



Workshop

“Modelli e software utilizzati in iGUESS-MED”

Pontecagnano, 12 luglio 2023

Modelli per la gestione della fertirrigazione della coltura fuori suolo in serre low-tech con utilizzo di acqua di buona o di bassa qualità

Luca Incrocci

Dip. di Scienze Agrarie, Alimentari, e Agro-ambientale
Università di Pisa, E-mail: luca.incrocci@unipi.it



Daniele Massa

CREA, Vegetable and Ornamental Crops
E-mail: daniele.massa@unipi.it





Sommario

- ✓ Introduzione: la coltura fuori suolo
- ✓ Sostenibilità ambientale delle colture fuori suolo
- ✓ Simulhydro 2.0: simulatore per le differenti strategie di fertirrigazione nella coltivazione fuori suolo (foglio elettronico ExcelTM);
- ✓ Adattamento alle differenti salinità;
- ✓ Test site az. Anterminelli



Le colture senza suolo

Idroponica



Floating system



**Nutrient Film
Technique**



Aeroponica



Le colture senza suolo

Su substrato



In canaletta



In sacchi o vasi



Subirrigazione



Perchè il "fuori suolo"?

VANTAGGI

- Per evitare stanchezza del terreno (patogeni, fitotossine, salinità);
- Per maggiori produzioni e per maggiore qualità (es. biofortificazione);
- Per estendere il periodo di coltivazione rispetto al terreno;
- Per il recupero di aree marginali;
- Per controllare l'impatto ambientale (uso di acqua e nutrienti, solo ciclo chiuso).

SVANTAGGI

- Costi d'impianto elevati
- Necessità di personale tecnico specializzato
- Smaltimento dei substrati utilizzati od "esausti"
- Smaltimento delle soluzioni drenate non completamente esaurite
- Maggior uso di materiali difficili da riciclare (plastica)
- Rischi di asfissia radicale (idroponica).

Diffusione delle colture protette e % di fuori suolo in Europa

~ 200,000 ha
(35.000 ha in FS)



Olanda: 10200 (95%)
Polonia: 6750 (20 %)
Ungheria: 2040 (10%)

Francia: 9370 (30%)
Spagna: 51200 (7%)
Italia: 33230 (9%)
Grecia: 5300 (7%)



Ciclo aperto e ciclo chiuso

Controllo entrata:

pH (5.5-6.0)

EC (1.6-3.0)

Ciclo chiuso!!



Controllo periodico del
drenato (25-50%):

pH (5.0-7.0)

EC. (2.0-4.0)

Drenato

Ciclo aperto!!

Riutilizzo del drenato
su coltura in terreno



Abbandono del drenato
nell'ambiente



Bilancio idrico e azotato (2 colture/anno)

(Gava et al. 2023, vol.413:137510)

- Acqua= 8,630 m³/ha
- Azoto = 1,600 kg (N)

- Acqua= 6,950 m³/ha
- Azoto = 1,330 kg (N)

Produzione \cong 20 kg/m²



Frazione di drenaggio < 20%

- Acqua= 1,680 m³/ha
- Azoto = 270 kg/ha N

P
Pesticidi
....



Ciclo chiuso: problematiche !

Nel Mediterraneo, attualmente adottato solo sui sistemi idroponici (floating system, aeroponica) e su pochi ettari di colture su substrato,

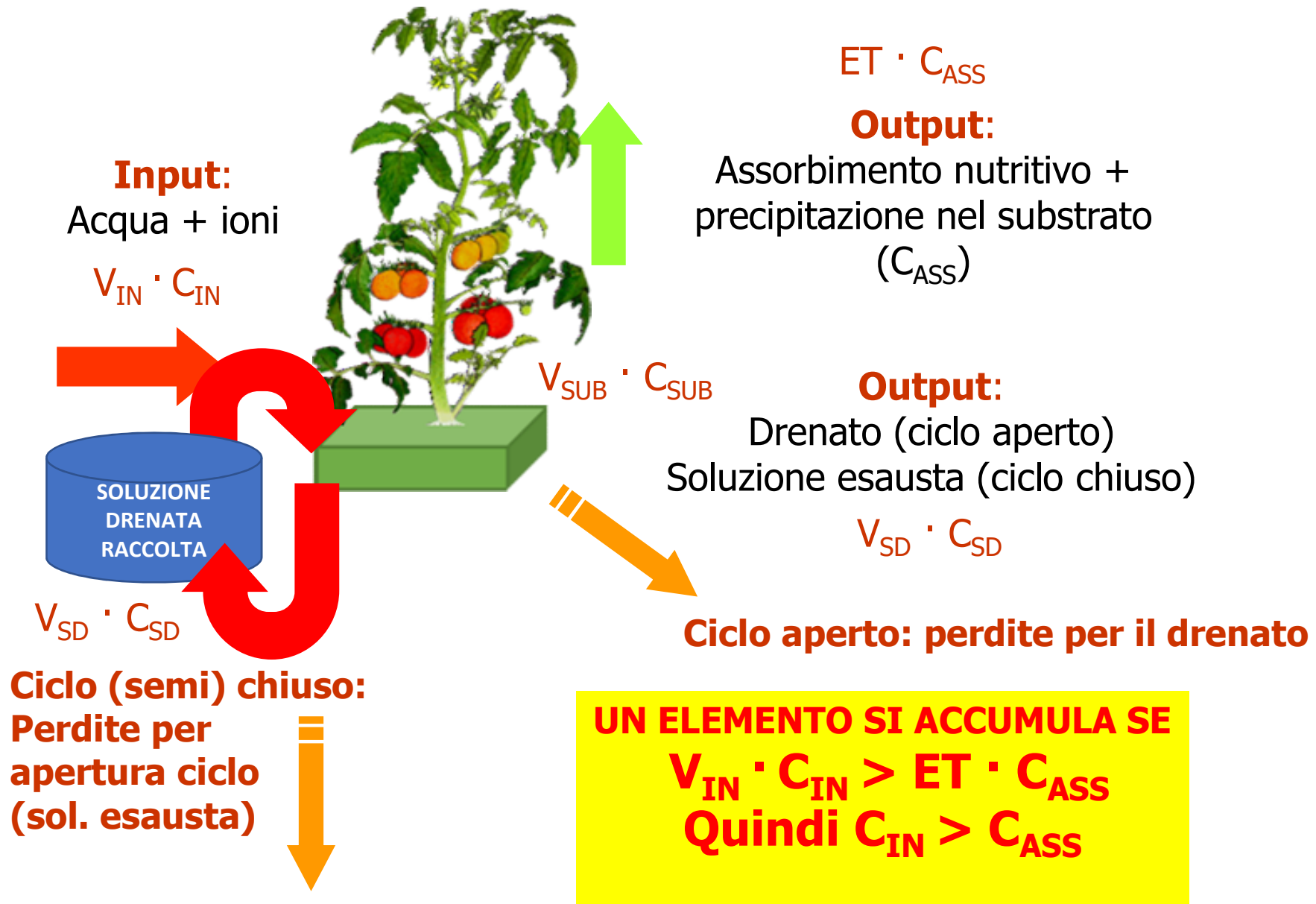
Tre sono i principali problemi:

A) disinfezione della soluzione

B) controllo della concentrazione dei nutrienti nel ricircolato

C) Scarsa diffusione della conoscenza per la sua gestione specie con acque di media qualità

Bilancio di massa dei nutrienti nella coltura fuori suolo

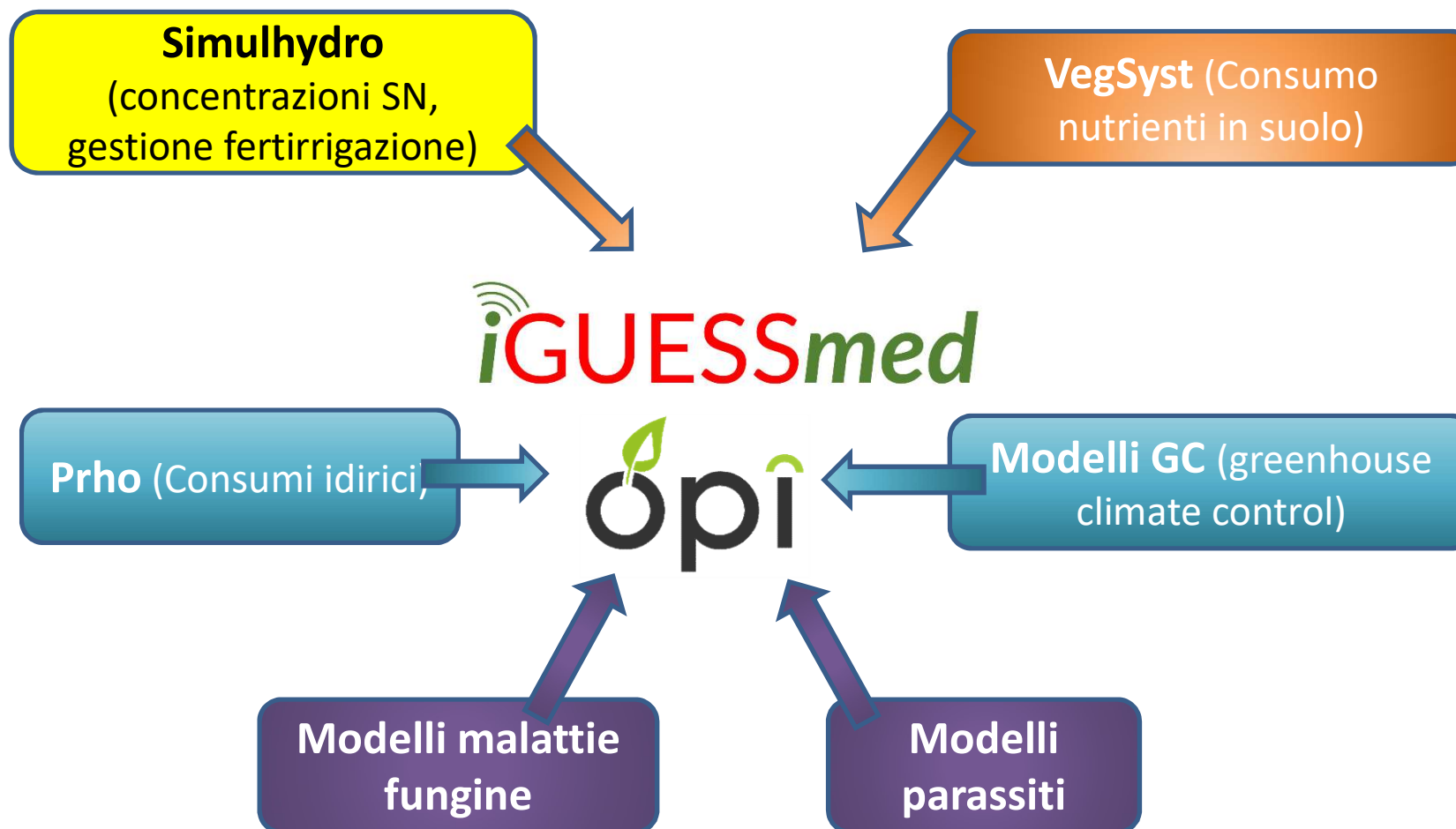




Acque mediocri: ciclo aperto o chiuso?

- ✓ Promuovere l'uso di sistemi a ciclo chiuso al posto di quelli a ciclo aperto, per risparmio idrico e di nutrienti;
- ✓ Con acque di buona qualità il risparmio fra ciclo aperto e il ciclo chiuso è simile se l'irrigazione nel ciclo aperto è ben gestita;
- ✓ In caso di acque di mediocre qualità, la LF deve normalmente aumentare per evitare accumulo di salinità nella zona radicale;
- ✓ L'uso del ciclo chiuso in caso di acque di scarsa qualità è determinante per non perdere troppo drenato;
- ✓ I sali si devono accumulare nella soluzione ricircolante e non nel substrato: sono necessarie elevate frazioni di lisciviazione e analisi di routine della soluzione.

Simulhydro: simulazione delle concentrazioni ioniche nella SN





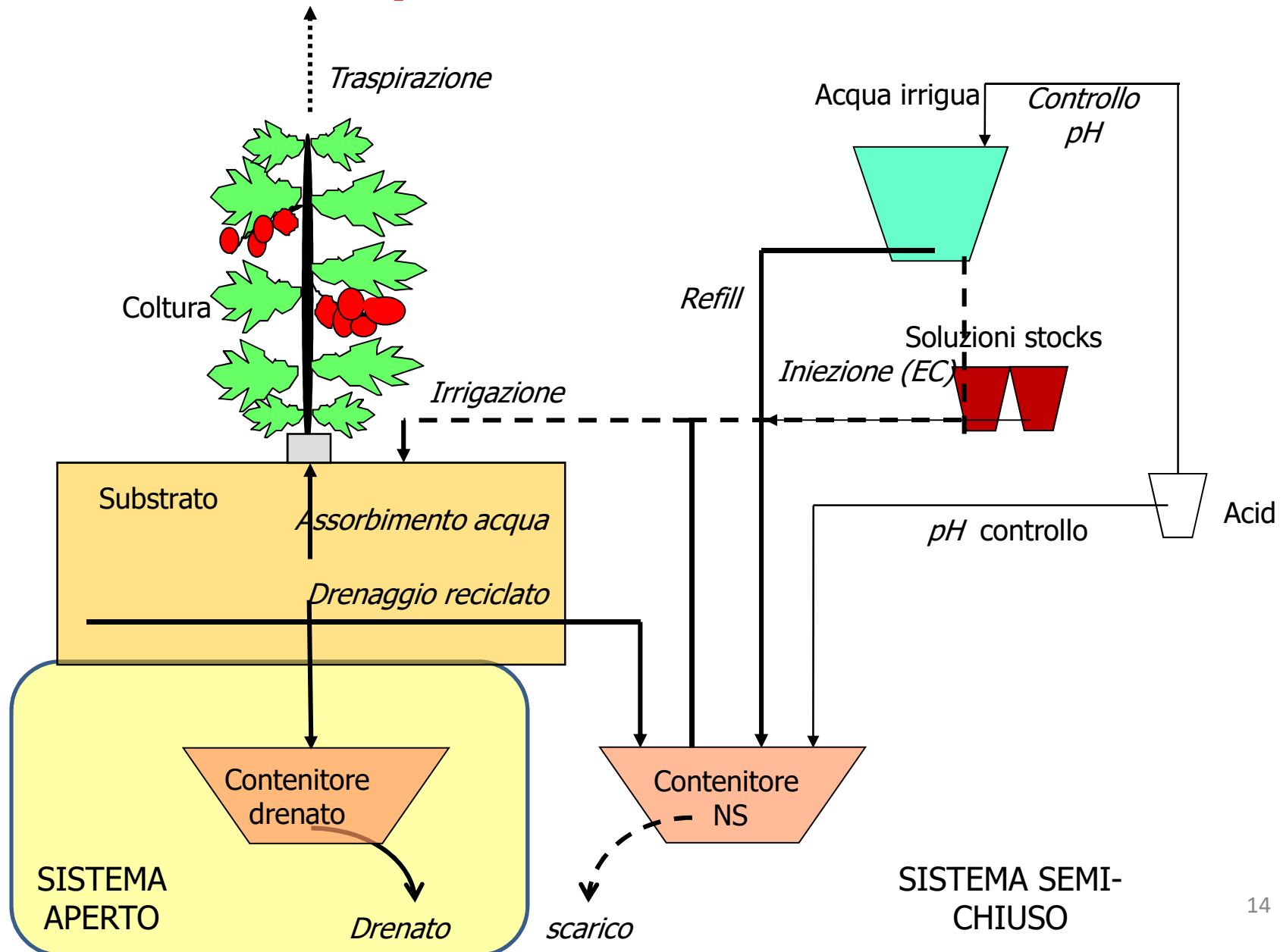
Simulhydro gestione fertirrigazione

- Simula la concentrazione dei nutrienti nei vari comparti; SN erogata, drenata e nel substrato;
- Permette di dare consigli quando si può scaricare una SN rispettando vincoli ambientali;

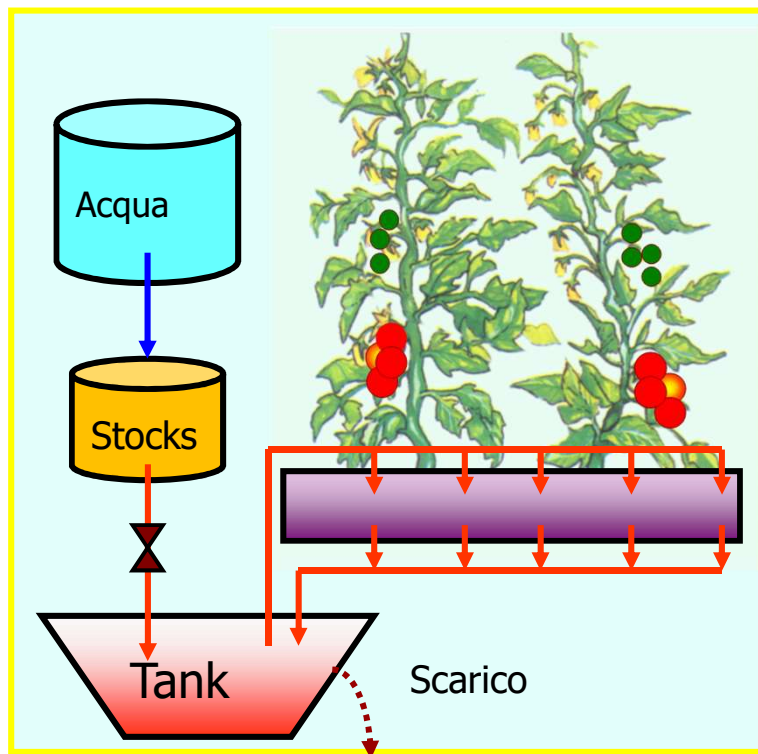
•Input:

- ✓ Acqua, ricetta nutritiva e concentrazione di assorbimento;
- ✓ Dati clima (RG e temp aria);
- ✓ Descrizione sistema di coltivazione (volume tank soluzione nutritiva drenaggio, contenuto idrico del substrato)
- ✓ Strategie di fertirrigazione: ciclo aperto, semi-chiuso e set-point per la fertirrigazione (EC_{MAX}).

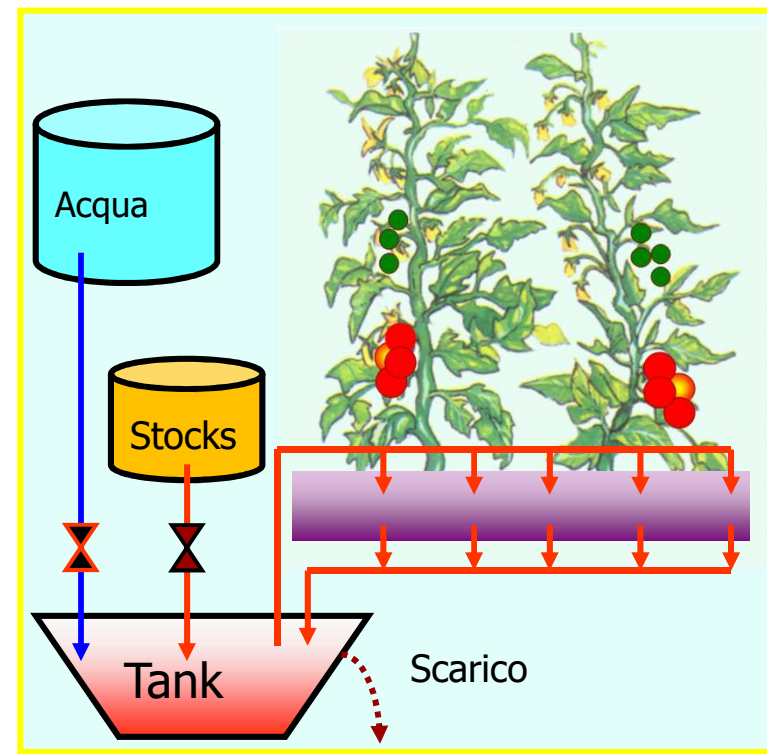
Simulhydro: sistema modellizzato



Strategie di fertilizzazione nella coltura del pomodoro(1): Sistemi semi-chiusi



Strategia A:
 EC_{NS} variabile



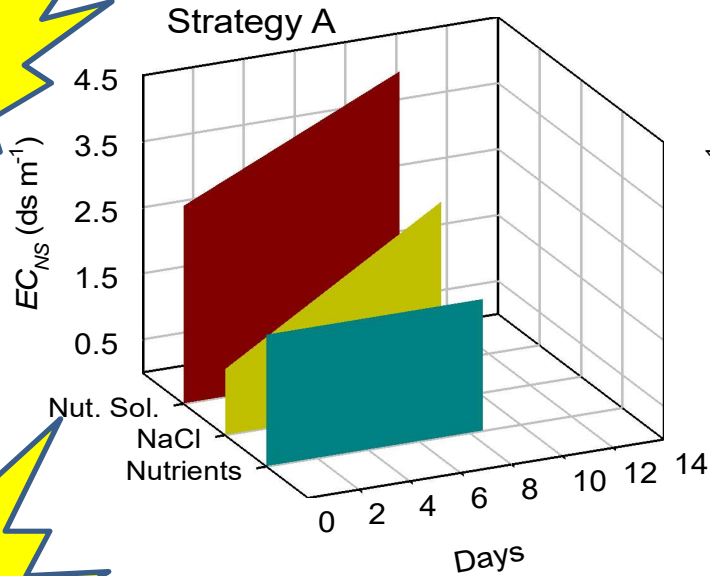
Strategia B:
 EC_{NS} costante



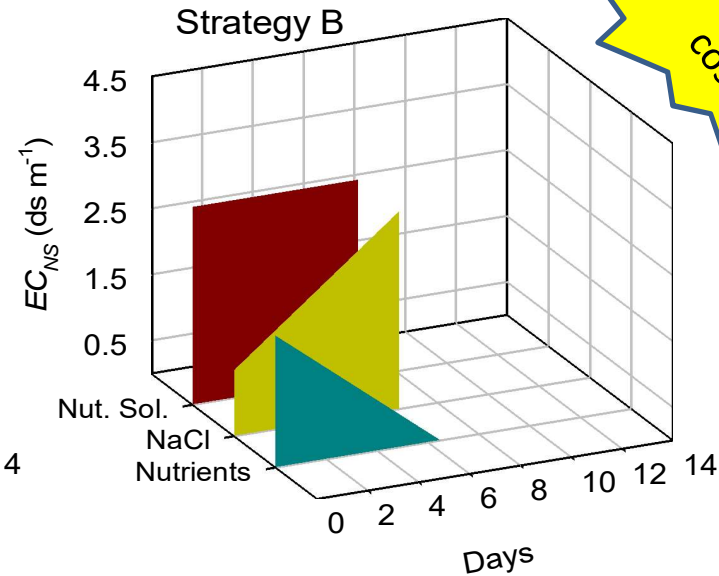
Strategie di fertirrigazione:

sistemi semi-chiusi vs sistemi aperti

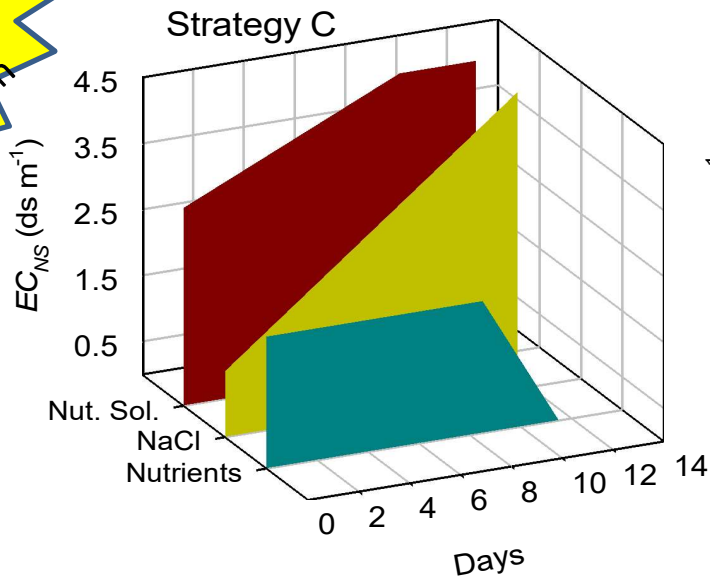
EC
Variabile



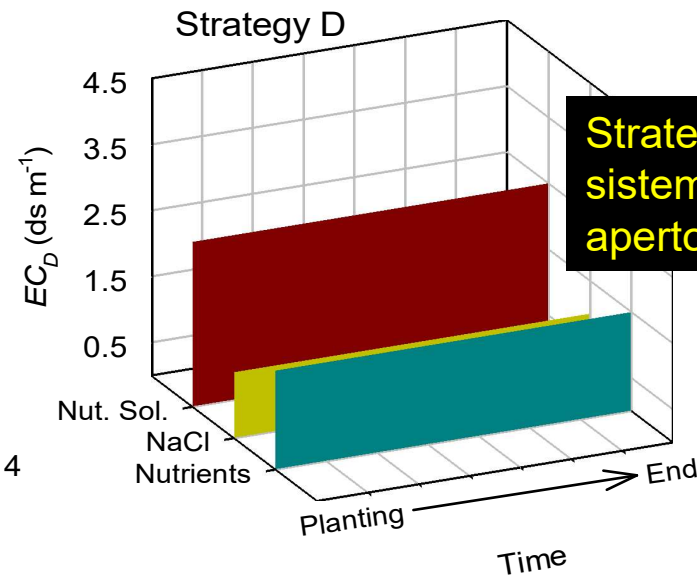
EC
costante



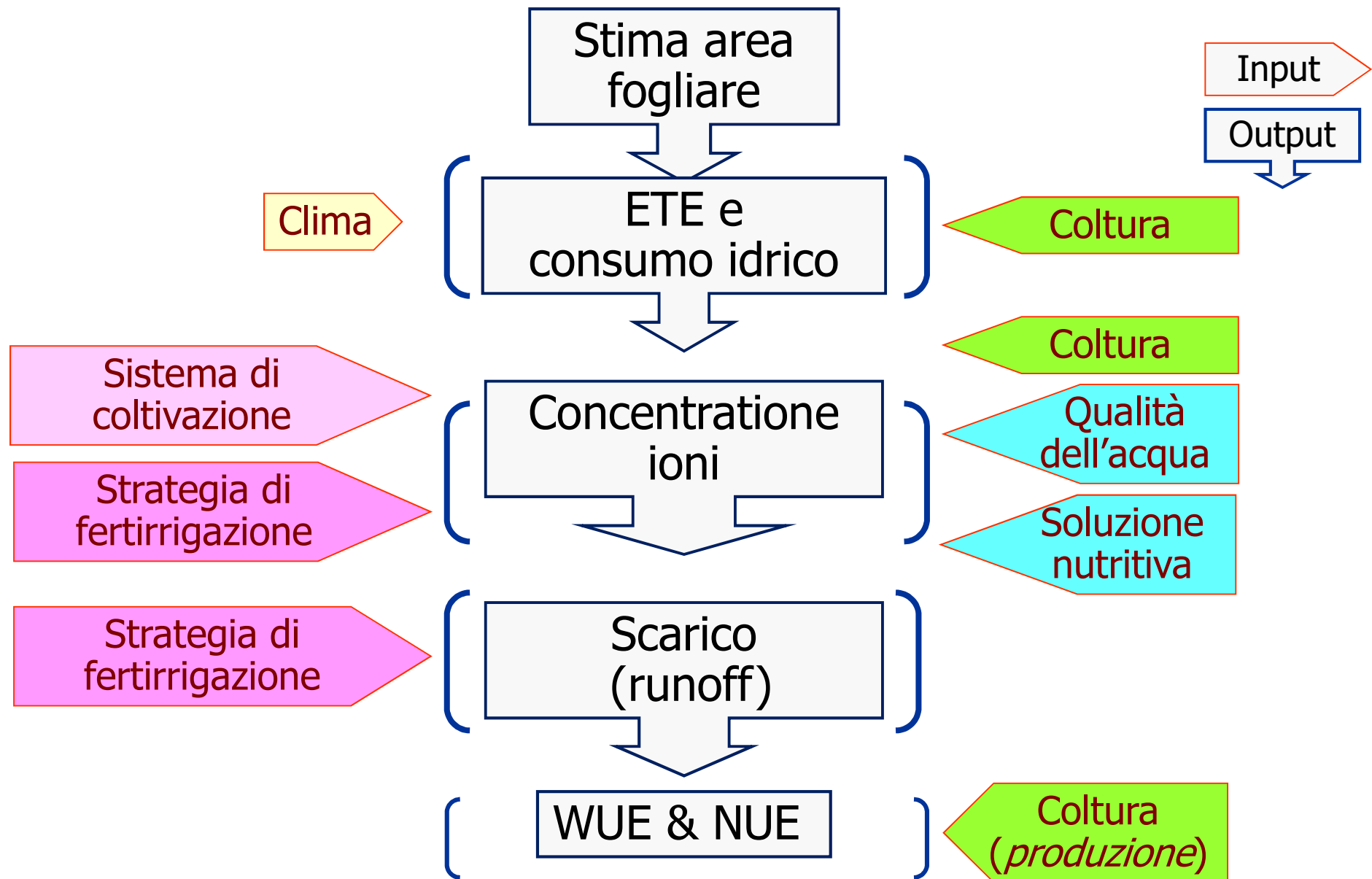
EC
variabile,
con
depletion



Strategia
sistema
aperto



Simulhydro: sub-routine presenti





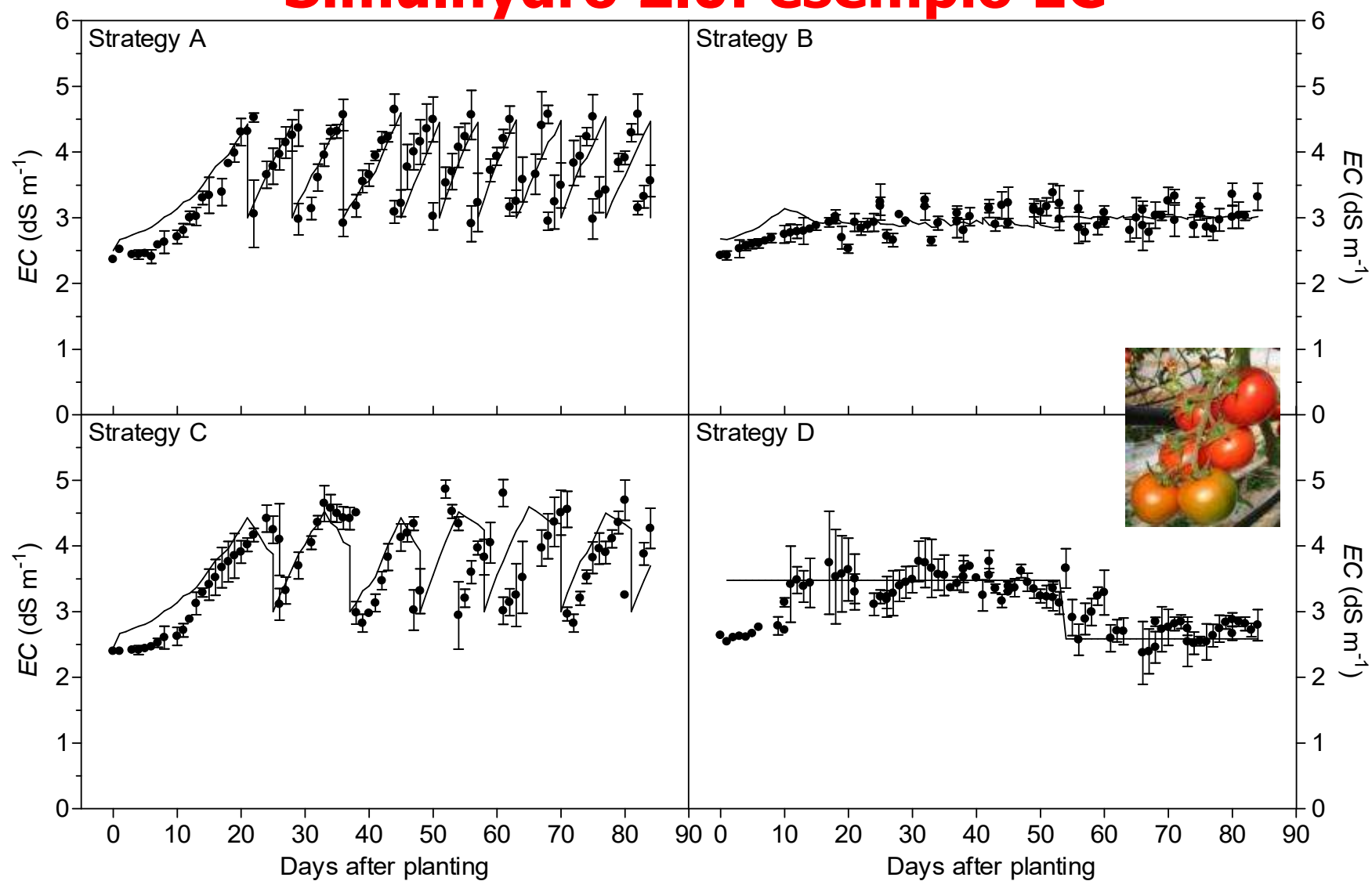
Simulhydro

OUTPUT:

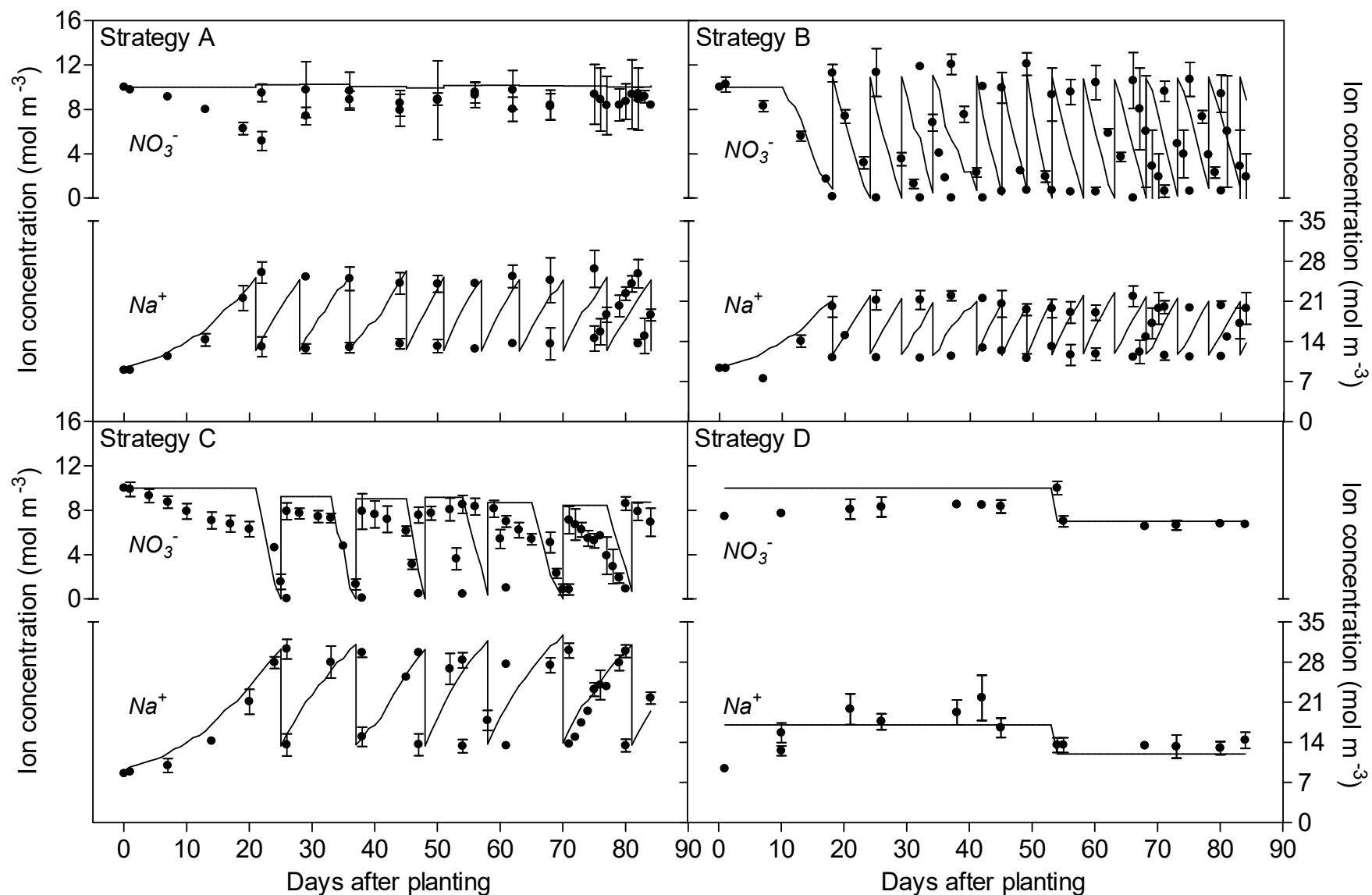
- ✓ Simulhydro fornisce il grafico della concentrazione dei nutrienti nel drenato e nella soluzione ricircolante;
- ✓ Calcola il bilancio idrico e dei nutrienti e incluso la WUE e NUE.



Simulhydro 2.0: esempio EC



Simulhydro 2.0: esempio (N and Na)





Calibrazione e validazione modello

- ✓ Simulhydro è stato calibrato e validato in due test site:
- ✓ Pomodoro ciliegino presso CREA-ORT of Pescia (PT);
- ✓ Pomodoro pisanello (vecchia varietà Toscana) presso DiSAAA-a-UNIFI a Pisa;
- ✓ DiSAAA-a UNIFI: due esperimenti; primavera e autunno 2021;
- ✓ Coltura fuori suolo su lana di roccia; 3,26 piante/m²
- ✓ **ciclo chiuso, con tre differenti set-point della EC della SN: 3,0; 6,0 e 9,0 dS/m**
- ✓ **Misura del consume idrico, composizione soluzione nutritiva e biomassa prodotta**
- ✓ **Creatai due set di dati; uno per la calibrazione e uno per la validazione**

Calibrazione e validazione modello

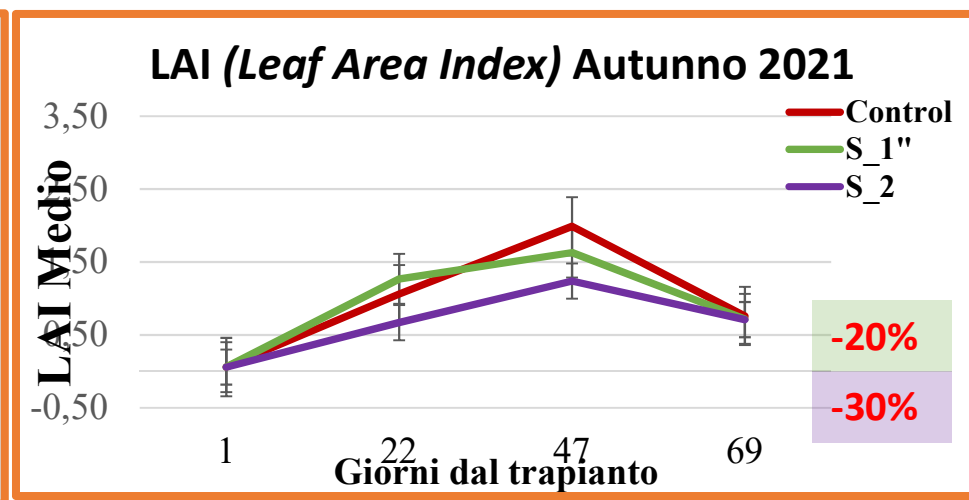
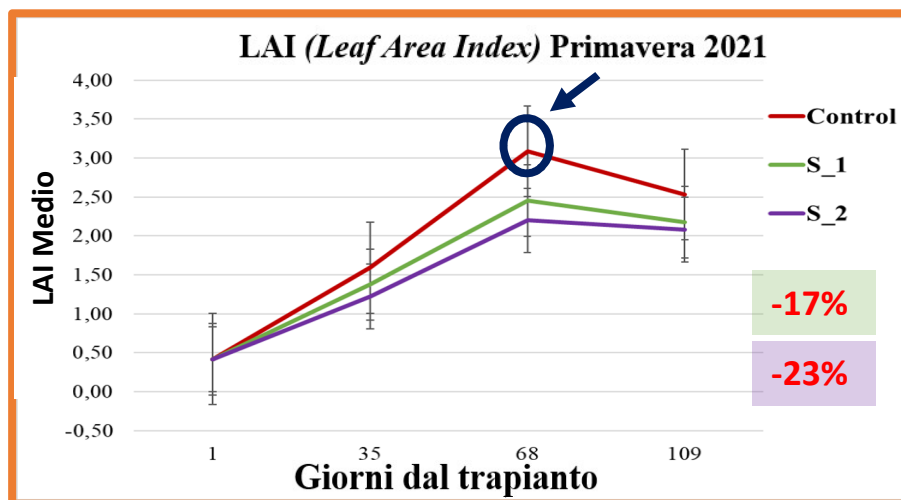


POMODORO PISANELLO

Parametro	Primavera 2021	Autunno 2021
Data trapianto	01/04/2021	01/09/21
Data inizio raccolta	09/06/2021	16/11/21
Data fine della prova	29/07/2021	15/11/21
Durata della prova (giorni)	119	76
Numero palchi raccolti	5	3
Temp. media (°C)	25,16±4,07	21,3±3,43
Temp. minima (°C)	10,5	16,1
Temp. massima (°C)	43,1	30,1
Umidità relativa media (RH)	58,31±0,07	67,6±12,15
Radiazione globale media giornaliera (MJ/m ² day)	12,20±3,99	5,2±3,50
Radiazione cumulata periodo (MJ/m ² day)	1452,0	585,6



L'effetto della salinità sulla crescita fogliare (LAI)



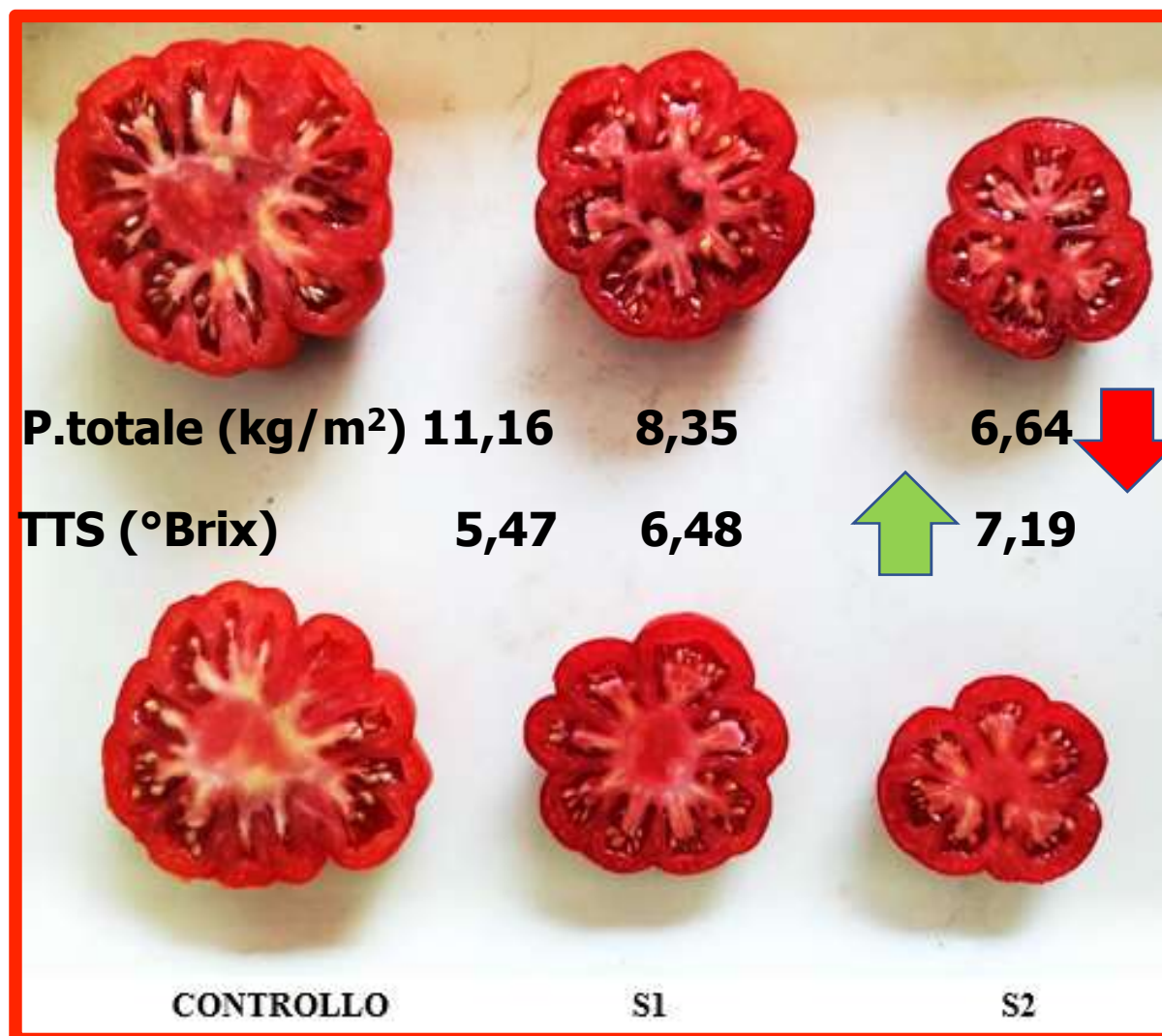


Consumi idrici della coltura

Parametro	Valori assoluti prova Autunno 2021		
	Controllo (3 dS/m)	S1 (6 dS/m)	S2 (9 dS/m)
Evapotraspirazione cumulata del periodo (ET, mm) 2021	109,4±8,3 (100%)	96,7±7,6 (88,4%) -12%	65,4±6,4 (59,8%) -40%
Volume di lisciviazione (mm) 2021	207,5±10,15 (100%)	103,75±8,12 (50,0%)	102,5±7,35 (49,4%)
Consumo idrico totale (mm) 2021	316,9±71,5 (100%)	200,4±15,0 (63,2%)	167,9±20,5 (53,0%)

Parametro	Valori assoluti prova Primavera 2021		
	Controllo (3 dS/m)	S1 (6 dS/m)	S2 (9 dS/m)
Evapotraspirazione cumulata del periodo (ET, mm) 2021	373,4 ± 32,2 (100%)	351,3 ± 25,1 (94,08%) -6%	295,5 ± 28,7 (79,14%) -21%
Numero di scarichi 2021	3 (100%)	2 (66,7%)	2 (66,7%)
Consumo idrico totale (mm) 2021	434,5 ± 32,2 (100%)	392,0 ± 25,1 (90,22%)	336,2 ± 28,7 (77,39%)

Risultati dell'effetto della salinità sulla qualità e quantità della produzione (PRIMAVERA 2021)



L'incremento di salinità oltre un valore di EC di 3,5 dS/m comporta una perdita di produzione totale di circa 8,5 % per ogni aumento di 1 dS/m della salinità della soluzione nutritiva.

Stima della ETE: Modello di BAILLE

Penman-Monteith

$$\lambda \cdot ET_c = \underbrace{\frac{\Delta \cdot R_l}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}}_{\text{radiative component}} + \underbrace{\frac{\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{e_a^* - e_a}{r_a}\right)}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}}_{\text{advective component}}$$

Baille

$$ET_c = A \cdot \frac{R_s \cdot (1 - e^{-k \cdot LAI})}{\lambda} + B \cdot LAI \cdot VPD$$

A = coefficiente di regressione empirica per la componente radiativa

B = coefficiente di regressione empirica per la componente advettiva (kg/(m² kPad))

VPD = deficit di pressione del vapore dell'aria (kPa).

R= radiazione globale

Modello Baille modificato

$$ET = f(A) \cdot \frac{R \cdot (1 - e^{-k \text{LAI}})}{\lambda} + B \text{LAI} \cdot VPD$$

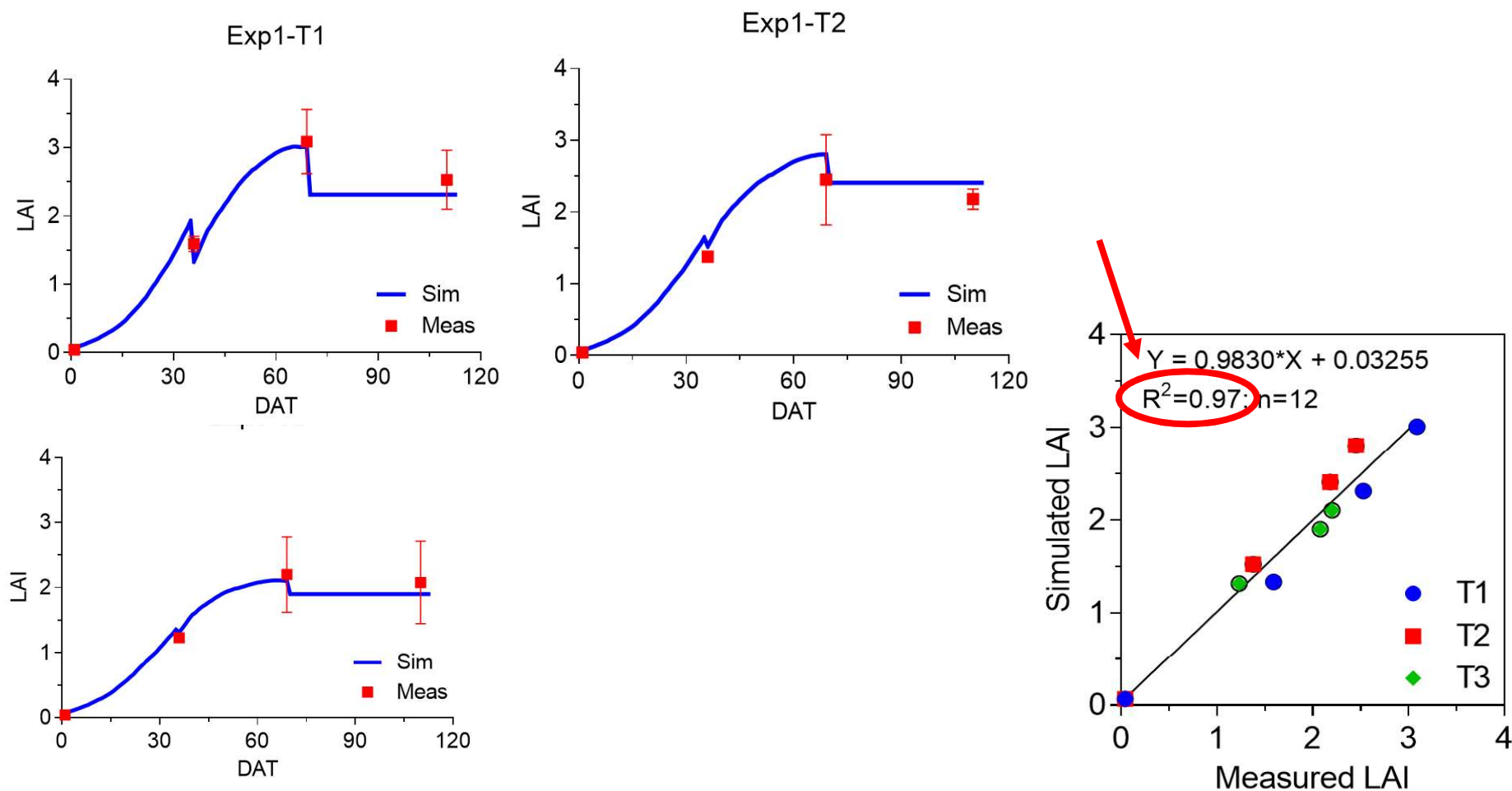
$$f(A) = a1 + a2 \cdot EC_{RZmedia}$$

$$LAI = a_1 + \frac{(a_1 - a_2)}{1 + e^{\left(\frac{a_3 - GDD}{a_4}\right)}} \longrightarrow LAI = 0.10 + \frac{0.10 - (4.0 \cdot f(EC_{lim}))}{1 + e^{\left(\frac{425 - f(GDD)}{135}\right)}}$$

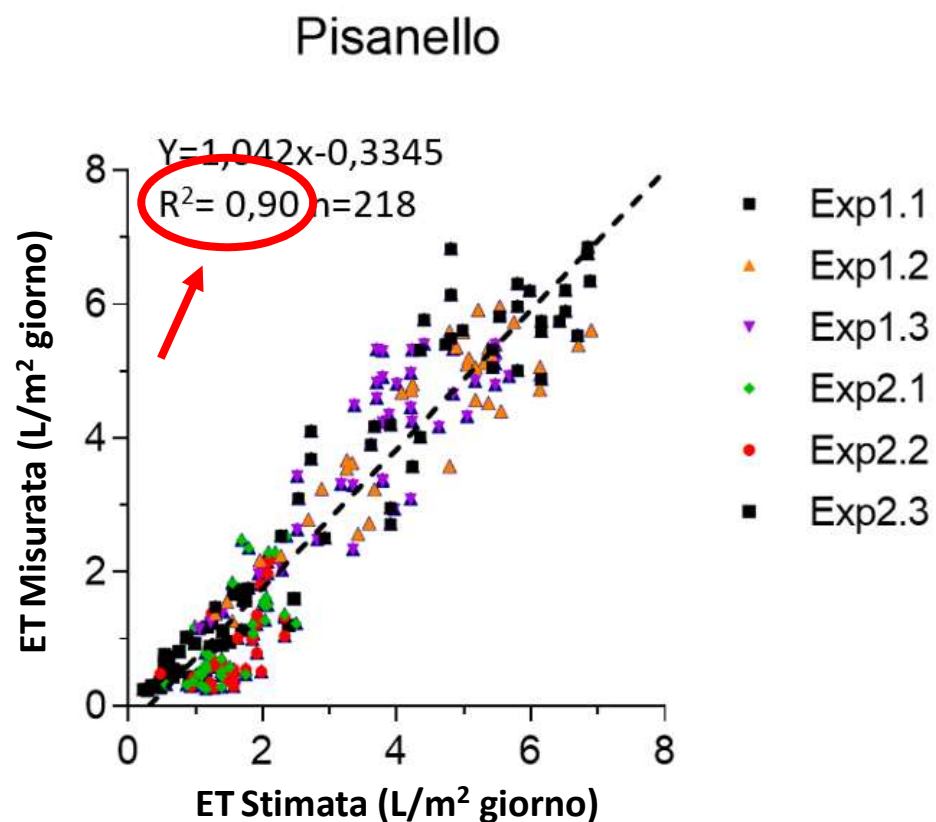
Dove a1, a2, a3, a4 sono coefficienti di regressione;

$$a2 = LAI_{max} - m \cdot \left[\left(\sum_{i=0}^n \frac{EC_{RZ}}{n} \right) - EC_{TR} \right]$$

Risultati della validazione del modello del LAI nella Primavera 2021

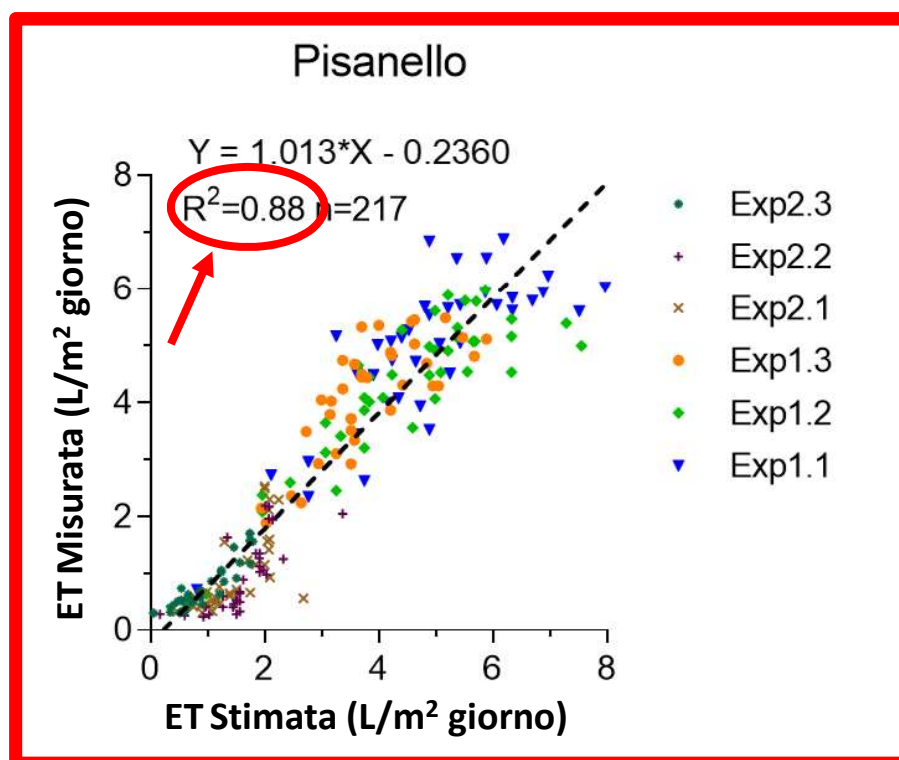


Calibrazione del modello di Baille per la stima dell'ET

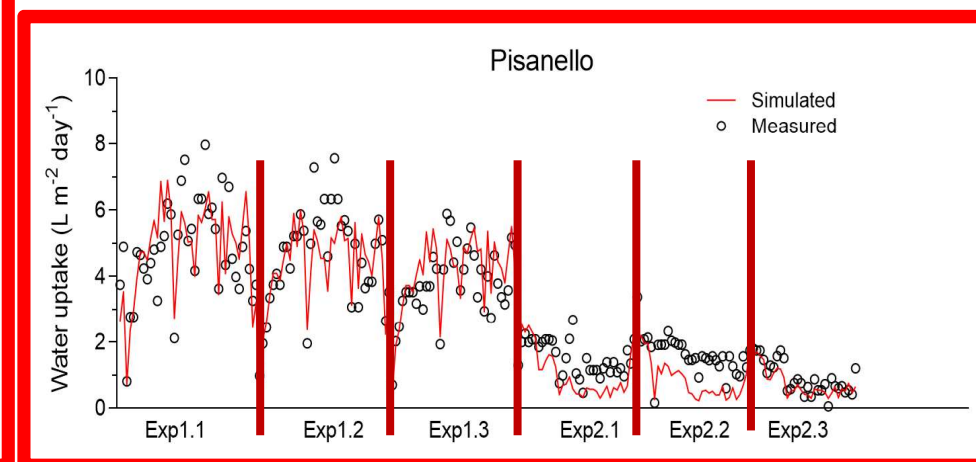


Esperimento	Trattamento	EC (dS/m)
Exp 1 Primavera 2021	1 (Controllo)	3.0
	2 (S1)	6.0
	3 (S2)	9.0
Exp 2 Autunno 2021	1 (C)	3.0
	2 (S1)	6.0
	3 (S2)	9.0

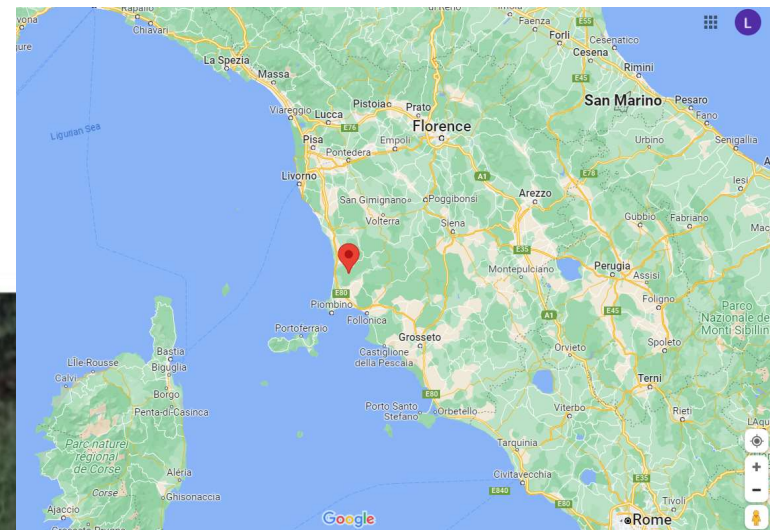
Validazione del modello di Baille per la stima dell'ET



Esperimento	Trattamento	EC (dS/m)
Exp 1 Primavera 2021	1 (Controllo)	3.0
	2 (S1)	6.0
	3 (S2)	9.0
Exp 2 Autunno 2021	1 (C)	3.0
	2 (S1)	6.0
	3 (S2)	9.0



Validazione in Az. Anterminelli (Test site)





Validazione in Az. Anterminelli

Due settori:

- uno a ciclo aperto, gestito dal coltivatore;
- uno a ciclo semi-chiuso, strategia B

Misure:

- Quantificazione volumi idrici irrigazione e del drenato;
- Monitoraggio della qualità e quantità delle produzioni
- Bilancio dei nutrienti e dell'acqua





Simulhydro: setting ciclo aperto

SimulHydro

A DSS for soilless cultivation of tomatoes

Crop	
Transplant date	<input type="text" value="19/05/2023"/>
Expected harvest date	<input type="text" value="16/10/2023"/>
Number of cultivation stages	<input type="text" value="2"/>
Tomato type	<input type="text" value="Round"/>
<input type="button" value="Save"/>	

Growing setup	
Fertigation cycle	<input checked="" type="radio"/> Open <input type="radio"/> Semi-closed
Volume of the mixing tank	<input type="text" value="8"/> L/m ²
Volume of the water in the substrate	<input type="text" value="5"/> L/m ²
Cultivation area	<input type="text" value="2000"/> m ²
<input type="button" value="Save"/>	



Simulhydro: setting ciclo aperto

Crop cultivation stages

Stage start

Stage end

Leaching fraction

Water mixing efficiency

Nutrients

Concentrations	Macronutrient concentrations (mmol/L)										Micronutrient concentrations (umol/L)						EC (dS/m)	Neutrality test	
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺	B ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Mo ²⁺			
Irrigation water	<input type="text" value="3.7"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="9.5"/>	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="9.2"/>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>		<input type="text" value="1.53"/>	
Acidified irrigation water	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="6.7"/>	<input type="text" value="4.0"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="9.5"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="9.2"/>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>		<input type="text" value="1.53"/>	
Flushing solution	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="6.7"/>	<input type="text" value="4.0"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="9.5"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="9.2"/>	<input type="text" value="1.3"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="1.1"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>		<input type="text" value="1.53"/>	
Reference nutrient solution	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="6.7"/>	<input type="text" value="4.0"/>	<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="9.5"/>	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="9.2"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="1"/>		<input type="text" value="2.7"/>	
Crop uptake	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="10.0"/>	<input type="text" value="0.0"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="6.7"/>	<input type="text" value="3.55"/>	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="0.18"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="0.18"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0.5"/>			

< Stage I >

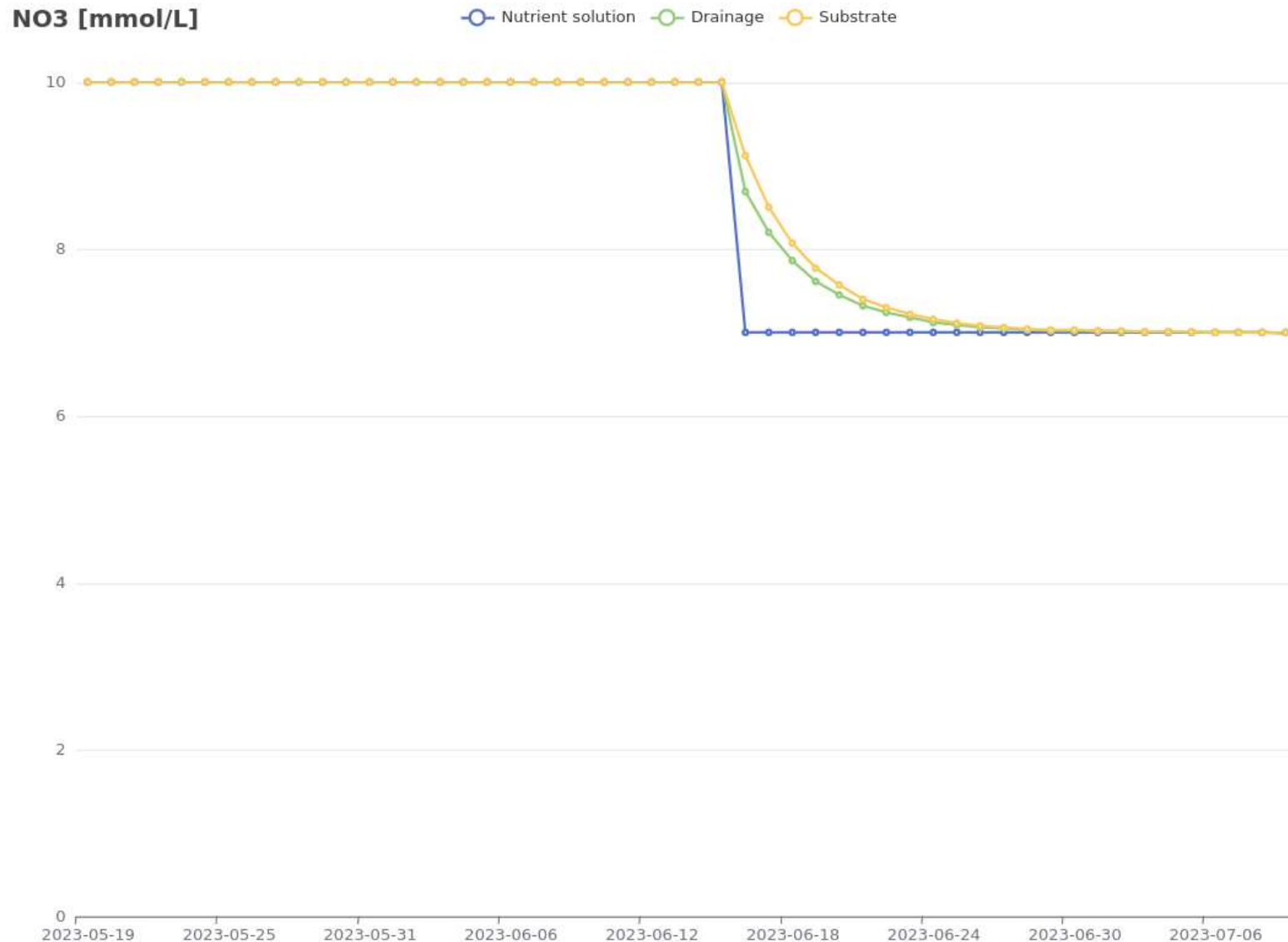


Simulhydro: EC NS ciclo aperto





Simulhydro: $[\text{NO}_3]$ ciclo aperto





Simulhydro: setting ciclo chiuso

SimulHydro

A DSS for soilless cultivation of tomatoes

Crop		Growing setup																																																	
Transplant date	<input type="text" value="19/05/2023"/>	Fertigation cycle	<input type="button" value="Open"/> <input checked="" type="button" value="Semi-closed"/>																																																
Expected harvest date	<input type="text" value="16/10/2023"/>	Strategy	<input checked="" type="button" value="A"/> <input type="button" value="B"/> <input type="button" value="C"/>																																																
Number of cultivation stages	<input type="text" value="2"/>	Volume of the mixing tank	<input type="text" value="8"/> L/m ²																																																
Tomato type	<input type="text" value="Round"/>	Volume of the water in the substrate	<input type="text" value="5"/> L/m ²																																																
<input type="button" value="Save"/>		Volume of water used for flushing the substrate	<input type="text" value="6"/> L/m ²																																																
		Cultivation area	<input type="text" value="2000"/> m ²																																																
		Maximum discharge concentrations	<table><thead><tr><th colspan="10">Macronutrient (mmol/L)</th><th colspan="6">Micronutrient (umol/L)</th></tr><tr><th>HCO₃⁻</th><th>NO₃⁻</th><th>NH₄⁺</th><th>PO₄³⁻</th><th>K⁺</th><th>Ca²⁺</th><th>Mg²⁺</th><th>Na⁺</th><th>SO₄²⁻</th><th>Cl⁻</th><th>Fe²⁺</th><th>B⁺</th><th>Cu²⁺</th><th>Zn²⁺</th><th>Mn²⁺</th><th>Mo²⁺</th></tr></thead><tbody><tr><td><input type="text"/></td><td><input type="text" value="1"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td></tr></tbody></table>	Macronutrient (mmol/L)										Micronutrient (umol/L)						HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺	B ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Mo ²⁺	<input type="text"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Macronutrient (mmol/L)										Micronutrient (umol/L)																																									
HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺	B ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Mo ²⁺																																				
<input type="text"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																				
		<input type="button" value="Add environmental law"/>																																																	
		<input type="button" value="Save"/>																																																	



Simulhydro: setting ciclo chiuso

Crop cultivation stages

Stage start

19/05/2023

Stage end

31/07/2023

Leaching fraction

0.3

Water mixing efficiency

0.8

Fertigation strategy A

Maximum value of EC before flushing

3.48

dS/m

Daily recovered drainage for continuous bleeding

100

%

Drainage discharge in the environment

0

%

Save

Nutrients

Concentrations	Macronutrient concentrations (mmol/L)										Micronutrient concentrations (umol/L)						EC (dS/m)	Neutrality test
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe ²⁺	B ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Mo ²⁺		
Irrigation water	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	9.5	0.6	9.2	1.3	10	0.2	1.1	0.0	0.0	1.53	✓
Acidified irrigation water	0.6	10.0	0.0	1.0	6.7	4.0	0.8	9.5	2.5	9.2	1.3	10	0.2	1.1	0.0	0.0	1.53	✓
Flushing solution	0.0	10.0	0.0	1.0	6.7	4.0	0.8	9.5	2.5	9.2	1.3	10	0.2	1.1	0.0	0.0	1.53	✓
Reference nutrient solution	0.0	10.0	0.0	1.0	6.7	4.0	0.8	9.5	2.5	9.2	15	25	1	5	10	1	2.7	✓
Crop uptake	0.0	10.0	0.0	1.0	6.7	3.55	0.6	0.18	1.5	0.18	7	10	1	2	2	0.5		✓

Save

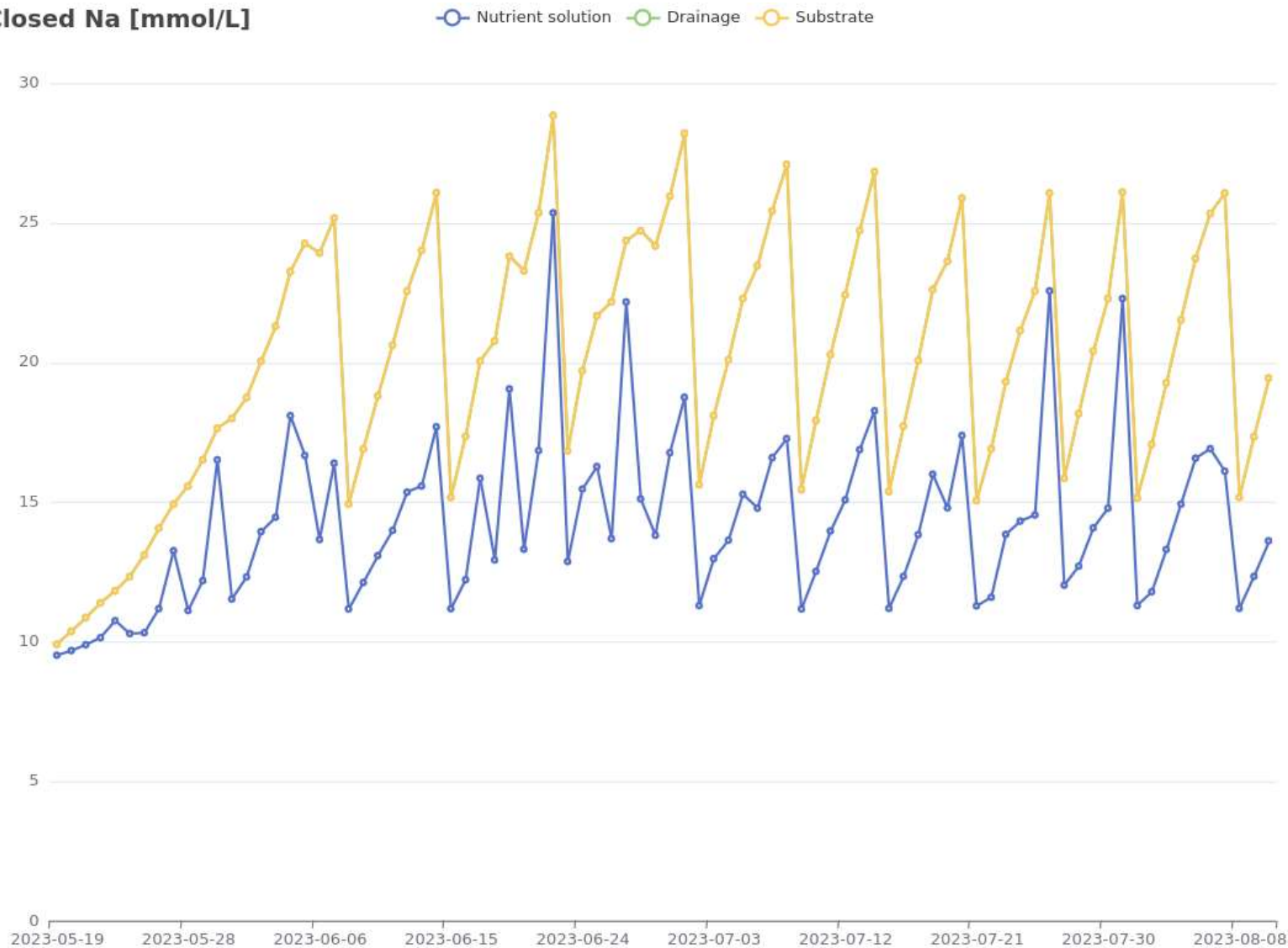
Check

< Stage I > Save Add stage



Simulhydro: setting ciclo chiuso

Closed Na [mmol/L]





Simulhydro: setting ciclo chiuso





Conclusione

- ✓ Il software simulhydro può aiutare l'agricoltore nella gestione del fuori suolo a ciclo aperto e semi-chiuso;
- ✓ Il software permette di fornire alert per situazioni di pericolo nella zona radicale (es. accumulo di salinità)
- ✓ Permette di esaurire i nutrienti in maniera certa prima di scaricare la soluzione, riducendo le costose analisi

Grazie dell'attenzione !

