



TIPO DI OPERAZIONE

16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 1089 DEL 31/08/2020

FOCUS AREA 5A 5D

RELAZIONE TECNICA INTERMEDIA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO n. 5206511

DOMANDA DI PAGAMENTO n. 5702981

Titolo Piano	Gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino - GESTFALDA
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Consorzio di Bonifica di Secondo Grado per il Canale Emiliano Romagnolo - CER
Partner del GO	Consorzio di Bonifica di Secondo Grado per il Canale Emiliano Romagnolo – CER – capofila RI.NOVA - partner effettivo CIRI-AGRO UniBO – partner effettivo Agronica Group – partner effettivo Agrisfera – partner effettivo DINAMICA S.c.a r.l. – partner effettivo Soc..Agr Tenuta Florio – partner associato Soc. Agr. Vallazza s.s.– partner associato

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	32
Data inizio attività	01/04/2021
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	30/11/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	01/04/2021	al	30/11/2023
Data rilascio relazione	18/01/2024		

Autore della relazione	Roberto Genovesi		
telefono		e-mail	genovesi@consorzioocer.it
pec	cer@pec.consorzioocer.it		

Sommario

1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO.....	3
1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO.....	3
2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE.....	4
2.1 – AZIONE 1.....	4
2.1.1 – Attività e risultati – AZIONE 1.....	4
2.1.2 - PERSONALE – AZIONE 1.....	6
2.2 – AZIONE 3.....	7
2.1.1 – Attività e risultati – AZIONE 3.....	7
2.2.2 - Personale AZIONE 3.....	14
2.2.3 - COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI – AZIONE 3.....	15
2.3 – AZIONE 4.....	15
2.3.1 – Attività e risultati – AZIONE 4.....	15
2.3.2 - Personale AZIONE 4.....	17
2.3.3 - COLLABORAZIONI, CONSULENZE – AZIONE 4.....	17
2.4 – ATTIVITA’ DI FORMAZIONE – AZIONE 5 (Dinamica).....	17
2.9 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA.....	19
3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL’ATTIVITÀ.....	19
4 - ALTRE INFORMAZIONI.....	19
5 - CONSIDERAZIONI FINALI.....	20
6 - RELAZIONE TECNICA.....	20

1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO

Tutte le azioni del piano sono state portate a conclusione secondo i protocolli sperimentali previsti. Gli obiettivi prefissati nel progetto sono stati raggiunti, senza particolari criticità. Sono stati eseguiti tutti i rilievi e i campionamenti di acque, suoli, vegetazione funzionali allo studio dell'interazione tra acque irrigue e acqua di falda.

Le attività svolte in campo e l'elaborazione dei dati ha consentito di valutare l'impatto positivo dei rilasci di acqua dolce dal Canale Gronda Bosco Eliceo sulla salinizzazione della falda e del suolo, con focus sulle alternative gestionali e sui benefici economici associati. In particolare, sono stati sviluppati modelli per generare scenari alternativi e per condurre un'analisi ambientale del beneficio collettivo legato alla presenza di canali in aree a rischio di salinizzazione (Azione 3.1).

Inoltre, è stato sviluppato un modello per sfruttare le potenzialità delle aree umide nella lotta contro la salinizzazione e la subsidenza nelle zone critiche della Valle del Mezzano. L'analisi ha coinvolto situazioni reali, come i "chiari" gestiti dall'azienda Agrisfera, e la produzione di scenari per simulare la presenza di un'area umida in aree critiche della Valle del Mezzano (Azione 3.2).

Al fine di sviluppare un modello di consiglio irriguo che considerasse la salinità dell'acqua è stato testato il DSS IrriNet anche per calcolare l'apporto irriguo aggiuntivo necessario a eliminare concentrazioni dannose di sali nel suolo favorendo la lisciviazione (Azione 3.3).

Per quanto riguarda l'azione 3.4 è stato sviluppato e testato un modello per calcolare i fabbisogni idrici per la coltivazione del riso integrato nel DSS IrriNet, valutando anche il contributo agli ecosistemi in aree considerate marginali per la presenza di intrusioni saline, come il ramo di Goro del delta del Po (Azione 3.4).

1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
1.	RI.NOVA / CER	Esercizio della cooperazione	1	1	32	-
3.1	CER/Unibo	Analisi dei rilasci idrici dei canali di bonifica nelle zone costiere e valutazione del loro contributo per il contrasto alla salinizzazione	4	4	20	-
3.2	CER/Unibo	Valutazione del beneficio ecosistemico connesso alla gestione delle acque consortili in aree umide	4	4	20	-
3.3	CER/Unibo Agronica/Agrisfera	Predisposizione su IRRINET di un modello di leaching requirement per il contrasto alla salinizzazione dei suoli	1	1	20	-
3.4	CER/Agronica	Predisposizione di un modello per una gestione sostenibile dei fabbisogni idrici del riso su IRRINET	1	1	20	-
4.	CER	Divulgazione	10	10	32	-
5.	Dinamica	Formazione	13	13	32	-

2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

2.1 – AZIONE 1

2.1.1 – Attività e risultati – AZIONE 1

Azione	Azione 1 – Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	CER - Rinova
Descrizione delle attività	<p>Ri.Nova ha coadiuvato CER nel ruolo di coordinatore e gestore delle azioni del Piano d'innovazione, pianificando e mettendo in atto tutte le iniziative necessarie a realizzare l'attività progettuale e conseguire i risultati previsti dal Piano stesso.</p> <p>Ri.Nova, tramite proprio personale, ha seguito regolarmente e gestito con le necessarie e opportune documentazioni, tutte le fasi di sviluppo, dall'attivazione anche formale, alla rendicontazione conclusiva, del GO e del relativo Piano per assicurarne il corretto funzionamento e svolgimento attraverso: il monitoraggio dello stato d'avanzamento dei lavori; la valutazione dei risultati in corso d'opera; l'analisi degli scostamenti, comparando i risultati intermedi raggiunti con quelli attesi e l'eventuale definizione delle azioni correttive.</p> <p>In particolare, sono di seguito descritte le diverse attività di esercizio della cooperazione.</p> <p>A seguito dell'approvazione del Piano (Determina Reg. Emilia Romagna Num. 5510 del 30/03/2021) è stata gestita la fase di costituzione dell'ATS con tutti i partner del Gruppo Operativo (GO) fino alla sua completa formalizzazione.</p> <p>In fase preliminare di avvio, i partner sono stati informati dell'approvazione della domanda e della conseguente attivazione del piano per mezzo di e-mail.</p> <p>In data 5 maggio 2021 si è tenuto un incontro, in videoconferenza, con tutto il GO per l'attivazione del Progetto dove sono state illustrate le varie fasi del Piano e si è proceduto alla pianificazione delle diverse attività per il 2021. L'incontro ha rappresentato anche il momento di costituzione del Comitato di Piano (CP) per la gestione e il funzionamento del GO. Il CP è quindi composto da:</p> <ul style="list-style-type: none">- (Responsabile Progetto RP)<ul style="list-style-type: none">- CER;- (Responsabile Scientifico RS), - Dicam UniBO; - - Distal UniB O;- - Agronica Group;- - Ri.Nova;- - Agrisfera;- - Soc. Agr. Tenuta Florio;- - Dinamica. <p>In data 15/10/2021 si è tenuta una riunione di coordinamento a distanza per la verifica dello stato di avanzamento, in cui si sono analizzate le attività svolte nel corso del 2021.</p> <p>In data 27/01/2022 si è tenuta una videoconferenza di pianificazione dei lavori da svolgere nel corso del 2022.</p> <p>Un'altra riunione di coordinamento operativo tra i componenti il GO di verifica delle attività previste si è tenuta il 18/07/2022 per discutere lo stato di avanzamento dei lavori del 2022.</p>

Successivamente, nel corso del 2023, si sono tenuti altri momenti di coordinamento tra i diversi componenti il gruppo di lavoro per definire le attività di divulgazione e, infine, nel mese di novembre 2023 si sono tenute diverse videoconferenze per l'analisi dei risultati raggiunti e accordarsi sulla stesura della relazione tecnica.

In definitiva, CER, con il supporto di Ri.Nova si è occupato di coordinare nel complesso tutte le attività, animando il GO, seguendone il percorso e verificandone la coerenza e buon sviluppo attraverso frequenti incontri, sopralluoghi, contatti telefonici ed e-mail; hanno inoltre favorito lo scambio di informazioni e il necessario supporto sia informativo che logistico per il buon sviluppo delle sinergie e attività previste dal piano.

Durante il costante monitoraggio dei lavori ed i risultati via via raggiunti, in caso di scostamenti, sono state valutate le necessarie azioni correttive.

Al termine del Progetto il RP, il RS, gli altri tecnici del CER e Ri.Nova, insieme ai partner coinvolti, hanno completato l'analisi dei risultati finali ottenuti e predisposto la relazione tecnica oltre alle altre documentazioni necessarie per la rendicontazione conclusiva amministrativo-economica. CER e Ri.Nova si sono occupati della gestione e predisposizione della documentazione e hanno opportunamente informato e supportato i partner nella fase di rendicontazione tecnica ed economica.

Autocontrollo e Qualità

Il CER come capofila del GOI applica all'esecuzione del piano le procedure interne di qualità afferenti al Sistema Qualità CER, certificato in base alle norme UNI EN ISO 9001:2015, UNI EN ISO 14001:2015.

La certificazione di Sistema Qualità CER informa e garantisce in merito alle procedure utilizzate per la gestione sia dei processi produttivi, sia di quelli di miglioramento del sistema. In ambito aziendale, la Politica di Qualità del CER sensibilizza il personale attraverso un processo di condivisione strategica e di progettazione responsabile, utilizzando la comunicazione interna insieme alla formazione per "contaminare" verticalmente e trasversalmente l'organizzazione e stimolare flussi di feed-back. Per questo il CER mette in atto con proprio personale tecnico competente delle azioni di pianificazione, monitoraggio e coordinamento, che agiranno come previsto dalle procedure e istruzioni operative del Sistema Qualità.

Il Sistema Qualità Ri.Nova è certificato dalla DNV GL in base alla norma UNI EN ISO 9001:2015 per il seguente campo applicativo: "organizzazione della domanda di ricerca a favore dei soci e di terzi nella filiera agroalimentare; organizzazione e gestione dei programmi di ricerca, sperimentazione e realizzazione delle iniziative nell'ambito delle filiere delle produzioni vegetali e divulgazione dei risultati; valorizzazione e protezione delle novità vegetali".

Attraverso le Procedure e le Istruzioni operative approntate nell'ambito del proprio Sistema Gestione Qualità, Ri.Nova ha lavorato al fine di garantire efficienza ed efficacia al progetto, attraverso:

Attività di coordinamento

Le procedure attraverso le quali si è concretizzato il coordinamento dell'intero progetto si sono sviluppate attraverso riunioni e colloqui periodici con i rappresentanti del Comitato di Piano.

Attività di controllo

La verifica periodica dell'attuazione progettuale si è realizzata tramite:
- Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto;

	<p><u>Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti</u> È stata richiesta una proroga, adeguatamente motivata, al 30 novembre 2023, approvata con Determinazione num. 16344 del 31/08/2022. Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica di processo sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità del Ri.Nova. Il Sistema Qualità Ri.Nova, ovvero l'insieme di procedure, di misurazione e registrazione, di analisi e miglioramento e di gestione delle risorse, è monitorato mediante visite ispettive interne e verificato ogni 12 mesi da Ente Certificatore accreditato (DNV-GL).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi del piano sono stati raggiunti e non sono state rilevate criticità nella fase di cooperazione del GO.
Attività ancora da realizzare	Nessuna

2.1.2 - PERSONALE – AZIONE 1

PERSONALE CER

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Quadro	Coordinamento	17	1.275,00
	Quadro	Coordinamento	15	645,00
	Impiegato	Coordinamento	33	891,00
			Totale:	2.811,00

PERSONALE RI.NOVA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Impiegato	Supporto coordinamento	165,5	4.468,50
	Impiegato	Supporto coordinamento	56	1.512,00
	Impiegato	Supporto coordinamento	25,5	688,50
	Quadro	Supporto coordinamento	88	3.784,00
			Totale:	10.453,00

2.2 – AZIONE 3

2.1.1 – Attività e risultati – AZIONE 3

Azione	3.1 - Analisi dei rilasci idrici dei canali di bonifica nelle zone costiere e valutazione del loro contributo per il contrasto alla salinizzazione.
Unità aziendale responsabile	CER Partner: CIRI-AGRO UniBO
Descrizione delle attività	<p>L'area di intervento designata è stata localizzata presso il Canale di Gronda Bosco Eliceo (FE). La prima parte del lavoro ha previsto rilievi in campo, suddivisi nelle fasi 1 e 2:</p> <ol style="list-style-type: none">Misure per la stima delle perdite dal canale:<ol style="list-style-type: none">Sono stati stimati i rilasci idrici dal Canale di Gronda Bosco Eliceo, tramite rilievo delle portate e calcolo con il metodo del differenziale di flusso. I rilievi sono stati eseguiti in due distinte sezioni del canale con strumento natante River Surveyor della Son Tek. Nell'inverno 2022, sono state anche eseguite misure di conducibilità idraulica tramite il metodo dell'inverse auger-hole, sulle sponde del Canale di Gronda e sul fondo del medesimo, applicando la procedura del doppio anello.Sono stati posizionati, a partire da giugno 2021, due piezometri sul fondo del canale in due sezioni selezionate (la Fiorita e Valle Isola) e, al loro interno sono stati installati strumenti per la lettura in continuo della falda (HD Diver). La finalità era di ottenere una registrazione continua delle variazioni del tirante d'acqua nel corso delle due stagioni irrigue 2021 e 2022.Misure dell'interazione acqua dolce/falda salina:<ol style="list-style-type: none">Si è provveduto, in data 04/06/2021, ad installare 2 allineamenti da 2 piezometri ciascuno, a distanza crescente dalle sezioni di canale La Fiorita e Valle Isola; le distanze sono state, rispettivamente, di 290 e 780 m per La Fiorita e di 280 m e 950 m per Valle Isola. Nel corso dei due anni, sono stati misurati periodicamente il livello di falda e il profilo di conducibilità elettrica dell'acqua alle diverse profondità, tramite apposito strumento. La stessa attività di lettura è stata eseguita su un transetto di 4 piezometri, profondi circa 20 m, appartenenti alla rete di rilievo del Sistema Informativo Costa Regionale. Inoltre, è stata effettuata la misura contemporanea di conducibilità delle acque superficiali in corrispondenza del Canale di Gronda e del Collettore principale Valle Isola.Sono stati effettuati due rilievi annui (prima e dopo la stagione irrigua) della conducibilità elettrica apparente nel suolo tramite strumento Geonics EM38. Essi sono stati eseguiti nel tratto compreso tra il Collettore principale Valle Isola e il canale di Gronda, al fine di osservare la variabilità legata ad aspetti tessiturali e alla profondità della falda freatica. I rilievi sono stati svolti nelle seguenti date: 15 giugno ed 11 novembre 2021, 25 maggio e 17 agosto 2022.Sulla base delle informazioni acquisite in campo, è stata calcolata la quantità di volumi infiltrati dal Canale di Gronda Bosco Eliceo durante la stagione irrigua. Il monitoraggio della salinità ha altresì consentito la messa a punto di un modello in 2D dell'interazione tra le acque superficiali irrigue veicolate nel canale e le sottostanti acque di falda salmastre. Tramite questo modello, sono stati sviluppati diversi scenari che simulano l'interazione tra le acque dolci infiltrate dal canale e la falda salina, in relazione ai volumi immessi dal Consorzio di Bonifica.Gli scenari descritti al punto precedente sono stati altresì utilizzati per impostare un'analisi economica del beneficio indotto sul territorio dall'invaso di un canale come quello di Gronda Bosco Eliceo. L'analisi ha valutato il contrasto alla salinità, impedendo la risalita delle acque di falda e la conseguente salinizzazione del suolo. In particolare, attraverso la relazione tra conducibilità elettrica del suolo e produttività delle colture (FAO Irrigation and drainage paper n.61), è stato determinato il contributo produttivo per il

	<p>volume infiltrato dal canale. Tale contributo è stato ottenuto dalla differenza di produttività tra la situazione attuale (canale invasato ad una quota inferiore) e uno scenario in cui il canale è mantenuto con un tirante idrico maggiore. Una volta valorizzata in termini di PLV (Prodotto Lordo Vendibile), questa variazione positiva di produttività è stata spazializzata per valutare i benefici economici e la loro variabilità nel tempo.</p> <p><i>La relazione tecnica dettagliata delle attività svolte e dei risultati ottenuti è riportata nell'allegato tecnico</i></p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi sono stati raggiunti, e le attività di campo hanno fornito dati in numero e qualità tali, da poter alimentare sia l'analisi economica, sia il modello numerico, per lo studio dell'interazione tra le acque superficiali irrigue del Canale di Gronda e le sottostanti acque di falda salmastre. L'attività di monitoraggio ha comunque denotato alcune criticità minori, connesse alla scarsa conoscenza iniziale di un territorio piuttosto vasto e alla necessità di coordinare rilievi differenti fra loro e, talvolta, complessi tecnicamente. Esse non hanno tuttavia influenzato in maniera rilevante la fornitura di dati sopra citata, come si evince dal seguente elenco:</p> <p>1 (a) Il rilievo delle portate tramite River Surveyor è stato eseguito solo al di fuori della stagione irrigua, in quanto l'entità dei prelievi di acqua da parte delle aziende agricole adiacenti al tratto monitorato, avrebbe reso impreciso il calcolo dei volumi fra le due sezioni. Inoltre, le misure di conducibilità idraulica sono state svolte solo nell'inverno 2022 (9 febbraio) e non nel 2023, a causa di presenza di acqua stagnante nel tratto di canale precedentemente misurato.</p> <p>2 (a) I piezometri sono stati installati solo fino ad una profondità di circa 2 m (in luogo dei 3 previsti), a causa della difficoltà a mantenere stabile la parete del foro sul substrato composto da sabbie fini bagnate. Il quarto piezometro della sezione Valle Isola era già presente, in quanto facente parte della rete di rilievo della falda ipodermica (sito 24FE). In esso è stato sistemato un lettore in continuo di altezza di falda e conducibilità elettrica (CTD Diver), le cui registrazioni sono state poi utilizzate per la realizzazione di un apposito grafico. Quest'ultima situazione non ha quindi rappresentato una criticità, ma, al contrario, un'ulteriore risorsa e fonte di preziosi dati. I dati sono stati utilizzati anche per la validazione del modello numerico dell'interazione tra acque di superficie del Canale di Gronda Bosco Eliceo e le acque di falda oltre che per l'analisi economica.</p> <p>Non sono state riscontrate altre particolari criticità.</p>
Attività ancora da realizzare	Nessuna

Azione	3.2 Valutazione del beneficio ecosistemico connesso alla gestione delle acque consortili in aree umide
Unità aziendale responsabile	CER Partner: CIRI-AGRO UniBO, Agrisfera
Descrizione delle attività	L'Azione si è sviluppata partendo dall'esperienza maturata dal gruppo di lavoro LIFE Agrowetland II, sull'analisi idrologica delle aree umide (c.d. "chiarì") gestite dall'Azienda Agrisfera a Ravenna. In tali ambienti, l'invaso, solitamente mantenuto da ottobre ad aprile, consente la conservazione di una lente di acqua dolce superficiale, che contrasta la risalita della falda salina, ed influenza, talvolta, anche la produzione degli appezzamenti adiacenti. Su queste basi, sono stati avviati monitoraggi in campo, sia su uno dei "chiarì" facendo ricorso alla strumentazione ancora attiva del LIFE (piezometri, sensori di umidità, misuratori di livello, integrandoli ove necessario), sia su un'area studio, posta sotto il livello del mare nelle Valli del Mezzano (FE). Quest'ultima, localizzata in un tratto compreso fra i canali Maè e Specchio presenta una forte criticità per il mantenimento del franco di bonifica, legata alla subsidenza del suolo. Il lavoro su quest'ultima ha

comportato, sia attività di campo per l'acquisizione dei dati, sia successive elaborazioni, così descritte:

1. È stata acquisita la documentazione sull'area e sul fenomeno da studiare, con particolare riferimento ai temi utili per il funzionamento del modello: aspetti geologici e sedimentologici, tasso di subsidenza, livelli piezometrici della falda salina, cartografia pedologica, dati meteorologici, tipi di colture/copertura vegetale e loro distribuzione, funzionamento della rete irrigua e di scolo.

2. Dopo una prima ricognizione in campo a giugno 2021 per definire i limiti dell'area da studiare e identificare gli elementi da monitorare, si è proceduto, a partire dal 6 luglio, ad effettuare i rilievi previsti, costituiti dai seguenti:

a. identificazione delle tipologie di suolo presenti, tramite l'esecuzione in punti rappresentativi di tre trivellate fino a 120 cm e descrizione degli orizzonti di suolo, utilizzando le codifiche della Guida di campagna 2020 RER. Si è constatata una buona concordanza fra i suoli osservati e quanto indicato nella Carta pedologica regionale 1:50000: si è quindi accettata tale documentazione come rappresentativa dell'area e pertanto implementabile nel modello. Si è inoltre proceduto a misurare la salinità in laboratorio, tramite l'estrazione in pasta satura (ECe) su un orizzonte superficiale ed uno profondo, rappresentativi di ciascuna trivellata, oltre alla misura della densità apparente e del relativo contenuto % in umidità del solo orizzonte superficiale. Tutte queste attività sono state eseguite "una tantum", dopo l'effettuazione delle trivellate.

b. Posa di un piezometro fino alla profondità di circa 2 m, raggiungendo quindi il substrato di origine lagunare, posto a circa 1-1,5 m di profondità. La misura della quota di falda e del profilo di conducibilità elettrica dell'acqua sono state eseguite periodicamente tramite freatometro; in un caso (16/02/2022), è stata osservata una sottile lente di acqua dolce dello spessore di 10 cm; nel prosieguo della stagione, tuttavia, la siccità ha fatto sì che il livello si abbassasse fino ad oltre 1,5 m di profondità (16/10/2022).

c. L'acqua presente nei canali afferenti all'appezzamento, compresa anche la rete scolante aziendale, è stata misurata periodicamente tramite conduttimetro. I tre principali irrigui, da est a ovest (Specchio, Mantello e Maè) e il Collettore principale Mezzano, sono stati rilevati per un totale di otto volte; un numero più ridotto per la rete minore di canali di scolo, nei quali permaneva, talvolta, solo una sottile lama di acqua. L'andamento della salinità, soprattutto nei tre canali irrigui, ha mostrato molto bene la già conosciuta ciclicità stagionale (netta diminuzione della salinità in estate, in occasione dell'apporto di acque più dolci di provenienza consortile). In aggiunta alle attività sopra citate e previste nel Piano, si è anche eseguito un ulteriore monitoraggio fra il 2021 ed il 2022, tramite strumento Field Scout, al fine di osservare in maniera più sostanziale le variazioni di salinità nel terreno nel corso dell'anno. I punti visitati periodicamente sono stati gli stessi, in cui sono state effettuate le trivellate. In effetti, una situazione di minor conducibilità superficiale, legata all'apporto di acque irrigue più dolci, è stata osservata a fine stagione irrigua (26/10/2022) e decisamente contrastante con la più elevata conducibilità del 16/02/2022.

Vi è infine da sottolineare che, nel corso del rilevamento, è stata osservata, in un appezzamento adiacente l'area studio, la trasformazione dello stesso in area umida rinaturalizzata, costituendo quasi un esempio reale di ciò di cui si andava a ipotizzare la fattibilità tramite lo studio.

3. Sono stati elaborati i dati acquisiti per la rappresentazione in ambiente GIS di un modello idrologico semplificato dei flussi di acqua in relazione alla sottostante falda salina, sia per quanto riguarda il "chiaro" dell'Azienda Agrisfera, sia per l'area studio nelle Valli del Mezzano. Il modello ha consentito la creazione di scenari di gestione alternativa delle acque immesse e/o drenate, al fine di ipotizzare l'effetto di aumento o diminuzione della lente di acqua dolce.

4. Gli effetti degli interventi simulati sono stati sottoposti a un'analisi semplificata dei costi e benefici. In particolare, sono stati stimati quelli economici espressi in termini di: (i) variazioni positive nella PLV agricola derivante dal contrasto alla falda salina nelle zone agricole limitrofe e (ii) per

	<p>l'area studio nelle Valli del Mezzano, risparmio energetico derivante dal minor lavoro delle idrovore necessarie per il mantenimento del piano di campagna. A fianco della stima di tali benefici, quantificabili con indicatori numerici, sono state tratte alcune considerazioni di tipo qualitativo in merito alle componenti ecologiche e paesaggistiche dell'intervento. Infine, tali benefici sono stati confrontati con eventuali costi sostenuti per la realizzazione e manutenzione di zone umide. Tale valutazione è stata comparata con i costi necessari al sollevamento delle acque altrimenti immerse nella zona umida ipotizzata nel progetto.</p> <p><i>La relazione tecnica dettagliata delle attività svolte e dei risultati ottenuti è riportata nell'allegato tecnico</i></p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi dell'azione sono stati raggiunti, con alcuni lievi discostamenti nell'attività di monitoraggio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nel 2022, il livello di falda all'interno del piezometro, causa la siccità, è sceso oltre gli 1,5 m e quindi non è stato possibile rilevare un profilo di conducibilità oltre ottobre; - Il monitoraggio della conducibilità elettrica nel suolo tramite Field Scout non era previsto nel Piano, ma ha fornito interessanti indicazioni per quanto riguarda le variazioni di salinità negli orizzonti superficiali nel corso dell'anno, a seguito delle irrigazioni. <p>Per le restanti attività previste nell'azione non sono state riscontrate particolari criticità.</p>
Attività ancora da realizzare	Non ci sono attività ancora da realizzare.

Azione	3.3 – Predisposizione su IRRINET di un modello di leaching requirement per il contrasto alla salinizzazione dei suoli.
Unità aziendale responsabile	CER Partner: CIRI-AGRO UniBO, Agrisfera, Agronica
Descrizione delle attività	<p>L'Azione ha previsto lo studio e l'integrazione in IrriNet del metodo di calcolo della frazione di acqua di lisciviazione (leaching) per la rimozione dallo strato radicato dei sali dannosi per le colture, da aggiungersi al volume irriguo necessario per far fronte all'evapotraspirazione effettiva della coltura. Le fasi di lavoro sono state così articolate:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. È stata sviluppata in formata prototipale il modello per il calcolo del leaching, la quale si è basata sulla formula del leaching requirement (Rhoades, 1974). La formula utilizza diversi input tra i quali: EC_w, conducibilità elettrica dell'acqua irrigua ed EC_e, conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura dal suolo come soglia di tolleranza specifica di ogni coltura. 2. È stata verificata in campo la validità dei volumi irrigui consigliati dal modulo, facendo ricorso a specifici monitoraggi effettuati su appezzamenti coltivati rispettivamente ad arboree (pereto) ed erbacee (soia), localizzati all'interno delle seguenti aziende agricole: <ul style="list-style-type: none"> - La Pomposa: un appezzamento a pereto localizzato presso Volano (FE), con irrigazione a goccia; - Agrisfera: un appezzamento pilota su soia presso S. Alberto (RA) e irrigato con pivot. <p>Entrambe le aziende, già oggetto di studi recenti inerenti irrigazione e falda salina, sono state configurate all'interno della copia test di IrriNet, inserendo tutti i dati richiesti per il calcolo del bilancio idrico. I dati supplementari necessari, invece, al calcolo di surplus idrico richiesto per il calcolo del leaching della salinità nel suolo (ad es. EC_e), sono stati inseriti manualmente sulla base di quanto rilevato nelle fasi di monitoraggio.</p>

	<p>Quest'ultima attività ha previsto preliminarmente, per ciascuno dei due appezzamenti, l'installazione di strumenti per la misura dei parametri necessari al calcolo. Sono stati pertanto messi in opera:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 sensori dell'umidità nel suolo, posizionati a due profondità; - un piezometro, con sensore di livello ed ECw, per la misura in continuo della quota di falda e della concentrazione salina. Poiché la sperimentazione è stata effettuata, in ciascuno dei due anni, in un diverso appezzamento a soia, nel 2021 è stato riutilizzato un piezometro profondo 4 m, già installato nell'ambito del progetto LIFE AgroWetland II; nel 2022 ne è stato posato un secondo, profondo 3 m, in corrispondenza del blocco del perno centrale del pivot. In entrambi sono state eseguite letture periodiche della salinità lungo il profilo tramite freatimetro. Nel solo 2021, è stato presente nel primo piezometro anche un sensore di livello ed ECw, dal quale è stato ricavato un grafico dell'andamento stagionale di queste due grandezze. <p>La salinità nel suolo è stata misurata, fino a 60 cm e direttamente in campo, tramite strumento Field Scout, sia nel 2021 che nel 2022. Contestualmente ai rilievi con Field Scout, è stata anche effettuata una caratterizzazione pedologica dei suoli, sia nel primo appezzamento a soia 2021 (3 trivellate speditive), sia in quello 2022 (3 trivellate descritte secondo la metodologia standard regionale e fino a 120 cm). La fase è stata ritenuta doverosa, per verificare la congruità delle informazioni ricavate dalla documentazione sul suolo a disposizione di Agrisfera e dalla cartografia pedologica, da utilizzare per le fasi di analisi dati.</p> <p>Ove possibile, sono state utilizzate strumentazioni già sul posto, installate nell'ambito dei progetti Reservoir ed AgroWetland II. Lo scarico dei dati acquisiti è avvenuto nel corso di entrambi gli anni di progetto, ma ovviamente con maggior frequenza nel corso della stagione irrigua (periodo aprile – settembre).</p> <p>3. Sono state misurate, all'interno degli appezzamenti, le variazioni areali di conducibilità elettrica ed umidità nel suolo, tramite lo strumento ad induzione elettromagnetica EM38, che è stato impiegato alcune volte, ove possibile, nel corso di ciascun anno: prima della semina (Agrisfera) /ripresa vegetativa (La Pomposa) e dopo la raccolta. La risposta fisiologica da parte delle piante è stata anche stimata tramite misure della riflettanza e della temperatura fogliare, rilevate rispettivamente da sensori multispettrali (Parrot Sequoia) e termici, montati su drone.</p> <p>4. I rilievi in campo hanno consentito la validazione del modello di calcolo su IrriNet. Inoltre, gli stessi dati acquisiti nel corso del monitoraggio sono stati utilizzati anche per eseguire delle simulazioni col modello FAO AquaCrop, il quale è in grado di calcolare gli apporti di leaching previsti. Tale modello è già stato impiegato nel corso dei progetti LIFE AgroWetland II e FP7 Figaro.</p> <p><i>La relazione tecnica dettagliata delle attività svolte e dei risultati ottenuti è riportata nell'allegato tecnico</i></p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi preventivati in fase di progetto, concernenti la valutazione del modello di leaching integrabile nel consiglio irriguo di IF e l'esecuzione dei rilievi sperimentali per la validazione, sono stati puntualmente realizzati nei due anni di attività.</p> <p>Per quanto riguarda la fase di acquisizione dei dati in campo, si segnala che, nel 2022, non è stato possibile installare un CTD Diver nel piezometro posato nel nuovo appezzamento a soia, causa trasferimento del medesimo nel piezometro 24FE dell'Azione 3.1. Questo è stato fatto, poiché si è ritenuto prioritario per il modello di tale Azione, avere, in prossimità del Canale di Gronda, almeno una sequenza continua delle oscillazioni annue di salinità nella falda.</p> <p>Si segnala inoltre che è stata eseguita, in entrambi gli appezzamenti a soia, una fase di riconoscimento dei suoli tramite trivellate. Tale lavoro, non previsto nel Piano, è stato attuato per meglio verificare le informazioni pregresse sui suoli da inserire nel modello di leaching.</p>

	In particolare, l'attenzione è stata concentrata sulla fase di sperimentazione, dove sono stati condotti approfonditi rilievi che hanno contribuito significativamente alla validazione del modello. Durante questo processo, i rilievi sperimentali e l'analisi dati sono stati eseguiti con precisione e conformità al piano di lavoro iniziale, garantendo la coerenza dei risultati ottenuti con le previsioni progettuali.
Attività ancora da realizzare	Nessuna.

Azione	3.4 – Predisposizione di un modello per una gestione sostenibile dei fabbisogni idrici del riso su IRRINET
Unità aziendale responsabile	CER Partner: Agronica, Soc.Agr Tenuta Florio, Soc. Agr. Vallazza s.s
Descrizione delle attività	<p>L'azione ha visto lo sviluppo di un modello di calcolo del bilancio idrico del riso su IrriNet e la calibrazione dei parametri necessari tramite dati di monitoraggio sulla coltura, acquisiti in campo presso l'azienda risicola Vallazza di Goro (FE), specializzata nella varietà Carnaroli. Le fasi di lavoro sono state le seguenti:</p> <p>1 - Sono state analizzate le caratteristiche della coltura, misurando la durata del ciclo colturale e individuando le date delle fenofasi. Sono state studiate anche le tecniche colturali influenti sulla gestione idrica per definire le sommatorie gradi giorno, alla base del modello di accrescimento delle colture di IrriNet. Successivamente, sono stati messi a punto gli algoritmi per il modello di gestione dell'irrigazione del riso e creata una versione beta del software.</p> <p>2 - Si è proceduto con un monitoraggio estensivo per acquisire i dati necessari alla versione beta e identificare i benefici ambientali della gestione della coltura in ambienti marginali.</p> <p>Più precisamente, è stato selezionato per il monitoraggio un appezzamento a risaia di circa 5 ha di estensione, situato nell'azienda Vallazza.</p> <p>In esso si è provveduto ad effettuare le seguenti operazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rilievo in continuo della variazione di livello dell'acqua nella camera di risaia nei due anni di coltura, tramite lettori in continuo di tipo TD Diver, posizionati all'interno di tubi di calma sistemati all'inizio e alla fine (scolo) dell'appezzamento. Per ottenere la maggior attendibilità possibile, tutte le quote del p.c. e dei vari strumenti sono state rilevate con GPS-RTK di precisione centimetrica. Questi dati, oltre a fornire un dato di confronto con le operazioni di invaso comunicate dall'Azienda, sono stati utilizzati per la stima dei volumi di acqua in ingresso e uscita dalla risaia. - Campionamento delle acque irrigue e di scolo, due volte l'anno. All'inizio ed alla fine del ciclo colturale (20 maggio e 3 settembre 2021; 25 maggio ed 11 agosto 2022). Il laboratorio CER ha eseguito su di esse alcune determinazioni dei principali parametri analitici (conducibilità, pH, durezza, Ca, Mg, SO4, NO3, PO4 etc.). Nel complesso, si è osservata una diminuzione dei solidi sospesi ed un aumento della salinità (e quindi delle principali specie ioniche) in uscita, sottolineando la funzione ambientale della risaia come bacino di sedimentazione ed utile per la lisciviazione dei sali nel suolo. - Rilevamento pedologico, tramite l'esecuzione di tre trivellate, posizionate e descritte secondo le metodologie in uso presso la Regione Emilia-Romagna. Esse hanno confermato la presenza della tipologia di suolo più frequente secondo la Carta dei suoli regionale 1:50000: Valle Pioppa (VPO1) franco argillosi limosi. Questo ha consentito di ipotizzare la presenza di una buona omogeneità pedologica in tutto l'appezzamento e, di conseguenza, è stato possibile utilizzare un unico dato di conducibilità idraulica satura, per la validazione del modello di bilancio idrico. - Rilievi del livello di salinità del suolo fino alla profondità di 60 cm, tramite strumento Field Scout, quattro volte nel corso dei due anni,

prima della semina e dopo la trebbiatura. In ogni data, sono stati visitati da 3 a 6 punti all'interno dell'appezzamento, evitando di lasciare ampie superfici non rilevate. Dal punto di vista dei risultati, si è osservato una normale tendenza all'aumento della conducibilità con la profondità, giungendo a valori massimi superiori ai 6 mS/cm attorno ai 60 cm. Non è stata invece verificata una relazione attendibile fra salinità superficiale e periodi di invaso, laddove è sembrata più influente la posizione all'interno dell'appezzamento (per es. più vicino o lontano dallo scolo, più ad est o ad ovest).

- Rilievi tramite strumento ad induzione elettromagnetica EM38. Essi sono stati svolti due volte per anno, prima della semina e dopo la trebbiatura nelle date di: 26 aprile e 11 novembre 2021, 4 maggio e 17 ottobre 2022. I rilievi, eseguiti seguendo un percorso di tipo bustrofedico, hanno interessato l'intera lunghezza di ciascuno dei 6 campi in cui è suddiviso l'appezzamento. Ciò ha consentito l'effettuazione di oltre 2000 battute per singolo rilievo, distanti circa 1 m l'una dall'altra e quindi con la garanzia di un'ottimale copertura della superficie. Le successive elaborazioni GIS dei dati acquisiti hanno mostrato, in particolare, variazioni legate a cambiamenti nell'umidità del terreno e nella quota della falda salina. Questo è stato, in particolar modo evidente, nei rilievi della siccitosa primavera 2022, per la ridotta conducibilità media registrata dallo strumento. In tutti e quattro i rilievi, invece, la zona sud-occidentale ha sempre mostrato una maggior conducibilità rispetto al resto dell'appezzamento, forse a causa di un maggior ristagno idrico, legato alla prossimità col canale di scolo.
- Posa di un piezometro della lunghezza di 3 m su un rilievo arginale, in prossimità del canale di scolo delle acque ed installazione, al suo interno, di uno strumento di rilievo in continuo CTD-Diver. Tale attrezzatura ha consentito di ottenere oltre 2 anni di registrazioni (da giugno 2021 fino all'attuale) relative alle oscillazioni del livello dell'acqua nel suolo e legate, non solo alla falda, ma anche alle operazioni di svaso/invaso, effettuate dall'azienda. Analogamente, è stato possibile studiare le variazioni di salinità, in particolare nel periodo fra le primavere 2022 e 2023, in cui si è verificato un consistente aumento, da porre in relazione all'avanzata del cuneo salino. Lo strumento è ancora operativo ed attualmente utilizzato nell'ambito del Piano SuperIrri 2023-2024.
- Rilievi della risposta vegetativa del riso, tramite misure della riflettanza. Sono stati effettuati due sorvoli dell'appezzamento, in fase di maturazione della spiga, tramite drone equipaggiato con sensori multispettrali (Parrot Sequoia), al fine di accertare la distribuzione del vigore vegetativo in campo e l'eventuale correlazione con la distribuzione della salinità. I due voli hanno avuto luogo rispettivamente il 3 settembre 2021 ed il 30 agosto 2022. I rilievi hanno evidenziato aree omogenee, in parte sovrapponibili a quelle evidenziate dall'EM38. Sono stati anche osservati allineamenti a maggior vigoria, quasi sempre ortogonali alle canalizzazioni, probabilmente connessi al maggior tirante di acqua, che si instaura durante le fasi di germinazione.
- Registrazione delle fasi fenologiche da parte dell'Azienda Vallazza, tramite apposito quaderno di campagna compilato annualmente. Inoltre, sono state periodicamente comunicate le date dei vari periodi di invaso/svaso, utili, sia al funzionamento del modello, sia al confronto con quanto rilevato dalla strumentazione Diver installata in campo.

3 - Il modello su IrriNet è stato calibrato con i dati rilevati in azienda relativi al bilancio idrico e si è proceduto con la validazione della gestione irrigua del prototipo comparandola con la gestione aziendale.

4 - Sulla base dei risultati dei test, sono state apportate eventuali modifiche alla versione beta del software e rilasciata la versione definitiva, con messa online del servizio operativo.

	<p>5 - L'ultima fase ha compreso l'analisi di alcune implicazioni di carattere economico/ambientale della coltivazione di riso sul territorio delle aree di studio, identificato con il comune di Jolanda di Savoia. Si è stimato i benefici economici ed ecosistemici per quantificare l'utilità della coltura del riso come presidio di aree rurali, tali benefici sono stati confrontati anche con i costi di pompaggio per la sommersione, evidenziando un netto beneficio della risaia per il paesaggio rurale.</p> <p><i>La relazione tecnica dettagliata delle attività svolte e dei risultati ottenuti è riportata nell'allegato tecnico</i></p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi preventivati in fase di progetto sono stati realizzati senza che si palesassero particolari problemi.</p> <p>Tutte le fasi di monitoraggio sono state completate nei tempi e nei modi previsti. La siccitosa primavera 2022 ha costretto l'Azienda Vallazza a pratiche colturali non consuetudinari (ad es. semina in asciutta, a causa dell'elevata salinità delle acque irrigue). Da un lato, questo ha fatto sì che gli aspetti ambientali e colturali fra il 2021 ed il 2022 fossero solo relativamente confrontabili; dall'altro, però, si è avuta cognizione della fragilità di queste aree e di quanto sia importante una stretta collaborazione fra Aziende agricole e Consorzio di bonifica, per tutelarle al meglio ed ottenere risultati produttivi sostenibili.</p> <p>Per le restanti attività previste nell'azione non sono state riscontrate particolari criticità.</p>
Attività ancora da realizzare	Nessuna.

2.2.2 - Personale AZIONE 3

PERSONALE CER

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Quadro	Realizzazione/Prove in campo	100	7.500,00
	Impiegato	Realizzazione/Prove in campo	120	3.240,00
	Impiegato	Realizzazione/Prove in campo	56	1.512,00
	Quadro	Realizzazione/Prove in campo	100	4.300,00
	Impiegato	Realizzazione/Prove in campo	119	3.213,00
	Impiegato	Realizzazione/Prove in campo	121	3.267,00
	Impiegato	Realizzazione/Prove in campo	120	3.240,00
	Operaio agricolo	Realizzazione/Prove in campo	128,25	2.500,88
	Operaio agricolo	Realizzazione/Prove in campo	91	1.774,50
	Operaio agricolo	Realizzazione/Prove in campo	120,50	2.349,75
	Operaio agricolo	Realizzazione/Prove in campo	145,50	2.837,25
			Totale:	35.734,38

PERSONALE AGRONICA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Analista SW	Realizzazione	900	24.300,00
			Totale:	24.300,00

PERSONALE UNIBO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Ricercatore	105	3.323,00
	Prof.ssa Ordinaria	Ricercatrice	39	1.872,00
	Prof. Associato	Ricercatore	60	1.860,00
	Tecnico	Collaboratore non occasionale	1200	24.096,00
			Totale:	31.151,00

PERSONALE AGRISFERA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Impiegato	Tecnico	210	5.670,00
			Totale:	5.670,00

2.2.3 - COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI – AZIONE 3

CONSULENZE - PERSONE FISICHE - CER

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo	
	15.012,00	Collaborazione	15.012,00	
			Totale:	15.012,00

2.3 – AZIONE 4

2.3.1 – Attività e risultati – AZIONE 4

Azione	Divulgazione				
Unità aziendale responsabile	CER				
Descrizione delle attività	<p>Le attività di divulgazione sono state rivolte prevalentemente agli operatori del settore agricolo ed agro-industriale e ad utenti esterni, con l'obiettivo generale di fornire elementi informativi e tecnici di base, per poter comprendere al meglio i principi su cui le innovazioni apportate dal Piano si fondano.</p> <p>Il programma delle attività di comunicazione ha previsto l'adozione di più tecniche e tecnologie, al fine di dare vita ad un piano di divulgazione efficace e di reale supporto alla diffusione nell'ambito di una filiera non solo intesa in senso produttivo, ma soprattutto territoriale e di sistema.</p> <p>Il programma di divulgazione è riportato nella tabella seguente.</p> <table border="1"><thead><tr><th colspan="2">VIDEO</th></tr></thead><tbody><tr><td>Redazionale</td><td>A sintesi del progetto è stato realizzato un video redazionale ad hoc che ha facilitato le attività di divulgazione, consentendo durante gli eventi e le visite, di introdurre le tematiche affrontate da Gestfalda, aprendo così i lavori per una discussione di dettaglio. Il video ha durata di circa 4 minuti ed ha illustrato ai cittadini, a tecnici e agricoltori, di comprendere le ricadute positive dell'implementazione delle innovazioni sviluppate in questo progetto. In particolare, il video ha supportato la trattazione dei temi affrontati dal piano sul grave problema della siccità e salinità. Lo strumento video è adatto alla diffusione su tutti i media, soprattutto i più immediati, come i social, ma anche sui canali istituzionali, tra i quali anche</td></tr></tbody></table>	VIDEO		Redazionale	A sintesi del progetto è stato realizzato un video redazionale ad hoc che ha facilitato le attività di divulgazione, consentendo durante gli eventi e le visite, di introdurre le tematiche affrontate da Gestfalda, aprendo così i lavori per una discussione di dettaglio. Il video ha durata di circa 4 minuti ed ha illustrato ai cittadini, a tecnici e agricoltori, di comprendere le ricadute positive dell'implementazione delle innovazioni sviluppate in questo progetto. In particolare, il video ha supportato la trattazione dei temi affrontati dal piano sul grave problema della siccità e salinità. Lo strumento video è adatto alla diffusione su tutti i media, soprattutto i più immediati, come i social, ma anche sui canali istituzionali, tra i quali anche
VIDEO					
Redazionale	A sintesi del progetto è stato realizzato un video redazionale ad hoc che ha facilitato le attività di divulgazione, consentendo durante gli eventi e le visite, di introdurre le tematiche affrontate da Gestfalda, aprendo così i lavori per una discussione di dettaglio. Il video ha durata di circa 4 minuti ed ha illustrato ai cittadini, a tecnici e agricoltori, di comprendere le ricadute positive dell'implementazione delle innovazioni sviluppate in questo progetto. In particolare, il video ha supportato la trattazione dei temi affrontati dal piano sul grave problema della siccità e salinità. Lo strumento video è adatto alla diffusione su tutti i media, soprattutto i più immediati, come i social, ma anche sui canali istituzionali, tra i quali anche				

	<p>quelli della Regione. Il video è stato diffuso durante eventi svolti dal CER, attraverso i canali di comunicazione tradizionali e tramite social media ed infine proposto in occasione di attività didattiche svolte presso istituti tecnici e universitari. Inoltre, è stato realizzato un breve video per sensibilizzare l'opinione pubblica sui temi della siccità 2022. Entrambi i video sono stati condivisi sui social consortili.</p>
	STAMPA
Coordinamento	Per la diffusione del progetto e la sensibilizzazione dell'opinione pubblica sui temi e le innovazioni sviluppate nel presente piano, è stato attivato l'ufficio stampa dedicato all'interno delle strutture del CER ed in collaborazione con i partner. L'ufficio stampa ha lavorato sulle mailing list di giornalisti ed addetti ai lavori, per la conseguente pubblicazione di articoli / redazionali sulle riviste di riferimento.
Creazione di campagne stampa	L'attività ha previsto la definizione di due comunicati stampa diffusi a livello regionale e nazionale. A risultato di tale attività, sono stati pubblicati tre articoli tecnici o divulgativi che sono stati raccolti in un unico file pdf, allegato.
	SOCIAL
Gestione social	All'interno della pagina Facebook Acqua Campus (Acqua Campus Budrio Facebook) e sul canale Instagram del CER (Canale Emiliano Romagnolo (@consorzioicer) • Foto e video di Instagram), sono stati pubblicati i contenuti di 25 post su Facebook e 25 post su Instagram (con grafica coordinata all'intera operazione e adattando il contenuto alla piattaforma) per divulgare le tematiche trattate nel progetto. Ogni post è stato parte integrante di un piano editoriale nel quale sono stati inseriti i contenuti principali e i risultati del progetto. Molti dei contenuti pubblicati contengono più immagini o grafiche postate, così da trasmettere informazioni più dettagliate.
Creazione campagne social	La campagna social è stata in grado di raggiungere il target previsto, anche attraverso opportune campagne di sponsorizzazione e valorizzazione dei contenuti. Tale attività ha previsto inoltre un'analisi e segmentazione mirate a raggiungere il target dei fruitori. Inoltre, in occasione di visite nazionali ed internazionali tenutesi presso l'area ricerche di Acqua Campus, le grafiche sviluppate i post pubblicati sono stati utilizzati per supportare la trattazione degli argomenti e facilitare la comprensione delle innovazioni prodotte, evidenziando inoltre le ricadute delle politiche agricole europee sulle attività agricole e produttive. Particolare attenzione è stata dedicata alla nuova Politica Agricola, alla Direttiva Quadro sulle Acque e al Regolamento 741/2020 per il riutilizzo di acque reflue. Tali attività risultano inoltre a supporto per l'implementazione della Rete PEI, dove in primo luogo è stata mantenuta aggiornata la modulistica del progetto, così da favorire il collegamento tra il presente GO e la Rete PEI stessa ed in secondo luogo, il progetto verrà candidato alle eccellenze dell'EIP-AGRI, valorizzandone i risultati.
	Infine, in data 07/05/2023 è stata condotta una visita guidata presso i siti sperimentali del GO, in collaborazione con le aziende partner e Slowfood per valorizzare il progetto, le sue innovazioni per il contrasto al cuneo salino e sensibilizzare l'opinione pubblica sulle tematiche affrontate.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto	Gli obiettivi sono stati raggiunti completamente, soprattutto in relazione alla diversificazione delle tecniche e tecnologie adottate per raggiungere differenti target. Si è spaziato dai social al convegno, dalla televisione, agli articoli di

al piano di lavoro, criticità evidenziate	giornale, dal materiale divulgativo rivolto alle aziende agricole ai video dedicati all'espressione dei risultati.
Attività ancora da realizzare	Tutte le attività sono state realizzate.

2.3.2 - Personale AZIONE 4

PERSONALE CER

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Impiegato	Divulgazione	21	567,00
	Impiegato	Divulgazione	36	972,00
			Totale:	1.539,00

2.3.3 - COLLABORAZIONI, CONSULENZE – AZIONE 4

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Graphic Nerd		15.009,19	Servizi di divulgazione	7.504,59
Graphic Nerd		15.009,19	Servizi di divulgazione	7.504,59
			Totale:	15.009,18

2.4 – ATTIVITA' DI FORMAZIONE – AZIONE 5 (Dinamica)

Azione	Attività di formazione e consulenza
Unità aziendale responsabile	DINAMICA Scarl
Descrizione delle attività	<p>Titolo: "Viaggio studio per il miglioramento della gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino."</p> <p>Il viaggio studio, realizzato in un'unica edizione, ha inteso valorizzare il confronto tra due territori simili.</p> <p>Nella parte orientale dell'Emilia-Romagna, progressivi interventi di bonifica hanno reso coltivabili decine di migliaia di ettari di aree vallive e lagunari, saline e spesso malariche. Tuttavia, il riscatto progressivo dei territori sempre più critici in termini di giacitura rispetto al livello del mare, ha comportato l'instaurarsi di un equilibrio metastabile, in cui il franco di coltivazione è stato mantenuto sia tramite l'azione delle idrovore, contrastanti l'innalzamento della falda superficiale salina, sia tramite l'ingente apporto irriguo di acque molto più dolci di provenienza padana. Questa situazione richiede un impegno da parte delle aziende agricole che operano sul territorio attraverso nuovi strumenti che le</p>

	<p>supportino quotidianamente nella pratica irrigua dedicata al contrasto alla salinità dei suoli e della falda salina. Questa esigenza potrebbe trovare un valido supporto attraverso il confronto e l'osservazione diretta di quanto si sta facendo in altre aree geografiche simili a quelle del Ferrarese e delle aree costiere Emiliano Romagnole per olografia, opere di bonifica, problematiche ambientali e gestione dell'acqua irrigua. Il viaggio studio nell'Oristanese ha interessato realtà produttive in cui sono stati effettuati investimenti a sostegno dell'applicazione dell'agricoltura di precisione e dell'irrigazione come metodi di contrasto del cuneo salino ed agli effetti negativi della salinità dei suoli. Questa modalità formativa risponde agli obiettivi specifici del GOI "gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino" in quanto, attraverso il viaggio studio, è stato possibile rilevarne il raggiungimento e l'applicabilità dei seguenti obiettivi specifici:</p> <p>a) Valutazione dell'effetto di mitigazione dei rilasci di acqua dolce per infiltrazione da canale, sui processi di salinizzazione della falda superficiale e del suolo...</p> <p>b) Messa a punto di un modello concettuale che definisca le potenzialità di aree umide, posizionate in zone interessate dalla presenza di falda superficiale salina e/o subsidenza...</p> <p>c) Messa a punto di un modello, che consenta il calcolo dell'ulteriore apporto irriguo (c.d. leaching requirement), necessario al dilavamento dal suolo di concentrazioni dannose di sali, valido per ogni tipo di coltura.</p> <p>d) Implementazione del modello sulla piattaforma pubblica a disposizione degli utenti</p> <p>e) Messa a punto di un modello che consenta il calcolo dei fabbisogni idrici della coltura riso e implementazione del medesimo sulla piattaforma pubblica a disposizione degli utenti.</p> <p>f) Valutazione del servizio ecosistemico, fornito dal riso, nel mantenimento di livelli produttivi in aree agricole...</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'attività di formazione è stata realizzata in tre edizioni</p> <p>EDIZIONE N.1 "Viaggio studio per il miglioramento della gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino." Domanda di Sostegno avvio formazione n. 5559621 Domanda di proposta n. 5515733 Domanda di rendiconto n. 5688737</p> <p>Periodo di Svolgimento: dal 05/04/2023 al 18/04/2023 Durata: 29 ore</p> <p>Nell'ambito del viaggio studio sono state realizzate le 29 ore di formazione previste in fase di proposta progettuale approvata dalla Regione Emilia-Romagna.</p> <p>Si sono iscritti 15 partecipanti di cui 14 hanno concluso il percorso formativo superando la percentuale minima di presenza. Inoltre, tutti e 14 hanno raggiunto gli obiettivi formativi previsti oggettivamente dimostrabili attraverso i risultati ottenuti nella verifica finale di apprendimento.</p>

Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i> Nessuna

2.9 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

<p>“Viaggio studio per il miglioramento della gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino.” – Domanda di Sostegno n. 5559621</p> <p>Periodo di Svolgimento</p> <p>- n. 5559621 edizione 1 dal 05/04/2023- al 18/04/2023 partecipanti 14</p>	
Spesa: 21.742.56 €	Importo contributo richiesto: 15.219.82€
Contributo Unitario: 1.087,13 €	Costo Pro Capite: 1.553,04 €

3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico-scientifiche	Non si sono riscontrate criticità tecnico-scientifiche rispetto al piano presentato.
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Nessuna. È stata richiesta una proroga per via del COVID, per consentire lo svolgimento delle attività di formazione previste, al 30 novembre 2023, approvata con Determinazione num. 16343 del 31/08/2022.
Criticità finanziarie	nessuna

4 - ALTRE INFORMAZIONI

Riportare in questa sezione eventuali altri contenuti tecnici non descritti nelle sezioni precedenti

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Riportare qui ogni considerazione che si ritiene utile inviare all'Amministrazione, inclusi suggerimenti sulle modalità per migliorare l'efficienza del processo di presentazione, valutazione e gestione di proposte da cofinanziare

6 - RELAZIONE TECNICA

DA COMPILARE SOLO IN CASO DI RELAZIONE FINALE

Descrivere le attività complessivamente effettuate, nonché i risultati innovativi e i prodotti che caratterizzano il Piano e le potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

I risultati innovativi ed i prodotti per singole azioni vengono riportati in maniera dettagliata negli allegati, come indicato nella descrizione delle attività del Piano.

Le attività condotte sul campo e l'analisi dei dati hanno rivelato impatti positivi derivanti dai rilasci di acqua dolce dal Canale Gronda Bosco Eliceo sulla salinizzazione della falda e del suolo. Questo studio si è concentrato sullo sviluppo di alternative gestionali mirate, con un'attenzione particolare ai benefici economici associati alla dinamica del processo.

Uno degli aspetti chiave di questa ricerca è stato lo sviluppo di modelli innovativi per generare scenari alternativi e condurre un'analisi ambientale focalizzata sul beneficio collettivo legato alla presenza di canali in zone a rischio di salinizzazione. Inoltre, è stato progettato un modello dedicato a sfruttare appieno le potenzialità delle aree umide nella lotta contro la salinizzazione e la subsidenza nelle critiche zone della Valle del Mezzano. Questa analisi ha coinvolto situazioni reali, come i "chiari" gestiti dall'azienda Agrisfera, contribuendo alla produzione di scenari per simulare l'effetto benefico di un'area umida nelle zone critiche della Valle del Mezzano.

Al fine di affrontare la salinità dell'acqua e promuovere un utilizzo sostenibile delle risorse idriche, è stato testato il DSS IrriNet per lo sviluppo di un modello di consiglio irriguo in condizioni di salinità. Questo modello ha valutato l'apporto irriguo aggiuntivo necessario per eliminare concentrazioni dannose di sali nel suolo, favorendo al contempo la lisciviazione.

Nel contesto dell'azione 3.4, è stato sviluppato e testato un modello specifico per calcolare i fabbisogni idrici nella coltivazione del riso all'interno del DSS IrriNet. Questo approccio non solo tiene conto delle esigenze agricole, ma valuta anche il contributo agli ecosistemi, soprattutto nelle aree considerate marginali a causa di intrusioni saline, come nel ramo di Goro del delta del Po. In sintesi, le attività svolte non solo affrontano le sfide ambientali, ma mirano anche a generare benefici sociali ed economici attraverso una gestione sostenibile delle risorse idriche e agricole.

Data

18/01/2024

IL LEGALE RAPPRESENTANTE
(NICOLA DALMONTE)
Firmato digitalmente



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

AZIONE 3.1

Analisi dei rilasci idrici dei canali di bonifica nelle zone costiere e valutazione del loro contributo per il contrasto alla salinizzazione.

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Obiettivi del Progetto GestFalda	4
1.2 Descrizione generale dell'area oggetto di studio.....	5
1.2.1 Assetto climatico.....	5
1.2.2 Assetto geologico.....	7
2. ATTIVITA' DI MONITORAGGIO E ANALISI DATI	8
2.1 Calcolo delle portate nel canale di Gronda Bosco Eliceo, nel corso delle stagioni irrigue 2021 e 2022.	9
2.2 Misurazione della conducibilità idraulica satura sul fondo del canale di Gronda	10
2.3 Misurazione del tirante nel corso della stagione irrigua	13
2.4 Letture del livello di falda in piezometri prospicienti il canale di Gronda	15
2.5 Analisi della variabilità spaziale del livello di falda	21
3. COSTRUZIONE DEL MODELLO	23
3.1 Discretizzazione spaziale e temporale	24
3.2 Condizioni al contorno	25
3.3 Precipitazione effettiva	27
4. RISULTATI DEL MODELLO	28
5. ANALISI ECONOMICA	31

1. INTRODUZIONE

1.1 Obiettivi del Progetto GestFalda

L'acronimo GestFalda sta per Gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino ed è un progetto che nasce con l'obiettivo generale di fornire strumenti conoscitivi ed operativi a tutti i Consorzi di Bonifica e alle aziende agricole operanti nella zona costiera della Regione Emilia-Romagna per una gestione più oculata dell'acqua irrigua e per il mantenimento di bassi livelli di salinità nelle acque e nei suoli. Per fare questo, il progetto si è focalizzato su tre aspetti chiave, di cui è possibile visualizzare un riferimento territoriale in Figura 1:

- Azione 3.1: Realizzazione di un modello che consenta la messa a punto di scenari, simulanti l'interazione fra acque dolci infiltrate dal canale di Gronda Bosco Eliceo e la falda salina, in relazione ai volumi immessi dal Consorzio di Bonifica e la conseguente valutazione del beneficio ecosistemico;
- Azione 3.2: Valutazione del beneficio ambientale ed economico indotto dalla presenza di aree umide sul contrasto alla subsidenza, alla salinizzazione del suolo e il beneficio alle aree agricole prossimali. Utilizzo di un modello idrologico, applicato ad un'area depressa nelle Valli del Mezzano, con scenari di gestione alternativa delle acque irrigue e di drenaggio;
- Azione 3.3: Messa a punto in IRRIFRAME di un modulo per il consiglio irriguo, in presenza di acque e suoli salini (leaching requirement). Il modello verrà validato su due appezzamenti in aziende agricole di Codigoro (FE) e Ravenna (Agrisfera);
- Azione 3.4: Sviluppo di un modello di calcolo di bilancio idrico del riso su IRRIFRAME e sua validazione tramite monitoraggio su un appezzamento a Gorino (FE). Determinazione del beneficio ecosistemico della coltura del riso come presidio di aree altrimenti marginali per l'agricoltura.



Figura 1: Aree di interesse delle diverse Azioni del progetto

1.2 Descrizione generale dell'area oggetto di studio

La falda acquifera costiera di Comacchio è situata nella pianura alluvionale del fiume Po nella Regione Emilia-Romagna, più precisamente nella provincia di Ferrara e copre un'area di 1.055 kmq. La pianura alluvionale costiera è delimitata a nord da uno dei rami del fiume Po, il Po di Goro, e a sud dalle paludi di acqua salmastra delle Valli di Comacchio. Tutta quest'area è bonificata ed è caratterizzata da una topografia che va dai 14 m s.l.m. a -5,8 m s.l.m. Una buona porzione del territorio è composta da zone pianeggianti al di sotto del livello medio mare. I principali corsi d'acqua all'interno del sito sono Po di Volano, Po di Goro e il fiume Reno e una rete artificiale di fossati e canali lunga oltre 1850 km utile per tenere asciutti i terreni agricoli e che viene gestita dagli Enti di Bonifica.

Lo sviluppo del modello previsto dal progetto GestFalda prende in oggetto solo una parte dell'intera area ovvero la zona compresa tra Valle Bertuzzi e Lagosanto. Viene definita come Valle Bertuzzi un comprensorio comprendente anche Val Cantone e Valle Nuova. Ha una superficie di 2000 ettari e si estende immediatamente a Sud del Po di Volano, tra Vaccolino, Lido di Volano e Lago delle Nazioni e le valli bonificate di San Giuseppe. La salinità della valle è abbastanza contenuta, le acque di ricambio sono derivate dal fiume Po di Volano, nelle vicinanze della foce.

1.2.1 Assetto climatico

Il clima dell'area oggetto di studio è temperato, caratterizzato da inverni freddi e estati calde con modeste escursioni termiche diurne (10-12 °C) e annuali (20-25 °C). Presso la stazione meteorologica più vicina è stata registrata una piovosità media annua pari a 630 mm/anno per il periodo 2012-2020. Come si può vedere in Figura 2, c'è una significativa variabilità dei modelli di precipitazione nel corso degli anni. L'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno varia a seconda delle stagioni, raggiungendo il suo massimo nel periodo autunnale, da ottobre a dicembre. È possibile osservare una variazione sensibile della quantità totale di pioggia, in modo particolare è evidente come gli anni 2012 e 2013, del range temporale preso in esame, rappresentino rispettivamente gli anni più secchi e più piovosi. La variabilità negli anni della quantità di pioggia nella stagione primaverile (aprile – giugno) è molto elevata ed è un fattore che influenza fortemente la stagione irrigua. Il regime stagionale di irrigazione/precipitazione influisce anche sul sistema di ricarica dei sistemi di acque sotterranee superficiali e, di conseguenza, riesce almeno in parte a controllare il fenomeno di intrusione salina e l'entrata di acqua di mare nelle falde acquifere e nei canali costieri.



Figura 2: Distribuzione temporale delle precipitazioni nell'area oggetto di studio

La stima dell'evapotraspirazione viene fatta attraverso l'utilizzo dell'equazione di Hargreaves:

$$ET_0 = 0.0023 * \frac{Ra}{\lambda} * \sqrt{TD} * (T + 17.8)$$

In cui:

- Ra : è la radiazione extraterrestre [$MJm^{-2}d^{-1}$]
- λ : è il calore latente di vaporizzazione [$MJkg^{-1}$]
- TD : è l'escursione termica giornaliera, ovvero la differenza tra temperatura massima e minima dell'aria [$^{\circ}C$]
- T : è la temperatura media dell'aria [$^{\circ}C$]

Attraverso questa equazione l'evapotraspirazione stimata mostra una minore variabilità nel corso degli anni e una stagionalità più stabile in cui i valori di picco si registrano nel periodo da aprile a settembre (Figura 3). Questo periodo coincide con il periodo di irrigazione, periodo in cui la differenza tra evapotraspirazione potenziale ed evapotraspirazione totale è la più alta. Nella Figura 4 vengono invece confrontati i valori medi mensili delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione.



Figura 3: Distribuzione temporale dell'evapotraspirazione nell'area oggetto di studio

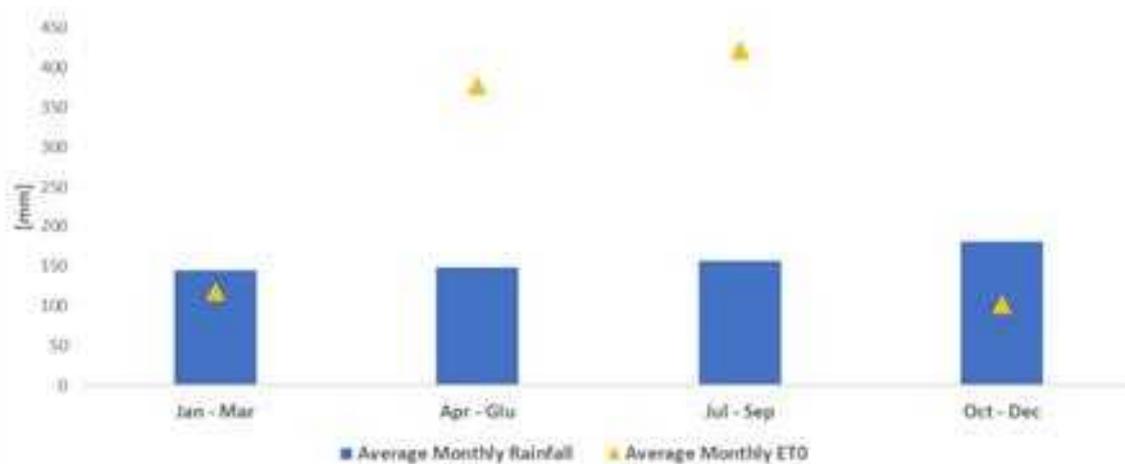


Figura 4: Confronto fra medie mensili di evapotraspirazione e precipitazioni

1.2.2 Assetto geologico

L'area di studio generale è caratterizzata da una complessa geometria dell'acquifero dovuta all'evoluzione deposizionale del sistema del Delta del Po. La subsidenza naturale e il grande apporto di sedimenti hanno supportato un'evoluzione trasgressiva-regressiva del tardo Quaternario nell'area del Delta del Po (Stefani e Vincenzi, 2005). L'area si trova tra il fronte di piegamento dell'Appennino e la monoclinale di Venezia immersa a sud, come mostrato nella Figura 5, un quadro strutturale caratterizzato da subsidenza tettonica attiva, che è rafforzata dalla compattazione dei sedimenti e da fattori antropici (Bondesan et al., 1997).



Figura 5: Assetto geologico dell'acquifero di Comacchio (Stefani e Vincenzi, 2005)

Stefani e Vincenzi (2005) hanno studiato la storia deposizionale del sistema del Delta del Po e hanno riconosciuto che le fluttuazioni eustatiche e climatiche hanno dominato la storia deposizionale dell'area. Nel frattempo, la subsidenza dovuta alla compattazione tettonica e dei sedimenti ha avuto un contributo significativo all'aumento relativo del livello del mare, principalmente durante l'intervallo "eustaticamente stabile". Gli autori hanno evidenziato che il gradiente spaziale della subsidenza naturale ha probabilmente influenzato la configurazione della linea costiera di massima trasgressione e lo sviluppo della rete di drenaggio continentale, ma non la geometria della sequenza deposizionale.

La sequenza deposizionale sedimentaria è caratterizzata da lobi deltizi sabbiosi progradanti superficiali e pianure di spiaggia sovrapposte a depositi trasgressivi di baie e barriere. Da est a ovest la maggior parte delle unità sedimentarie è costituita da un cuneo di sedimenti sabbiosi permeabili con intercalazioni di strati torbosi e limosi. La migrazione della linea costiera e le diverse fasi di progradazione del Delta del Po hanno causato una serie di creste sabbiose costiere (paleo-dune) e paleo lagune palustri (Simeoni e Corbau, 2009).

Nel dettaglio, la parte dell'area per la quale è stato sviluppato il modello è quella compresa tra la località Lagosanto e Valle Bertuzzi (Figura 6), di cui è riportata in Figura 7 la sezione geologica.

2.1 Calcolo delle portate nel canale di Gronda Bosco Eliceo, nel corso delle stagioni irrigue 2021 e 2022.

Al fine di raggiungere questo primo obiettivo, si sono messe in opera due attività:

- a) Calcolo del differenziale di portata tramite rilievi in due distinte sezioni del canale eseguiti con strumento natante River Surveyor della Son Tek. Esso è in grado, sia di tracciare il profilo batimetrico del fondo, sia di misurare la velocità della corrente, effettuando una correzione automatica del beccheggio e del rollio cui è sottoposto il natante;
- b) Misure di variazione di livello in due sezioni a contorno bagnato noto, per mezzo di strumenti di lettura in continuo Diver.

L'attività (a) è stata eseguita nelle due date del 29/09/2021 e del 28/09/2022. L'esecuzione di un solo rilievo per anno si è resa necessaria dal fatto che, nel corso del periodo irriguo, l'entità dei prelievi da parte delle aziende adiacenti al tratto monitorato, avrebbe reso estremamente impreciso il calcolo dei volumi fra le due sezioni. E' stato perciò giocoforza utilizzare lo strumento solo alla fine della stagione, quando i volumi dei prelievi si avvicinavano tendenzialmente allo zero (Figura 8).



Figura 8: a sinistra: ubicazione delle sezioni in cui sono state effettuate le prove; a destra: letture tramite River Surveyor nella sezione più meridionale del canale di Gronda.

I vari profili batimetrici acquisiti sono stati poi verificati, per maggior sicurezza, confrontandoli con le sezioni digitalizzate del canale, messe a disposizione del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara (Figura 9).

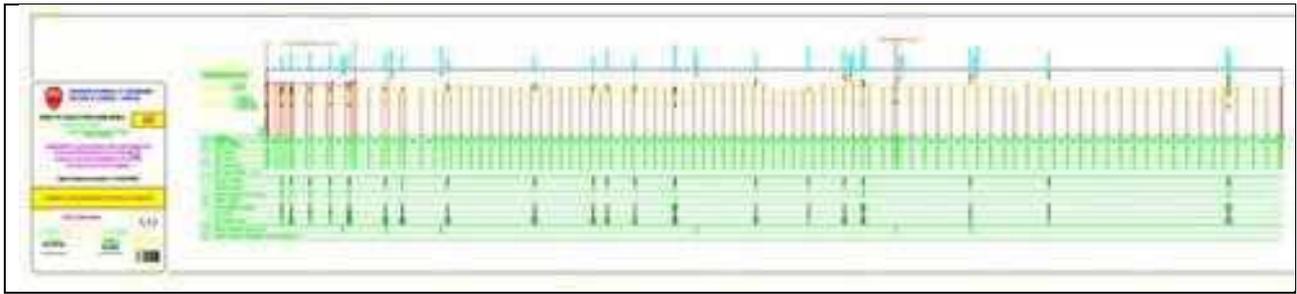


Figura 9: Mappa quotata di una delle sezioni rilevate dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara e relative al canale di Gronda Bosco Eliceo.

I risultati sono stati ottenuti per differenza, ossia sottraendo i volumi rilevati nella sezione più meridionale da quelli rilevati invece nella sezione più settentrionale, prossima al punto in cui il canale di Gronda riceve le acque dal Po di Volano. Per ottenere la velocità d'infiltrazione o conducibilità idraulica satura, tale volume è stato poi suddiviso per l'intera area bagnata compresa fra le sezioni iniziale e finale. L'esempio di calcolo è riportato nella seguente Tabella 1:

id	Q	unit
S1	0,8215	mc/s
S2	0,223	mc/s
S3	0,198	mc/s
diff	0,4005	mc/s
	34603,2	mc/d

Leakage surface 116973,8 mq

Leakage factor 0,30 m /d

Tabella 1: Tabella di stima della velocità d'infiltrazione, basata sui dati 2021; S1 ed S2 sono le due sezioni di misura sul canale di Gronda, mentre S3 rappresenta la sezione di una derivazione situata un centinaio di metri prima di S2; anche questi volumi sono da sottrarre a S1. La superficie bagnata (leakage surface) è di 116973,8 metri quadri e pertanto la differenza di 34603,2 mc/d va suddivisa per tale numero.

Il risultato finale del calcolo 2021 è di 0,30 m/d (oppure 1,25 cm/h), che rappresenta una misura in linea con le sperimentazioni su canali in terra a medio impasto condotte da CER fra il 2011 ed il 2022 (Canale d'Enza: 0,33 m/d; Stiolo: 34 m/d; Bedollo: 0,36 m/d; Spelta: 0-30-0,45 m/d; Santa Croce: 0,38 m/d). E' vero che il canale di Gronda attraversa, per gran parte del suo corso, sedimenti sabbiosi di duna, quindi ancor più permeabili, ma l'esperienza ha altresì insegnato che, spesso, il più fine sedimento di fondo riduce di molto l'infiltrazione. Si ritiene pertanto che i valori misurati siano congruenti con l'effettiva perdita di acqua per infiltrazione dal canale nel corso delle due stagioni irrigue.

2.2 Misurazione della conducibilità idraulica satura sul fondo del canale di Gronda

Il 9 febbraio 2022, a canale completamente svasato, sono state effettuate prove con strumenti a doppio anello, per la misura della conducibilità idraulica satura del fondo. Ciascuno di essi è costituito da due anelli di metallo concentrici, infissi per alcuni centimetri nella superficie da esaminare. Per il loro utilizzo, è necessario versare un adeguato volume di acqua, sia nel cilindro interno, sia nello spazio fra la parete di questo e quello esterno. Quest'ultimo volume di acqua funge da barriera idraulica e limita la fuoriuscita laterale dell'acqua contenuta nel primo cilindro. Le misure sono effettuate ad intervalli regolari di tempo, tramite la lettura dei valori di

un'astina graduata, sospesa con galleggiante, sulla superficie dell'acqua nel primo cilindro; l'abbassamento più o meno rapido dell'astina dipende dalla permeabilità del fondo. I valori registrati permettono di calcolare la velocità di filtrazione verticale, tramite l'utilizzo di apposite formule. Per attenuare eventuali errori legati a disomogeneità del fondo, si usano più strumenti ravvicinati, solitamente tre (batteria: Figura 10). Inoltre, per ottenere un campione più numeroso di misure e quindi statisticamente più attendibile, si effettuano più prove, tornando a colmare i cilindri, una volta che l'acqua nel cilindro interno ha raggiunto un livello minimo.



Figura 10: Batteria di tre doppi cilindri posati sul fondo del canale di Gronda.

Per quanto riguarda i rilievi effettuati, dai tre cilindri si sono ottenute velocità medie di infiltrazione oscillanti fra 0,392 m/d e 0,528 m/d. La media totale sui tre strumenti è risultata di 0,461 m/d, valore compatibile con quanto ottenuto con le prove effettuate tramite il natante River Surveyor, ossia di 0,3 m/d.

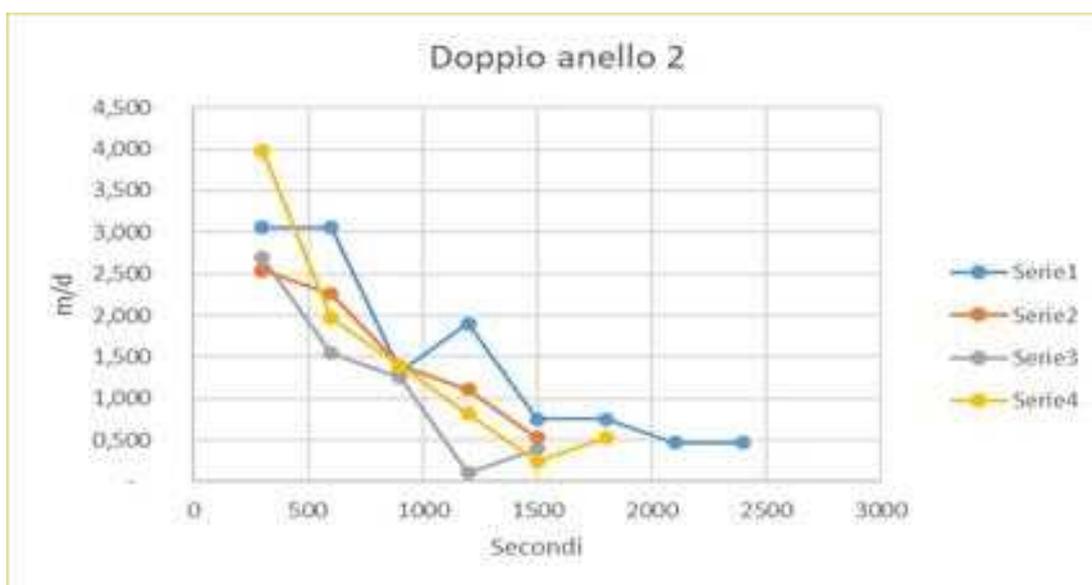


Grafico 1: Serie di prove effettuate dallo strumento n° 2 sul fondo del canale di Gronda. Le velocità, riportate in metri/giorno (m/d), sono inizialmente più alte, in quanto legate a condizioni insature (parziale riempimento dei pori del sedimento con acqua). Man mano che tutti i pori vengono riempiti, le curve si assestano asintoticamente verso velocità compatibili con la conducibilità idraulica saturata.

Nella stessa data, si è provveduto ad eseguire una prova tramite la tecnica dell'Inverse Auger Hole, sempre sul fondo del canale. Operativamente, è stato praticato, tramite trivella manuale, un foro del diametro di 6 cm e profondo 75 cm, sul cui fondo è stato calato uno strumento Diver, assicurato alla superficie tramite un cordino. Successivamente, si è provveduto a riempire velocemente il foro stesso con acqua, fin quasi all'orlo (Figura 11). Secondo la permeabilità del fondo e delle pareti del foro, l'abbassamento del livello dell'acqua ivi contenuta può essere rapido o molto lento; per questo motivo, sono necessarie inizialmente alcune letture manuali del livello, per stimarne la velocità ed eventualmente provvedere a successivi rabbocchi (Grafico 2). Le variazioni di pressione dell'acqua all'interno del foro sono registrate dal Diver in continuo, utilizzando intervalli di lettura molto ravvicinati (nel caso specifico, una lettura ogni secondo). Dopo il recupero del Diver e lo scarico dei dati, si utilizza un apposito algoritmo per calcolare la conducibilità idraulica saturata.

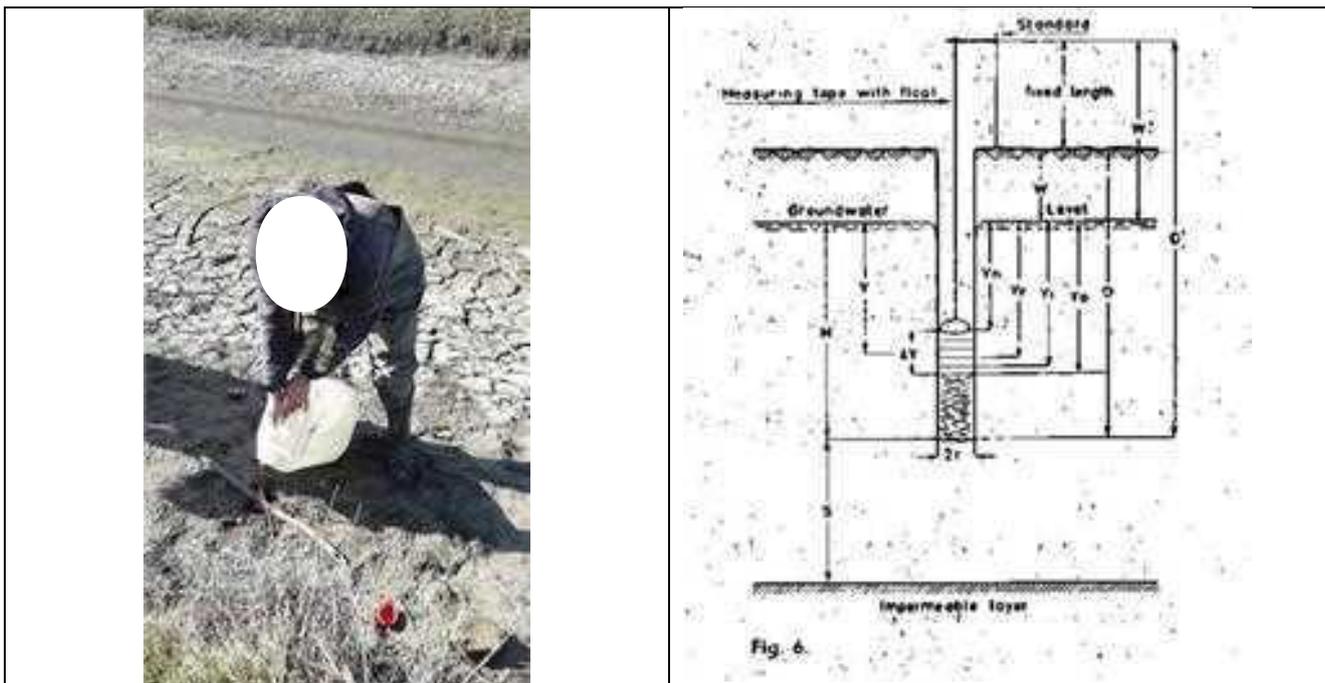


Figura 11: a sinistra: acqua versata da una tanica nel foro praticato con trivella sul fondo del canale, per l'avvio della prova dell'Inverse Auger Hole. A destra: parametri presi in considerazione per il calcolo della conducibilità idraulica saturata.

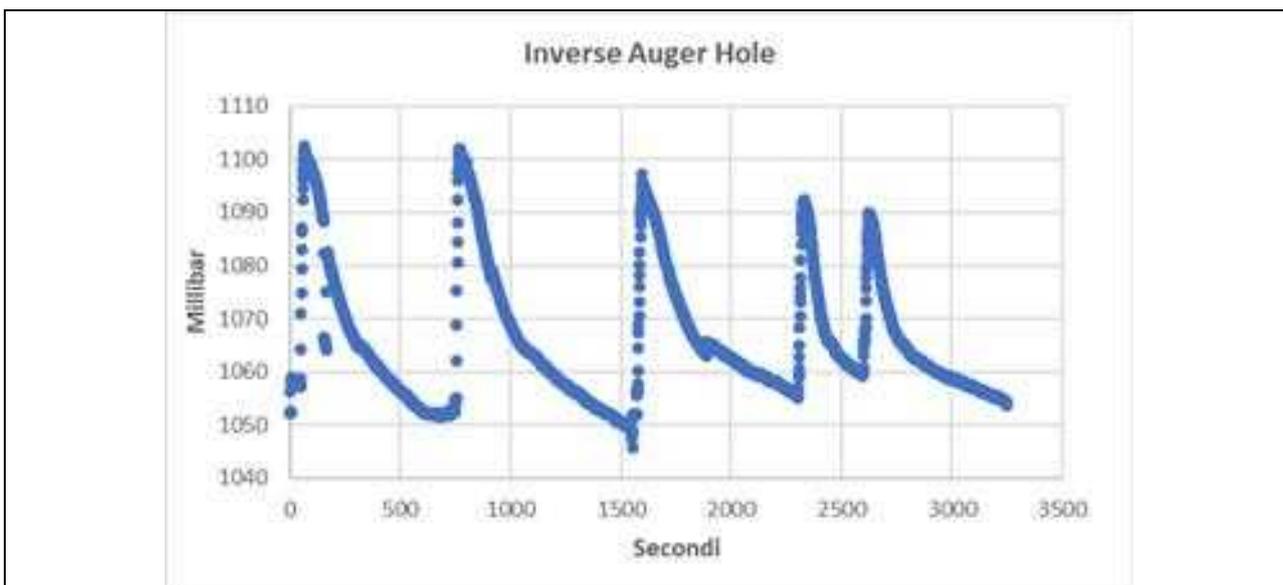


Grafico 2: Variazioni della pressione nel tempo registrata dal Diver nel foro dopo una sequenza di rabbocchi.

La velocità media di conducibilità idraulica satura misurata tramite questo metodo è risultata di 0,28 m/d, compatibile con le altre misure realizzate e descritte nei paragrafi precedenti.

2.3 Misurazione del tirante nel corso della stagione irrigua

Al fine di inquadrare i valori di portata e di infiltrazione, calcolati nell'attività precedente, nell'ambito dell'intera stagione irrigua, si è provveduto a posare due piezometri, ciascuno in prossimità del fondo di una sezione di canale prescelta, per la misura del tirante d'acqua. L'installazione è avvenuta a giugno 2021, presso due località attraversate dal canale di Gronda, denominate rispettivamente "La Fiorita" (a Nord) e "Valle Isola" (a sud), come rappresentato in Figura 12.



Figura 12: Settore studiato, compreso fra il canale di Gronda Bosco Eliceo ad est (azzurro) e il Collettore Principale Valle Isola ad ovest (blu). I due quadrati verdi (P8 e P34) indicano l'ubicazione dei piezometri regionali, di cui si parlerà nel successivo capitolo. I punti rossi si riferiscono ai punti di monitoraggio 2021 e 2022; nello specifico, i punti G5 e G6 indicano, rispettivamente i piezometri posati sul canale presso La Fiorita e presso Valle Isola. Gli altri punti (G1, G2, 24FE...) saranno pure descritti nel successivo capitolo.

Nel primo caso, si è assicurato alla sponda destra del canale un piezometro della lunghezza di circa due metri; nel secondo si è riutilizzato un tubo già posizionato precedentemente da CBPF, fissato alla spalla di un ponte di attraversamento (Figura 13). All'interno di entrambi i tubi sono stati inseriti strumenti di lettura in continuo della falda (HD Diver), a profondità tali da poter chiaramente registrare le variazioni di livello dell'acqua all'interno del canale. Nel piezometro presso "La Fiorita", in prossimità della bocca pozzo e quindi non raggiungibile dalle acque del canale, è stato posizionato un ulteriore strumento per la lettura della pressione atmosferica, dato necessario per poter effettuare i calcoli successivi. L'ultima fase è consistita nella quotatura con GPS-RTK di precisione centimetrica, delle bocche pozzo e del fondo canale.



Figura 13: a sinistra: quotatura della bocca pozzo del piezometro posto nel canale presso la località “La Fiorita”; a destra: lettura manuale del livello dell’acqua nel canale tramite freatimetro, all’interno del tubo assicurato al ponte presso la località “Valle Isola”.

In seguito, si è provveduto allo scarico trimestrale dei dati, sia nel 2021, che nel 2022 e alla successiva elaborazione dei dati. Questo ha portato alla realizzazione, come prodotto finale, di grafici di variazione del livello di acqua nelle due sezioni e per le due stagioni irrigue (Grafico 3).

Il tirante medio rilevato è di circa 70 cm per la sezione La Fiorita e circa 60 cm per la sezione valle Isola. Dal confronto fra le due annate, emerge una maggior regolarità del flusso nel 2021, soprattutto da metà luglio fino a fine settembre. Nel 2022, invece, l’ingressione del cuneo salino all’interno del Po di Volano è giunta ad interessare spesso il punto di derivazione del canale di Gronda. Il Consorzio ha dovuto quindi ridurre gli emungimenti, determinando flussi più variabili ed incostanti in entrambe le sezioni.

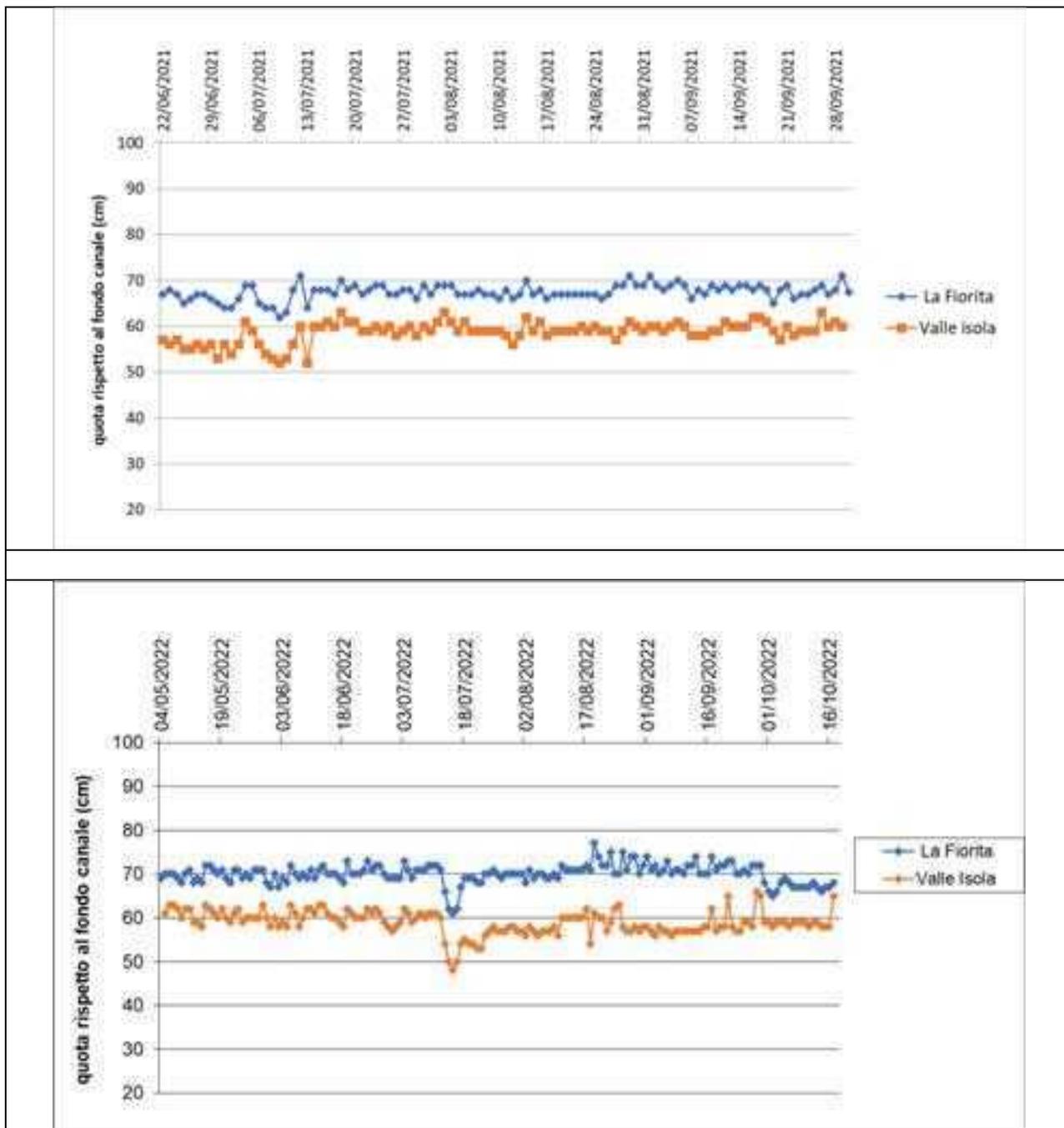


Grafico 3: in alto: variazione del livello dell'acqua nel canale di Gronda nel corso della stagione irrigua 2021 nelle due sezioni La Fiorita (Nord) e Valle Isola (Sud); in basso: le variazioni nelle stesse due sezioni nel corso della stagione irrigua 2022. In tale ultimo anno si notano oscillazioni più pronunciate, legate alla necessità di ridurre i prelievi dal Po di Volano, interessato dall'ingressione del cuneo salino.

2.4 Letture del livello di falda in piezometri prospicienti il canale di Gronda

Al fine di misurare livello e salinità della falda superficiale in prossimità del canale di Gronda, si è provveduto, in data 04/06/2021, ad installare 2 allineamenti, da 2 piezometri ciascuno, a distanza crescente dalle sezioni di canale già descritte (La Fiorita e Valle Isola). Tutto questo tratto di territorio, circoscritto fra le due sezioni, il canale di Gronda ed il Collettore principale, è situato, con la relativa eccezione dei rilievi arginali prospicienti la Gronda, a quote inferiori al livello del mare, solitamente fra -1,2 e -2,5 m s.l.m.

Il territorio corrisponde, dal punto di vista sedimentario, ad un'antica laguna bonificata retrostante un sistema di dune costiere ed è stato fortemente rimaneggiato antropicamente, per ottenere superfici atte alla coltivazione. In genere, si è operato uno spianamento degli elementi morfologici più rilevati, quali barre fluviali o retrodune e parziale colmata delle depressioni. Le variazioni di quota dipendono dalle pendenze impostate, al momento della bonifica, per lo scolo delle acque verso il canale Collettore, dalla presenza di alcuni relitti conservati di barre sabbiose e da depressioni non completamente colmate o soggette a maggior subsidenza. La linea di massima pendenza non è esattamente perpendicolare ai due canali principali (NE-SW), ma è leggermente obliqua (NNE-SSW).

Per quanto riguarda la sezione la Fiorita, i piezometri sono stati posati rispettivamente a 290 m e 780 m di distanza dal canale (punti G2 e G3 di Figura 12), presso due vigneti situati su due relitti di barra sabbiosa, non completamente spianata. Purtroppo, a causa della difficoltà a mantenere stabile la parete del foro su un substrato di sabbie fini e bagnate¹, si è potuto raggiungere, con la trivella manuale, una profondità massima attorno ai 2 m, in luogo dei 3 m previsti. Per quel che concerne invece la sezione Valle Isola, il primo piezometro (punto G1 di Figura 12) è stato posizionato a circa 280 m dal canale, nel boschetto adiacente all'omonimo agriturismo ed ha raggiunto una profondità lievemente maggiore (210 cm). Il quarto ed ultimo piezometro era già presente, corrispondendo alla stazione 24FE della rete di rilievo regionale della falda ipodermica, situata a circa 950 m dal canale. La profondità raggiunta dal piezometro più profondo della stazione è di 150 cm. Ogni trivellata, eseguita per la posa del piezometro, è stata descritta secondo gli standard indicati dall'Area Geologia, suoli e sismica della Regione Emilia – Romagna. I principali orizzonti di suolo e i rispettivi caratteri sono stati descritti in apposite schede, seguendo le codifiche indicate nella Guida di campagna 2020.



Figura 14: A sinistra: carote di suolo disposte per la descrizione pedologica dopo la posa del piezometro G2, visibile sullo sfondo. A destra: lettura tramite freatimetro del livello di falda e della conducibilità elettrica.

¹ Fenomeno già noto ed attestato in situazioni con analoghi suoli sabbiosi, durante la posa di piezometri della rete regionale di rilievo della falda ipodermica.

Le osservazioni sono state attribuite, col supporto dell'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia – Romagna, alle rispettive Unità Tipologiche di Suolo: E7616T0004 e E7616T0006 (rispettivamente piezometri G1 e G3) a CERBA sabbiosa fine franca -CER2; E7616T0005 (piezometro G2) a BOSCHETTO franca -BTT1. Entrambi i tipi di suolo hanno tessitura grossolana (sabbie, sabbie franche) in profondità e disponibilità di ossigeno moderata, spesso a causa della presenza di una falda poco profonda. I suoli BTT1 si differenziano per la presenza di orizzonti superficiali meno grossolani (tessitura franca o franca sabbiosa) e con colori più scuri legati a maggior concentrazione di sostanza organica. Durante la posa, in tutte e tre i punti è stata osservata la risalita di una falda superficiale, posizionatasi fra i 140 ed i 150 cm dal p.c. Per quanto riguarda il punto G1, la salinità, misurata con freatimetro, è risultata di 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mentre nei punti G2 e G3 rispettivamente di 1200 e 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nel corso dei due anni si è provveduto ad una serie periodica di letture manuali con freatimetro. Nella stazione 24FE è stato invece sistemato uno strumento CTD Diver, il quale ha consentito di effettuare letture in continuo, sia del livello di falda, che di quello di conducibilità elettrica (Grafico 4).

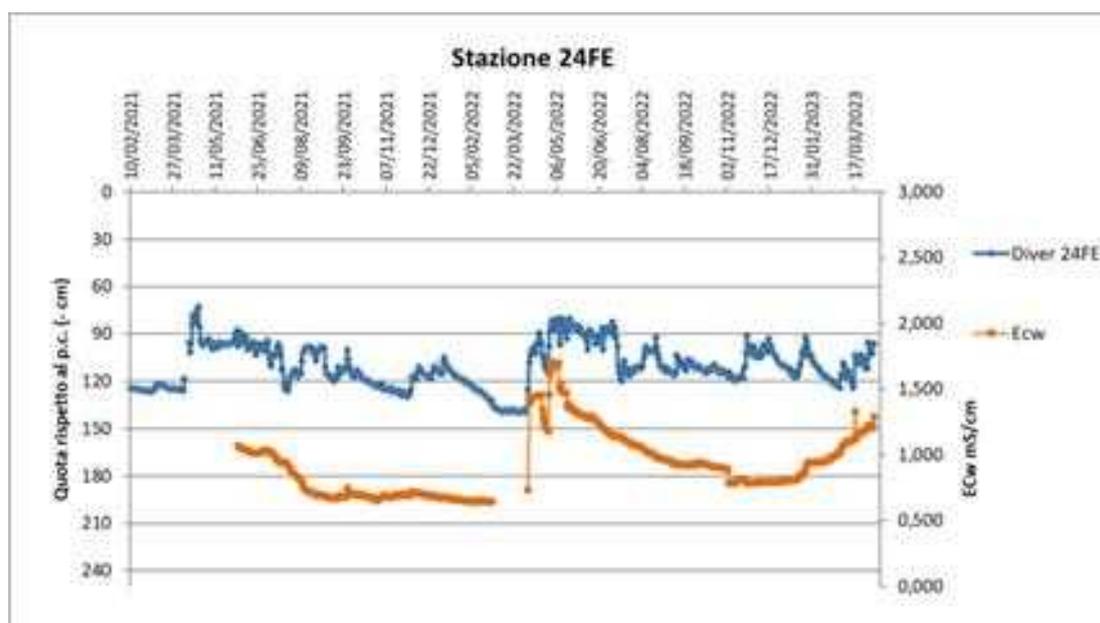


Grafico 4: Andamento del livello di falda superficiale e di conducibilità elettrica all'interno del piezometro della stazione della rete di rilievo di falda ipodermica 24FE. Il piccolo iato di letture fra febbraio e marzo 2022 è connesso al fatto che, a causa della siccità, il livello di falda è sceso sotto la profondità di rilevamento (150 cm).

La successiva Tabella 2 mostra i valori di conducibilità elettrica rilevati, in relazione alla data e al punto di misura (piezometro, canale):

Data	Gronda (G6)	G1	24FE	G2	G3	Collettore (G12)	P34
04/06/2021		3200	1072	1020	950		
15/06/2021	1090	3260	1021	977	928	2180	5936
20/07/2021	978	2029	944	970	660		6420
27/08/2021	990	1947	700	1674		3380	3775
11/11/2021		3159	680			4056	7529
25/05/2022	1293	3703	1328	1242		1245	2124
17/08/2022	1070	3661	1004	1416		2841	7735
17/10/2022	1705	3942	916			3040	9188
21/12/2022		5283	796				3190

Tabella 2: Valori di conducibilità elettrica nelle acque di falda in $\mu\text{S}/\text{cm}$ riscontrati nei due anni di monitoraggio nei piezometri, nel canale di Gronda e nel Collettore di scolo (ubicazione dei punti di rilievo, associati alle sigle, in Figura 12). P34 è un piezometro profondo della rete di rilievo regionale SIC e sarà descritto più avanti.

Le variazioni di conducibilità, in relazione alle date di rilievo, sono rappresentate nel grafico seguente, Grafico 5, e si riferiscono ai soli punti facenti parte della sezione più meridionale, ossia Valle Isola. Non si è realizzato alcun grafico per la sezione settentrionale (La Fiorita), in quanto, a causa della mancanza di acqua nei piezometri, si sono potute effettuare relativamente poche letture, ritenute non sufficienti per una rappresentazione adeguata. Tale situazione, non prevista, è stata determinata da una sfortunata combinazione di posizione, topograficamente più elevata rispetto agli altri piezometri, e di forte siccità, verificatasi fra l'autunno 2021 e l'estate 2022.



Grafico 5: Oscillazione dei valori di conducibilità elettrica presenti nella parte più superficiale della falda freatica, osservata nei piezometri della sezione Valle Isola, nel canale di Gronda e nel Collettore.

Un'analogha attività di lettura del livello di falda e di conducibilità è stata svolta su un transetto di 4 piezometri, profondi mediamente 20 m, facenti parte della rete regionale di rilievo del SIC regionale (Sistema Informativo Costa). Tutte le letture, effettuate nel corso dei due anni, sono state consegnate all'Area Geologia, Suoli e Sismica, che gestisce gli strumenti e, in parte, utilizzate per l'impostazione delle condizioni al contorno del Modello (Capitolo 3.2). In particolare, il monitoraggio ha interessato i seguenti piezometri della rete SIC (da est a ovest): P8, P34, P3 e P33. Di particolare interesse i primi due, che si trovano collocati a cavallo del canale di Gronda e le cui letture si integrano, quindi, con quelle eseguite nei nuovi piezometri posizionati nell'ambito del Piano. Per completezza, si segnala che la sequenza dei quattro piezometri della rete SIC, è stata utilizzata in tempi recenti per la caratterizzazione dell'acquifero costiero e del suo chimismo (pubblicazione Giambastiani et. Al. *Characterization of the lowland coastal aquifer of Comacchio: hydrogeology, hydrochemistry and evolution of the system* – Journal of Hydrology 501 – 2013 pp. 35-44). Anche le considerazioni espresse nella pubblicazione hanno influenzato l'impostazione del Modello, in quanto l'analisi si incentrava appunto sui rapporti idrostratigrafici ed idrochimici fra acque dolci superficiali ed acque saline (o ipersaline, fossili) in profondità. Una rappresentazione della situazione ipotizzata nella suddetta pubblicazione è presente nella successiva Figura 15:

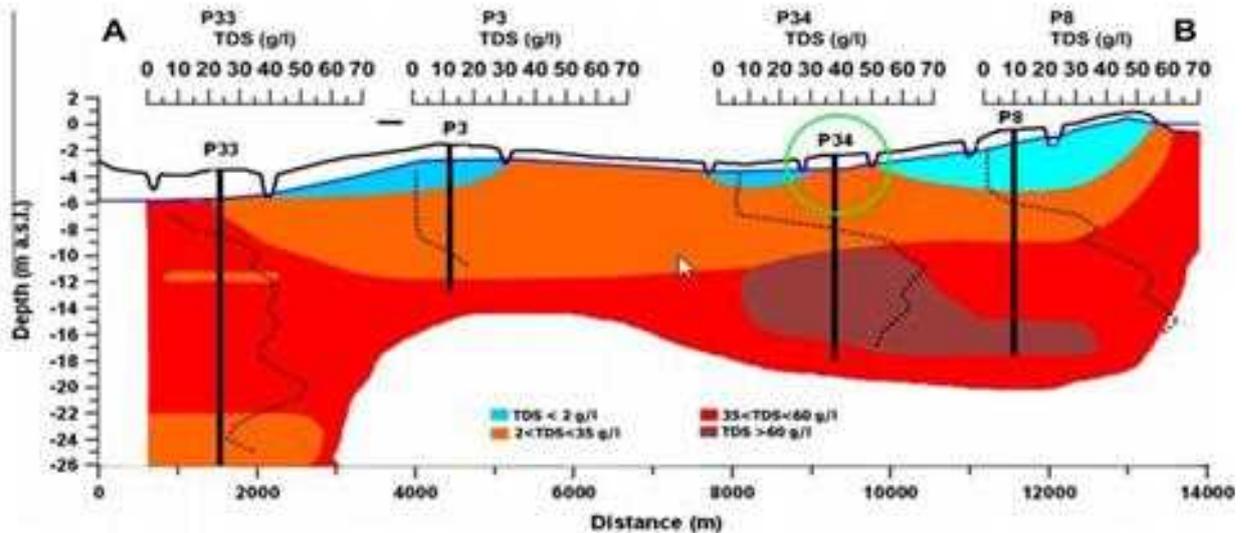


Figura 15: Ipotesi di distribuzione delle lenti di acqua dolce nel tratto di territorio compreso fra i 4 piezometri regionali monitorati. (da Giambastiani et. al, 2013). Per meglio identificare la sezione Valle Isola, è stato apposto all'immagine un cerchio verde. Il segmento compreso contiene il P34 ed è limitato da due infossature: a sinistra, Collettore; a destra, canale di Gronda.

L'insieme di dati raccolti e sintetizzati nei due Grafici 4 e 5 indica una sorta di "ciclicità" dell'andamento della concentrazione salina nella parte più superficiale della falda, tuttavia non chiaramente e non concordemente espressa in tutti i punti di monitoraggio. Le cause possono essere molteplici, ma in particolare ne possono esserne messe in risalto due: (a) un periodo di monitoraggio di soli due anni, con il secondo (2022) caratterizzato da un andamento climatico eccezionale; (b) l'estrema variabilità pedologica e geomorfologica, non evidente in un territorio fortemente antropizzato, ma ancora abbastanza percepibile dall'alto (Figura 16).

La curva di salinità nel piezometro 24FE (Grafico 4) mostra una risalita, a marzo dei tre anni 2021, 2022 e 2023, apparentemente connessa ad un'analoga, contenuta, risalita della quota di falda. Tale andamento appare congruente con quanto noto, sulla base di rilievi ultradecennali eseguiti nei piezometri della rete di rilievo regionale di falda ipodermica: marzo rappresenta, infatti, il mese statisticamente con la maggior risalita. L'aumento di conducibilità elettrica (fino a valori sopra i 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ circa) è da porre probabilmente in relazione ad un parziale rimescolamento con le acque della sottostante falda salina, durante il moto di risalita. Dalla tarda primavera, la conducibilità tende a scendere gradualmente, in relativa sintonia con la diminuzione della quota di falda. Valori analoghi, fra 660 e 1674 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sono stati registrati nei piezometri G2 e G3, posizionati nelle barre relitte della sezione La Fiorita.

Il Grafico 5 mostra un quadro, tutto sommato, complesso, nonostante alcuni andamenti annui della salinità risultino abbastanza coerenti. Il canale di Gronda, data l'alimentazione da parte del Po di Volano, presenta conducibilità elettrica piuttosto contenuta nel corso dell'anno, con ridotta variabilità dei valori (di solito fra i 950 ed i 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Il Collettore, invece, in quanto canale di scolo, nel quale vengono convogliate le acque provenienti da molteplici scoline del reticolo minore, ha chiaramente conducibilità elettrica maggiore (anche oltre i 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$); i valori massimi si situano nel periodo autunno invernale, quando cessa l'apporto e la conseguente diluizione da parte delle acque irrigue provenienti da Po. Il piezometro P34 della rete SIC mostra oscillazioni marcate e con conducibilità sempre abbastanza elevata (fra i 2000 ed i 9200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), probabilmente connesso con la posizione geomorfologica depressa, a stretto contatto con la falda salina, mentre minori oscillazioni e più ridotta conducibilità (fra i 1900 ed i 5300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sono presenti nella curva del piezometro G1, a soli 250 m dal canale di Gronda, in prossimità del sistema di dune costiere. Del piezometro 24FE si è già parlato in occasione dei commenti al Grafico 4, basta solo osservare che l'andamento dei valori nei due anni si sovrappone in maniera abbastanza evidente a quello del canale di Gronda.



Figura 16: Evidenze di variabilità tessiturale e pedologica lungo la sezione Valle Isola; i colori più chiari sono in relazione con vecchie barre sabbiose spianate, talora solcate da canali ad andamento intrecciato (“braided”); quelli più scuri, con zone più depresse di piana lacustre, ora colmate.

In conclusione, è possibile proporre una possibile ripartizione delle curve di salinità riscontrate, in base alle emergenze di paesaggio in cui sono collocati i piezometri:

Piezometri 24FE, G1 e G2 (sezioni Valle Isola e La Fiorita), posizionati su sedimenti prevalentemente sabbiosi di barre in parte spianate: hanno conducibilità dell’acqua superficiale di falda abbastanza contenuta nei due anni (sempre < 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L’andamento stagionale riscontrato, con risalite del livello di falda all’inizio della primavera e poi graduale abbassamento, è tipico della maggior parte dei piezometri della rete di rilievo regionale. E’ probabile che, per la loro posizione relativamente più elevata, o perché parzialmente alimentati per infiltrazione laterale da canali irrigui, ospitino livelli di falda con acque più dolci, soprastanti quella salina.

Piezometro P34 della rete regionale SIC (presso sezione Valle Isola), posizionato in area depressa con sedimenti più fini: la conducibilità delle acque di falda superficiali è abbastanza elevata e supera quasi sempre il livello di 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, che indica acque non adatte all’irrigazione. La salinità ha oscillazioni stagionali differenti, talvolta opposte, rispetto al piezometro 24FE. In questo caso, sembra di poter affermare con evidenza, che l’influsso proviene direttamente dalla falda salina sottostante, senza che intervengano infiltrazioni di acque più dolci da parte del reticolo superficiale di canali o altri elementi di paesaggio, come barre o dune (del resto, è la stessa situazione illustrata in Figura 15).

Piezometro G1 (sezione Valle Isola), situato su uno spessore di almeno 2 m di sabbie, in prossimità delle dune litorali e a 280 m dal canale di Gronda. In base alla posizione e agli aspetti sedimentari, dovrebbe presentare una falda superficiale con conducibilità elettrica analoga a 24FE, ma così non è. In pratica assume valori intermedi fra le due categorie sopra citate, oscillando fra poco meno di 2000 ed oltre i 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Al netto delle considerazioni sopra espresse, i dati di falda acquisiti durante il monitoraggio sono stati utilizzati in un secondo momento per la validazione del modello.

2.5 Analisi della variabilità spaziale del livello di falda

All'interno dell'Azione 3.1 era prevista un'ultima tipologia di rilievo lungo le due sezioni, tramite l'utilizzo dello strumento ad induzione elettromagnetica EM38 della Geonics, il quale possiede una profondità d'investigazione massima di circa 1,5 m. Più precisamente, esso può essere utilizzato in due posizioni: verticale ed orizzontale. Nella posizione orizzontale, la profondità di esplorazione raggiunge i 0,75 m, mentre in posizione verticale è di circa 1,5 m. L'EM38, utilizzato in movimento e sospeso ad alcune decine di cm dal terreno, effettua una serie di rilievi di conducibilità elettrica nel suolo, ad intervalli regolari di tempo. I valori vengono poi trasferiti e georeferenziati su palmare dotato di GPS, collegato allo strumento. Ciò consente la ricostruzione su mappa delle variazioni osservate; esse dipendono, principalmente, dai parametri tessitura del suolo, % di umidità nel terreno e salinità, oppure da una combinazione di questi. Per quanto riguarda la zona oggetto di studio, sono stati eseguiti due rilievi annui (prima e dopo stagione irrigua) lungo entrambe le sezioni di Valle Isola e La Fiorita: 15 giugno ed 11 novembre 2021, 25 maggio e 17 agosto 2022. A causa della continua presenza di colture in rotazione (in queste zone si coltivano generalmente orticole con più un ciclo colturale l'anno non è stato possibile procedere lungo i campi (come è stato fatto in risaia, nell'Azione 3.4), ma mantenendosi ai margini, sulle carraie interpoderali e delimitando un'area all'interno di un circuito. Escludendo il primo rilievo 2021, nel quale ha potuto essere indagata solo una porzione limitata di area, a causa di problemi col mezzo di trazione, gli altri tre rilievi hanno fornito risultati, che possono essere definiti interessanti. Di seguito si riportano alcune mappe, derivate dall'elaborazioni su GIS dei valori acquisiti in campo (Figura 17).

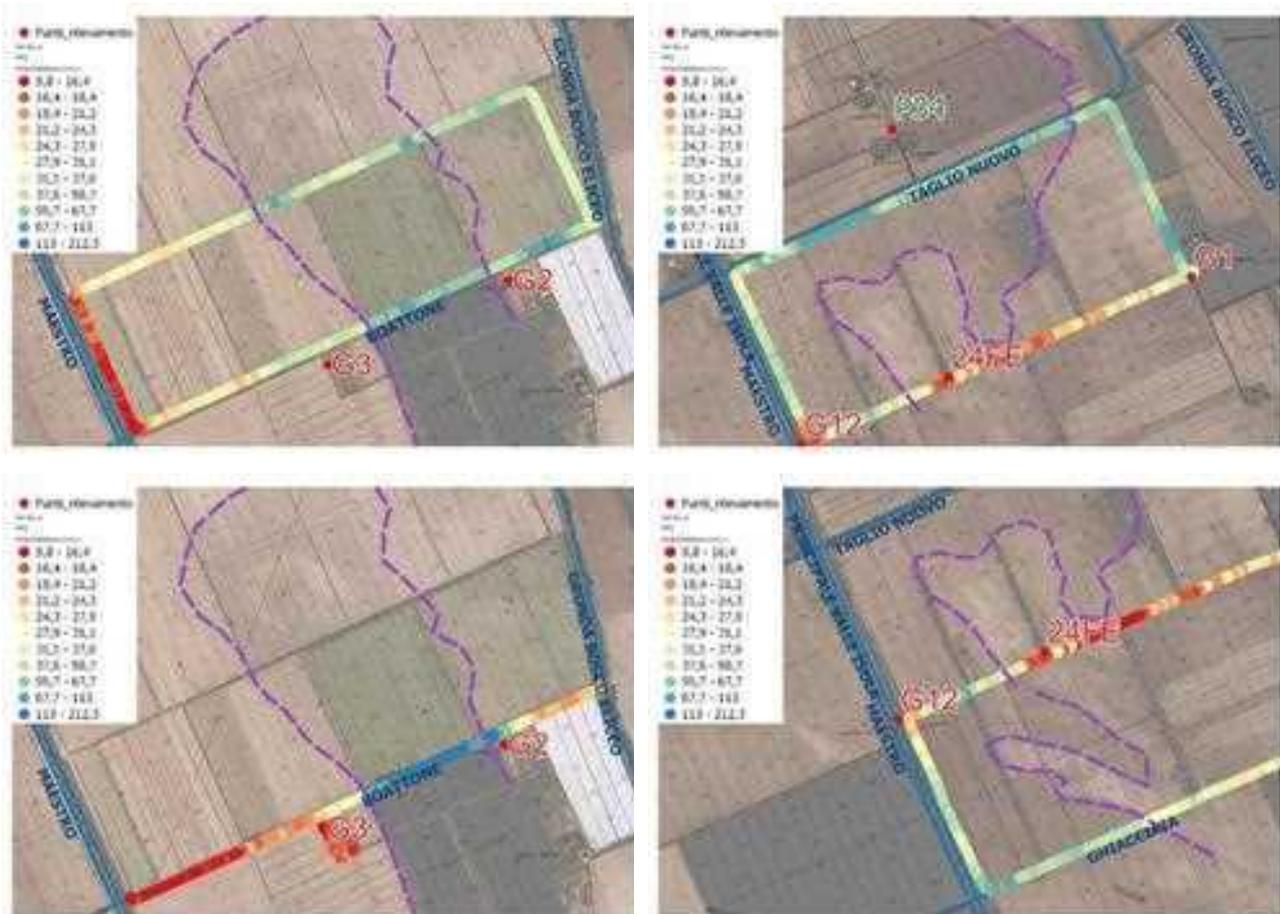


Figura 17: In alto, a sinistra: rilievo EM38 del 22 maggio 2022 lungo la sezione “La Fiorita”; in alto, a destra: rilievo alla stessa data, lungo la sezione “Valle Isola”. In basso, a sinistra: rilievo EM38 del 17 agosto 2022 lungo la sezione “La Fiorita”; in basso, a destra: rilievo alla stessa data lungo la sezione “Valle Isola”. La linea tratteggiata di color viola demarca il probabile limite fra barre e dune sabbiose e zone depresse a sedimentazione più fine.

Per consentire una miglior valutazione delle differenze, la rappresentazione è stata eseguita a falsi colori, i quali tendono verso il rosso, nel caso di bassi valori di conducibilità e, viceversa, tendono verso il blu, nel caso di valori alti. In ogni mappa, le classi di valori sono le medesime; dal loro confronto con gli elementi del paesaggio, possono scaturire alcune osservazioni di massima:

- Nell'arco dei tre mesi fra maggio e agosto 2022, possono essere osservati differenti valori di conducibilità in uno stesso punto del territorio e questo a causa di molteplici fattori (precipitazioni cadute nei giorni precedenti, risalita della falda, invaso dei canali, irrigazioni), i quali possono variare le condizioni di umidità nel suolo. Tuttavia, le immagini mostrano che l'aspetto più determinante è quello legato alla geomorfologia ed agli aspetti sedimentari e pedologici. Ad esempio, nella sezione La Fiorita, sia a maggio che ad agosto, è presente una zona maggiormente conduttiva fra i piezometri G2 e G3, anche se con valori meno accentuati nella prima data. Minori valori di conducibilità si riscontrano sia ad est che, soprattutto, ad ovest, nonostante il gradiente di pendenza verso il Collettore. Un'analogia situazione si osserva nell'altra sezione di Valle Isola, ove le zone a minor conducibilità, nelle due date, si dispongono sempre attorno al piezometro 24FE e tendono a diminuire, gradualmente, verso est e verso ovest, più decisamente verso nord.
- La linea viola tratteggiata, riprodotta sulle mappe, rappresenta un tentativo di suddividere, dal punto di vista pedologico e sedimentario, le zone più chiare, caratterizzate da barre sabbiose spesso spianate e solo raramente emergenti sul resto della pianura, dalle aree più scure, maggiormente depresse e a sedimentazione più fine. Tale suddivisione sembra mostrare una buona corrispondenza con i valori di conducibilità rilevati dallo strumento EM38. In effetti, i sedimenti sabbiosi sono sempre meno conduttivi dei sedimenti a tessitura più fine e questa è la situazione che si osserva, con buona approssimazione, sulle mappe. Inoltre, quando le barre sabbiose si trovano topograficamente in posizioni più elevate rispetto alla piana circostante, com'è il caso di quelle in cui si trovano i piezometri G2 e G3, anche la distanza dalla falda sottostante aumenta, riducendo proporzionalmente la conducibilità. Infine, tali sabbie potrebbero ospitare livelli di falda con acque più dolci (e quindi meno conduttive) rispetto a quelle molto più saline delle zone depresse. Questa è la differenza che si riscontra nella sezione Valle Isola, fra il piezometro 24FE, su sabbie e con acque di falda aventi conducibilità fra i 700 ed i 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e il piezometro regionale P34, in area depressa con sedimenti più fini, avente conducibilità fra i 2000 ed i 9000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (si vedano Grafico 5, ma anche Figura 15).



Figura 18: Rilievo con EM38 del 17 agosto 2022, nel tratto di circa 300 m fra il piezometro G1 e il canale di Gronda - sezione Valle Isola. G6 corrisponde all'ubicazione del tubo di calma con strumento Diver, per la misura del livello del tirante all'interno del canale.

- Procedendo dal canale di Gronda verso il Collettore, la conducibilità diminuisce solo in un tratto iniziale, variabile fra i 50 ed i 120 m, nei quali l'argine della Gronda risulta sopraelevato anche di oltre 1 m rispetto alla piana circostante, con evidente, minor influenza da parte dell'acqua infiltrata dal canale e della sottostante falda salina. Oltre tale limite, ben visibile in campo, la conducibilità torna ad aumentare, sia nella sezione La Fiorita che in quella Valle Isola (rilievo EM38 in quest'ultima, riprodotto in Figura 18). Le cause possono essere le solite sopra citate: sedimenti più fini, falda salina più superficiale, acqua infiltrata dal canale.

In conclusione, sia le registrazioni periodiche della salinità, all'interno dei piezometri selezionati all'interno del Piano, sia i rilievi eseguiti con lo strumento EM38, sembrano configurare una realtà geomorfologico-sedimentaria abbastanza complessa. In questo senso, appare abbastanza semplicistico ipotizzare solo un graduale aumento della salinità nelle acque secondo la linea di massima pendenza dal canale di Gronda allo scolo, rappresentato dal Collettore. Nella realtà, la maggior influenza sembra svolta dai differenti, estesi, corpi sedimentari presenti nei settori studiati, i quali sembrano disporsi prevalentemente in direzione parallela od obliqua rispetto alla Gronda. Le acque meno saline, o tendenzialmente dolci e di spessore abbastanza limitato, si riscontrano in corrispondenza delle barre sabbiose, mentre le zone depresse mostrano una falda salina vicina alla superficie, caratterizzata da notevoli oscillazioni stagionali di conducibilità. Infine, in prossimità della Gronda e con l'esclusione del tratto arginale iniziale, è presente, in entrambe le sezioni, un tratto di territorio, ampio fra i 100 ed i 200 m, nel quale la conducibilità è costantemente² attorno a valori fra i 28 ed i 50 dS/m. Tali valori si situano in posizione intermedia fra quelli tipici delle barre sabbiose (solitamente fra 13 e 35 dS/m) e quelli delle zone depresse (sempre > 45 dS/m). Ciò consentirebbe di ipotizzare, per tale tratto che costeggia parallelamente il canale di Gronda, l'influsso di acque non molto saline, forse provenienti, per infiltrazione, dal canale. Nell'ambito di tale ipotesi, risulterebbero pertanto coerenti i valori di conducibilità elettrica, a loro volta intermedi fra quelli delle acque del 24FE e del P34, osservati nel piezometro G1, situato a 280 m dal canale di Gronda.

3. COSTRUZIONE DEL MODELLO

Il flusso delle acque sotterranee sotto l'influenza dell'intrusione salina nella falda acquifera di Gronda Bosco Eliceo è stato simulato utilizzando il modello di flusso delle acque sotterranee a densità variabile di elementi finiti con il trasporto di soluti di SUTRA 3.0.

SUTRA utilizza un approccio agli elementi finiti per risolvere le due equazioni relative al flusso dipendente dalla densità e il trasporto di soluti, sotto condizioni di sottosuolo saturo o variabilmente saturo. L'equazione del bilancio di massa dei fluidi in ogni punto delle acque sotterranee a densità variabile nei mezzi porosi saturi è:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)(\rho S_{op}) + \left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)\left(\frac{\partial \rho}{\partial C} * \varepsilon\right) = \frac{\partial(\varepsilon \rho)}{\partial t} \quad (1)$$

Dove:

- p : pressione del fluido [L];
- C : Concentrazione di soluto [T⁻¹];
- ρ : densità del sottosuolo [M/L³];
- ε : Porosità effettiva [-];
- S_{op} : capacità di immagazzinamento della pressione specifica del mezzo poroso [L⁻¹];
- t : tempo [T].

² Valori osservati sia nel corso dell'inizio stagione irrigua, a maggio 2022, sia verso la fine, ad agosto 2022.

Il flusso delle acque sotterranee risultante dalle variazioni di pressione e densità del fluido in SUTRA è espresso da una forma generale della Legge di Darcy:

$$v = -\frac{k}{\varepsilon\mu}(\nabla p - \rho g) \quad (2)$$

Dove:

- v : velocità media del fluido [L/T];
- k : permeabilità della matrice solida [L²];
- μ : viscosità [M/(L*T)];
- ∇p : divergenza della pressione del fluido;
- g : accelerazione gravitazionale [L/T²].

Il soluto, che rappresenta la salinità, in un acquifero costiero viene trasportato nella falda dal flusso delle acque sotterranee. Considerando che la velocità del flusso varia considerevolmente nello spazio, viene utilizzata una velocità media, calcolata attraverso la legge di Darcy. L'equazione di avvezione-dispersione di un soluto non reattivo e non adsorbente è espressa come segue:

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho C)}{\partial t} = -\nabla(\varepsilon\rho v C) + \nabla[\varepsilon\rho(D_m + \alpha v)\nabla C] + \varepsilon\rho\Gamma_w + Q_p C^*$$

Dove:

- D_m : Coefficiente di diffusione molecolare di soluti nel sottosuolo [L²/T²];
- α : tensore di dispersività [L];
- Γ_w : fonte di massa di soluto nelle acque sotterranee [M/M*T];
- Q_p : fonte di acqua sotterranee [M/(L³*T)];
- C^* : Concentrazione di soluto nel sottosuolo [M/M].

3.1 Discretizzazione spaziale e temporale

Il dominio del modello tridimensionale è discretizzato utilizzando una mesh irregolare di elementi finiti che si estende verticalmente fino alla parte inferiore del dominio per una profondità di 30 m. Orizzontalmente invece, la mesh è generata con elementi quadrilateri con una lunghezza laterale massima di 4000 m. La mesh, come visibile dalla figura, è raffittita con elementi più piccoli per una maggior precisione lungo la linea di costa e intorno ai canali di irrigazione. Il dominio del modello ricopre un'area di 8.012 km².

Il sistema acquifero è verticalmente suddiviso in un totale di 8 layer di altezza differente. Il layer più superficiale che rappresenta i primi 3 metri di profondità è stato definito "Upper Aquifer" ed è discretizzato in altri 4 layer con un'altezza crescente all'aumentare della profondità. Il secondo layer, dai 5 ai 20 metri di profondità, è il "Middle Aquifer" ed è a sua volta discretizzato in 3 layer con una larghezza costante. L'ultimo è un unico layer denominato "Lower Aquifer" rappresentante gli ultimi 10 metri di profondità. La mesh finale contiene 8544 elementi e 10503 nodi. Il Sistema di Riferimento utilizzato è il WGS84 – EPSG 4326.

Per quanto riguarda invece la discretizzazione temporale il modello di flusso è stato sviluppato considerando una serie di passi temporali discreti. In ciascun passo temporale, si presume che tutte le sollecitazioni idrologiche siano costanti e qualsiasi output del modello si applica alla fine di ciascuna fase. Il modello è discretizzato in 108 passi temporali mensili sul periodo di simulazione di 8 anni. I passi temporali costanti del modello sono assegnati utilizzando come unità di misura i secondi. Quindi: $2.83824 * 10^8$ s di simulazione. Bisogna considerare che le esecuzioni del modello sono transitorie sia in termini di pressione che di

concentrazione. In Figura 19 è riportato il top della mesh creata in SUTRA 3.0 mentre in Figura 20 è riportata la sezione frontale.

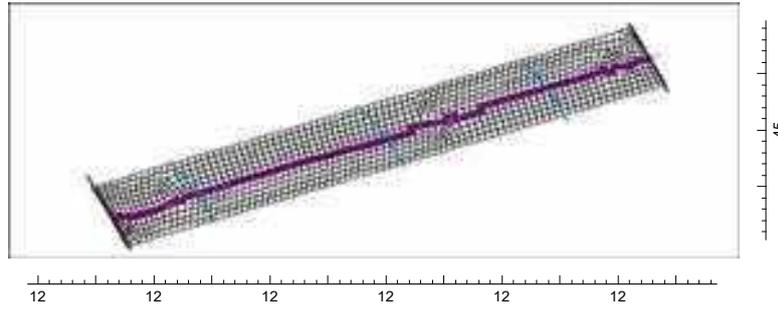


Figura 19: Top della mesh prodotta per la rappresentazione dell'area

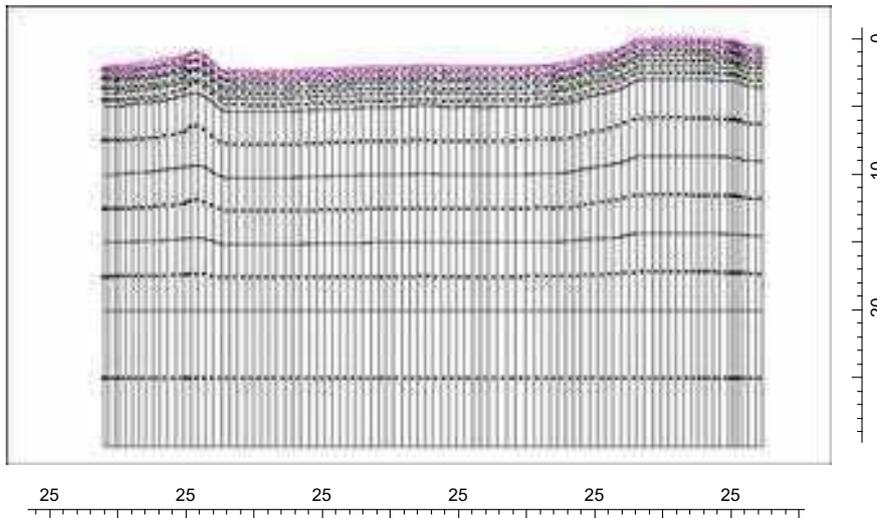


Figura 20: Parte frontale della mesh

3.2 Condizioni al contorno

Vengono identificate diverse condizioni al contorno lungo il dominio del modello sulla base della pressione e della concentrazione di soluto. In tutti gli strati del modello è stata assunta una pressione idrostatica, pari quindi a: $P = -\rho g z$.

Per la concentrazione invece, è stato preso in considerazione l'andamento dei valori di conducibilità elettrica ottenuti da piezometri installati dalla Regione Emilia-Romagna al fine di monitorare l'entità dell'infiltrazione salina nella falda acquifera. L'andamento della concentrazione è strettamente legato alla profondità Z . Infatti, vengono distinti due profili differenti a seconda che la profondità sia maggiore o minore di 6.5 m. Nella parte ad est dell'area di studio si è fatto riferimento al P8 mentre per la parte ad ovest il P3 (Figura 21).

Per la condizione al contorno della parte est del dominio:

- Se $z < 6.5 \text{ m} \rightarrow c = (0.0002 * Z^2) - (0.0005 * Z) + 0.0016$;
- Se $z > 6.5 \text{ m} \rightarrow c = (-0.0021 * Z^2) + (0.0553 * Z) - 0.2531$.

Per la condizione al contorno della parte ovest del dominio:

- Se $z < 6.5 \text{ m} \rightarrow c = (4E - 5 * Z^2) - (0.0002 * Z) + 0.0014$;
- Se $z > 6.5 \text{ m} \rightarrow c = (0.0084 * \ln(Z)) + 0.01$.



Figura 21: Individuazione dei piezometri utilizzati per il rilevamento della concentrazione salina nella zona oggetto di studio

Nei grafici seguenti, Grafico 6 e Grafico 7, sono riportati gli andamenti di conducibilità elettrica, espressa in S/cm, misurate nei due piezometri P3 e P8 in quattro diversi periodi dell'anno ed in funzione della profondità Z.

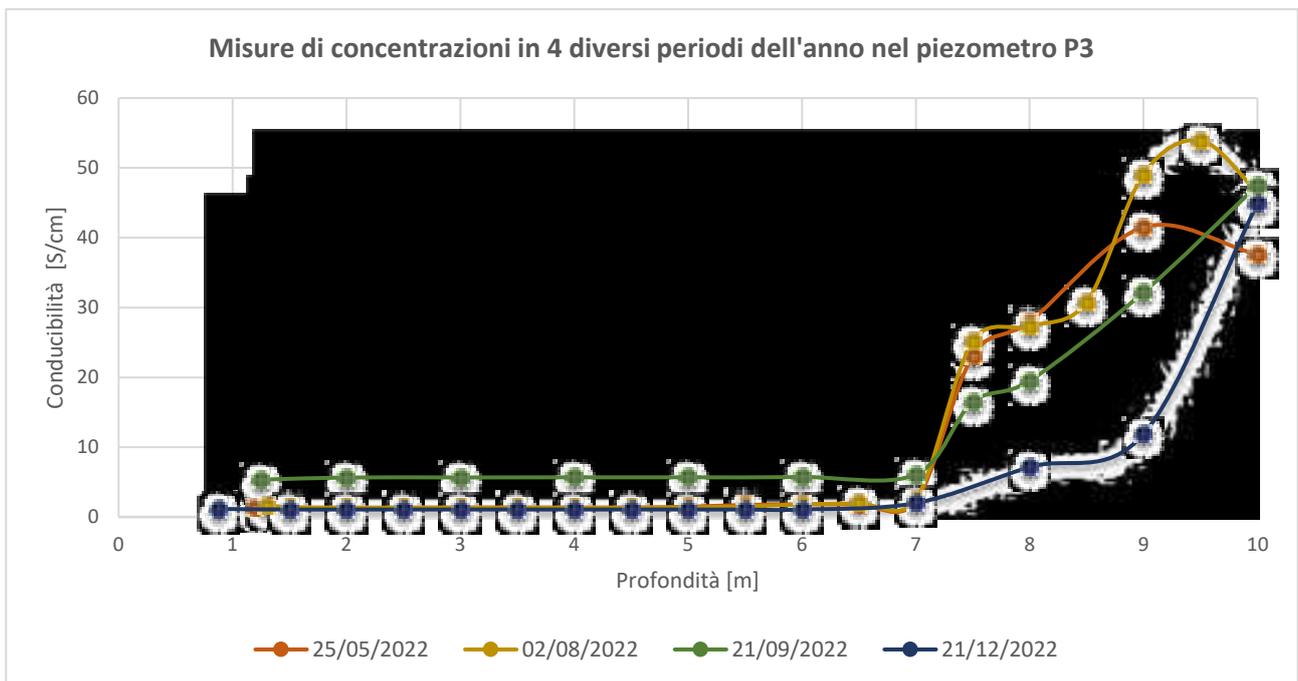


Grafico 6: Misure delle concentrazioni lette attraverso il piezometro P3

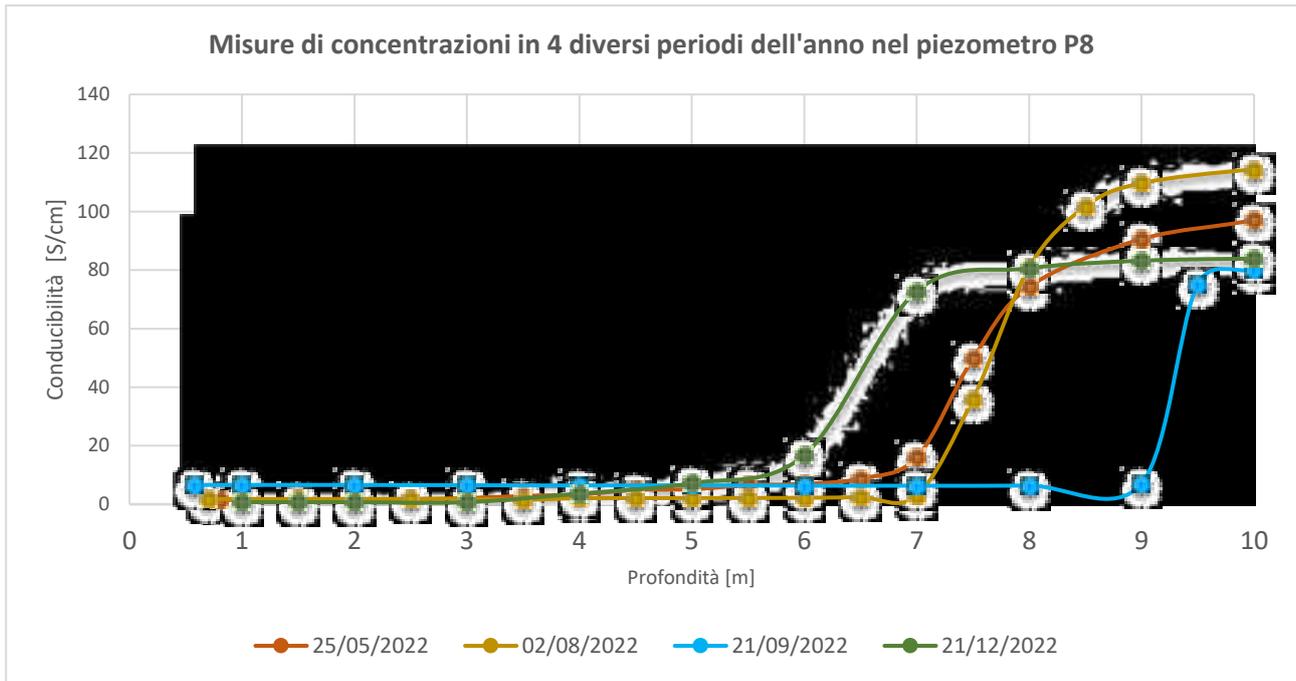


Grafico 7: Misure delle concentrazioni lette attraverso il piezometro P8

3.3 Precipitazione effettiva

Il tasso di precipitazione effettiva costituisce una misura della ricarica netta delle acque sotterranee che raggiungono la falda freatica. Nell'ambito di questo studio, tale tasso è stato determinato mediante l'applicazione del modello di programmazione irrigua conosciuto come IRRIFRAME, sviluppato da Mannini nel 2013. Il calcolo del tasso di precipitazione effettivo è stato effettuato sottraendo il tasso di infiltrazione dell'acqua nel suolo dal tasso di evapotraspirazione. I tassi mensili medi di infiltrazione, evapotraspirazione e precipitazione effettiva sono illustrati nel Grafico 8 di questo contesto di ricerca.

Durante il periodo di simulazione è stata effettuata un'approssimazione della precipitazione effettiva, la quale oscilla tra -5.2 e 4.8 mm/giorno, con una media di 0.301 mm/giorno. Quest'ultima denota un afflusso netto di acqua dolce alla falda acquifera. Tale afflusso netto, espresso in termini di volume mensile (m³/mese), ammonta a 0.1405 Mm³/mese. Si traduce in una fonte cumulativa di acqua dolce pari a 15.177 Mm³ nel corso del periodo di simulazione di 9 anni, equivalente a un tasso medio annuo di 1.686 Mm³/anno e una media normalizzata sull'area di interesse di 106.9 mm/anno. Le serie temporali delle precipitazioni effettive nette mensili assegnate nel modello sono dettagliatamente presentate nel Grafico 9.

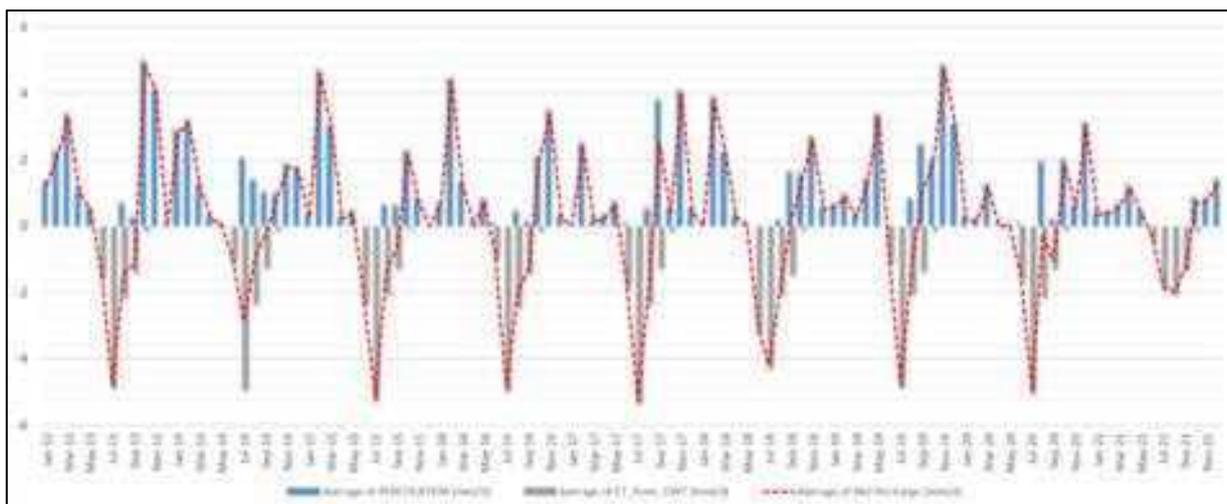


Grafico 8: Infiltrazione mensile, evapotraspirazione e tassi di ricarica netti in mm/giorno assegnati come input del modello

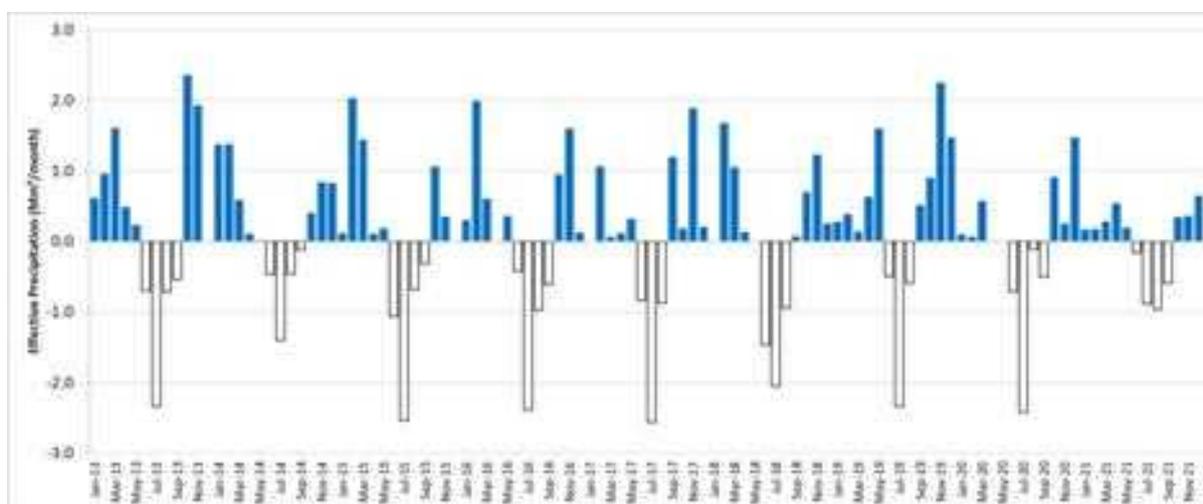


Grafico 9: Precipitazione effettiva assegnata al modello come condizione limite di flusso

4. RISULTATI DEL MODELLO

L'obiettivo di questo studio consiste nell'analizzare le potenziali strategie di mitigazione della salinizzazione dei suoli attraverso la regolazione dei tiranti d'acqua nei canali superficiali. Utilizzando il modello SUTRA in congiunzione con le relative condizioni al contorno e i parametri idraulici designati, sono stati simulati due scenari distinti. Il primo test (Test 1) è stato condotto considerando una variazione del livello dell'acqua nel Canale Bosco Eliceo in base alla stagione, nello specifico estate e inverno. Durante il periodo invernale, è stata stabilita un'altezza d'acqua di 0,5 m, mentre per la stagione estiva si è ipotizzato un tirante d'acqua pari a 1,8 m. Nel secondo scenario simulato (Test 2), l'altezza d'acqua nel Canale Bosco Eliceo è stata costantemente mantenuta a 1,8 m. Il risultato di tali simulazioni ha evidenziato una variazione nelle concentrazioni dell'area di interesse, mostrando una riduzione, seppur modesta, del fenomeno di infiltrazione salina nel Test 2. Questa osservazione è particolarmente evidente nel confronto tra la Figura 22 e la Figura 23, con effetto più significativo sulle concentrazioni riscontrato entro i primi 4-5 metri di profondità. Tale andamento suggerisce che una gestione più costante del tirante d'acqua può contribuire a limitare l'infiltrazione di acqua salina nel suolo. L'utilizzo del modello SUTRA, noto per la sua applicazione nelle simulazioni di flusso sotterranee e il trasporto di soluti, si configura come adeguato ad affrontare la problematica della salinizzazione del suolo in questione. Ulteriori sviluppi potrebbero includere l'esplorazione di scenari alternativi o la considerazione di parametri

aggiuntivi al fine di ottenere una comprensione più approfondita degli impatti della regolazione dei tiranti d'acqua sulla salinizzazione del suolo.

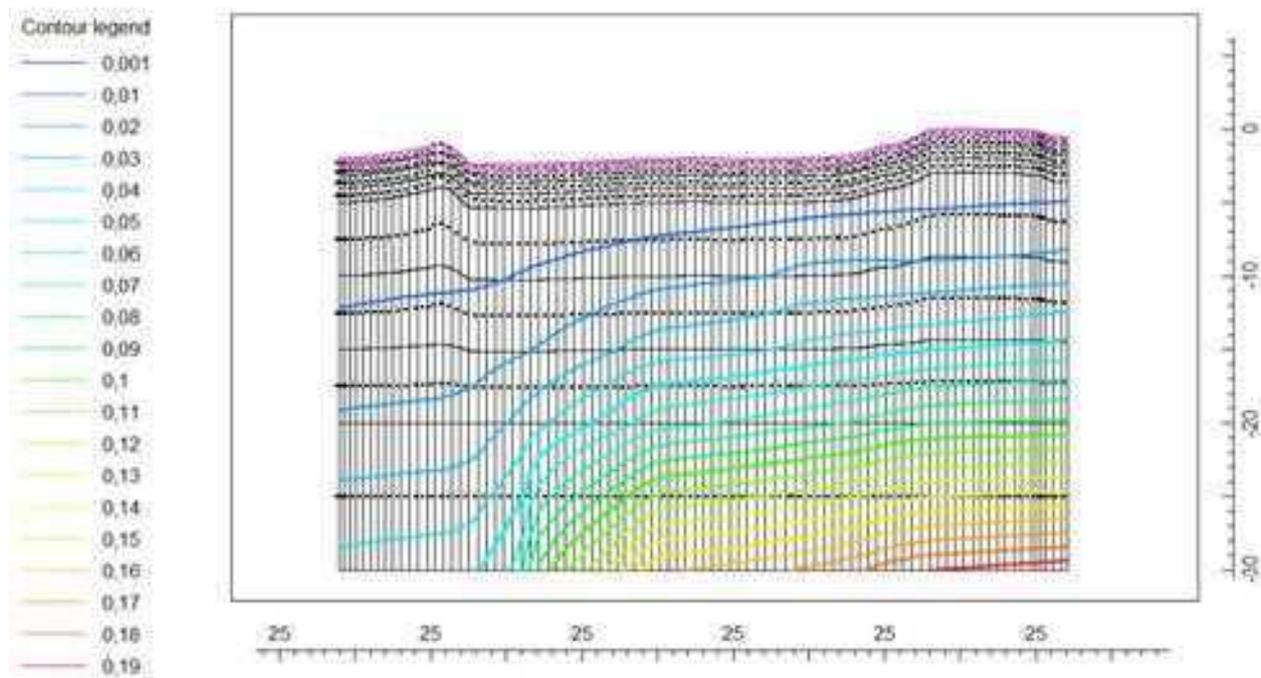


Figura 22: Andamento concentrazioni per il Test 1: altezze d'acqua nel tirante distinte per la stagione estiva e quella invernale

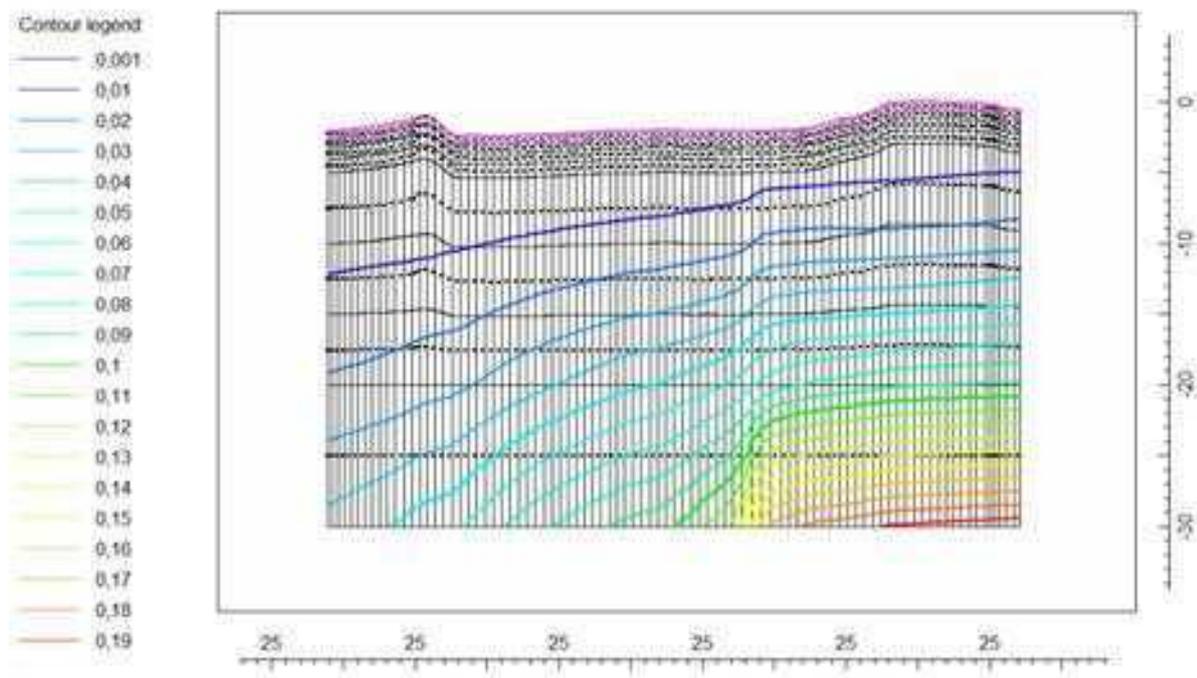


Figura 23: Andamento concentrazioni per il Test 2: altezze d'acqua nel tirante mantenute costanti e pari al tirante estivo

È stato individuato un punto specifico, lungo il Canale Bosco Eliceo, presso il quale è stata condotta un'analisi della variabilità della concentrazione nelle due simulazioni distinte. I risultati di tale studio sono rappresentati nel Grafico 10, con un particolare focus sui primi 5 metri di profondità nel Grafico 11, come illustrato nella medesima rappresentazione grafica. A titolo di esempio, ad una profondità di 4 metri, la concentrazione risultante dal Test 1 è registrata a 3.88 mS/cm, mentre il Test 2 restituisce un valore di 2.53 mS/cm. Di conseguenza, il mantenimento di un livello d'acqua costante e di ampiezza maggiore si rivela efficace nel ridurre la concentrazione salina nella parte superficiale del suolo, la quale rappresenta la zona correlata alla produzione agricola. È da evidenziare che mantenere un livello d'acqua più elevato nei canali non solo contribuisce a tale scopo, ma costituisce altresì un processo intrinseco di ricarica naturale della falda.

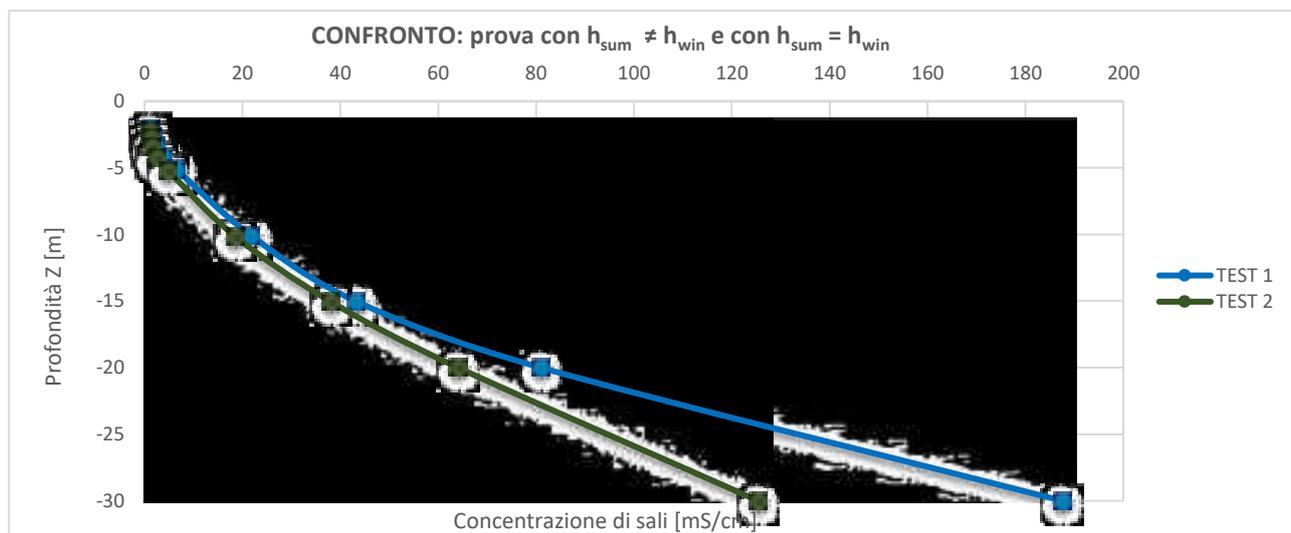


Grafico 10: Andamento concentrazioni risultanti dalle due simulazioni svolte

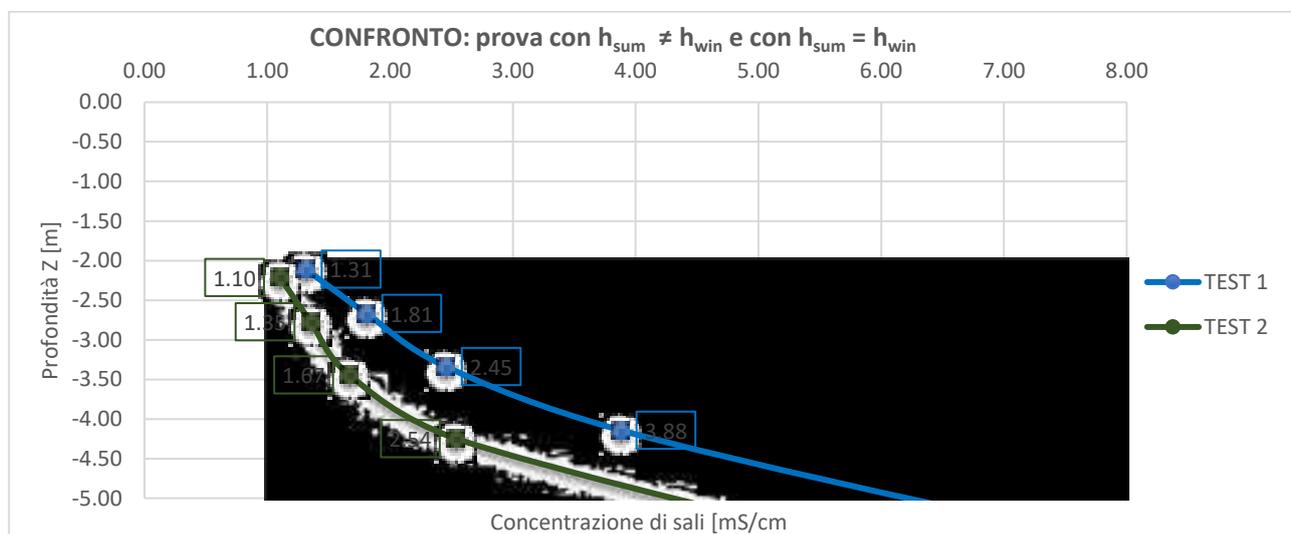


Grafico 11: Andamento delle concentrazioni ricavate dalle due simulazioni focalizzate sui primi 5 metri di profondità

L'effetto del drenaggio svolto dal Canale Bosco Eliceo è maggiormente visibile andando ad analizzare l'andamento delle pressioni in Figura 24.

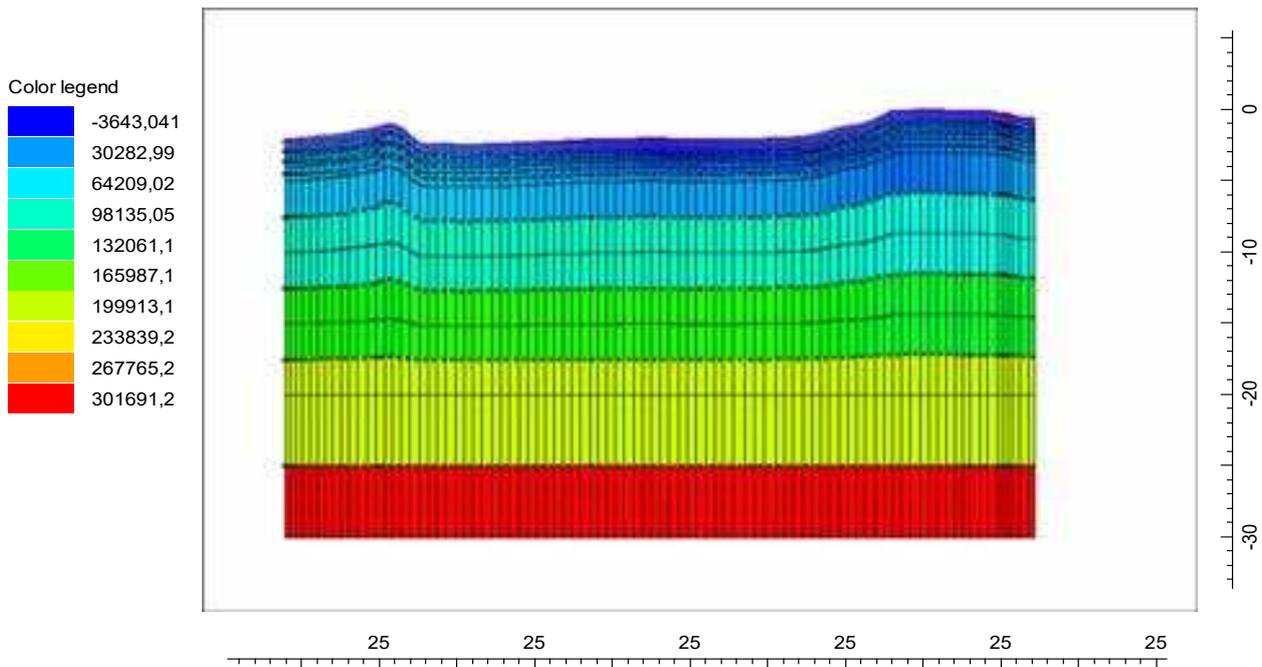


Figura 24: Pressioni all'interno della sezione dell'area di studio

Il presente documento costituisce la presentazione dei risultati derivati da uno studio di modellazione del flusso a densità variabile, il quale è stato condotto nell'ambito geografico del Canale Bosco Eliceo, parte integrante dell'acquifero di Comacchio. Il modello adottato si propone di fornire informazioni quantitative dettagliate circa lo stato di salinizzazione dell'acquifero in questione. Attraverso tale strumento di analisi, è possibile esplorare il meccanismo sottostante il fenomeno della salinizzazione comprendete l'interazione tra le diverse sorgenti coinvolte. L'obiettivo ultimo di questo approccio è la formulazione di soluzioni atte a mitigare le dinamiche del processo di salinizzazione nell'area oggetto di studio. La possibilità di esplorare le dinamiche del processo di salinizzazione mediante il modello offre un fondamentale supporto per lo sviluppo di strategie e interventi finalizzati al controllo e alla gestione ottimale delle risorse idriche coinvolte.

5. ANALISI ECONOMICA

L'azione 3.1 si basa sulla valutazione dell'effetto di mitigazione dei rilasci di acqua dolce per infiltrazione da canale, sui processi di salinizzazione della falda superficiale e del suolo, andando così a contrastare l'ingresso del cuneo salino. Il focus è incentrato sul Canale di Gronda Bosco Eliceo, canale ad uso promiscuo prospiciente la costa, gestito dal locale Consorzio di bonifica Pianura di Ferrara. I monitoraggi effettuati in campo hanno consentito lo sviluppo di modelli economici, nonché la costituzione di scenari per valutare il beneficio collettivo connesso alla presenza del Canale in aree a rischio salinizzazione.

L'analisi economica di quanto svolto nell'Azione 3.1 tiene conto dei benefici ambientali e di conseguenza economici ottenuti dall'invaso di un canale come quello di Gronda Bosco Eliceo, in termini di contrasto alla salinità, impedendo la risalita delle acque di falda saline e la conseguente salinizzazione del suolo. In particolare, attraverso la relazione tra conducibilità elettrica del suolo e produttività delle colture (FAO Irrigation and drainage paper n. 61), è stato determinato il contributo produttivo per volume infiltrato da canale. Esso è stato ricavato dalla differenza di produttività tra la situazione attuale (Canale invaso) ed uno scenario in cui il canale non è utilizzato. Una volta valorizzata in termini di PLV tale variazione positiva di produttività, è stato quindi possibile spazializzare i benefici economici e valutarne la variabilità negli anni.

Considerata l'area di studio, si è scelto di definire una zona di buffer (Figura 25), di estensione di circa 5 km dalla zona in destra idraulica del Canale, utile per identificare le coltivazioni prodotte e la relativa superficie. A tal fine è possibile quantificare il beneficio in termini di resa e di produzione lorda vendibile, PLV, delle colture prodotte nell'area adiacente al Canale di Gronda Bosco Eliceo. Nell'istogramma che segue (Grafico 12), sono state inserite le tipologie di colture coinvolte nella porzione di territorio presa come oggetto di studio, con le relative superfici espresse in ettari.

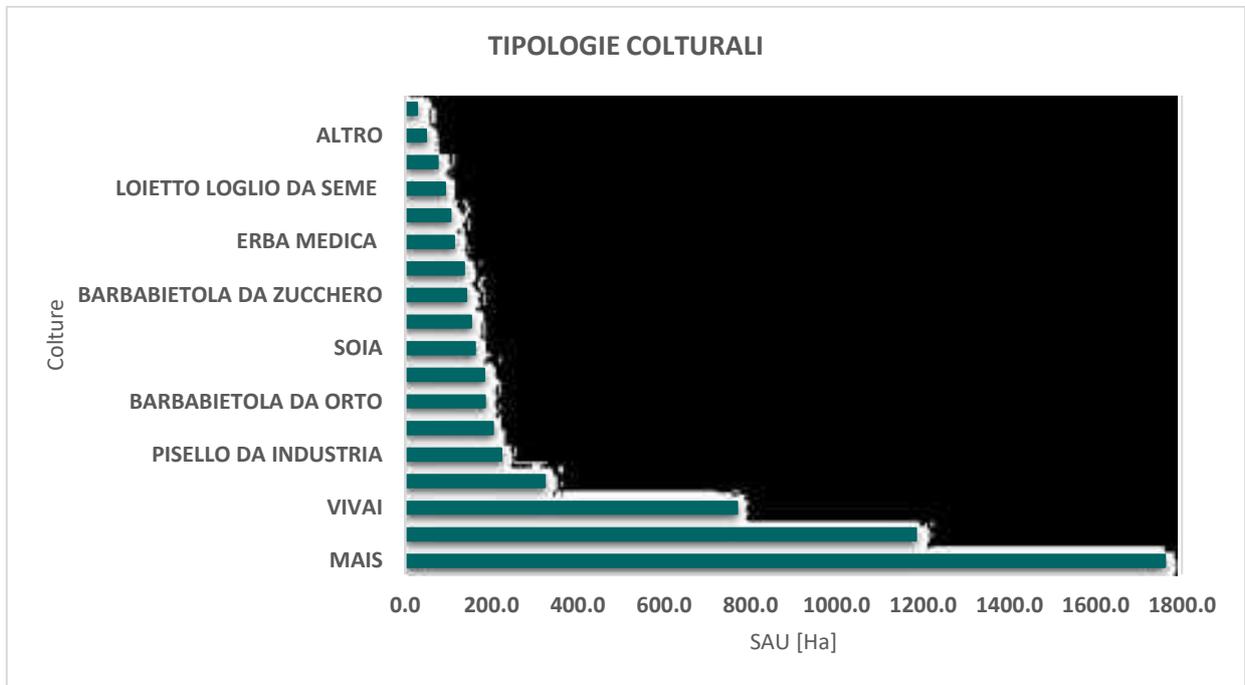


Grafico 12: Tipologie colturali con relative superfici utilizzate

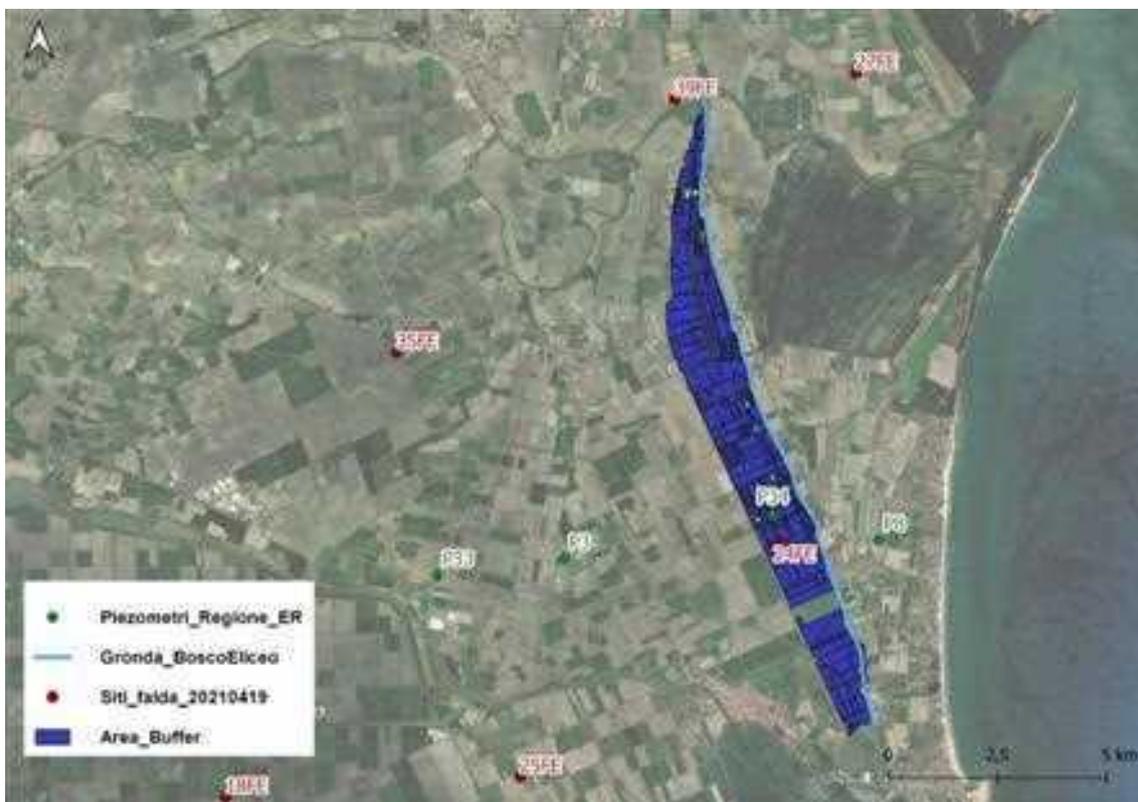


Figura 25: Area buffer in destra del Canale di gronda Bosco Eliceo

Nella stima dell'uso suolo è stata considerata la coltura principale AGREA, mais, soia, e per mancanza di dati specifici non sono state calcolate le rese di alcune orticole a ciclo breve dei vivai. Questa scelta, di tipo precauzionale è motivata dalla necessità di operare con dati solidi e necessariamente porta ad una sottostima del valore di beneficio.



Figura 26: Appezamenti culturali nell'area buffer

Culture	Ettari nel distretto [Ha]	PLV attesa [€/ha]
MAIS	1,760.47	2,301.56
POMODORO DA INDUSTRIA	1,183.73	7,196.36
VIVAI	769.53	ND
FAGIOLINO DA INDUSTRIA	323.30	5,192.00
PISELLO DA INDUSTRIA	223.08	5,192.00
SPINACIO DA ORTO	203.34	8,464.17
BARBABIETOLA DA ORTO	184.60	5,192.00
FAGIOLO DA INDUSTRIA	182.88	5,192.00
SOIA	161.78	1,843.81
PATATA DA INDUSTRIA	152.70	8,464.17

Tabella 3: Ettari totali coltivati e destinati alla produzione delle colture con relativa PLV attesa in €/Ha

Gli ettari totali coltivati e destinati alla produzione delle colture elencate in Tabella 3 sono 5145 Ha. I valori di Produzione Lorda Vendibile attesa [€/ha], ovvero la resa media per il periodo 2010-2022 corrispondente alla produttività ottimale per la coltura, sono stati reperiti dai dati RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola). Mentre per quanto riguarda la Produzione Lorda Vendibile effettiva è stato necessario calcolare preventivamente il valore di conducibilità dell'estratto saturo di terreno tollerato dalla coltura per un predeterminato valore di riduzione della resa (ECe).

Per la stima di ECE si è fatto riferimento a quanto definito nel quaderno FAO in merito all'impatto della gestione dell'irrigazione e del drenaggio sull'equilibrio idrico e salino in assenza di risalita capillare. Alla base della gestione dell'irrigazione e del drenaggio sull'equilibrio del sale nella zona radicale c'è un bilancio idrico descritto con la seguente equazione:

$$I_i + P_e + G - R - ET = DW_{rz}$$

In cui:

I_i : l'acqua irrigua infiltrata che rappresenta la quota di acqua irrigua meno la quota di acqua persa per evaporazione e deflusso superficiale (mm)

P_e : precipitazione effettiva (mm)

G : Risalita capillare (mm)

R : Percolazione profonda (mm)

DW_{rz} : cambiamento nel contenuto di umidità nella zona radicale (mm)

Questo ultimo parametro può essere assunto pari a zero nel lungo periodo.

L'equazione diventa:

$$I_i + P_e - R^* - ET = 0$$

In cui R^* è la percolazione netta necessaria ($R-G$). Pertanto, la profondità dell'acqua percolata al di sotto dello strato radicale è la quota di acqua infiltrata a cui viene sottratta l'acqua estratta dall'apparato radicale della pianta per far fronte alla sua richiesta di evaporazione. La frazione dell'acqua percolata dalla zona radicale è chiamata frazione di leaching (LF).

$$LF = \frac{R^*}{I_i + P_e}$$

Una parte del sale liscivia al di sotto della zona radicale con l'acqua di percolazione profonda. Dopo un certo periodo, il sale accumulato nel terreno stabilirà un equilibrio o uno stato stazionario basato sulla salinità dell'acqua applicata e al LF.

Il calcolo della salinità dello strato radicale prevede le seguenti assunzioni:

- L'acqua irrigua è completamente miscelata con l'acqua del suolo;
- Non vengono presi in considerazione i processi di scambio e le reazioni chimiche che si sviluppano nel suolo;
- La quantità di sali forniti dalla precipitazione e dai fertilizzanti e esportate dalle colture vengono trascurati;
- Una zona del terreno superficiale è creata con la stessa concentrazione salina media come l'acqua percolata.

Spesso si assume che la salinità dell'acqua netta di percolazione sia equivalente alla salinità media del terreno. Tuttavia, attraverso i meccanismi di irrigazione e di estrazione dell'acqua radicale, la salinità nelle porzioni superiori della zona radicale è inferiore alla media a causa di un LF più elevato (zona di lisciviazione del sale) e la salinità nelle porzioni inferiori è maggiore a causa di un LF più piccolo (zona di accumulo di sale).

Il tipico schema di estrazione per la zona radicale prevede un assorbimento di acqua del 40-30-20-10% dal quarto superiore a quello inferiore della zona radicale. Laddove l'irrigazione viene applicata più frequentemente, le colture tendono ad estrarre più acqua dalla zona radicale superiore e meno da quella

inferiore. In queste condizioni, la zona radicale è generalmente meno profonda e il modello di estrazione potrebbe essere 60-30-7-3 (FAO, 1985b).

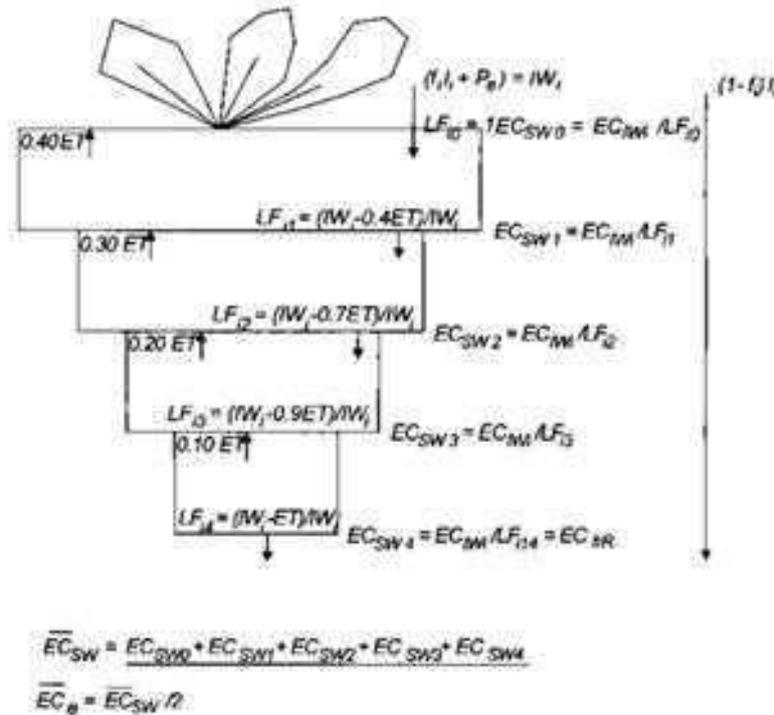


Figura 27: Schema di estrazione per la zona radicale (FAO, 1985b)

Nella maggior parte dei suoli, la salinità dell'acqua del suolo alla capacità di campo è circa il doppio della salinità dell'acqua del suolo misurata sulla pasta saturata (EC_e).

Considerando quanto descritto precedentemente, la stima di EC_e è stata fatta sulla base della media 2021-2022 della conducibilità dell'acqua irrigua (EC_w) misurata nel piezometro P34, pari a 5.37 mS/cm, e seguendo la formula fornita dalla FAO:

$$\overline{EC}_e = \frac{\overline{EC}_w}{2} = 2.687 \frac{mS}{cm}$$

A questo punto la Produzione Lorda Vendibile effettiva, ovvero la resa effettiva, nonché la produttività della coltura nelle condizioni attuali o di scenario, caratterizzata da potenziali diminuzioni di resa per effetto della salinità del suolo, è calcolata sulla base dell' \overline{EC}_e e considerando altri due aspetti importanti:

- 1) Il valore soglia di tolleranza alla presenza di sale, specifico per ogni coltura;
- 2) la riduzione della resa per unità di aumento della salinità.

Questi due valori sono valori tabulati in tabelle fornite dalla FAO per ogni tipologia di coltura e forniscono una funzione di risposta e delle linee guida per la gestione delle colture stesse.

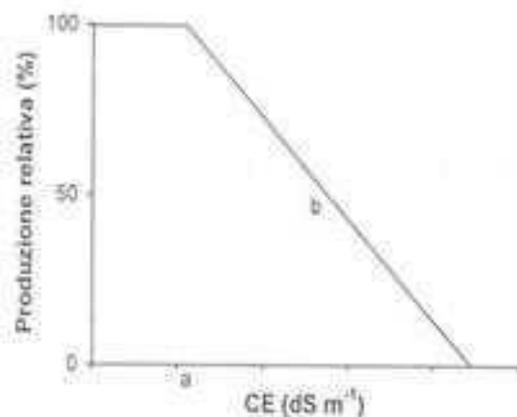


Grafico 13: Andamento della percentuale di produzione relativa in base al valore della conducibilità elettrica

Un valore di conducibilità elettrica superiore al valore soglia di quella determinata coltura va a determinare una specifica percentuale di riduzione della produzione relativa, che determina nel grafico un cambiamento nella pendenza della curva b (Grafico 13).

I valori della soglia, a, e della pendenza della retta, b, delle colture coltivate nell'area buffer del Canale Bosco Eliceo, sono riportati nella

Tabella 4 seguente:

Colture	Soglia (a)	Pendenza (b)
MAIS	1.8	7.4
POMODORO DA INDUSTRIA	2.5	9.9
VIVAI	-	-
FAGIOLINO DA INDUSTRIA	1	19
PISELLO DA INDUSTRIA	3.4	10.6
SPINACIO DA ORTO	2	7.6
BARBABIETOLA DA ORTO	4	9
FAGIOLO DA INDUSTRIA	1	19
SOIA	5	20
PATATA DA INDUSTRIA	1.7	12

Tabella 4: Valori limite di salinità specifica per ogni coltura con relativa pendenza della curva rappresentante la riduzione della produzione relativa

Per la salinità del suolo che supera la soglia di una determinata coltura, la resa relativa (Y_r) può essere stimata con la seguente equazione:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

Per calcolare il valore della PLV effettiva è stata considerata la seguente condizione:

$$y_e = \begin{cases} \left(\frac{Y_r}{100}\right) * Y_a & \text{se } EC_e \geq a \\ y_a & \text{se } EC_e < a \end{cases}$$

y_e = Resa effettiva

y_a = Resa attesa

I valori di PLV effettiva ottenuti sono riportati nella

Tabella 5 seguente:

Colture	PLV effettiva [€/ha]	Beneficio [€/ha/anno]	Beneficio totale [€/anno]
MAIS	2,150.49 €	151 €	265,954 €
POMODORO DA INDUSTRIA	7,063.13 €	133 €	157,703 €
VIVAI	-	ND	-
FAGIOLINO DA INDUSTRIA	3,527.81 €	1,664 €	538,027 €
PISELLO DA INDUSTRIA	5,192.00 €	- €	- €
SPINACIO DA ORTO	8,022.24 €	442 €	89,861 €
BARBABIETOLA DA ORTO	5,192.00 €	- €	- €
FAGIOLO DA INDUSTRIA	3,527.81 €	1,664 €	304,341 €
SOIA	1,843.81 €	- €	- €
PATATA DA INDUSTRIA	7,461.67 €	1,002 €	153,079 €

Tabella 5: Valori di PLV effettiva e il potenziale beneficio economico conseguente

La differenza tra la PLV attesa e quella effettiva fornisce un'indicazione sul beneficio in €/ha/anno, il quale viene moltiplicato per gli ettari delle colture prodotte andando a definire il beneficio totale in €/anno. Quanto svolto porta alla considerazione che il beneficio totale finali in termini economici è pari a 1,508,965 €. Ciò significa che la percolazione delle acque irrigue contrasta la risalita capillare della falda salina, garantendo così produzioni più elevate rispetto a terreni analoghi posti a distanze maggiori dai canali.



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

AZIONE 3.2

Valutazione del beneficio ecosistemico connesso alla gestione delle acque consortili in aree umide

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1 Caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area di studio	4
2. MONITORAGGIO IN CAMPO ED ANALISI DATI	7
2.1 Dati meteorologici.....	7
2.2 Classificazione dell'uso/copertura del suolo e identificazione del tipo di coltura	8
2.3 Livello e conducibilità elettrica delle acque di falda nel Mezzano	10
2.4 Caratteristiche dei suoli dell'area di studio	14
2.5 Simulazioni col modello AcquaCrop	17
2.6 Fabbisogno irriguo delle colture coltivate nell'area di studio	18
2.7 Effetto della gestione delle acque del laghetto da caccia presso Agrisfera sulla salinità della falda ipodermica	18
3. IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO NUMERICO DI FLUSSO DELLE ACQUE SOTTERRANEE	21
3.1 Modellazione numerica con il codice MODFLOW-2005.....	21
3.2 Risultati.....	23
3.2.1 Risultati del modello agro-idrologico	23
3.2.2 Carico idraulico simulato.....	24
3.2.3 Analisi del bilancio idrico.....	24
3.3 Modellazione numerica in SUTRA 3.0.....	25
3.3.1 Scenari di gestione alternativa delle acque irrigue e di drenaggio.....	25
3.3.2 Costruzione del modello	25
3.3.3 Analisi e Conclusioni per il modello SUTRA	28
4. ANALISI ECONOMICA	28

1. INTRODUZIONE

La presente azione è stata attivata al fine di perseguire alcuni obiettivi conoscitivi già esplicitati nel Piano ed incentrati su un'area selezionata all'interno delle Valli del Mezzano (FE):

- Valutazione degli effetti della realizzazione di una zona umida/cassa d'espansione sulla sottostante falda salmastra, con conseguente miglioramento del franco di coltivazione delle zone adiacenti (cosiddetto effetto di "buffering");
- Valutazione dell'effetto di una gestione diversificata dell'acqua nei canali sulla falda salmastra (scenario senza cassa d'espansione);
- Valutazione della possibilità di coltivare in riso nella zona dell'invaso e/o nelle zone adiacenti.

Sono di seguito descritte le indagini in campo e le simulazioni numeriche eseguite per investigare il flusso idrico ed il trasporto di sali nell'area di studio del progetto GESTFALDA localizzata, come detto, nelle Valli del Mezzano (FE) e delimitata dal Collettore Mezzano a nord e dalla canaletta Mantello2 a sud. Ad ovest e ad est essa è invece compresa tra i canali secondari Maè e Mantello. In assenza di un sufficiente numero di dati osservati, la modellazione numerica può costituire uno strumento utile nell'analisi delle dinamiche dei flussi idrici e della salinità.

1.1 Caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area di studio

Nell'area di studio un elevato spessore di sedimenti fluvio-palustri recenti sovrasta i sedimenti marini argilloso-sabbiosi del Pliocene-Pleistocene inferiore. La natura dei suoli risente in modo particolare dell'evoluzione del Delta del Po: le sabbie segnano i corsi antichi dei fiumi e le tracce delle loro tracimazioni; le argille e le torbe ad esse associate segnano le valli di lungo ristagno; i terreni misti di sabbie e argille segnano le zone di transizione tra le aree fluviali e quelle di ristagno vallivo (NorthSun Italia S.p.A., 1999).

La successione sedimentaria del tardo Quaternario sepolta sotto la moderna pianura costiera è caratterizzata da una sequenza di pulsazioni trasgressivo-regressive impilate verticalmente, con depositi marini e alluvionali alternati che riflettono un controllo glacio-eustatico sulle architetture deposizionali (Giacomelli et al., 2018). Le pulsazioni trasgressivo-regressive dell'Olocene si sovrappongono ad una successione alluvionale spessa decine di metri del Tardo Pleistocene, caratterizzata da depositi a grana grossolana (depositi di canale, argine e rotta fluviale) e fine (pianura alluvionale). Il limite fra gli strati del tardo Pleistocene e dell'Olocene è marcato da un paleosuolo debolmente sviluppato (Campo et al., 2023).

La successione olocenica è stata recentemente suddivisa in otto parasequenze su scala millenaria. Le parasequenze del primo Olocene (da 1 a 3), composte da depositi di estuario, sono impilate secondo uno schema retrogradazionale che riflette l'aumento graduale del livello del mare postglaciale. Le parasequenze del Medio-Tardo Olocene (da 4 a 8), impilate in modo aggregato e progradazionale, registrano la formazione multifase del delta del Po, con attivazione/disattivazione di canali distributori e commutazione del delta (Campo et al., 2023). Nello studio di Giacomelli et al. (2018, Figura 2) viene presentata in dettaglio una sezione stratigrafica longitudinale che attraversa la porzione più settentrionale della Valle del Mezzano e mostra l'architettura deposizionale olocenica distinguendo le 8 parasequenze sopra indicate.

Il livello piezometrico dell'acquifero è costantemente regolato dal sistema di bonifica, presentando le seguenti caratteristiche (Posenato et al., 2016):

- escursioni minime annuali,
- gradiente orizzontale bassissimo,
- gradiente verticale significativo, con direzione di flusso dal basso verso l'alto, indotto dal drenaggio operato dal sistema di bonifica (Giambastiani et al., 2013).

L'acquifero è alimentato da acque a bassa salinità attraverso l'infiltrazione efficace delle acque meteoriche. La presenza di acque ad elevata salinità (prossima a quella media dell'acqua di mare e a volte anche superiore) è dovuta alla presenza di acque salate legate ad ambienti di sedimentazione lagunari/marini ed alla presenza delle vicine Valli di Comacchio (Posenato et al., 2016).

Per una dettagliata e realistica rappresentazione dell'acquifero superficiale e delle sue interazioni con la rete dei canali di drenaggio/irrigazione in corrispondenza dell'area di studio, sono state analizzate le prove

penetrometriche contenute nella banca dati “Prove geognostiche e geotecniche” (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/geg/index.html>) della Regione Emilia-Romagna. Le prove penetrometriche con piezocono (CPTU) 204120U504 e 205090U508, realizzate rispettivamente a ridosso del Collettore Mezzano e del canale secondario Mantello (Figura 1), sono presentate nelle Figura 2 e Figura 3. Gli andamenti della resistenza alla penetrazione della punta (Q_c), dell’attrito sul manicotto (F_s) e delle pressioni interstiziali (U) permettono di stimare l’estensione verticale dell’acquifero. Lo spessore dell’acquifero è di circa 17 m in prossimità del Collettore Mezzano e 14 m a ridosso del canale secondario Mantello in corrispondenza del punto di esecuzione della prova 205090U508.



Figura 1: Localizzazione delle prove geognostiche (punti in rosso), disponibili attraverso il database della Regione Emilia-Romagna, in prossimità dell’area di studio (rettangolo con il bordo di colore bianco).

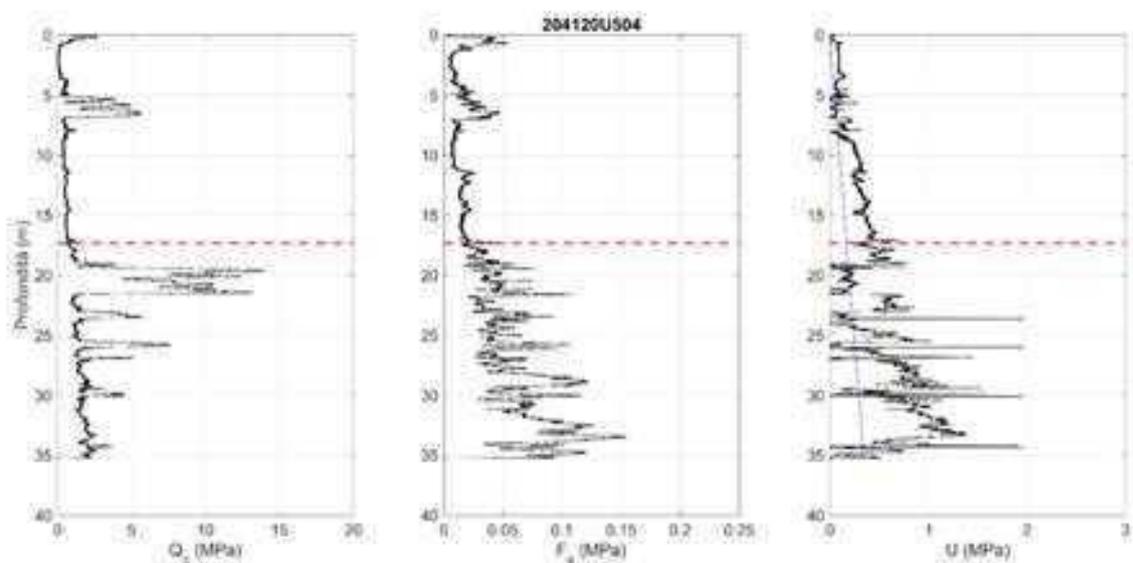


Figura 2: Prova penetrometrica 204120U504 della banca dati regionale. Q_c = resistenza alla penetrazione della punta; F_s = resistenza all’attrito laterale (manicotto); U = pressione interstiziale. La linea tratteggiata in rosso evidenzia la base dell’acquifero freatico.

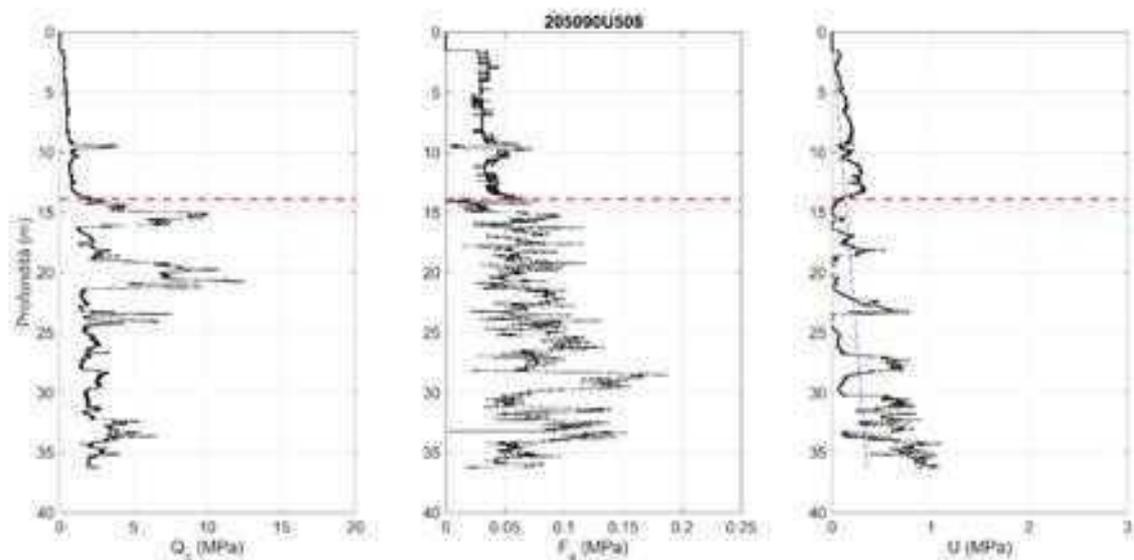


Figura 3: Prova penetrometrica 205090U508 della banca dati regionale. Q_c = resistenza alla penetrazione della punta; F_s = resistenza all'attrito laterale (manicotto); U = pressione interstiziale. La linea tratteggiata in rosso evidenzia la base dell'acquifero freatico.

Le prove penetrometriche sono state analizzate identificando, oltre allo strato più superficiale di 1.10 m descritto in precedenza, 7 diverse unità idrogeologiche di spessore variabile, che ospitano l'acquifero. Mappe delle superfici di tetto e letto di ciascuna di tali unità sono state ottenute mediante l'applicazione di un algoritmo di interpolazione a distanza inversa. In Tabella 1 sono riportati la quota minima del letto di ciascuna unità identificata e il suo spessore medio. Dati di un rilievo LIDAR forniti dal Consorzio CER sono stati utilizzati per confinare superiormente il modello stratigrafico del terreno. La quota del piano campagna nell'area di studio si attesta su valori compresi tra circa -4.2 e -2.9 m s.l.m.

Unità idrogeologica	Altezza minima della superficie del letto (m s.l.m.m.)	Spessore medio (m)
UI1 – Strato superficiale	-5.30	1.10
UI2 – Argille e limi di palude	-7.77	2.53
UI3 – Sabbie di canale distributore	-10.65	0.82
UI4 – Argille e limi di laguna e baia	-14.84	5.17
UI5 – Sabbie di canale distributore	-14.94	0.25
UI6 – Argille e limi di laguna e baia	-17.77	1.63
UI7 – Sabbie di canale distributore	-23.00	0.60
UI8 – Argille e limi di palude	-23.49	3.10

Tabella 1: Discretizzazione verticale dell'acquifero.

Come si evince dalla carta pedologica, i terreni agricoli dell'area di studio sono costituiti prevalentemente da depositi limo-argillosi di origine lagunare e palustre. L'area è caratterizzata dalla presenza di diverse tracce di paleocanali, in corrispondenza delle quali si osservano maggiori concentrazioni di depositi sabbiosi di riempimento.

Stime approssimate della conducibilità idraulica per le unità stratigrafiche identificate sono state ottenute correlando il coefficiente di permeabilità del suolo con il valore del Soil Behavior Type index, I_c , basato sui parametri normalizzati delle prove CPTU, secondo l'approccio suggerito da Robertson & Cabal (2014).

In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche idrogeologiche stimate per le diverse unità identificate.

Unità idrogeologica	$K_x = K_y$ (m/d)	K_z (m/d)	S_s (1/m)	S_y	NE
UI1 – Strato superficiale	VME1: 1.29 CSP1: 0.46	VME1: 1.29×10^{-1} CSP1: 0.46×10^{-1}	1×10^{-4}	0.15	0.25
UI2 – Argille e limi di palude	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-5}	1×10^{-4}	0.10	0.25
UI3 – Sabbie di canale distributore	1.0	1.0×10^{-1}	1×10^{-4}	0.22	0.25
UI4 – Argille e limi di laguna e baia	3.7×10^{-4}	3.7×10^{-5}	1×10^{-4}	0.10	0.25
UI5 – Sabbie di canale distributore	2.1×10^{-1}	2.1×10^{-2}	1×10^{-4}	0.22	0.25
UI6 – Argille e limi di laguna e baia	1.1×10^{-4}	1.1×10^{-5}	1×10^{-4}	0.10	0.25
UI7 – Sabbie di canale distributore	1.0	1.0×10^{-1}	1×10^{-4}	0.22	0.25
UI8 – Argille e limi di palude	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-5}	1×10^{-4}	0.10	0.25

Tabella 2: Caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero utilizzate nella modellazione del flusso in falda K_x , K_y , K_z : conducibilità idraulica lungo le tre direzioni cartesiane; S_s : coefficiente di immagazzinamento specifico (specific storage); S_y : coefficiente di produttività specifica (specific yield); NE: porosità efficace.

2. MONITORAGGIO IN CAMPO ED ANALISI DATI

Il modello agro-idrologico AquaCrop, messo a punto dalla Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ed ampiamente applicato ad aree agricole a rischio di salinizzazione, è stato utilizzato nel presente rapporto per simulare lo sviluppo delle colture coltivate nell'area di studio, i relativi fabbisogni idrici e la dinamica dei sali nell'acqua del suolo nella zona insatura. La simulazione delle componenti del bilancio idrologico del suolo consente di ottenere una stima della ricarica naturale della falda. I flussi di ricarica stimati con AquaCrop a livello del singolo campo possono essere successivamente trasferiti alla griglia di calcolo del modello MODFLOW per essere impiegati nella simulazione numerica del flusso delle acque sotterranee.

2.1 Dati meteorologici

Le simulazioni eseguite con il modello AquaCrop (versione 7.0) coprono il periodo dal 15 Agosto 2019 al 31 Dicembre 2020. La scelta di simulare le condizioni relative all'intero anno 2020 è stata determinata dalla disponibilità di misurazioni del livello della falda in un piezometro relativamente vicino dall'area di studio (<http://faldanet.consorziocer.it/Faldanet/retefeldal/index>, stazione 18FE della rete FaldaNET-ER) solo a partire dal 2020 con cadenza almeno mensile durante la stagione irrigua.

I dati meteorologici necessari per simulare il flusso idrico nella zona insatura durante le varie fasi di sviluppo delle colture agricole sono stati derivati dalle misurazioni disponibili alle stazioni meteorologiche più vicine all'area di studio. Sono state ricostruite serie complete di valori giornalieri di temperatura minima e massima dell'aria, umidità relativa e precipitazione per il periodo indicato utilizzando i dati delle stazioni della rete di monitoraggio gestita dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna (Arpa, <https://simc.arpae.it/dext3r/>). Serie complete di valori giornalieri della velocità media del vento e della radiazione solare incidente, non disponibili per il periodo di interesse mediante la webapp di Arpa, sono state ottenute utilizzando le misurazioni eseguite dalle due stazioni meteorologiche appartenenti alla rete di sensori wireless Agrowetlands installate nei campi della Cooperativa Agricola Agrisfera, circa 21-24 km a sud-ovest dell'area di studio. L'evapotraspirazione giornaliera di riferimento (ET_o) è stata stimata utilizzando l'equazione di Penman-Monteith implementata all'interno del modello AquaCrop. Le concentrazioni medie annuali di anidride carbonica atmosferica relative al 2019 e 2020 sono state calcolate mediando i valori medi mensili riportati per l'Osservatorio di Monte Cimone nell'archivio del World Data Center for Greenhouse Gases (<https://gaw.kishou.go.jp/search/>).

Il Grafico 1 mostra le condizioni meteorologiche utilizzate nelle simulazioni con il modello agro-idrologico AquaCrop.

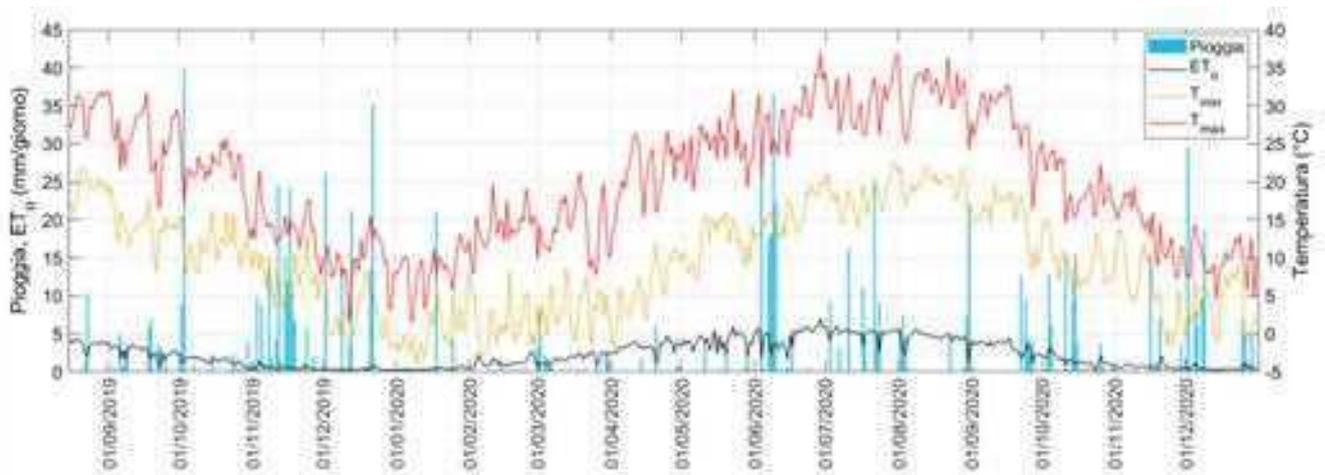


Grafico 1: Condizioni climatiche per il periodo dal 15 agosto 2019 al 31 dicembre 2020.

2.2 Classificazione dell'uso/copertura del suolo e identificazione del tipo di coltura

Per ottenere un'accurata mappa di uso/copertura del suolo e caratterizzare i diversi tipi di colture agricole coltivati nell'area oggetto di studio nel periodo di interesse, sono stati analizzati congiuntamente i dati dichiarativi sull'utilizzo del suolo rurale, estratti dalla banca dati dell'Agenzia regionale per le erogazioni in agricoltura dell'Emilia-Romagna (AGREA, <https://agrea.regione.emilia-romagna.it/come-fare-per/open-data>), e le immagini acquisite dai satelliti Landsat-8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) e Sentinel-2 (<https://scihub.copernicus.eu/>).

Dall'esame di tali dati sono state distinte cinque classi principali di copertura del suolo:

- manto stradale impermeabile, comprendente la Strada Provinciale 79 e le strade secondarie minori;
- terreni agricoli, sia campi coltivati che suolo nudo;
- alberatura frangivento ai lati del canale Collettore Mezzano, con la specie dominante olmo siberiano (*Ulmus pumila*) la cui piantumazione risale agli anni '70;
- acqua che scorre nei canali di irrigazione/drenaggio;
- fasce erbose ai margini dei canali.

La sequenza colturale all'interno delle parcelle dell'area di studio nel periodo di interesse è stata indagata esaminando le serie temporali delle immagini acquisite dai satelliti Sentinel-2 e Landsat-8. Nell'area di studio sono stati rilevati sistemi di coltivazione sia singoli che doppi. È stata inoltre analizzata l'evoluzione temporale del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), stimato mediante i dati satellitari, per ottenere informazioni sul ciclo di sviluppo delle colture coltivate nelle diverse parcelle. Sulla base delle variazioni temporali dell'NDVI in un punto/pixel selezionato all'interno di ciascuna parcella, sono state identificate, oltre a suolo nudo, quattro tipologie generali di colture: cereali invernali, leguminose primaverili, orticole primaverili-estive e colture estive. Al fine di garantire una rappresentazione realistica dell'uso del suolo agricolo, le colture delle parcelle dell'area di studio non documentate nel database AGREA sono state stimate analizzando i dati dichiarativi disponibili per l'intero bacino irriguo.

Le varie tipologie di colture identificate nei campi dell'area di studio nel corso del 2020 sono riportate nella Tabella 3 insieme alle date di semina e raccolta desunte dal profilo dell'indice NDVI. Il modello AquaCrop è stato successivamente applicato con passo temporale giornaliero per simulare lo sviluppo delle colture coltivate in ogni campo e il bilancio idrico nel suolo. Le simulazioni sono state eseguite utilizzando per i parametri colturali i valori predefiniti in AquaCrop ed applicando una adeguata

calibrazione mediante i dati satellitari per rappresentare le condizioni locali.

I valori dei parametri conservativi per la coltura del pisello (*Pisum sativum*), non inclusa nell'attuale versione di AquaCrop, sono stati derivati da quelli specifici per la soia, leguminosa relativamente simile, seguendo l'approccio suggerito da Paredes e Torres (2017). Analogamente, nella simulazione del ciclo di sviluppo del loglio (*Lolium*) sono stati considerati i valori suggeriti da Terán-Chaves et al. (2022). Per la simulazione numerica delle fasi di sviluppo fenologico dell'olmo siberiano (*Ulmus pumila*) sono state utilizzate le osservazioni condotte in un campo sperimentale della Spagna Centrale e la scala BBCH implementata da de la Cruz Amóros (2021).

Una adeguata densità di impianto è stata ipotizzata per ciascuna coltura consultando i cataloghi di varie ditte sementiere disponibili online.

Per il calcolo del bilancio idrico, è stata considerata una profondità radicale minima effettiva di 0.20 m per tutte le colture indicate in Tabella 3. Una profondità radicale massima di 0.65 m è stata assunta per la simulazione della vegetazione erbosa e delle colture in Tabella 3, in accordo con i risultati dei rilievi in campo condotti da Mastrocicco et al. (2010) nella Valle del Mezzano. Per l'apparato radicale dell'olmo siberiano è stata ipotizzata una profondità di 0.70 m, in accordo con gli studi di Dulamsuren et al. (2009) e Gang et al. (2011) su tale specie. In tutte le simulazioni si è assunta una distribuzione uniforme delle radici con la profondità.

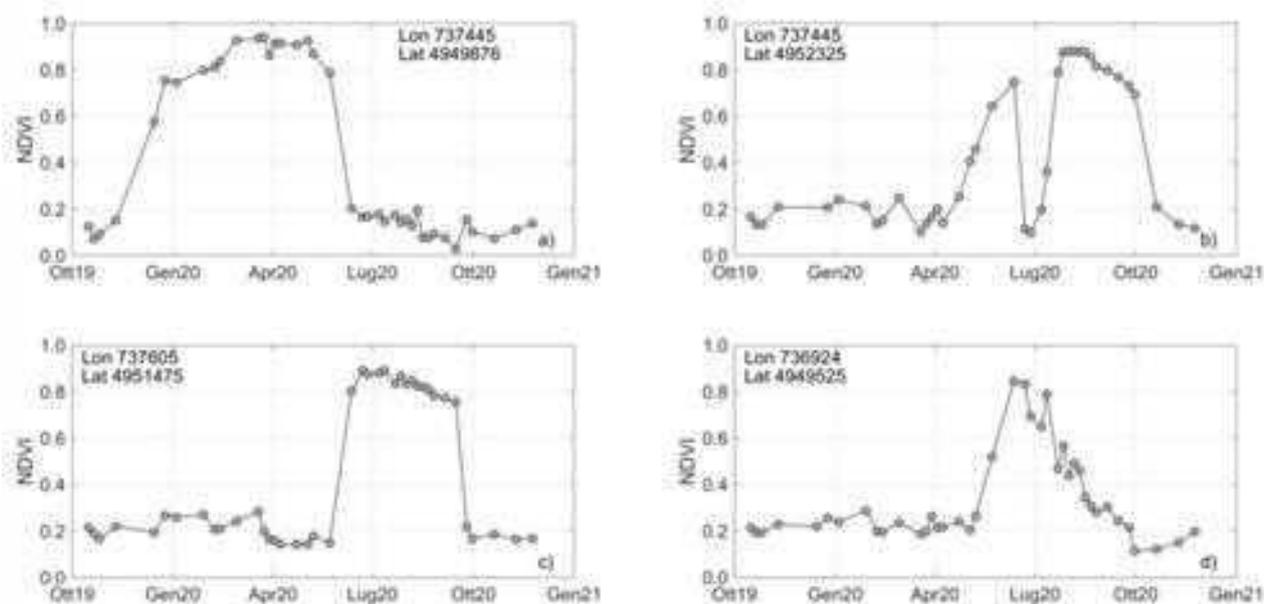


Grafico 2: Evoluzione temporale dell'indice NDVI stimata in alcune parcelle dell'area di studio utilizzando i dati Sentinel-2: a) cereale invernale, b) leguminosa primaverile seguita da una coltura estiva, c) e d) colture estive. Longitudine e latitudine sono espresse in coordinate UTM-WGS84 Zona 32N.



Figura 4: Campi all'interno dell'area di studio (rettangolo di colore bianco).

	Primo raccolto	Secondo raccolto
Campo 1	Loglio da seme (05/02/2020 – 14/06/2020)	Soia (07/07/2020 – 24/10/2020)
Campo 2	Mais da granella (24/03/2020 – 31/08/2020)	
Campo 3	Loglio da seme (05/02/2020 – 14/06/2020)	Soia (07/07/2020 – 24/10/2020)
Campo 4	Loglio da seme (05/02/2020 – 14/06/2020)	Soia (07/07/2020 – 24/10/2020)
Campo 5*	Fagiolo da industria (23/05/2020 – 10/09/2020)	
Campo 6*	Pisello da industria (25/03/2020 – 12/06/2020)	Sorgo da granella (22/06/2020 – 17/10/2020)
Campo 7*	Pomodoro da industria (15/05/2020 – 26/08/2020)	
Campo 8*	Pisello da industria (25/03/2020 – 12/06/2020)	Sorgo da granella (22/06/2020 – 17/10/2020)
Campo 9*	Pisello da industria (15/03/2020 – 02/06/2020)	Soia (16/06/2020 – 16/09/2020)
Campo 10	Patata (08/03/2020 – 13/07/2020)	
Campo 11*	Fagiolino da industria (01/04/2020 – 25/06/2020)	
Campo 12	Sorgo da granella (22/04/2020 – 15/09/2020)	
Campo 13	Sorgo da granella (22/04/2020 – 15/09/2020)	
Campo 14*	Mais da granella (25/03/2020 – 06/09/2020)	
Campo 15*	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	
Campo 16	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	
Campo 17	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	
Campo 18	Mais da foraggio (25/03/2020 – 07/08/2020)	
Campo 19	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	
Campo 20	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	
Campo 21	Orzo (01/12/2019 – 14/06/2020)	Soia (01/07/2020 – 13/10/2020)
Campo 22	Girasole (09/04/2020 – 02/09/2020)	
Campo 23	Grano (22/10/2019 – 17/06/2020)	

Tabella 3: Colture identificate nel 2020 nei campi dell'area di studio e relative date di semina e raccolta stimate dall'evoluzione dell'indice NDVI. *Campi coltivati con grano a partire dal 25/10/2020.

2.3 Livello e conducibilità elettrica delle acque di falda nel Mezzano

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di una falda freatica poco profonda, il cui livello è mantenuto pressoché costante, a circa 0,85 m dal piano campagna, da un sistema di drenaggio dei campi, costituito da tubi sotterranei forati e scoline, e dall'impianto idrovoro di Valle Lepri che solleva e avvia al mare le acque del bacino Nord-Ovest del Mezzano. Il Grafico 3 mostra la profondità della falda dal piano campagna, misurata tra il 20 Gennaio 2017 e il 30 Settembre 2022 in corrispondenza del piezometro 18FE, appartenente alla rete regionale di monitoraggio del livello della falda ipodermica gestita dal Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo (CER).

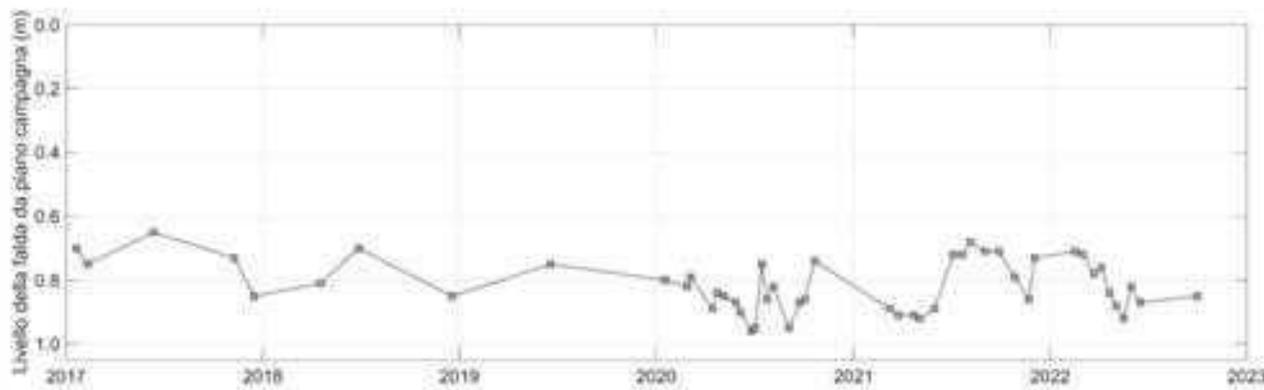


Grafico 3: Profondità della falda dal piano campagna misurata nel piezometro 18FE della rete FaldaNET-ER fra gennaio 2017 e settembre 2022.

Rilievi della conducibilità elettrica dell'acqua di falda nella Valle del Mezzano sono stati condotti dal Consorzio CER nell'ambito del progetto GESTFALDA. Le misurazioni, eseguite in un piezometro lungo 2 m, installato il 6 luglio 2021, in prossimità dell'area di studio, hanno evidenziato come le acque di falda siano caratterizzate da una marcata stratificazione verticale della salinità, con uno strato di acqua salmastra nella parte più superficiale dell'acquifero, o una sottile lente di acqua dolce durante i periodi più umidi, e condizioni ipersaline in profondità, strettamente legate all'evoluzione paleoambientale olocenica dell'area di studio.



Figura 5: A sinistra: lettura con freatimetro del livello di falda nel nuovo piezometro posato in corrispondenza dell'area di studio. A destra: canali irrigui e di scolo limite centro-settentrionale dell'area di studio (in bianco) e punti di rilievo acque e suolo. M1 corrisponde all'ubicazione del piezometro posato a luglio 2021. In verde, Carta dei suoli regionale 1:50000 ed. 2021 e relative sigle delle Unità cartografiche.

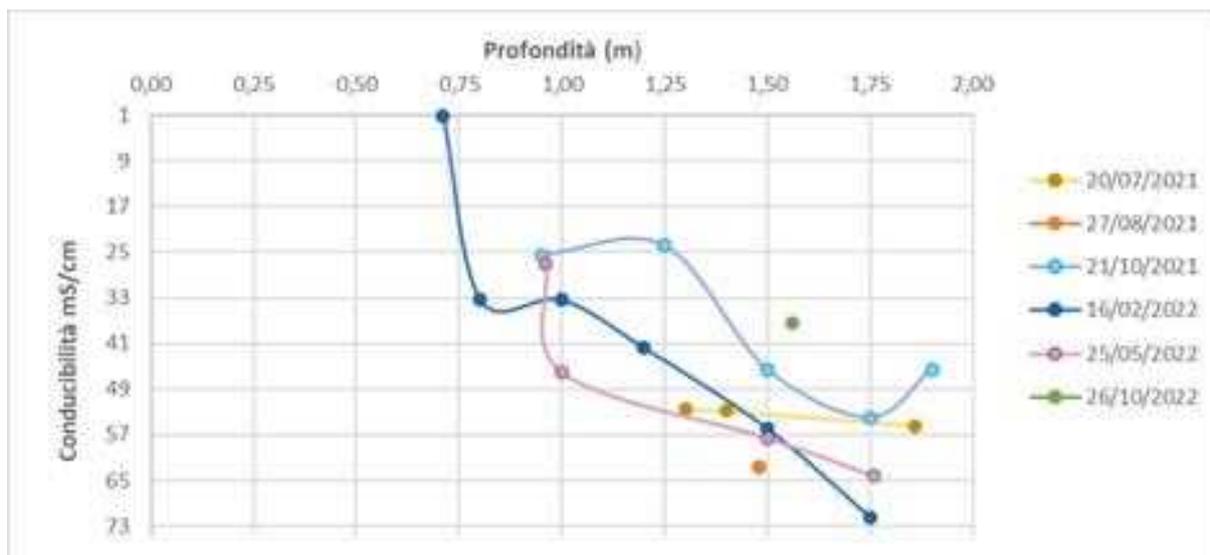


Grafico 4: Variazione della conducibilità delle acque di falda superficiale all'interno del piezometro M1, verificata nel corso di sei date di rilievo.

Nonostante il periodo sfavorevole, a causa dell'estrema siccità verificatasi a partire dall'inverno 2021, il Grafico 1 mostra come, almeno nel corso della lettura del 16/02/2022, si fosse formata una sottile lente di acqua dolce a circa 70 cm di profondità. A profondità superiori al metro (quindi oltre il livello dei drenaggi e del franco di coltivazione mantenuto dalle idrovore), la salinità si allinea a valori di poco inferiori a quelli dell'acqua di mare, giungendo a condizioni soprassature sopra il metro e mezzo di profondità. Di conseguenza, al fine di esaminare gli effetti delle acque salmastre sotterranee sullo sviluppo delle colture e valutare la dinamica dei sali nella zona insatura, nelle simulazioni con il modello AquaCrop per la conducibilità elettrica delle acque di falda più superficiali è stato assunto un valore di 10 dS/m, in linea con il valore rilevato da Cremonini et al. (2008).



Figura 5: prelievo di campioni di acqua dal Collettore Mezzano tramite Bailer (a sinistra) e misurazione della conducibilità elettrica tramite freatimetro in un canale di scolo (a destra).

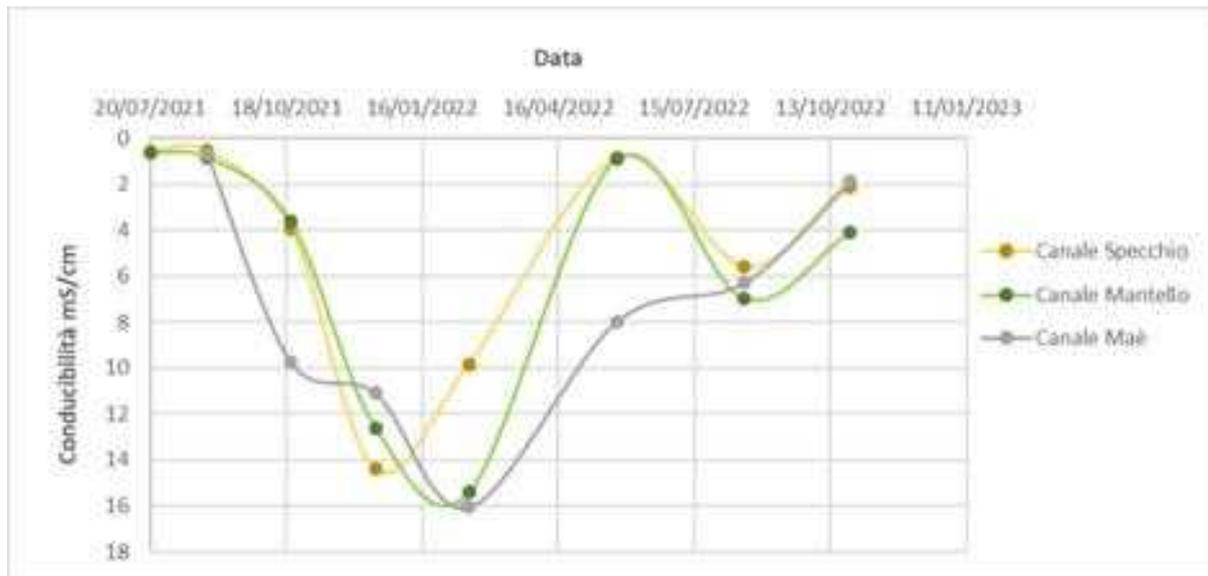


Grafico 5: Variazioni di salinità nei tre canali irrigui monitorati nel corso di due anni di rilievo.

Oltre ai canali irrigui principali, sono stati effettuati rilievi di conducibilità anche nella rete promiscua minore da essi alimentata, fino al collettore finale per l'allontanamento delle acque, posto a nord (Collettore Mezzano). I punti di campionamento vanno da nord a sud e sono sempre illustrati nella mappa a destra di Figura 5: da M7 a M10. A causa di problemi di accessibilità, la conducibilità sul Collettore Mezzano è stata invece misurata qualche chilometro più ad ovest, sul ponte della strada che giunge ad Ostellato (punto M6).

Sulla base dei dati raccolti, è stato osservato un gradiente di aumento di salinità, particolarmente evidente nel cuore della stagione irrigua, a partire dal canale irriguo fino al collettore finale, legato al passaggio delle acque nella rete promiscua minore ed all'interazione con il suolo e le acque di falda saline sottostanti. Ne è un esempio, per l'anno 2021, la successiva Figura 6:

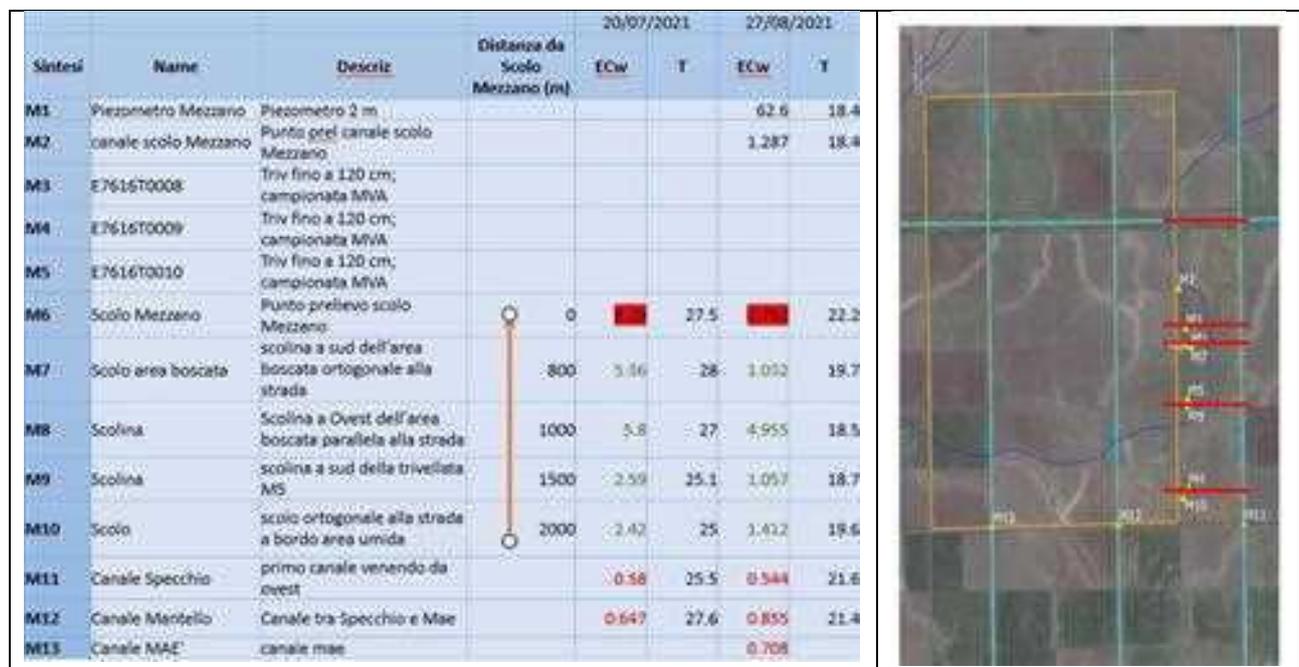


Figura 6: A sinistra, foglio di lavoro contenente i valori di conducibilità e temperatura relativi ad alcune date di rilievo nella rete di canali adiacente all'area di studio e le corrispondenti distanze rispetto al collettore finale (Mezzano); a destra, mappa con ubicazione dei tratti di scolina ad uso promiscuo e dei corrispondenti punti di prelievo.

Il 20 luglio 2021, si è andati da valori inferiori ad 1 mS/cm nei canali Specchio e Mantello, fino ad oltre 8 mS/cm nel collettore, passando per valori intermedi da 2 a 5 mS/cm. Non sempre il gradiente è rispettato, anche perché basta un certo periodo in cui il reticolo minore non sia alimentato, per far prevalere l'influsso della sottostante falda salina e incrementare i valori di conducibilità a livelli anche superiori di quelli del Collettore.

2.4 Caratteristiche dei suoli dell'area di studio

La Carta dei suoli regionale 1:50000 ed. 2021 indica la presenza di due sole delimitazioni pedologiche nell'area di studio (Figura 6, a destra), caratterizzate dai seguenti suoli principali: *suoli VALLE MEZZANO, a materiale organico umificato (VME1)*, nella parte centro-settentrionale del sito; *suoli CANALE SPECCHIO, a materiale organico umificato (CSP1)* nella restante porzione. Tali suoli, come denota anche la specifica del nome, sono caratterizzati da orizzonti superficiali con elevate percentuali di sostanza organica, che diviene spesso prevalente rispetto alla frazione minerale.

Nell'ambito del Piano, sono state effettuate a luglio 2021 tre trivellate di controllo per verificare la congruenza con quanto espresso nella Carta dei suoli. In Figura 6, mappa a destra, la loro ubicazione è indicata con M3, M4 ed M5, mentre la corrispondente codifica nel Db pedologico regionale è E7616T0008, E7616T0009 e E7616T0010. Le caratteristiche rilevate fino alla profondità d'indagine, attorno ai 120 cm, sono simili a quelle previste per i suoli sopra citati: orizzonti superficiali scuri e con molta sostanza organica nei primi 40-70 cm, sovrastanti l'antico fondale lagunare, grigio-azzurro, a tessitura franca limosa o franca argillosa limosa. Si osserva, inoltre, una completa decarbonatazione, con pH debolmente alcalini o neutri in superficie, via via più acidi in profondità. La trivellata E7616T0008, con orizzonti organici superficiali dello spessore di 70 cm, è stata attribuita alla tipologia di suolo VME1, mentre E7616T0009 ed E7616T0010, con orizzonti organici superficiali meno spessi, sono stati attribuiti alla tipologia di suolo CSP1.



Figura 7: (a sinistra) trivellata M3 (sigla archivio pedologico regionale E7616T0008), con la caratteristica sequenza di orizzonti superficiali più scuri e organici ed il fondale lagunare grigio-azzurro; (a destra) tipico aspetto superficiale del suolo: scuro, polveroso se secco, con frammenti di conchiglie e fessurazioni.

Si è quindi constatata una buona concordanza con quanto indicato in cartografia e conseguentemente si è accettata la documentazione pedologica ricevuta come rappresentativa dell'area e pertanto implementabile nel modello.

Di conseguenza, nella successiva Tabella 6, è stata associata una tessitura franca sabbiosa agli orizzonti superficiali organici dei suoli della delineazione VME1 e franca per quelli della delineazione CSP1. Tali tessiture sono state ottenute considerando il valore mediano dei contenuti % di sabbia e argilla determinati in laboratorio, relativi all'insieme di campioni di suolo disponibili per ciascuna delle due delineazioni. I profili verticali di suolo sono stati poi estesi fino ad una profondità di 1.10 m attraverso le informazioni disponibili per il profilo di riferimento di ciascuna delineazione, indicato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna come rappresentativo dei suoli locali.

Per quanto riguarda la salinità, come condizione iniziale per le simulazioni con il modello AquaCrop è stato assunto un gradiente verticale regolare all'interno di ciascuno dei due profili di suolo, specificando per i diversi orizzonti il valore della conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura (EC_e), come indicato in Tabella 6. I valori di EC_e sono stati desunti dalla *Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm - 2a approssimazione*, elaborata dall'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia-Romagna, applicando un approccio geostatistico ai campioni disponibili (Staffilani et al., 2015). Sulla base di tali mappe regionali, l'area di studio è caratterizzata da un suolo superficiale (0 – 0.5 m) da debolmente a moderatamente salino, con EC_e compreso tra 4.2 e 13.6 dS/m, mentre il sottosuolo (0.5 – 1.0 m) risulta da moderatamente a fortemente salino con valori di EC_e compresi tra 13.4 e 42.9 dS/m. Le condizioni di salinità indicate in Tabella 6 sono inoltre coerenti con le stime di Natali et al. (2021) relative a cinque profili di suolo rilevati nel luglio 2018 nell'area immediatamente adiacente, compresa tra i canali secondari Mantello e Specchio.

La verifica in campo di queste condizioni, imposte al modello, è stata affidata ai rilievi con strumento Field Scout, sondando la conducibilità elettrica del suolo a profondità da 10 a 70 cm, in diversi periodi e sempre in corrispondenza dei punti, nei quali erano già state effettuate le trivellate, al fine di avere un risultato confrontabile nel tempo.

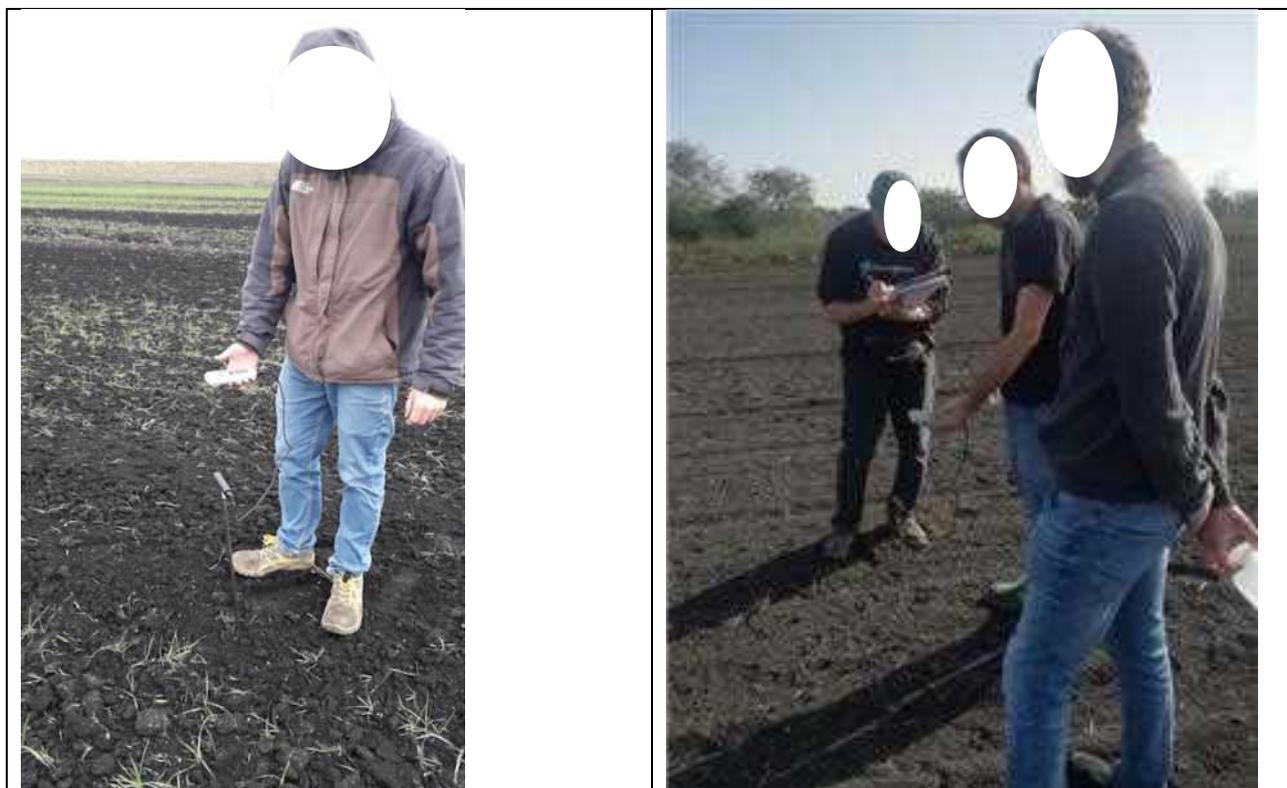


Figura 7: Misure della conducibilità elettrica nel terreno tramite Field Scout in diversi periodi: inverno (a sinistra) ed estate (a destra).

Di seguito è presentato il quadro completo dei rilievi effettuati (Tabella 6). Le medie, effettuate su tutti i rilievi alla profondità 0 – 50 cm, oscillano fra un minimo di 0,52 mS/cm ad un massimo di 14,56 mS/cm.

Id Trivellata	profondità [cm]	Conducibilità [mS/cm]				
		21/10/2021	16/02/2022	25/05/2022	17/08/2022	26/10/2022
E7616T0008	10	2,7	2,65	18,92	0,761	0,063
E7616T0008	20	3,22	5,35	9,7	0,824	2,16
E7616T0008	30	3,59	6,93	12,72	2,73	1,56
E7616T0008	40	8,07	8,38	11,45	1,8	2,14
E7616T0008	50	13,1	8,73	20	10,25	5,9
E7616T0008	60	13,3	13,41	20	12,35	20
E7616T0008	70	19,3	15,2	20	17,49	20
Media 0-50 cm		6,14	6,41	14,56	3,27	2,36
E7616T0009	10	3,12	1,806	2,5	0,228	0,147
E7616T0009	20	5,17	5,52	4,97	0,483	0,126
E7616T0009	30	8,49	10,57	5,62	0,311	0,628
E7616T0009	40	9,75	14,49	7,2	0,624	6,98
E7616T0009	50	13,76	18,38	8,95	0,937	20
E7616T0009	60	13,19	20	11,11	14,26	20
E7616T0009	70	18,01	20	15,05	13,43	20
Media 0-50 cm		8,06	10,15	5,85	0,52	5,58
E7616T0010	10	5,74	5,08	5,97	0,119	0,082
E7616T0010	20	10,06	5,02	5,45	4,71	0,078
E7616T0010	30	12,03	9,8	6,36	3,95	0,064
E7616T0010	40	12,71	11,56	8,44	5,95	1,8
E7616T0010	50	13,41	11,63	13,3	0,621	14,5
E7616T0010	60	14,98	17,82	14,52	18,312	20
E7616T0010	70	20	20	20	20	20
Media 0-50 cm		10,79	8,62	7,90	3,07	3,30

Tabella 4: Quadro riassuntivo di tutti i valori misurati tramite Field Scout nell'area di monitoraggio del Mezzano. Il valore "20" rappresenta il fondo scala dello strumento.

Tenendo conto del fatto che i dati rilevati in campo tramite Field Scout necessitano comunque di un fattore di correzione, in quanto raramente ci si trova di fronte a suoli completamente saturi, si può affermare che i valori riscontrati fra l'autunno 2021 e la primavera 2022 (fra 6,14 e 14,56 mS/cm), collimino in maniera accettabile con quelli previsti dalla sopra citata Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0-50 cm - 2a approssimazione (ossia tra 4.2 e 13.6 dS/m¹). I valori estivo-autunnali 2022 (rilievi del 17/08/22 e 26/10/22) risultano invece decisamente inferiori, come è meglio percepibile, osservando il successivo Grafico 6. In esso, sono posti a confronto i valori di salinità, misurati fino a 70 cm di profondità, nei tre punti E7616T0008, E7616T0009 e E7616T0010, a febbraio e ad ottobre 2022. Si osserva come, fino a circa 40 cm dal piano campagna, la conducibilità elettrica sia decisamente minore ad ottobre, allineandosi più in profondità con quella riscontrata a febbraio. La causa può essere ricondotta sia alle intense precipitazioni cadute tra inizio agosto e fine settembre (oltre 120 mm), sia ai volumi di acque a ridotta salinità apportate per subirrigazione e prelevate dagli adiacenti canali gestiti dal Consorzio di bonifica Pianura di Ferrara.

¹ Le unità di misura dS/m e mS/cm sono corrispondenti.

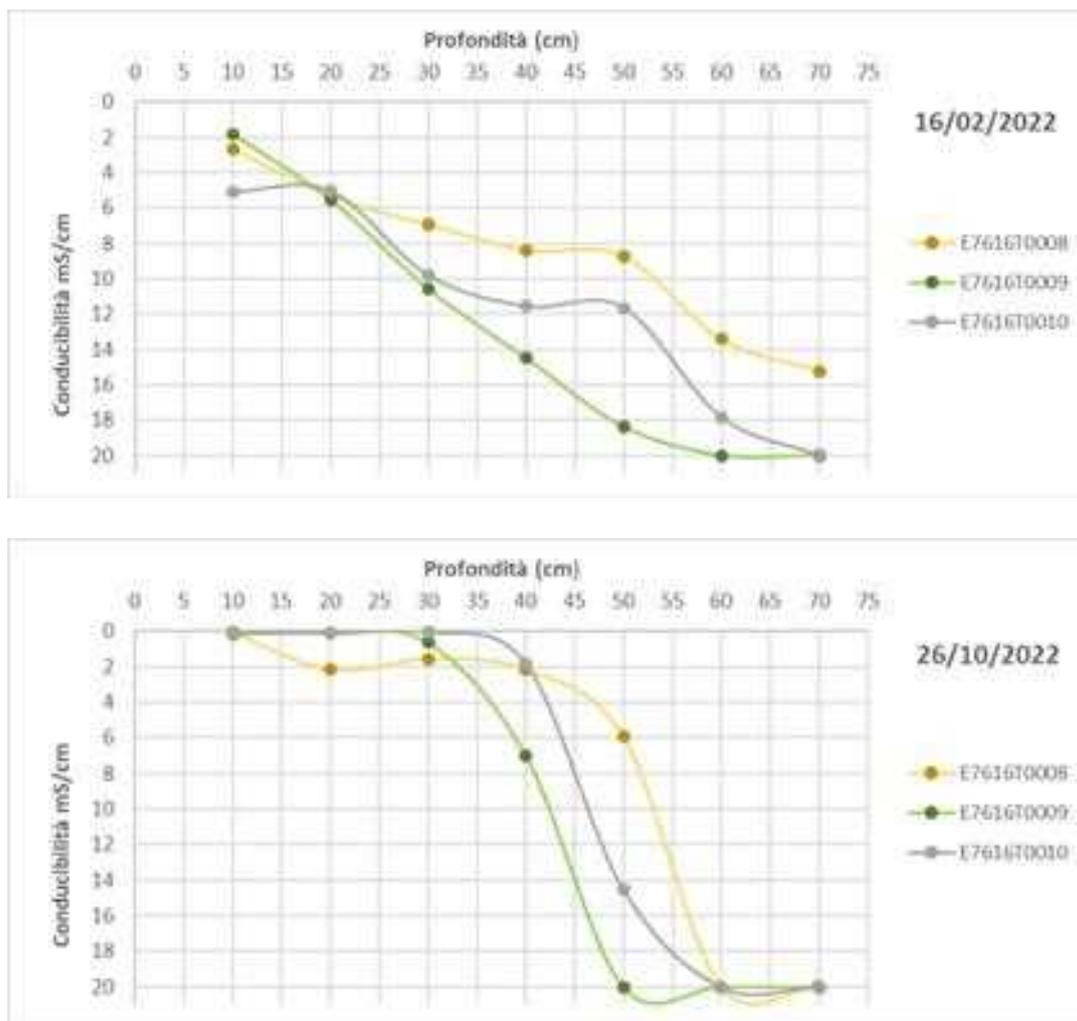


Grafico 6: Andamento della conducibilità elettrica in profondità nei tre punti monitorati E7616T0008, T0009 e T0010, in due periodi differenti: 26 febbraio 2022 (in alto) e 26 ottobre 2022 (in basso).

2.5 Simulazioni col modello AquaCrop

Per quanto riguarda il modello Aquacrop, nella tabella seguente sono riportate le proprietà idrauliche del suolo utilizzate nelle simulazioni, ovvero il contenuto volumetrico di acqua al punto di avvizzimento permanente (θ_{PWP}), alla capacità di campo (θ_{FC}) e alla saturazione (θ_{SAT}). Esse sono state determinate mediante il software Soil Water Characteristics (Saxton e Rawls, 2006), sulla base dei valori stimati per tessitura del suolo, compattazione, contenuto di sostanza organica e salinità. Poiché il modello AquaCrop fissa un valore massimo del 60%vol per θ_{SAT} , tale valore è stato adottato nel presente studio anche per tutte le stime eccedenti tale soglia. Per la conducibilità idraulica in condizioni di saturazione (K_s) del suolo sono stati utilizzati i valori indicativi di riferimento riportati in AquaCrop per le diverse classi tessiturali. La tabella seguente presenta i valori stimati per le proprietà idrauliche del suolo utilizzati nelle simulazioni. Il profilo corrispondente alla delimitazione VME1 è stato configurato tenendo conto del numero massimo di cinque orizzonti fissato in AquaCrop per la caratterizzazione delle proprietà del suolo.

Il valore del parametro CN (Curve Number), stimato sulla base della classe tessiturale del suolo, è stato ridotto del 5% per tenere conto dell'effetto delle lavorazioni del terreno sulla permeabilità del suolo e sul tasso di infiltrazione dell'acqua.

La data di inizio delle simulazioni è stata fissata al 15 Agosto 2019, ipotizzando che il contenuto di acqua in ciascuno dei due profili di suolo (VME1 e CSP1) fosse al punto di avvizzimento permanente, condizione ragionevole per l'area di studio verso la fine della stagione estiva (Agosto 2019, stagione secca). La simulazione di un periodo più lungo di almeno due mesi rispetto alla data effettiva di semina consente di ridurre

l'effetto delle condizioni iniziali sui risultati delle simulazioni una volta iniziata la fase rilevante di sviluppo.

Profondità (m)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Classe tessiturale	Contenuto di sostanza organica (%)	EC _e (ds/m)	Compattazione	θ_{PWP} (%vol)	θ_{FC} (%vol)	θ_{SAT} (%vol)	K_s (m/day)
<i>Delineazione VMEI</i>											
0.00–0.30	62	21	17	SaL	> 8	2	Sciolto (0.90)	16.9	30.4	60.0	1.200
0.30–0.50	62	21	17	SaL	> 8	4	Normale (1.00)	17.4	29.6	57.2	1.200
0.50–0.68	78	16	6	LSa	> 8	8	Normale (1.00)	14.8	22.0	60.0	2.200
0.68–0.75	11	36	53	C	6	12	Denso (1.15)	32.1	40.3	48.2	0.035
0.75–1.10	80	3	17	SaL	> 8	13	Normale (1.00)	20.6	26.4	53.3	1.200
<i>Delineazione CSP1</i>											
0.00–0.30	43	37	20	L	> 8	2	Sciolto (0.90)	17.8	34.6	60.0	0.500
0.30–0.50	43	37	20	L	> 8	4	Normale (1.00)	18.4	33.8	60.0	0.500
0.50–0.70	17	46	37	SiCL	> 8	8	Denso (1.15)	25.6	38.5	53.9	0.150
0.70–1.10	19	67	14	SiL	> 8	13	Normale (1.00)	24.0	37.3	60.0	0.575

Tabella 5: Caratteristiche dei suoli considerate nelle simulazioni con il modello AquaCrop. Classe tessiturale: SaL = sandy loam (franco sabbioso); LSa = loamy sand (sabbioso franco); C = clay (argilloso); L = loam (franco); SiCL = silty clay loam (franco limoso argilloso); SiL = silty loam (franco limoso).

2.6 Fabbisogno irriguo delle colture coltivate nell'area di studio

Interventi irrigui adeguati a soddisfare le esigenze idriche delle colture durante il periodo di interesse, dal 15 Agosto 2019 al 31 Dicembre 2020, sono stati determinati utilizzando l'opzione di generazione di consigli irrigui ("Generate irrigation schedule") implementata nel modello AquaCrop. Per le simulazioni è stato selezionato il sistema di irrigazione a pioggia ("sprinkler irrigation"), con il 100% della superficie di terreno bagnata, essendo il metodo più diffuso in Emilia-Romagna per l'irrigazione delle colture indicate in Tabella 1. Tempistiche e quantitativi degli interventi irrigui sono stati pianificati fissando al 70% il livello massimo consentito di esaurimento dell'acqua del suolo prontamente disponibile nella zona delle radici ("readily available water", RAW) e considerando la quantità di acqua da apportare al profilo di suolo per riportarlo alla capacità di campo, evitando condizioni sia di deficit irriguo che di lisciviazione. Gli interventi irrigui sono stati interrotti al sopraggiungere della senescenza delle piante.

Le misurazioni eseguite dal Consorzio CER nell'ambito del progetto GESTFALDA sui canali Maè, Mantello e Specchio durante la stagione primaverile-estiva hanno evidenziato una buona qualità dell'acqua immessa a scopo irriguo, con un valore medio della conducibilità elettrica di 0.7 dS/m.

A partire dal mese di ottobre, la rete di canali ritorna a svolgere la sua funzione primaria di drenaggio per garantire la sicurezza idraulica dell'area e corrispondentemente la qualità dell'acqua nei canali di bonifica inizia rapidamente a degradare. Tale situazione è bene rappresentata nel successivo Grafico 6, che riporta le oscillazioni di conducibilità elettrica nelle acque dei tre canali irrigui presenti nell'area di studio, nel corso di circa un anno e mezzo di rilievi. Fra il 2021 ed il 2022 (periodo dicembre – febbraio) si raggiungono i valori più bassi, oscillanti fra i 14 ed i 16 mS/cm, rapidamente poi recuperati all'immissione delle acque da parte del Consorzio di bonifica (valori inferiori ad 1 mS/cm, con l'eccezione del Maè, il quale ha talvolta presentato valori discordanti rispetto a quelli degli altri due canali).

2.7 Effetto della gestione delle acque del laghetto da caccia presso Agrisfera sulla salinità della falda ipodermica

Al fine di comprendere con maggior dettaglio l'effetto della gestione delle acque superficiali presente nei corpi idrici a gestione consortile e/o dell'azienda agricola, in termini sia qualitativi che quantitativi, riportiamo nel presente paragrafo i risultati del monitoraggio eseguito presso Agrisfera, relativamente ad alcuni specifici siti

dell'area di studio. La trattazione è riportata in questa azione essendo catalogabile più specificatamente nello studio delle dinamiche idrologiche ed idrogeologiche, tema approfondito appunto nella presente esposizione.

Le aree umide, i maceri, i laghetti, i giochi caccia, i chiari e più in grande le casse d'espansione, le vasche di accumulo, le aree di fitodepurazione svolgono delle funzioni ambientali non sempre ben chiare e quantificabili per carenza di conoscenza delle dinamiche idrogeologiche che si innescano nei territori ove sono presenti. Con maggior conoscenze delle dinamiche idrauliche, idrogeologiche, idrogeochimiche e agro-idrologiche tali corpi idrici superficiali potrebbero essere considerati dei veri e propri sistemi di ricarica artificiale della falda (MAR) e miglioramento delle qualità della stessa a servizio dei territori. Per comprendere in dettaglio certe dinamiche e data la grande variabilità delle molte casistiche di condizioni operative e ambientali nelle quali tali processi si esplicano non si può prescindere dallo studio a meso-scala per poi cercare di passare ad una fase di upscaling che consenta di estendere i risultati e la comprensione delle dinamiche a casistiche simili o riconducibili ai casi di studio. A tal fine riportiamo i risultati dell'analisi dei dati rilevati nella stagione 2021-2022 presso un chiaro da caccia in gestione ad Agrisfera ricadente nell'area del progetto. Per una precisa localizzazione si rimanda alla Figura 8.



Figura 8: localizzazione a varie scale dei punti di rilievo presenti in agrisfera per lo studio del chiaro in zona limitrofa alla foce del Reno

Il punto A10 rappresenta il sito di rilievo della salinità dell'acqua nel fiume Reno, il punto A8 rappresenta la localizzazione del piezometro con profondità fino a 3 metri e fenestratura da 0,5 m piano campagna localizzato a circa 50 metri dal chiaro A13. Il Punto A13 rappresenta la localizzazione del chiaro per il monitoraggio della conducibilità elettrica della stessa.

Per quanto riguarda la gestione delle acque all'interno del chiaro, l'azienda agricola, attraverso un sistema intubato di adduzione proveniente dall'impianto pluvio-irriguo "Le Mandriole" del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, alimenta saltuariamente il chiaro in questione a partire dal mese di settembre per circa 2 mesi con il fine di creare e mantenere un'area umidità con un tirante costante che nel punto più alto ha una altezza di circa 40 centimetri. Tale attività viene realizzata per scopi prettamente ambientali e ricreativi, essendo la zona soggetta all'insediamento di avi-fauna migratoria. L'acqua del chiaro ha manifestato livelli di conducibilità elettrica di 0,8 mS/cm circa essendo la stessa fonte che alimenta il reticolo in pressione della rete irrigua del pivot utilizzando nella sperimentazione dell'azione 3.3. La stessa acqua proveniente dalla

derivazione in destra idraulica del Reno presso la Traversa mobile di Voltascirocco i cui valori sono di circa 0,6 mS/cm. Il lieve incremento potrebbe essere connesso a evidenti fenomeni di concentrazione associati ai processi di evaporazione da specchio liquido.

Nella Figura 9 sottostante riportiamo l'andamento del profilo di conducibilità elettrica monitorata durante il progetto nel piezometro A8.

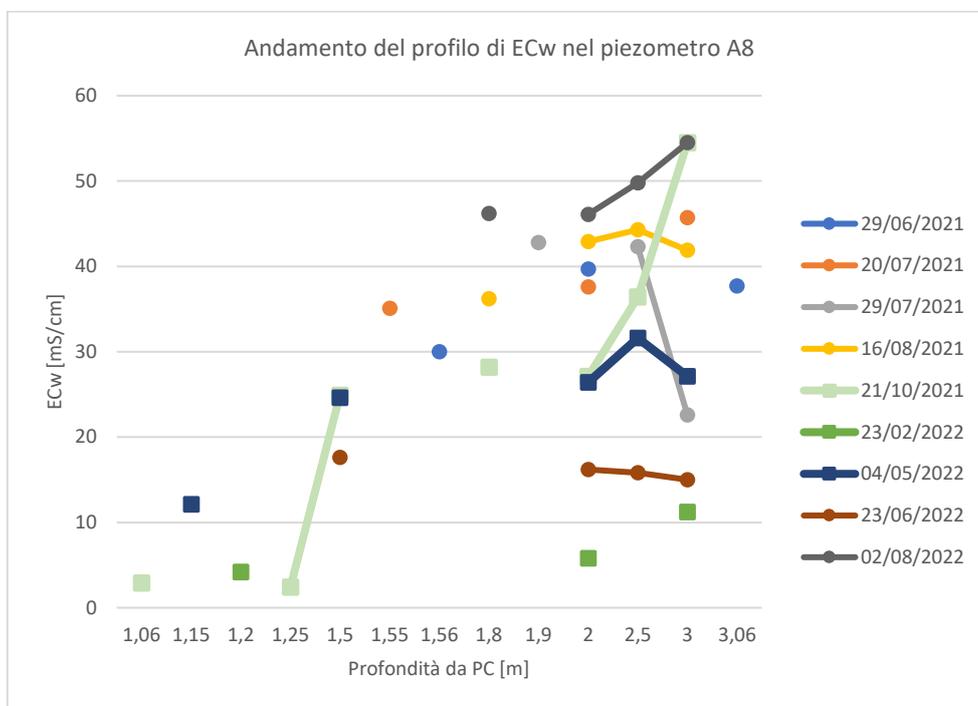


Figura 9: andamento del profilo di EC per il piezometro oggetto di monitoraggio

L'intrusione salina nelle acque superficiali alla foce del Reno è ampiamente studiata e monitorata. I valori rilevati di EC nel sito A10 hanno evidenziato valori di 40-45 mS/cm per il periodo estivo, quindi confrontabili con acqua marina, e valori di 20-23 mS/cm nel periodo invernale. E' ben noto come la traversa mobile di volta scirocco svolga un'importante funzione di contrasto all'ingressione salina alla foce del Reno. L'ingressione salina, comunque, nelle acque superficiali del Reno e dei canali di bonifica che direttamente scaricano in mare, come lo Scolo "Busona" nell'area di studio, genera forti pressioni ambientali sia perché questo reticolo promiscuo di bonifica svolge la funzione di adduzione di acqua a scopo irriguo sia perché tali acque superficiali si infiltrano nei terreni favorendo la salinizzazione della falda superficiali più a contatto con le radici delle colture. I consorzi o gli agricoltori devono monitorare frequentemente la salinità delle acque superficiali, ove è presente il rischio di intrusione salina nelle acque superficiali, e sospendere l'uso di tali acque a scopo irriguo quando la salinità della stessa supera i livelli di tolleranza delle piante. Ciò prevede che i consorzi di bonifica abbiano già attivato e realizzato sistemi di adduzione di acqua agli agricoltori di buona qualità alternativi al fine di evitare danni alle colture; per fare ciò, quindi, è necessario pianificazione ed investimenti, oltre che gestione tempestiva. La presenza di sali nella soluzione circolante del suolo può generare ingenti danni alle colture o comunque danneggiare le produzioni e quindi ridurre le rese rispetto ai valori attesi. Ciò spesso fa parte del sapere locale ove i tecnici hanno sempre avuto cognizione di particolari terreni con scarsa produzione. Nella Figura precedente abbiamo riportato i profili di EC misurati durante gli anni di monitoraggio. Il piezometro si trova a circa 50 metri dal chiaro A13. Come si può notare, a partire dal mese di settembre in cui avviene il riempimento con acqua di buona qualità, si nota un innalzamento del livello della falda di 60-70 cm (fino 0.9-1 m da pc) e una riduzione della EC fino ad arrivare a valori di 2 mS/cm. Tale processo è innescato sia dalle piogge autunnali, invernali e primaverili, e sia, in particolare, dal rilascio di acqua di buona qualità dal chiaro verso la falda ipodermica. Al contrario, a partire dell'inizio della stagione irrigua si assiste ad un abbassamento della falda e ad una sua salinizzazione fino ad arrivare velocemente a valori di 15-20 mS/cm a profondità di 1,5-1,6 metri da pc. La gestione ottimizzata dei livelli di acqua nei chiari costieri potrebbe

migliorare le produzioni agricole perché è bene noto come soprattutto per colture non irrigue un incremento del livello della falda di 50 cm potrebbe arrivare a soddisfare il 40% del fabbisogno idrico delle stesse incrementandone quindi le rese. Per ogni chiaro/area umida/macero si può ipotizzare un'area di influenza che potrebbe essere definita come fascia di pertinenza idrogeologica la cui estensione e la cui dinamica non è sempre facilmente valutabile perché connessa a molte variabili. Da precedenti studi, comunque, si può affermare che per corpi idrici superficiali di modeste dimensioni come quello in questione tale buffer non si estende oltre i 200 metri. In tali condizioni soprattutto in zone costiere la gestione dei livelli nelle marcite/chiasi, potrebbe aumentare le rese delle colture nelle zone adiacenti oltre a generare un certo beneficio ambientale e sociale migliorando il contesto paesaggistico delle zone in questione. Ovviamente la presenza di più corpi idrici superficiali tipo laghetti da caccia, area umide o altro può avere un effetto moltiplicativo benefico sull'ambiente e sulle colture che necessita di approfonditi studi di dettaglio. I benefici che si esplicano anche dal punto di vista paesaggistico e sociale essendo zone soggette a presenze turistiche nel periodo estivo. È da notare comunque che è sempre necessario una attenta valutazione delle dinamiche idrogeologiche e agro-idrologiche. Infatti, è bene noto come in taluni casi in presenza di suoli di medio impasto - argillosi, l'innalzamento della falda ipodermica anche se di qualità buona (es. 1-2 mS/cm), può comunque innescare processi di salinizzazione dei suoli per flusso insaturo creando problemi alle colture, quindi è sempre necessario considerare le dinamiche e soprattutto lo spessore della lente di acqua dolce presente, superiormente rispetto all'acqua salmastra di falda. Si può comunque affermare che il riempimento durante il periodo invernale dei maceri e delle aree umide dovrebbe comunque apportare un beneficio ambientale di un certo valore, anche se ulteriori approfondimenti sito specifici sono comunque necessario.

3. IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO NUMERICO DI FLUSSO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

3.1 Modellazione numerica con il codice MODFLOW-2005

Il modello geologico costruito sulla base delle informazioni disponibili per l'area in esame è stato impiegato per la realizzazione di un modello di flusso delle acque di falda basato sul codice di calcolo MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005), che utilizza un approccio alle differenze finite per approssimare la soluzione dell'equazione alle derivate parziali che descrive il flusso delle acque sotterranee. La modellazione del flusso delle acque di falda è stata eseguita mediante la piattaforma FREEWAT (FREE and open source software tools for WATER resource management) integrata in QGIS (<http://www.freewat.eu/software-0>).

Il dominio di calcolo rappresentato in Figura 7 si estende per 1490 m in direzione Ovest-Est e 4500 m in direzione Nord-Sud ed è stato discretizzato mediante 67050 celle di dimensione 10 × 10 m. All'interno di tale area rettangolare il dominio attivo comprende 38999 celle. I confini del dominio attivo coincidono a Nord con il Collettore Mezzano, a Sud con la canaletta Mantello2, a Ovest con il canale Maè e ad Est con il canale Mantello.

Il modello è stato implementato per simulare il flusso delle acque di falda durante la stagione irrigua, dal 1° marzo 2020 al 30 settembre 2020. La simulazione è costituita da un primo stress period della durata di 1 giorno, utilizzato per calibrare il modello in condizioni stazionarie, e 7 stress periods successivi, ciascuno della durata di 1 mese, relativi a condizioni in regime transitorio per tenere conto delle variazioni della ricarica delle acque sotterranee durante la stagione irrigua. Lo schema della discretizzazione temporale adottata nella modellazione è presentato in Tabella 6.

Numero dello stress period	Lunghezza (giorni)	Time steps	Stato	Perturbazioni esterne
1	1	1	Stazionario	Canali
2	31 [marzo 2020]	31	Transitorio	Canali + Ricarica
3	30 [aprile 2020]	30	Transitorio	Canali + Ricarica
4	31 [maggio 2020]	31	Transitorio	Canali + Ricarica

5	30 [giugno 2020]	30	Transitorio	Canali + Ricarica
6	31 [luglio 2020]	31	Transitorio	Canali + Ricarica
7	31 [agosto 2020]	31	Transitorio	Canali + Ricarica
8	30 [settembre 2020]	30	Transitorio	Canali + Ricarica

Tabella 6: Discretizzazione temporale adottata nella modellazione.

La quota altimetrica del rilievo LIDAR è stata utilizzata come condizione iniziale per il livello piezometrico del modello in regime stazionario, mentre l'output del modello stazionario fornisce il carico idraulico iniziale del modello in regime transitorio.

La definizione delle condizioni al contorno è necessaria per garantire l'unicità della soluzione e della risposta del modello all'equazione di flusso (Rossetto e Bockelmann-Evans, 2007).

La ricarica della falda mediante infiltrazione efficace, stimata attraverso il modello AquaCrop, è stata assegnata al primo layer (U11) del modello numerico mediante il Recharge Package di MODFLOW-2005. Si tratta di una condizione del II tipo o flusso imposto, che viene espressa come un flusso di ricarica [L/T]. Tale flusso di ricarica viene poi moltiplicato internamente al codice per l'area della cella a cui è applicata questa condizione, per ottenere una portata volumetrica [L³/T].

L'influenza dei canali di bonifica sul sistema idrogeologico oggetto di studio è stata simulata mediante una condizione di flusso dipendente dal carico utilizzando il River Package di MODFLOW. Per l'implementazione del River Package sono necessari i seguenti dati:

- il livello dell'acqua nel canale rispetto al livello medio del mare;
- l'elevazione del letto del canale rispetto al livello medio del mare;
- lo spessore dei sedimenti del letto del canale;
- la conducibilità idraulica verticale del letto del canale;
- la lunghezza e la larghezza del tratto di canale intersecato dalla cella.

In FREEWAT il livello dell'acqua nel canale, l'elevazione del letto del canale e le proprietà dei sedimenti del letto devono essere assegnati dall'utente nella prima cella a monte e nell'ultima a valle del tratto di canale oggetto di studio, mentre i corrispondenti valori per le celle intermedie sono determinati mediante interpolazione lineare.

Non essendovi misurazioni disponibili del livello dell'acqua nei canali e stime della conducibilità idraulica verticale e dello spessore dei sedimenti del letto, sono stati ipotizzati:

- i valori per i tiranti idrici indicati in Tabella 7;
- una conducibilità idraulica verticale iniziale pari a 0.864 m/d;
- uno spessore del letto di 1 m per il Collettore Mezzano, la canaletta Mantello2 e i canali Maè e Mantello e 0.5 m per i canali terziari.

Le quote del fondo dei canali rispetto al livello medio del mare sono state stimate per il Collettore Mezzano, la canaletta Mantello2 e i canali secondari sulla base di sezioni trasversali fornite dal Consorzio di bonifica Pianura di Ferrara, mentre le larghezze dei canali sono state valutate analizzando le immagini disponibili in Google Earth. Uno shapefile è stato inoltre realizzato in QGIS per rappresentare la rete dei canali.

	Regime stazionario	Regime transitorio (periodo irriguo)
Collettore Mezzano	1.48 m	1.53 m
Canaletta Mantello2	0.58 m	0.80 m
Canale secondario Maè	0.58 m	0.80 m
Canale secondario Mantello	0.58 m	0.80 m
Canali terziari	0.28 m	0.50 m

Tabella 7: Tirante idrico ipotizzato per i canali di bonifica nella modellazione con FREEWAT.

Come solutore numerico è stato utilizzato il Preconditioned Conjugate Gradient (PCG) Package implementato in FREEWAT versione 1.1.1, con un numero massimo di outer iterations e di inner iterations pari a 500. È stato adottato un criterio di convergenza per la variazione del carico idraulico pari a 0.001 m. Analogamente, per il bilancio idrico residuo è stato adottato un criterio di convergenza pari a 0.001 m³/giorno. È stato inoltre fissato a 5 il numero di iterazioni entro cui tentare di risaturare una cella.

3.2 Risultati

3.2.1 Risultati del modello agro-idrologico

La Tabella 8 presenta i valori mensili stimati per la ricarica della falda (mm) per ciascun campo dell'area di studio mediante il modello AquaCrop. Tali valori sono stati ottenuti sottraendo al contributo relativo al drenaggio profondo quello della risalita capillare. Dalla tabella si osserva chiaramente come la presenza di una falda freatica poco profonda contribuisca in maniera significativa tramite la risalita capillare ai fabbisogni irrigui delle colture.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
Campo 1	16.9	1.7	5.7	5.2	1.8	4.2	-8.2	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 2	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	9.7	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 3	16.9	1.7	5.7	5.2	1.8	4.2	-8.2	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 4	16.9	1.7	5.7	5.2	1.8	4.2	-8.2	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 5	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	58.9	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 6	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	6.6	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 7	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	56.8	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 8	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	6.6	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 9	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	6.2	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 10	16.9	1.7	5.9	5.8	1.8	7.2	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Campo 11	14.0	-32.0	-26.3	-19.3	-39.0	50.1	-27.5	-4.6	-8.4	-22.1	3.5	71.4
Campo 12	14.0	-32.0	-26.3	-15.9	-28.0	34.9	-52.2	-27.0	-39.1	-10.9	0.0	-9.8
Campo 13	14.0	-32.0	-26.3	-15.9	-28.0	34.9	-52.2	-27.0	-39.1	-10.9	0.0	-9.8
Campo 14	14.0	-32.0	-26.3	-16.6	-30.1	13.1	-40.6	-21.7	-18.2	-33.0	-50.6	71.6
Campo 15	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	3.7	71.5
Campo 16	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	1.6	66.9
Campo 17	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	1.6	66.9
Campo 18	14.0	-32.0	-26.3	-16.6	-30.0	13.6	-39.3	4.3	-7.0	-8.4	0.0	-11.9
Campo 19	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	1.6	66.9
Campo 20	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	1.6	66.9
Campo 21	14.7	-25.2	-3.2	-20.7	-36.3	-15.4	-35.1	-17.3	-25.8	-57.3	1.6	66.9
Campo 22	14.0	-32.0	-26.3	-16.3	-27.7	18.5	-38.2	-20.2	-12.6	-26.9	0.0	26.2
Campo 23	23.1	-18.7	-10.9	-22.8	-49.1	-7.8	-29.5	-4.5	-8.4	-22.1	1.6	66.9
Fascia frangivento	16.9	1.7	5.7	5.8	1.8	4.2	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Fascia erbosa	17.1	1.7	5.7	5.4	1.8	4.2	-5.9	5.7	-4.8	-3.6	0.0	0.0
Fascia erbosa	14.6	-28.9	-11.3	-25.7	-46.6	-10.4	-37.6	-20.9	-27.1	-6.0	0.0	-23.0

Tabella 8: Ricarica della falda (mm) simulata con il modello aquacrop per i diversi campi dell'area di studio. I valori in tabella sono ottenuti sottraendo al contributo relativo al drenaggio profondo quello della risalita capillare.

Nell'area di studio si osserva inoltre una significativa risalita del sale per capillarità verso gli strati superiori durante la stagione colturale. La Figura 10 mostra, ad esempio, l'andamento della conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura (EC_e) a diverse profondità nel campo 21 coltivato con soia dal 01/07/2020 al 13/10/2020. La simulazione con AquaCrop indica la presenza di un forte stress salino nello sviluppo della coltura.

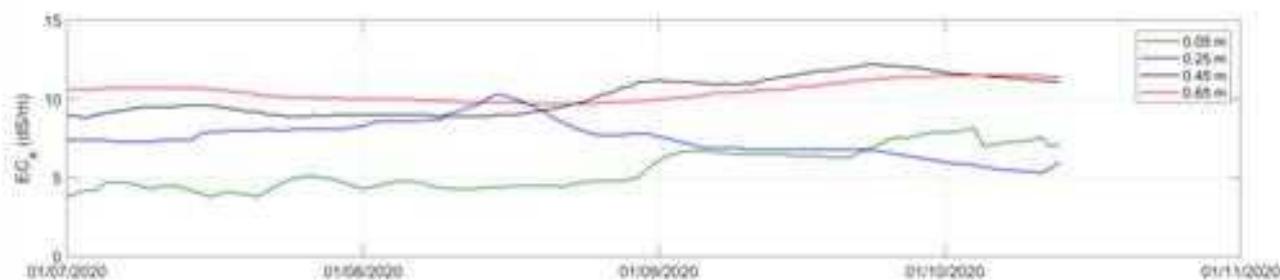


Figura 10: Andamento della conducibilità elettrica dell'estratto in pasta satura (EC_e) a profondità di 0.05, 0.25, 0.45 e 0.65 m nel campo 21 coltivato con soia dal 01/07/2020 al 13/10/2020.

3.2.2 Carico idraulico simulato

La mappa in Figura 11 riporta l'andamento del carico idraulico simulato per il secondo strato dell'acquifero al termine dello stress period 8. In particolare, il carico idraulico risulta circa -4.50 m s.l.m. a ridosso del Collettore Mezzano e -4.59 m s.l.m. a ridosso della canaletta Mantello2.

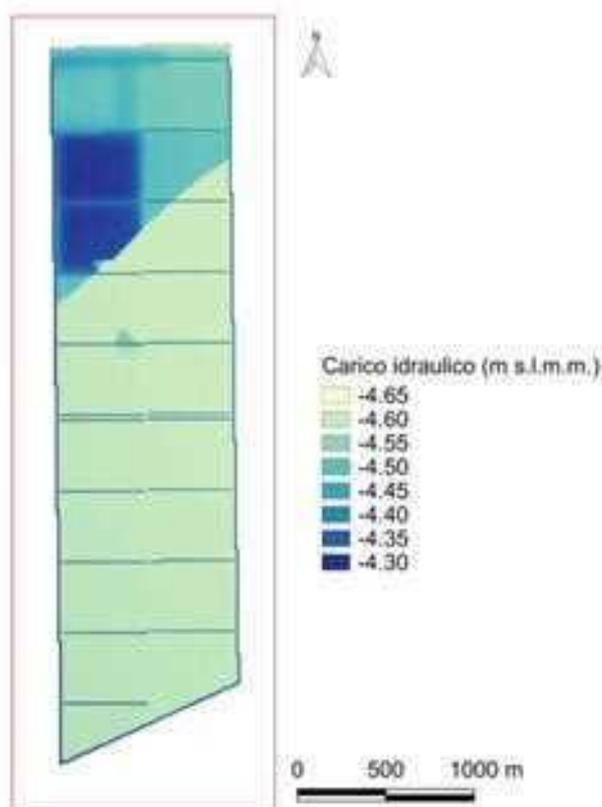


Figura 11: Carico idraulico simulato per il secondo strato al termine dello stress period 8.

3.2.3 Analisi del bilancio idrico

La Tabella 9 riporta il bilancio idrico simulato al termine dello *stress period* 8 per il sistema acquifero esaminato. Il principale termine di ricarica dell'acquifero risulta essere quello legato all'infiltrazione efficace meteorica.

Termini in ingresso IN	Volume di acqua (m ³)	Termini in uscita OUT	Volume di acqua (m ³)
Storage	11515	Storage	44890
Recharge	41250	Recharge	11059
River leakage	3427	River leakage	242
TOTALE	56192	TOTALE	56191

Tabella 9: Bilancio idrico simulato al termine dello stress period 8

Il modello implementato in questo studio costituisce un primo passo nella descrizione del flusso delle acque sotterranee nella Valle del Mezzano. La disponibilità di dati di monitoraggio del livello d'acqua nei canali di bonifica e in pozzi piezometrici e della relativa conducibilità elettrica potrebbe consentire una adeguata calibrazione del modello per l'area considerata ed il suo impiego in diverse applicazioni pratiche.

3.3 Modellazione numerica in SUTRA 3.0

L'implementazione in 3D con il modello seawat integrato con MODFLOW non ha prodotto risultati soddisfacenti quindi si provveduto a realizzazione con modello quasi 3-d utilizzando il sistema di simulazione SUTRA dell'USGS.

3.3.1 Scenari di gestione alternativa delle acque irrigue e di drenaggio

Per ridurre al minimo gli impatti derivanti dalla salinizzazione, è importante orientare la gestione idrica e la pianificazione territoriale attraverso una profonda comprensione del comportamento dei corpi idrici dolci e delle acque sotterranee saline, nonché della loro risposta alle variazioni temporali della ricerca, siano esse stagionali, a lungo termine, naturali o antropogeniche. L'efficacia di tali strategie dipende da una comprensione accurata delle dinamiche sottostanti. L'analisi del flusso delle acque sotterranee, sotto l'influenza dell'infiltrazione salina, è stata condotta attraverso l'impiego del modello di flusso delle acque sotterranee a densità variabile mediante elementi finiti, noto come SUTRA 3.0. Questo sofisticato approccio basato sugli elementi finiti costituisce uno strumento di valutazione in condizioni di sottosuolo saturo o variabilmente saturo. L'azione 3.2 del progetto GESTFALDA, dedicata alla Gestione della Falda Ipodermica per contrastare la risalita del cuneo salino, implica la valutazione dei benefici ecosistemici derivanti dalla gestione delle acque consortili nelle aree umide. In particolare, l'obiettivo primario consiste nell'esaminare in che modo e con quale entità sia possibile contrastare la risalita della falda salina, mediante la creazione di invasi nell'area compresa tra il Canale Mantello e il Canale Maè. Questo processo mira ad ottimizzare gli impatti positivi sulle condizioni ambientali, considerando il contesto idrogeologico specifico dell'area di intervento.

3.3.2 Costruzione del modello

L'area di studio della Valle del Mezzano è quella riportata in Figura 12.

La simulazione del modello è stata condotta focalizzandosi sull'area delimitata dalla sezione A-A'. In tale contesto è stata appositamente creata una griglia regolare di elementi finiti bidimensionali, caratterizzati da dimensioni alla scala di 2 metri per 20 metri. Tale approccio ha consentito un'analisi dettagliata delle dinamiche idrogeologiche rilevanti nell'ambito del progetto GESTFALDA.

Per una trattazione più approfondita delle considerazioni analitiche relative al modello adottato, si fa riferimento al Capitolo 2 dell'azione 3.1 del medesimo progetto. In tale sezione, sono fornite ulteriori dettagli sulla metodologia analitica impiegata, sottolineando l'approccio razionale e la logica dietro le scelte di progettazione della simulazione. La consultazione di detto capitolo è pertanto cruciale per una comprensione

completa delle fondamenta teoriche e metodologiche che supportano l'analisi condotta nell'ambito del progetto di gestione attiva della falda ipodermica.



Figura 12: Area di studio della valle del Mezzano

Sezione A-A' dell'area del Canale Mezzano

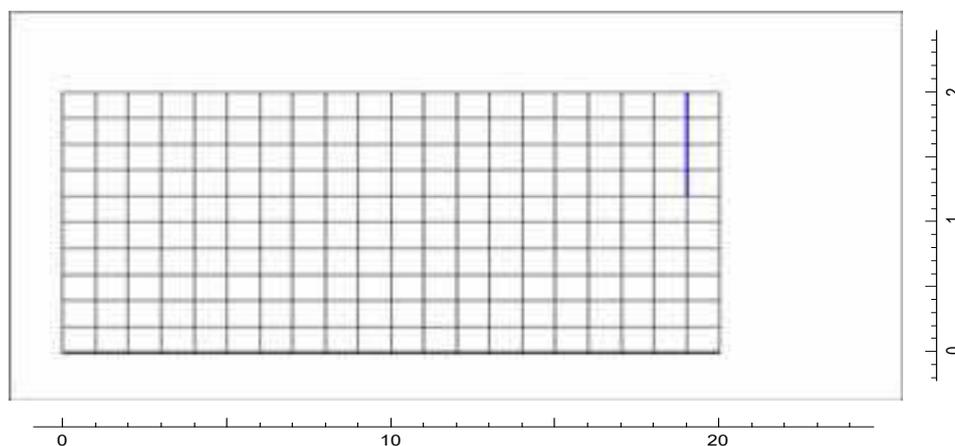


Figura 13: Mesh della sezione dell'area di studio

La regione considerata è soggetta a fenomeni di infiltrazione salina, con implicazioni sostanziali per la produttività delle colture, la struttura del suolo e la sua fertilità. Si evidenzia, in particolare, la rilevanza di tali fenomeni nella zona circostante il canale Mezzano, delimitato nel tratto blu della rappresentazione mesh illustrata nella figura allegata (Figura 13). Le condizioni iniziali sono state definite presso il canale Mezzano, con una profondità dell'acqua pari a 4 metri e una concentrazione salina stimata a circa 11.4 mS/cm, valore basato su misurazioni condotte dal Consorzio di Bonifica di Secondo Grado per il Canale Emiliano Romagnolo sul Mezzano. Al fine di modellare l'ascesa capillare di acqua salata nell'acquifero oggetto di studio, è stata implementata una condizione al contorno di flusso ascendente di acqua salata, con una concentrazione di circa 40 mS/cm.

Nella Figura 14 è possibile osservare l'andamento della concentrazione salina, e le relative pressioni, nelle condizioni iniziali, ovvero durante il periodo non irriguo e in assenza di ricarica di acqua dolce. Da tale rappresentazione emerge chiaramente la risalita di acqua salata a profondità molto basse, in prossimità del piano campagna. Tale risultato sottolinea la criticità della problematica, poiché una risalita più marcata comprometterebbe la produttività dei terreni interessati e dei terreni circostanti, limitando le opportunità di coltivazione.

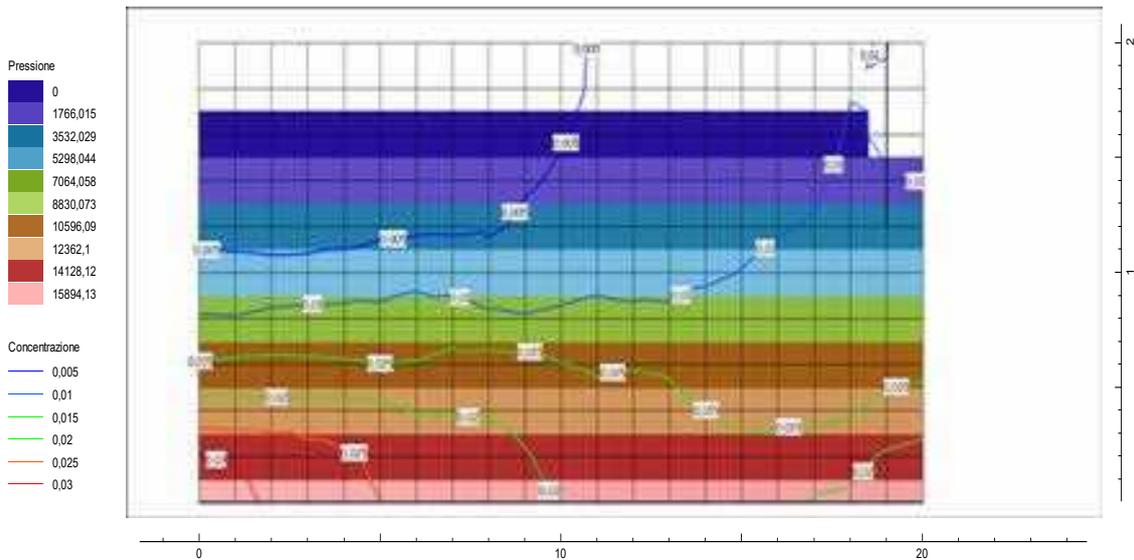


Figura 14: Andamento delle concentrazioni e pressioni nelle condizioni iniziali

Lo scopo alla base della simulazione in oggetto è quello di identificare il beneficio che si ha in termini di contrasto all'intrusione salina andando a creare delle zone umide tra la rete di canali che intersecano il canale Mezzano. Questo intervento viene simulato nel modello in 2D attraverso l'aggiunta di un flusso superficiale di acqua dolce, avente una concentrazione pari a 0,1 mS/cm, che contrasta la risalita salina e permette il mantenimento di un più ampio strato di suolo in cui la concentrazione salina resta contenuta e consentendo un franco idoneo per la produzione agricola dei terreni limitrofi al Canale Mezzano (Figura 15).

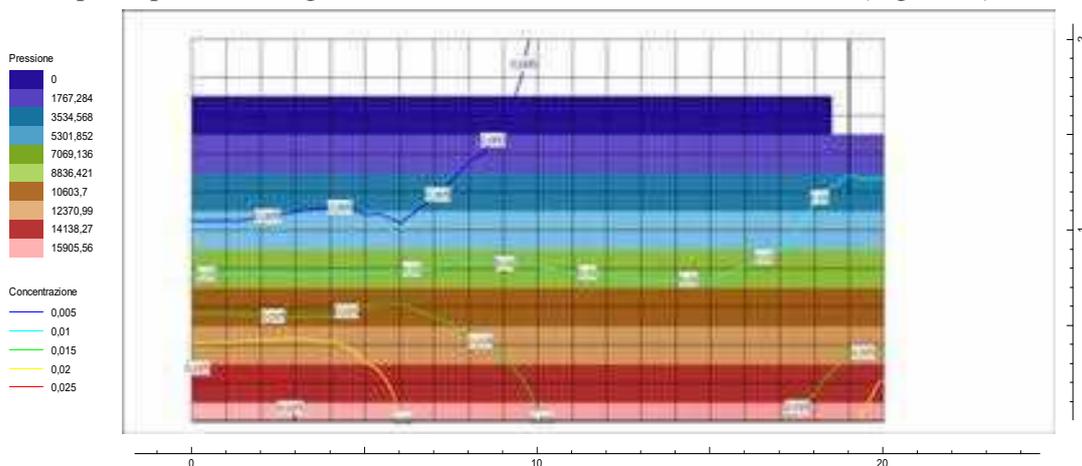


Figura 15: Andamento delle concentrazioni e pressioni nelle condizioni di ricarica di acqua dolce superficiale

La rappresentazione grafica degli andamenti delle concentrazioni nei punti specifici, 2 e 17, rispettivamente lontano ed in prossimità del Canale Mezzano, nelle diverse condizioni di assenza o presenza di ricarica dolce superficiale, offre un'interessante prospettiva sulla dinamica idrogeologica della zona di studio. Nello specifico, l'analisi evidenzia come la presenza di una ricarica dolce superficiale influenzi significativamente le concentrazioni saline, soprattutto nelle immediate vicinanze del canale. L'osservazione dei fenomeni di mixing, in corrispondenza della sezione di studio, sottolinea l'importanza di comprendere la complessa interazione tra la lente di acqua dolce e l'acqua salata infiltrata dal basso. Questo processo di miscelazione, come descritto in bibliografia (Response to recharge variation of thin rainwater lenses and their mixing zone with underlying saline groundwater, S. Eeman¹, S. E. A. T. M. van der Zee¹, A. Leijnse¹, P. G. B. de Louw², and C. Maas³) è fondamentale per comprendere le variazioni nello spessore della lente di acqua dolce in risposta alle variazioni di ricarica. In particolar modo, lo studio citato evidenzia come l'ampiezza della ricarica ha effetto positivo mentre la frequenza ha effetto negativo sulla variazione dello spessore della lente di acqua dolce. (Grafico 8)

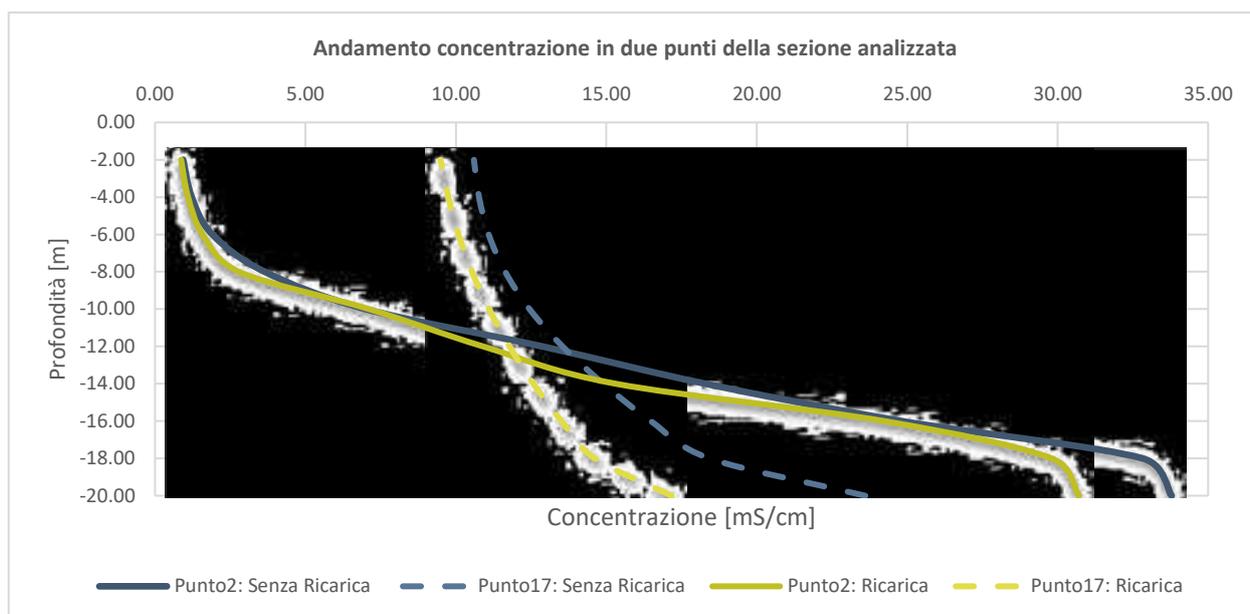


Grafico 8: Andamento delle concentrazioni in due punti della sezione del Canale Mezzano

3.3.3 Analisi e Conclusioni per il modello SUTRA

L'analisi delle criticità nell'ambito del Canale Mezzano, unitamente alla simulazione delle possibili soluzioni mediante l'impiego del software di modellazione delle dinamiche del sottosuolo SUTRA 3.0, ha delineato un quadro in cui la gestione delle concentrazioni saline nel sottosuolo emerge come una priorità. Emergono chiaramente come strumento cardine in questo contesto la gestione oculata delle acque superficiali e sotterranee. La corretta gestione delle risorse idriche di superficie e della falda acquifera si configura come un elemento chiave per il conseguimento di rilevanti benefici a livello ambientale ed ecosistemico. Nello specifico, al fine di preservare l'integrità della produzione agricola nell'area del Canale Mezzano, si rende imperativo intervenire sulle acque superficiali. Questo intervento è finalizzato a contrastare efficacemente l'insorgere della risalita salina a garantire un idoneo franco di coltivazione. Una strategia efficace si configura attraverso la creazione mirata di zone umide all'interno dell'area di interesse. Tale approccio mira a ridurre le concentrazioni saline in prossimità del suolo, assicurando al contempo che la produzione agricola mantenga la sua vitalità e continuità indisturbate. In tal modo, la creazione di zone umide non solo costituisce un mezzo di mitigazione dell'intrusione salina, ma si erge anche a presidio di un ecosistema agricolo sostenibile e resiliente.

4. ANALISI ECONOMICA

L'Azione 3.2 del progetto Gestfaldia si propone di condurre una valutazione ambientale ed economica dei benefici ecosistemici derivanti dalla gestione delle acque consortili nelle aree umide, con particolare attenzione alla subsidenza, alla salinizzazione del suolo e ai vantaggi per le aree agricole circostanti. L'area maggiormente depressa delle Valli del Mezzano è stata presa come riferimento per elaborare scenari alternativi di gestione delle acque irrigue e di drenaggio.

Gli effetti degli interventi simulati sono stati quindi sottoposti a un'analisi semplificata dei costi e benefici. In particolare, sono stati stimati i benefici economici espressi in termini di: (i) variazioni positive nella PLV agricola derivante dal contrasto alla falda salina nelle zone agricole limitrofe e (ii) per l'area studio nelle Valli del Mezzano, risparmio energetico derivante dal minor lavoro delle idrovore necessarie per il mantenimento del piano di campagna. A fianco della stima di tali benefici, quantificabili con indicatori numerici, sono state tratte alcune considerazioni di tipo qualitativo in merito alle componenti ecologiche e paesaggistiche

dell'intervento. Infine, tali benefici sono stati confrontati con eventuali costi sostenuti per la realizzazione e manutenzione di zone umide. Tale valutazione è stata comparata con gli eventuali costi necessari al mantenimento del franco di bonifica, associati alla realizzazione di impianti di pre-sollevamento.

La valutazione si concentra sugli interventi simulati tra il canale Mantello e il canale Specchio, con l'obiettivo di creare una zona umida nell'area compresa tra i due canali. Questo intervento è ipotizzato per apportare benefici ambientali, economici e produttivi agli appezzamenti agricoli adiacenti. Per la stima del beneficio agricolo espresso in termini di Produzione Lorda Vendibile è stata considerata l'area visibile in Figura 86 tra i due canali e corrispondente ad un'area di circa 176 Ha.



Figura 86: Area allagata compresa tra i due canali Mantello e Specchio

Per poter quantificare il beneficio in termini di produzione agricola, è stata considerata in primo e luogo una zona buffer adiacente alla zona umida in cui si manifesta il beneficio e successivamente identificare l'uso suolo di tale area (Figura 17) preso dalle colture principali AGREA.

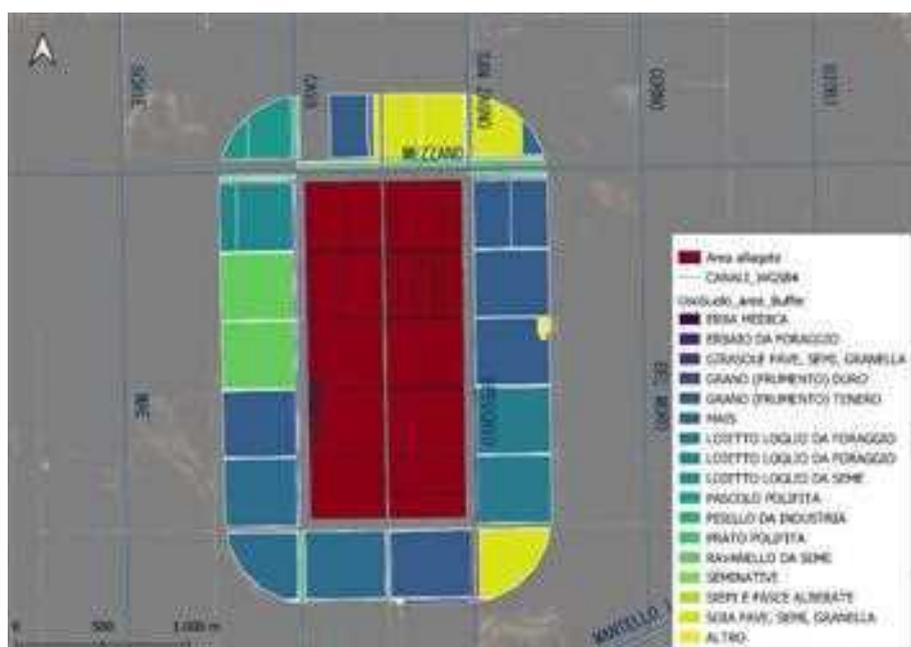


Figura 17: Produzione agricola nell'area buffer adiacente all'area allagata in cui si manifesta il beneficio agricolo ed economico

Le tipologie colturali presenti nei terreni della zona presa in esame per la stima del beneficio sono riportate nell'istogramma riportato nel Grafico 9 con le relative superfici coltivate espresse in ettari.

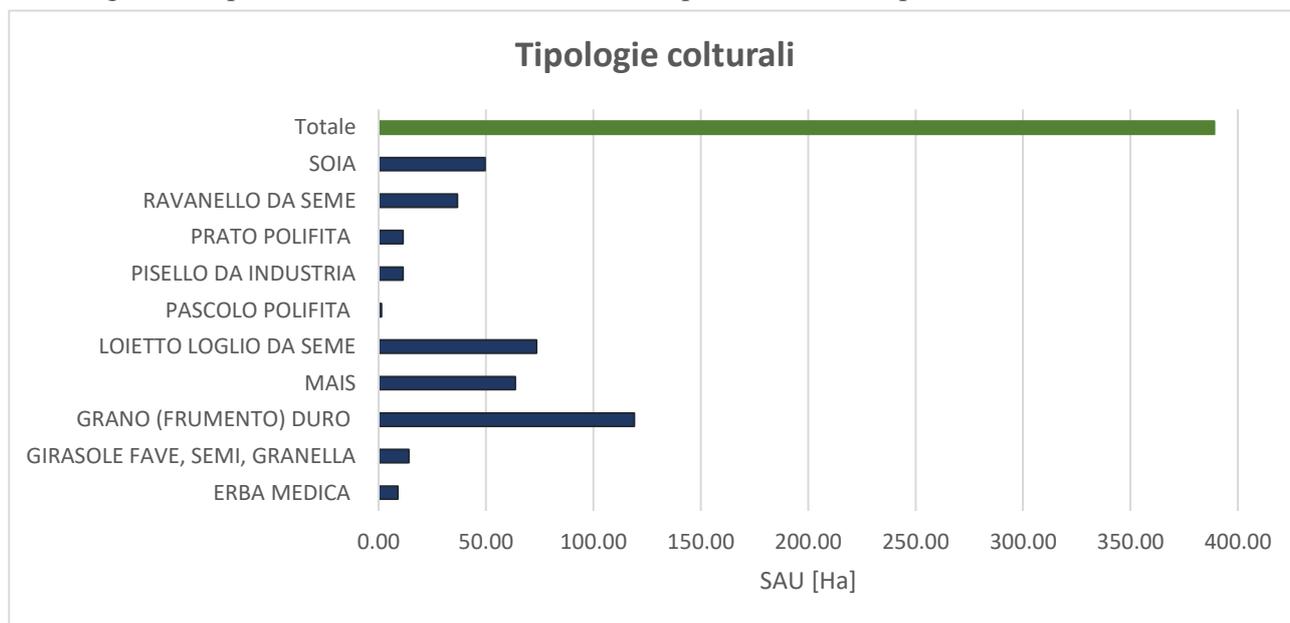


Grafico 9: Tipologie colturali e relative superfici in ettari coltivate

Gli ettari totali coltivati e destinati alla produzione delle colture elencate sono 389 Ha e i valori di Produzione Lorda Vendibile attesa [€/ha] (Tabella 40), ovvero la resa media per il periodo 2010-2022 corrispondente alla produttività ottimale per la coltura, sono stati reperiti dai dati RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola). Il calcolo della Produzione Lorda Vendibile effettiva è stato svolto seguendo le considerazioni e le procedure fatte anche per l'azione 3.1 (Allegato 1, Prog_GESTFALDA_Relaz_finale_Azione3_1.pdf). In particolare modo per la presente azione, il valore di conducibilità dell'estratto saturo di terreno tollerato dalla coltura per un predeterminato valore di riduzione della resa, ovvero Ece, è stato scelto il valore ricavato dai risultati ottenuti dalla simulazione del modello SUTRA (vedi Capitolo) per le due particolari condizioni: (a) condizione iniziale, ovvero in assenza di ricarica di acqua dolce in superficie, e ciò significa in assenza della zona umida e (b) condizione post sistemazione della zona umida nella zona servita dal Canale Mezzano, e quindi nel caso in cui si presenti una condizione di costante ricarica di acqua dolce superficiale. I valori corrispondenti alle due condizioni sono rispettivamente 5.3 mS/cm (a) e 4.7 mS/cm (b).

Colture	Superfici [Ha]	PLV attesa [€/Ha]
ERBA MEDICA	8.90	1,599.49 €
GIRASOLE FAVE, SEMI, GRANELLA	14.03	1,546.00 €
GRANO (FRUMENTO) DURO	119.08	1,200.00 €
MAIS	63.54	2,301.56 €
LOIETTO LOGLIO DA SEME	73.47	5,192.00 €
PASCOLO POLIFITA	1.28	1,599.49 €
PISELLO DA INDUSTRIA	11.31	5,192.00 €
PRATO POLIFITA	11.38	1,599.49 €
RAVANELLO DA SEME	36.58	5,192.00 €
SOIA	49.47	1,843.81 €

Tabella 40: Superfici destinate alle colture prodotte nella zona oggetto di studio e corrispondente PLV attesa [€/Ha]

Anche in questo caso, come nella valutazione svolta nel caso studio del Canale di Gronda Bosco Eliceo, la PLV effettiva è stata calcolata sulla base dell'ECe, il valore soglia di tolleranza alla presenza di sale, specifico per ogni coltura e la riduzione della resa per unità di aumento della salinità.

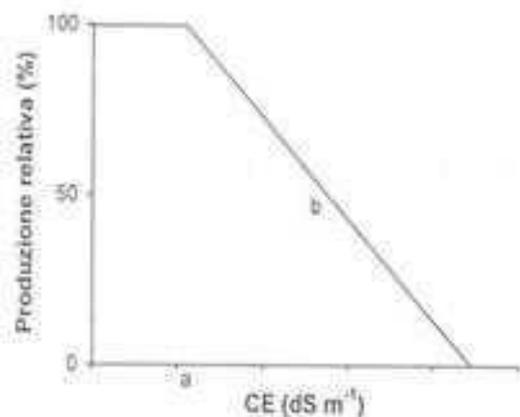


Grafico 10: Andamento della percentuale di produzione relativa in base al valore della conducibilità elettrica

Pertanto, la PLV effettiva è stata calcolata per entrambe le situazioni, quindi post e ante posa in opera di una zona umida. La condizioni di calcolo è la medesima, per valori di EC_e minori del valore limite a la PLV effettiva coincide con quella attesa. Mentre per quanto concerne la PLV effettiva relativa a valori di EC_e che superano il valore limite oltre il quale si verifica una riduzione della salinità il calcolo viene svolto applicando l'equazione di seguito indica:

$$Y_r = 100 - b(EC_e - a)$$

$$y_e = \begin{cases} \left(\frac{Y_r}{100}\right) * Y_a & \text{se } EC_e \geq a \\ y_a & \text{se } EC_e < a \end{cases}$$

$y_e = \text{Resa effettiva}$

$y_a = \text{Resa attesa}$

In Tabella 11 sono riportati i valori ottenuti della PLV effettiva sia ante che post-intervento e il conseguente beneficio economico per ettaro e in termini totali. Il beneficio totale in termini di €/anno ammonta ad un totale di 160,376.41 € che rappresenta un vantaggio in termini monetari della presenza della zona umida che va a determinare una concentrazione salina minore nello strato del sottosuolo di maggior interesse per l'agricoltura, che di conseguenza comporta un aumento in termini produttivi e quindi economici.

Colture	Soglia (a)	Pendenza (a)	PLV effettiva ANTE [€/Ha]	PLV effettiva POST [€/Ha]	Beneficio [€/Ha/anno]	Beneficio totale [€/anno]
ERBA MEDICA	2	7.3	1,214.17 €	1,599.49 €	385.32 €	3,431.14 €
GIRASOLE FAVE, SEMI, GRANELLA	4.8	5	1,507.35 €	1,546.00 €	38.65 €	542.29 €
GRANO (FRUMENTO) DURO	6	7.1	1,200.00 €	1,200.00 €	- €	- €
MAIS	1.8	7.4	1,705.46 €	2,301.56 €	596.10 €	37,877.10 €
LOIETTO LOGLIO DA SEME	5.6	7.6	5,192.00 €	5,192.00 €	- €	- €
PASCOLO POLIFITA			1,599.49 €	1,599.49 €	- €	- €
PISELLO DA INDUSTRIA	3.4	10.6	4,146.33 €	5,192.00 €	1,045.67 €	11,827.98 €
PRATO POLIFITA			1,599.49 €	1,599.49 €	- €	- €
RAVANELLO DA SEME	1.2	13	2,424.66 €	5,192.00 €	2,767.34 €	101,224.72 €
SOIA	5	20	1,733.18 €	1,843.81 €	110.63 €	5,473.18 €

Tabella 11: PLV effettiva nelle due condizioni esaminate e il beneficio ottenuto dalla presenza della zona umida

Andando a creare una zona umida nelle Valli del Mezzano è possibile verificare anche un beneficio economico correlato al risparmio energetico dell'impianto di Lepri Acque Basse gestito dal Consorzio della Bonifica Burana. L'impianto consta di pompe idrovore caratterizzate da una prevalenza di 4.7 m, andando a sollevare l'acqua da quota 5.30 m a 10 m, quest'ultimo stabilito come il livello medio mare.

Considerando una portata pari a 3.19 m/s ed una prevalenza di 4.30 m, il fabbisogno energetico dell'impianto è 204,601.97 kWh/y. Tale fabbisogno energetico, nell'ottica dell'obiettivo di creare una zona umida nell'area del Mezzano, può essere letto come un risparmio energetico pari a 24,979.86 €.

Nella presente analisi economica, a fianco della stima dei benefici dell'intervento ipotizzato, sono stati considerati i costi di costruzione e mantenimento delle zone umide nelle Valli del Mezzano nell'Emilia-Romagna. Questi sono stati distinti e definiti come segue:

- Costi di investimento (costruzione):
 - Scavi: Questo comprende la realizzazione del bacino, degli argini e degli isolotti per facilitare la creazione di habitat naturali e di siti per la nidificazione degli uccelli limicoli.
 - Opere idrauliche: Questa categoria include il sistema di adduzione e scolo dell'acqua e paratoie per il riempimento della zona umida.
 - Piantumazioni: Coinvolge la piantumazione di vegetazione specifica per le zone umide.
 - Il totale dei costi di investimento è di 12.000€ per ettaro, equivalente a 390€ per ettaro all'anno considerando il tasso di sconto per investimenti pubblici o opere ambientali definito dalla Commissione Europea (EC, 2008).

- Costi diretti di mantenimento:
 - Manutenzione del verde e delle opere idrauliche: Questo implica la cura e la manutenzione delle aree verdi circostanti e delle strutture idrauliche implementate.
 - Gestione e immissione dell'acqua: Include tutte le attività necessarie per gestire l'apporto e lo scarico dell'acqua nella zona umida.
 - Il totale dei costi diretti di mantenimento è di 600€ per ettaro all'anno, escludendo i benefici fondiari.

In sintesi, la stima complessiva annua per costruzione e mantenimento della zona umida nelle Valli del Mezzano è di 990€ per ettaro (390€/ha/anno per i costi di investimento + 600€/ha/anno per i costi diretti di mantenimento, escluso il beneficio fondiario). I dati elementari per ottenere tale stima derivano principalmente dal Prezziario della Regione Emilia-Romagna, mentre i parametri di progettazione corrispondono a quanto definito nella Misura del PSR2014-2020 della Regione Emilia-Romagna per la rinaturalizzazione di terreni agricoli.

Oltre alla stima numerica dei benefici, è stata effettuata un'analisi qualitativa delle componenti ecologiche e paesaggistiche dell'intervento utilizzando la metodologia del Benefit Transfer. Questa è una tecnica di valutazione per quei beni e servizi che non hanno un mercato di riferimento e che consiste nel considerare le informazioni e le stime di altri studi scientifici condotti in contesti territoriali simili, per poi trasferire ed applicare tali risultati all'area oggetto di studio. A tale fine sono stati selezionati gli studi riportati nella seguente tabella.

Autori	Titolo	Anno	Paese
Bielski, S., R. Marks-Bielska, A. Novikova, and B. Vaznonis	Assessing the Value of Agroecosystem Services in Warmia and Mazury Province Using Choice Experiments	2021	Polonia
Aziz, T., and P. Van Cappellen	Comparative Valuation of Potential and Realized Ecosystem Services in Southern Ontario, Canada	2019	Canada
Polizzi, C., M. Simonetto, A. Barausse, N. Chaniotou, R. Kankanen, S. Keranen, A. Manzardo, K. Mustajarvi, L. Palmeri and A. Scipioni	Is Ecosystem Restoration Worth the Effort? The Rehabilitation of a Finnish River Affects Recreational Ecosystem Services	2015	Finlandia
Galioto, F., Marconi, V., Raggi, M., Viaggi, D.	An Assessment of Disproportionate Costs in WFD: The Experience of Emilia-Romagna	2013	Italia
Dachary-Bernard, J. and T. Rambonilaza	Choice experiment, multiple programmes contingent valuation and landscape preferences: How can we support the land use decision making process?	2012	Francia
Martin-Lopez, B., M. Garcia-Llorente, I. Palomo and C. Montes	The Conservation against Development Paradigm in Protected Areas: Valuation of Ecosystem Services in the Doñana Social-Ecological System (southwestern Spain)	2011	Spagna
Jenkins, W. A., B. C. Murray, R. A. Kramer and S. P. Faulkner	Valuing Ecosystem Services from Wetlands Restoration in the Mississippi Alluvial Valley	2010	Stati Uniti
Wilson, S. J.	Natural Capital in BC's Lower Mainland: Valuing the Benefits from Nature	2010	Canada
Southgate, D., T. Haab, J. Lundine and F. Rodriguez	Payments for Environmental Services and Rural Livelihood Strategies in Ecuador and Guatemala	2010	Guatemala, Ecuador
Thompson, J. and M. Anielski	Economic Activity and Ecosystem Services in the North Saskatchewan River Basin	2010	Canada
Troy, A. and K. Bagstad	Estimating Ecosystem Services in Southern Ontario	2009	Canada
Batker, D., I. De la Torre, M. Kocian and B. Lovell	The Natural Economy of the Nisqually Watershed	2009	Stati Uniti
Wilson, S. J.	Ontario's Wealth, Canada's Future: Appreciating the Value of the Greenbelt's Eco-Services	2008	Canada
Wilson, S. J.	Lake Simcoe Basin's Natural Capital: The Value of the Watershed's Ecosystem Services	2008	Canada
Alberini, A.; P. Rosato; A. Longo; and V. Zanatta	Information and Willingness to Pay in a Contingent Valuation study: The Value of S. Erasmo in the Lagoon of Venice	2004	Italia
Travisi, C.M., and P. Nijkamp	Willingness to Pay for Agricultural Environmental Safety: Evidence From a Survey of Milan, Italy, Residents	2004	Italia
Carlsson, F., P. Frykblomb and C. Liljenstolpec	Valuing Wetland Attributes: An Application of Choice Experiments	2003	Svezia
Ruberto M., Branca G., Troiano S., Zucaro R	The economic value of ecosystem services of irrigation: a choice experiment for the monetary evaluation of irrigation canals and fontanili in Lombardy. Italian Review of Agricultural Economics 77(2): 27-39. DOI: 10.36253/rea-13404	2022	Italia
Cavazza, F., Galioto F., Guerra E., Raggi, M. & Viaggi, D.	I benefici ambientali dell'attività irrigua: una valutazione combinata all'interno del Consorzio della Bonifica Renana Agriregionieuropa.	2017	Italia

Tabella 12: Elenco degli studi selezionati per la valutazione economica dei Servizi Ecosistemici con il metodo Benefit Transfer

La sintesi di tali studi evidenzia un beneficio medio annuo che per la categoria oggetto di studio risulta pari a 4.694€. La variazione di tale valore è riportata nella seguente tabella:

Tipologia di uso del suolo	Valori per ettaro (€)		
	MINIMO	MEDIO	MASSIMO
Zone umide	455	4.694	11.584

Tabella 13: Valutazione del beneficio ambientale

A conclusione della presente sezione focalizzata sull'analisi economica degli interventi ipotizzati, è stato possibile valutare i benefici ed i costi dell'intervento stesso. Vista la scala e la complessità della soluzione proposta è tuttavia importante sottolineare come la valutazione debba essere comunque opportunamente approfondita in fase di progettazione, così da garantire investimenti economicamente sostenibili.

Riferimenti bibliografici

- Campo B., Bruno L., Amorosi A. (2023). Sedimentary facies characterization through CPTU profiles: An effective tool for subsurface investigation of modern alluvial and coastal plains. *Sedimentology*, 70, 1302-1327.
- Cremonini S., Etiope G., Italiano F., Martinelli G. (2008). Evidence of Possible Enhanced Peat Burning by Deep-Origin Methane in the Po River Delta Plain (Italy). *J. Geol.*, 116, 401-413.
- de la Cruz Amóros M., Mauri P. V., Curt M. D. (2021). The influence of tree management practices on phenological growth stages of *Ulmus pumila* L. (Siberian elm). *Ann. Appl. Biol.*, 179, 259-272.
- Dulamsuren C., Hauck M., Nyambayar S., Bader M., Osokhjargal D., Oyungerel S., Leuschner C. (2009). Performance of Siberian elm (*Ulmus pumila*) on steppe slopes of the northern Mongolian mountain taiga: Drought stress and herbivory in mature trees. *Environ. Exp. Bot.*, 66, 18-24.
- Gang L., Gaoming J., Yonggeng L., Meizhen L. (2011). Biomass carbon storage and net primary production in different habitats of Hunshandake Sandland, China. *Acta Ecol. Sin.*, 31, 217-224.
- Giacomelli S., Rossi V., Amorosi A., Bruno L., Campo B., Ciampalini A., Civa A., Hong W., Sgavetti M., de Souza Filho C. R. (2018). A mid-late Holocene tidally-influenced drainage system revealed by integrated remote sensing, sedimentological and stratigraphic data. *Geomorphology*, 318, 421-436.
- Giambastiani B. M. S., Colombani N., Mastrocicco M., Fidelibus M. D. (2013). Characterization of the lowland coastal aquifer of Comacchio (Ferrara, Italy): Hydrology, hydrochemistry and evolution of the system. *J. Hydrol.*, 501, 35-44.
- Harbaugh, A. W. (2005) MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA.
- Mastrocicco M., Colombani N., Salemi E., Castaldelli G. (2010). Numerical assessment of effective evapotranspiration from maize plots to estimate groundwater recharge in lowlands. *Agric. Water Manag.*, 97, 1389-1398.
- Natali C., Bianchini G., Cremonini S., Salani G. M., Vianello G., Brombin V., Ferrari M., Antisari L. V. (2021). Peat soil burning in the Mezzano Lowland (Po Plain, Italy): Triggering mechanisms and environmental consequences. *GeoHealth*, 5, e2021GH000444.
- NorthSun Italia S.p.A. (1999). Istanza di permesso esclusivo di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi “Casone della Sacca”. Relazione Tecnica.
- Paredes P., Torres M. O. (2017). Parameterization of AquaCrop model for vining pea biomass and yield predictions and assessing impacts of irrigation strategies considering various sowing dates. *Irrig. Sci.*, 35, 27-41.
- Posenato R., Masetti D., Schippa L., Vincenzi V. (2016). Doc. SICS_210_Integraz Progetto messa in produzione pozzo Agosta 1 Dir. INTEGRAZIONI ALLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE. Allegato 7e. Valutazione degli effetti della subsidenza indotta dalla coltivazione del giacimento Agosta in relazione alla salinizzazione degli acquiferi.
- Robertson P. K., Cabal K. L. (2014). Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. Gregg Drilling & Testing, Inc.
- Rossetto R., Bockelmann-Evans B. (2007). Modellazione numerica del flusso e del trasporto di soluti ai fini dell’investigazione dei processi di trasporto dell’erbicida terbutilazina nel sistema acquifero della pianura di S. Alessio (Lucca). *Giornale di Geologia Applicata*, 5, 29-44.
- Saxton K. E., Rawls W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70, 1569-1578.

Staffilani F., Tarocco P., Ungaro F., Calzolari C. (2015). Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-50 cm 2[^] approssimazione. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Terán-Chaves C. A., García-Prats A., Polo-Murcia S. M. (2022). Water Stress Thresholds and Evaluation of Coefficient *K_s* for Perennial Ryegrass in Tropical Conditions. *Water*, 14, 1696.



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

AZIONE 3.3

Predisposizione su IRRINET di un modello di leaching requirement per il contrasto alla salinizzazione dei suoli.

INDICE

1. Modello di calcolo del leaching requirement.....	3
2. Az. Agricola La Pomposa (Volano – FE).....	4
2.1 Materiali e Metodi	6
2.2 Analisi dati	8
2.2.1 Acqua di falda ipodermica e salinità.....	8
2.2.2 Effetti del leaching sui processi di salinizzazione dei suoli.....	11
2.2.3 Conclusioni.....	13
3. Az. Agrisfera (Sant’Alberto – RA).....	14
3.1 Materiali e Metodi	14
3.1.1 Monitoraggio ed analisi preliminare.....	14
3.2 Risultati delle simulazioni.....	27

1. Modello di calcolo del leaching requirement

La tecnica del Leaching requirement si basa su un modello analitico utilizzato in agricoltura per determinare la quantità di acqua necessaria per dilavare i sali in eccesso dalla zona radicale delle piante. Il Leaching requirement è spesso espresso come frazione di lavaggio (LR), che rappresenta il rapporto tra il volume di acqua di drenaggio (D) e il volume di acqua di irrigazione applicato (I):

$$LR = \frac{D}{I}$$

La tecnica del Leachign requirement viene ampiamente trattata nel quaderno "FAO Irrigation and Drainage Paper No. 60: Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements" di R. Allen et al. Questo documento, pubblicato dalla Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), fornisce linee guida complete per calcolare i fabbisogni idrici delle colture, compresa la frazione di *leaching* necessaria per gestire la salinità del suolo.

Quando l'accumulo di sali solubili nel suolo diventa eccessivo o si prevede che lo diventi, i sali possono essere lavati applicando più acqua di quanto necessario per la coltura durante la stagione di crescita. Quest'acqua aggiuntiva sposta almeno una parte dei sali al di sotto della zona radicale attraverso una percolazione profonda (lisciviazione). La lisciviazione è il fattore chiave nel controllo dei sali solubili immessi nello strato radicato dall'acqua di irrigazione. Nel tempo, la rimozione del sale attraverso la lisciviazione deve essere almeno pari o superiore alle aggiunte di sale dall'acqua applicata, altrimenti i sali si accumulano e raggiungeranno concentrazioni dannose.

Per stimare il requisito di lavaggio, è necessario conoscere sia la salinità dell'acqua di irrigazione (EC_w) sia la tolleranza della coltura alla salinità del suolo (EC_e). La salinità dell'acqua può essere ottenuta da analisi di laboratorio, mentre l' EC_e dovrebbe essere stimato dai dati appropriati sulla tolleranza delle colture forniti nelle tabelle presenti nel quaderno FAO. Queste tabelle forniscono un valore accettabile di EC_e per ogni coltura, appropriato al grado tollerabile di perdita di rendimento (di solito del 10 per cento o meno).

Il requisito di lavaggio necessario (LR) può essere stimato per rotazioni colturali generiche. Per stime più precise per una coltura specifica, dovrebbe essere utilizzata l'equazione del leaching requirement (Rhoades 1974; e Rhoades e Merrill 1976):

$$LR = \frac{EC_w}{5 * EC_e - EC_w}$$

Ove:

- LR = il requisito minimo di lavaggio necessario per controllare i sali entro la tolleranza (EC_e) della coltura con metodi ordinari di irrigazione di superficie
- EC_w = salinità dell'acqua di irrigazione applicata in dS/m
- EC_e = salinità media del suolo tollerata dalla coltura, misurata su un estratto di saturazione del suolo.

È possibile ottenere il valore di EC_e per la coltura specifica e il rendimento accettabile appropriato dalla Tabella riportata nel quaderno FAO 29 'Water quality for agriculture'.

Il volume irriguo totale annuale di acqua che deve essere applicata per soddisfare sia la richiesta della coltura che il leaching può essere stimato dall'equazione seguente:

$$AW = \frac{ET_c}{1 - LR}$$

Ove:

AW = volume di acqua applicato [mm/a]

ET_c = fabbisogno irriguo [mm/a]

LR = leaching requirement espresso come frazione [-]

Nel progetto il modello è stato adattato per funzionare a passo giornaliero.

Il Leaching Requirement è un parametro chiave nella gestione dell'irrigazione per evitare l'accumulo di sali nella zona radicale. È comunemente consigliato di applicare una quantità di acqua superiore del 10-20% rispetto a quella richiesta per l'evapotraspirazione, consentendo il leaching dei sali dalla zona radicale.

Il volume di acqua di drenaggio (D) può essere stimato utilizzando la formula:

$$D = E + I - P - R$$

dove (E) è l'evapotraspirazione effettiva, (I) è l'acqua di irrigazione applicata, (P) è la precipitazione e (R) è la variazione nella memoria dell'acqua nel suolo.

Queste formule, insieme a coefficienti specifici delle colture, caratteristiche del suolo e dati climatici, possono essere integrate in modelli più completi come l'equazione FAO Penman-Monteith per la stima dell'evapotraspirazione o altri modelli specifici delle colture. Questi modelli forniscono una base scientifica per determinare i requisiti di lavaggio dell'irrigazione adattati a condizioni agricole specifiche.

2. Az. Agricola La Pomposa (Volano – FE)

Nel periodo compreso tra il 2021 e il 2022 sono stati condotte attività di monitoraggio in un appezzamento coltivato a pereto, situato nelle aree del delta del Po, a 5 chilometri dal mare e a 70 metri dal fiume 'Po di Volano'. Durante questo periodo, abbiamo effettuato misurazioni continue del livello della falda acquifera superficiale e della salinità a diverse profondità e distanze dal fiume, ed abbiamo monitorato l'umidità del suolo, il livello dell'acqua e la conducibilità elettrica (EC) nel fiume. Inoltre, abbiamo eseguito misurazioni mensili della salinità del suolo mediante il metodo di induzione elettromagnetica, valutato la copertura della coltura, e analizzato la salinità dell'acqua di irrigazione. L'obiettivo principale era valutare gli effetti della filtrazione dal fiume sulla falda acquifera superficiale e analizzare gli impatti dell'irrigazione e dell'applicazione della tecnica del *Leaching requirement* sui processi spaziali di salinizzazione del suolo. I risultati ottenuti indicano che la filtrazione influenza il livello della falda acquifera a diverse distanze dal fiume, così come lo spessore della lente d'acqua dolce. L'applicazione della tecnica di leaching consente la riduzione della salinità del suolo, contribuendo a mitigare il processo di salinizzazione.

L'interazione tra fossati o acque superficiali di fiumi, acqua di irrigazione e falde acquifere superficiali, nelle aree basse della zona costiera, può influenzare il carico salino delle acque superficiali (Pauw, 2014) e del suolo nella zona radicante. Le dinamiche stagionali e annuali della lente d'acqua dolce (de Louw, 2013) e gli effetti sulla lente dell'irrigazione e del drenaggio in climi mediterranei e subumidi non sono ben conosciuti. Nelle aree agricole a bassa altitudine, la zona di mescolanza tra acqua dolce e salmastra è situata nel livello saturo (de Louw, 2011); quindi, in campi irrigati, è strettamente legata alla qualità dell'acqua di irrigazione, al metodo di irrigazione, alla pratica di irrigazione (ad esempio, la tecnica di lavaggio) e all'efficacia del sistema di drenaggio. Nelle zone di bonifica, la filtrazione verso il basso dell'acqua da fossati e fiumi, con concentrazione salina variabile stagionalmente, può creare processi idrologici complessi inclini alla salinizzazione della zona radicante.

Nelle aree di bonifica in cui gli argini di fiumi/fossati o le dighe marine sono posizionati al di sopra del livello del suolo e la litologia mostra uno strato più profondo sabbioso sopra un suolo più argilloso, le condizioni idrogeologiche possono essere schematicamente rappresentate come indicato nella Figura 1. La filtrazione verso il basso dai fiumi/fossati può infiltrarsi nell'acquifero e interagire con la falda acquifera superficiale, con linee di flusso convergenti verso fossati di drenaggio superficiale e/o il sistema di drenaggio tubolare (Velstra et al., 2011; De Louw et al., 2011, 2013).

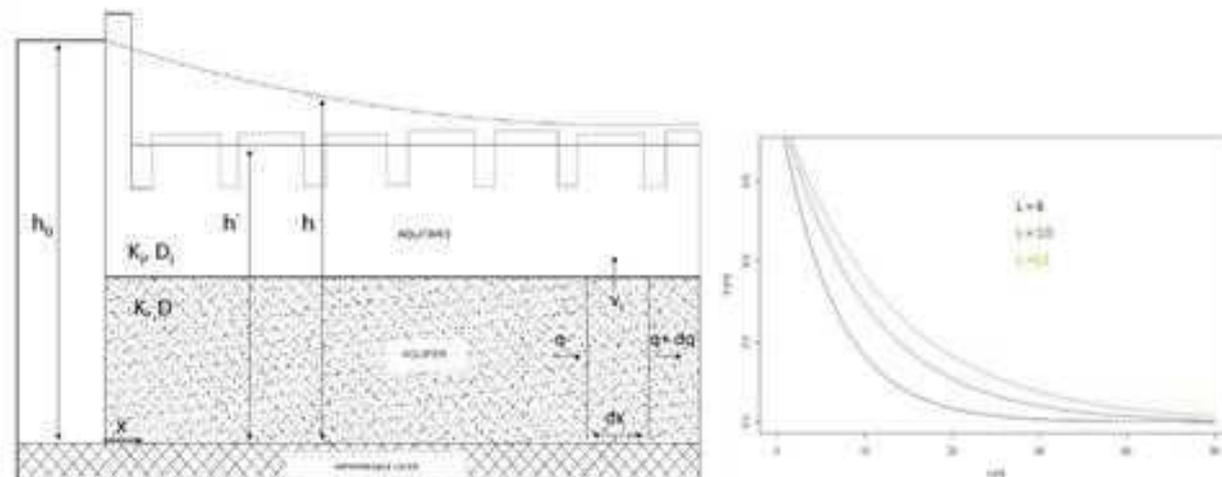


Figura 1: Interazione tra acqua superficiale in canale aperto e acqua sotterranea con acquifero semi-confinato e infiltrazione verso il basso (a destra). Grafico della formula analitica per il calcolo della testa idraulica delle acque sotterranee artesiane come in de Ridder et al. (1994).

L'approccio analitico per il calcolo del carico idraulico delle acque sotterranee artesiane in funzione della distanza dal canale è correlato al "fattore di perdita" (de Ridder et al, 1994):

$$h = h' + (h_0 - h') * e^{-\frac{x}{L}} \quad \text{where: } L = \left(\frac{K_i * D_i * D}{K}\right)^{0.5}$$

Dove (h) [m] è la testa idraulica a una distanza (x) [m], (h_0) [m] è il livello dell'acqua nel canale aperto, (K_i) e (K) sono la conducibilità idraulica e (D) e (D_i) sono lo spessore dello strato come nella Figura 1. Con uno spessore fisso degli strati, valori più bassi del rapporto (K_i/K) aumentano il carico idraulico a una distanza (x) dal canale.

Molti autori hanno risolto il problema dello spaziamento del drenaggio in presenza di acque sotterranee artesiane con metodo analitico in condizioni transitorie (Abdel-Dayem et al., 1984) e stazionarie (Hinesly et al., 1966; Bazaraa et al., 1986). La pioggia e l'evapotraspirazione con modelli stagionali e inter-stagionali possono influenzare il processo naturale. In aree irrigate e bonificate, l'applicazione dell'acqua di irrigazione, il metodo di irrigazione e, principalmente, il controllo del livello dell'acqua nei fossati di drenaggio da parte dei Consorzi di bonifica manifestano effetti marcati. Hinesly e Kirkham (1966) hanno sviluppato un metodo analitico per calcolare lo spaziamento dei tubi di drenaggio per rimuovere l'eccesso di flusso ascendente dell'acqua con acque sotterranee artesiane.

Nei paragrafi seguenti presentiamo i risultati del monitoraggio biennale per la valutazione degli effetti combinati sulla salinizzazione del suolo, in condizioni idrogeologiche complesse, con filtrazioni verso il basso del fiume di acqua a salinità variabile, interazione tra acque sotterranee salmastre profonde e acqua dolci superficiale, effetto dell'acqua di irrigazione e del drenaggio intubato. L'indagine sulla variabilità spaziale della conducibilità elettrica apparente del suolo durante diverse stagioni consente di valutare gli effetti dell'acqua di irrigazione e della filtrazione del fiume a livello tridimensionale. L'area di studio è una parcella irrigata a bassa quota di circa 15 ettari situata a circa -0,5 metri sotto il livello del mare (mBSL), a pochi metri dalla riva del fiume 'Po di Volano'.

2.1 Materiali e Metodi

La parcella sperimentale si trova lungo il fiume 'Po di Volano' ad un'altitudine di circa -0,5 metri sotto il livello del mare. È un moderno frutteto ad alta densità di alberi di quasi 15 ettari coltivato con pere (*Pyrus communis* - Abate Fetel) su portinnesto nano 'EMC'. La piantagione ad alta densità dell'orto e l'orientamento della siepe N-S sono tipici della zona, con una distanza di 3,8 metri tra le file e 0,5 metri tra le piante, per oltre 7000 alberi per ettaro. L'acqua di irrigazione è fornita attraverso un sistema di irrigazione a goccia, con una distanza tra gli erogatori di 0,3 metri e una portata per punto singolo di 1,0 litro all'ora, così come attraverso un sistema di irrigazione a sprinkler. A una profondità di 0,8 metri è presente un sistema di drenaggio a tubi con uno spaziamento dei drenaggi di 12 metri e un diametro del tubo di 63 millimetri.

Nell'area di studio, la distribuzione delle litologie è caratterizzata da depositi sabbiosi che si interdigitano in modo complesso. Le bande più chiare chiaramente visibili dalla foto aerea intorno a 'Po di Volano' (Figura 2), con un corso approssimativamente nord-sud, fanno parte del delta del fiume. I depositi sono composti da tessiture più sabbiose rispetto alle sezioni più scure. La geologia superficiale dell'area a nord del 'Po di Volano', dove si trova la parcella di sperimentazione, sembra essere influenzata in modo maggiore dal sistema fluviale meandriforme; tuttavia, anche in questo caso, è probabile prevedere una certa variabilità spaziale e verticale complessiva del sito rispetto alla distribuzione delle tessiture più grossolane.





Figura 2: Vista generale dell'area di studio con dettagli sulla posizione dei piezometri, sulla sezione del 'Po di Volano' e foto dell'installazione dei sensori. La linea rossa delimita la parcella di sperimentazione. I punti blu indicano la posizione dei piezometri. WL_R è la posizione del sensore del livello dell'acqua di superficie nel fiume. Il cerchio arancione è una foto aerea con evidenze di colori chiari/scuri dovuti a diversi tipi di suolo.

Abbiamo posizionato 11 piezometri con schermo tra 3 e 1,5 metri e filtri tessili a distanze crescenti dal 'Po di Volano': 25, 100, 150 metri in due sezioni distanti circa 200 metri l'una dall'altra. Nella Figura 2 riportiamo la posizione del sistema di monitoraggio. In P7 e P9, con quota rispettivamente di -0,63 e -0,78 metri sotto il livello del mare (mBSL), abbiamo installato altri due piezometri ciascuno, distanti 3 metri l'uno dall'altro, per monitorare in modo continuativo il livello dell'acqua sotterranea (GWL) e la conducibilità elettrica dell'acqua (ECw). In P7A e P7B il fondo del piezometro è a -2,10 e -1,63 mBGL con schermo e filtri tessili rispettivamente tra -2,10/-1,10 e -1,63/-0,63 (Figura 2).

In P9A e P9B il fondo del piezometro è a -2,90 e -1,78 mBGL con schermo e filtri tessili rispettivamente tra -2,90/-1,90 e -1,78/-0,78. Nel fiume 'Po di Volano' nel punto P7 abbiamo installato un piezometro per monitorare continuamente il livello dell'acqua e la conducibilità elettrica. In P10 e P12 abbiamo installato un sensore del livello dell'acqua sotterranea per il monitoraggio continuo. Durante il 2021 e il 2022 abbiamo prelevato campioni di acqua sotterranea per analisi di laboratorio (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{--} , NH_4^+) all'inizio e alla fine della stagione di irrigazione nei piezometri, un campione per ciascun punto. Abbiamo monitorato il potenziale dell'acqua nel suolo con due trasduttori tensiometrici e un datalogger in P7, a una profondità di -0,25 e -0,45 mBGL.

In varie date nel 2021 e nel 2022 abbiamo monitorato la conducibilità elettrica apparente del suolo con il metodo di induzione elettromagnetica utilizzando EM38 (Geonics). Il sensore EMI consente di monitorare la distribuzione spaziale della conducibilità elettrica apparente del suolo (ECa). L'ECa è correlata alla quantità di acqua nel suolo, alla porosità e alla EC dell'acqua nei pori secondo il modello di Archie (Archie, 1942; Keary and Brooks, 1991; Friedman, 2005). In due date abbiamo prelevato campioni di suolo a diverse profondità 0-40, 40-80 in 6 punti di monitoraggio per la misurazione dell'acqua nel suolo in laboratorio. Alla data del 12/03, 6 campioni di suolo a due profondità 0-50, 50-100 sono stati raccolti in diversi siti: tra P10 e il fiume su un sentiero di accesso stradale in terra, in P12 e a 50 metri da P12 sul lato opposto rispetto al fiume per misurare in laboratorio il contenuto di acqua nel suolo e la conducibilità elettrica dell'acqua nel suolo con un rapporto di 1:2,5 peso del suolo/volume dell'acqua. Gli strati di suolo esaminati durante l'installazione dei piezometri

permettono di comprendere le caratteristiche del terreno per il movimento dell'acqua nel mezzo poroso. Nella tabella 1 riportiamo l'analisi granulometrica per ciascun sito di monitoraggio a diverse profondità.

Distance	Depth	IDS1	S1		IDS2	S2	
m	cm		sand%	clay%		sand%	clay%
25	40	P7	20	28	P10	25	31
	90		20	24		25	31
	140		5	32		45	22
	170		5	36		10	36
75	45	P8	15	38	P11	15	38
	95		5	41		25	34
	130		15	36		15	36
	170		20	34		25	26
150	55	P9	20	32	P12	20	36
	90		25	26		25	32
	125		45	12		25	26
	170		60	8		25	29

Tabella 1: Analisi granulometrica del suolo per il punto di monitoraggio con distanza dal fiume e profondità.

I dati sull'evapotraspirazione e le precipitazioni sono stati raccolti dalla stazione meteo regionale più vicina situata a 2 km dal sito. Per valutare la variazione del livello dell'acqua di superficie del 'Po di Volano' (WL_R), abbiamo raccolto dati dal sistema di boe marine per il monitoraggio del livello del mare. L'intera area di studio, così come la sezione di studio del 'Po di Volano', è stata monitorata con un GPS di precisione al fine di misurare il livello del suolo (GSL) e il fondo del fiume.

L'analisi delle serie temporali è stata condotta al fine di valutare la stagionalità del livello dell'acqua sotterranea (GWL) in ciascun punto di monitoraggio, in relazione alla ricarica dell'acqua piovana durante l'inverno. Durante la stagione secca, la serie temporale del GWL è stata valutata in relazione al contenuto di acqua nel suolo al fine di tener conto dell'applicazione di acqua di irrigazione integrata con i volumi irrigui necessari per il leaching dei sali. Il monitoraggio continuo in P7A/P7B e P9A/P9B dei carichi idraulici e delle misurazioni ECw a diverse profondità, e nel 'Po di Volano' del livello dell'acqua di superficie e dell'ECw, ha permesso di valutare l'interazione tra l'infiltrazione di acque sotterranee salmastre profonde provenienti dal mare e la falda freatica superficiale, nonché l'interazione tra l'infiltrazione del letto del fiume 'Po di Volano' nella falda acquifera superficiale. Il contenuto di acqua nel suolo e la concentrazione di sali nella zona radicale sono stati monitorati prelevando campioni di suolo e utilizzando la misurazione EM38 al fine di valutare i processi di salinizzazione del suolo legati al movimento dell'acqua insatura dalla falda freatica, alla frangia capillare, al sistema di drenaggio a tubi e alla zona vadosa.

2.2 Analisi dati

2.2.1 Acqua di falda ipodermica e salinità

Nella Figura 3 riportiamo la serie temporale del livello dell'acqua sotterranea (GWL - metri sul livello del mare) dei piezometri P7, P9, P10, P12, il livello dell'acqua del 'Po di Volano' (WL_R) e le precipitazioni orarie dal registro delle precipitazioni delle ultime 24 ore (Rain). Al fine di valutare la relazione del GWL tra i piezometri situati nella stessa sezione, abbiamo calcolato le differenze di GWL tra P7 e P9 (DeltaS1) e P10 e P12 (Delta S2). Una linea verticale è tracciata per identificare le diverse stagioni: la stagione di irrigazione - da aprile a ottobre - e la stagione senza irrigazione. Le misurazioni del GWL mostrano una stagionalità con poche differenze tra la stagione di irrigazione e quella invernale di circa 0,5 metri. Il valore di DeltaS1 è quasi

costante per tutta la stagione di monitoraggio con un valore compreso tra -0,3 e -0,5 metri. Il GWL a 150 metri dal fiume è sempre più basso con poche variazioni durante l'anno. Le misurazioni del GWL di P7 e P9 sono linee quasi parallele con una sovrapposizione totale tra i due anni. Per P10 e P12 tracciamo la serie temporale di DeltaS2, dove calcoliamo un valore medio di -0,05 ma con forti fluttuazioni giornaliere. Il piezometro P12 mostra una risposta geo-idrologica diversa rispetto agli altri punti di monitoraggio. Gli effetti delle piogge o dei periodi secchi possono influenzare il P12 con valori di picco estremi. Le piogge influenzano il GWL di tutti i piezometri, principalmente durante la stagione invernale. Nel periodo estivo gli effetti si concentrano alla fine della stagione in presenza di piogge. Durante l'inverno, la pioggia leggera con intensità ridotta produce forti fluttuazioni del GWL nonostante la stagione estiva in cui si registrano effetti leggeri per la falda freatica superficiale. Un'evidenza degli effetti climatici sul GWL della falda freatica superficiale può essere identificata nelle differenze tra la due stagioni estive. Il sistema di drenaggio tubolare è situato a -1,5 mBGL. Solo per brevi periodi il GWL supera il livello dei drenaggi e la rapida diminuzione del livello dell'acqua dovrebbe essere correlata all'attivazione del sistema di drenaggio.

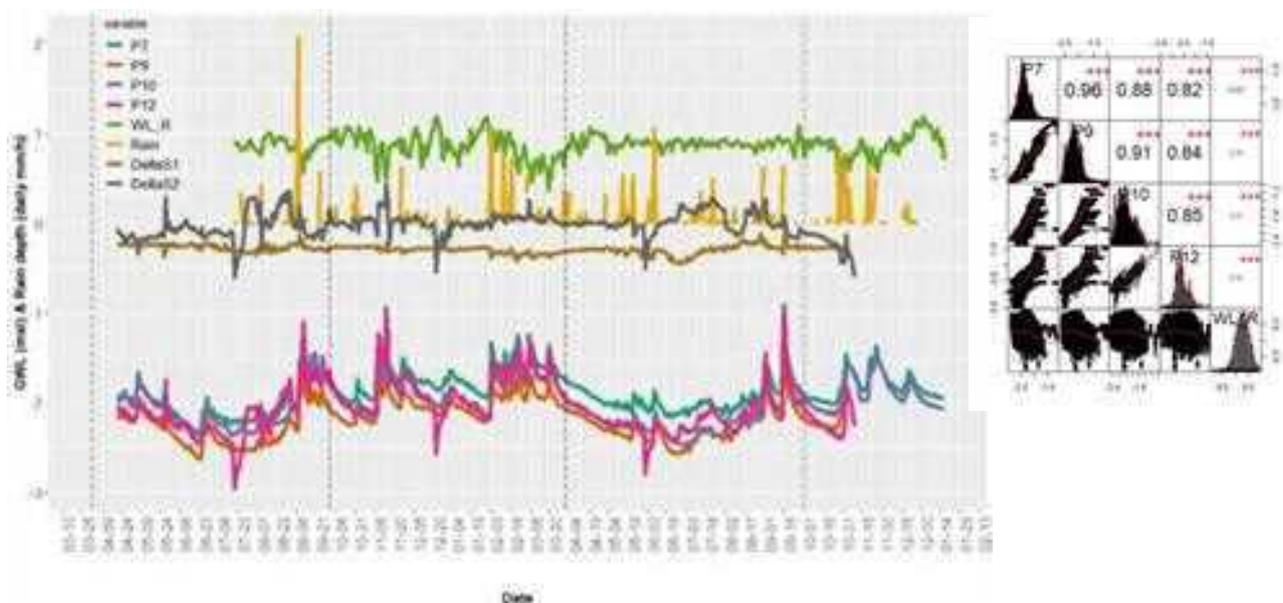


Figura 3: Grafico delle serie temporali e delle correlazioni delle misurazioni del livello dell'acqua sotterranea (GWL) (P7, P9, P10, P12), livello dell'acqua nel fiume 'Po di Volano' (WL_R), precipitazioni medie orarie (mm), differenza tra P7 e P9 (Delta S1) e differenza tra P10 e P12 (Delta S1). La linea verticale consente di valutare la transizione tra la stagione di irrigazione e la stagione invernale.

Nella Figura 3 è riportato il grafico di correlazione tra la profondità della falda freatica (GWL) nei piezometri e il livello dell'acqua del fiume 'Po di Volano' (WL_R). Come previsto, la correlazione tra P9-P7-P10-P12 è elevata. Il valore di correlazione più basso si verifica tra P10-P12, probabilmente dovuto a diverse condizioni geo-idrologiche del suolo. Una moderata diminuzione della GWL è misurata quando la profondità della falda è inferiore a -1,5 mBSL, ad esempio durante giugno. Le fluttuazioni del livello dell'acqua di superficie (WL_R) hanno una variabilità inferiore rispetto alle variazioni della GWL, principalmente a causa del regime idrologico del fiume, dove l'acqua viene allontanata dalla stazione di pompaggio per evitare inondazioni nelle aree a monte e si correla alle fluttuazioni stagionali del livello del mare. Inoltre, il ritardo temporale tra WL_R e GWL è inversamente correlato alla conducibilità idraulica delle sponde e del letto del fiume, così come agli strati del suolo, e dovrebbe essere di 1-3 mesi. Questo spiegherebbe la bassa correlazione inversa che abbiamo riscontrato tra WL_R e GWL nei piezometri (Figura 1, grafico di correlazione). In Figura 1 abbiamo misurato una diminuzione di WL_R, probabilmente dovuta alla scarsa profondità delle piogge e alla bassa portata dalla stazione di pompaggio. La diminuzione è stata registrata nei mesi successivi, probabilmente a causa dell'aumento dell'evapotraspirazione, dell'assenza di irrigazione e della bassa intensità della risalita del fiume. In Figura 4 riportiamo le serie temporali della GWL per i piezometri P7a, P7b, P9a e P9b: la sezione dello

schermo dei piezometri P7a e P9a è situata, rispettivamente, a 2,10 e 2,90 mbgl, mentre P7b e P9b sono posizionati a 1,10 e 1,60 mbgl. Come evidenziato nella Figura 3, la fluttuazione della GWL è fortemente correlata alla ricarica delle piogge, principalmente durante la stagione invernale, mentre nel periodo estivo la variazione è legata alla quantità di irrigazione e verrà valutata nella sezione successiva considerando il potenziale di acqua nel suolo nella zona radicale durante la stagione di irrigazione. Le fluttuazioni della GWL in tutti i piezometri sono fortemente legate alle piogge durante la stagione invernale. Abbiamo dati mancanti per P9b durante il periodo invernale a causa di problemi al datalogger. Nonostante ciò, possiamo evidenziare che in P9, il carico idraulico di P9a è superiore a P9b in primavera e autunno, mostrando la presenza di un gradiente stagionale delle acque sotterranee con maggiore salinità probabilmente legata alla risalita di acque sotterranee salmastre dalla falda superiore nello strato superiore confinato. In P7 possiamo identificare un livello stazionario durante l'estate a causa della mancanza di acqua nel piezometro. La risposta della GWL in P7a e P7b è accoppiata e associata a una bassa variabilità degli strati del suolo. In alcuni periodi possiamo identificare un certo gradiente di carico idraulico come i piezometri P9 a/b ad esempio a giugno, ma i gradienti idraulici sono probabilmente principalmente legati alla variabile risposta al ritardo temporale dovuto alla litologia. Nel periodo invernale tutti i piezometri GWL rispondono alle piogge allo stesso modo. Per quanto riguarda l'EC, possiamo evidenziare una risposta totalmente diversa tra il punto P7 e P9. In P9a c'è una tendenza costante senza fluttuazioni giornaliere o mensili. I valori di EC in P9b sono piuttosto alti senza alcun effetto evidente di irrigazione o piogge sulle fluttuazioni della GWL.

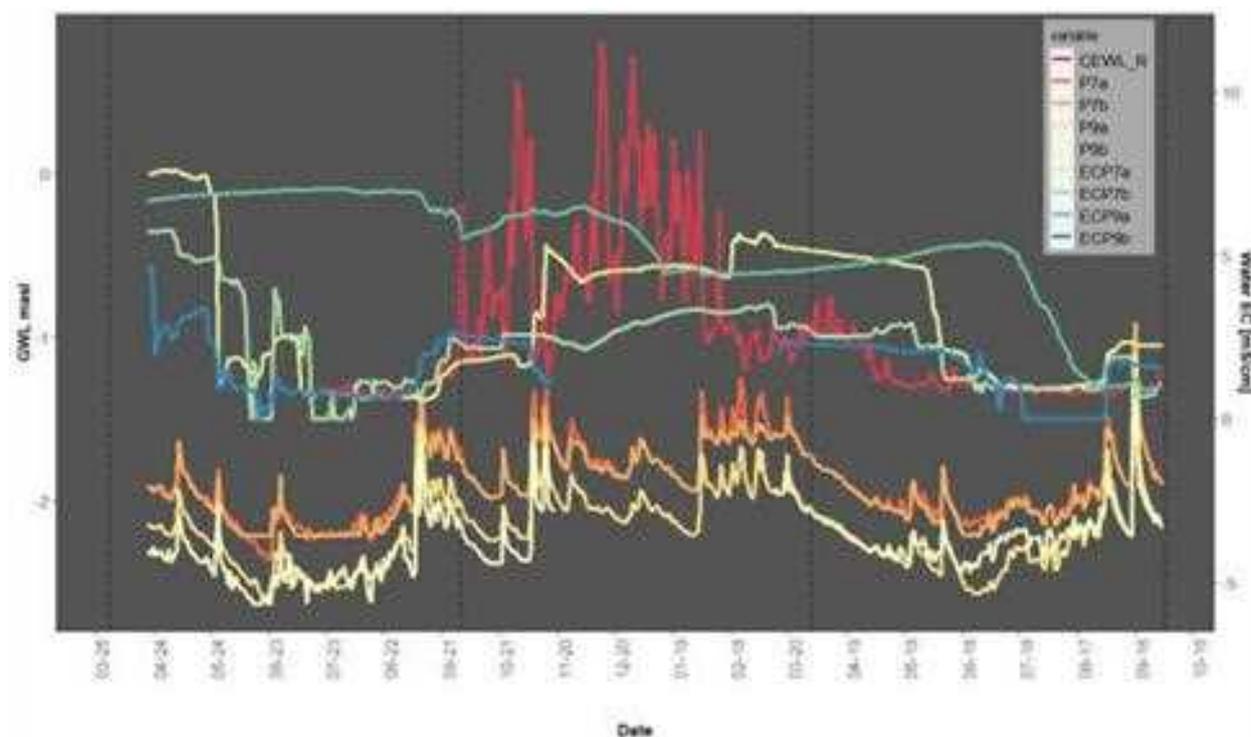


Figura 4: Serie temporali delle misurazioni della profondità della falda (GWL) nei piezometri (P7a, P7b, P9a, P9b) della Sezione 1 con schermatura a diverse profondità (7a e 9a sono i piezometri più profondi). La linea verticale consente di valutare la transizione tra la stagione di irrigazione e la stagione invernale. Per i valori di EC riportiamo il riferimento sull'asse y secondario.

La serie temporale dell'EC dell'acqua di P7b, P9b e P7a mostra una certa stagionalità con valori di EC più elevati durante la stagione invernale. Mentre in estate, ECP7b ed ECP9b presentano forti fluttuazioni idrologiche probabilmente legate all'irrigazione. Un'inversione del gradiente di salinità è riportata in P7 da quando P7a mostra un valore più basso di EC rispetto a P7b fino a novembre. Probabilmente alla fine

dell'estate, l'infiltrazione d'acqua dal fiume nella zona iporreica, con un EC di circa 0,3 mS/cm, influisce sulla qualità delle acque sotterranee principalmente nei livelli più profondi riducendo l'EC delle acque sotterranee di P7a. La stagionalità dell'EC per P7a, P7b e P9b segue la stessa tendenza con valori più bassi da maggio/giugno fino a novembre. La serie temporale dell'EC in P9a mostra una diminuzione lineare durante il monitoraggio, con una forte riduzione nel luglio, forse legata alla percolazione dell'acqua nel suolo. I due anni di monitoraggio hanno mostrato un diverso andamento delle precipitazioni e del clima, con un anno secco e caldo e condizioni umide. L'EC misurato nel Po di Volano mostra un EC stazionario durante la stagione estiva, mentre in inverno c'è una forte fluttuazione con valori elevati tra 5-10 mS/m, principalmente dovuti alle maree.

2.2.2 Effetti del leaching sui processi di salinizzazione dei suoli

Nella Figura 5 riportiamo la serie temporale della tensione dell'acqua nel suolo misurata ad intervalli orari nella stagione estiva. Presso la posizione P7, per le profondità di 0,5 e 0,25 mBGL, e la GWL dei piezometri P7a e P7b. Alla fine di aprile, prima dell'inizio dell'irrigazione, il contenuto di acqua nel suolo diminuisce. A partire da circa il 10 maggio, le applicazioni di irrigazione aumentano il contenuto di acqua nel suolo a una profondità di 0,25 mBGL seguendo la ben nota tendenza legata all'assorbimento delle radici durante l'irrigazione, ad eccezione dell'evento di pioggia alla fine di maggio e all'inizio di giugno, quando l'infiltrazione dell'acqua ha raggiunto il sensore più profondo a 0,5 mBGL. Dopo il 20 giugno a 0,25 mBGL e dopo il 1° luglio a 0,5 mBGL, il contenuto di acqua nel suolo raggiunge la saturazione fino alla fine di settembre.

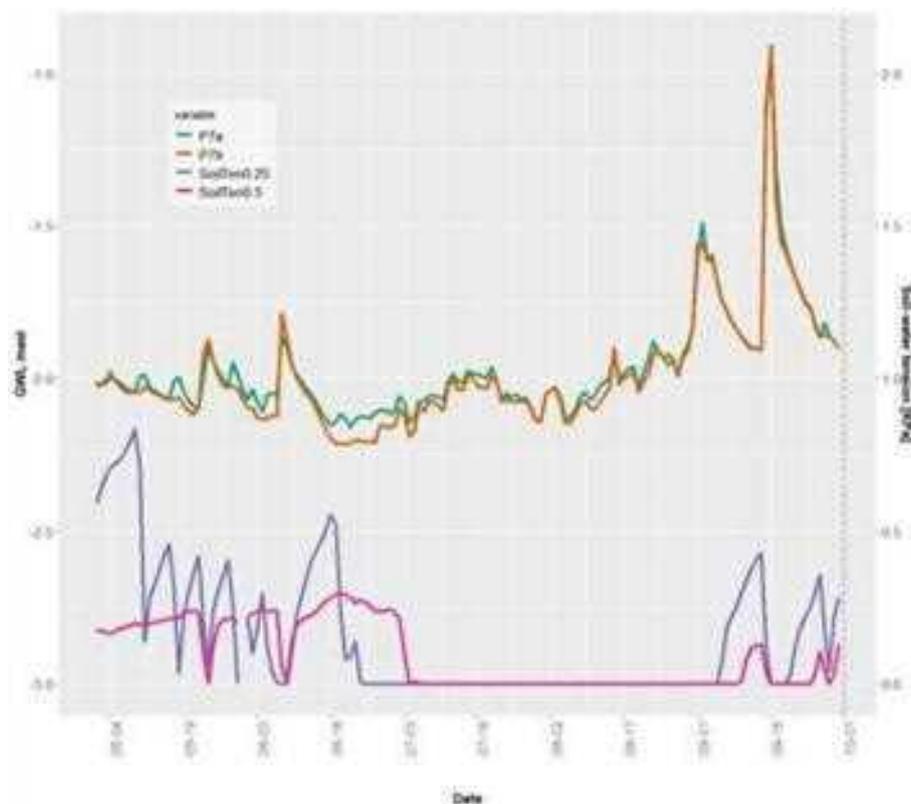


Figura 5: Tensione dell'acqua nel suolo a profondità di 25 e 50 cm sotto il livello del terreno e misurazione della GWL (livello dell'acqua nel terreno) - in metri sotto il livello del suolo (mBSL) - per i piezometri P7a, P7b, P9a, P9b.

Tra luglio e settembre, l'acqua di irrigazione, applicata per dilavare la salinità del suolo, raggiunge la falda freatica aumentando la GWL di circa 0,3 m. L'applicazione di acqua di irrigazione di buona qualità riduce i valori di EC delle acque sotterranee, come possiamo dedurre dalla Figura 2. Fino a settembre, la GWL non ha mai raggiunto la profondità di drenaggio del tubo di 1,5 mBSL, quindi il sale lavato dalla zona delle radici non è stato rimosso dai livelli del suolo. L'efficacia della tecnica del leaching è legata all'efficienza del drenaggio:

la lisciviazione del sale dalla zona radicale potrebbe aumentare la GWL e la frangia capillare, e il movimento ascensionale insaturo dell'acqua nel suolo potrebbe aumentare i processi di salinizzazione del suolo. L'applicazione continua di acqua di irrigazione può ridurre il movimento ascensionale insaturo dalla falda freatica superficiale, che potrebbe influenzare la zona radicale riducendo il gradiente di potenziale dell'acqua nel suolo e quindi, il flusso di massa.

Nella Figura 6 tracciamo l'interpolazione spaziale del rilevamento del suolo ad induzione elettromagnetica (EMI) con EM38 per il 5 luglio. Abbiamo effettuato le stesse misurazioni in altre date, il 31 maggio e il 1° agosto. I valori bassi di circa 40-60 mS/m sono localizzati nella zona nord-ovest della parcella. In tutto il frutteto abbiamo trovato valori di 80-110 mS/m, con valori più bassi localizzati in alcune zone, probabilmente a causa di differenti litologie come già evidenziato. La strada sterrata localizzata tra la pianta del frutteto e la sponda del fiume (zona Se1) mostra un alto valore di EC fino a 180 mS/m.

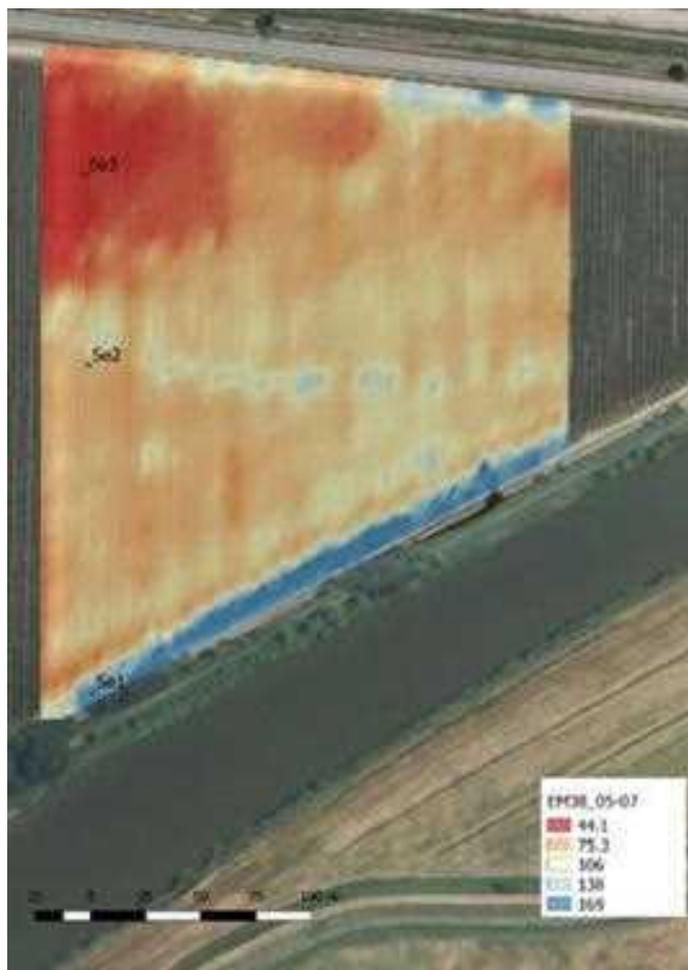


Figura 6: Mappa della conducibilità elettrica apparente del suolo misurata con EM38 con interpolazione spaziale IDW.

Sono stati raccolti sei campioni di suolo: 1) a circa 2-3 metri di distanza dall'orto in una strada sterrata (Se1), 2) presso P10 (Se2) e 3) a circa 100 metri di distanza da P12 in direzione nord-ovest (Se3). I campioni a due profondità, 0-40 cm e 40-80 cm, sono stati analizzati in laboratorio per misurare la conducibilità elettrica dell'acqua con rapporto acqua-suolo 1:2. I valori sono riportati nella Tabella 2. Nella posizione Se1 abbiamo riscontrato valori di conducibilità elettrica molto elevati, quasi 4 mS/cm, mentre in Se2 e Se3 abbiamo riscontrato valori decrescenti in base alla misurazione di EMI con valori di contenuto di acqua nel suolo non così diversi.

Il rilevamento del suolo con i sensori EMI ha mostrato una distribuzione spaziale simile di ECa: valori elevati lungo la cavedagna, valori quasi costanti nell'appezzamento e valori bassi nella zona nord-ovest. La zona a basso livello di ECa è probabilmente legata a uno strato di suolo con una percentuale di sabbia più elevata. I livelli di sabbia nelle sezioni 1 e 2 mostrano la stessa tendenza, una percentuale di sabbia più alta nello strato più profondo all'aumentare della distanza dalla riva del fiume. Una distribuzione simile della sabbia con la profondità di P7 è stata trovata nel punto di campionamento a Se3. Quindi, nella parte settentrionale dell'area di rilevamento con EMI è possibile identificare una zona a basso livello di ECa probabilmente legata a una percentuale di sabbia più bassa nei livelli inferiori del suolo.

I valori elevati di ECa tra l'appezzamento e la riva del fiume sono costanti durante l'anno senza variazioni durante la stagione di irrigazione. L'applicazione dell'acqua di irrigazione ha influenzato l'ECa. Nella zona irrigata i valori di ECa rimangono sempre più bassi rispetto all'area di Se1, mostrando che i valori elevati di ECa sono legati alla EC dell'acqua nel suolo più che al contenuto di acqua nel suolo. La zona Se1 potrebbe rappresentare la condizione del suolo senza irrigazione e leaching: in presenza di una falda salmastre superficiale, la zona di frangia capillare e il flusso insaturo verso l'alto potrebbero aumentare l'accumulo di salinità del suolo nella zona radicante.

2.2.3 Conclusioni

Diversi studi hanno affrontato l'interazione tra acque superficiali e sotterranee in aree agricole (Gafni et al., 1992; Barlow et al., 2000; Fernald et al., 2010; Arumí et al., 2009; Siebert et al., 2010; Ochoa et al., 2013; McCallum et al., 2013; Shah, 2014; Tian et al., 2015), principalmente a livello di bacino. Nelle aree costiere a bassa altitudine, l'interazione tra le acque sotterranee superficiali e le acque sotterranee artesiane profonde salmastre, integrate agli effetti di drenaggio di fossi e drenaggio tubolare, è stata intensamente studiata a livello di appezzamento (Maas 2007; Eeman et al. 2011; De Louw et al. 2011, 2013; Velstra et al. 2011) e a livello regionale (Maas 2007, Mollema et al. 2013).

Nell'area di studio, sono state verificate le prime osservazioni della conducibilità elettrica delle acque sotterranee e del livello della lente d'acqua dolce, così come i processi di salinizzazione del suolo, influenzati dai rilasci in falda dal fiume e dall'acqua di irrigazione. Le dinamiche stagionali e inter-stagionali del livello delle acque sotterranee superficiali e dell'umidità del suolo sono state monitorate: piogge, acqua di irrigazione e acque di infiltrazione dal fiume penetrano nel suolo superficiale e nella zona radicante andando a diluire le acque sotterranee più salmastre e il drenaggio a tubi rimuove l'acqua in eccesso. Le serie temporali del carico idraulico e della conducibilità elettrica in P7a e P9a mostrano che i rilasci di acqua dal letto del fiume influiscono sul livello e sulla qualità delle acque sotterranee con un impatto decrescente con la distanza. La conducibilità elettrica misurata nei piezometri mostra una fluttuazione stagionale legata alla ricarica delle acque dolci, ad eccezione di P9a. Nel caso di acque sotterranee salmastre, la salinizzazione del suolo dovuta al flusso insaturo verso l'alto, ad esempio la risalita capillare, è ben nota in regioni aride (Prathapar et al., 1992; Ritzema, 1994; Zhang et al., 1999). La quantità di irrigazione applicata durante la stagione estiva consente di ridurre e controllare l'accumulo di salinità nel suolo e, nella stagione delle piogge oltre all'applicazione delle tecniche del leaching, la percolazione dell'acqua nel suolo e il funzionamento del drenaggio tubolare consentono la rimozione del sale. Una fluttuazione stagionale della conducibilità elettrica dell'acqua nei piezometri può rappresentare gli effetti delle diverse condizioni climatiche sui processi idrologici: gli effetti climatici sui processi idrologici del suolo sono forti e il movimento dell'acqua nel suolo argilloso è più complesso di quanto si pensasse in precedenza (Velstra et al. 2011).

3. Az. Agrisfera (Sant'Alberto – RA)

Nei successivi paragrafi sono descritti i rilievi effettuati in campo e i risultati della gestione irrigua tramite il servizio IRRIFRAME, integrato con il modello per il leaching requirement (LR), sviluppato nel presente Piano. Inoltre, saranno presentati i risultati delle simulazioni numeriche, eseguite a posteriori (hindcast), mediante il modello agro-idrologico AquaCrop (versione 7), sviluppato dalla Food and Agriculture Organization (FAO), al fine di calibrare il modello IRRIFRAME integrato col LR. Infine, si analizzerà l'effetto del LR sui processi di salinizzazione dei suoli e si valuterà l'effetto di interventi irrigui differenziati sulla risposta produttiva della soia, coltivata dalla cooperativa agricola Agrisfera durante le stagioni di monitoraggio 2021 e 2022.

3.1 Materiali e Metodi

I campi selezionati per la sperimentazione durante le stagioni irrigue 2021 e 2022, rispettando l'avvicendamento culturale previsto dalla cooperativa agricola Agrisfera, sono evidenziati in Figura 7 bordati rispettivamente da una linea di colore rosso (Marcabò squadra 4) e azzurro (Marcabò squadra 3) e hanno un'estensione di 31.22 e 20.72 ha. Tali campi si trovano immediatamente a sud del fiume Reno (RA) e distano circa 3 km dalla costa.



Figura 7: Localizzazione dei campi oggetto di studio nelle stagioni irrigue 2021 (contorno di colore rosso) e 2022 (contorno azzurro) e posizione delle stazioni meteo P02 e P07.

3.1.1 Monitoraggio ed analisi preliminare

1. Condizioni meteorologiche

I dati meteorologici utilizzati nelle simulazioni sono stati derivati dalle misurazioni eseguite dalle stazioni meteo P02 e P07 appartenenti alla rete di sensori wireless installata nell'area di studio nell'ambito del progetto LIFE AGROWETLANDS II (2016–2020) (Figura 7). Tali dati includono i valori giornalieri di temperatura minima e massima, umidità media dell'aria, velocità media del vento, precipitazione cumulata e radiazione solare incidente a terra. Le Figure 8 e 9 mostrano le condizioni meteo-climatiche derivate per ciascuno dei due

periodi di studio ed utilizzate nelle simulazioni. I valori di precipitazione cumulata giornaliera sono stati misurati dalla stazione P02, in quanto il pluviometro della stazione P07, andato fuori uso il 2 gennaio 2022, non è più stato ripristinato. I valori giornalieri di radiazione solare incidente e temperatura minima e massima del periodo 01/01/2021–16/04/2022 sono stati derivati principalmente dalle registrazioni effettuate dalla stazione P02 e per il periodo 17/04/2022–10/11/2022 dalla stazione P07. Il sensore per la misura della radiazione solare incidente alla stazione P02 ha smesso di funzionare correttamente dal 27 giugno 2022.

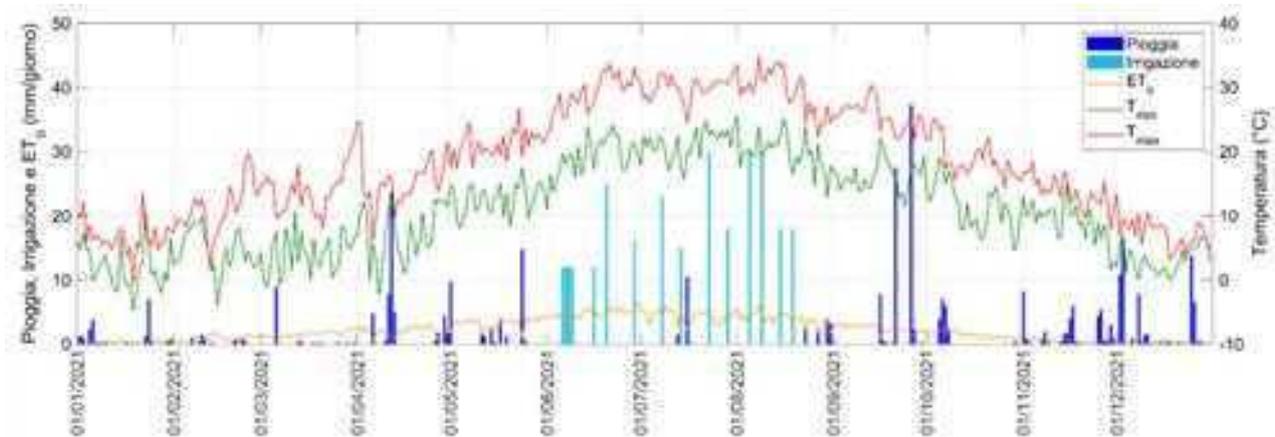


Figura 8.: Valori giornalieri di precipitazione e temperatura minima e massima rilevati nel 2021, evapotraspirazione potenziale (ET_p) stimata mediante la formula di Penman-Monteith e interventi irrigui eseguiti dalla cooperativa Agrisfera nella porzione est del campo.

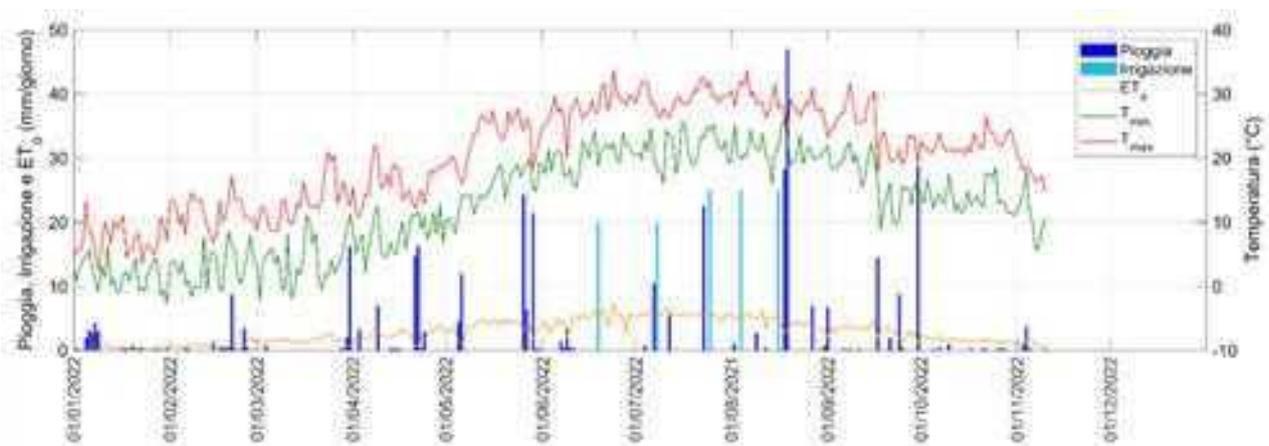


Figura 9: Valori giornalieri di precipitazione e temperatura minima e massima rilevati nel 2022, evapotraspirazione potenziale (ET_p) stimata mediante la formula di Penman-Monteith e interventi irrigui eseguiti dalla cooperativa Agrisfera nella porzione nord del campo.

Come si osserva nella successiva Figura 10, sensibili differenze emergono tra le registrazioni di temperatura delle due stazioni, con valori inferiori fino a 3°C alla stazione P07 più prossima alla costa rispetto alla stazione P02, più interna di circa 3 km.

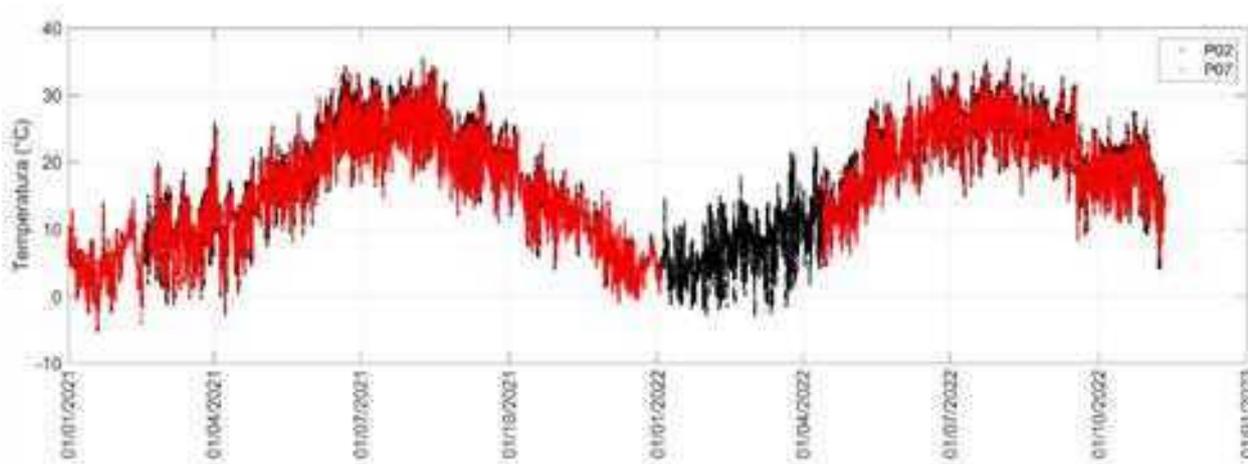


Figura 10: Temperatura misurata dalle stazioni meteorologiche P02 (in nero) e P07 (in rosso).

In Tabella 2 è mostrato un confronto diretto con i valori medi mensili di precipitazione e temperatura minima e massima relativi ai due trentenni di riferimento 1961–1990 e 1991–2020, stimati da ARPAE alla stazione di Guagnino (12.21°E, 44.69°N) nel comune di Comacchio (FE), circa 13 km a Nord dell'area di studio.

	Precipitazione				T _{min}				T _{max}			
	Guagnino		Marcabò		Guagnino		Marcabò		Guagnino		Marcabò	
	1961–1990	1991–2020	2021	2022	1961–1990	1991–2020	2021	2022	1961–1990	1991–2020	2021	2022
Gennaio	49.1	33.6	21.0	18.3	-0.6	0.0	2.0	1.7	5.5	6.9	6.8	7.2
Febbraio	41.4	46.9	6.3	16.9	1.2	0.7	4.5	3.0	8.6	9.8	11.0	11.7
Marzo	50.0	39.8	11.3	19.7	4.3	4.8	4.1	3.9	12.4	14.2	14.0	13.1
Aprile	47.9	47.4	50.5	45.9	8.4	9.0	7.1	8.1	16.6	18.1	15.4	15.9
Maggio	54.5	58.1	35.6	69.2	12.6	13.6	12.6	15.1	21.4	23.3	21.1	23.1
Giugno	44.7	61.6	2.8	6.1	16.2	17.5	19.2	20.3	25.4	27.8	29.0	28.0
Luglio	51.1	35.0	12.3	39.6	18.6	19.6	21.1	21.6	28.0	30.4	30.0	29.4
Agosto	74.2	55.6	12.7	87.7	18.5	19.3	20.0	21.2	27.7	30.3	29.5	28.7
Settembre	59.4	73.8	76.6	62.3	15.4	15.1	16.2	16.7	24.5	25.5	25.6	24.3
Ottobre	54.7	79.8	19.7	3.6	10.6	10.8	11.5	13.8	19.4	19.9	18.9	22.3
Novembre	74.6	72.2	41.2		5.4	6.2	9.2		12.1	13.1	13.7	
Dicembre	53.7	53.5	62.7		0.6	1.0	3.1		6.4	7.5	7.4	

Tabella 2: Precipitazioni cumulate mensili e valori medi mensili di temperatura minima e massima rilevati nel 2021 e 2022 nell'area di studio, Marcabò, e confronto con i valori corrispondenti stimati da ArpaE alla stazione di Guagnino nei due trentenni 1961–1990 e 1991–2020 (<https://www.arpaE.it/temi-ambientali/clima/dati-e-indicatori/tabelle-climatiche>).

Una carenza di precipitazioni ha caratterizzato i primi tre mesi del 2021 con un valore cumulato complessivo di 38.6 mm rispetto ai circa 120 mm attesi dal clima 1991–2020 (meno di 1/3 rispetto alle attese). La carenza di precipitazioni si è poi intensificata a partire dalla primavera 2021 protraendosi fino alla metà di settembre con 63.4 mm di pioggia caduti da maggio ad agosto a fronte di circa 210 mm attesi dal clima 1991–2020. Le precipitazioni di settembre 2021, concentrate nella seconda metà del mese, hanno raggiunto un valore di 76.6 mm, in linea con il valore medio cumulato per tale mese alla stazione di Guagnino nel trentennio 1991–2020. Decisamente inferiori alla norma sono risultate invece le precipitazioni di ottobre, mentre la cumulata dei mesi di novembre e dicembre ha raggiunto complessivamente un valore di 103.9 mm, leggermente inferiore rispetto ai 126 mm attesi.

Precipitazioni notevolmente inferiori alle attese climatiche (1991–2020) hanno caratterizzato anche i primi tre mesi del 2022. Mentre le precipitazioni di aprile e maggio sono state nel complesso prossime alla norma, con

un valore cumulato di 115.1 mm rispetto ai 105.5 mm del clima 1991–2020, le precipitazioni di Giugno e Luglio hanno raggiunto un valore di 45.7 mm, inferiore al 50% rispetto alle attese del clima del trentennio più recente. I forti temporali registrati tra il 18 e il 19 agosto 2022 hanno prodotto localmente 75.3 mm di pioggia portando complessivamente il cumulato mensile ad un valore decisamente elevato rispetto alla media climatica. Le precipitazioni di settembre hanno registrato un valore cumulato di 62.3 mm, di poco inferiore ai 73.8 mm del clima 1991–2020.

Dal punto di vista termico, temperature notevolmente superiori alla norma, sia rispetto al clima 1961–1990 che rispetto al clima 1991–2020, hanno caratterizzato il mese di febbraio 2021. Notevole variabilità termica si è osservata tra la fine di marzo e l’inizio di Aprile 2021 con un significativo calo termico che ha fatto registrare nel mese di aprile temperature decisamente inferiori rispetto alla media climatica dei due trentenni di riferimento. Alla scarsità di precipitazioni nei mesi estivi si sono aggiunte persistenti ondate di calore con temperature particolarmente elevate a fine giugno e metà agosto.

Anche le temperature del mese di febbraio 2022 sono risultate superiori rispetto al clima medio dei due trentenni di riferimento. Inferiori al clima 1991–2020 sono risultate invece le temperature dei mesi di Marzo e Aprile 2022. Valori medi mensili della temperatura minima superiori di 1.5–3°C al clima del 1991–2020 hanno caratterizzato tutti i mesi da maggio ad ottobre. Temperature massime particolarmente elevate rispetto all’andamento stagionale normale si sono registrate nei mesi di maggio, Giugno e Luglio 2022 (Tabella 1 e Figura 4), in coincidenza con la carenza di precipitazioni.

2. Caratterizzazione della falda

Nel XIX secolo la zona degli appezzamenti oggetto di studio era occupata da una laguna salata; ne è prova diretta il fatto che, durante la posa del piezometro nel campo di studio 2022, sono state rinvenute torbe a 225 cm di profondità, con conducibilità dell’acqua di falda a 5,5 mS/cm. Il suolo, pertanto, in particolare negli strati profondi non interessati dal dilavamento superficiale, contiene ancora sali di formazione. Entrambi i campi oggetto di studio sono dotati di un sistema di drenaggio sotterraneo realizzato con tubi forati in PVC posti ad una profondità di 0.9 m dal piano campagna e versanti nella rete di scolo. Questo sistema di drenaggio ha il duplice effetto di rimuovere l’acqua salata che risale dalla falda e allontanare l’acqua di pioggia in eccesso nei periodi più piovosi, con l’effetto complessivo di mantenere il suolo agricolo superficiale in condizioni aerate e di salinità accettabile.

La Tabella 3 riporta i valori della conducibilità elettrica dell’acqua nello strato più superficiale della falda, misurati manualmente tramite freatimetro nel 2021 e nel 2022, nei piezometri installati in ciascun campo di studio, in corrispondenza del blocco del perno centrale del pivot ed utilizzati nelle simulazioni numeriche.

Piezometro nel campo sperimentale del 2021			Piezometro nel campo sperimentale del 2022		
Data	Livello (m da p.c.)	EC _{gw} (dS/m)	Data	Livello (m da p.c.)	EC _{gw} (dS/m)
29/06/2021	1.05	16.1	23/06/2022	1.12	20.4
20/07/2021	0.88	2.6	02/08/2022	1.11	12.1
29/07/2021	0.90	9.9			
16/08/2021	0.95	11.4			
21/10/2021	1.08	16.0			

Tabella 3: Livello e conducibilità elettrica dell’acqua nello strato più superficiale della falda (EC_{gw}) misurati nei piezometri installati nei campi sperimentali durante ciascuna stagione di monitoraggio.

La conducibilità elettrica è stata misurata anche in profondità, ogni 0,5 m fino all’estremità inferiore dei piezometri (4 m nel piezometro del campo studio 2021 e 3 m nel piezometro del campo studio 2022). La stratificazione dei valori di salinità nella falda freatica è un fenomeno frequente in zone prossime alla costa e, spesso, anche l’approfondimento di un solo metro di profondità può indurre variazioni di decine di mS/cm.

Una chiara rappresentazione di questo fenomeno è riportata nel seguente Grafico 1.

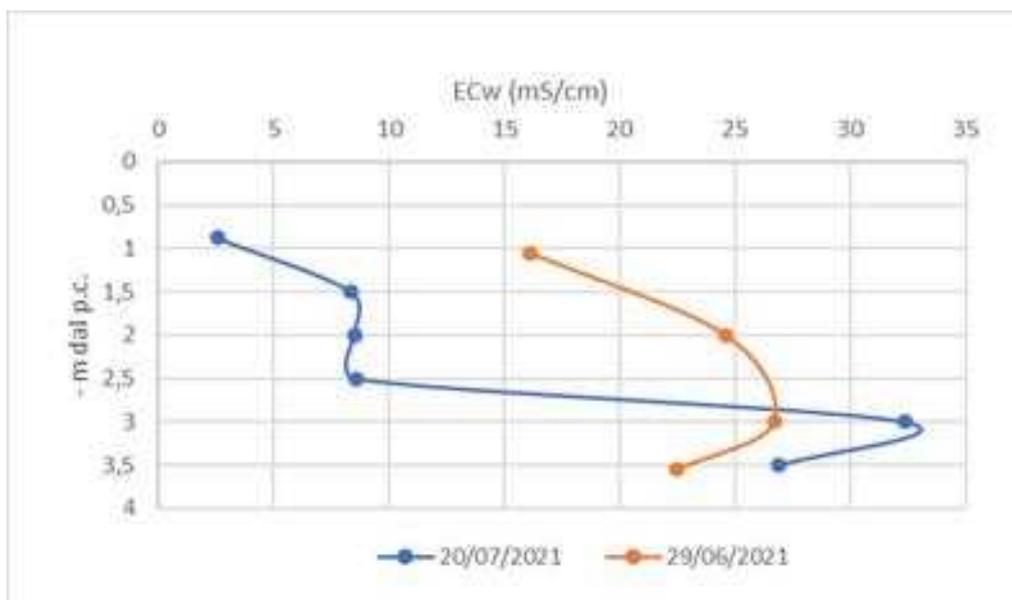


Grafico 1: Andamento della conducibilità elettrica nell'acqua di falda freatica rilevata, tramite freatimetro, ogni 0,5 m e all'interno del piezometro installato nel campo di studio 2021.

Il 29 giugno, la parte superficiale della falda freatica, situata attorno al metro di profondità, mostra conducibilità superiore ai 15 mS/cm, mentre, solo 3 settimane più tardi (20 luglio), indica valori di poco superiori ai 2,5 mS/cm, limite che discrimina le acque non adatte all'irrigazione (D.Lgs. 31/01). Procedendo verso il basso, i valori di entrambe le curve tendono a convergere in corrispondenza dei 3 m di profondità, ove la conducibilità di luglio diventa maggiore (32,4 mS/cm contro 26,7); i valori si avvicinano e si stabilizzano ancora più in basso: 26,9 mS/cm contro 22,5. L'aspetto più interessante è costituito dal fatto che, al 20 luglio, la conducibilità dell'acqua di falda diminuisce notevolmente nel tratto fra gli 1 ed i 2,5 m di profondità, assestandosi a circa 8 mS/cm, mentre a giugno i valori oscillavano fra 15 e 25 mS/cm. In presenza di precipitazioni piuttosto ridotte, sia nel mese di giugno che in quello di luglio, sono le irrigazioni che possono giustificare questa differenza e questo aspetto sarà di nuovo preso in esame più avanti.

All'interno dei piezometri sono stati anche posizionati strumenti per la lettura in continuo del livello di falda e, solo per il 2021, anche della conducibilità elettrica, come mostrato nei due seguenti grafici 2 e 3.

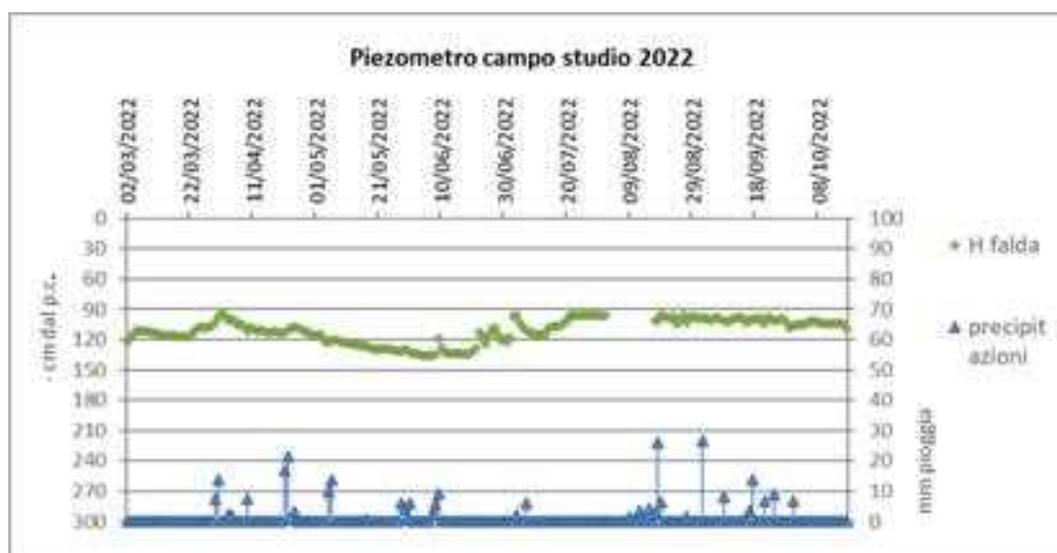


Grafico 2: Andamento del livello di falda nel piezometro a 3 m installato nel campo studio 2022, confrontato con le precipitazioni. Per un piccolo malfunzionamento, non sono disponibili i dati dal 2 agosto al 17 agosto.



Grafico 3: Andamento del livello di falda nel piezometro installato nel campo studio 2021, confrontato con la conducibilità elettrica rilevata dal sensore. Significativa la risalita di conducibilità nel periodo estivo fra fine maggio ed il 10 luglio (avanzamento del cuneo salino?).

Entrambi gli strumenti sono stati posizionati in prossimità del fondo dei piezometri, sicché i valori di conducibilità elettrica rilevati nel 2021 e il cui andamento è rappresentato nel Grafico 3, corrispondono, grosso modo, a quelli registrati dal freatimetro nello stesso periodo e poco sopra i 3 m di profondità.

A partire da fine luglio gli interventi irrigui hanno previsto l'applicazione di volumi irrigui aggiuntivi associati alla tecnica del leaching e ciò è ben visibile nei valori EC_w rilevati dal sensore ove si notato abbassamenti ingenti del dato di conducibilità. Il sistema di drenaggio tubolare posto a 90 cm ha limitato la risalita della falda, infatti, non si sono registrati innalzamenti di livello oltre tale valore. Ciò ha limitato ulteriormente l'eventuale il processo di salinizzazione dei suoli associato al flusso insaturo che comunque risultava ridotto dal minimo gradiente per presenza di umidità nello strato radicato a seguito dell'irrigazione.

3. Caratterizzazione del suolo

Per la caratterizzazione del suolo si è fatto riferimento ai seguenti documenti e rilievi:

- indicazioni di tessitura derivate dal “Monitoraggio della fertilità dei suoli aziendali” eseguito da Pioneer nell'Ottobre del 2018 e condensato nella Relazione suoli 2021, per la cooperativa agricola Agrisfera (Figura 11). Tale monitoraggio è stato eseguito tramite campionamento sistematico del suolo ed applicazione di tecniche geostatistiche su GIS per l'estensione del dato su tutta la superficie dei campi di studio.
- Realizzazione di alcune trivellate fino alla profondità di 120 cm dal p.c. e contestuale descrizione pedologica degli orizzonti di suolo, sulle schede, secondo le modalità indicate nella *Guida di campagna 2020* dell'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia-Romagna.
- Esecuzione di rilievi in campo tramite strumento Field Scout, che consente di ottenere una valutazione qualitativa della conducibilità elettrica del suolo fino alla profondità massima di 60 cm;
- Rilievi tramite strumento ad induzione elettromagnetica EM38.

La stima delle caratteristiche idrauliche (contenuto idrico a saturazione SAT, alla capacità di campo CC, al punto di appassimento PA e conducibilità idraulica a saturazione K_{sat}) è stata eseguita mediante il software “Soil Water Characteristics” dell'USDA. I parametri calcolati sono stati ulteriormente aggiustati per rappresentare meglio gli effetti delle lavorazioni del terreno, la variazione di porosità con la profondità e la sua influenza sull'infiltrazione dell'acqua e sulla capacità di ritenzione del suolo.

Le Tabelle 4 e 5 riportano i valori utilizzati nelle simulazioni per profili di suolo localizzati rispettivamente nelle porzioni est ed ovest del campo di studio nel 2021, a tessitura prevalentemente franco-argillosa (clay

loam secondo la classificazione USDA) e argilloso-limoso (silty clay). I valori riportati nelle Tabelle 4 e 5 sono stati utilizzati anche nelle simulazioni per il campo di studio del 2022: in particolare, i valori della Tabella 5 sono stati impiegati nelle simulazioni delle porzioni nord e sud-ovest del campo e quelli della Tabella 4 per la porzione sud-est. I rilievi pedologici (tre trivellate) eseguiti nel campo di studio 2022 non hanno né supportato né contrastato questa ipotesi di lavoro, in quanto tutti e tre presentano orizzonti a tessitura fine (argilloso limosi o silty clay) fino ad almeno un metro di profondità. Più oltre, in due di essi sono stati osservati orizzonti leggermente più grossolani, ossia franco argilloso limosi (silty clay loam). Inoltre, subito sotto l'orizzonte lavorato, sono prevalenti i colori di matrice grigi o grigio-bluastri, chiari indicatori di forti condizioni di ristagno idrico nel corso dell'anno (disponibilità di ossigeno imperfetta). In base a tali condizioni, essi sono stati associati, con diversi gradi di ricollegamento, ai suoli *GALISANO argillosa limosa, in pianura costiera, a substrato limoso e sabbioso* (GLS3), secondo l'Archivio delle Unità tipologiche di Suolo della Regione Emilia-Romagna. Risultano pertanto congruenti con quanto indicato nella Carta dei suoli regionale 1:50000 ed. 2021, che prevede, per il tratto di territorio in cui si trovano le due aree di studio, un complesso di suoli *MARCABO' franco limosa e GALISANO argillosa limosa, in pianura costiera, a substrato limoso e sabbioso* (MCB1/GLS3).

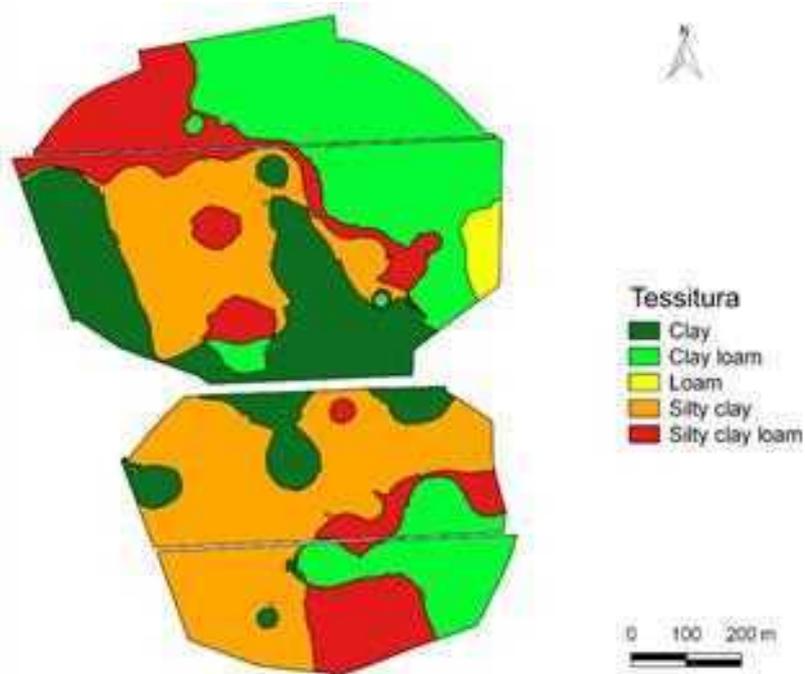


Figura 11: Classificazione della tessitura del suolo secondo il criterio USDA derivata dal "Monitoraggio della fertilità dei suoli aziendali" eseguito da Pioneer nell'Ottobre del 2018 per la cooperativa agricola Agrisfera.

Orizzonte	Profondità (m)	Tessitura	SAT (% vol)	CC (% vol)	PA (% vol)	K _{sat} (mm/giorno)	Compattazione
1	0.00-0.10	clay loam	56.3	39.2	24.2	292	sciolto
2	0.10-0.30	clay loam	56.3	39.2	24.2	292	sciolto
3	0.30-0.60	clay loam	51.4	38.2	24.1	138	normale
4	0.60-0.90	clay loam	44.1	36.7	24.0	25	denso
5	0.90-1.20	clay loam	44.1	36.7	24.0	25	denso

Tabella 4: Caratteristiche del suolo a tessitura prevalentemente franco-argillosa utilizzate nelle simulazioni.

Orizzonte	Profondità (m)	Tessitura	SAT (% vol)	CC (% vol)	PA (% vol)	K _{sat} (mm/giorno)	Compattazione
1	0.00-0.10	silty clay	58.5	41.5	27.0	283	sciolto
2	0.10-0.30	silty clay	58.5	41.5	27.0	283	sciolto
3	0.30-0.60	silty clay	53.9	40.6	26.9	138	normale
4	0.60-0.90	silty clay	47.0	39.2	26.8	31	denso
5	0.90-1.20	silty clay	47.0	39.2	26.8	31	denso

Tabella 5: Caratteristiche del suolo a tessitura prevalentemente argilloso-limosa utilizzate nelle simulazioni.

Un ulteriore controllo dell’attendibilità delle cartografie prodotte da Pioneer è stato svolto effettuando, nell’intera superficie del campo studio 2022, un rilievo tramite strumento ad induzione elettromagnetica EM38. Tale strumento è in grado di cogliere variazioni significative di caratteri del suolo come tessitura, salinità o % di umidità, con una profondità d’indagine di circa 1,5 m. I valori di conducibilità, acquisiti e georeferenziati, hanno consentito la realizzazione della mappa presente in Figura 12, a destra.

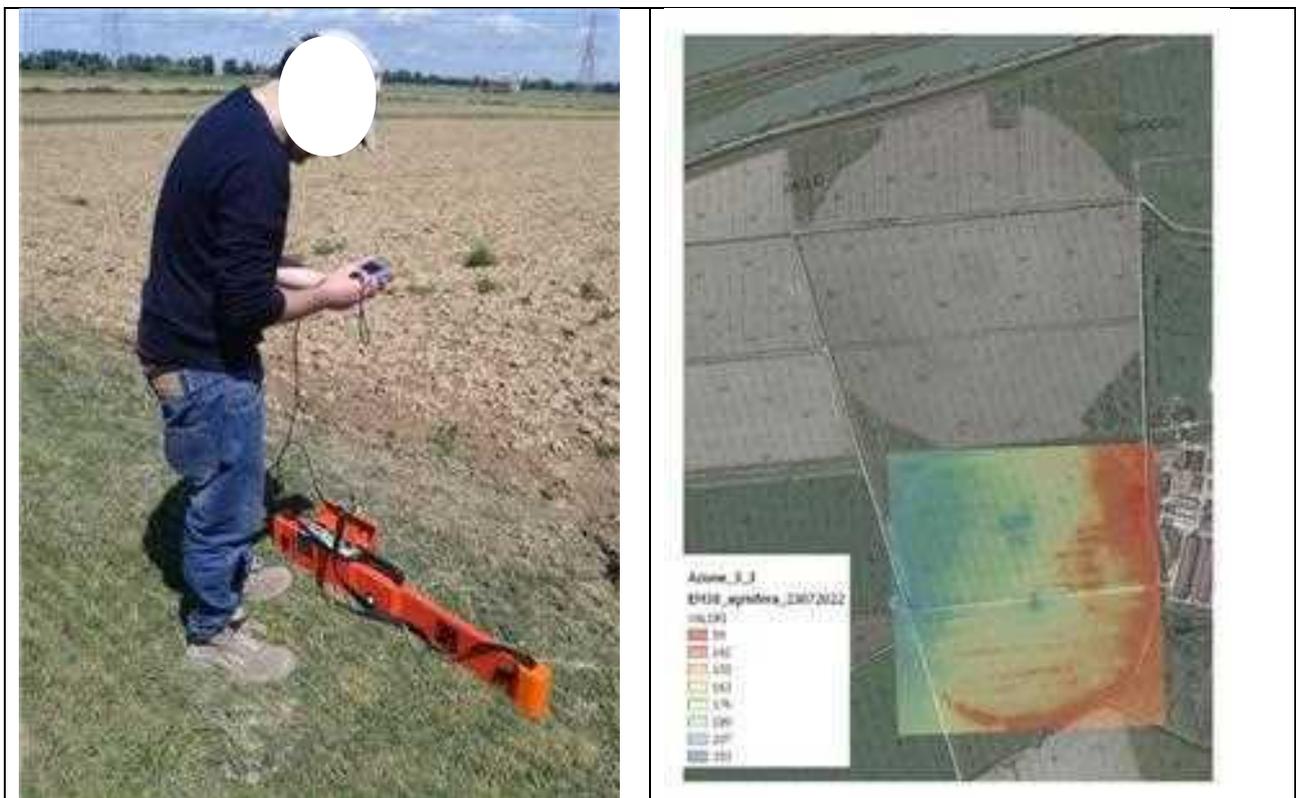


Figura 12: A sinistra calibrazione dello strumento EM38. A destra, elaborazione geostatistica che mostra la variazione dei valori di conducibilità nel campo studio 2022, ove i colori più rossi rappresentano valori a minore conducibilità e, quelli azzurri, a maggiore.

Confrontando le due Figure 11 e 12 risulta evidente una certa corrispondenza fra i poligoni indicanti aree a tessitura “clay” e “silty clay”, e le zone a maggior conducibilità (azzurro – verdi) localizzate nella parte ovest e nord-ovest del campo studio 2022. Analogamente, le aree a tessitura meno fine (clay loam e silty clay loam) sono abbastanza ben correlate con quelle giallo-rosse, a minor conducibilità, della mappa di Figura 12 (unica eccezione l’angolo nord-est, in cui dovrebbero permanere suoli maggiormente argillosi). Tali relazioni (suoli più argillosi caratterizzati da maggior conducibilità e suoli a tessitura più grossolana da minor conducibilità) sono ben conosciute da bibliografia, ma anche da esperienze di campo (si vedano i rilievi in Azienda La Pomposa - Figura 6). Si può pertanto concludere che le carte realizzate da Pioneer rappresentano in maniera soddisfacente le tipologie tessiturali e le variazioni areali presenti nei due campi studio e possono quindi fungere da supporto all’esecuzione delle simulazioni.

4. La salinità nel suolo

Per quanto riguarda la salinità, si è tenuto conto, oltre che dei rilievi con Field Scout, anche delle indicazioni contenute nella *Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0 – 50 cm* (seconda approx. – 2015) regionale, consultabile all'indirizzo <https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/>. Gli orizzonti superficiali dei suoli presenti nei due campi studio rientrano nella classe “non salino”, in quanto i valori di ECe (conducibilità elettrica in pasta satura), indicati nei poligoni che li intersecano, oscillano fra 1,08 e 1,61 mS/cm (Figura 13). I rilievi effettuati con lo strumento Field Scout hanno mostrato valori analoghi in superficie e un graduale aumento con la profondità, come da tabella seguente:

Profondità (cm)	2021	2022			
	EC - pivot (mS/cm)	EC - P1 (mS/cm)	EC - P2 (mS/cm)	EC - P3 (mS/cm)	EC - P4 (mS/cm)
10	1,300	1,014	1,170	0,714	1,053
20	1,500	1,660	1,570	1,610	1,270
30	1,800	1,176	1,780	2,010	1,690
40	1,900	1,810	1,910	2,030	1,800
50	2,110	1,877	2,040	2,230	1,790
60	2,200	2,050	2,010	2,320	2,050

Tabella 6: Variazione della conducibilità elettrica (EC) con la profondità, misurata con strumento Field Scout in prossimità del pivot nel campo studio 2021 e in 4 punti disposti in direzione est-ovest nel campo studio 2022. Si sottolinea che la conducibilità elettrica misurata con Field Scout non è direttamente rapportabile in ECe, in quanto varia in relazione al contenuto di umidità del suolo.



Figura 13: A sinistra: rilievo con Field Scout sulla soia a fine febbraio 2022. A destra: ubicazione dei punti di rilievo con Field scout (arancione), con sovrapposizione dei valori di ECe (azzurro) provenienti dalla Carta della salinità nei suoli di pianura tra 0 – 50 cm. Ogni quadrato, del lato di 1 km, indica valori ricavati dall'elaborazione geostatistica di tutte le osservazioni pedologiche (e campioni di suolo analizzati), in esso presenti.

Di conseguenza, nelle simulazioni si è tenuto conto di questi valori, ipotizzando un normale gradiente di salinità del suolo lungo la verticale.

Inoltre, per ciascun anno di studio, l'inizio delle simulazioni è stato fissato al 1° gennaio, con condizioni iniziali di umidità corrispondenti alla capacità di campo.

L'avvio delle stesse simulazioni, alcuni mesi prima della semina in campo, ha consentito di ridurre l'impatto delle condizioni iniziali, una volta raggiunta la fase rilevante della simulazione caratterizzata dalla crescita e dallo sviluppo della coltura.

5. Caratterizzazione della coltura

I campi oggetto di studio sono stati coltivati con soia in secondo raccolto sia nella stagione di monitoraggio del 2021 (semina il 5 giugno e trebbiatura il 1° Ottobre) che in quella del 2022 (semina il 18 Giugno e trebbiatura il 28 Settembre). Nelle simulazioni si è adottata una densità di 37 piante/m², corrispondente alla densità di semina. Una temperatura di base di 5°C ed un valore limite massimo di 30°C sono stati adottati come soglie termiche per lo sviluppo della soia. Per i coefficienti di stress si sono mantenuti inalterati i valori di default indicati da AquaCrop. La massima profondità raggiunta dalle radici è stata assunta pari a 0.8 m e la loro distribuzione nel profilo di suolo è stata specificata come uniforme.

6. Irrigazione

Le simulazioni sono state eseguite considerando gli eventi effettivi di irrigazione riferiti dalla cooperativa agricola Agrisfera. In ciascun appezzamento sono stati applicati volumi irrigui diversificati a seconda della porzione di campo, utilizzando il servizio Irrinet integrato con il modello per il leaching requirement. In particolare, il campo oggetto di studio nel 2021 è stato suddiviso nelle due porzioni est ed ovest rispetto al pivot centrale seguendo l'orientamento nord-sud delle file di soia e sono stati applicati i volumi irrigui indicati in Tabella 7. Il campo oggetto di studio nel 2022 è stato invece suddiviso rispetto al pivot centrale nelle due porzioni nord e sud e sono stati somministrati i volumi irrigui indicati in Tabella 8. I campi sperimentali sono stati irrigati con acqua di buona qualità, prelevata dal fiume Reno a monte della traversa di Volta Scirocco. Data la buona qualità dell'acqua proveniente dalla Traversa e la tolleranza della pianta di soia, alcuni interventi irrigui sono stati integrati con frazioni di leaching considerando acque di peggior qualità al fine di poter valutare in campo gli effetti di restituzioni marcatamente diversificate.

Porzione ovest del campo			Porzione est del campo		
Data	Volume (mm)	EC _w (dS/m)	Data	Volume (mm)	EC _w (dS/m)
06/06/2021	12	0.6	06/06/2021	12	0.6
07/06/2021	12	0.6	07/06/2021	12	0.6
08/06/2021	12	0.6	08/06/2021	12	0.6
09/06/2021	12	0.6	09/06/2021	12	0.6
16/06/2021	12	0.6	16/06/2021	12	0.6
20/06/2021	25	0.6	20/06/2021	25	0.6
29/06/2021	16	0.6	29/06/2021	16	0.6
08/07/2021	23	0.6	08/07/2021	23	0.6
14/07/2021	15	0.6	14/07/2021	15	0.6
23/07/2021	30	0.6	23/07/2021	20	0.6
29/07/2021	18	0.6	29/07/2021	18	0.6
05/08/2021	30	0.6	05/08/2021	18	0.6
09/08/2021	30	0.6	09/08/2021	18	0.6
15/08/2021	18	0.6	15/08/2021	18	0.6
19/08/2021	18	0.6	19/08/2021	18	0.6
TOT	283		TOT	249	

Tabella 7: Irrigazioni eseguite nel campo oggetto di studio nel 2021 e conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione (EC_w) considerata nelle simulazioni sulla base dei dati di monitoraggio.

Porzione nord del campo			Porzione sud del campo		
Data	Volume (mm)	EC _w (dS/m)	Data	Volume (mm)	EC _w (dS/m)
19/06/2022	20	0.6	19/06/2022	20	0.6
08/07/2022	20	0.6	08/07/2022	20	0.6
25/07/2022	25	0.6	30/07/2022	25	0.6
04/08/2022	25	1.0	04/08/2022	18	1.0
16/08/2022	25	1.0	16/08/2022	18	1.0
TOT	115		TOT	101	

Tabella 8: Irrigazioni eseguite nel campo oggetto di studio nel 2022 e conducibilità elettrica dell'acqua di irrigazione (EC_w) considerata nelle simulazioni sulla base dei dati di monitoraggio

Per l'anno 2021, a titolo esemplificativo, riportiamo di seguito l'andamento dell'umidità del suolo e i volumi irrigui applicati come differenziati tra le due zone del pivot.

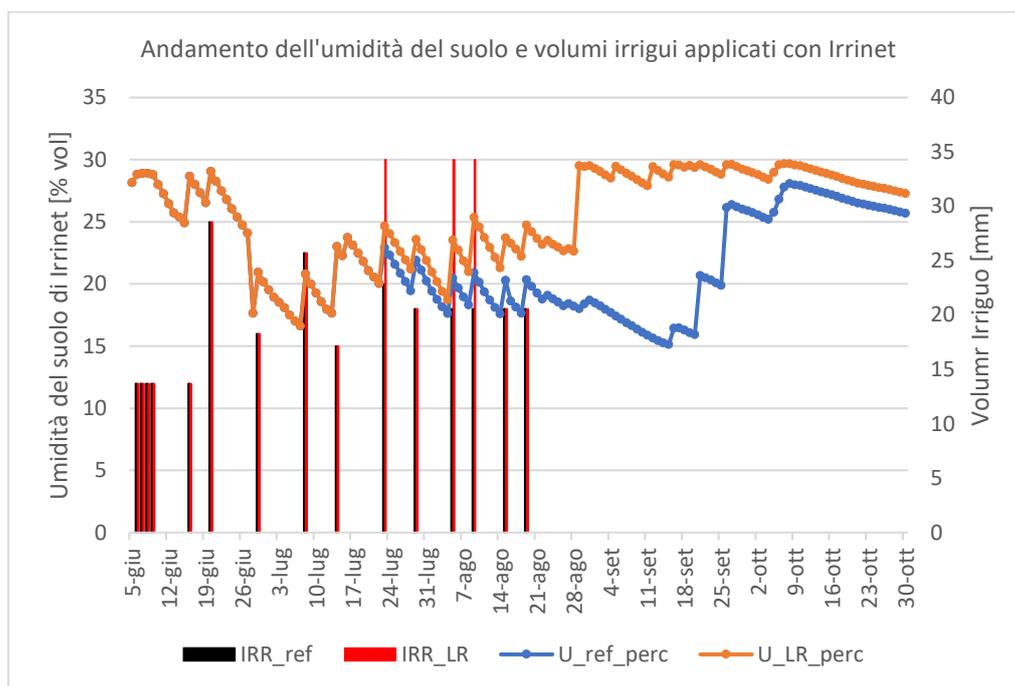


Figura 14: Andamento dell'umidità del suolo simulata da Irrinet dei volumi irrigui applicati in campo nel 2021.

Per l'anno 2021, applicando la tecnica del *leaching* integrata nel servizio Irrinet, è stato distribuito alla coltura nella zona del pivot lato ovest un volume irriguo supplementare di 34 mm su 3 interventi irrigui. Per l'anno 2022 nel lato nord è stato applicato un volume di *leaching* aggiuntivo di 14 mm distribuito 2 interventi irrigui.

7. Sensori di Umidità del suolo

Al fine di monitorare l'andamento dell'umidità del suolo e della salinità dell'acqua nel suolo sono stati installati 2 sensori a 45 cm di profondità dal piano campagna, uno per ogni tesi. Il sensore selezionato per l'installazione è lo SMEC 300 connesso al datalogger Watchdog 1000 per la registrazione del dato di umidità espresso come percentuale in volume e della conducibilità elettrica del suolo a cadenza oraria. L'installazione è stata eseguita attraverso la realizzazione di un foro nel suolo tramite trivella inclinato a 45°. Il sensore attraverso un'asta è stato inserito nel terreno. Il metodo di installazione consente di evitare che si creino delle vie preferenziali di flusso di acqua all'interno del foro che potrebbero inficiare la bontà della misura. Il sensore rileva l'umidità del suolo attraverso il metodo capacitivo e la conducibilità elettrica satura (ECa - Ct) attraverso il metodo del FDR.

Il dato ECa espresso come mS/cm rappresenta la conducibilità elettrica del complesso suolo-acqua adiacente al sensore. Tale dato deve essere interpretato attraverso un modello analitico per ottenere il valore dell'umidità del suolo attraverso il metodo capacitivo e la conducibilità elettrica satura (ECa - Ct) attraverso il metodo del FDR.

rappresentato dall'equazione di Archie (Archie, G.E. 1942). Nella formula seguente riportiamo i parametri presenti nel modello:

$$C_t = \frac{1}{\alpha} C_w \phi^m S_w^n$$

Ove:

- Φ è la porosità del suolo (% vol)
- C_t è la conducibilità elettrica complessiva del suolo e dell'acqua
- C_w è la conducibilità elettrica dell'acqua nel suolo
- S_w è il grado di saturazione (0-1)
- m è il coefficiente di cementazione del suolo (varia tra 1.8-2)
- n è il coefficiente di saturazione (generalmente uguale a 2)
- α è il coefficiente di tortuosità

Il valore di C_t è molto sensibile al contenuto idrico del suolo e quindi se non venisse applicato il modello, i valori rilevati di C_t sarebbero correlati al quantitativo di acqua nel suolo più che alla salinità della stessa. Utilizzando i dati ottenuti dai sensori in particolare l'umidità del suolo espressa come percentuale in volume e il valore di C_t misurato dal sensore, il cui valore è già corretto dal datalogger in funzione della temperatura, e applicando il modello sopradescritto abbiamo stimato l'andamento della EC_w (C_w) durante le prove di leaching effettuate negli appezzamenti in prova.

A titolo esemplificativo riportiamo le figure 15 e 16 che rappresentano l'andamento dei dati rilevati e calcolati.

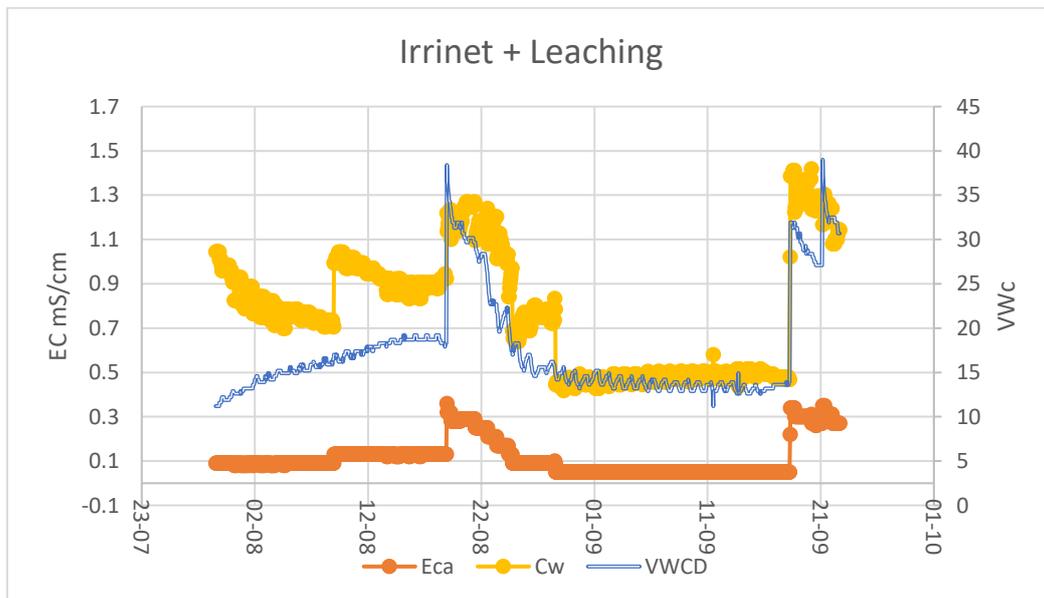


Figura 15: andamento dei valori rilevati VWCD ed Eca e del valore calcolato Cw per la tesi in cui è stata applicata la tecnica del leaching.

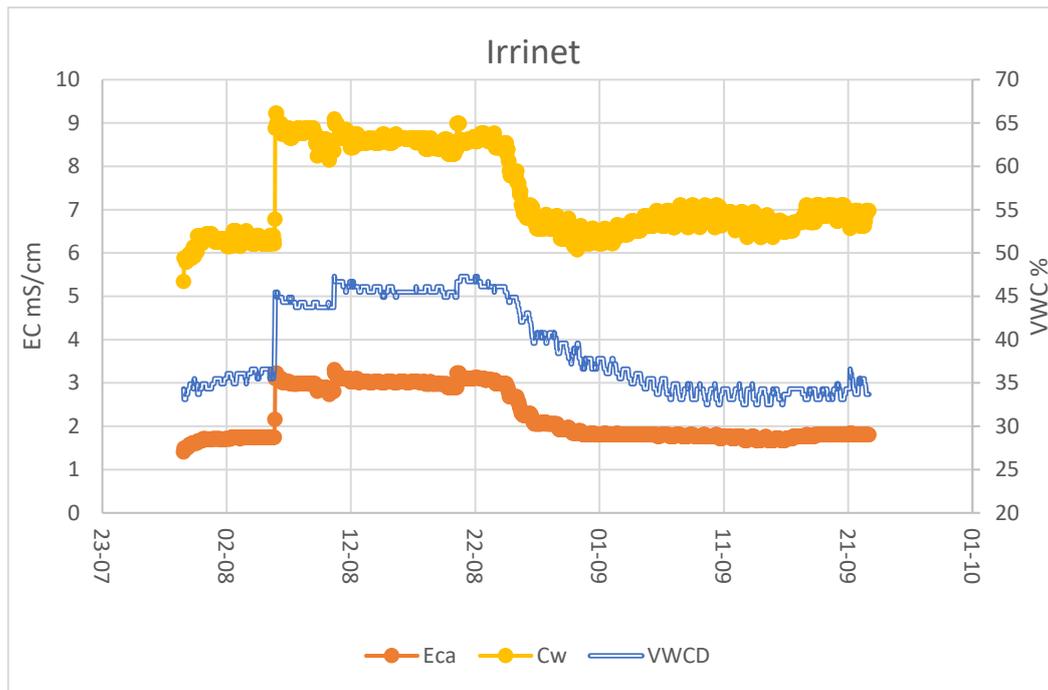


Figura 16: andamento dei valori rilevati VWCD ed Eca e del valore calcolato Cw per la tesi in cui non è stata applicata la tecnica del leaching.

Come si può notare dal confronto dei grafici precedenti nella tesi ove è avvenuta l'applicazione della tecnica del leaching gli interventi irrigui hanno consentito un abbassamento della conducibilità elettrica della soluzione acquosa circolante a contatto con le radici della pianta esponendo la coltura a condizioni di minor stress salino, infatti vediamo come i valori di Cw per la tesi con leaching non superino mai i valori di 1,1 mS/cm al contrario della tesi senza leaching si raggiungono valori di 8-9 mS/cm.

3.2 Risultati delle simulazioni

1. Stagione colturale 2021

La Figura 5 riporta la scheda “Climate-Crop-Soil water” che mostra lo sviluppo della coltura, attraverso l’evoluzione nel tempo della traspirazione (Tr in Figura 5) e dello sviluppo del fogliame (CC), e la variazione del contenuto idrico del suolo nella zona delle radici (Dr, fascia blu). Le linee verde, gialla e rossa sovrapposte al grafico Dr rappresentano le soglie al di sotto delle quali, per effetto degli stress, si verificano rispettivamente la riduzione dell’espansione fogliare, la chiusura degli stomi con conseguente riduzione della traspirazione e la senescenza precoce delle foglie.

Dai risultati delle simulazioni, risulta evidente un ritardo nello sviluppo del fogliame soprattutto nella porzione ovest del campo, dovuto alla carenza idrica dei mesi di maggio e giugno 2021. Al ritardo durante la fase di sviluppo ha contribuito anche la salinità del suolo, che ha inoltre determinato una minore densità della copertura fogliare e il suo costante declino una volta raggiunto il valore massimo di 86-87% (nelle porzioni ovest ed est rispettivamente) intorno alla metà di agosto.

La Figura 6 mostra la distribuzione della salinità del suolo al momento della trebbiatura della soia il 1° ottobre ed evidenzia lo stress causato dalla salinità nell’estate del 2021. L’apparato radicale risulta esposto a valori di ECe superiori alla soglia di 5 dS/m a partire dal 17 Giugno 2021, arrivando ai valori massimi di 7.2 e 7.6 dS/m rispettivamente nelle porzioni est ed ovest del campo alla fine del ciclo colturale. Lo stress da salinità del suolo risulta leggermente superiore per la porzione ovest del campo, 34% in media durante il ciclo colturale, per effetto principalmente della risalita per capillarità di acqua salmastra, contrastata solo marginalmente dalla irrigazione superficiale, come evidenziano i contributi del bilancio idrico riportati in Tabella 9.

I volumi irrigui somministrati hanno prodotto una ridotta percolazione e un ridotto leaching dei sali a causa della bassa permeabilità degli orizzonti argilloso-limosi e franco-argillosi compatti sottostanti. Nonostante questo, la tecnica risulta valida nel controllare la salinità dello strato radicato

Mese	WC _{tot}	P	I	CR	RO	ES	TC	DP
<i>Porzione est del campo</i>								
Giugno	470.2	2.8	101.0	0.1	0.0	88.4	10.7	0.0
Luglio	453.6	12.3	76.0	11.7	0.0	28.1	89.6	0.3
Agosto	433.5	12.7	72.0	1.5	0.0	10.3	94.6	1.0
Settembre	426.7	76.6	0.0	0.1	15.3	15.0	16.3	1.7
<i>Porzione ovest del campo</i>								
Giugno	496.4	2.8	101.0	0.1	0.0	91.1	10.4	0.0
Luglio	482.9	12.3	86.0	14.5	0.0	33.6	84.4	0.4
Agosto	485.5	12.7	96.0	5.6	0.0	11.5	106.6	1.7
Settembre	472.7	76.6	0.0	3.9	13.2	16.4	25.1	1.8

Tabella 9: Componenti del bilancio idrico del suolo valutate con il modello AquaCrop ed aggregate a valori mensili per le porzioni est ed ovest del campo sperimentale del 2021. Tutti i valori sono espressi in mm.

Legenda: WC_{tot}, contenuto di acqua nel profilo di suolo; P, apporto naturale di acqua attraverso la precipitazione; I, apporto integrativo artificiale mediante irrigazione; CR, apporto per risalita capillare; RO, deflusso; ES, evaporazione dalla superficie del suolo; TC, traspirazione dalla coltura; DP, percolazione in profondità.

Si evidenzia che i valori di WC_{tot} sono valori mediati sul mese, mentre i valori di tutti gli altri contributi sono cumulati sul mese.

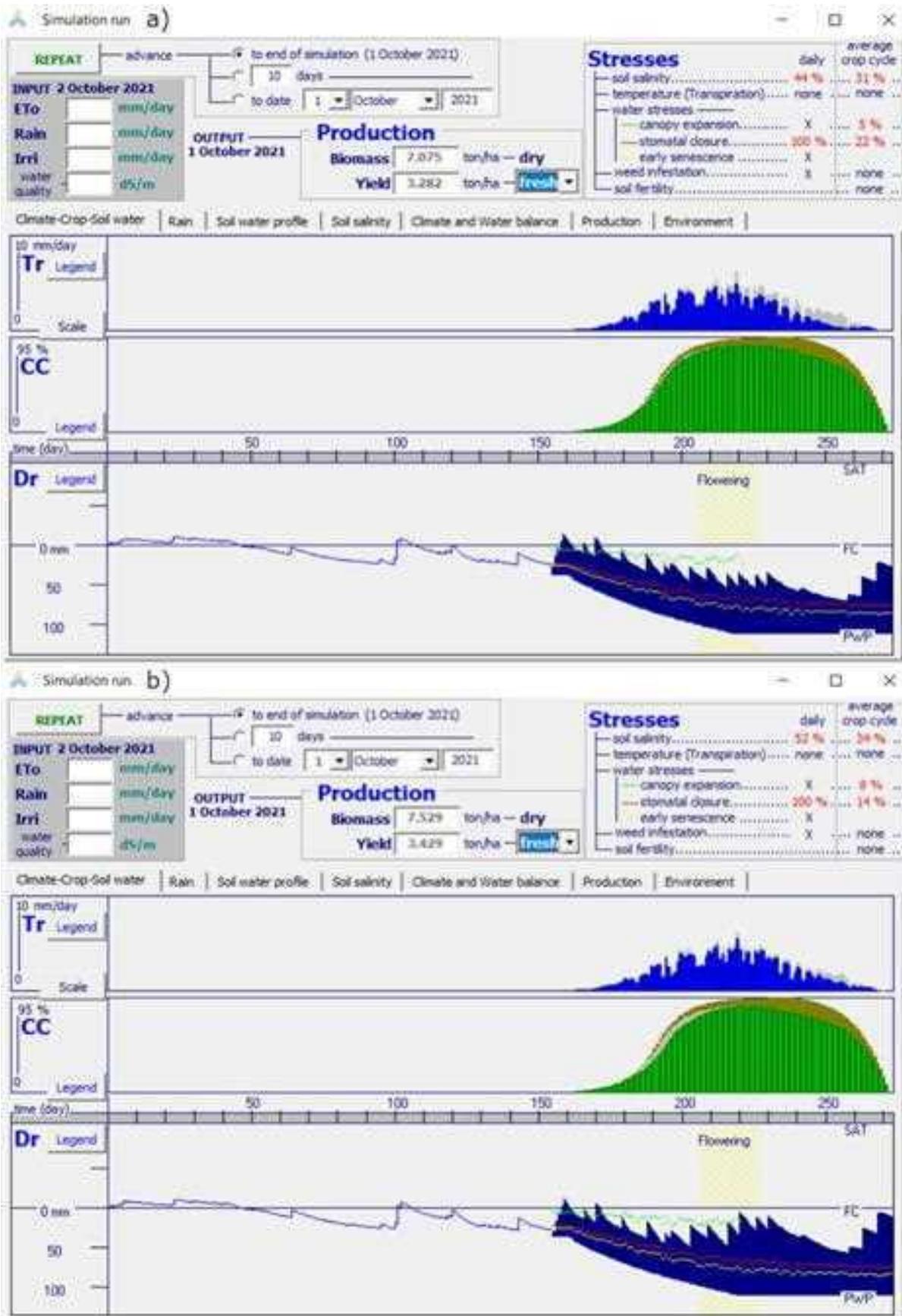


Figura 17: Sviluppo della soia nell'estate 2021 secondo AquaCrop con le irrigazioni effettive nelle porzioni a) est e b) ovest del campo. Si possono rilevare le cause di minor resa al raccolto (stress) dovute principalmente a difetto di umidità e salinità naturale dei suoli.

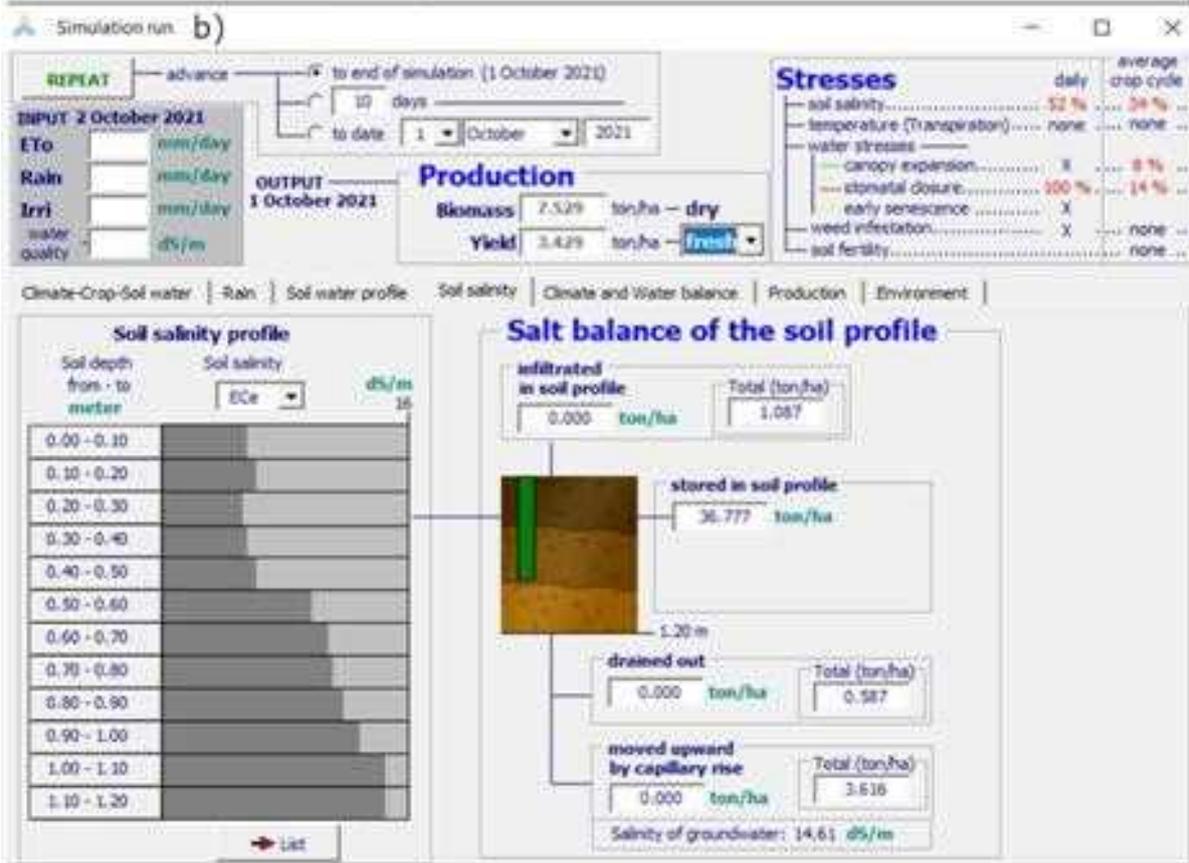
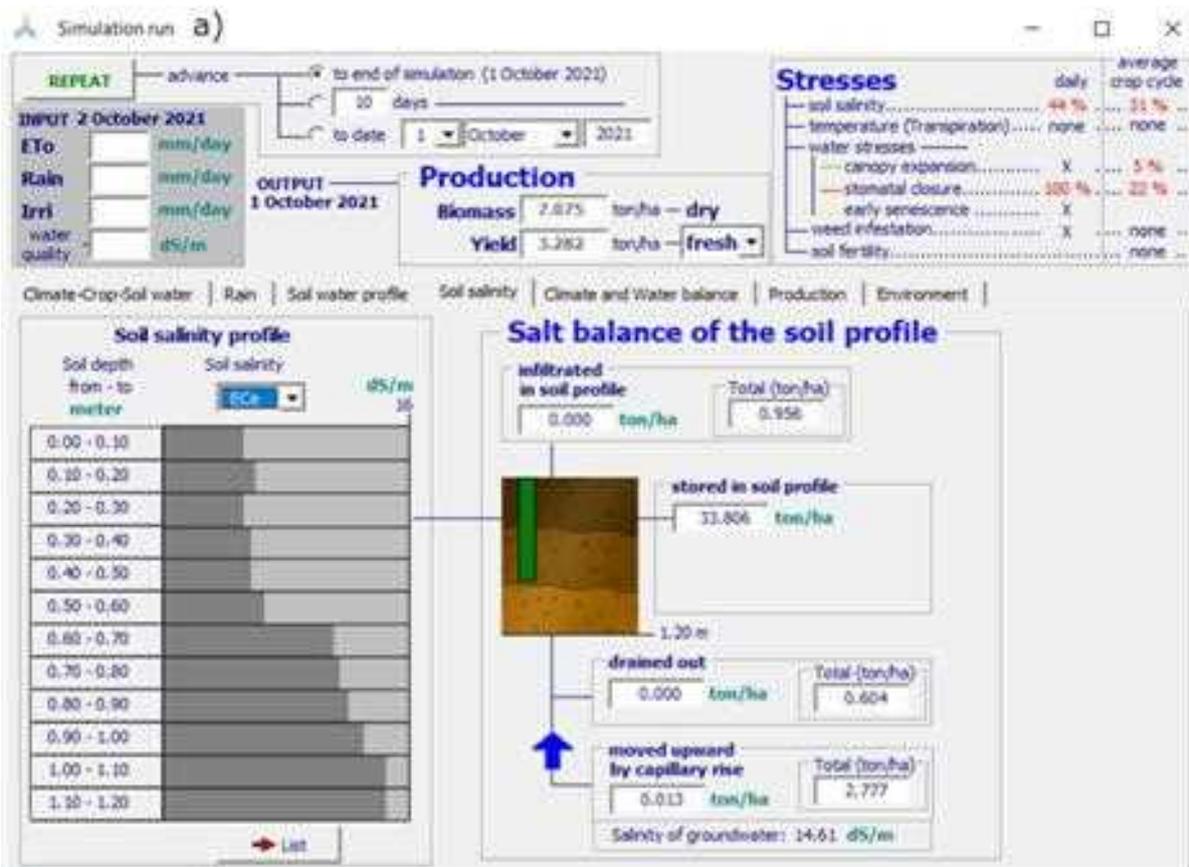


Figura 18: Salinità stimata nel suolo al momento della trebbiatura della soia il 1 Ottobre 2021 nelle porzioni a) est e b) ovest del campo.

Al raccolto il modello AquaCrop fornisce per il campo oggetto di sperimentazione nel 2021 una resa di 3.3-3.4 t/ha in termini di prodotto fresco, considerando una densità di semina di 37 piante/m² ed ipotizzando una germinazione del 100%. Occorre sottolineare che le simulazioni con AquaCrop forniscono la produzione potenziale, in quanto non tengono conto di svariate cause che concorrono alla riduzione della produzione rispetto al valore potenziale, in particolare degli effetti della siccità del suolo in superficie nel periodo iniziale di sviluppo, quando le radici delle piante sono ancora poco profonde.

Agrisfera ha indicato una produzione totale di soia di 49320 kg per il campo di sperimentazione, corrispondente ad una resa media di 1.6 t/ha. Agrisfera ha inoltre fornito i dati georeferenziati raccolti dalla mietitrebbia, dai quali è stata ricavata la mappa di produzione presentata in Figura 17. Da questa mappa si rileva una significativa disomogeneità nella produzione: sono presenti ampie zone in cui la resa è < 1 t/ha, localizzate soprattutto nella porzione ovest del campo, e zone contenute con resa > 3.0 t/ha nella parte est.

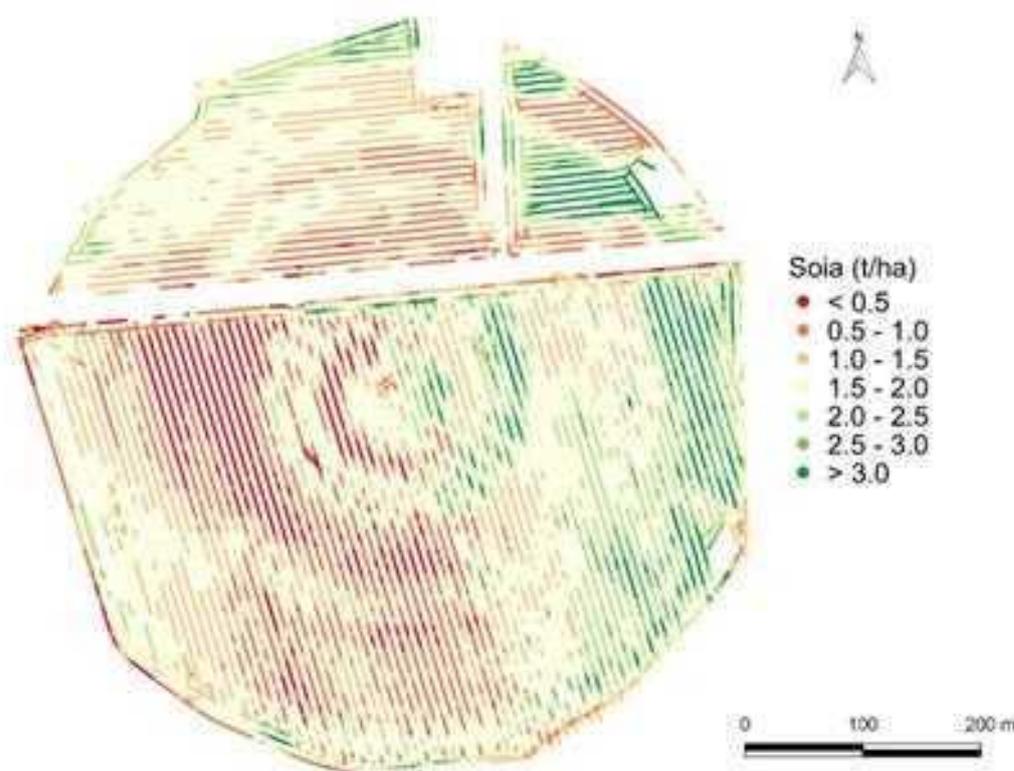


Figura 19: Mappa della produzione di soia al raccolto allo stato umido nel campo sperimentale del 2021.

Il monitoraggio tramite il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) conferma come lo sviluppo della coltura non sia stato uniforme nel campo. Già nella fase di sviluppo vegetativo si identificano aree, coincidenti con le zone di minore resa, in cui il valore di NDVI è significativamente più basso (Figura 18).

La Figura 19 mette a confronto l'evoluzione temporale dell'indice NDVI derivata da immagini Sentinel-2 in quattro punti distinti del campo. Una piena copertura fogliare si osserva nei punti C e D, dove l'indice NDVI presenta i valori massimi di 0.90 e 0.83 il 21 Agosto; nei punti B e A l'indice non va oltre 0.71 e 0.62 rispettivamente.

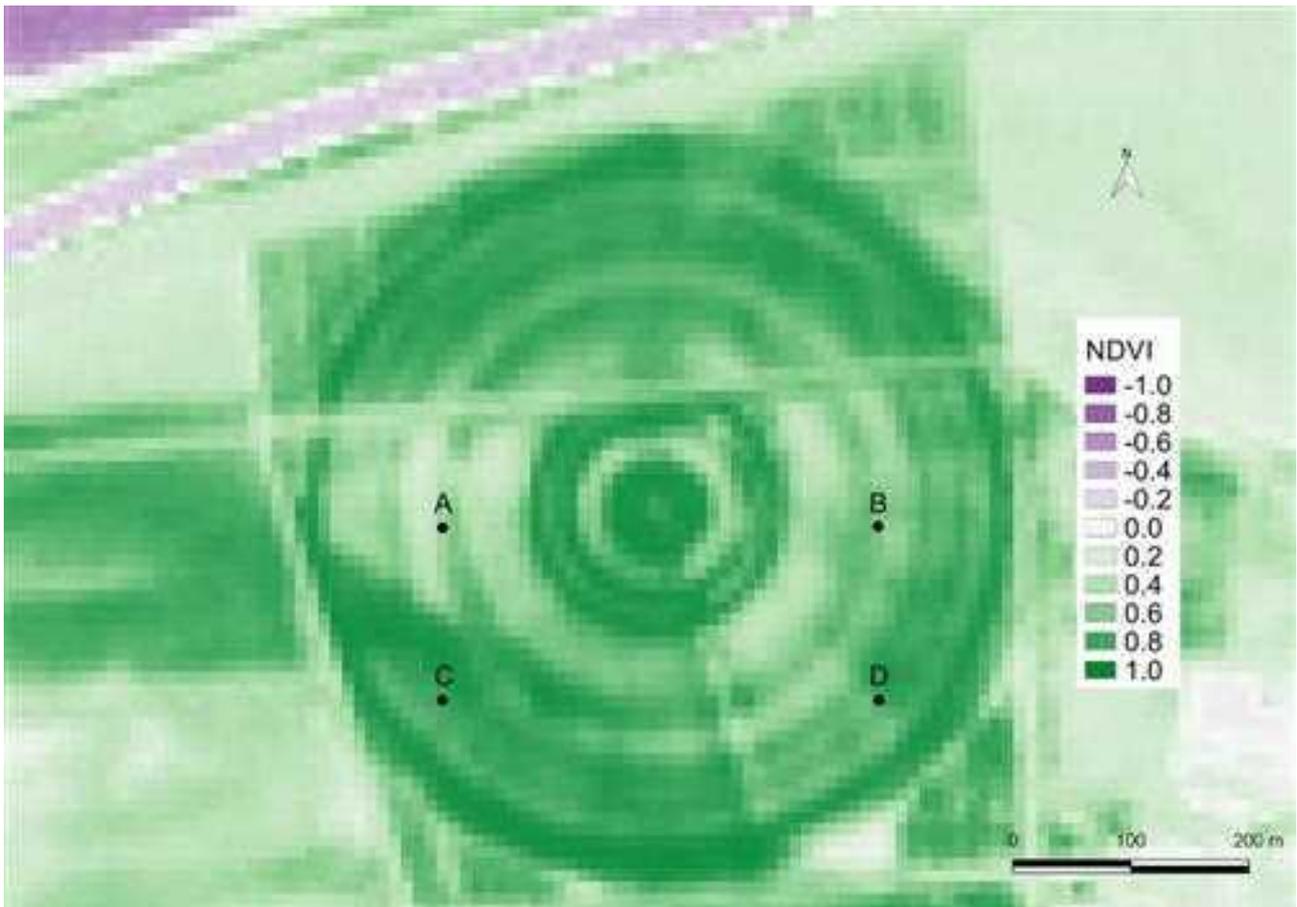


Figura 20: Mappa dell'indice NDVI alla data 11/08/2021, ottenuta da dati Sentinel-2 (<https://scihub.copernicus.eu/>).

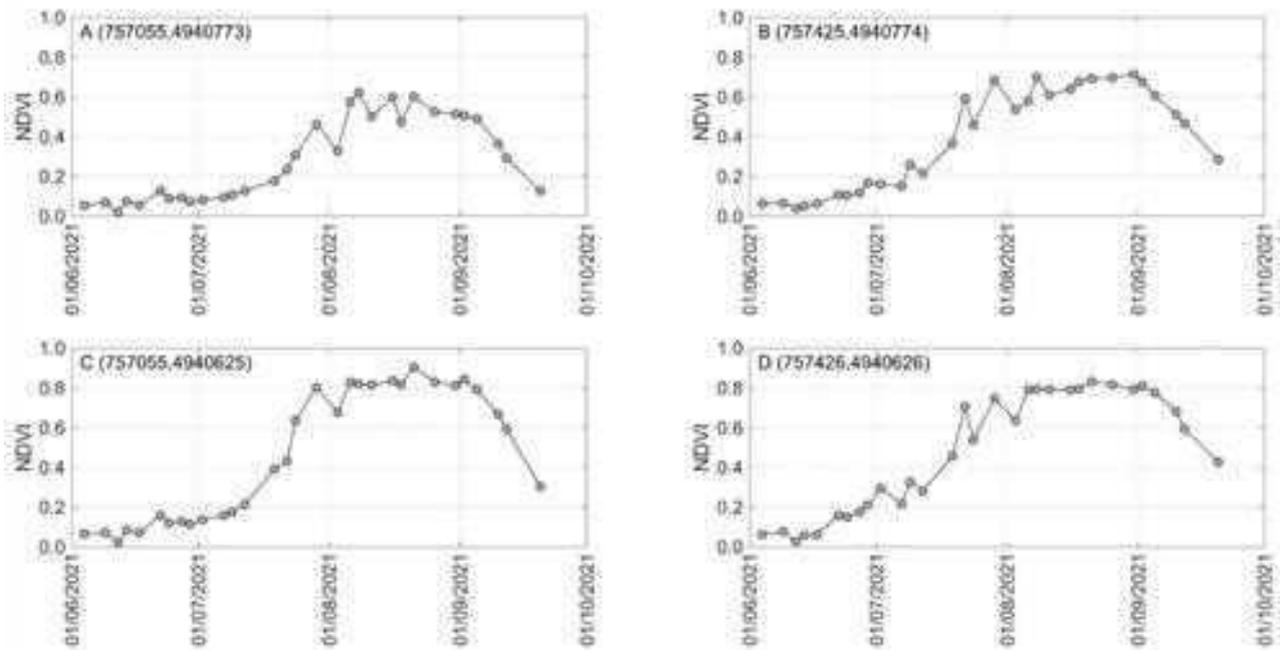


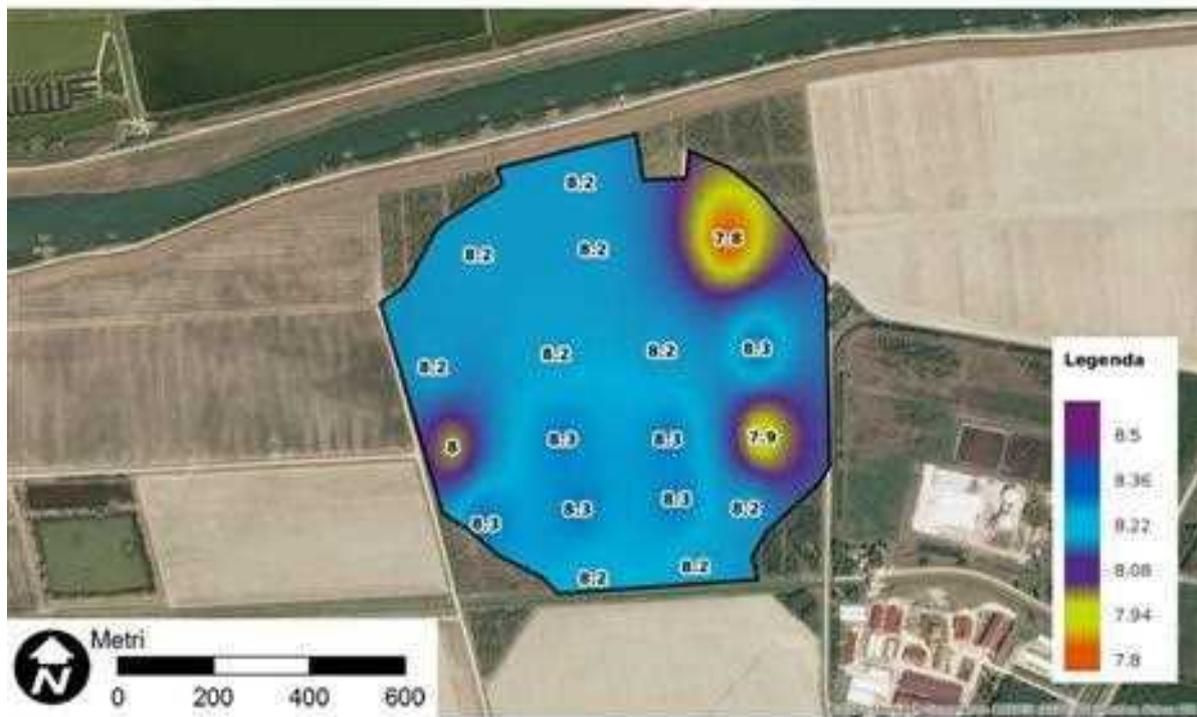
Figura 21: Serie temporale dei valori di NDVI durante la stagione culturale 2021 in quattro punti distinti del campo sperimentale, A-D, utilizzando i dati Sentinel-2. La posizione dei punti è mostrata in Figura 18.

Nell'Ottobre del 2021 è stato eseguito da Pioneer un nuovo rilievo delle caratteristiche fisiche e chimiche del suolo nel campo sperimentale Marcabò squadra 4. La Tabella 8 mostra i risultati dell'analisi di correlazione eseguita tra la mappa di produzione della soia e le caratteristiche del suolo riportate nella "Relazione suoli 2021" di Pioneer. Si osserva che i due campioni di suolo con i più bassi valori di pH sono anche caratterizzati dal contenuto più elevato di fosforo assimilabile e sono localizzati in aree di maggior produzione nella porzione est del campo (Figure 17 e 20). Dall'esame della Tabella 10 non emergono complessivamente correlazioni significativamente.

Variabile	Intero campo (16 campioni)		Porzione est del campo (8 campioni)		Porzione ovest del campo (8 campioni)	
	Coefficiente di correlazione di Pearson	Coefficiente di correlazione di Kendall	Coefficiente di correlazione di Pearson	Coefficiente di correlazione di Kendall	Coefficiente di correlazione di Pearson	Coefficiente di correlazione di Kendall
Sabbia	0.48 (0.060)	0.52 (0.005)	0.54 (0.163)	0.57 (0.061)	0.45 (0.268)	0.50 (0.109)
Limo	-0.28 (0.297)	-0.22 (0.258)	-0.52 (0.185)	-0.43 (0.179)	-0.28 (0.497)	-0.15 (0.711)
Argilla	-0.48 (0.057)	-0.38 (0.041)	-0.51 (0.200)	-0.36 (0.275)	-0.35 (0.398)	-0.14 (0.720)
pH (H ₂ O)	-0.79 (0.000)	-0.60 (0.004)	-0.82 (0.013)	-0.64 (0.045)	-0.65 (0.080)	-0.65 (0.050)
Calcare totale	-0.53 (0.035)	-0.53 (0.003)	-0.47 (0.243)	-0.57 (0.061)	-0.60 (0.119)	-0.36 (0.275)
Carbonio organico	-0.57 (0.022)	-0.34 (0.071)	-0.89 (0.004)	-0.40 (0.220)	-0.55 (0.161)	-0.29 (0.399)
Rapporto C/N	0.00 (0.993)	0.04 (0.857)	-0.04 (0.928)	0.11 (0.810)	0.37 (0.373)	0.18 (0.629)
Rapporto Ca/Mg	0.18 (0.506)	0.33 (0.086)	-0.18 (0.669)	-0.04 (1.000)	0.14 (0.733)	0.33 (0.330)
Rapporto Mg/K	-0.34 (0.197)	-0.30 (0.123)	-0.21 (0.620)	-0.11 (0.807)	0.21 (0.615)	-0.08 (0.902)
Azoto totale	-0.39 (0.139)	-0.31 (0.104)	-0.59 (0.126)	-0.21 (0.548)	-0.62 (0.099)	-0.55 (0.080)
Fosforo assimilabile	0.76 (0.001)	-0.01 (1.000)	0.91 (0.002)	0.43 (0.179)	-0.73 (0.041)	-0.55 (0.080)
Potassio scambiabile	-0.18 (0.493)	-0.18 (0.350)	-0.15 (0.715)	-0.14 (0.720)	-0.53 (0.173)	-0.29 (0.399)
Sostanza organica	-0.56 (0.023)	-0.35 (0.064)	-0.88 (0.004)	-0.43 (0.179)	-0.55 (0.158)	-0.29 (0.399)
CSC calcolata	-0.59 (0.017)	-0.51 (0.007)	-0.63 (0.094)	-0.40 (0.220)	-0.50 (0.207)	-0.36 (0.275)
Ca scambiabile	-0.48 (0.060)	-0.33 (0.079)	-0.50 (0.206)	-0.36 (0.275)	-0.33 (0.419)	-0.36 (0.275)
Mg scambiabile	-0.43 (0.094)	-0.52 (0.005)	-0.32 (0.435)	-0.43 (0.179)	-0.31 (0.459)	-0.43 (0.179)
Na scambiabile	-0.27 (0.303)	-0.38 (0.041)	-0.50 (0.211)	-0.64 (0.031)	0.05 (0.913)	-0.07 (0.905)
NDVI al 11/08/2021	0.33 (0.216)	0.22 (0.265)	0.69 (0.057)	0.86 (0.002)	0.40 (0.326)	0.14 (0.720)

Tabella 10: Coefficienti di correlazione di Pearson e Kendall e corrispondenti p-value fra parentesi tonde tra la produzione di soia in termini di prodotto fresco (mediata su un raggio di 20 m rispetto al punto di prelievo del campione di suolo) e le caratteristiche di suolo rilevate da Pioneer nell'Ottobre 2021. I coefficienti di correlazione con p-value ≤ 0.05 sono evidenziati in grassetto.

pH



Fosforo assimilabile (ppm P₂O₅)



Figura 22: Mappe di pH e fosforo assimilabile derivate dalla "Relazione suoli 2021" di Pioneer

2. Stagione colturale 2022

Dai risultati delle simulazioni eseguite con il modello AquaCrop risulta evidente un ritardo nello sviluppo della coltura dovuto all'effetto combinato di carenza idrica e salinità del suolo. Valori massimi di copertura fogliare pari a 72.9%, 70.2% e 69.3% vengono raggiunti rispettivamente il 17, 19 e 23 Agosto nelle porzioni sud-est, sud-ovest e nord del campo sperimentale (Figure 20 e 22a).

Le Figure 22 e 23b mostrano la distribuzione della salinità del suolo al momento della trebbiatura della soia il 28 Settembre ed evidenziano lo stress causato dalla salinità. L'apparato radicale risulta esposto a valori di ECe superiori alla soglia di 5 dS/m durante tutto il ciclo colturale, arrivando al valore massimo di 8.5 dS/m alla trebbiatura della soia. Lo stress da salinità del suolo risulta leggermente superiore per le porzioni nord e sud-ovest del campo, 56% in media durante il ciclo colturale, rispetto alla porzione sud-est (54%).

Nell'estate del 2022, la maggiore profondità del livello di falda dal piano campagna e la sua elevata salinità rendono trascurabile l'apporto di acqua per risalita capillare (Tabella 9).

Si evidenzia inoltre che il contributo di run off relativo al mese di Agosto in Tabella 11 è dovuto alle intense precipitazioni verificatesi nei giorni 18 e 19 (si veda la Figura 9) ed all'applicazione della tecnica del leaching, dopo le quali Agrisfera non ha eseguito ulteriori interventi irrigui.

Mese	WC _{tot}	P	I	RC	RO	ES	TC	DP
Porzione nord del campo								
Giugno	489.6	6.1	20.0	0.0	0.0	58.3	0.8	0.0
Luglio	478.2	39.6	45.0	5.8	0.2	58.1	38.4	0.0
Agosto	488.0	87.7	50.0	0.0	30.1	26.4	59.5	0.0
Settembre	485.5	33.5	0.0	0.0	0.0	21.6	21.6	0.0
Porzione sud-ovest del campo								
Giugno	489.6	6.1	20.0	0.0	0.0	58.3	0.8	0.0
Luglio	475.4	39.6	45.0	5.8	0.2	54.9	34.8	0.0
Agosto	485.0	87.7	36.0	0.0	26.5	29.1	57.3	0.0
Settembre	482.1	33.5	0.0	0.0	0.0	21.4	20.2	0.0
Porzione sud-est del campo								
Giugno	463.2	6.1	20.0	0.0	0.0	54.8	0.9	0.0
Luglio	446.5	39.6	45.0	0.1	0.2	48.5	44.2	0.0
Agosto	450.5	87.7	36.0	0.0	26.9	24.8	61.0	0.0
Settembre	448.0	33.5	0.0	0.0	0.0	19.6	21.1	0.0

Tabella 11: Componenti del bilancio idrico del suolo valutate con il modello AquaCrop ed aggregate a valori mensili per le porzioni nord, sud-ovest e sud-est del campo sperimentale del 2022. Tutti i valori sono espressi in mm.

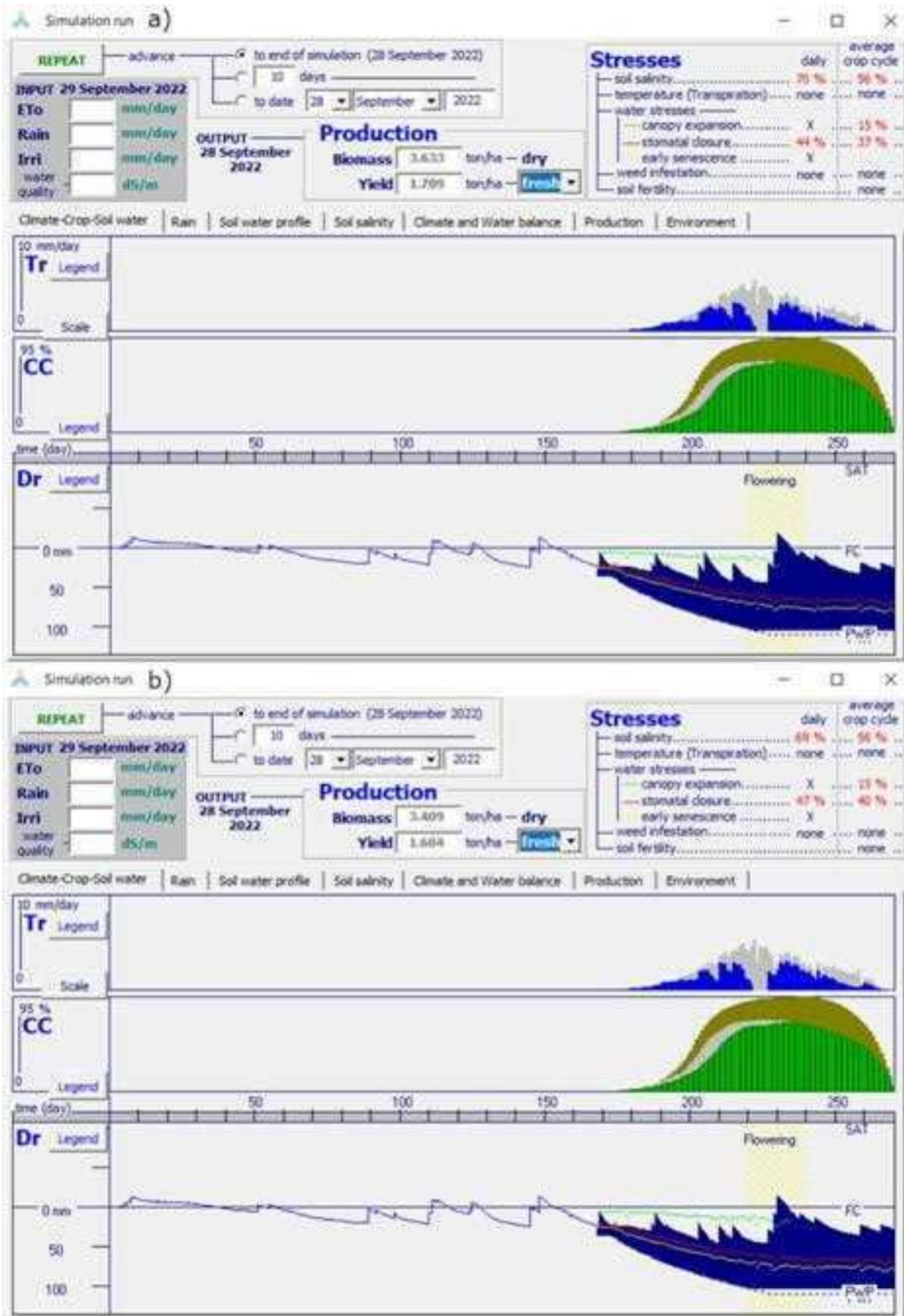


Figura 23: Sviluppo della soia nell'estate 2022 secondo AquaCrop con le irrigazioni effettive nelle porzioni a) nord e b) sud-ovest del campo. Si possono rilevare le cause di minor resa al raccolto (stress) dovute principalmente a difetto di umidità e salinità naturale dei suoli.

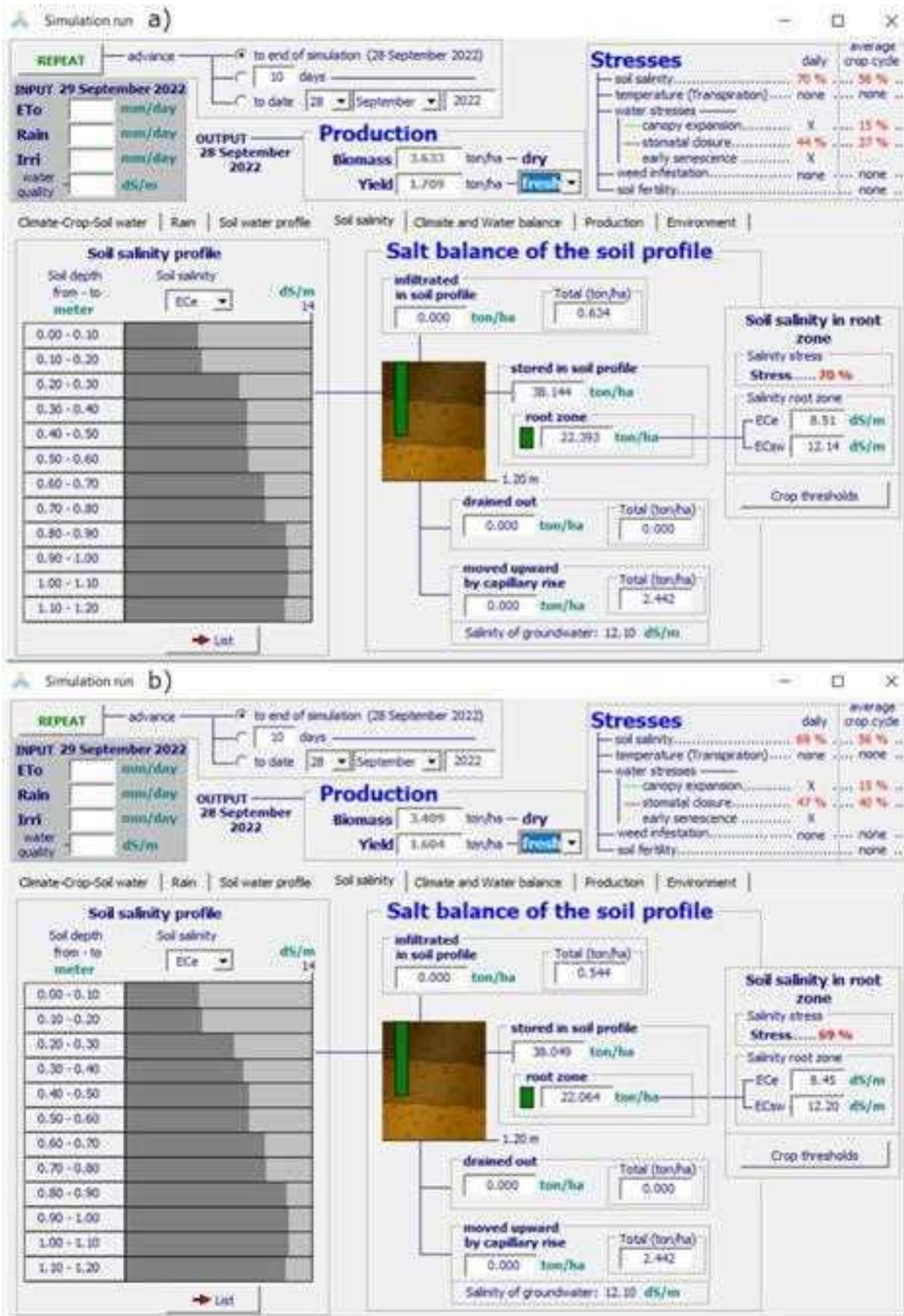


Figura 24: Salinità stimata nel suolo al momento della trebbiatura della soia il 28 Settembre 2022 nelle porzioni a) nord e b) sud-ovest del campo.

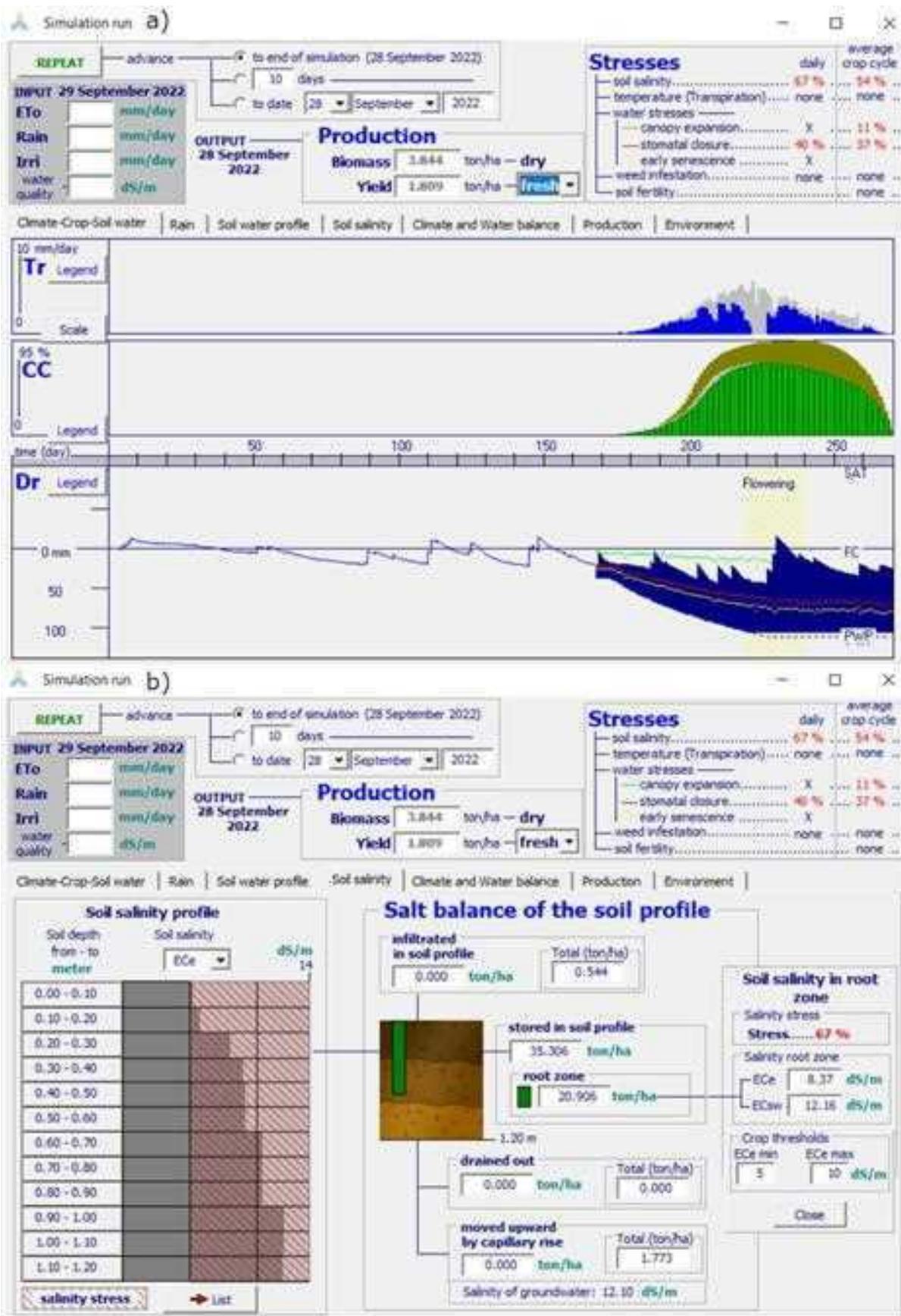


Figura 25: Risultati della simulazione mediante AquaCrop per la porzione sud-est del campo: a) sviluppo della soia considerando le irrigazioni efficaci; b) salinità stimata nel suolo al momento della trebbiatura il 28 Settembre 2022.

Al raccolto il modello AquaCrop fornisce per il campo oggetto di sperimentazione nel 2022 una resa di 1.6-1.8 t/ha in termini di prodotto fresco, considerando una densità di semina di 37 piante/m² ed ipotizzando una germinazione del 100%.

Agrisfera ha indicato una produzione totale di soia di 40190 kg per il campo di sperimentazione nel 2022, corrispondente ad una resa media di 1.9 t/ha. Agrisfera ha fornito anche i dati georeferenziati raccolti dalla mietitrebbia, dai quali è stata ricavata la mappa di produzione presentata in Figura 24. Anche in questo caso l'esame della mappa evidenzia una significativa disomogeneità nella produzione, con zone a resa < 1.0 t/ha soprattutto nella parte più settentrionale del campo.

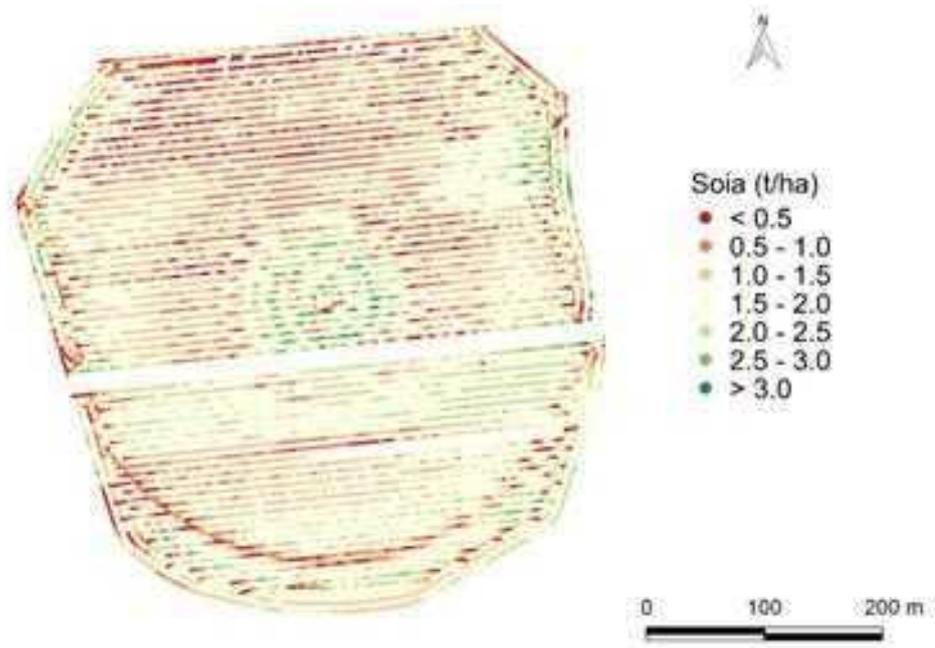


Figura 26: Mappa della produzione di soia al raccolto allo stato umido nel campo sperimentale del 2022.

Il monitoraggio tramite l'indice NDVI conferma le condizioni di forte stress subite dalle piante di soia nell'estate 2022 (Figure 25 e 26). Dall'esame della Figura 26 risulta evidente il forte ritardo nella fase di sviluppo iniziale; inoltre, nei quattro punti esaminati, l'indice NDVI non supera il valore 0.64.

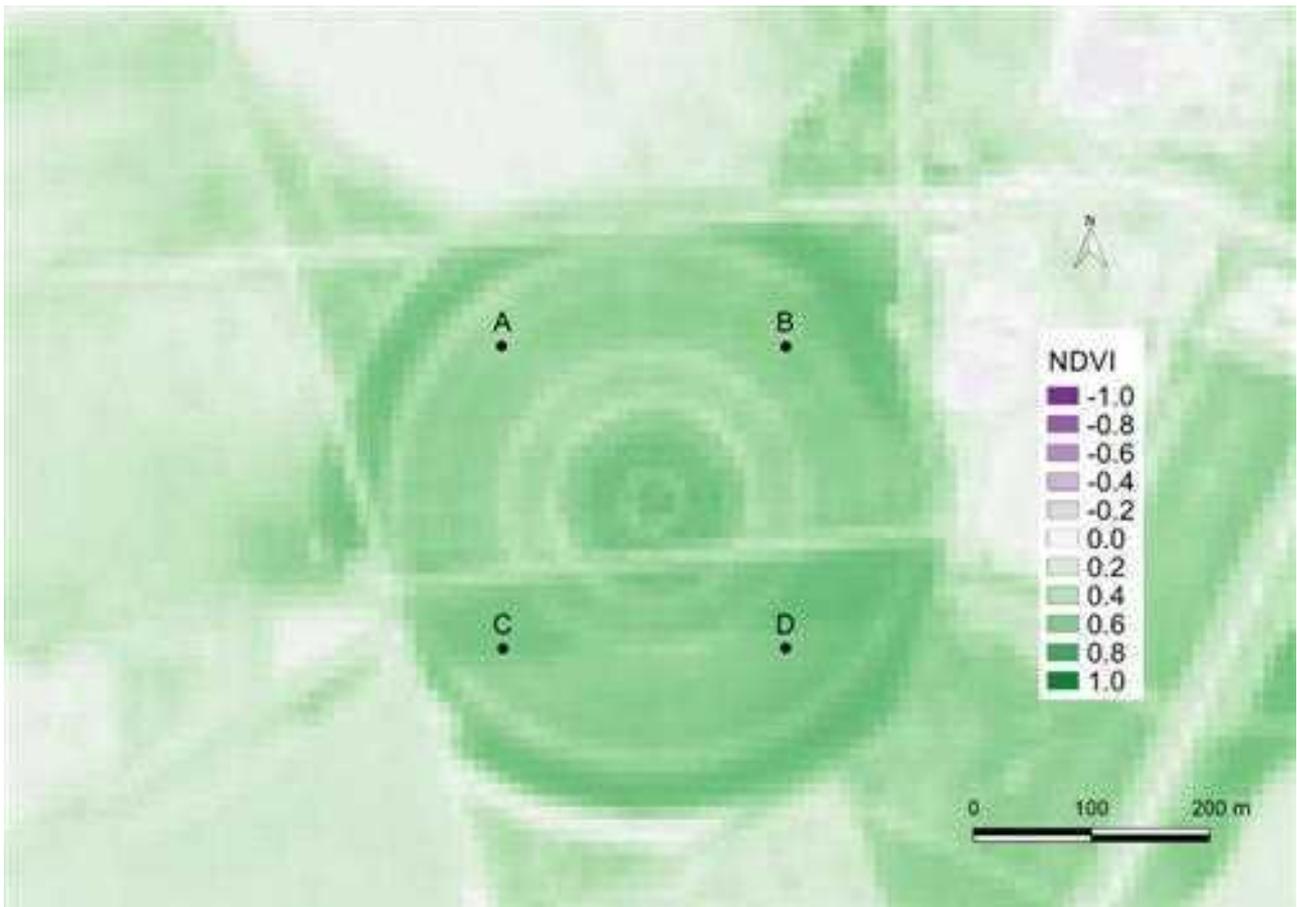


Figura 27: Mappa dell'indice NDVI alla data 21/08/2022, ottenuta da dati Sentinel-2.

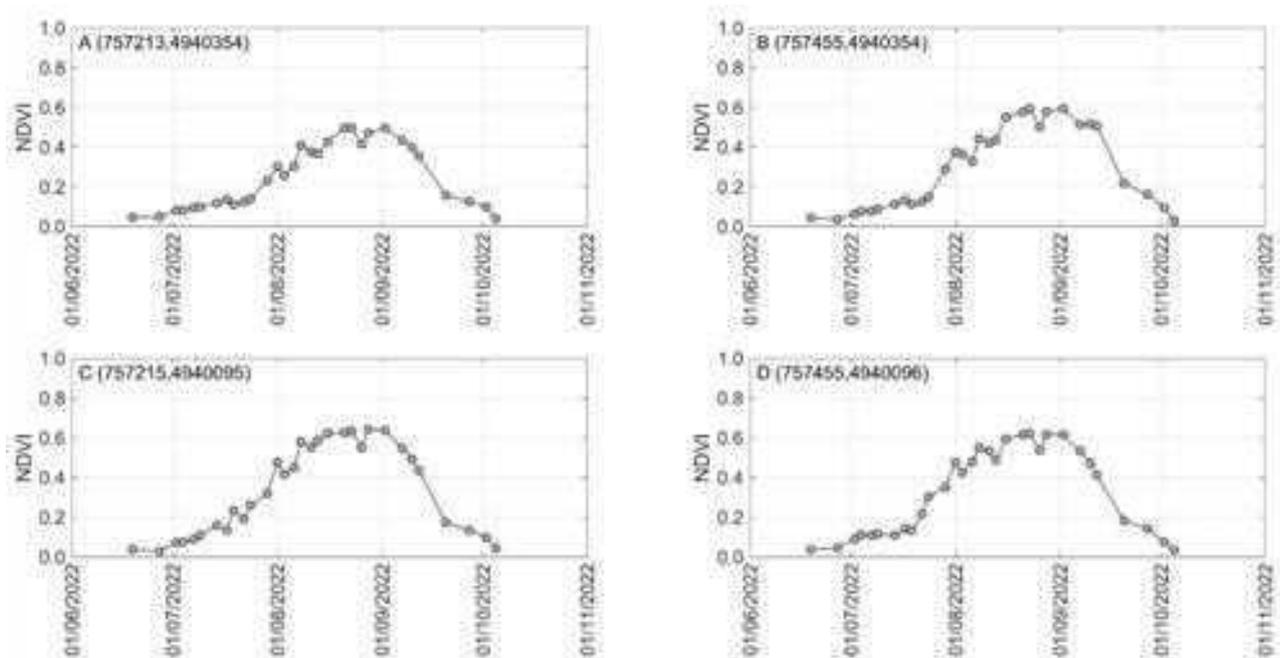


Figura 28: Serie temporale dei valori di NDVI durante la stagione culturale 2022 in quattro punti distinti del campo sperimentale, A-D, utilizzando i dati Sentinel-2. La posizione dei punti è mostrata in Figura 24.



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

AZIONE 3.4

***Predisposizione di un modello per una gestione sostenibile dei
fabbisogni idrici del riso su IRRINET***

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. FASE 1: RILIEVI FENOLOGICI E PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO	4
2.1 RILIEVO AD ANALISI DELLE FENOFASI	4
2.2 FENOFASI DELLA COLTURA DI RISO	5
3. FASE 2: ESECUZIONE DEL MONITORAGGIO.	7
3.1 INQUADRAMENTO AMBIENTALE	7
4. FASE 3. CALIBRAZIONE DEL MODELLO IRRIGUO SU IRRINET E SUCCESSIVA VALIDAZIONE DEL PROTOTIPO TRAMITE COMPARAZIONE CON LA GESTIONE AZIENDALE DELLA COLTURA IN SOMMERSIONE.	20
4.1 MODELLO IDROLOGICO PER L'IRRIGAZIONE DELLA RISAIA ED INQUADRAMENTO PRELIMINARE DEI RILIEVI IN CAMPO	20
4.1 GOVERNO DELLE ACQUE IN RISAIA	21
4.2 RISO SEMINATO IN SOMMERSIONE	21
4.3 OUTPUT FORNITI DA IRRINET PER LA COLTURA DI RISO	22
4.4 MODALITÀ OPERATIVE	22
4.5 DATI DI INPUT NECESSARI	22
4.6 ALGORITMO DI CALCOLO	23
4.7 RISO SEMINATO IN ASCIUTTA	25
4.8 ANALISI DEI DATI RELATIVI AL PROCESSO DI INFILTRAZIONE	25
5. FASE 4. MODIFICHE ALLA VERSIONE BETA SU IRRINET, SULLA BASE DEI RISULTATI DEI TEST E RILASCIO DELLA VERSIONE DEFINITIVA, CON RELATIVA MESSA ON LINE.	29
5.1 INTRODUZIONE	30
5.2 ACCESSO AL SISTEMA	30
5.3 AUTENTICAZIONE	30

6. FASE 5. ANALISI DELLE IMPLICAZIONI DI CARATTERE ECONOMICO/AMBIENTALE RELATIVE ALLA COLTIVAZIONE DEL RISO SUL TERRITORIO DELLE AREE DI STUDIO	37
6.1 INTRODUZIONE	37
6.2 I BENEFICI SOCIOECONOMICI DELLA COLTIVAZIONE DEL RISO	38
6.3 I BENEFICI AMBIENTALI DELLA COLTIVAZIONE DEL RISO	42

1. INTRODUZIONE

L'azione ha previsto lo sviluppo di un modello di calcolo di bilancio idrico del riso su IrriNet e la successiva calibrazione dei parametri necessari, tramite l'acquisizione in campo di dati ambientali (clima, suolo e falda), gestionali e fenologici presso l'azienda risicola Vallazza di Goro (FE), specializzata nella varietà Carnaroli.

2. FASE 1: rilievi fenologici e parametrizzazione del modello

Nella presente fase sono state analizzate le caratteristiche della coltura, tramite misura della durata del ciclo colturale e l'individuazione delle date di inizio e fine di ogni fenofasi, corrispondenti al cambio dei coefficienti Kc, tramite il rilievo in campo eseguito dal CER e dall'azienda Vallazza. Sono state studiate altresì le tecniche colturali, che maggiormente incidono sulla gestione idrica. Lo scopo è stato definire le sommatorie gradi giorno, le quali sono alla base del modello di accrescimento delle colture di IrriNet. Una volta effettuate queste attività, sono stati messi a punto in Fase 3 gli algoritmi alla base del modello di gestione dei fabbisogni idrici, per la realizzazione di una versione beta del sw del servizio e contestuale registrazione degli appezzamenti da studiare nel campo.

2.1 Rilievo ad analisi delle fenofasi

Di seguito riportiamo i rilievi delle fenofasi e dei criteri gestionali dell'acqua nella risaia nel caso di studio rilevati per l'anno 2022 presso l'azienda agricola Vallazza:

		PROGETTO	GESTFALDA	AZIONE 3.4				
Azienda		VALLAZZA	Località	Gorino				
Varietà riso		Caravaggio	Seme non trattato	ANNO	2022			
N	Operazione colturale	Data inizio	Data fine	Note	Fase fenologica	Eseguita	Livello H2O	
1	Semina in asciutta interrata	01/05/2022		Causa salinità acque x invaso	seme	X	asciutta	
2	Rullato riso seminato	02/05/2022		Per uniformare la semina	seme	X	asciutta	
3	Precipitazioni 25 mm	07/05/2022		Evitato primo invaso x germinazione	germinazione	X	salita	
4	Primo invaso	11/05/2022	12/05/2022	Completamento invaso	radicazione	X	costante	
5	Svuotamento risaia	13/05/2022	24/05/2022	Radicamento completato e inizio ciclo vegetativo	radicazione	X	asciutta	
	Secondo invaso	07/06/2022	08/06/2022	Per allungamento del coleoptile	1a foglia	X	salita	
6	Precipitazioni 25 mm	09/06/2022		Acqua più dolce	1 e 2 foglia	X	salita	
7	Invaso e mantenimento livello	14/06/2022	15/06/2022		2 e 3 foglia	X	costante	
8	Invaso lentamente	17/06/2022	19/06/2022	Portato a livello	Fase di aiuto/ inizio accestimento	X	salita	
9	Invaso e mantenimento livello	27/06/2022		mantenimento livello		X	costante	accestimento
10	svuotamento risaia	07/07/2022		risaia in asciutta	sviluppo apparato radicale e ossigenazione x adattamento a nuovo feedback	X	asciutta	spigatura
11	Inizio invaso	20/07/2022	25/07/2022	dopo 13 gg asciutta & concimazione	preparazione botticella	X	salita	maturazione spiga
12	Invaso	26/07/2022	23/08/2022	mantenimento acqua	inizio fase botticella	X	costante	
13	Invaso	26/08/2022	27/08/2022	mantenimento acqua	botticella e carico	X	costante	
14	Stop immissione acqua	27/08/2022	20/09/2022	mantenimento acqua	spighe maturazione	X	costante?	
15	Svuotamento risaia	20/09/2022		maturazione e asciugatura terreno	preparazione alla mietitura	X	asciutta	
16	Trebbiatura	??		asciugatura del terreno		X	asciutta	

Per calcolare il volume di adacquamento (VA) della risaia attraverso Irrinet ed i volumi applicati in campo nell'azienda Vallazza per l'anno 2021, sono state eseguite le seguenti semplificazioni:

- Sono state eliminate le irrigazioni dopo il 23/8, data in cui sono state sospese le irrigazioni. Su Irrinet è stato impostato un parametro associato alle fenofasi in cui si definisce se la fenofase è normalmente gestita in asciutta, e quindi per la quale non viene calcolato nessun VA o viceversa.
- Per quanto riguarda il bilancio del VA fatto sui dati in applicati in campo nel caso di studio riportiamo i seguenti aspetti (che saranno trattati in dettaglio nei paragrafi seguenti):
 - o Per la stima dei volumi aggiuntivi immessi in campo e misurati indirettamente (si è misurato il livello, non il flusso) è stato utilizzato il calcolo del volume defluito dalla camera dallo scarico di fondo utilizzando i dati di livello. Qui il volume viene stimato in circa 2000 mc. Tale valore potrebbe rappresentare il VA aggiuntivo per saturare il terreno al di sotto del piano campagna per tutti i riempimenti, anche se è presumibile considerare che al primo riempimento siamo in condizioni di minor contenuto idrico del terreno rispetto agli altri riempimenti. Quindi al VA misurato da rabbocchi si aggiunge tale valore in modo da calcolare tutti i volumi realmente applicati. I valori di livello della falda segnalano che allo svuotamento del 27/7/2021 segue abbassamento della falda fino a 45 cm da pc. Considerato una porosità efficace del 10% significa che al successivo riempimento è necessario portare il suolo dalla CIC alla CIM, che vuole dire 4,5 cm. Considerati 45 mm di acqua in più a riempimento si arriva per i 4 riempimenti effettuati ai circa ai 2000 mc stimati da scarico di fondo ($450 \times 4 = 1800$ cm).
 - o Il valore di rilasci in falda è stato stimato di 2-3 mm/d che rappresenta un valore rappresentativo per terreni fini di medio impasto come riportato in bibliografia.

2.2 Fenofasi della coltura di riso

In base ai dati ottenuti dai rilievi in campo come precedente riportato e alle simulazioni effettuate con il modello abbiamo identificato le sommatorie gradi giorno ed i relativi coefficienti colturali come segue:

RISO - SEMINA IN ACQUA				lv min	lv max	Dry/wet	Kc	IRR 1=SI 0=NO
	Descrizione fenofase	Ordine	Somma Termica (gradi)					
01-gen	presemina	1	0	0	15	1	0,4	0
20-mag	semina	2	270	8	10	0	1,05	1
25-mag	emergenza	3	25	2	5	0	1,05	1
27-mag	emissione radici	4	30	0	15	1	1,05	1
04-giu	1a foglia	5	75	2	5	0	1,05	1
13-giu	accestimento	6	120	0	15	1	1,05	1
02-lug	fine accestimento	7	300	8	10	0	1,05	1
22-lug	fine levata	8	300	13	15	0	1,2	1
25-lug	botticella	9	50	13	15	0	1,2	1
29-ago	mat cerosa	10	530	6	10	0	0,9	0

22-set	mat completa	11	250	2	5	0	0,6	0
30-set	sovramat - verso raccolta	12	70	0	15	1	0,4	0

**RISO - SEMINA
INTERRATA**

	Descrizione fenofase	Ordine	Somma Termica (gradi)	lv min	lv max	Dry/wet	Kc	IRR 1=SI 0=NO
01-gen	presemina	1	0	0	15	1	0,4	0
20-mag	semina	2	270	0	15	1	0,4	1
25-mag	emergenza	3	25	0	15	1	0,6	1
08-giu	3a foglia	4	150	2	5	0	0,6	1
13-giu	accestimento	5	75	0	15	1	0,6	1
02-lug	fine accestimento	6	300	8	10	0	0,8	1
22-lug	fine levata	7	300	13	15	0	0,8	1
25-lug	botticella	8	50	13	15	0	1,2	1
29-ago	mat cerosa	9	530	6	10	0	1,2	0
22-set	mat completa	10	250	2	5	0	0,6	0
30-set	sovramat - verso raccolta	11	70	0	15	1	0,4	0

3. Fase 2: Esecuzione del monitoraggio.

3.1 Inquadramento ambientale

L'appezzamento in questione, dell'estensione di circa 5 Ha e posto a circa - 2 s.l.m., è situato nel comune di Gorino (FE), sul ramo più meridionale del delta del fiume Po, a circa 200 m in linea d'aria dal mare Adriatico (più precisamente, dall'ansa fra linea di costa e propaggini del delta, definita sacca di Goro). Le acque irrigue, veicolate dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, provengono solitamente da sifoni ubicati in prossimità del ramo del Po di Goro. In situazioni climatiche, sempre meno rare, in cui l'ingressione del cuneo salino renda scadente la qualità delle acque all'interno del medesimo Po di Goro, i sifoni non sono più utilizzati e si prelevano con manovre idrauliche le acque dal relativamente vicino (5 km) Canal Bianco. In entrambi i casi, le acque giungono al Collettore Orientale, sono prelevate dall'azienda tramite pompe ed immesse nel capofosso posto in testata dell'appezzamento. Tramite la predisposizione di manufatti, viene artificialmente innalzato il livello, fino alla sommersione della prospiciente camera di risaia. Lo scolo delle acque e l'eventuale svuotamento della risaia, sono operate tramite l'apertura di un sifone, che pone in collegamento il capofosso terminale con una rete di canali che portano al canale di Gronda, parallelo all'argine sulla Sacca di Goro. Al centro dell'immagine seguente quello che viene indicato come rete di canali irrigui è una canalizzazione di tipo promiscuo. Quando dai sifoni su Po di Goro non è possibile derivare acqua con bassa salinità, il cui limite di solito è 2-2,5 mS/cm viene attivata un'adduzione alternativa di acqua di buona qualità proveniente dal Canal Bianco e pompata nel canale raffigurato. Escluso nel caso precedente descritto il canale centrale serve per lo scolo delle acque in eccesso e ed il flusso si muove in direzione est-ovest, sino ad arrivare all'impianto Bonello, ove le idrovore allontanano le acqua in eccesso verso la sacca di goro.



Figura 1: Posizione dell'appezzamento in relazione al delta del Po (sinistra) ed ingrandimento con evidenza dei suoi rapporti con la rete di canali (destra)

- a. Calcolo del bilancio idrico della coltura. Per conseguire tale obiettivo, sono stati stimati con la maggior precisione possibile tutti i volumi di acqua in entrata ed in uscita durante il ciclo di vita della coltura. Essendo il riso una coltura soggetta a periodiche sommersioni e svuotamenti (per es. per effettuare operazioni di diserbo), vi è da tener conto di più immissioni ed allontanamenti di acque nel corso del periodo, mentre i volumi non sono sempre gli stessi, poiché viene variata l'altezza del livello dell'acqua nella camera di risaia, secondo le necessità di climatizzazione della coltura. A questi fattori si aggiungono le perdite per percolazione nel suolo, a loro volta variabili secondo lo stato di umidità del terreno e dell'altezza rispetto al p.c. della falda salina e, ovviamente, l'evapotraspirazione effettiva, la quale varia secondo le fasi fenologiche. Per tali calcoli, si rimanda alla Fase 3 della Relazione.
- b. Campionamenti annui delle acque irrigue e di scolo. Nel corso di entrambi gli anni, sono stati effettuati campionamenti delle acque nei due capofossi di immissione e scolo (Figura 2), al fine di evidenziare differenze nella loro qualità dopo il percorso all'interno della camera di risaia. Più precisamente, ogni anno si sono eseguiti prelievi ad inizio e fine stagione irrigua (sostanzialmente a maggio e ad agosto/inizio settembre), utilizzando strumenti *bailer*, già ampiamente testati nei campionamenti di acque di falda ipodermica. Le acque raccolte sono state poi immesse in Bottiglie Kartell in PE da 1 lt e conservate in apposita ghiacciaia portatile. I parametri ricercati sono stati i seguenti: pH, Conducibilità Elettrica, Torbidità, Cloro, Calcio, Magnesio, Solfati, Ammonio, Nitrato e Fosfati. In sintesi, rispetto a quanto previsto nel piano, si è escluso il parametro sodio, per introdurre più opportunamente due parametri maggiormente indicativi in relazione all'eutrofizzazione (fosfati) ed alla sedimentazione (torbidità). La determinazione di pH e Conducibilità Elettrica è stata svolta direttamente in campo tramite appositi strumenti, phmetro e conduttimetro. I restanti parametri sono stati misurati nel laboratorio interno CER, tramite l'utilizzo di appositi kit Hach-Lange e spettrofotometro DR6000 della stessa azienda. I risultati complessivi sono riassunti nella seguente Tabella 1.



Figura 2: A sinistra: punto di immissione delle acque in risaia (IN); a destra: punto di uscita con sifone regolabile in altezza (OUT).

Parametro	UdM	20/05/2021		03/09/2021	
		IN	OUT	IN	OUT
Torbidità	NTU	100,7	7,1	85,8	65,2
pH	- log[H ⁺]	7,58	7,76	7,81	7,73
Ecw	µS/cm	908	1527	2446	2543
Ca	mg/l	48,10	60,40	85,80	100,00
Mg	mg/l	18,40	30,10	51,80	59,50
Durezza	°dH	11,00	15,40	24,00	27,80
Cl	mg/l	174,00	324,00	575,00	649,00
SO4	mg/l	42,90	110,00	80,60	59,10
NO3	mg/l	0,856	0,178	0,229	0,269
NH4	mg/l	0,267	0,088	0,063	0,054
PO4	mg/l	0,017	< LoQ	0,006	< LoQ

Parametro	UdM	25/05/2022		11/08/2022	
		IN	OUT	IN	OUT
Torbidità	NTU	84,0	81,6	107,6	44,4
pH	- log[H ⁺]	7,92	7,87	8,09	7,82
Ecw	µS/cm	1839	1822	1932	2620
Ca	mg/l	76,20	75,80	74,00	102,00
Mg	mg/l	34,70	34,40	38,00	56,50
Durezza	°dH	18,70	18,60	19,20	27,30
Cl	mg/l	395,00	392,00	420,00	632,00
SO4	mg/l	71,90	59,20	68,10	92,90
NO3	mg/l	0,264	0,233	0,350	0,300
NH4	mg/l	0,149	0,206	0,142	0,123
PO4	mg/l	0,014	0,041	0,027	0,012

Tabella 1: Elenco parametri analizzati, unità di misura e corrispettivi valori riscontrati in entrata (IN) ed uscita (OUT) dalla risaia. Le date di campionamento nei due anni si riferiscono a poco dopo l'invaso e poco prima dello svaso definitivo per la trebbiatura.

Eseguendo una sommaria analisi dei dati, si osserva come alcuni parametri appaiano sicuramente influenzati dal transito nella camera di risaia ed altri meno, o comunque in maniera meno evidente. Vi è anche da premettere che la forte siccità del 2022 ha sicuramente alterato, rispetto alla norma, la qualità delle acque in entrata. Ad esempio, a causa dell'ingressione del cuneo salino per diversi chilometri all'interno del ramo del Po di Goro a maggio 2022, la conducibilità elettrica si presenta praticamente raddoppiata rispetto al 2021 (ECw 1839 µS/cm il 25/05/22 contro un'ECw di soli 908 µS/cm il 20/05/21). Normalmente, comunque, la conducibilità in uscita risulta maggiore di quella in entrata, a causa del dilavamento in risaia dei suoli salini e dell'evapotraspirazione, che aumenta la concentrazione dei soluti. Correlati a questa situazione sono gli incrementi in uscita dei valori di

Durezza (quindi anche Calcio e Magnesio) e di altre specie ioniche come i Cloruri. Il 25 maggio 2022 tutti questi parametri presentano valori analoghi sia in uscita che in entrata, ma ciò può essere ricondotto, oltre che alla sopra citata eccezionale situazione climatica, anche alla differente gestione (semina in asciutta), che ha ridotto i giorni d'invaso rispetto al 2021. In tutti i casi, invece, si assiste ad una diminuzione della torbidità, sicuramente legata alla decantazione operata nel lento percorso delle acque all'interno della risaia. Per quanto riguarda i nutrienti (ammonio, nitrati, fosfati), si assiste, sempre con l'eccezione del 25 maggio, ad una loro percettibile diminuzione in uscita, ma qui la situazione è complessa, in quanto entrano in gioco, oltre all'utilizzo da parte della pianta, anche le concimazioni effettuate nel corso del periodo vegetativo. Nel complesso, la camera di risaia funge, durante l'invaso, da bacino di sedimentazione, come attestato nei due anni dalla sensibile riduzione di torbidità in uscita. Inoltre, negli anni con un normale andamento climatico, si assiste ad un allontanamento di sali (*leaching*) dalla parte superficiale del suolo, ovviamente molto meno efficace, se già, come a maggio 2022, le acque irrigue apportate possiedono una notevole salinità. Per quanto riguarda i nutrienti, sembra che le esigenze della coltura, anche al netto delle concimazioni, portino ad una loro, seppur limitata, riduzione nelle acque in uscita.

- c. Misura dei volumi immessi nella risaia: Lo scopo di quest'attività era di effettuare una stima precisa dei volumi di acqua transitati nel corso della stagione nella camera di risaia, tenendo conto degli inevitabili periodi di riempimento (wet) e svuotamento (dry) e delle variazioni di livello operate giornalmente per mantenere la climatizzazione della coltura. Per raggiungere l'obiettivo, si è optato per un monitoraggio in continuo tramite pressostati di tipo TD Diver, già ampiamente utilizzati da CER in Regione nel monitoraggio della falda ipodermica. Due strumenti di questo tipo, programmati per l'effettuazione di una lettura ogni ora, sono stati posti in due tubi di calma forati, avvolti in tessuto non tessuto ed infissi, rispettivamente, in prossimità del capofosso di immissione e di scolo delle acque (Figura 3). Tramite essi, è stato possibile registrare tutte le variazioni di altezza del livello dell'acqua in entrata ed uscita. In particolare, la durata delle fasi di riempimento e svuotamento è stata riferita all'innalzamento od abbassamento del livello dell'acqua rispetto al p.c., misura che è stata resa possibile dal preventivo rilievo di precisione centimetrica della quota degli strumenti e dell'adiacente p.c. tramite apposito strumento GPS Emlid. A conferma di quanto dedotto dai rilievi strumentali, si è effettuato un confronto con la scheda delle operazioni colturali aziendali, nella quale venivano appunto registrate le date di immissione acque e di svuotamento. A causa della bassa velocità delle acque e della stretta sezione dei capofossi, non è stato invece possibile effettuare il calcolo diretto delle portate, come previsto nel Piano.



Figura 3: Immagini dei due piezometri con Diver posizionati per il controllo dei livelli di acqua nella camera di risaia: a sinistra, entrata; a destra, uscita.

Lo scarico dei dati, acquisiti dagli strumenti TD Diver, ha consentito di ricostruire annualmente le curve di variazione del livello dell'acqua nella risaia, come da Grafico 1.

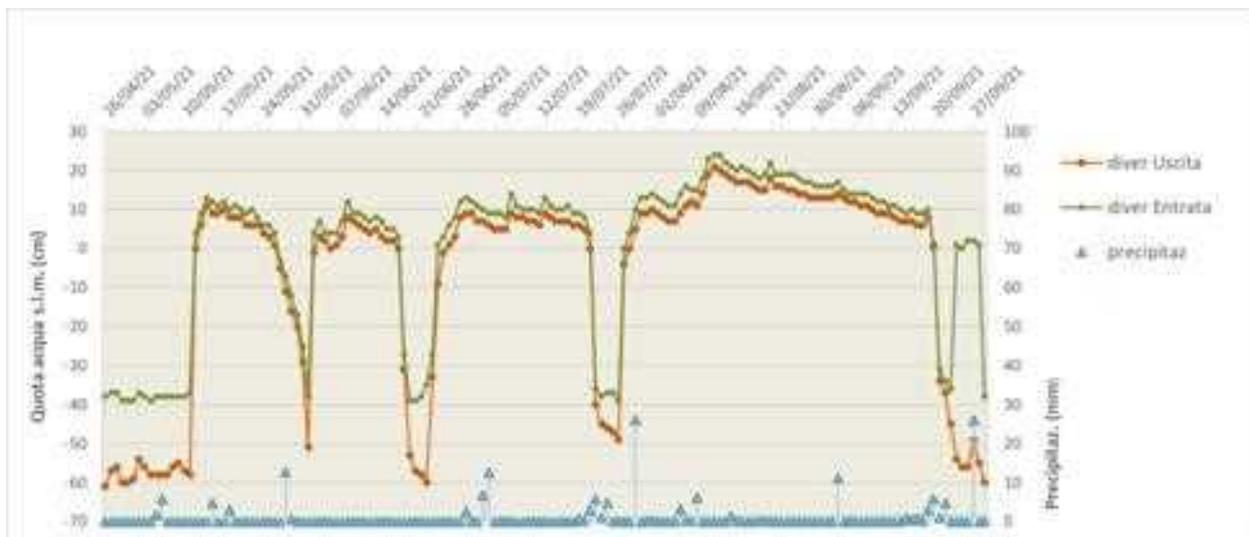


Grafico 1: Andamento del livello di acqua all'interno della risaia nell'anno 2021, rilevato dai due strumenti posti in entrata ed uscita. Le quote, rilevate con GPS a precisione centimetrica, sono riferite al livello del mare. L'ultimo innalzamento del livello dell'acqua, registrato dal Diver in entrata a fine settembre, è probabilmente connesso all'invaso del solo canale adiacente al piezometro, a causa di intense precipitazioni e senza possibilità di sgrondare rapidamente le acque.

Le due curve hanno un andamento pressoché identico, con piccole variazioni di quota di 2-3 cm, probabilmente da attribuire ad errori casuali legati, ad esempio, alla corretta misurazione della lunghezza del cordino che sospende il Diver all'interno del piezometro. Per il resto, sono perfettamente percepibili i livelli raggiunti in ogni invaso (fino a 23-24 cm nel corso dell'ultimo effettuato a fine luglio) e la rapidità con cui le acque affluiscono e defluiscono dalla camera di risaia. I grafici così

realizzati, sia per il 2021 che per il 2022, sono stati poi confrontati con i quaderni di campagna compilati dall'azienda, al fine di ottenerne le più ampie corrispondenze. I dati derivati, come la durata di ogni singolo vaso e la quota raggiunta ogni giorno, sono stati poi utilizzati per elaborare il calcolo dei volumi transitati in risaia, sia in entrata che in uscita ed impostare il conseguente bilancio idrico, contenente anche gli altri parametri di calcolo, quali i volumi infiltrati e l'evapotraspirazione.

- d. Caratterizzazione pedologica dei suoli presenti nell'appezzamento: Quest'operazione è stata svolta, ovviamente a risaia svasata, all'avvio delle operazioni del Piano, nell'aprile 2021. Nei circa 5 ettari di appezzamento si è optato per l'esecuzione di tre trivellate disposte a triangolo e distanziate fra loro di circa 150 m, al fine di cogliere statisticamente eventuali variazioni pedologiche. Le trivellate, la cui ubicazione è stata registrata tramite GPS con grado di precisione ± 3 m, sono state effettuate fino alla profondità di 150 cm, seguendo gli standard indicati dall'Area Geologia, suoli e sismica della Regione Emilia – Romagna. I principali orizzonti di suolo e i rispettivi caratteri sono stati descritti in apposite schede, seguendo le codifiche indicate nella Guida di campagna 2020. Tutte le osservazioni sono state attribuite, col supporto dell'Area Geologia, suoli e sismica della Regione Emilia – Romagna, all'Unità Tipologica di Suolo *Valle Pioppa (VPO1) franco argillosi limosi*, molto diffusa nel delta del Po e caratterizzata da tessitura da media a moderatamente fine, drenaggio imperfetto e salinità in aumento con la profondità (anche > 8 mS/cm). La falda ipodermica è stata riscontrata, nel corso dei rilievi, fra i 65 ed i 75 cm dal p.c. e appare associata agli orizzonti profondi più grossolani (franchi), con colore di matrice grigia o grigio bluastra (Hue da 5Y a 5B delle Munsell Soil Color Charts). Complessivamente, è stata riscontrata una discreta omogeneità in tutto l'appezzamento, il che ha consentito di introdurre, nel calcolo delle perdite per infiltrazione, l'ipotesi di una medesima conducibilità idraulica satura dei suoli valida per tutta la superficie. Ulteriori indagini correlate ai rilievi pedologici sono descritte ai successivi capoversi (e) ed (f), relativi, rispettivamente, all'utilizzo degli strumenti Field Scout ed EM38.



Figura 4: A sinistra: descrizione del suolo della risaia; a destra: particolare della capacità di incrostamento superficiale del suolo.

- e. Rilievi puntuali del livello di salinità nel suolo tramite strumento Field Scout: Quest'ulteriore attività di monitoraggio è stata pianificata per verificare eventuali variazioni stagionali di contenuto della

salinit  del suolo, sia nella parte superficiale che in quella profonda e in punti diversi della camera di risaia. Lo strumento utilizzato per tali indagini   stato il Field Scout della *Spectrum Ins*, conduttimetro dotato di una sonda a T, che consente l'esplorazione fino alla profondit  di 70 cm dal p.c. I rilievi sono stati effettuati una volta sola nel 2021, dopo la raccolta del riso e tre volte nel corso del 2022, dopo un primo svaso (fine maggio), un secondo svaso per favorire la radicazione (luglio) e dopo la raccolta (ottobre). In ogni punto, georeferenziato tramite GPS con precisione $XY \pm 3$ m,   stato raccolto un dato di conducibilit  ogni 10 cm di avanzamento della sonda nel terreno. I risultati ottenuti sono riportati nei seguenti Grafici 2 e 3, nei quali figura anche l'indicazione del numero di campo o ripartizione dell'appezzamento a partire da est. Si sottolinea che i valori rappresentano la conducibilit  rilevata dallo strumento sotto determinate condizioni di saturazione del terreno¹, le quali possono variare sensibilmente, in risaia, secondo i periodi in cui   stato effettuato lo svaso o anche in relazione alla quota raggiunta dalla falda salina. Prendendo in esame il Grafico 2, relativo ai valori rilevati il 11/11/2021, risultano evidenti alcuni aspetti: (a) conducibilit  dei suoli > 2 mS/cm fin dalla superficie (suoli molto debolmente salini secondo la *Carta della salinit  dei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-50 cm 2a approssimazione - ed. 2015*); (b) la conducibilit  aumenta con la profondit , fino a raggiungere valori massimi fra i 3 ed i 6 mS/cm; (c) i valori maggiori alla massima profondit  (70 cm) sono presenti nei punti di rilievo pi  vicini allo scolo (campo 4 e campo 5.1). Questo   ragionevole, in quanto le quote sul p.c. vicino allo scolo (sud-ovest) sono pi  basse di alcuni cm rispetto a quelle vicine al punto d'immissione delle acque irrigue (nord-est) e pertanto si approssimano al livello della falda salina.

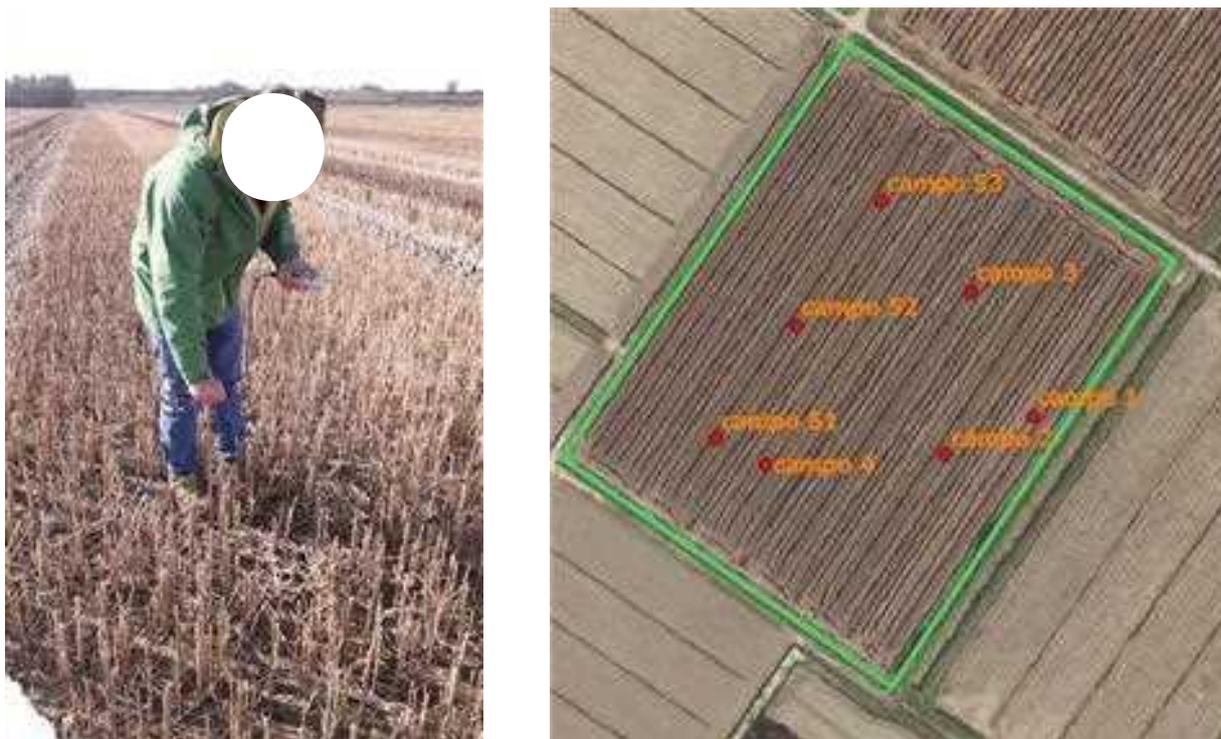


Figura 5: a sinistra: misura in campo sulla risaia gi  trebbiata tramite Field Scout; a destra: mappa dell'appezzamento con ubicazione dei punti di rilievo 2021.

¹ Il manuale rilasciato dalla ditta produttrice propone di utilizzare una determinata formula di conversione per ottenere il valore di conducibilit  in pasta satura (ECe), premettendo per  che esso   adatto per i suoli grossolani, quindi per una tipologia non presente nell'appezzamento monitorato. Tale formula non   stata pertanto presa in considerazione.

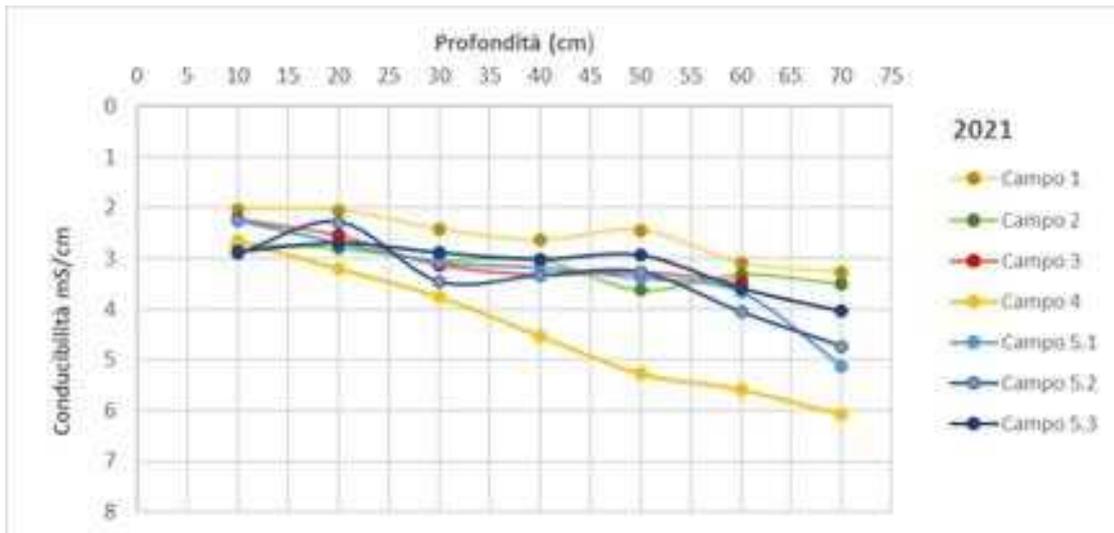


Grafico 2: Andamento della conducibilità elettrica, rilevata con Field Scout, in alcuni punti dell'appezzamento (campi) l'11 novembre 2021.

Il successivo Grafico 3 mostra invece un confronto fra i dati rilevati in alcuni punti il 13 luglio ed altri rilevati invece il 17 ottobre (entrambi anno 2022). Nonostante i due rilievi siano separati da circa tre mesi, dei quali due di inverno, non si notano specifiche differenze a livello temporale, a meno di non fare riferimento ai primi 10 cm di profondità, nei quali tutti e tre i rilievi del 17 ottobre indicano una conducibilità minore (anche inferiore ai 2 mS/cm). In effetti, sembrano più influenti situazioni posizionali (più vicino o lontano dallo scolo, più ad est o ad ovest), com'è il caso dei rilievi sui campi 4 e 5, adiacenti fra loro, in cui si rileva una maggior conducibilità in profondità.

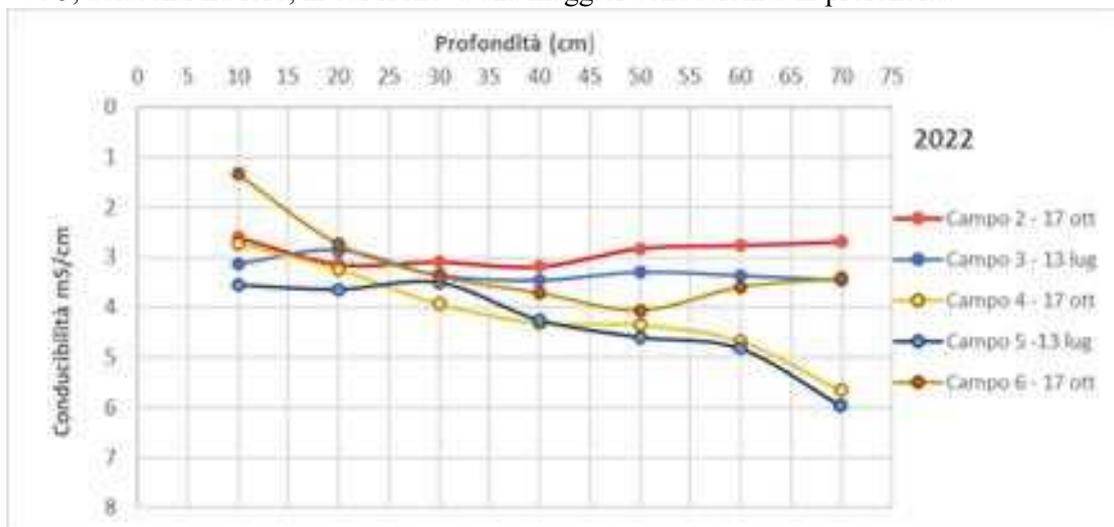


Grafico 3: Andamento della conducibilità elettrica, rilevata con Field Scout, in alcuni punti dell'appezzamento (campi), nel corso delle due date 13 luglio e 17 ottobre 2022.

- f. Esecuzione di rilievi della conducibilità elettrica apparente del suolo. Nella camera di risaia, si è provveduto alla misura delle variazioni areali di conducibilità elettrica nel suolo, tramite l'utilizzo di uno strumento a induzione elettromagnetica (EM38 Geonics – Figura 6). Le caratteristiche tecniche di tale apparecchio sono già state descritte per esteso all'interno dell'Azione 3.1 – Capitolo 2. Nel corso dei due anni di monitoraggio, nell'intero appezzamento sono stati effettuati, come da programma, quattro rilievi, due per anno, prima della semina e dopo la raccolta. Più precisamente, le date sono state le seguenti: 26 aprile e 11 novembre 2021, 4 maggio e 17 ottobre 2022. Ogni volta è stato adottato un percorso di tipo bustrofedico, per l'intera lunghezza di ciascuno dei 6 campi in cui è suddiviso

l'appezzamento. Ciò ha consentito l'effettuazione di oltre 2000 battute per singolo rilievo, distanti circa 1 m l'una dall'altra e quindi con la garanzia di un'ottimale copertura della superficie. I punti sono stati poi esportati su GIS per le successive elaborazioni.

Per poter meglio valutare i risultati di questo lavoro, in Figura 7 sono state affiancate quattro mappe, nelle quali figura una rappresentazione a falsi colori dei quattro rilievi stagionali effettuati. Rispetto al consueto, non si sono operate interpolazioni geostatistiche, quali l>IDW (*Inverse Distance Weight*), in quanto si è ritenuto che, con tale metodo, vi fosse il rischio di perdere importanti dettagli. Nelle mappe sono pertanto riportati tutti i punti di rilievo georeferenziati, colorati secondo classi di valori, che sono le medesime per tutte e quattro le immagini.



Figura 6: Fasi di preparazione e di rilievo tramite EM38 lungo la superficie della risaia, a fine aprile 2021.

Dal confronto emergono alcuni tratti distintivi:

- La striscia più orientale (Campo 1) mostra in ogni periodo valori di conducibilità piuttosto bassi (in genere < 180 mS/m), da attribuire probabilmente ad una tessitura più grossolana. In effetti, sebbene in profondità non vi siano differenze tessiturali rilevanti per tutte e tre le trivellate eseguite nell'area di studio, la trivellata più vicina al Campo 1 è anche quella con orizzonte superficiale più grossolano (franco limoso contro franco argilloso). L'aspetto regolare di questa striscia lascia presupporre un'attività antropica, forse relativa a recenti sistemazioni o riporto di terreno.
- Circa a metà dell'appezzamento corre un'altra striscia di ampiezza limitata (max 10 – 15 m) e a ridotta conducibilità, perpendicolare alla prima sopra citata. Anche in questo caso si ipotizzano tracce di una precedente attività antropica, forse l'unione di due distinte unità poderali.
- Le aree a maggior conducibilità sono situate nella parte inferiore (sud-ovest) dell'appezzamento, in prossimità del canale di scolo e nella parte nord-ovest. In entrambi i casi si può ipotizzare una più elevata umidità nei suoli o una falda salina più superficiale. I valori di conducibilità maggiori sono comunque presenti nella parte sud-occidentale, per la quale è facile ipotizzare un maggior ristagno idrico, in quanto punto di sgrondo delle acque verso il canale di scolo.
- L'immagine del 4 maggio 2022 indica un'estrema riduzione dei punti a conducibilità più elevata (> 250 mS/m) e questo sembra conseguente alla ridotta umidità nel terreno causata dalla siccità verificatasi fra l'inverno 2021 e la primavera 2022. Manca evidentemente anche un'influenza legata

alla risalita della falda salina, la quale ancora il giorno prima del rilievo era attestata nel piezometro arginale a -87 cm dal p.c.

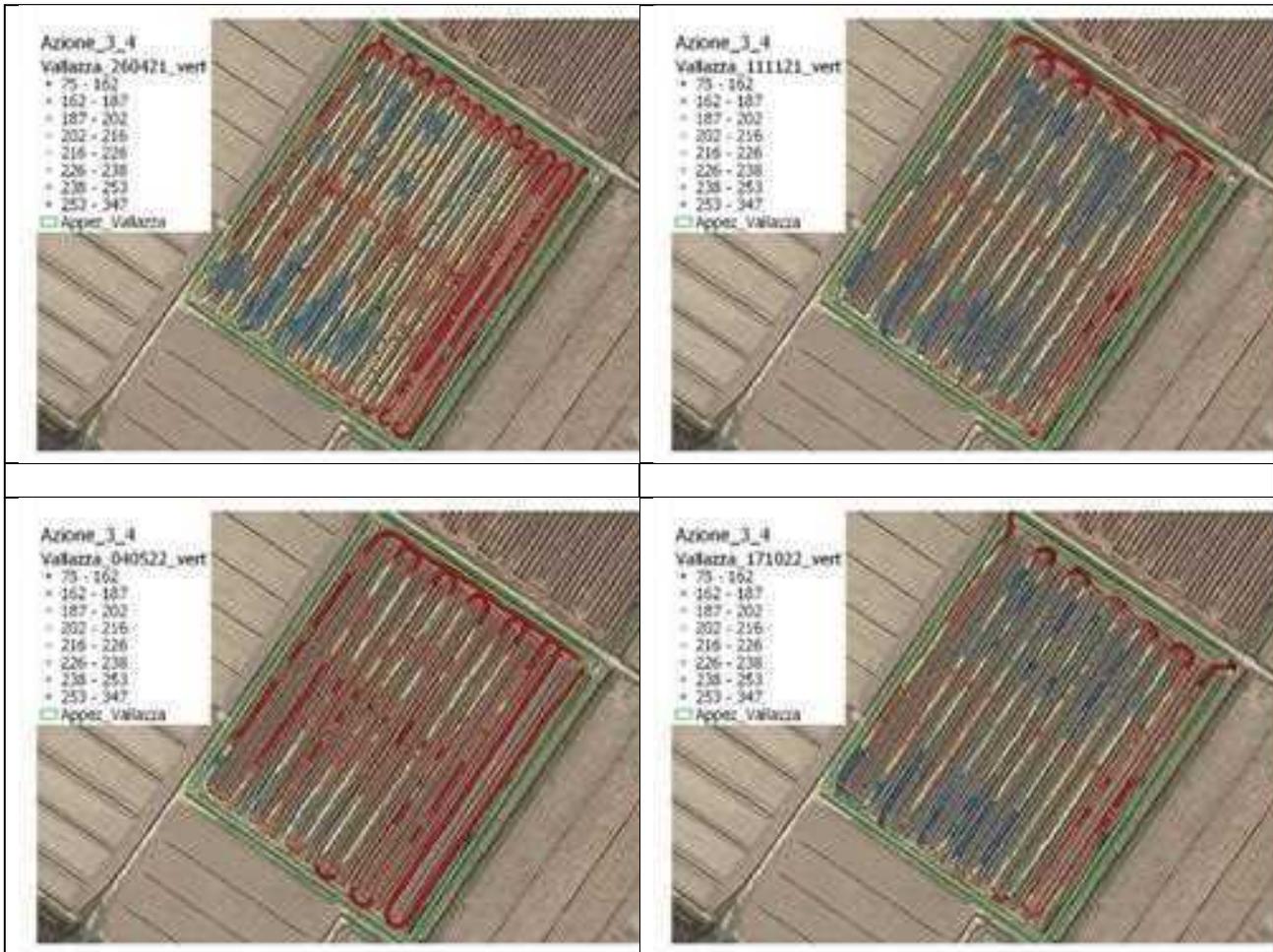


Figura 7: confronto fra mappe a falsi colori ricavate dall'elaborazione dei dati rilevati tramite strumento EM38. Da sinistra a destra e dall'alto in basso: rilievo del 26/04/2021, rilievo dell'11/11/2021, rilievo del 04/05/2022 e rilievo del 17/10/2022

- g. Posa di un piezometro nei pressi dell'appezzamento. Tale operazione è stata eseguita il 22 giugno 2021, su un rilievo arginale, rialzato di circa 70 cm rispetto al p.c. e posto in prossimità del canale di scolo delle acque. In tale occasione, si è utilizzato un piezometro in PVC della lunghezza di 3 m e Ø 63 mm, forellato per 180 cm a partire dalla base e avvolto in tnt di densità 30 gr/m², dello stesso tipo di quelli utilizzati nelle stazioni della rete regionale di misura della falda ipodermica. Al suo interno, tramite cordino, è stato assicurato uno strumento CTD Diver, misuratore in continuo del livello di falda e di conducibilità elettrica dell'acqua (ECw), programmato per l'esecuzione di una lettura ogni ora. Il suolo estratto per la posa è stato descritto pedologicamente, utilizzando la medesima metodologia applicata al capoverso (d) e, tenendo conto del tratto arginale, giungendo fino alla profondità di circa 200 m dal p.c. Esso è risultato appartenere alla stessa all'Unità Tipologica di Suolo *Valle Pioppa (VPO1) franco argillosi limosi*, attribuita alle tre trivellate eseguite durante la fase d'indagine preliminare. La differenza più sostanziale è risultata essere la presenza di un orizzonte profondo a tessitura franca sabbiosa, situato oltre i 140 cm dal p.c. e quindi difficilmente raggiungibile dalle precedenti trivellate. Lo scarico dei dati dal CTD Diver è stato effettuato per tutta la durata del Piano, ogni tre mesi circa ed è ancora in corso a dicembre 2023, in quanto l'azienda agricola Vallazza è coinvolta come partner anche nel Piano CER SuperIrri.



Figura 8: A sinistra: Piezometro posizionato sull'argine e, sullo sfondo, la risaia; appare evidente la differenza di quota fra il rilievo arginale e il piano campagna; a destra: posizionamento all'interno del piezometro dello strumento CTD Diver.

Tale attrezzatura ha consentito di ottenere oltre 2 anni di registrazioni sulle oscillazioni del livello dell'acqua nel suolo, legate non solo alla falda ma anche alle immissioni/svasamenti di acque irrigue effettuate dall'azienda. Analogamente, è disponibile per lo stesso periodo la curva di andamento dei valori di salinità, con una sola piccola discontinuità, presente in un periodo di 5 giorni del 2022, nei quali la falda è scesa a quota inferiore rispetto al sensore dello strumento. Questi dati integrano quelli estratti dai Diver posizionati nei tubi di calma in risaia, descritti al capoverso "c", per diverse ragioni: (1) fungono da controllo delle quote registrate dagli altri Diver durante gli invasi; (2) permettono di verificare l'aumento/diminuzione del grado di salinità nel corso della stagione irrigua e fra un anno e l'altro; (3) mostrano le quote inferiori raggiunte dal livello di falda anche nel periodo autunno – invernale, quando gli altri Diver, situati poche decine di cm sotto il p.c. non potrebbero registrare nulla e sono pertanto prelevati e mantenuti in deposito. Il successivo Grafico 4 evidenzia quanto sopra descritto:

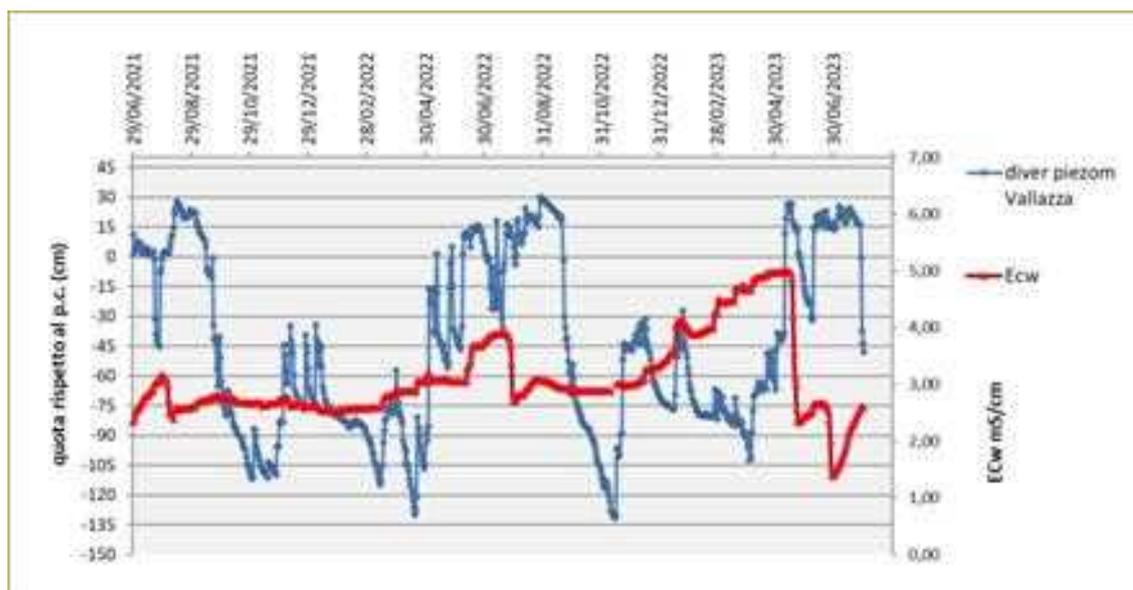


Grafico 4: Andamento del livello di falda, in combinazione con l'acqua d'invaso (valori sopra lo "0", indicante il piano campagna) registrato dal CTD Diver, presente nel piezometro da 3 m situato nella parte arginale della risaia. La linea rossa mostra invece le variazioni di salinità, sempre rilevate dal CTD. Le curve sono riprodotte fino a luglio 2023, perché il monitoraggio continua nel sito, nell'ambito di un altro Piano.

Come si osserva, la falda oscilla, nel periodo monitorato, fra i -130 ed i + 30 cm dal p.c., con valori più elevati determinati dalle attività d'invaso, le quali, da maggio a settembre, tendono a rialzare la falda artificialmente fino al massimo sopra citato. Durante gli svassi, la falda ridiscende abbastanza rapidamente, ma, se sono temporanei e legati ad attività gestionali (diserbo, concimazione), essa non raggiunge mai valori inferiori ai - 60 cm. Diverso il discorso relativo agli svassi finali prima della trebbiatura: in questi casi la falda giunge gradualmente a profondità < 100 cm dal p.c. (-131 nel siccitoso 2022), con eventuali risalite fino a poche decine di cm dal p.c. solo in occasione di consistenti eventi piovosi. Per quanto riguarda i valori di salinità, si osserva che essi, alla profondità di circa - 130 cm dal p.c. (quota di posizionamento del CTD), si mantengono solitamente sotto i 3 mS/cm, ossia ad una concentrazione non particolarmente dannosa per gran parte delle varietà di riso (Ayers & Westcot - FAO IRRIGATION AND DRAINAGE 29 Rev. 1 Reprinted 1994). Sono presenti nel grafico tre principali episodi di aumento della concentrazione: uno per anno. Nel 2021 e nel 2022, questo avviene in estate, più precisamente nel mese di luglio 2021 e fra giugno e luglio 2022. I valori calano poi gradualmente, in entrambi i casi, ad agosto e non si osservano successivamente altri aumenti significativi. In ogni caso, la relazione coi i periodi di invasivo e di svasso non appare particolarmente significativa. Infine, fra novembre 2022 e inizio maggio 2023 è evidente una nuova risalita della salinità, fino a valori che sfiorano i 5 mS/cm. Essa sembra da porre in relazione con l'ingressione del cuneo salino nel Po, fenomeno attestato con certezza dai rilievi effettuati a primavera dal locale Consorzio di bonifica sulle acque irrigue prelevate dal ramo del Po di Goro. Tale concentrazione precipita in pochi giorni a valori consueti, in seguito sia alle piogge abbondanti di maggio, sia anche all'invaso della risaia effettuato a partire dal 10 maggio.

- h. Rilievi della risposta da parte delle piante tramite misure della riflettanza. Come previsto nel Piano, sono stati effettuati due sorvoli dell'appezzamento, in fase di maturazione della spiga, tramite drone equipaggiato con sensori multispettrali (Parrot Sequoia), per accertare la distribuzione del vigore vegetativo in campo e l'eventuale correlazione con la distribuzione della salinità. I due voli hanno avuto luogo rispettivamente il 3 settembre 2021 ed il 30 agosto 2022.



Figura 9: *Maturazione del riso a fine agosto 2021*

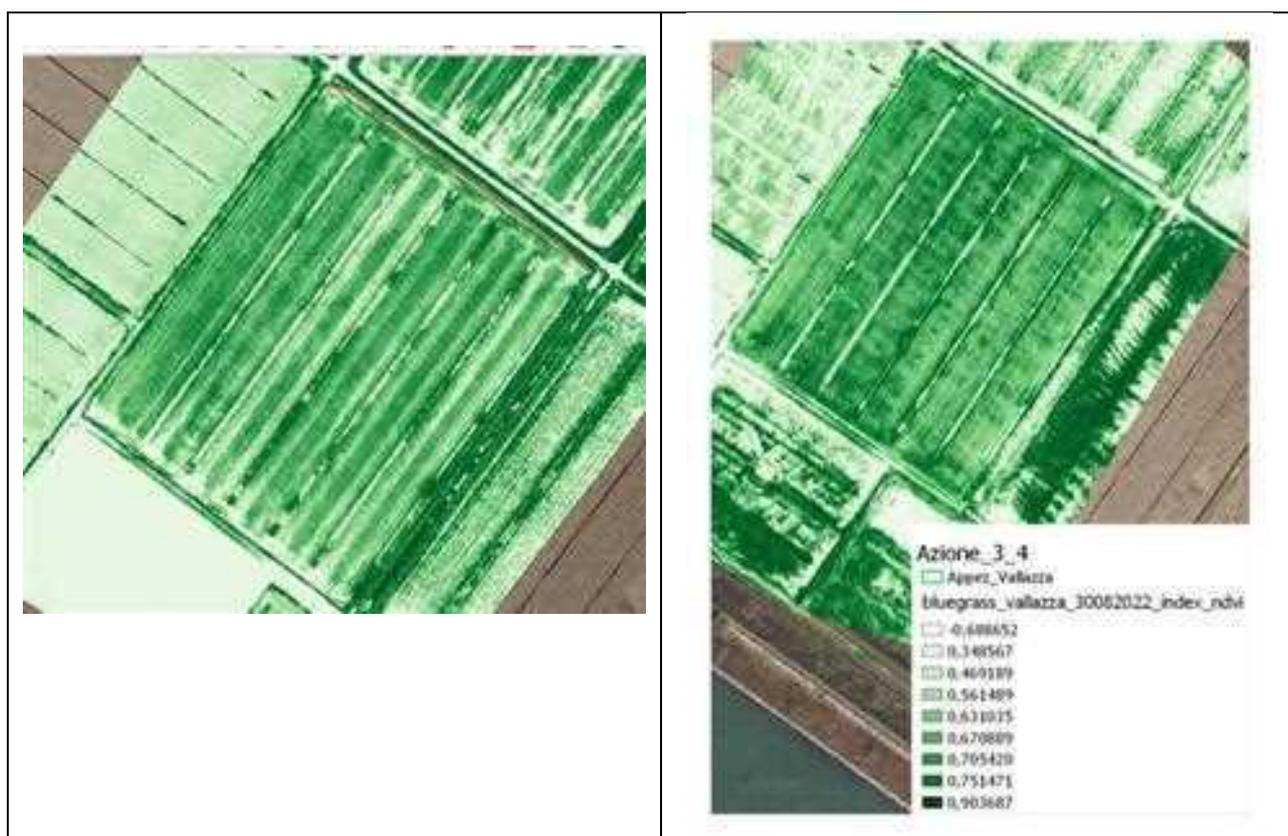


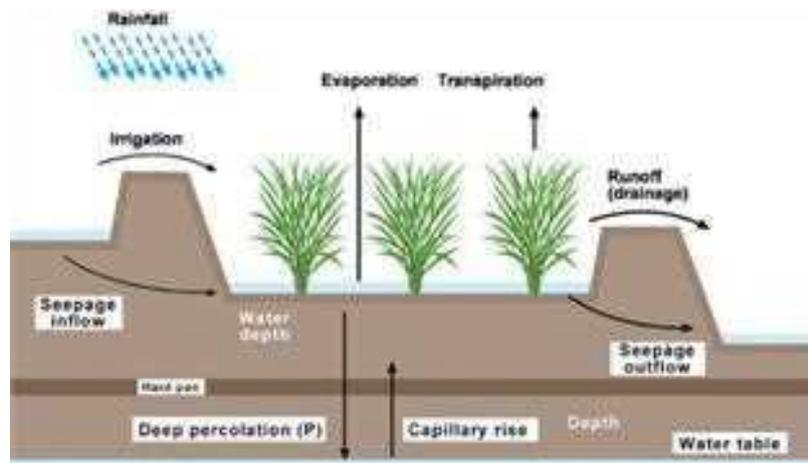
Figura 10: *rappresentazione a falsi colori dei valori di NDVI rilevati nell'apezzamento; a sinistra volo del 22/06/2021; a destra, volo del 30/08/2022.*

L'apezzamento mostra in generale una vigoria abbastanza uniforme. La prima e la seconda camera di risaia verso est manifestano una vigoria abbastanza omogenea, così come le ultime 3 in direzione ovest. Questo andamento rispecchia in parte quello rilevato con sonda EM38 e quanto risultato dal rilievo pedologico. E' possibile notare un trend, in parte, anche nel senso ortogonale alle canalizzazioni, che dividono le camere della risaia e ciò potrebbe essere connesso al maggior tirante di acqua che si instaura durante le fasi di germinazione. Livelli di acqua variabili possono portare a variazioni nell'attecchimento. Nella risaia, inoltre si innescano processi di sedimentazione differenziale in funzione delle condizioni idrodinamiche di flusso che portano in taluni casi a maggior costipamento del suolo, ove si sviluppa una velocità minore.

4. FASE 3. Calibrazione del modello irriguo su IrriNet e successiva validazione del prototipo tramite comparazione con la gestione aziendale della coltura in sommersione.

4.1 Modello idrologico per l'irrigazione della risaia ed inquadramento preliminare dei rilievi in campo

Il modello del bilancio idrico, applicato dal servizio Irrinet/Irriframe per analizzare la dinamica dell'acqua nello strato radicato del suolo, è stato esteso per la coltura del riso in modo che comprendesse esclusivamente la lama d'acqua situata al di sopra del piano campagna. Nell'illustrazione sottostante, presentiamo un diagramma dettagliato del bilancio idrico applicato alle risaie, evidenziando tutte le sue componenti.



$$\Delta w = I + R + Si + CR - So - ET - P - D$$

Figura 11: schematizzazione del bilancio idrico della risaia

L'estensione del modello per includere la lama d'acqua sopra il terreno permette una valutazione più completa e accurata degli apporti e delle perdite idriche nell'ambiente di coltivazione del riso. Questa prospettiva ampliata consente sia di considerare in modo più preciso la gestione dell'acqua, sia di ottimizzare le pratiche agricole per massimizzare l'efficienza e la sostenibilità del sistema di coltivazione del riso.

Esaminando lo schema precedente, è possibile identificare chiaramente le varie componenti del bilancio idrico, tra cui le entrate attraverso la pioggia, l'irrigazione, la risalita capillare il drenaggio laterale in ingresso, e le uscite attraverso l'evaporazione, l'infiltrazione, il drenaggio profondo ed il drenaggio laterale in uscita. Questa visione dettagliata fornisce agli agricoltori e agli esperti un quadro completo delle dinamiche idriche

nell'ecosistema delle risaie, facilitando la pianificazione e l'ottimizzazione delle risorse idriche per garantire una gestione sostenibile e efficiente delle coltivazioni di riso.

Al fine di semplificare l'aspetto modellistico i termini Si, So, P e CR sono stati raggruppati in una unica variabile che tenesse conto delle dinamiche tra le acque sotterranee ed il corpo idrico superficiale (rappresentato dalla lama di acqua) presente nella risaia in funzione della litologia, delle caratteristiche pedologiche ed idrogeologiche.

In questa fase abbiamo definito le logiche che hanno portato alla scelta del Kc (FAO), calcolo dell'ET0, calcolo delle sommatorie termiche e della durata fasi fenologiche, oltre alla scelta di identificare come colture differenti le due pratiche semina in asciutta/semina in acqua e i due differenti metodi di calcolo durante le fasi wet/dry. È stata poi caratterizzata in maniera approfondita la parte relativa all'infiltrazione nel terreno, che può influenzare maggiormente il calcolo dei volumi, in particolare se si fa riferimento ai valori di conducibilità idraulica satura che non tengono conto dell'effetto della compattazione del letto di semina, anche ad opera dei processi di sedimentazione e del minimo gradiente presente nelle risaie.

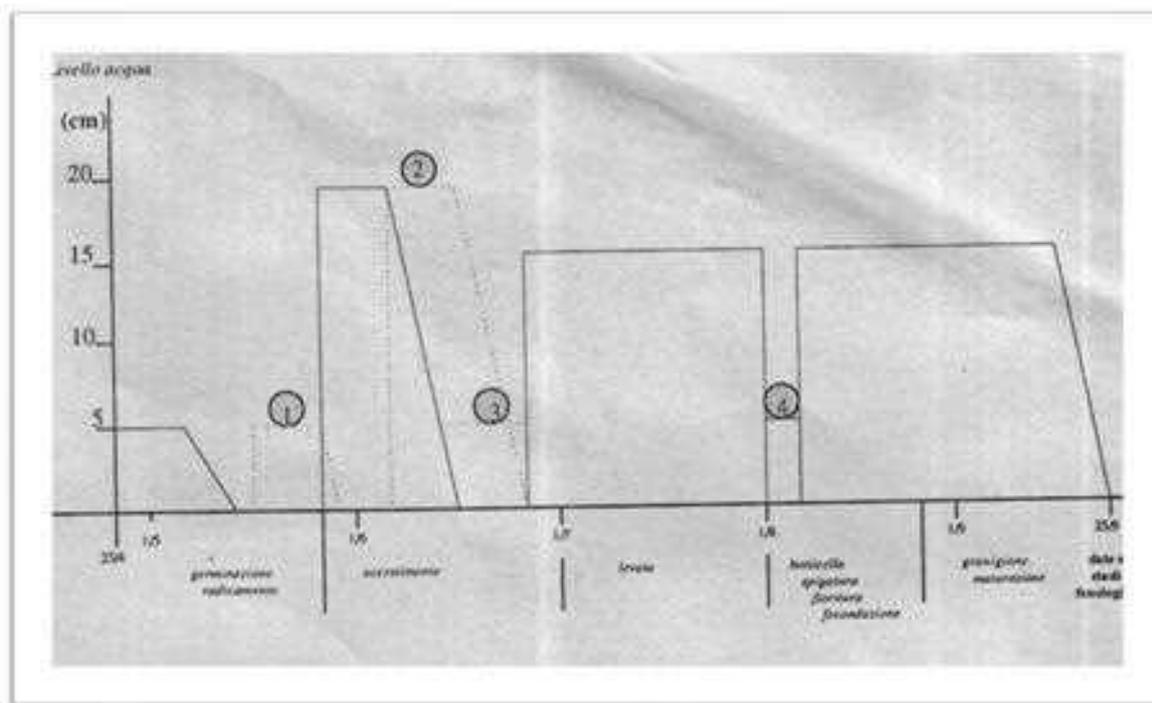
4.1 Governo delle acque in risaia

In termini generali si tratta di alternanza temporale tra periodi di sommersione (wet) e asciutta (dry) che dipendono essenzialmente da:

1. strategia di gestione messa in atto dall'agricoltore (semina in asciutto/sommersione)
2. stadio di sviluppo della coltura (fenofase)
3. necessità di altre pratiche agronomiche (diserbo, trattamenti etc..)

4.2 Riso seminato in sommersione

Nell'immagine seguente riportiamo l'andamento standard dei livelli di acqua in risaie gestite con la tecnica della sommersione.



4.3 Output forniti da Irrinet per la coltura di Riso

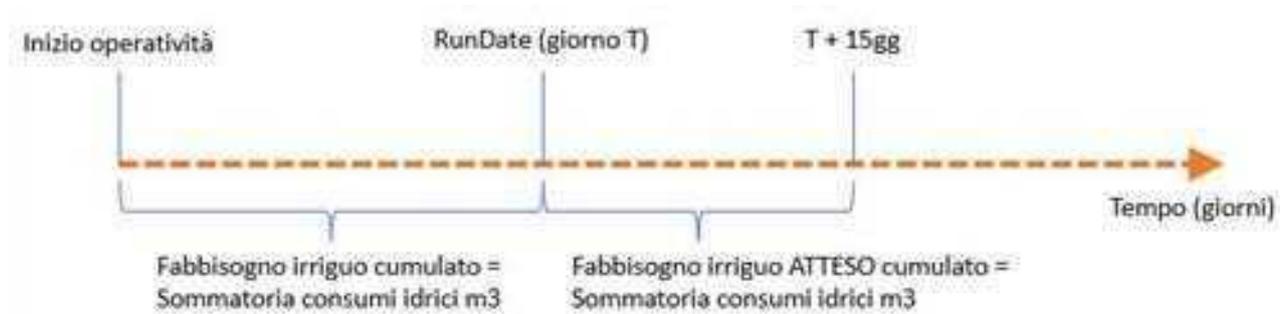
4.3.1 Consiglio “real-time”

Il consiglio “irriguo” fornito all’utente per queste colture consta in date di svuotamento e volumi necessari a ottenere/mantenere il livello di acqua desiderato. Il volume viene fornito sia in metri cubi di acqua (quindi dipende dalla superficie dell’appezzamento dato sempre obbligatorio) sia anche in mm/ha.

4.3.2 Fabbisogni idrici (immagine successiva)

Fabbisogno Irriguo Cumulato: sommatoria dei volumi idrici utilizzati dalla risaia fino ad un determinato giorno T.

Fabbisogno Irriguo ATTESO Cumulato: sommatoria dei volumi idrici previsti nei 15 gg successivi al giorno T.



4.4 Modalità operative

Nella interfaccia web viene differenziato il layout delle informazioni per il riso rispetto al layout delle altre colture. Nelle API sono restituiti i valori mantenendo la compatibilità con le entità già presenti o eventualmente estendendole.

Nel db di Irrinet sono state create 2 colture: riso semina in sommersione e riso semina in asciutta, dotate di un set di parametri identici, ma con valore differenti.

4.5 Dati di input necessari

Si intendono gli input che il servizio richiede per funzionare:

1. **Superficie appezzamento**: già presente in IF ma facoltativa, per le colture sommerse è obbligatoria
2. **Data di semina**: presente in IF già obbligatoria
3. **Data di svuotamento**: in termini generali l’utente comunica le date di svuotamento e riempimento della risaia. Trascorsi quei giorni se la fase fenologica richiede la sommersione della coltura, viene comunicato all’utente la data ed il volume di riempimento.
4. **Tabella parametrica (TP)**: (vedi dopo) da cui ricavare gli elementi per i calcoli e nella quale non sono comprese le informazioni precedenti che debbono essere comunicate dall’utente
5. **Dati meteorologici**: soliti dati IF Tmin, Tmed, Tmax, pioggia giornaliera in mm, ET0

4.6 Algoritmo di calcolo

La risaia può essere assimilata a un sistema a 2 stati: wet (sommerso) e dry (asciutta). I due stati si susseguono in modo continuo in numero finito (da inizio a fine stagione colturale). Ad una fenofase dry segue sempre una fenofase wet. I due stati sono caratterizzati da algoritmi di calcolo diversi. Il calcolo riguarda la determinazione dei **volumi** idrici in millimetri o metricubi necessari per passare da dry a wet oppure per mantenere lo stato wet e le **date** in cui questi volumi sono necessari.

4.6.1 Sequenza wet/dry

La sequenza e la durata in giorni degli stati wet/dry (fasi) è determinata dalla combinazione tra le informazioni contenute nella tabella parametrica e le eventuali comunicazioni dell'utente. L'utente può comunicare anche la durata della fenofase di asciutta fornendo tramite l'interfaccia la data di svuotamento e la data di riempimento della risaia; in assenza di comunicazione da parte dell'utente la tabella parametrica garantisce la simulazione di un ciclo colturale del riso calcolando la sequenza wet/dry e le relative date e volumi idrici impiegati.

La tabella parametrica stabilisce la durata e la successione delle fasi wet/dry della coltura di riso e contiene le seguenti informazioni.

1. **IdCrop**: possibilità di differenziare i parametri per colture sommerse diverse
2. **Numero di fenofase**: ordinale (1,2,3 etc...)
3. **Sommatoria termica**: valore in gradi pari alla sommatoria dei gradi giorno necessari per passare alla fenofase successiva
4. **Livello acqua min**: livello minimo di lama d'acqua in cm rispetto al piano di campagna ammesso nella fenofase. Se il valore è uguale a zero significa che nella fenofase si può determinare uno svuotamento completo, ad esempio nella fenofase finale prima della raccolta.
5. **Livello acqua max**: livello massimo di lama d'acqua in cm rispetto al piano di campagna ammesso nella fenofase. Se il valore è > 0 si tratta di una fenofase wet. Se il valore è uguale a zero significa che si tratta di una fenofase dry, in questo caso al livello max 0 viene abbinato il livello minimo 0.
6. **Kc**: coefficiente colturale della fenofase utilizzato solo in fenofase dry (vedi dopo) quindi se la fenofase è wet può essere nullo. Il calcolo è discretizzato, si passa direttamente da un valore parametrico all'altro
7. **Descrizione fenofase**: testo che serve alla UI (User Interface)

Sulla base dei dati di temperatura e del dato obbligatorio di data semina viene simulato il ciclo wet/dry di una coltura che, in assenza di comunicazioni di date svuotamento/riempimento utente quindi basato solo su dati tabellari, segue lo schema tipo:



4.6.2 Calcolo dell'evapotraspirazione

In qualsiasi stato, sia dry che wet, il calcolo è inizializzato con il calcolo della stima dell'evapotraspirazione della coltura.

$$ETM = (ET0 * Kc) \quad (3)$$

ET0 è un dato meteo e il coefficiente Kc viene calcolato sulla base della sommatoria gradi giorno.

4.6.3 Calcolo del bilancio in stato wet e dei volumi conseguenti

Per ogni giorno T della fenofase viene quindi calcolato il seguente bilancio

$$\text{LivelloAcqua}(T) = \text{LivelloAcqua}(T-1) - ETM(T) - \text{Infiltrazione}(T) + \text{piogge}(T) \quad (4)$$

Il livello del giorno T è uguale al livello del giorno precedente (T-1) sottratto evaporato e infiltrazione e sommate le piogge. ETM è calcolato dalla formula [3] e le piogge provengono dalla stazione meteo relativa. L'Infiltrazione viene stimata da tabella parametrica come di seguito illustrato.

Il calcolo in fenofase wet determina due tipi di volumi idrici: uno dovuto al riempimento iniziale (VAfill) e uno dovuto al rabbocco (VAtopup) necessario a mantenere l'acqua al livello max ogni qualvolta il livello scenda sotto il **livello Min**.

$$\text{Volume di riempimento (VAfill)} = \text{Livello Max} + \sum (ETM - \text{piogge}) \quad (5)$$

Livello max si trova nella tabella relativa alla coltura mentre $\sum (ETM - \text{piogge})$ risulta dalla sommatoria della differenza tra ETM e piogge giornaliere prima del successivo riempimento.

Per quanto riguarda il Volume di rabbocco (VAtopup), esso viene consigliato in base alla (4), e il giorno che si raggiunge il livello minimo viene calcolato il volume necessario a raggiungere il livello massimo:

$$\text{Volume di rabbocco (VAtopup)} = \text{Livello Max} - \text{Livello Min} \quad (6)$$

La data di VAfill è quella in cui si verifica la condizione per il suo calcolo, oppure la data di fine periodo nel caso l'utente abbia comunicato personalmente svuotamento e sua durata. Per i VAtopup la/le date saranno quelle del/dei giorni di rabbocco. VAfill esiste sempre, mentre i VAtopup potrebbero non esserci se non si presenta mai, all'interno della fenofase, la necessità di rabboccare. I volumi così calcolati sono riportati nel registro irrigazioni di Irrinet.

Nel caso di coltura in sommersione alla data di semina viene registrato automaticamente nell'apposito registro, senza alcuna comunicazione all'utente, il volume necessario a riempire fino al livello max la camera della risaia. L'inizializzazione del bilancio avviene per la semina in sommersione con $\text{LivelloAcqua}T = \text{livello max}$ dalla tabella.

4.6.4 Infiltrazione suolo

Il dato viene prelevato da una tabella che per raggruppamenti di suoli omogenei, fornisce il dato di infiltrazione giornaliera in mm per la formula (4): quantità di acqua persa per percolazione negli strati profondi. Il dettaglio delle analisi dei dati che hanno portato alla definizione dei valori presenti nella tabella seguente è riportato nei paragrafi successivi.

Classe generale suoli	Classi tessiturali	Sigle	Infiltrazione mm/g
Grossolani	Torboso, Scheletrico, sabbioso, sabbioso franco, franco sabbioso.	T, SK, S, SF, FS	7,5
Medio impasto	franco sabbioso argilloso, franco, franco limoso, limoso	F, FL, L, FSA	5
Argillosi	Franco argilloso, franco argilloso limoso, argilloso limoso, argilloso, argilloso sabbioso	FA, FLA, AL, A, AS	2,5

4.7 Riso seminato in asciutta

La coltura viene seminata sul terreno asciutto, svolge la prima fenofase di sviluppo in assenza di acqua e torna ad essere allevato in sommersione dalla fenofase 4 successiva all'emergenza, ciò comporta che:

1. Nel registro irrigazioni, alla data della semina, non viene inserito alcun volume irriguo
2. Dalla fenofase 4 si riprende esattamente dal punto della coltura in sommersione
3. Allo scattare della fenofase 4 si parte direttamente invasando la risaia calcolando il volume (VAfill) con la precedente formula 5, tenendo ben presente che i giorni dry partono dalla data di semina. Per l'inizializzazione del bilancio in asciutta si conteggerà alla prima fase WET il primo riempimento come [5] Volume di riempimento (VAfill), considerando l'ETM e le piogge dal giorno di semina.
4. L'utente può comunicare direttamente lo svuotamento/riempimento.
5. Dalla fenofase 4 il procedimento di calcolo è il medesimo della coltura in sommersione

La scelta di creare 2 colture in sommersione e non è motivata dall'opportunità di tenere separati i db in modo da potere intervenire separatamente in caso di modifiche della tecnica colturale a seguito dell'introduzione di innovazioni nella gestione delle acque.

4.8 Analisi dei dati relativi al processo di infiltrazione

4.8.1 Valutazione del parametro infiltrazione tramite documentazione

Per quanto riguarda il calcolo del parametro relativo all'infiltrazione verticale (suolo) o laterale (argini) dell'acqua immessa nella camera di risaia, ci si è inizialmente riferiti a quanto disponibile a livello di pubblicazioni specialistiche, nazionali e internazionali. In particolare, sono risultate particolarmente utili le considerazioni riportate nei seguenti due documenti: (a) Xu Y. et al. (2018): *A new method for indirectly estimating infiltration of paddy fields in situ*; (b) Zhao Y., De Maio M. et al. (2015). *Influence of wet-dry cycles on the temporal infiltration dynamic in temperate rice paddies*.

La prima pubblicazione, che costituisce una raccolta ragionata delle sperimentazioni svolte nel corso degli anni su questo argomento, propone un elenco generale di valori da bibliografia della velocità d'infiltrazione in mm/g (Tabella 1):

Year	Study area	Crop	Vertical infiltration (mm day ⁻¹)	Source
2007-2009	Taihu Lake basin	irrigated rice	2	Zhao et al. (2012)
2008	Danyang, Jiangsu	irrigated rice	6.0	Cheng et al. (2009)
-	Danyang, Jiangsu	irrigated rice	6.4	Li et al. (2010)
2010	Taihu Lake basin	irrigated rice	1	Lin et al. (2012)
2010	Taihu Lake basin	irrigated rice	2-3	Lin et al. (2011)
2010	Suzhou, Jiangsu	irrigated rice	4.23	Yin (2012)
2011	Suzhou, Jiangsu	irrigated rice	4.02	Yin (2012)

Tabella 2: Riferimenti bibliografici e temporali delle principali velocità d'infiltrazione dell'acqua in risaia (mm/g), misurate nel corso di alcune sperimentazioni svolte in Cina.

Più nello specifico, vengono indicate velocità medie d'infiltrazione, sempre acquisite da precedenti sperimentazioni, secondo la classe tessiturale prevalente del suolo in cui la camera di risaia è collocata:

Classe tessiturale	Infiltrazione mm/g (Bouman & Tuong, 2001)	Infiltrazione mm/g (Wu T., 2015)
Argillosa	1 -5	1,2 -4
Medio impasto (loamy)	5 - 25	2.1 – 5,3
Sabbiosa	25 - 30	5,5 – 9,8

Tabella 3: Velocità medie d'infiltrazione, secondo la classe tessiturale generale dei suoli in cui si trova la risaia, desunte da due differenti pubblicazioni

Nella stessa pubblicazione di Xu Y. et al. (2018), applicando i valori provenienti dal monitoraggio di una risaia, all'interno della formula $P + R_{IN} - (E+F) - R_{OUT} = \Delta H$, ove:

P = precipitazione giornaliera (mm);

R_{IN} = immissione di acqua irrigua nella risaia (mm)

E = Evapotraspirazione giornaliera (mm)

F = Infiltrazione giornaliera (mm)

R_{OUT} = deflusso di acqua irrigua dalla risaia (mm)

ΔH = Variazione di livello nella risaia (mm)

si ottiene una stima del valore medio d'infiltrazione di 7,41 mm (minimo 2,20 mm, massimo 12,71 mm). Confrontando misure reali di infiltrazione verticale, con quanto dedotto dalla formula, viene altresì dedotto che l'infiltrazione laterale (seepage) rappresenta circa $\frac{1}{4}$ del totale (26,4%) e non può essere quindi ritenuta trascurabile.

La seconda pubblicazione (Zhao Y., De Maio M. et al., 2015) tratta un caso molto più aderente alla realtà studiata nel presente Piano, in quanto incentrato su risaie situate in Italia, in provincia di Vercelli. In questo caso, non viene solamente calcolata la velocità d'infiltrazione, ma anche com'essa è influenzata dai vari cicli di svasso e invaso durante la coltivazione e come cambia in relazione all'adozione di nuove pratiche, quali la semina in asciutta. I suoli studiati presentano tuttavia aspetti tessiturali abbastanza differenti da quelli presenti nell'Az. Vallazza, trattandosi di suoli superficialmente franchi (F), contro suoli superficialmente franchi limosi (FL) o franchi argillosi (FA). Il lavoro svolto dimostra che le velocità d'infiltrazione sono decisamente più elevate nei giorni iniziali, poiché l'acqua d'invaso incontra superfici solo parzialmente umide, in cui sussistono condizioni di conducibilità idraulica insatura, con presenza di aria sia nelle fessurazioni che nei macropori (Tabella 3).

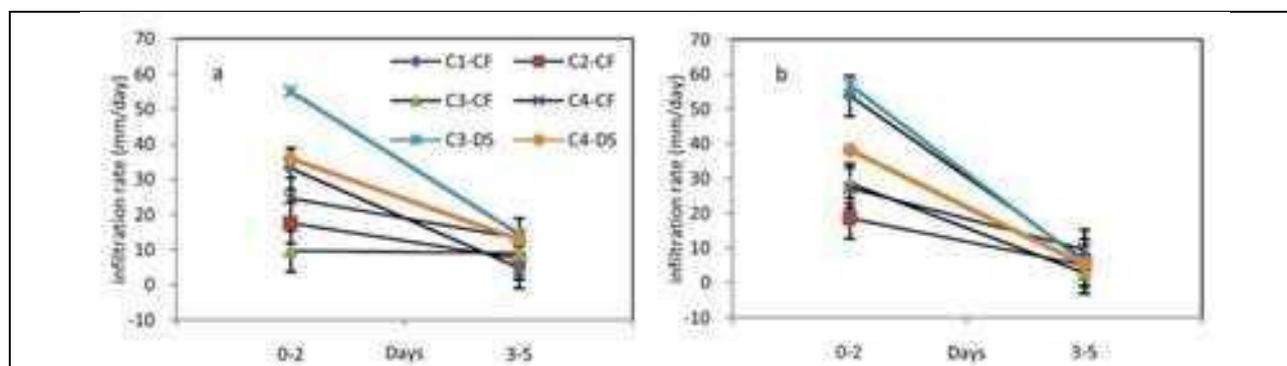


Tabella 4: Attenuazione delle velocità d'infiltrazione, procedendo nei giorni successivi all'invaso, nelle due modalità di gestione tradizionale (CF: Continuous Flooding) e semina in asciutta (DS: Delayed Seeding) e secondo il ciclo d'invaso (da C1 a C4). Diagramma (a): anno 2009; diagramma (b): anno 2012.

Le velocità iniziali, inoltre, sono differenti secondo il ciclo d'invaso (da C1 a C4 in Tabella 3) e secondo il tipo di gestione: tradizionale (CF) o con semina in asciutto (DS). Col procedere del tempo, il suolo raggiunge condizioni di saturazione e le velocità d'infiltrazione che si assestano e convergono, in tutte le situazioni, verso valori relativamente bassi (mm/gg). La Tabella 4 mostra le velocità medie calcolate su tutti i cicli, per le due modalità di gestione:

Year	Treatment	Average water level (mm)	Inlet (mm)	Rainfall (mm)	Total input (mm)	Outlet (mm)	ET (mm)	Total output (mm)	Calculated infiltration (mm)	Calculated infiltration rate (mm/g)
2009	CF-1	67	2275	114	2389	1343	516	1859	529	0.21
	CF-2	74	2453	114	2567	1614	516	2130	437	0.17
	CF-3	71	2197	114	2311	1392	516	1908	389	0.15
	CF-4	60	2700	114	2815	904	516	1420	1395	0.56
	CF-5	75	2484	114	2598	1077	516	1593	971	0.39
2012	CF-1	61	3130	155	3285	1951	565	2516	680	0.29
	CF-2	79	2736	155	2892	737	565	1302	1456	0.63
	CF-3	68	2481	155	2636	1365	565	1730	802	0.34
	CF-4	56	2553	155	2708	1190	565	1701	948	0.41
	CF-5	63	2954	155	3109	1335	565	1901	1070	0.46
	Average	68	2596	135	2731	1271	541	1812	868	0.36
	LL	64	2371		2506	912		1452	537	0.23
	UL	71	2821		2956	1631		2172	1199	0.50
	CV	65	95		85	285		200	382	0.78
	2009	DS	55	2334	114	2448	1297	516	1813	638
2012	DS	24	2723	155	2878	556	565	1079	1728	0.74
Average	40	2528		2663	926	541	1446	1173	0.49	

Tabella 5: Calcolo delle velocità medie d'infiltrazione (in grassetto), sia per la gestione tradizionale, sia per quella con semina in asciutta.

Come si vede, la velocità media d'infiltrazione calcolata corrisponde a 0,36 mm/h (8,64 mm/g) per la gestione tradizionale e 0,49 mm/h (11,76 mm/g) per quella con semina in asciutta. Vale la pena sottolineare come il primo valore risulti molto simile a quello ottenuto nella pubblicazione Xu Y. et al. – 2018 (7,41 mm/g). A differenza di questa, però, in Zhao Y., De Maio M. et al., 2015, si afferma che, con una buona manutenzione degli argini, l'infiltrazione laterale è da considerarsi trascurabile, in quanto le dimensioni della camera di risaia sono da considerarsi assolutamente prevalenti. Questo effettivamente sembra un caso più aderente alla realtà della risaia studiata all'interno dell'Az. Vallazza, la quale totalizza una superficie complessiva di 5,04 ha su un perimetro arginale di circa 900 m.

4.8.2 Calcolo del parametro infiltrazione applicato alla risaia monitorata

Nel corso delle operazioni svolte nell'ambito della Fase 2 e, in particolare, di quelle concernenti la misura dei volumi immessi nella risaia (punto "c") e la caratterizzazione pedologica dei suoli presenti nell'appezzamento (punto "d"), si sono acquisiti i dati di base per operare la stima dei volumi stagionali di acqua irrigua infiltrati nella risaia dell'Az. Vallazza. Lo scopo era di verificare se tale valore potesse essere ritenuto congruente con quanto espresso nella documentazione precedentemente esaminata e quindi potesse essere utilizzato a riferimento per il modello di bilancio idrico della risaia, che si andava a comporre. Facendo pertanto riferimento alla formula espressa del bilancio riportata nei paragrafi precedenti: $\Delta w = I + R + Si + CR - So - P - ET - D$ ove:

Δw = Variazione del volume di acqua nella risaia (mm)

I = acqua irrigua immessa nella risaia

R = precipitazioni;

ET = Evapotraspirazione legata alla coltura del riso

D = deflusso di acqua irrigua dalla risaia

(Si+CR-So-P) = Singole componenti del movimento dell'acqua nel suolo, ove l'infiltrazione laterale (Si-So, ossia *Seepage in* e *Seepage out*) e la risalita capillare da falda (CR), vengono ritenute di entità

inferiore rispetto a P (percolazione verticale) e quindi considerabili accorpate allo stesso, per le considerazioni espresse precedentemente.

Si è provveduto a calcolare tutti i parametri differenti da P, al fine di ottenere tale valore per differenza algebrica. Come periodo di calcolo, è stata selezionata l'annata irrigua 2021, la quale ha creato minori problemi, rispetto alla siccitosa 2022, per la gestione delle operazioni di invaso/svaso; il periodo così definito è stato di 132 giorni, dalla data di semina (11 maggio), a quella di raccolta (30 settembre). L'area totale della risaia presa in considerazione, tolte le arginature, è stata di 49429 metri quadri (mq). Di seguito, sono riassunte le considerazioni e i calcoli, che hanno portato alla definizione dei volumi sia apportati, sia asportati nel periodo, in relazione a ciascun parametro:

Parametro R (precipitazioni). Non avendo a disposizione un pluviometro in loco, si è fatto riferimento alla relativamente vicina stazione costiera ARPAE di Porto Garibaldi. Dall'11 maggio al 30 settembre 2021 sono stati misurati 96 mm di pioggia (escluse tutte le precipitazioni uguali o inferiori agli 0,2 mm, ritenute trascurabili per quanto riguarda il contributo idrico alla camera di risaia). In totale, quindi, si è valutato, da parte delle precipitazioni, un apporto complessivo di 960 m³/ha.

Parametro I (acqua irrigua immessa). La stima dei volumi irrigui è stata effettuata, tenendo conto dei quantitativi di acqua necessari ad innalzare il livello della stessa nella risaia, come rilevato dai due misuratori di livello (Diver) installati. Il calcolo è stato in realtà raffinato, tenendo anche conto: (a) dei volumi di acqua necessari a colmare le ampie infossature (scoline) poste a delimitare ciascuno dei sei campi in cui è suddivisa la risaia e (b) dei volumi richiesti, in ogni ciclo, per saturare il terreno fino al livello di falda. Quest'ultima operazione è stata effettuata valutando la profondità media di falda, nel periodo, uguale a -50 cm dal p.c. e considerando una porosità efficace² del 30%, da ritenersi adeguata per suoli a prevalenza di limo (diagramma di Davis & De Wiest, 1966). Il volume complessivo, a valle di tutti questi calcoli, è stato computato in 9020 m³/ha (5315 m³/ha per portare a livello l'acqua in risaia in tutti i cicli di riempimento del 2021; 3300 m³/ha per tutte le operazioni di rabbocco e mantenimento di livello durante tutti i giorni di invaso; 405 m³/ha per saturare il terreno fino al livello della falda).

Parametro ET (evapotraspirazione del riso). Proviene dall'equazione $ET_0 * K_c$ ove ET_0 è l'evapotraspirazione potenziale come rilevata dalla stazione meteo di ARPAE di riferimento, basata su dati climatici e calcolata giorno per giorno, mentre K_c è un coefficiente colturale (in questo caso, ovviamente, del riso), che varia in base alle fasi fenologiche della coltura come dettagliato nella presente relazione. La sommatoria dei valori rappresentate il fabbisogno idrico della coltura, nel periodo preso in considerazione è di complessivi 551 mm/ha di acqua, ossia 5510 m³/ha.

Parametro D (deflusso controllato dallo stramazzo di fondo dell'acqua irrigua). Non disponendo di un misuratore di portata in uscita, il calcolo dei volumi defluiti dalla camera di risaia, a seguito di svassi o temporanei abbassamenti di livello dell'acqua, è stato effettuato tramite l'utilizzo della formula di bocca a stramazzo a parete sottile (Bazin). Conoscendo il diametro ed altezza del sifone di scarico verso il canale di scolo e la variazione giornaliera dell'altezza dell'acqua a monte rispetto a tale livello, come rilevato da sensore di livello (Diver) posto nelle sue adiacenze, è stato possibile determinare, in maniera abbastanza precisa, i volumi defluiti. Essi assommano a 10303 mc per tutta la camera di risaia, ossia, dividendo per la superficie totale, 2084 mc/ha.

² Pori di dimensioni e continuità tali da consentire la circolazione dell'acqua in un terreno saturo.

Avendo a disposizione, a questo punto, tutti i valori necessari per la stima dell'infiltrazione nel suolo, è stato possibile procedere al calcolo come segue, utilizzando la formula iniziale e considerando la variazione Δw del volume di acqua nella risaia, alla fine della stagione = 0:

Parametro	Valore (mc/ha)
I (acqua irrigua in)	+9020
R (precipitazioni)	+960
ET (evapotraspirazione)	-5510
D (acqua irrigua out)	-2084
Si+CR-So-P	-2386
Δw	0

I parametri Si, So e CR sono stati precedentemente ritenuti accorpati alla componente principale P (infiltrazione verticale): essa pertanto ammonta, nel corso di tutta la stagione considerata, a 2386 mc/ha. Arrotondando, si ottengono 239 mm/ha, i quali, suddivisi per tutti i 132 giorni presi in esame, equivalgono ad una media di **1,81** mm/g di acqua infiltrata nel suolo.

Il valore ottenuto rappresenta circa un quarto di quelli proposti dalle pubblicazioni precedentemente esaminate (rispettivamente 7,41 mm/g ed 8,64 mm/g). Tuttavia, possono contribuire a rallentare il flusso verticale, almeno due elementi presenti nella risaia di Gorino:

- Una tessitura dell'orizzonte superficiale tendenzialmente franca limosa o, più propriamente, franca argillosa (verificata in 2 delle 3 trivellate pedologiche eseguite in campo). Essa risulta pertanto più fine di quelle presenti nei suoli descritti nelle due pubblicazioni (suoli franchi con sabbia > 40% in Zhao Y., De Maio M. et al., 2015 e suoli definiti "loamy" in Xu Y. et al., 2018);
- Una falda salina abbastanza superficiale, osservata a profondità oscillanti fra i 50 ed i 100 cm dal p.c. nel corso dei due anni di monitoraggio, la quale costituisce una vera barriera idraulica per eventuali percolazioni di acqua irrigua oltre tale livello. Ciò riduce il gradiente idraulico e determina un drastico abbassamento della portata defluita.
- L'acqua irrigua è particolarmente ricca di sedimenti fini e quindi è probabile che nella camera di risaia ove la velocità del flusso tende ad essere quasi nulla si generi un processo di sedimentazione marcata tale da favorire il così detto "soil clogging" ovvero il costipamento dei macro e micro pori presenti. Ciò riduce ancora di più la conducibilità idraulica e quindi il fattore P.

Il comportamento generale dei suoli della risaia dell'Az. Vallazza è quindi da ricondursi a quello della classe dei suoli "argillosi" (in cui sono comunque inclusi i suoli a tessitura franca argillosa osservati, da trivellata, negli orizzonti superficiali) con velocità media standard di infiltrazione di 2,5 mm/g.

5. FASE 4. Modifiche alla versione beta su IrrNet, sulla base dei risultati dei test e rilascio della versione definitiva, con relativa messa on line.

Le attività riferite alla presente fase del progetto sono in parte state descritte nel paragrafo relativo alla fase 3 essendo integrate nella stessa, ed in parte sviluppate focalizzandosi sulla creazione dell'interfaccia utente e del modello definitivo pubblicato.

5.1 Introduzione

Questa parte della relazione manuale ha lo scopo di illustrare le funzioni dell'applicazione web Gestfalda. Nel sommario sono presenti tutti i titoli e sottotitoli trattati nel documento.

5.2 Accesso al Sistema

Per poter accedere all'applicazione bisogna aprire il browser internet e digitare il seguente indirizzo:

<https://gestfalda-test.azurewebsites.net/>

Una volta confermato con il tasto INVIO, verrà mostrata l'interfaccia di login (3). Successivamente, se l'utente sarà già autenticato, verrà mostrata la lista degli impianti non irrigui (4.1).

5.3 Autenticazione

5.3.1 Login

Appena entrati nell'applicazione, verrà mostrata la seguente interfaccia:



Per accedere all'applicazione, si dovranno utilizzare le proprie credenziali usate per il login sulla piattaforma Irriframe.

Email	Email utente
Password	Password dell'utente, i caratteri verranno oscurati durante l'inserimento
“Login”	Pulsante per avviare la funzionalità di login

Se l'utente effettuerà il login con successo, allora verrà reindirizzato alla lista delle colture non irrigue (4.1).

5.3.2 Barra utente

Se l'utente è autenticato e non specifica una pagina precisa, verrà inoltrato sulla lista delle colture (4.1).

In tutta l'applicazione, l'utente autenticato vedrà la seguente intestazione in cima alla pagina:



In questa intestazione sono presenti i seguenti elementi:

Utente	Il nome e il cognome dell'utente autenticato.
Email	La mail dell'utente autenticato.
“Profilo”	Inoltra l'utente alla pagina di modifica del proprio profilo sulla piattaforma “Irriframe”.
“Cruscotto”	Riporta l'utente alla lista delle colture (4.1).
“Help”	Aprire una finestra con le istruzioni d'uso per la piattaforma Irriframe.
“Esci”	Effettua il login dell'utente corrente e, di conseguenza, naviga alla pagina di Login (3.1).

5.3.2 Lista colture non irrigue

Qui verranno mostrate le colture non irrigue dell'utente. Queste vengono direttamente ottenute da Irriframe, quindi non possono essere inserite o modificate tramite Gestfalda.

Nella tabella è possibile visualizzare i seguenti parametri, tutti ottenuti dal portale Irriframe:

Id	Il numero identificativo del Plot
Plot	Descrizione del Plot
Coltura	Tipologia della coltura
Descrizione	Descrizione della coltura
Data Semina	Data di semina della coltura

Per entrare in modalità di visualizzazione o modifica di un plot, occorrerà cliccare il pulsante “Modifica >”, attivando così la funzione 4.2.

5.3.3 Registro Irrigazioni

In questa pagina, si visualizzeranno tutte le informazioni riguardanti la coltura selezionata.

The screenshot shows the Irrinet website interface. At the top, there are logos for Irrinet (CANALE EMILIANO ROMAGNOLO) and Irriframe (ANBI). The user is identified as 'Utente Gino Stradino' with the email 'agronomica@irriframe.it'. The main content area displays the following information:

- Coltura: 124606, RISAIA Semina in sommersione > REGISTRO IRRIGAZIONI
- Data start: 20/04/2023
- Strategia di gestione: Semina RISAIA Semina in sommersione
- Interventi irrigui: 29 - Volume irriguo totale: 1.145,52 mm (11.455,2 m³)

A table lists irrigation events with columns for Date, Volume (mm), and Volume (m³).

Data	Volume (mm)	Volume (m ³)
22/04/2023	106,82	1.068,2
18/05/2023	50	500
23/05/2023	59,8	598
27/05/2023	38,7	387
02/06/2023	140,92	1.409,2
15/06/2023	78,78	787,8
22/06/2023	75,4	754
20/06/2023	21,8	218
02/07/2023	38,6	386
05/07/2023	20,8	208
08/07/2023	29,8	298

Navigation links on the right include: < Dashboard, Ricerca consiglio irrigui >, Date di pompamento >, Download Cias.

Nella prima sezione è possibile vedere i seguenti campi:

Id Coltura	Come primo dato, si vede l'Id della coltura ("Coltura 124606").
Strategia di gestione	Viene indicato se il plot segue una strategia di semina in sommersione o in asciutta.
Data Start	Indica la data di semina che è stata registrata sul sistema Irriframe.

La tabella è dedicata ai rabbocchi/riempimenti salvati sul sistema Irriframe. Viene mostrato il totale degli "Interventi Irrigui", il fabbisogno idrico in mm e in metri cubi.

Il fabbisogno idrico è la somma di tutti i volumi presenti nella tabella.

Inoltre, sono visualizzabili i seguenti campi per ogni riempimento:

Data	Data in cui è stato (o dovrà essere) effettuato il rabbocco.
Volume (mm)	Volume irrigato nella data determinata. Indica l'altezza in millimetri dell'acqua irrigata.
Volume (m³)	Indica il volume totale irrigato in metri cubi, quindi in relazione alla superficie del plot.

A destra della pagina, è disponibile un menu di navigazione, con i seguenti pulsanti:

< Dashboard	Ritorna alla lista degli impianti (4.1).
Ricalcola consiglio irriguo >	Naviga alla pagina di calcolo del consiglio irriguo (4.3).
Date di svuotamento >	Naviga alla pagina di gestione delle date di svuotamento manuali (4.4).
Download Csv >	Avvia il download del rapporto dettagliato generato dall’algoritmo di Gestfalda in un file csv. Utilizzerà anche le date di svuotamento presenti sul sistema, che possono essere visualizzate e modificate con il pulsante “Date di svuotamento” (4.4).

5.3.4 Calcolo consiglio irriguo

In questa pagina è possibile effettuare il calcolo del consiglio irriguo. Verrà mostrata la seguente interfaccia:



Nella schermata sono visualizzabili i seguenti elementi:

Strategia di gestione	Mostra la strategia di gestione della coltura selezionata. Non può essere modificato.
Superficie di appezzamento	Mostra la superficie totale della coltura selezionata. Non può essere modificata.
Data semina	Indica la data di semina della coltura selezionata. L’applicazione usa questa data per calcolare quando ci sarà il passaggio dalla fase “Pre semina” alla fase “Semina”. Non può essere modificata.
Data fine ciclo	Indica la data in cui l’applicazione deve smettere di calcolare. L’applicazione non calcola nessun riempimento oltre questa data.
Latitudine	Latitudine del plot selezionato. Non può essere modificata.
Longitudine	Longitudine del plot selezionato. Non può essere modificata.
“Avanti”	Premendo questo pulsante si avvia il calcolo del consiglio irriguo.
“< Registro Irriguo”	Premendo questo pulsante l’applicazione tornerà al registro irriguo del plot selezionato.

5.3.5 Algoritmo del calcolo consiglio irriguo

L'applicazione svuoterà la tabella dei riempimenti (visualizzabile tramite funzione 4.1), dopodiché inizierà a simulare la coltivazione della coltura selezionata.

L'algoritmo userà le fasi di svuotamento comunicate dall'utente (visualizzabili tramite funzione 4.4).

Alla fine dell'algoritmo, il sistema aggiungerà tutti i riempimenti e rabbocchi simulati fino la **Data di fine ciclo** impostata.

Durante l'esecuzione dell'algoritmo l'utente dovrà attendere la pagina di conferma, che mostrerà il messaggio: "Il registro irriguo è stato ricalcolato e aggiornato".

5.3.6 Date di svuotamento

In questa pagina è possibile effettuare il calcolo del consiglio irriguo. Verrà mostrata la seguente interfaccia:



The screenshot shows the Irrinet web interface. At the top, there are logos for Irrinet (CANALE EMILIANO ROMAGNOLO) and Irriframe (ANBI). The user is identified as 'Utente Gino Stradino' with an email 'Email agronica@irriframe.it' and a 'Profilo' link. The main content area is titled 'Coltura 124606 > SVUOTAMENTI' and indicates 'Fasi comunicate: 2'. Below this is a table with two columns: 'Data Svuotamento' and 'Data Riempimento'. The table contains two rows of data. To the right of the table, there are two buttons: '< Registro irriguo' and 'Aggiungi svuotamenti >'. The table data is as follows:

Data Svuotamento	Data Riempimento	
18/04/2023	22/04/2023	Modifica Elimina
29/05/2023	02/06/2023	Modifica Elimina

Nel titolo della pagina sono visualizzabili i seguenti elementi:

Id Coltura	Mostra l'id della coltura di cui stiamo visualizzando le date di svuotamento.
Fasi comunicate	Mostra il numero di fasi comunicate presenti

Nella tabella vengono mostrati i seguenti campi:

Data Svuotamento	Mostra la data di svuotamento per la comunicazione corrispondente. Da questo giorno fino al giorno del riempimento, il programma imposterà un volume d'acqua pari a 0, anche se durante la simulazione si troverà in una fase Wet.
Data Riempimento	Mostra la data di riempimento per la comunicazione corrispondente. In questo esatto giorno, la simulazione effettuerà un riempimento d'acqua. In caso ci trovassimo in una fase Dry, questa fase verrà calcolata come se fosse una fase Wet da questo giorno in poi, usando la soglia minima d'acqua della fase successiva a questa.
“Modifica”	Cliccando questo pulsante, l'utente attiverà l'interfaccia di modifica (4.4.2) dello svuotamento corrispondente.
“Elimina”	Cliccando questo pulsante, l'utente eliminerà la fase di svuotamento corrispondente.

Infine, a destra della pagina, è disponibile un menu di navigazione con i seguenti pulsanti:

< Registro Irriguo	Ritorna al registro irriguo (4.2).
Aggiungi svuotamenti >	Naviga alla pagina di inserimento svuotamenti (4.4.1).

Questi svuotamenti vengono utilizzati durante la funzione di Calcolo consiglio irriguo (4.3) o di Generazione Csv; quindi, possono essere eliminati liberamente in qualsiasi momento.

Se il consiglio irriguo è stato calcolato quando erano presenti svuotamenti che sono stati rimossi, allora se l'utente proverà a generare un csv, troverà delle discrepanze, dato che il csv controlla sul momento le fasi di svuotamento presenti sul sistema.

5.3.7 Inserimento svuotamenti

Attivando l'interfaccia di inserimento svuotamenti, ci si troverà di fronte a questa pagina:



In questa pagina, sono presenti i seguenti elementi:

Data Svuotamento	Data di svuotamento da inserire. Questo campo è obbligatorio.
Data Riempimento	Data di riempimento da inserire. Questo campo è obbligatorio e deve essere maggiore della data di svuotamento.
“Aggiungi svuotamento”	Cliccando questo pulsante, verrà aggiunto un nuovo blocco per inserire un'altra fase di svuotamento.
“Avanti”	Cliccando questo pulsante, l'applicazione aggiungerà le date al sistema Irriframe. Se le date dovessero intersecarsi ad altre fasi di svuotamento, allora l'aggiunta fallirebbe, mostrando un errore.
“< Svuotamenti”	Cliccando questo pulsante si verrà reindirizzati alla lista degli svuotamenti della coltura selezionata.

5.3.8 Modifica svuotamento

Attivando la funzionalità di modifica svuotamento, l'utente vedrà la seguente schermata:

In questa pagina, sono presenti i seguenti elementi:

Data Svuotamento	Data di svuotamento da inserire. Questo campo è obbligatorio.
Data Riempimento	Data di riempimento da inserire. Questo campo è obbligatorio e deve essere maggiore della data di svuotamento.
“Avanti”	Cliccando questo pulsante, l’applicazione modificherà la fase di svuotamento. Se la data dovesse intersecarsi ad altre fasi di svuotamento, allora la modifica fallirebbe, mostrando un errore.
“< Svuotamenti”	Cliccando questo pulsante si verrà reindirizzati alla lista degli svuotamenti della coltura selezionata.

5.3.9 Output del servizio

Cliccando sul bottone download csv è possibile estrarre un file contenente una tabella con tutte le principali variabili presenti nel modello. Nel file csv del bilancio sono presenti le seguenti variabili:

LivHgg = Livello acqua al giorno *i* calcolato dal bilancio in mm

LivMax = livello massimo da tabella in mm

LivMin = livello minimo da tabella in mm

Dry/wet = se siamo in fase dry o wet

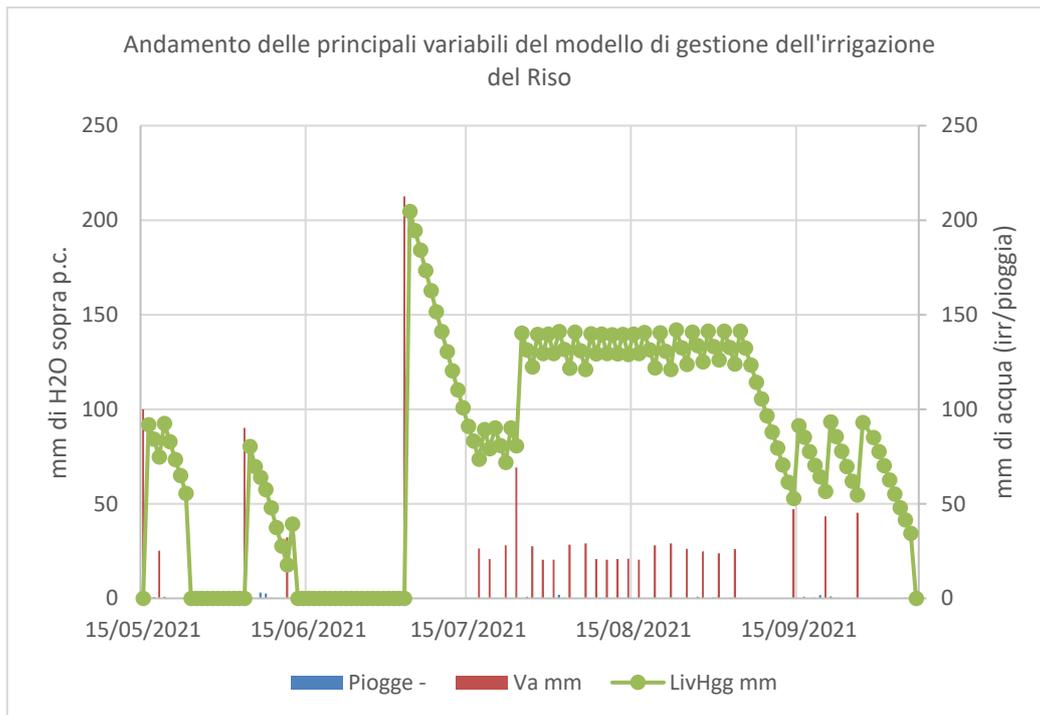
VA = altezza di acqua che il consiglio irriguo consiglia di dare al giorno *i* in mm

VA_vol = espresso in volume con la moltiplicazione dell'area

Percolazione = sempre da tabella

FenofasiCALCOLO = Successione FENOFASI come ricalcolate

Nel grafico sottostante riportiamo l’andamento del livello di acqua nella camera di risaia simulato con i volumi irrigui applicati come calcolati dal servizio ed applicati in campo oltre i valori delle piogge.



Oltre a tale interfaccia è disponibile per l'utente una interfaccia web che consente l'inserimento manuale delle date in cui è avvenuto uno svotamento/riempimento della risaia.

6. FASE 5. Analisi delle implicazioni di carattere economico/ambientale relative alla coltivazione del riso sul territorio delle aree di studio

6.1 Introduzione

La fase conclusiva dell'Azione 3.4 ha approfondito ulteriormente le implicazioni economico/ambientali della coltivazione del riso sul territorio delle aree di studio. La stima dei benefici economici ed ecosistemici ha rappresentato un elemento chiave per valutare l'utilità della coltura del riso come presidio per le aree rurali, prevenendo il rischio di abbandono. Nello specifico, l'area del delta del Po presenta un sistema agricolo basato sul periodico allagamento dei terreni. La rotazione del riso nei cicli colturali è emersa come pratica efficace nel contrastare fenomeni di acidificazione e salinizzazione del suolo, preservando la sua idoneità all'agricoltura. Questa pratica ha sostenuto un sistema agricolo che comprende la coltivazione di colture estensive come mais e soia, orticole ad elevato valore aggiunto quali zucca e melone, e, non da ultimo, il riso, tutelato dal Consorzio Riso Delta del Po IGP nell'area di studio.

A livello nazionale le superfici coltivate a riso appaiono in sensibile decrescita analizzando le variazioni tra le campagne 2022 e 2023. Nel dettaglio, la tabella sotto riportata illustra le variazioni nelle superfici coltivate a riso in Italia nel 2023. Complessivamente, si registra una diminuzione del 3,7% rispetto all'anno precedente. Le varietà SELENIO e CENTAURO mostrano notevoli decrementi del 31,9% e 44,1% rispettivamente. D'altra parte, VARIE MEDIO e LOTO – ARIETE evidenziano aumenti significativi del 19,6% e 16,0%. Alcune varietà mantengono una stabilità relativa, come BALDO e similari con un incremento del 3,0%, e ARBORIO

e similari con un aumento dell'11,5%. La tabella suddivide le varietà in categorie come TONDO, MEDIO, LUNGO A e LUNGO B, rivelando variazioni specifiche in ciascuna categoria. In sintesi, i dati riflettono le complesse dinamiche agricole e le influenze di mercato nel settore del riso in Italia nel 2023 e il generale trend negativo risulta probabilmente legato anche alle problematiche di siccità e salinità (per il territorio del delta del Po) affrontate nel presente progetto.

GRUPPI VARIETALI	Superfici 2023 (ettari)	Superfici 2022 (ettari)	Differenza	
			ettari	%
SELENIO	14.060	20.640	-6.580	-31,9%
CENTAURO	5.016	8.967	-3.951	-44,1%
ALTRI TONDI	33.922	35.902	-1.980	-5,5%
LIDO e similari	2.178	1.837	341	18,6%
PADANO e similari	110	140	-30	-21,4%
VIALONE NANO	3.008	3.245	-237	-7,3%
VARIE MEDIO	3.154	2.637	517	19,6%
LOTO – ARIETE e similari	30.014	25.867	4.147	16,0%
S. ANDREA e similari	1.336	1.833	-497	-27,1%
ROMA e similari	11.804	12.298	-494	-4,0%
BALDO e similari	6.341	6.159	182	3,0%
ARBORIO e similari	20.138	18.056	2.082	11,5%
CARNAROLI e similari	24.509	20.577	3.932	19,1%
VARIE LUNGO A	5.468	5.267	201	3,8%
LUNGO B	49.180	54.994	-5.814	-10,6%
TOTALE	210.239	218.421	-8.182	-3,7%
TONDO	52.998	65.510	-12.512	-19,1%
MEDIO	8.451	7.860	591	7,5%
LUNGO A	99.610	90.058	9.552	10,6%
LUNGO B	49.180	54.994	-5.814	-10,6%

Figura 12: Variazione delle superfici a riso (Fonte: Ente Nazionale Risi, 2023)

6.2 I benefici socioeconomici della coltivazione del riso

Come evidenziato nei grafici sotto riportati, gli andamenti nel prezzo del risone italiano evidenziano una notevole variabilità, con un picco nel 2022. Tale aumento significativo è principalmente attribuibile alle conseguenze della siccità, che hanno ostacolato molte semine o, laddove è stato possibile seminare, le rese sono risultate estremamente basse. La scarsità di produzione ha innescato una domanda maggiore rispetto all'offerta disponibile, contribuendo al notevole incremento dei prezzi nel 2022. È interessante notare che i dati mostrano una notevole differenza tra il riso convenzionale e quello biologico. Il riso biologico presenta valori mediamente più elevati rispetto a quello convenzionale. Gli aumenti di prezzo per il riso biologico oscillano nell'ordine di grandezza del 30-55%, suggerendo una crescente domanda o una maggiore valorizzazione di prodotti biologici da parte dei consumatori.

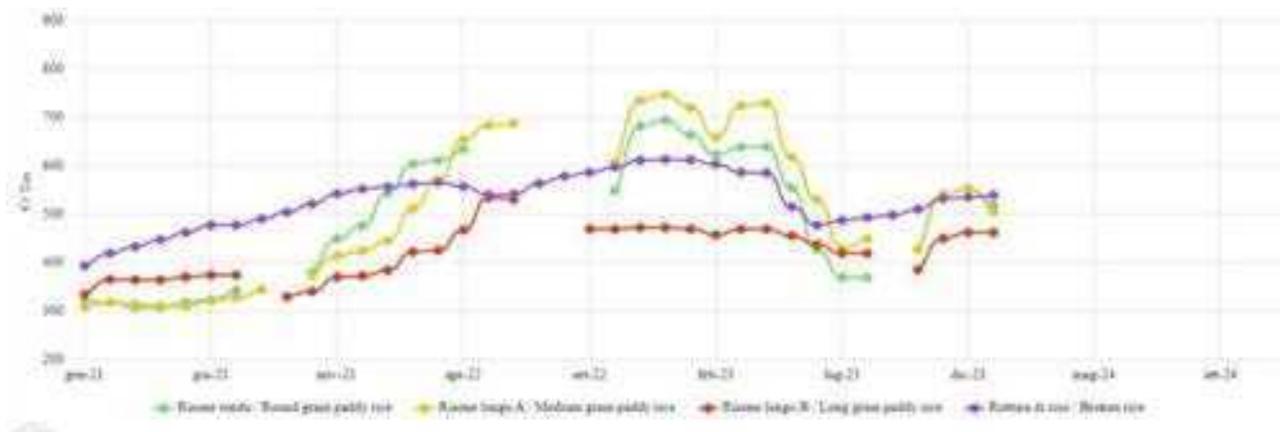


Figura 13: Andamento dei prezzi del risone convenzionale italiano (fonte: borsa di Milano, RESCHIRISO)



Figura 14: Andamento dei prezzi del risone biologico italiano (fonte: borsa di Milano, RESCHIRISO)

Per quanto riguarda le performance delle aziende partner del GOI, sono state prese in considerazione le rese della sola campagna 2023. L'annata 2022 infatti presenta valori classificabili come outlier a causa della sopracitata siccità. L'azienda Vallazza che ha attestato una produzione di 48.9q.li/ha di risone biologico. L'azienda Tenuta Florio nel 2023 ha registrato produzioni medie aziendali di 58.7q.li/ha. Per quanto riguarda i prezzi di vendita, considerando le quotazioni attuali (fine 2023 e inizio 2024) di Milano e Bologna, si registrano prezzi di 94€/q.le per le cultivar biologiche e 56€/q.le per quelle convenzionali. Questo genera valori di PLV 4.597€/ha per il prodotto biologico e 3.287€/ha per il prodotto convenzionale.

Questo dimostra la resa commerciale soddisfacente della coltura e la sua importanza economica. I risultati hanno quindi evidenziato la capacità della coltivazione del riso di generare domanda di lavoro nel settore agricolo e relativa redditività. Se si considera inoltre la Produzione Lorda Vendibile delle colture in successione al riso, come seminativi ed orticole, la coltura riveste ulteriore interesse, anche grazie alle capacità di tutela della fertilità del suolo e preparazione delle colture in successione.

Coltura	PLV [€/ha]
Actinidia interfilare inerbito Media	11083
Bietola da zucchero Media	2560
Cocomero Media	12064
Mais medio Media	2302
Melone Media	10251
Patata Media	8464

Pero interfilare inerbito Media	13717
Pesco interfilare inerbito Media	9025
Pomodoro da industria Media	7196
Soia Media	1844

Tabella 6: PLV delle principali colture nella provincia di Ferrara (fonte: ns. elaborazioni di dati RICA, ISTAT media 2002-2022)

Nelle analisi economiche svolte nella presente sezione, è stata particolarmente rilevante la capacità della coltivazione del riso di generare domanda di lavoro nel settore agricolo in aree svantaggiate. A tal proposito, il parametro comunemente utilizzato per descrivere l'impiego di manodopera aziendale è l'Unità Lavoro Uomo (Tabella 7). Questa rappresenta l'unità di calcolo dell'attività lavorativa necessaria alla conduzione dell'azienda e corrisponde a 225 giornate/anno di 8 ore e viene distinta per le colture di riferimento nel contesto territoriale (pianura, collina, montagna) (

COLTURA	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Pianura	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Collina	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Montagna
ACTINIDIA	60	72	84
AGLIO	23	28	32
ALBICOCCO	60	72	84
ARBOREE	170	204	238
ASPARAGO	55	66	77
BIETOLA	10	12	14
BIETOLA DA SEME	10	12	14
CEREALE INVERNALE	5	6	7
CILIEGIO	90	108	126
CIPOLLA	27	32	47
COCOMERO	60	72	84
ERBA MEDICA	7	7	7
EXTRA COLTURE	28	51	59
FAGIOLINO	5	6	7
FINOCCHIO	70	84	98
FIORI	381	458	489
FORAGGIO	16	19	22
FORAGGIO IRRIGUO	7	7	7
FRUTTETI MISTI	30	48	55
GIRASOLE	6	7	8
INDUSTRIALI	16	20	23
KAKI	35	42	49
LEGUMINOSE	6	7	7
MAIS	7	8	10
MELO	55	66	77
MELONE	15	18	21
NOCE	0	35	40
OLIVO	50	60	70
ORTICOLE	75	89	104
ORTICOLE NON IRRIGUE	12	14	16
PATATA	20	24	28
PERO	55	66	77
PESCO	65	78	91
PICCOLI FRUTTI	400	480	560
PISELLO PROTEICO	63	75	76
POMODORO	100	120	140
POMODORO DA INDUSTRIA	25	30	35
PORRO	300	360	420
PRATO POLIFITA	76	91	105
RISO	10	12	14
SOIA	5	6	7
SORGO	6	7	8
SUSINO	55	66	77
VITE	40	48	0
VIVAIO	103	124	133
ZUCCA	35	42	49
ZUCCHINO	80	96	112

Tabella 8).

Categoria di manodopera	Unità Lavoro Uomo [ULU media 2013-2016 in ER]
Manodopera a contratto	69,562
Manodopera a contratto a tempo indeterminato	6,814

Manodopera a contratto a tempo determinato	11,389
Manodopera a contratto stagionale	49,960
Manodopera a contratto non assunta direttamente dall'azienda	1,399

Tabella 7: Descrizione dell'occupazione in agricoltura per categorie di manodopera (fonte: ns. elaborazioni su dati ISTAT)

COLTURA	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Pianura	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Collina	Unità Lavoro Uomo [ULU/ha] - Montagna
ACTINIDIA	60	72	84
AGLIO	23	28	32
ALBICOCCO	60	72	84
ARBOREE	170	204	238
ASPARAGO	55	66	77
BIETOLA	10	12	14
BIETOLA DA SEME	10	12	14
CEREALE INVERNALE	5	6	7
CILIEGIO	90	108	126
CIPOLLA	27	32	47
COCOMERO	60	72	84
ERBA MEDICA	7	7	7
EXTRA COLTURE	28	51	59
FAGIOLINO	5	6	7
FINOCCHIO	70	84	98
FIORI	381	458	489
FORAGGIO	16	19	22
FORAGGIO IRRIGUO	7	7	7
FRUTTETI MISTI	30	48	55
GIRASOLE	6	7	8
INDUSTRIALI	16	20	23
KAKI	35	42	49
LEGUMINOSE	6	7	7
MAIS	7	8	10
MELO	55	66	77
MELONE	15	18	21
NOCE	0	35	40
OLIVO	50	60	70
ORTICOLE	75	89	104
ORTICOLE NON IRRIGUE	12	14	16
PATATA	20	24	28
PERO	55	66	77
PESCO	65	78	91
PICCOLI FRUTTI	400	480	560
PISELLO PROTEICO	63	75	76
POMODORO	100	120	140
POMODORO DA INDUSTRIA	25	30	35
PORRO	300	360	420
PRATO POLIFITA	76	91	105
RISO	10	12	14
SOIA	5	6	7
SORGO	6	7	8
SUSINO	55	66	77
VITE	40	48	0
VIVAIO	103	124	133
ZUCCA	35	42	49
ZUCCHINO	80	96	112

Tabella 8: ULU per coltura (fonte: Emilia-Romagna PSR 2014-2020)

Così come evidenziato dalla tabella di richiesta di manodopera aziendale dell'Emilia-Romagna il fabbisogno di manodopera del riso è stimato pari a 10 Unità Lavorative Annue (ULA), considerando che 1 giornata equivale a 8 ore lavorative, secondo l'indirizzo produttivo delle aziende in Emilia-Romagna. Tale beneficio socioeconomico per il territorio non si traduce solamente nella coltivazione del riso, ma grazie alle sue capacità migliorative del terreno permette la rotazione con orticole ad elevato valore aggiunto, capaci di generare occupazione. In particolare, considerando alcune colture tipiche del territorio del Delta del Po ferrarese, si identificano fabbisogni di manodopera dai 35ULU per la zucca ai 55ULU per lo zucchini.

A fronte di tali benefici socioeconomici derivanti dal riso, è stata considerata la stima dei costi di pompaggio sostenuti per mantenere invasata la risaia. Per le aziende dove la consegna della risorsa irrigua non è possibile tramite metodi a gravità, si può ipotizzare una prevalenza media pari a 2m. Questa per i volumi irrigui calcolati per l'intera stagione comporta un fabbisogno energetico di circa 1.34Kw e un relativo costo di sollevamento di stimato in circa 0.004€/mc. Stimando un fabbisogno annuo pari a 9.020mc/ha, così come identificato nella presente azione, questo determina un costo di pompaggio per l'azienda agricola pari a 36.08€/ha/anno. Tali costi risultano recuperabili grazie alla redditività della coltura ed andranno addizionati ai costi della risorsa relativi alla tariffa irrigua applicata dall'Ente di riferimento.

6.3 I benefici ambientali della coltivazione del riso

A sintesi della Fase 5 della presente azione, lo studio ha arricchito ulteriormente la comprensione degli aspetti ambientali legati alla coltivazione del riso nel delta del Po. Innanzitutto, si è proceduto con la stima del servizio ecosistemico di ricarica della falda per effetto della sommersione della risaia per periodi prolungati della stagione irrigua. Questo fenomeno presenta il duplice beneficio per aspetti quantitativi e qualitativi dei corpi idrici sotterranei, ricaricando direttamente il corpo recettore e riducendone la salinità nei territori costieri. Questo fenomeno ha enfatizzato il ruolo cruciale della coltivazione del riso nel mantenimento del livello delle acque sotterranee. La valutazione economica di questo servizio, legata al contrasto della subsidenza, rappresenta un ulteriore elemento di rilevanza nell'analisi complessiva dei benefici derivanti dalla coltivazione del riso nelle aree di studio. Infatti, il livello delle acque sotterranee rappresenta la sommatoria degli effetti antropici e naturali sul sistema idrico sotterraneo, vale a dire prelievi di acque sotterranee da un lato e ricarica delle falde dall'altro. Il valore del servizio ecosistemico di produzione delle acque associato alla ricarica delle falde può essere approssimato ai costi di realizzazione di opere di invaso necessarie alla ricarica³. In altre parole, i costi necessari per erigere opere idrauliche in grado di ricaricare le falde acquifere possono essere assunti come una stima del valore economico dei benefici derivanti dal riempimento delle falde che consistono nel fatto di evitare tutti i danni provocati dal fenomeno della subsidenza ed intrusione salina. È stata pertanto realizzata una rassegna di studi scientifici mediante la quale pervenire al costo unitario di ricarica degli acquiferi, stimato in 0,49 €/mc di acqua (vd. tabella sotto riportata). Considerato che il volume di acqua infiltrato dal suolo è pari 239 mm/ha, il volume di acqua destinato a ricaricare le falde è pari a circa 2390mc/ha. Moltiplicando il costo medio di ricarica (assunto come valore del beneficio) per il volume d'acqua che viene assorbito dal suolo, si ottiene un beneficio economico garantito dalla ricarica delle falde grazie alle risaie pari a 1.171€/ha/anno. La stima, seppur basata sulla letteratura scientifica di settore, rappresenta tuttavia un primo approccio al tema e fornisce un valore indicativo. Ulteriori studi saranno necessari per verificare i flussi sotterranei dei volumi infiltrati in falda ed il loro effettivo beneficio per l'ambiente circostante.

Costo medio di ricarica degli acquiferi
--

³ Santolini e Morri, 2017

Fonte	Valore (€/mc)	Regione
Morri et al., 2014	0,98	ER
Tavoloni, 2019	0,23	Marche
Santoloni e Morri, 2017	0,36	ER
Assennato et al, 2018 (ISPRA)	0,37	Italia
Media	0,49	

Infine, a completamento della stima dei benefici ambientali e di tutela del territorio e del paesaggio rurale apportati dalla coltivazione del terreno agricolo dove si ha anche la presenza di risaie che permettono di conservare la fertilità del suolo, è stato applicato il metodo del Benefit Transfer, così come già descritto nell'azione 3.2 della presente relazione. I risultati evidenziano un beneficio che varia da 59 a 413€/ha/anno.

Tipologia di uso del suolo	Valori per ettaro (€)		
	MINIMO	MEDIO	MASSIMO
Terreni permanentemente irrigati	59	260	413

Riferimenti bibliografici

Bouman, B. A. M. and Tuong, T. P. (2001): Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice, *Agr. Water Manage.*, 49, 11–30.

Zhao Y., De Maio M., Amorosi A. (2015). Influence of wet-dry cycles on the temporal infiltration dynamic in temperate rice paddies. *Soil & Tillage Research*, 154, 14-21.

Xu, Y., Su, B., Wang, H., and He, J. (2018): A new method for indirectly estimating infiltration of paddy fields in situ, *Proc. IAHS*, 379, 205–210, <https://doi.org/10.5194/piahs-379-205-2018>.

Morri E., Pruscini F., Scolozzi R., Santolini R., 2014. A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: Supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy). *Ecological Indicators* 37: 210– 219.

Ruberto M., Branca G., Troiano S., Zucaro R. (2022). The economic value of ecosystem services of irrigation: a choice experiment for the monetary evaluation of irrigation canals and fontanili in Lombardy. *Italian Review of Agricultural Economics* 77(2): 27-39. DOI: 10.36253/rea-13404

Santolini R., Morri E., 2017, Criteri ecologici per l'introduzione di sistemi di valutazione e remunerazione dei Servizi Ecosistemici (SE) nella progettazione e pianificazione. In: Arcidiacono A., Di Simine D., Oliva F., Ronchi S., Salata S. (a cura di), *La dimensione europea del consumo di suolo e le politiche nazionali*, CRCS Rapporto 2017. Roma: INU Edizioni. 149-154.

Tavoloni, M. 2019. Valutazione ecologico ed economica dei water ecosystem services (ES) dei sistemi forestali delle Marche (Progetto "EUREKA": Analisi e valutazione ecologico-economica delle funzioni ecologiche delle aree forestali della Regione Marche nell'ambito del Piano Generale di Bonifica e nuove prospettive di governance in attuazione della LN 221/15). Tesi di dottorato, Università degli Studi di Urbino, anno accademico 2018/2019.

Typical combined values for vertical infiltration and lateral seepage vary from 1–5 mm day⁻¹ in heavy clay soils to 25–30 mm day⁻¹ in sandy and sandy loam soils (Bouman and Tuong, 2001).

ISTAT, 2022. *Coltivazioni : Superfici e produzione - dati in complesso - prov [WWW Document]*. URL <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=37850> (accessed 5.14.20).

Regione Emilia Romagna, 2010. *DISPOSIZIONI TECNICHE APPLICATIVE relative al PROGRAMMA OPERATIVO D'ASSE Asse 1 'Miglioramento della competitività del settore agricolo e forestale' TABELLA DI RICHIESTA DI MANODOPERA AZIENDALE*.

CREA, 2022 - *RICA (2010 - 2022): dati economici a livello regionale nella Regione Emilia-Romagna, Italia*.

Azione 4 - Divulgazione

Il progetto Gestfaldà si è impegnato attivamente nella divulgazione delle innovazioni presso gli operatori del settore agricolo e agro-industriale, oltre che rivolgendosi a utenti esterni. L'obiettivo primario è stato quello di fornire informazioni e approfondimenti tecnici, al fine di consentire una comprensione approfondita dei principi su cui si basa il Piano di innovazione. Il programma di comunicazione adottato ha abbracciato diverse tecniche e tecnologie, mirando a creare un piano di divulgazione efficace e di reale supporto alla diffusione delle innovazioni. L'approccio non si è limitato alla sola dimensione produttiva, ma ha considerato anche gli aspetti territoriali e di sistema.

Nel corso delle attività di divulgazione, sono stati prodotti diversi materiali informativi. In particolare, sono stati pubblicati numerosi post sui social media, attraverso i quali è stata veicolata in modo chiaro e accessibile la conoscenza riguardante le innovazioni introdotte dal progetto. Questi post hanno spaziato dalla presentazione di concetti chiave alle testimonianze di operatori del settore che hanno sperimentato con successo le innovazioni proposte. Parallelamente, sono stati diffusi comunicati stampa che hanno contribuito a portare l'attenzione dell'opinione pubblica e degli operatori del settore su Gestfaldà e sulle sue attività di innovazione. Tali comunicati hanno evidenziato i risultati raggiunti, le prospettive future e l'importanza delle innovazioni proposte per il settore agricolo e agro-industriale. Le innovazioni prodotte nel progetto Gestfaldà sono state valorizzate anche attraverso eventi specifici, rivolti sia operatori del settore che al pubblico esterno interessato. Questi momenti hanno fornito l'opportunità di approfondire argomenti tecnici, condividere esperienze e stimolare un dialogo costruttivo tra gli attori coinvolti.

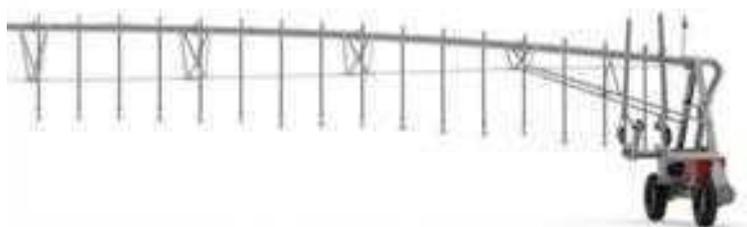
Nel presente allegato tecnico sono inseriti tutti i materiali di dettaglio relativi alle attività prodotte così da consentirne una più rapida fruizione e comprensione. Infine, a sintesi del progetto è stato realizzato un video ad hoc che ha facilitato le attività di divulgazione, consentendo durante gli eventi e le visite, di introdurre le tematiche affrontate da Gestfaldà, aprendo così i lavori per una discussione di dettaglio.



Post pubblicati su social media



ORA LO SAI



ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu



12:36

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

Mi piace Commenta Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

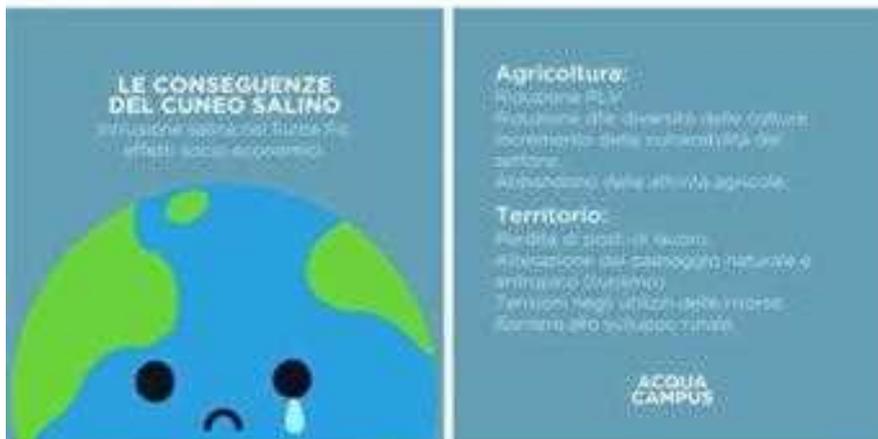
23 nov · 🌐

Voltarsi dall'altra parte non è più un'opzione, la consapevolezza e l'informazione sono una necessità.



Clicca su questo link <https://consorzioicer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#consorzioicer #acquacampus #cuneosalino #gestfalda



Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

Tu e altri 2

1 condivisione

Mi piace Commenta Condividi



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:36

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

4 nov ·

Il CER sta sviluppando un algoritmo per contrastare eventuali fenomeni di salinità dei suoli attraverso apporti irrigui ottimizzati.

Clicca sul link per saperne di più <https://www.irriframe.it/irriframe>

#consorzioicer #acquacampus #irriframe #gestfaida

ACQUA CAMPUS
LO SAPEVI?

irriframe

Un algoritmo per contrastare la salinità dei suoli a fornire indicazioni preziose ad un uso consapevole delle risorse idriche al fine di garantire la massima sicurezza migliorando la produttività delle colture.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

5

Condivisioni: 2

Mi piace Commenta Condividi

Acqua Campus
Pubblicato da Maria Tezza
2 nov ·



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:36

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

8

Condivisioni: 3

Mi piace Commenta Condividi

Acqua Campus
Pubblicato da Maria Tezza
28 ott ·

Un fenomeno di notevole interesse nell'ambito produttivo delle aziende agricole e della gestione delle acque irrigue. 💧

#gestfalda #consorzioacer #falda



Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

4

1 condivisione

Home Inserzioni + Notifiche Menu

12:36

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro

Oggi è la Giornata Mondiale dell'Informazione sullo Sviluppo. 🙏

Vi raccontiamo di Acqua Campus, un progetto che ha fatto di informazione, ricerca e dimostrazione i suoi più grandi obiettivi.

Clicca sul link se vuoi approfondire ➡ <https://consorzioicer.it/ricerca-e-sperimentazione/acquacampus/>

#acquacampus #acquasmart #gestfalda

GIORNATA MONDIALE DELL'INFORMAZIONE SULLO SVILUPPO

ACQUA CAMPUS

Un polo all'avanguardia dedicato alla ricerca e allo studio di tutte le principali innovazioni dell'agricoltura moderna e futura.

Ricerca e dimostrazione sono le anime del progetto. I suoi obiettivi sono il **trasferimento dell'innovazione** alle imprese agricole, l'**informazione** e la **sensibilizzazione** sui temi più importanti dell'agricoltura moderna.



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:36

4G

Acqua Campus ⁹⁺

Post Informazioni Video Altro ▾

Mi piace Commenta Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

21 ott · 🌐

Assieme all'azione fitodepurante e alle basse velocità dell'acqua lungo tutto il percorso del CER, l'isolamento idraulico fa sì che la qualità dell'acqua sia migliore, seppur proveniente dal fiume Po. 💧

Visita il link per scoprire di più ➡️ <https://consorzioicer.it/it/strumenti/qualit%C3%A0-acqua/>

#gestfalda

LO SAPEVI?

ACQUA CAMPUS

Isolamento idraulico

Garantisce, insieme ad altre circostanze favorevoli, l'alta qualità dell'acqua del CER, impedendo l'introduzione di acque di scolo o effluenti potenzialmente inquinati.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

👤 3



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:37

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

Mi piace Commenta Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

19 ott · 🌐

Alcune conseguenze del cuneo salino, ora che le hai lette, cosa puoi fare di più? 🤔

Clicca sul link per saperne di più ➡️ <https://consorziocer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#cuneosalino #gestfalda

LE CONSEGUENZE DEL CUNEO SALINO
Invasione salina nel basso Po, effetti sulla produzione delle acque.

Infrastrutture:
Ripristino dell'assetto delle strutture
Infiltrazione delle acque salate dagli argini dei canali
Salinizzazione dell'Alveo Tevere.

Sistema di gestione:
Rafforzamento delle dotazioni inguar
Necessità di continuo monitoraggio e operazioni di difesa
Infiltrazione delle operazioni di pompazione.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

2

1 condivisione



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:37

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

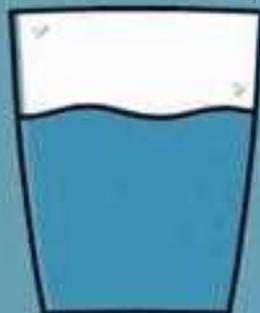
Altro

Il CER ha sviluppato un protocollo per monitorare adeguatamente la qualità della risorsa idrica, veicolata nel sistema idrico che fa capo al Canale Emiliano Romagnolo. 💧

Controlla i dati presso il nostro sito ➡ <https://consorzioicer.it/it/strumenti/qualit%C3%A0-acqua>

#gestfalda

TI PERDI IN UN
BICCHIER D'ACQUA?



ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:37

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

3 ott · 🌐

Oggi è la Giornata Mondiale dell'Habitat e noi vogliamo celebrarla raccontandovi di Acqua Campus Natura, il centro ecologico strategico situato all'interno del Parco Regionale del Delta del Po, che ha come mission la salvaguardia ambientale degli ecosistemi umidi e della loro biodiversità. 🌿

#acquacampusnatura #acquacampus #consorzioicer #gestfalda

GIORNATA MONDIALE DELL'HABITAT

Acqua Campus Natura è un'area di tutela sperimentale nata dalla collaborazione tra Consorzio CER e Anbi destinata a monitorare e tutelare la biodiversità legata all'acqua negli ecosistemi umidi.

Si trova a Mandriole di Sant'Alberto, in provincia di Ravenna.

La fauna si rivolge a flora e fauna, anche in pericolo dagli effetti ambientali: fenomeni climatici come la riduzione delle piogge e l'aumento salinizzazione dell'acqua.



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la sviluppo rurale

L'Europa investe nelle zone rurali

12:37

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro



Pubblicato da Maria Tezza
30 set · 🌐

L'equilibrio degli ecosistemi è fragile anche a causa del cuneo salino.

Prenderne coscienza e chiedersi come agire di conseguenza è una necessità. 🤖

Clicca sul link per scoprire di più sui nostri strumenti

👉 <https://consorzioicer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#cuneosalino #gestfalda

LE CONSEGUENZE DEL CUNEO SALINO
Inquinamento salino del suolo e dell'acqua
effetti sugli ecosistemi.

Suolo e sottosuolo:
Alterazioni della pedologia microbica
Destrutturazione del terreno
Perdita di fertilità
Attaccioni delle falde superficiali.

Flora e fauna:
Scomparsa di zone umide
Alterazione degli habitat floristici
Perdita di biodiversità locale
Alterazione della fauna ittica
Modifiche della catena trofica
Spostamento della fauna entomofila.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

👍👤 Tu e altri 4

Condivisioni: 3

👍 Mi piace 💬 Commenta ➦ Condividi



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:37

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

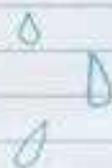
Altro

In questa importantissima giornata di sensibilizzazione educativa cerchiamo di assumere un'attitudine più accorta nei confronti delle nostre risorse idriche.

Impegniamoci a consegnare alle future generazioni un esempio di coinvolgimento attivo nel monitoraggio e protezione dell'acqua.

#acquacampus #consorzioicer #giornatamondiale #watermonitoringday #monitorwater #acquasmart #gestfalda

GIORNATA
MONDIALE PER
IL MONITORAGGIO
DELLE ACQUE



ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Sicilia rurale

L'Europa investe nelle zone rurali

12:37

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

14 set ·

Conoscere le cause del cuneo salino è importante al fine di sviluppare una maggiore consapevolezza su questo fenomeno così cruciale.

[#acquacampus](#) [#consorzioicer](#) [#gestfalda](#)

ACQUA CAMPUS
LO SAPEVI?

Le cause dell'intrusione salina nel fiume po

Subsidenza:

Innalzamento del suolo per cause naturali e antropiche (drenaggio, sprechi d'acqua, acque del sottosuolo)

Eustatismo:

Variazioni stagionali di livello tra le maree oceaniche e continentali, che conseguono a variazioni del livello medio marino.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

3

1 condivisione



Mi piace



Commenta



Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

9 set ·

Un'area di pluri-monitoraggio all'interno di Acqua



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

12:38

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro

Accrescere la cultura tecnologica dell'irrigazione è uno degli obiettivi del nostro progetto: puntiamo a sensibilizzare l'approccio all'agricoltura irrigua con dimostrazioni pratiche e con la possibilità di testare sul campo le soluzioni più innovative per produzioni sane e sostenibili.

Clicca sul link per saperne di più <https://consorzioicer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/acquacampus/>

#acquacampus #consorzioicer #gestfalda

Non ho
bisogno
di aiuto,



ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la sviluppo rurale

L'Europa investe nelle zone rurali

12:38

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

Nonostante le recenti perturbazioni, i corpi idrici superficiali e le falde freatiche rimangono in condizioni critiche, per maggiori dettagli sui livelli di falda nella regione consultare FALDANET, il web-GIS sviluppato dal CER.

Clicca sul link per scoprire di più <https://consorzioicer.it/it/strumenti/faldanet/>

#gestfalda #acquacampus #consorzioicer

FALDANET

Rete regionale di monitoraggio della profondità delle falde superficiali



La falda ipodermica o superficiale è lo strato di terreni saturi d'acqua presente entro 300 cm dal piano campagna.

La mappa indica la profondità della falda relativa all'ultimo dato rilevato.

ACQUA CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Sicilia rurale

L'Europa investe nelle zone rurali

12:38

4G



Acqua Campus ⁹⁺



Post

Informazioni

Video

Altro ▾

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

18

1 condivisione



Mi piace



Commenta



Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

19 ago · 🌐



Tu sai quali sono le cause del cuneo salino?

Clicca su questo link  <https://consorzioicer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#cuneosalino #gestfalda #acquacampus

LO SAPEVI?

ACQUA CAMPUS

Alcune cause dell'intrusione salina nel fiume po

Riduzioni delle portate nei fiumi:
La riduzione delle precipitazioni, causa una riduzione delle portate che favorisce l'intrusione dell'acqua salina dal mare nel compendio dell'ago.

Abbassamento dei livelli di falda:
I livelli di falda naturalmente inferiori al livello del mare, favoriscono la penetrazione di acque saline nel sottosuolo.

ACQUA CAMPUS

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:39

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro ▾

10 ago ·

Scopri il progetto GESTFALDA che evidenzia le soluzioni adottabili da agricoltori e consorzi di bonifica per il contrasto al cuneo salino. Guarda il sito del CER per trovare le ultime novità nel campo dell'irrigazione!

Clicca su questo link <https://consorzioicer.it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#cuneosalino #gestfalda

CUNEO SALINO

Complesso fenomeno che vede l'intrusione delle acque saline dal mare nelle falde e nelle foci dei fiumi.

ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

12:39

4G 37



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro ▾



Pubblicato da Maria Tezza

5 ago · 🌐

La siccità non molla: continuano gli studi e le operazioni di contrasto per far fronte all'emergenza.

#acquasmart #gestfalda #acquacampus
#consorzioicer



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:39

4G

Acqua Campus ⁹⁺

Post Informazioni Video Altro

inserzioni

Metti in evidenza il post

2

Visualizzazioni: 1,1 mila

Mi piace Commenta Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

3 ago ·

Colture a rischio.

Oramai da molti mesi siamo in un periodo non semplice.

Scopri gli strumenti che possono migliorare la nostra agricoltura, visita il seguente link <https://consorzioicer.it/it/strumenti/>

#acquasmart #gestfalda #acquacampus #consorzioicer

PERIODO SEMPLICE

OGGI NON ESCO.

ACQUA CAMPUS

PERIODO NON SEMPLICE



ACQUA CAMPUS

Vedi insights e



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:39

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro



Acqua Campus

Pubblicato da Maria Tezza

29 lug · 🌐

La salinizzazione colpisce le falde acquifere e compromette l'agricoltura.

Non è colpa di nessuno, l'unica colpa sarebbe non mettere in atto le nuove tecnologie per convivere con questo fenomeno e salvare le colture.

[#risparmioidrico](#) [#acquasmart](#) [#gestfalda](#)

NON È COLPA DI NETTUNO.



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Strategia di Stato



L'Europa investe nelle zone rurali

12:39

4G 37



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro



Acqua Campus



Pubblicato da Maria Tezza

23 lug · 🌐

In questa immagine si può vedere un campo di frumento dove le piante non sono riuscite a germogliare a causa della salinizzazione dei suoli.

#risparmioidrico #acquacampus #cuneosalino #gestfalda



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la sviluppo rurale



L'Europa investe nelle zone rurali

12:39

4G



Acqua Campus 9+



Post

Informazioni

Video

Altro ▾



Pubblicato da Maria Tezza

21 lug ·

Le falde acquifere sono scariche. Il risparmio idrico è necessario.

Visita il link <https://consorzioocer.it/it/strumenti/irrinet>

#acquasmart #gestfalda #acquacampus
#consorzioocer

Falda acquifera scarica

20% d'acqua rimanente.

Risparmio idrico

Chiudi

**ACQUA
CAMPUS**



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

12:40

4G

< Acqua Campus +

Post Informazioni Video Altro ▾

Scopri di più sul progetto GESTFALDA i ricercatori del CER stanno studiando delle soluzioni per il tuo fabbisogno.

<https://consorziocer.it/it/ricerca-e-sperimentazione/progetti/gestfalda/>

#cuneosalino #gestfalda #acquacampus

ACQUA
CAMPUS

LO SADEVI?



Vedi insights e

Metti in evidenza il post



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

12:40

4G

Acqua Campus 9+

Post Informazioni Video Altro

Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

3

Mi piace Commenta Condividi



Acqua Campus

Pubblicato da Pierluigi Cagnazzo

6 lug ·

Salvaguardare le produzioni agricole regionali è uno dei nostri obiettivi primari!

#acquasmart #gestfalda #acquacampus #consorzioicer



Vedi insights e inserzioni

Metti in evidenza il post

Home Inserzioni + Notifiche Menu

12:40

4G



edelstein_luxina

Adesso

A hair_revolution_2009 piace la tua foto.

Post

Informazioni

Video

Altro ▾



Acqua Campus

...

Pubblicato da Pierluigi Cagnazzo

1 lug ·

Le falde acquifere sono scariche.
Il risparmio idrico è necessario.

[#acquasmart](#) [#gestfalda](#) [#acquacampus](#)
[#consorzioicer](#)



Mentre noi ricarichiamo i nostri dispositivi,
le falde acquifere non hanno il tempo di farlo.

ACQUA
CAMPUS



Home



Inserzioni



Notifiche



Menu

per la Regione Siciliana



L'Europa investe nelle zone rurali



Consorzio CER

23 h · 🌐

Sono numerose le attività formative organizzate ogni anno dal CER allo scopo di divulgare gli importanti esiti di ricerca condotti nell'ambito del risparmio idrico e della tutela delle produzioni agricole.

Proprio il prossimo 4 aprile avrà inizio un percorso formativo della durata di 29 ore, articolate in un incontro di presentazione (2 ore), cinque giorni di viaggio-studio nel territorio della [Provincia di Cristano](#) (24 ore) ed il follow-up (3 ore); un corso inerente il progetto GESTFALDA, svolto in partnership con la società di formazione [Dinamica-FP](#) e che avrà come focus il miglioramento della gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino, una criticità purtroppo presente in molti territori costieri emiliano-romagnoli e sardi.

Il viaggio studio interesserà realtà produttive in cui sono stati effettuati investimenti a sostegno dell'irrigazione di precisione e con metodi di contrasto al cuneo salino ed agli effetti negativi causati dalla salinità dei suoli. Maggiori info al seguente link: <https://www.dinamica-fp.com/.../addetto-alla-conduzione.../>.



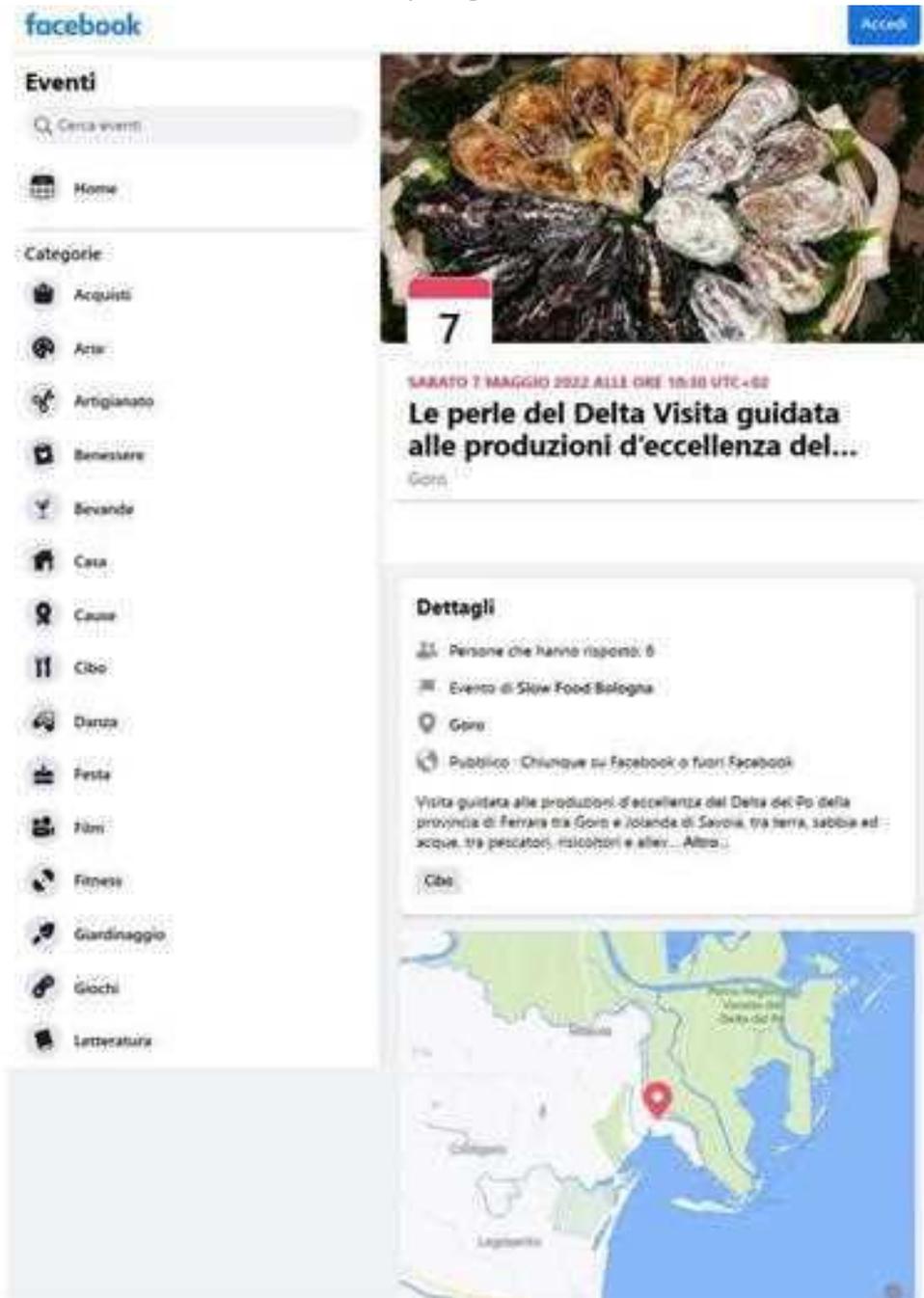
👍 3

📌 1

👍 Mi piace

💬 Commenta

Visita Guidata alle aree di progetto



The image shows a screenshot of a Facebook event page. On the left is a navigation menu with categories like Acquisti, Arte, Artigianato, Benessere, Bevande, Casa, Cause, Cibo, Danza, Festa, Film, Fitness, Giardinaggio, Giochi, and Letteratura. The main content area features a large image of a dish of oysters with a calendar overlay showing the number '7'. Below the image, the event title is 'Le perle del Delta Visita guidata alle produzioni d'eccellenza del...'. The date and time are 'SABATO 7 MAGGIO 2022 ALLE ORE 10:30 UTC+02'. The location is 'Goro'. The 'Dettagli' section indicates 0 people have responded, it's a 'Evento di Slow Food Bologna', and it's a public event. A map at the bottom shows the location in the Delta del Po region.

facebook

Accedi

Eventi

Cerca eventi

Home

Categorie:

- Acquisti
- Arte
- Artigianato
- Benessere
- Bevande
- Casa
- Cause
- Cibo
- Danza
- Festa
- Film
- Fitness
- Giardinaggio
- Giochi
- Letteratura

7

SABATO 7 MAGGIO 2022 ALLE ORE 10:30 UTC+02

Le perle del Delta Visita guidata alle produzioni d'eccellenza del...

Goro

Dettagli

- Persone che hanno risposto: 0
- Evento di Slow Food Bologna
- Goro
- Publico - Chiunque su Facebook o fuori Facebook

Visita guidata alle produzioni d'eccellenza del Delta del Po della provincia di Ferrara tra Goro e Jolanda di Savoia, tra terra, sabbia ed acque, tra pescatori, risicoltori e allevatori. Altre...

Cibo



Gestfalda – Gestione attiva della falda ipodermica per il contrasto alla risalita del cuneo salino

DOMANDA DI SOSTEGNO: 5206511 – PSR Emilia-Romagna 2014-2020
FOCUS AREA 5°

Il progetto Gestfalda nasce con l'obiettivo generale di fornire strumenti conoscitivi ed operativi a Consorzi di Bonifica ed aziende agricole operanti nella zona costiera della Regione Emilia-Romagna, per una gestione più oculata dell'acqua irrigua e per il mantenimento di bassi livelli di salinità nelle acque e nei suoli. Per fare questo, il progetto si è focalizzato su tre aspetti chiave:

- Valutazione del servizio ecosistemico di mitigazione dei rilasci di acqua dolce per infiltrazione da canale, sui processi di salinizzazione della falda superficiale e del suolo (contrasto all'ingressione del cuneo salino).
- Messa a punto di un modello concettuale che definisca le potenzialità di aree umide, posizionate in zone interessate dalla presenza di falda superficiale salina, al contrasto di tali fenomeni, tramite la soprastante lente di acqua dolce da esse alimentata.
- Messa a punto su IRRIFRAME di un modello, che consenta il calcolo dell'ulteriore apporto irriguo (c.d. *leaching requirement*), necessario al dilavamento dal suolo di concentrazioni dannose di sali, valido per ogni tipo di coltura.
- Messa a punto su IRRIFRAME di un modello che consenta il calcolo dei fabbisogni idrici della coltura riso e implementazione del medesimo sulla piattaforma pubblica a disposizione degli utenti. Valutazione del servizio ecosistemico, fornito da questa coltura, nel mantenimento di livelli produttivi in aree agricole altrimenti considerate marginali per la prossimità al mare e la conseguente intrusione salina

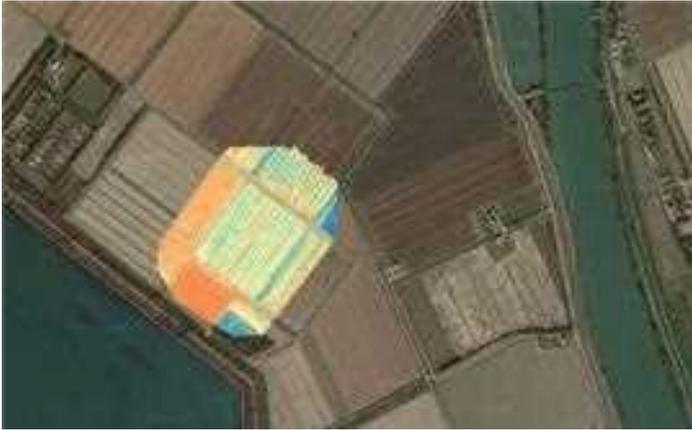


Comunicato Stampa- Le perle del Delta

Sabato 7 Maggio 2022

Il Dr. Genovesi, responsabile scientifico del progetto GESTFALDA, finanziato dalla misura 16 del PSR 2014-2020 dell'Emilia-Romagna, ha presentato i risultati dell'attività di sperimentazione avvenuta nella risaia di Gorino (Comune di Goro – FE). All'interno del progetto sono stati valutati i principali parametri agronomici della coltura del riso per la massimizzazione nell'efficienza dell'uso dell'acqua, mantenendo inalterati gli aspetti produttivi quali-quantitativi che caratterizzano una produzione d'eccellenza quale il **"Riso del Delta del Po – IGP"**. Un pubblico di appassionati ha potuto apprezzare il legame tra paesaggio, tutela del territorio e produzione agricola che passa anche per l'uso efficiente della risorsa irrigua. Infatti, nelle zone costiere come quella della bassa pianura Ferrarese, l'intensa attività di agricoltori e Consorzi di Bonifica permette di contrastare l'intrusione del cuneo salino – causa di gravi danni ai nostri suoli e alle produzioni agricole. Nelle immagini che seguono sono rappresentati alcuni scatti della giornata dimostrativa presso la risaia sperimentale e i rilievi effettuati con drone utilizzati per la definizione del bilancio idrico della risaia e per valutare l'azione di contrasto al cuneo salino portata avanti dalla stessa.





Il progetto GESTFALDA:

L'obiettivo generale del progetto è di fornire strumenti conoscitivi ed operativi a Consorzi di Bonifica ed aziende agricole (nuovi moduli di IrriNet/Irriframe per il leaching requirement e la gestione idrica della risaia) operanti nella zona costiera della Regione Emilia-Romagna, per una gestione più oculata dell'acqua irrigua e per il mantenimento di bassi livelli di salinità nelle acque e nei suoli. Allo stesso tempo, sarà valutata, a 40 anni di distanza dagli ultimi interventi di bonifica del territorio, l'efficacia della gestione consortile della rete promiscua di scolo e consegna delle acque irrigue in aree critiche per la conduzione dell'agricoltura, con particolare attenzione alla stima del valore del servizio ecosistemico fornito dai medesimi Consorzi di Bonifica.

Programma dell'evento organizzato da Slow Food Bologna

Visita guidata alle produzioni d'eccellenza del Delta del Po della provincia di Ferrara tra Goro e Jolanda di Savoia, tra terra, sabbia ed acque, tra pescatori, risicoltori e allevatori.

Ore 10:30 - Via dell'Agricoltura, 17 Goro (FE)

Visita al laboratorio ed all'allevamento della Cooperativa Sant'Antonio per scoprire la filiera, interamente gestita in loco (dal seme, alle acque, fino alla lavorazione e alla commercializzazione), della produzione dell'Ostricad'oro di Goro. Questa ostrica prende il nome dalla colorazione giallo-oro assunta dalla conchiglia. Il sapore dell'ostrica è legato naturalmente alle acque in cui cresce. Nella Sacca di Goro il mollusco nostrano acquisisce un gusto ammaliante grazie al mix di acqua dolce del Po e salata dell'Adriatico.

Guida di Edoardo Turolla, pescatore, biologo e docente di Acquacultura e Molluschicoltura all'Università di Ferrara e di Bologna.

Degustazione di tre varietà di ostriche in abbinamento ai vini delle sabbie dell'azienda agricola Cantina Mattarelli.

Costo per la sola degustazione: 12 Euro per i soci Slow Food - 14 Euro per i non soci.

Il riso del Delta de Po IGP - Risaia Rubin di Gorino

Ore 12 - Gorino frazione di Goro

Un breve itinerario attraverso il magico lembo di terra tra Goro e la foce del Po alla scoperta di una risaia nel momento dell'allargamento per la semina del riso del Delta del Po IGP. La coltura del riso nel delta del Po è relativamente giovane, nasce assieme alle grandi bonifiche delle valli del delta degli anni 50. In pochi anni è diventata una coltura così radicata nel territorio da meritare il riconoscimento del prodotto IGP; la particolarità dei suoli, uno dei pochi casi di torba presenti in Italia su vasta scala e del clima, così prossimo al mare adriatico, ne fanno un prodotto unico e ambientalmente sostenibile. Sul campo di Gorino scopriremo perché.

Guida di Roberto Genovesi, Consorzio di bonifica per il canale emiliano romagnolo.

Pranzo al Ristorante Locanda Ferrari

Ore 13 - Via Brugnoli, 244 Goro (FE)

Pranzo nella storica osteria fondata nel 1940 e situata a pochi passi dal porto peschereccio di Goro. Marinati di pesce azzurro, guazzetto di cozze e vongole, risotto di pesce, frittura di paranza, vino delle sabbie dell'Azienda Agricola Corte Madonnina.

Costo: 32 Euro per i soci Slow Food - 34 Euro per i non soci.

La storia della Salama - Allevamento Corte Fiesole

Ore 16:30 - Via del Mare 24 - Jolanda di Savoia (FE)

Visita all'azienda agricola Corte Fiesole piccolo allevamento di suini, bovini, asini e polli alimentati con foraggi e cereali prodotti in azienda o in aziende vicine.

Il giovane Edoardo Perelli applica e manifesta da sempre il suo impegno per il benessere animale.

Nella fattoria i suini sono nella porcilaia coperta con libero accesso allo scoperto su terreno, i bovini sono in stalla nel periodo invernale e in alpeggio d'estate, mentre i polli...sono liberi di razzolare dove vogliono.

All'interno dell'azienda si trova anche l'area di trasformazione in cui si producono i salumi artigianali tra cui la mitica Salama da Sugo .

Guida di Edoardo Perelli, titolare Corte Fiesole, diplomato all'IPAA F.li Navarra e socio Slow Food.

Aperitivo a base di salumi prodotti in azienda e vini delle sabbie dell'azienda agricola Cantina Mattatelli.

Costo per la sola degustazione: 12 Euro per i soci Slow Food - 14 Euro per i non soci.



organizzano

workshop nazionale

il MARE nel FIUME

CUNEO SALINO

UNA MINACCIA
PER LA
BIODIVERSITÀ
E LO SVILUPPO
DEI TERRITORI.

23 GIUGNO 2022

ORE 9.00 -13.30

📍 CASTELLO DELLA MESOLA
PIAZZA SANTO SPIRITO, MESOLA (FE)



Comune di Mesola



Provincia di Ferrara



il MARE nel FIUME

CUNEO SALINO

UNA MINACCIA
PER LA
BIOVERSITA'
E LO SVILUPPO
DEI TERRITORI.



MODERA IL CONVEGNO:
Andrea Gavazzoli, giornalista

A seguire light lunch presso i locali del Castello

E' GENTILMENTE RICHIESTA LA PRENOTAZIONE:

direzione@bonificaferrara.it
0532 218235-256
info su www.bonificaferrara.it

Evento organizzato in collaborazione con l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Ferrara.

La partecipazione all'evento dà diritto al riconoscimento di **3 CFP**.
Al fine del riconoscimento dei Crediti è richiesta la partecipazione all'intero evento formativo. Iscrizione obbligatoria anche sulla piattaforma:
www.iscrizioneformazione.it

23 GIUGNO 2022

ORE 9.00 -13.30

CASTELLO DELLA MESOLA
PIAZZA SANTO SPIRITO, MESOLA (FE)

programma

DALLE ORE 9.00: REGISTRAZIONE DEI PARTECIPANTI

9.30 SALUTI

Gianni Michele Padovani

Sindaco di Mesola e Presidente Provincia di Ferrara

Stefano Calderoni

Presidente Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara

Adriano Tugnolo

Presidente Consorzio di Bonifica Delta del Po

Francesco Cazzaro

Presidente ANBI Veneto

IRENE PRIOLO

Assessore all'Ambiente, Difesa del Suolo e della Costa e Protezione Civile Regione Emilia-Romagna

10.00 INQUADRAMENTO GENERALE

Carlo Cacciamani, Direttore Italameteo

L'impatto del cambiamento climatico a scala nazionale, le ricadute per gli ecosistemi e le attività.

Giuseppe Bortone, Direttore Generale ARPA-ER

L'importanza delle acque di transizione: aspetti qualitativi ed equilibrio del bilancio idrico.

Meuccio Berselli, Segretario Generale Autorità di Bacino Fiume Po
Azioni concrete per l'adattamento al cambiamento climatico.

Massimo Gargano, Direttore Generale ANBI Nazionale

Il quadro geopolitico, i cambiamenti climatici, la transizione ecologica e le loro conseguenze su economia e ambiente, tra rischi e opportunità. La proposta di ANBI e dei Consorzi.

11.00 APPROFONDIMENTI

Micol Mastrociccio, Prof.ssa Geol. Università degli Studi della Campania

La salinizzazione degli acquiferi costieri: guardare al passato per prepararsi al futuro.

Paolo Tarolli, Prof. Università degli Studi di Padova

Siccità e risalita del cuneo salino: scenari attuali e minacce future per l'agricoltura.

Raffaella Zucaro, Direttore Generale CER

Strategie per la tutela delle falde, degli ecosistemi e delle produzioni agricole: il ruolo chiave della gestione delle acque irrigue.

Luigi Lazzaro, Presidente Legambiente Veneto

Il fiume che speriamo: una pluri-dimensione ecologica per la conservazione integrata del patrimonio.

Giancarlo Mantovani, Direttore Consorzio di Bonifica Delta del Po

Il contrasto alla risalita del cuneo salino: soluzioni adottate e proposte.

Mauro Monti, Direttore Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara

L'acqua dolce, un elemento fondamentale per la tutela e lo sviluppo dei territori deltizi.

12.30 DIBATTITO E CONCLUSIONI

Nicola Bertinelli

Presidente Coldiretti Emilia-Romagna

Marcello Bonvicini

Presidente Confagricoltura Emilia-Romagna

Cristiano Fini

Presidente CIA Emilia-Romagna

Attilio Toscano

Prof. Ing. Idraulica agraria presso UNIBO e membro della Struttura Tecnica di Missione MIMS

FRANCESCO VINCENZI

Presidente Nazionale ANBI



Comune di Mesola



Provincia di Ferrara



Il Mare nel fiume: il convegno dedicato alla risalita del cuneo salino

Il 23 giugno a partire dalle 9.30 al Castello della Mesola un importante appuntamento per analizzare le strategie di contrasto a una minaccia per biodiversità e agricoltura



Mesola. L'assenza di precipitazioni e l'attuale siccità di natura ormai calamitosa incide fortemente sulla risalita del cuneo salino. Quando l'acqua dei fiumi si abbassa troppo, infatti, l'acqua del mare tende a infiltrarsi arrivando fino alle falde e provocando danni enormi alle colture e alla biodiversità. I problemi legati alla risalita del cuneo salino e le eventuali strategie per mitigarlo, **saranno l'argomento del convegno "Il mare nel fiume"**, organizzato dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara il prossimo **23 giugno** al Castello della Mesola, a partire dalle 9.30.



*Messaggio pubblicitario con finalità promozionale. Riceverai 400€ di sconto sugli acquisti con Carta se spendi almeno 4000€ nei primi 3 mesi. In più, ogni anno avrai automaticamente un voucher virtuale di 350€, valido 6 mesi per acquisti tramite il sito americanexpress.it/aviaggi. T&C dell'offerta su americanexpress.it/carta-platino. Offerta valida fino al 30 Marzo 2023. Per le condizioni economiche e contrattuali, consulta il Regolamento Generale delle Carte di pagamento American Express ed i Fogli Informativi allegati visitando il sito americanexpress.it/termini-condizioni. L'emissione delle Carte è a discrezione di American Express.

AD

Carta Platino. Potresti farci l'abitudine.

Raccomandato da Outbrain

direttore generale Arpa-Er con *“L'importanza delle acque di transizione: aspetti qualitativi ed equilibrio del bilancio idrico; Meuccio Berselli, segretario generale Autorità di Bacino Fiume Po che parlerà delle “Azioni concrete per l'adattamento al cambiamento climatico e Massimo Gargano, direttore generale Anbi Nazionale che farà “Il quadro geopolitico, i cambiamenti climatici, la transizione ecologica e le loro conseguenze su economia e ambiente, tra rischi e opportunità. La proposta di Anbi e dei Consorzi”.*

Seguiranno una serie di approfondimenti sulle possibili strategie di difesa dalla risalita del cuneo salino, a partire da **Micol Mastrocicco**, dell'Università degli Studi della Campania con l'intervento *“La salinizzazione degli acquiferi costieri: guardare al passato per prepararsi al futuro; Paolo Tarolli, dell'Università degli Studi di Padova con “Siccità e risalita del cuneo salino: scenari attuali e minacce future per l'agricoltura”;* **Raffaella Zucaro**, direttore Generale Cer, con un approfondimento su *“Strategie per la tutela delle falde, degli ecosistemi e delle produzioni agricole: il ruolo chiave della gestione delle acque irrigue”;* **Luigi Lazzaro**, presidente Legambiente Veneto con *“Il fiume che speriamo: una pluri-dimensione ecologica per la conservazione integrata del patrimonio”;* **Giancarlo Mantovani**, direttore Consorzio di Bonifica Delta del Po che parlerà de *“Il contrasto alla risalita del cuneo salino: soluzioni adottate e proposte”* e **Mauro Monti**, direttore Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara con un approfondimento su *“L'acqua dolce, un elemento fondamentale per la tutela e lo sviluppo dei territori deltizi”.*

Chiuderà la giornata di lavori una tavola rotonda con i rappresentanti delle associazioni di categoria e istituzionali, alla quale parteciperanno: **Nicola Bertinelli**, presidente Coldiretti Emilia-Romagna; **Marcello Bonvicini**, presidente Confagricoltura Emilia-Romagna, **Cristiano Fini**, presidente nazionale e regionale Cia-Agricoltori Italiani; **Attilio Toscano**, docente Idraulica agraria presso Unibo e membro della Struttura Tecnica di Missione Mims; **Irene Priolo**, assessore all'Ambiente, Difesa del Suolo e della Costa e Protezione Civile della Regione Emilia-Romagna e **Francesco Vincenzi**, presidente nazionale Anbi.

L'evento è già tutto esaurito ma sarà possibile seguirlo in diretta streaming sulla pagina Facebook del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara www.facebook.com/consorzioibonificaferrara/

Grazie per aver letto questo articolo...

Da 17 anni Estense.com offre una informazione indipendente ai suoi lettori e non ha mai accettato fondi pubblici per non pesare nemmeno un centesimo sulle spalle della collettività.

Il lavoro che svolgiamo ha un costo economico non indifferente e la pubblicità dei privati non sempre è sufficiente.

Per questo chiediamo a chi quotidianamente ci legge e, speriamo, ci apprezza di darci un piccolo contributo in base alle proprie possibilità. Anche un piccolo sostegno, moltiplicato per le decine di migliaia di ferraresi che ci leggono ogni giorno, può diventare fondamentale.



OPPURE

se preferisci non usare PayPal ma un normale bonifico bancario (anche periodico)

puoi intestarlo a:

Scoop Media Edit

IBAN: **IT06D0538713004000000035119**

(Banca BPER)

Causale: **Donazione per Estense.com**

Share 20

Tweet



TI POTREBBE INTERESSARE:

Raccomandato da outbrain



E se gli Stati Uniti non fossero intervenuti nella WW2? Gioco simula una storia...

Il gioco di strategia simula una storia alternativa

Gioco di Strategia Storico



Il gioco Vintage "da giocare". Nessuna installazione.

Elvenar



Scegli Blu American Express.

Quota gratuita il 1° anno e 5% di Cashback sui primi €3000 spesi con Carta.*

American Express

Ecobonus 2023 sulle pergole. Approfittane ora

Belle Pergole



AD



Vintage Industries Class Sherpa Giacca, rosso, dimensione XL

** Giacca in design classico boscaiolo * Fodera i...*

FC MOTO

AD



Affitta il tuo terreno! Guadagna fino a 3500€ per ettaro

Vuoi assicurarti una rendita per 30 anni? Affitta ...

Affittoterreno

AD



Il fotografo italiano Luigi Chiurchi parla della sua macchina fotografica preferita, la Leica SL2-S

Leica Camera - SL2-S

AD



Con Carta Oro Business puoi avere la quota gratuita ogni anno*. Scopri di più.

American Express



Noto restauratore ferrarese aggredito in auto e gettato giù dall'argine



Rizzieri prima macelleria italiana a ottenere il marchio di "Società Benefit"



Casini a Ferrara per presentare il suo libro "C'era una volta la politica"

AD



Gims 2023 - Doha è pronta a diventare Ginevra

Quattroruote - News



Negozio Online Würth: scopri i migliori prodotti per la tua azienda.

Solo per P.Iva.

Würth Italia



Rinnova il tuo bagno con noi. Prodotti e soluzioni per il tuo bagno.

leroymerlin.it

Quando l'irrigazione è a rateo variabile

Di Francesco Cavazza, Salvatore Luca Gentile, Domenico Solimando, Roberto Genovesi, Stefano Anconelli, Raffaella Zucaro e Tommaso Letterio
30 Novembre 2022



L'approvvigionamento irriguo diventa sostenibile con le nuove tecnologie

Siamo alla fine di una delle stagioni irrigue più critiche di cui si ha memoria. In questo stesso periodo, l'incremento dei costi energetici e dei prezzi dei fertilizzanti rischiano di compromettere la redditività dell'agricoltura irrigua. Fortunatamente esistono strumenti in grado di aiutare gli agricoltori e il territorio rurale a far fronte a queste sfide emergenti. Quella dell'adattamento ai cambiamenti climatici non è una strada facile e breve, ma grazie all'innovazione tecnologica, gli strumenti dell'irrigazione di precisione diventano ogni anno sempre più accessibili ed efficienti.

L'uso delle tecnologie IoT e Big Data in agricoltura investe direttamente l'obiettivo 12 dell'Agenda 2030 "Consumo e Produzione Responsabili" e indirettamente gli obiettivi 2 "Sconfiggere la Fame" e 15 "Vita sulla Terra". Ci riferiamo, come caso esemplare e criticità specifica, al monitoraggio puntuale delle coltivazioni agricole per ottimizzare l'irrigazione, ridurre eventuali inefficienze e migliorare la qualità dei raccolti grazie all'azione di macchine e dispositivi intelligenti.

Gli studi del Cer sull'irrigazione di precisione

Il [Consorzio di Bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo](#) presso l'azienda agricola sperimentale di Acqua Campus (a Mezzolara di Budrio, in provincia di Bologna) da anni effettua ricerche, studi e sperimentazioni sull'irrigazione di precisione.

Nel dettaglio, all'interno del progetto Pon Water4Agrifood sono in corso attività specifiche per l'ottimizzazione dell'irrigazione di precisione a rateo variabile sulla base di indici vegetazionali integrati nel sistema di supporto alle decisioni Irriframe. Il lavoro si basa su tre fasi distinte:



1. Elaborazione dei dati satellitari: attraverso la messa in opera di un software opportunamente progettato è stato possibile effettuare lo scarico in modalità automatizzata delle immagini satellitari acquisite dai satelliti Sentinel2. Queste immagini grezze sono quindi pre-elaborate, filtrate, archiviate e storicizzate per l'intero periodo necessario al monitoraggio degli appezzamenti oggetto degli studi

2. Produzione di curve di correlazione tra valori indici satellitari e coefficienti culturali: per le principali colture irrigue del territorio emiliano-romagnolo (pomodoro, mais, patata, cipolla), sono stati confrontati e correlati diversi indici satellitari con rilievi a terra sulla vegetazione in punti georeferenziati. In questo modo è stato possibile sviluppare algoritmi per l'identificazione delle fenofasi e dei parametri culturali da remoto.

3. Irrigazione a rateo variabile: infine, i parametri rilevati da remoto e sviluppati al punto precedente sono integrati in Irriframe per ottimizzare il bilancio idrico nelle diverse fenofasi del ciclo culturale, consentendo durante la stagione di mappare la variabilità del volume di adacquamento, per ogni appezzamento e intervento irriguo. Le mappe di variabilità del volume di adacquamento sono quindi integrate in sistemi di controllo elettronico di distribuzione dell'acqua, agendo sulla centralina che controlla la velocità di arretramento della macchina irrigua semovente.

Le attività svolte hanno inoltre l'obiettivo di rimuovere gli ostacoli all'irrigazione di precisione mettendo a disposizione mappe a scala regionale di indici agronomici ricavate da immagini satellitari ad alta risoluzione, protocolli e standard per rendere interoperabili reti di sensori e apparati in campo, macchine irrigatrici guidate da mappe di irrigazione a rateo variabile sempre più accurate.

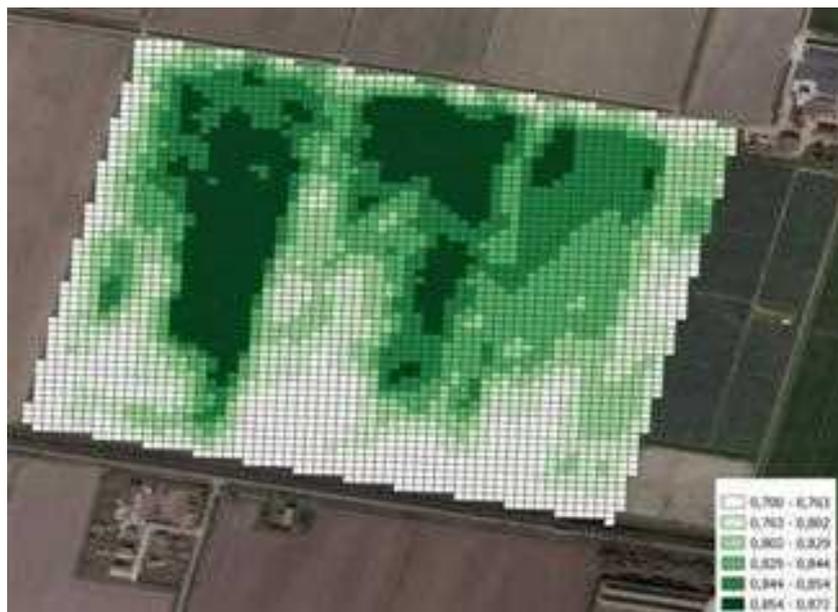


Fig. 1. Mappa dell'indicatore Ndvi per l'appezzamento sperimentale



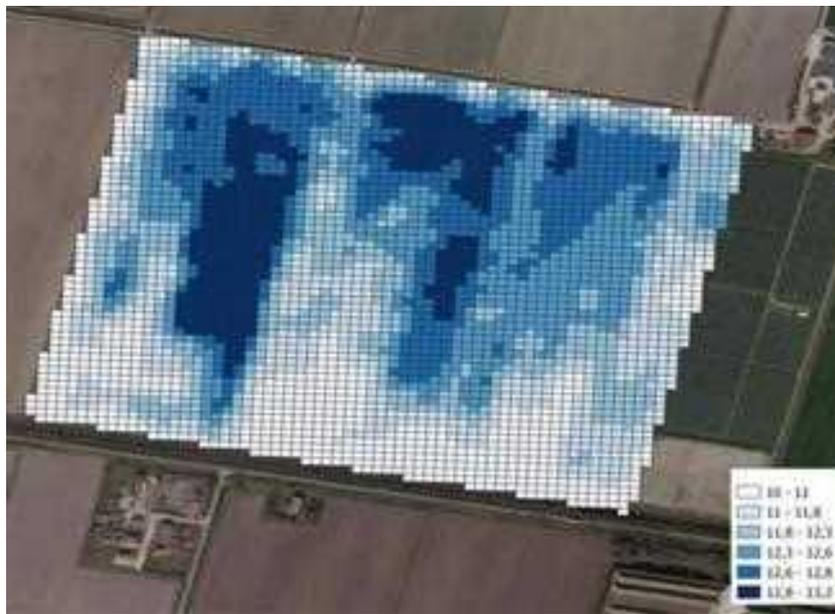


Fig. 2. Mappa di prescrizione per l'irrigazione a rateo variabile

La sperimentazione presso Acqua Campus

Le attività di sperimentazione svolte presso Acqua Campus si sono focalizzate sulla validazione della correlazione tra indici di vegetazione e i principali parametri biofisici utilizzabili per l'agricoltura di precisione. In relazione alle applicazioni previste, si è deciso di puntare sui seguenti parametri: Leaf Area Index (Lai), Canopy Chlorophyll Content (Ccc), Leaf Chlorophyll Content (Lcc), Leaf Water Content (Lwc) e i coefficienti colturali tipici di ogni fase fenologica (Kc).

Le colture oggetto di studio sono state pomodoro e mais, coltivati in asciutta e in irriguo seguendo il consiglio di Irriframe. Attraverso la combinazione di differenti bande, sono stati calcolati più di 100 indici di vegetazione e tra questi, sono stati selezionati quelli in grado di stimare meglio i prescelti parametri.

Gli indici selezionati corrispondono al Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) ed Enhanced Vegetation Index (Evi).

Il primo fornisce una stima della vigoria della pianta sulla base del rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nell'infrarosso vicino e nel rosso. Il secondo rappresenta un indice di vegetazione "ottimizzato" progettato per migliorare il segnale della vegetazione con una migliore sensibilità nelle regioni ad alta biomassa e un migliore monitoraggio della vegetazione attraverso una distinzione del segnale di fondo della chioma e una riduzione delle influenze atmosferiche.

Il sistema di automazione sviluppato scarica ed elabora i dati del satellite Sentinel 2, genera le mappe degli indici Ndvi ed Evi, quindi li trasmette a Irriframe che integra il valore degli indici e, sulla base di essi, aggiorna i parametri colturali, ed in particolare il Kc. Questo nuovo valore del coefficiente colturale è assimilato nel calcolo del bilancio idrico, così da produrre mappe di prescrizione per l'irrigazione a rateo variabile.

In particolare, il valore medio di Evi calcolato è usato per regolare il Kc generato da Irriframe per un determinato appezzamento, mentre la mappa Ndvi (fig. 1) viene utilizzata per la spazializzazione, ovvero per generare la mappa di prescrizione per l'irrigazione a rateo variabile all'interno dello stesso appezzamento (fig. 2).

Le mappe sono dinamiche nel tempo poiché aggiornate ad ogni passaggio utile del satellite sull'appezzamento. Il consiglio irriguo viene così inviato all'impianto irriguo dotato di centralina ricevente e attuatori in grado di eseguire irrigazione a rateo variabile.



Il Consorzio Cer sta portando avanti ulteriori sperimentazioni per adattare il consiglio irriguo prodotto da Irriframe e i relativi sistemi di irrigazione di precisione a condizioni di salinità del suolo. Tali attività sono svolte nell'ambito del Gruppo operativo per l'innovazione Gestfaldia finanziato dalla Regione Emilia-Romagna all'interno del Psr 2014-2020.

Nel progetto è stato sviluppato un algoritmo per produrre un consiglio irriguo che permetta di lisciviare i sali accumulati nel suolo. In questo modo, i sistemi irrigui di precisione potranno garantire un'ottimizzazione delle rese anche in condizioni avverse per le colture, come mostra anche la foto di apertura.

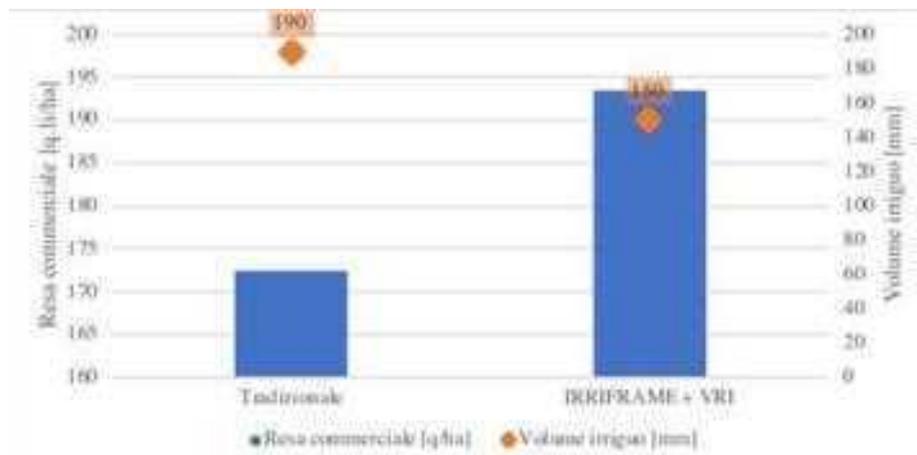


Fig. 3. Risultati produttivi mais (2020)



Fig. 4. Risparmio idrico possibile nelle diverse provincie dell'Emilia-Romagna con l'applicazione del sistema di integrazione degli indicatori satellitari, Irriframe e irrigazione a rateo variabile

Le potenzialità del sistema

Dai test svolti sul campo emergono le grandi potenzialità di questi sistemi di irrigazione di precisione. Questi test sono stati portati avanti confrontando tesi coltivate in asciutta e tesi coltivate in irriguo, seguendo il consiglio di Irriframe sia nella sua veste tradizionale sia utilizzando indici satellitari e irrigazione a rateo variabile.

La figura 3 riassume il volume irriguo e la resa ottenuta per la coltura del mais da granella: emerge un ottimo risultato in termini di risparmio idrico e rese ottenibili attraverso l'integrazione del servizio Irriframe con gli indici satellitari. Le sperimentazioni su altre colture irrigue come pomodoro, cipolla e patata evidenziano risultati altrettanto promettenti.

Al fine di valutare il possibile risparmio idrico associato all'integrazione di dati satellitari in Irriframe per la generazione di mappe per l'irrigazione a rateo variabile, sono state eseguite delle simulazioni per l'anno 2020 sulle colture di pomodoro e mais. A partire dai circa 43.520 appezzamenti coltivati a tali colture (fonte Agrea) per l'anno in esame sono stati calcolati alcuni indici statistici, relativi alle superfici identificate utilizzando i dati provenienti dal satellite Esa - Sentinel 2 per tutte le date disponibili.



Selezionando circa 2.500 scenari equamente distribuiti nella regione è stata simulata l'integrazione del nuovo coefficiente colturale (Kc) calcolato all'interno del bilancio idrico del sistema Irrinet. Il processo di assimilazione è stato realizzato applicando due diverse soglie di accettazione e due metodi di discretizzazione del calcolo del Kc a passo giornaliero.

Per quanto riguarda le soglie di accettazione è stato impostato il valore del 20% e 50% come differenza tra il dato stimato ed il dato rilevato oltre il quale tale nuovo valore sarebbe stato escluso dal processo di assimilazione.

Sulla base di quanto simulato sono state calcolate le distribuzioni di frequenza delle percentuali di risparmio idrico calcolato per i 2.500 scenari per mais e pomodoro con i diversi metodi adottati.

In termini di fabbisogno idrico l'integrazione con i dati da satellite può portare un risparmio fino al 5% dell'evapotraspirazione effettiva (ETe) che corrisponde a quasi 170 metri cubi di acqua per ettaro per l'anno 2020. Il valore di risparmio idrico espresso rispetto al fabbisogno irriguo raggiunge valori del 9% ovviamente perché al netto del contributo delle piogge.

In generale con soglie di accettazione maggiori corrispondono risparmi maggiori, come si può notare nella figura 4, anche se in tali casi si nota maggior variabilità. I valori calcolati di risparmio idrico associati all'integrazione del dato da satellite sono stati utilizzati per calcolare il risparmio idrico complessivo che si avrebbe avuto su tutto il territorio dell'Emilia-Romagna per le colture di mais e pomodoro applicando l'irrigazione 4.0 con il sistema Irriframe integrando i dati satellitari. La superficie occupata dalle colture in esame per l'anno 2020 risulta di circa 90mila ha per il mais e 23mila ha per il pomodoro.

A rafforzare le potenzialità di tali sistemi, è possibile prendere in considerazione il fabbisogno energetico medio per il sollevamento e distribuzione dell'acqua utilizzata. Ipotizzando infatti una prevalenza media di 20m assieme alla pressione necessaria per il funzionamento dell'impianto di aspersione, si evidenzia come l'energia risparmiabile ad ettaro oscilla in un range di 3-6.5 kWatt/ha. Considerando quindi i metri cubi risparmiati con il calcolo espresso in precedenza, si raggiunge un risparmio energetico potenziale che arriva fino a 6.000 MW.

Al risparmio energetico corrispondono inoltre ingenti risparmi economici, che raggiungono i 3 milioni di euro su tutta la superficie regionale, un dato estremamente rilevante se si considerano le recenti tensioni per l'approvvigionamento energetico.



Fig. 5. Rainger con centralina per l'irrigazione a rateo variabile





Fig. 6. Pivot con centralina per l'irrigazione a rateo variabile

In conclusione

Gli studi condotti dal Cer presso l'azienda agricola sperimentale di Acqua Campus hanno consentito di sviluppare sistemi basati sul telerilevamento a supporto dell'irrigazione di precisione.

Il sistema nel suo complesso vede integrate tecnologie di assimilazione e calcolo di indici satellitari, supporto all'irrigazione tramite Irriframe e irrigazione a rateo variabile grazie a macchine semoventi tipo rotoloni, pivot e rainger (fig. 5 e 6).

Per evidenziare le grandi potenzialità che l'irrigazione di precisione avrebbero su tutto il territorio regionale, è stata condotta un'analisi sui risparmi idrici, energetici ed economici relativi a tali sistemi. Sebbene tale analisi si basi su assunzioni elementari e su un'ipotetica adozione di attrezzatura 4.0 per tutte le superfici coltivate a mais e pomodoro, consente comunque di fornire un ordine di grandezza circa le potenzialità che tali sistemi potrebbero esprimere sia a livello aziendale, che territoriale.

A tale fine, perché l'irrigazione di precisione diventi una pratica sistematica, è necessario inoltre interconnettere decine di migliaia di apparati sensoriali e sistemi di attuazione irrigua in reti IoT. Infine, in un'agricoltura data driven e data intensive diventa centrale il tema della proprietà, sicurezza e privacy dei dati. I sistemi cloud e di gestione dei Big Data dovranno mettere a disposizione politiche flessibili di configurazione della accessibilità e privacy dei dati.

È proprio grazie a tali dati se è risultato possibile e risulterà possibile fare passi avanti sulla strada dei cambiamenti climatici. Risulta così fondamentale l'implementazione di politiche di sostegno agli investimenti in tecnologie 4.0, come previsto nel nuovo Piano Strategico per la Pac, a beneficio delle aziende agricole e dell'intero territorio rurale.



ESPERIENZE

KEYWORDS:
TELEMEDICINA, SERVIZI

ACQUA CAMPUS

Il polo della ricerca per fornire risposte concrete alle sfide socioeconomiche e climatiche affrontate dal mondo agricolo e dei Consorzi di bonifica.

Raffaella Zucaro
Direttrice Consorzio di Bonifica di Il Grado per il Canale Emiliano Romagnolo (CER)

Francesco Cavazza
Consorzio di Bonifica di Il Grado per il Canale Emiliano Romagnolo (CER)

Il CER e le strutture di Acqua Campus

Dal 1959 il CER (Canale Emiliano Romagnolo) incoraggia, promuove e realizza ricerche e studi sul risparmio idrico in agricoltura. Questi hanno lo scopo di valutare la risposta delle colture all'irrigazione, identificare i parametri di crescita delle piante, valutare la fattibilità e la sostenibilità del riutilizzo dell'acqua in agricoltura, stimare l'efficienza e la produttività dell'irrigazione. Tutto ciò, e molto altro, è realizzato in un centro unico: Acqua Campus, il polo della ricerca del CER, targato ANBI (Associazione Nazionale Consorzi di gestione e tutela del territorio e acque irrigue). Le infrastrutture e le sedi di Acqua Campus sono tre:

1. ACQUA CAMPUS - AREA RICERCHE: azienda agricola sperimentale a scala reale (12,5 ettari), dove vengono coltivate le colture irrigue più comuni per effettuare numerose prove in campo. L'azienda è dotata di stazioni meteo, piezometri di monitoraggio delle acque sotterranee, sensori hi-tech del suolo, laboratorio interno per l'analisi dei principali parametri del suolo e dell'acqua, ecc. L'intera azienda scarica le acque di drenaggio in un singolo fossato, che porta le acque in una zona umida, di 0,4 ettari, costruita a flusso superficiale. Nel fossato principale sono installate due pompe che convogliano l'acqua nella zona umida e ne effettuano campionamenti periodici. L'azienda applica l'irrigazione di precisione, pertanto, le uniche acque di drenaggio presenti sono dovute a precipitazioni eccessive.

2. ACQUA CAMPUS - AREA DIMOSTRATIVA: è uno showroom a cielo aperto dove le innovazioni e le nuove tecnologie sono disponibili per essere visitate, studiate e testate. Ogni anno centinaia di agricoltori e

La zona umida fitodepurante di Acqua Campus



stakeholder partecipano a open day e visite. È qui che i singoli agricoltori (ma nell'elenco dei visitatori figurano anche studenti e docenti universitari, tecnici degli enti pubblici e perfino delegazioni politiche di altre nazioni e della FAO), possono visionare dal vivo le soluzioni più innovative, dalle moderne stazioni di fertirrigazione ai più efficienti impianti Pivot e Rainger (impianti di irrigazione a pioggia altamente automatizzati).

3. ACQUA CAMPUS - NATURA: è una zona umida naturale situata in provincia di Ravenna, nel parco regionale Parco del Delta del Po, presso l'Oasi di Volta Scirocco. In questo laboratorio a cielo aperto, un sito unico per la salvaguardia della biodiversità, l'obiettivo è quello di contrastare la progressiva salinizzazione delle

Visita ad Acqua Campus



acque determinata dalla scarsità di pioggia dell'ultimo decennio. All'interno dell'Oasi, di particolare interesse è anche la salvaguardia della colonia della testuggine *Emys Orbicularis*, prossima al rischio di estinzione. Inoltre, qui sono condotti studi per la tutela della biodiversità e per il contrasto al cuneo salino e alla salinizzazione dei suoli. La zona umida, così come il reticolo di bonifica delle zone costiere, funge da fonte di biodiversità rurale e contribuisce a contrastare fortemente la salinizzazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei, che incide sulla coltivazione delle colture nei vicini campi coltivati. Le ricerche e le prove sul campo sono realizzate attraverso la partecipazione a progetti nazionali (Gruppi Operativi PEI, Programma di Sviluppo Rurale; progetti POR FESR) e internazionali (Horizon 2020, Horizon Europe, PRIMA Med). Particolarmente rilevanti sono stati alcuni progetti portati avanti da Gruppi Operativi del

Veduta aerea dell'Oasi di Volta Scirocco



Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna. Tra questi, Gestfalda ha fornito indicazioni strategiche per il contrasto al cuneo salino nei territori del Delta del Po. Il progetto Acqua Smart ha permesso di sviluppare soluzioni per l'automazione completa dell'irrigazione, coinvolgendo al tempo stesso numerosi agricoltori in attività formative sul campo.

Grazie ad Acqua Campus, il CER ha avuto un ruolo pionieristico nel campo del risparmio idrico, fornendo assistenza a migliaia di imprenditori agricoli che hanno avuto modo, nel tempo, di intraprendere insieme al CER un percorso verso una moderna agricoltura irrigua volta a tutelare l'ambiente, migliorare la qualità delle produzioni, le performance economiche aziendali e, al tempo stesso, la gestione del territorio, sviluppando, infine, conoscenze per futuri scenari irrigui di adattamento ai cambiamenti climatici.

I PRODOTTI DELLA RICERCA

La sperimentazione, condotta presso Acqua Campus, ha come oggetto una vasta gamma di colture erbacee ed arboree, con l'obiettivo di identificarne la domanda di acqua, prestando, tuttavia, una forte attenzione alle esigenze irrigue, alla programmazione ottimale dell'irrigazione e ai metodi di irrigazione più appropriati ed efficienti. La gestione dell'irrigazione ottimizzata ha, quindi, lo scopo di ridurre gli utilizzi di acqua, senza influire sulla resa delle colture e sulla sua qualità. I risultati della ricerca che ogni anno vengono prodotti sono oggi utilizzati in numerose strategie di irrigazione efficiente, come l'irrigazione deficitaria, la fertirrigazione e l'irrigazione 4.0. Questi strumenti sono poi integrati in modelli e sistemi di supporto alle decisioni (Decision Support System - DSS), utilizzati a livello regionale e nazionale. Dalla ricerca e sperimentazione condotta è nata, infatti, una filiera di strumenti che segue tutta l'attività agricola, dalle scelte tecnologiche in azienda,

Rilievi sul campo per la definizione dei parametri colturali del prezzemolo



Analisi delle acque di falda in un pereto



come SETI e TECNIRRI; FALDANET per il monitoraggio della falda ipodermica in Emilia-Romagna; e IRRIFRAME, il consiglio irriguo avanzato integrato in un sistema di supporto alle decisioni di ANBI e gestito dal CER.

IRRIFRAME è un DSS interattivo di supporto all'irrigazione, che fornisce alle aziende agricole informazioni precise e personalizzate sul momento di intervento e sui volumi da impiegare per ottenere un prodotto di qualità, risparmiando risorse idriche. Utilizzando, infatti, i dati meteo, del suolo, della falda, dell'impianto irriguo aziendale e di quello consortile, nonché i parametri colturali specifici per l'apprezzamento, fornisce all'agricoltore precise indicazioni sui tempi e sui volumi irrigui per una razionale gestione dell'acqua nell'attività agricola. Il software, quindi, invia all'agricoltore le informazioni su come, dove, quando e quanto irrigare.

IRRIFRAME è attualmente disponibile per 69 Consorzi di bonifica di 16 Regioni italiane su 7 milioni di ettari, che coprono circa il 60% della superficie irrigua nazionale. Con i suoi 10.000 utenti registrati IRRIFRAME è il servizio di consiglio irriguo più diffuso in Italia, che si pone all'avanguardia dell'irrigazione di precisione, grazie alla possibilità di integrazione con sensori di umidità e di crescita della vegetazione, stazioni meteorologiche aziendali e dati satellitari.

Nella sua prima versione di bollettino irriguo, il sistema esiste sin dal 1984 (all'epoca compariva su una pagina di Televideo); una decina di anni fa è stato esteso a livello nazionale e nel 2023 sarà presentata una versione rinnovata del sistema operativo dotato di nuove funzioni gestibili direttamente dalle mappe satellitari e capace di interfacciarsi automaticamente con gli impianti di fertirrigazione. Con questa nuova versione tutte le funzioni saranno gestibili da smartphone.

Se l'Emilia-Romagna è riuscita ad affrontare una delle estati più siccitose di sempre, parte del merito va anche ad IRRIFRAME. La scorsa estate ha, infatti, confermato tutta la sua utilità, incassando un significativo aumento

Le innovazioni visibili sul campo



di iscrizioni da parte degli agricoltori (+30% circa degli accessi). Inoltre, il portale è diventato uno strumento di fondamentale importanza per tutti gli organismi deputati alla gestione della siccità, dall'Autorità di bacino del fiume Po alle varie Regioni, Enti e Consorzi di bonifica coinvolti dall'emergenza. Grazie ad opportune automatizzazioni è possibile implementare IRRIFRAME su scala territoriale. Ciò ha permesso di fornire agli stakeholder informazioni puntuali sui consumi e le necessità idriche delle diverse colture, così da identificare quelle più sensibili, prevederne i fabbisogni irrigui e minimizzare eventuali criticità.

Inoltre, nei suoi laboratori e presso enti certificati, il CER monitora attentamente la qualità dell'acqua che scorre all'interno del canale, occupandosi del suo mantenimento qualitativo, oltre che della salvaguardia dell'ambiente. L'informazione online e in tempo reale sulla qualità dell'acqua distribuita dal CER è uno dei servizi più popolari tra gli agricoltori e consente di consultare i dati in modo semplice e gratuito. Ciò semplifica l'iter burocratico per la conformità con i sistemi di certificazione delle colture (es. GLOBALGAP).

Infine, il CER conduce studi e ricerche rilevanti sul riutilizzo delle acque reflue in irrigazione e sul perfezionamento della qualità dell'acqua da parte delle zone umide artificiali e naturali, sfruttando la loro funzione di biofiltrazione e fitodepurazione. Questo filone di ricerca ha come obiettivo quello di identificare nuove risorse idriche e massimizzare le capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Tutte le attività di ricerca mirano a garantire una facile trasferibilità dei risultati.

Ciò si ottiene applicando metodi ripetibili basati su criteri climatici o su misurazioni dirette della domanda irrigua delle colture. In questo modo, è possibile ridurre i costi di produzione per unità di prodotto e garantire allo stesso tempo i più alti standard qualitativi, risparmiando acqua e proteggendo l'ambiente.