

Applicazione mobile per un'irrigazione SMART

Livia Paleari, Chiara Rusconi,
Domenico Caterino, Roberto Confalonieri

livia.paleari@unimi.it



PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16
OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»



PSR
2014 2020
LOMBARDIA
L'INNOVAZIONE
METTERADICI



Regione
Lombardia

Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali



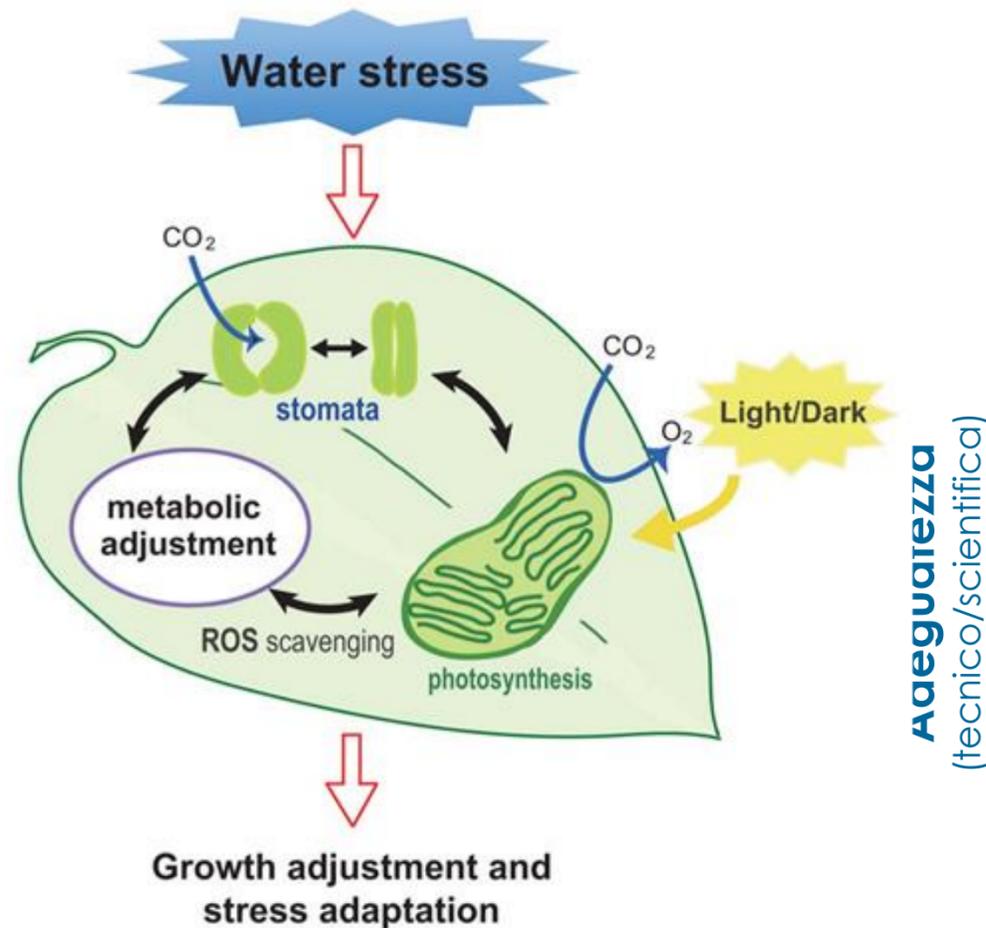
Cassandra
models for change



Richiedente del progetto è Distretto della Filiera Cerealicola Lombarda, in collaborazione con CO.PR.A., COMAB, Società Cooperativa Agricola, UNIMI-ESP e Agricola 2000.

Introduzione

- **Migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua** è fondamentale per la sostenibilità dei sistemi agricoli
- Sistemi per la **diagnosi precoce dello stress idrico**
- **Problemi di applicabilità e adeguatezza a contesti operativi**



Fonte: Osakabe et al., 2014

Adeguatezza (tecnico/scientifica)	Alta	Misuratori di conduttanza stomatica Metabolismo 1ario → 2ario	?
	Bassa	Reti di sensori di umidità del suolo	Telerilevamento IR Simulatori
		Bassa	Alta
		Applicabilità	



Architettura fogliare e stress idrico

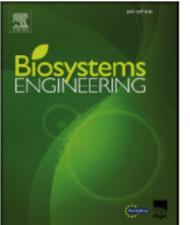
BIOSYSTEMS ENGINEERING 164 (2017) 1-12



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/issn/15375110



Research Paper

PocketPlant3D: Analysing canopy structure using a smartphone



Roberto Confalonieri ^{a,*}, Livia Paleari ^a, Marco Foi ^b, Ermes Movedi ^c, Fosco M. Vesely ^a, William Thoelke ^{a,d}, Cristina Agape ^d, Giulia Borlini ^d, Irene Ferri ^d, Federico Massara ^d, Roberto Motta ^d, Riccardo A. Ravasi ^d, Sofia Tartarini ^d, Camilla Zoppolato ^d, Luca M. Baia ^d, Andrea Brumana ^d, Davide Colori ^a, Andrea Gero ^a, Francesco Nicolini ^a, Michele Salvati ^a

Biosystems Engineering 238 (2024) 89-93

Contents lists available at ScienceDirect

Biosystems Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/issn/15375110

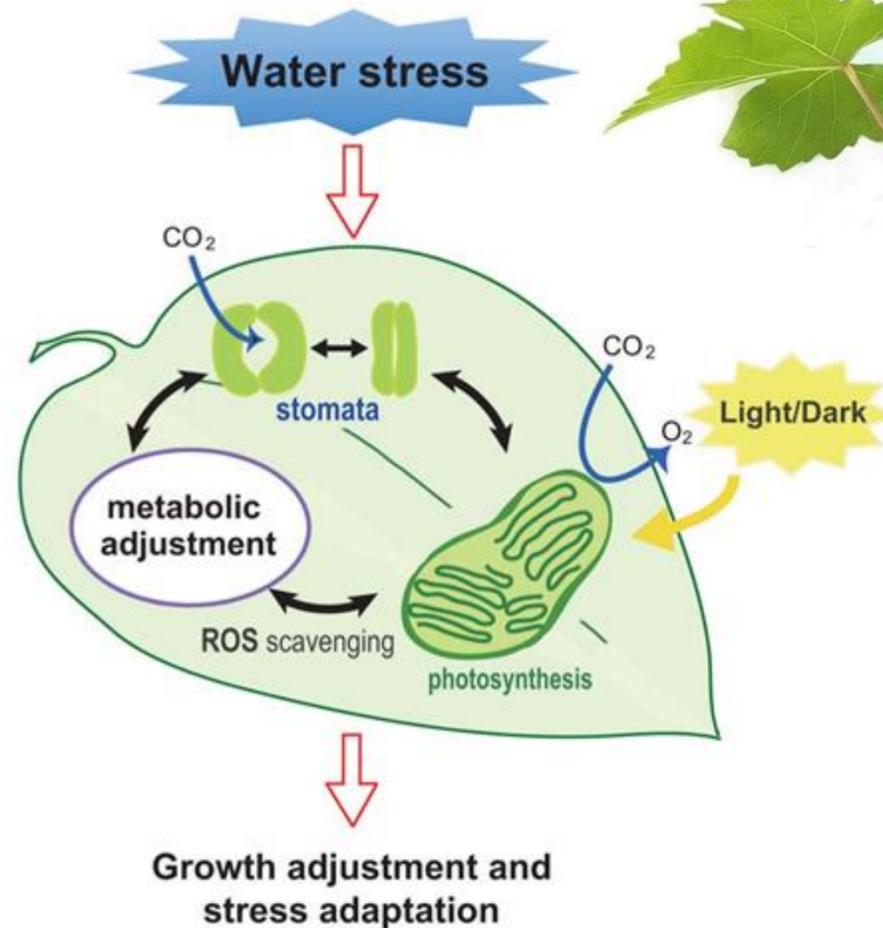
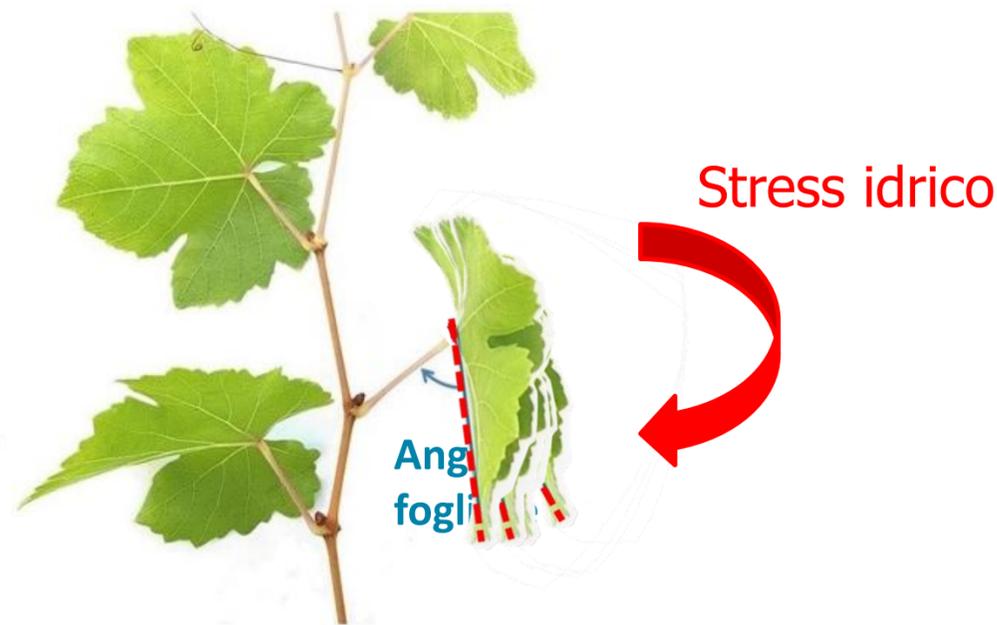


Research Note

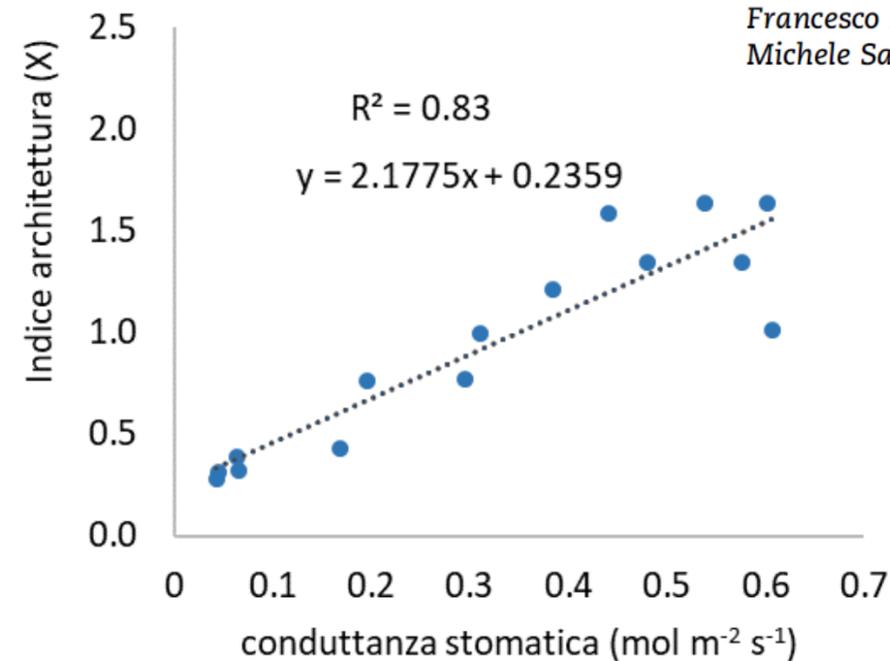
Quantifying water stress in vineyards using a smartphone



Livia Paleari ^{a,**}, Lucio Brancadoro ^b, Chiara Rusconi ^a, Ermes Movedi ^a, Stefano Poni ^c, Martino Bolognini ^b, Davide Modina ^b, Leonardo Cunial ^c, Matteo Gatti ^c, Gabriele Cola ^b, Davide Bianchi ^b, Roberto Confalonieri ^{a,*}



Fonte: Osakabe et al., 2014

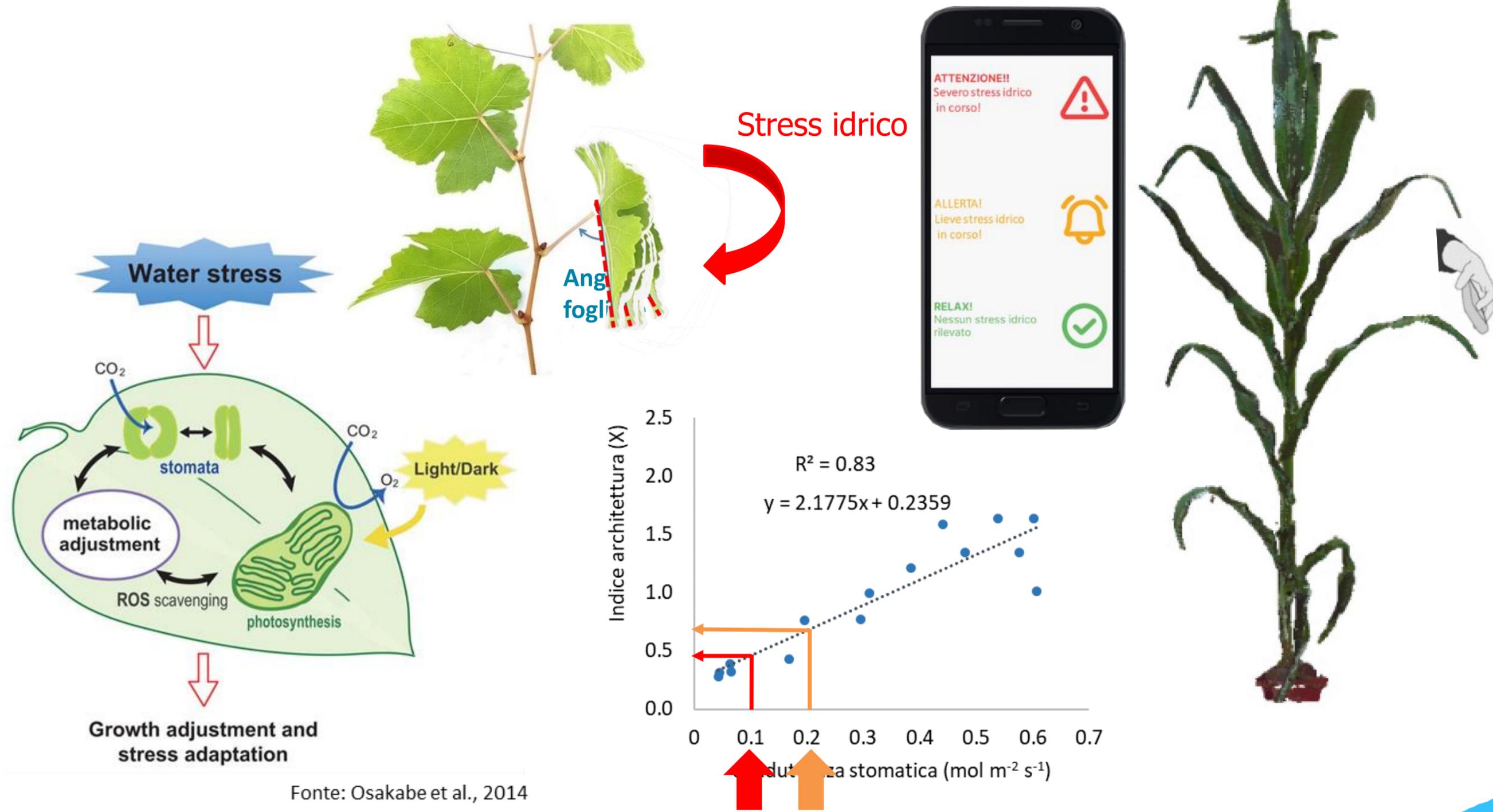


26 NOVEMBRE 2024 | CONVEGNO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Architettura fogliare e stress idrico



Obiettivi

- **Azione 11**

Sviluppo dell'applicazione: → prototipo Android

- **Azione 12:**

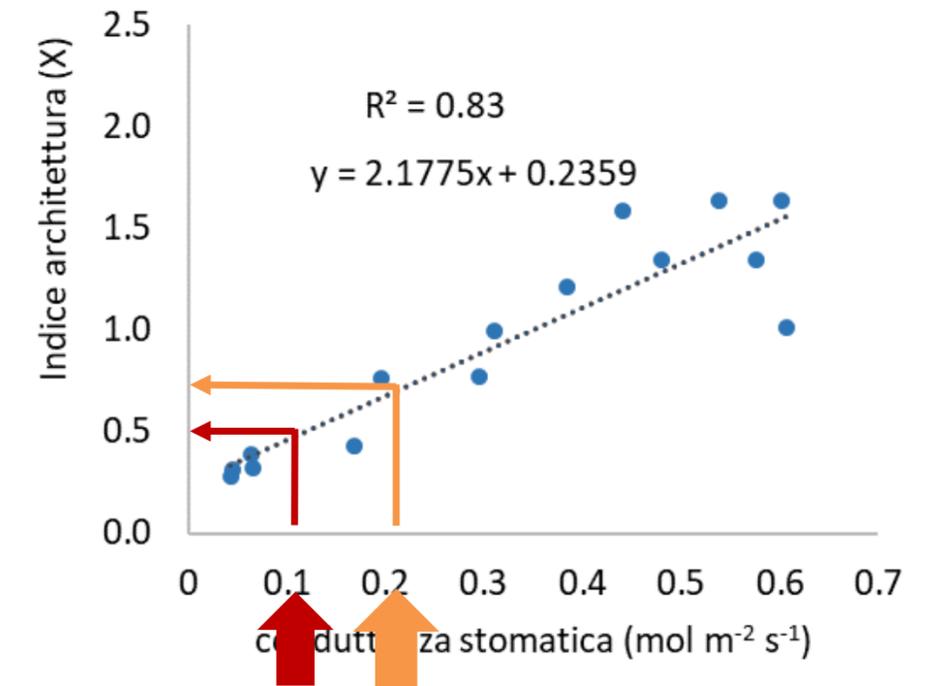
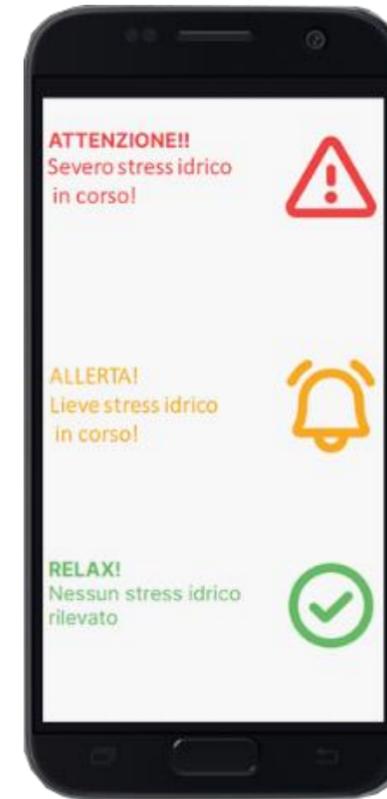
Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomatica

- **Azione 13:**

Identificazione delle soglie di intervento

- **Azione 14:**

Validazione dell'applicazione in pieno campo

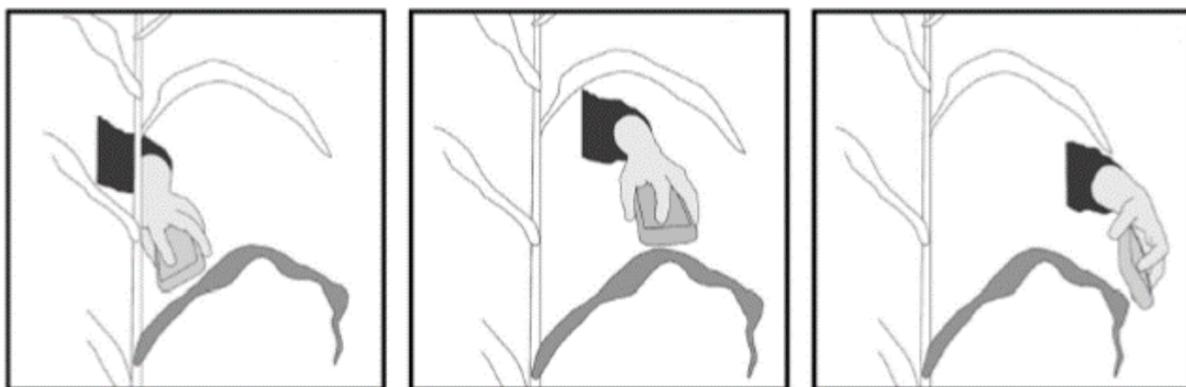


Sviluppo dell'applicazione

- **Criteri**

- ✓ Usabilità
- ✓ Facilità di interpretazione dei risultati

- **Esempio**



26 NOVEMBRE 2024 | CONVEGNO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Sviluppo dell'applicazione

- **Criteri**

- ✓ Usabilità
- ✓ Facilità di interpretazione dei risultati

- **Esempio**



Sviluppo dell'applicazione

- **Criteri**

- ✓ Usabilità
- ✓ Facilità di interpretazione dei risultati

- **Esempio**

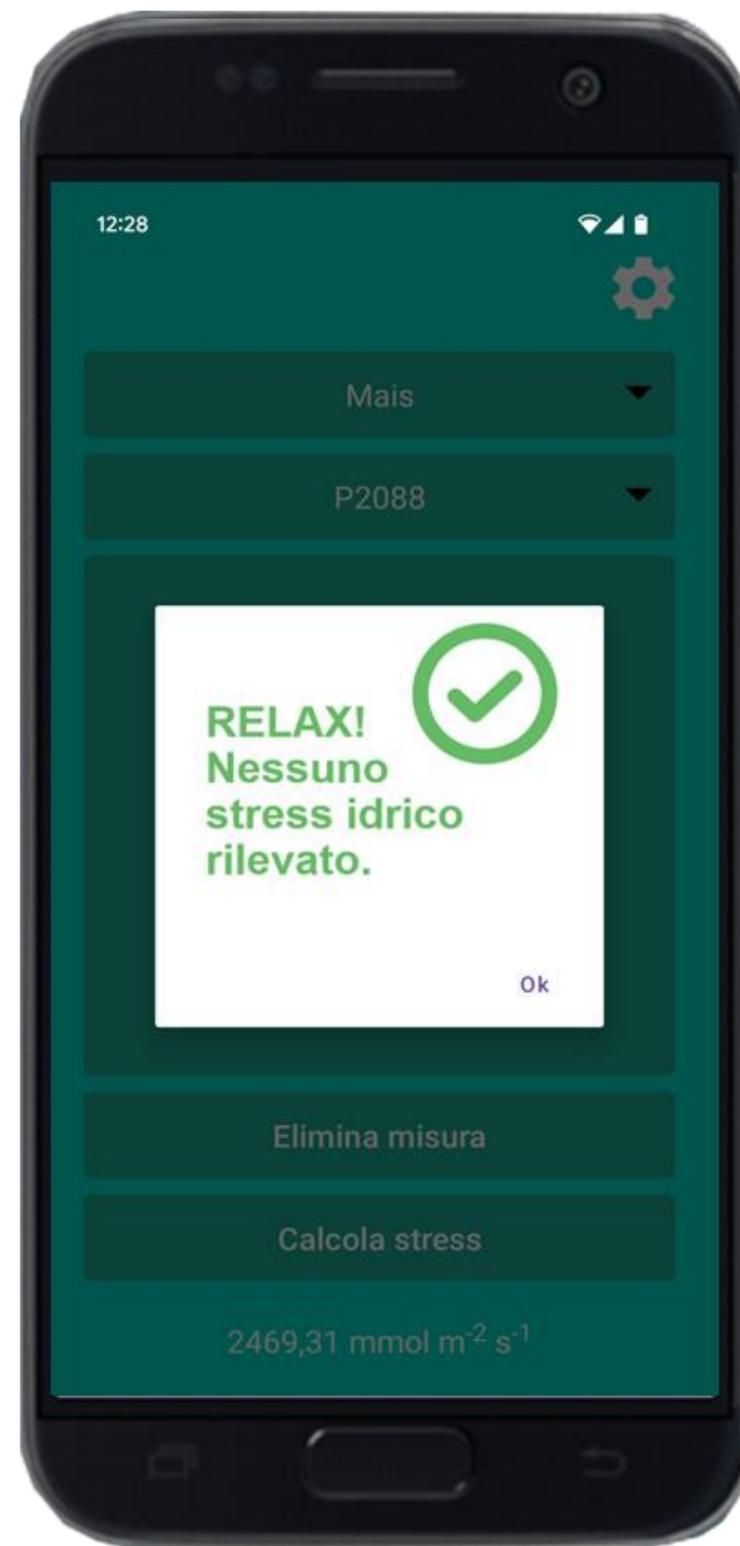


Sviluppo dell'applicazione

- **Criteri**

- ✓ Usabilità
- ✓ Facilità di interpretazione dei risultati

- **Esempio**



Architettura e stress idrico

• Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomatica (Azione 12)

✓ Prova in vaso dedicata

- 3 genotipi (P0937, P1096, P2088)
- 2 livelli di trattamento idrico (ben irrigato, stress crescente)
- Schema sperimentale: split-plot (trattamento nella parcella principale, genotipo in quella splittata), 3 blocchi
- Rilievi in più momenti del ciclo (V7-V8, V9-V10, fioritura(...))

✓ Ad ogni rilievo, sono state condotte misure di:

- Conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con CIRAS e Licor600 (ultima foglia completamente espansa e quella sottostante)
- Architettura della pianta con la app sviluppata



Architettura e stress idrico

- Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomat

- ✓ Analisi degli outliers (Grubbs, Cochran)

- ✓ Calcolo di variabili in grado di caratterizzare diversi aspetti architeturali della coltura (Confalonieri et al. 2017; Yang et al., 2021)

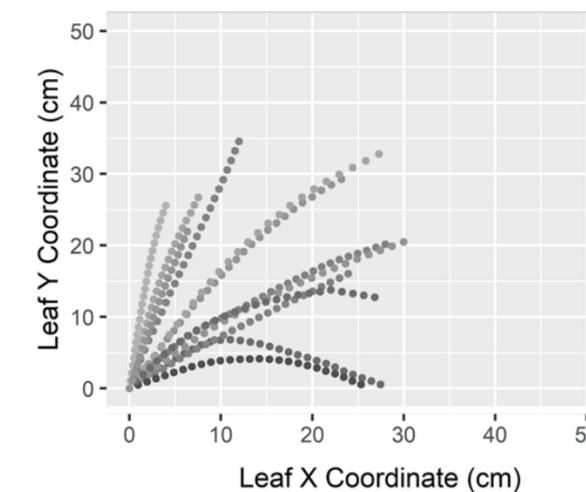
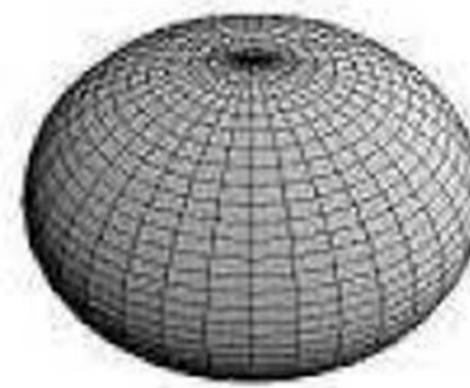
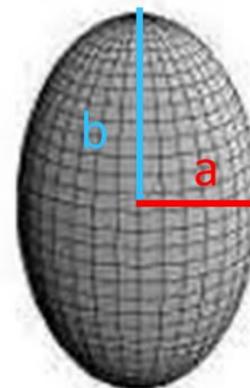
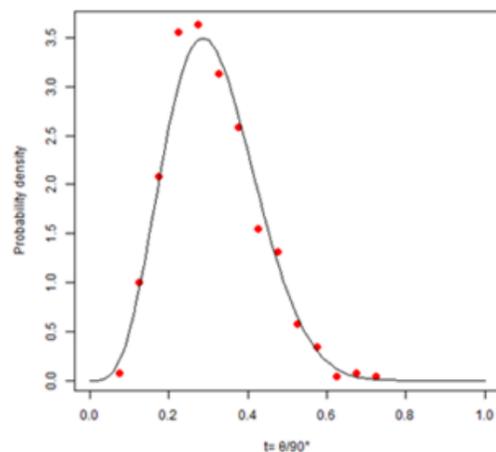
- **A livello di foglia:** angolo di inserzione fogliare; indice di curvatura della foglia (Bending Index); coordinate fogliari in uno spazio cartesiano 2D

- **A livello di pianta:** parametro X della distribuzione ellissoidale di Campbell; coefficiente di estinzione della luce (k); parametri della distribuzione beta; angolo fogliare medio (MTA, *mean leaf tilt angle*); media delle variabili calcolate per foglia:

Angolo di inserzione



Bending index



26 NOVEMBRE 2024 | CONVEGNO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Architettura e stress idrico

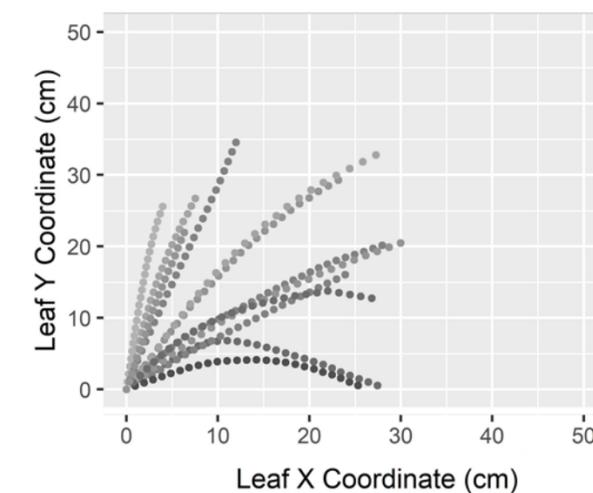
- **Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomat**

- ✓ Analisi degli outliers (Grubbs, Cochran)
- ✓ Calcolo di variabili in grado di caratterizzare diversi aspetti architeturali della coltura (Confalonieri et al. 2017; Yang et al., 2021)
 - **A livello di foglia:** angolo di inserzione fogliare; indice di curvatura della foglia (Bending Index); coordinate fogliari in uno spazio cartesiano 2D
 - **A livello di pianta:** parametro X della distribuzione ellissoidale di Campbell; coefficiente di estinzione della luce (k); parametri della distribuzione beta; angolo fogliare medio (MTA, *mean leaf tilt angle*); media delle variabili calcolate per foglia:
 - aggregazione a livello di pianta intera
 - separatamente per foglie della metà superiore e metà inferiore

Angolo di inserzione



Bending index



Architettura e stress idrico

- **Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomatica (Azione 12)**

- ✓ Regressione lineare multipla *step-wise*

- ✓ Miglior modello regressivo:

$$gs = \beta_0 + \beta_1 BI_{Inf} + \beta_2 BI_{Plant} + \beta_3 LIA_{F2} + \varepsilon$$

Dove:

gs = conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

BI_{Inf} = Bending Index foglie nella metà inferiore della pianta (unitless)

BI_{Plant} = Bending Index medio della pianta (unitless)

LIA_{F2} = angolo di inserzione della foglia sottostante quella apicale (Leaf Insertion Angle, °)

Genotipo	β_0	β_1	β_2	β_3
P0937	185.3	38.8	-32.9	-2.8
P1096	-268.8	-7.5	20.0	3.0
P2088	616.8	28.3	-45.0	23.4

- ✓ **Coefficienti genotipo-specifici**



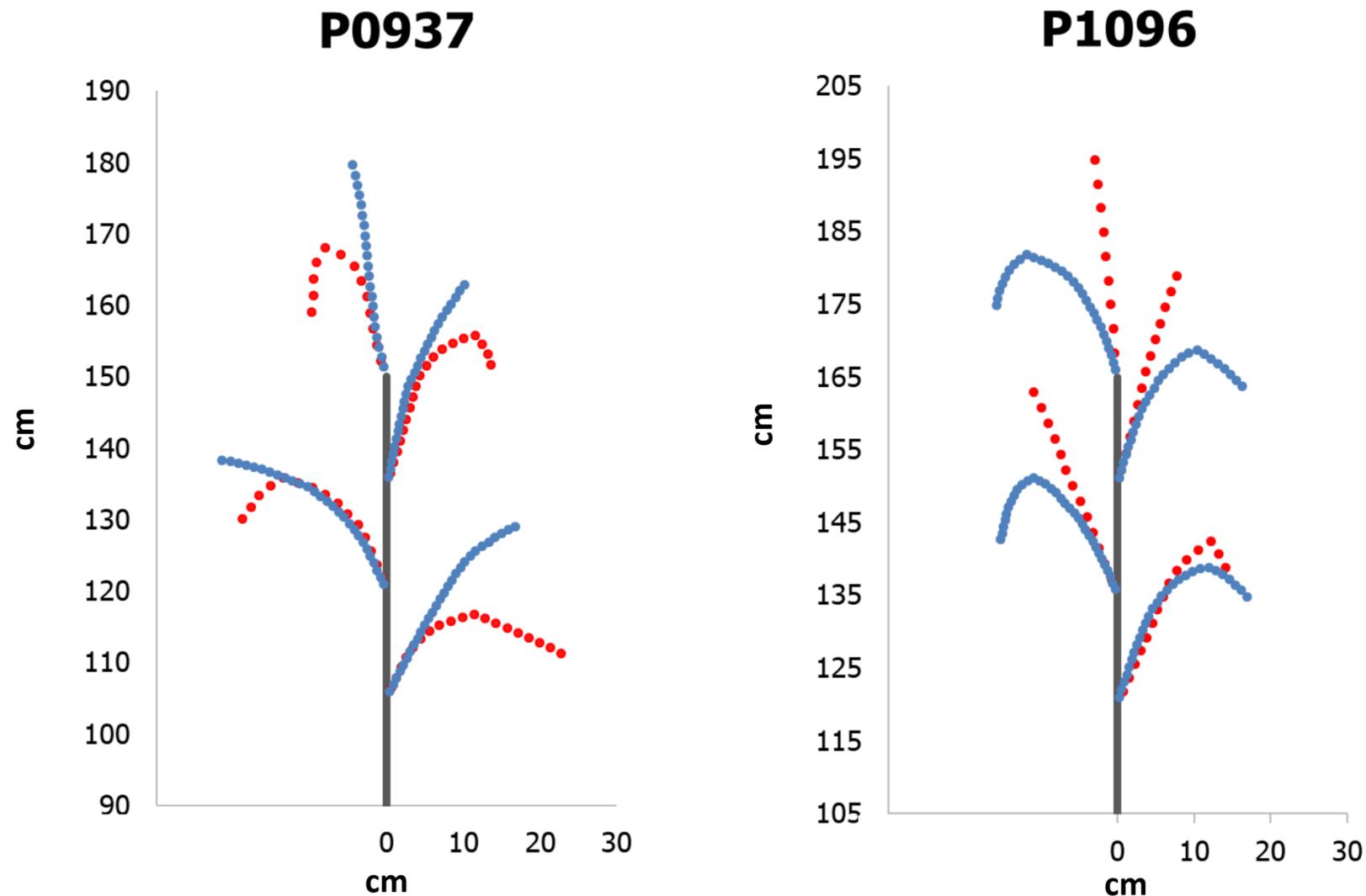
26 NOVEMBRE 2024 | EVENTO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Architettura e stress idrico

- Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomatica (Azione 12)



Genotipo	β_0	β_1	β_2	β_3
P0937	185.3	38.8	-32.9	-2.8
P1096	-268.8	-7.5	20.0	3.0
P2088	616.8	28.3	-45.0	23.4

- Ben irrigato
- Stress idrico

✓ Coefficienti genotipo-specifici

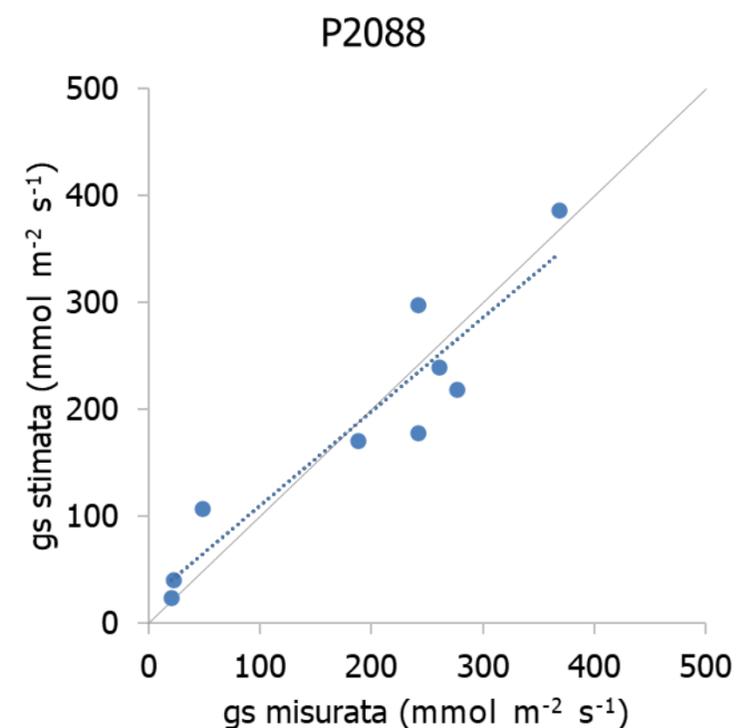
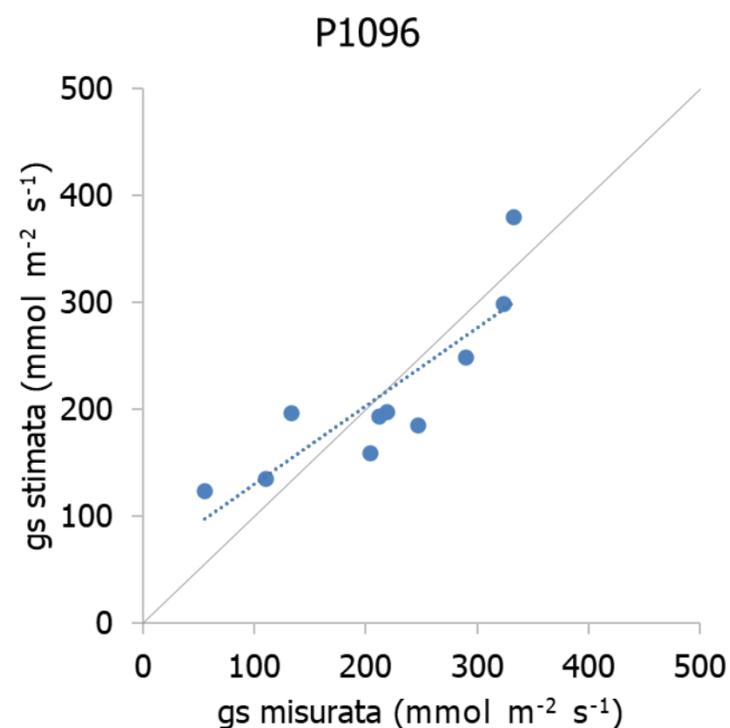
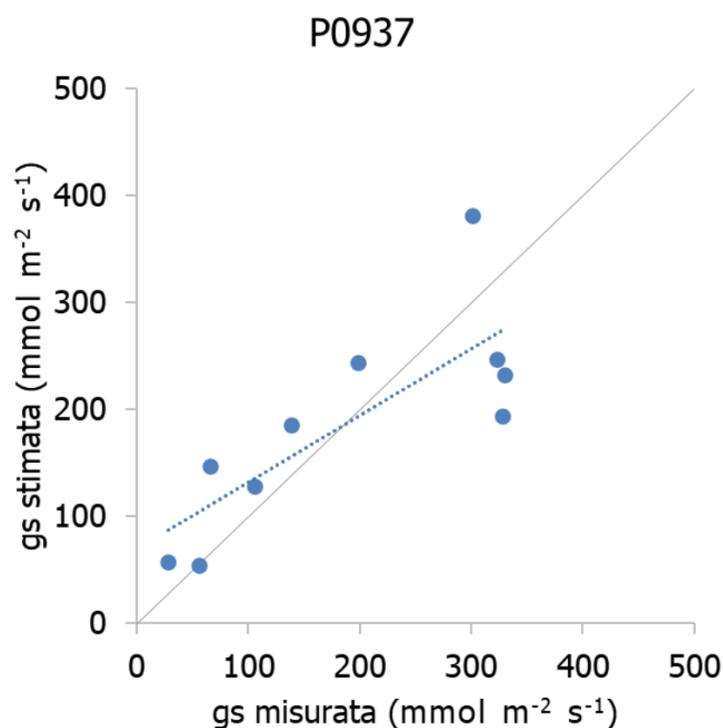


Architettura e stress idrico

• Determinazione della relazione tra architettura 3D della canopy e conduttanza stomatica (Azione 12)

✓ Performance del sistema sviluppato:

Genotipo	MAE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	RRMSE (%)	EF (-)	CRM (-)	R ² (-)	Signif.
P0937	61.61	38.5	0.6	0.0	0.62	**
P1096	41.21	21.2	0.7	0.0	0.73	***
P2088	34.95	22.4	0.9	0.0	0.88	***
Media	45.92	27.4	0.7	0.0	0.74	



26 NOVEMBRE 2024 | EVENTO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Soglie di intervento

- **Identificazione delle soglie di intervento (Azione 13)**

- Il modello regressivo sviluppato nell'Azione 12 permette di stimare la conduttanza stomatica con la app

$$g_s = \beta_0 + \beta_1 BI_{Inf} + \beta_2 BI_{Plant} + \beta_3 LIA_{F2} + \varepsilon$$

- ...ma per fornire una diagnosi immediata di eventuale stress idrico servono **valori soglia di conduttanza stomatica** di confronto
- Soglie definite tramite analisi di letteratura:
 - ✓ **Stress lieve: $g_s < 130 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$**
 - ✓ **Stress moderato: $g_s < 100 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$**
 - ✓ **Stress severo: $g_s < 50 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$**



Test in pieno campo

- **Validazione dell'applicazione (Azione 14)**

- ✓ Attività stagione 2024

- Monitoraggio in campo con l'applicazione sviluppata
- 6 aziende (MN, BS, CR) con diversi sistemi irrigui
- Dati forniti dalla sensoristica installata in campo (e.g., sonde)



26 NOVEMBRE 2024 | CONVEGNO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

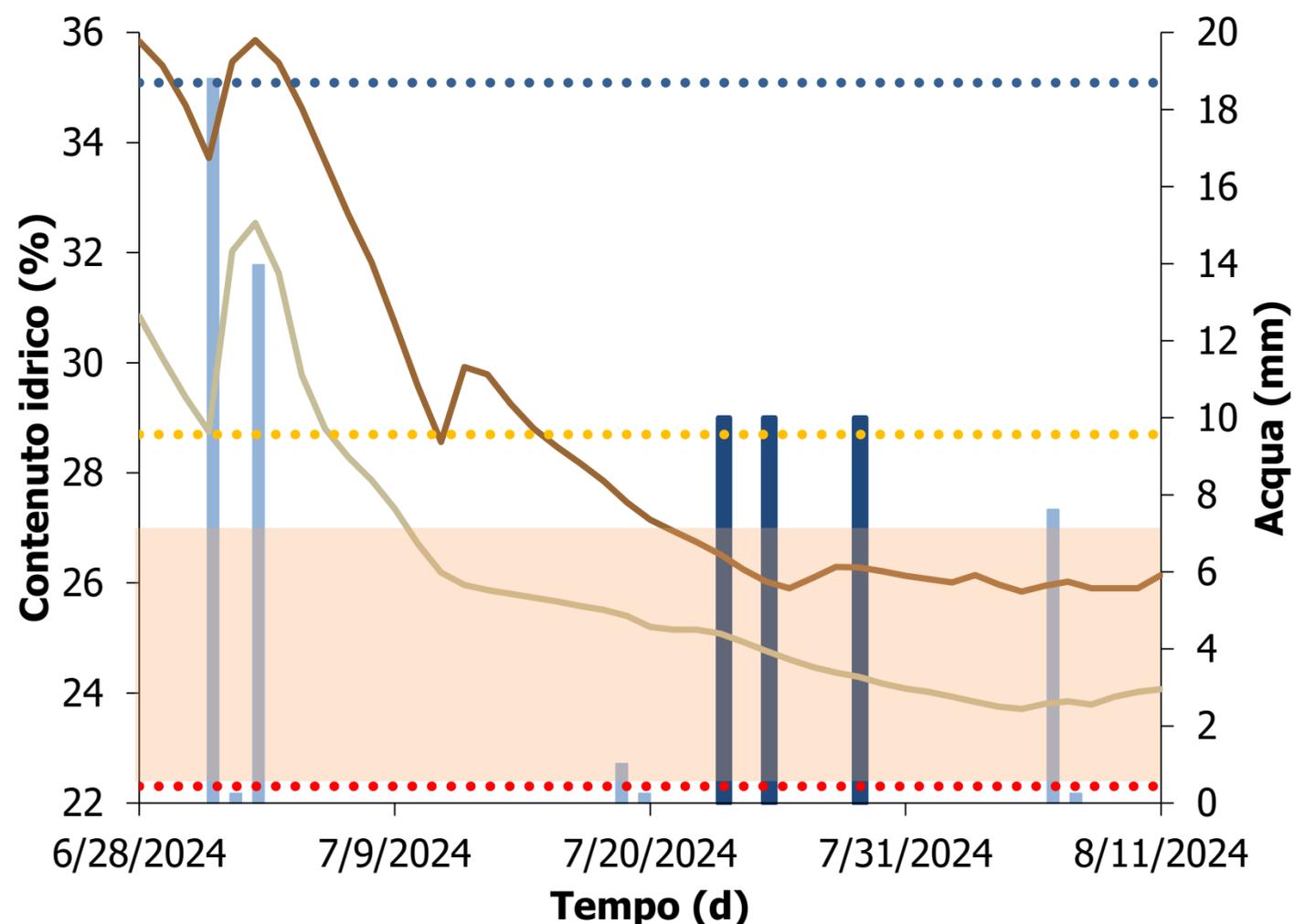
PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»

Test in pieno campo

- **Validazione dell'applicazione (Azione 14)**

✓ Esempio di risultati:

- Varietà: P1096
- 2 uscite (23 e 29 luglio 2024)
- Rilievi con la app in 3 punti entro campo, 3 piante per punto
- Misure anche con strumenti diagnostici (porometro) di confronto

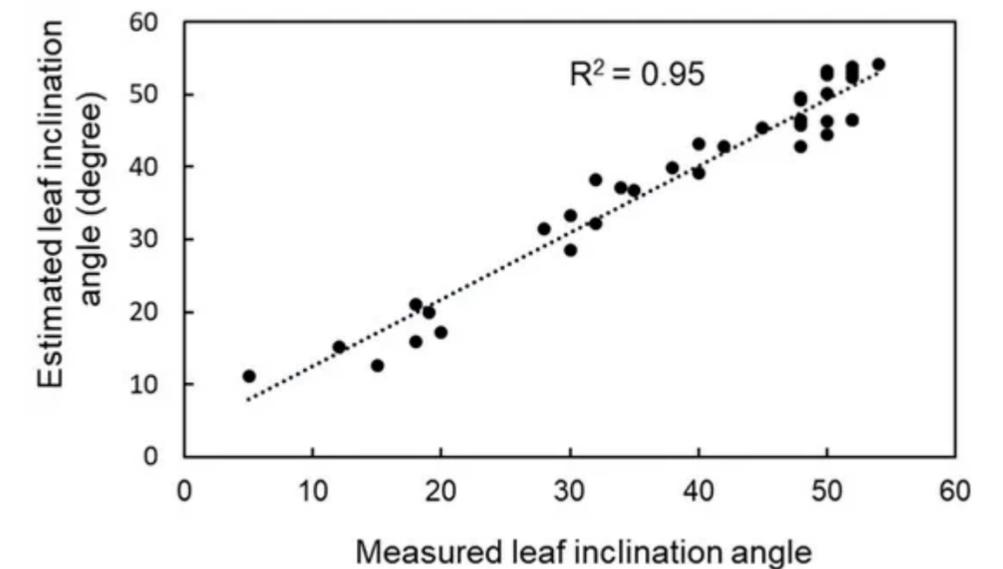
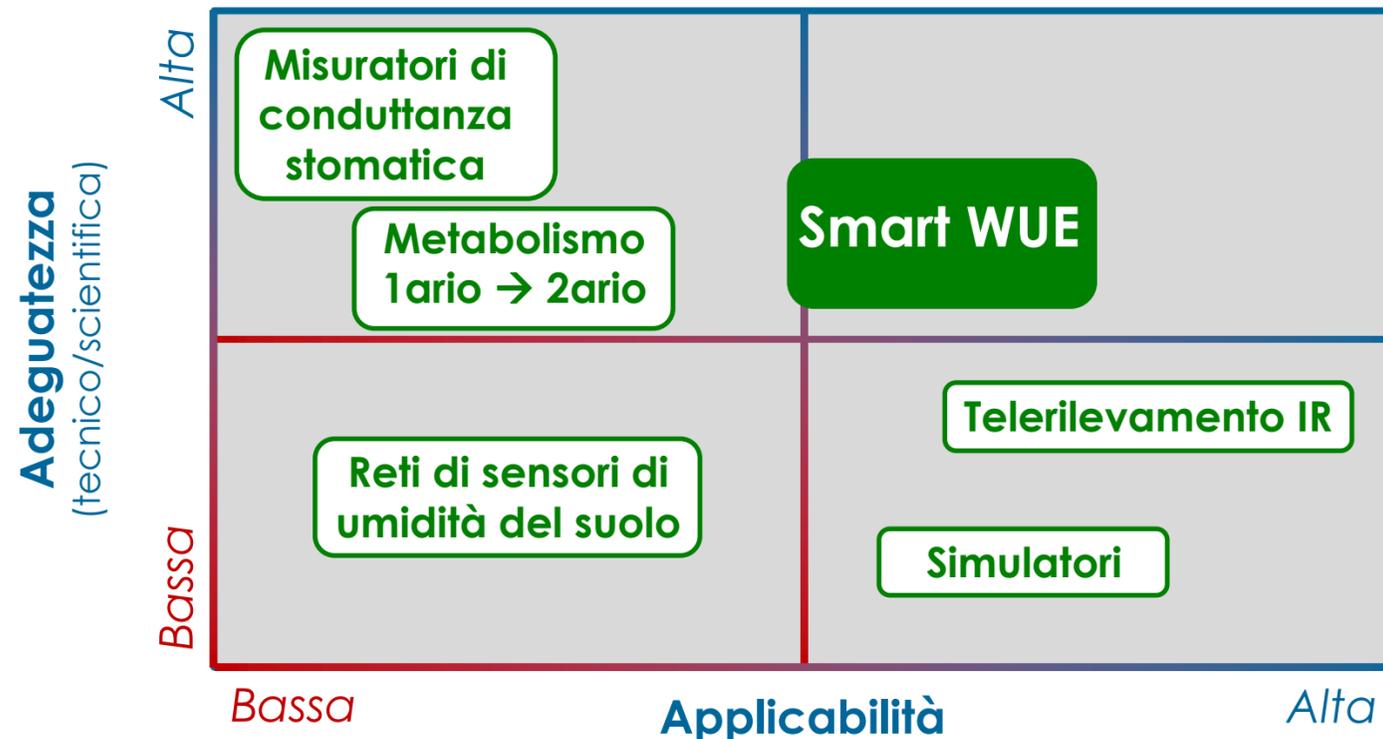
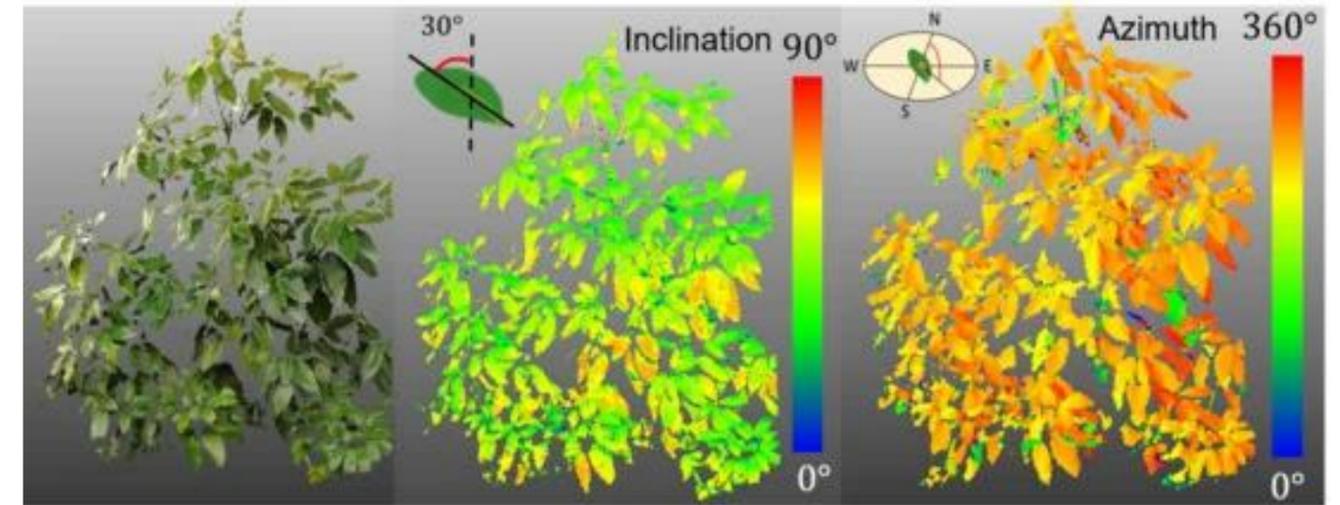


↑ Stress lieve ↑ Stress moderato



Conclusioni

- Il lavoro condotto ha permesso di individuare relazioni tra l'architettura della pianta e il stato idrico
- Il sistema ha evidenziato buone capacità predittive
- Elevata usabilità dello strumento
- In futuro... LIDAR?



Fonte: Itakura and Hosoi, 2019
<https://doi.org/10.3390/rs11030344>





Cassandra
models for change



Grazie per l'attenzione



26 NOVEMBRE 2024 | CONVEGNO CONCLUSIVO

SMART WUE - Sviluppo di un'applicazione mobile per una gestione economica ambientale sostenibile dei sistemi irrigui nella coltura di mais

PSR 2014-2020 Regione Lombardia MISURA 16 | OPERAZIONE 16.2.01 «Progetti pilota e sviluppo di innovazione»