



Biostimolanti e innovazione per l'orientamento e la sostenibilità in agricoltura

SOSTENIBILITÀ AGRICOLA TRA VISIONE EUROPEA E RICERCA APPLICATA: IL RUOLO DEI BIOSTIMOLANTI



*Iniziativa finanziata dal Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR) attraverso il Complemento di Sviluppo Rurale del Piano Strategico della PAC della Regione Lombardia 2023-2027.
Info e bandi: <https://psr.regione.lombardia.it>*



Biostimolanti e stress ambientali nelle piante:
combinare osservazioni fenotipiche e analisi
metabolomiche

Mariateresa Cardarelli

Università degli Studi della Tuscia

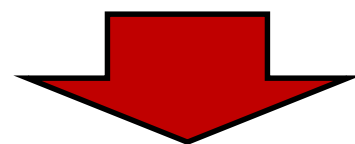
tcardare@unitus.it



Stress ambientale: condizione esterna che ostacola la normale crescita e le funzioni della pianta (stress biotici e stress abiotici)

Biostimolanti: categoria di prodotti fertilizzanti Reg. [(UE) 2019/1009] che migliorano l'efficienza di assorbimento dei nutrienti, la resistenza agli stress abiotici (es. siccità, salinità, alte temperature e carenze nutritive), la qualità delle colture o la disponibilità dei nutrienti nel suolo e nella rizosfera

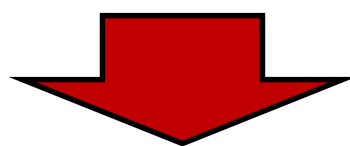
Biostimolanti



LE PIANTE attivano processi fisiologici e metabolici, con ripercussioni positive sulla crescita delle piante e sulla qualità della produzione

Stress abiotico: Riduce crescita, sviluppo e produttività delle colture.

Influenza assorbimento di acqua e nutrienti, fotosintesi, metabolismo e qualità dei frutti



Le piante attivano meccanismi fisiologici, biochimici e molecolari per adattarsi

Principali stress abiotici

Stress idrico: siccità/ristagno idrico

Stress termico: alte/basse temperature

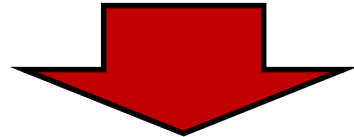
Stress salino: + sali nel suolo e nell'acqua

Stress luminoso: - intensità/+ intensità, UV

Stress chimico/nutrizionale: - nutrienti/+ nutrienti
+ metalli pesanti, + sostanze tossiche

Rilevazione dello stress nelle piante

- Difficile allo stadio precoce → segnali fisiologici deboli e poco evidenti
- Necessita di monitoraggio continuo → per cogliere variazioni sottili e dinamiche
- Maggiore difficoltà con la variabilità climatica → stress imprevedibili e prolungati

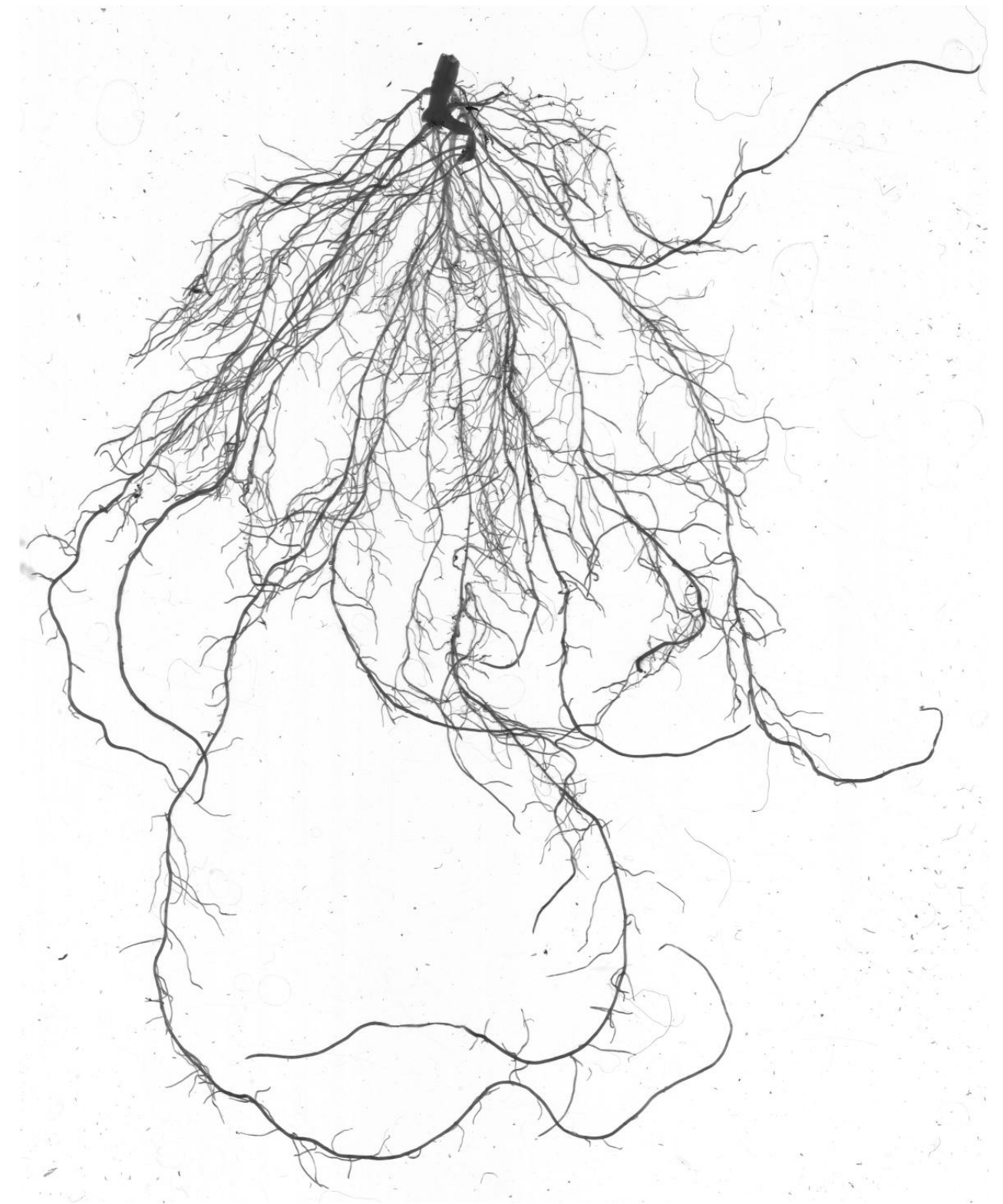
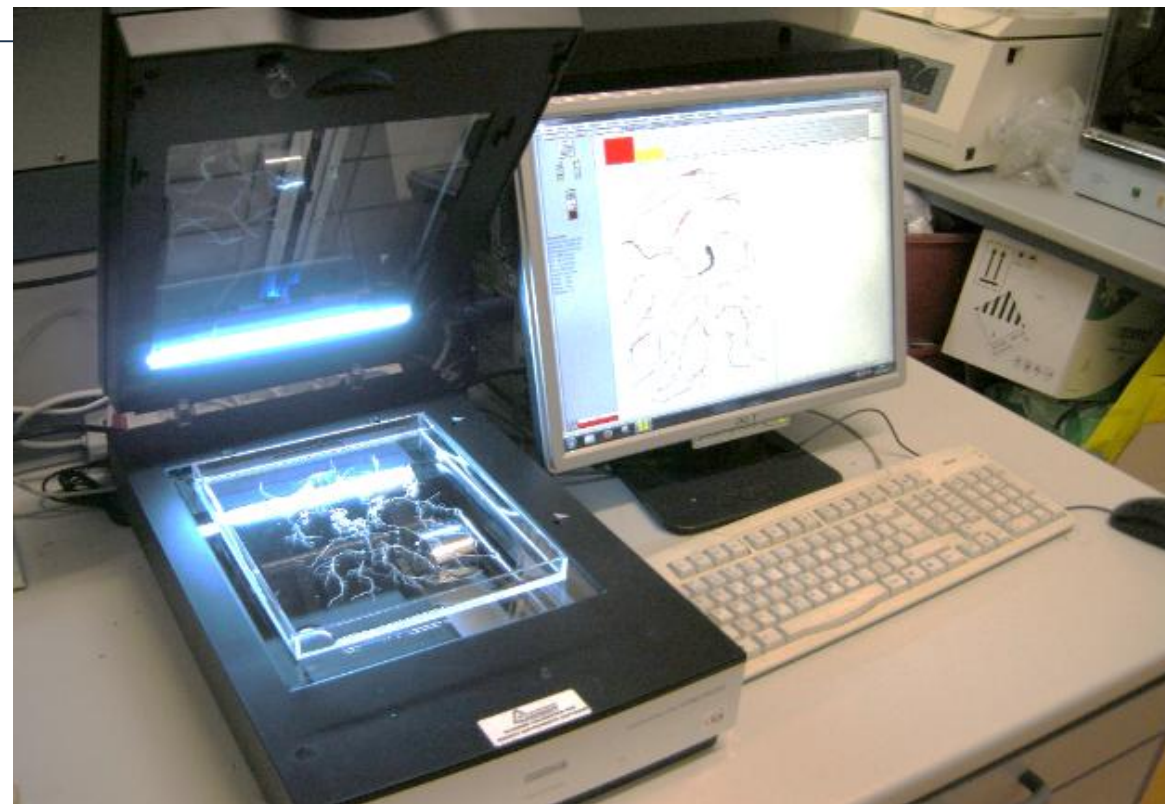


Crescente pressione sui sistemi agricoli e sulla capacità di adattamento delle colture

Lo stress abiotico moderato può essere sfruttato per stimolare la resilienza delle piante, ma richiede uno studio accurato dei meccanismi coinvolti

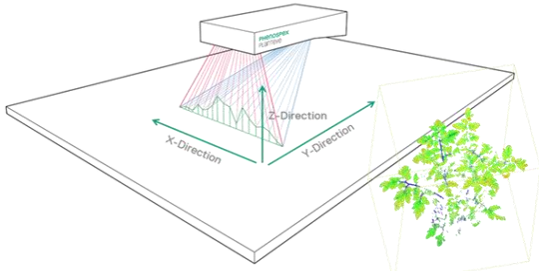
Metodi di fenotipizzazione utilizzati

WINRHIZO: analisi della morfologia delle radici (lunghezza, superficie, volume, diametro medio delle radici, numero di ramificazioni) e della distribuzione delle radici (lunghezza e superficie suddivise per classi di diametro)





Metodi di fenotipizzazione utilizzati



Scanner 3D multispettrale: misura oltre 20 parametri morfologici e spettrali della pianta

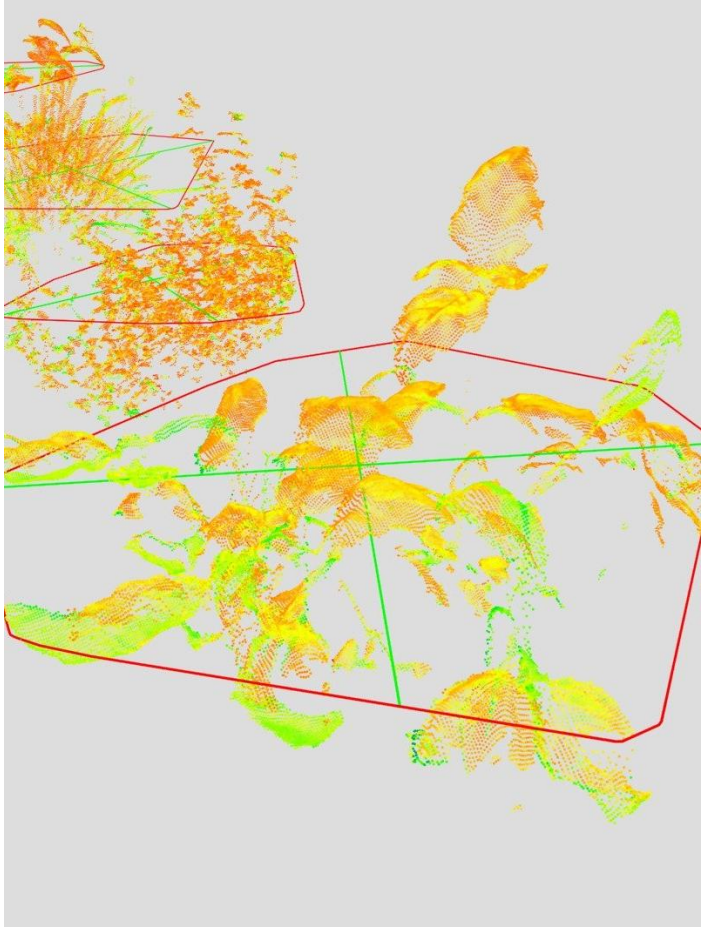
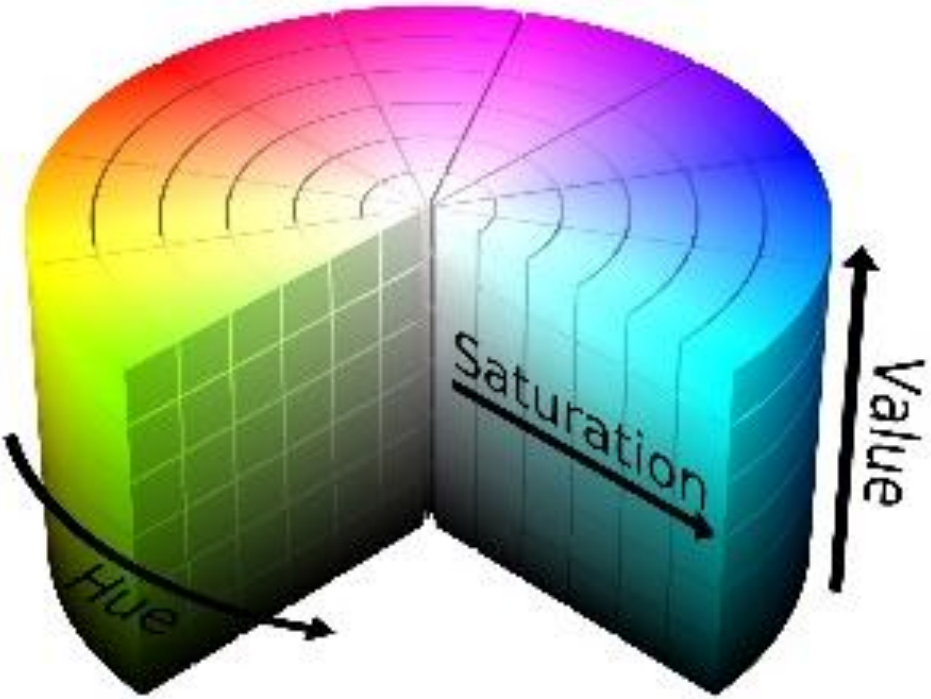
Tonalità, Saturazione, Luminosità

Biomassa digitale, Area fogliare 3D

Area totale dell'involuppo convesso

Volume e altezza della pianta, area fogliare e variazioni strutturali nel tempo. Indici spettrali dello stato di salute della pianta (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index, NPCI-Normalized Pigment Chlorophyll Index, PSRI-Plant Senescence Reflectance Index)

HSV Color Space



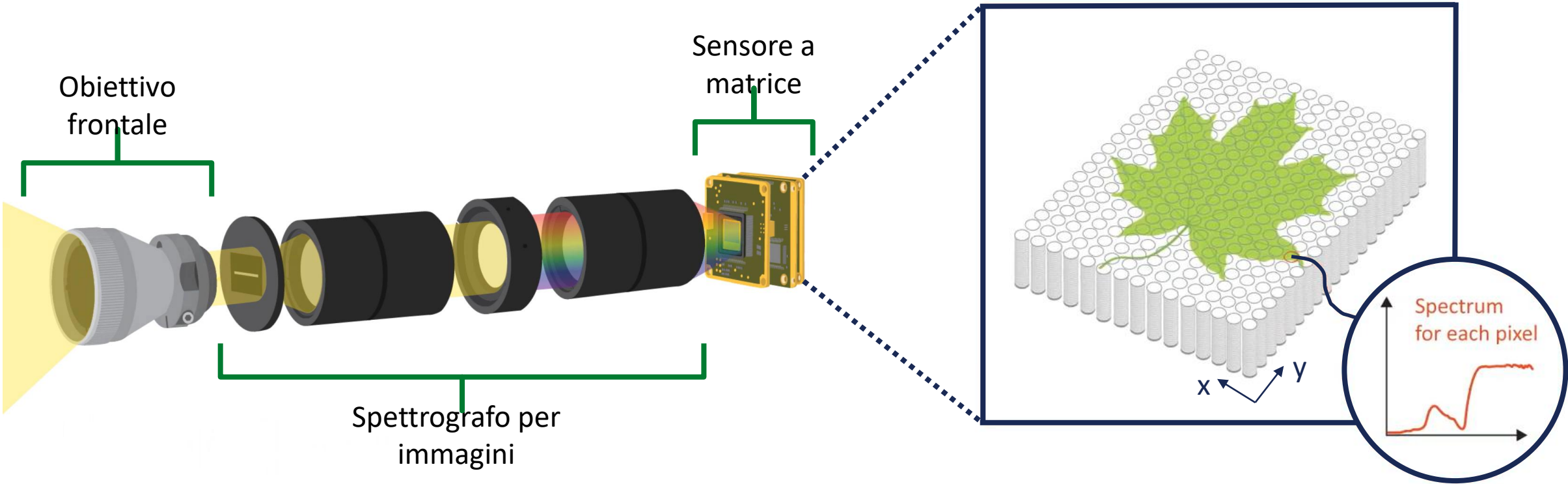
Metodi di fenotipizzazione utilizzati

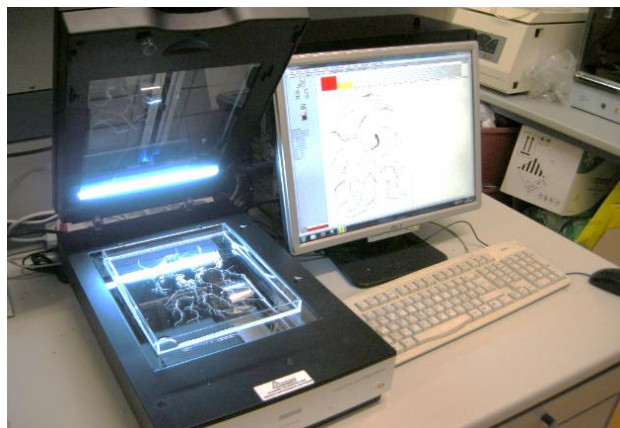
Intra-Leaf Hyperspectral Analysis:
fornisce dati sulle caratteristiche
spettrali delle piante

Specim IQ

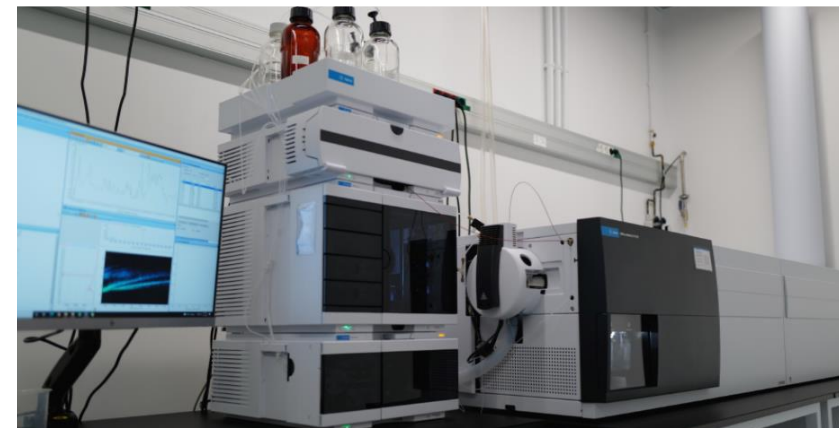
Panoramica generale e funzionalità

Caratteristica	Valore
Gamma di lunghezze d'onda	400-1000 nm (VIS-NIR)
Risoluzione spettrale	204 bande da 7 nm
Risoluzione spaziale	512 x 512 pixel
Dimensioni e peso	207 x 91 x 74 mm; 1,3 kg





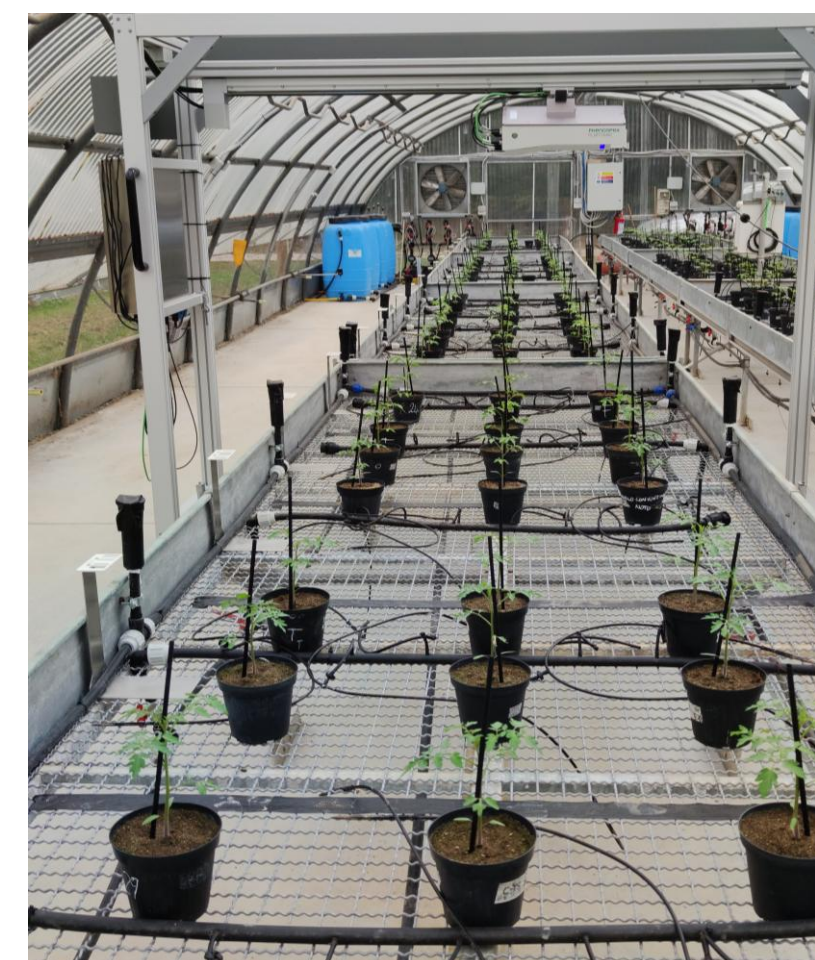
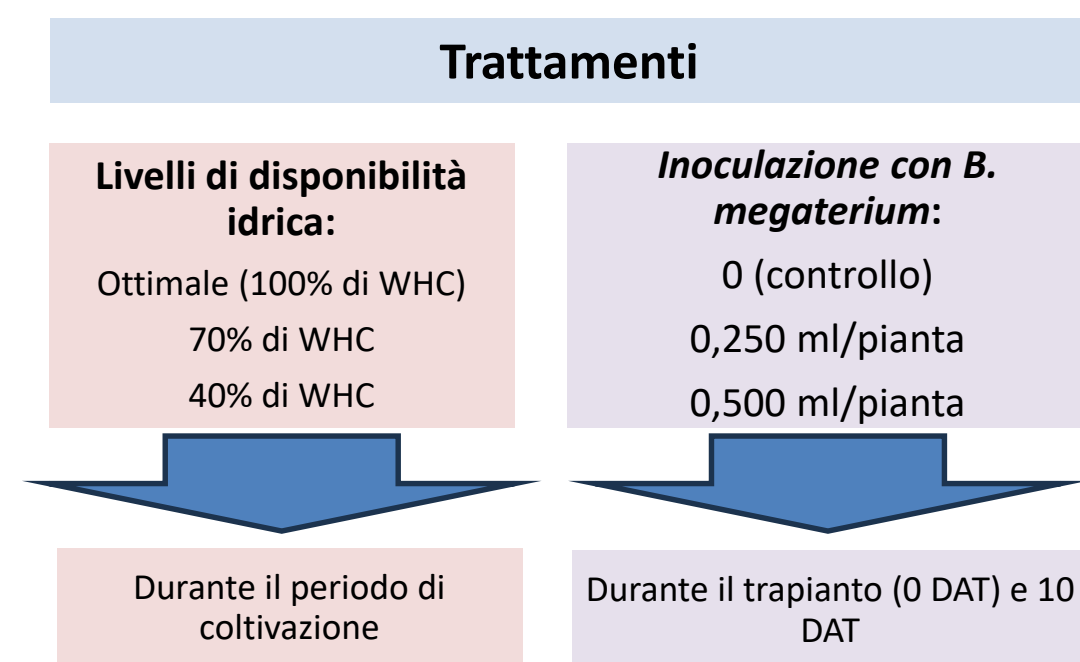
+



Agilent 6560 Ion mobility qTOF (Olobion)

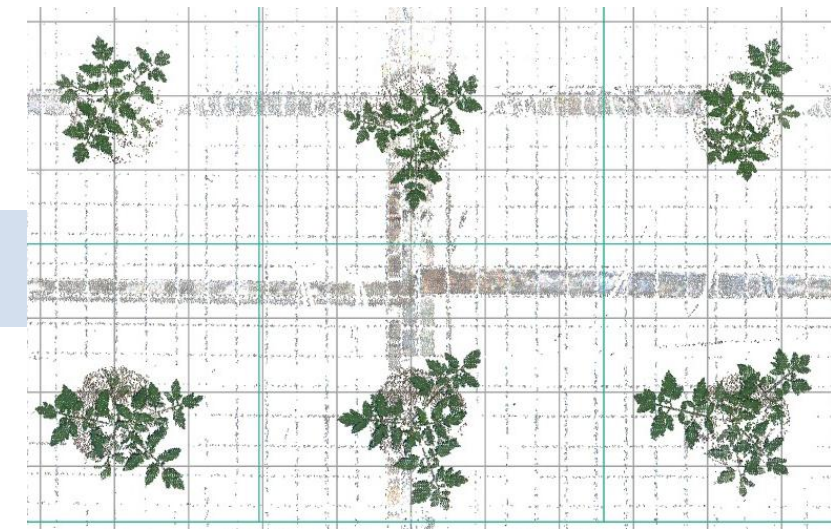
Enhancing tomato drought tolerance through beneficial *Bacillus megaterium*: an omics-based approach (in preparazione). Cardarelli M., Leporino M., Bonini P., Angi L., Colla G.

- **Pomodoro** (*Solanum lycopersicum* L. ibrido Pralya, Sais Sementi, Italy) in vaso (60% sabbia e 40% suolo, v:v)
- ***B. megaterium*-based biostimulant** (5×10^9 UFC/ml per ceppo, MHBM06 e MHBM77; Atens-Agrotecnologias Naturales SL, Tarragona, Spain).



Di seguito si riporta la sintesi dei risultati senza tabelle/figure per quelle prove i cui dati non sono ancora stati pubblicati.

RISULTATI



Lo stress idrico influenza in modo differenziato la morfologia radicale: se da un lato riduce significativamente la lunghezza complessiva delle radici, dall'altro induce un aumento della ramificazione, probabilmente come strategia adattativa per massimizzare l'assorbimento dell'acqua disponibile nel terreno. L'applicazione del biostimolante microbico risulta efficace nel modulare queste risposte, favorendo un maggiore allungamento radicale e un incremento del numero di apici, suggerendo un effetto stimolante sulla crescita radicale e sulla capacità esplorativa del sistema radicale anche in condizioni di stress. Analogamente, la biomassa digitale, misurata tramite piattaforma multispettrale, mostra un aumento in seguito all'inoculazione, indipendentemente dalla disponibilità idrica. Questo dato indica che il biostimolante microbico non solo promuove lo sviluppo radicale, ma ha anche effetti positivi sulla crescita complessiva della pianta, suggerendo un miglioramento dell'accumulo di biomassa vegetativa e della vigoria, anche in situazioni di limitata disponibilità idrica. Dal punto di vista fisiologico, il Normalized Pigment Chlorophyll Index (NPCl), indice che riflette lo stress pigmentario e la degradazione della clorofilla, risulta più elevato nelle piante non inoculate e sottoposte a forte stress idrico. Questo suggerisce che l'assenza di inoculazione comporta una maggiore suscettibilità allo stress, con un aumento della degradazione dei pigmenti fotosintetici, mentre le piante trattate con il biostimolante mantengono valori di NPCl più bassi, indicativi di una migliore conservazione della clorofilla e, quindi, di una maggiore capacità fotosintetica. Nel complesso, questi risultati evidenziano come l'inoculazione microbica possa modulare sia le risposte morfologiche che fisiologiche delle piante, mitigando gli effetti negativi dello stress idrico e migliorando la crescita e la funzionalità del sistema radicale e della biomassa vegetativa.

40% WHC → 100% WHC

+ *B. megaterium* 0.500 mg/plant

$\log_2(\text{FC}) \pm 1$

Metabolomics

Metabolite name	NPClassifier Superclass	NPClassifier Class	FC	$\log_2(\text{FC})$	p-Value
L-Leucine	Others	Others	0.24	-2.03	0.00
3-Met					0.00
(-)-jasr					0.02
Methy					0.01
(S)-tet					0.01
Meta					
Cytara					
Cytosi					
3-unde					
dAMP					
16(17)					
Cytidin					
neolin					
NCGC					
2'-Dec					
isogua					
Guanc					

↑ I **docosanoidi** e i **sesquiterpeni eudesmani** indicano un ruolo cruciale nella segnalazione lipidica e nella risposta sistemica allo stress.

I **nucleosidi pirimidinici** e i **derivati delle purine** suggeriscono l'attivazione della sintesi e della riparazione di RNA/DNA, indicando un processo di recupero cellulare o di turnover molecolare.

Pomodoro su sabbia (Syrope F1)

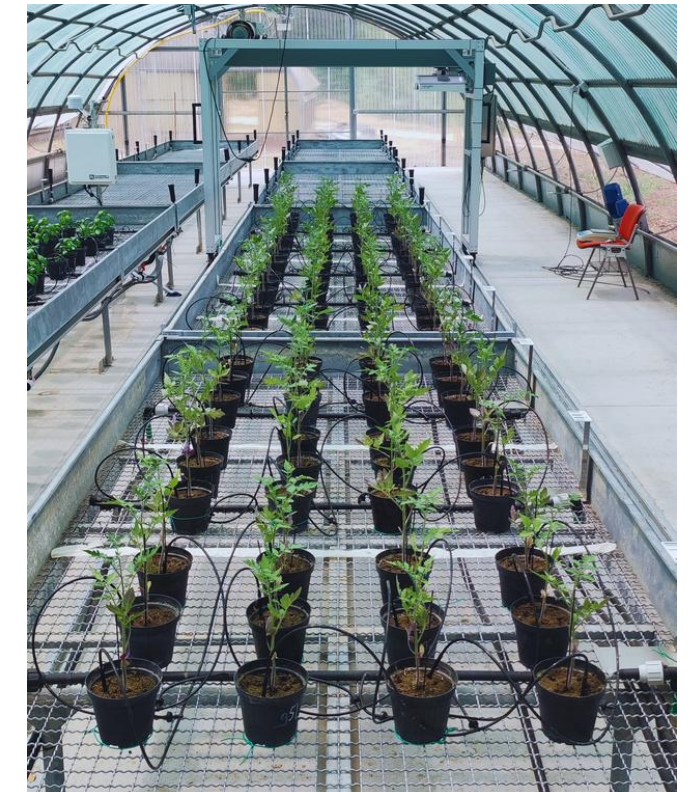
Irrigazione è stata sospesa e poi ripristinata quando le piante mostravano sintomi di deficit idrico (inizio appassimento, arricciamento fogliare) (circa al 72% di deplezione).

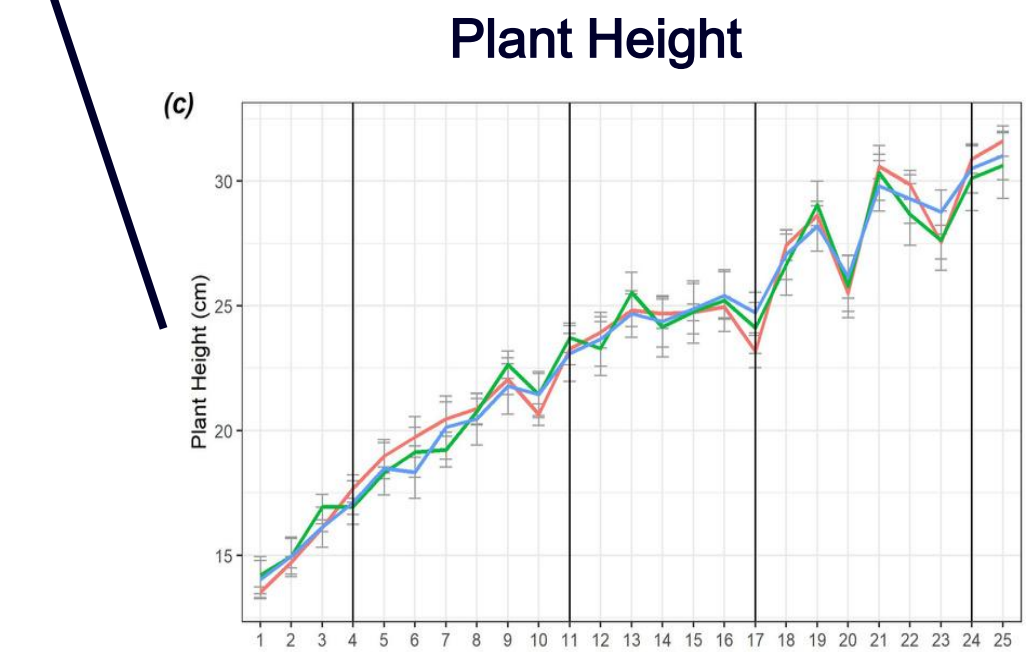
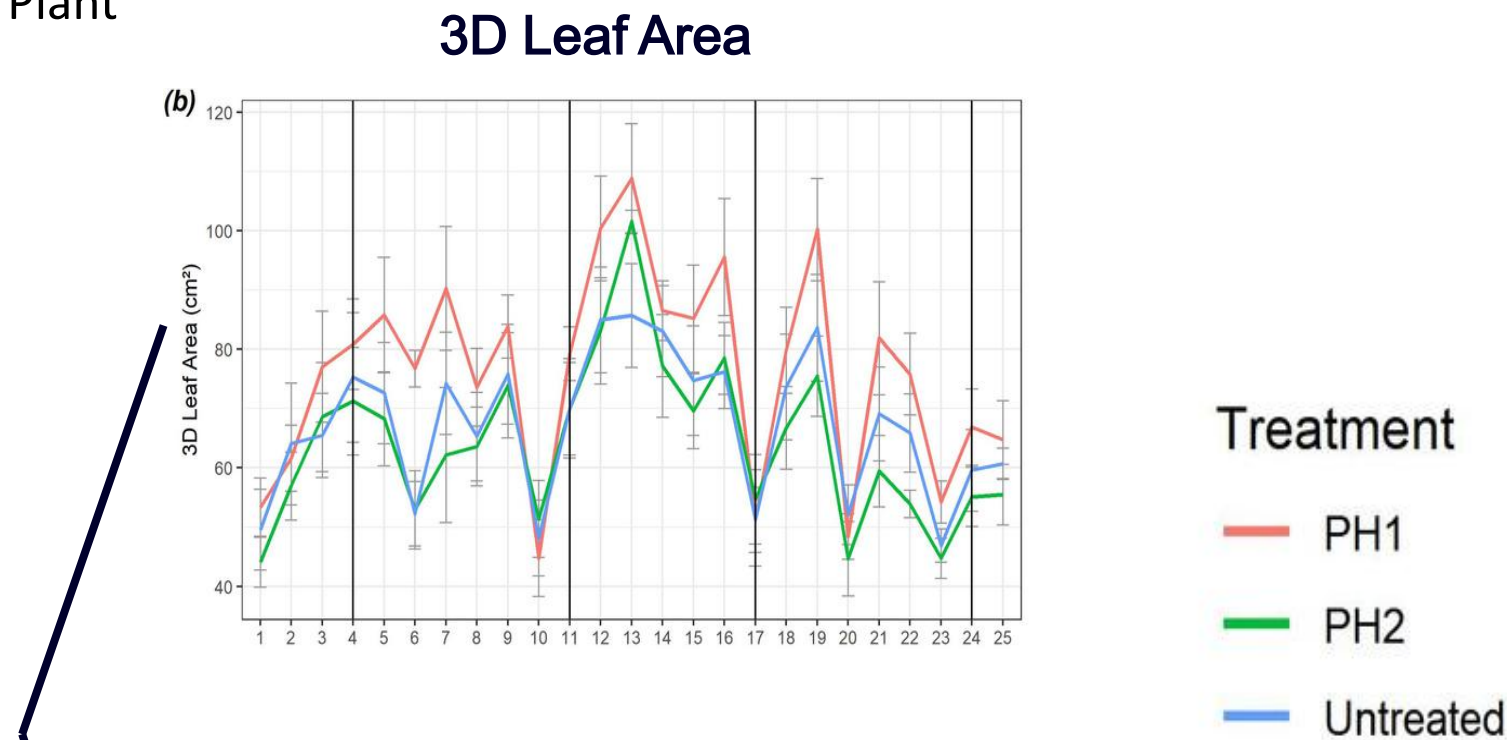
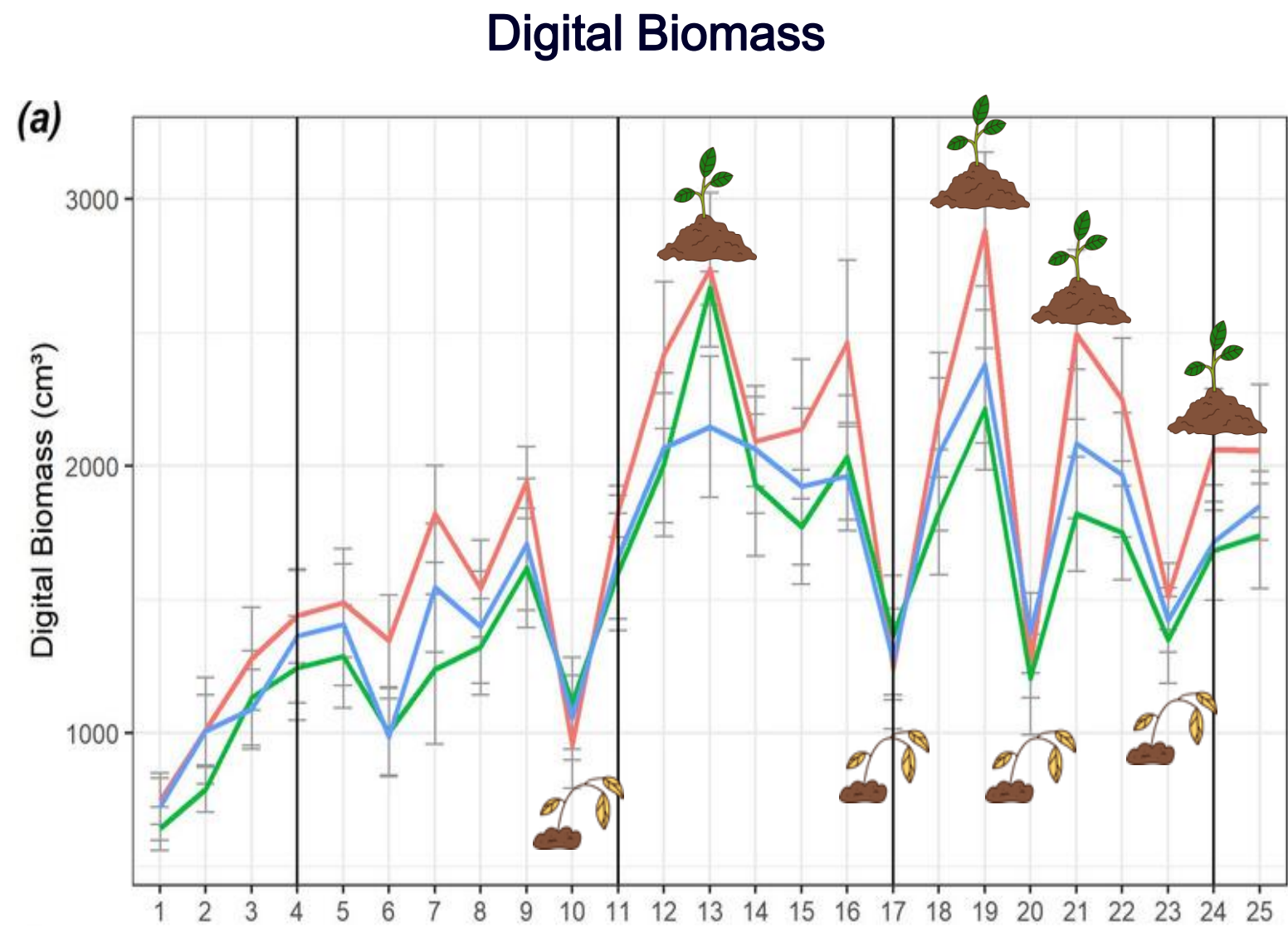
Trattamenti settimanali con idrolizzati proteici:

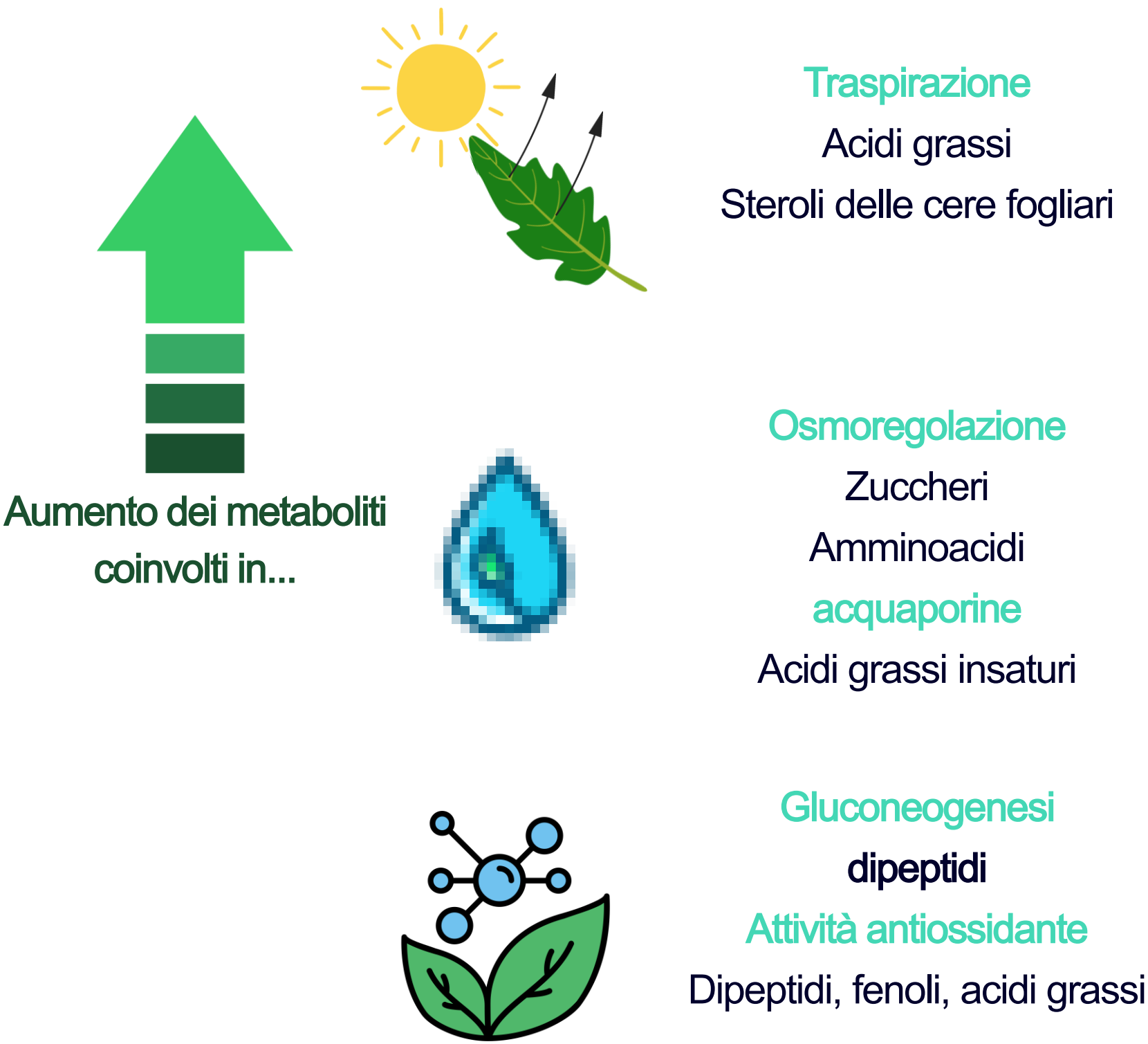
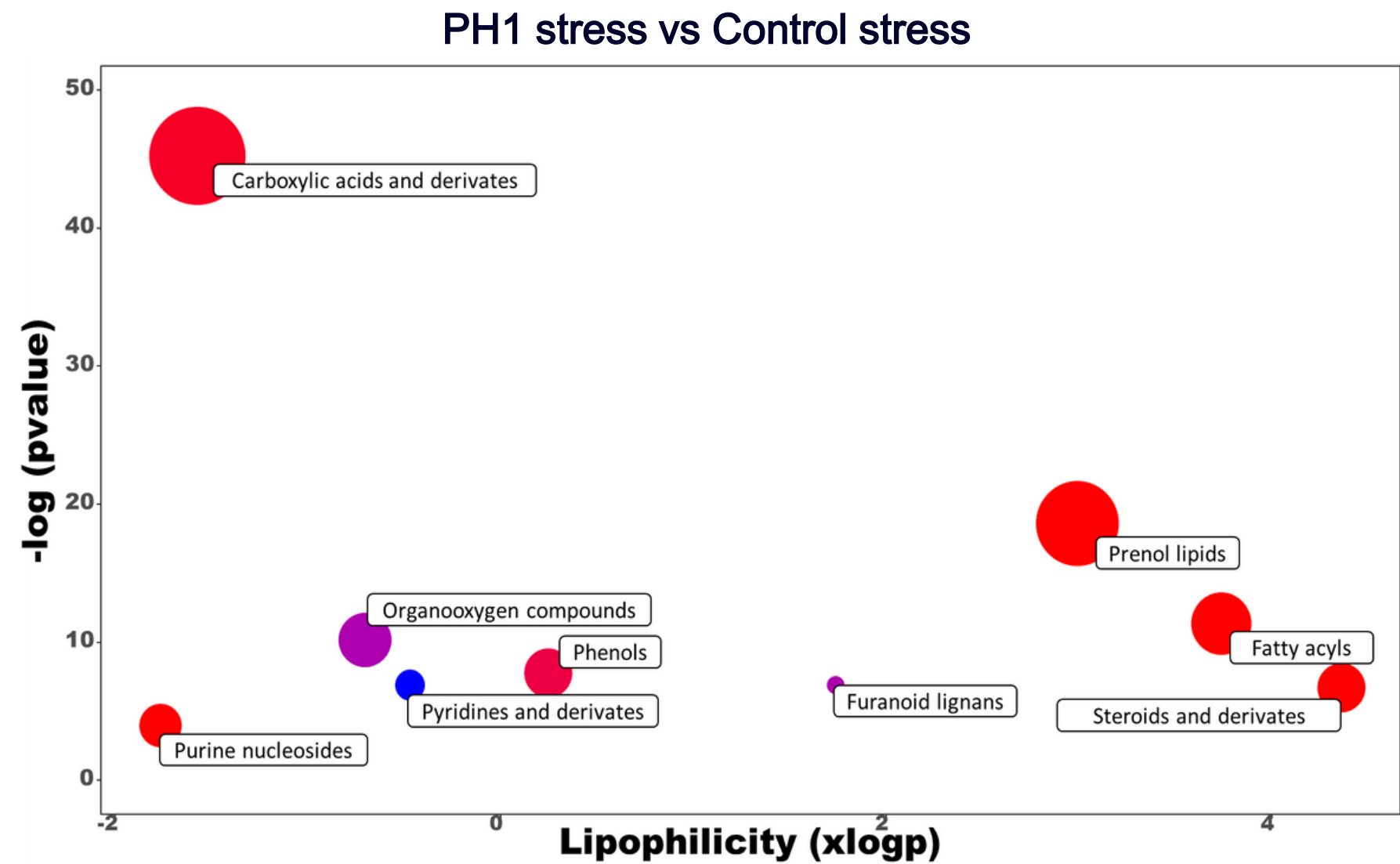
Controllo

Malvaceae (PH1)

Fabaceae (PH2)







SPECIM IQ



E. Cioccolo, M. Cardarelli, A. Colantoni, G. Colla, P. Rossi (submitted). Pixel-level hyperspectral indices for chlorophyll fluorescence and pigment assays in zucchini leaves across compost treatments, Smart Agricultural Technology (2025)

Imaging Iperspettrale

I pigmenti e la struttura fogliare descrivono lo stato di salute della pianta

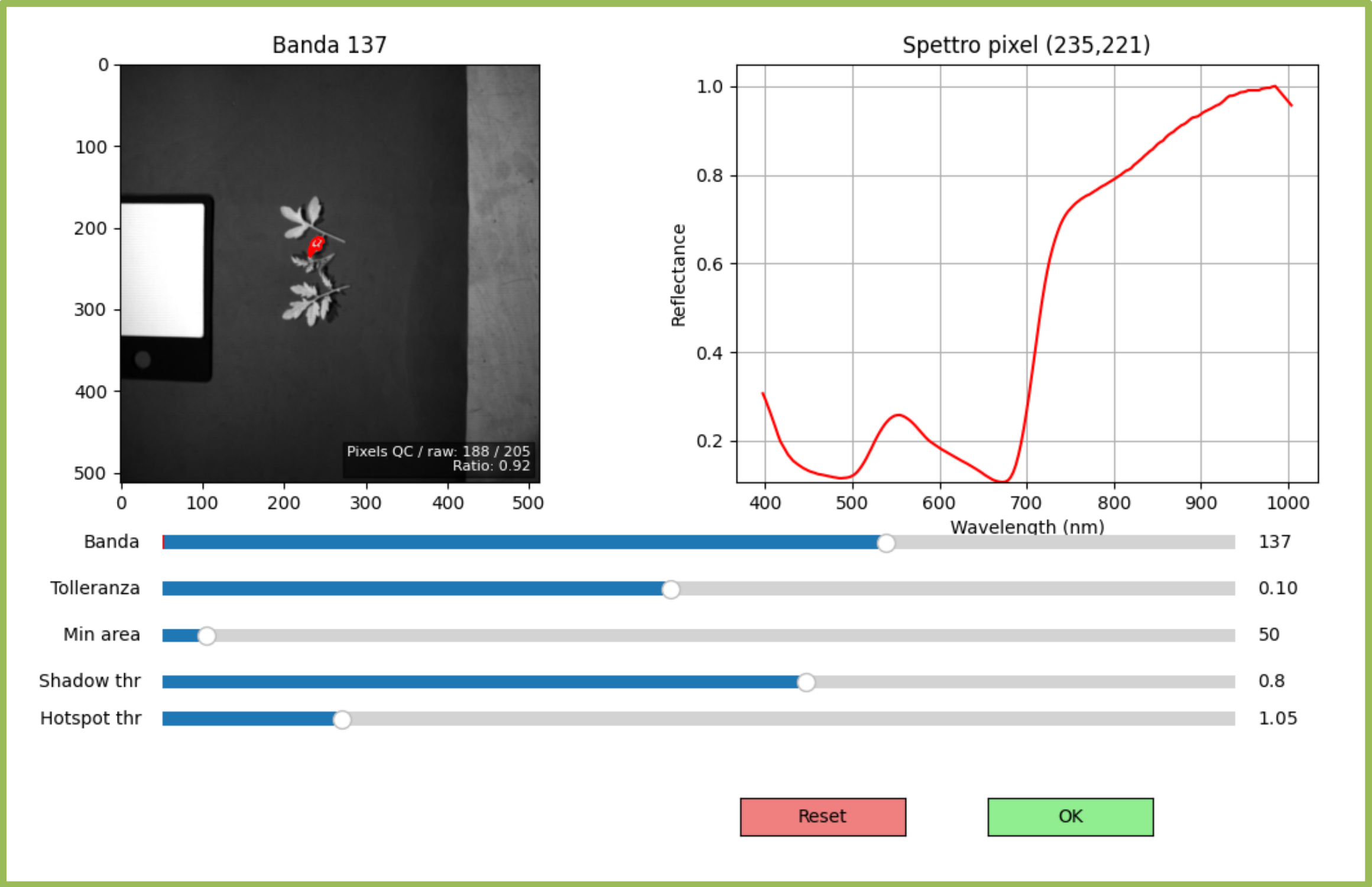
Questi tratti hanno firme spettrali differenti

L'immagine iperspettrale potrebbe produrre risultati diversi in base alle diverse aree della foglia

SPECIM IQ

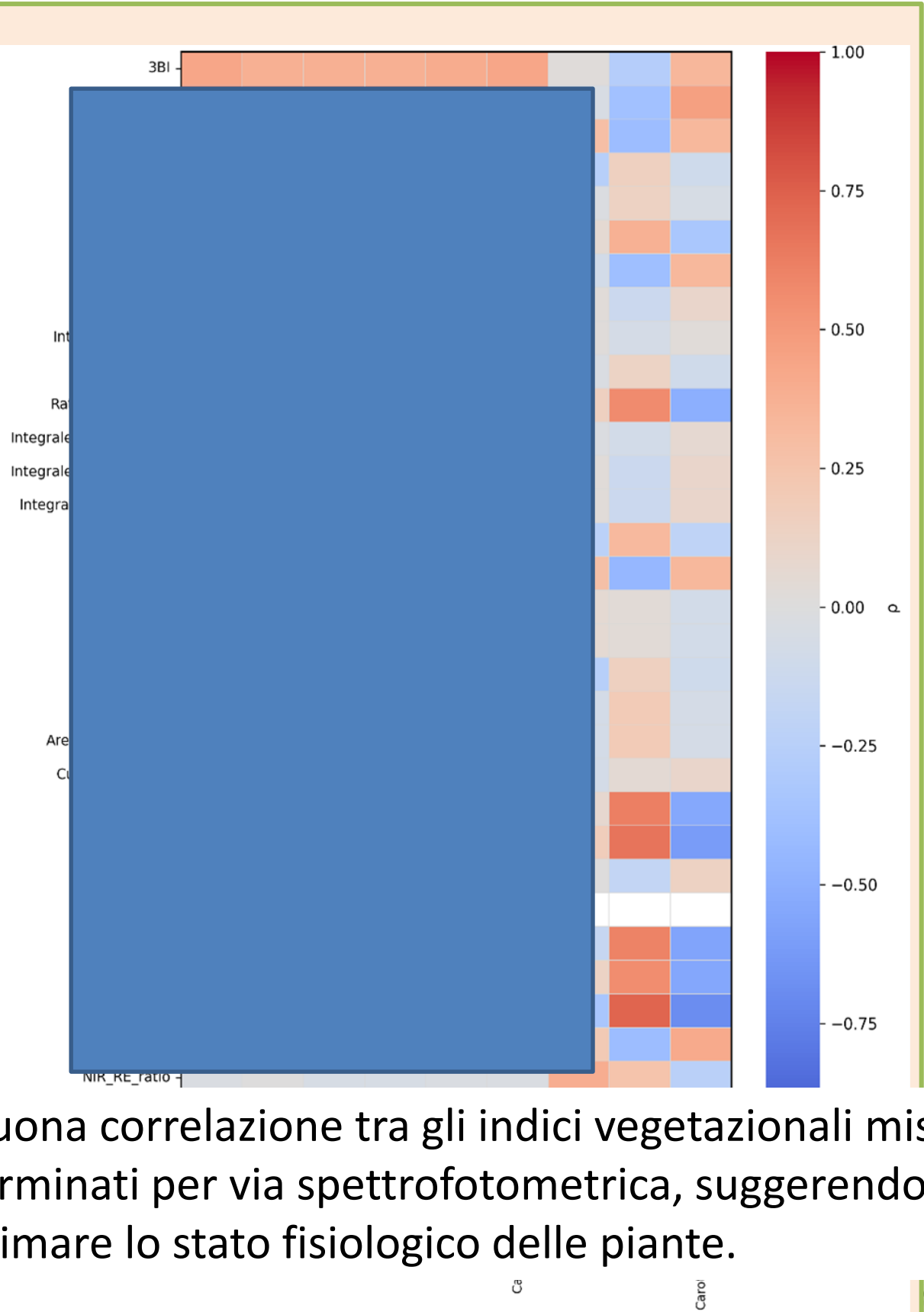


E. Cioccolo, M. Cardarelli, A. Colantoni, G. Colla, P. Rossi (submitted). Pixel-level hyperspectral indices for chlorophyll fluorescence and pigment assays in zucchini leaves across compost treatments, Smart Agricultural Technology (2025)

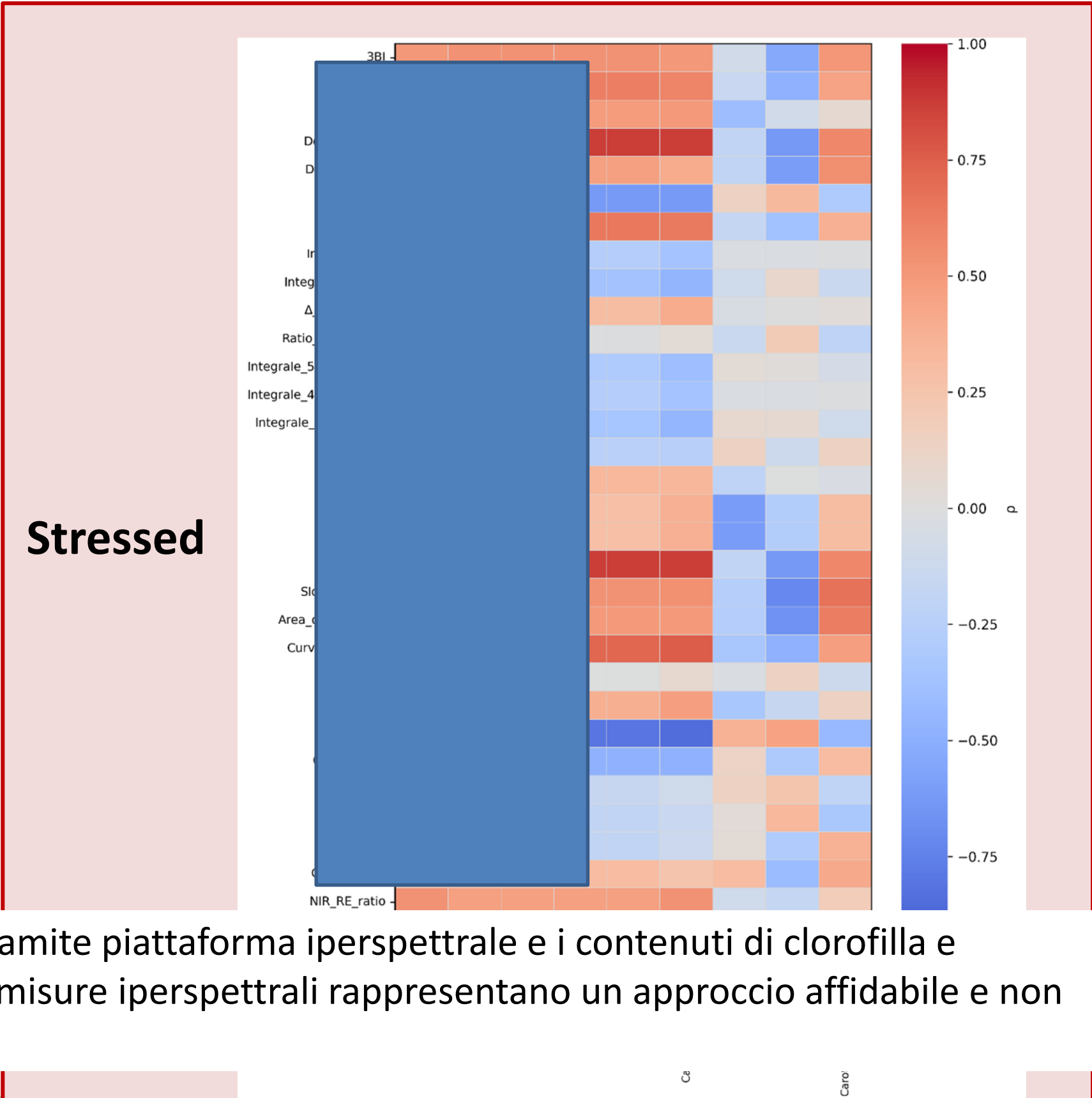


Correlazioni degli indici vs clorofilla e carotenoidi

No stressed



Stressed



Si osserva una buona correlazione tra gli indici vegetazionali misurati tramite piattaforma iperspettrale e i contenuti di clorofilla e carotenoidi determinati per via spettrofotometrica, suggerendo che le misure iperspettrali rappresentano un approccio affidabile e non distruttivo per stimare lo stato fisiologico delle piante.

CONCLUSIONI

- ❖ I biostimolanti aiutano a gestire lo stress abiotico.
- ❖ La fenomica consente di rilevare risposte precoci delle piante a stress e trattamenti.
- ❖ Esistono diversi strumenti di fenotipizzazione, con applicazioni differenti:
 - **imaging multispettrale** cattura solo poche bande discrete (rosso, verde, blu, NIR)
 - **imaging iperspettrale** cattura centinaia di bande strette lungo lo spettro (profilo molto dettagliato della riflettanza)
- ❖ La metabolomica permette di comprendere come le condizioni ambientali influenzano i processi metabolici delle piante.