coltura di frumento, più di 30 kg/ha di azoto, che scendono a 10 kg/ha in un terreno sciolto e povero di sostanza organica.





La concimazione azotata può aumentare anche di molto questi valori così come può lasciarli invariati in dipendenza delle modalità con cui viene effettuata. In genere la lisciviazione dell'azoto è più probabile se si utilizzano concimi liquidi invece che granulari (Fig. 1), se si usa la forma nitrica invece della ammoniacale od ureica (Fig. 2), se si distribuiscono dosi più elevate di quelle necessarie per un buon accrescimento della coltura e, soprattutto, se la concimazione viene effettuata in un periodo in cui si ha una elevata piovosità, una bassa temperatura e un ridotto accrescimento delle piante. In sintesi l'epoca della distribuzione del concime azotato è il fattore che maggiormente influisce sulla lisciviazione dell'azoto.

## 5.2. Epoca di distribuzione dei concimi azotati

Un importante fattore che influenza l'utilizzazione dell'azoto da parte della pianta è l'epoca in cui viene effettuata la fertilizzazione azotata. In genere le distribuzioni frazionate, effettuate nei periodi in cui la richiesta è maggiore, e cioè nei periodi di più intenso accrescimento, fanno sì che la coltura riesca ad assorbire una quantità di azoto più elevata rispetto alle situazioni in cui si ha una applicazione concentrata in un'unica soluzione.

L'epoca ottimale dovrebbe essere individuata in funzione soprattutto della fisiologia della specie coltivata e dell'andamento climatico della zona in cui si opera, calibrando opportunamente il frazionamento e il tipo di concime utilizzato.

I cereali autunno-vernini sono piante annuali, con un ciclo colturale che va da ottobre a luglio e un ciclo biologico composto da diverse fasi fenologiche. Tra queste le più importanti sono la germinazione ed emergenza, l'accostimento, la levata, la spigatura-fioritura, la maturazione lattea, la maturazione cerosa e la maturazione fisiologica (Fig. 3). Il periodo compreso tra la spigatura e la maturazione fisiologica prende anche il nome di grain filling e cioè riempimento della granella.

Durante la fase di accostimento dei cereali autunno-vernini si ha la produzione di culmi secondari a fianco di quello principale. Il processo inizia con la emissione della 4<sup>a</sup> foglia e si conclude con la formazione del 1° nodo sul culmo principale, quando, per convenzione, inizia la fase di levata. In questo periodo, che ricopre la parte autunnale e quella invernale del ciclo

(mediamente dalla semina a marzo) l'accrescimento delle piante e l'assorbimento degli elementi nutritivi è sempre molto ridotto. Quando, alla fine dell'inverno, la temperatura inizia ad alzarsi, i cereali autunno-vernini entrano nella fase di levata, che consiste nel progressivo allungamento dei tratti internodali dei culmi, e che si conclude quando l'ultimo internodo si è completamente allungato ed ha espulso la spiga che, formatasi già nel periodo precedente la levata, si è progressivamente accresciuta fino a raggiungere le sue dimensioni finali. Immediatamente dopo questa fase, detta di spigatura, abbiamo la fioritura e la fecondazione dopo la quale cominciano a formarsi e ad ingrossarsi le cariossidi.

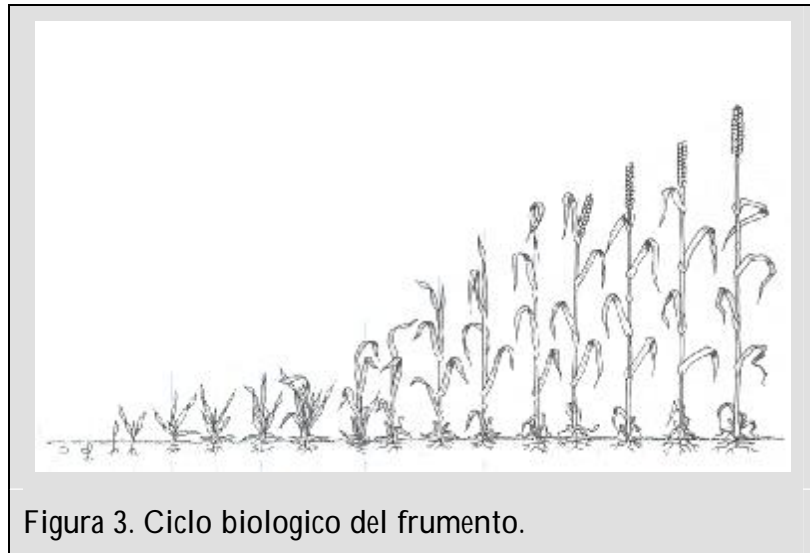


Figura 3. Ciclo biologico del frumento.

Per i cereali autunno-vernini la maggior parte dell'azoto viene assorbito dopo l'inizio della fase di levata. Prima di questa fase la dimensione delle piante è ancora molto ridotta e la coltura ha bisogno, per il suo accrescimento, di quantità di azoto relativamente ridotte. In media, si può stimare che per una buona coltura di frumento tenero o duro, alla fine della fase di accostimento le piante abbiano assorbito meno di 20 kg/ha di N. Una certa concimazione in presemina è comunque necessaria in quanto nelle prime fasi di accrescimento dei singoli culmi, al loro interno, si ha la differenziazione della spiga e delle spighette che la formano, processo che è dipendente anche dalla disponibilità di azoto, nel senso che il numero di spighette diminuisce in condizioni di carenza azotata. E' ovvio che minore sarà il numero di spighette per spiga, minore sarà il numero di cariossidi che ciascuna spiga potrà portare e minore la produzione granellare. Si ricorda infatti che la produzione granellare è determinata dal seguente prodotto:

Produzione di granella = numero spighe/m<sup>2</sup> × numero cariossidi per spiga × peso medio della singola cariosside.

In condizioni di buona umidità del terreno le piante possono continuare ad assorbire azoto dall'inizio della levata fino alla fase di maturazione cerosa mentre, quando l'umidità del terreno scende a valori inferiori a 1/4 della capacità di campo l'assorbimento dell'azoto si riduce di molto, fino quasi ad annullarsi. In questi casi, per il rifornimento della granella la pianta utilizza l'azoto assorbito precedentemente ed accumulato nei culmi e nelle foglie dai quali viene traslocato verso la spiga. Ad esempio nel grano duro e nella zona di Pisa oltre il 60% dell'azoto contenuto nella granella proviene dalla traslocazione e meno del 40% proviene dall'assorbimento diretto dal terreno nel periodo successivo alla spigatura. La maggior parte,

fino al 90% dell'azoto necessario alla coltura viene quindi assorbito, in condizioni normali, con piogge che si interrompono intorno ai primi di maggio, nel periodo compreso tra la fine dell'accestimento e la spigatura piena ed è in questo periodo che l'agricoltore dovrà distribuire il concime azotato.

Buona norma, specialmente se ci troviamo in un ambiente con forti precipitazioni nel periodo 1 marzo-1 maggio è non distribuire tutta la quota di concimazione immediatamente dopo la fine dell'accestimento, perché buona parte di questa potrebbe venire lisciviata. In queste condizioni, che sono abbastanza generalizzate in tutta la Toscana, sarebbe bene distribuire il 50% della quantità che abbiamo previsto di distribuire in copertura (cioè con la coltura già sviluppata) quando il 1° internodo (quello più basso) del culmo principale ha cominciato ad allungarsi ed ha raggiunto una lunghezza di circa 5-10 cm, ed il restante 50% circa 2-3 settimane dopo questa.

Quadro 2 QUANDO ESEGUIRE LA CONCIMAZIONE AZOTATA	
Per apporti minori di 100 kg/ha	20 kg/ha in presemina, il resto alla comparsa del 1° nodo sul culmo principale
Per apporti superiori a 100 kg/ha	30 kg/ha in presemina, il resto diviso in parti uguali distribuite la prima alla comparsa del 1° nodo sul culmo principale e la seconda 15 giorni dopo.

### 5.3. Concime da impiegare

L'apporto di azoto può essere eseguito sia ricorrendo a concimi che ad ammendanti. Per indirizzare le scelte di seguito si descrivono brevemente le forme di azoto ed il loro comportamento nel suolo, mentre un elenco dei concimi azotati ed il loro titolo è riportato in tabella 6.

Il titolo di un concime rappresenta la percentuale in peso di principio attivo contenuto nel concime stesso. Ad esempio l'urea contiene il 46% di azoto ed ha quindi un titolo di azoto di 46. Dovendo distribuire un certo quantitativo ad ettaro di un determinato elemento nutritivo, si deve conoscere il titolo del concime con il quale viene applicato, dividere il quantitativo dell'elemento per il titolo e distribuire la quantità di concime risultante. Ad esempio dovendo distribuire 150 kg/ha di azoto sottoforma di urea, si divide 150 per 0,46 ( $150/0,46 = 326$  kg/ha) e poi si distribuiscono 326 kg/ha di urea.

Tutti i concimi azotati presentano un titolo di azoto maggiore dell'8% e non contengono quantità dichiarabili di P e K.

#### 5.3.1. Concimi ammoniacali

Lo ione ammonio viene sottoposto a nitrificazione ad opera dei microrganismi del terreno e viene trattenuto dai colloidali del suolo, per cui è poco sottoposto a lisciviazione. L'azione di questi concimi risulta lenta, perché l'azoto in essi contenuto per essere assorbito deve essere trasformato in nitrato, e vengono impiegati principalmente nelle distribuzioni in pre-semina e talora nelle distribuzioni in copertura precoce.



Il solfato ammonico solido è il più impiegato in Italia e presenta un titolo del 20-21%. L'ammoniaca anidra è il concime a più elevato titolo azotato (82%) e viene prodotto dalla sintesi industriale, è un composto gassoso di una certa pericolosità da conservare sotto pressione.

Tabella 6. Elenco e titolo dei principali concimi azotati.

Concime	Titolo (%)
<b>Ammoniacali</b>	
Solfato ammonico	20-21
Sospensione di solfato ammonico	6
Ammoniaca anidra	82
Soluzioni ammoniacali	10-20
Soluzione di tiosolfato d'ammonio	12
<b>Nitrici</b>	
Nitrato di calcio	15,5
Nitrato di magnesio	11
Nitrato di calcio e magnesio	13
Nitrato di sodio	15-16
Solfonitrato di magnesio	19
Nitrato del Cile	15-16
Soluzione di nitrato di calcio	8
Soluzione di magnesio	6
Sospensione di nitrato di calcio	8
<b>Nitro-ammoniacali</b>	
Nitrato ammonico	26-27
Solfonitrato ammonico	25
Stickstoff-magnesia	19
<b>Organici</b>	
Urea	46
Calciocianamide	25

### 5.3.2. Concimi nitrici

L'apparato radicale delle colture assorbe direttamente lo ione nitrico, per questo motivo i concimi nitrici presentano la maggiore prontezza d'azione prestandosi molto bene ad interventi eseguiti in copertura. I nitrati, però, non vengono trattenuti dal potere assorbente del terreno per cui risultano soggetti a dilavamento in presenza di surplus idrico. L'azoto nitrico deve essere, quindi, impiegato nei momenti di maggior assorbimento.

I concimi in commercio più utilizzati sono il nitrato di sodio ed il nitrato di calcio, entrambi hanno un titolo di azoto pari al 15-16% e possono essere prodotti industrialmente. L'impiego è generalmente limitato dal basso titolo.

### 5.3.3. Concimi nitro-ammoniacali

Presentano caratteristiche comuni ai due gruppi precedenti. Il principale è il nitrato ammonico con titolo 26,5%, ma si ricorda anche il solfonitrato ammonico.

#### 5.3.4. Concimi organici

Presentano caratteristiche simili ai composti ammoniacali, sono idonei, quindi, all'impiego in presemina in quanto sono meno lisciviabili e non hanno prontezza d'azione.

Possono presentare volatilizzazione di ammoniaca nel caso di distribuzione senza interrimento. Il biureto e la cianamide possono manifestare azione fitotossica.

La calciocianamide, con titolo 20-21%, ha rappresentato uno dei composti azotati più diffusi in passato per l'azione erbicida e antiparassitaria oltre che fertilizzante.

L'urea è il concime più utilizzato in Italia grazie alla forma granulare, all'alto titolo, alla facile distribuzione, all'azione sufficientemente pronta ed ai bassi costi di trasporto e di unità di azoto. Viene impiegata molto frequentemente anche in copertura.

#### 5.3.5. Concimi a lento effetto

Come già ricordato, i concimi azotati sono soggetti a perdite per dilavamento con conseguente riduzione dell'efficienza della concimazione, costringendo a frazionare gli interventi di distribuzione. Per questo motivo sono stati messi a punto prodotti poco solubili e in grado di liberare nitrati gradualmente nel tempo mediante:

- l'impiego di composti che liberano azoto lentamente come l'ureaformaldeide, la crotonilidiurea, l'isobutilendiurea e l'ossammide;
- la protezione dei granuli di concime con sostanze che ne rallentano la solubilizzazione quali zolfo, cere e resine;
- l'impiego di sostanze che inibiscono la nitrificazione (dicianammide, piridine, cloroaniline);
- l'utilizzazione di inibitori della nitrificazione come il tiosolfato d'ammonio.

#### 5.4. Modalità di distribuzione dei concimi azotati

La problematica interessa la meccanica di distribuzione, la localizzazione, l'interrimento ed il frazionamento o meno della dose.

I concimi possono essere solidi, liquidi e gassosi. Per i primi le caratteristiche che interessano per una corretta manipolazione e distribuzione sono: la dimensione e la distribuzione dimensionale dei granuli, la massa volumica, la resistenza alla rottura e la fluidità. I concimi fluidi hanno modalità particolari, hanno il vantaggio di una maggiore regolarità di distribuzione, un minor costo dell'unità fertilizzante, e un aumento dell'efficacia di assorbimento anche per via fogliare.

L'applicazione dei fertilizzanti al terreno può avvenire con distribuzione su tutta la superficie o per localizzazione e in entrambi i casi con o senza interrimento. In linea di principio l'applicazione dei fertilizzanti dovrebbe interessare solo quello spessore di terreno effettivamente esplorato dagli apparati radicali delle colture.

La scelta delle tecniche di applicazione dei fertilizzanti è condizionata da diversi fattori fra cui:

- esigenze della coltura nelle sue diverse fasi di sviluppo;

- andamento climatico;
- caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche del terreno;
- natura fisica del prodotto fertilizzante (solido, liquido, gassoso);
- caratteristiche chimiche dell'elemento e/o degli elementi nutritivi da applicare (es.: mobilità, immobilizzazione, indici di salinità, ecc.);
- concentrazione di elementi nutritivi del prodotto fertilizzante;
- costo economico globale dell'operazione di fertilizzazione (stoccaggio, trasporto, manipolazione, applicazione al terreno, costo dei prodotti).

Indipendentemente dalle soluzioni tecniche adottate e dalle caratteristiche fisiche dei fertilizzanti da distribuire, il sistema di applicazione prescelto deve essere in grado di distribuire il fertilizzante con efficiente uniformità e regolarità sia lungo la direzione di avanzamento della macchina (uniformità di distribuzione longitudinale) che in senso perpendicolare ad esso (uniformità di distribuzione trasversale).

Per l'applicazione di concimi solidi su tutta la superficie del terreno le macchine esistenti sul mercato sono dei seguenti tipi:

- spandiconcime per reazione centrifuga a dischi (uno o più) o a tubo oscillante;
- spandiconcime per gravità o distribuzione lineare;
- spandiconcime con distribuzione a trasporto pneumatico.

In termini operativi è importante porre attenzione alla taratura dello spandiconcime e all'adozione di una scorretta distanza tra i passaggi in campo della macchina.

## 6. Esempio di piano di concimazione per il frumento duro

### 6.1. Dati noti

Condizioni climatiche medie della Toscana nord-occidentale con precipitazioni atmosferiche annue pari a circa 1000 mm, concentrate nel periodo ottobre-novembre (350 mm) e marzo-maggio (350 mm);

Tessitura del terreno: medio impasto;

Contenuto di sostanza organica del terreno: 2%;

Contenuto di azoto totale del terreno: 1‰;

Produzione granellare attesa (PA): 40 q/ha;

Concentrazione attesa di proteine della granella: 13% pari al 2,3% di azoto (NG);

Concentrazione media di azoto di foglie, culmi, pula e radici (RG): 1%;

Coltura precedente: prato di erba medica (3 anni di durata).

### 6.2. Dati calcolati

Produzione di biomassa aerea (BA) = BA/Harvest Index = 40/0,4 = 100 q/ha;

Produzione di biomassa radicale (BR) = BA×0,15 = 100×0,15 = 15 q/ha;

Produzione di biomassa dei residui aerei e delle radici (BP) = BA+BR-PA = 100+15-40 = 75

q/ha;

Contenuto di azoto della granella alla raccolta (CAG) =  $PA \times NG = 40 \times 0,023 = 92$  kg/ha;

Contenuto di azoto dei residui aerei e delle radici alla raccolta (CAR) =  $BP \times RG = 75 \times 0,01 = 75$  kg/ha;

Quantità di azoto utilizzata dalla coltura alla raccolta (QC) =  $CAG + CAR = 92 + 75 = 167$  kg/ha;

Apporti derivanti dalla mineralizzazione della sostanza organica: 0 kg/ha;

Apporti derivanti dalle precipitazioni atmosferiche: altezza di pioggia  $\times$  concentrazione di azoto delle piogge =  $10.000 \text{ m}^3/\text{ha} \times 2 \text{ mg/l} = 20$  kg/ha;

Apporti derivanti dalla coltura precedente: 30 kg/ha.

Apporti derivanti da concimazioni organiche: 0 kg/ha;

Totale apporti ambientali (EA):  $20 + 30 = 50$  kg/ha;

Asportazioni dovute alla denitrificazione: 5 kg/ha

Asportazioni dovute alla volatilizzazione: 0 kg/ha

Asportazioni dovute alla lisciviazione: 30 kg/ha;

Totale asportazioni ambientali (UA):  $5 + 30 = 35$  kg/ha

Dose di azoto da distribuire:  $QC - EA + UA = 167 - 50 + 35 = 152$  kg/ha.

Frazionamento ed epoche di distribuzione (con uso di soli concimi azotati):

1. distribuzione in pre-semina con interrimento mediante erpice a denti rotanti: 30 kg/ha;
2. distribuzione in copertura nel momento di inizio dell'allungamento del 1° internodo sul culmo principale:  $(152 - 30) / 2 = 66$  kg/ha;
3. distribuzione in copertura effettuata circa 15-20 giorni dopo la prima:  $(152 - 30) / 2 = 66$  kg/ha;

Concime impiegato e dose:

1. distribuzione in pre-semina: concime impiegato urea, titolo 46%, dose da distribuire =  $30 / 0,46 = 65$  kg/ha. In pre-semina è possibile usare anche il fosfato biammonico;
2. prima distribuzione in copertura: concime impiegato urea, titolo 46%, dose da distribuire =  $66 / 0,46 = 144$  kg/ha;
3. seconda distribuzione in copertura: concime impiegato nitrato ammonico, titolo 26%, dose da distribuire =  $66 / 0,26 = 254$  kg/ha.