



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agraria e Medicina Veterinaria

Corso di Laurea Triennale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Tesi di Laurea

Ruolo del potassio nel terreno e nelle piante, in particolare influenza sulla pianta di mais (*Zea Mais L.*)

Relatore:

Prof.^{ssa} Silvia Quaggiotti

Laureando:

Meneghini Andrea

Matricola n. 2007834

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

*“mai rimandare al domani
quello che puoi fare oggi”*

Nonna Agnese

Indice

Abstract.....	8
Riassunto.....	11
Premessa.....	14
1. Introduzione.....	17
1.1 Potassio.....	17
1.1.1 Informazioni Generali.....	17
1.1.2 Importanza del Potassio.....	17
1.2 Origine del Potassio.....	18
1.3 Dinamiche Generali del Potassio nel Suolo.....	21
1.4 Ciclo del Potassio nel Terreno.....	24
1.5 Ruolo del Potassio nella Pianta.....	28
1.5.1 Fotosintesi e Respirazione.....	28
1.5.2 Attivazione di Enzimi.....	30
1.5.3 Attività Stomatica.....	30
1.5.4 Trasporto Zuccheri.....	31
1.5.5 Trasporto Acqua e Nutrienti.....	31
1.5.6 Sintesi Proteica.....	32
1.5.7 Sintesi Amido.....	32
1.5.8 Qualità del Raccolto.....	33
1.5.9 Fertilizzanti.....	34
1.6 Mais.....	37
1.6.1 Definizione.....	37
1.6.2 Fabbisogni e Asportazioni.....	37
1.7 Ruolo del Potassio nella Pianta di Mais.....	45
1.7.1 Qualità del Raccolto.....	45
1.7.2 Efficienza di Utilizzo di Acqua nel Mais.....	46
1.7.3 Casi di Siccità.....	48
1.7.4 Concimazione Specifica.....	50

1.7.5 Concimazione Fogliare.....	52
1.8 Manifestazioni da Carezza di Potassio.....	53
1.8.1 Manifestazioni Non Visibili.....	53
1.8.2 Effetti Visibili.....	55
1.9 Interramento degli Stocchi.....	57
2. Scopo.....	58
3. Risultati e Discussione.....	60
4. Conclusioni.....	67
5. Bibliografia.....	69
6. Ringraziamenti.....	75

Abstract

Potassium (K) is one of the many minerals that influences the growth, development, production and quality of the production of plants.

Potassium is located in the ground in different forms, affecting its absorption rate by plants.

Unlike nitrogen (N), potassium is a more manageable element because it is less subjected to losses for evaporation in the atmosphere or leaching, but favourable conditions for its uptake should be created.

This element is present in the soil within the Micelles, which have a particular internal structure called Otthedrica. In presence of other stronger cations able to substitute it, potassium became freely available in the form of K^+ .

However, if the soil is poor in potassium, the best choice is to fertilize with products such as potassium chloride (KCl) and potassium sulphate (K_2SO_4).

The study of the cycle of K^+ and of the mechanisms governing its assimilation by plants, is essential to improve the efficiency of potassium utilization.

To highlight the importance of potassium in corn its cycle and the needs of the plant were described and examined in terms of crop characteristics, pedological environment, climatic environment, necessary crop rotations, soil management, required treatments, period of use of the herbicide and all the elements to understand the circulation of potassium.

Potassium strongly affects quality for agricultural production, in fact it positively influences the specific weight, and the dry weight that are fundamental requirements that can increase the gain of the crop.

K is also important because it improves the efficiency of water use, which is fundamental in response to the climate change, leading to more and more frequent occurrence of drought events.

In this thesis an in-depth analysis of corn fertilization, with particular attention to the types of fertilizers that are used and that are present on the market, distinguishing the type of action they have on the soil and on the plant has also been conducted.

The main aim is to provide farmers an overview of the principal factors affecting potassium availability and of its effects on plant development, to help them in the early identification of potassium deficiency symptoms.

To give them a more complete picture, the description was focused on both the potassium deficiency visible symptoms and the non-visible ones.

Riassunto

Il potassio è uno dei principali minerali che incidono sulla crescita, sviluppo e qualità di produzione di una pianta essendo un elemento con funzioni importanti a livello fisiologico.

Il potassio nel terreno si presenta sotto diverse forme, il catione K^+ della soluzione circolante è quella principalmente assimilata e preferita dalle radici, mentre in altri casi come nei colloidi non è reso disponibile a causa di legami con altri tipi di sostanze come per esempio la sostanza organica, carica negativamente.

Come altri elementi il potassio è caratterizzato da un ciclo complesso che interessa il terreno e la pianta, è caratterizzato da molti punti di immissione (input), che sono le concimazioni e la liberazione da parte della roccia madre, e di prelievo (output), che è effettuato principalmente dalla pianta, da quelle sostanze cariche negativamente che lo trattengono e da altri fattori come l'acqua che lo possono allontanare dalla zona utile di assorbimento.

La gran parte del potassio a disposizione nel terreno deriva dai minerali come la Mica, dove esso è trattenuto tra gli strati tetraedrici, che possono però liberarlo nel terreno se ci sono le condizioni che lo fanno sostituire nel minerale da cationi più forti come il calcio Ca^{2+} .

Questa situazione è comunque transitoria poiché i cationi vengono generalmente immobilizzati velocemente nel suolo.

La conoscenza del ciclo del potassio e della sua influenza sulla pianta è indubbiamente un fattore che va a vantaggio del coltivatore. Con l'avvento della Rivoluzione Verde, ovvero il periodo che ha dato inizio alla produzione e alla commercializzazione di concimi, si è cominciato a fare un uso spropositato di fertilizzanti, il che ha determinato inquinamento dell'ambiente e ripercussioni sulla salute delle persone. Per questo è importante conoscere i meccanismi di assorbimento e di utilizzazione del potassio all'interno della pianta.

Il potassio è fondamentale nella fotosintesi, dove è coinvolto nell'attivazione di moltissimi enzimi e dove agisce come catalizzatore della reazione.

Esso è inoltre coinvolto, nella regolazione dell'attività stomatica, nel trasporto di zuccheri, di acqua e di nutrienti, nella sintesi proteica, e nella sintesi dell'amido.

Dal punto di vista più agronomico, esso influenza la qualità della cariosside, caratteristica che incide anche sul prezzo di vendita del mais, sia esso destinato per la produzione di granella o per la produzione di trinciato. Alla luce di ciò e dell'impatto economico che ne deriva, gli effetti della carenza di potassio in mais sono stati abbondantemente documentati.

Per poter meglio caratterizzare il ruolo del potassio nel mais è importante definire le caratteristiche colturali della pianta, prendendone in esame i fabbisogni, le asportazioni, la situazione pedo-

climatica, la rotazione colturale necessaria per non stancare il terreno, la gestione del terreno, il modo e l'epoca di semina, il tipo di ammendanti e le cure da apportare come ulteriori concimazioni e diserbanti necessari.

Come detto sopra, il potassio influisce positivamente sul suo peso specifico della cariosside e sul suo contenuto amminoacidico e; migliora la qualità dello stocco, migliorando quindi gli standard di produzione di trinciati.

Inoltre, la gestione adeguata del potassio migliora l'efficienza di utilizzo dell'acqua, specialmente in situazione di drastica siccità come quella della stagione appena passata, motivo che dovrebbe motivare molti coltivatori ad approfondire i vantaggi di una coltivazione il più possibilmente equilibrata senza sprechi.

La messa a punto di un corretto protocollo di concimazione in termini di quantità, tempistica e tipologia di composto è fondamentale, in quanto a seconda della forma chimica utilizzata si possono riscontrare fenomeni di tossicità, come nel caso di un uso eccessivo di cloruro di potassio.

L'ultima parte dell'elaborato è focalizzato sulla descrizione dei sintomi visibili e non visibili in modo da fornire delle indicazioni che possano facilitare una diagnosi di carenza tempestiva e permettere un intervento adeguato. .

PREMESSA

PERCHE' IL MAIS

Ho scelto di approfondire la funzione e l'influenza del potassio nel ciclo della pianta di mais perché, lavorando da qualche anno ormai in aziende che operano nel settore agricolo mi sono accorto di come la coltivazione di cereali, e in particolare di mais, occupi la maggioranza degli ettari coltivati, indipendentemente la destinazione del prodotto sia alimentare umana, zootecnica o biogas, è questo il motivo che mi ha suscitato un particolare interesse all'approfondimento di questa coltura.

Aggiungo inoltre che questo tipo di esperienza mi ha dato modo di conoscere e confrontarmi con molte persone di molte età diverse, consentendo di ascoltare pareri, conoscenze ed esperienze molto diverse.

In secondo luogo, dedicandomi all'attività lavorativa soprattutto il periodo estivo della raccolta (**figura 1.6.2**) e dell'irrigazione e circa un mese nel periodo invernale in cui mi sono occupato di concimazione organica pre aratura e quindi di spandimenti, mi sono accorto che nella maggior parte dei casi si parla quasi esclusivamente di liquami, digestato, spandimenti, urea e azoto in generale (**figura 1.6.3**).

Questo è stato il fatto che invece mi ha portato alla scelta di indirizzare la tesi sul potassio, perché le tecniche di coltivazione di cui ho parlato poco fa tengono in considerazione l'apporto organico e quello azotato, e sebbene sappiamo che con determinate attrezzature e materie ci sia comunque un'integrazione nel terreno anche di altri elementi tra cui è sicuramente compreso anche il potassio, forse questo non è apportato nella forma più corretta, utilizzabile, e nemmeno nei tempi atti alla sua incorporazione e quindi non essendo disponibile per il mais.



Figura 1.6.2 trinciatura del mais



Figura 1.6.3 Distribuzione liquame su frumento con coltura in atto

Nel mio piccolo sono convinto che se si dovesse analizzare bene la situazione di campo, il potassio, a meno che non siano state effettuate le adeguate analisi del terreno, sarebbe al di sotto delle quantità richieste e ci accorgeremmo con un'adeguata gestione di quanto sia importante per il mais.

Quindi ho deciso di approfondire il più ampiamente possibile la questione e tutti i benefici che questo elemento può portare alla coltivazione e all'agricoltore in termini di fatica e risparmio di risorse.

Motivazione ulteriore che mi sento di dare è appunto il risparmio di risorse e in termini tecnici di denaro, in quanto tutti ci siamo accorti di come il costo di produzione di materie prime e di concimi chimici abbiano seguito un andamento di aumento esponenziale nel breve periodo, rendendo ulteriormente complesso ottenere ricavi atti anche alla soddisfazione di chi lavora per ottenere questi prodotti, perché da ormai troppo tempo una consistente parte del lavoro dell'agricoltore consiste nel sperare che le condizioni meteo e dei mercati consentano un pareggio dei costi sostenuti e possibilmente in un ricavo.

1. INTRODUZIONE

1.1 Generalità sul Potassio

1.1.1 Informazioni generali

Il potassio è identificato nel sistema internazionale e nella tavola periodica degli elementi con la lettera K, che deriva dalla parola latina *kalium*.

Ha numero atomico: 19, e peso atomico: 39,0983.

Si scoprì senza sapere cosa fosse realmente durante il periodo coloniale, durante il quale le popolazioni erano solite bruciare legno e altra materia organica in pentole per ottenere quello che sembra un prodotto simile al sapone, le ceneri poi venivano sciacquate e l'acqua invece lasciata evaporare, lasciando un residuo di sali di potassio.

Gli studi sul potassio e il suo ruolo nelle piante iniziarono nel 1868, quando Samuel William Jackson, un botanico del Connecticut, bruciò delle piante e ne analizzò la cenere, scoprendo che queste erano costituite da grandi quantità di potassio e altri minerali.

Il suo lavoro ha dato inizio all'uso di fertilizzanti per promuovere un aumento dei raccolti.

1.1.2 Importanza del potassio

Il potassio è elemento essenziale per tutti gli organismi viventi, le piante ne assorbono quantità molto elevate, spesso anche in eccesso rispetto alle reali esigenze biologiche, anche se nell'agricoltura di tutti i giorni, che richiede produzioni sempre più elevate per unità di superficie, carenze e operazioni di valutazione scorrette non sono di certo un fatto raro.

Il potassio è caratterizzato da un elevato numero di scambi e trasferimenti sia nel terreno che nelle piante (**figura 1.1**) dove, essendo un elemento mobile, viene trasferito dagli organi vegetali più vecchi verso quelli più giovani, mentre le maggiori quantità di nutrienti sono assorbite nella fase di sviluppo vegetativo e, in condizioni ideali, anche nel corso della maturazione.

Il potassio svolge nei tessuti vegetali numerose funzioni fisiologiche, infatti:

- Contribuisce ad abbassare il potenziale idrico delle radici;
- incrementa l'assorbimento dell'acqua con la pressione radicale;
- esercita influenza sul processo di traspirazione, aumentando il potenziale osmotico delle cellule del mesofillo e regolando il meccanismo di apertura e chiusura degli stomi;
- è costituente delle pompe sodio-potassio della membrana cellulare;
- mantiene attiva la conformazione di molti sistemi enzimatici;

- regola della velocità del turnover dell'azoto e della sintesi proteica;
- importante per la formazione della granella dei cereali;
- aumenta la resistenza delle piante coltivate ad alcune malattie;
- influenza la qualità del prodotto.

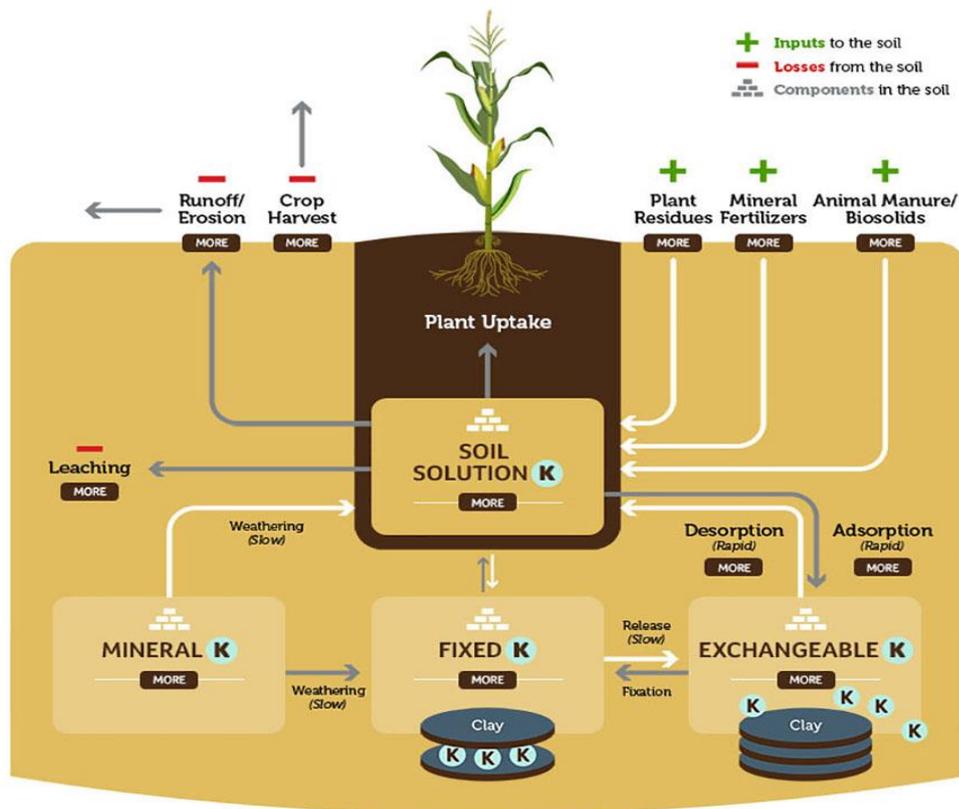


Figura 1.1: schema semplice degli scambi di potassio nel terreno

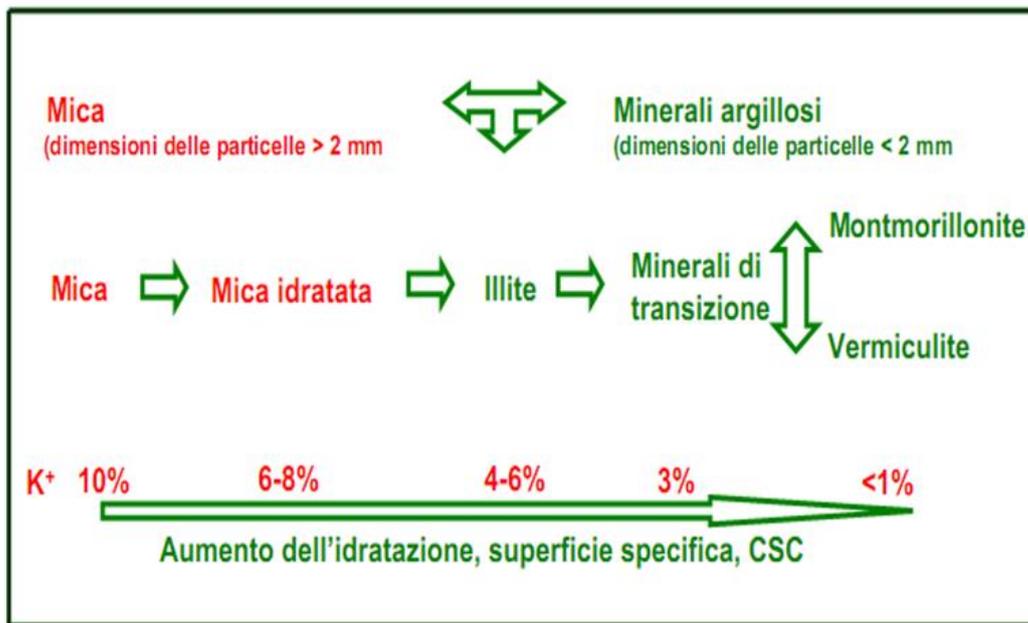
1.2 ORIGINE DEL POTASSIO

Per poter analizzare gli effetti della presenza del potassio nel terreno e nelle coltivazioni occorre prima dare uno sguardo all'origine di questo elemento naturale e sapere quali sono i processi che lo rendono disponibile alle piante sotto la forma più utilizzata di ione K^+ nella soluzione del terreno.

Sono numerose le ipotesi che ci portano a capire la sua formazione, ma la teoria più corretta è la derivazione dal PROCESSO DI NEOGENESI DEI MINERALI ARGILLOSI, in particolare dal PROCESSO DI TRASFORMAZIONE DEI FILLOSILICATI PREESISTENTI.

Tenuto conto che la struttura regolare cristallina tipica dei fillosilicati non subisce modificazioni, la formazione dei minerali argillosi del tipo 2:1 può essere dovuta dall'allontanamento di K^+ dalle cavità esagonali delle miche. (figura 1.2.1)

La diffusione del potassio, favorita dalla frantumazione dei minerali micacei dovuta all'azione di agenti chimici e fisici del sottosuolo, inizia dai margini e prosegue gradualmente verso l'interno della struttura, provocando progressivo aumento della superficie attaccabile dagli agenti chimici, dall'idratazione e dalle cariche negative, neutralizzabili da cationi di scambio.



Genesi di minerali argillosi del tipo 2:1 per allontanamento di K⁺ dagli interstrati della mica

Figura 1.2.1

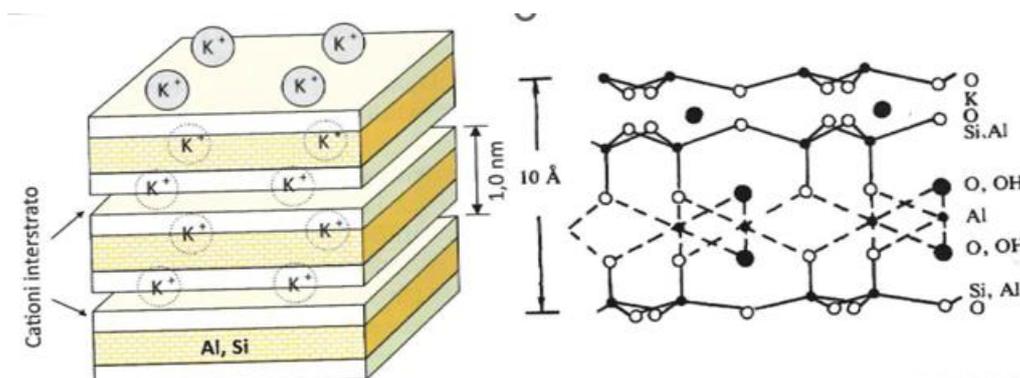


Figura 1.2.2 Struttura di un cristallo di un filo 2: uno schema strutturale della cella unitaria della muscovite, si vedono le sostituzioni isomorfe nei fogli tetra idrici dove gli strati sono legati tra loro tramite cationi K⁺

In questo modo, una volta che il catione si trova nel terreno ha la capacità di legarsi ad altri ioni con carica opposta, come succede anche a tutti gli altri cationi come il magnesio (Mg^{++}), il calcio (Ca^{++}), l'idrogeno (H^+) e il sodio (Na^+). (**figura 1.2.2**)

Un'altra peculiarità dello ione potassio è che essendo carico positivamente è in grado di legarsi con le particelle di argilla, carica negativamente, così avviene l'adsorbimento, che significa letteralmente "fissare alla propria superficie delle molecole", ovvero l'argilla e il potassio si attraggono a causa delle cariche opposte e il potassio si fissa sulla superficie dell'argilla, e questo è un fattore utile alla sua disponibilità nel terreno perché in questo modo è reso disponibile all'assorbimento e alle reazioni, perché altrimenti percolerebbe.

La capacità del terreno di trattenere questi cationi caricati positivamente è chiamata capacità di scambio cationico dei suoli (CSC), che per definizione è appunto la quantità di cationi scambiabili, espressa in mol/Kg di suolo asciutto, che un materiale, detto scambiatore, in grado di adsorbire e quindi dotato di carica elettrica può trattenere per scambio ionico.

Lo scambio ionico (**figura 1.2.3**) rappresenta uno dei principali meccanismi con cui il terreno trattiene e mette a disposizione delle piante e dei microrganismi elementi come quelli appena citati, perciò la CSC è un indice fondamentale della potenziale fertilità chimica del terreno.

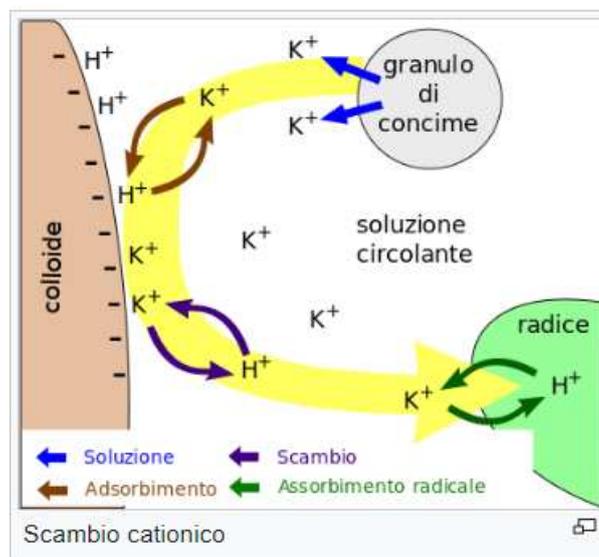


Figura 1.2.3

Ma per comprendere a pieno la CSC è necessario definire anche la parola colloide, che nel corso dello studio verrà citata numerose volte.

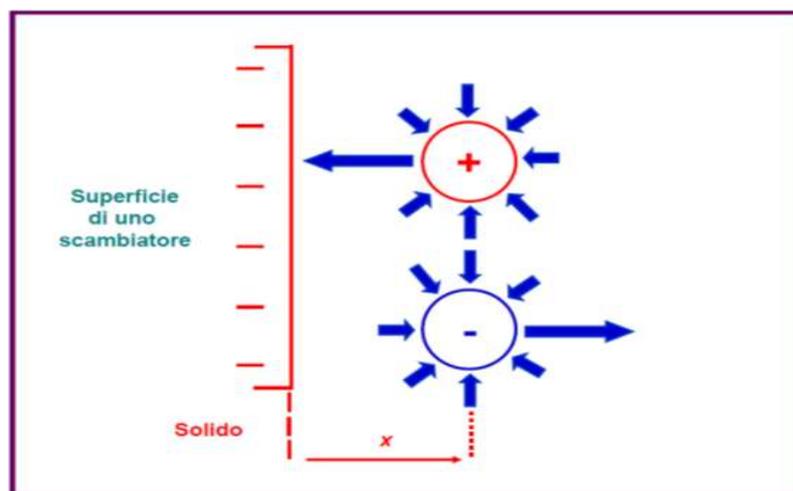
Per definizione il colloide (**figura 1.2.4**) è l'insieme di materiale organico ed inorganico costituito da particelle di piccolissime dimensioni (<2um) e caratterizzato da elevata superficie avente proprietà di scambio dovuta alla presenza di cariche elettriche.

I colloidi sono di due tipi:

- COLLOIDI ORGANICI derivanti dalla sostanza organica e costituiti prevalentemente dalle sostanze umiche
- COLLOIDI INORGANICI O MINERALI costituiti da frazioni argillose del terreno e da ossidi e idrossidi

Sono la frazione più attiva del terreno e determinano la formazione di sistemi bifasici, e una delle caratteristiche che li rende fondamentali nel terreno è che formano con la soluzione circolante del suolo e con gli altri costituenti del terreno contatti molto più estesi rispetto alla frazione limosa e sabbiosa.

A causa della loro carica elettronegativa adsorbono (trattengono) ioni positivi, creando l'appena descritta CSC, che dipende anche dal pH.



Forze che agiscono sui cationi e sugli anioni in prossimità delle superfici degli scambiatori caricate negativamente (modificata da Morel, 1989)

Figura 1.2.4 schema di un colloide

1.3 DINAMICHE GENERALI DEL POTASSIO NEL SUOLO

Dalla metà del VII secolo, quando un olandese propose per la prima volta che il salnitro (KN03) fosse fondamentale per la vegetazione, il potassio è stato studiato e riconosciuto come minerale utile per la crescita delle piante.

Successivamente altri studiosi nei loro esperimenti di concimazione hanno ottenuto di conseguenza grandi aumenti nella crescita delle piante con l'aggiunta del salnitro al suolo.

Nonostante questi studi però, l'utilità del potassio alla crescita delle piante è stata definitivamente resa nota solo con i lavori di Von Liebig pubblicati nel 1840.

Degli elementi nutritivi principali e secondari, K è solitamente il più abbondante nei suoli, perché molti minerali delle rocce madri ne sono ricchi.

Infatti parecchie rocce ignee della crosta terrestre hanno un contenuto di K maggiore rispetto alle rocce sedimentarie, e questo è dovuto ai loro processi di formazione.

Dalle analisi è emerso che i contenuti di potassio sono:

- per le rocce ignee, i graniti e le sieniti da 46 a 54 g/kg,
- per i basalti 7 g/kg,
- per i peridotiti 2,0 g/kg,
- per le rocce sedimentarie argillose gli scisti 30 g/kg,
- per i calcari una media di soli 6 g/kg.

Secondo questi studi i terreni minerali hanno contenuti che variano generalmente tra 0,04 e 3% K, che in termini assoluti sono quindi molto alti, tuttavia il 98% è la forma minerale mentre solo il 2% è in soluzione del suolo e nelle fasi scambiabili, quindi la frazione scambiabile e utilizzabile per l'agricoltura c'è una minima parte del totale.

Alcune caratteristiche chimiche di K e altri elementi comuni nella litosfera sono riportati nella **tabella 1.3.1**.

Ion	Crystalline radii (nm)		Hydrated radii (nm)	Polarizability (nm ³)	Debye-Hückel parameter (nm)	Coordination No.
Li ⁺	0.078	0.060	0.380	0.0079	0.432	6
Na ⁺	0.098	0.095	0.358	0.0196	0.397	6, 8
K ⁺	0.133	0.133	0.331	0.0876	0.363	8–12

Tabella 1.3.1 caratteristiche del K e di altri elementi della litosfera

Esistono reazioni di equilibrio dinamico tra le fasi potassiche del suolo, le forme in base alla loro disponibilità per le piante e i microbi sono osservabili nella **tabella 1.3.2**: soluzione, scambiabile, non scambiabile e minerale.

Tutte le riserve di potassio presentano legami e interazioni diverse a seconda delle altre frazioni del terreno con cui interagisce, come mostrato in **tabella 2**.

Il potassio in soluzione nel suolo è la forma assorbita da piante e microorganismi ed è anche quella parte soggetta a lisciviazione che di solito si trova anche in bassa quantità. Tuttavia, la concentrazione di K nella soluzione del suolo, così importante e utile, è molto difficile da determinare, perché oscilla notevolmente tra diversi valori ed è difficile da misurare perché la soluzione è poliionica, ovvero non contiene solo potassio ma anche tanti altri elementi con cariche diverse e sostanze.

tabella 1.3.2 forme di K nel suolo

Form	Location
Water soluble	Soil solution
Exchangeable	Colloidal exchange sites— clay and organic matter
Nonexchangeable	Vermiculite Trioctahedral mica Dioctahedral mica Hydrous mica (Illite) Chlorite-vermiculite intergrades Interstratified mica-smectites x-ray amorphous minerals
Mineral	Trioctahedral mica Dioctahedral mica Orthoclase (K-feldspar)

Il potassio scambiabile legato alle cariche negative della materia organica e dei minerali argillosi è facilmente scambiato con altri cationi ed è finalmente a disposizione delle piante, questo processo di rilascio di K^+ nella soluzione del suolo è chiamato desorbimento, mentre la reazione inversa è chiamata adsorbimento.

Il K non scambiabile è distinto da quello minerale in quanto non è legato in modo covalente nelle strutture spigolose delle particelle del suolo, ma è contenuto tra strati tetraedrici delle miche tetraedriche, quali sono minerali argillosi e vermiculiti.

Se K non scambiabile è equiparato a “fisso”, non disponibile, allora possono anche crearsi degli spazi vuoti nella struttura dei minerali argillosi che sono riempiti di ioni K^+ non scambiabili trattenuti in questi interstrati da legami coulombi.

Questa forza vincolante supera le forze di idratazione tra i singoli ioni K^+ , risultando in un parziale collasso della struttura cristallina, pertanto gli ioni K^+ sono fisicamente intrappolati a vari livelli rendendo la diffusione il limite per il rilascio di K.

Il K non scambiabile può essere trovato anche nelle cosiddette “zone a cuneo” di miche e vermiculiti, che sono zone troppo strette per scambiare ioni Ca^+ o MgO^+ . Solamente ioni come H_4^+ e H_3O^+ a causa dei loro raggi simili possono entrare in queste zone sostituendosi al potassio che viene finalmente liberato.

Il passaggio di K da non scambiabile alla forma scambiabile si verifica quando i livelli di soluzione scambiabile sono diminuiti mediante rimozione del raccolto, lisciviazione e forse da un forte aumento dell'attività microbica.

1.4 CICLO POTASSIO NEL TERRENO

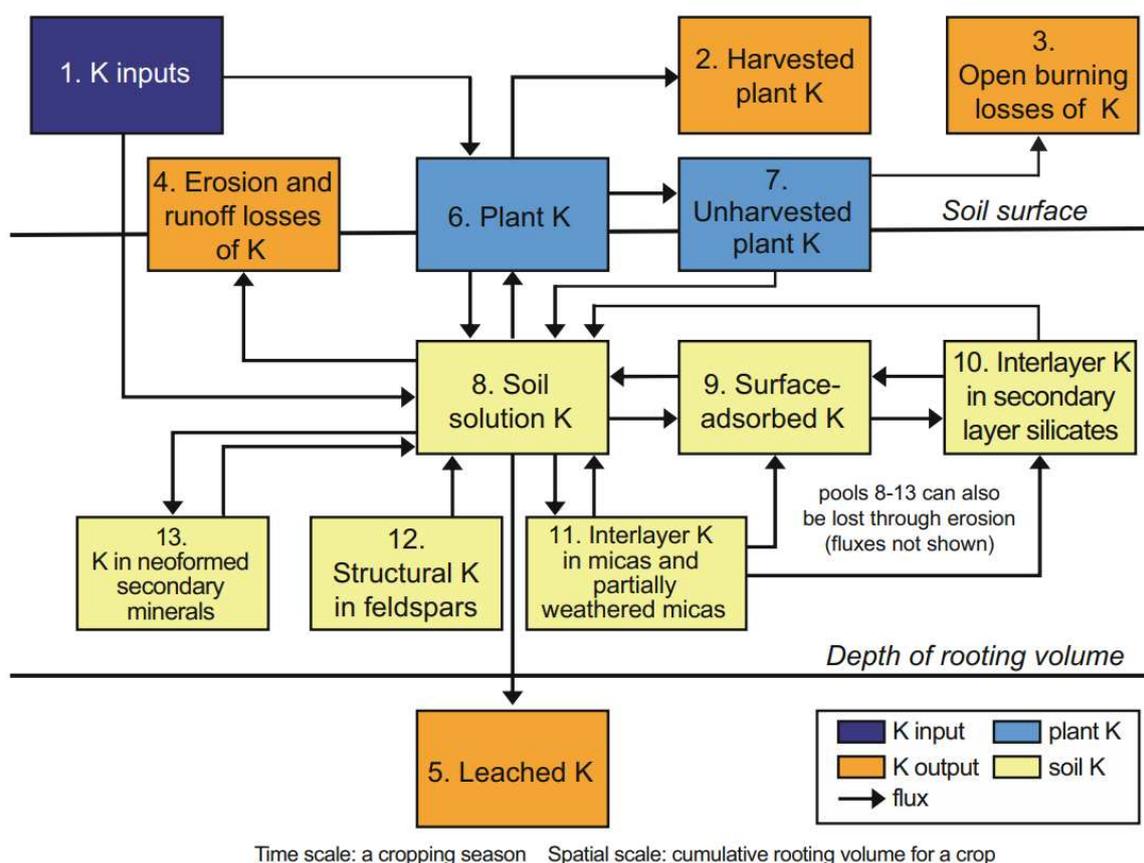


Figura 1.4.1 ciclo del potassio completo nel terreno

Come affermato dagli editori del libro Improving Potassium Recommendations For Agricultural Crops di Scott Murrel del 2021 il ciclo del potassio è composto da 13 pool, come descritto nella **figura 1.4.1**, che interagendo danno luogo a quello che nella sua interezza è il ciclo del potassio.

I 13 pool sono quindi:

POOL 1: INPUT

E' la quantità totale di K che si origina al di fuori del terreno e che entra a far parte di esso.

Gli input includono fertilizzanti organici e inorganici a base di potassio aggiunti al terreno come integratori, K nei residui colturali rimasti in campo dopo la raccolta, K proveniente da precipitazioni, K nell'acqua di irrigazione, K che arriva al suolo tramite ruscellamento ed erosione, K derivante da deposizione atmosferica.

POOL 2: OUTPUT DI K RIMOSSO CON LA RACCOLTA

Questo pool racchiude le quantità di potassio che sono state rimosse con la raccolta del prodotto o con la rimozione di residui colturali.

POOL 3: PERDITE PER COMBUSTIONE

Letteralmente perdite che avvengono dopo aver bruciato e quindi trasformato in ceneri, questo però include una minima parte e non sempre presente.

POOL 4: PERDITE PER EROSIONE E DEFLUSSO

Presente in 3 forme di deflusso:

- deflusso superficiale
- deflusso sotterraneo
- erosione

Il deflusso superficiale consiste in potassio sciolto in acqua che si sposta sulla superficie del suolo in direzione del pendio.

Deflusso Sotterraneo ovvero potassio nell'acqua che si infiltra nella superficie del suolo.

La perdita per erosione avviene per movimento laterale o verso l'alto di particelle di terreno che vengono allontanate da un dato volume di suolo a causa per esempio del vento.

POOL 5: PERDITE PER LISCIVIAZIONE

Quantità di K che percola lungo il profilo del suolo e si sposta al di sotto della profondità di radicazione della pianta

POOL 6: K DELLA PIANTA

Il pool della pianta considera sia gli organi sotto che fuori terra, le frecce segnate in entrata (da pool 8 a pool 6) indicano l'afflusso, in questo caso dalla soluzione del suolo alle radici, quelle in uscita (da pool 6 a pool 8) un deflusso del potassio che avviene in minime quantità.

Le piante differiscono nella loro efficienza di assorbimento e di utilizzo di K, che può talvolta entrare nella pianta attraverso la penetrazione delle foglie, mostrata dalla freccia da pool 1 a pool 6, trattandosi però di potassio derivato da concimazione fogliare o deposizione atmosferica, che contribuisce solo secondariamente all'importo di K alla pianta.

POOL 7 : K RESTITUITO AL SUOLO

È la quantità di K che viene restituita al suolo, questo importo di solito deriva da materiale vegetale come rami, foglie, residui di potatura, pula da raccolta meccanica dei cereali, colture di copertura e altri residui vegetali rimasti da colture precedenti.

La restituzione al suolo comprende la lisciviazione dalle parti vegetali, che è maggiore in tessuti senescenti in cui le membrane e le pareti cellulari sono danneggiate già prima dell'intervento dell'umidità da altri fattori fisici o meccanici.

Un altro processo che fa perdere potassio alla pianta e lo restituisce al terreno è la guttazione, che però avviene solo in tessuto vivente.

POOL 8: SOLUZIONE DI K NEL SUOLO

Consiste nella quantità di potassio disciolta nella fase liquida del suolo.

È da questa soluzione che le piante assorbono solo K^+ , come indicato dalla freccia da pool 8 a pool 6.

È la fonte più importante da dove la pianta ricava il K necessario allo sviluppo.

POOL 9: K ADSORBITO IN SUPERFICIE

Quantità di K legato alle cariche negative quali la materia organica del suolo, le superfici piane di minerali fillosilicati e le superfici di ossidi di ferro e alluminio.

Il K adsorbito in superficie entra nella soluzione liquida del suolo più facilmente ed è quindi considerato il pool più disponibile per la pianta, come mostrato dalle frecce tra pool 8 e 9.

POOL 10: INTERSTRATO DI K NEI SILICATI DELLO STRATO SECONDARIO

Quantità di K legato tra strati di minerali fillosilicati che sono prodotti da alterazione primaria di minerali.

I silicati dello strato secondario sono formati principalmente da trasformazioni di miche e feldspati.

La forza dei legami con cui il potassio viene trattenuto variano a seconda del minerale; pertanto, non tutti gli intercalari K hanno lo stesso grado di disponibilità.

Il potassio può spostarsi dagli strati intermedi ai siti superficiali (freccia dal pool 10 al pool 9) o direttamente alla soluzione del suolo (freccia dal pool 10 al pool 8).

POOL 11: INTERSTRATO DI K NELLE MICHE E NELLE MICHE PARZIALMENTE ALTERATE

È la quantità di K legata tra strati di minerali di mica primari (ad esempio biotite e muscovite) che si trovano in vari stati di decomposizione chimica e fisica.

Le miche non rilasciano però potassio disponibile per le piante fino a quando non sono chimicamente attaccate o fino a quando le forze fisiche non agiscono su di loro.

La perdita di K vicino ai bordi dei cristalli di mica coincide con la perdita di carica negativa interna al cristallo e porta alla formazione di alcuni minerali secondari, l'interstrato di K nelle miche può diventare l'interstrato di K nei silicati dello strato secondario (freccia dal pool 11 al pool 10).

POOL 12: K STRUTTURALE NEI FELDSPATI

È la quantità di K nelle strutture dei minerali tectosilicati.

Il potassio qui presente non è così fortemente legato, ecco perché esiste uno scioglimento delle strutture che può consentire ad altri cationi come Na^+ di scambiarsi con K^+ , che entra a far parte così della soluzione del suolo (freccia da pool 12 a pool 8).

POOL 13: MINERALI DI K NEOFORMATI

Minerali di nuova formazione creati dalla reazione della soluzione di potassio liquida del suolo con altri ioni della soluzione del suolo.

Un esempio è la taranakite, un minerale formato dalla reazione del K con il fertilizzante al fosforo in condizioni di soluzione acida e satura.

Tutte queste riserve sono quindi gli input, gli output e le quantità che fanno parte del terreno e delle piante, che nella loro interezza, con le interazioni e le reazioni che avvengono, costituiscono quello che è il ciclo del potassio in natura.

Un compito importante che spetta agli agricoltori, agronomi e tecnici di campagna è quello di mantenere adeguata la concentrazione di colloide K^+ nella soluzione del suolo, e conoscendo adeguatamente il ciclo ci sono delle soluzioni implicite che possono contribuire senza troppi sforzi economici e fisici al mantenimento di un equilibrio efficiente per la coltura in atto.

1.5 RUOLO DEL POTASSIO NELLA PIANTA

Per capire l'enorme potenziale che si può trarre dalla conoscenza del potassio e quindi per ottenere un perfezionamento del suo utilizzo in agricoltura come fertilizzante, è necessario analizzare tutte le dinamiche fisiche e chimiche che interessano questo elemento, capire come si comporta all'interno della pianta ed il suo ruolo biologico nei processi fisiologici della pianta, in modo da essere in grado di diagnosticarne velocemente una carenza e di intervenire tempestivamente. perlopiù sconosciuta.

Ecco perché sarà trattato il ruolo del potassio nei seguenti contesti fisiologici: fotosintesi e respirazione

- attivazione enzimatica
- attività stomatica
- trasporto di zuccheri
- trasporto di acqua e nutrienti
- sintesi di proteine
- sintesi di amido
- qualità del raccolto

1.5.1 FOTOSINTESI E RESPIRAZIONE

È generalmente riconosciuto che la carenza di K provoca una diminuzione della crescita delle piante e perturbazioni in molti aspetti del metabolismo fogliare, alterando il tasso di produzione e traslocazione di fotosintati e le concentrazioni di carboidrati.

In particolare, indagini eseguite su mais (*Zea mays L.*) ed erba medica (*Medicago sativa L.*), in cui le piante sono state private di K durante la crescita della foglia studiata successivamente, hanno dimostrato che la fotosintesi era limitata quando le foglie contenevano meno di 15-20 g/kg di K (Scott Murrel, 2021).

Scott Murrel e i suoi colleghi hanno tuttavia ipotizzato anche che i tassi fotosintetici delle foglie più mature non sarebbero stati ridotti fino a quando non fosse stata raggiunta una concentrazione di K⁺ molto più bassa rispetto quella sopra menzionata.

La nutrizione potassica influenza i processi fotosintetici in due modi (Martin and Sparks, 1985).

- In primo luogo, il K influisce sulla capacità fotosintetica, forse a causa della dipendenza della sintesi proteica e dei processi di sviluppo dal potassio.

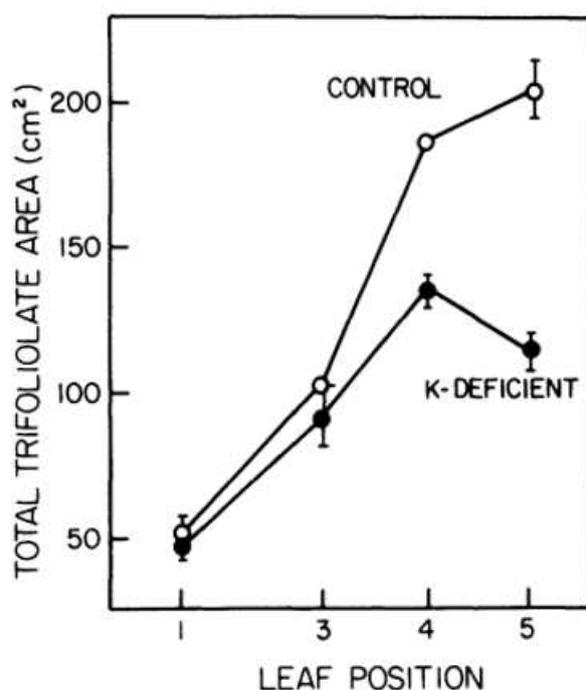
Pertanto, una foglia in espansione è limitata rapidamente dopo l'inizio della carenza di K, che se persistente inciderà poi sull'area fogliare che sarà ridotta notevolmente, mentre la crescita del primordio fogliare procede inalterata almeno nelle prime fasi.

Questo si vede chiaramente nella **tabella 1.5.1** nelle piante di soia (*Glycine Max*), dove l'area fogliare fotosintetica totale è notevolmente ridotta a causa della carenza (Cooper, 1967)..

- In secondo luogo il potassio sembra influenzare l'attività del sistema fotosintetico, e il che diventa evidente quando una foglia matura è soggetta a carenza di K (Peaslee e Moss, 1966). I ricercatori si aspettavano che gli effetti sull'attività del sistema venissero annullate, e in modo relativamente rapido, dal rifornimento di K, ma non sono riusciti a dimostrarlo, il che è un problema perché vuol dire che deve esserci un'attenta prevenzione perché solo prevenendo la carenza posso evitare danni derivanti da questa causa, che sarebbero irrecuperabili quando la manifestazione è evidente.

A questo proposito, Peaslee e Moss nel 1966 hanno riferito che la fotosintesi nelle foglie di mais carenti di K aumentava quando il K veniva fornito tramite concimazione fogliare.

Tabella 1.5.1 Effetto della carenza di K nell'espansione delle foglie trifolate della soia. Lo stress da potassio inizia dopo che la prima foglia trifolata ha raggiunto la massima espansione (S. C. Huber, 1983, dati non pubblicati)



1.5.2 ATTIVAZIONE DI ENZIMI

Gli effetti diretti derivano dal fatto che K partecipa alla regolazione di decine di enzimi con un'ampia gamma di funzioni, fenomeno riconosciuto da tempo.

Il potassio attiva almeno 60 enzimi coinvolti nella crescita delle piante, cambiando la forma fisica della molecola interessata esponendo i siti chimici interessati e permettendo alla reazione di avvenire. Naturalmente, non tutti gli enzimi mostrano una stretta dipendenza da potassio, poiché altri cationi monovalenti come Na⁺, Li⁺, NH₄⁺ possono sostituire K⁺ (Gohara e Di Cera, 2016).

Tuttavia, come notato all'inizio da Miller e Evans (1957), la sostituzione di K⁺ con altri cationi univalenti sull'attivazione enzimatica è stata generalmente testata in vitro senza considerare le concentrazioni naturali di ioni nelle cellule vegetali (dove K⁺ è il principale catione) o la loro rilevanza fisiologica (in particolare, Rb⁺ e Li⁺ non sono naturalmente presenti a concentrazioni significative).

Svolgendo il ruolo di cofattore il potassio favorisce la catalisi enzimatica. d esempio, un intenso sforzo è stato dedicato all'esame del ben nota dipendenza della piruvato chinasi o dell'arginasi dal potassio (Van Brunt and Sultenfuss, 1998).

1.5.3 ATTIVITA' STOMATICA

Le piante dipendono da K per regolare l'apertura e la chiusura degli stomi, i pori attraverso i quali le foglie scambiano anidride carbonica (CO₂), vapore acqueo e ossigeno (O₂) con l'atmosfera (**figura 1.5.1**), il corretto funzionamento di questi è essenziale quindi per la fotosintesi, il trasporto di acqua e nutrienti e anche per il raffreddamento delle piante.

Il potassio negli stomi si occupa di spostarsi nelle cellule di guardia, le cellule richiamano così acqua e si gonfiano, provocando l'apertura dei pori e consentendo ai gas di muoversi liberamente dentro e fuori.

Quando l'approvvigionamento idrico è breve, il potassio viene pompato fuori dalle cellule di guardia così i pori si chiudono ermeticamente per prevenire la perdita di acqua e ridurre al minimo lo stress da siccità della pianta (Thomas e Thomas, 2009).

Se l'apporto di potassio è inadeguato, gli stomi diventano lenti a rispondere, e il vapore acqueo si disperde perché la chiusura può richiedere ore anziché minuti ed è incompleta consentendo il passaggio di gas.

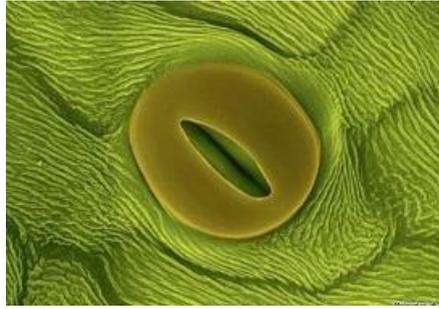


Figura 1.5.1 Stoma

Ciò significa che le piante con un apporto insufficiente di K sono molto più suscettibili allo stress idrico, inoltre l'accumulo di K nelle radici delle piante produce un gradiente di pressione osmotica che attira l'acqua nelle radici e quindi le piante soggette a carenza sono di conseguenza meno in grado di assorbire acqua e sono più soggette a stress quando l'acqua scarseggia (Farquhar & Sharkey, 1982). È stato anche ipotizzato che il sodio (Na^+) sia un possibile sostituto del potassio in alcune specie in determinate condizioni che si discostano da quelle normali (Graham & Ulrich, 1972).

Il sistema utilizzato dalle cellule guardia per consentire l'accesso del potassio non è tuttavia ancora ben chiaro perché il sistema di determinazione di un processo così delicato è molto complesso, tuttavia i diversi studi appena citati hanno portato a conclusioni simili, secondo le quali l'assorbimento di potassio delle cellule stomatiche è mediato da una ATPasi che pompa protoni attraverso il plasma.

1.5.4 TRASPORTO ZUCCHERI

Gli zuccheri prodotti nella fotosintesi devono essere trasportati attraverso il floema ad altre parti della pianta per utilizzo e conservazione.

Il sistema di trasporto del processo utilizza energia sotto forma di ATP, e se il potassio è inadeguato, viene prodotto meno ATP perché nelle pompa sodio-potassio ATPasi, dove il sodio esce e il potassio entra, è necessario mantenere la condizione di tre ioni sodio per due ioni potassio, quindi se manca potassio il processo non può funzionare e il sistema di trasporto non funziona bene, questo fa sì che i fotosintati si accumulino nelle foglie saturandole e la produzione di fotosintesi sia ridotta (Evans & Sorger, 1966).

Di conseguenza, lo sviluppo degli organi di accumulo di energia, come le cariossidi, è ritardato (Willmer e Pallas, 1972).

1.5.5 TRASPORTO DI ACQUA E NUTRIENTI

Come descritto nel paragrafo precedente,

quando l'apporto di potassio è ridotto, lo spostamento di sostanze come di nitrati, fosfati, e amminoacidi è inefficiente e lento (Willmer e Pallas, 1972).

.

1.5.6 SINTESI PROTEICA

Evans e Wildes (1971) hanno rivisto il coinvolgimento di K^+ nella sintesi proteica utilizzando i dati del vasto lavoro su *Escherichia coli*. Questa ricerca può essere riassunta semplicemente affermando che il K^+ è richiesto in ogni fase principale della sintesi proteica.

Alcuni esempi sono la sintesi di ribosomi, la sintesi di amminoacil-tRNA, il legame di amminoacil-tRNA ai ribosomi, trasferimento di peptidile.

Sebbene il lavoro di base sul K^+ e sulla sintesi proteica sia stato compiuto con *E. coli*, l'importanza del K^+ nel processo si estende alle piante, la dimostrazione è l'esempio di ciò si trova nel lavoro di Beachy et al. (1978), dove sono richieste condizioni ottimali per la sintesi proteica in vitro da poliribosomi di soia utilizzando un sistema di germe di grano.

Le concentrazioni di K^+ variano da 55 a 85 mM e quando gli mRNA sono stati purificati dai poliribosomi della soia, la concentrazione di K^+ era compreso tra 105 e 135 mM, molto più alto di quello dei poliribosomi originari. Ulteriori lavori hanno indicato che sebbene la spermidina possa risparmiare Mg^{2+} per una sintesi proteica ottimale, non risparmierebbe la quantità di K^+ richiesta (Beachy et al., 1978).

Questi esempi mostrano che per una sintesi proteica ottimale in vitro con sistemi vegetali, sono necessarie alte concentrazioni di K^+ .

1.5.7 SINTESI DELL'AMIDO

L'enzima responsabile della sintesi dell'amido (amido sintetasi) è attivato dal potassio, quindi con K insufficiente il livello di amido diminuisce, mentre i carboidrati solubili e i composti azotati si accumulano (Patil, 2011).

1.5.8 QUALITÀ DEL RACCOLTO

Questo paragrafo meriterebbe spiegazioni e attenzioni ben diverse, e non soltanto da parte di ricercatori e laureandi, ma anche da chi con i raccolti e le piante ci lavora e vede in queste la maggior fonte di profitto della propria azienda e del proprio lavoro.

Troppo spesso l'effetto delle concimazioni a base di potassio è trascurato, con il rischio di uno spreco di risorse per delle altre concimazioni che non hanno per niente o molto poco effetto (Munson, 1968).

Il potassio svolge un ruolo significativo nel migliorare la qualità del raccolto (**tabella 1.5.2**), è spesso descritto come "l'elemento della qualità" per la produzione agricola.

Livelli elevati di K disponibile migliorano la qualità fisica, la resistenza alle malattie e la durata di conservazione di frutta e verdura utilizzate per il consumo umano e il valore nutritivo delle colture di cereali e foraggi.

La qualità può anche essere colpita nel campo prima della raccolta, come quando K riduce l'allettamento dei cereali o migliora l'inverno robustezza di molte colture (Nelson e Munson, 1976).

Però per valutare effettivamente il ruolo sulla qualità sono necessari standard di confronto, che in colture come il cotone (*Gossypium hirsutum L.*), il tabacco (*Nicotiana tabacum L.*) e gli ortaggi, vengono spesso stabiliti per riflettere le specifiche di produzione, i requisiti di dimensionamento, in base alla preferenza del cliente, o anche per analisi dei componenti, come nel caso del foraggio proteico (Martens e Army, 1967).

Gli effetti della carenza di potassio possono causare una riduzione del potenziale di resa e della qualità molto prima dei sintomi visibili apparire.

Questa "fame nascosta" sottrae profitti all'agricoltore che non riesce a mantenere i livelli di K del suolo entro il range sufficientemente alto da fornire K adeguato in ogni momento durante la stagione di crescita, con una conseguente riduzione della resistenza alle malattie e della qualità delle proteine, che per l'industria molitoria sono essenziali (Thompson, 1978).

Anche brevi periodi di carenza, specialmente durante le fasi critiche dello sviluppo, possono causare gravi perdite.

Bisogna però prestare attenzione al fatto che raramente il K preso singolarmente sia la causa di questi difetti, solitamente infatti sono coinvolti degli squilibri di altri nutrienti, influenze climatiche o persino decisioni gestionali associate al tempo, velocità e al metodo di esecuzione della pratica.

Fertilizer K kg K ₂ O ha ⁻¹	Grain yield t ha ⁻¹	Protein %	Sedimentation rate
0	2.24	13.8	47
300	2.51	13.8	48
600	3.84	14.4	53
900	4.36	14.6	55

Tabella 1.5.2 effetti dell'applicazione del potassio nella produzione e nella qualità delle cariossidi di orzo primaverile

1.5.9 FERTILIZZANTI

Il cloruro di potassio è il sale di potassio dell'acido cloridrico, la sua formula è KCl e come minerale prende il nome di silvite.

A temperatura ambiente si presenta come una polvere cristallina bianca.

La maggior parte del cloruro di potassio prodotto è impiegata nella produzione di fertilizzanti.

In natura bisogna utilizzarlo con cautela perché se il cloro viene liberato in quantità esagerate diventa molto dannoso per l'ambiente

Il solfato di potassio K₂SO₄ è il sale di potassio dell'acido solforico che a temperatura ambiente si presenta come un solido incolore inodore e viene impiegato anch'esso come fertilizzante, con una composizione NPK 0-0-50

I due fertilizzanti sono molto diversi tra loro, sia per principio chimico che come azione nel terreno.

Bisogna però fare attenzione ad utilizzarli perché comunemente si viene tratti in errore dalle concentrazioni di potassio, infatti il solfato di potassio agli occhi dei coltivatori costa molto di più rispetto al cloruro, ma la concentrazione di potassio è molto più alta, di conseguenza basta una quantità molto minore da spargere sul campo rispetto al cloruro.

Quindi è comune tra gli allevatori riscontrare che viene comprato il cloruro, con il rischio di contaminazioni da cloro nel terreno, che risulta tossico per le piante se in quantità eccessiva.

Quindi a parità di potassio minerale apportato al terreno conviene spesso utilizzare il solfato perché inoltre il cloruro è poco solubile nel terreno, mentre il solfato, una volta calcolata la corretta dose per ettaro agisce molto meglio, infatti nei concimi composti solitamente viene inserito solfato di potassio.

I concimi a base potassica inoltre non presentano l'inconveniente di essere fortemente dispersi in atmosfera e nel terreno come quelli a base di azoto o di fosforo perché una volta nel terreno il potassio

si lega ad altri elementi colloidali e non va incontro a reazioni di gassificazione che lo rendono volatile e non viene lisciviato molto perché non è solubile come l'azoto (Poulson, 2008; Lou, 2011).

CLORURO DI POTASSIO E AZOTO

Dallo studio di Fenn e Kissel del 1973 è stato verificato che le perdite di ammoniaca dall'urea applicata come concimazione in terreni sabbiosi / argillosi con pH 6,4 sono state ridotte dalla presenza di cloruro di potassio KCl (**Tabella 1**).

L'entità delle perdite di ammoniaca è stata pari al 42,0% senza KCl e al 4,6% con KCl, questo risparmio percentuale indica che sono stati persi solo 6,9 g N/m² di azoto a differenza dei precedenti 18.4 g N/m².

Questa riduzione della perdita di ammoniaca può essere spiegata con la sostituzione di Ca nei siti di scambio del suolo con K e successiva precipitazione di Ca con la CO₂ in seguito all'idrolisi dell'urea e alla dissociazione del carbonato di ammonio.

La successiva formazione di cloruro di ammonio dovrebbe ridurre la formazione di idrossido di ammonio e la perdita di ammoniaca (Bremner e Douglas, 1971)

Treatments	Physical form	Yield, g m ⁻²
Total N = 8.4 g m⁻²		
1 (NH ₂) ₂ CO to 1 KCl	Liquid	660
1 (NH ₂) ₂ CO to 0.77 KCl†	Liquid	662
(NH ₂) ₂ CO†	Liquid	574
NH ₄ NO ₃	Solid	637
1 (NH ₂) ₂ CO to 1 KCl (finely powdered and pelleted)	Solid	570
LSD (0.05)		74

† Total KCl application equivalent to treatment 1 was applied 10 days later.

Tabella 1.5.3 influenza del KCl sull'efficienza dell'urea per la produzione di sorgo su terreni argillosi

NITRATO DI POTASSIO E DORMIENZA SEMENTI

Uno studio iraniano (Balouchi e Sanavy, 2003) ha dimostrato come in molte piante da giardino, il nitrato di potassio contribuisca ad interrompere la dormienza dei semi e ad aumentare la percentuale di piantine sane.

I trattamenti effettuati hanno dimostrato che c'è stata una più alta percentuale di germinazione (37%) ottenuta con nitrato di potassio 0,2% ed una più alta velocità di germinazione (9,7 piantine/giorno) con nitrato di potassio 0,1% (**tabella 1.5.4**).

Potassium nitrate (%)	Germination percentage	Germination rate
0.1	31b	9.7a
0.2	37a	7.9b
0.3	27c	9.4a
0.4	24c	4.9c

Means with same letters in each column are not significantly different at 5% probability

Tabella 1.5.4 effetto del nitrato di potassio sulla percentuale di germinazione delle sementi e sulla rata di germinazione

1.6 MAIS

1.6.1 DEFINIZIONE

Il mais (*Zea mays L.*), anche chiamato granoturco, è una pianta erbacea annuale della famiglia delle graminacee, tribù delle Maydeae.

È uno dei più importanti cereali, largamente coltivato sia nelle regioni tropicali sia in quelle temperate, in quest'ultimo caso a ciclo primavera-estate.

È base alimentare tradizionale delle popolazioni dell'America Latina e di alcune regioni dell'Europa e del Nordamerica, nelle regioni temperate è principalmente destinato all'alimentazione degli animali domestici, sotto forma di granella, farine o altri mangimi, oppure come insilato, generalmente raccolto alla maturazione cerosa, è inoltre destinato a trasformazioni industriali per l'estrazione di amido e olio oppure alla fermentazione, allo scopo di produrre per distillazione di bevande alcoliche o bioetanolo a scopi energetici.

L'infiorescenza femminile, che porta le cariossidi, si chiama correttamente spadice (**figura 1.6.1**), ma viene più spesso impropriamente chiamata "pannocchia", mentre la pannocchia propriamente detta è l'infiorescenza maschile posta sulla cima del fusto (culmo) della pianta, che di contro viene talvolta chiamata impropriamente "spiga" per il suo aspetto.

Le cariossidi sono fissate al tutolo e il tutolo è fissato alla pianta.



Figura 1.6.1 spadice di mais

1.6.2 FABBISOGNI E ASPORTAZIONI IN MAIS

Per le sue caratteristiche, il mais esalta le sue qualità soprattutto in ambienti caldi in cui la temperatura media del giorno è maggiore di 15°C, senza gelate e con temperatura limite di riferimento pari a 10°C per non avere danni alla crescita e allo sviluppo.

Per la coltivazione del mais, la disponibilità idrica è un elemento imprescindibile, infatti essendo una coltura a fotosintesi C4, l'efficienza d'uso dell'acqua è strettamente legata alla sua capacità fotosintetica, che sappiamo essere molto elevata.

Per questi motivi la maiscoltura si è sviluppata in aree caratterizzate da climi caldi, con una buona piovosità e abbondante disponibilità idrica soprattutto in estate, capace di coprire un fabbisogno che varia dai 650-700 mm/anno.

Il mais è come sappiamo una coltura fortemente depauperante, specialmente di azoto, con richieste che possono arrivare ai 250 kg/ha, (**tabella 1.6.1**), dove si vedono le asportazioni di azoto fosforo e potassio in base a diverse rese di granella.

Le richieste di azoto, di fosforo e di potassio, sono variabili lungo tutto il ciclo di crescita, secondo precise curve di assorbimento da parte della coltura.

Fondamentale per la produzione è la scelta della densità di semina che varia da 7,0 a 9,0 piante/m², questa scelta deve tenere in considerazione la destinazione della produzione, la tipologia di ibrido, la fertilità del suolo e la disponibilità idrica (Fertilgest, 2010).

Elementi nutritivi	Produzione granella (t/ha)					
		8	9	10	11	12
N	Granella	120	135	150	165	180
	Stocchi e foglie	58	65	72	79	86
	Totale	178	200	222	244	266
K20	Granella	32	36	40	44	48
	Stocchi e foglie	134	151	168	185	202
	Totale	166	187	208	229	250
P205	Granella	56	63	70	77	84
	Stocchi e foglie	19	22	24	26	29
	Totale	75	85	94	103	113

Tabella 1.6.1 elementi nutritivi necessari al mais in base alla produzione indicata (Ruralp)

1.6.3 INFORMAZIONI PER COLTIVAZIONE DEL MAIS

AMBIENTE PEDOLOGICO

I parametri interessanti per un'ottimale di crescita della coltura sono nella **tabella 1.6.2**, che mostra le caratteristiche ideali di un terreno adatto alla coltivazione del mais.

Parametri pedologici	valori
Profondità utile	> 0,5 m
Drenaggio	buono
Tessitura	franca; f. argillosa; f. sabbiosa
Indici d'incrostamento	basso : < 1,2
pH	6,1 < 7,8
Calcare attivo	< 10 %
Salinità	non salino : Ece < 2 mS/cm

Tabella 1.6.2 caratteristiche del terreno per poter ospitare la coltura di mais (Ruralp)

AMBIENTE CLIMATICO

Per il processo di germinazione è importante che ci siano temperature superiori a 8 °C.

Lo sviluppo della pianta è ritardato da temperature che scendano sotto i 15 °C a sviluppo avviato, mentre a temperature vicine o inferiori a 10 °C la pianta si trova in uno stato di inerzia e non cresce (**tabella 1.6.3**).

Parametri climatici	valori
Temperature	
· per la crescita	24 < 30 °C
· minima	10 °C
· massima	32 °C
· minima in germinazione (semina)	8 °C
Umidità	medio - alta

Tabella 1.6.3 parametri climatici richiesti per ospitare la coltura di mais (Ruralp)

ROTAZIONE

Il mais non presenta problemi di allelopatie o di autoallelopatie, per cui è possibile anche la monosuccessione.

Tuttavia, l'avvicendamento colturale è una pratica necessaria al fine di evitare, in terreni difficili per condizioni fisiche, effetti negativi sulla struttura del terreno, sulla diffusione delle infestanti resistenti

ai diserbanti e sulla diffusione di microorganismi patogeni, soprattutto quelli responsabili dei marciumi dello stocco e della spiga.

Questa pratica impedisce la proliferazione della cosiddetta "flora avventizia di sostituzione", il cui controllo con erbicidi diviene via più problematico con il passare del tempo perché si "abituano" al tipo di principio attivo utilizzato.

L'avvicendamento con un cereale vernino favorisce anche la mineralizzazione dell'azoto nel terreno consentendo in tal modo di ridurre gli apporti di azoto chimico l'anno successivo.

GESTIONE DEL TERRENO

- Sistemazioni

In base al tipo di terreno si consiglia di porre particolare attenzione alle sistemazioni, al fine di consentire un efficace sgrondo delle acque in eccesso.

In terreni pesanti occorre la costruzione di fossi di scolo lungo le testate e scoline laterali.

- Lavorazioni

La sperimentazione agronomica ha posto in evidenza come riducendo l'intensità di lavorazione, diminuisca l'impegno energetico da sostenere, ma come aumentino le difficoltà di controllo delle erbe infestanti.

La lavorazione consigliata consiste in una ripuntatura, seguita o combinata con una lavorazione leggera non superiore a 30 cm di profondità, queste operazioni sono da eseguire però nell'estate o nell'autunno precedente.

È consigliata una lavorazione primaverile leggera quando la coltura segue un erbaio autunno -vernino, una cover crop o un medicaio, facendo conto anche della natura del terreno in cui si lavora.

Prima della semina sarà necessario effettuare apposite lavorazioni superficiali per rendere più fine il terreno.

SEMINA

Prima di seminare è opportuno scegliere la classe di precocità degli ibridi da impiegare secondo i seguenti criteri in base alla **tabella 1.6.4**.

Destinazione ed epoca di semina	Terreni	
	sabbiosi	argillosi
Granella		
1a epoca di semina (aprile)	FAO 600	FAO 500
semina ritardata (maggio)	FAO 500	FAO 400
2a epoca di semina (giugno)	FAO 400	FAO 300
Foraggio		
1a epoca di semina (aprile)	FAO 700	FAO 600
semina ritardata (maggio)	FAO 600	FAO 500
2a epoca di semina (giugno)	FAO 500	FAO 400

Tabella 1.6.4 epoca di semina per ogni classe di ibridi in base alla tessitura (Ruralp)

CONSIGLI per la semina:

- Non è consigliato l'uso di ibridi a ciclo eccessivamente lungo con epoche di semina ritardate per non rischiare di raccogliere il prodotto in epoca troppo tardiva con perdita di qualità della granella.
- Si sconsiglia inoltre di impiegare ibridi a ciclo troppo breve con epoca di semina precoci in quanto ciò non permetterebbe di sfruttare nel modo migliore il tempo utile per la coltura e lascerebbe inutilmente scoperto il terreno a causa di raccolte eccessivamente anticipate.

EPOCA DI SEMINA

In linea di massima si devono evitare semine troppo anticipate, che possono iniziare a partire dal 10 Aprile, anche se con il cambiamento climatico negli ultimi anni già a fine marzo possono essere seminati i primi ettari.

DENSITA' DI SEMINA

Sono consentiti spazi interfila variabili da 45 a 75 cm in base alle decisioni aziendali riguardo alla semina e alla raccolta.

Generalmente nelle nostre zone e in generale in Italia l'interfila è 75cm, però in zone dove l'acqua non manca e si vuole raggiungere produzioni più elevate, ovvero quando in generale si parla di biogas, le semine possono anche raggiungere interfila 45cm.

Le densità consigliate sono descritte in **tabella 1.6.5**:

Destinazione	1° Epoca (piante/m2)	2° Epoca (piante/m2)
Granella		
Classe FAO 300	-	6,7
Classe FAO 400	7,2	6,5
Classe FAO 500	6,9	-
Classe FAO 600	6,7	-
Trinciato		
Classe FAO 400	-	7,2
Classe FAO 500	8,0	6,9
Classe FAO 600	7,7	-
Classe FAO 700	7,2	-

Tabella 1.6.5 densità in base alla classe FAO e all'epoca di semina (Ruralp)

AMMENDANTI ORGANICI E LIQUAMI

Al mais, come a molte colture da rinnovo, si attribuiscono ottime capacità di utilizzazione di ammendanti organici e liquami soprattutto, che conferiscano sostanza organica, importantissima per le qualità fisiche e chimiche, e azoto, fosforo e potassio.

Per quanto riguarda l'azoto prestare attenzione alla quantità erogata e ai limiti concessi dalle direttive nitrati regionali.

CURE COLTURALI

Durante la fase di levata della coltura viene consigliata l'effettuazione di due interventi di sarchiatura. Il secondo intervento può essere abbinato o sostituito da rincalzatura oppure evitato a seconda delle condizioni climatiche e dello stadio vegetativo del mais. Le concimazioni in copertura dovranno comunque essere sempre abbinate agli interventi di sarchiatura onde provvedere tempestivamente all'interramento dei fertilizzanti.

DISERBO

Criteri e modalità:

Per riuscire ad avere un'efficacia maggiore, al fine di stimolare l'emergenza delle infestanti, preparare con un certo anticipo il letto di semina e intervenire con uno dei prodotti concessi dal disciplinare o, specie nei terreni sabbiosi, con una leggera sarchiatura può essere una saggia decisione per risparmiare su trattamenti futuri.



Figura 1.6.4 trampolo per diserbare

Questo intervento, detto di pre-emergenza, consentirà di ridurre il potenziale e la quantità di malerbe.

In pre-emergenza è buona norma intervenire con dei prodotti in trattamenti localizzati sulla fila, in modo da avere come obiettivo principale le infestanti che sono presenti dove non ci sarà il seme e quindi avranno una libertà di crescita maggiore.

In post-emergenza (**figura 1.6.4**) conviene invece integrare il trattamento in pre-semina o in pre-emergenza, scegliendo i prodotti in funzione delle malerbe presenti.

Si consiglia di alternare negli anni l'impiego dei diversi prodotti fitosanitari in modo da non abituare le piante e in caso di infestazioni localizzate, trattare solo quelle parti del campo in cui si evidenziano specifici problemi di infestazione.

RACCOLTA

- Granella

La granella può essere raccolta umida, con circa il 25-30% di umidità, e poi conservata in silos, oppure essiccata, prima o dopo il conferimento, con valori di umidità inferiori al 15.5%, che è l'umidità commerciale di riferimento.

In quest'ultimo caso si consiglia di raccogliere con umidità non superiore al 25% per non avere un sovrapprezzo eccessivo a causa del costo di essiccazione.

Per la produzione di silomais invece si interviene con la raccolta alla maturazione cerosa della granella con macchine falcia-trincia-caricatrici trainate o semoventi.

Per individuare l'approssimarsi del momento ideale per la raccolta si fa riferimento all'aspetto esteriore della pianta: foglie sotto la spiga parzialmente essiccate, brattee della spiga leggermente ingiallite, granella lucida con dentatura pronunciata e consistenza cerosa, scalfibile con l'unghia.

Per definire precisamente il momento ideale per la raccolta occorre invece determinare il tenore in sostanza secca della pianta: si consiglia la raccolta con tenori di sostanza secca compresi tra il 35 e il 37% per avere tenori di amido corretti alla fermentazione in trincea.

Alla raccolta le piante devono comunque presentarsi sane ed ancora vitali ossia con lo stocco e tutte le foglie sopra la spiga ancora completamente verdi.

- Insilato

Parlando oggi di mais da foraggio, il mais a maturazione cerosa trinciato e stoccato in trincee dove avviene la fermentazione prende il nome di silomais.

Dal punto di vista della qualità dell'insilato di mais ceroso per essere considerato un buon silomais deve possedere i seguenti requisiti:

- essere ben conservato, nel senso di non presentare ammuffimenti;
- non essere contaminato da terra;
- possedere un buon livello energetico.

FOSFORO E POTASSIO

Non sono ammesse distribuzioni in copertura con concimi minerali che contengono questi elementi perché solo l'azoto è soggetto a pesanti azioni dilavatrici ed evaporazione in atmosfera, mentre fosforo e potassio rimangono nel terreno e sono assorbiti quando richiesto, ecco perché un intervento in presemina è sufficiente.

Per quanto riguarda le quantità da apportare in particolare, non è ammesso superare i seguenti quantitativi:

In caso di dotazione nel terreno scarsa:

- P₂O₅: dose di mantenimento con arricchimento e comunque non oltre i 250 kg/ha
- K₂O: dose di mantenimento con arricchimento e comunque non oltre i 300 kg/ha

In caso di dotazione terreno normale:

- P₂O₅: dose pari al mantenimento e comunque non oltre i 150 kg/ha
- K₂O: dose pari al mantenimento e comunque non oltre i 200 kg/ha

In caso di dotazione terreno elevata:

- Non è ammessa e consigliata la distribuzione

1.7 RUOLO DEL POTASSIO NELLA PIANTA DI MAIS

1.7.1 QUALITÀ DEL RACCOLTO

Come già detto nella sua descrizione generale il potassio (K) è spesso descritto come "l'elemento di qualità" per la produzione agricola.

Numerosi studi di ricerca aiutano a spiegarne il motivo specificando come con una carenza di K incida su fotosintesi, respirazione, traslocazione e un certo numero di funzioni del sistema enzimatico interrompendole o danneggiandole (Matches e Oumpaugh, 1979).

Il risultato può essere una riduzione della crescita delle piante e spesso della qualità del raccolto.

Alcuni studiosi (Pretty, 1980; Usherwood, 1980; Jeffers et al., 1982) dopo diverse analisi hanno trovato nel mais i genotipi che differiscono in modo significativo per quanto riguarda la resa di sostanza secca e i nutrienti accumulati, ciò dovrebbe incoraggiarci ad mediare la scelta di ibrido più adatta e a gestire al meglio la produzione in modo da avere un ritorno economico adeguato.

uniti a fattori ambientali favorevoli, in modo che tutti questi siano un aiuto ulteriore per ottenere la massima quantità dal potenziale della pianta.

Gli aspetti qualitativi della produzione di cereali comprendono le proteine e la composizione del grano, amido, contenuto di olio, qualità del gambo e capacità di sopravvivenza, maturazione del raccolto (umidità del grano), qualità del prodotto fabbricato e qualità del seme determinata da malattie, calibro e colorazione.

Il mio obiettivo però non è quello di fornire una valutazione economica ma di dare una misura del ruolo del potassio nella qualità del raccolto di grano, facilitando il lavoro dell'agricoltore.

La risposta del mais al potassio è caratterizzata in generale da maturità uniforme, migliore qualità dello stocco e peso specifico della cariosside più elevato (Dowdy et al., 1958).

In caso di forte mancanza di potassio (Martens e Army, 1967), sono riscontrati problemi di emergenza della piantina e di sopravvivenza che hanno portato a popolazioni di piante inferiori al momento del raccolto.

Livelli inadeguati inoltre danno spighe morbide e flessibili e un pesante aborto del chicco all'estremità superiore, con conseguente minore resa e peso specifico della cariosside (Liebhardt e Murdock, 1965).

La qualità del chicco di mais influenzata da K è stata studiata con degli ibridi testati, dove K ha aumentato significativamente le proteine del grano anche se non è stata misurata la risposta alla resa (Usherwood, 1980).

Il contenuto di aminoacidi del chicco di mais è migliorato con una fertilità equilibrata (**Tabella 1.7.1**). Ulteriori caratteristiche di qualità della cariosside che sono influenzate da K includono il peso del chicco, il numero di chicchi per spiga, il volume, il peso e la percentuale di sgusciatura.

Il contenuto di K nel grano fertilizzato è più evidente a basso livello di rendimento perché la concentrazione è esponenziale all'inizio fino ad appiattirsi con l'aumentare della dose applicata.

Gli studi di Dowdy del 1958 hanno riportato un intervallo di contenuto di K con un aumento dello 0,4% quando le rese di mais variavano da 2635 a 4770 kg/ha, l'incremento è notevole.

A più alti livelli di resa è stato rilevato che il contenuto di potassio nella cariosside di mais è aumentato fino 5,1 g/kg quando il livello di K del test del suolo ha subito una variazione da basso a molto alto.

Altri aspetti sotto la contribuzione del potassio sono la tendenza a migliorare la forza del gambo del mais, la resistenza alle malattie e una minore perdita di raccolto.

Avere nel terreno o comunque apportare una concimazione di azoto adeguatamente bilanciato con potassio, una selezione ibrida e una gestione tempestiva possono aiutare a ridurre al minimo i problemi di qualità del culmo per rese più elevate e una migliore capacità di raccolta.

	Corn grain amino acid content								
	Lysine	Threonine	Cystine	Valine	Methionine	Isoleucine	Leucine	Tyrosine	Phenylalanine
	g kg ⁻¹								
P	2.3	2.7	1.1	3.5	1.4	2.4	7.6	3.1	3.2
NP	2.5	2.8	1.1	3.8	1.2	2.6	8.5	3.3	3.5
NPK	2.6	3.1	1.3	4.3	1.4	3.0	10.3	4.0	4.2

Tabella 1.7.1 nove AA essenziali con la combinazione applicata di fertilizzanti NP e NPK

1.7.2 EFFICIENZA DI UTILIZZO DELL'ACQUA NEL MAIS

Il mais è una coltura con rese potenziali estremamente elevate, ma presenta un rischio economico per i coltivatori a causa della sua elevata sensibilità a fattori di crescita esterni, che possono indurre di anno in anno una variabilità della resa in granella (Shiferaw, 2011) (**tabella 1.7.2**).

Rese di mais in diverse aree di studio anche di diversi Paesi hanno dimostrato come la produzione sia molto al di sotto dei potenziali di rendimento per le varietà coltivate, le ragioni principali di queste variazioni sono i bassi livelli di fertilità del suolo e la fertilizzazione squilibrata, concimazione effettuata senza considerare le reali necessità del terreno.

Si ritrova in contesti aziendali dove di solito viene effettuato un tipo di intervento di concimazione che non è stato valutato correttamente, senza ricorrere ad analisi o scambiando i sintomi della pianta per altri, concimando scorrettamente e rischiando di non ottenere effetti o addirittura di peggiorare la situazione

Una concimazione squilibrata può causare, da un lato, l'approvvigionamento insufficiente dei vegetali con sostanze nutritive essenziali e, dall'altro, la contaminazione delle acque con sostanze nutritive dilavate.)

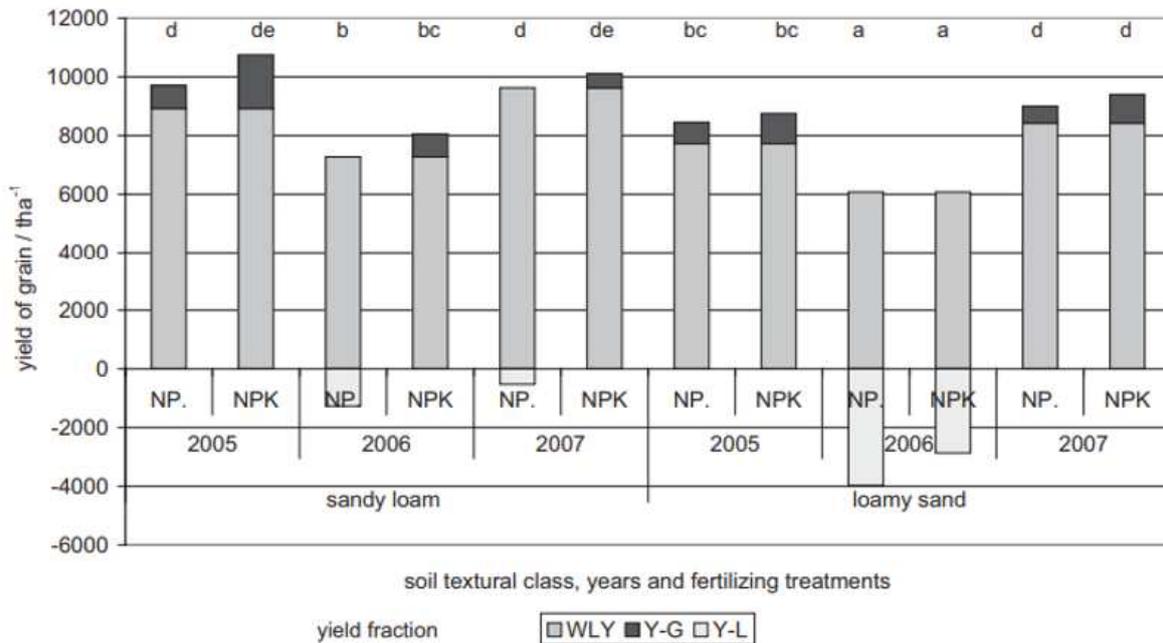


Tabella 1.7.2 componenti strutturali della produzione di mais quando la pianta è in stress idrico in 2 terreni diversi e in con diversi trattamenti a base potassica

WLY=produzione sotto stress; Y-G=produzione aggiuntiva; Y-L=produzione persa

Tuttavia, il corso generale dell'evapotraspirazione (ET) durante entrambe le stagioni di crescita mostra delle piccole variazioni.

La somma di ET nello studio ammontava a 6220 e 5720 m³/ha rispettivamente nel 2006 e nel 2007 (Szczepaniak et al., 2010).

Oltre alla differenza di ET calcolata sono state rilevate due ragioni principali per le differenze di resa: Il primo motivo riguarda la distribuzione e l'ammontare delle precipitazioni, sfavorevole per il mais nel primo anno, anche se tuttavia il fattore incidente non era la quantità di acqua disponibile, ma il suo assorbimento da parte delle piante, che dipendeva sia dalla fertilità del suolo che dalla gestione del K, questa scoperta indica che K ha aumentato significativamente l'efficienza dell'uso dell'acqua con la concimazione, inoltre anche le rese di mais in sabbia argillosa hanno superato la resa rispetto all'annata con acqua limitata e ha risposto positivamente all'applicazione.

Tuttavia, quanto riportato ha prevalso solo durante gli anni senza stress idrico, c'era infatti una lunga durata di scarsità d'acqua nel 2006 e i rendimenti che erano stati calcolati erano molto superiori ai rendimenti effettivi, questo però non ha destato scalpore visto che comunque era nota la quantità di

acqua necessaria al mais, e indirettamente indicano il ruolo dominante dell'approvvigionamento idrico nel mais su cui veniva coltivato se il terreno era leggero e naturalmente povero di risorse interne di K (Fotyma, 2007).

A proposito della stagione appena passata (2022), tutti abbiamo risentito delle temperature e in particolare della siccità, è proprio qui che il potassio va ad intervenire secondo queste teorie.

Si tratterebbe di un effetto non ancora del tutto studiato, ma avrebbe un ruolo di regolatore con effetti di gestione dell'acqua all'interno della pianta in quanto andrebbe ad agire con diverse concentrazioni che danno segnali ai sistemi di controllo della pianta e l'aiuterebbero a dosare l'acqua e a trattenerla nelle parti di stoccaggio, senza utilizzarla immediatamente (Zhang, 2019).

In poche parole, dopo un periodo di lunga siccità e di temperature eccessive, quando viene a contatto con dell'acqua la pianta la assorbe e invece di dare turgore immediato alle cellule la immagazzina e la utilizza in modo razionato (Potarzycki, 2010).

1.7.3 CASI DI SICCITA'

Facendo un confronto delle perdite indotte da stress biotici e abiotici, queste ultime sono molto maggiori rispetto alle prime.,

Tra tutti gli stress abiotici, specialmente negli ultimi anni la siccità è emersa come un serio vincolo produttivo nel mais.

L'impatto dello stress idrico sulla cultura non dipende solo dalla sua durata e dalla sua intensità ma anche dalla fase di crescita in cui si trovano le piante quando vengono colpite. che a sua volta influisce in modo variabile sulla perdita di produzione che ne deriva (Sami Ul-Allah, 2020).

Quando lo stress idrico colpisce nelle prime fasi vegetative, le perdite sono dovute ad una ridotta crescita e sviluppo e ad una riduzione della fissazione dell'anidride carbonica (CO₂), mentre se lo stress colpisce nella fase riproduttiva porta a un fallimento riproduttivo, con conseguente minor allocazione di assimilati alle cariossidi (Razmjoo et al., 2008).



Figura 1.7.1 siccità durante coltivazione di mais

Secondo molti studiosi (Smirnoff, 1993; Jaleel et al., 2009) il potassio è noto come il nutriente che allevia gli effetti negativi dello stress alle piante, controllando i meccanismi fisiologici e biochimici nella pianta coinvolti nella tolleranza allo stress.

Durante periodi di stress l'altezza e lo sviluppo della pianta sono significativamente ridotti, e l'applicazione di potassio ha migliorato la risposta a questa problematica.

Tuttavia, per dosaggi superiori a 100 mg/kg non sono stati osservati effetti additivi sulla tolleranza, indicando questa dose come quella massima in grado di produrre qualche effetto (Roy e Kumar, 1990).

Studiando altri aspetti migliorativi in risposta al potassio, è emerso anche un aumento della capacità di assorbimento di K da parte dell'apparato radicale, mantenendo attiva la nutrizione, e quindi mantenendo attiva la via di biosintesi di enzimi antiossidanti, e un effetto positivo sul turgore cellulare (**tabella 1.7.3**) (Supit et al., 2010) importante però specificare come la risposta alla siccità non sia sempre uguale ma sia variabile a seconda del tipo di ibrido ed il terreno.

Hybrids	K levels (mg/kg of soil)	Plant height (cm)		Leaf area (cm ²)	
		100% field capacity	70% field capacity	100% field capacity	70% field capacity
32-F-10	0	51.40 e	42.60 h	411.18 e	340.83 i
	50	53.49 d	48.38 f	413.49 e	387.03 f
	100	83.42 a	60.59 c	667.38 a	484.68 d
	150	83.92 a	59.75 c	671.37 a	477.96 d
	200	84.36 a	60.04 c	674.91 a	480.30 d
YH-1898	0	44.86 g	19.09 k	358.89 h	152.67 l
	50	46.54 fg	30.43 j	372.33 g	243.39 k
	100	69.19 b	33.76 i	553.56 c	270.06 j
	150	70.48 b	34.39 i	563.85 bc	275.10 j
	200	70.74 b	34.66 i	565.95 b	277.30 j
LSD (P ≤ 0.05)		1.89		12.25	

Means followed by common letter (s) are not significantly different according to Fisher's protected LSD test at P = 0.05.

Tabella 1.7.3 effetto dei livelli di potassio nell'altezza e nell'area della foglia di 2 ibridi di mais sotto stress idrico

Come mostrato nella tabella la somministrazione di potassio è fondamentale per mantenere una determinata superficie fogliare, che determina un miglior tasso di crescita e una maggior resa produttiva e qualitativa del raccolto.

Un ulteriore punto a favore è stato dimostrato vedendo come anche sia il peso secco che il peso verde dei germogli sia in aumento con concimazioni ordinate di potassio, questo ha un risvolto particolarmente positivo se consideriamo che i germogli danno poi vita alle foglie e alle infiorescenze, che determinano la superficie fogliare e la produzione appena citate sopra.



Figura 1.7.2 piantina di mais

1.7.4 CONCIMAZIONE SPECIFICA

Come già detto in precedenza una coltura come il mais si presenta fortemente depauperatrice nei confronti del terreno, l'asporto di elementi nutritivi per una produzione di 10 t/ha di granella secca è pari a 140 kg/ha di azoto, 60 kg/ha di fosforo e 50 kg/ha di potassio nel caso in venga raccolta solo la granella e si interrino gli stocchi.

Quello che interessa questa tesi è però la concimazione potassica.

La cosa interessante di questo elemento è che tendenzialmente è possibile concimare con tutta la quantità di potassio in presemina, senza dover intervenire poi con la coltura in atto.

Va tenuto anche presente che se vengono lasciati i residui colturali sul terreno, i 4/5 del potassio asportato ritornano al suolo, quindi la dose da distribuire ogni anno risulta minima, sempre che il terreno non manifesti palesi carenze di questo elemento.

Sappiamo che il periodo di maggior assorbimento di K nel mais va dalla levata alla fioritura e che esso si accumula soprattutto nei residui colturali, pertanto, interrare gli stocchi in caso di mais da granella permette il ritorno nel terreno di gran parte del potassio asportato, come discusso anche più avanti.

Ad oggi sul mercato sono presenti diversi tipi di concimi e di metodi di concimazione, ma il sistema più efficace è la distribuzione presemina con prodotti che non sono composti al 100% di potassio, ma sono delle miscele che ne permettono il miglior assorbimento e permanenza nel terreno come:

- CLORURO DI POTASSIO KCl : adatto per la concimazione di fondo ma non per colture molto sensibili in quanto il cloro Cl^- in alte concentrazioni può risultare tossico
- SOLFATO DI POTASSIO K_2SO_4 : adatto come il precedente a coltivazioni di fondo, per piante diverse dal mais va bene anche se erogato in fioritura, non presenta i problemi di tossicità del cloro

- NITRATO DI POTASSIO KNO_3 : è la forma più pregiata e costosa, oltre ad apportare potassio contiene anche un'alta percentuale di azoto.
Questo tipo di concime è molto solubile, quindi si presta molto bene alla fertirrigazione con le manichette.
- CONCIMI COMPLESSI NPK : sono utili per apportare tutti gli elementi fondamentali in una sola volta, più comune tra questi è il 15 15 15, che contiene la stessa percentuale di concime per tutti gli elementi
- ALTRI CONCIMI : ogni ditta produttrice poi ha messo a punto una propria formula con le proprie percentuali e formule di azione, dividendo concimi per agricoltura convenzionale e biologica, dove molti elementi non possono essere utilizzati

Treatments	Yield, g m^{-2}
Total N = 8.4 g m^{-2}	
$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{KCl}$	881*
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, KCl applied 10 d after $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ application	768

Tabella 1.7.5 influenza di KCl nell'efficienza dell'urea nella produzione di mais in terreno argilloso



Figura 1.7.3 concime granulato

1.7.5 CONCIMAZIONE FOGLIARE



Figura 1.7.4 concimazione fogliare

Questo studio effettuato nei primi anni 2000 in Pakistan (Muhammad Affan, 2000) ha mostrato come anche quando il mais ha raggiunto altezze considerabili si possa intervenire con un trampolo e per concimazione fogliare si possa, nonostante la fase di crescita avanzata, ancora correggere la concimazione.

La **tabella 1.7.4** presenta i risultati dell'analisi di diversi indici di crescita misurati che sono stati fortemente influenzati dalla fertilizzazione del suolo.

È stato notato in particolare come la concimazione fogliare, invece, abbia influenzato significativamente la crescita dei germogli, ma non quella degli indici di crescita delle radici.

È stato dimostrato come il peso secco e l'area fogliare siano altamente correlati, in entrambi infatti, le forme minerali NPK erano meglio dei fertilizzanti fogliari commerciali.

Questo effetto è stato significativo in tutti i trattamenti, come presentato nella **tabella 1.7.4** dove i risultati non mostrano un vantaggio significativo per nessuna delle forme di trattamento fogliare, dimostrando che questa può essere utilizzata solo come metodo supplementare o di “salvataggio” per aggiustare delle piccole mancanze registrate quando la pianta è già in fase avanzata di crescita.

Ciò implica anche che questo metodo può correggere le carenze di piante a grandezza naturale, ma sicuramente non può sostituire la concimazione del suolo.

Treatments	df	Leaf Area (m ² /Pot)	Shoot Dry Wt (g/Pot)	Root Dry Wt (g/Pot)	Root Length (m/Pot)
Foliar fertilization (FF)	3	3.36*	3.12*	1.77ns	0.19ns
Soil fertilization (SF)	4	404***	371***	27.85***	16.22***
FF × SF	12	0.51ns	0.22ns	0.30ns	0.48ns
Residual (error)	40				

*, **, ***—significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively; ns—not significant.

<i>Foliar fertilization</i>	<i>Counts</i>				
Control	15	0.316a	28.82a	25.86a	2241a
F&C	15	0.333b	30.79b	30.65a	2092a
GG	15	0.337b	31.44b	30.71a	2159a
NPK	15	0.329ab	30.65b	29.85a	2120a

<i>Soil fertilization</i>					
Control	12	0.147a	9.77a	13.34a	1095a
GG(0.5)	12	0.311b	26.95b	26.85b	2038b
GG(1.0)	12	0.420d	40.74d	38.06c	2699c
NPK(0.5)	12	0.341c	30.05c	29.86b	2205b
NPK(1.0)	12	0.424d	44.61e	38.21c	2728c

Tabella 1.7.4 analisi della varianza degli indici di crescita della pianta in base a diversi tipi di trattamento

1.8 MANIFESTAZIONI DA CARENZA DI POTASSIO

1.8.1 EFFETTI NON VISIBILI

L'applicazione di fertilizzante per evitare uno stress del terreno negli ultimi anni non è una soluzione pratica al problema perché le risorse materiali sono limitate, il costo dei materiali è elevato, c'è sempre meno manodopera nel settore agricolo e stiamo vedendo con i nostri occhi l'inquinamento ambientale crescere a causa di un eccessivo utilizzo di fertilizzanti nei paesi sviluppati.

È sempre più importante quindi ridurre i costi di produzione e migliorare l'efficienza d'uso dei fertilizzanti per proteggere l'ambiente.

In Cina degli scienziati (Zhao et al., 2014) si sono accorti come molti terreni siano poveri di potassio, che può essere fornito in parte da fertilizzante organico che risulta difficilmente procurabile, pertanto la quantità di potassio nel terreno rimosso è più di quello introdotto.

Quello che possiamo vedere concretamente dagli esperimenti di Zhao, svolti per verificare la diversa risposta alla carenza di potassio è che presentano:

- DIFFERENZA DI PESO SECCO : sia il peso secco della parte aerea che della radice sono diminuiti con carenza di potassio, ciò significa che già in questa fase perdono produzione

perché se le radici perdono peso secco sono più piccole e quindi non assorbono le quantità ideali.

- N° FOGLIE : come si vede dalla **figura 1.8.1** in entrambi i casi il numero di foglie è diminuito, questo si spiega con il fatto che a parità di età della pianta le piante con carenza di K^+ manifestano ritardi nella crescita e quindi di conseguenza un numero minore di foglie, inoltre le foglie basali solitamente sono morte.
- SVILUPPO RADICI : le piante con carenza di potassio mostrano differenza nel numero di fittoni e lunghezza di fittoni stessi, in questo modo si compromette anche la stabilità della pianta.
- ASSORBIMENTO K: come già detto in precedenza risulta diminuito misurando la concentrazione di K^+ nelle radici ad epoche diverse di crescita.

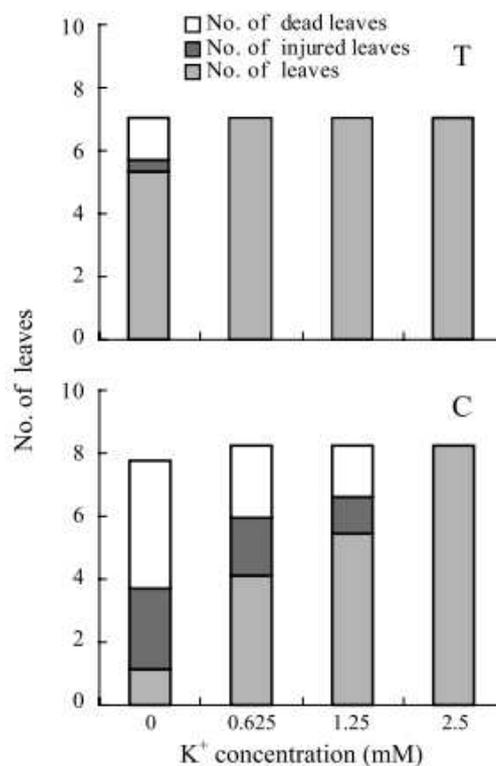


Tabella 1.8.1 differenza del N° di foglie di 2 ibridi coltivati con concentrazione di K^+ diverse

1.8.2 EFFETTI VISIBILI

Quello che dovrebbe passare e rimanere non sono però risultati di esperimenti, numeri e grafici, in quanto quello che veramente importante è la praticità di campo, che non è fatta di numeri, ma, dove possibile logicamente, di eventi visibili, pratici, che si possano toccare con mano, in modo da riconoscere rapidamente un fenomeno e collegarlo rapidamente alla soluzione.

Questo è corretto perché quando si è in campagna e si riscontra un problema, vuoi per il clima, vuoi per una cosa o vuoi per l'altra, non c'è tempo di ricorrere ad analisi e calcoli, ma c'è necessità di intervento rapido.

Ecco quindi una spiegazione più "pratica" della carenza di potassio quando affligge il mais:

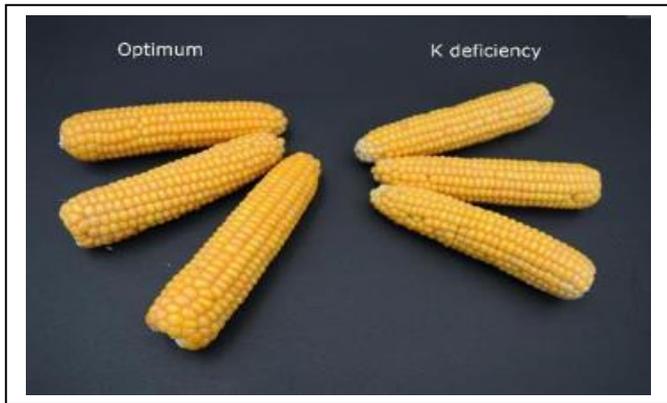


CRESCITA RITARDATA

Sintomi

Le pannocchie derivanti da piante con carenza di potassio sono più sottili e appuntite, in particolare le cariossidi nella parte apicale della pannocchia sono per nulla o poco riempite e di colore più chiaro





DIMENSIONI RIDOTTE

Sintomi

Come si vede bene dall'immagine c'è una riduzione evidente della quantità di granella e della dimensione della pannocchia



CLOROSI

Sintomi

Sono presenti striature e macchie giallo/bronzee nelle aree laterali nelle zone tra una nervatura e l'altra

Le foglie sono segnate da bruciature che iniziano agli apici e ai margini, le parti più deboli e giovani, diffondendo poi con il perseguito della carenza su tutta la superficie della lamina.



1.9 INTERRAMENTO DEGLI STOCCHI

Come ben sappiamo gli stocchi del mais possono seguire due tipi di strada dopo la raccolta.

A seconda si tratti di raccolta granella oppure della trinciatura dell'insilato gli stocchi possono essere lasciati o meno sul campo, venendo poi lasciati sul terreno per essere reintegrati con delle lavorazioni, trinciati e quindi diventando alimento per bestiame oppure possono essere raccolti e riutilizzati per la produzione di biomasse anche se si sta ancora mettendo a punto questa destinazione (**figura 1.9.1**), o per costituire la lettiera del bestiame.

La scelta che verrà fatta però influenza particolarmente la reintegrazione del potassio nel terreno, perché come detto sopra è proprio negli stocchi che la pianta di mais accumula gran parte del potassio assorbito.

Ciò va quindi ad influenzare tutti i processi appena descritti e in particolare si è visto come ciò agisca sulla capacità della pianta di effettuare una gestione “intelligente” delle risorse idriche l'anno successivo.



Figura 1.9.1 raccolta stocchi per biomassa

2. Scopo

Si propone di esaminare il ciclo del potassio in quanto è un elemento che ricopre un ruolo particolarmente importante e delicato nel corso dello sviluppo della pianta, quindi si è fatta attenzione a i cicli e ai meccanismi in cui è coinvolto, come fotosintesi, assorbimento e trasporto in modo da chiarirne i meccanismi di azione e di conseguenza ottenere una competenza che consenta l'individuazione, da parte di chi sta lavorando per risolvere un problema, osservando le sintomatiche e ricollegandole velocemente al potassio, con uno sguardo al risparmio delle risorse e delle materie prime.

3. Risultati e Discussione

Ricapitolando, il potassio (K) è un elemento fondamentale nel suolo e all'interno delle piante, dove svolge delle altrettanto funzioni importanti rispetto al terreno.

È tra gli elementi più abbondanti nel terreno, ma i problemi che riscontriamo sono dovuti al fatto che se come altri elementi è presente in più forme, al contrario di altri molte di queste non sono utilizzabili e assorbibili dalla pianta, per cui bisogna prestare attenzione a come si decide di agire in conseguenza a ciò, perché finora molti coltivatori hanno agito in maniera irresponsabile cercando di recuperare quantità di potassio assorbibili dalla pianta.

Il potassio (K) è una molecola di estrema importanza per le piante perché costituente di molteplici molecole come catalizzatori, proteine, trasportatori e aminoacidi (AA) che dalle piante viene assorbito nella forma di catione K^+ .

Questo catione è responsabile della regolazione e del funzionamento di molti meccanismi biologici e fisiologici della pianta, inoltre la rende più forte e stabile evitando di avere danneggiamenti dovuti a malattie e stress abiotici.

Il potassio nel terreno è soggetto a moltissimi scambi e interazioni con gli altri costituenti del suolo, che come mostrato nella figura 1.1, interagisce con le piante in modo molto importante, abbassando il potenziale idrico delle radici, incrementando l'assorbimento, influenzando il processo di traspirazione, controllando l'efficienza delle pompe sodio potassio e incidendo sulla costituzione della cariosside influenzandone la qualità.

Come già detto è uno degli elementi più abbondanti del terreno, nel corso di questo studio si è approfondita questa sua origine e il perché anche essendo così abbondante nel suolo sia un problema gestirlo e farlo assorbire dalle piante.

Il potassio arriva infatti dal processo di neogenesi dei minerali argillosi, ovvero quel processo che ha inizio con l'alterazione fisica e chimica della roccia madre, che solitamente è una Mica, e prosegue con l'allontanamento graduale del potassio dai fogli tetraedrici di cui è composta, andando incontro a trasformazione prima in Mica idratata, poi in Illite, minerali di transizione e infine nei minerali argillosi come vermiculite e montmorillonite, come si vede in figura 1.2.2.

Quello che per noi è fondamentale di questo processo è lo scambio ionico che libera il potassio, sostituito da cationi di scambio più carichi positivamente.

Questa capacità di intercambiarsi è definita appunto capacità di scambio cationico CSC ed è un indicatore fondamentale della fertilità del terreno.

Il potassio liberato da queste interazioni è ora libero nel terreno, una situazione non stabile perché essendo sotto forma di ione K^+ tende a neutralizzare la carica legandosi ad una parziale carica negativa, che ritrova principalmente nella sostanza organica andando a formare i colloidi organici, formati prevalentemente dalle sostanze umiche.

I colloidi, figura 1.2.4, sono la parte più interattiva del terreno perché contengono quei nutrienti come il potassio che alle piante interessano e che saranno liberati quando entreranno in contatto con la rizosfera, la parte più prossima alla radice, dove esiste un ecosistema particolare che si occupa dell'assorbimento degli elementi come il potassio.

Questi sono solo alcuni dei passaggi che interessano il potassio, perché come si può capire dal capitolo 1.4 e vedere dalla figura 1.4.1, il ciclo del potassio è molto più ampio e complesso di come si può pensare, perché integra diversi tipi di input che possono essere le concimazioni, i residui, il ruscellamento che porta una piccola parte da altri terreni, e tanti output quali la pianta stessa, il K adsorbito e quello ancora presente nei minerali.

Questa introduzione è servita per comprendere l'origine del potassio e come agisce nel suolo per cercare di utilizzarlo al meglio e per svolgere delle operazioni che sfruttano la risorsa già presente senza intaccare con concimazioni chimiche che possono recare danno e inquinamento al terreno quando con un metodo accurato posso scoprire che ne ho una risorsa che devo solo capire come utilizzare.

Lo studio effettuato si concentra maggiormente dal momento in cui il potassio presente nel suolo è assorbito dalla pianta, ne sono stati analizzati quindi gli effetti e le influenze sui vari processi vitali e sulle produzioni, per poi approfondire ulteriormente le questioni in specifico sulla pianta di mais (*Zea Mais L.*).

Per ottenere un perfezionamento delle tecniche agricole e in questo caso dell'utilizzo del potassio è necessario analizzarle attentamente, è fondamentale e importante l'azione che ha anche su processi biologici e fisiologici vitali come la fotosintesi e la produzione di proteine.

Sembra che la carenza di potassio sia direttamente collegata con l'efficienza del sistema della fotosintesi clorofilliana, i tassi fotosintetici delle foglie mature sembrano restare molto bassi fino a quando viene integrata la giusta dose potassica nel suolo e che successivamente passerà nella pianta. Il potassio è responsabile dell'attivazione di circa 60 enzimi coinvolti nei processi di crescita delle piante fungendo da catalizzatore, motivo per il quale la pianta rallenta la crescita dei propri organi se il potassio è limitato, perché gli enzimi che svolgono le funzioni non sono prodotti con la necessaria velocità e anche gli stomi risentono della mancanza di potassio se questa si verifica.

Analogamente a come funziona per gli stomi, per la sintesi proteica e per quella dell'amido, sia il trasporto di zuccheri che quello di acqua e altri nutrienti che sono comunque interessati nella

fotosintesi e resi efficienti grazie al potassio, in quanto i nutrienti e gli zuccheri sono prodotti nelle foglie e il potassio, occupandosi del trasporto, tende a liberare i siti di produzione in modo che i processi che producono questi elementi possano continuare a svolgersi senza intoppi, se manca la coordinazione e iniziano ad accumularsi metaboliti nei siti di produzione per mancato trasporto, il tasso di fotosintesi diminuisce, diminuisce quindi l'efficienza della foglia e la crescita e tutti gli altri sistemi che utilizzano i prodotti della fotosintesi iniziano a diminuire la loro attività.

Ciò che praticamente interessa di più il coltivatore e chi praticamente ci lavora è la qualità del prodotto, e quindi della granella oppure della concentrazione negli insilati.

Il potassio infatti è l'elemento della qualità, soprattutto per le granelle, e proprio in questo ambito subentrano le concimazioni, fondamentali per ottenere appunto una maggior qualità e dei maggiori contenuti di proteine, ma per ottenere questo non basta concimare ed aspettare, perché c'è il rischio di buttare via il concime senza ottenere risultati, spreco di risorse materiali ed economiche.

Come si vede nella tabella 1.5.2 la concimazione con potassio porta a un maggiore contenuto proteico da parte della cariosside, migliorando anche la resistenza alle malattie.

Il problema è che in una situazione di carenza la manifestazione esterna visibile della carenza avviene troppo tardi rispetto a quando la pianta ha iniziato a sentire la mancanza, che inizia a perdere potenziale di resa molto prima che noi ce ne accorgiamo.

I fertilizzanti utilizzabili sono molti perché ormai ogni produttore ha la propria formula, ma sostanzialmente sono raggruppati in cloruri di potassio e solfati di potassio, che sono i più efficaci per quanto riguarda le concimazioni.

Il cloruro è potenzialmente pericoloso in quanto il cloro nel terreno è tossico se in concentrazioni elevate, ma la tabella 1.5.3 mostra come questo aiuti l'assorbimento dell'azoto, il solfato invece è molto più comune e non crea condizioni di tossicità, costa molto di più ma contiene una percentuale di potassio molto più alta, riducendo la quantità da distribuire per ettaro.

In questo studio si è deciso di approfondire poi gli stessi concetti appena descritti in particolare sulla pianta e sulla coltivazione del mais (*Zea Mais L.*), perché è una delle colture più importanti e caratterizzanti anche della nostra zona ed è per questo che è stata approfondita.

Il mais è utilizzato per molti prodotti che sono alla base delle catene alimentari di moltissime popolazioni, quello che di solito ci interessa è lo spadice, comunemente detto pannocchia, ma che in realtà botanicamente è una spiga.

È una coltura fortemente depauperatrice del terreno (tabella 1.6.1) e può essere coltivata in quelle zone dove l'acqua è molto abbondante, anche se negli ultimi anni le zone che dovrebbero essere ricche di acqua d'irrigazione a causa della siccità stanno avendo problemi molto gravi e perdite ingenti di prodotto.

Il paragrafo 1.6.4 raccoglie tutte le informazioni utili per la coltivazione del mais, a partire dal terreno e quindi l'ambiente pedologico (tabella 1.6.2), poi l'ambiente climatico (tabella 1.6.3), e spiegando le lavorazioni necessarie alla coltivazione e l'importanza della rotazione colturale nonostante il mais non soffra di autoallelopatie, ma come si vada incontro a problemi di erbe infestanti dopo pochissimi anni di monosuccessione.

Per addentrarsi nello studio sono analizzati quindi i ruoli del potassio nella pianta di mais (capitolo 1.7) che sono distinti in qualità del raccolto, efficienza di utilizzo dell'acqua e casi di siccità.

Per quanto riguarda la qualità del raccolto il discorso è simile a quello già spiegato in generale, gli effetti delle carenze di potassio riguardano sempre un calo della produzione, una crescita minore e una minor qualità del prodotto.

Andando a fondo dell'aspetto della qualità, è risultato che nella pianta di mais la risposta al potassio e ai livelli utili di questo è caratterizzata da una maturità più uniforme e un peso specifico maggiore della granella come già detto, ma anche in una qualità migliore dello stocco maggiore in quanto gran parte del potassio assorbito viene stoccato proprio nel fusto ed è per questo che vedremo come l'interramento degli stocchi è preferito dal terreno rispetto l'asportazione.

La tabella 1.7.1 mostra come il contenuto di aminoacidi (AA) è notevolmente aumentato con una concimazione e una concentrazione di K adeguate.

Altri riscontri positivi sono il n° di cariossidi per pannocchia, il volume, il peso e la percentuale di sgusciatura.

L'efficienza di utilizzo dell'acqua nel mais è stata una sorpresa per lo studio, in quanto non si sarebbe pensato che il potassio assorbito dalla pianta abbia un ruolo di regolatore della gestione dell'acqua agendo con determinate concentrazioni che danno segnali ai sistemi di controllo che aiutano la pianta a razionare l'acqua interna utilizzandola in modo intelligente senza sprechi mantenendo però tutte le funzioni vitali attive, ciò non si avrebbe in una situazione di carenza potassica perché la pianta consuma l'acqua disponibile e appassisce in un tempo molto minore perdendo totalmente o quasi la produzione.

È importante quindi dosare attentamente la concimazione che non deve essere squilibrata.

Questo è stato approfondito esaminando i casi di siccità, che negli ultimi anni caratterizzano sempre di più le nostre estati, e come si comporta la pianta a seconda dello stato di crescita vegetativa in cui si trova.

La differenza che si nota con diversi livelli di potassio e che la pianta con livelli corretti di assorbimento sembra alleviare lo stress, diminuendo le conseguenze negative e salvando la produzione migliorando la risposta al problema e regolando osmosi e il turgore delle cellule.

Altri effetti sono riportati nella tabella 1.7.3 dove si mostra l'effetto del potassio sull'altezza e sull'area fogliare di 2 ibridi di mais in stress idrico ma con livello potassico ottimale.

Studiando gli effetti del potassio nella pianta di mais è il caso di capire come mantenere i livelli di potassio nel terreno, e questo può essere principalmente con la concimazione che in parte è già stata trattata nella parte generale.

Il potassio ha il vantaggio, a differenza dell'azoto, di non evaporare o di essere facilmente lisciviabile quindi tutta la quantità di asportazione richiesta dalla pianta può essere erogata interamente in presemina o al momento della semina, considerando anche se l'annata precedente sono stati reintegrati o meno gli stocchi per avere una concimazione esatta.

I concimi utilizzabili sono svariati, e come detto precedentemente i più comuni sono cloruro di potassio, il solfato di potassio, il nitrato di potassio, e altri concimi complessi NPK con formule particolari prodotti dalle ditte.

Tutti questi concimi sono granulari e quindi distribuiti con uno spandiconcime e hanno effetto importante, un minor effetto lo svolge la concimazione fogliare, che nel caso del mais può correggere leggermente le mancanze in attesa di un intervento integrativo più consistente.

La parte più utile ai coltivatori riguarda le manifestazioni della carenza di potassio, che è divisa in effetti non visibili e visibili, e sono il risultato degli argomenti appena trattati.

Gli effetti non visibili riguardano la differenza di peso secco della granella e della pianta, il numero di foglie per pianta, lo sviluppo delle radici fittonanti che sono meno e più corte, e l'assorbimento che è diminuito notevolmente.

Gli effetti visibili sono la parte veramente importante in quanto permettono di riconoscere subito la problematica e di agire in poco tempo.

Come visibile nelle foto del capitolo 1.8.2 sono la crescita ritardata della pannocchia e le dimensioni ridotte della stessa unite alla clorosi delle foglie che non va confusa con sintomi di altre problematiche.

La parte conclusiva dello studio tratta l'interramento degli stocchi del mais e il loro possibile utilizzo, cosa da valutare perché contengono gran parte del potassio assorbito, quindi la reintegrazione non porta solo potassio al terreno risparmiando la concimazione, ma anche una grande quantità di sostanza organica.

Concludendo quindi, il potassio (K) è un elemento fondamentale nelle piante e nel terreno, sia perché esso ne influenza le caratteristiche produttive in termini di quantità sia perché ne influenza ampiamente la qualità.

Le maggiori caratteristiche produttive considerate al momento della vendita (tralasciando tossine e malattie varie) come peso secco, quantità di proteine e di amminoacidi dipendono proprio dall'azione di questo elemento.

Per comprendere a pieno il ruolo è necessario andare a fondo però di tutti quei processi che lo coinvolgono nel terreno e all'interno della pianta, partendo appunto dal ciclo del potassio esaminando gli scambi e le reazioni all'interno di esso, e capendo da dove ha origine questo elemento dal sottosuolo.

Poi si sono analizzati gli effetti e le influenze all'interno della pianta, analizzando gli effetti visibili e non visibili del potassio rendendo chiaro il quadro completo.

I processi esaminati sono tanti e complessi, come per esempio il risvolto che ha sulla fotosintesi, sulla gestione dell'acqua, argomento interessante soprattutto alla luce dell'importanza del problema della siccità.

Si sono quindi esaminati anche fattori qualitativi che sono realizzabili solo con uno studio dei processi che agiscono dall'interno e dalla base, ripercorrendo il tragitto del potassio e capendo come questi processi possano tramite la fisiologia della pianta darci degli allarmi che ci facciano capire in che modo agire e a cosa ricollegare determinate problematiche.

4. Conclusioni

Analizzando quindi il ciclo di potassio e la sua influenza sulla pianta di mais si capisce come sia complesso il suo ruolo e quanto altrettanto importante.

Sono tutti cicli molto complessi che regolano funzioni vitali per la pianta a partire dal terreno, ma basta uno squilibrio o una scarsa dotazione di potassio per perdere gran parte della produzione o per rovinare qualitativamente il raccolto.

Con il cambiamento climatico che stiamo vivendo i periodi di siccità in pianura padana sembrano essere ormai parte integrata della stagione, quindi se la pianta ha ricevuto una adeguata concimazione e ha gli standard potassici regolari, riuscirà a sopportare e a gestire meglio dei periodi di siccità prolungati, portando a termine il ciclo nel migliore dei modi mantenendo livelli di fotosintesi accettabili, e di conseguenza ottenendo i metaboliti che le servono per riempire le cariossidi e per gestire la produzione di biomassa per crescere.

Si tratta quindi di agire sostanzialmente in modo preventivo, facendo le opportune analisi di controllo del terreno e mantenere un livello di concimazione considerando la parte che manca al terreno e quella che verrà asportata dalla coltura che verrà messa a dimora, e per mantenere livelli adeguati oggi esistono tutti i mezzi per farlo.

Le carenze di potassio non sono così rare, anche perché i coltivatori di solito si concentrano molto di più sugli effetti e sulle carenze di azoto, che nel terreno ha un comportamento più instabile del potassio, che a differenza dell'azoto non evapora o difficilmente viene lisciviato, e per questo può capitare che preferiscano non concimare con potassio ma con azoto, che poi se in eccesso finisce nelle falde.

Gli effetti delle carenze sono vari come già visto, ma come la maggior parte delle problematiche dovute a nutrizione o alla concimazione delle piante, quando vengono manifestati i sintomi delle mancanze è quasi sempre troppo tardi per agire, eccetto nei casi delle colorazioni clorotiche su piantine ancora giovani.

È da considerare inoltre che dietro a dei sintomi visibili ce ne sono sempre di non visibili, che per il mais significa perdere in produzione, peso specifico e qualità della granella, che sono il frutto del lavoro dei maiscoltori ed è proprio per queste caratteristiche che si lavora e sono quelle caratteristiche che sono valutate per determinare il prezzo di vendita.

5. BIBLIOGRAFIA

Balouchi e Snavy. (2003). Effect of gibberellic acid, prechilling, sulfuric acid and potassium nitrate on seed germination and dormancy of annual Medics

Beachy, R. N.; Thompson, J. F.; Madison, J. T. (1978). Isolation of Polyribosomes and Messenger RNA Active in in Vitro Synthesis of Soybean Seed Proteins. *Plant physiology*, 61(2), 139–144. doi:10.1104/pp.61.2.139

Bremner, J. M.; Douglas, L. A. (1971). Decomposition of Urea Phosphate in Soils¹. *Soil Science Society of America Journal*, 35(4), 575–. doi:10.2136/sssaj1971.03615995003500040028

Dowdy, E. R., Robertson, L. S., & Lundquist, W. B. (1958). The mineral content of corn grown on a Kalamazoo sandy loam soil as affected by the use of commercial fertilizer. *Mich. Agnc. Exp. Stn. Q. Bull.*, 40, 861-869.

Evans, H J; Sorger, G J (1966). Role of Mineral Elements with Emphasis on the Univalent Cations. *Annual Review of Plant Physiology*, 17(1), 47–76. doi:10.1146/annurev.pp.17.060166.000403

Farquhar, G D; Sharkey, T D (1982). Stomatal Conductance and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33(1), 317–345. doi:10.1146/annurev.pp.33.060182.001533

Fei, L., Meijun, Z., Jiaqi, S., Zehui, C., Xiaoli, W., & Jiuchun, Y. (2020). Maize, wheat and rice production potential changes in China under the background of climate change. *Agricultural Systems*, 182, 102853.

Fenn, L. B.; Kissel, D. E. (1973). Ammonia Volatilization from Surface Applications of Ammonium Compounds on Calcareous Soils: I. General Theory¹. *Soil Science Society of America Journal*, 37(6), 855–. doi:10.2136/sssaj1973.03615995003700060020x

Fotyma, M. (2010). New approach to fertilizer recommendations concerning potassium case study for Poland. Redaktor Naczelny–Executive Editor–Mariusz Fotyma.

Gohara, David W.; Di Cera, Enrico (2016). Molecular Mechanisms of Enzyme Activation by Monovalent Cations. *Journal of Biological Chemistry*, 291(40), 20840–20848. doi:10.1074/jbc.R116.737833

Graham, R. D.; Ulrich, A. (1972). Potassium Deficiency-induced Changes in Stomatal Behavior, Leaf Water Potentials, and Root System Permeability in *Beta vulgaris* L.. *Plant physiology*, 49(2), 105–109. doi:10.1104/pp.49.2.105

Grzebisz, W., Gransee, A., Szczepaniak, W., & Diatta, J. (2013). The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), 355-374.

Grzebisz, Witold; Gransee, Andreas; Szczepaniak, Witold; Diatta, Jean (2013). The effects of potassium fertilization on water-use efficiency in crop plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(3), 355–374. doi:10.1002/jpln.201200287

Jeffers, D. L.; Schmitthenner, A. F.; Kroetz, M. E. (1982). Potassium Fertilization Effects on Phomopsis Seed Infection, Seed Quality, and Yield of Soybeans¹. *Agronomy Journal*, 74(5), 88. doi:10.2134/agronj1982.00021962007400050028x

Kilmer, V.J. (1968). The Role of Potassium in Agriculture. Interaction of Potassium and other Ions. , (), -. doi:10.2134/1968.roleofpotassium.c16

Kumar, A., Roy, S., & Neumann, K. H. (1990). Activities of Carbondioxide Fixing Enzymes in Maize Tissue Cultures in Comparison to Young Seedlings. In *Current Research in Photosynthesis: Proceedings of the VIIIth International Conference on Photosynthesis Stockholm, Sweden, August 6–11, 1989* (pp. 3069-3072). Springer Netherlands.

Ling, Fan; Silberbush, Moshe (2002). Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 25(11), 2333–2342. doi:10.1081/PLN-120014698

Lou, Sylvia J.; Szarko, Jodi M.; Xu, Tao; Yu, Luping; Marks, Tobin J.; Chen, Lin X. (2011). Effects of Additives on the Morphology of Solution Phase Aggregates Formed by Active

Martens, J. W.; Arny, D. C. (1967). Effects of Potassium and Chloride Ion on Root Necrosis, Stalk Rot, and Pith Condition in Corn (*Zea mays L.*)¹. *Agronomy Journal*, 59(6), 499–511. doi:10.2134/agronj1967.00021962005900060003x

Martens, J. W.; Arny, D. C. (1967). Effects of Potassium and Chloride Ion on Root Necrosis, Stalk Rot, and Pith Condition in Corn (*Zea mays L.*)¹. *Agronomy Journal*, 59(6), 499–511. doi:10.2134/agronj1967.00021962005900060003x

Martin, H. W.; Sparks, D. L. (1985). On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 16(2), 133–162. doi:10.1080/00103628509367593

Minjian, Cao; Haiqiu, Yu; Hongkui, Yan; Chunji, Jiang (2007). Difference In Tolerance To Potassium Deficiency Between Two Maize Inbred Lines. *Plant Production Science*, 10(1), 42–46. doi:10.1626/pp.s.10.42

Munson, Robert D. (1976). Role of fertilizer nutrients in crop quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 7(5), 497–511. doi:10.1080/00103627609366660

Munson, Robert D. (1985). Potassium in Agriculture. Role of Potassium in Photosynthesis and Respiration.

Munson, Robert D. (1985). Potassium in Agriculture. The Role of Potassium in Crop Quality. *Soil Science Society of America Journal*, 49(1), 1–10. doi:10.2134/1985.potassium.c21

Peaslee, D. E.; Moss, D. N. (1966). Photosynthesis in K- and Mg-Deficient Maize (*Zea mays L.*) Leaves¹. *Soil Science Society of America Journal*, 30(2), 220–224. doi:10.2136/sssaj1966.03615995003000020023

Rappaport, B. D.; Axley, J. H. (1984). Potassium Chloride for Improved Urea Fertilizer Efficiency¹. *Soil Science Society of America Journal*, 48(2), 399–403. doi:10.2136/sssaj1984.03615995004800020035

Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34.

Razmjoo, K. H. O. R. S. H. I. D., Heydarizadeh, P. A. R. I. S. A., & Sabzalian, M. R. (2008). Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *Int. J. Agric. Biol*, 10(4), 451-454.

Ren, B., Zhang, J., Li, X., Fan, X., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2014). Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions. *Canadian Journal of plant science*, 94(1), 23-31.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). *Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security*. *Food security*, 3, 307-327.

Smirnoff, N. (1993). Tansley Review No. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New phytologist*, 27-58.

Stewart, B. A. (1987). [Advances in Soil Science] *Advances in Soil Science Volume 6. Potassium Dynamics in Soils*.

Ul-Allah, S., Ijaz, M., Nawaz, A., Sattar, A., Sher, A., Naeem, M., ... & Mahmood, K. (2020). Potassium application improves grain yield and alleviates drought susceptibility in diverse maize hybrids. *Plants*, 9(1), 75.

Ul-Allah, Sami; Ijaz, Muhammad; Nawaz, Ahmad; Sattar, Abdul; Sher, Ahmad; Naeem, Muhammad; Shahzad, Umbreen; Farooq, Umar; Nawaz, Farukh; Mahmood, Khalid (2020). Potassium Application Improves Grain Yield and Alleviates Drought Susceptibility in Diverse Maize Hybrids. *Plants*, 9(1), 75-. doi:10.3390/plants9010075

Van Brunt, J., & Sultenfuss, J. (1998). Functions of Potassium in plants. *Better Crops*, 82(3), 4-5.

W. H. Outlaw Jr. (1983). Current concepts on the role of potassium in stomatal movements. , 59(2), 302–311. doi:10.1111/j.1399-3054.1983.tb00775.x

Willmer, C. M.; Pallas, J. E.; Black, C. C. (1973). Carbon Dioxide Metabolism in Leaf Epidermal Tissue. PLANT PHYSIOLOGY, 52(5), 448–452. doi:10.1104/pp.52.5.448

Witold, G., Barłóg, P., Szczepaniak, W., & Potarzycki, J. (2010). Effect of potassium fertilizing system on dynamics of dry matter accumulation by maize. Nawozy i Nawożenie (Fertilisers and Fertilization), (40), 57-69.

6. Ringraziamenti

Volevo ringraziare chi è stato presente durante questo percorso di tre anni perché anche chi mi sta vicino un po' di questo percorso ne è stato partecipe a causa delle mie storie, tre intensi anni, fatti di diverse emozioni che comunque mi hanno fatto crescere e focalizzare su determinati obiettivi, tre anni che mi hanno portato a conoscere delle nuove persone che non dimenticherò mai e che mi hanno portato a percorrere una strada che ora non si può più abbandonare, non si torna indietro.

Voglio ringraziare mamma Gessica e papà Fabrizio per aver permesso questo percorso, per avermi sempre supportato, per avermi spronato anche quando non ce n'era bisogno e per avermi fatto prendere delle decisioni in modo autonomo in modo da apprezzarne la fatica. Grazie per aver sopportato tutti i miei sfoghi e per esserci stati anche quando non dovevate.

Nonna Agnese, grande Donna, non mi ha mai lasciato solo un secondo, anche quando non era con me, le sue frasi e i suoi detti, istruzioni di vita ogni giorno che mi accompagneranno sempre, grazie per tutti i caffè, i gelati e per tutto quello che ho imparato e che continuerò ad imparare, le ore di studio in cucina e per la forza che mi hai trasmesso.

Nonno Lino, semplicemente numero 1, forse so apprezzare le pause studio per merito tuo, grazie per le tue storie e per aver condiviso tutte le tue esperienze e per tutti i “seto chi che se stà in bottega”. Grazie perché quando avevo bisogno di una pausa mi trovavi sempre il motivo che mi serviva.

Nonno Guerrino, grazie perché un po' della forza che ho la devo anche a te.

Nonna Liana, anima sarda della famiglia, silenziosa ci sei stata anche tu in tutto ciò, non mi sono dimenticato di te che stai combattendo le tue dure battaglie.

Noemi, la mia sorellina, grazie per non avermi ancora fatto del male per come gestisco i miei sfoghi, grazie perché so che ascolti le mie parole quando fai finta di studiare e sto parlando da solo.

Infine voglio ringraziare davvero gli Amici che hanno passato questi 3 anni in mia compagnia.

I ragazzi dell'università, pronti a ridere ad ogni esame, compagni fedeli di battaglia con quasi nulla da perdere ad ogni sessione, che hanno condiviso ogni singola ora di lezione e di laboratorio,

rendendole più leggere, grazie Alberto, Geche, Nicola, Mella, Frizzo, Vignaga, Marco P., Marco R., Mirco, Dal Cero e Fure per le cene e per le risate.

I ragazzi della piazza, Edo, Nico B, Nico Z, Chiaretta e tutti i personaggi della piazza di Fontaniva, a tutti i cinema che abbiamo visto ridendo e scherzando in compagnia, alle serate e ai caffè che mi servivano per distrarmi dallo studio e ai discorsi fino a notte fonda, grazie di cuore.

La grande compagnia di Fontaniva, una grande famiglia, la Mia grande famiglia, per l'orgoglio che abbiamo e per il legame che in qualche modo ci stringe tutti.

I miei compagni di viaggio e ormai di vita, Moz e Pedro, grazie per i consigli e per tutto quello che fate ed avete fatto per me.

I miei compagni di spola fino a Padova, Chiara, Lorenzo e Giovannone.

Infine dico grazie anche a me stesso, per aver voluto percorrere questo percorso e per esserci arrivato fino in fondo nel migliore dei modi, per non essermi mai perso d'animo e non aver mai smesso di credere in me stesso e di crescere come persona, caricandomi sempre le spalle di obiettivi come al solito, ma verso una grande soddisfazione. Mi dico grazie anche per essermi circondato di belle e brave persone, sono fortunato e ne sono grato a chiunque sia il responsabile.

Grazie

Andrea

|

