

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Generalità

L' agricoltura e le pratiche zootecniche sono la più estesa forma d' uso del territorio: Ne consegue che ogni comportamento degli agricoltori implica forti ripercussioni sull' assetto ambientale, sui processi di conservazione dell' acqua, dell' aria, del suolo, della flora e della fauna selvatica e, più in generale, sulla qualità della vita.

A partire dalla metà del XX secolo il settore ha dovuto compiere sforzi crescenti per assicurare alti livelli di produzione alimentare e soddisfare le esigenze di una popolazione mondiale in rapida crescita: per far ciò si è dovuto ricorrere all' utilizzo di tecnologie sempre più avanzate e ad una fertilizzazione sempre più spinta, soprattutto per quanto riguarda l' azoto, elemento essenziale per la crescita e lo sviluppo della pianta.

L' intensificazione dei processi, tuttavia, ha comportato dei costi ambientali in termini di proliferazione dei consumi di risorse non rinnovabili, riduzione della biodiversità, degradazione del suolo, inquinamento di acque superficiali e profonde, ridimensionamento delle comunità rurali.

Per far fronte a tali problematiche, negli ultimi anni, le autorità locali, i governi nazionali e le commissioni internazionali, hanno messo in atto diversi piani d' azione, che propongono e favoriscono sistemi di coltivazione sostenibile, consapevoli o eco-compatibili.

Si tratta di una serie di soluzioni tecniche che mirano a ridurre gli impatti negativi dell' agricoltura sull' ambiente, i quali si possono manifestare in misura diversa a seconda delle attività svolte e del comparto ambientale interessato. Particolare attenzione è rivolta alla prevenzione del degrado della qualità delle risorse irriproducibili, come l' acqua ed il suolo mettendo in evidenza ai rischi di inquinamento ad esso connessi.

Attualmente l' azoto rappresenta uno degli inquinanti che desta maggior preoccupazioni.

L' intensificazione degli apporti di tale nutriente, sotto forma di concimi naturali o fertilizzanti chimici, ha comportato numerose conseguenze, ad esempio:

- perdita di fertilità dal terreno, dovuto principalmente alla volatilizzazione dell' ammoniacca;
- eutrofizzazione delle acque, soprattutto per quei sistemi acquosi caratterizzati da una scarsa profondità e medio- alte temperature;
- formazione di derivati azotati che spesso risultano dannosi non solo per l' ambiente ma anche per l' uomo stesso, come per esempio le nitrosammine, composti altamente cancerogeni;
- intensificazione del fenomeno di acidificazione delle piogge;
- incremento dell' assottigliamento dello strato d' ozono e del fenomeno effetto serra.

Si è ritenuto pertanto fondamentale regolare in modo razionale gli input di azoto nel terreno cercando di ottimizzare la concimazione azotata dal punto di vista agronomico ed ambientale, ovvero fornire alla coltura un'adeguata quantità del nutriente, tale da garantire un'elevata produzione e ridurre al minimo il residuo post-culturale nel terreno dell'elemento apportato.

Perché ciò avvenga è necessario, in primo luogo stimare i fabbisogni di azoto delle piante e, di conseguenza, somministrare durante le fasi del ciclo fenologico della coltura, quantitativi di azoto in accordo con le mutevoli richieste della coltura stessa.

Ecco perché risulta fondamentale fornire agli agricoltori delle linee guida chiare e semplici che indichino gli apporti di azoto necessari, ma non superflui, apportabili in qualunque momento del ciclo colturale garantendo così la resa desiderata della coltura.

## 2 CONFRONTO TRA AGRICOLTURA CONVENZIONALE E BIOLOGICA

### 2.1 L'agricoltura convenzionale

L'agricoltura convenzionale è un'attività economica che mette in atto dei processi biologici in grado di produrre, nel modo più razionale, efficiente e conveniente, dei beni primari richiesti dal mercato.

Per raggiungere tale obiettivo utilizza al meglio gli strumenti che la scienza agronomica mette a disposizione (macchine, concimi, diserbanti, antiparassitari, ecc). Per indirizzi colturali di tipo orticolo, frutticolo e viticolo la superficie aziendale minima dovrebbe aggirarsi sui 25-30 ettari, mentre per quelle destinate alle grandi colture erbacee (cereali, colture industriali, foraggere) e per quelle zootecniche, dovrebbe essere 2-3 volte superiore.

In generale le aziende che praticano l'agricoltura convenzionale fanno ampio ricorso al mercato per l'approvvigionamento dei fattori produttivi. Fra questi si fa uso di sementi di coltura di elevato pregio, abbondanti fertilizzazioni, presidi sanitari per la difesa delle colture e della meccanizzazione molto spinta che a volte vengono utilizzate al di sotto delle soglie ottimali.

La necessità di compiere velocemente e tempestivamente le operazioni colturali, unita all'obiettivo di massimizzare le rese aziendali, ha favorito la progressiva eliminazione degli ostacoli e delle tare improduttive all'interno dell'azienda. Si sono così affermate sistemazioni del terreno con unità colturali di grandi dimensioni, che, nelle condizioni di bassa pianura, sono ottenute con il ricorso al drenaggio tubolare; si è infatti assistito alla scomparsa di tradizionali elementi paesaggistici quali siepi, frangivento, filari di vite a tutori vivi ecc.

La viabilità aziendale dell'agricoltura intensiva è organizzata in modo da consentire rapidi spostamenti fra gli appezzamenti e da minimizzare la superficie non coltivata. Anche le opere di

regimazioni delle acque hanno visto una evoluzione e una semplificazione: i volumi di primo invaso, costituiti da scoline ed affossature, hanno subito una notevole contrazione.

Il paesaggio tipico dell' agricoltura intensiva è fortemente semplificato e ciò comporta anche una riduzione della biodiversità in generale.

L' agricoltura intensiva è caratterizzata anche da successioni monoculturali ravvicinate, nelle quali il terreno è lasciato privo di copertura vegetale per il minor tempo possibile.

Tutti questi caratteri consentono di ottenere rese produttive molto elevate, sia per unità di superficie che per l' azienda.

Riassumendo, questa è la forma di agricoltura che, a partire dalla metà del XX secolo, ha saputo compiere sforzi crescenti per assicurare alti livelli di produzione alimentare e soddisfare le esigenze di una popolazione mondiale sempre più crescente. Però l' intensificazione dei processi ha comportato dei costi ambientali in termini di crescita dei consumi di risorse non rinnovabili, riduzione della biodiversità, degradazione del suolo, inquinamento di acque superficiali e profonde, ridimensionamento delle comunità rurali.

Per questo motivo i piani programmatici della Politica Agricola Comunitaria (PAC) sottolineano la necessità di armonizzare il lavoro agricolo con le esigenze di protezione dell' ambiente e con la cura dello spazio naturale.

Negli anni '90 i regolamenti Europei 2078/92 ebbero come obiettivo di promuovere:

- a) l'impiego di metodi di produzione agricola che riducano gli effetti inquinanti dell'agricoltura, contribuendo nel contempo, mediante una riduzione della produzione, ad un migliore equilibrio dei mercati;
- b) l'estensivizzazione, favorevole all'ambiente, delle produzioni vegetali e dell'allevamento bovino e ovino, compresa la riconversione dei seminativi in pascoli estensivi;
- c) forme di conduzione dei terreni agricoli compatibili con la tutela e con il miglioramento dell'ambiente, dello spazio naturale, del paesaggio, delle risorse naturali, del suolo, nonché della diversità genetica;
- d) incentivare la cura dei terreni agricoli e forestali abbandonati, nelle zone in cui essa si dimostri necessaria per ragioni ecologiche o per il sussistere di rischi naturali o d'incendio o prevenire in tal modo i pericoli connessi allo spopolamento delle regioni agricole;
- e) incoraggiare un ritiro di lunga durata dei seminativi per scopi di carattere ambientale;
- f) incoraggiare la gestione dei terreni per l'accesso del pubblico e le attività ricreative;
- g) promuovere la sensibilizzazione e la formazione degli agricoltori a metodi di produzione agricola compatibili con le esigenze della tutela ambientale e con la cura dello spazio naturale.

Un altro problema, che nel corso di questi ultimi anni si è presentato, è quello dell' azoto. Questo elemento, che spigherò più in dettaglio, ha dato seri problemi ambientali a causa del suo irrazionale utilizzo da parte dei agricoltori per massimizzare la produttività delle piante coltivate. Questo problema incide negativamente sulla potabilità delle acque di falda e di quelle superficiali provocando seri danni sia alla biocenosi acquatica sia alla salute dell' uomo e animali in generale. In Italia, la legge 319/76 nota come Legge Merli è stata la prima tra le disposizioni vincolistiche aventi come oggetto la tutela delle acque dall' inquinamento di origine agricola, oltre che per lo smaltimento su suolo agricolo di reflui e fanghi di depurazione provenienti da insediamenti produttivi e/o civili e da processi di depurazione.

Dal dicembre del 1991 è stata emanata dal Consiglio delle Comunità Europee la direttiva CEE 676/91 per la Protezione delle acque dall' inquinamento provocato dai nitrati. Tale direttiva stabilisce che gli stati membri debbano individuare le zone vulnerabili, predisporre uno o più codici di buona pratica agricola applicabili a discrezione dell' agricoltore e anche uno o più programmi d' azione per le zone vulnerabili. Per zone vulnerabili si intendono bacini idrografici le cui acque confluiscono in corpi idrici che presentano una concentrazione di nitrati superiore a 50mg/l o corpi idrici superficiali le cui acque risultano eutrofizzate.

Per queste zone, la direttiva stabilisce una dose massima di 170 kg azoto/ha/annuo elevabili a 210 kg azoto/ha/annuo nei primi quattro anni di applicazione del programma; per le zone non vulnerabili invece il limite è di 340 kg azoto/ha/annuo.

Anche le azioni del Piano di Sviluppo rurale, valide per il periodo 2000-2006 contenute nel documento Agenda 2000, propongono una maggiore integrazione delle considerazioni ecologiche nei processi di riforma delle politiche agricole comunitarie.

La Misura 6 ( agro ambiente del PSR della Regione Veneto) promuove la conservazione dello spazio naturale e il miglioramento dei rapporti tra aree agricole e aree urbane, consolida

l' agricoltura sostenibile nelle aree rurali quale attività di tutela dell' ambiente, del paesaggio e del territorio, agisce per ridurre l' importo di input e migliorare la qualità delle produzioni promuovendo l' agricoltura biologica e, infine, si propone di mantenere un' agricoltura vitale nelle aree soggette a vincoli ambientali.

## 2.2 L' agricoltura biologica

L'agricoltura biologica è un tipo di agricoltura che considera l'intero ecosistema agricolo, sfrutta la naturale fertilità del suolo favorendola con interventi limitati, promuove la biodiversità dell'ambiente escludendo l'utilizzo di prodotti di sintesi (salvo quelli specificatamente ammessi dal regolamento comunitario) e organismi geneticamente modificati. La differenza sostanziale tra agricoltura biologica e convenzionale consiste nel livello di energia ausiliaria introdotto nell'agro-ecosistema: nell'agricoltura convenzionale si impiega un notevole quantitativo di energia proveniente da processi industriali (industria chimica, estrattiva, meccanica, ecc.); al contrario, quella biologica, pur essendo in parte basata su energia ausiliare proveniente dall'industria estrattiva e meccanica, reimpiega la materia principalmente sotto forma organica.

La filosofia dietro a questo diverso modo di coltivare le piante e allevare gli animali non è unicamente legata all'intenzione di offrire prodotti senza residui di fitofarmaci o concimi chimici di sintesi, ma anche (se non di più) alla fondata volontà di non determinare nell'ambiente conseguenze negative, cioè impatti negativi a livello di inquinamento di acque, terreni e aria.

Nella pratica biologica sono importanti soprattutto gli aspetti agronomici: la fertilità del terreno viene salvaguardata mediante l'utilizzo di fertilizzanti organici, la pratica delle rotazioni colturali e lavorazioni attente al mantenimento (o, possibilmente, al miglioramento) della struttura del suolo e della percentuale di sostanza organica; la lotta alle avversità delle piante è consentita solamente con preparati vegetali, minerali e animali che non siano di sintesi chimica (tranne alcuni prodotti considerati "tradizionali") e privilegiando la lotta biologica, tranne nei casi di lotta obbligatoria in cui devono essere usati i più efficaci principi attivi disponibili.

Gli animali vengono allevati con tecniche che rispettano il loro benessere e nutriti con prodotti vegetali ottenuti secondo i principi dell'agricoltura biologica. Sono evitate tecniche di forzatura della crescita e sono proibiti alcuni metodi industriali di gestione dell'allevamento, mentre per la cura delle eventuali malattie si utilizzano rimedi omeopatici e fitoterapici limitando i medicinali allopatrici ai casi previsti dai regolamenti.

L'agricoltura biologica in Europa è stata regolamentata per la prima volta a livello comunitario nel 1991 con il Reg. (CEE) n°2092/91 relativo al metodo di produzione biologico di prodotti agricoli e all'indicazione di tale metodo sui prodotti agricoli e sulle derrate alimentari.

Questo regolamento prevede:

-*Concimazione organica* che è indicata come indispensabile per il mantenimento della fertilità del suolo e per l'attività biologica dello stesso. Questa tecnica prevede l'utilizzo di materiali (letami, sovesci o altro) provenienti da aziende biologiche. I fertilizzanti consentiti possono essere: scorie di defosforazione, fosfato alluminio- calcico, fosfato naturale tenero, sale grezzo di potassio, pellami, farina di carne e di sangue, compost, letame essiccato ecc;

-*Difesa fitosanitaria* è ispirata al principio della prevenzione (creazione di un ambiente favorevole per la pianta e non per i parassiti). Quando la prevenzione non basta come mezzo di difesa, è consentito utilizzare i seguenti prodotti: oli vegetali, piretro, preparati a base biologica (batteri, virus, funghi, nematodi), feromoni (lotta confusione, monitoraggio, cattura massale), trappole, zolfo e relativi preparati, rame ecc.

Solo nel 1999 con il Reg. (CE) n°1804/99 sono state normate anche le produzioni animali. Nel giugno del 2007 è stato adottato un nuovo regolamento CE per l'agricoltura biologica, Reg. (CE) n°834/2007, che abroga i precedenti ed è relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici sia di origine vegetale che animale (compresa l'acquacoltura).

Le aziende biologiche sono in rapida crescita e coprono ormai un milione di ettari in Italia; all'estero, come gli Stati Uniti, in Germania, in Danimarca e in Francia, sono pure molto diffuse.

I loro prodotti sono richiesti da consumatori che credono nelle loro superiori caratteristiche qualitative e che, di conseguenza, sono disposti a pagarli a prezzi più elevati di quelli corrispondenti offerti dall'agricoltura convenzionale.

Tutto ciò, a livello di reddito agricolo, può talora permettere di controbilanciare la minore produttività e i più elevati costi di produzione, ma crea anche problemi in fase di commercializzazione (prevenzione a frodi) ai quali non sempre le normative esistenti e le procedure di controllo e di certificazione messe in atto, riescono a dare risposte soddisfacenti.

### 3 L' AZOTO

L'**azoto** è l'elemento chimico di numero atomico 7. Il suo simbolo è **N** (dal latino *Nitrogenum*). L'azoto è costituente fondamentale delle molecole organiche più importanti dal punto di vista biochimico (DNA, proteine, alcune vitamine, enzimi, la molecola della clorofilla), oltre che di composti inorganici estremamente diffusi e importanti come l'ammoniaca e l'acido nitrico.

L'azoto molecolare ( $N_2$ , composto di due atomi di azoto) è un gas incolore, inodore, insapore e inerte che costituisce il 78% dell'atmosfera terrestre (è il gas più diffuso nell'aria). L'azoto è il quinto elemento più abbondante nell'universo, il 19° sulla crosta terrestre, di cui costituisce lo 0,03% e il quarto nel corpo umano, di cui costituisce il 3%. È contenuto in depositi minerali come nitrato, soprattutto  $NaNO_3$  (salnitro del Cile, derivato del guano), ma anche  $KNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$  e  $Mg(NO_3)_2$ ; questi sali, tutti di derivazione biologica, sono solubili in acqua e giacimenti si trovano solo in zone particolarmente aride. L'importanza del ciclo per gli organismi viventi è dovuta alla loro necessità di assimilare azoto per la formazione di composti organici vitali, quali le proteine e gli acidi nucleici, ma, ad eccezione di particolari batteri (azotofissatori), l'azoto atmosferico non può essere direttamente assorbito dagli organismi e ciò rappresenta spesso un fattore limitante per lo sviluppo di qualsiasi organismi.

Le piante, però, possono assimilare l'azoto tramite l'assorbimento di alcuni composti azotati (nitriti, nitrati e sali d'ammonio) che, disciolti nell'acqua, giungono fino alle loro radici. Una volta organicato nella fitomassa, l'azoto viene quindi trasferito agli organismi eterotrofi, come gli animali, mediante la catena alimentare. La decomposizione dei resti organici restituisce al terreno l'elemento, che può ritornare nell'atmosfera grazie all'azione di alcuni batteri specializzati. I processi chimici coinvolti per la loro formazione possono essere suddivisi in quattro tipi: azotofissazione, ammonificazione, nitrificazione e denitrificazione.

#### 3.1 L'azotofissazione

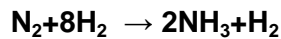
È un processo riduttivo con cui l'azoto molecolare ( $N_2$ ) presente nell'atmosfera viene trasformato in ammoniaca ( $NH_3$ ). Il 90% della quantità fissata naturalmente è *biologica*; viene prodotto ammonio a partire all'azoto molecolare.

Gli **agenti fissatori** dell'azoto sono:

- Azotobacter e Clostridium: batteri liberi nel terreno
- rizobi: batteri viventi in *simbiosi mutualistica* con le radici di leguminose, l'Ontano, alcune felci
- alghe azzurre.

Il 10% dell'azoto fissato è *ad alta energia*, proviene, dall'azione dei fulmini durante i *temporali*, che ossidano l'azoto gassoso formando dei **nitrati**, i quali raggiungono direttamente il suolo tramite l'acqua contenuta nelle precipitazioni sottoforma di acido nitrico HNO.

La reazione chimica dell' fissazione dell' azoto è:



Dal punto di vista agricolo, la fissazione biologica è una fonte d'azoto molto importante per l'arricchimento del terreno, perché il solo uso delle **concimazioni azotate** non potrebbe soddisfare la sua richiesta su scala mondiale (Schubert e Wolk, 1982). Una pratica agricola che sfrutta questa simbiosi per la fertilizzazione del terreno è il sovescio con le leguminose.

### 3.2 L' ammonizzazione

E' il processo principale attraverso il quale si concretizza la mineralizzazione dell' azoto. Essa è di natura batterica ( *Achromobacter*, *bacillus*, *clostridium*) e si verifica praticamente in tutti i terreni anche se un pH troppo basso tende a rallentarlo e al contrario, una temperatura convenientemente elevata ed un pH neutro o alcalino lo favoriscono. L' azoto ammoniacale può poi seguire le seguenti vie: immobilizzazione sotto forma organica, assorbimento da parte delle piante superiori, fissazione sui minerali argillosi, perdita per volatilizzazione dell' ammoniaca, nitrificazione.

### 3.3 Nitrificazione

La *nitrificazione*, cioè l' ossidazione dell' ammoniaca con la formazione prima di nitriti NO<sub>2</sub> e poi di nitrati NO<sub>3</sub>, è pure importantissimo processo biologico che interessa direttamente la nutrizione delle piante. Vi appartengono due principali di microrganismi:

- Nitrosomas che ossidano l' azoto ammoniacale NH<sub>3</sub> ad azoto nitroso;
- Nitrobacter che ossidano l' azoto nitroso a azoto nitrico.



Mettendo insieme questi due importanti processi avremo la seguente reazione :



I fattori ecologici che favoriscono la nitrificazione sono:

- presenza di CO<sub>2</sub> o di carbonati da cui i batteri trattengono il carbonio, questo non è mai un fattore limitante nel terreno;
- presenza di composti azotati da trasformare ;
- pH non superiore a 9 e non acido;
- sufficiente areazione del substrato;
- temperatura sufficientemente elevata;
- presenza di determinate elementi ( **Mg, K,Ca, P, Mo, S**);
- assenza di certe sostanze come cloruri, antibiotici, certi fitofarmaci che possono inibire il processo;
- umidità compresa entro i limiti dell' acqua disponibile.

Oltre ai effetti benefici che questi 2 ioni effettuano all' interno dell' ecosistema hanno anche dei lati negativi. Lo ione nitrito risulta essere un composto tossico e molto reattivo, che può dare luogo alla formazione di nitrossamine, composti cancerogeni, dannosi anche per il nostro organismo; lo ione nitrato invece è molto solubile e mobile nel terreno così che processi naturali di lisciviazione, dilavamento e percolamento possono condurlo fino alle falde acquifere determinandone il loro inquinamento e provocando possibili fenomeni di eutrofizzazione soprattutto per quei sistemi acquosi caratterizzati da una scarsa profondità e medio - alte temperature.

L' ossido nitrico e l' ossido nitroso provocano una serie di gravi conseguenze ecologiche dovute alla loro volatilizzazione: sono considerati i principali autori del fenomeno di acidificazione delle piogge, in quanto a contatto con il vapore acqueo si trasforma in acido urico, e poi risultano essere le principali specie chimiche responsabili delle maggior parte della distruzione catalitica dell' ozono in stratosfera, contribuendo all' allargamento del buco dell' ozono.

Le sorti di questo ione nel terreno sono: assorbimento da parte delle piante, immobilizzazione da parte della microflora, perdita per lisciviazione e per denitrificazione .

### **3.4 Denitrificazione**

E' un processo microbico che comporta la riduzione dei nitrati e dei nitriti ad azoto elementare o NO che si perdono allo stato gassoso.

Essa è dovuta prevalentemente a batteri anaerobici facoltativi dei generi Bacillus, Pseudomonas. Il processo avviene in assenza di ossigeno per cui appare più frequentemente nei terreni asfittici e mal drenati ma può non mancare anche in ambienti ove non ci sia ristagno in atto, qualora vengano a crearsi le condizioni favorevoli all' interno degli aggregati strutturali.

La denitrificazione è stimolata anche dall' interrimento della sostanza organica facilmente decomponibile (apporto di sostanza energetica), è favorita da un pH 7-8, dalle temperature molto alte ed anche dalla vegetazione.

In linea generale si stima una perdita di azoto per denitrificazione pari al 10-15% dell' azoto nitrico.

La riduzione della forma nitrica a quella elementare è la seguente:



Il processo di denitrificazione e un po' anche la nitrificazione portano alla formazione di prodotti secondari, come il protossido di azoto NO<sub>2</sub> ; tale gas, pur essendo presente in tracce in atmosfera, contribuisce all' assottigliamento dello strato dell' ozono, tanto che viene detto anche gas killer dell' ozono,e, inoltre, contribuisce significativamente all' effetto serra.

**4 MAIS O GRANOTURCO - *Zea mays* L.**

**Classe:** Monocotyledones

**Ordine:** Glumiflorae

**Famiglia:** Graminaceae (Gramineae o Poaceae)

**Sotto famiglia:** Andropogonoideae

**Tribù:** Maydeae

**Specie:** *Zea mays* L.



**Figura I :** Pianta di mais

#### 4.1 Origine e diffusione

Il mais (o granturco, granone, frumentone, ecc.) fu conosciuto dagli europei un mese dopo la scoperta dell'America all'interno di Cuba dove era chiamato maíz.

La prima, rapida diffusione del mais in Europa si ebbe nel 1600 nelle regioni Balcaniche, allora facenti parte dell'impero Ottomano, grazie alle condizioni climatiche favorevoli che assicuravano produzioni di granella più che doppie rispetto ai cereali tradizionali e, forse, anche al fatto che questo nuovo prodotto agricolo sfuggiva alla tassazione non essendo rubricato.

Qualche tempo dopo il mais iniziò a diffondersi in Italia, probabilmente con varietà provenienti dai vicini Balcani (da cui forse deriva il nome popolare di «granturco»). Le regioni padane, e in particolare quelle nord-orientali, grazie al clima favorevole furono quelle che introdussero il mais nei loro ordinamenti colturali con larghezza tuttora insuperata. Ma anche le regioni peninsulari centrali trovarono nel mais un valido contributo al precario sostentamento alimentare delle popolazioni agricole, tanto che questa coltura entrò a far parte degli ordinamenti policolturali del centro Italia pur se il clima di quest'area non fosse ideale.

Nella seconda metà del XX secolo la maiscoltura italiana si è profondamente modificata, nel senso che le produzioni si sono orientate verso il mercato anziché verso l'autoconsumo alimentare umano e che, in conseguenza, il mais è scomparso dalle aree marginali non irrigate, dove dà rese modeste e incostanti, e si è localizzato quasi esclusivamente nelle zone irrigate dove ha potuto vedere enormemente intensificate le sue produzioni grazie all'introduzione dei mais ibridi, altamente produttivi, ma molto esigenti quanto a tecnica colturale.

Le regioni italiane più intensamente maidicole sono Veneto, Lombardia, Piemonte e Friuli V.G.: da sole queste quattro regioni producono circa il 66% di tutto il mais prodotto in Italia. Il mais è pochissimo coltivato nell'Italia meridionale, e praticamente assente nelle Isole.

#### 4.2 Caratteri botanici

La *Zea mays* è l'unica specie del genere *Zea* ed esiste solo allo stato coltivato.

Il mais fa parte della sottofamiglia Maydeae, della grande famiglia delle Poaceae e della classe delle monocotiledoni.

La pianta di mais presenta molte caratteristiche comuni alle altre Poaceae:

- il fusto o culmo distinto in nodi e internodi;
- una singola foglia a ciascun nodo e le foglie distribuite sul culmo in due file opposte o distiche;
- ogni foglia consiste in una lamina espansa collegata a una guaina che avvolge il culmo.

I nodi basali hanno la tendenza a formare ramificazioni o culmi di accestimento ( polloni) e sviluppano le radici avventizie

**4.3 Radice:** Il sistema radicale è di tipo fascicolato e comprende quattro radici seminali e le radici avventizie ( ipogee e epigee).

---

Esse si sviluppano nel terreno in tutte le direzioni e in profondità, di norma fino a oltre 1 metro in suoli ricchi di acqua e nutrienti, mentre possono raggiungere, in terreni aridi, i 2,5 metri di profondità .

Tuttavia, più dell' 80% dell' apparato radicale si posiziona nei primi 30-35 cm.

Le radici seminali pur esaurendo la loro funzione dopo le prime settimane di crescita, restano funzionali anche in seguito.

Le radici avventizie ipogee si sviluppano nei primi 4-5 nodi localizzati appena sotto il colletto e quindi, alla superficie del terreno; quelle epigee sono emesse nei 2-3 nodi basali dopo che la pianta ha espanso 9-10 foglie.

Queste ultime radici, se giungono al suolo o se ricoperte di terra con la rincalzatura, svolgono funzioni di ancoraggio oltre che nutritive.

#### **4.4 Culmo e foglie**

Il fusto o culmo ( detto stocco) misura comunemente 2-3 m di lunghezza.

Tuttavia, varietà precocissime possono essere alte solo 90 cm o in alcuni mais raggiungono 30-50 cm mentre , in regioni sub- tropicali e tropicali, le piante possono arrivare a 6-7 metri di altezza.

Il culmo, negli ambienti italiani, ha il diametro di 3-4 cm e possiede 14 ( da 8 a 21) internodi.

Gli internodi sono ravvicinati e di diametro maggiore alla base della pianta mentre sono allungati nella parte superiore.

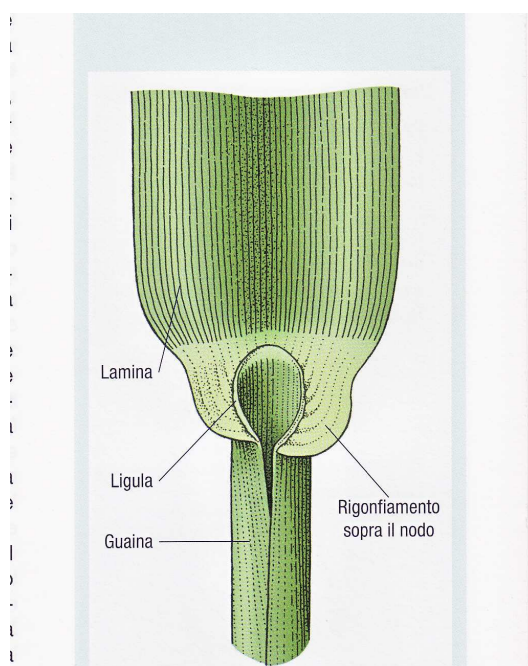
Il numero delle foglie è compresa fra 8 e 48, considerando anche quelle degli eventuali polloni, ma solitamente varia fra 12 e 18.

Il minor numero si trova nelle varietà a maturazione precoce.

La lunghezza delle foglie è compresa fra 30 e 150 cm e la larghezza può raggiungere i 15 cm.

Queste sono disposte alternativamente sui due lati dello stocco, una per ogni nodo sopra terra, e, come i nodi, sono in numero variabile da un minimo di 8-10 nelle varietà precoci a 22-24 in quelle più tardive. Ciascuna foglia si compone di 3 parti ben distinte:

- Guaina che abbraccia quasi completamente l' internodo sovrastante il nodo d' origine;
- Lembo che rappresenta la foglia vera e propria, di forma lanceolata con nervature parallele longitudinali di cui quella mediana è più grossa;
- Ligula un espansione laminare a guisa di membrana incolore e pellucida, posta tra la guaina e lembo, che fascia strettamente lo stocco, ostacolando l' entrata di acqua o di eventuali parassiti e permettendo la posizione più o meno orizzontale della lamina



**Figura II:** Schema delle diverse parti della foglia

#### 4.5 Cariosside

La costituzione della cariosside è la seguente: embrione (12-14%), endosperma (75-80%), involucri (8-10%).

L'embrione è costituito da:

- *piumetta*, che è protetta dal coleoptile e sulla quale sono già differenziati gli abbozzi delle prime cinque foglie;
- *radichetta*, protetta dalla coleorizza;
- *scudetto* (o scutello) ricco di grassi.

L'endosperma è costituito da uno strato aleuronico esterno e da un parenchima amidaceo che è a sua volta formato da una parte cornea, ricca di sostanze azotate e da una parte farinosa, quasi esclusivamente formata di amido e povera di sostanze proteiche.

Gli involucri comprendono pericarpo e perisperma.

Nella cariosside di mais si distinguono: la corona, cioè la parte che nella spiga è all'esterno ed opposta all'inserzione nel tutolo; due facce, di cui la superiore è volta verso l'apice della spiga e l'inferiore è volta verso la base; lo scudetto che, con l'embrione, alla base del granello, sulla faccia superiore.

Il polimorfismo del granello di mais (colore, forma, peso) è assai accentuato. Il colore può essere bruno, violetto, rosso, giallo, bianco; la forma rotondeggiante, schiacciata, appuntita, ecc.; il peso di 1.000 cariossidi varia da meno di 100 grammi a oltre 1200 grammi; nei tipi più comunemente coltivati 1.000 cariossidi pesano 250-350 g.



**Figura III** : Cariossidi di mais

#### **4.6 Organi fiorali**

Il mais è pianta monoica diclina: cioè i fiori maschili e femminili sono sulla stessa pianta portati da infiorescenze separate.

##### **4.6.1 Organo maschile del mais**

L'infiorescenza maschile (detta volgarmente pennacchio) è un panicolo terminale, costituito da numerose ramificazioni sulle quali si trovano le spiglette; ogni spigletta consta di due fiori con tre stami ciascuno.



**Figura IV** : Organo maschile del mais ( pennacchio)

#### **4.6.2 Organo femminile della pianta**

L'infiorescenza femminile (comunemente, ma impropriamente, detta pannocchia) è una spiga ascellare, posta circa a metà altezza della pianta, in genere al 6-7° nodo sotto il pennacchio.

Le forme usualmente coltivate sono monospiga in ordinarie condizioni di fittezza, anche se esistono genotipi che in condizioni di moderata competizione manifestano una certa prolificità, portando avanti qualche altra spiga sotto quella principale che comunque mantiene la sua dominanza.

La spiga è portata da un peduncolo fatto di internodi brevi e nodi assai ravvicinati; ciascun nodo del peduncolo porta una foglia metamorfosata in brattea o spata; il complesso delle brattee, che avvolgono completamente la spiga, forma il cosiddetto cartoccio, avente funzione protettiva. La spiga è costituita da un asse ingrossato detto tutolo sul quale sono inserite le spigette.

Il tutolo può essere di colore bianco o rosso, più o meno ingrossato, di forma cilindrica o conica più o meno tozza.





**Figura V** : Organo femminile del mais ( spiga)

Sul tutolo le spiglette sono in genere disposte in file («ranghi») rettilinee regolari, talora spiralate e poco regolari.

Il numero di ranghi presenti sulla spiga varia moltissimo nelle innumerevoli forme locali di mais esistenti (da 8 a 24), ma le forme più diffuse nella maiscoltura intensiva ne presentano da 14 a 20.

La lunghezza della spiga può variare da meno di 0,1 a oltre 0,2 m e il numero di fiori e di potenziali cariossidi per rango andare da poche decine a 50. Da ciò deriva una elevatissima fecondità potenziale del mais: molte centinaia (fino a 1.000) potenziali cariossidi per spiga. Questo straordinario rapporto di moltiplicazione che caratterizza il mais impressionò molto i primi scopritori e influì sul successo della diffusione della specie in tante parti del mondo.

#### **4.7 Fioritura e fecondazione**

Il mais è specie «proterandra» ossia la fioritura inizia con la deiscenza del polline dei fiori maschili del pennacchio, seguita poi dopo 2-3 giorni dall'emissione degli stigmi nelle infiorescenze femminili. L'emissione dei pennacchi non è contemporanea in un campo, ma si protrae per più giorni; anche la deiscenza del polline in una infiorescenza dura qualche giorno. Nelle spighe, gli stili (detti sete o barbe) spuntano dalle brattee non contemporaneamente, ma scalarmente nel corso di una settimana, dapprima quelli dei fiori di base ed ultimi quelli dell'apice, formando un folto ciuffo. Gli stigmi, appena compaiono, sono suscettibili di essere fecondati e restano recettivi per il polline per parecchio tempo. Però, dato che l'antesi delle antere precede la comparsa degli stigmi, può darsi che gli ovuli della punta della spiga, gli ultimi

a maturare, non arrivano ad essere fecondati per mancanza di polline.

Nel mais la fecondazione incrociata è la regola: in condizioni normali si calcola che solo l'1% dei fiori si fecondino in autogamia.

Le antere deiscono per lo più al mattino ed il polline, abbondantissimo, preso dai movimenti anche lievi dell'aria, va a finire su spighe di altri individui. La stessa disposizione delle foglie nella pianta non favorisce l'autofecondazione.

Il polline pervenuto sugli stili germina ed emette un lungo tubo pollinico. In circa 24 ore si ha la fecondazione dell'ovulo. Anche se la allogamia è la norma, nel mais non esiste alcun meccanismo di autoincompatibilità che ostacoli l'autofecondazione, che può essere controllata a scopo di miglioramento genetico.

#### **4.8 Il ciclo biologico**

Il ciclo biologico del mais può essere suddiviso in due diverse fasi, differenti anche dal punto di vista delle esigenze pedoclimatiche e nutrizionali: fase vegetativa e fase riproduttiva.

La fase vegetativa (V) procede dalla germinazione all' inizio della fioritura.

In tale fase, tutta l' energia posseduta dalla pianta è spesa per il suo accrescimento e per la predisposizione degli organi riproduttivi.

Nelle prime tre settimane dalla semina la piantina cresce e si sviluppa prevalentemente a spese delle sostanze di riserva contenute nel seme. Con la successiva formazione delle foglie e l' inizio dell' attività fotosintetica, la pianta inizia la sua vita autonoma.

Nei 30 - 40 giorni successivi l' emergenza, si ha un intensa attività vegetativa che porta alla differenziazione, a livello del " punto vegetativo" posto all' interno della pianta a livello del terreno o subito sotto, delle prime 8 -10 foglie.

Nello stesso tempo inizia la formazione dell' infiorescenza maschile e successivamente quella femminile all' ascella della 6° foglia sotto il pennacchio

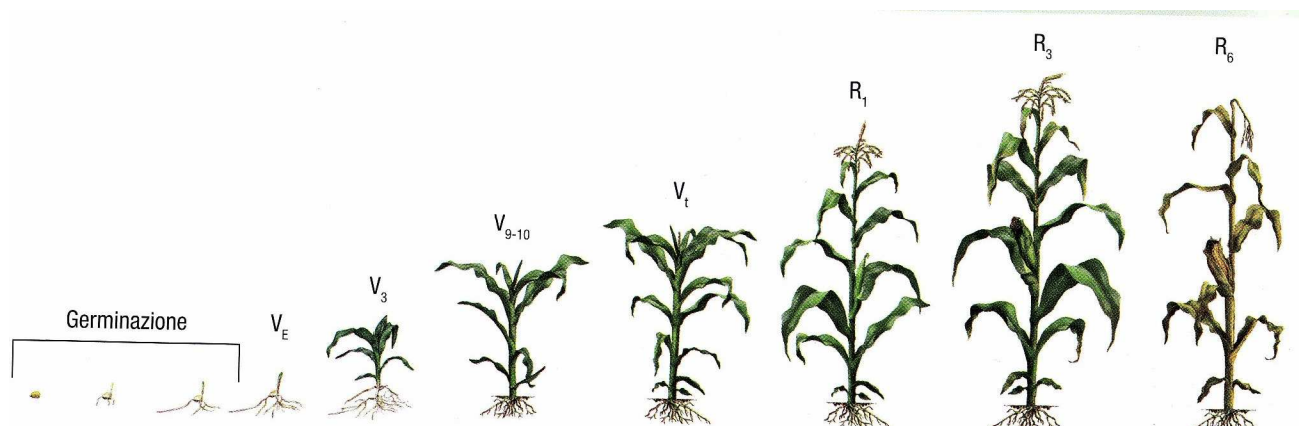
Superato tale periodo, gli internodi più bassi incominciano ad allungarsi e le piante entrano nella fase di levata che termina 4-6 settimane più tardi con l' emissione del pennacchio.

La durata del periodo vegetativo può variare da 45-50 giorni per le varietà precocissime a 75-80 giorni, per quelle tardive.

La fase riproduttiva ( indicata con la lettera R) procede dalla fioritura alla piena maturazione della granella.

In tale fase, la maggior parte della produzione fotosintetiche della pianta viene accumulata come sostanze di riserva nella granella.

L'ingrossamento della cariosside inizia subito dopo la fecondazione e già dopo tre settimane ha raggiunto le dimensioni finali. Riassumendo, la maturazione "piena" o fisiologica della granella si raggiunge indicativamente dopo 60-70 giorni dopo la fioritura



**Figura VI** : Ciclo biologico del mais

#### 4.9 Durata delle fasi vegetative

La velocità con cui il mais compie le fasi del suo sviluppo varia molto con la costituzione genetica e con le condizioni climatiche.

La fase compresa tra la semina e l'emergenza ha una durata variabile secondo la temperatura: con 12 °C (minimo): 18-20 giorni; con 17 °C: 8-10 g iorni; con 21 °C: 5-6 giorni.

La fase che va dall'emergenza all'antesi varia moltissimo con la varietà in interazione con la temperatura e soprattutto col fotoperiodo. In Italia i tipi più precoci fioriscono dopo 45-50 giorni dall'emergenza, mentre i più tardivi fioriscono dopo 70-75 giorni, cioè a fine luglio, primi di agosto. Varietà tropicali, brevidiurne, nei lunghi giorni estivi delle regioni temperate salirebbero a fiore solo al sopraggiungere dell'autunno.

La fase compresa tra l'antesi e la maturazione fisiologica dipende strettamente dalle caratteristiche genetiche della cultivar e dalla temperatura e umidità dell'ambiente. Gli ibridi più precoci maturano dopo 45-55 giorni dalla fioritura, mentre tipi molto tardivi dopo 70 giorni possono non aver ancora raggiunto la maturazione fisiologica.

Pertanto il ciclo complessivo «emergenza-maturazione fisiologica» dei mais coltivati in Italia varia da un minimo di 90 giorni a un massimo non superabile di 145 giorni.

#### 4.10 Esigenze ambientali

Il mais è pianta di origine tropicale ed è quindi tipicamente macroterma e, almeno originariamente, brevidiurna.

Per quanto riguarda la reazione fotoperiodica, da tipi strettamente brevidiurni si è passati a tipi adattatisi alle latitudini medio-alte e quindi divenuti fotoindifferenti.

#### 4.11 Esigenze pedologiche

Il terreno ideale per il mais, come di tutte le colture, è quello profondo, franco, ben fornito di sostanza organica, capace di drenare bene e con una buona capacità di ritenuta idrica, avente la strato sottostante il profilo colturale profondo e moderatamente permeabile.

Il pH deve essere intorno alla neutralità (6,5-7) e la capacità di scambio cationico intorno a 15-20 meq/100g di terreno.

Anche se è difficile trovare tipologie di questo terreno, il mais è una coltura che si adatta alle condizioni più diverse. Infatti, operando al meglio, la produttività che si consegue è spesso pari a quella ottenuta nei terreni più dotati.

Il mais però poco si adatta a terreni superficiali, a quelli molto compatti o molto limosi, che formano spesso croste superficiali, durissime e tali da non consentire l' emergenza delle piantine o successivamente la penetrazione dell' acqua piovana o d' irrigazione.

#### 4.12 Esigenze idriche

Le precipitazioni caratteristiche dell' areale mondiale di diffusione del mais si colloca nell' intervallo fra 250 e 5000 mm / anno.

L' enorme potenzialità produttiva del mais può esplicarsi appieno solo in corrispondenza con il totale soddisfacimento delle esigenze idriche della coltura, il che comporta spesso un apporto idrico considerevole. Per esempio, in luglio, con temperature media di 25-26 °C e pianta in fioritura, il consumo idrico giornaliero è circa 7-8 mm ( 70-80 m<sup>3</sup> per ettaro), con consumi medi mensili intorno ai 200 mm ( 2000 m<sup>3</sup> per ettaro ).

Per gli ibridi attuali, nelle condizioni padane, si può considerare un consumo idrico medio da 6000 a 8000 m<sup>3</sup> / Ha.

I punti di criticità sulla resa finale si verificano negli stadi R1- R2 ( piena fase riproduttiva della pianta), seguiti da V7- V9 ( durante la fase di accrescimento della pianta)

#### 4.13 Temperatura

Il mais esige temperature elevate per tutto il suo ciclo vitale, durante il quale manifesta esigenze via via crescenti.

Il mais non germina e non si sviluppa (zero di vegetazione) se le temperature sono inferiori a 10 °C; in pratica per avere nascite non troppo lente e aleatorie si consiglia di iniziare a seminare quando la temperatura del terreno ha raggiunto stabilmente i 12 °C.

Abbassamenti di temperatura anche solo vicini a 0°C (4-5 °C) uccidono le piante o le lasciano irrimediabilmente stressate.

La temperatura ottimale per l'accrescimento è di 22-24 °C; per la fioritura di 26 °C.

Il mais in fase di maturazione della granella cessa di crescere sotto i 17 °C: è questa la soglia termica che segna il termine della stagione vegetativa del mais (II e III decade di settembre, in Italia).

Anche eccessi termici, tuttavia, possono rivelarsi dannosi per la produttività del mais.

Forti calori sono particolarmente dannosi durante la fioritura: temperature superiori a 32-33 °C accompagnate da bassa umidità relativa dell'aria e, conseguentemente, anche da stress idrici per sbilancio evapotraspiratorio, possono provocare cattiva allegazione e gravi fallanze di cariossidi sulla spiga.

Le conseguenze sono frequentemente visibili come incompleta granigione delle spighe, specialmente nella parte apicale, che è l'ultima a fiorire.

#### 4.14 Avvicendamento colturale

Il mais è una coltura definita "da rinnovo" in quanto, come conseguenza delle particolari cure colturali che riceve ( lavorazioni profonde, abbondanti concimazioni e irrigazioni), lascia il terreno particolarmente fertile per le colture che lo seguono. Una volta, nella piccola azienda la rotazione classica era : mais – frumento- mais- frumento- prato-prato-prato.

Solitamente dopo la coltura del frumento venivano coltivati degli erbai intercalari, alcuni di questi potevano essere di mais in coltura fitta ( gran turchino). Ora, nelle aree a più elevata specializzazione maidicola, il mais è generalmente avvicendato a se stesso ( omosuccessione).

Questa ripetizione è possibile perché:

- il mais non lascia nel terreno residui tossici per se stesso;
- il mantenimento della struttura del terreno è possibile per l' azione del possente apparato radicale e per le restituzioni organiche che lo stesso assicura nel caso del mais da granella

Nel caso del mais da insilato la restituzione della materia organica avviene sottoforma di liquami che a lungo andare, potrebbe portare un impoverimento della sostanza organica nel suolo.

Fatto sta che eseguire ripetutamente la coltivazione del mais sullo stesso terreno, senza alternare la tipologia di PAU maidicolo, con la possibilità di interrare la biomassa vegetale derivante dal mais da granella, può portare seri problemi sulla fertilità del suolo.

Altri problemi causati dalla omosuccessione sono:

-La raccolta, spesso tardiva, effettuata su suoli umidi, fa sì che il terreno di anno in anno diventi più compatto;

-Nei terreni in pendio, anche se debole, l'erosione è accelerata dato che il suolo è mantenuto umido ed esposto alle piogge autunnali. Questo danno, in realtà, è più alto nel caso del mais da insilato.

-L'impiego di diserbanti selettivi facilita la proliferazione di certe avventizie graminacee

-(stessa famiglia del mais) come la digitaria, ma anche di dicotiledoni entro le quali si sviluppano dei biotipi resistenti ai diserbanti normalmente utilizzati;

-Tutte le omosuccessioni squilibrano il suolo e possono incrementare i parassiti specifici della coltura (per esempio la recente diffusione di *Diabrotica virgifera virgifera*), necessitano di concimazioni più elevate e costose e un rafforzamento della lotta ai competitori (funghi, insetti, malerbe).

#### 4.15 Preparazione del terreno

Nella tradizione maidicola la preparazione del terreno per la semina del mais si basava su un lavoro profondo (0,40-0,45 m), da rinnovo, utile soprattutto nel caso di terreni argillosi e di coltura non irrigata per assicurare la costituzione di riserve idriche nel terreno e per consentire un profondo sviluppo dell'apparato radicale.

La lavorazione profonda viene generalmente fatta con aratro rovesciatore, ma potrebbe meglio essere fatta con il sistema «a due strati»: scarificazione profonda e aratura leggera o aratura ripuntatura.

All'aratura estiva o autunnale seguono lavori complementari di affinamento delle zolle e di controllo delle malerbe nate (erpature energiche, estirpature). È consigliabile procedere per tempo a questo affinamento e sospendere qualche tempo prima della semina: si dovrà insomma evitare di intervenire con operazioni troppo energiche (ad es. con estirpatori od erpici pesanti), perché si distruggerebbe in pochi minuti quella perfetta e irripetibile struttura che mesi di azioni naturali avevano creato e che è la prima e più sicura garanzia di nascite pronte e regolari.

Il mais non abbisogna di un letto di semina particolarmente affinato: poiché il seme è grosso e quindi va posto alquanto profondo, non vi sono quei problemi di finezza delle zollette e di

freschezza del suolo vicino alla superficie che rendono tanto difficile la buona riuscita delle semine e delle nascite delle specie a seme piccolo. Ciò non toglie che su terreno ben preparato le nascite siano più pronte e regolari.

Nel caso di mais in seconda coltura, risparmio di lavoro, guadagno in tempestività e ottima produzione si ottengono con la «semina diretta», senza nessuna lavorazione, adoperando una seminatrice specialmente attrezzata con piccoli coltri per tagliare il terreno.

La geodisinfestazione contro gli insetti terricoli va prevista alla semina con formulati microgranulari distribuiti sulla fila dalla stessa seminatrice.

#### 4.16 Concimazione

Il mais essendo coltura che svolge il suo ciclo nel periodo primaverile-estivo si avvantaggia grandemente della concimazione organica, in quanto la mineralizzazione della sostanza organica procede di pari passo con le esigenze nutritive del mais (diversamente in ciò dal frumento). La letamazione è stata perciò la concimazione più classica del mais in passato. Al giorno d'oggi sono la norma le aziende che coltivano con successo il mais senza disporre di letame o di altri concimi organici, solo facendo ricorso a razionali concimazioni minerali e a eventuali concimi organici non tradizionali come i liquami, i composti, ecc.

Base per la definizione della concimazione del mais, come di ogni altra coltura, è la conoscenza dei prelevamenti di nutrienti che una coltura fa in ordinarie, ma buone, condizioni di crescita.

Per produrre 100 kg di granella secca si stima che la coltura prelevi, tra la granella e le parti vegetative, le seguenti quantità di macroelementi:

- N : 2,5 kg di cui 1/3 nei residui;
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 1,2 kg di cui 1/3 nei residui;
- K<sub>2</sub>O : 2,0 kg di cui 3/4 nei residui.

Per una produzione, buona ma realistica in coltura irrigata, di 12 tonnellate per ettaro di granella secca il mais deve quindi prelevare 300 kg/ha di azoto, 144 kg di anidride fosforica, 240 kg di potassio. Queste quantità non sono mai disponibili nel terreno, per cui le insufficienze devono essere colmate con la concimazione, se si vuole sfruttare appieno l'altissimo potenziale di produzione che il mais ha.

In terreni di buona fertilità, le concimazioni che vanno previste sono dei seguenti ordini grandezza:

- azoto: 250-300kg /ha;
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 80-120kg /ha;
- K<sub>2</sub>O :50-100 kg /ha.

Dopo prato di leguminose l'azoto può essere ridotto a 150-200 unità.

Nel caso di coltura non irrigata è inutile o addirittura dannoso forzare la concimazione minerale, per cui una formula di concimazione potrebbe essere la seguente: N: 60-80; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 40-60 kg/ha. Si può presumere che nei terreni necessariamente argillosi dove si può pensare di fare mais in coltura asciutta la concimazione potassica non sia necessaria.

Il mais da granella può essere raccolto dalla maturazione fisiologica in poi, sempre, comunque, con un'umidità troppo alta che rende necessaria l'essiccazione.

### Rapporto tra i 3 macroelementi e il mais

Azoto: Rappresenta l'elemento più importante per il mais in quanto ne influenza in modo determinante la produzione, sia in termini di resa, sia di proteina grezza.

L'assorbimento dell'azoto da parte del mais avviene in questo modo:

-Nel periodo della fioritura l'intensità di assorbimento giornaliero per ettaro è dell'ordine di 5kg/ha

-A maturità 2/3 dell'azoto totale della parte epigea sono nella cariosside (1,4-1,6%), minori quantità si trovano nelle restanti parti della pianta (0,5-1%)

-La carenza di azoto si manifesta con diminuzione di vigore e con foglie più piccole del normale e di colore verde-giallo. Prima della fioritura, a partire dalla base della pianta le foglie ingialliscono e seccano in proporzione alla carenza.

Fosforo: nel terreno è presente in combinazioni organiche e inorganiche, ma per la pianta ne è disponibile solo una piccola parte in quanto il mais assorbe solamente fosfati inorganici solubili. È essenziale per la pianta, svolgendo un ruolo di grande importanza nel trasferimento dell'energia. Nella pianta si trova come componente di diverse molecole quali fosfolipidi, lecitine, fitina, nucleoproteine.

Assorbimento del fosforo:

- Durante le varie fasi della maturazione il fosforo delle foglie e delle altre parti vegetative, in grandi quantità, viene trasferito nelle cariossidi. La curva di assorbimento anticipa lievemente quella dell'accumulo della sostanza secca;

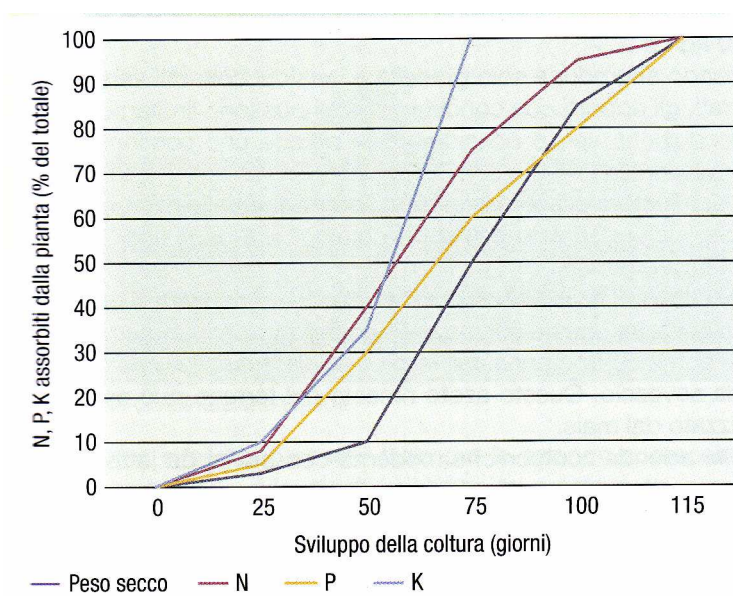
-Carenza di fosforo si possono osservare nei primi stadi di sviluppo con un più o meno grave arrossamento delle foglie. Questa manifestazione si ha anche quando la temperatura si abbassa molto. Questo inconveniente si riduce molto se si ha l'accorgimento di effettuare una parte della concimazione fosfatica localizzata alla semina.



**Potassio.** Si trova nel terreno sotto forma di Sali inorganici o assorbito sul complesso argillo-umico. Nelle piante influenza, come regolatore, tutti i processi metabolici: assorbimento dell'azoto, divisione cellulare, umidità delle foglie, attività fotosintetica, sintesi delle proteine, ecc.

L'assorbimento del potassio:

- Alla raccolta, la maggior parte del potassio si trova nei residui colturali, pertanto con l'interramento degli stessi l'elemento ritorna nuovamente al terreno.
- La maggior parte del potassio viene assorbita dalla levata alla fioritura
- Verso la fine della coltura, nella pianta si trova una minor quantità di potassio in quanto, essendo lo stesso in soluzione, una parte viene rilasciata attraverso le foglie a seguito delle piogge
- La carenza di potassio deprime l'attività fotosintetica, fa aumentare la respirazione e porta a una generale indebolimento della pianta. Forti carenze di potassio fanno riscontrare culmi meno resistenti allo stroncamento.



**Figura VII :** assorbimento dei nutrienti nel corso dello sviluppo della pianta

#### 4.17 Raccolta e produzione

La raccolta può essere fatta in spiga o in granello.

Il primo sistema è quello tradizionalmente seguito quando si raccoglie a mano: le spighe vengono staccate dalla pianta, "scartocciate" (eliminando le brattee che le avvolgono), lasciate essiccare, per poi essere sgranate con macchina sgranatrice.

Il sistema più rapido e più universalmente diffuso di raccolta del mais è quello con macchina combinata, che esegue contemporaneamente la raccolta e la sgranatura.

Le mietitrebbiatrici da mais sono normali macchine che per operare sul mais vengono munite di apposita testata spannocchiatrice.

Il momento ottimale per la mietitrebbiatura del mais è quando la granella ha un contenuto d'acqua del 24-26%. Granella più secca si sgrana con facilità sotto l'azione degli organi spannocchiatori e così va incontro a perdite. Granella più umida si distacca dal tutolo con difficoltà e si spacca facilmente (un prodotto di buona qualità non deve presentare più del 10% di semi rotti).

La più usuale stagione di raccolta del mais da granella va dalla seconda metà di settembre alla fine di ottobre (e oltre, se la varietà è resistente ai marciumi del fusto).

La resa «record» di granella secca di mais è di oltre 20 t/ha in Italia. La resa media italiana è tra le più alte del mondo superando alla data attuale oltre 9 t/ha. Tuttavia molte sono le aziende maidicole che realizzano ordinariamente su scala aziendale 10-12 t/ha e oltre.

In mancanza di irrigazione le rese sono molto più basse e soprattutto estremamente variabili da anno ad anno. Anche nel caso di semina ritardata la produzione è più bassa, tanto più bassa quanto più tardiva è la semina: nel caso di mais dopo frumento, quindi con semine ai primi di luglio, non si può contare che su rese dell'ordine di 4-5 t/ha di granella.

## 5 MATERIALI E METODI

### 5.1 Scopo della Tesi

Nell' ambito delle problematiche affrontate il presente lavoro si inserisce in un progetto riguardante la formulazione di linee guida per la concimazione azotata in zea mais

Lo studio è stato realizzato nel periodo aprile- luglio 2008; in particolare si sono considerate due diverse tipologie di coltivazione di mais: una convenzionale, presso l' azienda agraria sperimentale della facoltà di Padova a Legnaro, dove si è utilizzato mais appartenente alla cultivar **Dekalb DK6530**, e una biologica con cultivar coltivato a MAIS, varietà **Dekalb SNK2147** per 9 metri di larghezza(12 file) e la parte rimanente a mais **Bianco Perla** (31 metri circa), situata nel podere biologico della medesima Azienda agraria, ubicato a Pozzoveggiani (PD)

Si è provveduto alla determinazione dello status di azoto delle suddette colture attraverso l' ausilio dello **Crop Circle ACS-210**.



**Figura VIII** : crop circle

La tesi si propone di confrontare l' evoluzione dello stato nutrizionale in una situazione in cui è stata condotta un' agricoltura di tipo convenzionale, con quello determinato in una situazione in cui è stato adottato il metodo di coltivazione biologico.

In sintesi gli obiettivi della tesi sono:

- *Determinazione del livello di stress nutrizionale in colture di mais convenzionale e biologica, elaborazione dei dati e creazione di mappe dello stato nutrizionale delle colture;*

- *Correlazione tra la resa e valori medi dello crop circle al fine di fornire una linea guida per la fertilizzazione azotata del mais.*

## 5.2 Caratteristiche degli appezzamenti

### Convenzionale:

Il terreno coltivato convenzionalmente, ubicato a Legnaro, a circa 7 metri dal livello del mare, fa parte della pianura modale del fiume Brenta e deriva essenzialmente da limi fortemente calcari.

In tale areale si incontrano con una frequenza che va dal 50% al 70%, suoli caratterizzati da un profilo di tipo:

Profilo	pH	EC 1:2,5 (mS/cm)	C organico g/kg	S.O g/kg
S 0-20	7,74	0,16	7,033582	12,1259
S 20-40	7,7	0,2	7,069905	12,18852

### - Biologico.

L' appezzamento coltivato secondo il metodo biologico appartiene ad un suolo simile a quello precedente.

Pozzoveggiani si situa nella pianura modale del Brenta e del sistema Bacchiglione- Astico, caratterizzata da un materiale parentale costituito da limi e sabbia estremamente calcaree.

Nella maggior parte dei casi, con una frequenza che oscilla tra il 50% e il 75% si incontra un suolo di tipo " Gleyic Calcisol", caratterizzato da suoli a profilo di tipo:

Profilo	pH	EC 1:2,5 (mS/cm)	C organico g/kg	S.O g/kg
D 0-20	7,67	0,2	8,373643	14,43616
D 20-40	7,72	0,21	8,228656	14,1862

### 5.3 Materiale vegetale e operazioni colturali

#### Appezzamento convenzionale

Nell' appezzamento convenzionale è stato utilizzato mais *Zea mais* di cultivar **Dekalb DK6530**.

Le operazioni colturali effettuate nella coltivazione del mais nell' anno 2008 sono:

- 10/10/07: concimazione con letame circa 300q
- 10/10/07: aratura 30cm
- 20/12/07: estirparura
- 29/02/08: estirpatura
- 31/03/08: concimazione di fondo con 18-16-20 (3q/ha);
- 01/04/08: erpicatura a denti rigidi;
- 01/04/08: erpice rotante (1 passaggio);
- 02/04/08: semina con diserbo (4 l/ha di Primagram gold);
- 14/05/08: sarchiatura + concimazione con urea (4q/ha)
- 30/07/08: irrigazione 40mm;
- 18/09/08: trebbiatura mais 126,3 q tot ( 120,3q/ha) con U=24,1 %;
- 22/09/08: trinciatura stocchi
- 01/10/08: aratura

#### Appezzamento biologico

A Pozzoveggiani, invece è stato coltivato mais appartenente alla cultivar coltivato a MAIS, varietà Dekalb SNK2147 per 9 metri di larghezza(12 file) e la parte rimanente a mais BIANCO PERLA (31 metri circa).

Le operazioni colturali effettuate durante la sua permanenza in campo sono state:

- 9/10/07: concimazione organica con letame aziendale, circa 360 q totali (324 q/ha);
- 9/10/07: aratura 30 cm profondità;
- 27/02/08: estirpatura;
- 20/03/08: erpicatura con erpice a denti su malerbe nate;
- 29/04/08: erpicatura con erpice a denti su malerbe nate;
- 03/06/08: semina mais;
- 12/06/08: strigliatura + sarchiatura interfila;
- 20/06/08: sarchiatura;
- 27/06/08; sarchiatura con rincalzatura;

Dal 27/06/08 al 04/07/08 zappature e scerbature manuali per complessive 60 ore su 4,52 ha di mais complessivi ( circa 13 ore/ha).

## 5.4 Strumenti utilizzati

### Crop Circle ACS-210 radiometro multi spettrale



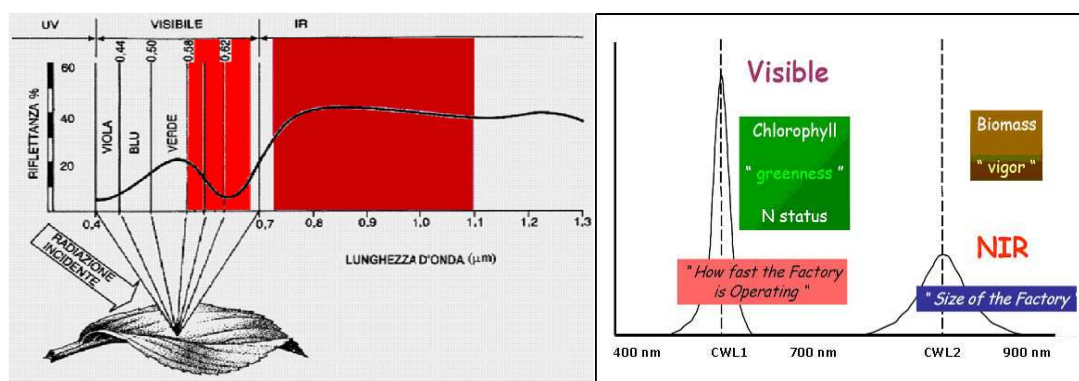
Il **crop circle** è un radiometro multispettrale con filtri interferenziali a banda stretta nelle regioni del visibile e nel vicino infrarosso (NIR). Queste regioni dello spettro sono utili per evidenziare stress di varia natura della vegetazione.

Utilizza fotodio di al silicene o al germanio come trasduttori della luce; le misurazione devono essere eseguite in condizioni di cielo sereno e con la quota di radiazione irradiante non inferiore a 300 watt per metro quadro. La banda NIR (750-900 nm) è particolarmente utile per stimare la severità di stress fogliari.

In campo il radiometro viene tenuto sopra la vegetazione mediante un braccio. Il diametro del campo visivo è pari alla metà della distanza tra il sensore e la parte apicale della vegetazione. Il sistema di acquisizione registra la percentuale di riflessione per ognuna delle lunghezze d'onda selezionate, oltre ai dati di numero di campione, tempo, livello di radiazione incidente e temperatura. Il programma permette anche di mediare campionamenti multipli.

Sfrutta le differenze di emissione, assorbimento e riflessione delle radiazioni elettromagnetiche da parte delle diverse sostanze. Misurando queste quantità di radiazione è possibile ottenere informazione sui materiali stessi.

Lo scopo di utilizzo è l'ottimizzazione della gestione colturale a livello nutrizionale.



**Figura IX .** Schema del funzionamento radiometro multi spettrale

### 5.5 Schema di Campionamento

Anche per quanto riguarda la dislocazione in campo dei siti di misurazione si è cercato di circoscrivere punti ben definiti e ugualmente distanziati l'uno con l'altro, grazie all'aiuto di un GPS, così da ottenere una griglia regolare di punti (Systematic Grid Sampling) e non misurazioni random.

Negli appezzamenti studiati si è considerata un'area di 30x200, all'interno della quale si sono definiti 4 allineamenti longitudinali distanti gli uni dagli altri circa 9m, e dieci file orizzontali distanti circa 25m ciascuna, cosicché si è ottenuta una griglia regolare di 40 punti.

Ogni punto è stato localizzato e memorizzato nel GPS, cosicché tutte le misure sono sempre state effettuate con discreta precisione nei medesimi siti di misurazione.

Per facilitare maggiormente l'individuazione dei punti di misurazione sono stati infissi dei paletti per il riconoscimento visivo e immediato delle 10 file orizzontali e delle 4 entrate longitudinali.

Per il campo coltivato a mais con il metodo biologico si sono effettuate le medesime operazioni.

In ogni punto definito dal GPS, attraverso l'utilizzo dello **crop circle**, si sono effettuate le misurazioni sopra la vegetazione del mais. Pertanto, in ogni uscita ho ricavato 40 misurazioni che moltiplicato per il numero di uscite ho totalizzato:

- Appezzamento condotto con sistema convenzionale: 40 x 4 uscite = **160** misure;
- Appezzamento condotto con il sistema biologico: 40 x 2 uscite = **80** misure.

Quest'ultimo numero di misurazioni è risultato la metà a causa del maltempo (grandina e vento) avvenuto nel mese di luglio il quale ha provocato gravi danni alla vegetazione, quindi non

stato possibile effettuare, come nel convenzionale, almeno 4- 5 uscite fino alla comparsa del pennacchio delle coltura.

## 6 ANALISI STATISTICHE

### 6.1 Indici di vegetazione

Gli indici di vegetazione, derivanti da immagini satellitari o aeree sono un efficace fonte di informazioni per il monitoraggio della copertura vegetale. Questi indici si basano su combinazioni di misure di riflettenza in due o più analisi spettrali e sono altamente correlati con parametri associati allo stato di salute delle piante ed variabili della copertura come indice di area fogliare, frazione di copertura vegetale e la biomassa verde. Gran parte di questi indici sono basati su combinazioni algebriche della riflettenza nell' intervallo spettrale del rosso ( R, 0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ) e nell' infrarosso vicino ( NIR; 0.8-0.9  $\mu\text{m}$  ) dal momento che la vegetazione ha un' interazione molto caratteristica con queste due bande spettrali.

I pigmenti fotosintetici( principalmente la clorofilla a ) assorbono in maniera selettiva la radiazione elettromagnetica incidente, sfruttando soprattutto l' energia nell' intervallo di lunghezza d' onda del visibile; ne risulta una firma spettrale caratterizzata da riflettenza bassa nel blu e nel rosso ed elevata nell' infrarosso vicino a causa della diffusione dell' energia da parte della struttura interna delle foglie. Il contrasto, tra il rosso e l' infrarosso vicino permette di distinguere nettamente la vegetazione da altri elementi nelle immagini, come suolo o acqua, ed è alla base di una grande varietà di indici quantitativi per misurare la condizione di vegetazione da dati tele rilevati.

### 6.2 NDVI

L'Indice di Vegetazione, nella sua formulazione come NDVI (**Normalized Difference Vegetation Index**), sfrutta la diversa risposta della copertura vegetale alle bande spettrali del visibile (rosso) e del vicino infrarosso, e fornisce un valore numerico adimensionale, teoricamente compreso tra -1 e +1. Tale valore è stato dimostrato essere in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare (Leaf Area Index), ed ai processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica). Per ricavare il valore dell' NDVI si utilizza la seguente formula:



$$\text{NDVI} = (b4 - b3) / (b4 + b3)$$

dove **b4** è la riflettanza nel vicino infrarosso ( NIR, near infrared) e **b3** nel rosso

La caratteristica del comportamento dei pigmenti delle foglie non sottoposte a stress è infatti quella di riflettere soltanto circa il 10% della radiazione ricevuta nella regione spettrale della luce visibile (rosso), ed allo stesso tempo di riflettere oltre il 40% di quella ricevuta nell'infrarosso vicino. Nella mappe elaborate, valori bassi di NDVI si verificano in aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre gli alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa. Nella realtà osservata i valori di NDVI variano prevalentemente in un range compreso tra -0.2 e +0.6 sulle terre emerse (con i corpi d'acqua, la neve e le nubi che mostrano valori vicini allo zero o leggermente negativi).

I frequenti passaggi dei satelliti NOAA consentono un monitoraggio giornaliero dello stato della vegetazione su scala regionale o globale, utilizzando le acquisizioni comprese tra le 12 e le 15 ora locale. Lo scopo è quello di limitare l'influenza di alcune "interferenze" radiometriche a noi sgradite sulla scena osservata, quali la presenza dell'atmosfera, di copertura nuvolosa, e le diverse condizioni d'illuminazione. Viene applicata una tecnica (detta MVC - Maximum Value Composite) che seleziona i massimi valori dell'indice per ogni pixel in un set di acquisizioni su un periodo di dieci giorni; tale tecnica viene di seguito applicata su scala mensile, per arrivare ai risultati mostrati in questa sezione.

Con il monitoraggio delle mappe di NDVI vengono tenuti sotto costante osservazione fenomeni su scala continentale, quale quello dell'avanzamento della desertificazione in Africa, da parte della Nazioni Unite e della F.A.O.; è in grande crescita inoltre, in ogni parte del mondo, l'utilizzo di questo strumento da parte degli enti per la programmazione e l'assistenza tecnica in campo agricolo su scala nazionale e regionale, con particolare riferimento alla valutazione dell'impatto sulle produzioni agricole a seguito di particolari eventi ambientali (siccità, inondazioni, infestazioni etc.).

*NOTA: e' importante precisare che l'utilizzo dell'Indice di Vegetazione per il monitoraggio delle condizioni della copertura vegetale ha una valenza assolutamente "qualitativa", e non consente, allo stato attuale delle conoscenze (ma molte ricerche vengono oggi dirette in questo senso), una valutazione "quantitativa" di tale stato. In particolare il confronto a fini agrometeorologici tra le diverse mappe dell'indice nei diversi periodi dell'anno, richiede un'analisi approfondita delle differenze nella tipologia di vegetazione e di suolo presenti, al fine di differenziare localmente i diversi stadi fenologici dall'influenza dei differenti tipi di suolo. A questo riguardo e' opportuno evidenziare che la scala dei colori scelta per rappresentare i*

*diversi valori dell'indice e' puramente arbitraria e non ha nessun riferimento all'apparenza reale della vegetazione.*

### 6.3 Coefficiente di correlazione

Il **coefficiente di correlazione (lineare) di Pearson** (detto anche **di Bravais-Pearson**) tra due variabili aleatorie o due variabili statistiche X e Y è definito come la loro covarianza divisa per il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dove:

$\sigma_{xy}$  è la **covarianza** : un indice che misura la "*contemporaneità*" della variazione (in termini lineari) di due variabili casuali. Essa può assumere sia valori positivi che negativi. Nel caso di valori positivi indica che al crescere di una caratteristica statisticamente cresce anche l'altra, nel caso di valori negativi accade il contrario. Nella statistica inferenziale, quando due variabili sono tra di loro indipendenti, allora la loro covarianza è nulla (l'inverso non è necessariamente verificato).

$\sigma_x, \sigma_y$  sono le due **deviazioni standard** : La deviazione standard (in inglese: *standard deviation*) o **scarto tipo** o **scarto quadratico medio** è un indice di dispersione (vale a dire una misura di variabilità di una popolazione o di una variabile casuale) derivato direttamente dalla varianza, ha la stessa unità di misura dei valori osservati (mentre la varianza ha come unità di misura il quadrato dell'unità di misura dei valori di riferimento). La deviazione standard misura la dispersione dei dati intorno al valore atteso. Il Coefficiente di correlazione assume valori compresi tra **-1** e **+1**.

A seconda del valore del coefficiente di correlazione abbiamo le seguenti casi:

$\rho_{xy} > 0$  , le variabili x e y si dicono *direttamente correlate*, oppure *correlate positivamente*;  
 $\rho_{xy} = 0$  , le variabili x e y si dicono *incorrelate* o non correlate sufficientemente;  
 $\rho_{xy} < 0$  , le variabili x e y si dicono *inversamente correlate*, oppure *correlate negativamente*.

#### 6.4 Spazializzazione Radial Basic Function

L' interpolazione "*Radial Basic Function*" consiste in un gruppo di svariati metodi di interpolazione di dati.

Il metodo *Mutiquadratic* è considerato da molti il migliore in termini di capacità di riproduzione fedele dei dati e creazione di mappe/ superfici uniformi. Tutti i metodi *Radial Basic Function* sono perfetti interpolatori, così che i dati sulla mappa corrispondono fedelmente a quelli reali.

Si può inserire un qualunque fattore di uniformità in tutti i metodi nel tentativo di produrre una mappa/ superficie omogenea.

La formula utilizzata in tale metodo è la seguente:

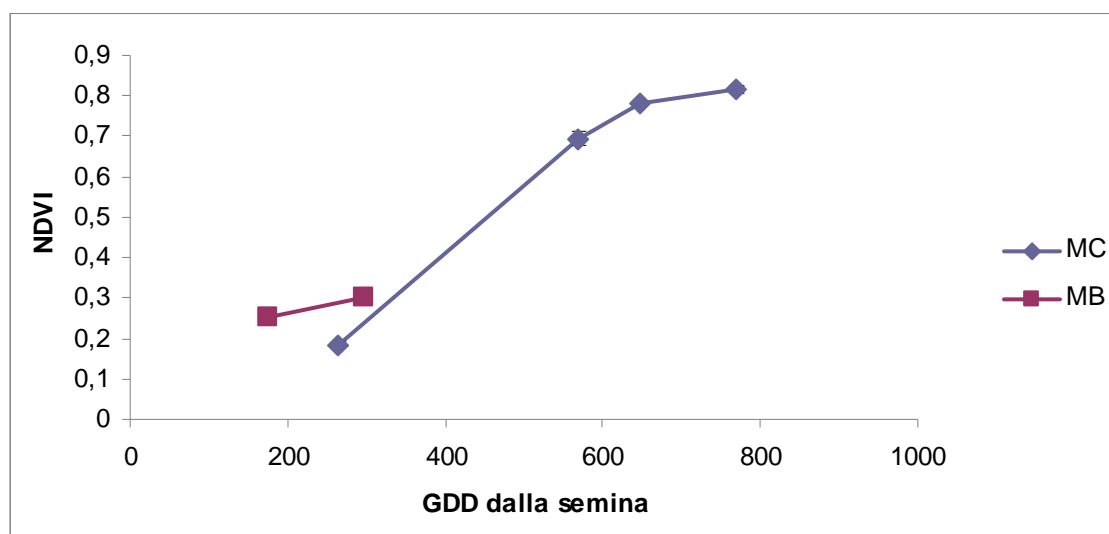
$$B(h) = \sqrt{h^2 + R^2}$$

dove  $h$  è la distanza relativa dal punto al nodo, in una scala anisotropa e  $R^2$  è il fattore specificato dall' utente.

Il margine di errore di  $R^2$  nell' algoritmo della griglia di Radial Basis Function è calcolato secondo la seguente formula: (lunghezza della diagonale dell' estensione dei dati) / 25 \* numero dei dati.

## 7 RISULTATI:

### 7.1 Evoluzione dell' NDVI nel tempo



**Figura X** : Evoluzione NDVI nel tempo in MC e MB

Prima di analizzare i risultati ottenuti è opportuno ricordare che nella prima decade di luglio si è registrata una forte grandinata che ha colpito il Podere Biologico. In quell'occasione il mais ha riportato danni estremamente importanti, con un defogliamento quasi totale e la stroncatura di molte piante. I rilievi effettuati nell'appezzamento biologico si riferiscono quindi al solo periodo precedente alla grandinata.

### 7.2 Appezzamento Convenzionale

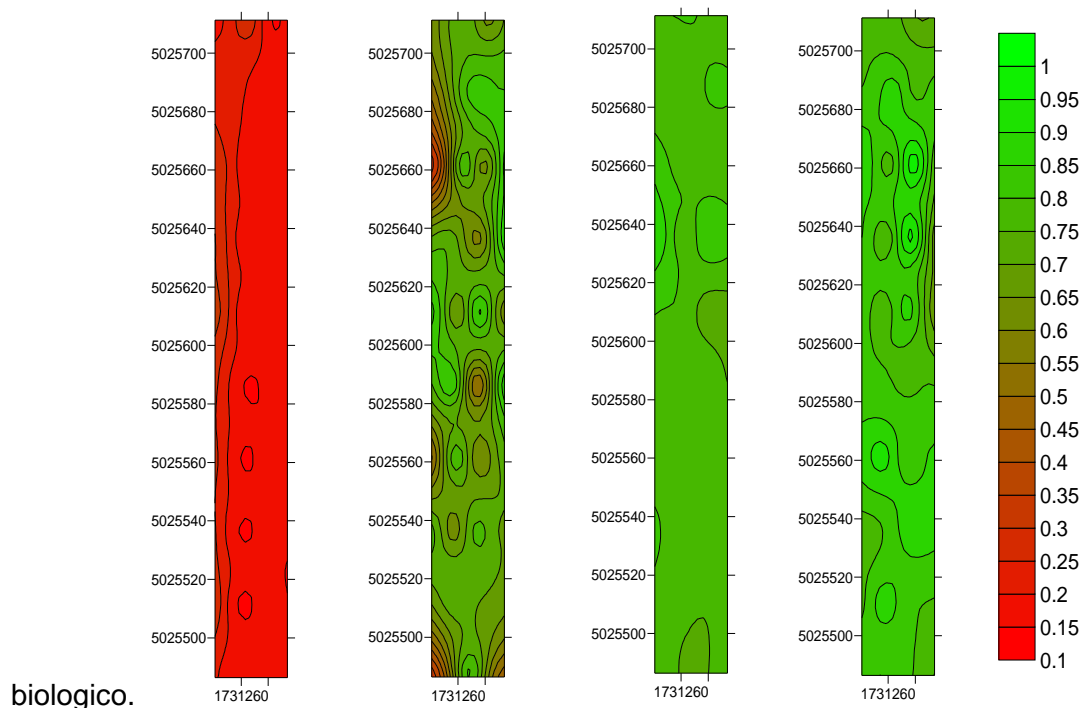
Come si può osservare in Fig. x l'andamento dell' NDVI del mais ha un incremento spiccato durante le prime fasi fenologiche (dal 15/05/2008 fino al rilievo del 11/06/2008). Nel andare avanti con le fasi questo incremento tende a diminuire fino ad annullarsi durante la comparsa dell' infiorescenza maschile (circa 800 GDD), seguendo l'andamento atteso per questa coltura.

### 7.3 Appezzamento Biologico

Al primo rilievo il mais biologico presentava valori di NDVI in linea con quelli del mais convenzionale. Questo è probabilmente da ascrivere all'effetto della letamazione autunnale, che ha fornito un effetto residuo importante nelle prime fasi

del ciclo. La violenta grandinata, che ha praticamente distrutto la coltura, non ha permesso di valutare appieno l'evoluzione dell'indice di vegetazione nel tempo; è comunque da notare al secondo rilievo l'NDVI, pur essendo ancora leggermente superiore a quello del convenzionale, ha mostrato un incremento più limitato. Anche se non si possono trarre delle conclusioni precise, non avendo a disposizione i rilievi nel resto del ciclo, questa apparente differenza nel tasso di incremento dell'NDVI potrebbe derivare da una parte dall'effetto delle concimazioni in copertura sul mais convenzionale e dall'altra da un insufficiente rifornimento di nutrienti nella coltura biologica in una fase di forte assorbimento da parte della coltura.

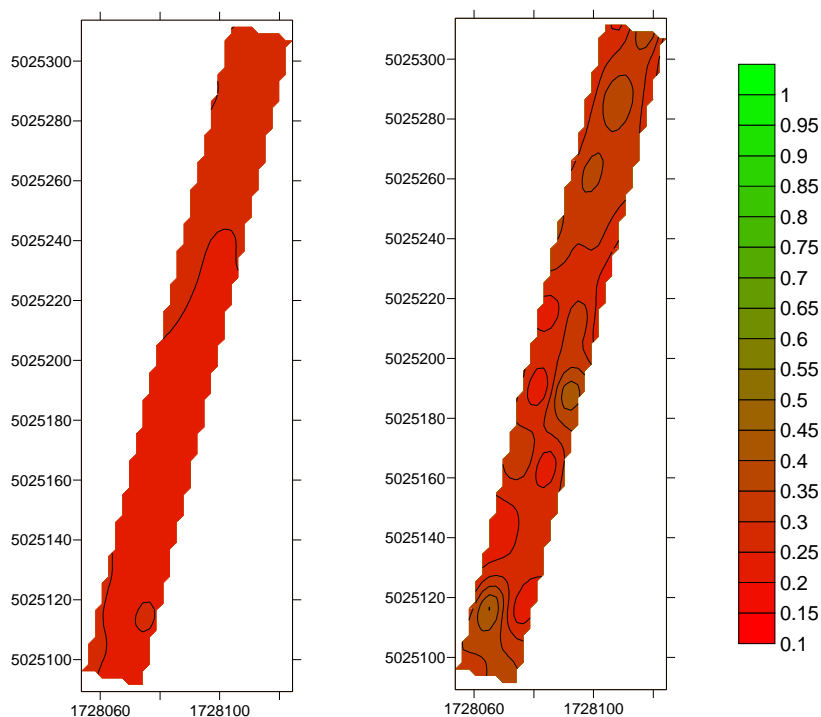
I dati sono stati spazializzati i valori di NDVI, mediante la Radial Basic Function, ottenendo delle mappe in grado di fornire utili indicazioni sullo stato di stress della coltura e su come esso si è evoluto nel tempo. Confrontandole tra loro si possono determinare differenze e similitudini intercorrenti tra l'NDVI nelle due diverse colture di mais, una condotta secondo il metodo convenzionale, l'altra secondo il metodo



**Figura XI:** Spazializzazione dell'NDVI nel mais convenzionale ( *Date da sinistra vs destra : 15/05 - 11/06 - 19/06 - 26/06/2008*)

Le mappe (Fig. XI) confermano l'andamento medio discusso in precedenza, con un netto incremento dell'NDVI tra il primo rilievo ed i seguenti. Nella seconda data è comunque evidente una certa non uniformità spaziale, che appare invece molto ridotta nel terzo rilievo, effettuato subito dopo la seconda concimazione azotata in

copertura. Nella fase immediatamente precedente alla fioritura riappare una variabilità dei valori di NDVI, con aree con valori più elevati a circa un terzo e a due terzi dell'appezzamento. La coltura, fatta esclusione del primo rilievo, presenta comunque dei valori di NDVI adeguati, segno di una situazione di sostanziale assenza di stress.



**Figura XII** : Spazializzazione dell'NDVI nel mais biologico ( mappa sx del 19/06/2008 e mappa dx del 26/06/2008)

Nell'appezzamento biologico (Fig. XII) la coltura si presentava piuttosto uniforme al primo rilievo. Nella seconda data, invece, appare una struttura spaziale con valori relativamente più elevati alle testate dell'appezzamento e in una ristretta area centrale, segno della comparsa di differenze nello stato fisiologico della coltura in relazione alle caratteristiche dell'appezzamento.

## 7.4 Correlazione tra i diversi fattori del terreno convenzionale e NDVI

Data GDD	15/05/2008 262,8	11/06/2008 567,8	19/06/2008 647,3	26/06/2008 770	Gran t/ha	TKN (%)	pH	EC 1:2,5 (mS/cm)	C organico g/kg	S.O g/kg	P assimilabile (mg/kg)	sabbia ISSS	limo ISSS	argilla ISSS	sabbia USDA	limo USDA	argilla USDA
262,8	1,00																
567,8	-0,10	1,00															
647,3	0,37	-0,05	1,00														
770	-0,11	-0,08	0,02	1,00													
Gran t/ha	0,17	-0,24	0,20	0,18	1,00												
TKN (%)	0,22	-0,07	0,16	-0,08	0,25	1,00											
pH	-0,42	0,23	-0,07	0,18	-0,12	-0,27	1,00										
EC 1:2,5 (mS/cm)	0,36	-0,12	0,08	-0,04	0,21	0,53	-0,47	1,00									
C organico g/kg	0,28	-0,08	0,21	-0,16	0,23	0,95	-0,33	0,62	1,00								
S.O g/kg	0,28	-0,08	0,21	-0,16	0,23	0,95	-0,33	0,62	1,00	1,00							
P assimilabile (mg/kg)	0,27	-0,19	0,05	-0,03	0,30	0,36	0,16	0,33	0,35	0,35	1,00						
sabbia ISSS	-0,35	0,16	-0,08	-0,06	-0,40	-0,63	0,25	-0,36	-0,51	-0,51	-0,35	1,00					
limo ISSS	0,44	-0,10	0,09	0,04	0,27	0,58	-0,28	0,34	0,49	0,49	0,32	-0,92	1,00				
argilla ISSS	-0,05	-0,21	0,03	0,06	0,43	0,36	-0,02	0,20	0,25	0,25	0,21	-0,56	0,19	1,00			
sabbia USDA	-0,33	0,16	-0,10	-0,14	-0,42	-0,48	0,08	-0,28	-0,37	-0,37	-0,42	0,95	-0,89	-0,50	1,00		
limo USDA	0,40	-0,09	0,10	0,14	0,30	0,41	-0,08	0,24	0,32	0,32	0,40	-0,86	0,94	0,17	-0,94	1,00	
argilla USDA	-0,05	-0,21	0,03	0,06	0,43	0,36	-0,02	0,20	0,25	0,25	0,21	-0,56	0,19	1,00	-0,50	0,17	1,00

Tabella 1 correlazioni dei fattori dell' appezzamento convenzionale (in blu valori significativi a  $p < 0.05$ ; in rosso a  $p < 0.01$ )

La tabella 1 mostra tutte le correlazioni che esistono fra tutti i valori analizzati delle caratteristiche del terreno nei punti di prelievo e i valori presi in campo con l' utilizzo del crop circle.

Al primo rilievo i valori dell'NDVI sono risultati correlati con il pH, la conducibilità elettrica e la tessitura (componente limosa). In questa fase la coltura sembra quindi rispondere alla disponibilità di elementi nutritivi del terreno, espressa dalla EC e mediata dalle variazioni di pH. Nei rilievi successivi prevale l'effetto omogeneizzante delle concimazioni in copertura, che mascherano l'effetto delle variabili chimico-fisiche del terreno.

Va comunque notato che la ricchezza in nutrienti del suolo (in particolare C organico e P assimilabile) dipende dalla tessitura, essendo correlata positivamente con il tenore in limo e negativamente con la sabbia.

Anche la resa finale evidenzia una correlazione con la tessitura, essendo inferiore nelle aree più sabbiose e maggiore in presenza di terreno con una più elevata frazione di argilla.



## 7.5 Correlazione tra i diversi fattori del terreno biologico e NDVI

	19/06/2008 173,9	26/06/2008 296,6	TKN (%)	pH	EC 1:2,5 (mS/cm)	C organico g/kg	P assimila bile (mg/kg)	sabbia ISSS	limo ISSS	argilla ISSS	sabbi a USDA	limo USDA	argilla USDA
173,9	1												
296,6	0,060	1,000											
TKN (%)	-0,114	0,216	1,000										
pH	0,152	-0,176	-0,378	1,000									
EC 1:2,5 (mS/cm)	0,113	0,080	0,307	-0,113	1,000								
P assimilabile (mg/kg)	-0,029	0,252	0,736	-0,416	0,462	0,697	1,000						
sabbia ISSS	0,242	-0,170	-0,451	-0,074	0,111	-0,486	-0,020	1					
limo ISSS	-0,024	0,310	0,481	-0,079	-0,036	0,552	0,108	-0,830	1				
argilla ISSS	-0,397	-0,102	0,173	0,233	-0,150	0,143	-0,105	-0,690	0,170	1			
sabbia USDA	0,142	0,019	-0,151	-0,213	0,171	-0,142	0,198	0,804	-0,677	-0,543	1		
limo USDA	0,121	0,051	0,053	0,083	-0,093	0,065	-0,158	-0,451	0,679	-0,085	-0,791	1	
argilla USDA	-0,397	-0,102	0,173	0,233	-0,150	0,143	-0,105	-0,690	0,170	1	-0,543	-0,085	1

Tabella 2 Valori di correlazioni tra NDVI e caratteristiche fisiche dell' appezzamento biologico (in blu valori significativi a  $p < 0.05$ ; in rosso a  $p < 0.01$ )

Con la stessa modalità dell' appezzamento convenzionale , anche a quello biologico è stato calcolato il coefficiente di correlazione che esiste tra i valori NDVI e le caratteristiche del suolo nei punti di prelievo delle misurazioni (Tab. 2.)

Al primo rilievo l'NDVI è risultato negativamente correlato con l'argilla; questo è probabilmente dovuto a parziali fenomeni di ristagno e/o eccesso idrico nelle aree con minore permeabilità. Tra i parametri chimici è da segnalare la prevedibile correlazione tra C organico e tessitura, con valori di 'r' negativi in relazione al tenore di sabbia e positivi in relazione al limo.

## 8 CONCLUSIONI

I valori di NDVI hanno evidenziato una correlazione con alcuni parametri chimico-fisici del suolo alla prima data di rilievo in ambedue le colture. Nel biologico, la grandinata registrata nella fase di levata della coltura non ha permesso di valutare appieno la dinamica di questo parametro. Nel convenzionale, invece, pur osservando un incremento progressivo dell'NDVI nel corso del ciclo, indice di uno sviluppo regolare della coltura, si perdono le correlazioni con le caratteristiche del terreno. Ciò è legato all'effetto delle concimazioni in copertura che determinano la disponibilità di nutrienti in misura maggiore rispetto alle variabili chimico-fisiche del terreno.

Da questo punto di vista, quindi, il rilievo dell'NDVI in fasi precoci pare fornire informazioni rilevanti sullo stato iniziale della coltura e potrebbe essere utilizzato per la calibrazione degli interventi agronomici successivi.

E' però da notare che non si sono rilevate correlazioni significative con la resa finale; l'NDVI, in effetti, è un indicatore generale dello stato di stress della coltura e non risente solo della disponibilità di nutrienti ma anche di altri fattori come stress biotici e idrici. Le pratiche colturali hanno permesso di raggiungere target produttivi abbastanza elevati (in media 11.5 t/ha di s.s. di granella), segno che gli effetti di eventuali stress non nutrizionali sono stati comunque ridotti o compensati dagli interventi colturali.

L'NDVI è inoltre risultato correlato con i parametri chimico-fisici del suolo; ciò sottolinea l'interesse di questa misura per la produzione di mappe da sovrapporre

con altre informazioni (mappe di resa degli anni precedenti, della conducibilità elettrica, eventuali mappe della tessitura e/o di parametri chimici del suolo) utilizzabili nell'ambito dell'agricoltura di precisione per una gestione ragionata degli interventi agronomici.

Come già ricordato, i rilievi nella coltura biologica sono stati interrotti dalle avverse condizioni meteorologiche e saranno quindi necessari ulteriori studi per valutare la dinamica degli indici di vegetazione in questo tipo di coltivazione. I dati ottenuti suggeriscono comunque una tendenza ad un minor tasso di incremento dell'NDVI rispetto alla coltura convenzionale. Se questa osservazione verrà confermata, si può ipotizzare che il problema principale per il raggiungimento di adeguati target produttivi sia il rifornimento di nutrienti in fase di levata, periodo nel quale a fronte di un tasso di assorbimento molto elevato, la disponibilità di nutrienti dipende sostanzialmente dal tasso di mineralizzazione degli apporti organici alla coltura.

## 9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

### **BIBLIOGRAFIA**

- Giardini L. – **Agronomia generale ambientale e aziendale**. Pàtron Editore 2004;
- Bruno Biavati & Claudia Sorlini. – **Microbiologia generale e agraria**. Casa editrice Ambrosiana 2007 ( riguarda il ciclo dell' azoto);
- Magaldi D. Ferrari G. - **Conoscere il suolo. Introduzione alla pedologia**. ETAS Libri. 1984;
- Rizzitano G., Alquanti G. - **Chimica agraria** Edagricole 2005;
- Vari autori. – **Il mais**. Bayer Crop Science.2009;

### **SITOGRAFIA:**

- Agenda 2000, in [http://ec.europa.eu/agenda2000/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/agenda2000/index_en.htm)
- Agricoltura biologica in [http://ec.europa.eu/agriculture/organic/home\\_en](http://ec.europa.eu/agriculture/organic/home_en)
- Direttiva nitrati in <http://www.regione.veneto.it/Economia/agricoltura+e+Foreste/Agricoltura/nitrati.htm>
- Analisi statistiche:  
NDVI in <http://www.sar.sardegna.it/servizi/sit/vegetazione.asp>
- Indice di correlazione in [http://it.wikipedia.org/wiki/Indice\\_di\\_correlazione\\_di\\_Pearson](http://it.wikipedia.org/wiki/Indice_di_correlazione_di_Pearson)
- Legge Merli, Regolamento CEE 2092/91, Regolamento CEE 2078/92, Regolamento 2080/92, in <http://www.infoleges.it/>