



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ANIMALI, ALIMENTI, RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

Il ruolo dei biostimolanti nella mitigazione  
dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla crescita  
delle piante agrarie

Relatore:  
Prof. Giancarlo Renella

Laureando:  
Alessio Bosco  
Matricola n. 2000011

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

## Indice

|  |    |
|--|----|
| Abstract.....  | 3  |
| Abstract (English).....  | 4  |
| 1 Introduzione.....  | 5  |
| 1.1 Contesto e problematica.....                                   | 5  |
| 1.2 Definizione e origini storiche.....                            | 7  |
| 1.3 Mercato attuale e proiezioni future.....                       | 9  |
| 2 Biostimolanti in agricoltura.....                                | 10 |
| 2.1 Inquadramento normativo italiano ed europeo.....               | 10 |
| 2.2 Categorie di biostimolanti.....                                | 11 |
| 2.2.1 Acidi umici e acidi fulvici.....                             | 11 |
| 2.2.2 Idrolizzati proteici ed altri composti contenenti azoto..... | 12 |
| 2.2.3 Estratti di alghe e vegetali.....                            | 13 |
| 2.2.4 Chitosani e altri biopolimeri.....                           | 13 |
| 2.2.5 Funghi e batteri benefici.....                               | 13 |
| 2.3 Biostimolanti e stress abiotici.....                           | 14 |
| 2.4 Stress termici.....  | 15 |
| 2.5 Stress idrici.....   | 20 |
| 2.6 Stress salini.....   | 22 |
| 3 Esempi di applicazioni.....                                      | 24 |
| 3.1 Mais.....  | 24 |
| 3.2 Soia.....  | 27 |
| 4 Conclusioni.....   | 30 |
| Bibliografia.....  | 31 |

## **Abstract**

Gli effetti dei cambiamenti climatici sono ormai una realtà che si sta manifestando con aumenti costanti delle temperature medie, irregolarità e riduzioni dei regimi pluviometrici. Questi cambiamenti determinano un impatto sulla quantità e la qualità delle produzioni vegetali e in general sull'intero settore agricolo, molto sensibile alle condizioni climatiche e meteorologiche che causano stress abiotici alle piante.

Tra le diverse tecnologiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, i biostimolanti vegetali possono attenuare gli effetti dei cambiamenti climatici e ridurre l'impatto degli stress abiotici sulle colture agrarie.

Dopo aver definito i prodotti biostimolanti, descritto le origini storiche del loro utilizzo, una prospettiva di mercato futuro e la legislazione che regola l'immissione in commercio di questi prodotti, nel presente elaborato ho analizzato le principali categorie di biostimolanti. In particolare, ho approfondito le proprietà chimiche e gli effetti fisiologici sulle principali specie di interesse agrario di acidi umici e acidi fulvici, idrolizzati proteici, estratti di alghe e vegetali, chitosani e altri biopolimeri ed infine batteri e funghi benèfici. Circa gli stress abiotici, ho approfondito lo stress termico sia da basse che da alte temperature, lo stress idrico dovuto a carenza idrica nel suolo, e lo stress salino generato dall'accumulo di sali nel suolo. Successivamente, ho riportato esempi del legame tra diversi stress abiotici che possono colpire una coltura e i principali meccanismi attraverso i quali i biostimolanti attenuano i danni biologici.

La mia ricerca bibliografica si è concentrata su alcuni esempi sperimentali riguardanti l'applicazione di prodotti ad azione biostimolante a colture estensive di interesse per il nostro territorio come mais e soia e i risultati hanno evidenziato un miglioramento generale delle condizioni colturali tanto da generare un aumento della produzione finale. In conclusione, i risultati del mio studio bibliografico dimostrano che per ognuno dei principali stress abiotici, diverse categorie di biostimolanti consentono di mitigarne gli effetti.

## **Abstract (English)**

Effects of climate change are now a reality that is manifesting with increases in average temperatures, irregularities and reductions in rainfall systems. These changes have an impact on the quantity and quality of plant production, and in general on the entire agricultural sector, which is very sensitive to the climatic and meteorological conditions that cause abiotic stress to plants.

Among the climate change mitigation and adaptation technologies, plant biostimulants can mitigate the effects of climate change, and reduce the impact of abiotic stresses on agricultural crops.

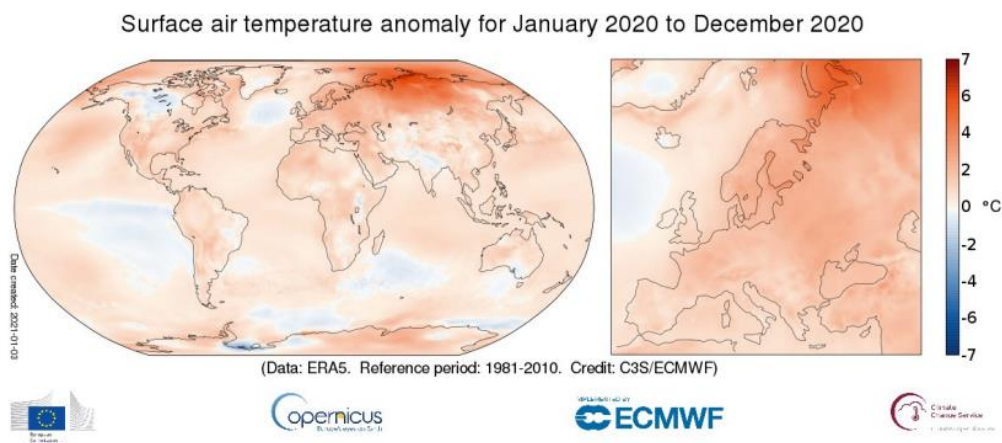
Having defined the biostimulants, described the historical origins of their use, a future market perspective and the legislation regulating the placing on the market of these products, in this dissertation I have analysed main categories of biostimulants. In particular, I delved into the chemical properties and physiological effects on the main species of agricultural interest of humic and fulvic acids, protein hydrolysates, algal and plant extracts, chitosans and other biopolymers, and finally beneficial bacteria and fungi. About abiotic stresses, I have analysed the thermal stress from both low and high temperatures, the water stress from water shortage in the soil, and the saline stress generated by salt accumulation in the soil. Afterward, I have reported examples on the link between different abiotic stresses that can affect a crop and some main mechanisms by which biostimulants mitigate biological damage.

My bibliographical research has focused on some experimentals concerning the application of biostimulant products to extensive crops of interest to our territory such as maize and soybeans and the results have shown an overall improvement in the cultivation conditions, so as to increase the final production. In conclusion, results of my bibliographic study show that for each of the major abiotic stresses, different categories of biostimulants mitigate their effects.

# 1 Introduzione

## 1.1 Contesto e problematica

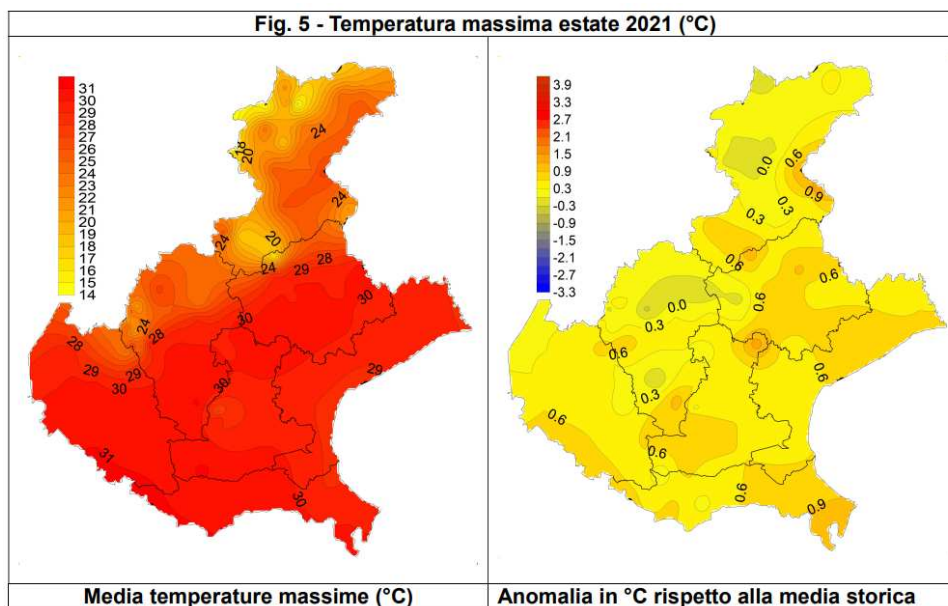
L'epoca in cui stiamo vivendo è contrassegnata sempre più da problematiche che dobbiamo affrontare e non sottovalutare. I cambiamenti climatici legati all'attività antropica sono caratterizzati da intensità senza precedenti, producendo forti impatti in moltissimi settori. In Fig. 1 è rappresentato l'aumento delle temperature medie globali nell'anno 2020 rispetto alla media e si può notare come sia maggiormente localizzato nell'emisfero boreale ed in particolare nella zona Europea.



**Figura 1:** Anomalia di temperatura media dell'anno 2020 rispetto alla media del periodo 1981-2010 del pianeta e focus principale all'Europa. (Copernicus Climate Change Service/ECMWF).

Analizzando la situazione per la Regione del Veneto, sono stati riscontrati aumenti medi delle temperature soprattutto nella stagione estiva, come rappresentato in Fig. 2, dove si nota che nell'estate del 2021 la media delle temperature massime si è attestata sopra la media in quasi tutto il Veneto.

**Figura 2:** l’anomalia di temperatura media massima nell’estate del 2021 in Veneto Dati ARPAV, annata agraria 2021



Questo aumento generalizzato delle temperature è, inoltre, accompagnato da una riduzione netta della piovosità. In Fig. 3 è riportata una tabella che rappresenta la piovosità media misurata in Veneto nel 2022 e confrontata con dei valori storici, dalla quale si può notare un calo del 32% della piovosità a livello regionale, con una rifusione generalizzata per tutti i mesi.

| precipitazione media in Veneto | gen-2022 | feb-2022 | mar-2022 | apr-2022 | mag-2022 | giu-2022 | lug-2022 | ago-2022 | set-2022 | ott-2022 | nov-2022 | dic-2022 | Cumulata gen-dic 2022 | ultimo quadrimestre | ultimo trimestre | ultimo bimestre |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| mese (mm)                      | 28       | 29       | 13       | 64       | 64       | 51       | 54       | 121      | 103      | 19       | 108      | 109      | 761                   | 339                 | 236              | 217             |
| media storica (mm)             | 59       | 61       | 67       | 94       | 117      | 97       | 90       | 101      | 107      | 111      | 136      | 81       | 1120                  | 434                 | 328              | 217             |
| scarto (%)                     | -53%     | -52%     | -81%     | -33%     | -46%     | -48%     | -41%     | 20%      | -3%      | -83%     | -21%     | 35%      | -32%                  | -22%                | -28%             | 0%              |
| scarto (mm)                    | -31      | -32      | -54      | -31      | -53      | -46      | -37      | 20       | -3       | -92      | -29      | 28       | -359                  | -96                 | -92              | 0               |

**Figura 3:** precipitazioni mensili e cumulate anno 2022 in Veneto e confronto con media storica (1994-2022). Dati ARPAV, bollettino risorsa idrica 31 dicembre 2022.

L’attività agricola dipende strettamente dai livelli di temperatura, piovosità, disponibilità idrica, cicli termici delle colture e quindi risente in modo diretto degli effetti dei cambiamenti climatici. Si stima che gli stress abiotici comportano a livello mondiale perdite della produttività agricola fino al 50% e l’ultimo rapporto FAO [1]

stima che in seguito i cambiamenti climatici potrebbero portare ad una perdita di terreni coltivabili pari al 30% nei prossimi 25 anni. A queste macrotendenze ambientali fa da contraltare l'incremento della popolazione mondiale dagli attuali 8 a 10 miliardi entro il 2050, che dovrà necessariamente essere accompagnata da un incremento di almeno il 60% della produzione agricola mondiale. A questi scenari produttivi e demografici occorre inevitabilmente associare le tensioni sui mercati causate dagli eventi geopolitici avversi quali quelli della post-pandemia da SARS-COVID 19 e del conflitto Russo-Ucraino che hanno esacerbato problemi di approvvigionamento di materie prime e mezzi tecnici necessari alle produzioni primarie.

Questo scenario molto preoccupante indica che le rese unitarie della produzione agricola dovranno aumentare per poter soddisfare le esigenze nutrizionali di una popolazione in sensibile aumento, tenendo anche conto della minor superficie coltivabile a disposizione e della maggiore difficoltà di coltivazione in molte zone. Tutto ciò dovrà realizzarsi con un incremento della sostenibilità ambientale economica e sociale basata sull'utilizzo sempre più ridotto e razionale di prodotti fitosanitari, fertilizzanti di sintesi ed energia derivante da fonti non rinnovabili, come voluto dai recenti programmi della Commissione Europea quali ad esempio Green Deal, Circular Economy, Zero Pollution, Community Agricultural Practice (CAP).

Oltre alle tradizionali tecniche miglioramento genetico, dei nuovi mezzi tecnici e delle tecniche agronomiche, anche i biostimolanti si candidano a svolgere un ruolo importante in questo contesto.

## 1.2 Definizione e origini storiche

Dalle mie ricerche il termine 'biostimolante' sia stato creato in ambito orticolo per indicare le sostanze che promuovevano la crescita delle piante senza essere nutrienti, miglioratori del terreno o pesticidi. Nel 1997 poi Zhang e Schmidt definirono

biostimolanti i “materiali che in minime quantità promuovevano la crescita della pianta”. Successivamente per alcuni anni i biostimolanti hanno assunto nomi diversi come “miglioratori metabolici” o “prodotti contenenti ormoni” fino a quando Kauffman et al. (2007) ne fornirono una definizione scientifica compiuta come “materiali, diversi dai fertilizzanti, che promuovono la crescita della pianta quando sono applicati in basse quantità”. Da allora, il termine biostimolanti è stato sempre maggiormente utilizzata in ambito scientifico, con molte ricerche a riguardo che hanno aumentato il range delle sostanze e i loro modi d’azione [1]

Più recentemente, precisamente nel giugno 2011, a livello europeo si è costituito un consorzio fra le maggiori industrie produttrici di biostimolanti per vegetali chiamato EBIC (*European Biostimulant Industry Council*) con l’obiettivo di creare un vero mercato europeo per i biostimolanti ad uso agronomico, favorire la domanda di biostimolanti per le colture e assicurare un quadro normativo che garantisca sicurezza, efficacia e redditività del prodotto [3]. Da allora, in Europa la definizione di biostimolante delle piante è stata discussa e revisionata fino ad arrivare alla versione attuale presente nel Regolamento europeo sui prodotti fertilizzanti (Reg. UE 2019/1009) che definisce un biostimolante delle piante “un prodotto fertilizzante dell’UE con la funzione di stimolare i processi nutrizionali delle piante indipendentemente dal tenore di nutrienti del prodotto, con l’unico obiettivo di migliorare una o più delle seguenti caratteristiche delle piante o della rizosfera della pianta: a) efficienza dell’uso dei nutrienti; b) tolleranza allo stress abiotico; c) caratteristiche qualitative; d) disponibilità di nutrienti contenuti nel suolo o nella rizosfera” [4]. Questa definizione ha quindi finalmente permesso di riconoscere una categoria di prodotti innovativi sempre più diffusi e impiegati e di ben differenziare i biostimolanti dai prodotti fertilizzanti, dai fitofarmaci o dagli agenti di controllo.

Attualmente, i biostimolanti sono considerati sostanze utili per favorire la produttività delle colture e mitigare gli impatti delle diverse criticità ambientali citate in



precedenza quali la minor disponibilità d'acqua per l'agricoltura e la coltivazione in condizioni elevata salinità. Sono inoltre utili strumenti per migliorare l'efficienza d'uso dei nutrienti permettendo agli agricoltori di ridurre gli input iniziali, possono inoltre migliorare gli aspetti qualitativi del raccolto e spesso stimolano una maggiore crescita della pianta che comporta anche una maggiore resa e redditività per il produttore. [2] Per queste ragioni si collocano perfettamente in un'ottica di agricoltura sempre più sostenibile.

### 1.3 Mercato attuale e proiezioni future

Il mercato dei prodotti biostimolanti per le piante sta subendo una continua crescita negli anni testimoniata dall'aumento del fatturato che ha raggiunto i 2 miliardi di dollari nel 2017 e i 3 miliardi nel 2021 [2]. Le previsioni stimano che, visto il trend di crescita del 10% annuo, si possa portare il mercato dei biostimolanti a raggiungere i 5 miliardi di dollari entro il 2025. Il mercato europeo è il più importante e corrisponde a il 50% del mercato mondiale, con un giro d'affari che attualmente si attesta sui 1.5-2 miliardi ([www.biostimulants.eu](http://www.biostimulants.eu)).

Importanti sono anche gli investimenti in ricerca e sviluppo in questo settore; infatti negli ultimi 5 anni c'è stato un aumento esponenziale delle pubblicazioni scientifiche che ricalca l'andamento del fatturato del settore. Gli obiettivi della ricerca attuale è comprendere sempre meglio come agiscono queste sostanze, quali vie metaboliche vanno a modificare e come modificano l'espressione genica per poter farne un utilizzo sempre più consapevole e preciso.

## 2 Biostimolanti in agricoltura

### 2.1 Inquadramento normativo italiano ed europeo

I biostimolanti, come tutti i prodotti utilizzati in agricoltura, devono essere esplicitamente ammessi dalla normativa di riferimento che è il Decreto Legislativo n° 75 del 29 aprile 2010 “Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti”, che suddivide i prodotti in sei categorie. Per il D.Lgs 75/2010 i biostimolanti rientrano nella categoria dei “prodotti ad azione specifica” e definiti come “prodotti che apportano ad un altro fertilizzante o al suolo, o alla pianta, sostanze che favoriscono o regolano l’assorbimento degli elementi nutritivi o correggono determinate anomalie di tipo fisiologico”. In particolare, nella categoria dei “prodotti ad azione specifica” rientrano:

- “prodotti ad azione sui fertilizzanti” in cui vi sono gli inibitori, i ricoprenti, i coformulanti e gli attivatori;
- “prodotti ad azione su suolo”
- “prodotti ad azione su pianta” in cui rientrano i “biostimolanti” in senso stretto.

Le proprietà biostimolanti, pertanto, sono dichiarabili solo per i prodotti elencati in quest’ultima sezione che devono rientrare in una delle dieci “Denominazioni del tipo” che sono riportate nel D.Leg. 75/2010 in forma tabellare. Per tali prodotti è, inoltre, obbligatorio scrivere in etichetta dosi d’impiego e modalità d’uso. L’attività biostimolante non deve derivare dall’addizione di sostanze ad azione fitormonale e al prodotto e non è consentito dichiarare proprietà biostimolanti alle miscele dei prodotti di questa sezione con altri fertilizzanti. [4]

Il nuovo Regolamento UE 2019/1009 entrato in vigore il 15 luglio 2019 con un impianto normativo non più basato sulle denominazioni del tipo ma sul rispetto delle prescrizioni in termini di qualità, sicurezza ed etichettatura affinché il prodotto risulti conforme e possa fregiarsi della marcatura “CE” e godere della libera produzione e

circolazione nei paesi dell'Unione Europea. Dal punto di vista della sicurezza, è bene sottolineare che per i biostimolanti, così come per qualsiasi tipologia di fertilizzante ammessa nel D.Lgs 75/2010, deve essere soddisfatta la clausola di salvaguardia (enunciata nell'articolo 5) per cui i prodotti immessi sul mercato non devono rappresentare alcun rischio di sicurezza per l'ambiente e la salute delle persone, degli animali o delle piante. Sebbene un Regolamento Europeo non sia una Direttiva che i Paesi membri dell'Unione debbono recepire nei propri ordinamenti è verosimile che in prospettiva, i futuri fertilizzanti immessi in commercio, inclusi i biostimolanti, saranno sottoposti al controllo per l'accertamento della conformità alle disposizioni del Regolamento (UE) 2019/1009 e del D.Leg. 75/2010.

## 2.2 Categorie di biostimolanti

Con il termine biostimolanti sono indicati un gran numero di prodotti di natura e composizione molto eterogenea tra loro, che derivano da matrici di varie, che inducono meccanismi d'azione diversi nelle piante agrarie. Sebbene una classificazione di tutte le sostanze ad azione biostimolante conosciute sia difficile, è possibile individuare categorie principali di prodotti come, ad esempio sostanze umiche (acidi umici e acidi fulvici), idrolizzati proteici e altri composti contenenti azoto, estratti di alghe e vegetali, chitosani e altri biopolimeri, funghi e batteri benefici [1].

### 2.2.1 Acidi umici e acidi fulvici

Le sostanze umiche sono i principali costituenti della sostanza organica del suolo e derivano dalla decomposizione di piante e animali da parte della flora microbica del terreno. Questo gruppo di sostanze è stato identificato da tempo come fondamentale per conferire fertilità ai suoli migliorandone le proprietà fisiche, chimiche e biologiche ma negli ultimi anni ne sono stati scoperti anche gli effetti biostimolanti. In

particolare, le sostanze umiche consentono di migliorare la nutrizione delle radici delle piante attraverso l'aumento dell'assorbimento dei nutrienti, incrementando la disponibilità del fosforo nella rizosfera e la capacità di scambio cationico del suolo [1]. Inoltre, nelle sostanze umiche sono stati identificati anche fitormoni o loro precursori, i quali, rilasciati nella rizosfera inducono una stimolazione dello sviluppo radicale in termini di crescita mediante l'attivazione dei meccanismi di pompa protonica di membrana. È stato, inoltre osservato un aumento dell'espressione di alcuni geni implicati nella biosintesi di importanti ormoni, tra cui l'acido indolacetico, acido abscissico, acido gibberellico e citochinine [2]. Questi biostimolanti possono essere estratti da sostanze umifiche naturali, da compost o vermicompost, oppure da sostanze minerali come la leonardite.

### 2.2.2 Idrolizzati proteici e altri composti contenenti azoto

Sono una categoria di composti che contengono miscele di amminoacidi e peptidi ottenuti da un processo di idrolisi enzimatica, chimica o mista di proteine di origine animale e/o vegetale. Questi composti hanno dimostrato effetti biostimolanti verso le piante perché, ad esempio, consentono di modulare l'assorbimento dell'azoto regolando gli enzimi coinvolti nel suo assorbimento, armonizzandolo meglio con il metabolismo del carbonio. Gli idrolizzati proteici svolgono, in alcuni casi, un'azione fitormonale e antiossidante perché vanno ad eliminare i radicali liberi che sono che si generano dal normale metabolismo cellulare. Gli idrolizzati proteici, inoltre, sono conosciuti per aumentare la biomassa microbica e la sua attività nella rizosfera, incrementando la fertilità dei suoli. In generale l'utilizzo di questo gruppo di biostimolanti ha consentito incrementi di resa e componenti qualitative sui prodotti finali [1].

### 2.2.3 Estratti di alghe e vegetali

L'utilizzo di alghe come fertilizzante e fonte di sostanza organica per le colture è una pratica antica ma i suoi effetti biostimolanti sono stati scoperti solo recentemente. In particolare sono stati osservati effetti di promozione dello sviluppo e della crescita delle piante trattate con estratti d'alghe, ed è stata dimostrata al loro interno la presenza di molecole ormono-simili che generano risposte simili a quelle indotte dai fitormoni prodotti dalle piante coltivate [2]. Le specie di alghe maggiormente utilizzate appartengono al phylum delle alghe marroni e sono *Asophyllum*, *Fucus* e *Laminaria* [1].

### 2.2.4 Chitosani e altri biopolimeri

Il chitosano si ottiene per deacetilazione del polimero chitina. Le proprietà biostimolanti di questo prodotto sono innanzitutto di agire come elicitore perché possiede la capacità di indurre nella pianta la biosintesi di metaboliti alla base delle risposte difensive verso patogeni per essere protetta in caso di attacco. Il chitosano inoltre è un ottimo strumento per contrastare gli stress abiotici delle piante [1].

### 2.2.5 Funghi e batteri benèfici

I funghi e batteri benèfici fanno parte della vasta categoria dei biostimolanti microbici, sempre più utilizzati e studiati. Tra i funghi, sono ormai conosciute da molto tempo le simbiosi mutualistiche che si formano con le radici. I funghi micorrizici sono diffusissimi e presenti spontaneamente in circa il 90% delle specie di piante per le quali generano una migliore esplorazione del terreno da parte delle ife fungine che facilitano l'assorbimento di nutrienti da parte delle piante. Vi sono, inoltre, prodotti a base di funghi che hanno azione biostimolante e applicati in piccole quantità alle colture ne promuovono l'efficienza dei nutrienti, la tolleranza agli stress, la resa e la qualità del prodotto finale. Un esempio molto ben caratterizzato riguarda i funghi del

genere *Thricoderma spp.*, molto utilizzato per la sua azione di biopesticida e di biocontrollo [1].

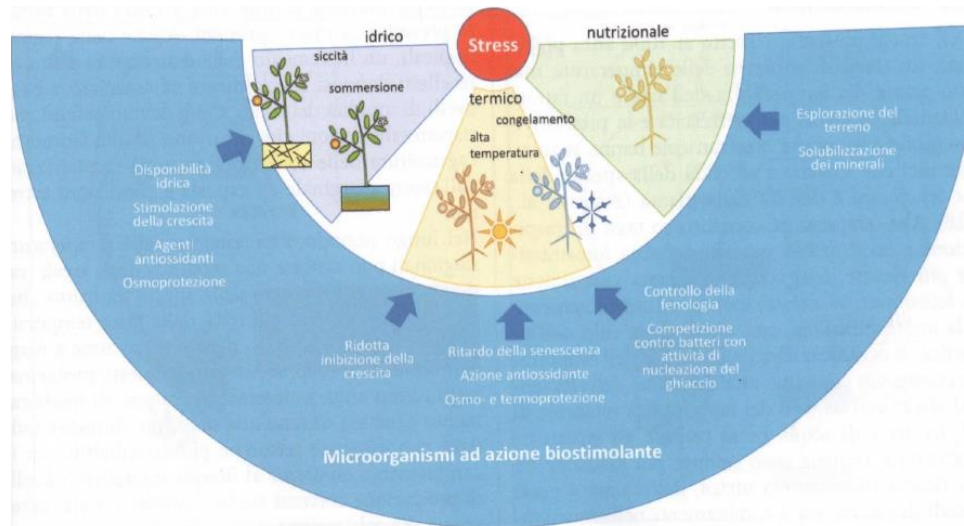
Per quanto riguarda i batteri, essi interagiscono con diversi meccanismi. Riguardo l'azione biostimolante sulle piante agrarie, sono due le tipologie di batteri di maggior interesse: quelli che danno origine ad endosimbiosi mutualistiche a livello radicale con le piante leguminose facenti parte del genere *Rhizobium* e *Synorhizobium*, collettivamente noti come rizobi, e i batteri della rizosfera dotati di effetti di promozione della crescita, collettivamente noti come Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). Mentre i rizobi sono conosciuti e commercializzati come biofertilizzanti da molto tempo, i PGPR sono batteri che vivono nella rizosfera delle piante e svolgono il ruolo di migliorarne la nutrizione, la crescita, lo sviluppo, la risposta a stress abiotici e biotici e l'interazione con altri organismi dell'agroecosistema [1].

### 2.3 Biostimolanti e stress abiotici

Tra gli effetti comprovati dell'applicazione delle diverse categorie di biostimolanti descritti precedentemente, di particolare interesse della mia tesi di laurea, vi è la mitigazione degli stress abiotici. In questa parte sarò quindi approfondisco la relazione tra l'utilizzo dei biostimolanti e riduzione dei danni dovuti a stress abiotici verso le piante agrarie.

Come già descritto, le principali cause delle perdite di produzione agricola sono dovute alla ridotta disponibilità d'acqua, l'incremento della salinità dei suoli, l'alterazione dei regimi di temperatura e le carenze nutrizionali. L'energia metabolica che le piante impegnano per adattarsi agli stress abiotici è chiamata *fitness cost*. Questa quota di energia metabolica che le piante debbono sostenere durante le diverse fasi di sviluppo per contrastare gli stress ambientali è responsabile della riduzione della produttività, sia in termini quantitativi che qualitativi. Se i

cambiamenti climatici in atto tenderanno ad incrementare gli stress per le piante, in che modo i biostimolanti possono migliorare la fitness delle piante e consentire loro di esprimere la piena espressione del fenotipo?



**Figura 4:** Principali meccanismi di azione di protezione da parte dei biostimolanti microbici in relazione ad alcuni stress abiotici a cui le piante sono sottoposte. (Biostimolanti in agricoltura, edagricole)

## 2.4 Stress termici

Ogni pianta è caratterizzata da condizioni di temperatura ottimali per il suo pieno sviluppo. Un classico esempio di tale adattamento è l'impossibilità di coltivare la pianta della canna da zucchero alle nostre latitudini. Quando si verificano temperature anomale che possono essere sia superiori che inferiori a quelle ottimali per una coltura, quest'ultima ne risente e reagisce con risposte biochimiche e fisiologiche che possono essere più o meno accentuate a seconda dell'intensità e della durata dello stress. L'incremento delle temperature medie stagionali dovute ai cambiamenti climatici, ad esempio, può determinare un po' alla volta lo spostamento degli areali di coltivazione di molte colture verso zone a maggior latitudine. Le anomalie termiche sia nel senso del valore medio stagiona sia dell'estensione degli intervalli delle anomalie termiche rendono gli ambienti meno 'vocati' alla coltivazione a determinate specie tradizionali [2]. Per evitare contraccolpi sui sistemi agricoli,

specialmente quelli con colture di alto pregio, è certamente necessario selezionare cultivar con maggiore tolleranza di regimi termici più alti al fine di mantenere i livelli di produzione correnti anche in areali che sperimentano variazioni significative del regime di temperatura, ma appare oggi possibile anche 'assistere' la pianta con l'ausilio di sostanze biostimolanti.

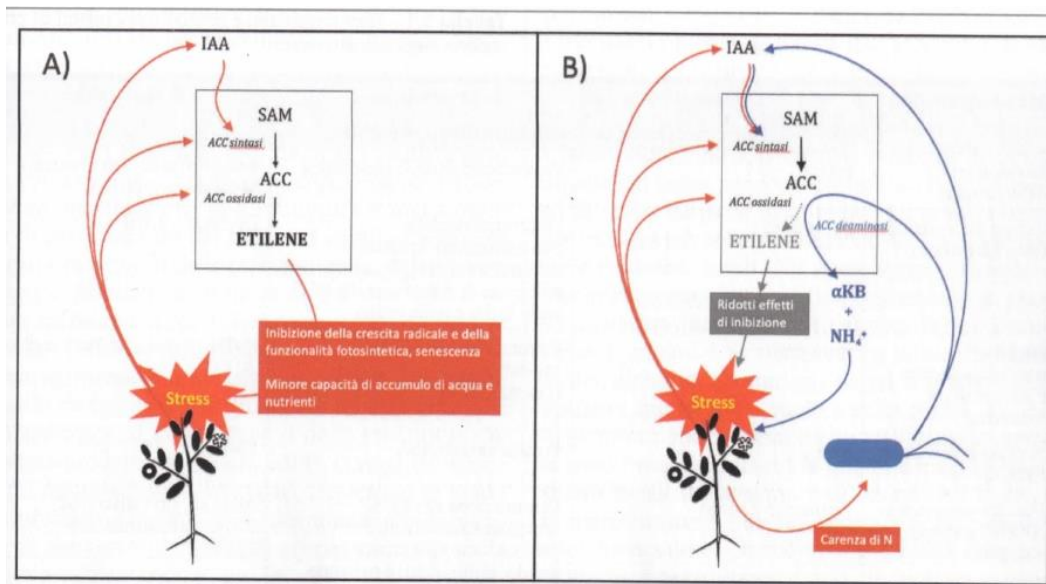
Infatti, gli stress termici producono nelle piante l'attivazione di risposte protettive complesse tra cui la produzione di enzimi che degradano le specie reattive all'ossigeno (*Reactive Oxygen Species*, ROS) e di metaboliti quali osmoprotettori, amminoacidi, composti dello zolfo e zuccheri che vanno ad incrementare il potenziale osmotico delle cellule. In generale, le risposte biochimiche delle piante sono coordinate dalle variazioni delle concentrazioni di alcuni ormoni, in particolare etilene, auxine e acido abscissico. L'etilene è un importante ormone vegetale, che nelle piante regola diversi processi fisiologici, di sviluppo e di senescenza, ed è coinvolto nella risposta della pianta agli stress abiotici. Sebbene l'etilene inneschi processi protettivi per le piante contro gli stress, i suoi effetti di inibizione della crescita e di promozione della senescenza in risposta agli stress termici possono condurre a minori crescita e produttività delle colture. In questo contesto, alcuni biostimolanti microbici come, ad esempio, il batterio *Burkholderia phytofirmans*, capace di interferire con il metabolismo dell'etilene riducendone la produzione, può ridurre l'effetto limitante dovuto ad un eccesso di produzione di etilene nelle piante. Questo specifico meccanismo antagonistico che si attiva in una pianta sottoposta a ad alte temperature è illustrato in Figura 5. I batteri PGPR interferiscono sull'attività dell'enzima ACC-sintasi che determina una produzione dell'acido 1-amminociclopropano-1-carbossilico (ACC), precursore dell'etilene. In presenza di *Burkholderia phytofirmans* è prodotto l'enzima ACC-deaminasi che è responsabile della rottura dell'ACC in ammoniaca ( $\text{NH}_4^+$ ) e  $\alpha$ -chetobutirrato ( $\alpha\text{KB}$ ), rallentando la produzione di etilene. Questa interazione complessa tra pianta e biostimolanti



microbici consente alla pianta di mantenere una crescita vegetale normale in condizioni di stress termico.

All'interno delle cellule delle piante sottoposte ad elevate temperature il livello delle ROS e degli enzimi che le detossificano quali perossidasi, superossido dismutasi e catalasi, tende ad aumentare. È stato osservato che i batteri dei generi *Pseudomonas* e *Bacillus* e i funghi micorrizici, se applicati a queste piante incrementano la sintesi di enzimi con azione detossificante degradatori delle ROS, inducono una diminuzione dei livelli di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e di perossidazione lipidica, e incrementano la capacità delle cellule vegetali di tollerare gli stress termici. Un esempio è l'applicazione di funghi micorrizici su piante di pomodoro che ha favorito molto la degradazione di sostanze con azione ossidante (ROS) in condizioni di alte temperature [4].

**Figura 5:** Meccanismo d'azione di alcuni ceppi batterici ad azione biostimolante per la riduzione della produzione dell'etilene. (Biostimolanti in agricoltura, edagricole)



Altri meccanismi di riduzione degli stress termici grazie a biostimolanti microbici includono i batteri che incrementano la produzione di metaboliti osmoprotettori, amminoacidi, composti dello zolfo e zuccheri perché si tratta di molecole che vengono concentrate all'interno del citoplasma delle cellule vegetali e consentono di

aumentarne il potenziale osmotico interno e di conseguenza di mantenere un'adeguata pressione di turgore [2].

Anche le basse temperature sono un'importante fonte di stress per le piante coltivate perché ne riducono il metabolismo, ritardano le risposte fisiologiche, la crescita e la produzione. I danni da freddo in particolare generano alterazioni alle membrane citoplasmatiche dovute alla destabilizzazione del doppio strato fosfolipidico. Temperature invernali miti, dovute ai cambiamenti climatici in atto, possono anticipare la fioritura primaverile di molte piante da frutto in periodi in cui il rischio di gelate notturne è ancora alto e quindi le piante potrebbero andare incontro ad una gelata in un momento particolarmente suscettibile come la fioritura. Il congelamento dei tessuti vegetali causa disidratazione e concentrazione degli osmoliti nel liquido cellulare, con conseguente danno alla struttura e alla funzione della membrana citoplasmatica. I danni da freddo sono spesso favoriti dalla presenza di microrganismi con attività di nucleazione del ghiaccio (*Ice Nucleating Activity*, INA). I microrganismi che svolgono questa azione sono indicati come INA<sup>+</sup> che possono vivere su foglie, frutti o radici ed esprimono sulla parete batterica proteine che fungono da centri di nucleazione per la formazione di cristalli di ghiaccio. La presenza di batteri del gene attivo (*ina*<sup>+</sup>) in tessuti vegetali ne favoriscono il congelamento a temperature superiori a 0° C, ad esempio a 4-5° C, piante incrementando gli effetti negativi dello stress termico. Sono stati identificati molti ceppi batterici INA<sup>+</sup> che si trovano normalmente sui tessuti vegetali e quindi per evitare questo problema e ridurre i danni da freddo, sono stati selezionati ceppi batterici recanti il gene *ina* inattivato, come ad esempio alcuni mutanti di *Pseudomonas*. L'applicazione di formulati microbici contenenti questo mutante hanno consentito di soppiantare i ceppi microbici naturali *ina*<sup>+</sup> e di ridurre i danni da freddo alle colture [2].

Le basse temperature determinano nelle piante una riduzione della crescita vegetale e del metabolismo mediante la produzione di ormoni come l'etilene. Esistono

biostimolanti microbici che producono auxine, le quali stimolano la crescita degli organi vegetali o gibberelline che determinano l'allungamento e la divisione cellulare nelle piante e riescono quindi a mitigare il rallentamento della crescita dovuto alle basse temperature. Studi recenti hanno dimostrato come i tessuti fogliari di piante selvatiche di climi freddi siano colonizzate da batteri adatti al freddo che possono essere utilizzati, ad esempio, per inoculare semi di frumento che vengono coltivati in aree con climi freddi [2].

In aggiunta ai biostimolanti microbici, anche gli idrolizzati proteici si sono dimostrati utili per mitigare gli effetti degli stress da basse temperature. In un esperimento condotto su piante di fagiolo sottoposte ad uno stress da freddo di 3°C per 48 ore, le piante trattate con biostimolante a base di idrolizzati proteici hanno mostrato minori danni da freddo rispetto alle piante non trattate (Figura 6). Il meccanismo di azione di questi biostimolanti è l'induzione dell'accumulo di composti antiossidanti e l'incremento di concentrazione di osmoliti cellulari che determinano un abbassamento del punto crioscopico cellulare e consentono alle membrane citoplasmatiche di rimanere più integre. È comunque da notare che l'applicazione di questo prodotto non consente di annullare l'effetto dello stress ma solo di mitigarlo. [2]

**Figura 6:** Effetto di un biostimolante applicato come spray fogliare su piante di fagiolo 24 ore prima di essere sottoposto a stress da freddo. (Biostimolanti in agricoltura, Edagricole)



## 2.4 Stress idrici

La limitata disponibilità idrica può determinare stress nelle piante con conseguente riduzione della crescita e della produttività delle colture. Una prolungata carenza idrica nel suolo costringe le piante a ridurre il tempo di apertura degli stomi, quindi a ridurre la conduttanza stomatica e la traspirazione per evitare il disseccamento. La risposta biochimica della pianta alla siccità è mediata dalla produzione del fitormone acido abscissico (ABA) il quale, da un lato stimola la chiusura degli stomi e previene un'eccessiva perdita d'acqua, mentre dall'altro causa un rallentamento dell'attività fotosintetica. Una prolungata azione dell'ABA compromette la piena crescita della pianta. I principali effetti negativi di tale reazione sono una significativa riduzione degli scambi gassosi, quindi dell'attività fotosintetica, e un ridotto assorbimento dei nutrienti a livello radicale. Biostimolanti a base di estratti d'alghie come, ad esempio, *Ascophyllum nodosum*, se applicati alle colture hanno ridotto gli effetti dello stress idrico attraverso l'induzione della biosintesi di clorofilla nelle foglie, contrastandone

la perdita e mantenendo una buona attività fotosintetica. Gli estratti d'alghe, inoltre, possono contenere tracce di ormoni vegetali che stimolano la crescita della pianta anche in condizioni di carenza idrica [2].

Formulati biostimolanti contenenti batteri del suolo hanno dimostrato di migliorare la tolleranza delle piante alla siccità attuando modificazioni fisiologiche e biochimiche della radice attraverso la modulazione dei livelli di fitormoni, l'incremento delle difese antiossidanti, produzione di osmoliti e la secrezione di esopolisaccaridi batterici. Microrganismi produttori di auxine, gibberelline e citochinine, consentono alla pianta di crescere anche in condizioni di stress idrico promuovendo l'apertura stomatica e la conduttanza idrica. Esistono vari formulati a base di funghi micorrizici che, con le loro ife fungine, riescono ad esplorare meglio il suolo rispetto alle radici e a fornire acqua e nutrienti, in particolare P alle piante anche in condizione di prolungata siccità, riducendo i livelli di ABA endogeno [2].

Similmente a quanto visto per gli stress termici, anche la carenza idrica può incrementare i livelli di etilene prodotto dalle piante. I maggiori livelli di etilene reprimono la crescita della pianta e, in particolare, la crescita dell'apparato radicale. Un apparato radicale meno sviluppato risente maggiormente di carenza idrica poiché riduce il volume di suolo esplorato dalle radici e un ridotto attingimento di acqua dagli orizzonti profondi. I microrganismi produttori dell'enzima ACC-deaminasi, possono essere utili per diminuire il livello di etilene prodotto dalle piante ed alleviare gli stress idrici.

Le acquaporine sono proteine di membrana presenti nelle cellule radicali delle piante. Esse consentono il passaggio di acqua e non di ioni attraverso la membrana in modo molto più rapido rispetto alla semplice diffusione attraverso le membrane fosfolipidiche. Nelle membrane dell'epidermide radicale delle piante, le acquaporine mediano l'assorbimento di acqua nelle radici, con un ruolo chiave nelle condizioni di stress idrico; in particolare esse promuovono il recupero della pressione di turgore.

L'utilizzo di un fungo micorrizico *Glomus intraradices* su piante di carota sottoposte a stress idrico ha dimostrato una migliore conduttività idrica delle radici dovuta ad una migliore regolazione delle acquaporine. Inoltre, i risultati dello studio dell'azione di due acquaporine fungine (GintAQPF1 e GintAQPF2) hanno evidenziato che le piante micorrizzate con *Glomus intraradice* hanno un migliore passaggio idrico tra i due simbionti ed un minore stress idrico per queste piante in presenza di una ridotta disponibilità di acqua [5].

## 2.5 Stress salini

La salinità del suolo è una misura della quantità totale di sale solubile presente in esso. Un aumento della salinità del suolo riduce la disponibilità di acqua dal suolo e squilibri nutrizionali nelle piante, soprattutto in casi di salinità sodica, limitandone la crescita. I suoli possono presentare elevati livelli di salinità naturalmente oppure per effetti di salinizzazione secondaria dovuta a cause ambientali. In tal senso, la salinizzazione secondaria può essere anche collegata ad una prolungata siccità che provoca l'incremento di concentrazione salina della soluzione circolante, aggravando le condizioni di stress idrico delle piante. Questi effetti sono più severi nelle aree costiere dove l'acqua salmastra si infiltra formando il cuneo salino, rendendo nei casi più estremi, impossibile la coltivazione di certi appezzamenti. Nell'estate del 2022, una prolungata siccità ha aumentato il cuneo salino nelle aree interne della zona della foce del fiume Po di oltre 40 km, interessando oltre 5000 ha, causando la perdita di raccolti di frumento, mais ed altre colture per un ammontare di oltre 40.000 tonnellate di granella. Interventi di mitigazione della salinità del suolo sono difficili da gestire e comportano interventi di drenaggio naturale o artificiale o, nei casi peggiori, l'eliminazione dei sali mediante lisciviazione con acqua dolce.

Come detto, la salinità del suolo, determinando gravi problemi alla crescita compromette la produttività delle colture, in particolare di quelle più sensibili. La

tolleranza delle piante alla salinità è influenzata da molti fattori specie-specifici, pedologici e ambientali e dalle loro interazioni, ma, generalmente le piante orticole ed erbacee sono più sensibili rispetto a quelle arbustive ed arboree.

I biostimolanti che si possono utilizzare per alleviare i danni da stress salini sono a base di idrolizzati proteici di origine vegetale che sono stati capaci di migliorare la resa, il peso secco e l'efficienza fotosintetica in piante di lattuga che sono molto sensibili alla salinità [2].

L'utilizzo di biostimolanti a base di batteri PGPR, contenenti *Azospirillum brasilense*, ha riportato effetti positivi su specie molto sensibili quali lattuga, peperone, ceci e fagioli coltivati in condizioni di stress salino.

Anche i composti bioattivi presenti negli estratti di alghe (*Ascophyllum nodosum*, *Sargassum muticum*, *Jania rubens*) possono contribuire ad alleviare gli effetti della salinità agendo attraverso la regolazione del metabolismo degli amminoacidi, il mantenimento dell'equilibrio ionico e l'aumento di composti antiossidanti. Gli amminoacidi responsabili dell'aumento della tolleranza sono la serina, la treonina, la prolina e l'acido aspartico che si accumula principalmente nelle radici a diretto contatto con le soluzioni saline. Molte di queste sostanze svolgono, infatti, un'azione protettiva ed essendo osmoticamente attive si concentrano nelle cellule vegetali favorendone il turgore e la resistenza agli stress [2].

### 3 Esempi di applicazioni

Dopo aver precedentemente descritto cosa si intende per biostimolante, le principali categorie di prodotti e il loro ruolo in un'ottica di cambiamenti climatici e stress abiotici legati a temperatura, siccità e salinità, che purtroppo si faranno sempre più frequenti ed intensi, illustro di seguito alcuni esempi pratici riguardanti l'applicazione dei biostimolanti a colture estensive di importante interesse per la Regione del Veneto.

#### 3.1 Mais

Il mais (*Zea Mays L.*) è una coltura estensiva molto importante per i nostri territori, ma ampiamente coltivata in tutto il nord Italia. Gli effetti dei cambiamenti climatici come la scarsità di piogge estive e temperature molto elevate nei mesi di luglio e agosto stanno riducendo la possibilità di coltivazione del mais che è passato dall'essere una coltura che richiedeva solo saltuariamente irrigazioni di soccorso ad essere a tutti gli effetti una coltura irrigua. Studi recenti hanno messo in luce il ruolo dei biostimolanti per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sul mais come, ad esempio, l'applicazione di estratti d'alghe ricchi di composti bioattivi che inducono risposte fisiologiche nella pianta come, ad esempio, l'aumento della produzione di biomassa e l'efficienza d'uso dei nutrienti. Molti studi importanti sugli effetti dei biostimolanti sono stati condotti dal gruppo di ricerca di Chimica Agraria del DAFNAE dell'Università di Padova, che ancora conduce ricerche in questo settore.

Nell'esempio considerato di seguito Ertani et al [6], hanno selezionato sei estratti d'alga liquidi, uno da *Laminaria spp.* e cinque da *Ascophyllum nodosum spp.*, alghe di origine nord-europea. Ognuno degli estratti valutati era caratterizzato da una composizione chimica differente, ipotizzando che la loro azione sulle piante fosse diversa. Ogni estratto era classificato con lettere diverse: quello ottenuto dall'alga *Laminaria* viene indicato con la lettera A, mentre quelli ottenuti da *Ascophyllum*



*nodosum spp.* con lettere dalla B alla F [6]. Nella ricerca sono state analizzate le principali caratteristiche chimiche dei vari estratti considerati ed in particolare il contenuto totale di C e N totale, la quantità di isopenteniladenosina (IPA) e di acido indolacetico (IAA). L'IPA e l'IAA sono rispettivamente una citochinina e una auxina ovvero due fitormoni che stimolano la crescita e l'allargamento cellulare. I risultati ottenuti da questa analisi sono stati riportati nella Tabella 1.

**Tabella 1:** Contenuto di C tot (%), N tot (%), IPA (nMol), IAA (nMol) per ognuno dei sei estratti d'alga considerati. (Ertani *et al.*,2018)

| <b>Seaweed extract</b> | <b>C tot (%)</b> | <b>N tot (%)</b> | <b>IPA (nMol)</b> | <b>IAA (nMol)</b> |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| A                      | 4.20             | 0.40             | 4.12              | 14.6              |
| B                      | 3.70             | 7.20             | 4.91              | 11.61             |
| C                      | 4.00             | 3.50             | 8.45              | 10.39             |
| D                      | 12.20            | 0.30             | 2.72              | 9.70              |
| E                      | 5.60             | 0.10             | 5.79              | 32.43             |
| F                      | 3.70             | 0.10             | 3.74              | 17.79             |

Dopo l'applicazione dei sei estratti d'alga ad azione biostimolante sulle piante di mais furono misurati diversi parametri di crescita a livello radicale come la lunghezza della radice principale, la superficie radicale, il diametro medio della radice, il numero di peli radicali e la lunghezza dei peli radicali. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 2.

**Tabella 2:** Parametri di misurazione dello sviluppo delle piante di mais a livello radicale. (Ertani *et al.*,2018).

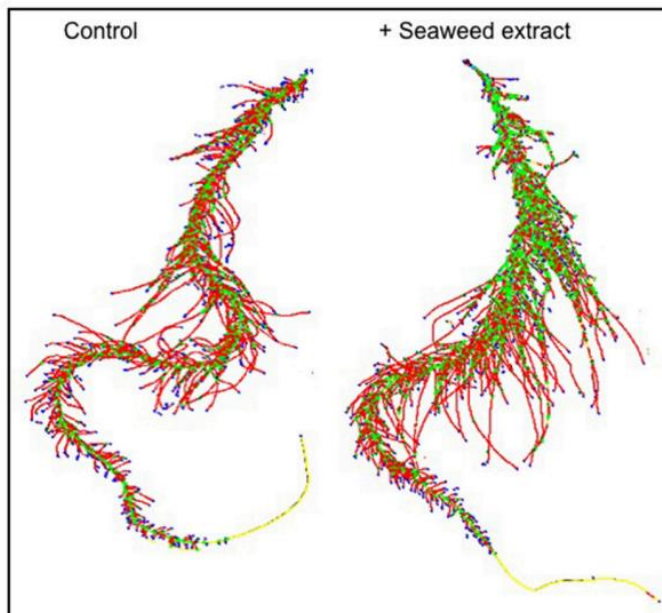
| Treatment | Root length (cm) | Surface (cm <sup>2</sup> ) | Diameter (mm) | Tip number   | Fine root length (cm) |
|-----------|------------------|----------------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| Control   | 884 ± 151c       | 103 ± 20d                  | 0.37 ± 0.02b  | 1642 ± 272d  | 696 ± 129d            |
| A         | 1017 ± 64c       | 121 ± 7cd                  | 0.38 ± 0.01b  | 2204 ± 197a  | 835 ± 58c             |
| B         | 1432 ± 123ab     | 151 ± 13bc                 | 0.34 ± 0.01c  | 2603 ± 142ab | 1183 ± 110ab          |
| C         | 1542 ± 68a       | 175 ± 8ab                  | 0.36 ± 0.01b  | 2318 ± 86bc  | 1245 ± 57a            |
| D         | 1422 ± 133ab     | 155 ± 18bc                 | 0.34 ± 0.02c  | 2473 ± 228ab | 1167 ± 107ab          |
| E         | 1602 ± 140a      | 208 ± 21a                  | 0.41 ± 0.01a  | 3092 ± 297a  | 1266 ± 102a           |
| F         | 1115 ± 112bc     | 115 ± 13cd                 | 0.32 ± 0.01c  | 1845 ± 238c  | 944 ± 88b             |

*Data represent the means of five measurements per treatment (± std). Different letters along the same column indicate significant differences between treatments (p < 0.05) according to Student-Newman-Keuls test.*

I risultati mostrano che, in generale, la misura delle radici delle piante di mais trattate con gli estratti d'alga era maggiore rispetto al controllo non sottoposto all'azione biostimolante. In particolare, l'estratto E evidenziava parametri maggiori in tutti gli indicatori misurati e una maggiore produzione di biomassa radicale. Al contrario, gli estratti A e F, mostravano valori di sviluppo radicale inferiori, simili al controllo. All'analisi chimica, l'estratto E conteneva livelli alti di IPA e IAA, due fitormoni in grado di stimolare la crescita dell'apparato radicale.

Un'immagine esemplare che consente di paragonare radici di piante non trattate (control) con radici di piante trattate con estratti d'alga è rappresentata dalla Figura 6, dove si nota chiaramente che gli estratti d'alga generano un'azione biostimolante che promuove la crescita dell'apparato radicale che viene trattato [6].

**Figura 6:** Differenza tra una radice di mais non trattata con estratti d'alga a sinistra e una trattata. (Ertani *et al.*,2018).



Dall'analisi dei risultati di questa ricerca, concludo che l'applicazione di biostimolanti ottenuti da estratti di alghe naturali hanno mostrato tutti di favorire la crescita dell'apparato radicale ed in particolar modo delle ramificazioni laterali e dei peli radicali, le regioni della radice deputate all'assorbimento di acqua e nutrienti. Le piante con apparato radicale più sviluppato sono in grado di esplorare un maggior volume di terreno, limitando gli effetti dello stress da carenza idrica.

### 3.2 Soia

La soia (*Glycine max*) è una coltura estensiva a ciclo estivo, largamente coltivata in Pianura Padana. In estati particolarmente siccitose, caratterizzate da temperature elevate come ad esempio nell'estate 2022, anche la soia può risentire dello stress idrico che determina cali di resa e di qualità del prodotto.

Studi interessanti sono stati condotti recentemente sull'efficacia dell'applicazione di prodotti biostimolanti derivante da sostanza organica naturale (NOM) che contiene

al suo interno acidi umici e acidi fulvici. La sostanza organica umificata è ubiquitaria nei suoli e nei sedimenti e deriva dalla degradazione microbica di sostanze vegetali e animali.

La ricerca che illustro di seguito è stata condotta in parcelle sperimentali di pieno campo in Brasile, dove le piante di soia erano coltivate in condizioni di stress idrico dovuto alla scarsa presenza di acqua nel terreno e stress termico dovuto alle alte temperature. La ricerca ha valutato due metodi di concimazione diversi. Il primo è il metodo standard (GS “Grower standard”) attuato con le classiche concimazioni necessarie alla coltura, il secondo metodo consiste nell’effettuare oltre alla normale concimazione (GS), un’aggiunta del biostimolante a base di acidi umici e acidi fulvici (NOM) [7]. I parametri delle piante misurati erano la conduttanza stomatica, collegata alla capacità delle piante di fissare CO<sub>2</sub> e quindi all’efficienza fotosintetica, l’attività di enzimi antiossidanti come la superossido dismutasi, la catalasi e la perossidasi, l’altezza delle piante alla raccolta e la resa. I risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 3.

**Tabella 3:** Effetti dell’applicazione di un biostimolante (NOM) su alcuni parametri produttivi e qualitativi in piante di soia. (Sleighter *et al.*,2023)

| SOYBEAN TRIAL         |  |   |       |   |  |   |   |   |            |   |                               |   |               |   |
|-----------------------|--|---|-------|---|--|---|---|---|------------|---|-------------------------------|---|---------------|---|
| Treatment             | Stomatal Conductance (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-2</sup> ) |   |       |   | Superoxide Dismutase (U μg Protein <sup>-1</sup> ), R3 |   | Catalase (μKat μg Protein <sup>-1</sup> ), R3 |   | Peroxidase |   | Plant Height (cm), at Harvest |   | Yield (kg/ha) |   |
|                       | V4   | b | R3    | b | 0.95   | b | 507.8   | b | 269.3      | b | 77.0                          | a | 4943          | b |
| Grower Standard (GS)  | 783.2  | b | 557.7 | b | 0.95   | b | 507.8   | b | 269.3      | b | 77.0                          | a | 4943          | b |
| GS + NOM biostimulant | 840.2  | a | 732.4 | a | 1.83   | a | 708.2   | a | 412.9      | a | 80.9                          | a | 5847          | a |

Come si può osservare, tutti i parametri misurati hanno mostrato valori più alti per piante di soia coltivate con l’utilizzo del biostimolante (NOM). Tali risultati erano spiegati dal fatto che le piante concimate con l’aggiunta di NOM avevano una migliore efficienza fotosintetica dovuta alla più elevata conduttanza stomatica, a livelli di ROS più bassi dovuti ad una più elevata attività degli enzimi detossificanti lo stress

ossidativo, e un'altezza maggiore delle piante con conseguente resa più elevata generata dai minori livelli di stress subiti dalle piante durante il loro ciclo colturale [7].

## 4 Conclusioni

Nella ricerca sono stati evidenziati i problemi legati ai cambiamenti climatici nel mondo agrario. Problemi che si faranno sempre più importanti e impattanti sulla produttività delle colture e sulla qualità del prodotto finale. In questo contesto il ruolo dei biostimolanti si dimostra interessante perché si tratta di prodotti che vengono ricavati a partire da matrici naturali rispettando, quindi, in pieno i criteri della sostenibilità ambientale e possono essere utilizzati anche dalle aziende che praticano agricoltura biologica.

L'eterogenicità delle categorie dei biostimolanti, che è stata precedentemente descritta, è tale anche nei meccanismi d'azione dei prodotti che intervengono a livelli diversi di regolazione dell'espressione fenologica delle piante. Per questo motivo è necessario conoscere al meglio i singoli prodotti per poter utilizzare i più efficaci in ogni situazione. Ad esempio, i sei estratti d'alga utilizzati come biostimolanti su piante di mais, hanno mostrato tutti composizione chimica diversa (Tabella 1) e quindi ogni estratto avrà di conseguenza un'azione, seppur minima, diversa sulle piante.

In generale i biostimolanti si contraddistinguono per essere una preziosa arma al servizio degli agricoltori per contrastare gli stress abiotici, come dimostrato dagli aumenti di resa osservati negli esempi di utilizzo su mais e soia, ma è sicuramente necessario implementare la ricerca per poter farne un utilizzo sempre più consapevole e mirato.

L'impiego di biostimolanti si sta dimostrando una strategia vincente per contrastare gli stress abiotici aggravati dai cambiamenti climatici ma è necessario unire più strategie possibili ed affiancare ai prodotti biostimolanti anche l'utilizzo di cultivar tolleranti e delle tecniche agronomiche più efficienti con il fine non solo di ridurre i danni derivanti da stress abiotici, ma anche di incrementare le produzioni in un'ottica di agricoltura sostenibile.

## Bibliografia

- [1] P. Du Jardin, «Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation», *Scientia Horticulturae*, vol. 196, pp. 3–14, nov. 2015, doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- [2] A. Ferrante, *Biostimolanti in agricoltura*. Edagricole, 2019.
- [3] «>Regolamento (UE) 2019/ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 giugno 2019, che stabilisce norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti dell'UE, che modifica i regolamenti (CE) n. 1069/2009 e (CE) n. 1107/2009 e che abroga il regolamento (CE) n. 2003/2003».
- [4] N. H. Duc, Z. Csintalan, e K. Posta, «Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate negative effects of combined drought and heat stress on tomato plants», *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 132, pp. 297–307, nov. 2018, doi: 10.1016/j.plaphy.2018.09.011.
- [5] T. Li, Y.-J. Hu, Z.-P. Hao, H. Li, e B.-D. Chen, «Aquaporin genes *GintAQPF1* and *GintAQPF2* from *Glomus intraradices* contribute to plant drought tolerance», *Plant Signaling & Behavior*, vol. 8, fasc. 5, p. e24030, mag. 2013, doi: 10.4161/psb.24030.
- [6] A. Ertani, O. Francioso, A. Tinti, M. Schiavon, D. Pizzeghello, e S. Nardi, «Evaluation of Seaweed Extracts From *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as Biostimulants in *Zea mays* L. Using a Combination of Chemical, Biochemical and Morphological Approaches», *Front. Plant Sci.*, vol. 9, p. 428, apr. 2018, doi: 10.3389/fpls.2018.00428.
- [7] R. L. Sleighter, T. Hanson, D. Holden, e K. M. Richards, «Abiotic Stress Mitigation: A Case Study from 21 Trials Using a Natural Organic Matter Based Biostimulant across Multiple Geographies», *Agronomy*, vol. 13, fasc. 3, p. 728, feb. 2023, doi: 10.3390/agronomy13030728.