

QUADERNI CSEI Catania

III SERIE VOL. 27



UNIONE EUROPEA



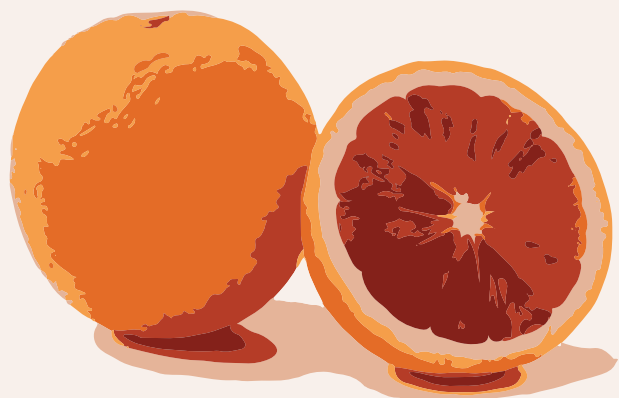
REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

P **FESR**
SICILIA 2014-2020
PO FESR SICILIA 2014-2020

NUOVI PRODOTTI DALLA TRASFORMAZIONE AGROINDUSTRIALE DI FRUTTI DA COLTURE MEDITERRANEE E GESTIONE SOSTENIBILE DEI SOTTOPRODOTTI



QUADERNI CSEI Catania III serie vol. 27

**NUOVI PRODOTTI DALLA
TRASFORMAZIONE AGROINDUSTRIALE DI
FRUTTI DA COLTURE MEDITERRANEE E
GESTIONE SOSTENIBILE DEI
SOTTOPRODOTTI**

A cura di
SALVATORE BARBAGALLO; ALESSANDRA GENTILE

Catania, Aprile 2023

95123 Catania, Via S. Sofia 100
c/o Dipartimento di Agricoltura
Alimentazione e Ambiente (Di3A)
Università degli studi di Catania

QUADERNI CSEI Catania III Serie vol.27

Nuovi prodotti dalla trasformazione agroindustriale di frutti da colture mediterranee e gestione sostenibile dei sottoprodotti

Testo stampato: ISSN 2038-5854

CD-ROM: ISSN 2239-0596

Realizzazione editoriale CSEI Catania www.cseicatania.com



Università di Catania



Consiglio Nazionale
della Ricerca



Barbagallo, Salvatore <1956->

Nuovi prodotti dalla trasformazione agroindustriale di frutti da colture mediterranee gestione sostenibile dei sottoprodotti / Salvatore Barbagallo, Alessandra Gentile.- Catania : CSEI, 2023.
(Quaderni CSEI Catania. 3. serie ; 27)

1. Succhi di frutta - Produzione.

I. Gentile, Alessandra <1963->.

663.63 CDD-23

SBNPa10364509

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Indice

Introduzione	10
1. Il ruolo delle arance a polpa pigmentata (arance rosse), del melograno e del ficodindia per produzioni di succhi di elevata qualità	14
<i>A cura di A. Continella, A. Gentile, S. La Malfa</i>	
1. Arancio	14
1.1. Premessa	14
1.2. Caratteristiche botaniche	17
1.3. I gruppi varietali dell'arancio dolce	22
1.4. Il contesto produttivo	28
2. Melograno	32
2.1. Analisi della filiera	32
2.2. Inquadramento botanico	34
2.3. Principali varietà di interesse internazionale	36
2.4. Principali varietà di origine italiana	38
2.5. Biologia ed ecologia della coltura	41
3. Ficodindia	46
3.1. Inquadramento botanico	46
3.2. Caratteristiche botaniche	46
3.3. Superficie e produzione	48
3.4. Panorama varietale in Italia	49
3.5. Caratteristiche qualitative del frutto e del succo	51
2. Adattamento di macchine agrumarie per la trasformazione del ficodindia e del melograno	54
<i>A cura di M. Davella, S. Vitale.</i>	
3. Caratterizzazione di succhi, puree da ficodindia e melograno	67
<i>A cura di R. Palmeri, A. Todaro.</i>	
1. Determinazione del contenuto in composti antiossidanti di puree e concentrati da melagrana e ficodindia entro	67
2. Attività antiossidante di succhi concentrati di melagrana e ficodindia attraverso metodo ORAC	70

3	<i>Caratterizzazione di succhi concentrati e sciroppi da melagrana, arancia e ficodindia per la formulazione di una bibita funzionale</i>	72
3.1.	<i>Determinazione del contenuto di composti bioattivi, attività antiossidante e vitamina C dei succhi concentrati di arancia rossa, melagrana e ficodindia</i>	72
3.2.	<i>Formulazione delle bibite</i>	74
3.3.	<i>Determinazioni chimico-fisiche</i>	75
3.4.	<i>Determinazione dei composti bioattivi, attività antiossidante e vitamina C</i>	77
3.5.	<i>Analisi del colore</i>	77
4.	Individuazione di membrane idonee alla chiarifica e concentrazione dei succhi <i>A cura di R. Timpone.</i>	84
5.	Produzione pilota di succhi concentrati a freddo <i>A cura di R. Timpone.</i>	107
6.	Formulazione di bevande ad alto potere antiossidante con succhi di arancia rossa, melograno e ficodindia <i>A cura di C. Polara, R. Timpone.</i>	132
7.	Nuove confetture e gelatine da succhi di arancia rossa, melograno e ficodindia <i>A cura di M. Davella, B. Rosso.</i>	138
8.	Valutazione della shelf life di bevanda ottenuta da succhi di arancia, melograno e ficodindia <i>A cura di A. Dattilo, G. Muratore, V. Rizzo.</i>	152
9.	Produzione di zucchero dal pastazzo di arancia <i>A cura di F. Bono, R. Timpone.</i>	165
10.	Produzione di un estratto arricchito in polifenoli di arancia e utilizzo nella dieta animale <i>A cura di R. Timpone.</i>	184
11.	Prove di laboratorio su oli essenziali per il disinquinamento da pesticidi <i>A cura di M. Davella, R. Timpone.</i>	198
12.	Trattamenti naturali per la depurazione delle acque reflue agrumarie <i>A cura di S. Barbagallo, S. Barresi, G.L. Cirelli, M. Ferrante, G. Giudice, Longo D, M. Milani.</i>	218
	1. Premessa	218

2. Impianti di trattamento sperimentali	219
2.1 Stagni di lagunaggio	219
2.2 Impianto di fitodepurazione multistadio a scala pilota	222
3. Metodologia	226
3.1 Acque reflue	226
3.2 Flussi di CO ₂	227
4. Risultati	229
4.1 Trattamento dei reflui agrumari	229
4.1.1 Bacini di lagunaggio	229
4.1.2 Impianto di fitodepurazione a scala pilota	235
4.2 Flussi di CO ₂	239
5. Conclusioni	242
13. Riutilizzo agricolo di acque reflue agrumarie	244
<i>A cura di S. Barbagallo, A.C Barbera, S. Barresi, G.L. Cirelli, M. Milani.</i>	
1. Premessa	244
2. Impianti sperimentali	246
2.1 Impianto di mais	246
2.2 Impianto di riso e soia	249
3. Metodologia	252
3.1 Irrigazione	252
3.1.1 Mais	252
3.1.2 Riso e soia	253
3.2 Caratterizzazione chimico-fisica e microbiologica delle acque reflue irrigue	253
3.3 Rilievi dei caratteri morfobiometrici e della produttività	254
3.3.1 Mais	254
3.3.2 Riso e soia	254
3.4 Analisi statistica	254
4. Risultati	255
4.1 Acque irrigue	255
4.1.1 Stagione irrigua 2021 (mais)	255
4.1.2 Stagione irrigua 2022 (riso e soia)	255
4.2 Rilievi bioagronomici e produttività	256
4.2.1 Mais	256
4.2.2 Riso e soia	261
5. Conclusioni	267

13. Riuso agricolo di acque reflue agrumarie

1. Premessa

I cambiamenti climatici e gli estesi processi di urbanizzazione hanno acuito una crisi idrica che è oramai sentita a livello globale con l'agricoltura, il settore più idroesigente, che ha subito i maggiori impatti negativi.

L'acqua, infatti, è un fattore fondamentale per la produzione agricola e svolge un ruolo importante nella sicurezza alimentare. Le aree irrigate, pur rappresentando appena il 20% della superficie agricola totale, contribuiscono al 40% della produzione mondiale di cibo.

È evidente quindi la necessità, oramai improrogabile, di ricercare fonti idriche alternative alle acque convenzionali. In tale contesto, le acque reflue depurate possono contribuire a soddisfare una parte dei fabbisogni irrigui favorendo l'incremento dei volumi di risorse idriche qualitativamente pregiate da destinare ad altri usi.

In effetti, negli ultimi anni, l'impiego irriguo delle acque reflue è decisamente aumentato garantendo, a livello mondiale, i fabbisogni idrici di circa 20 milioni di ettari di terreni agricoli.

Numerose ricerche, condotte su diverse colture irrigate con acque reflue trattate, hanno evidenziato benefici e limiti agronomici di tale pratica. Nel complesso i risultati delle indagini evidenziano, nel medio termine, effetti positivi o assenza di danni a colture e suolo anche alle dosi più elevate tra quelle oggetto delle sperimentazioni (Aiello et al., 2007; Cirelli et al., 2010; Barbagallo et al., 2014, Wang et al., 2022). La quasi totalità delle indagini sperimentali sono state condotte su colture irrigate con reflui urbani, mentre sono decisamente limitate le ricerche condotte sul riuso irriguo dei reflui agroindustriali.

Tra questi i reflui agrumari trattati potrebbero rappresentare una valida risorsa idrica a scopo irriguo in grado di ricostituire i cicli naturali della sostanza organica e dei nutrienti nel suolo. Attività

sperimentali, condotte da Ioppolo et al. (2020), hanno dimostrato che la distribuzione al suolo di acque reflue agrumarie ha stimolato la biomassa e l'attività microbica del suolo, migliorando il ciclo dei nutrienti. L'impiego irriguo dei reflui agrumari potrebbe essere in grado di aumentare la fertilità del suolo favorendo, in virtù dell'elevato contenuto di carboidrati, l'aggregazione e la stabilità delle particelle, migliorando, conseguentemente, la struttura del suolo.

Al fine di valutare le reali potenzialità applicative nel riuso irriguo dei reflui agrumari, è stata condotta, nell'ambito del progetto MEDFRUIT, un'attività sperimentale presso un campo di microirrigazione per il riuso delle acque reflue trattate dagli impianti di lagunaggio e fitodepurazione a servizio dello stabilimento di trasformazione agrumaria, di proprietà della Ortogel S.p.A., ubicato nella zona industriale di Caltagirone (Catania). In particolare, l'impianto sperimentale è stato realizzato in prossimità dell'impianto di fitodepurazione a scala pilota, impiegato per il trattamento terziario di parte delle acque reflue prodotte dallo stabilimento Ortogel, ed è stato utilizzato per la produzione di mais a scopi energetici, nel corso del 2021, e per la produzione di riso e soia, nel corso del 2022 (Fig. 1).



Fig. 1 – Ubicazione del campo sperimentale di colture irrigate con acque reflue agrumarie presso i terreni di proprietà dell'Ortogel S.p.A.

2. Impianti sperimentali

2.1 Impianto di mais

Le acque reflue trattate dall'impianto di fitodepurazione, durante la stagione irrigua, sono state stoccate in un serbatoio in calcestruzzo fuori terra (di volume pari a circa 7 m^3), per un tempo variabile in funzione del turno irriguo, ed utilizzate per l'irrigazione di mais.

L'indagine, condotta in pieno campo, ha previsto, nel corso del 2021, la coltivazione di mais in parcelle elementari di $22,5 \text{ m}^2$ ($4,5 \text{ m} \times 5,0 \text{ m}$), organizzate secondo uno schema a blocchi randomizzati replicati tre volte. L'attività sperimentale ha previsto tre diversi livelli di restituzione dell'evapotraspirato: 75% ETc, 50% ETc e 40% ETc (Fig. 2). Inoltre, sono stati indagati anche due livelli di concimazione (ciascuno con tre repliche): bio-fertilizzato (inoculo misto di radici micorrizzate e triturate, contenente spore e miceli di funghi simbiotici endomicorrizici dei generi *Glomus*) e concimato con nitrato di ammonio (70 Kg ha^{-1} di N). Nel terreno, prima della semina, è stata eseguita un'aratura superficiale seguita da un affinamento delle zolle grossolane. Nelle parcelle la semina è stata eseguita, in data 14/06/2021, lungo file distanziate $0,75 \text{ m}$ (Fig. 3). La raccolta del mais è stata eseguita il 13/10/2021.

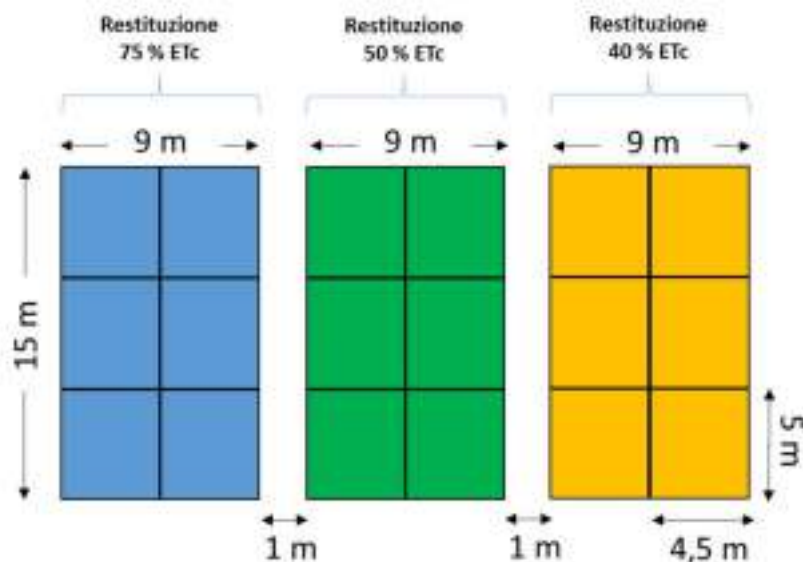


Fig. 2 - Schema dell'impianto sperimentale per la coltivazione di mais irrigato con le acque reflue agrumarie trattate con sistemi naturali



Fig. 3 – Fasi di emergenza (a) e di levata (b) delle piante di mais irrigate con le acque reflue agrumarie trattate con sistemi naturali

Le acque reflue accumulate nel serbatoio sono state prelevate mediante un impianto di sollevamento sommerso, filtrate da un filtro a dischi (produzione Irritec S.p.A.) 100 mesh e convogliate ad un impianto di microirrigazione per la distribuzione delle acque alle colture indagate.

L'impianto di microirrigazione (Fig. 4) era composto da tre settori irrigui, ciascuno costituito da una condotta di testata ($\Phi=40$ mm) ed ali gocciolanti ($\Phi=16$ mm) distanziate 0,75 m.

In ciascuna ala gocciolante leggera (produzione Irritec S.p.A.) erano presenti, ad un'interdistanza di 0,30 m, gocciolatori piatti (Fig. 5) eroganti una portata $q=1,1$ L/h, ad una pressione $p=100$ kPa. Il gocciolatore piatto è in grado di garantire perdite di carico localizzate estremamente ridotte, con conseguente uniformità di erogazione per tutta la lunghezza d'ala.

Ciascun settore irriguo è stato dotato di contatore volumetrico per la lettura dei volumi idrici somministrati, nonché di valvole e manometro per la regolazione ed il controllo della pressione di esercizio.

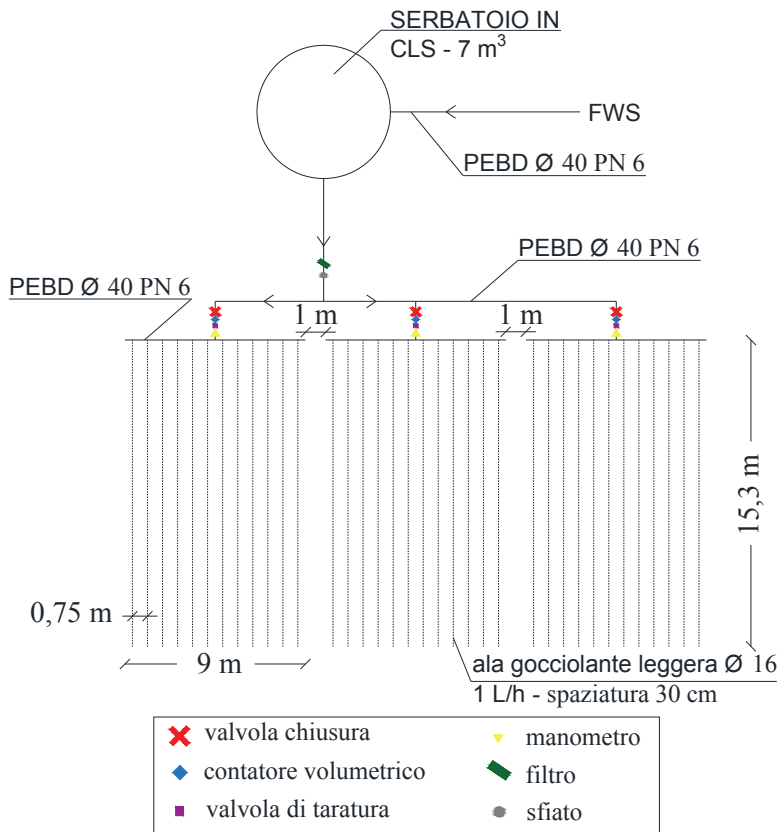


Fig. 4 - Schema dell'impianto irriguo del campo sperimentale di mais realizzato in prossimità degli impianti di trattamento dei reflui prodotti dallo stabilimento dell'OrtoGel S.p.A.

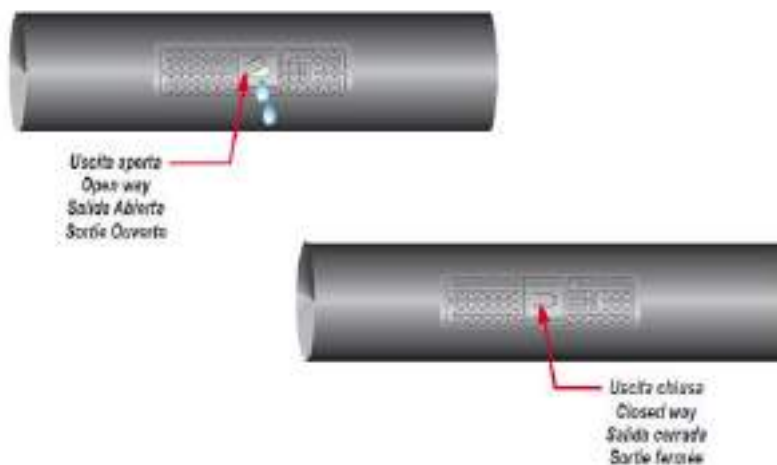


Fig. 5 - Gocciolatori piatti presenti nelle ali gocciolanti leggere utilizzate nel campo irriguo di colture da biomassa ubicato presso i terreni di proprietà dell'OrtoGel S.p.A.

2.2 Impianto di riso e soia

Nel corso del 2022, sul terreno coltivato a mais nel precedente anno, è stata eseguita la coltivazione di riso e soia.

Sono stati posti allo studio tre genotipi di riso label-Sapise (SA.PI.SE. – Cooperativa Agricola) a ciclo di maturazione crescente, breve per S17019 (137 giorni a maturazione), medio S17023 (142 giorni a maturazione) e lungo per S18051 (150 giorni a maturazione); tutti a taglia contenuta, al massimo circa un metro di statura (Tabella 1).

Tabella 1. - Caratteristiche dei due genotipi di riso posti allo studio

Tesi	Label SAPISE	Germinabilità	Peso 1000 semi (g)	Statura (cm)	Ciclo a fioritura (giorni)	Ciclo a maturazione (giorni)
Intercropping	S17019	97	29,90	99	85	137
Intercropping	S17023	79	45,42	102	89	142
Concimazione	S18051	75	47,08	97	91	150

In consociazione con il riso è stata impiegata come leguminosa a ciclo primaverile – estivo la soia cv *Pepita* della società italiana sementi (SIS). La *Pepita* è un genotipo che è stato scelto in relazione all'elevata precocità, unita al ridotto contenuto di fattori antinutrizionali, e il cui sviluppo vegetativo si adatta, meglio di altri genotipi della stessa specie, alle semine ad interfila stretta.

Nel campo sperimentale sono state indagate le seguenti tesi:

- Tesi di consociazione, denominata *Intercropping*, nella quale è stata valutata la risposta, in termini di accrescimento, di riso e soia in due combinazioni di rapporto di consociazione riso:soia: 2:1 e 3:1; per il genotipo di riso S17019, sono state inserite anche due dosi di concimazione azotata (0 e 40 Kg N ha⁻¹);

- Tesi nutrizione azotata, denominata *Nutrienti*, nella quale è stata indagata la risposta, a differenti input di fertilizzazione azotata, in due genotipi di riso ed un genotipo di soia.

L'indagine sperimentale sulle tesi è stata condotta in due differenti settori, di circa 202,5 m² ciascuno. In particolare, la tesi denominata *Intercropping* ha previsto la suddivisione del campo in parcelle di 11,25 m² (2,25 m x 5 m), organizzate secondo uno schema a blocchi randomizzati replicati tre volte (Fig. 6a).

Precisamente, per i blocchi con rapporto riso-soia 3(A):1(S) è stato utilizzato riso CV 'Sapise' (S17019) e soia CV 'Pepita'; per i blocchi con rapporto riso-soia 2(A):1(S) è stato utilizzato riso CV 'Sapise' (S17019) e soia CV 'Pepita'; per i blocchi con rapporto riso-soia 2(B):1(S) è stato utilizzato riso CV 'Sapise' (S17023) e soia CV 'Pepita'; per i blocchi con rapporto riso-soia 1(A):0(S) è stato utilizzato riso CV 'Sapise' (S17019); per i blocchi con rapporto riso-soia 1(B):0(S) è stato utilizzato riso CV 'Sapise' (S17023); per i blocchi con rapporto riso-soia 0:1(S) è stata utilizzata soia CV 'Pepita'. Inoltre, ciascuna parcella è stata ulteriormente suddivisa in due sub-parcelle ed indagata per due differenti livelli di concimazione azotata, N0 (nessuna concimazione) e N40 (40 kg/ha azoto) (Fig. 6b)

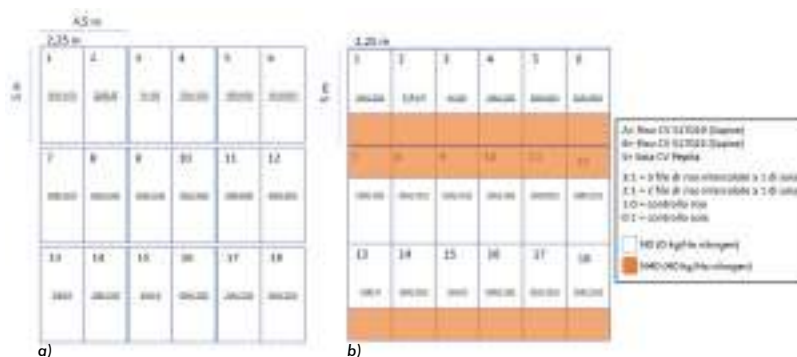


Fig. 6 – Schema del settore Intercropping - a) repliche semina b) livelli di concimazione per parcella

La tesi denominata *Nutrienti* è stata suddivisa in parcelle di 22,5 m² (4,5 m x 5 m) (Fig. 7). Alcune parcelle sono state ulteriormente suddivise in sub-parcelle, denominate rispettivamente, A, B e C, ciascuna avente una superficie pari a circa 2,49 m² (1,66 m x 1,5 m). Le sub-parcelle sono state indagate per tre differenti livelli di concimazione azotata, N0 (nessuna concimazione), N80 (80 kg/ha azoto) e N160 (160 kg/ha azoto).

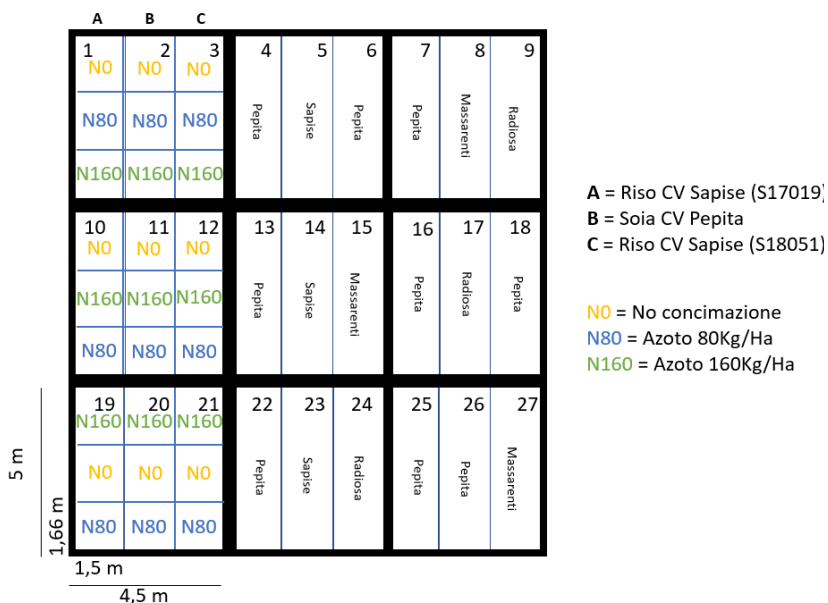


Fig. 7 - Schema del settore Nutrienti

La semina, eseguita il 04.08.2022, è stata preceduta da un'aratura profonda del terreno seguita da un'erpatura.

Nella tesi *Intercropping*, la semina è stata eseguita secondo uno schema a blocchi randomizzati replicati tre volte (rapporto di semina 3:1, rapporto di semina 2:1, controllo riso, controllo soia). Precisamente, per quanto concerne il *rapporto di semina 3:1*, 3 file di riso intercalate ad una di soia, ovvero, semina effettuata lungo file distanziate 0,09 m dall'ala gocciolante e dalla soia; *rapporto di semina 2:1*, 2 file di riso intercalate ad una di soia, ovvero, semina effettuata lungo file distanziate 0,045 m dall'ala gocciolante e 0,135 m dalla fila di soia; *controllo riso*, tre file di riso seminate ad una distanza di 0,12 m dall'ala gocciolante; *controllo soia*, tre file di soia seminate ad una distanza di 0,18 m dall'ala gocciolante.

Nella tesi *Nutrienti*, la semina è stata eseguita come riportato in figura 7, ovvero, le sub-parcelle indicate con "A" sono state seminate con riso CV 'Sapise' (S017019), quelle indicate con "B" sono state seminate con soia CV 'Pepita', infine, quelle indicate con "C" sono state seminate con riso CV 'Sapise' (S18051). Le altre parcelle, non oggetto di indagine per livelli di concimazione, sono state seminate con soia CV 'Pepita', 'Massarenti' e

e 'Radiosa', e con riso CV 'Sapise' (S018051). Riso e soia (Figura 8) sono stati seminati, in tutte le parcelle in file interdistanti 0,06 m dall'ala gocciolante e 0,12 m tra le file, per un totale di 3 file tra le ali gocciolanti.

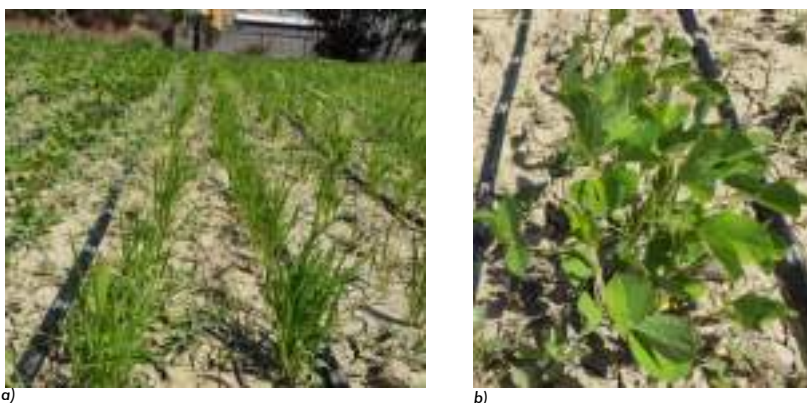


Figura 8 – Piante di riso (a) e soia (b) irrigate con le acque reflue agrumarie trattate con sistemi naturali

Le concimazioni sono state effettuate nel corso dell'ultima settimana di settembre. Nella tesi *Intercropping* la concimazione ha previsto due differenti livelli di apporto nutritivo, rispettivamente N0 (nessuna concimazione) e N40 (40 kg/ha azoto). Analogamente, per la prova *Nutrienti*, sono stati adottati tre differenti livelli di concimazione azotata: N0 (nessuna concimazione), N80 (80 kg/ha azoto) e N160 (160 kg/ha azoto).

La raccolta delle colture oggetto di indagine è stata effettuata, in funzione dello stato di maturazione, durante il mese di novembre. È stata effettuata, dapprima, la raccolta della soia e successivamente quella del riso.

L'impianto irriguo ha mantenuto lo stesso schema impiantistico del precedente anno d'indagine con la sola differenza della suddivisione in due settori, anziché tre, composti, ciascuno, da una condotta di testata ($\Phi=40$ mm) ed ali gocciolanti ($\Phi=16$ mm), distanziate 0,36 m, aventi le medesime caratteristiche, sopraderiscritte, della precedente stagione irrigua.

3. Metodologia

3.1 Irrigazione

3.1.1 Mais

Gli interventi irrigui sono stati effettuati nel periodo giugno – ottobre 2021, con una frequenza di 2-3 giorni in relazione alla

variabilità delle condizioni climatiche.

I volumi irrigui sono stati calcolati in funzione dell'evapotraspirazione colturale (ET_c) calcolata moltiplicando l'evapotraspirazione di riferimento (ET₀), determinata mediante la formula di Penman-Monteith (ASCE-EWRI, 2004) implementata con i dati storici (anni compresi tra il 2016 ed il 2020) raccolti dalla stazione meteorologica del SIAS (Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano) ubicata a Caltagirone, per il coefficiente colturale (K_c) (Allen et al., 1998) variabile in funzione dello stadio fenologico delle specie (compreso tra 0,85 ed 1,2).

Fino all'emergenza delle piantine di mais, sono stati distribuiti volumi idrici superiori alle tesi allo studio (40%, 50% e 75% ET_c) per garantire l'insediamento delle plantule.

3.1.2 Riso e soia

L'irrigazione è stata eseguita nel periodo compreso tra agosto ed ottobre 2022, con una frequenza variabile tra 2 e 3 giorni, ed è stata programmata per rispondere pienamente alla domanda evapotraspirativa dell'ambiente allo studio.

Anche nella stagione 2022 i volumi irrigui sono stati calcolati moltiplicando l'ET₀, determinata con i dati raccolti da una stazione meteorologica prossima al sito sperimentale, per i seguenti K_c : 1,00 (K_{cini}), 1,20 (K_{cmid}) e 0,6 (K_{cend}).

3.2 Caratterizzazione chimico-fisica e microbiologica delle acque reflue irrigue

Durante le stagioni irrigue sono state campionate, con frequenza variabile, le acque reflue impiegate per l'irrigazione. I campionamenti sono stati eseguiti in uscita dal sistema di fitodepurazione a flusso superficiale. Sui campioni prelevati sono stati determinati, utilizzando le metodiche APHA (2012), i seguenti parametri chimico-fisici e microbiologici: pH, colore, odore, materiali grossolani, solidi sospesi totali, BOD₅, COD, solfuri (come H₂S), solfiti (come SO₃), solfati (come SO₄), cloruri, fluoruri, fosforo totale (come P), azoto ammoniacale (come NH₄), azoto nitroso (come N), azoto nitrico (come N), azoto totale, saggio di tossicità acuta ed *Escherichia coli*.

3.3 Rilievi dei caratteri morfobiometrici e della produttività

3.3.1 Mais

Sulla coltura di mais sono stati effettuati dei rilievi bio-agronomici finalizzati alla valutazione dei principali parametri biometrici nonché della produttività.

In particolare, nelle parcelle allo studio, sono state identificate aree campione di 1 m² (1 m x 1 m) nelle quali, al termine del ciclo vegetativo, sono stati prelevati campioni di vegetazione per la determinazione del peso fresco e secco (in g pianta⁻¹) delle piante (suddiviso tra culmo, foglie e spiga), della produttività (in Mg ha⁻¹) e del contenuto di umidità alla raccolta (in %). Tali parametri sono stati valutati essiccando, ad una temperatura di 65°C, i campioni delle specie indagate in una stufa termoventilata fino al raggiungimento del peso costante. Inoltre, su piante rappresentative della popolazione sono stati rilevati i seguenti caratteri biometrici: statura della pianta, diametro basale del culmo e superficie fogliare. Quest'ultima è stata determinata attraverso un software di analisi delle immagini (ImageJ).

3.3.2 Riso e soia

Per le colture di riso e soia sono stati effettuati rilievi in campo ed in laboratorio. In campo, sono stati rilevati il numero di piante su fila 0,50 m (3 repliche) ed il numero di piante per sub-parcella. In laboratorio, sono stati rilevati:

- per la soia: statura, numero medio di baccelli per pianta e numero medio di semi per baccello;
- per il riso: statura, peso fresco e peso secco pianta, peso fresco e peso secco del panicolo.

3.4 Analisi statistica

I dati sono stati sottoposti all'analisi della varianza; in presenza di significatività è stato applicato il metodo di separazione delle medie di Student-Newman-Keuls (SNK). Le relazioni tra i caratteri sono state analizzate attraverso l'applicazione della correlazione lineare e delle funzioni di regressione lineare.

4. Risultati

4.1 Acque irrigue

4.1.1 Stagione irrigua 2021 (mais)

I volumi irrigui somministrati alla coltura di mais sono risultati pari a circa 58 m³ (tesi 75% ET_c), 44 m³ (tesi 75% ET_c) e 36 m³ (tesi 75% ET_c).

Le analisi chimico-fisiche e microbiologiche condotte sui campioni di acque reflue irrigue hanno evidenziato ridotte concentrazioni di nutrienti (azoto e fosforo) mentre le concentrazioni di SST, sostanza organica ed *Escherichia coli* sono risultate costantemente superiori ai limiti imposti dal D.M. 185/2003 per il riuso irriguo delle acque reflue trattate (Tabella 2).

Tabella 2 - Valori medi e DS (in parentesi) delle concentrazioni dei parametri chimico-fisici e microbiologici nelle acque reflue impiegate per l'irrigazione della coltura di mais.

Parametri	Unità di misura	Media	Dev. St.
pH	//	8,07	0,12
Colore	Hazen	<1:20	-
Odore	//	No Molestie	-
Materiali Grossolani	//	Assenti	-
Solidi Sospesi Totali	mg/L	37	38
BOD ₅ (come O ₂)	mg/L	76	31
COD	mg/L	175	65
Solfuri	mg/L	0,12	0,10
Solfiti	mg/L	<0,01	-
Solfati	mg/L	38,7	5,51
Cloruri	mg/L	195	12
Fluoruri	mg/L	0,13	0,23
Azoto ammoniacale	mg/L	<0,6	-
Azoto nitroso	mg/L	<0,08	-
Azoto nitrico	mg/L	1,0	2,3
Azoto totale	mg/L	5,3	3,1
Fosforo Totale	mg/L	6,0	1,6
Oli essenziali	mg/L	2,8	4,7
Tossicità acuta con batteri bioluminescenti	% Inibizione	93	1
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	290	227

4.1.2 Stagione irrigua 2022 (riso e soia)

Nel corso della stagione irrigua 2022 sono state rilevate caratteristiche, chimico-fisiche e microbiologiche delle acque reflue utilizzate per l'irrigazione del campo sperimentale, simili a quelle evidenziate nel precedente anno (Tabella 3). È stata quindi

confermata, per i principali parametri, la mancata compatibilità ai limiti del D.M. 185/2003.

Il volume di reflui distribuiti in ciascuna tesi allo studio (*Inter-cropping e Nutrienti*) è stato pari a circa 60 m³. L'altezza complessiva delle precipitazioni, nel corso della stagione irrigua, è risultata pari a circa 90 mm.

Le ridotte concentrazione dei nutrienti, rilevate nelle acque reflue irrigue, hanno determinato una distribuzione complessiva di azoto e fosforo, con le irrigazioni, inferiore a 0,5 Kg per ciascun elemento in ciascuna tesi.

Tabella 3 - Valori medi e DS (in parentesi) delle concentrazioni dei parametri chimico-fisici e microbiologici nelle acque reflue impiegate per l'irrigazione delle colture di riso e soia.

Parametri	Unità di misura	Media	Dev. St.
pH	//	7,60	0,14
Colore	Hanzen	<1:20	-
Odore	//	No Molestie	-
Materiali Grossolani	//	Assenti	-
Solidi Sospesi Totali	mg/L	94	93
BOD ₅ (come O ₂)	mg/L	60	49
COD	mg/L	135	92
Solfuri	mg/L	<0,01	-
Solfiti	mg/L	<0,01	-
Solfati	mg/L	29,5	20,5
Cloruri	mg/L	218	1
Fluoruri	mg/L	<0,18	-
Azoto ammoniacale	mg/L	<0,6	-
Azoto nitroso	mg/L	0,41	0,57
Azoto nitrico	mg/L	2,0	2,8
Azoto totale	mg/L	9,5	3,5
Fosforo Totale	mg/L	5,3	1,7
Oli essenziali	mg/L	0,11	0,05
Tossicità acuta con batteri bioluminescenti	% Inibizione	44	62
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	117	47

4.2 Rilievi bioagronomici e produttività

4.2.1 Mais

I rilievi bioagronomici eseguiti sulla coltura di mais hanno evidenziato differenze significative tra i diversi trattamenti irrigui allo studio (Fig. 9). Come ci si aspettava, la statura è significativamente diminuita dalla massima restituzione (75% ET) della

domanda evapotraspirativa alla minore (40% ET_c) passando da un valore medio di circa 263 cm a circa 148 cm.

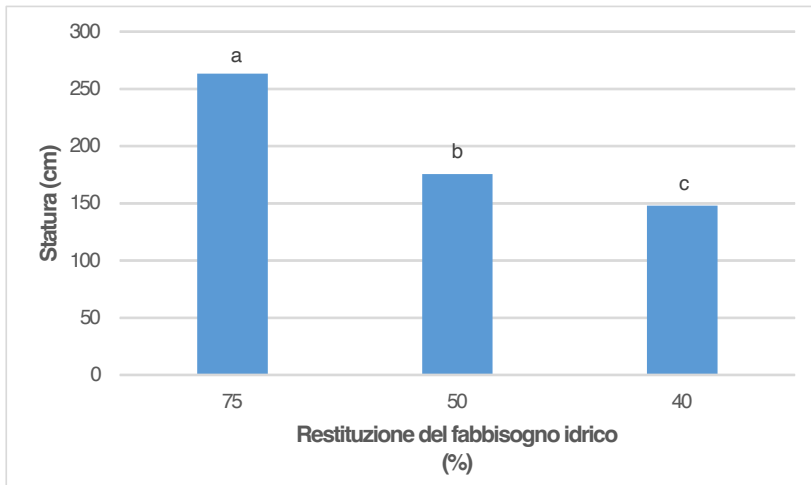


Fig. 9 – Valori medi della statura delle piante di mais rilevati nelle diverse tesi irrigue (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Differenze significative sono state rilevate anche per il carattere “diametro basale del culmo” che confermano i maggiori valori (2,8 cm) della tesi con il 75% di restituzione dell’evapotraspirato rispetto alle altre tesi irrigue allo studio (2,5 cm tesi 50% ET_c ; 2,3 cm tesi 40% ET_c) (Fig. 10).

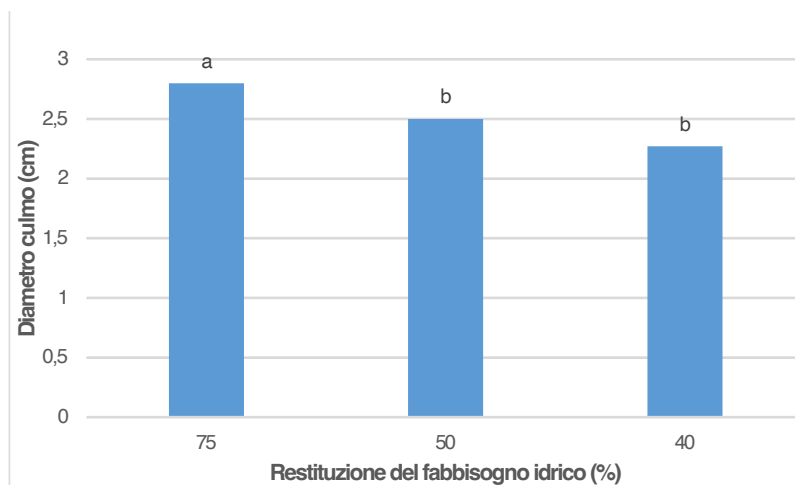


Fig. 10 – Valori medi del diametro basale del culmo delle piante di mais rilevati nelle diverse tesi irrigue (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Relativamente alla concimazione appare chiaro la pronta efficacia nutrizionale del fertilizzante minerale rispetto a quello organico nel promuovere l'accrescimento diametrico delle piante (Figura 11) determinando differenze significative tra le due tesi indagate.

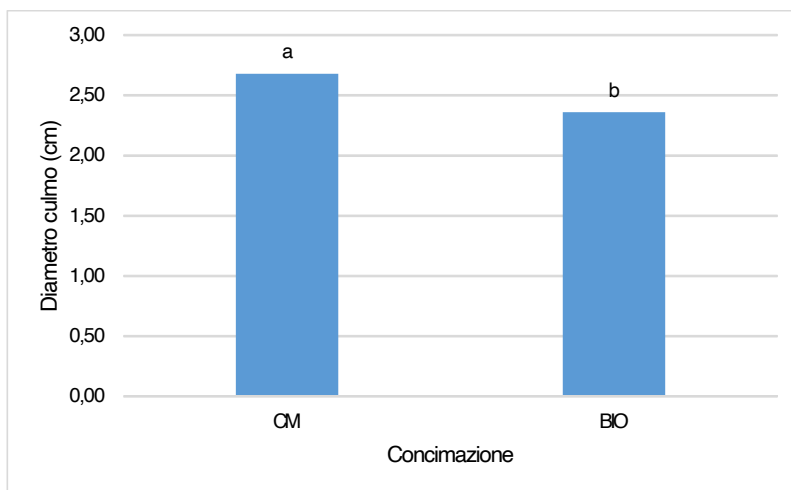


Fig. 11 – Valori medi del diametro basale del culmo delle piante di mais rilevati nelle tesi concimate con fertilizzante minerale (CM) ed in quelle biofertilizzate (BIO) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

L'interazione tra le restituzioni idriche e la tipologia di fertilizzazione, anche per il carattere "superficie fogliare" (Fig. 12), ha fatto emergere il positivo effetto della concimazione minerale con le minori restituzioni dell'evapotraspirato (50 e 40% ET_c). Nella tesi irrigua 75% ET_c , anche a causa dell'ampia variabilità dei dati rilevati, non sono state evidenziate significative differenze tra le due diverse fertilizzazioni. Quest'ultima tesi, come previsto, è stata quella con la maggiore superficie fogliare (valore medio pari a circa 4.700 cm^2). Infatti, è noto che, in seguito a stress idrico, diminuisce il numero totale di foglie, la superficie e la biomassa fogliare.

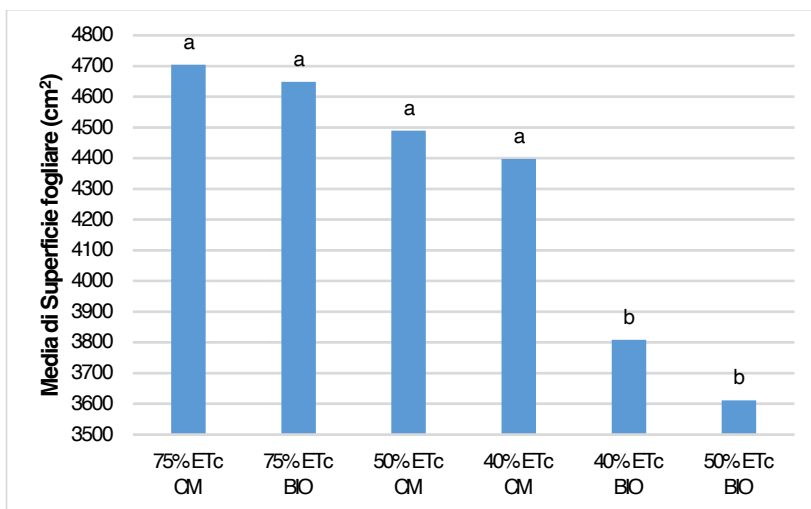


Fig. 12 – Valori medi della superficie fogliare delle piante di mais rilevati nelle tesi concimate con fertilizzante minerale (CM) ed in quelle biofertilizzate (BIO) e nelle diverse tesi irrigue (75% ET_c, 50% ET_c, 40% ET_c) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per P<0,05)

La produzione di sostanza secca della parte aerea delle piante di mais è risultata positivamente influenzata dai volumi irrigui e, nella tesi irrigua 50% ET_c, dalla concimazione minerale. In particolare, la restituzione del 75% dell'ET_c ha determinato una produzione di sostanza secca, per singola pianta, significativamente superiore (di circa il 50%) rispetto agli altri trattamenti indagati (Fig. 13). Analizzando il principale componente della biomassa aerea, rappresentato dal culmo, si rilevano i maggiori valori (media pari a circa 110 g pianta⁻¹) nelle tesi con restituzione del 75% ET_c che non sono risultate significativamente diverse dalla tesi 50% ET_c concimata con fertilizzante minerale (Fig. 14).

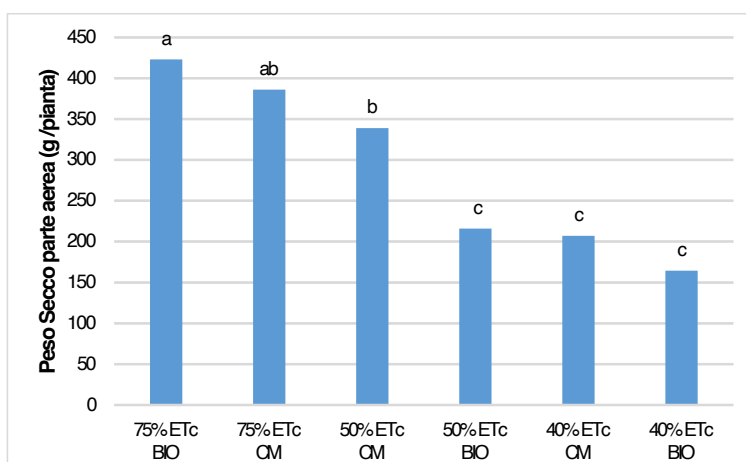


Fig. 13 – Valori medi del peso secco della parte aerea di ciascuna pianta di mais in funzione del diverso livello di restituzione dell'evapotraspirato (75% ET_c, 50% ET_c, 40% ET_c) e della diversa concimazione (fertilizzante minerale - CM e biofertilizzazione - BIO) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per P<0,05)

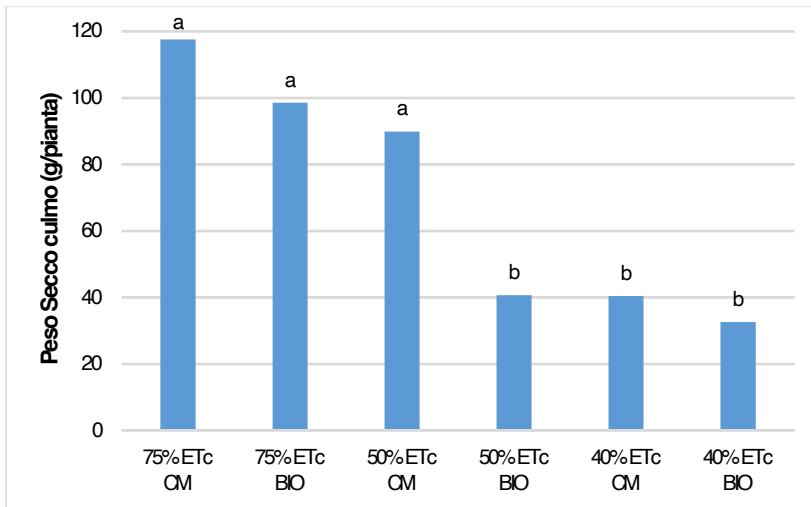


Fig. 14 – Valori medi del peso secco del culmo di ciascuna pianta di mais in funzione del diverso livello di restituzione dell'evapotraspirato (75% ET_c, 50% ET_c, 40% ET_c) e della diversa concimazione (fertilizzante minerale - CM e biofertilizzazione - BIO) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per P<0,05)

Le produzioni di biomassa secca hanno evidenziato un andamento simile a quello del peso secco del culmo di ciascuna pianta. Con le maggiori produzioni rilevate nelle tesi 75% ET_c e 50% ET_c concimata con fertilizzante minerale (media pari a circa 22 Mg ha⁻¹) che sono risultate significativamente diverse da quelle rilevate nelle restanti tesi allo studio (media pari a circa 12 Mg ha⁻¹) (Fig.15). L'umidità media, rilevata nella biomassa aerea all'atto della raccolta, non è risultata significativamente diversa tra le diverse tesi indagate con un valore medio pari a circa il 67%.

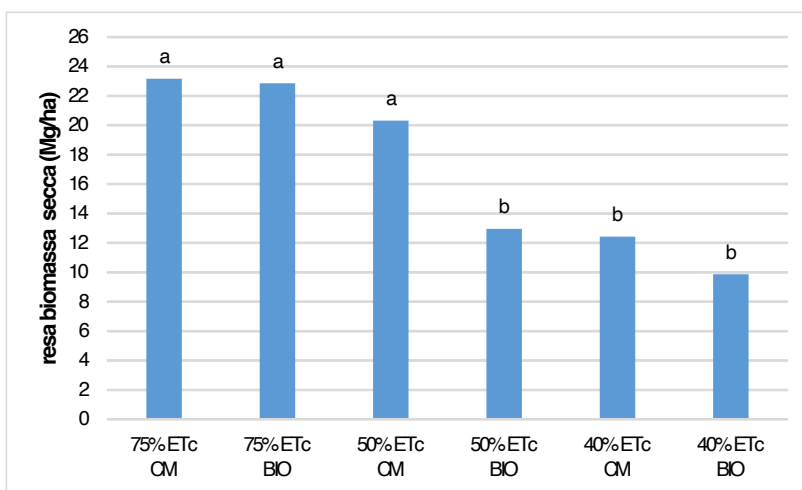


Fig. 15 – Produzioni medie di biomassa secca rilevate nelle parcelle di mais in funzione del diverso livello di restituzione dell'evapotraspirato (75% ET_c, 50% ET_c, 40% ET_c) e della diversa concimazione (fertilizzante minerale - CM e biofertilizzazione - BIO) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per P<0,05)

4.2.2 Riso e soia

La coltura di riso, a causa della semina ritardata, non ha raggiunto la fase di piena maturazione dei panicoli, per cui si riportano i principali dati relativi allo sviluppo delle piante. Inoltre, a causa della contrazione del ciclo, non sono chiaramente emerse differenze in relazione alla precocità ed agli stati fenologici delle diverse cultivar.

Statura delle piante

I rilievi bioagronomici eseguiti sul riso, sulla prova di concimazione azotata, hanno evidenziato differenze significative esclusivamente tra le tesi non concimate e quelle concimate per il genotipo S17019, mentre gli apporti di azoto rispettivamente di N 80 e N 160 non hanno promosso alcuna differenza nell'accrescimento del secondo genotipo di riso S18051 in relazione al maggiore ciclo di maturazione che non ha permesso di evidenziare differenze tra le tesi (Fig. 16).

Come ci si aspettava, la statura è significativamente diminuita, per il genotipo più precoce S17019, solo in mancanza di concimazione azotata passando da un valore medio di circa 43 cm a 37 cm.

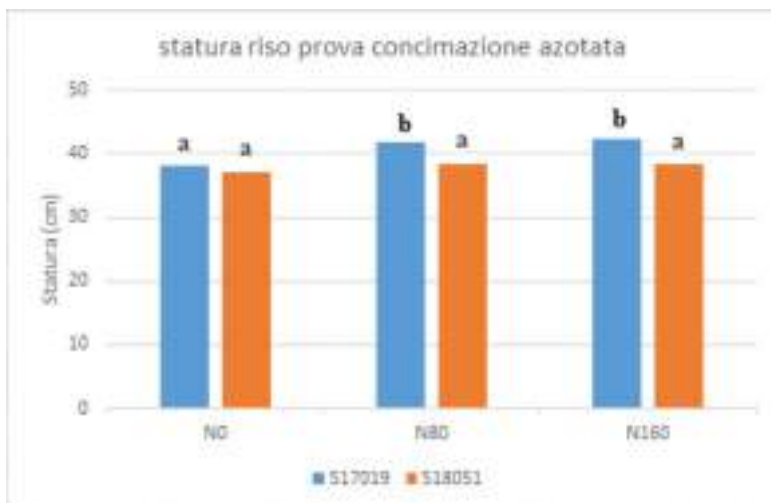


Fig. 16 – Valori medi della statura delle piante dei due genotipi di riso allo studio rilevati nelle diverse tesi concimate (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Nella prova di consociazione azotata è stato evidenziato, per il genotipo di riso S17019, per la coltura in purezza (sole crop) e per il rapporto di consociazione con la soia di 2:1, un effetto positivo della concimazione azotata (N40). Andamento opposto

per il rapporto di concimazione 3:1 con la massima statura della sperimentazione nelle tesi non concimate (50 cm). Per l'altro genotipo a ciclo maggiore S17023, invece, nessuna differenza significativa è stata misurata tra la sole crop e la consociazione di 2:1 né tra le parcelle non concimate e quelle con 40 Kg di N per ettaro.

Come per la prova di concimazione azotata, anche in questo caso emerge il ruolo della maggiore precocità del ciclo di maturazione nella risposta ai trattamenti allo studio. È interessante evidenziare come il rapporto di consociazione di 3:1 abbia promosso, in particolare per le tesi non concimate, la maggiore statura del riso, significativamente superiore a tutti gli altri trattamenti (Fig. 17).

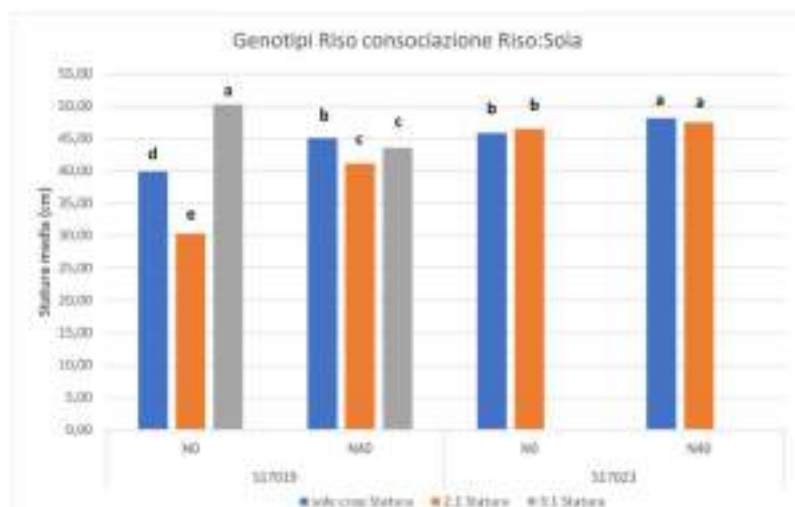


Fig. 17 – Valori medi della statura dei genotipi di riso in relazione ai diversi rapporti di consociazione allo studio confrontati con la coltura pura (sole crop) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Per la soia (cv *Pepita*) si evidenzia come la massima statura sia stata raggiunta nel rapporto di consociazione con il riso di 3:1, con oltre 50 cm nelle tesi non concimate, in tali parcelle senza concimazione azotata, la presenza del riso ha promosso lo sviluppo della leguminosa rispetto alla coltura pura, probabilmente anche per l'effetto della poacea nel contenimento di malerbe particolarmente aggressive durante la sperimentazione. Appare inoltre chiaro come per la leguminosa l'apporto di azoto minerale (N40) abbia contenuto significativamente il suo sviluppo per l'effetto inibente sul processo di azotofissazione (minor numero di tubercoli radicali, dati non presentati) (Fig. 18).

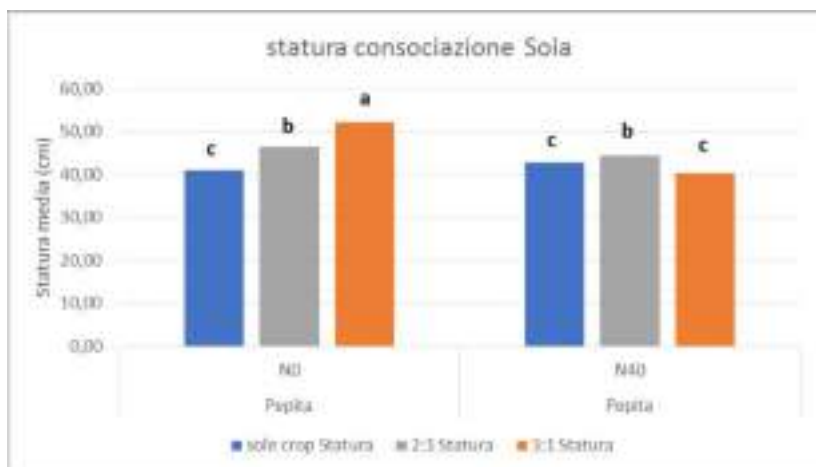


Fig. 18 – Valori medi della statura dei genotipi di soia in relazione ai diversi rapporti di consociazione allo studio confrontati con la coltura pura (sole crop) (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Biomassa aerea

La produzione di sostanza secca della parte aerea delle piante di riso è risultata, come ci si attendeva, positivamente influenzata dalla concimazione azotata minerale con il peso secco della parte aerea che si è accresciuto all'aumentare della dose di azoto. “In particolare, dal testimone non concimato, in S18051, si è avuto un incremento della biomassa aerea, pari al 17%, per N160 e di circa il 6% per la dose N40 mentre, in S17019, sono stati rilevati incrementi di circa il 13% (N160) ed il 9% (N40) (Fig. 19).”

Per quanto riguarda il panicolo, anche per questo carattere la precocità del ciclo ha permesso, nei limiti sperimentali prima descritti (semine in significativo ritardo) di potersi sviluppare, in S17019, prima dell'altro genotipo più tardivo. Nessuna differenza di rilievo è emersa all'interno dei genotipi tra i trattamenti allo studio (Fig. 20).



Figura 19 – Valori medi del peso secco della parte aerea dei genotipi di riso in relazione ai diversi rapporti di concimazione azotata allo studio (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)



Fig. 20. – Valori medi del peso secco del panicolo dei genotipi di riso in relazione ai diversi rapporti di concimazione azotata allo studio (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Il peso secco della biomassa aerea, ha seguito l'andamento di quanto riportato per la statura. Per il genotipo a ciclo precoce, si evidenzia come il rapporto spaziale tra riso e soia di 3:1 abbia prodotto un significativo effetto positivo sulla biomassa aerea nelle parcelle non concimate; nella dose di concimazione azotata di 40 Kg N ha^{-1} la coltura pura ha manifestato il massimo accrescimento mentre il rapporto 3:1 conferma il suo vantaggio rispetto all'altro rapporto consociazione 2:1 riso:soia (Fig.21).

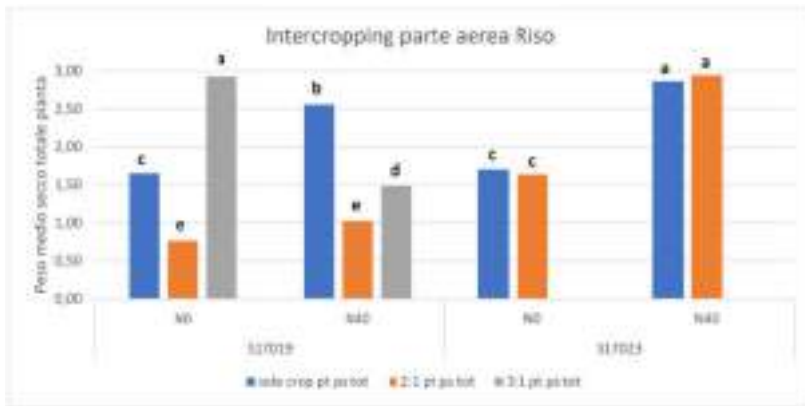


Fig. 21 – Valori medi del peso secco della parte aerea dei genotipi di riso in relazione ai diversi rapporti di concimazione azotata e di consociazione allo studio (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Per quanto riguarda la soia, nella media dei due genotipi di riso allo studio, le componenti della resa hanno presentato i seguenti risultati.

Il numero di baccelli per pianta è variato dai 9, per le piante cresciute con il riso nel rapporto di 3:1 e concimate con 40 unità di azoto, a circa 14 per le tesi concimate in coltura pura concimata e consociate 2:1 e per le piante di soia non concimate seminate con il riso nel rapporto 3:1 (Fig. 22)

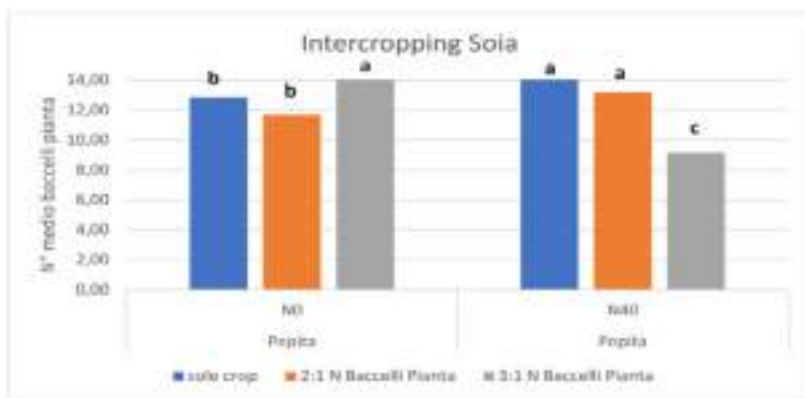


Fig. 22. – numero di baccelli per pianta di soia in relazione ai diversi rapporti di concimazione azotata e di consociazione allo studio (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

Il numero di semi per baccello è stato costante per tutte le tesi pari a circa 2,5. Portando il numero di semi per pianta a seguire il medesimo andamento riscontrato per il numero di baccelli pianta. Pertanto, si passa dal minimo di circa 24 ai 38 per la consociazione 3:1, rispettivamente per la tesi concimata e quella non concimata con azoto.

Reso soia

Al termine della sperimentazione è stato possibile effettuare una raccolta esclusivamente per la leguminosa che, pur nel ritardo dell'epoca di semina, ha potuto evidenziare una resa differente relativamente ai trattamenti allo studio.

L'assenza della concimazione azotata ha, in entrambi i rapporti di consociazione della leguminosa con il genotipo di riso S17019, promosso la resa in granella che, per il rapporto 3:1, è stata di circa 3 tonnellate per ettaro, di circa il 45 % superiore alla resa ottenuta per rapporto di consociazione riso soia di 2:1.

La concimazione con 40 unità di azoto, probabilmente anche per un maggiore stimolo allo sviluppo di erbe spontanee, oltre che all'effetto deprimente sulla fissazione simbiotica dell'azoto ha particolarmente nociuto al rapporto 3:1 con una produzione di poche centinaia di chili per ettaro. L'effetto negativo per le piante di pepita consociate al riso nel rapporto di 2:1 ha invece portato ad una riduzione del 22 % rispetto allo stesso rapporto coltivato senza concimazione azotata (Fig. 23).

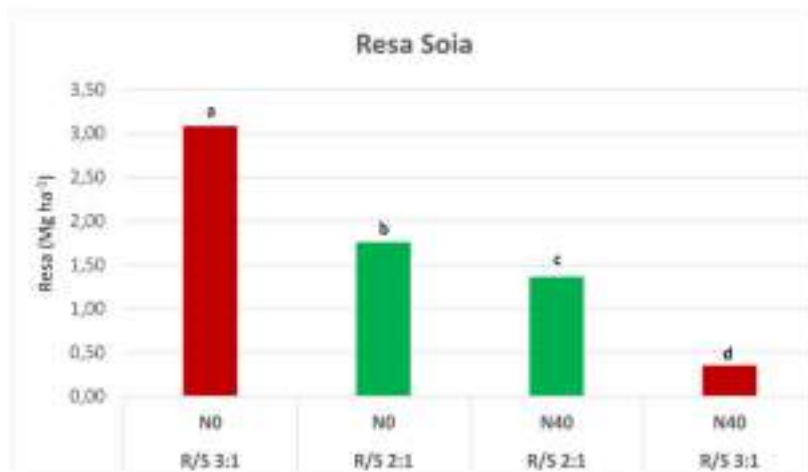


Figura 23 – Reso soia in relazione ai diversi rapporti di concimazione azotata e di consociazione con il genotipo di riso S17019 allo studio (lettere diverse indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,05$)

5. Conclusioni

Le attività sperimentali hanno rilevato che, nelle acque reflue trattate utilizzate a scopo irriguo, sono stati frequentemente superati, durante il periodo d'indagine, i limiti per i parametri SST, sostanza organica ed *Escherichia coli*, imposti dal D.M. 185/2003 in tema di riuso delle acque reflue urbane. Nonostante le caratteristiche qualitative non conformi agli attuali limiti legislativi nazionali, non sono stati evidenziati effetti negativi sulle colture indagate.

La coltura di mais, con il 75% di restituzione dell'evapotraspirato, ha evidenziato rese in biomassa secca mediamente pari a 23 Mg ha⁻¹ comparabili con le produzioni ottenute in altre indagini sperimentali condotte in ambiente Mediterraneo. Con una riduzione dei volumi irrigui, pari al 50% dell'ET_c, la concimazione minerale ha determinato una produttività in biomassa secca significativamente maggiore rispetto alla concimazione con biofertilizzante. I risultati hanno dimostrato che una considerevole riduzione dei volumi irrigui (40% dell'ET_c) produce, nel mais, significative riduzioni delle rese in biomassa secca, pari a circa la metà di quelle ottenute nella tesi con restituzione del 75% ET_c.

Nelle indagini sperimentali condotte nel 2022, il ritardo nell'epoca di semina non ha consentito una valutazione delle rese del riso mentre non ha influenzato negativamente le rese della soia che sono risultate in linea con i dati di letteratura

I ridotti quantitativi di azoto e fosforo, distribuiti con le acque irrigue, non sono stati in grado di soddisfare le esigenze nutritive delle colture indagate, risulta quindi necessario, nel caso di impiego irriguo dei reflui agrumari trattati, integrare gli elementi nutritivi con interventi di concimazione.

In definitiva, l'indagine condotta su colture in pieno campo sui terreni di proprietà dell'Ortogel S.p.A., ha fornito importanti indicazioni sia in termini di attività di ricerca sperimentale e conoscenza delle reali potenzialità di utilizzo a scopo irriguo delle acque reflue agrumarie trattate con impianti naturali, sia in termini pratico-applicativi sulla effettiva fattibilità tecnica ed ambientale a scala di campo di tali interventi produttivi. In par-

in termini pratico-applicativi sulla effettiva fattibilità tecnica ed ambientale a scala di campo di tali interventi produttivi. In particolare, è emerso che le acque reflue agrumarie possono rappresentare un'importante risorsa idrica integrativa nel settore irriguo agricolo che non influisce negativamente sulla produttività delle colture anche quando presenta caratteristiche qualitative non strettamente conformi agli attuali limiti normativi nazionali. Ovviamente un'esaustiva valutazione degli effetti sulle colture e sulle caratteristiche fisiche, chimiche ed idrauliche del suolo potrà essere ottenuta solo dopo un pluriennale uso irriguo dei reflui agrumarie.