

# Impostazione del piano di concimazione

**Alessandro Masoni <sup>(1)</sup>, Laura Ercoli <sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema, Università di Pisa

<sup>(2)</sup> Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa

## 1. PIANO DI CONCIMAZIONE

Un piano di concimazione è un documento tecnico che, per una determinata coltura e sulla base:

1. della quantità e qualità della produzione che si prevede di ottenere;
2. delle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche del terreno;
3. delle condizioni climatiche dell'area di coltivazione;
4. delle colture in avvicendamento sull'appezzamento da concimare;

consente di definire, la quantità di un determinato elemento nutritivo da distribuire, il frazionamento della distribuzione (epoche e dosi) e il tipo di concime organico e/o minerale da utilizzare.

L'obiettivo di un piano di concimazione è di commisurare gli apporti degli elementi nutritivi ai reali fabbisogni della coltura senza incorrere in sovra-dosaggi che, oltre a costituire un costo inutile per l'agricoltore, potrebbero provocare inquinamento ambientale, o in sotto-dosaggi che porterebbero a produzioni ridotte e a volte di scarsa qualità e, nel lungo periodo, potrebbero diminuire la fertilità del terreno.

## 2. FERTILIZZAZIONE

La fertilità del terreno rappresenta lo stato del terreno stesso in relazione alla sua capacità di fornire elementi nutritivi essenziali per la crescita delle piante senza provocare fenomeni di tossicità.

La fertilità è basata sia sulla presenza nel terreno di una quantità di elementi minerali, o di nutrienti, sufficiente per soddisfare le necessità della coltura che vive su di esso, sia sulle caratteristiche del terreno stesso che possono modificare, in positivo o in negativo, la possibilità per la specie coltivata di utilizzare quella quantità. In altre parole, per definire la fertilità di un terreno non è sufficiente il quantitativo totale di elementi nutritivi in esso presente, che comunque costituisce una condizione essenziale, ma è necessario valutare la loro reale disponibilità per l'utilizzazione da parte delle piante.

Su questa base, la fertilizzazione delle colture è costituita dall'insieme delle pratiche agronomiche finalizzate al miglioramento della fertilità del terreno. Più precisamente, la fertilizzazione è un insieme di pratiche agronomiche volte a favorire l'accrescimento delle piante mediante l'apporto di sostanze, sia minerali che organiche, in grado di migliorare le condizioni di abitabilità del terreno per le piante stesse mediante la modifica delle sue caratteristiche fisico-meccaniche, chimiche e biologiche, sostanze che nel loro insieme prendono il nome di fertilizzanti.

In relazione alle caratteristiche del terreno che tende a migliorare, la fertilizzazione si divide in:

1. concimazione: quando l'apporto di materiali è finalizzato ad aumentare il contenuto degli elementi nutritivi del terreno necessari per l'accrescimento della coltura;
2. ammendamento del terreno: quando l'apporto di materiali è finalizzato al miglioramento delle caratteristiche fisiche e biologiche del terreno;
3. correzione della reazione del terreno: quando l'apporto di materiali è finalizzato a modificare, innalzandola o riducendola, la reazione del terreno (pH).

Un fertilizzante è una qualsiasi sostanza, minerale o organica, che aggiunta al terreno è capace di aumentarne la fertilità e quindi di modificarne positivamente le caratteristiche fisiche, chimiche o biologiche.

Analogamente alla fertilizzazione i fertilizzanti si dividono in:

1. concimi, rappresentati da quei materiali capaci di migliorare la funzione di nutrizione del terreno. I concimi sono quindi sostanze, minerali o organiche, di origine naturale o di sintesi, in grado di fornire alle colture uno o più elementi chimici ad esse necessari per l'accrescimento;
2. ammendanti, rappresentati da quei materiali capaci di modificare le caratteristiche fisiche e biologiche del terreno ed essenzialmente la tessitura e la struttura (sostanza organica, materiali sabbiosi, condizionatori sintetici della struttura);
3. correttivi, rappresentati da quei materiali capaci di modificare la reazione del terreno (calce viva, gesso, calcare).

### 3. CONCIMAZIONE

L'obiettivo fondamentale della concimazione è di fornire gli elementi nutritivi necessari alle piante coltivate per accrescersi e realizzare la loro produzione. La concimazione può essere effettuata utilizzando materiali organici, e in questo caso si parla di concimazione organica, o materiali inorganici, e in questo caso si parla di concimazione minerale.

Ottimizzare la concimazione significa far assorbire alla coltura la maggior parte, se non la totalità, dell'elemento nutritivo apportato con il concime. Non esistono formule standard di concimazione, ma si deve operare di volta in volta in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche del terreno e delle necessità nutrizionali della coltura, dell'insieme delle pratiche agronomiche applicate (avvicendamento colturale, lavorazioni del terreno, irrigazione, ecc.) e delle condizioni climatiche.

In pratica un piano di concimazione prevede la individuazione:

1. della quantità totale di elemento nutritivo da distribuire (dose da distribuire);
2. del frazionamento della quantità totale da distribuire e cioè se distribuirla in una unica soluzione o frazionarla in più distribuzioni;
3. della fase fenologica o delle fasi in corrispondenza delle quali effettuare la distribuzione (epoca della distribuzione);
4. della forma chimica dell'elemento nutritivo e conseguentemente del tipo di concime da impiegare in ognuna delle distribuzioni previste.

Il metodo di stima di ciascuno dei quattro parametri precedentemente indicati, sebbene sia basato sugli stessi principi teorici, è da un punto di vista pratico strettamente legato alle caratteristiche dell'elemento fertilizzante da impiegare.

### 4. ACCRESCIMENTO DELLE POPOLAZIONI VEGETALI

In un singolo ciclo di crescita, l'accumulo di biomassa di una pianta segue un andamento sigmoideale (Fig. 1). La crescita di una pianta, cioè, avviene secondo un processo continuo che segue una legge esponenziale, e precisamente la legge economica dell'interesse composto continuo, secondo la quale l'incremento che viene prodotto in un dato intervallo di tempo si aggiunge al "capitale" per produrre un nuovo "interesse" nel periodo successivo.

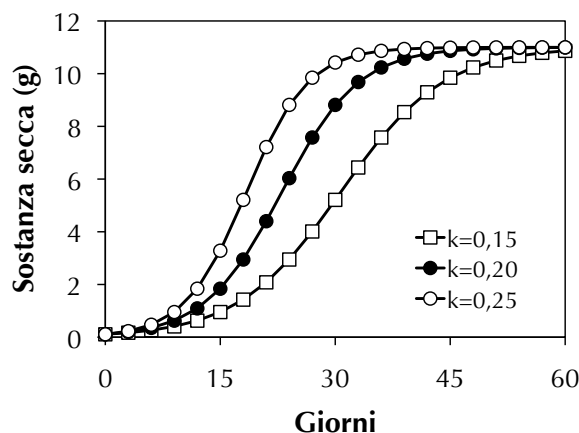
Il tasso di interesse è detto indice di efficienza della produzione di sostanza secca (R) e in termini matematici deriva dalla relazione:

$$Wt_2 = Wt_1 \times e^{R \times (t_2 - t_1)}$$

dove: W: quantità di sostanza secca della pianta o della coltura;

t: tempo;

**Figura 1.** Curve di accrescimento di una pianta nel tempo con diversi tassi specifici di crescita (k).



R: indice di efficienza, che si ammette rimanga costante durante tutto il ciclo della pianta.

In questa situazione,  $W_{t_1}$  è il capitale iniziale, la differenza  $W_{t_2} - W_{t_1}$  è la produzione ed R è la produttività.

Una relazione matematica frequentemente utilizzata per la rappresentazione dell'accrescimento in funzione del tempo è la seguente:

$$W = \frac{W_M}{1 + b \times e^{(-kt)}}$$

dove: W: produzione;

$W_M$ : produzione massima ottenibile o produzione potenziale;

b: diminuzione percentuale di  $W_M$  dovuta al livello della risorsa;

k: tasso specifico di crescita o tasso relativo di crescita. Rappresenta la velocità di raggiungimento dell'asintoto ( $W_M$ ); più ridotto è il suo valore più ritardato è il momento in cui viene raggiunto il massimo accrescimento;

t: tempo.

Nelle curve di crescita o di assorbimento degli elementi nutritivi, in cui il valore di W al tempo 0 è pari a zero, il coefficiente b è uguale ad 1 (Fig. 1) e l'equazione diventa:

$$W = \frac{W_M}{1 + e^{(-kt)}}$$

La produzione di una coltura riflette la capacità collettiva delle piante di intercetta-

re la radiazione solare e di utilizzare le risorse del terreno all'interno di un particolare set di condizioni climatiche. La rappresentazione del processo di crescita deve quindi prevedere la determinazione del modello di accrescimento in condizioni ottimali, che corrisponde al conseguimento della produzione potenziale, caratteristica della specie in esame, e la quantificazione degli effetti riduttivi dovuti alla diminuzione della disponibilità delle risorse.

Nella figura 2 è illustrata la curva di risposta della biomassa ottenuta alla fine del ciclo biologico da una coltura in funzione di diversi livelli di disponibilità di una sola risorsa, e quindi anche di un qualsiasi elemento nutritivo, ammettendo che tutte le altre non siano limitanti, cioè siano sempre presenti nell'ambiente di coltivazione per tutto il ciclo in quantità almeno uguali alle necessità della pianta. La funzione è di tipo asintotico, con i valori che si avvicinano progressivamente alla sua produzione potenziale:

$$W = W_M \times (1 - e^{(-k \times R)})$$

dove: W: produzione;

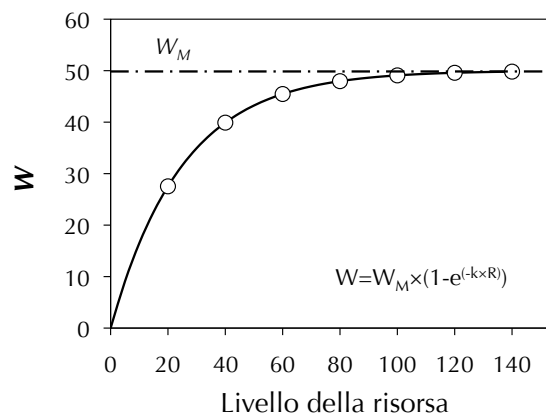
$W_M$ : produzione potenziale, ottenibile in condizioni di ottimale disponibilità della risorsa;

k: tasso specifico di crescita o tasso relativo di crescita, rappresenta la velocità di raggiungimento dell'asintoto ( $W_M$ );

R: risorsa (elemento nutritivo).

Quando una risorsa è presente nell'agroecosistema in quantità insufficiente a soddisfare le necessità della coltura si possono avere risposte diverse nel tempo a seconda del momento in cui la risorsa diventa limitante. Se la risorsa è sempre limitante l'accrescimento (fin dalla emergenza), come ad esempio nel caso di un pH

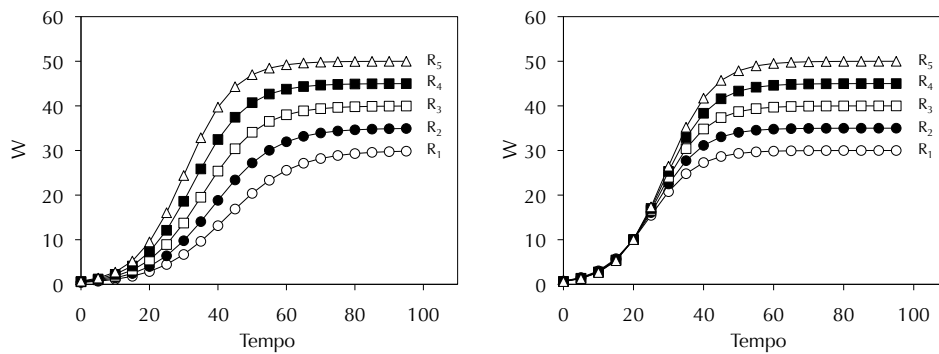
**Figura 2.** Produzione di biomassa (W) ottenuta alla fine del ciclo di crescita in funzione di diverse disponibilità di una risorsa (R).



sfavorevole, si ha la risposta illustrata nel grafico di sinistra della figura 3. Se invece la risorsa viene esaurita dopo un certo periodo di tempo di crescita normale con un adeguato rifornimento, come succede nel caso di una concimazione insufficiente, l'accrescimento viene ridotto da quel momento in poi (grafico di destra della figura 3).

La biomassa prodotta nell'unità di tempo coincide con l'accrescimento della pianta e può essere considerata come la risultante delle interazioni tra il patrimonio genetico della pianta e le caratteristiche dell'agroecosistema nel quale essa è inserita.

**Figura 3.** Produzione di biomassa (W) nel tempo (t) in funzione di diverse disponibilità di una risorsa (R).



## 5. NUTRIZIONE MINERALE

Pur con forti differenze legate alla specie, la biomassa vegetale ha una composizione definita, con precisi rapporti tra le sostanze e gli elementi chimici che la compongono. Conseguentemente, le disponibilità ambientali dovranno essere bilanciate in modo tale da rifornire le piante di elementi minerali in quella determinata proporzione reciproca.

Ad esempio, facendo riferimento alla equazione generale della produzione, la formazione di una mole di protoplasma richiede: 1,3 Mcal di energia, 106 moli di anidride carbonica, 90 moli di acqua, 16 moli di nitrato, 1 mole di fosfato e x moli di altri elementi minerali. Se la disponibilità di uno qualsiasi degli elementi indicati è inferiore a quella indicata, la quantità di protoplasma formata sarà giocoforza inferiore ad una mole. Ad esempio, il necessario rapporto tra CO<sub>2</sub> e NO<sub>3</sub> è pari a 106/16=6,625 e quello tra CO<sub>2</sub> e PO<sub>4</sub> è pari a 106/1=106; se l'ambiente è in grado di fornire non più di una mole di fosfato si potrà avere soltanto la formazione di una mole di protoplasma, indipendentemente dalle disponibilità di CO<sub>2</sub> e di NO<sub>3</sub>, che potranno essere anche molto più elevate di quelle necessarie.

La produzione di biomassa di una pianta non dipende soltanto dalla quantità di uno specifico elemento nutritivo richiesta dalla pianta stessa ma anche dal rapporto che, in un preciso momento del ciclo biologico, si ha tra la quantità richiesta e la

quantità disponibile. Secondo la Legge del minimo (o Legge di Liebig), infatti, la quantità della produzione ottenibile da una determinata coltura è regolata dall'elemento nutritivo che, rispetto alle esigenze della pianta, è disponibile nel terreno in misura più ridotta. Se il rapporto tra quantità necessaria e quantità disponibile è uguale o inferiore ad uno, la risorsa non è limitante, se invece è superiore ad uno, la risorsa è limitante. Nel caso in cui più risorse presentino valori del rapporto richiesta/disponibilità superiore all'unità, la risorsa limitante è quella che presenta il valore del rapporto più elevato.

E' bene precisare che per quantità disponibile di un elemento nutritivo nel terreno non si intende la quantità totale presente nel terreno, ma soltanto quella quota parte del totale che la coltura può effettivamente utilizzare in un definito intervallo di tempo. Ad esempio, alcuni elementi minerali, come l'azoto e il fosforo, sono presenti nel terreno in quantità molto più elevate di quelle necessarie per l'accrescimento di una qualsiasi coltura, ma la loro forma chimica effettivamente utilizzabile dalle piante costituisce una percentuale estremamente ridotta del totale, ed è perciò quest'ultima che deve essere considerata per una valutazione del loro effetto limitante.

La sola presenza di un elemento nutritivo nel terreno non è sufficiente per definirne la sufficienza, ma questa deve essere riferita alla pianta coltivata in quel periodo. La capacità di utilizzazione di una stessa risorsa, infatti, presenta forti variazioni tra le diverse specie coltivate, ad esempio:

- le specie leguminose, grazie alla simbiosi con alcuni microrganismi azotofissatori, possono utilizzare l'azoto presente nell'atmosfera sotto forma di  $N_2$ , per cui per queste piante la quantità presente nel terreno diventa limitante solo in casi particolari, come, ad esempio, negli stadi giovanili, quando il rapporto simbiotico non si è ancora ben affermato;
- le crucifere (senape, colza, ravizzone), alcune leguminose, le poligonacee (grano saraceno) traggono il fosforo dal terreno meglio di altre specie;
- le leguminose utilizzano il potassio meglio delle altre specie, estraendolo anche da rocce non ancora sottoposte a completo disfacimento;
- la barbabietola da zucchero assorbe grandi quantità di potassio, ma risponde poco alla concimazione potassica perchè riesce ad utilizzare anche quello legato ai composti argillosi del terreno;
- il pomodoro necessita di poco fosforo, ma risponde bene alla concimazione fosforica anche in terreni ricchi.

## 6. FLUSSO NUTRITIVO NEL SISTEMA SUOLO-PIANTA

Le piante sono organismi autotrofi, capaci di sintetizzare sostanza organica a partire da composti minerali semplici. L'idrogeno e l'ossigeno vengono prelevati dall'acqua, il carbonio dall'aria e tutti gli altri elementi vengono assorbiti dalla soluzione circolante del terreno dove si trovano sotto forma di sali disciolti. Solo gli

elementi inorganici possono essere assorbiti dalle piante; se essi si trovano nel terreno in forma organica devono essere mineralizzati prima di essere assorbiti.

L'assorbimento degli elementi minerali da parte di una coltura coinvolge diversi processi interconnessi e siccome tutti avvengono simultaneamente, il cambiamento del tasso di uno di essi influenza tutti gli altri, traducendosi in una riduzione o in un blocco dell'assorbimento.

Innanzitutto, perché l'elemento nutritivo venga assorbito è necessario che arrivi a contatto con l'apparato radicale. Una volta a contatto con le radici, il suo assorbimento da parte delle piante può avvenire:

1. in modo attivo, attraverso specifici trasportatori;
2. in modo passivo, grazie alla differenza di concentrazione tra la soluzione circolante e il succo cellulare all'interno dei peli radicali (potenziale osmotico).

In entrambi i casi le quantità assorbite sono legate:

1. alla concentrazione dell'elemento nutritivo all'interno della soluzione circolante del terreno in prossimità della superficie dell'apparato radicale in una forma chimica assorbibile;
2. alla specifica capacità di assorbimento della radice;
3. alla richiesta della pianta per un determinato elemento nutritivo e cioè alla quantità di cui necessita in quel particolare momento del ciclo biologico (ad esempio, nel caso dei cereali autunno-vernini la richiesta è ridotta in fase di accostamento ed elevata in fase di levata).

La concentrazione degli elementi nutritivi in vicinanza delle radici costituisce la prima e più importante fase. Questa deriva:

1. dal passaggio degli elementi nutritivi dalla fase solida (sostanza organica, argilla, concimi, ecc.) alla soluzione circolante del terreno;
2. dalle trasformazioni chimiche e biologiche delle diverse forme chimiche sotto le quali l'elemento può trovarsi;
3. dal movimento degli elementi nutritivi nel terreno fino ad arrivare a contatto con le radici (spesso dipendente dallo stato idrico del terreno).

Nel sistema suolo, gli elementi nutritivi si muovono verso le radici per:

1. intercettazione radicale;
2. flusso di massa;
3. diffusione.

L'intercettazione radicale è un movimento indiretto degli elementi nutritivi rappresentato dal progressivo accrescimento delle radici che le porta ad avere una maggiore superficie di assorbimento e ad occupare un più grande volume di terreno e quindi ad intercettare una maggiore quantità di elementi. L'intercettazione radicale è determinante per quegli elementi nutritivi, tra i quali il fosforo e il potassio, che nel terreno non hanno forme chimiche mobili in soluzione acquosa.



Il flusso di massa rappresenta il principale tipo di movimento degli elementi minerali nel terreno. Nel mais, ad esempio, l'azoto, il boro, il calcio, il ferro, il magnesio, il rame, lo zinco e lo zolfo, arrivano a contatto con le radici principalmente in questo modo.

La diffusione, infine, assume un ruolo determinante per il fosforo e il potassio e in parte per il manganese e il ferro e cioè per quegli elementi che possono muoversi in soluzione acquosa solo in particolari forme chimiche, formate dall'azione della rizosfera e presenti nel terreno per tempi molto brevi.

## 6.1. Intercettazione radicale

Come la radice si accresce e si approfondisce esplora un maggior volume di terreno che le consente di raggiungere ed assorbire un maggior quantitativo di elementi nutritivi.

L'intercettazione degli elementi nutritivi da parte delle radici dipende:

1. dal volume di terreno occupato dalle radici (densità radicale);
2. dalla morfologia dell'apparato radicale;
3. dalla concentrazione di elemento nutritivo nel volume di terreno occupato dalle radici.

La superficie di radice disponibile per l'assorbimento degli ioni è funzione della sua area superficiale e della densità radicale che varia in relazione con le caratteristiche del terreno, la specie e la tecnica agronomica. In tabella 1 è riportato il volume di terreno occupato dalle radici da differenti colture nello strato di terreno più superficiale. Mediamente il volume occupato va dallo 0,7 allo 0,9% di quello disponibile.

**Tabella 1.** Volume di terreno occupato dalle radici di alcune colture nello spessore da 0 a 15 cm.

Coltura	Volume di terreno occupato
	% del disponibile
Soia	0,91
Avena	0,55
Segale	0,85
Mais	0,19 - 1,06
Frumento	0,67
Erba medica	1,10

## 6.2. Flusso di massa

Il flusso di massa è il trasporto passivo verso la radice dei nutrienti contenuti nell'acqua del terreno mano a mano che questa viene assorbita dalla pianta.

La quantità di elemento che raggiunge la radice per mezzo di questo processo dipende dalla concentrazione dell'elemento nella soluzione circolante del terreno e dalla velocità del trasporto dell'acqua alla e dentro la radice.

Il flusso di massa è influenzato dalle caratteristiche del terreno, dalle condizioni climatiche, dalla solubilità in acqua dell'elemento e dalla specie vegetale.

Il contributo del flusso di massa alla nutrizione della pianta può essere calcolato dal prodotto della concentrazione nella soluzione per il volume di acqua traspirato

dalla pianta. A questo si deve aggiungere il movimento della soluzione del terreno non dovuto all'assorbimento dell'acqua da parte delle radici, come i movimenti verso il basso derivanti dalla forza di gravità.

$$F_M = C \times W_U$$

dove:  $F_M$ : flusso di massa;

$C$ : concentrazione di un dato ione;

$W_U$ : assorbimento totale di acqua da parte della pianta, è rappresentato dal suo contenuto idrico sommato alla traspirazione.

In tabella 2 è riportata, per il mais, la stima delle quantità di elementi nutritivi assorbiti attraverso i tre processi del rifornimento nutritivo. Come si può vedere, a condizione che gli elementi siano presenti nella soluzione circolante, il flusso di massa è sufficiente a soddisfare le esigenze nutritive di tutti gli elementi ad eccezione dell'azoto, del fosforo, del potassio, del ferro e del manganese.

**Tabella 2.** Stima delle quantità di elementi nutritivi forniti alle radici di mais per flusso di massa, diffusione ed intercettazione radicale.

Elemento	Quantità assorbita (% del totale)		
	Flusso di massa	Diffusione	Intercettazione radicale
Azoto	79	20	1
Boro	95	3	2
Calcio	71	0	29
Ferro	66	21	13
Fosforo	5	93	2
Magnesio	87	0	13
Manganese	22	35	43
Potassio	18	80	2
Rame	97	0	3
Zinco	84	0	16
Zolfo	98	0	2

### 6.3. Diffusione

La diffusione può essere definita come il movimento di molecole da una zona ad alta concentrazione ad una a bassa concentrazione.

La diffusione può essere descritta con buona approssimazione dalla prima legge di Fick, anche se nel terreno, non essendo un mezzo omogeneo, la relazione di Fick non è perfettamente rispettata:

$$F_D = -k_D \times \left( \frac{dc}{dx} \right)$$

- dove:  $F_D$ : flusso di diffusione;  
 $k_D$ : coefficiente di diffusione (che generalmente descrive la diffusività in un mezzo omogeneo);  
 $dc/dx$ : gradiente di concentrazione.

Nel processo di diffusione sono coinvolti il terreno e la pianta, per cui il tasso di diffusione di un elemento solubile verso la radice è:

$$\frac{dq}{dt} = k_D \times S \times P \times \frac{C_1 - C_2}{L}$$

- dove:  $dq/dt$ : tasso di diffusione alla superficie radicale;  
 $k_D$ : coefficiente di diffusione dell'elemento nutritivo in acqua;  
 $S$ : sezione di area considerata trasversale al flusso, che può essere assunto rappresenti la superficie assorbente delle radici di una pianta;  
 $P$ : frazione del volume di terreno occupata dall'acqua;  
 $C_1$ : concentrazione del nutriente solubile alla distanza  $L$  dalla superficie radicale;  
 $C_2$ : concentrazione dell'elemento sulla superficie radicale;  
 $L$ : distanza tra la superficie radicale e il punto di concentrazione  $C_1$ .

La distanza per il movimento diffusivo degli elementi nutritivi attraverso il terreno è sempre molto ridotta e, generalmente oscilla tra 0,1 e 15 millimetri.

In tabella 3 sono riportati i coefficienti di diffusione di alcuni ioni nella soluzione circolante del terreno. Il fosforo e il potassio hanno i più bassi valori del coefficiente di diffusione, tuttavia le necessità della pianta nei riguardi di questi due elementi nutritivi vengono soddisfatte quasi esclusivamente per mezzo del processo di diffusione.

**Tabella 3.** Coefficiente di diffusione ( $k_D$ ) di alcuni ioni nella soluzione del terreno.

ione	$k_D$ ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )
$\text{NO}_3^-$	$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$
$\text{NH}_4^+$	$1,4 \times 10^{-6}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$1 \times 10^{-8} - 2,4 \times 10^{-11}$
$\text{K}^+$	$1,4 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-8}$

#### 6.4. Assorbimento degli elementi nutritivi

A parità di sviluppo dell'apparato radicale, il trasporto degli ioni presenti nella soluzione circolante del terreno verso la superficie radicale dipende sia dal flusso di massa sia dalla diffusione. Il fenomeno può essere descritto dalla equazione:

$$Fr = De \times \frac{dCs}{dr} + V_0 \times Cl$$

- dove: Fr: flusso alla radice;  
De: coefficiente di diffusione effettivo;  
r: distanza radiale;  
Cs: concentrazione dello ione nella fase solida che prontamente si mette in equilibrio con Cl;  
Cl: concentrazione dello ione nella soluzione circolante;  
V<sub>0</sub>: tasso del flusso idrico dentro la radice.

Una volta che l'elemento ha raggiunto la radice, e cioè il sito di assorbimento, deve essere trasportato al suo interno. Per questo processo sono stati individuati due tipi di cinetica di assorbimento degli elementi nutritivi:

1. trasporto passivo degli ioni all'interno della pianta, lungo un gradiente di concentrazione indipendente dalla energia respirativa;
2. trasporto attivo contro un gradiente di concentrazione, richiedente energia respirativa. Il passaggio dalla soluzione allo xilema avviene per via apoplasmica e per via simplasmica. Nel primo caso, gli ioni si muovono attraverso gli spazi liberi della parete cellulare della corteccia (gli spazi liberi rappresentano dal 10 al 15% del volume corticale). Nel secondo caso, gli ioni attraversano la membrana plasmatica della epidermide e delle cellule corticali.

## 7. REDAZIONE DEL PIANO DI CONCIMAZIONE

Per la redazione di un piano di concimazione è necessaria la conoscenza di:

1. caratteristiche chimico-fisico del terreno sul quale verrà effettuata la coltivazione;
2. caratteristiche climatiche della zona di coltivazione, con particolare riferimento all'entità e alla distribuzione delle precipitazioni atmosferiche;
3. ciclo biogeochimico dell'elemento nutritivo che dovrà essere fornito alle piante con la concimazione;
4. necessità e ritmo di assorbimento durante l'intero ciclo colturale dell'elemento nutritivo da parte della coltura da concimare;
5. quantità di elemento nutritivo in entrata e in uscita dal terreno per cause diverse dalla concimazione e dall'assorbimento della coltura.

La redazione di un corretto piano di concimazione, per qualsiasi elemento nutritivo, deve prevedere l'individuazione di:

1. quantità totale di elemento nutritivo da distribuire;
2. tipo di frazionamento della distribuzione;

3. epoca o epoche di distribuzione delle singole dosi frazionate;
4. tipo di concime da distribuire in ciascuna epoca e modalità della sua distribuzione.

Dal punto di vista tecnico, la determinazione della dose di elemento nutritivo da distribuire con la concimazione si basa sul "metodo del bilancio", che prevede la risoluzione della seguente equazione:

$$Q = F - E + U$$

- dove: Q: quantità di elemento nutritivo da distribuire con i concimi (chimici e/o organici);
- F: fabbisogno di elemento nutritivo della coltura;
- E: quantità di elemento nutritivo che entra nel terreno per cause diverse dalla concimazione;
- U: quantità di elemento nutritivo che esce dal terreno per cause diverse dall'assorbimento della coltura.

L'equazione di bilancio può assumere forme più o meno complesse, in quanto le variabili in essa contenute possono risultare più o meno numerose a seconda dell'elemento nutritivo considerato per la concimazione. Ad esempio, la lisciviazione assume notevole importanza nella concimazione azotata mentre è trascurabile nella concimazione fosforica.

## 7.1. Caratteristiche del terreno

Al fine di predisporre un corretto piano di concimazione, le analisi fisico-chimiche del terreno sono necessarie perchè da esse dipendono, tra l'altro, la produzione, lo sgrondo delle acque, la capacità di immagazzinamento dell'acqua di pioggia, il contenuto di acqua utile del terreno, le perdite per lisciviazione, la mineralizzazione della sostanza organica, la volatilizzazione dell'azoto, la disponibilità del fosforo nel terreno, la liberazione di elementi minerali attraverso il processo di mineralizzazione e la loro immobilizzazione attraverso il processo di umificazione.

Le analisi fisico-chimiche del terreno più importanti per l'impostazione di un piano di concimazione sono:

1. la tessitura;
2. il pH;
3. la concentrazione<sup>(1)</sup> di sostanza organica;
4. la concentrazione di azoto totale;
5. la concentrazione di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilabile;

---

<sup>(1)</sup> Si indica con il termine "concentrazione" una quantità riferita all'unità di peso o di volume (esempio: 3 grammi di azoto per chilogrammo di terreno). Si indica invece con il termine "contenuto" una quantità assoluta riferita all'unità di superficie (esempio: 100 kg ha<sup>-1</sup>).

6. la concentrazione di  $K_2O$  scambiabile;
7. la concentrazione di calcare totale.

Le analisi del terreno devono essere effettuate con regolare periodicità, in modo da tenere sotto controllo le eventuali variazioni provocate dalla tecnica colturale. Tra queste, la determinazione della tessitura, che normalmente si modifica poco e molto lentamente, può essere effettuata ad intervalli di circa 30 anni. La determinazione delle caratteristiche chimiche del terreno, invece, che possono modificarsi in tempi brevi, deve essere effettuata:

- a. per gli avvicendamenti di durata uguale o superiore ai quattro anni: alla fine di ogni ciclo di avvicendamento;
- b. per gli avvicendamenti di durata biennale e triennale: ogni sei anni.

La metodologia di prelievo dei campioni di terreno da sottoporre all'analisi e i metodi analitici da seguire sono descritti nei "Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo"<sup>(2)</sup> e nei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo"<sup>(3)</sup>.

## 7.2. Quantità di elemento nutritivo da distribuire

La dose di elemento nutritivo da distribuire corrisponde al quantitativo di elemento da apportare al terreno per ottenere il risultato quanti-qualitativo previsto dall'agricoltore in un determinato ambiente pedo-climatico.

Generalmente quando si parla di dose di concime si distingue:

1. la dose tecnica ottimale, che è quella oltre la quale si annulla la produttività marginale, e cioè quando l'ulteriore aggiunta di concime non provoca ulteriori aumenti di produzione;
2. la dose economica ottimale, che è quella oltre la quale si annulla il reddito marginale della coltura o in altre parole quando il costo globale dell'unità di concime aggiunta equivale al valore dell'incremento di produzione ottenuto.

In pratica la prima fa riferimento alla quantità di prodotto utile ottenuta, mentre la seconda fa riferimento alla economicità della quantità distribuita. 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 della fertilità del suolo; dal punto di vista economico, invece, la dose ottimale è quella che massimizza il reddito netto.

Se la coltivazione venisse effettuata in situazioni perfettamente controllate e isolate dall'ambiente esterno, la dose di elemento da distribuire corrisponderebbe esattamente alla quantità contenuta nella coltura al momento della raccolta. In realtà, però, la coltivazione viene effettuata all'interno di un particolare ambiente con il quale le piante interagiscono strettamente e che può sia cedere che sottrarre loro elementi nutritivi. In altre parole, non è detto che tutta la quantità di elemento sti-

---

<sup>(2)</sup> Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n. 204 del 2 settembre 1997.

<sup>(3)</sup> Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n. 248 del 21 ottobre 1999.

mata come necessaria per ottenere una determinata produzione debba essere distribuita con il concime, poiché un certo quantitativo potrebbe derivare dalle piogge, dalla coltura precedente, ecc., ma è anche possibile che se ne debba distribuire una quantità superiore a quella calcolata nei casi in cui l'ambiente sottragga elemento nutritivo alla coltura, ad esempio attraverso la lisciviazione, la umificazione, ecc.

In sintesi, l'individuazione della quantità di elemento nutritivo da distribuire si basa sull'eguaglianza:

$$Q = F - E + U$$

dove: Q: quantità di elemento nutritivo da distribuire;

F: fabbisogno colturale e cioè quantità dell'elemento nutritivo che verrà utilizzato dalla coltura per fornire una determinata produzione quantitativa;

E: quantità di elemento nutritivo che potrà essere utilizzata dalla coltura ma che non è distribuita con il concime;

U: quantità di elemento nutritivo che l'ambiente sottrae alla possibile utilizzazione da parte delle piante mediante.

Più dettagliatamente, la quantità di elemento nutritivo da distribuire deriva da:

$$Q = F - (P + M + C_p) + (L + V + D + I)$$

dove: Q: quantità di elemento nutritivo da distribuire;

F: fabbisogno colturale;

P: precipitazioni atmosferiche;

M: mineralizzazione della sostanza organica del terreno;

C<sub>p</sub>: apporti derivanti dalla coltura precedente;

L: lisciviazione;

V: volatilizzazione;

D: denitrificazione;

I: immobilizzazione.

Per il calcolo della quantità di elemento nutritivo da distribuire è necessario procedere con la seguente logica:

1. definire i fabbisogni di elemento nutritivo della coltura;
2. stimare quanto può essere reso disponibile dall'ambiente di coltivazione;
3. stimare quanto può essere sottratto dall'ambiente di coltivazione.

Il primo passo per la determinazione della dose da distribuire consiste nell'individuazione della quantità di elemento nutritivo necessaria perchè la coltura possa raggiungere il risultato produttivo che l'agricoltore si prefigge di ottenere, e solo

successivamente nella stima delle quantità di elemento che quel particolare ambiente metterà a disposizione della coltura e di quella che invece sottrarrà alla disponibilità delle piante.

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

Il calcolo della dose di concime da distribuire si basa sul metodo del bilancio semplificato, che prevede la determinazione o la stima dei seguenti elementi:

1. il fabbisogno della coltura;
2. lo stato delle riserve di elemento nutritivo presenti nel terreno;
3. gli apporti di elemento nutritivo derivanti dalla mineralizzazione della sostanza organica del terreno;
4. gli apporti di elemento nutritivo derivanti dalla coltura precedente;
5. gli apporti di elemento nutritivo derivanti dalla distribuzione di fertilizzanti organici alle colture precedenti quella da concimare.

### **7.3. Fabbisogno della coltura**

Il fabbisogno della coltura è la quantità di elemento nutritivo necessaria per ottenere una determinata quantità di produzione utile con una determinata qualità.

La produzione massima di una coltura è determinata dal suo patrimonio genetico e può essere ottenuta solo se le piante si trovano, in ogni momento del loro ciclo di crescita, in condizioni ottimali per ciascuno dei fattori ambientali e quindi se trovano sempre completamente soddisfatte le loro necessità. Qualsiasi allontanamento dalle condizioni ottimali produrrà una diminuzione di produzione, ed è per questo motivo che nelle diverse situazioni pedo-climatiche si hanno potenzialità produttive diverse. Inoltre, in ogni combinazione terreno-clima, la concimazione può contribuire all'ottenimento della produzione più elevata possibile per quella situazione, a condizione, però, che gli altri fattori produttivi siano anch'essi presenti in quantità sufficienti per ottenere quella produzione. Dal punto di vista economico, non è però scontato che all'agricoltore convenga cercare di ottenere questa teorica produzione massima, ma potrebbe essere più conveniente mirare ad una produzione più ridotta, ma che allo stesso tempo consenta un minor impiego di fattori della produzione.

Per quanto riguarda specificatamente gli elementi nutritivi, se l'accrescimento della coltura non è limitato da altri fattori, all'aumentare della loro disponibilità la produzione utile presenta incrementi ponderali progressivamente decrescenti (Fig. 2).

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

La produzione attesa, e cioè quella produzione che l'agricoltore mira ad ottenere tenendo ben presente l'ambiente di coltivazione nel quale si trova ad operare, può



essere definita basandosi su quella conseguita mediamente negli anni precedenti sullo stesso terreno e con la stessa tecnica colturale, oppure 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.

Il contenuto di elemento nutritivo dei diversi organi della pianta non è lo stesso ma, alla raccolta, è generalmente più elevato 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; ad esempio, nel caso dei cereali autunno-vernini, in granella, residui aerei (culmi e foglie) e radici, nel caso delle foraggere da prato in parte aerea e radici, ecc. Successivamente, ciascuno dei valori di biomassa viene moltiplicato per il relativo contenuto percentuale di elemento nutritivo, in modo da ottenere il contenuto di elemento di ciascuna parte della pianta e, facendo una semplice sommatoria, quello totale contenuto nella intera biomassa e quindi utilizzato da quella coltura per ottenere quella produzione.

#### **7.4. Apporti e asportazioni**

E' bene precisare che la concimazione prevede sempre una anticipazione della distribuzione dell'elemento nutritivo, anticipazione indispensabile per ottenere il risultato produttivo prefisso. Per realizzare il loro accrescimento e quindi la loro produzione finale, infatti, le piante devono trovare nel terreno la esatta quantità di elemento nutritivo che in quel particolare momento è necessaria per la biomassa da produrre.

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 potrà ragionevolmente mettere a disposizione o sottrarre alla disponibilità delle piante coltivate e definire l'effettiva dose di elemento nutritivo da distribuire. Se apporti ed asportazioni esterni risultano 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 aumenterà se il risultato è negativo.

Ammettendo di poter seminare il 1 novembre e di raccogliere il 1 luglio, in questi 8 mesi 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. dalle concimazioni organiche alla coltura precedente.

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.

## **8. METODO DI CALCOLO DELLE VOCI DEL PIANO DI CONCIMAZIONE**

Nei due capitoli successivi verranno dettagliatamente descritti i metodi da seguire per il calcolo delle singole voci necessarie per la redazione dei piani di concimazione azotata, fosforica e potassica delle colture erbacee di pieno campo e delle colture orticole.

Utilizzando gli stessi metodi di calcolo è stato realizzato un programma computerizzato, chiamato PICO, in grado di calcolare automaticamente le quantità di azoto, di fosforo e di potassio da distribuire per la concimazione delle specie maggiormente coltivate nella Regione Toscana, partendo semplicemente da:

1. comune nel quale si trova l'appezzamento da concimare;
2. coltura da concimare;
3. produzione quanti-qualitativa attesa;
4. epoca di semina e di raccolta;
5. coltura precedente quella da concimare con produzione ottenuta, concentrazione di azoto, epoca di raccolta ed eventuale concimazione organica;
6. tessitura del terreno;
7. concentrazione di sostanza organica o di azoto del terreno;
8. concentrazione di fosforo del terreno e di potassio del terreno;
9. pH del terreno.

Il programma per il calcolo dei piani di concimazione è stato reso disponibile sul web all'indirizzo: <http://pico.arsia.toscana.it/>.