



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2015 DEL TIPO DI OPERAZIONE 16.1.01 "GRUPPI OPERATIVI DEL PEI PER LA PRODUTTIVITÀ E LA SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA"

FOCUS AREA 2A, 4B, 4C, 5A E 5E DGR N. 2268 DEL 28 DICEMBRE 2015

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO n. 5005237

DOMANDA DI PAGAMENTO n. 5111847

FOCUS AREA: 5A

| | |
|--|--|
| Titolo Piano | Gestione della rete di misura della falda ipodermica in funzione delle precipitazioni e del sostegno dei canali della rete dei Consorzi di Bonifica |
| Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario) | Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo |
| Elenco partner del Gruppo Operativo | Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo – capofila ALMA MATER STUDIORUM – Università di Bologna – DICAM – partner effettivo Centro Nazionale delle Ricerche – IBIMET – partner effettivo C.R.P.V. – Centro Ricerche Produzioni Vegetali – Soc. Coop. – partner effettivo Società agricola Visentini di Mario Visentini e C. s.s. – partner effettivo Az. Agr. Cremonini Marco e C. Società Agricola s.s. – partner effettivo Fruit Modena Group Società Cooperativa Agricola – partner associato |

| | |
|---|------------|
| Durata originariamente prevista del progetto (in mesi) | 35 |
| Data inizio attività | 01/04/2016 |
| Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse) | 31/03/2019 |

| | | |
|---|------------|---------------|
| Relazione relativa al periodo di attività dal | 01/04/2016 | Al 31/03/2019 |
| Data rilascio relazione | 27/05/2019 | |

| | | | |
|------------------------|------------------|-------|---------------------------|
| Autore della relazione | Roberto Genovesi | | |
| telefono | | email | genovesi@consorzioicer.it |

1. Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

Il Piano ha proposto la realizzazione di una serie di Azioni, le quali vanno, da un lato, a rendere più economico e razionale il processo di acquisizione del dato di altezza di falda ipodermica dalla rete di rilievo piezometrica regionale (Az. 3.1); dall'altro a quantificare sia dal punto di vista ambientale, sia economico, la presenza di questa risorsa nell'ambito della pianura emiliano - romagnola e, di conseguenza, il contributo che essa fornisce al soddisfacimento dei fabbisogni idrici delle colture (Az. 3.2, 3.3 e 3.4). Più in specifico, l'Azione 3.2 aveva come obiettivo principale la creazione di un modello dell'interazione fra acqua nei canali irrigui e falda ipodermica, esportabile con ragionevole approssimazione a tutto il reticolo consortile regionale. L'Azione 3.3, invece, ha previsto di verificare se, e in che misura, una falda ipodermica prossima alla superficie possa influenzare il comportamento e/o la produttività di alcune colture selezionate. Le informazioni acquisite da entrambe, sono state utilizzate nell'ambito dell'Azione 4 per fornire una valutazione economica ed ambientale (attualmente si usa il termine ecosistemica) attinente alla ricarica della falda ipodermica determinata dall'invaso dei canali da parte dei locali Consorzi di Bonifica.

Allo stato attuale, tutte le Azioni sono state concluse. Nel corso dell'Azione 3.1 è stata messa definitivamente a punto la formula di previsione dell'altezza di falda prodotta da ARPAE e sono state individuate 63 stazioni falda (sulle attuali 130), per le quali essa è risultata statisticamente attendibile. Inoltre, la medesima formula è stata implementata sull'applicativo FaldaNet, per la produzione di un dato decadale automatico di altezza di falda. I cambiamenti apportati sono stati comunicati ai Consorzi di Bonifica responsabili delle letture manuali nei piezometri di propria competenza, rimandando ad incontri specifici i dettagli più tecnici. Le attività di ciascuna fase sono sinteticamente descritte nella presente Relazione tecnica, mentre ulteriori approfondimenti sono presenti nella raccolta degli allegati (file All_falda_finale.pdf) e sono contrassegnati da 1 a 5.

Per quanto riguarda l'Azione 3.2, è stato concluso il monitoraggio, attivato a partire dal 2016, sui 2 siti studio di Valle Gaffaro (FE) e Panzano (MO), per l'acquisizione di nuovi dati, oltre a quelli storici, sulle dinamiche che consentono l'alimentazione della falda ipodermica da parte delle acque di canali irrigui. Tali informazioni hanno permesso la messa a punto di un modello numerico da parte di DICAM (Università di Bologna), per la stima dell'innalzamento del livello di falda, conoscendo alcuni parametri quali il tirante del canale, la permeabilità dei suoli circostanti e l'altezza iniziale di falda. Questo procedimento di calcolo ha poi permesso di stimare, tramite l'utilizzo di tecniche GIS, il contributo medio alla risalita stagionale di falda in prossimità di tutti i canali irrigui della pianura emiliano – romagnola. Infine, gli stessi processi sono stati utilizzati per migliorare il calcolo di bilancio idrico su Irrinet, mediante apposite modifiche nel programma, tali da consentire l'inserimento di un contributo di falda aggiuntivo (Delta H), per tutti quegli appezzamenti ricadenti ad una determinata distanza da canali irrigui.

Le attività di ciascuna fase sono sinteticamente descritte nella presente Relazione tecnica, mentre ulteriori approfondimenti sono presenti nella raccolta degli allegati (file All_falda_finale.pdf) e sono contrassegnati da 6 a 14.

Anche l’Azione 3.3 ha visto concludersi il monitoraggio, attivato a partire dal 2016, sui 2 siti studio di Pomposa (FE) e S. Felice (MO). I dati acquisiti utilizzando un insieme composito di strumentazioni (Diver, Scheduler, EM38 etc.) hanno permesso, in alcuni casi, di verificare, con relativa certezza, l’influsso dell’innalzamento del livello di falda ipodermica sulle colture. Una prova determinante è stata acquisita nel 2018, correlando, la raccolta frutti su piante non irrigate nel sito di S. Felice con la distanza dal canale irriguo. Tali indicazioni si sono poi rivelate estremamente utili per l’elaborazione dei calcoli per l’ultima Azione 3.4

Le attività di ciascuna fase sono sinteticamente descritte nella presente Relazione tecnica, mentre ulteriori approfondimenti sono presenti nella raccolta degli allegati (file All_falda_finale.pdf) e sono contrassegnati da 15 a 26.

Infine, l’Azione 3.4, utilizzando precedenti schemi di correlazione fra altezza di falda e produzione delle colture, oltre a quanto acquisito nel corso dell’Azione 3.3, ha consentito di effettuare una prima stima dell’incremento percentuale medio di produzione per colture poste in prossimità di canali irrigui. Tramite tecniche GIS, utilizzando anche lo strato dell’uso agricolo del suolo 2018 di Agrea, si è giunti anche a una quantificazione di questo beneficio per tutto il territorio di pianura emiliano-romagnola.

Le attività relative a quest’Azione sono sinteticamente descritte nella presente Relazione tecnica, mentre ulteriori approfondimenti sono presenti nella raccolta degli allegati (file All_falda_finale.pdf) e sono contrassegnati da 27 a 29.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

| Azione | Unità aziendale responsabile | Tipologia attività | Mese inizio attività previsto | Mese inizio attività reale | Mese termine attività previsto | Mese termine attività reale |
|------------|-------------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Azione 1 | CER - CRPV | Esercizio Cooperazione | 1 | 1 | 35 | 35 |
| Azione 3.1 | CER | Prove in campo | 1 | 1 | 35 | 35 |
| Azione 3.2 | CER – DICAM - VISENTINI - CREMONINI | Investimenti funzionali - Prove in campo | 1 | 1 | 35 | 35 |
| Azione 3.3 | CER – VISENTINI | Prove in campo | 1 | 1 | 35 | 35 |
| Azione 3.4 | CER – CNR | Investimenti funzionali | 4 | 4 | 35 | 35 |
| Azione 4 | CER - CRPV | Piano divulgazione | 1 | 1 | 35 | 35 |

2 Descrizione per singola azione

2.1 AZIONE 1

2.1.1. Attività e risultati Azione 1

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Azione 1 | Esercizio della cooperazione |
| Unità aziendale | CRPV Soc. Coop. |

| | |
|----------------------|---|
| responsabile | |
| Descrizione attività | <p>Il CER, nel suo ruolo di capo mandatario ha mantenuto la funzione di coordinamento generale e di responsabilità tecnico-scientifica delle attività, demandando, in accordo con gli altri Partner, al CRPV il ruolo organizzativo per garantire il funzionamento tecnico ed amministrativo del Gruppo Operativo (GO).</p> <p>Al CRPV è stato affidato quindi il compito di pianificare le attività previste nel Piano, mettendo in atto tutte le iniziative necessarie alla realizzazione e al conseguimento dei risultati previsti. Per questo si è avvalso di proprio personale tecnico, amministrativo e di segreteria qualificato e dotato di esperienza pluriennale nel coordinamento tecnico-organizzativo di progetti di ricerca, sperimentazione e divulgazione a vari livelli, nonché nella gestione di comitati tecnici e gruppi di lavoro riguardanti i principali comparti produttivi.</p> <p><u>Attivazione del Gruppo Operativo</u></p> <p>La fase di attivazione del GO ha riguardato sia gli aspetti formali e amministrativi, sia il consolidamento degli obiettivi con l'intero gruppo di referenti coinvolti a vario titolo nel Piano.</p> <p>In merito agli aspetti formali, con particolare riferimento alle attività del Piano e ai relativi costi ammessi, il CRPV, unitamente al Responsabile Scientifico (RS) e ai Responsabili dei partner del GO, ha verificato la congruenza dei budget approvati rispetto alle attività da svolgere. Con questo passaggio si è autorizzata l'attivazione del GO, comunicata a tutti i partner tramite e-mail. Inoltre in questa fase si è proceduto alla costituzione formale del raggruppamento (ATS).</p> <p>Una volta soddisfatti gli aspetti formali, è stata indetta una riunione del GO nella sua interezza (Bologna, 11-10-2016), alla presenza quindi di tutte le figure coinvolte per ogni partner. In questa sede, il Responsabile scientifico del Progetto (Roberto Genovesi) ha riproposto i contenuti e gli obiettivi del Piano, al fine di avere la più ampia condivisione possibile delle informazioni e impostare le modalità di realizzazione delle azioni d'innovazione.</p> <p><u>Costituzione del Comitato di Piano</u></p> <p>In occasione della riunione di attivazione si è anche proceduto alla costituzione del Comitato di Piano (CP) per la gestione e il funzionamento del GO, che è così composto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Responsabile Tecnico-Scientifico (RTS), Roberto Genovesi (CER); - Responsabile Organizzativo del Piano (RO), Renato Canestrone (CRPV) - Università di Bologna, Vittorio di Federico - CNR-Ibimet, Guido Maria Bazzani |

- Azienda Agricola Cremonini, Marco Cremonini
- Azienda Agricola Visentini, Tarcisio Pattaro
- Fruit Modena Goup, Adriano Aldrovandi.

Gestione del Gruppo Operativo

Dalla data di attivazione del GO il Responsabile Organizzativo di Piano ha svolto una serie di attività funzionali a garantire la corretta applicazione di quanto contenuto nel Piano stesso, e in particolare:

- 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;
- la definizione delle azioni correttive.

Il Responsabile Organizzativo di Piano (RO), in stretta collaborazione con il Responsabile Tecnico-Scientifico (RTS), si è occupato di pianificare una strategia di controllo circa il buon andamento delle attività del Piano, attraverso un sistema basato sull'individuazione delle fasi decisive, cioè momenti di verifica finalizzate al controllo del corretto stato di avanzamento lavori. Allo stesso modo, l'RO e l'RTS si sono occupati di valutare i risultati/prodotti intermedi ottenuti in ciascuna fase. Tutto ciò agendo in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali del CRPV (v. Autocontrollo e Qualità).

Verifica dei materiali, strumenti e attrezzature impiegate in campo e in laboratorio

A campione, l'RO ha verificato la congruenza tra le caratteristiche dei materiali e prodotti impiegati dai partner, rispetto a quanto riportato nel Piano. A tal fine l'RO ha eseguito alcune verifiche ispettive presso i partner, in coerenza con quanto indicato dalle procedure gestionali del Sistema Gestione Qualità del CRPV.

Preparazione dei documenti per le domande di pagamento

In occasione di questa prima domanda di pagamento (stralcio), l'RO e l'RTS, insieme a tutti i partner coinvolti, hanno completato l'analisi dei risultati intermedi ottenuti, nonché l'analisi della loro conformità a quanto previsto dal Piano. In particolare è stata verificata la completezza della documentazione relativa alle spese affrontate dai singoli soggetti operativi e raccolta la documentazione per la redazione del rendiconto tecnico ed economico.

Altre attività connesse alla gestione del GO

Oltre alle attività descritte in precedenza, il CRPV ha svolto una serie di attività di supporto al mandatario CER, come l'assistenza tecnico-amministrativa agli altri partner, le richieste di chiarimento e la redazione e l'inoltro di eventuali richieste di proroga e/o varianti.

Il CRPV si è inoltre occupato dell'aggiornamento della Rete PEI-AGRI in riferimento al Piano, come richiesto dalla Regione, al fine di stimolare l'innovazione, tramite l'apposita modulistica presente sul sito.

Autocontrollo e Qualità

Attraverso le Procedure Gestionali e le Istruzioni operative approntate nell'ambito del proprio Sistema Gestione Qualità, il CRPV ha lavorato al fine di garantire efficienza ed efficacia all'azione di Esercizio della cooperazione, come segue:

- Requisiti, specificati nei protocolli tecnici, rispettati nei tempi e nelle modalità definite;
- Rispettati gli standard di riferimento individuati per il Piano;
- Garantita la soddisfazione del cliente tramite confronti diretti e comunicazioni scritte;
- Rispettate modalità e tempi di verifica in corso d'opera definiti per il Piano;
- Individuati i fornitori ritenuti più consoni per il perseguimento degli obiettivi.

La definizione delle procedure, attraverso le quali il RO ha effettuato il coordinamento e applicato le politiche di controllo di qualità, sono la logica conseguenza della struttura organizzativa del CRPV. In particolare sono state espletate le attività di seguito riassunte.

Attività di coordinamento e di controllo

Le procedure attraverso le quali si è concretizzato il coordinamento del GO si sono sviluppate attraverso riunioni e colloqui periodici con il Responsabile Scientifico e con quelli delle Unità Operative coinvolte.

La verifica periodica dell'attuazione progettuale si è realizzata secondo cadenze temporali come erano state individuate nella scheda progetto. Più in particolare è stata esercitata sia sul funzionamento operativo che sulla qualità dei risultati raggiunti; in particolare è stata condotta nell'ambito dei momenti sotto descritti.

Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto;

Visite ai campi sperimentali e ai laboratori coinvolti nella conduzione delle specifiche attività.

Tali riunioni e verifiche sono state svolte sia in modalità remota che presso Acqua Campus a Mezzolara di Budrio (BO) o presso la sede CER di Bologna.

Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti

Non si sono verificate situazioni difformi a quanto previsto dalla scheda progetto.

Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica

| | |
|---|--|
| | <p>di processo sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità del CRPV.</p> <p>Il Sistema Qualità CRPV, ovvero l'insieme di procedure, di misurazione e registrazione, di analisi e miglioramento e di gestione delle risorse, é 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 intermedi previsti nell'ambito di questa azione, compatibilmente con il periodo di riferimento di questa prima rendicontazione, sono stati completamente raggiunti. Nessuna criticità tecnico-scientifica è stata evidenziata durante l'attività svolta. |
| Attività ancora da realizzare | |

2.1.2. Personale Azione 1

PERSONALE CER

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|--------------------------------|--|---------------|-----------------|
| | Ricercatore Quadro preposto | Know how risparmio idrico in agricoltura | 70 | 2.736,52 |
| | Ricercatore Quadro preposto | Know how servizi di assistenza tecnica per l'irrigazione | 56,25 | 2.217,04 |
| | | | Totale | 4.953,56 |

Personale CRPV

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|---------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| | Tecnico | Coordinamento | 4 | 220,88 |
| | Segreteria | Segreteria | 16 | 371,76 |
| | Tecnico | Coordinamento | 4 | 73,92 |
| | Tecnico | Coordinamento | 16 | 446,84 |
| | Amministrativo | Supporto | 12 | 446,52 |
| | Amministrativo | Supporto | 14,50 | 319,01 |
| | | | Totale | 1.878,93 |

2.1.3. Trasferte

Nessuna spesa di trasferta prevista per il CER

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il CRPV

2.2. AZIONE 3

2.2.1. Attività e risultati Azione 3

| | |
|------------------------------|---|
| Azione 3.1 | L'azione prevede la riorganizzazione del sistema di letture delle stazioni della rete di rilievo regionale della falda ipodermica, attualmente per gran parte gestito dal personale dei Consorzi di Bonifica, tramite l'utilizzo di formule empiriche prodotte da ARPAE-SIMC e successivamente rielaborate da Agromet. Il risultato finale consiste nella sensibile riduzione dell'impegno da parte del personale dei Consorzi di Bonifica ed assegnando al CER l'attività di controllo dell'attendibilità del dato. |
| Unità aziendale responsabile | CER |
| Descrizione attività | <p>L'Azione 3.1 si compone di 6 fasi (da 1a ad 1f): il lavoro del primo anno si è concentrato prevalentemente sulle seguenti tre elencate nel cronoprogramma: 1a – Acquisizione e test su tutte le formule di previsione del dato di falda; 1b - Esame delle formule di previsione del dato di falda non attendibili; 1d - Letture di controllo e validazione nelle stazioni prescelte. Nel successivo anno si sono portate a termine le rimanenti fasi: 1c - Implementazione dell'algoritmo di previsione del dato di falda su FaldaNet; 1e - Riorganizzazione della rete di rilievo della falda; 1f - Produzione di documenti conclusivi.</p> <p>Per quanto riguarda la fase 1a, a settembre 2016 è stato consegnato ad Agromet un elenco aggiornato, estratto dal database di Faldanet, di tutte le letture reali di livello di falda relative alle 131 stazioni attive ad inizio 2016 in Regione. Esse sono state utilizzate, assieme ai dati meteorologici estratti dai quadranti della rete ERG5, per la messa a punto di una formula di previsione del dato di falda migliorata rispetto a quella progettata da ARPAE nel 2012 e testata nel triennio successivo da CER. Ad ottobre 2016, Agromet ha definito per ciascuna stazione nuovi valori dei parametri <i>HO</i>, <i>alfa</i> e <i>N° giorni</i>, oltre ad una prima valutazione statistica dell'attendibilità dei valori di falda così calcolati, utilizzando come indicatori R^2, RMSE (Errore Quadratico Medio) ed EF - Efficiency Index (descrizione del presente indicatore in All. 4). A questi è stato aggiunto successivamente un quarto, definito CER_Index, il quale rappresenta la probabilità che un valore stimato di falda ricada nella stessa classe IRRINET del valore reale. In tal caso, pur con valori stimati e misurati differenti, non varierebbe il consiglio irriguo fornito da IRRINET.</p> <p>In un processo ciclico di analisi e revisione dei prodotti, si è giunti a marzo 2017 ad un documento intermedio contenente, per ciascuna stazione falda attiva, i parametri per il funzionamento dell'algoritmo, gli indicatori statistici ed una classe di attendibilità, desunta dalla composizione dei valori di questi ultimi (quattro classi, dalla migliore alla peggiore: Superwells, 1,2 e 3 livello).</p> <p>Si è proceduto quindi a selezionare, per la successiva fase 1d (si veda oltre), le stazioni ricadenti nelle prime due classi (Superwells</p> |

e 1 livello), dotate di parametri statistici con valori ottimali e quindi una ridotta probabilità di errore fra dato di falda misurato e calcolato. Dopo i test eseguiti fra il 2017 ed il 2018 nella suddetta fase 1d, Agromet ha provveduto a modificare tutti i parametri di funzionamento, fino ad una versione definitiva di gennaio 2019, riportata in **All. 1**. Contemporaneamente, sono stati aggiornati gli indicatori statistici ed è stata definita una nuova classificazione di attendibilità delle stazioni falda: questo ha comportato sia promozioni (stazioni passate ad es. dal 2° livello al 1°), sia retrocessioni. Il documento in **All. 1** è stato poi utilizzato per definire l'assetto della rete di rilievo falda nella fase 1e e sintetizzato, per quanto anche riguarda le competenze territoriali di lettura da parte dei rispettivi Consorzi di Bonifica, nell'**All. 2**.

La fase 1b ha implicato un lavoro di analisi, eseguito principalmente in ufficio, volto all'identificazione delle criticità della formula di falda per tutte quelle stazioni, nelle quali essa abbia presentato bassa significatività (sostanzialmente i sopracitati Livelli 2 e 3). Sono stati identificati tre fattori principali, in grado di influenzare ed alterare la lettura reale dell'altezza di falda nei piezometri rispetto al dato previsionale da formula. Essi sono:

- Distanza del sito da un canale irriguo o corso d'acqua di una certa importanza; a basse distanze, può verificarsi una variazione del livello di falda, alimentato dall'acqua che si allontana per infiltrazione dall'alveo dei medesimi.
- Uso del suolo: le colture arboree ed orticole sono irrigate di frequente; in particolari condizioni l'acqua si infiltra in profondità e, se raggiunge il livello di falda, ne influenza l'altezza;
- Tessitura del suolo: essa è ricavabile dai dati pedologici registrati durante la posa della stazione. In un ambiente alluvionale come quello della pianura emiliano – romagnola, il suolo si compone di alternanze di orizzonti a tessitura spesso contrastante, alcuni dei quali possono supportare una falda profonda od effimere falde sospese. Come ipotesi iniziale, si è assunto che suoli con orizzonti a tessitura grossolana e quindi maggiormente permeabili (suoli franchi, franchi limosi, franchi sabbiosi) possano fornire letture reali di falda maggiormente aderenti a quanto previsto dall'algoritmo.

Un quarto ed ultimo fattore è stato identificato ma non ulteriormente elaborato, a causa dell'elevata difficoltà ad identificarne i limiti. Esso è rappresentato dagli errori di lettura, casuali o sistematici, effettuati dai rilevatori. Tipica è, ad esempio, la registrazione di un valore di profondità di falda calcolata dall'imboccatura del piezometro, ovvero senza escludere la tara relativa alla fuoriuscita del tubo dal terreno.

Per ciascuno dei tre primi parametri, si è poi proceduto al calcolo del valore da porre in relazione ad ogni stazione; ad es. tramite

tecniche GIS è stato identificato, per ciascuna di esse, l'uso del suolo e calcolata la distanza dal corso d'acqua più vicino. Le osservazioni pedologiche effettuate al momento della posa delle stazioni hanno consentito invece di associare una classe tessiturale prevalente del suolo. La tabella complessiva dei valori acquisiti è presente in **All. 3**.

Come passo successivo, si sono effettuati alcuni confronti statistici esaminando il numero di siti ricadente in ogni singolo livello di attendibilità e la corrispondente distribuzione nelle categorie afferenti i tre fattori esaminati. Sempre in **All. 3**, sono presentati i grafici, che illustrano i risultati ottenuti e le relative considerazioni.

Partendo da questa base dati, si è inoltre concordata con Agromet, già a partire dal 2017, l'esecuzione di analisi "cluster", al fine di identificare una possibile correlazione fra uno o più degli elementi sopra citati e la scarsa rispondenza osservata fra dato misurato e dato calcolato. Tali analisi, effettuate tramite il software "R" e incrociando gli stessi fattori sopra descritti, non hanno però portato nessun maggior dettaglio rispetto a quanto già descritto.

La fase 1c si è occupata dell'implementazione dell'algoritmo di previsione del dato di falda all'interno dell'applicativo web FaldaNet. Ad agosto 2017 sono stati attivati i primi contatti con la Software House Altavia, mentre i lavori sono stati avviati ufficialmente con un'apposita riunione operativa il 6 settembre 2017. Successivamente, è stato creato un apposito sito web di servizio all'indirizzo www2.altavianet.it/FaldaNET/Account/Login, su cui è stato scritto il codice per la procedura di produzione decadale automatica del dato di altezza di falda per le stazioni previste.

Questo primo prodotto è stato verificato tramite confronti, operati su una ventina di stazioni, fra la previsione del dato di falda ottenuta sul sito di servizio e quanto calcolato da ARPAE tramite il software PRAGA. Essi sono stati facilitati tramite un'apposita riga di comando on-line, messa a punto dalla software house. Le verifiche hanno dato esito positivo, quindi i valori di altezza di falda previsti dall'algoritmo scritto sul sito di test sono risultati gli stessi ottenuti da ARPAE coi propri calcoli. E' stata altresì prevista, nella sezione dedicata alla visualizzazione del Grafico misure, la presenza della curva determinata dall'algoritmo, identificata con un determinato colore, e, con un altro, i valori puntuali delle letture reali. Di tutti questi dati è stato anche reso possibile il download dal consueto comando "Download misure" e nei formati già previsti (xls o csv). Le specifiche tecniche del lavoro afferente a questa fase sono descritte in **All. 5**.

La fase 1d è stata attivata a maggio 2017, con la consegna ad ogni Consorzio di Bonifica, dell'elenco delle stazioni falda in quel

| | |
|--|--|
| | <p>momento a maggior attendibilità statistica (Superwells e 1 livello) e ricadenti nel territorio di propria competenza (L'elenco realizzato in quel periodo è presente nell'All. 2 della Relazione intermedia). Per esse sono state seguite diverse modalità di rilievo della falda fino a dicembre 2018, ma comunque consistenti in un numero di letture più diradato (circa una al mese). Le stesse, come previsto nel Piano, sono state utilizzate come verifica della stabilità della capacità previsionale della formula nel tempo.</p> <p>La fase 1e ha rappresentato il momento conclusivo delle attività di elaborazione dell'algoritmo di previsione del dato di falda (fase 1a) e di verifica della sua stabilità nel tempo tramite le letture manuali effettuate in fase 1d.</p> <p>Nel complesso, e in relazione alle letture effettuate nel periodo 2017 - 2019, sui 65 siti individuati nel 2017 si è verificato un declassamento di attendibilità statistica su 11 siti (10 passati al 2° Livello ed uno addirittura al 3°, lo 07RE) e, parallelamente, una promozione di 8 siti (3 divenuti SuperWells e 5 di 1° Livello). Si è notato che, in riferimento al declassamento, in ben 5 casi su 11 il parametro statistico interessato da valori in peggioramento è stato l'RMSE (radice dell'errore quadratico medio).</p> <p>Il prodotto finale è costituito dall'elenco definitivo di 63 stazioni in All. 2 (tabella "Elenco stazioni falda prescelte per l'esecuzione di letture manuali diradate di controllo dell'algoritmo ARPAE").</p> <p>Per quanto riguarda gli obiettivi operativi della fase 1e, resta da comunicare a ciascun Consorzio di Bonifica l'elenco delle stazioni falda di propria competenza su cui applicare letture diradate di controllo dell'algoritmo. E' stato previsto di effettuare, per ragioni organizzative e di completezza delle informazioni, tale comunicazione in occasione dell'annuale incontro Cerlink del 18 aprile 2019, cui partecipano tutti i Consorzi di Bonifica.</p> <p>Tutti i documenti conclusivi prodotti nel corso dell'Azione (fase 1f) sono riportati in allegato alla presente Relazione tecnica (file All_falda_finale.pdf) e sono numerati da 1 a 5.</p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p>Gli obiettivi dell'Azione, nel suo complesso, sono stati raggiunti.</p> <p>Per quanto concerne la fase 1a, oltre all'acquisizione dell'algoritmo di previsione del dato di falda aggiornata a gennaio 2019, si è ottenuto il listato completo dei parametri di calcolo per tutte le attuali 130 stazioni. L'utilizzo di un set di principali di parametri statistici, ha consentito di ripartire le medesime all'interno di 4 classi, delle quali le prime due (Superwells e 1 Level) sono associate ad una previsione del dato di falda sufficientemente attendibile.</p> <p>Rispetto a quanto previsto nel Piano, per aumentare la capacità di analisi, sono stati aggiunti due nuovi parametri statistici: Efficiency</p> |

Index – EF (**All. 4**) e Cer_Index, ideato alla bisogna e precedentemente descritto.

Per quanto riguarda la fase 1b, le analisi statistiche effettuate hanno mostrato una certa correlazione fra l'andamento delle caratteristiche ambientali selezionate in fase di studio preliminare e l'attendibilità del dato di falda formulare. Se sembra accertato che un trend esista, tuttavia esso non è probante, se si esclude forse il fattore più lineare, ossia la distanza della stazione falda rispetto ai canali irrigui.

Anche analisi statistiche più raffinate, come quelle effettuate tramite il software "R", non hanno portato nessun maggior dettaglio rispetto a quanto osservato utilizzando semplici grafici a dispersione.

Date queste risultanze, si è ritenuto non opportuno avviare ulteriori indagini in campo, com'era stato invece ipotizzato nel 2017, in quanto non supportate da una sufficientemente solida base statistica.

La fase 1c, attivata alla fine dell'estate 2017, è stata completata senza problemi e, dopo una serie di test condotti in parallelo con ARPAE, si è provveduto ad implementare il sito all'indirizzo:

<http://faldanet.consorziocer.it/Faldanet/retefalda/index>

Esso è raggiungibile tramite link anche dal sito del CER, partendo dall'elenco dei servizi elencati in fondo all'Home Page.

La fase 1d, attivata nei tempi previsti, ha comportato inizialmente la selezione delle 65 stazioni falda su cui effettuare le letture reali con una minor frequenza. Essendo il primo periodo di test, si è deciso di programmare una lettura al mese, ossia 7 letture da giugno a dicembre 2017, in luogo delle quattro previste, ritenute il minimo per un confronto ragionato con il dato di falda derivato da formula. Va evidenziato che la lettura degli strumenti ha costituito la vera e propria criticità non solo del Piano, ma dell'intero meccanismo attualmente in atto, poiché sono frequenti carenze e ritardi nelle letture. Di fatto, diverse stazioni sono state lette nel periodo non più di 4-5 volte, anche a causa di preesistenti accordi (ad es. a partire dal 2011 per il Ferrarese) coi locali Consorzi di Bonifica. Inoltre, molte stazioni nella provincia di Ravenna sono già rilevate da anni dal CER, in luogo del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale. Tale trend è proseguito nel 2018: l'altezza di falda di una buona parte delle stazioni selezionate è stata letta manualmente non più di 3 – 4 volte.

La fase 1e ha consentito di definire l'elenco definitivo di stazioni falda sulle quali effettuare un numero ridotto di letture nel corso dell'anno. Complessivamente, si è passati da 65 stazioni nel 2017 a 63 nel 2019, al netto delle promozioni e dei declassamenti, il che

| | |
|-------------------------------|--|
| | <p>indica circa un 50% di stazioni sul totale dotati di sufficiente attendibilità per quanto riguarda l'utilizzo della formula di previsione. Vi è altresì da notare che tale numero è al netto di quelle 4 – 5 stazioni che, per cause varie, vengono mediamente distrutte nel corso di ogni anno. Se, col lavoro di manutenzione gestito volontariamente dal CER, non è possibile ripristinarle in loco, esse non possono più fornire il loro dato di lettura a FaldaNet, e quindi non rientrano neppure nel novero di quelle soggette a previsione formulare. Nel solo 2018, sono state perse in questo modo le stazioni 02BO, 19MO e 29FE (2 Superwells e un 1° livello). Solo la 29FE, con la nuova sigla 37FE, è stata ripristinata a diversi chilometri di distanza, e saranno quindi necessari almeno tre anni completi di letture per avere la base dati necessaria per accedere alla previsione formulare.</p> <p>Nulla da segnalare per quanto riguarda la fase 1f, concernente la produzione dei documenti conclusivi, come già detto riportati in allegato alla presente relazione.</p> |
| Attività ancora da realizzare | nessuna |

| | |
|------------------------------|---|
| Azione 3.2 | L'Azione prevede di completare il quadro delle sperimentazioni regionali relative allo studio delle interazioni fra acqua infiltrata dai canali irrigui in terra e falda ipodermica, sia tramite l'installazione di due nuovi siti di monitoraggio, sia con l'utilizzo di software per la modellazione numerica, che consentano di definire l'andamento del fenomeno nel tempo e nello spazio. |
| Unità aziendale responsabile | CER |
| Descrizione attività | <p>All'interno dell'Azione 3.2 le prime quattro fasi descritte nel Piano (2a, 2b, 2c, 2d) sono state attivate già nel 2016, mentre le rimanenti tre (2e, 2f, 2g), nel 2018.</p> <p>Anche per il 2018 è stata prevista un'apposita check list (All. 6), che consentisse di organizzare i rilievi previsti all'interno dei siti di monitoraggio (4, contando anche i due previsti nell'Azione 3.3). In tale foglio di lavoro, ogni fase del Piano è stata suddivisa in sub-fasi, comprendenti l'elenco degli strumenti necessari al loro svolgimento, i tempi previsti ed effettivamente effettuati, le note relative ad eventuali miglie, i contrattempo e le osservazioni.</p> <p>La fase 2a è stata già completata nel 2016 ed è consistita nell'installazione di due nuovi siti di monitoraggio, già individuati in precedenti attività di studio presso Panzano (MO) e Valle Gaffaro (FE), attraversati rispettivamente dal Canal Torbido e dallo Scolo Beccaccino. Nel primo sito si è proceduto alla posa di n° 6 piezometri in PVC della lunghezza di 300 cm (150 cm nel secondo),</p> |

distribuiti in 2 allineamenti (transect) da 3 strumenti a distanze crescenti (25, 75 e 150 m). I suoli rilevati durante le trivellate effettuate per la posa sono stati descritti in apposite schede ed attribuiti ad Unità Tipologiche di Suolo (UTS), secondo le modalità previste dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale (**All. 7**). La posa è avvenuta tra maggio e giugno 2016, anche se letture, per motivazioni esposte più avanti, sono entrate in pieno esercizio solo a partire da dicembre 2016.

Durante la posa si è proceduto ad un'iniziale georeferenziazione della posizione dei piezometri con strumenti di precisione stimata ± 5 m. Successivamente, tramite il supporto dei Consorzi di Bonifica della Burana e della Pianura di Ferrara, si è giunti a definire tutte e tre le coordinate (X, Y ed anche Z, ossia la quota s.l.m.) con precisione centimetrica. Tali misurazioni sono anche state effettuate lungo alcune sezioni degli adiacenti canali, nel periodo di svasamento.

Gli strumenti di rilievo in continuo dell'altezza di falda (Diver) sono stati posizionati a dicembre 2016, quindi in ritardo di un trimestre rispetto al cronoprogramma, per le stesse motivazioni esposte già nella Relazione intermedia a proposito dei piezometri.

La fase 2b ha preso avvio come da cronoprogramma a luglio 2016 ed è stata operativa fino a dicembre 2018. Essa ha compreso sia le letture quindicinali del livello di falda nei piezometri dei due siti (anche della conducibilità elettrica nel sito del Ferrarese – **All. 8**), sia le letture del tirante in una sezione prevista dei canali adiacenti. Le prime sono state svolte dalle locali Aziende Agricole, mentre la misura del tirante è stata effettuata dai tecnici dei locali Consorzi di Bonifica della Burana e della Pianura di Ferrara.

Il CER ha inoltre curato personalmente lo scarico dei dati rilevati dai Diver (a partire da dicembre 2016) e la misura delle portate all'interno dei canali Torbido e Beccaccino, sia tramite River Surveyor (strumento natante per il rilievo delle velocità lungo una sezione di canale) che mulinello idrometrico (**All. 11**). Queste ultime sono state eseguite, ovviamente a canali invasati, a partire da luglio 2016.

La fase 2c ha previsto l'elaborazione dei dati acquisiti durante il monitoraggio e la produzione di documenti utili al supporto ed alla verifica della successiva fase 2d. Negli **All. 9 e 10** sono rispettivamente rappresentati i grafici ricavati dalle letture dei Diver e alcune immagini dell'andamento della falda nel tempo. Queste ultime sono state ottenute tramite interpolazione GIS dei valori letti dai rilevatori, utilizzando il metodo IDW (Inverse Distance Weighted). Anche se non previsto nel Piano, sono state effettuate elaborazioni di questo tipo anche per il sito di S. Felice, selezionato per le attività della successiva Azione 3.3. Sia le immagini ricavate per questo sito che per quello di Panzano hanno

evidenziato l'azione di ricarica della falda da parte dei rispettivi canali, con la quota delle isofreatiche che si innalza in loro prossimità. Nel sito di Valle Gaffaro, anche per questioni morfologiche e topografiche, le isofreatiche non presentano particolari variazioni in prossimità del canale Beccaccino. Sono forse più significative altre interpolazioni col metodo IDW, effettuate sempre su questo sito, ma prendendo in esame i valori di salinità riscontrati durante le letture del livello di falda. In particolare, sembra di osservare, in autunno, una diminuzione dei valori di conducibilità elettrica nelle acque di falda e nei pressi del Beccaccino, forse per merito dell'azione di scolo da esso esercitata. Una sensibile diminuzione di salinità avviene però solo grazie all'irrigazione per infiltrazione laterale, attuata in estate (riduzione che può raggiungere i 400 – 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La fase 2d, in collaborazione con il DICAM dell'Università di Bologna, ha preso avvio con un'apposita riunione tenuta il 25/11/2016. L'attività svolta da questo Ente può essere sintetizzata nei seguenti punti, esaminati analiticamente nell'**All.**

12:

(1) Analisi dello stato dell'arte e dei codici disponibili per simulare l'interazione canale-falda: lo studio dell'interazione tra canali e falda viene condotto utilizzando modelli numerici.

(2) Analisi dei dati di monitoraggio provenienti dai siti studio: per poter calibrare il modello. Al fine di renderlo applicabile alle diverse condizioni di interazione ritenute rappresentative a scala regionale, si è reso necessario analizzare i dati raccolti durante le precedenti campagne di monitoraggio. In particolare, sono stati acquisiti i dati relativi ai siti "storici" di monitoraggio della falda sui canali Pia Est, Cavezzo e Stiolo.

(3) Svolgimento di simulazioni numeriche, dapprima sul solo sito di Stiolo, includendo ed escludendo alternativamente l'apporto pluviometrico deducibile dalle serie storiche.

(4) Creazione della formula di previsione del contributo da parte del canale sulla falda ipodermica circostante, la quale utilizza 3 parametri principali: K_{sat} (conduttività idraulica a saturazione), h (tirante idrico nel canale) e d_{WT} (profondità freatica rispetto al fondo del canale). L'innalzamento di quota della falda è calcolabile per due tipologie tessiturali principali: canali su terreni clay – loam (limoso-argillosi, come il Pia Est) e canali su terreni sandy – loam (franco-limosi, come lo Stiolo ed il Diversivo di Cavezzo).

(5) Validazione della formula tramite confronto con dati reali piezometrici provenienti dai siti di monitoraggio, soprattutto passati, ma anche attuali (Panzano, S. Felice).

Il risultato finale consiste quindi in un algoritmo, applicabile alla massima parte dei canali irrigui in terra presenti in Regione, per cui, conosciuti i valori dei parametri sopra citati, è possibile ottenere, con buona approssimazione, il valore numerico del

| | |
|--|--|
| | <p>contributo alla falda ipodermica circostante.</p> <p>La fase 2e ha comportato l'estensione del modello, messo a punto nella fase 2d, alla rete irrigua consortile del territorio regionale. Per la sua realizzazione ci si è avvalsi prevalentemente di tecnologie GIS, descritte sempre in All. 12 al punto (4). Fra le varie problematiche prese in esame, la creazione di uno strato digitale dei canali irrigui in terra, la traduzione del modello sviluppato in un linguaggio, che ne permettesse l'implementazione in GIS, la creazione di un database contenente tutti i valori dei parametri necessari (H, Ks, dWT) in corrispondenza dei vari tratti di canale. Tramite un codice scritto in linguaggio <i>Python</i>, si è riusciti ad associare un valore di contributo di falda (Delta H) ad ogni segmento di canale e da qui, con operazioni GIS di <i>buffering</i>, estenderlo al territorio circostante (fasce di pertinenza).</p> <p>L'ultimo passo è stato eseguito nel corso della fase 2f, ossia l'implementazione delle fasce di pertinenza sopra realizzate e degli associati valori di contributo di falda (Delta H), all'interno dell'applicativo web IrriNet. Le procedure informatiche eseguite dalla Software House incaricata sono estesamente descritte in All. 14. Nella sintesi, il meccanismo, adeguatamente testato, consente ad ogni Azienda iscritta ad IrriNet e per ogni appezzamento inserito, di ottenere un valore di contributo di falda (Delta H). Tale valore sarà poi utilizzato dall'applicativo durante l'elaborazione del bilancio idrico e quindi per il consiglio irriguo. Ovviamente, tale contributo può anche essere nullo se il centroide dell'appezzamento (cosiddetto <i>plot</i>) si trova a distanza, superiore a un certo limite, da ogni canale irriguo.</p> <p>Tutti i documenti conclusivi prodotti nel corso dell'Azione (fase 2g) sono riportati in allegato alla presente Relazione tecnica (file All_falda_finale.pdf). Più precisamente, essi comprendono la sezione di allegati dal numero 6 al 14, come anche testimoniano i rimandi precedentemente inseriti.</p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p>Gli obiettivi dell'azione, nel loro complesso, sono stati raggiunti, con alcune necessarie precisazioni di seguito descritte.</p> <p>La realizzazione della fase 2a, ha incontrato alcune difficoltà tecniche relative alla posa dei piezometri, di seguito descritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nel sito di Valle Gaffaro hanno potuto essere posati solo piezometri della lunghezza di 170 cm (sono quelli siglati P3 nella rete di rilievo regionale della falda), rispetto a quelli identificati nel Piano della lunghezza di 300 cm (cosiddetti P4). La motivazione risiede nella spinta idrostatica determinata dalla falda molto superficiale associata alla liquefazione delle sabbie molto fini che costituiscono il |

| | |
|--|--|
| | <p>suolo presente nel sito. Essa ha contrastato la posa manuale, costringendo alla scelta di strumenti più corti. Comunque, trattandosi del monitoraggio delle oscillazioni di una falda che, nel corso del periodo irriguo, permane abbastanza superficiale, tale cambiamento ha influenzato marginalmente le letture.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poco tempo dopo la posa dei piezometri, sono stati osservati nei tubi intasamenti a diverse profondità, causati da risalite di sedimenti fini, tali da inficiare in parte la validità delle letture effettuate. Si è pertanto provveduto nell'autunno 2016 ad installare all'interno dei tubi di diametro 6,3 cm altri tubi della stessa lunghezza di diametro minore (5 cm), rivestiti di geotessuto drenante con grammatura 40 gr/mq. Allo stesso tempo, sia i Consorzi di Bonifica Pianura di Ferrara che della Burana hanno provveduto a dotare i piezometri più esposti alle lavorazioni e quindi ad eventuali rotture, di pozzetti di protezione. - Dal momento che i sopra citati intasamenti avrebbero potuto causare ai Diver problemi sia di lettura del livello di falda sia di estrazione dai piezometri, essi sono stati calati all'interno dei piezometri solo dopo effettuate le sistemazioni sopra descritte, cioè a dicembre 2016. <p>Nel corso della fase 2b, si è osservato, nel 2016, che la velocità del flusso idrico nei canali era mediamente troppo bassa per l'utilizzo efficace dello strumento natante River Surveyor, il quale offre le migliori prestazioni in canali ampi e dotati di una certa velocità. Per le successive misure, a partire dal 2017, si è quindi optato per il solo mulinello idrometrico.</p> <p>Inoltre, non sempre, causa inconvenienti e/o esigenze lavorative prioritarie, si sono ottenute letture manuali cadenzate secondo lo schema previsto, anche se la variazione si è mantenuta attorno a un ragionevole 5 – 10% del totale. In alcuni casi le letture sono state effettuate dallo stesso CER in occasione dello scarico dei Diver.</p> <p>Più grave la concomitante rottura, per difetti di fabbrica, di alcuni Diver nel 2018. Essa ha determinato, per necessari tempi tecnici, come l'invio di strumenti in sostituzione dalla casa madre, l'interruzione di letture per tempi anche piuttosto lunghi. Nella maggior parte dei casi si è potuto fare ricorso alle letture manuali per tentare di ricostruire le curve dell'andamento della quota di falda, anche se ovviamente non con la medesima attendibilità e completezza.</p> <p>La fase 2c è stata portata a termine senza problemi e nei tempi previsti. In All. 10 sono state riportate quelle, fra le mappe IDW, che potevano riuscire visivamente più significative per la</p> |
|--|--|

| | |
|--|---|
| | <p>comprensione del flusso di falda dai canali ai piezometri. Il database creato consente di creare mappe per ogni data di rilievo disponibile, ivi compresa la conducibilità elettrica letta nel sito di Valle Gaffaro.</p> <p>Nell'ambito della fase 2d, fin dalla prima riunione con DICAM, si è scelto di adottare per le simulazioni il modello fisico-matematico definito VS2DI al posto di SUTRA, in quanto più adatto a descrivere il flusso dell'acqua all'interno di un mezzo insaturo, ossia la parte di suolo al di sopra della falda ipodermica. Al fine di testare questo nuovo modello, è stata fornita a DICAM tutta la base dati, costituita da letture del livello di falda, tessitura dei suoli, quote dei piezometri e sezioni dei canali, relativa a due precedenti aree di monitoraggio (canale Pia Est e canale Stiolo). Per questi ultimi, la georeferenziazione, sempre a precisione centimetrica, è stata effettuata dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, nell'ambito delle relazioni e delle collaborazioni in essere fra lo stesso Consorzio ed il CER.</p> <p>Su questi canali il CER ha inoltre effettuato, non previste nel Piano, ulteriori misure della conducibilità idraulica satura (K_s), utilizzando strumenti quali il permeometro Guelph e l'infiltrometro a doppio anello (All 13). I valori riscontrati nelle misure eseguite col doppio anello, sono risultati congruenti con altri da prove effettuate in passato sugli stessi canali e con altri metodi (prove di invaso).</p> <p>Vi è infine da sottolineare che la formula di previsione del contributo da parte del canale sulla falda ipodermica, messa a punto da DICAM, raggiunge le migliori performances con K_s tipici delle classi tessiturali precedentemente citate, (clay – loam e sandy – loam). Solo con un certo grado di approssimazione, che forse potrà essere migliorato in futuro, esso può essere applicato anche a suoli maggiormente permeabili, quali sono, ad esempio, quelli presenti nella fascia costiera.</p> <p>L'estensione del modello, messo a punto nella fase 2d, alla rete irrigua consortile del territorio regionale, operata nella fase 2e ha inevitabilmente comportato un'approssimazione legata alla qualità dei documenti utilizzati per ottenere valori dei parametri K_s, dWT e H applicabili ad ogni segmento di canale. Quindi, per i primi due parametri, l'attendibilità è quella della Carta di conducibilità idraulica satura dei suoli di pianura in scala 1:50.000 (K_s_RER) e della Carta di Estendibilità del Dato di Falda (<i>Carta EDF</i>), le quali sono periodicamente aggiornate. Per quanto riguarda il parametro relativo al tirante medio (H), non essendo tale dato disponibile nel database dei canali, è stato desunto dalla nomenclatura associata a ciascuno (per es. fossetta, distributore, cavo). In tal modo sono state identificate tre classi standard di tirante, grosso modo corrispondenti a canali irrigui di piccole, medie e grandi dimensioni. Tale dato è evidentemente</p> |
|--|---|

| | |
|-------------------------------|---|
| | <p>perfezionabile, acquisendo gradualmente ulteriori informazioni tecniche da parte dei Consorzi.</p> <p>In fase progettuale, era stato previsto, all'interno della fase 2f, la possibilità di mostrare le fasce di pertinenza anche ad un certo livello di zoom sulla mappa presente in Home Page di FaldaNet. Sulla base di ulteriori considerazioni, basate prevalentemente sul concetto di non complicare ulteriormente la navigazione agli utenti, sia per quanto riguarda il caricamento della mappa, sia per quanto riguarda la comprensione del nuovo oggetto che si andava ad inserire, questa opzione non è stata attivata.</p> |
| Attività ancora da realizzare | Tutte le fasi dell'Azione 3.2 sono state completate. |

| | |
|------------------------------|--|
| Azione 3.3 | La presente Azione ha come obiettivo principale di verificare se e in che misura la produttività di alcune colture selezionate possa essere influenzata, in prossimità di un corso d'acqua, da un livello di falda ipodermica più superficiale. |
| Unità aziendale responsabile | CER |
| Descrizione attività | <p>All'interno dell'Azione 3.3, le prime quattro fasi descritte nel Piano (3a, 3b, 3c e 3d) sono state attivate già a partire dal 2016, mentre la 3e è stata eseguita nel 2018.</p> <p>Come per l'Azione 3.2, dato il numero e la frequenza dei rilievi previsti all'interno dei siti di monitoraggio, si è deciso di produrre un'apposita check list (All. 15). In tale foglio di lavoro, ogni fase del Piano è stata suddivisa in sub-fasi, comprendenti l'elenco degli strumenti necessari al loro svolgimento, i tempi previsti e realmente effettuati, le note relative ad eventuali migliorie, contrattempi, osservazioni.</p> <p>La fase 3a è consistita nell'installazione di due nuovi siti di monitoraggio, già individuati in precedenti attività di studio presso S. Felice s.P (MO) e Pomposa (FE), posti in prossimità rispettivamente del canale Ramedello e del ramo terminale del Po di Volano. Come nell'Azione 3.2, in ogni sito si è proceduto alla posa di n° 6 piezometri in PVC della lunghezza di 300 cm, distribuiti in 2 allineamenti (transect) da 3 strumenti a distanze crescenti (25, 75 e 150 m). I suoli rilevati durante le trivellate effettuate per la posa sono stati descritti in apposite schede ed attribuiti ad Unità Tipologiche di Suolo (UTS), secondo le modalità previste dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale (All. 16). La posa è avvenuta tra maggio e giugno 2016, anche se letture, per le stesse motivazioni esposte a proposito dell'Azione 3.2, sono entrate in pieno esercizio solo a partire da dicembre 2016.</p> <p>Analogamente all'Azione 3.2, si è proceduto ad una</p> |

georeferenziazione di precisione centimetrica di tutti i piezometri e di alcune sezioni sia del canale Ramedello che del Po di Volano. La sezione idraulica di quest'ultimo corso d'acqua di grandi dimensioni, è stata rilevata utilizzando un apposito drone natante dotato di sonar e GPS di proprietà del Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara.

Gli strumenti di rilievo in continuo dell'altezza di falda (Diver) sono stati sistemati a dicembre 2016.

Allo stesso modo, sono stati selezionati nei due appezzamenti, in prossimità di ciascun piezometro, i gruppi di piante da sottoporre ad alcune delle operazioni di monitoraggio previste in fase 3c. A febbraio 2017, per i soli gruppi di piante dell'appezzamento coltivato a pero sul canale Ramedello, per potere procedere ad irrigazioni differenziate, si è realizzato un locale bypass dell'impianto a goccia. Ciò ha consentito di eseguire nelle due stagioni 2017 e 2018, rilievi in prossimità dei piezometri, sia su piante irrigate che su piante non irrigate. Nel sito di Pomposa, invece, come già previsto nel Piano, non è stato possibile sottrarre gruppi di piante all'irrigazione, causa la necessità di apportare continuamente acqua a ciascuna di esse per contrastare la sottostante falda salina.

La fase 3b ha implicato, nel 2016, la configurazione di entrambi gli appezzamenti su IrriNet, inserendo tutti i parametri di base necessari al calcolo desunti sia dalle aziende agricole (coltura, sesto d'impianto, vigore portinnesto, tipo di irrigazione etc.), sia dalle attività svolte nell'ambito del Piano (per es. tessitura del suolo ricavata dalla descrizione pedologica operata al momento della posa dei piezometri). Nel 2017 e nel 2018, invece, sono stati calcolati i bilanci idrici (**All. 18**), utilizzando il valore di altezza di falda secondo le letture reali dei seguenti piezometri:

- nel sito di S. Felice, la sequenza P19, P20 e P21 (posti rispettivamente a 25, 75 e 150 m dal canale Ramedello);
- nel sito di Pomposa, la sequenza P10, P11 e P12 (posti rispettivamente a 25, 75 e 150 m dal Po di Volano).

A ciascuno dei sei bilanci idrici è corrisposto pertanto uno scenario, caratterizzato da un differente contributo irriguo da parte della falda, in modo da potere quantificare separatamente le eventuali variazioni in termini di volumi irrigui stagionali.

La fase 3c ha preso avvio come da cronoprogramma a luglio 2016 e ha compreso alcune attività di monitoraggio identiche all'Azione 3.2 e svolte sia dalle locali Aziende Agricole (letture quindicinali del livello di falda nei piezometri dei due siti e della conducibilità elettrica nel sito del Ferrarese – in **All. 17**), sia dai tecnici dei locali Consorzi di Bonifica (letture dell'altezza del tirante in una sezione prevista dei canali adiacenti agli appezzamenti e relativa conducibilità elettrica delle acque nel sito del Ferrarese).

| | |
|--|---|
| | <p>Il CER ha invece curato personalmente tutti gli altri rilievi, ossia: rilievi della temperatura fogliare, stima della biomassa traspirante, raccolta dei frutti, campionamenti degli orizzonti di suolo per la stima della % di umidità, rilievi con sonda ad induzione elettromagnetica EM38, campionamento delle acque per la determinazione dei componenti ionici (tutti a partire dagli inizi di agosto 2016). Lo scarico dei dati rilevati dai Diver è stato invece effettuato a partire da dicembre 2016, a causa dei problemi di intasamento dei piezometri già descritti a proposito dell’Azione 3.2.</p> <p>La fase 3d è inerente all’elaborazione dei dati acquisiti durante il monitoraggio dei siti, per ottenere indicatori che consentano di stimare, sia l’insorgere di condizioni di stress idrico o salino nei gruppi di piante, sia la presenza di un trend di comportamento fra gruppi di piante in relazione alla distanza dal canale/corso d’acqua. Oltre a grafici con l’andamento del livello di falda derivati dalle letture dei Diver (All. 9) e dell’umidità nel terreno (All. 19), sono stati prodotti anche i seguenti documenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variazione dell’indice di stress idrico Tc-Ta (analogo al più complesso CWSI) rilevato tramite Scheduler (pistola a raggi infrarossi) con la distanza delle piante dal canale/corso d’acqua; (All. 20); - Variazione, in relazione alla distanza dal canale, della media delle dimensioni dei calibri dei frutti raccolti per ciascun gruppo di piante; (All. 21); - Stima della biomassa traspirante, sempre in relazione alla distanza dal canale, tramite analisi della variazione dell’indice di Canopy Cover; (All. 22); - Variazione, secondo la distanza dal Po di Volano (solo sito di Pomposa), della speciazione ionica nelle acque raccolte nei piezometri due volte l’anno; (All. 23); - Andamento dell’umidità nel suolo degli appezzamenti monitorati tramite mappe create tramite l’interpolazione spaziale IDW (Inverse Distance Weighted) dei punti rilevati dallo strumento EM38. (All. 24). <p>Tutti i documenti conclusivi prodotti nel corso dell’Azione costituiscono la fase 3e e sono riportati in allegato alla presente Relazione tecnica (file All_falda_finale.pdf). Più precisamente, essi comprendono la sezione di allegati dal numero 15 al 26, come anche riportato nei rimandi, precedentemente inseriti.</p> <p>Le risultanze di tale lavoro sono poi state utilizzate per sviluppare il calcolo del beneficio ecosistemico da falda previsto nell’Azione 3.4.</p> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti | Gli obiettivi dell’azione, nel loro complesso, sono stati raggiunti, con alcune necessarie precisazioni di seguito descritte. |

| | |
|---|--|
| <p>rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p>Il monitoraggio attuato nei due siti ha comportato l'utilizzo di differenti tecniche e strumenti, anche al fine di verificare quali, e in che misura, potessero essere più adatte a riscontrare eventuali influssi da parte della falda ipodermica sulle colture. Questo, da un lato, ha consentito di acquisire esperienza e di raffinare tecniche e protocolli (si veda, ad esempio, quanto scritto più oltre a proposito dell'All. 26), dall'altro ha evidenziato i loro limiti. Indicazioni piuttosto significative sono state ottenute dal campionamento dei suoli per la determinazione della % di umidità, dai rilievi con EM38, dalla raccolta frutti, almeno in relazione all'ultimo anno. Tali attività hanno infatti chiaramente evidenziato la variazione dell'umidità del suolo e del numero e peso dei frutti in relazione alla distanza dal canale.</p> <p>Altre indicazioni interessanti, ma sicuramente da approfondire con una maggiore frequenza di rilievi, sono state offerte dalla speciazione ionica (si veda ad es. il grafico 48 nell'All. 23). In questi casi è percepibile in prossimità del canale (o, in questo caso, del fiume) una diluizione della concentrazione degli ioni delle acque di falda e quindi una riduzione della salinità.</p> <p>Altri metodi, come il calcolo del Canopy Cover o dell'indice CWSI non hanno invece offerto risultati rilevanti. Questo può essere legato sia alla difficoltà della tecnica di rilievo, pur nei miglioramenti attuati nel corso del triennio, come nel caso del Canopy Cover, o alla necessità di effettuare rilievi su un maggior numero di piante, come nel caso dello Scheduler per il rilievo dell'Infrarosso.</p> <p>Anche la scelta del sito ha avuto ovviamente la sua importanza, tant'è che il sito di S. Felice ha potuto fornire alcune importanti indicazioni, grazie anche al fatto che era stato possibile effettuare il bypass dall'irrigazione di alcune piante e quindi verificare il loro comportamento in condizioni non artificiali. Questo non è stato possibile nel sito di Pomposa, per il quale era condizione necessaria alla sopravvivenza dei peri, il costante mantenimento, tramite irrigazione, di un cuscinetto di acqua dolce sopra la falda salina.</p> <p>Andando a esaminare nello specifico quanto previsto nell'Azione, sono state messe in opera o variate le seguenti attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nel sito – studio di Pomposa (FE), in collaborazione col Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale (SGSS), si è effettuata a maggio 2017 la posa di ulteriori 4 piezometri, posti a gruppi di due, a 25 e 150 m dal Po di Volano. All'interno di ogni piezometro, sono stati sistemate sonde con datalogger integrato del SGSS, in grado di rilevare in continuo, non solo il livello di falda, ma anche la conducibilità elettrica. Un'ulteriore sonda è stata posata all'interno di un tubo di calma ancorato alla parte di sponda sul Po di Volano prospiciente l'azienda Pomposa. I dati ricavati da questi strumenti hanno consentito di percepire |
|---|--|

| | |
|--|---|
| | <p>le variazioni stagionali di salinità sia nel corso d'acqua, sia a diverse profondità nei piezometri, fornendo quindi un ulteriore contributo alla comprensione dell'interazione fra falda salina e colture (i dati aggiornati al 2018 sono presentati in All. 25).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Come già nei siti monitorati per l'Azione 3.2, si è verificata nel 2018 la rottura, per difetti di fabbrica, di alcuni Diver, con i già citati disagi ed interruzioni di letture per periodi significativi, come emerge anche dai grafici presentati. Nella maggior parte dei casi si è potuto fare ricorso alle letture manuali per tentare di ricostruire le curve dell'andamento della quota di falda, anche se ovviamente non con la medesima attendibilità e completezza. - All'interno della fase 3c, il protocollo di raccolta frutti per ciascuna pianta, da effettuarsi lungo un metro lineare complessivo su una branca posta a mezza altezza e conseguente misura dei pesi e dei calibri, è stato modificato sia nel corso del 2017, che nel corso del 2018 (All. 26). In particolare, il cambiamento operato nel 2018 ha previsto la raccolta di un numero statisticamente molto più significativo di frutti, ossia la produzione di due piante intere in corrispondenza di ogni piezometro. Non è probabilmente un caso, come mostrato in All. 21, che proprio nel 2018 giungano, e nell'azienda di S. Felice, i risultati più significativi nel confronto fra produzione e distanza dal canale. Differenze molto minori sussistono invece, a parità di distanza, fra la produzione raccolta nelle piante sottoposte a bypass dell'impianto a goccia e quella raccolta dalle adiacenti piante irrigate. - Sempre in relazione all'attività di raccolta frutti, nell'azienda di S. Felice la siccità intervenuta nel corso del 2017 ha costretto la medesima ad una raccolta anticipata in tutto il perito rispetto a quanto previsto e concordato. La raccolta frutti secondo il protocollo è stata pertanto possibile solo lungo l'allineamento di piante più occidentale (corrispondente ai piezometri P22, P23 e P24). - Sulla base dei positivi risconti ottenuti nel corso dei rilievi 2016, si è deciso di utilizzare i dati provenienti dal sito studio di S. Felice, non solo per gli obiettivi dell'Azione 3.3, ma anche per quelli dell'Azione 3.2. In tal senso, in collaborazione col Consorzio della Bonifica Burana, sono stati eseguiti rilievi topografici di precisione sia sulla quota dei piezometri sia sul prospiciente canale Ramedello per la perimetrazione di 2 sezioni trasversali significative per il calcolo del contorno bagnato Oltre a ciò, tramite mulinello idrometrico, è stata misurata, all'altezza delle medesime sezioni, la velocità della corrente nel periodo irriguo e sono state effettuate misure di conducibilità idraulica satura |
|--|---|

| | |
|-------------------------------|---|
| | tramite permeametro Guelph ed infiltrometro a doppio anello (All. 11 e All. 13). |
| Attività ancora da realizzare | Tutte le fasi dell’Azione 3.3 sono state completate. |

| | |
|------------------------------|---|
| Azione 3.4 | Valutazione economica relativa al beneficio per le colture fornito dalla ricarica della falda ipodermica sul territorio regionale. Sono prese in esame tutte le colture presenti negli appezzamenti, in qualche modo intercettati od intersecati dalle fasce di pertinenza dei canali, secondo lo strato dell'uso agricolo del suolo AGREA più recente. |
| Unità aziendale responsabile | CER |
| Descrizione attività | <p>Le attività inerenti quest’Azione, svolte in collaborazione con Cnr-Ibimet, si sono concentrate inizialmente sulla raccolta e analisi di lavori pubblicati da CER e da altri enti, sulla tematica in oggetto. In questi documenti, erano già stati realizzati, attorno agli anni '90, grafici e curve di tendenza, che mettevano in relazione la produzione di una coltura con la profondità di falda ipodermica (All. 27). Quest’ultima era stata fatta variare disponendo un determinato numero di parcelle su un terreno con pendenza regolare, alimentato da un fosso mantenuto a livello costante. Fra le colture prese in esame, si è posta particolare attenzione, nell’ambito dell’Azione, a pero, mais e pomodoro, identificate come rappresentative rispettivamente di tutte le colture arboree, erbacee ed orticole. Per quanto riguarda il pero, sono stati utilizzati a supporto anche tutti i dati produttivi acquisiti nel corso delle precedenti Azioni (All. 21).</p> <p>Il passo successivo, attuato da Cnr- Ibimet, è consistito nell’analisi e validazione delle relazioni precedentemente determinate (All. 28), tramite il programma freeware GAMS (General Algebraic Modeling System), il quale è stato ideato, appunto, per modellare e risolvere equazioni di tipo lineare e non lineare, come quelle che mettono in relazione falda e produzione. In base a tali considerazioni, è stato anche stabilito un valore soglia massimo, corrispondente alla profondità falda di 40 cm dal piano campagna, oltre il quale le funzioni non apportano un incremento di produzione, ma al contrario la limitano (a causa dei rischi di asfissia per le radici).</p> <p>Come ultimo, ma determinante passaggio, si è dovuto estendere le relazioni ottenute e validate, all’intero territorio regionale di pianura.</p> <p>Nel corso dell’Azione 3.2 (fase 2e), già si era ottenuto uno strato digitale con le fasce di pertinenza associate ad ogni singolo segmento di canale irriguo, per le quali era stato calcolato un valore di incremento di falda (Delta H). In quest’Azione, si è anche acquisito lo strato dell’uso agricolo del suolo 2018 pubblicato da AGREA, dal quale sono state selezionate solo le colture irrigue, a</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>loro volta raggruppate, secondo la tipologia, nelle tre grandi classi di arboree (sigla ARB), erbacee (ERB) e orticole (ORT). Questi due strati sono stati incrociati con tecniche GIS (Intersect) per ottenerne uno solo, con tutti gli attributi sopra indicati e la consistenza areale di ogni poligono pari ad un appezzamento ritagliato, in toto o in parte, secondo l'estensione della fascia di pertinenza. Sempre in ambiente GIS è stato scritto un programma in <i>python</i>, contenente, fra l'altro, gli estremi delle formule di calcolo, acquisite e validate nella prima fase, descrittive l'incremento di produzione in relazione all'altezza di falda ed alla classe colturale.</p> <p>L'esecuzione del programma ha consentito l'effettuazione, per ciascun poligono, di due differenti serie di calcoli:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La produzione stimabile, per la classe di coltura presente, considerando in input l'altezza media di falda annua; - La produzione stimabile, per la classe di coltura presente, considerando in input l'altezza media di falda annua, incrementata del contributo da parte dei canali (Delta H). <p>Applicando questi calcoli a tutti i poligoni selezionati nel territorio di pianura regionale, sono stati ottenuti due totali di valori di produzione. La loro differenza ([produzione stimata con altezza falda incrementata dai canali] - ([produzione stimata con altezza falda standard]) ha determinato un valore, misurato in q.li/ha, corrispondente ad un incremento percentuale della produzione. I risultati finali dei calcoli sono descritti nell'ultima tabella dell'All. 29.</p> <p>Tutti i documenti conclusivi prodotti nel corso dell'Azione sono riportati in allegato alla presente Relazione tecnica (file All_falda_finale.pdf); più precisamente, essi comprendono la sezione di allegati dal numero 27 al 29, come anche riportato nei rimandi, precedentemente inseriti.</p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p>Nella presente Azione, si è prodotta, come previsto, una valutazione economica, con riferimento all'incremento potenziale di produzione delle colture dovuto al maggior quantitativo di acqua disponibile, determinato dall'innalzamento della falda in prossimità dei canali. Volendo esaminare la questione da un altro punto di vista, tale beneficio può essere assimilato ad una potenziale riduzione dei costi irrigui da parte delle aziende agricole. Questa consapevolezza è tanto più preziosa, se si considerano le ultime annate agricole, spesso interessate da estati molto calde e fortemente siccitose.</p> <p>Naturalmente, l'effettuazione dei calcoli riportati, ha richiesto una necessaria dose di approssimazione nella determinazione dei parametri di base, come già osservato in occasione dell'Azione 3,2, per il calcolo dell'incremento di quota di falda Delta H. La stessa ripartizione di tutte le colture irrigue in tre grandi classi è</p> |

| | |
|-------------------------------|---|
| | <p>potenzialmente migliorabile, tramite nuove sperimentazioni in grado di mettere in relazione altezza di falda e produzione su altre colture. Si pensi ad esempio al vigneto, in passato considerato coltura non irrigua, e alla sua attuale diffusione ed importanza economica.</p> <p>Per quanto riguarda il Piano di lavoro, era stato anche prevista una prima stima dei benefici legati all'innalzamento della falda, di tipo non solo economico – produttivo, ma anche ecologico, come, ad esempio, il contributo al mantenimento di fasce tampone boscate in prossimità dei canali irrigui. In realtà, in base a valutazioni intervenute anche con CNR-Ibimet, si è ritenuto non avere allo stato attuale sufficienti elementi per attribuire, anche in maniera approssimativa, un valore a questo servizio ecosistemico.</p> |
| Attività ancora da realizzare | Tutte le fasi dell'Azione 3.4 sono state completate. |

2.2.1. Personale Azione 3

PERSONALE CER

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|------------------|
| | Personale di concetto | Realizzazione | 214,09 | 5.564,70 |
| | Ricercatore quadro preposto | Realizzazione | 331,75 | 13.127,14 |
| | Personale di concetto | Realizzazione | 252,43 | 5.262,52 |
| | Impiegato direttivo | Realizzazione | 209,22 | 6.755,29 |
| | Operaio avventizio | Realizzazione | 133 | 1.808,80 |
| | | | Totale | 32.518,45 |

PERSONALE DICAM

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|----------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| | Professore Ordinario | Realizzazione | 50 | 3.168,50 |
| | Ricercatore | Realizzazione | 58 | 1.838,02 |
| | | | Totale | 5.006,52 |

PERSONALE CNR-IBIMET

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|---------------------|-----------------------------|-----|-------|
|----------------|---------------------|-----------------------------|-----|-------|

| | | | | |
|--|-------------|---------------|---------------|-----------|
| | Ricercatore | Realizzazione | 304 | 10.668,73 |
| | | | Totale | 10.668,73 |

PERSONALE VISENTINI

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|---------------------|-----------------------------|---------------|----------|
| | Ricercatore | Realizzazione | 84 | 2.841,72 |
| | | | Totale | 2.841,72 |

PERSONALE AZ. AGR. CREMONINI

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|---------------------|-----------------------------|---------------|----------|
| | Tecnico | Realizzazione | 76,5 | 1.209,12 |
| | | | Totale | 1.209,12 |

2.2.2. Trasferte

CER

| Cognome e nome | Descrizione | Costo |
|----------------|---|---------------|
| | Missione per visita stazioni falda con formule non congruenti e per verifica letture in stazioni falda selezionate per applicazione formula, per installazione strumenti e monitoraggio parametri e per scelta piante, installazione strumenti e monitoraggio parametri | 884,37 |
| | Missione per visita stazioni falda con formule non congruenti e per verifica letture in stazioni falda selezionate per applicazione formula e per installazione strumenti e monitoraggio parametri | 287,19 |
| | Missione per installazione strumenti e monitoraggio parametri e per scelta piante, installazione strumenti e monitoraggio parametri | 41,32 |
| | | Totale |
| | | 1.212,88 |

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il DICAM

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il CNR IBIMET

2.2.4. Spese per materiale durevole e attrezzature

| Fornitore | Descrizione dell'attrezzatura | Costo |
|------------------|--|-----------------|
| Ecosearch s.r.l. | Acquisitori dati per misure del livello di falda | 1.522,53 |
| Totale: | | 1.522,53 |

2.2.5. Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE – SOCIETÀ

| Ragione sociale della società di consulenza | Referente | Importo contratto | Attività realizzate / ruolo nel progetto | Costo € |
|---|-----------|--|--|-----------|
| Altavia s.r.l. | | € 109.500,00 di cui rendicontate 7.200,00 | Implementazione formule in applicativo Faldanet e test funzionamento - Implementazione modello in applicativo irrinet/Irriframe e test funzionamento | 7.200,00 |
| Agromet s.r.l. | | € 19.999,46 di cui rendicontate 2.000,00 | Realizzazione formule, analisi con indicatori statistici e validazione stazioni falda | 2.000,00 |
| | | € 2.000,00 di cui rendicontate 2.000,00 | Collaborazione | 2.000,00 |
| Agromet s.r.l. | | € 19.999,46 di cui rendicontate 392,00 | Realizzazione formule, analisi con indicatori statistici e validazione stazioni falda | 392,00 |
| | | € 2.000,00 di cui rendicontate 2.000,00 | Collaborazione | 2.000,00 |
| Altavia s.r.l. | | € 109.500,00 di cui rendicontate 12.000,00 | Implementazione formule in applicativo Faldanet e test funzionamento - Implementazione modello in applicativo irrinet/Irriframe e test funzionamento | 12.000,00 |
| Altavia s.r.l. | | € 109.500,00 di cui rendicontate 5.725,00 | Implementazione formule in applicativo Faldanet e test funzionamento - Implementazione modello in applicativo irrinet/Irriframe e test funzionamento | 5.725,00 |
| | | € 3.000,00 di cui rendicontate 3.000,00 | Collaborazione | 3.000,00 |

| | |
|-----------------|------------------|
| Totale € | 34.317,00 |
|-----------------|------------------|

2.3 AZIONE 4

2.3.1. Attività e risultati Azione 4

| Azione 4 | Piano di divulgazione di trasferimento dei risultati e implementazione della rete PEI | | | | | | | | |
|------------------------------|--|---|------------------|------------------|--|---|---|------------------|------------------|
| Unità aziendale responsabile | CER | | | | | | | | |
| Descrizione attività | <p>E' stata pubblicata un'apposita pagina sul sito web dell'ente capofila, dedicata esclusivamente al piano, ove sono saranno pubblicati i risultati del progetto. Sono stati realizzati due tutoriali: "Posa e lettura dei piezometri, anche mediante l'uso di dispositivi elettronici e sensori" e "Uso di Faldanet".</p> <p>Inoltre sono stati realizzati:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 video da utilizzare all'interno dell'informazione televisiva (servizio tg) (RAI 3 TGR maggio 2017; Ottobre 2017; Nettuno TV Marzo 2018). - 3 video da utilizzare all'interno dell'informazione televisiva specialistica o di settore (tipo redazionale) (Telesanterno Maggio 2017; Nettuno TV Agosto 2017, Nettuno TV Marzo 2018) <p>Tutto il materiale audiovisivo è in fase di caricamento sul sito del Consorzio CER, attraverso il canale YouTube dedicato con lo scopo di amplificare il messaggio veicolato dall'intero Piano, aumentandone la ricaduta sia territoriale, sia coinvolgendo categorie di fruitori più avvezzi a questi mezzi di comunicazione assai differenti e più immediati rispetto ai tradizionali manuali cartacei.</p> <p>Sono stati progettati e realizzati n.5 appositi pannelli illustrativi del progetto, uno per ogni sito ed uno in caso di danneggiamento di quelli installati, per permettere una diffusione dell'impegno dei partner e della Regione anche con metodi tradizionali e a livello locale, dando particolare risalto all'impegno concreto e territoriale.</p> <p>Per enfatizzare e diffondere con più chiarezza ed ad un numero più ampio possibile di persone interessate (stakeholder) i risultati ottenuti dal progetto sul risparmio idrico e il miglioramento dell'efficienza delle reti irrigue , è stato realizzato un video con lo scopo di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - illustrare l'effetto benefico della falda sulle colture e istruire l'agricoltore sui benefici per la propria azienda, derivati dall'utilizzo dell'acqua della falda ipodermica da parte delle colture in atto - illustrare l'azione 2 e i risultati ottenuti dalla stessa. <p>Sono stati pubblicati due articoli: Uso sostenibile dell'acqua, il Cer in prima linea (Agricoltura 3/2017); Le nuove frontiere dell'acqua a Macfrut (Agricoltura 4/2017)</p> <p>Tabella 1 – Descrizione sintetica delle iniziative di divulgazione svolte dal 1 aprile 2016 al 31marzo 2019 GO 5005237</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 30%;">Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale</th> <th style="width: 30%;">Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale</th> <th style="width: 10%;">Titolo (Provi</th> <th style="width: 15%;">Titolo (Provi</th> </tr> </thead> </table> | | | | | Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale | Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale | Titolo (Provi | Titolo (Provi |
| | Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale | Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale | Titolo (Provi | Titolo (Provi | | | | | |

| | | CRPV) | CRPV) | data, n. presen ze, link portal e CRPV) | data, n. presen ze, link portal e CRPV) |
|---|---|--|---|---|---|
| | Incontri tecnici | Metodi di rilievo delle perdite da canale BO 16-10-2018 (?) FALDAIncontro16ott18BO | L'irrigazione come strumento di lotta alla risalita del cuneo salino nella falda ipodermica RA 17-11-2018 (no) FALDAIncontro17nov18RA | | |
| | Visite guidate | Bilancio idrico territoriale e influsso del riempimento dei canali sulla risposta irrigua FE 17-10-2018 (?) FALDAVisita17ott18FE | | | |
| | Pubblicazioni | Uso sostenibile dell'acqua, il CER è in prima linea (Rivista Agricoltura 3/2017) FALDARivistaAgricolturaMarzo2017 | Le nuove frontiere dell'acqua a Macfrut (Rivista Agricoltura 4/2017) FALDARivistaAgricolturaMarzoAprile2018 | | |
| | Tutta la documentazione relativa alle locandine prodotte e diffuse ed i fogli firma registrati in occasione delle diverse iniziative riportate in tabella 1, sono disponibili presso il CRPV. Le locandine delle visite guidate, degli incontri tecnici e le pubblicazioni sono invece disponibili al link incluso nella tabella 1 . | | | | |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | Le attività previste ed illustrate nella cella soprastante sono state realizzate. La pubblicazione dei materiali sarà un processo continuo che proseguirà oltre la fine del piano. Per velocizzare il sistema di messa in onda sarebbe stato opportuno prevedere il finanziamento anche dei costi di messa in onda. | | | | |

| | |
|-------------------------------|--|
| Attività ancora da realizzare | |
|-------------------------------|--|

2.3.2. Personale Azione 4

PERSONALE CER

| Cognome e nome | Mansione/qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|---|---------------|-----------------|
| | Personale di concetto | Realizzazione materiale illustrativo e promozionale - svolgimento attività dimostrativa | 30,5 | 792,04 |
| | Ricercatore Quadro preposto | Realizzazione materiale illustrativo e promozionale - svolgimento attività dimostrativa | 21,25 | 846,25 |
| | | | Totale | 1.638,29 |

Personale CRPV

| Cognome e nome | Mansione/qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|--------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| | Segreteria | Segreteria | 4 | 99,80 |
| | Tecnico | Divulgazione | 8 | 402,80 |
| | Tecnico | Divulgazione | 12 | 301,08 |
| | Tecnico | Divulgazione | 8 | 222,32 |
| | | | Totale | 1.026,00 |

2.3.3. Trasferte

Nessuna spesa di trasferta prevista per il CER

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il CRPV

2.3.4. Materiale consumabile

Sono state sostenute tutte le spese nella rendicontazione intermedia.

2.3.5. Attività di formazione

CRPV

E' stata sostenuta l'attività di formazione, con il seminario "Installazione di piezometri per il monitoraggio della falda ipodermica, misurazione e interpretazione del dato" – Domanda di sostegno 5005305.

2.3.6. Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE – SOCIETÀ

| Ragione sociale della società di consulenza | Referente | Importo contratto | Attività realizzate / ruolo nel progetto | Costo € |
|---|-----------|--|--|------------------|
| | | € 81.000,00 di cui rendicontate 1.200,00 | Riprese e montaggio video | 1.200,00 |
| | | € 81.000,00 di cui rendicontate 8.900,00 | Riprese e montaggio video | 8.900,00 |
| Totale € | | | | 10.100,00 |

3. Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

| | |
|---|---------|
| Criticità tecnico-scientifiche | NESSUNA |
| Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.) | NESSUNA |
| Criticità finanziarie | NESSUNA |

4. Altre informazioni

Molte della attività previste nel progetto sono state svolte con protocolli di comunicazione via web che hanno reso necessario un maggior numero di ore di lavoro d'ufficio per la programmazione. Questo però ha consentito di ridurre il numero di trasferte necessarie per il coordinamento e per la raccolta dei dati in campo.

5. Considerazioni finali

/

Data 27 maggio 2019

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

dott. Massimiliano Pederzoli

firmato digitalmente

Piano “Gestione della rete di misura della falda ipodermica in funzione delle precipitazioni e del sostegno dei canali della rete dei Consorzi di Bonifica” – Domanda di sostegno 5005237.

RELAZIONE TECNICA FINALE: ALLEGATI

Azione 3.1: Riorganizzazione della rete di rilievo regionale della falda ipodermica tramite l'utilizzo di formule ARPAE-SIMC.

ALLEGATO 1

| NOME | DESCRIZIONE | NOTE |
|--------------------|--|--|
| STAZIONE | Sigla identificativa stazione falda | |
| NR_OBS_DATA | Numero di letture reali di altezza di falda utilizzabili dalla formula ARPAE | |
| ALPHA | Parametro 1 di calcolo utilizzato all'interno della formula ARPAE | Valore -9999: impossibilità di previsione del livello di falda con la formula sulla specifica stazione |
| H0 | Parametro 2 di calcolo utilizzato all'interno della formula ARPAE | |
| NR_DAYS | Parametro 3 di calcolo utilizzato all'interno della formula ARPAE | |
| R2 | Coefficiente di determinazione statistica | |
| RMSE | Errore quadratico medio | |
| EF | Indice di Efficienza | In Greenwood, 1985. Descritto in All.4 |
| CER_index | Indice CER | Descritto in relazione tecnica |

Tabella 1: Metadati tabella “Stazione falda x parametri”

| NOME | DESCRIZIONE | Note |
|-----------------|---|--|
| STAZIONE | Sigla identificativa stazione falda | |
| CLASSE | Classe di attendibilità statistica della previsione del livello di falda operata dalla formula ARPAE per la stazione presa in esame. Livello di attendibilità decrescente da Superwells a Livello 3 | Nomenclatura: SW = Superwells; 1 = Livello 1; 2 = Livello 2; 3 = Livello 3; Q301 = piezometro sempre secco |

Tabella 2: Metadati tabella “Stazione falda x classi attendibilità”

| CLASSE | Osservazioni | R2 | RMSE | EF | CER INDEX |
|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Super Wells | 50 o > | 0.66 o > | 30 o < | 0.45 o > | 0.5 o > |
| Livello 1 | 50 o > | 0.5 o > | 40 o < | 0.25 o > | 0.4 o > |
| Livello 2 | 50 o > | 0.3 o > | 50 o < | 0 | 0.3 o > |
| Livello 3 | Qualunque | Qualunque | Qualunque | Qualunque | Qualunque |

Tabella 3: Valori soglia minimi dei parametri statistici per l'accesso a ciascuna classe

Tabella “Stazione falda x parametri”

| NAME | NR_OBS_DATA | ALPHA | H0 | NR_DAYS | R2 | RMSE | EF | CER_index |
|------|-------------|-------|-------|---------|------|------|-------|-----------|
| 01FC | 209 | -1,69 | 257 | 650 | 0,42 | 27,1 | 0,23 | 0,88 |
| 01FE | 332 | -3,52 | 211,7 | 430 | 0,62 | 36,5 | 0,45 | 0,65 |
| 01PC | 336 | -1,42 | 119,2 | 140 | 0,5 | 20,2 | 0,18 | 0,59 |
| 01PR | 296 | -4,17 | 188,2 | 430 | 0,65 | 46,5 | 0,53 | 0,52 |
| 01RE | 359 | -3,66 | 185,2 | 260 | 0,65 | 43,4 | 0,4 | 0,46 |
| 02BO | 210 | -3,82 | 184,8 | 730 | 0,74 | 33,6 | 0,65 | 0,58 |
| 02FC | 296 | -2,52 | 178,4 | 280 | 0,56 | 34,9 | 0,24 | 0,53 |
| 02FE | 363 | -2,51 | 198,7 | 250 | 0,61 | 30,6 | 0,11 | 0,68 |
| 02MO | 296 | -3,49 | 174,3 | 570 | 0,69 | 37,7 | 0,27 | 0,42 |
| 02PC | 286 | -2,27 | 234,2 | 480 | 0,55 | 39,4 | 0,51 | 0,72 |
| 02PR | 283 | -3,19 | 169,9 | 590 | 0,68 | 37,1 | 0,57 | 0,46 |
| 02RA | 328 | -2,24 | 199 | 560 | 0,47 | 41,8 | 0,31 | 0,59 |
| 02RE | 415 | -0,82 | 91,3 | 730 | 0,16 | 39,2 | 0,04 | 0,29 |
| 02RN | 353 | -1,94 | 50,6 | 110 | 0,78 | 9,9 | 0,52 | 0,8 |
| 03FE | 399 | -4,21 | 156,2 | 570 | 0,64 | 49,8 | 0,27 | 0,42 |
| 03PC | 296 | -1,7 | 188 | 250 | 0,55 | 30,4 | 0,3 | 0,6 |
| 03PR | 158 | -3,39 | 162,2 | 190 | 0,5 | 56,3 | 0,14 | 0,3 |
| 03RA | 414 | -3,25 | 124,7 | 570 | 0,85 | 24,2 | 0,65 | 0,59 |
| 04BO | 165 | -3,97 | 230,5 | 680 | 0,61 | 49,4 | 0,34 | 0,5 |
| 04FC | 263 | -3,12 | 219,4 | 610 | 0,54 | 44,1 | 0,37 | 0,59 |
| 04FE | 251 | -2,92 | 212,7 | 420 | 0,71 | 27,8 | 0,28 | 0,66 |
| 04PC | 304 | -1,88 | 191,7 | 430 | 0,37 | 43,2 | 0,3 | 0,49 |
| 04PR | 332 | -4 | 144,8 | 240 | 0,75 | 41,6 | 0,44 | 0,52 |
| 04RA | 176 | -4,31 | 255,1 | 720 | 0,78 | 27,4 | 0,54 | 0,69 |
| 04RE | 420 | -4,02 | 166,8 | 380 | 0,6 | 49,6 | 0,35 | 0,42 |
| 05BO | 237 | -3,26 | 173,2 | 230 | 0,48 | 47,3 | 0,08 | 0,39 |
| 05FC | 225 | -1,52 | 257,2 | 180 | 0,23 | 34,7 | 0,14 | 0,92 |
| 05FE | 413 | -2,21 | 164,2 | 390 | 0,32 | 37,4 | -0,05 | 0,49 |
| 05MO | 348 | -2,8 | 164,5 | 260 | 0,54 | 42,5 | 0,21 | 0,37 |
| 05PC | 249 | -2,24 | 172,9 | 550 | 0,56 | 39 | 0,31 | 0,44 |
| 05RA | 396 | -2,75 | 128,1 | 250 | 0,74 | 27,2 | 0,39 | 0,52 |
| 05RE | 355 | -3,52 | 151 | 230 | 0,65 | 40,9 | 0,21 | 0,42 |
| 06BO | 346 | -3,41 | 161,2 | 620 | 0,78 | 36,3 | 0,53 | 0,52 |
| 06FC | 309 | -3,1 | 186,4 | 260 | 0,61 | 41,2 | 0,34 | 0,53 |
| 06MO | 419 | -2,19 | 99 | 230 | 0,57 | 31,6 | 0,19 | 0,44 |
| 06PC | 186 | -1,9 | 204,4 | 170 | 0,43 | 38,2 | 0,04 | 0,67 |
| 06RE | 405 | -2,98 | 157,9 | 330 | 0,61 | 36 | 0,36 | 0,46 |
| 07BO | 222 | -2,38 | 210,7 | 250 | 0,27 | 61,9 | -0,04 | 0,43 |
| 07FC | 343 | -2,2 | 160,7 | 220 | 0,55 | 31,6 | 0,23 | 0,49 |
| 07FE | 414 | -2,34 | 157,2 | 670 | 0,69 | 26,7 | 0,51 | 0,63 |
| 07MO | 329 | -2,28 | 104 | 170 | 0,54 | 31,7 | 0,19 | 0,46 |
| 07PC | 299 | -2,13 | 197,1 | 420 | 0,51 | 35,8 | 0,38 | 0,58 |

| NAME | NR_OBS_DATA | ALPHA | H0 | NR_DAYS | R2 | RMSE | EF | CER_index |
|------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-----------|
| 07RA | 31 | 1,33 | 214,1 | 730 | 0,2 | 43,7 | -9999 | 0,84 |
| 07RE | 215 | -3,65 | 187 | 270 | 0,53 | 54,9 | 0,26 | 0,41 |
| 08BO | 122 | -2,47 | 167,2 | 650 | 0,36 | 53,6 | -0,23 | 0,33 |
| 08FE | 359 | -2,38 | 166,4 | 290 | 0,47 | 34,5 | 0,11 | 0,49 |
| 08PR | 21 | -3,21 | 203,3 | 140 | 0,43 | 20,9 | -9999 | 0,67 |
| 08RA | 17 | 1,78 | 267,2 | 90 | 0,1 | 52,2 | -9999 | 0,94 |
| 09BO | 434 | -2,74 | 135,5 | 290 | 0,55 | 45,1 | 0,22 | 0,35 |
| 09MO | 278 | -3,88 | 209,7 | 610 | 0,66 | 40,8 | 0,33 | 0,54 |
| 09PR | 83 | -2,79 | 205,1 | 690 | 0,73 | 18,6 | 0,54 | 0,81 |
| 09RA | 360 | -2,68 | 190,2 | 290 | 0,75 | 27,8 | 0,45 | 0,62 |
| 09RE | 17 | -5,02 | 292,9 | 730 | 0,44 | 67,6 | -9999 | 0,41 |
| 10FC | 324 | -2,85 | 174,6 | 250 | 0,71 | 29 | 0,21 | 0,59 |
| 10FE | 392 | -3,7 | 217,2 | 640 | 0,73 | 37,8 | 0,54 | 0,56 |
| 10MO | 368 | -2,38 | 111,4 | 220 | 0,63 | 30,9 | 0,33 | 0,51 |
| 10PC | 61 | -3,73 | 198,5 | 410 | 0,57 | 35,5 | 0,03 | 0,61 |
| 10PR | 0 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 |
| 10RA | 372 | -3,46 | 151,2 | 680 | 0,72 | 36,2 | 0,52 | 0,51 |
| 10RE | 352 | -2,67 | 106 | 500 | 0,66 | 35,6 | 0,53 | 0,45 |
| 11BO | 271 | -2,19 | 114,8 | 220 | 0,61 | 29 | 0,16 | 0,52 |
| 11FC | 282 | -2,82 | 165 | 230 | 0,83 | 21,1 | 0,49 | 0,69 |
| 11MO | 366 | -2,2 | 138,7 | 250 | 0,46 | 40,8 | 0,17 | 0,34 |
| 11PC | 0 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 |
| 11PR | 0 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 | -9999 |
| 12BO | 201 | -3,32 | 175,1 | 470 | 0,53 | 56 | 0,25 | 0,32 |
| 12FC | 123 | -3,73 | 205,6 | 320 | 0,8 | 25,1 | 0,61 | 0,66 |
| 12FE | 412 | -2,85 | 127,9 | 200 | 0,71 | 26,6 | 0,25 | 0,54 |
| 12MO | 175 | -5,38 | 259,7 | 600 | 0,69 | 41,4 | 0,44 | 0,51 |
| 12RA | 100 | -2,24 | 259,7 | 730 | 0,15 | 49,7 | -9999 | 0,75 |
| 12RE | 323 | -4,33 | 139,9 | 210 | 0,83 | 32,8 | 0,34 | 0,54 |
| 12PR | 46 | -0,66 | 169 | 170 | 0,24 | 16 | -0,41 | 0,85 |
| 13FC | 94 | -5 | 227,3 | 220 | 0,7 | 41,5 | -9999 | 0,54 |
| 13FE | 429 | -1,25 | 108 | 240 | 0,5 | 20,1 | 0,22 | 0,55 |
| 13MO | 461 | -3,33 | 113,3 | 510 | 0,58 | 40,4 | 0,33 | 0,39 |
| 13RA | 385 | -1,65 | 148,5 | 300 | 0,41 | 34,7 | 0,17 | 0,5 |
| 14BO | 370 | -1,95 | 110,4 | 300 | 0,66 | 23,5 | 0,33 | 0,55 |
| 14FE | 421 | -1,22 | 170,4 | 390 | 0,33 | 22,7 | 0,11 | 0,64 |
| 14MO | 161 | -3,59 | 187,8 | 230 | 0,49 | 51,2 | 0,15 | 0,36 |
| 14RA | 399 | -2,13 | 123 | 240 | 0,63 | 27,8 | 0,3 | 0,53 |
| 14RE | 49 | -4,91 | 252,3 | 720 | 0,82 | 28,7 | -9999 | 0,49 |
| 15FC | 16 | -3,01 | 124,5 | 730 | 0,48 | 38,6 | -9999 | 0,19 |
| 15RA | 148 | -2,79 | 249,1 | 660 | 0,71 | 23,5 | 0,51 | 0,79 |
| 15RE | 316 | -2,26 | 176,7 | 300 | 0,76 | 21,6 | 0,5 | 0,71 |
| 16MO | 374 | -1,2 | 114,3 | 220 | 0,19 | 41,9 | 0,01 | 0,34 |
| 16RA | 418 | -3,18 | 159,3 | 340 | 0,76 | 28,6 | 0,49 | 0,6 |

| NAME | NR_OBS_DATA | ALPHA | H0 | NR_DAYS | R2 | RMSE | EF | CER_index |
|------|-------------|-------|-------|---------|------|------|-------|-----------|
| 17MO | 347 | -2,56 | 85,4 | 210 | 0,55 | 38,3 | 0,19 | 0,43 |
| 17RA | 370 | -3,27 | 149,4 | 690 | 0,78 | 30,1 | 0,59 | 0,5 |
| 17RE | 76 | -4,5 | 144,5 | 190 | 0,77 | 27,8 | 0,41 | 0,43 |
| 18FE | 408 | -0,89 | 80,8 | 420 | 0,36 | 19,7 | 0,19 | 0,5 |
| 18MO | 347 | -2,32 | 156,8 | 730 | 0,71 | 26,2 | 0,57 | 0,54 |
| 18RA | 365 | -3,14 | 148,8 | 290 | 0,8 | 27,4 | 0,57 | 0,58 |
| 18RE | 13 | -7,41 | 214 | 730 | 0,94 | 14,7 | -9999 | 0,77 |
| 19BO | 714 | -3,25 | 159,4 | 460 | 0,71 | 27,6 | 0,49 | 0,59 |
| 19FE | 295 | -1,47 | 178 | 380 | 0,46 | 22,8 | 0,15 | 0,66 |
| 19MO | 319 | -2,12 | 170,3 | 660 | 0,73 | 23,2 | 0,51 | 0,63 |
| 19RA | 216 | -3,34 | 141,3 | 410 | 0,86 | 20,9 | 0,72 | 0,65 |
| 19RE | 66 | -3,95 | 189,4 | 460 | 0,85 | 23,9 | -9999 | 0,62 |
| 20FE | 427 | -0,84 | 94 | 390 | 0,33 | 18 | 0,23 | 0,45 |
| 20MO | 374 | -2,78 | 155,4 | 620 | 0,41 | 57,9 | 0,13 | 0,26 |
| 20RA | 130 | -2,17 | 252,2 | 260 | 0,55 | 26,8 | -9999 | 0,85 |
| 20RE | 50 | -3,95 | 144,2 | 310 | 0,67 | 34,7 | -9999 | 0,46 |
| 21BO | 191 | -2,53 | 221 | 260 | 0,46 | 49 | 0,12 | 0,65 |
| 21MO | 416 | -3,33 | 136,4 | 310 | 0,68 | 37 | 0,35 | 0,41 |
| 21RA | 264 | -1,62 | 181,2 | 730 | 0,51 | 28,5 | 0,41 | 0,63 |
| 22MO | 305 | -5,16 | 196 | 330 | 0,65 | 48,4 | 0,42 | 0,39 |
| 23BO | 164 | -0,78 | 250,7 | 640 | 0,15 | 38,1 | -0,08 | 0,87 |
| 23FE | 111 | -1,01 | 134,9 | 350 | 0,33 | 15,4 | -0,16 | 0,65 |
| 23RA | 99 | -2,24 | 154,9 | 550 | 0,81 | 21,9 | 0,7 | 0,71 |
| 24FE | 411 | -0,28 | 110,9 | 180 | 0 | 37,7 | -0,06 | 0,42 |
| 24MO | 344 | -2,72 | 98,4 | 450 | 0,83 | 17,6 | 0,67 | 0,65 |
| 24RA | 24 | -2,68 | 179 | 250 | 0,47 | 30,2 | -9999 | 0,46 |
| 25BO | 364 | -2,97 | 190,3 | 670 | 0,79 | 29,4 | 0,51 | 0,63 |
| 25FE | 301 | -2,34 | 140,3 | 470 | 0,62 | 28,9 | 0,45 | 0,52 |
| 25MO | 420 | -2,62 | 113,3 | 440 | 0,65 | 26,8 | 0,42 | 0,47 |
| 26FE | 250 | 1,44 | 113,1 | 90 | 0,11 | 23,4 | -0,08 | 0,5 |
| 26MO | 172 | -2,67 | 232,2 | 520 | 0,7 | 26,1 | 0,57 | 0,78 |
| 27BO | 347 | -3,27 | 188,8 | 630 | 0,76 | 33,6 | 0,57 | 0,6 |
| 27FE | 187 | 0,49 | 112,3 | 90 | 0,03 | 18,1 | -0,11 | 0,54 |
| 27MO | 307 | -3,3 | 134,6 | 270 | 0,67 | 39,1 | 0,31 | 0,43 |
| 28BO | 167 | -3,98 | 205,9 | 250 | 0,81 | 34,7 | 0,49 | 0,56 |
| 28FE | 344 | -1,46 | 118,2 | 220 | 0,5 | 23,8 | 0,02 | 0,6 |
| 29FE | 274 | -1,66 | 130,2 | 360 | 0,76 | 15,6 | 0,54 | 0,66 |
| 30MO | 50 | -3,23 | 187 | 280 | 0,76 | 33 | -2,94 | 0,7 |
| 31FE | 293 | -0,96 | 175,3 | 370 | 0,27 | 22,4 | 0,15 | 0,65 |
| 32BO | 105 | -1,94 | 261,1 | 730 | 0,3 | 56,7 | 0,18 | 0,65 |
| 32FE | 270 | -1,99 | 187 | 690 | 0,7 | 25,8 | 0,61 | 0,73 |
| 33BO | 126 | -3,02 | 178 | 610 | 0,81 | 29,7 | 0,29 | 0,6 |
| 34BO | 90 | -2,9 | 196,2 | 250 | 0,69 | 34,6 | -9999 | 0,61 |
| 34FE | 224 | -2,58 | 196,9 | 280 | 0,41 | 41,2 | -0,16 | 0,43 |
| 35BO | 59 | -3,12 | 149,3 | 210 | 0,95 | 13,6 | -9999 | 0,73 |
| 35FE | 175 | 0,09 | 61,1 | 730 | 0,14 | 21,7 | -0,15 | 0,57 |
| 36FE | 58 | -3,42 | 134,8 | 240 | 0,86 | 19,8 | -9999 | 0,47 |

Tabella “Stazione falda x classi attendibilità”

| STAZIONE | CLASSE |
|----------|--------|
| 01FC | 2LVL |
| 01FE | 1LVL |
| 01PC | 2LVL |
| 01PR | 2LVL |
| 01RE | 2LVL |
| 02FE | 2LVL |
| 02MO | 1LVL |
| 02PC | 1LVL |
| 02PR | 1LVL |
| 02RA | 2LVL |
| 02RE | 3LVL |
| 02RN | SW |
| 03FE | 2LVL |
| 03PC | 1LVL |
| 03PR | 3LVL |
| 03RA | SW |
| 04BO | 2LVL |
| 04FC | 2LVL |
| 04FE | 1LVL |
| 04PC | 2LVL |
| 04PR | 2LVL |
| 04RA | SW |
| 04RE | 2LVL |
| 05BO | 2LVL |
| 05FC | 3LVL |
| 05FE | 3LVL |
| 05MO | 2LVL |
| 05PC | 1LVL |
| 05RA | 1LVL |
| 05RE | 2LVL |
| 06BO | 1LVL |
| 06FC | 2LVL |
| 06MO | 2LVL |
| 06PC | 2LVL |
| 06RE | 1LVL |
| 07BO | 3LVL |
| 07FC | 1LVL |
| 07FE | SW |
| 07MO | 2LVL |
| 07PC | 1LVL |
| 07RA | 3LVL |
| 07RE | 3LVL |

| STAZIONE | CLASSE |
|----------|--------|
| 08BO | 3LVL |
| 08FE | 2LVL |
| 08PR | 3LVL |
| 08RA | 3LVL |
| 09BO | 2LVL |
| 09PR | SW |
| 09RA | SW |
| 09RE | 3LVL |
| 10FC | 1LVL |
| 10FE | 1LVL |
| 10MO | 1LVL |
| 10PC | 2LVL |
| 10RA | 1LVL |
| 10RE | 1LVL |
| 11BO | 2LVL |
| 11FC | SW |
| 11MO | 2LVL |
| 11PC | Q301 |
| 12BO | 3LVL |
| 12FC | SW |
| 12FE | 1LVL |
| 12MO | 2LVL |
| 12RA | 3LVL |
| 12RE | 1LVL |
| 12PR | 3LVL |
| 13FC | 2LVL |
| 13FE | 2LVL |
| 13MO | 2LVL |
| 13RA | 2LVL |
| 14BO | 1LVL |
| 14FE | 2LVL |
| 14MO | 3LVL |
| 14RA | 1LVL |
| 14RE | 3LVL |
| 15FC | 3LVL |
| 15RA | SW |
| 15RE | SW |
| 16MO | 3LVL |
| 16RA | SW |
| 17MO | 2LVL |
| 17RA | 1LVL |
| 17RE | 1LVL |

| STAZIONE | CLASSE |
|----------|--------|
| 18FE | 2LVL |
| 18MO | SW |
| 18RA | SW |
| 18RE | 3LVL |
| 19BO | SW |
| 19RA | SW |
| 19RE | SW |
| 20FE | 2LVL |
| 20MO | 3LVL |
| 20RA | 1LVL |
| 20RE | 3LVL |
| 21BO | 2LVL |
| 21MO | 1LVL |
| 21RA | 1LVL |
| 22MO | 2LVL |
| 23BO | 3LVL |
| 23FE | 3LVL |
| 23RA | SW |
| 24FE | 3LVL |
| 24MO | SW |
| 24RA | 3LVL |
| 25BO | SW |
| 25FE | SW |
| 25MO | 1LVL |
| 26FE | 3LVL |
| 26MO | SW |
| 27BO | 1LVL |
| 27FE | 3LVL |
| 27MO | 1LVL |
| 28BO | 1LVL |
| 28FE | 2LVL |
| 30MO | 3LVL |
| 31FE | 3LVL |
| 32BO | 3LVL |
| 32FE | SW |
| 33BO | 1LVL |
| 34BO | 1LVL |
| 34FE | 3LVL |
| 35BO | SW |
| 35FE | 3LVL |
| 36FE | 1LVL |

ALLEGATO 2

| NOME | DESCRIZIONE |
|------------------|---|
| STAZIONE | Sigla identificativa stazione falda per ogni provincia |
| CLASSE | Classe di attendibilità in relazione all' algoritmo di previsione di ARPAE. SW = SuperWells; 1 LVL = siti di primo livello; Q301 = siti sempre asciutti entro 3 m di profondità |
| PROV | Provincia in cui ricade la stazione |
| CONSORZIO | Consorzio di Bonifica incaricato delle letture |

Tabella 4: Metadati tabella “Elenco stazioni falda prescelte per l’ esecuzione di letture manuali diradate di controllo dell’ algoritmo ARPAE”.

Tabella “Elenco stazioni falda prescelte per l’ esecuzione di letture manuali diradate di controllo dell’ algoritmo ARPAE”

| ID_SITO | CLASSE | PROV | CONSORZIO |
|---------|--------|------|-------------------|
| 02PC | 1LVL | PC | Bonifica Piacenza |
| 03PC | 1LVL | PC | Bonifica Piacenza |
| 05PC | 1LVL | PC | Bonifica Piacenza |
| 07PC | 1LVL | PC | Bonifica Piacenza |
| 11PC | Q301 | PC | Bonifica Piacenza |
| 02PR | 1LVL | PR | Bonifica Parmense |
| 09PR | SW | PR | Bonifica Parmense |
| 06RE | 1LVL | RE | Emilia Centrale |
| 09RE | Q301 | RE | Emilia Centrale |
| 10RE | 1LVL | RE | Emilia Centrale |
| 12RE | 1LVL | RE | Emilia Centrale |
| 15RE | SW | RE | Emilia Centrale |
| 17RE | 1LVL | RE | Emilia Centrale |
| 07MO | 1LVL | MO | Emilia Centrale |
| 17MO | 1LVL | MO | Emilia Centrale |
| 19RE | SW | RE | Terre dei Gonzaga |

| ID_SITO | CLASSE | PROV | CONSORZIO |
|---------|--------|------|--------------------|
| 02MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 06MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 10MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 18MO | SW | MO | Bonifica Burana |
| 21MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 24MO | SW | MO | Bonifica Burana |
| 25MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 26MO | SW | MO | Bonifica Burana |
| 27MO | 1LVL | MO | Bonifica Burana |
| 06BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 14BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 25BO | SW | BO | Bonifica Renana |
| 27BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 28BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 33BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 34BO | 1LVL | BO | Bonifica Renana |
| 35BO | SW | BO | Bonifica Renana |
| 01FE | 1LVL | FE | Pianura di Ferrara |
| 04FE | 1LVL | FE | Pianura di Ferrara |
| 07FE | SW | FE | Pianura di Ferrara |
| 10FE | 1LVL | FE | Pianura di Ferrara |
| 12FE | 1LVL | FE | Pianura di Ferrara |
| 25FE | SW | FE | Pianura di Ferrara |
| 32FE | SW | FE | Pianura di Ferrara |
| 36FE | 1LVL | FE | Pianura di Ferrara |
| 19BO | SW | BO | CER |
| 03RA | SW | RA | CER |
| 04RA | SW | RA | CER |

| ID_SITO | CLASSE | PROV | CONSORZIO |
|---------|--------|------|------------------|
| 08RA | Q301 | RA | CER |
| 10RA | 1LVL | RA | CER |
| 15RA | SW | RA | CER |
| 16RA | SW | RA | CER |
| 18RA | SW | RA | CER |
| 19RA | SW | RA | CER |
| 23RA | SW | RA | CER |
| 05RA | 1LVL | RA | Bonifica Romagna |
| 09RA | SW | RA | Bonifica Romagna |
| 14RA | 1LVL | RA | Bonifica Romagna |
| 17RA | 1LVL | RA | Bonifica Romagna |
| 20RA | 1LVL | RA | Bonifica Romagna |
| 21RA | 1LVL | RA | Bonifica Romagna |
| 02FC | 1LVL | FC | Bonifica Romagna |
| 07FC | 1LVL | FC | Bonifica Romagna |
| 10FC | 1LVL | FC | Bonifica Romagna |
| 11FC | SW | FC | Bonifica Romagna |
| 12FC | SW | FC | Bonifica Romagna |
| 02RN | SW | RN | Bonifica Romagna |

Nota: i siti falda 06MO, 07MO e 17MO apparterrebbero di regola al 2 LVL, ma solo per un punto decimale: 0,19 contro 0,20 nel parametro statistico ritenuto meno probante (Efficiency Index + Nash). Si è pertanto ritenuto ammissibile promuoverli al livello superiore.

ALLEGATO 3

| NOME | DESCRIZIONE | NOTE |
|----------------------|---|--|
| STAZIONE | Sigla identificativa stazione falda | |
| CLASSE | Classe di attendibilità in relazione all'algoritmo di previsione di ARPAE. | SW = SuperWells; 1 LVL = siti di primo livello; Q301 = siti sempre asciutti entro 3 m di profondità |
| DISTANZA | Distanza in metri del sito falda da un corso d'acqua o canale irriguo | Canali di scolo non considerati |
| TESSITURA | Tessitura prevalente del suolo associato alla stazione falda, secondo 5 classi generali | G = grossolana (sabbie e sabbie franche); MG = moderatamente grossolana (franco sabbioso); M = media (franco, franco limoso, limoso); MF = moderatamente fine (franca argillosa, franca argillosa limosa); F = fine (argillosa limosa, argillosa). |
| USO DEL SUOLO | Uso del suolo associato alla stazione falda, secondo classi agronomiche generali. | |

Tabella 5: Metadati tabella "Stazioni falda x fattori di disturbo"

| STAZIONE | CLASSE | DISTANZA (m) | TESSITURA | USO DEL SUOLO |
|----------|--------|--------------|-----------|---------------------------------|
| 01FC | 2LVL | 180,3 | M | Seminativi avvicendati |
| 01FE | 1LVL | 109,3 | M | frutteti |
| 01PC | 2LVL | 960,8 | MF | prati avvicendati |
| 01PR | 2LVL | 1241,6 | MF | vigneti |
| 01RE | 2LVL | 106,7 | M | vigneti |
| 02FC | 1LVL | 1058,7 | MF | frutteti |
| 02FE | 2LVL | 120,5 | MF | frutteti |
| 02MO | 1LVL | 528,4 | M | frutteti |
| 02PC | 1LVL | 493,1 | F | Seminativi avvicendati |
| 02PR | 1LVL | 118,3 | M | prati avvicendati |
| 02RA | 2LVL | 119,7 | F | colture orticole in pieno campo |
| 02RE | 3LVL | 90,7 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 02RN | SW | 304,7 | G | colture orticole in pieno campo |
| 03FE | 2LVL | 276,1 | MF | frutteti |
| 03PC | 1LVL | 148,4 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 03PR | 3LVL | 66,9 | MF | prati avvicendati |
| 03RA | SW | 253,7 | MG | vigneti |
| 04BO | 2LVL | 761,9 | MF | Latifoglie |
| 04FC | 2LVL | 1579,4 | M | frutteti |
| 04FE | 1LVL | 761,8 | M | frutteti |

| STAZIONE | CLASSE | DISTANZA (m) | TESSITURA | USO DEL SUOLO |
|-----------------|---------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|
| 04PC | 2LVL | 61,9 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 04PR | 2LVL | 308,8 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 04RA | SW | 285,1 | M | vigneti |
| 04RE | 2LVL | 116,9 | M | vigneti |
| 05BO | 2LVL | 84,1 | M | frutteti |
| 05FC | 3LVL | 155,3 | M | frutteti |
| 05FE | 3LVL | 53,3 | MF | frutteti |
| 05MO | 2LVL | 405,9 | MF | frutteti |
| 05PC | 1LVL | 310,4 | M | Seminativi avvicendati |
| 05RA | 1LVL | 125,3 | MF | vigneti |
| 05RE | 2LVL | 15,5 | M | vigneti |
| 06BO | 1LVL | 875,8 | MF | Latifoglie |
| 06FC | 2LVL | 308,6 | MF | frutteti |
| 06MO | 2LVL | 95,3 | M | frutteti |
| 06PC | 2LVL | 147,8 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 06RE | 1LVL | 155,8 | MF | vigneti |
| 07BO | 3LVL | 426,7 | M | Altri utilizzi, incolti |
| 07FC | 1LVL | 541,9 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 07FE | SW | 521,6 | MG | frutteti |
| 07MO | 2LVL | 75,4 | MF | Latifoglie |
| 07PC | 1LVL | 134,3 | F | Seminativi avvicendati |
| 07RA | 3LVL | 130,5 | MF | frutteti |
| 07RE | 3LVL | 15,4 | M | vigneti |
| 08BO | 3LVL | 78,4 | M | Latifoglie |
| 08FE | 2LVL | 45,4 | F | Seminativi avvicendati |
| 08PR | 3LVL | 605,5 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 08RA | 3LVL | 97,3 | M | vigneti |
| 09BO | 2LVL | 242,9 | M | frutteti |
| 09MO | 2LVL | 982,7 | M | frutteti |
| 09PR | SW | 273,7 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 09RA | SW | 1444,3 | M | frutteti |
| 09RE | 3LVL | 266,4 | MF | colture orticole in pieno campo |
| 10FC | 1LVL | 160,7 | MF | frutteti |
| 10FE | 1LVL | 145,6 | M | frutteti |
| 10MO | 1LVL | 90,4 | M | frutteti |
| 10PC | 2LVL | 239,0 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 10RA | 1LVL | 148,1 | MF | vigneti |
| 10RE | 1LVL | 43,1 | M | vigneti |
| 11BO | 2LVL | 188,3 | M | vigneti |
| 11FC | SW | 203,2 | MG | frutteti |
| 11MO | 2LVL | 148,9 | MF | frutteti |
| 11PC | Q301 | 126,8 | M | frutteti |

| STAZIONE | CLASSE | DISTANZA (m) | TESSITURA | USO DEL SUOLO |
|-----------------|---------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|
| 12BO | 3LVL | 45,5 | MF | vigneti |
| 12FC | SW | 1030,4 | M | frutteti |
| 12FE | 1LVL | 417,7 | MF | frutteti |
| 12MO | 2LVL | 160,0 | M | frutteti |
| 12PR | 3LVL | 48,6 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 12RA | 3LVL | 788,5 | M | frutteti |
| 12RE | 1LVL | 88,3 | MF | vigneti |
| 13FC | 2LVL | 824,8 | MF | frutteti |
| 13FE | 2LVL | 193,0 | M | frutteti |
| 13MO | 2LVL | 247,6 | M | vigneti |
| 13RA | 2LVL | 395,0 | M | frutteti |
| 14BO | 1LVL | 537,8 | M | frutteti |
| 14FE | 2LVL | 127,2 | M | Altri utilizzi, incolti |
| 14MO | 3LVL | 110,5 | MF | frutteti |
| 14RA | 1LVL | 177,3 | M | vigneti |
| 14RE | 3LVL | 170,4 | MF | prati avvicendati |
| 15FC | 3LVL | 151,6 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 15RA | SW | 117,8 | F | vigneti |
| 15RE | SW | 39,6 | M | vigneti |
| 16MO | 3LVL | 84,3 | MF | frutteti |
| 16RA | SW | 217,0 | MG | vigneti |
| 17MO | 2LVL | 122,3 | MF | frutteti |
| 17RA | 1LVL | 307,4 | MG | vigneti |
| 17RE | 1LVL | 101,8 | F | vigneti |
| 18FE | 2LVL | 477,5 | O | Altri utilizzi, incolti |
| 18MO | SW | 23,0 | F | Seminativi avvicendati |
| 18RA | SW | 301,0 | MG | frutteti |
| 18RE | 3LVL | 246,6 | MF | vigneti |
| 19BO | SW | 506,3 | M | Seminativi avvicendati |
| 19FE | 2LVL | 38,8 | F | Latifoglie |
| 19RA | SW | 96,1 | M | frutteti |
| 19RE | SW | 487,9 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 20FE | 2LVL | 365,6 | G | colture orticole in pieno campo |
| 20MO | 3LVL | 114,4 | M | vigneti |
| 20RA | 1LVL | 439,9 | M | Altri utilizzi, incolti |
| 20RE | 3LVL | 53,4 | MF | vigneti |
| 21BO | 2LVL | 473,2 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 21MO | 1LVL | 81,8 | M | vigneti |
| 21RA | 1LVL | 173,2 | M | Altri utilizzi, incolti |
| 22MO | 2LVL | 223,8 | M | vigneti |
| 23BO | 3LVL | 79,0 | F | vigneti |
| 23FE | 3LVL | 214,4 | M | frutteti |
| 23RA | SW | 181,4 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 24FE | 3LVL | 408,6 | G | Latifoglie |

| STAZIONE | CLASSE | DISTANZA (m) | TESSITURA | USO DEL SUOLO |
|----------|--------|--------------|-----------|-------------------------|
| 24MO | SW | 19,1 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 24RA | 3LVL | 21,8 | MF | vigneti |
| 25BO | SW | 239,3 | M | Seminativi avvicendati |
| 25FE | SW | 416,7 | MF | vigneti |
| 25MO | 1LVL | 320,5 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 26FE | 3LVL | 12,8 | G | Seminativi avvicendati |
| 26MO | SW | 50,3 | M | Altri utilizzi, incolti |
| 27BO | 1LVL | 751,4 | M | Seminativi avvicendati |
| 27FE | 3LVL | 220,1 | G | vigneti |
| 27MO | 1LVL | 78,6 | M | frutteti |
| 28BO | 1LVL | 113,7 | MF | Latifoglie |
| 28FE | 2LVL | 133,5 | M | frutteti |
| 30MO | 3LVL | 41,4 | MF | frutteti |
| 31FE | 3LVL | 691,2 | O | Altri utilizzi, incolti |
| 32BO | 3LVL | 39,6 | F | Latifoglie |
| 32FE | SW | 138,8 | M | frutteti |
| 33BO | 1LVL | 364,8 | MF | Seminativi avvicendati |
| 34BO | 1LVL | 73,6 | F | frutteti |
| 34FE | 3LVL | 71,2 | F | Altri utilizzi, incolti |
| 35BO | SW | 284,1 | MF | vigneti |
| 35FE | 3LVL | 70,3 | MF | Altri utilizzi, incolti |
| 36FE | 1LVL | 313,8 | F | frutteti |

Grafici di confronto

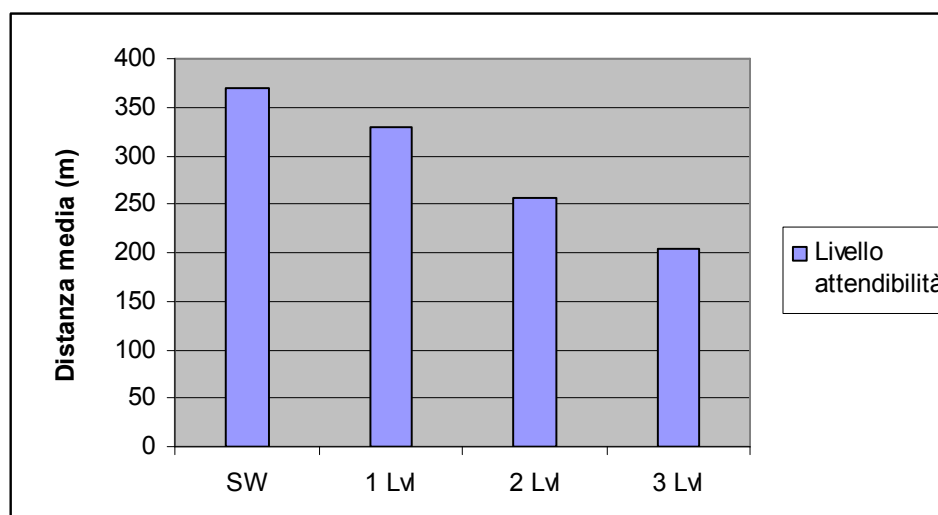


Grafico 1: Livello di attendibilità dei siti falda vs distanza media dai canali

Il grafico mostra come la distanza dai canali irrigui e dai corsi d'acqua naturali sia mediamente maggiore per i siti falda aventi il livello di attendibilità più alto. In sintesi, la formula ARPAE funziona proporzionalmente meglio per i siti posti a maggior distanza da essi, in quanto la quota di

falda è meno o per nulla influenzato dall'acqua apportata per infiltrazione, il che concorda bene con le ipotesi iniziali.

| Classe tess. | SW | 1 Lvl | 2 Lvl | 3 Lvl | Totale siti | % SW + 1 Lvl |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| Fine | 4 | 6 | 5 | 5 | 20 | 50,0 |
| Grossolana | 1 | | 1 | 3 | 5 | 20,0 |
| Media | 9 | 15 | 17 | 8 | 49 | 49,0 |
| Mod. fine | 4 | 12 | 14 | 15 | 45 | 35,5 |
| Mod. grossolana | 5 | 1 | | | 6 | 100,0 |
| Organici | | | 1 | 1 | 2 | 0,0 |
| Totale per Livello | 23 | 34 | 38 | 32 | 127 | |

Tabella 6: Livello di attendibilità dei siti falda vs tessitura dei suoli (escluso dall'elaborazione il sito 11PC, sempre asciutto).

La tabella mostra come, fra i siti falda su suoli a tessitura media o moderatamente grossolana, siano abbastanza frequenti quelli con livelli di attendibilità elevati (Superwells o 1° Livello, in totale il 49% nei suoli a tessitura media e addirittura 100% in quelli a tessitura moderatamente grossolana). Questi suoli hanno una conducibilità idraulica abbastanza elevata, ed è quindi probabile che rispondano più fedelmente agli stessi eventi meteorologici che pilotano l'andamento della formula di previsione ARPAE. Al contrario, suoli a tessitura moderatamente fine o fine, spesso con laminazioni ed orizzonti a tessitura contrastante, possono confinare la falda in settori e a quote non sempre rispondenti a quanto previsto dalla formula e quindi rientrare più facilmente in livelli di attendibilità inferiori. Un capitolo a parte è rappresentato dai siti falda su suoli a tessitura grossolana (essenzialmente su sabbie di piana costiera del Ferrarese e del Ravennate), per i quali la previsione del dato di falda non sembra particolarmente accurata. Essi sono costituiti da batterie con piezometri poco profondi (da 50 a 150 cm), causa la difficoltà ad approfondirsi con trivella manuale in queste tessiture; è quindi probabile, in questo caso, che l'assenza di letture oltre tale profondità non permetta il calcolo di parametri formulari adeguati. E' altresì da notare che due di questi siti si trovano in aree di recente bonifica, quindi con falda mantenuta artificialmente e conseguentemente poco correlabile alle previsioni della formula ARPAE.

| Uso generale del suolo | SW | 1LVL | 2LVL | 3LVL | Totale siti | % SW + 1 Lvl |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|
| Altri utilizzi, incolti | 5 | 5 | 7 | 8 | 25 | 40,0 |
| Orticole in pieno campo | 1 | | 2 | 1 | 4 | 25,0 |
| Frutteti | 7 | 12 | 16 | 8 | 43 | 44,2 |
| Latifoglie | | 2 | 3 | 3 | 8 | 25,0 |
| Prati avvicendati | | 1 | 1 | 2 | 4 | 25,0 |
| Seminativi avvicendati | 3 | 5 | 2 | 1 | 11 | 72,7 |
| Vigneti | 7 | 9 | 7 | 9 | 32 | 50,0 |
| Totale per livello | 23 | 34 | 38 | 32 | 127 | |

Tabella 7: Livello di attendibilità dei siti falda vs uso generale del suolo

Nella tabella sono incrociati gli usi del suolo descritti al momento della posa della stazione falda con il rispettivo livello di attendibilità statistica. Per ottenere un dato non eccessivamente disperso, molte colture sono state associate in gruppi di carattere generale: ad esempio meleto, pereto, kiwi, susino etc. sono stati accorpati nella classe dei frutteti. La maggior frequenza di siti ad alto grado di attendibilità (Superwells e 1° Livello) si riscontra nei seminativi e nei vigneti: rispettivamente 72,7 e 50%. Questi possono considerarsi valori piuttosto alti, dal momento che Superwells e 1° Livello rappresentano a loro volta poco più del 40% dei siti falda complessivi. Una discreta frequenza è attestata anche per i frutteti (44,2%), mentre per le altre classi di uso non si osservano valori significativi. Il 40% della classe “altri utilizzi, incolti” è difficilmente decifrabile, in quanto raccoglie tutta una serie di differenti situazioni, dal verde attrezzato al coltivo abbandonato.

Il risultato ottenuto è discretamente in linea con l’ipotesi iniziale, ossia che i siti sulle colture meno irrigate (com’è generalmente il caso di seminativi e vigneti) forniscano un dato di falda più attendibile, in quanto meno disturbato dalle acque apportate al terreno. Vi è altresì da osservare come il 44% di siti con alta attendibilità statistica nei frutteti sia un valore comunque considerevole, mentre ci si poteva forse aspettare un risultato più allineato a quello delle orticole o dei prati avvicendati. Anche in questo caso, quindi, come già riscontrato per i parametri tessitura del suolo e distanza dai canali, si osserva un trend allineato con le ipotesi iniziali, anche se non sempre in maniera chiara e lineare.

Si può quindi affermare, con una certa approssimazione, che siti falda in vigneti o seminativi, su suoli tendenzialmente grossolani e lontani da corsi d’acqua/canali di una certa rilevanza, siano i candidati migliori per ottenere previsioni di altezza di falda ipodermica attendibili.

ALLEGATO 4

RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLING EFFICIENCY INDEX (EF) SECONDO GREENWOOD, 1985

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Predicted_i - Observed_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Observed_i - AvgObserved)^2}$$

where n represents the number of data pairs, i is the pair index and $AvgObserved$ is the average of the observed data. EF provides a simple index of model performance on a relative scale, where $EF=1$ indicates a perfect fit, $EF=0$ suggests that the model predictions are no better than a simple average, and a negative value would indicate an eventually poor model performance.

Greenwood, D.J. et al. 1985. *Response of potatoes to N fertilizer*, dynamic model. *Plant Soil*, 85, 185-203.

ALLEGATO 5

IMPLEMENTAZIONE DELL'ALGORITMO DI PREVISIONE DEL DATO DI FALDA ALL'INTERNO DELL'APPLICATIVO WEB FALDANET - SPECIFICHE INFORMATICHE

Creazione nuova tabella StazioneParamsHistory

E' stata creata una nuova tabella dal nome StazioneParamsHistory con i seguenti campi:

ID

StaParAlfa

H0

NrDays

LastUpdate

UserUpdate

id_Stazioni

che contiene lo storico dei parametri di calcolo utilizzati dall'algoritmo di stima (vedi),

Estensione in DB della entità stazione per la gestione dell'informazione se si tratta di una stazione soggetta a calcolo o meno: [Stazione.IsToCompute] (boolean).

Modifica dell'interfaccia amministrativa di FN in modo che l'amministratore possa inserire e modificare per ciascuna stazione i valori [Stazione.IsToCompute] ed i parametri di stazione.

Scheda stazione ID 114 (01FC)

[Torna alla dashboard](#) [Strumenti](#) [Operatori associati](#) [Eventi di stazione](#) [Misure di stazione](#) [Parametri di stazione](#)

| Dati di base | Geolocalizzazione | Azienda | Suolo | Meteo | Contesto ambientale | Ultimi eventi |
|----------------------|---------------------------------|---------|-------|-------|---------------------|---------------|
| Codice | 01FC | | | | | |
| Data Posa | 02/01/2002 | | | | | |
| Data Inizio Attivita | 09/09/2002 | | | | | |
| Data Fine Attivita | Empty | | | | | |
| Attiva | Sì | | | | | |
| Non funzionante | No | | | | | |
| Elettronica | No | | | | | |
| Con calendario | Sì | | | | | |
| Da calcolare | calcolato con H0 statico | | | | | |
| Nota | Stazione 2017 a letture ridotte | | | | | |

Figura 1: Scheda stazione

Tramite il link "Parametri di stazione" sulla Scheda stazione è possibile accedere alla Lista dei parametri (fig.2) e da questa all'inserimento o modifica degli stessi (fig. 3). Cliccando su "Nuovi parametri>" i parametri attuali vengono storicizzati e viene aggiunta una riga nella tabella *StazioneParamsHistory* sotto.

Se invece si utilizza il link "Modifica >" posto nella riga della tabella, i dati vengono modificati SENZA essere storicizzati. Questa funzione può essere utile ad es. se ci si accorge di un errore immediatamente a seguito di un inserimento di nuovi parametri (ma normalmente è da preferire la

prima). L'algoritmo di stima utilizza sempre i parametri storicizzati più recenti (in base al campo LastUpdate).

Parametri della stazione ID 114 (01FC)

[Torna alla scheda stazione](#) [Nuovi Parametri >](#)

Cliccando su "Nuovi parametri">" i parametri attuali vengono storicizzati e viene aggiunta una riga nella tabella sottostante. Se invece si utilizza il link "Modifica >" posto nella riga della tabella i dati vengono modificati SENZA essere storicizzati. Questa funzione può essere utile ad es. se ci si accorge di un errore immediatamente a seguito di un inserimento di nuovi parametri ma normalmente è da preferire la prima.

| ID | Alfa | H0 | Numero giorni stazione | Data modifica | Utente | Comandi |
|-----|------|-------|------------------------|---------------|---------|-------------------------------|
| 130 | -1,8 | 257,7 | 630,0 | 06/10/2018 | | Modifica > |
| 1 | -1,8 | 258,2 | 640,0 | 11/09/2017 | AltaVia | |

Figura 2: Lista parametri di stazione

Stazione 01FC - Parametri ID 130)

[Torna ai parametri](#) [Torna alla scheda stazione](#)

Parametri

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Parametro Alfa stazione | -1,81 |
| Parametro H0 stazione | 257,7 |
| Parametro Numero giorni stazione | 630 |

Figura 3: Modifica parametri di stazione

Sulla base della pubblicazione scientifica fornita (Tomei et al 2012), è stato sviluppato ed integrato nel codice del sito Faldanet l'algoritmo della funzione in esso descritta.

La validazione del dato risultante dal calcolo è stata effettuata attraverso controlli definiti in dettaglio assieme al committente. Essi si sono basati sul confronto di congruità, operato su una ventina di stazioni, fra la previsione del dato di falda ottenuta sul sito di test e quanto calcolato da ARPAE tramite il software PRAGA. Essi sono stati inoltre facilitati tramite un'apposita riga di comando on-line, di cui di seguito un esempio:

<http://www2.altavianet.it/Faldanet/wservice/CalcolaStimeFaldaStaz?DATA=2016-9-30&IDSTAZ=114>

Come da esempio, il comando effettua il calcolo dell'altezza falda sulla stazione con campo ID = 114 nel sito di test www2.altavianet.it/Faldanet.

Gestione del dato di falda calcolato

Allo scopo di gestire il dato calcolato rispetto a quello misurato, è stato aggiunto a tutte le stazioni di falda da calcolare un piezometro fittizio di tipo "ST" (stimato, si veda fig.4). Questa soluzione permette di poter gestire stazioni che abbiano sia dati calcolati che misurati. A livello di interfaccia sono stati evidenziati con colori diversi i dati calcolati (verde) da quelli misurati (rosso) vedi fig. 5. E' inoltre possibile inserire letture di controllo reali anche in stazioni con piezometro fittizio "ST": in questo caso occorre settare il valore del piezometro "ST" come "mancante" ed impostare gli altri piezometri con i valori effettivamente misurati. Anche in questo caso, i valori vengono visualizzati in colore diverso, sia sul grafico che riporta lo storico e le precipitazioni (fig. 6), sia in tabella (fig. 7).

Strumenti della stazione ID 114 (01FC)

[Torna alla scheda stazione](#) [Nuovo Strumento >](#)

| ID | Tipo | Lunghezza | Diametro | OnLine | Media | Inizio attività | Fine attività | Comandi |
|------|------|-----------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|
| 1 | P1 | 50 | 6,3 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 09/09/2002 | 30/11/2013 | Modifica > |
| 2 | P2 | 100 | 6,3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 09/09/2002 | | Modifica > |
| 3 | P3 | 150 | 6,3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 09/09/2002 | | Modifica > |
| 4 | P4 | 280 | 6,3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 09/09/2002 | | Modifica > |
| 1331 | F4 | 280 | 6,3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 08/08/2002 | | Modifica > |
| 1361 | P1 | 50 | 6,3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 01/12/2013 | | Modifica > |
| 1445 | ST | 0 | 0 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | 01/09/2018 | | Modifica > |

Figura 4: Esempio di stazione con piezometro fittizio di tipo ST (Stimato)

| ID | Stazione | Stato | Data ultima misura | Misura (cm) | Comandi |
|-----|---|-------|--------------------|-------------|---|
| 114 | 01FC <i>Fondo Forniole</i> | ✓ | 16/11/2018 | 243 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 9 | 01FE <i>RAVALLE</i> | ✓ | 16/11/2018 | 200 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 64 | 01MO <i>NONANTOLA</i> | ✗ | 08/05/2002 | 301 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 128 | 01PC <i>CASCINA GEROLO</i> | ✓ | 03/08/2018 | 170 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 137 | 01PR <i>COLOMBAIA</i> | ✓ | 14/08/2018 | 290 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 73 | 01RA <i>Podere Martellina</i> | ✗ | 15/12/2011 | 277 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |
| 105 | 01RE <i>Fondo Bellaria</i> | ✓ | 24/08/2018 | 271 | Storico Misure > Grafico Misure > Lista Eventi > Scheda Stazione > |

Figura 5: Visualizzazione con colori diversi dei dati misurati e calcolati

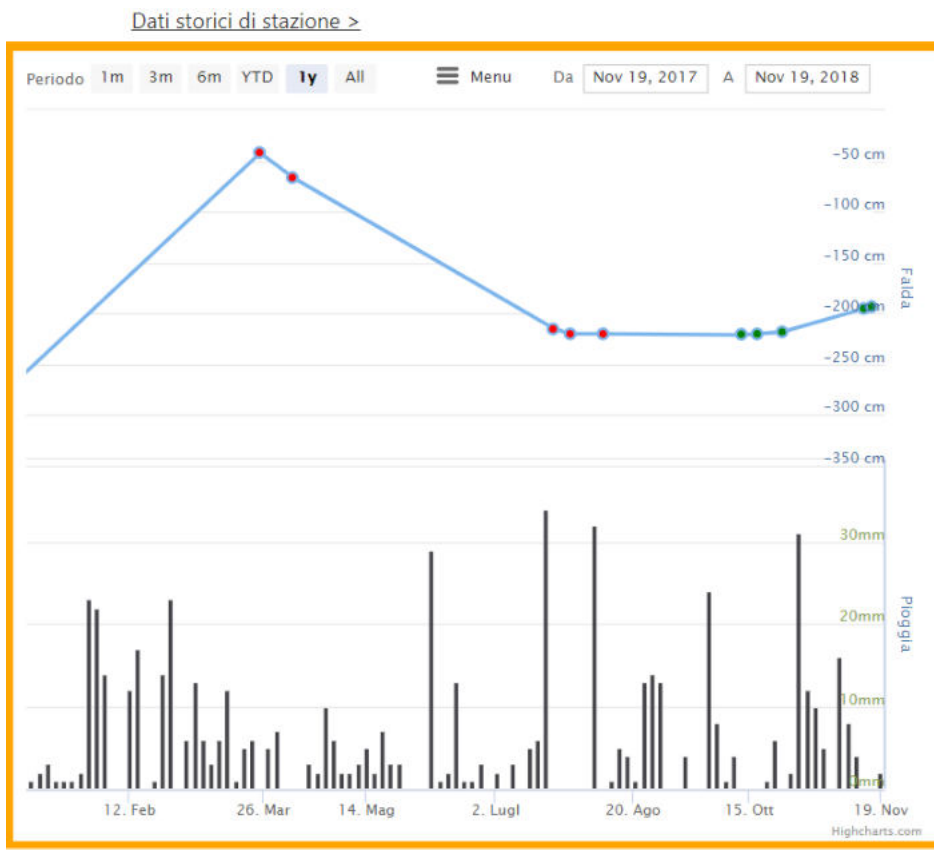


Figura 6: Visualizzazione con colori diversi dei dati misurati e calcolati nel grafico

| Data | Media | P1 In media | P2 In media | P3 In media | P4 In media | F4 In media | ST In media |
|------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 17/03/2019 | 97 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Mancante |
| 16/11/2018 | 243 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 243 |
| 06/11/2018 | 244 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 244 |
| 26/10/2018 | 249 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 249 |
| 16/10/2018 | 251 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 251 |
| 06/10/2018 | 253 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 253 |
| 26/09/2018 | 256 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 256 |

Figura 7: Visualizzazione di valore misurato in stazione stimata

Estensione del servizio FnService

Il servizio Windows Server denominato *FnService*, utilizzato dalla piattaforma per l'invio periodico delle comunicazioni e-mail automatizzate ai rilevatori, è stato esteso in modo che, in corrispondenza dell'inizio della decade di rilievo e solo per le stazioni che prevedano l'uso delle stime (Stazione.IsToCompute = 1 e che abbiano il piezometro di tipo "ST"), calcoli e salvi in base dati un rilievo decadale di stazione, secondo la stessa scansione già prevista per le letture manuali.

| Data | Media | P1 In media | P2 In media | P3 In media | P4 In media | F4 In media | ST In media |
|------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 16/11/2018 | 243 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 243 |
| 06/11/2018 | 244 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 244 |
| 26/10/2018 | 249 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 249 |
| 16/10/2018 | 251 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 251 |
| 06/10/2018 | 253 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 253 |
| 26/09/2018 | 256 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 256 |
| 16/09/2018 | 255 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 255 |
| 06/09/2018 | 254 | non presente | non presente | non presente | non presente | non presente | 254 |
| 02/08/2018 | 250 | Asciutto | Asciutto | Asciutto | 250 | 250 | non presente |
| 12/07/2018 | 240 | Asciutto | Asciutto | Asciutto | 240 | 240 | non presente |

Figura 8: Colonna con misure calcolate nella visualizzazione dello storico misure

Nella visualizzazione dello storico misure, è stata aggiunta una colonna relativa all'eventuale piezometro di tipo "ST" che si va ad aggiungere a quelle relative alle misure dei piezometri effettivi (fig.8) e che, nel caso di misure calcolate, riportano la dicitura "non presente".

Azione 3.2: Determinazione del contributo dei canali irrigui alla falda ipodermica.

ALLEGATO 6

| NOME | DESCRIZIONE |
|----------------------|--|
| <i>Fase</i> | Sigla fase e titolo come risulta nel Piano; descrizione subfasi (a), (b), (d) etc. |
| <i>Strumenti</i> | Principali strumenti previsti nell'esecuzione della sub-fase |
| <i>Note (+ anno)</i> | Note relative alle attività svolte nell'anno |
| <i>Periodo</i> | Periodo in cui è prevista l'esecuzione della fase |
| <i>Check</i> | ok = subfase eseguita; ok? = subfase eseguita in parte; no = subfase da eseguire |
| <i>Data 1..2..3</i> | Date e località in cui sono state effettuate le principali operazioni afferenti alla subfase |

Tabella 8: Metadati Check List di campagna per Azione 3.2 (aggiornamento ottobre 2018)

| Fase 2a Allestimento di nuovi siti di monitoraggio | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|------------------|--|--|--------------------|--------------|--|--|---|
| a) sistemazione e georefer. tramite GPS di 6 piezometri in PVC di 300 cm, in 2 allineamenti da 3 strumenti (distanze previste 25, 75 e 150 m). | piezometri + GPS | tutti posizionati; risolti problemi di interrimento con tubo interno e geotessile; già ricevuti tutti i grigliati da IGM | Eseguita anche quotatura di precisione con GPS (± 5 cm) | feb - mar 17 | OK | FE: 10/05/16 e 07/12/2016 (tubi 5 cm e diver) | MO: 08/06/16 e 05/12/2016 (tubi 5 cm e diver) | FE GPS V. Gaffaro 17/03/2017; MO Torbido 4/5/17 |
| b) In uno dei 2 allineamenti di ciascun sito sistemazione di 2 Mini-diver, calati all'interno del piezometro più vicino e più lontano dal canale | 4 Diver | arrivati il 02/09/16 e posizionati a dicembre | | aprile - giugno 16 | OK | 07/12/16 FE | 05/12/16 MO | |
| c) misura di precisione di sezione e contorno bagnato di ciascun canale con rilievi eseguiti con apposita strumentazione. Misura di 2 sezioni trasversali significative per il calcolo del contorno bagnato. | GPS precisione | previsti a gen - feb 2017, | Già ricevuti tutti i grigliati da IGM; fatto 2 sez Beccaccino e 2 Torbido | feb - mar 17 | OK | | FE GPS Beccaccino 17/03/2017 | MO Torbido 4/5/17 |
| x) Quotatura GPS vecchi siti PIA EST e STIOLO (OPZIONALE NON PREVISTO IN PROGETTO) | GPS Trimble | lo fa Consorzio Emilia Centrale | Fatto tutto Stiolo (3 sez + 26 piezo); a metà Pia Est; ricevuti risultati da Emilia Centrale | gennaio - mar 2017 | OK | 26/01/2017 | | |

| Fase 2b Acquisizione dati dai nuovi siti di monitoraggio | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|--|---|---|-----------------------------|--------------|--|--|--|
| d) Letture manuali a cadenza quindicinale con appositi strumenti di misura in tutti i piezometri | flessometro | Letture seguite da Aziende agricole | finite le letture a gennaio 2019; si verifica internamente l'invio dei dati | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | da 05/07/16 MO e da 22/06/16 FE | | |
| e) Ogni tre mesi circa scarico dati Diver | lettore + pc portatile | | Nel 2018 entrambi Diver rotti a Valle Gaffaro e Diver su P15 a Panzano; provvisoriamente inseriti nuovo Diver R9398 ed HD Diver BM219; richiesta e ottenuta sostituzione strumenti da ditta Ecosearch | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK? | MO; 13/08/2018 | FE 01/06/2018 | MO 14/01/2019; FE 17/01/2019 |
| f1) lettura tirante idraulico con la stessa cadenza delle letture di falda ipodermica attraverso l'idrometro precedentemente posizionato | idrometro | scelto punto sud sul Torbido | continuano le letture dai risp Consorzi; si verifica internamente l'invio dei dati | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | da 12/07/16 FE | da 18/08/2016 MO | |
| f2) Letture di portata nei 2 canali 2 volte x stagione irrigua | mulinello idrom. SIAP Me4001 e/o RiverSurveyor | mulinello su canali piccoli con poca velocità | Canale Beccaccino troppo lento per le letture di portata: i dati si integrano con misure su Ramedello (canale di Az 3) | luglio - settembre 2018 | OK | 31/05/18 Cond.Volano 01/06/18 Torbido e Ramedello | 04/07/18 Ramedello | 01/08/18 Cond.Volano 13/08/18 Torbido |
| g) Rilievi della salinità in tutti i piezometri posizionati presso lo Scolo Beccaccino e con la stessa scansione delle letture manuali, rilievo conducibilità elettrica dell'acqua di falda e del canale | conduttimetro portatile | Rilievi contemporanei a livello falda | Letture salinità integrate con strumenti del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli; previsti in funzione per tutto il 2019 | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | da 22/06/16 a FE | Sensori SGSS in lettura da aprile 2017 | |
| Fase 2b Acquisizione dati | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |

| dai nuovi siti di monitoraggio | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|---|--------------------|-----------|--|--|--|
| j) prove infiltrometriche sul fondo canale del sito Torbido (<i>da valutare cosa fare sul sito Beccaccino</i>) e dei vecchi siti PIA EST e STIOLO; canali asciutti e in acqua (OPZIONALE NON PREVISTO IN PROGETTO) | doppio anello; <i>half-barrel</i> | non sono possibili misure con metodo half-barrel | Effettuate infiltrometrie Stiole e Pia Est; non effettuate altre attività nel 2018 | gennaio - mar 2017 | OK | | | |
| k) prove infiltrometriche sul suolo dei vecchi siti PIA EST e STIOLO (OPZIONALE NON PREVISTO IN PROGETTO) | Mini-disk e Guelph | protocollo dei rilievi in bozza | Effettuate infiltrometrie Stiole; Pia Est a marzo. non effettuate altre attività nel 2018 | gennaio - mar 2017 | OK | | | |
| w) Prove di conducibilità idraulica col metodo dell'" <i>auger-hole</i> " (OPZIONALE NON PREVISTO IN PROGETTO) | Bailer e Diver 30 secondi | documento Auger Hole method | effettuato in canali Pia e Stiole; non effettuate altre attività nel 2018 | gennaio - mar 2017 | OK | | | |

| Fase 2c Elaborazione dati | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|--------------|---------------------------------|---------------|---------------|
| Grafici dell'andamento nel tempo del livello di falda nei piezometri. IDW, portate dei canali durante il periodo irriguo, variazioni di salinità | Software GIS | Letture seguite da aziende agricole | tutte le elaborazioni nel file ALLEGATI | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | da 05/07/16 MO e da 22/06/16 FE | | |

| Fase 2d Modellazione numerica interazione canali e falda | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|---------------------------------|---|--|------------------------------|--------------|--|---------------|---------------|
| a) acquisizione da parte di DICAM di dati specifici provenienti dai siti di monitoraggio, con diversità di condizioni pedologiche, idrologiche ed idrauliche | Programma VS2DI | Attività DICAM preliminare | Inviati al DICAM set di dati concernenti precedenti siti-studio: Pia Est e Stiolo. | luglio 2016 - ottobre 2017 | OK | invio dati Stiolo 18/05/2017: riunione effettuata 12/07/17 | | |
| b) simulazione del flusso di acqua in mezzi poroso in condizioni di sature ed insature. Tramite modello fisico-matematico | Programma VS2DI | Si veda allegato 10 DICAM in Relazione tecnica intermedia; | Altri grafici di andamento della falda consegnati a gennaio 2018 | novembre 2017- febbraio 2018 | OK | Ricevuto modello numerico il 02/03/2018 | | |
| c) calibrazione e validazione del modello concettuale, rendendolo applicabile per tutte le condizioni ritenute rappresentative a scala regionale. Verificare congruità delle classi di canale proposte | Post-processore programma VS2DI | Regressioni lineari dati simulati/dati reali per valutare l'attendibilità | Effettuata nel 2018 con supporto DICAM | maggio 2018 - dicembre 2018 | OK | consegna gennaio 2019 | | |

| Fase 2e Estensione del modello alla rete di consegna irrigua del territorio regionale | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|---|---------------------------------|---|---|----------------------|--------------|--|---------------|---------------|
| a) acquisizione della copertura geografica relativa alla rete consorziale nell'intero ambito regionale; selezione dei tratti | Software GIS | shape acquisito internamente da CER; | Consegnato shp anche a ARPAE per elaborazioni sulla fase 1b | gennaio-marzo 2018 | OK | 29/08/2017 | | |
| b) classificazione secondo le dimensioni e le tipologie di suolo attraversate; associazione dei valori dei parametri identif. in fase 2d. | Software GIS, linguaggio Python | Effettuata nel 2018 con supporto DICAM | Effettuato incrocio con Carta regionale della conducibilità idraulica dei suoli | aprile-dicembre 2018 | OK | strato dei canali con nuovi parametri a settembre 2018 | | |
| c) riproduzione di uno strato poligonale tramite buffering, con fascia di pertinenza per ogni tratto di canale classificato | Software GIS | prevista per il 2018 con supporto DICAM | Creato shapefile finale "CanaliWGS84_onlyIrrigui_InputMODELLO_V10_BUFFER_UTM32.shp" | aprile-dicembre 2018 | OK | strato finale a gennaio 2019 | | |

| Fase 2f Implementazione in Irrinet/irriframe | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|---|----------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------|---------------------|---------------------|--|
| a) sovrapposizione allo strato della Carta EDF dei poligoni delle fasce di pertinenza realizzato nella precedente fase 2e | ArcGIS, nuovi shape | fase esaminata in incontro preliminare ALTAVIA; prevista per il 2018; Verificare consegna strato digitale ("buffer") | Acquisito shapefile in FaldaNet per il calcolo del contributo di falda da associare a Irrinet | luglio 2017 - dicembre 2018 | OK | riunione 06/09/2017 | riunione 06/09/2018 | |
| b) Scrittura codice per rendere disponibile il dato modificato nel servizio Irrinet/Irriframe per il calcolo del bilancio idrico, | ArcGIS, codice da Software House | fase esaminata in incontro preliminare con SH; prevista per il 2019 | Associata l'informazione "Delta H canale" (contributo di falda) al plot (coordinate appezzamento) di Irrinet | settembre 2017 - dicembre 2018 | OK | riunione 06/09/2017 | riunione 06/09/2018 | Ricevuta relazione Altavia a febbraio 2019 |

ALLEGATO 7

DESCRIZIONE DEI SUOLI

Nella successiva tabella sono riportati i codici delle 12 trivellate eseguite nel 2016 per la posa dei piezometri nei due siti - studio di Panzano e Valle Gaffaro. Ad essi sono associate:

- Coordinate dei punti X e Y in UTM32 ETRS89;
- Unità Tipologica di Suolo (UTS) secondo il Catalogo dei Suoli della Regione Emilia-Romagna¹ e relativa sigla cartografica.

Le schede pedologiche sono state compilate secondo i codici e gli standard descritti nel Manuale di campagna ed. 2002 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Questo l'elenco:

| Codice Trivellata | X | Y | UTS | Sito |
|-------------------|--------|---------|--|---------------|
| E7609T0001 | 755238 | 4969336 | CERBA sabbioso fini franchi (CER2) | Valle Gaffaro |
| E7609T0002 | 755197 | 4969325 | CERBA sabbioso fini franchi (CER2) | Valle Gaffaro |
| E7609T0003 | 755160 | 4969312 | CERBA sabbioso fini franchi (CER2) | Valle Gaffaro |
| E7609T0004 | 755347 | 4968989 | CERBA sabbioso fini franchi (CER2) | Valle Gaffaro |
| E7609T0005 | 755308 | 4968978 | BOSCHETTO franchi (BTT1) | Valle Gaffaro |
| E7609T0006 | 755268 | 4968967 | CERBA sabbioso fini franchi (CER2) | Valle Gaffaro |
| E7609T0013 | 661982 | 4942717 | SAN GIORGIO franco argillosi (SGR4) | Panzano |
| E7609T0014 | 662030 | 4942691 | CATALDI franco argilloso limosi, 0.2-1% pendenti (CTL4) | Panzano |
| E7609T0015 | 662096 | 4942673 | SAN GIORGIO franco argillosi (SGR4) | Panzano |
| E7609T0016 | 662020 | 4942805 | MEDICINA franco argilloso limosi, 0.2-1% pendenti, a scolo naturale (MDC2) | Panzano |
| E7609T0017 | 662069 | 4942784 | CATALDI franco argilloso limosi, 0.2-1% pendenti (CTL4) | Panzano |
| E7609T0018 | 662138 | 4942777 | SAN GIORGIO franco argillosi (SGR4) | Panzano |

¹ Reperibile in http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/catalogo_tipi_suolo.jsp

ALLEGATO 8

LETTURE MANUALI DELLA PROFONDITA' DI FALDA NEI PIEZOMETRI DEI DUE SITI STUDIO PANZANO E VALLE GAFFARO

Sono di seguito presentate le tabelle che mostrano la quota falda rilevata manualmente in ciascuno dei piezometri posizionati nei due siti di Panzano e Valle Gaffaro. La profondità è espressa in cm dal piano campagna. I valori si ritengono più attendibili a partire da dicembre 2016, quando nei piezometri è stato posizionato il tessuto/non tessuto per evitare intasamenti e vi sono stati collocati i lettori in continuo (Diver), che hanno permesso un controllo incrociato dei dati rilevati. A causa di diversi fattori, in alcuni casi (per es. 22 giugno 2018) non sono stati letti tutti i piezometri.

SITO PANZANO

| Data | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 06/07/2016 | 174 | 228 | 230 | 241 | 301 | 301 |
| 22/07/2016 | 181 | 236 | 214 | 256 | 254 | 301 |
| 02/08/2016 | 186 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 18/08/2016 | 203 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 29/08/2016 | 204 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 15/09/2016 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 28/09/2016 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 06/10/2016 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 12/10/2016 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 31/10/2016 | 232 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 16/11/2016 | 222 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 29/11/2016 | 211 | 283 | 244 | 301 | 301 | 301 |
| 16/12/2016 | 237 | 279 | 286 | 301 | 301 | 301 |
| 19/12/2016 | 228 | 301 | 280 | 301 | 301 | 301 |
| 02/01/2017 | 203 | 297 | 271 | 280 | 301 | 301 |
| 17/01/2017 | 204 | 296 | 268 | 280 | 301 | 301 |
| 01/02/2017 | 216 | 301 | 268 | 301 | 301 | 301 |
| 08/02/2017 | 195 | 182 | 187 | 258 | 301 | 272 |
| 16/02/2017 | 166 | 205 | 179 | 265 | 301 | 272 |
| 28/02/2017 | 162 | 205 | 187 | 265 | 301 | 272 |
| 15/03/2017 | 154 | 205 | 208 | 263 | 301 | 301 |
| 30/03/2017 | 154 | 205 | 206 | 256 | 301 | 301 |
| 20/04/2017 | 132 | 191 | 175 | 246 | 301 | 274 |
| 02/05/2017 | 136 | 191 | 175 | 246 | 301 | 274 |
| 04/05/2017 | 142 | 183 | 178 | 235 | 301 | 267 |
| 17/05/2017 | 108 | 156 | 140 | 222 | 301 | 215 |
| 30/05/2017 | 152 | 197 | 193 | 258 | 301 | 250 |
| 14/06/2017 | 184 | 228 | 228 | 284 | 301 | 270 |
| 28/06/2017 | 201 | 264 | 237 | 282 | 301 | 274 |
| 18/07/2017 | 242 | 287 | 285 | 282 | 301 | 265 |
| 31/07/2017 | 259 | 298 | 301 | 301 | 301 | 274 |
| 21/08/2017 | 286 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 04/09/2017 | 294 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 03/10/2017 | 253 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |

| Data | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 03/11/2017 | 216 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 16/11/2017 | 192 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 30/11/2017 | 188 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 13/12/2017 | 188 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 03/01/2018 | 184 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 15/01/2018 | 172 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 30/01/2018 | 186 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 16/02/2018 | 114 | 301 | 268 | 301 | 301 | 301 |
| 26/02/2018 | 34 | 128 | 75 | 123 | 301 | 141 |
| 15/03/2018 | 24 | 41 | 40 | 43 | 301 | 78 |
| 30/03/2018 | 47 | 56 | 57 | 68 | 102 | 77 |
| 17/04/2018 | 62 | 78 | 80 | 102 | 122 | 111 |
| 02/05/2018 | 70 | 106 | 112 | 114 | 137 | 138 |
| 15/05/2018 | 74 | 121 | 131 | 123 | 148 | 153 |
| 31/05/2018 | 64 | 136 | 151 | 122 | 193 | 197 |
| 22/06/2018 | 98 | | 158 | | | |
| 26/06/2018 | 122 | 160 | 185 | 168 | 252 | 256 |
| 16/07/2018 | 148 | 252 | 238 | 198 | 301 | 301 |
| 07/08/2018 | 162 | 277 | 291 | 266 | 301 | 301 |
| 27/08/2018 | 162 | 294 | 301 | 281 | 301 | 301 |
| 17/09/2018 | 183 | 301 | 301 | 278 | 301 | 301 |
| 27/09/2018 | 202 | 301 | 301 | 281 | 301 | 301 |
| 16/10/2018 | 214 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 30/10/2018 | 214 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 16/11/2018 | 199 | 298 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| 28/11/2018 | 173 | 294 | 297 | 301 | 301 | 301 |

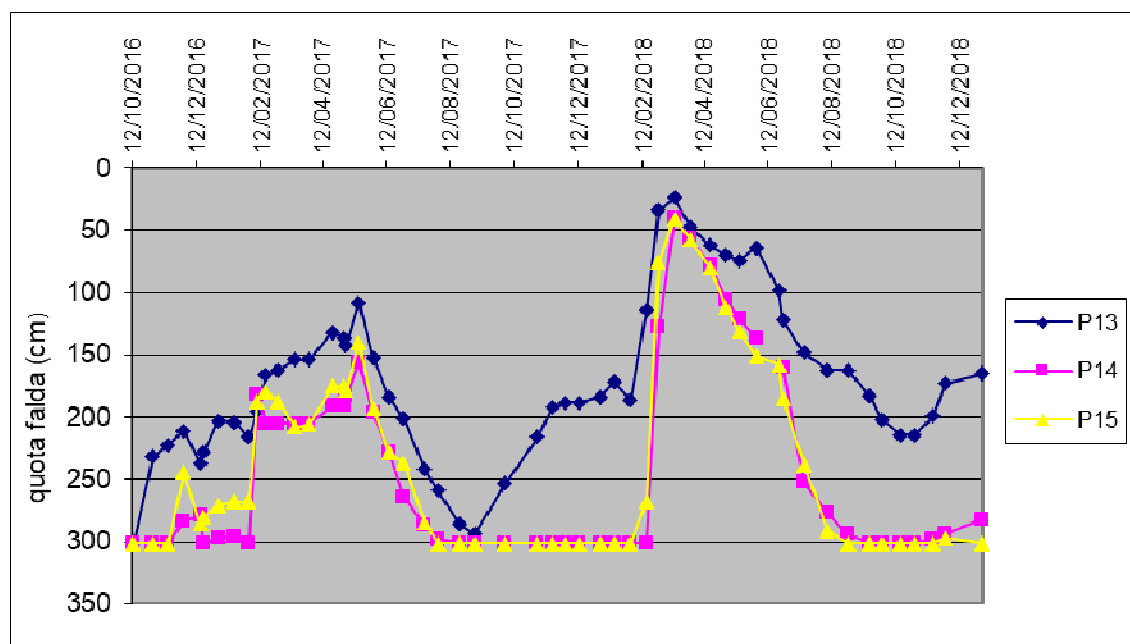


Grafico 2: andamento del livello di falda nell'allineamento di piezometri P13-P14-P15 del sito di Panzano e secondo i rilievi manuali. Si noti la prevalenza del livello di falda nel P13, posto a 25 m dal canal Torbido, rispetto agli altri due.

SITO VALLE GAFFARO

Nel presente sito, contestualmente al livello di falda, è stata anche rilevata manualmente la conducibilità elettrica (espressa in $\mu\text{S}/\text{cm}$), tramite apposito strumento calato all'interno del piezometro. Inoltre, quando possibile, si è effettuata anche la lettura della conducibilità elettrica delle acque nel vicino canale Beccaccino. A causa della limitata profondità raggiunta dai piezometri (circa 150 cm), mancano rilievi di falda soprattutto nel periodo invernale, poiché quest'ultima si trova sotto tale profondità, mancando il contributo per infiltrazione da parte dell'acqua immessa dal locale Consorzio di Bonifica.

| Data | 1 | | P2 | | P3 | | P4 | | P5 | | P6 | | Beccaccino | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Idrom. | Cond. |
| 12/07/16 | 1902 | 51 | 2360 | 44 | 1572 | 51 | 1441 | 62 | 1300 | 71 | 1239 | 69 | 50 | 1163 |
| 02/08/16 | 1930 | 65 | 2380 | 64 | 1697 | 74 | 1375 | 72 | 1305 | 75 | 1308 | 73 | 51 | 1527 |
| 11/08/16 | 1461 | 60 | 1612 | 69 | 1471 | 61 | 1424 | 85 | 1375 | 83 | 1293 | 85 | 45 | 1418 |
| 24/08/16 | 1965 | 66 | 2052 | 52 | 1944 | 72 | 1623 | 66 | 1644 | 70 | 1463 | 74 | 58 | 1678 |
| 01/09/16 | 1616 | 58 | 1986 | 49 | 1906 | 61 | 1720 | 63 | 1720 | 66 | 1612 | 71 | 48 | 1812 |
| 20/09/16 | 1942 | 63 | 2460 | 61 | 2060 | 67 | 1482 | 85 | 1791 | 74 | 1668 | 73 | 102 | 2700 |
| 04/10/16 | 2020 | 88 | 2380 | 88 | 1940 | 97 | 1456 | 110 | 1741 | 115 | 789 | 117 | 81 | 2440 |
| 18/10/16 | 1824 | 93 | 1921 | 91 | 2010 | 104 | 1519 | 110 | 1740 | 110 | 1418 | 112 | 110 | 2870 |
| 03/11/16 | 1882 | 110 | 2030 | 110 | | | 1476 | 135 | | | | | 115 | 3610 |
| 22/11/16 | 1725 | 116 | 2630 | 113 | | | 1620 | 136 | 1801 | | | | 117 | 4050 |
| 07/12/16 | 1801 | 118 | 1860 | 111 | | | 1501 | 138 | 1712 | | 1601 | 109 | 121 | 3700 |
| 10/01/17 | 1706 | 117 | 1709 | 112 | 2018 | 111 | 1406 | 130 | 1814 | 121 | 1720 | 110 | 126 | 4100 |
| 09/02/17 | 1740 | 114 | 2100 | 118 | 1790 | 117 | 1450 | 148 | | | | | | |
| 10/04/17 | 1954 | 62 | 1816 | 56 | 1910 | 59 | 2400 | 78 | 2860 | 80 | 3130 | 80 | 70 | 2570 |
| 26/04/17 | 2010 | 64 | 1918 | 68 | 2220 | 64 | 2560 | 80 | 2620 | 80 | 2980 | 78 | 72 | 2330 |
| 22/05/17 | 1908 | 70 | 1758 | 70 | 2010 | 70 | 2300 | 80 | 2330 | 80 | 2360 | 80 | 62 | 2110 |
| 01/06/17 | 2010 | 67 | 1750 | 70 | 1860 | 69 | 2100 | 68 | 1975 | 70 | 2100 | 68 | 55 | 1612 |
| 23/06/17 | 1979 | 71 | 1613 | 76 | 1992 | 74 | 2200 | 71 | 2090 | 76 | 2200 | 71 | 58 | 1980 |
| 13/07/17 | 1567 | 60 | 1902 | 80 | 2060 | 50 | 1660 | 73 | 2000 | 80 | 2200 | 80 | 54 | 1780 |
| 09/08/17 | 1740 | 40 | 1892 | 38 | 1933 | 45 | 1580 | 50 | 1840 | 56 | 2000 | 50 | 38 | 1965 |
| 30/08/17 | 1791 | 70 | 1613 | 60 | 1992 | 74 | 2200 | 71 | 2090 | 76 | 2200 | 70 | 58 | 1980 |
| 14/09/17 | 1620 | 82 | 1818 | 63 | 2015 | 65 | 2100 | 107 | 1910 | 107 | 1903 | 106 | 64 | 2020 |
| 05/10/17 | 1203 | 98 | 1903 | 98 | 1782 | 98 | 1610 | 118 | 1664 | 118 | 1707 | 118 | 92 | 2940 |
| 15/11/17 | 1417 | 78 | 1583 | 70 | 1785 | 74 | 1440 | 110 | 1601 | 115 | 2090 | 125 | | |
| 02/05/18 | 2300 | 63 | 1570 | 63 | 1410 | 63 | 2670 | 67 | 2550 | 67 | 2520 | 72 | 50 | 1345 |
| 18/05/18 | 1903 | 61 | 1874 | 66 | 1512 | 68 | 1860 | 70 | 2130 | 70 | 2020 | 68 | 46 | 1010 |
| 28/05/18 | 2050 | 64 | 1944 | 68 | 1880 | 67 | 1910 | 70 | 2090 | 72 | 2120 | 71 | 50 | 1090 |
| 18/06/18 | 1916 | 64 | 1270 | 70 | 770 | 67 | 2370 | 92 | 1690 | 83 | | 120 | 67 | 1952 |
| 04/07/18 | 1940 | 52 | 1352 | 44 | 1071 | 52 | 2034 | 72 | 1647 | 66 | 2030 | 62 | 46 | 1560 |
| 31/07/18 | 1910 | 65 | 1315 | 65 | 1046 | 65 | 2190 | 95 | 1850 | 100 | 1920 | 100 | | |
| 13/08/18 | 1900 | 98 | 1980 | 96 | 1900 | 96 | 1950 | 95 | 1730 | 95 | 2010 | 95 | 50 | 1810 |
| 03/10/18 | 1810 | 85 | 1900 | 87 | 1980 | 88 | 1850 | 88 | 1980 | 85 | 1870 | 86 | 58 | 1660 |

ALLEGATO 9

GRAFICI DELL'ANDAMENTO DEL LIVELLO DI FALDA RILEVATA DAI DIVER

Introduzione

Sono di seguito rappresentati quattro grafici, che mostrano le oscillazioni giornaliere del livello di falda registrate dagli strumenti di lettura in continuo Diver all'interno dei piezometri ubicati nelle aziende monitorate nell'ambito del Piano. In ogni grafico sono confrontate le curve riscontrate nei due Diver posizionati in ogni appezzamento. Più precisamente:

- Sito Valle Gaffaro (FE): Diver nel piezometro P4 (a 25 m dal canale Beccaccino) e nel piezometro P6 (a 150 m dallo stesso canale). Solo in questo sito i piezometri hanno la lunghezza di 150 cm, in luogo dei consueti 300;
- Sito La Pomposa (FE): Diver nel piezometro P10 (a 25 m dal Po di Volano) e nel piezometro P12 (a 150 m dallo stesso corso d'acqua);
- Sito Panzano (MO): Diver nel piezometro P13 (a 25 m dal canal Torbido) e nel piezometro P15 (a 150 m dallo stesso canale);
- Sito S. Felice s. P. (MO): Diver nel piezometro P22 (a 25 m dal canale Ramedello) e nel piezometro P24 (a 150 m dallo stesso canale).



Figura 9: Scarico dati dal Diver

Modalità di rappresentazione

Ogni grafico mostra, nella parte alta, la scala temporale entro la quale sono stati effettuati i rilevamenti. La scala verticale a sinistra definisce la quota di falda in cm sotto al piano campagna (p.c.) descritta dalle due curve. La scala verticale a destra, invece, i mm di pioggia misurati nel periodo all'interno dei quadranti meteo ERG5 (banca dati ARPAE) e rappresentati dalle frecce azzurre verticali nella parte inferiore. In legenda, ai colori delle curve sono associati i numeri dei piezometri in cui sono collocati i Diver.

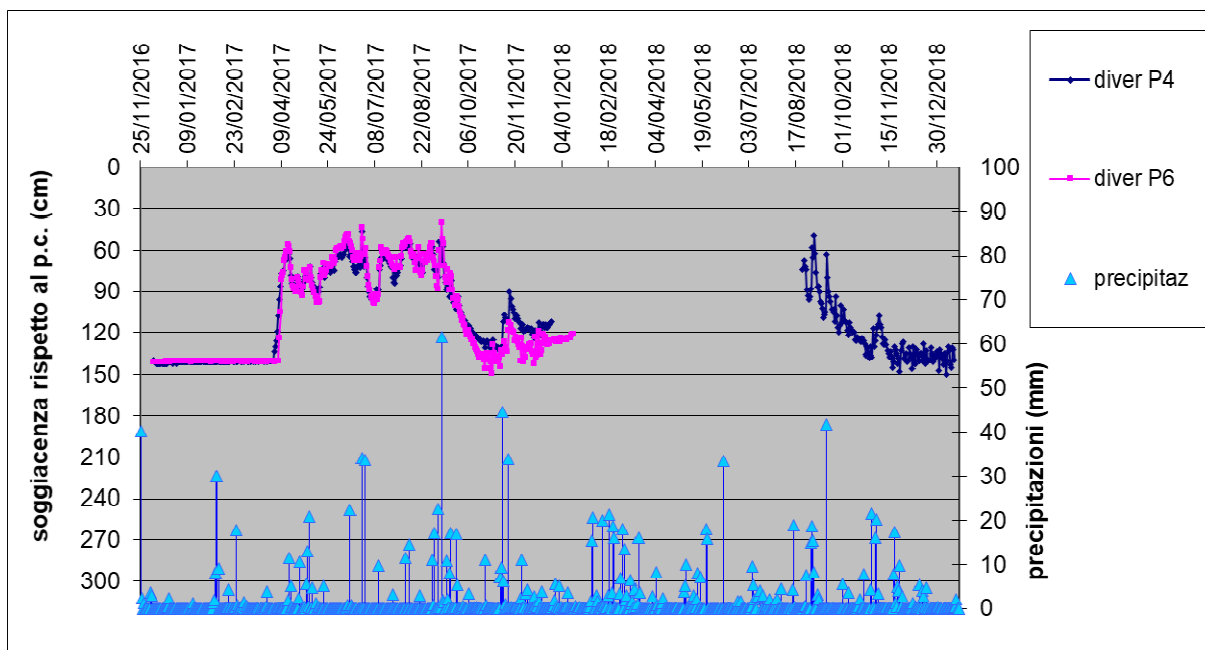


Grafico 3: Confronto fra le due curve descritte dall'andamento del livello di falda nei due piezometri P4 e P6 collocati nell'appezzamento del sito di Valle Gaffaro.

Note al grafico: La gestione irrigua dell'appezzamento, coltivato ad asparagi, è effettuata tramite subirrigazione, apportando acqua a fossetti laterali su suoli a tessitura grossolana (sabbie litorali), tramite una canaletta in cemento posta a quote superiori. Le curve sono registrate fino ai primi di gennaio 2018, quando si verifica quasi contemporaneamente la rottura di entrambi i Diver; per questioni logistiche la loro sostituzione avviene, e solo parzialmente (un solo nuovo Diver nel P4), a partire da agosto 2018. La sequenza di letture è quindi limitata al 2017: in questo periodo, i piezometri non presentano al loro interno acqua di falda fino all'1 aprile (inizio del periodo irriguo). A partire da tal momento, l'acqua, immessa con la tecnica sopra descritta, contribuisce ad innalzare artificialmente la falda fino a circa 60-80 cm dal p.c., e, di conseguenza, a fornire l'adeguato contributo irriguo alle radici delle piante. La discesa autunnale della falda è più graduale ed è conseguente all'arresto degli apporti idrici a fine settembre. Le oscillazioni osservate nelle due curve procedono in maniera pressoché identica in entrambi i piezometri, e sono abbastanza ben correlate nel periodo irriguo agli eventi piovosi descritti dalla rete meteo ERG5.

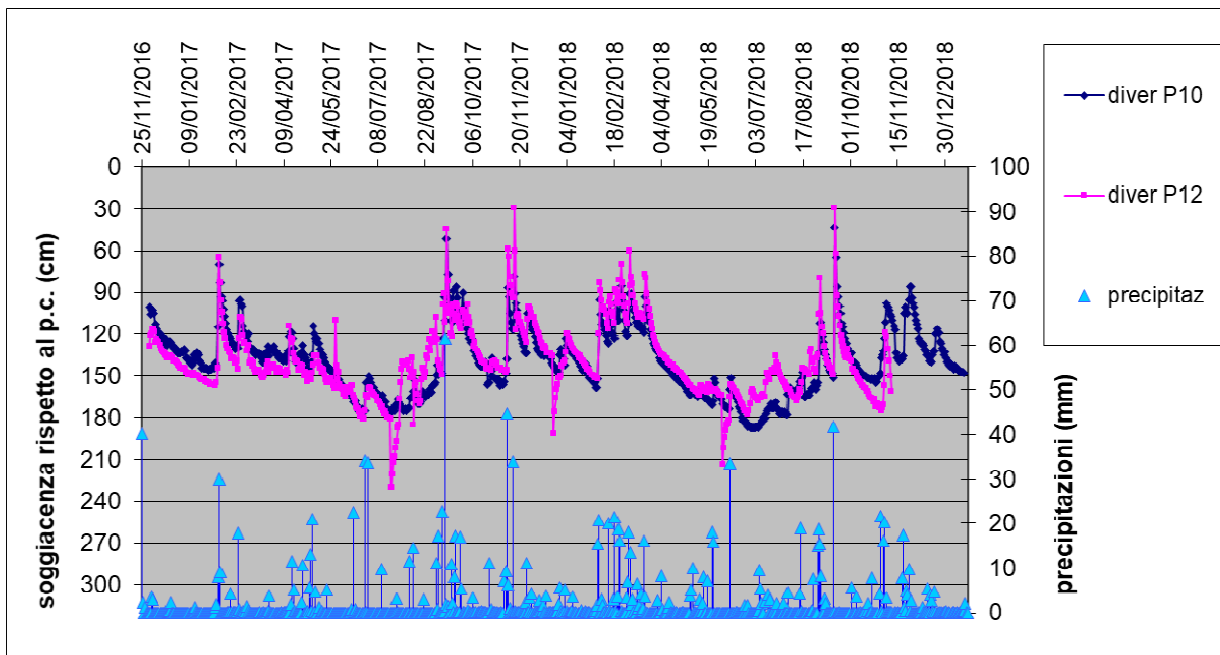


Grafico 4: Confronto fra le due curve descritte dall'andamento del livello di falda nei due piezometri P10 e P12 collocati nell'appezzamento del sito de La Pomposa.

Note al grafico: Nel caso del sito de La Pomposa, l'appezzamento è coltivato a pereto con irrigazione a goccia, tramite acque a bassa salinità (generalmente < 800 microsiemens/cm) prelevate dal vicino Condotto Volano, canale gestito dal Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara. L'irrigazione consente anche di diluire superficialmente la salinità della falda ipodermica, che può giungere anche a valori superiori a 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Come nel precedente grafico, le due curve procedono praticamente appaiate, con oscillazioni più evidenti legate ai locali eventi piovosi. Il 9 novembre 2018 si verifica la rottura del Diver situato nel piezometro P12 e da questo momento non sono più registrate letture. Sempre nella curva del P12 sono osservabili alcune anomalie; i tre rapidi abbassamenti verificatisi il 19 luglio 2017, il 22 dicembre 2017 e l'1 giugno 2018, sono connessi all'estrazione di campioni di acqua di falda nei piezometri, per analisi della speciazione ionica in laboratorio. Si nota che tali prelievi hanno interessato anche il P10, il quale però ha ripristinato la soggiacenza originale nelle 24 ore (in luogo del 7 – 8 giorni necessari al P12). Questo fenomeno potrebbe essere correlato sia alla diversa permeabilità nei due suoli che ospitano i piezometri (suoli franchi nel P10, suoli franco argilloso limosi nel P12), sia ad una maggior pressione idrostatica nel P10, conseguente alla sua prossimità al Po di Volano. Ancora il 28 maggio 2017 si osserva nel P12 una rapida risalita di circa 50 cm del livello di falda ed un'altrettanto rapida discesa: quest'ultima è però forse in relazione ad un'intensa irrigazione convogliatasi, tramite vie di discontinuità del terreno, all'interno del piezometro.

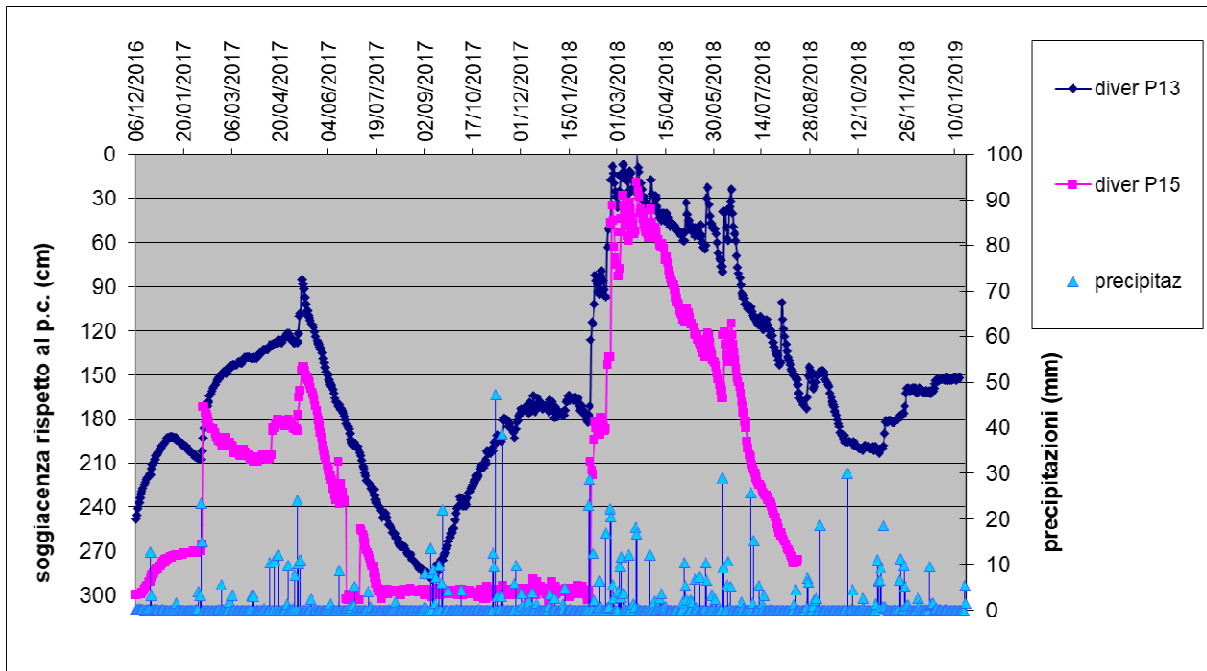


Grafico 5: Confronto fra le due curve descritte dall'andamento del livello di falda nei due piezometri P13 e P15 collocati nell'appezzamento del sito di Panzano.

Note al grafico: Nel sito di Panzano, i piezometri sono collocati all'interno di un vigneto, che può essere all'occorrenza irrigato a goccia e posto in prossimità del canal Torbido, il quale, seppur arginato, possiede un letto a quote leggermente inferiori rispetto al p.c. L'andamento delle curve, pur nel breve periodo esaminato, pare seguire quello delle precipitazioni, con un massimo in corrispondenza del 10 maggio 2017 e poi una graduale discesa connessa al periodo siccitoso, parzialmente interrotto col gruppo di precipitazioni verificatesi ad inizio settembre. L'interruzione nelle letture del Diver sul P15, dal 21 giugno al 3 luglio è dovuta al prelievo dello strumento per verifiche, ma l'assenza non pregiudica la lettura della curva nel suo complesso. Più grave la rottura dello strumento avvenuta il 16 agosto 2018, con la si interrompono le letture nel P15. Le letture manuali effettuate nel rimanente periodo attestano comunque la permanenza della falda sotto i 300 cm.

Dal confronto fra le curve, si osserva che livello di falda nel P15, posto a 150 m dal Torbido, sia quasi sempre inferiore (in media di circa 40 cm nel periodo irriguo aprile – settembre) rispetto a quello del P13, posto a 25 m dallo stesso canale. In realtà la differenza potrebbe essere anche maggiore, tenendo conto del fatto che nel P15, dal 22 luglio la falda scende sotto la profondità di rilievo del piezometro (3 m), e non è di fatto più misurabile. Nel 2018 la risalita di falda è maggiore, in virtù delle maggiori precipitazioni, giungendo a marzo ad una soggiacenza fin quasi a livello del p.c. in entrambi i piezometri.

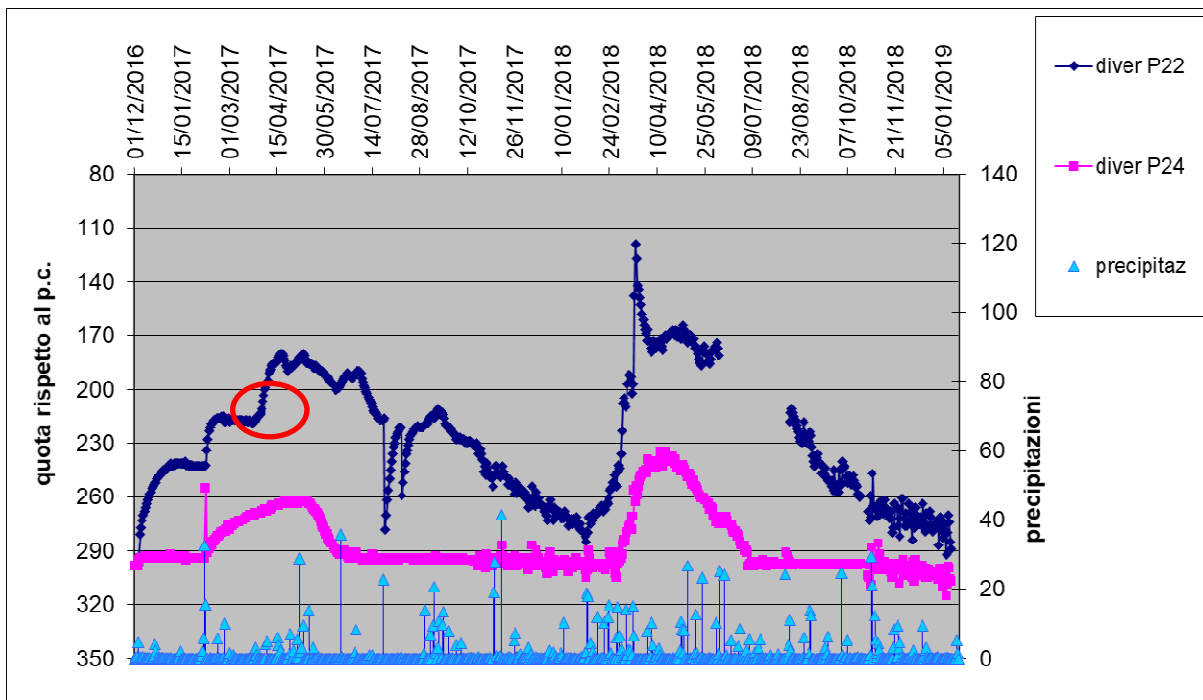


Grafico 6: Confronto fra le due curve descritte dall'andamento del livello di falda nei due piezometri P22 e P24 collocati nell'appezzamento del sito di S. Felice s. P.

Note al grafico: In quest'ultimo sito, i piezometri si trovano in un pereto, irrigato a goccia e posto in prossimità del canale Ramedello. Le due anomalie osservate nella curva del P22 il 25 luglio ed il 10 agosto 2017 sono causate, in analogia a quanto già descritto per Pomposa, da prelievi di acqua tramite bailer per la misura della conducibilità elettrica. A prescindere da queste, è molto evidente la differenza di quota di falda fra il P22, posto a 25 m dal canale, ed il P24, situato a 150 m. Mediamente la differenza si assesta attorno agli 80 cm, tenendo sempre conto del fatto che dall'1 luglio 2017 la falda nel P24 non è più rilevabile dal piezometro e può quindi situarsi a quote ancora inferiori. Non sempre le risalite osservate nella curva di falda del P22 sembrano connesse alle precipitazioni: in particolare, quella verificatesi a fine marzo 2017, con un risalito di circa 30 cm (circoletto rosso), potrebbe essere causata dall'influenza per infiltrazione delle acque provenienti dal Ramedello invasato. Il più piovoso 2018 vede una maggior risalita media della falda in entrambi i piezometri, anche se per il P24 la risalita è di breve durata e termina ai primi di luglio. Per quanto riguarda infine il P22, un ulteriore malfunzionamento di un Diver, ha determinato un'interruzione delle letture dall'8 giugno al 12 agosto.

ALLEGATO 10

RAPPRESENTAZIONI SPAZIALI TRAMITE IL METODO IDW DELL'ANDAMENTO DEL LIVELLO DI FALDA NEGLI APPEZZAMENTI MONITORATI DURANTE L'AZIONE 3.2

Introduzione

A partire dalla sperimentazione sul canale Stiolo (2008-2011), le elaborazioni geostatistiche tramite il modello IDW o Inverse Distance Weighted, sono state utilizzate in tutti i siti regionali per lo studio delle relazioni fra canali invasati e falda ipodermica. Esse forniscono infatti uno strumento rapido e di facile comprensione, per estendere al territorio quanto misurato puntualmente nei piezometri tramite le letture manuali di profondità della falda. Di conseguenza, in base a quanto previsto nella fase 2c², sono state prodotte, per ogni anno, immagini IDW relative all'andamento della falda ipodermica nei siti delle due aziende prescelte di Panzano (MO) e Valle Gaffaro (FE). Oltre ad esse, sono state realizzate anche immagini dello stesso tipo per l'azienda di S. Felice (MO), studiata invece nell'ambito dell'Azione 3.3. Anche i dati relativi a questo sito, infatti, che mostrano evidenti relazioni fra altezza dell'acqua nel canale e quota di falda, sono stati utilizzati per sviluppare il lavoro di modellazione nella fase 2d.

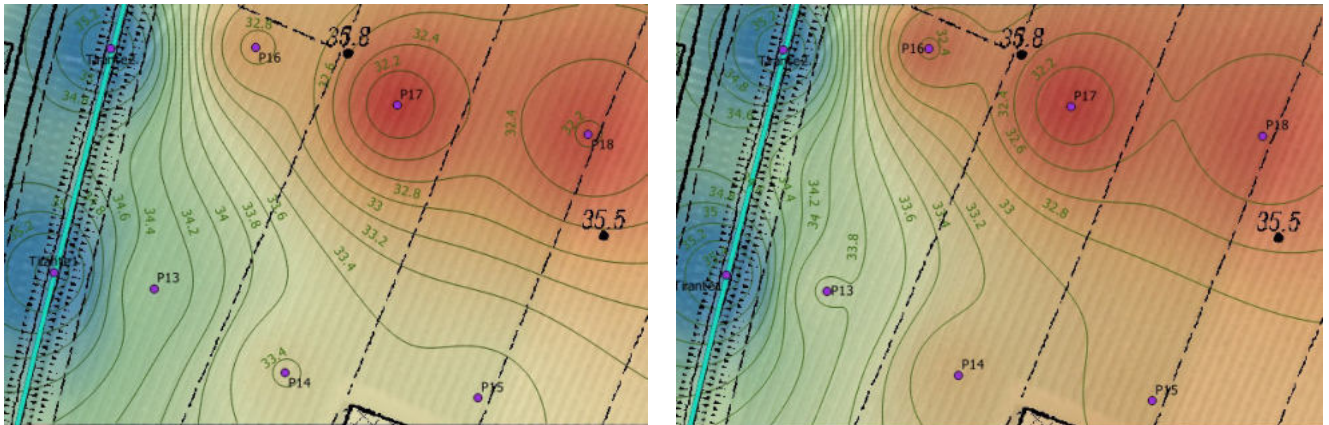
Di seguito, sono mostrate alcune immagini per sito, relative ciascuna ad un ciclo annuale di letture manuali di quota falda ed altezza di acqua nel canale. In ognuna sono visibili: la topografia, l'ubicazione dei piezometri, le aree a tinte graduate, corrispondenti ad intervalli di profondità di falda, ed infine le isofreatiche. Ad ogni colore corrisponde una quota di falda in valore assoluto s.l.m, come rappresentato nelle immagini delle scale riportate nel paragrafo dedicato a ciascun sito. Le quote hanno un errore stimato centimetrico, in quanto su tutti i siti descritti sono state eseguiti rilievi del p.c. in corrispondenza dei piezometri e dell'altezza dell'acqua nei canali, tramite strumenti GPS ad alta precisione.

Sito Panzano (MO)

L'elaborazione effettuata interessa un'area di circa 3,5 ha, con il canal Torbido decorrente ad ovest dei due allineamenti di piezometri, posti a distanza crescente dal canale. Causa la stagione estremamente seccata e le dinamiche di approvvigionamento del canale (deriva le sue acque dal fiume Panaro), il tirante ha potuto essere mantenuto nel 2017 solo fino ad inizio luglio, riducendosi quindi al minimo fino ad ottobre, quando nuove piogge hanno consentito una sua risalita. Nel 2018, viceversa, non si è verificato tale problema, e sul canale si sono rilevati circa 30 cm di acqua fino a fine agosto, poi ridottisi a 15. Le due immagini 2017 proposte si riferiscono pertanto all'unico periodo in cui il canale ha potuto mantenere un regime delle acque da considerare normale per la stagione e tale da influenzare il livello di falda. Per il 2018 è visibile anche la situazione della falda ad agosto.

² "Elaborazione dei dati rilevati nel corso del periodo di monitoraggio a supporto dello sviluppo, confronto e verifica dei risultati forniti dall'attività di modellazione descritta in fase 2d".

Anno 2017



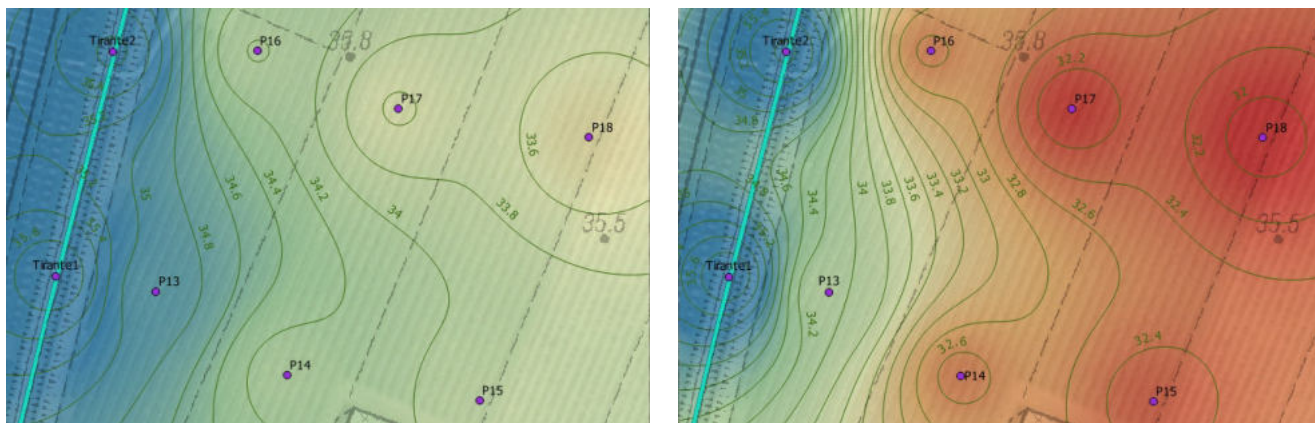
| Valore | Colore |
|-----------|--------------|
| 31.983700 | Red |
| 32.377900 | Orange-Red |
| 32.772100 | Orange |
| 33.166300 | Light Orange |
| 33.560500 | Yellow |
| 33.954800 | Light Green |
| 34.349000 | Green |
| 34.743200 | Teal |
| 35.137400 | Blue |

Figura 10: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico del livello di falda nel sito di Panzano alle date 02/05/2017 (a sin.) e 14/06/2017 (a des.). La quota delle isofreatiche è in m s.l.m. A fianco, la scala colorimetrica utilizzata.

Come si desume da queste prime immagini, il livello dell'acqua nel Torbido nel corso della stagione irrigua è posizionato circa 2- 3 m più in alto rispetto a quello di falda. L'alimentazione sembra evidente nella parte sud, ove la falda è circa un metro più alta rispetto a quella nord. La relazione di quest'ultima con le acque infiltrate dal canale sembra invece più problematica, a causa della presenza di un tratto impermeabilizzato di circa 100 m nei pressi del castello di Panzano.

Dai primi di maggio a metà giugno la falda si abbassa mediamente di circa mezzo metro, com'è chiaramente osservabile dall'andamento delle isofreatiche nella parte sud, la quale, procedendo la stagione irrigua, tende ad allinearsi alle stesse quote della parte nord.

Anno 2018



| Valore | Colore |
|-----------|--------------|
| 31.983700 | Red |
| 32.377900 | Orange-Red |
| 32.772100 | Orange |
| 33.166300 | Light Orange |
| 33.560500 | Yellow |
| 33.954800 | Light Green |
| 34.349000 | Green |
| 34.743200 | Dark Green |
| 35.137400 | Blue |

Figura 11: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico del livello di falda nel sito di Panzano alle date 15/05/2018 (a sin.) e 07/08/2018 (a des.). La quota delle isofreatiche è in m s.l.m. A fianco, la scala colorimetrica utilizzata.

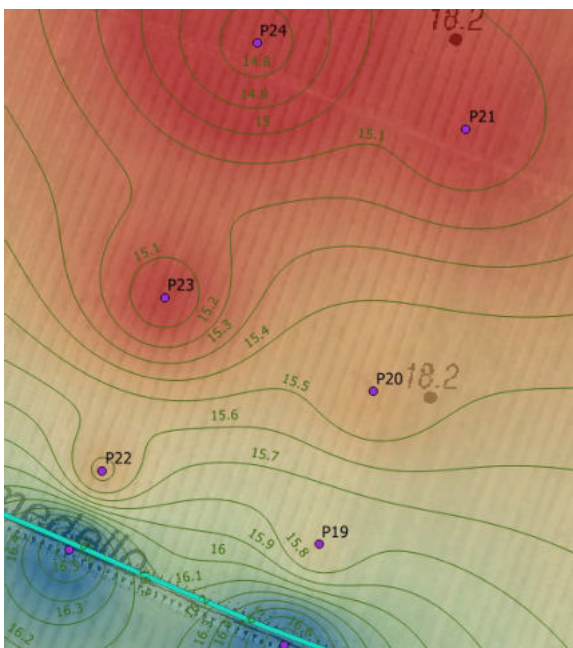
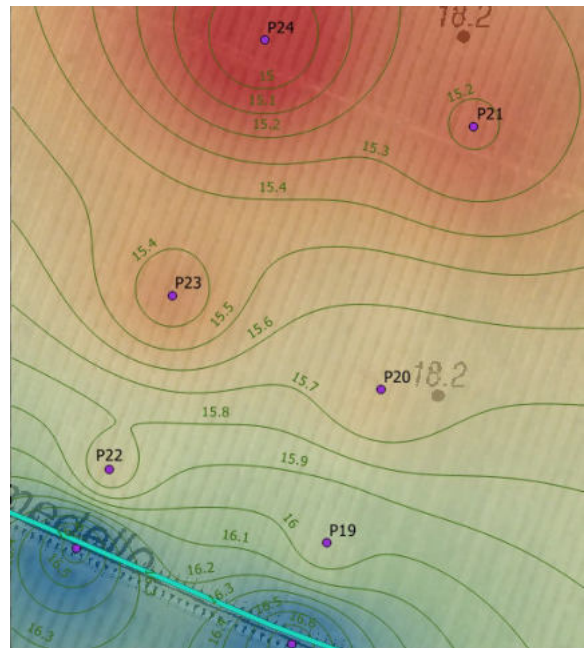
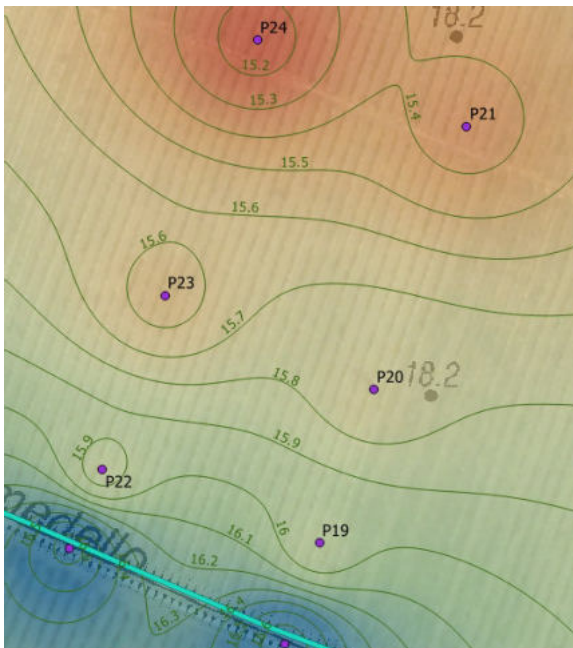
A maggio 2018, il livello di falda nel Torbido si posiziona, date le intense precipitazioni, a quote di circa un metro superiori rispetto a quanto osservato nel 2017. Permane una differenza di quota fra i piezometri nei due allineamenti, come sempre a favore dell'allineamento sud, che sembra usufruire più facilmente dell'apporto di acque dal Torbido. Essa, però, si attenua fra i piezometri più distanti (circa 40 cm), probabilmente a causa dell'innalzamento generale della falda, che contribuisce ad appiattare il divario registrato invece nel 2017.

Da metà maggio a inizio agosto la falda si abbassa mediamente di circa un metro e mezzo, anche se i cali minori si riscontrano in prossimità del Torbido (88 cm nel P13).

Sito S. Felice s. P. (MO)

L'elaborazione interessa un'area di circa 3 ha, con il canale Ramedello situato all'estremo sud dei due allineamenti di piezometri, posti a distanza crescente dal canale. Al contrario del Torbido, il Ramedello ha potuto rimanere invaso continuamente, sia nel 2017 che nel 2018, fino agli inizi di ottobre, senza importanti abbassamenti del tirante, posizionato fra i 30 ed i 40 cm. Sono proposte, per ciascuno dei due anni, tre immagini decorrenti dall'inizio della stagione irrigua fino alla raccolta dei frutti nel pereto in cui sono collocati i piezometri.

Anno 2017



| Valore | Colore |
|-----------|---------------|
| 15.013400 | Red |
| 15.221700 | Orange-Red |
| 15.430100 | Orange |
| 15.638400 | Yellow-Orange |
| 15.846700 | Yellow |
| 16.055000 | Light Green |
| 16.263400 | Green |
| 16.471700 | Blue |

Figura 12: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico del livello di falda nel sito di Panzano nei tre momenti 04/05/2017 (a sin.), 14/06/2017 (a des.), 10/08/2017 (in basso a sin.). La quota delle isofreatiche è in m s.l.m. In basso a destra la scala colorimetrica utilizzata.

Anno 2018

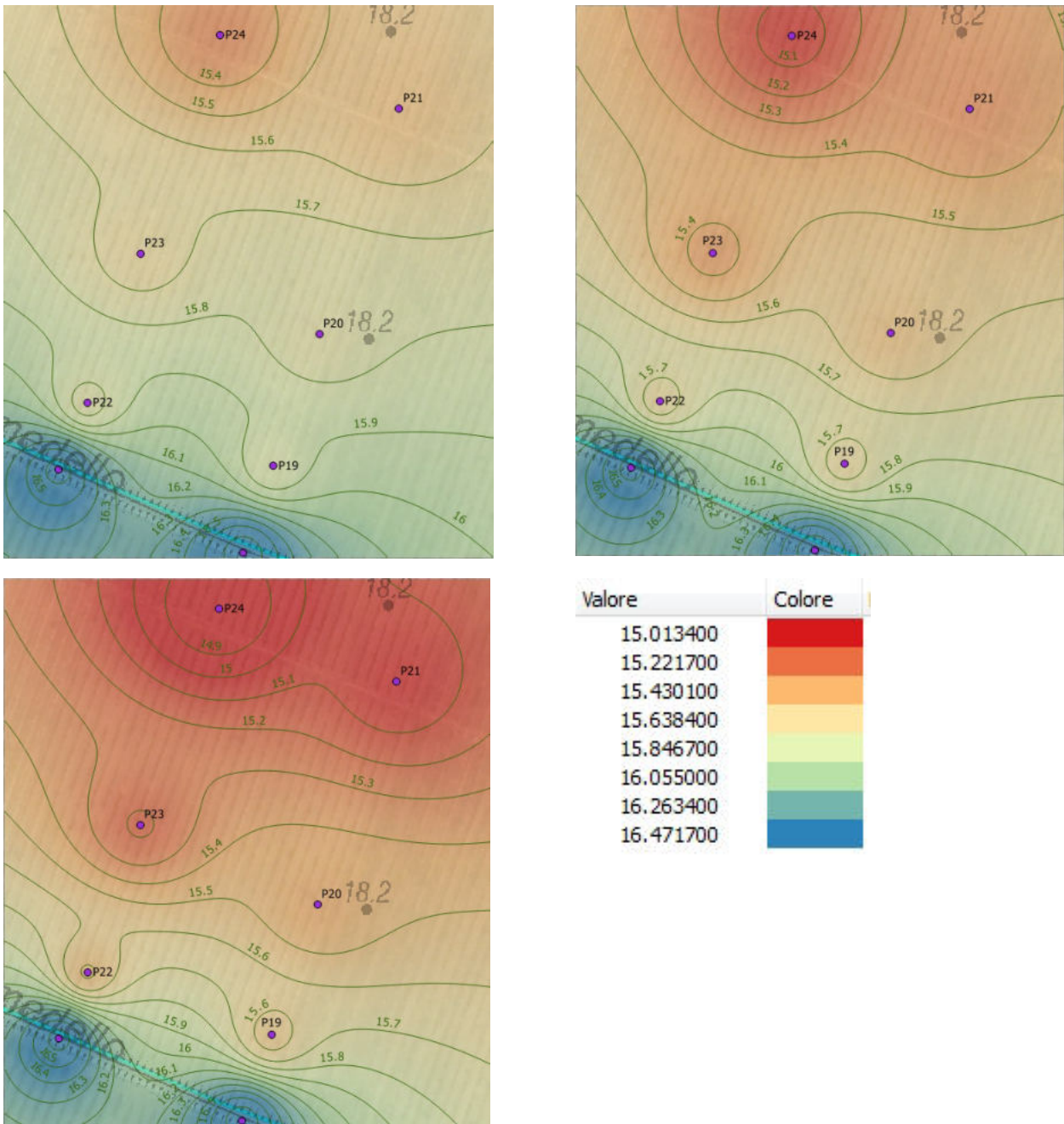


Figura 13: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico del livello di falda nel sito di Panzano nei tre momenti 10/05/2018 (a sin.), 20/06/2018 (a des.), 20/08/2018 (in basso a sin.). La quota delle isofreatiche è in m s.l.m. In basso a destra la scala colorimetrica utilizzata.

Nel 2018 è percepibile lo stesso andamento asimmetrico di quota di falda nei due allineamenti di piezometri riscontrato nel 2017, anche se con differenze più ridotte. L'andamento climatico (maggiori precipitazioni nel 2018), sembra avere effetti minimi sull'altezza di falda, totalizzando mediamente non più di 10 cm di risalita aggiuntiva. Fra piezometri più vicini e più lontani dal canale permane per tutto il periodo una differenza di circa 60 - 70 cm di quota falda, ossia circa 220 cm dal p.c. nel P19 e nel P22 e circa 290 cm (al limite della capacità di rilievo nei piezometri) nel P21 e nel P24.



Figura 14: Il canal Torbido, nel tratto impermeabilizzato presso il castello.



Figura 15: Il canale Ramedello visto da est. A destra nella foto, il pereto che ospita i piezometri.



Figura 16: Lo scolo Beccaccino invasato a inizio stagione irrigua.

Sito Valle Gaffaro (FE)

L'elaborazione interessa un'area di circa 5 ha, con lo scolo Beccaccino situato ad est dei due allineamenti di piezometri, posti a distanza crescente dal canale in un campo coltivato ad asparagi. Si segnala che i piezometri situati nel campo consentono di esplorare l'andamento della falda ipodermica fino a circa 120 – 130 cm dal p.c. Tramite essi (e i due strumenti di lettura in continuo Diver sistemati nel P4 e nel P6) è possibile ricostruire l'andamento della falda nel corso dell'anno fra i circa -50 cm all'apice della stagione irrigua ed i - 130 di dicembre-gennaio. Dopo tale periodo, la falda scende oltre le capacità di rilievo degli strumenti.

La gestione irrigua avviene tramite l'immissione in fossi laterali di acqua proveniente da un canale irrigatore in cemento più ad ovest, gestito dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara. Dai fossi l'acqua, per infiltrazione nel terreno molto permeabile (sabbioso), giunge ad alimentare ed innalzare la sottostante falda ipodermica, fino a quote accessibili alle radici delle piante. Seguendo la linea di pendenza, la falda affiora nel Beccaccino, il quale a sua volta funge sia da barriera idraulica per rallentare un deflusso troppo veloce, sia da scolo delle acque in eccesso, convogliandole verso il più meridionale Collettore Giralda. Per il 2017 sono proposte tre immagini, decorrenti dall'inizio della stagione irrigua fino al periodo di svasso (ottobre), relative all'andamento della quota di falda; per il 2018, invece, le elaborazioni sono eseguite sui valori di salinità riscontrati in campo con il conduttimetro contestualmente alle letture di falda.



Figura 17: Posizionamento di un piezometro in pozzetto nel sito di Valle Gaffaro.

Anno 2017

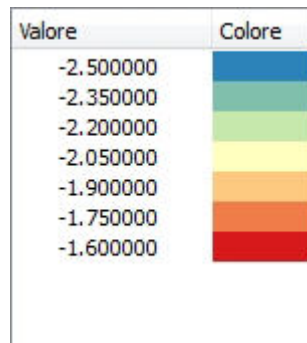
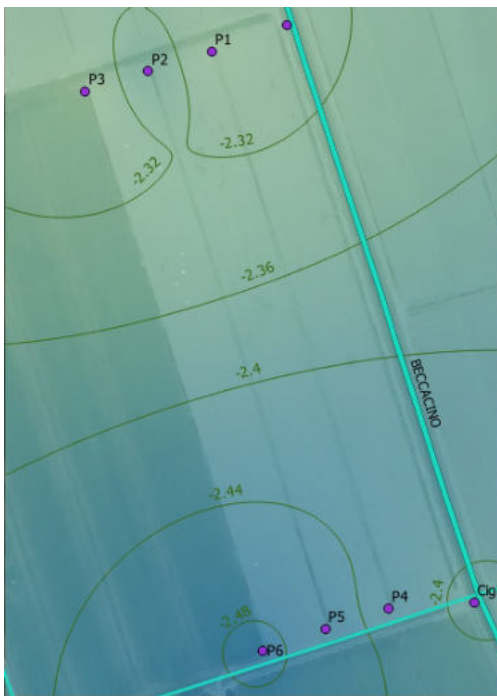
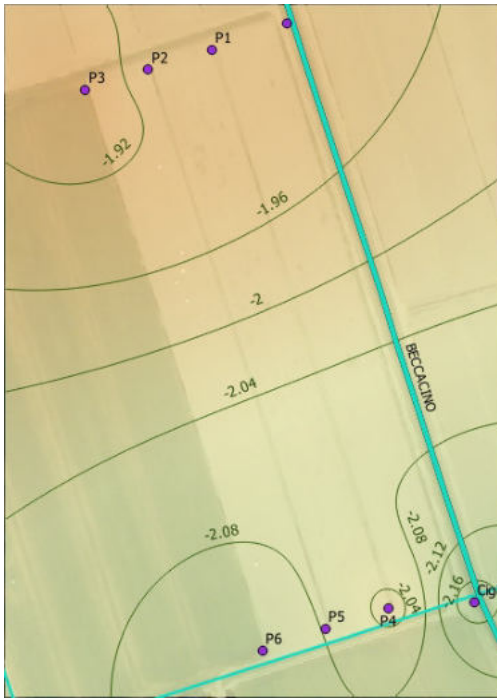
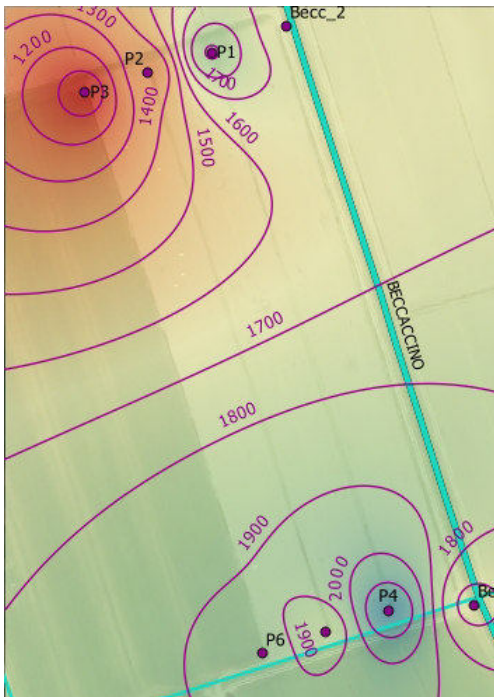


Figura 18: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico del livello di falda nel sito di Valle Gaffaro nei tre momenti 10/04/2017 (a sin.), 09/08/2017 (a des.), 05/10/2017 (in basso a sin.). La quota delle isofreatiche è in m s.l.m. In basso a destra la scala colorimetrica utilizzata.

Come si desume dalle immagini, la falda ipodermica oscilla nel corso della stagione irrigua fra 1,5 e 2,5 m sotto il livello del mare, il che è tipico in queste aree di piana costiera mantenute artificialmente drenate. Lo stesso piano campagna è posto in zona fra -1,3 e -1,5 m dallo zero altimetrico. Con l'immissione a pieno regime dell'acqua da parte del canale irrigatore occidentale, la falda risale fino a circa -1,7/-1,8 m dallo zero altimetrico (ossia a circa 50 cm dal piano campagna), come visibile nell'immagine del 9 agosto 2017. Le isofreatiche mostrano un evidente gradiente di quota da nord a sud, che si mantiene comunque nell'ordine di 10 – 15 cm sui 350 m che separano l'allineamento settentrionale di piezometri da quello meridionale (pendenza di circa 0,03%). L'andamento sinuoso delle isofreatiche a sud lascia presupporre che vi sia una moderata

azione di drenaggio delle acque di falda nei pressi del Beccaccino, anche se valutabile nell'ordine di pochi cm di dislivello: per avere conferme, è probabilmente necessario avere più punti di rilievo in corrispondenza dello stesso canale, ossia non solo in corrispondenza del sifone a sud, ma anche nelle parti centrale e settentrionale.

Anno 2018



| Valore | Colore |
|-------------|---------------|
| 1000.000000 | Red |
| 1216.670000 | Orange |
| 1433.330000 | Yellow-Orange |
| 1650.000000 | Yellow |
| 1866.670000 | Light Green |
| 2083.330000 | Green |
| 2300.000000 | Blue |

Figura 19: rappresentazioni IDW dell'andamento teorico della conducibilità elettrica nella falda del sito di Valle Gaffaro nei due momenti 31/07/2018 (a sin.) e 03/10/2018 (a des.). I valori sono in $\mu\text{S}/\text{cm}$. In basso, la scala colorimetrica utilizzata.

I due momenti rappresentati si situano ai due estremi della gestione irrigua del campo di asparagi monitorato. L'immagine a sinistra mostra la situazione della conducibilità elettrica nelle acque di falda al momento in cui è massima l'immissione, per infiltrazione laterale, delle acque poco saline (circa $800 \mu\text{S}/\text{cm}$) fornite dal Consorzio di Bonifica. A destra, viceversa, è illustrata la situazione ad ottobre, quando gli apporti irrigui sono cessati. Quest'ultima immagine evidenzia come, in condizioni normali, l'effetto dello scolo Beccaccino sia di attenuare i valori di salinità della falda posta in prossimità (riduzione di circa $200 - 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ rispetto al P3 ed al P6). Quando invece viene immessa acqua irrigua poco salina, l'effetto di mitigazione è visibile soprattutto a nord e nei piezometri più distanti dal Beccaccino, mentre, a sud, essi mostrano valori analoghi a quanto riscontrato in ottobre. Non si è riusciti a fornire una spiegazione esauriente del comportamento della falda nella parte meridionale, anche se sicuramente la già citata scarsità di punti di rilievo e la ridotta profondità d'indagine hanno giocato un ruolo determinante, così come l'impossibilità logistica di posare CTD – Diver per il contemporaneo monitoraggio dell'altezza di falda e salinità.

ALLEGATO 11

Misure di portata sui canali afferenti ai siti di monitoraggio

Misure con strumento natante RiverSurveyor



Figura 20: Utilizzo del River Surveyor sullo scolo Beccaccino

| Canale | N sezione | Descrì | Data | Portata (m3/sec) | Portata (l/sec) | Note |
|------------|-----------|--|------------|------------------|-----------------|--|
| Torbido | 1 | tratto nord; 50 m dal ponte del castello di Panzano; sponde in terra | 22/06/2016 | 0,373 | 373 | |
| Beccaccino | 1 | tratto circa 200 m a nord del ponte prima dello sbocco sullo Scolo Giralda | 23/06/2016 | 0 | 0 | Valori di velocità troppo bassi; non si è riusciti ad effettuare la misura; necessita il mulinello idrometrico |

Misure con mulinello idrometrico SIAP ME 4001 (2016)

| Canale | N sezione | Descrizione | Larghezza (m) | Tirante medio (m) | Area sezione (m2) | Misura 1 (m/sec) | Misura 2 (m/sec) | Misura 3 (m/sec) | Portata (l/sec) | Data |
|-------------------|-----------|--|---------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|------------|
| Ramedello | 0 | Stramazzone con palancole sotto ponticello capannone azienda Bergamini | 0,94 | 0,07 | 0,07 | | | | | |
| Ramedello | 1 | su ponticello 20 m ad E ponte ferrovia, sponde e fondo (?) in cemento | 2,4 | 0,25 | 0,60 | 0,086 | 0,120 | | 61,80 | 18/08/2016 |
| Ramedello | 2 | all'altezza di filare 35 fra le 2 file di piezometri; sponde in terra | 2,85 | 0,33 | 0,95 | 0,073 | 0,048 | | 57,48 | 18/08/2016 |
| Torbido | 1 | tratto nord; sul ponte del castello di Panzano; sponde in terra | 3,5 | 0,25 | 0,88 | 0,460 | | | 402,50 | 22/06/2016 |
| Torbido | 2 | tratto sud; 200 m prima del ponte stradale; sponde e fondo in cemento | 3,5 | 0,15 | 0,53 | 0,341 | | | 179,03 | 18/08/2016 |
| Beccaccino | 2a | tratto vicino ponte primo di sbocco su Scolo Giralda | 0,99 | 0,1 | 0,099 | 0,258 | 0,206 | 0,279 | 24,519 | 14/09/2016 |
| Beccaccino | 2b | tratto vicino ponte primo di sbocco su Scolo Giralda | 0,99 | 0,1 | 0,099 | 0,899 | 0,897 | | 88,902 | 14/09/2016 |
| Fosso 1b | 1 | canale irriguo in cemento; misura presso centro aziendale | 0,35 | 0,45 | 0,16 | 0,424 | 0,477 | 0,399 | 68,25 | 14/09/2016 |

Misure con mulinello idrometrico SIAP ME 4001 (2017)

| Canale | N sezione | Descrizione | Larghezza (m) | Tirante medio (m) | Area sezione (m2) | Misura 1 (m/sec) | Misura 2 (m/sec) | Portata parziale (l/sec) | Portata totale l/sec | Data |
|---------------------|-----------|--|---------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| Ramedello | 1a | Parte centrale a 150 cm da sponde | 1,4 | 0,65 | 0,91 | 0,024 | 0,039 | 28,67 | | |
| Ramedello | 1b | Sezione laterale nord | 0,8 | 0,37 | 0,30 | 0,013 | | 1,92 | | |
| Ramedello | 1c | Sezione laterale sud | 0,8 | 0,37 | 0,30 | 0,019 | | 2,81 | 33,40 | 25/07/2017 |
| Ramedello | 2 | Parte centrale a 150 cm da sponde | 1 | 0,9 | 0,90 | 0,045 | | 40,80 | | |
| Ramedello | 2 | Sezione laterale nord1 | 0,5 | 0,77 | 0,39 | 0,035 | | 13,56 | | |
| Ramedello | 2 | Sezione laterale nord2 | 0,5 | 0,38 | 0,19 | 0,022 | | 4,22 | | |
| Ramedello | 2 | Sezione laterale sud1 | 0,5 | 0,47 | 0,24 | 0,008 | | 1,83 | | |
| Ramedello | 2 | Sezione laterale sud2 | 0,5 | 0,8 | 0,40 | 0,022 | | 8,89 | 69,30 | 10/08/2017 |
| Torbido | 1 | Tratto nord (castello di Panzano): sez centrale | 1,35 | 0,215 | 0,29 | 0,320 | 0,330 | 94,33 | | |
| Torbido | 1 | Tratto nord (castello di Panzano); sezione ovest | 0,67 | 0,18 | 0,12 | 0,220 | | 26,53 | | |
| Torbido | 2 | Tratto nord (castello di Panzano); sezione est | 0,67 | 0,18 | 0,12 | 0,200 | | 24,12 | 144,98 | 03/10/2017 |
| Cond. Volano | 1 | Sezione centrale | 2 | 0,8 | 1,60 | 0,096 | | 153,42 | | |
| Cond. Volano | 1 | Sezione nord | 2 | 1 | 2,00 | 0,126 | | 252,44 | | |
| Cond. Volano | 1 | Sezione sud | 2 | 0,6 | 1,20 | 0,080 | | 96,00 | 501,87 | 09/08/2017 |

Misure con mulinello idrometrico SIAP ME 4001 (2018)

| Canale | Data | Descrizione punto rilievo | Larghezza (m) | Tirante medio (m) | Area sezione (m2) | Media misure (m/sec) | Portata totale l/sec | Note |
|---------------------|------------|-----------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|---|
| Ramedello | 01/06/2018 | Parte centrale a 150 cm da sponde | 2,03 | 0,75 | 1,52 | 0,019 | 28,93 | All'altezza di filare 35 fra le 2 file di piezometri; sponde in terra |
| Ramedello | 04/07/2018 | Parte centrale a 150 cm da sponde | 2,73 | 0,48 | 1,31 | 0,011 | 14,41 | All'altezza di filare 35 fra le 2 file di piezometri; sponde in terra |
| Torbido | 01/06/2018 | Tratto 100 m a sud ponte stradale | 3,21 | 0,42 | 1,35 | 0,264 | 355,92 | N° 5 misure sulla sezione |
| Torbido | 13/08/2018 | Tratto 100 m a sud ponte stradale | 3,44 | 0,28 | 0,96 | 0,337 | 324,60 | N° 5 misure sulla sezione |
| Cond. Volano | 31/05/2018 | Ponte acquedotto | 2 | 1,15 | 2,30 | 0,124 | 285,20 | N° 2 misure sulla sezione |
| Cond. Volano | 01/08/2018 | Ponte acquedotto | 2 | 1,05 | 2,10 | 0,132 | 277,20 | N° 2 misure sulla sezione |

ALLEGATO 12

ATTIVITA' SVOLTE DAL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI (DICAM) NELL'AMBITO DELL'AZIONE 3.2

All'interno dell'Azione 2, il DICAM è stato chiamato ad elaborare i dati provenienti dai siti di monitoraggio per sviluppare il modello statistico-matematico in grado di descrivere l'interazione fra l'acqua infiltrata dai canali e la falda ipodermica. L'obiettivo era quello di quantificare delle fasce di influenza attorno ai canali, entro cui è evidente il contributo di quest'ultimi alla falda.

L'attività svolta si è articolata nelle seguenti fasi:

(1) Analisi dello stato dell'arte e dei codici disponibili per simulare l'interazione canale-falda: Lo studio dell'interazione tra canali e falda viene condotto utilizzando modelli numerici. Tra i modelli di calcolo presenti in letteratura che risolvono problemi di flusso in mezzi porosi, sono stati presi in considerazione e analizzati tre differenti software prodotti dall'U.S. Geological Survey: MODFLOW, SUTRA e VS2DI. A valle di simulazioni preliminari e dopo un'attenta analisi delle potenzialità dei singoli applicativi, la scelta è ricaduta sul modello VS2DI in grado di risolvere, con schemi numerici alle differenze finite, in modo accurato e computazionalmente conveniente, l'equazione di Richards che descrive il flusso dell'acqua in domini porosi a saturazione variabile. Il modello, rispetto agli altri codici menzionati, è stato quindi ritenuto più idoneo per la finalità dell'Azione 2.

(2) Analisi dei dati di monitoraggio provenienti dai siti studio: per poter calibrare e validare il modello, al fine di renderlo applicabile alle diverse condizioni di interazione ritenute rappresentative a scala regionale, si è reso necessario analizzare i dati raccolti durante le campagne di monitoraggio. In particolare, sono stati analizzati i dati relativi ai siti di Pia Est, Cavezzo e Stiolo. Nello specifico, sono stati considerati i seguenti dati:

- SITO Pia Est: geometria del canale; quotatura dei piezometri; tessitura del suolo attraversato dal canale; misure della conducibilità idraulica satura K_{sat} ; misurazioni di perdite per infiltrazione nel canale (prove condotte in data 13/6/2013 - 21-23/05/2017); letture del tirante idraulico e del livello di falda (serie temporali relative al periodo 2011-2015); dati climatici (evapotraspirazione, temperatura, precipitazione) nel sito di monitoraggio (serie temporali relative al periodo 2011-2014);
- SITO Cavezzo: geometria del canale; quotatura della sezione del canale e dei piezometri; tessitura del suolo attraversato dal canale; misure della conducibilità idraulica satura K_{sat} ; letture di livello della falda ipodermica misurata manualmente e attraverso diver (serie temporali relative al periodo 19/12/2011 – 26/10/2015);
- SITO Stiolo: geometria del canale; quotatura della sezione del canale e dei piezometri; tessitura del suolo attraversato dal canale; misure della conducibilità idraulica satura K_{sat} ; misurazioni di perdite per infiltrazione nel canale; lettura estiva del tirante idrico e livello della falda ipodermica misurata manualmente e attraverso diver (serie temporali relative al periodo 26/02/2008 – 5/03/2012);

(3) Simulazioni numeriche: dopo aver analizzato i dati raccolti presso le stazioni sopra descritte e aver fornito delle interpretazioni per gli andamenti riscontrati, sono state svolte delle simulazioni tramite software *VS2DI* per valutare l'influenza di vari parametri, in particolare quelli che caratterizzano il terreno, sulla modellazione del fenomeno di infiltrazione. Per ciascuno dei tre canali è stato realizzato un modello basandosi sulle informazioni disponibili relative a topografia, sezione, profilo stratigrafico e parametri di permeabilità dei suoli (Fig. 18).

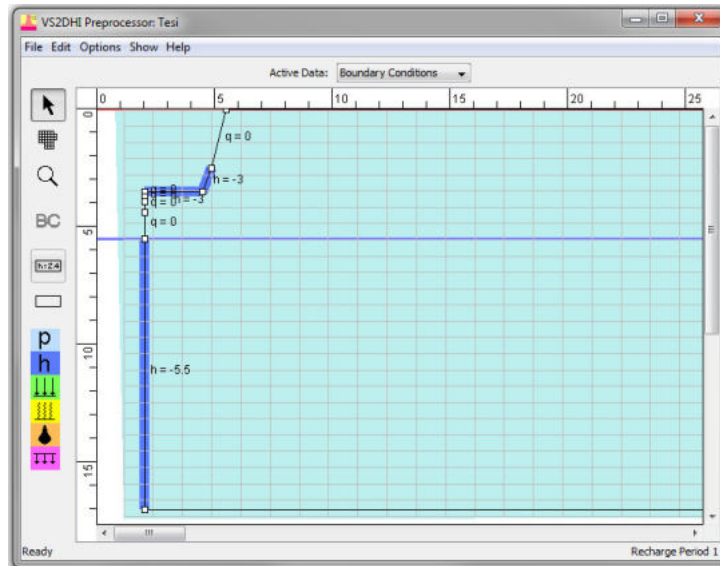


Figura 21: Modello bidimensionale del canale Stiolo. Per ragioni di simmetria rispetto all'asse del canale si è scelto di rappresentare nel modello solo metà sezione

Si è scelto un periodo di riferimento per la simulazione per il quale fossero disponibili, presso una sequenza di piezometri di monitoraggio, dati osservati che avessero andamenti coerenti con le ipotesi di influenza del canale sul livello di falda. Infine, considerando tali livelli di falda osservati e tenendo conto delle informazioni disponibili riguardanti i tiranti presenti nei canali e i dati meteorologici, sono state impostate le condizioni iniziali e al contorno necessarie per l'esecuzione della simulazione. Per ciascun canale sono state eseguite numerose simulazioni con set di parametri differenti ed ogni volta se ne sono confrontati i risultati con i dati osservati, al fine di individuare il set ottimale che inserito nel modello permettesse di ottenere livelli di falda simulati più simili possibile ai livelli reali misurati (Fig. 19 e 20).

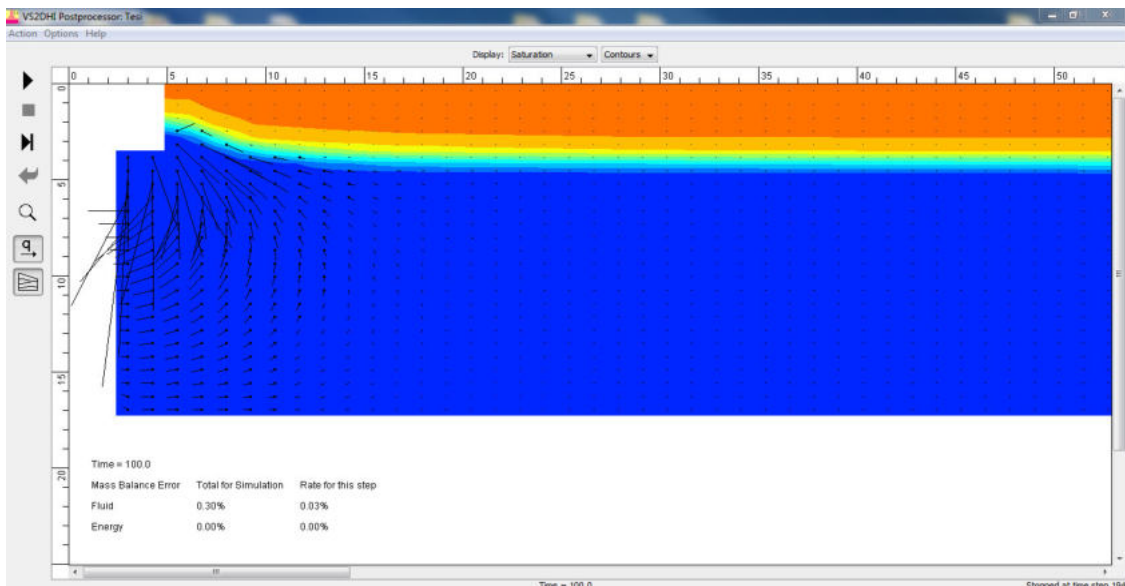


Figura 22: Simulazione di variazione della saturazione del suolo per effetto del solo canale.

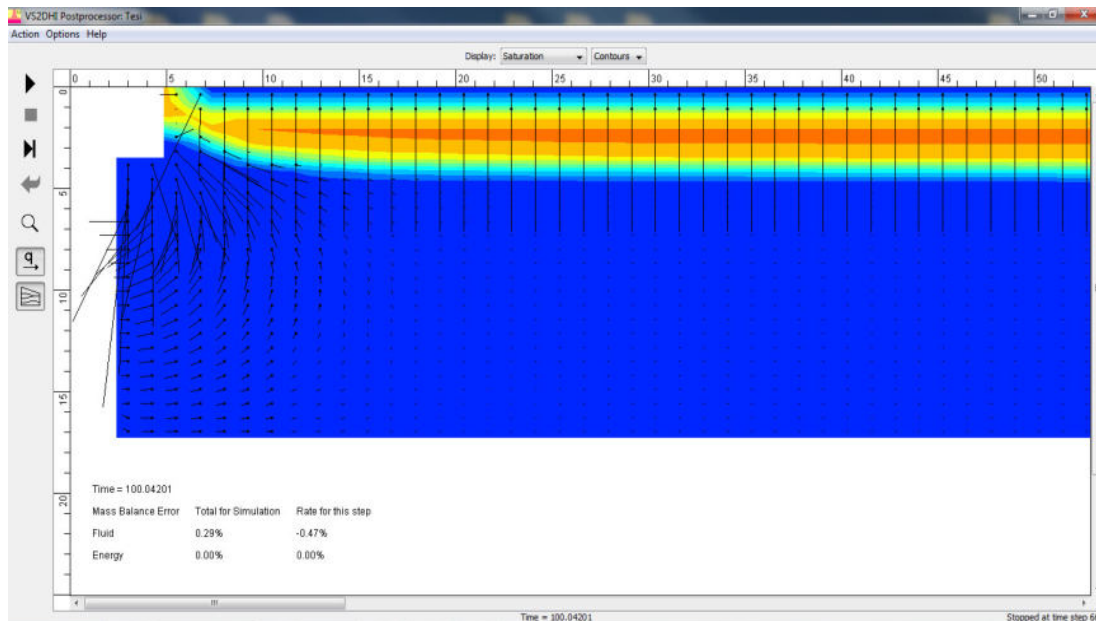


Figura 23: Simulazione di variazione della saturazione del suolo in presenza di precipitazioni.

Per velocizzare e semplificare la procedura di analisi dei risultati è stato sviluppato un breve codice di calcolo che, a partire dai dati contenuti nel file di output compilato dal software, fosse in grado di elaborare un grafico di confronto diretto tra andamento reale del livello di falda nel tempo a diverse distanze dal canale e andamento simulato e due grafici di regressione lineare tra i dati simulati e misurati presso due piezometri di riferimento a distanze crescenti dal canale.

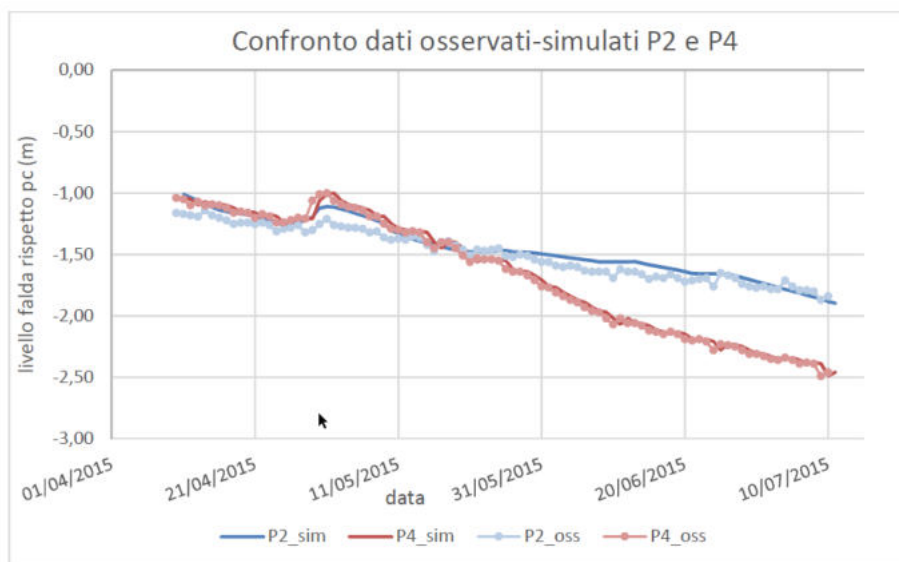


Grafico 13: Confronto tra i livelli misurati con diver presso i piezometri P2 e P4 e i livelli simulati a 78m e 200m di distanza dal Diversivo di Cavezzo.

Grafico 7: Esempio di confronto fra livelli di altezza di falda realmente misurati su due piezometri a distanze crescenti da un canale (Diversivo di Cavezzo) e livelli stimati dal modello.

La lunga serie di simulazioni ha permesso di ottenere importanti indicazioni riguardanti l'influenza di vari parametri sulla modellazione del fenomeno di infiltrazione. L'attenzione è stata rivolta soprattutto ai parametri associati al terreno: quelli che risultano influire maggiormente sul risultato sono il parametro k_s (conducibilità idraulica satura del terreno) e i parametri della formula di Van Genuchten, α e β . Proprio agendo sui valori associati a questi tre parametri è stata effettuata la calibrazione dei modelli.

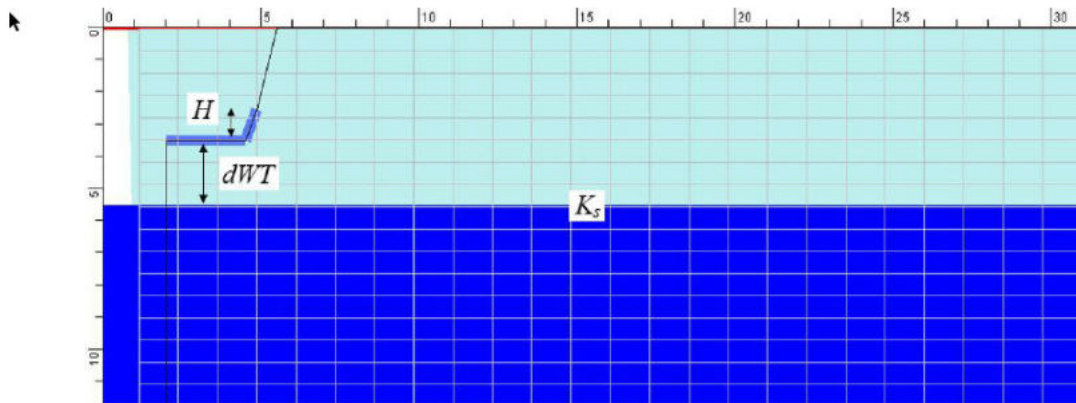


Figura 52: Rappresentazione schematica del sistema composto da canale, terreno circostante (in azzurro) e falda (in blu) preso come riferimento per la creazione del modello. H , dWT e K_s sono le variabili del modello. (immagine fornita da V. Ciriello)

Figura 24: Le tre variabili finali su cui si basa il modello: H (tirante del canale) K_s (conducibilità idraulica satura) e dWT (differenza di quota fra fondo canale e superficie della falda).

Nel corso delle simulazioni si è potuta testare inoltre la significativa influenza del fattore climatico sul livello di falda: eventi di precipitazione rilevanti si traducono in un repentino innalzamento del livello di falda, mentre l'evapotraspirazione, soprattutto nel periodo estivo quando è più accentuata e prolungata, ne causa l'abbassamento.

(4) Traduzione in linguaggio GIS: una volta terminate l'analisi e la modellazione del fenomeno di infiltrazione, ci si è concentrati sulla traduzione del modello sviluppato in un linguaggio che ne permettesse l'implementazione in GIS, in modo tale da poter creare un nuovo strato informativo, raffigurante l'influenza della rete di canali irrigui sul livello della falda superficiale, che potesse essere inserito come nuova componente nel bilancio idrico del sistema *IRRINET* per rendere più accurata la stima del livello di falda in prossimità dei canali irrigui ed affinare il calcolo del fabbisogno idrico delle colture ivi situate.

Per prima cosa, è stato elaborato un database contenente tutti i valori assunti in corrispondenza dei vari tratti di canale delle variabili di input del modello: tirante (H), conducibilità idraulica satura (k_s) e distanza tra fondo del canale e livello di falda indisturbata (dWT).

Le informazioni necessarie per costruire questo database sono state desunte, tramite interpretazioni, semplificazioni e classificazioni, dai vari strati informativi disponibili in Regione. In particolare, sono stati acquisiti gli shapefile relativi alla rete dei canali irrigui di tutta la regione Emilia-Romagna, alla *Carta di conducibilità idraulica satura dei suoli di pianura in scala 1:50.000* (Ks_RER), alla *Carta di Estendibilità del Dato di Falda* (*Carta EDF*).

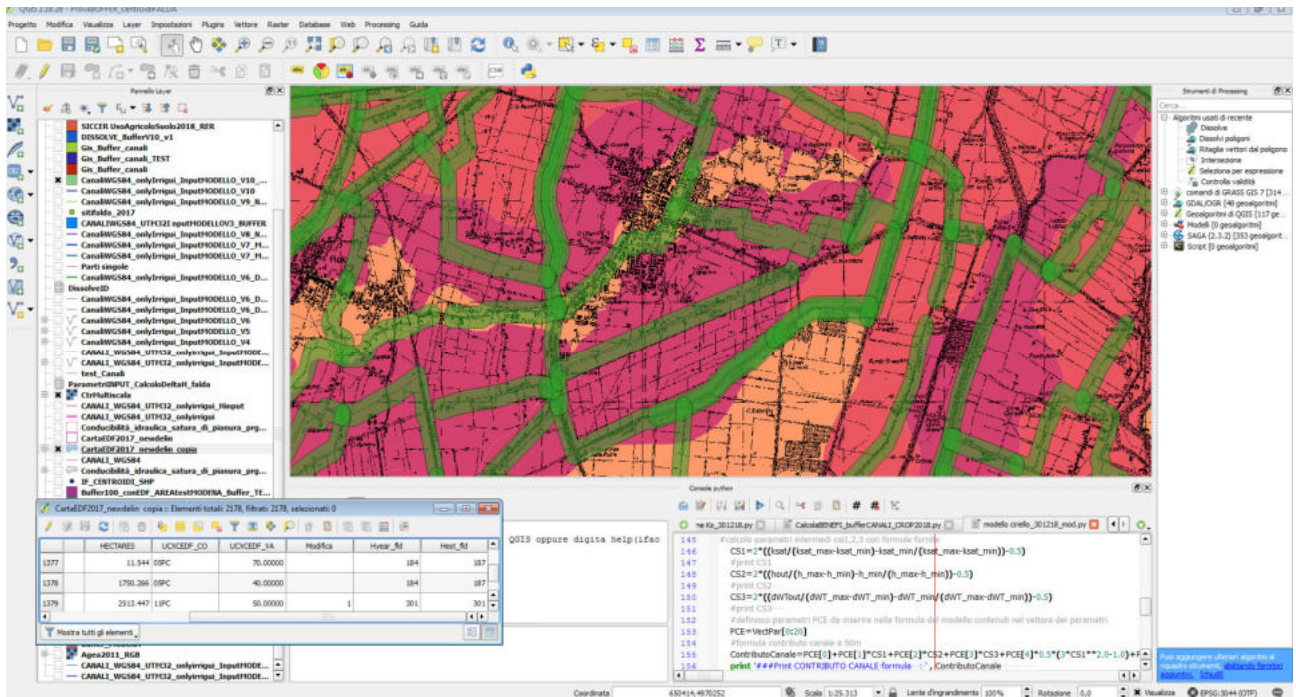


Figura 25: Rappresentazione GIS con fascia di pertinenza (linee verdi) su cui agisce l'innalzamento della falda da parte dell'acqua infiltrata dai canali; esse sono sovrapposte alle aree colorate della Carta di Estendibilità del Dato di Falda. In basso a sinistra, database contenente per ogni tratto i valori di input del modello; in basso a destra, parte del linguaggio Python utilizzato per il calcolo e l'assegnazione di un valore di innalzamento del livello di falda per ogni tratto di canale.

È stato quindi redatto un codice in linguaggio *Python* che, per ogni tratto di canale presente nella rete regionale, accede al database contenente le variabili di input, estrae quelle corrispondenti all'elemento in analisi, applica il modello e poi, dopo aver aggiunto una nuova colonna al database di partenza, vi inserisce il contributo all'innalzamento del livello di falda dovuto alla presenza del canale.

Tale dato, è stato poi utilizzato per la costruzione di un buffer di influenza attorno ad ogni elemento della rete irrigua, che associa alla falda presente nel terreno circostante ciascun canale l'opportuno innalzamento di livello.

ALLEGATO 13

VALORI DI Ks (conducibilità idraulica saturata) misurati nel 2017 sul fondo di alcuni canali monitorati nel passato



Figura 26: Misure infiltrometriche tramite doppio cilindro eseguite a febbraio 2017 sul fondo del canale Ramedello.

Sito Stiolo (RE)

Doppio Anello fondo canale

| Calcolo Darcy | unit |
|----------------------|-------------|
| 0,0012 | cm/sec |
| 101,52 | cm/d |
| 1,02 | m/d |

Permeometro Guelph su fondo canale (10 cm)

| Calcolo | unit |
|----------------|-------------|
| 0,00002 | cm/sec |
| 1,94 | cm/d |
| 0,02 | m/d |

Sito Pia Est (RE)

Doppio Anello fondo canale

| <i>Calcolo Darcy</i> | <i>unit</i> |
|----------------------|-------------|
| 0,0002 | cm/sec |
| 19,58 | cm/d |
| 0,20 | m/d |

Permeametro Guelph su fondo canale (10 cm)

| <i>Calcolo</i> | <i>unit</i> |
|----------------|-------------|
| 0,00003 | cm/sec |
| 2,42 | cm/d |
| 0,02 | m/d |

Sito S. Felice – (MO)

Doppio Anello fondo canale

| <i>Calcolo Darcy</i> | <i>unit</i> |
|----------------------|-------------|
| 0,007 | cm/s |
| 0,00007 | m/s |
| 6,048 | m/d |

Permeametro Guelph su fondo canale (20 cm)

| <i>Calcolo</i> | <i>unit</i> |
|-----------------|-------------|
| 0,00010 | cm/sec |
| 0,000001 | m/s |
| 0,1 | m/d |

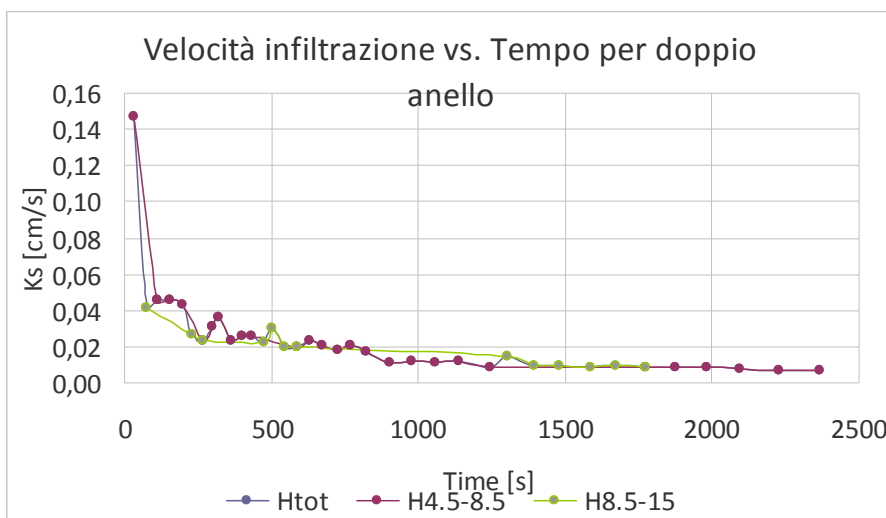


Grafico 8: Andamento della velocità d'infiltrazione nel tempo fino alla velocità stabilizzata, nel sito di S. Felice.

ALLEGATO 14

IMPLEMENTAZIONE DELLE FASCE DI PERTINENZA DEI CANALI IRRIGUI ALL'INTERNO DELL'APPLICATIVO WEB IRRINET - SPECIFICHE INFORMATICHE

Si tratta dell'estensione della funzionalità di geolocalizzazione plot di IN, utilizzata in fase di creazione e modifica plot, in modo che venga identificato il buffer di canale in cui eventualmente ricade il centroide del plot.

E' stata creata (nel database di IN) una nuova tabella GisBufferCanal con i seguenti campi:

id

DeltaH

Geom

In tale tabella, in un campo di struttura GIS sono riportate i poligoni individuati con l'operazione di buffering per ogni canale

Estensione della entità plot (appezzamento di IN) in modo che venga salvato come attributo di plot l'informazione "Delta H canale" [FaldaDeltaH]

E' stato aggiunto un campo [Plot.FaldaDeltaH] che si riferisce al valore dell'incremento di falda da attribuire al canale più vicino.

Modifica della funzionalità di georeferenziazione del plot

E' stata modificata la funzionalità di georeferenziazione del plot includendo anche la determinazione del contributo eventuale di un canale all'aumento del livello della falda misurata.

Per identificare il buffer del canale in cui eventualmente ricade il centroide del plot si opera con il seguente algoritmo:

- sulla base del centroide del plot si costruisce un intorno circolare del centroide di ampiezza pari alla massima larghezza di buffer ammessa (80 metri), valore che è stato memorizzato in tabella WBPARGeneralPar come [MaxBufferWidthM]
- mediante una query spaziale si identifica il canale che ricadendo all'interno del buffer si trova alla distanza minore dal centroide e si utilizza il suo valore di [GisBufferCanal.DeltaH], salvandolo nel campo [Plot.FaldaDeltaH]
- nel caso risulti che il centroide non ricada in alcun buffer di canale, il campo [Plot.FaldaDeltaH] avrà valore NULL

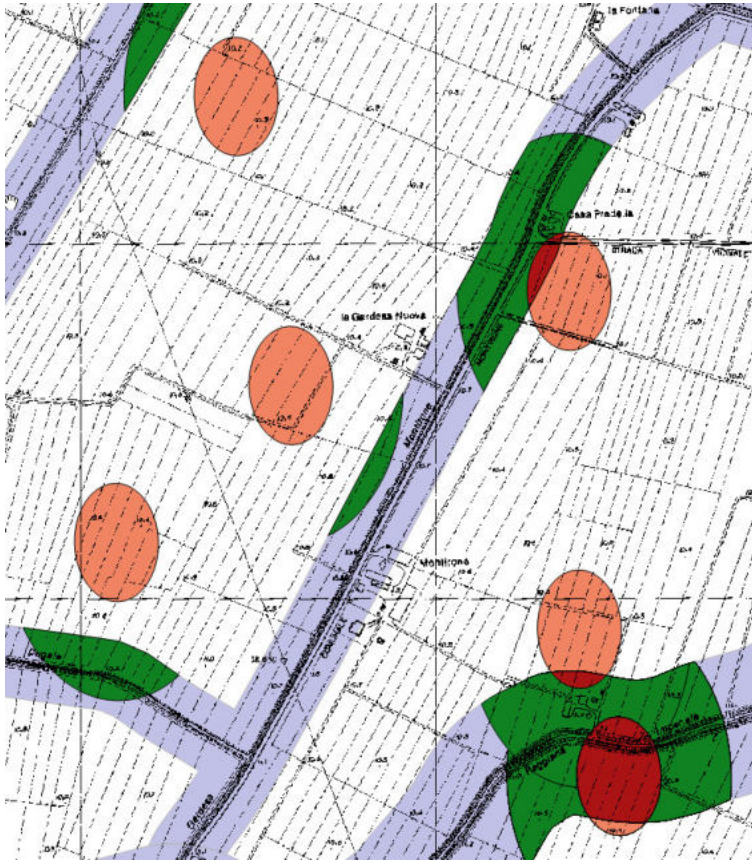


Figura 27: Centroidi di appezzamenti configurati su IriNet col relativo buffering a 80 m (rosa) e 200 m (verde). Come si vede, la fascia di pertinenza dei canali fornisce un contributo di altezza di falda nel campo FaldaDeltaH del centroide solo se esso lo interseca ad 80 m (aree rosse).

Modifica dell'algoritmo di riempimento dei dati di falda

Allo scopo di tenere conto nel calcolo del bilancio idrico del contributo dei canali all'innalzamento del livello di falda ipodermica, è stata modificata la funzionalità di caricamento dell'array dei dati di falda all'interno del motore di calcolo, che ora tiene conto dell'eventuale contributo del canale, sottraendo al valore misurato di profondità il valore preso dal campo [Plot. FaldaDeltaH].

Azione 3.3: Verifica del contributo idrico da falda ipodermica su colture selezionate.

ALLEGATO 15

| NOME | DESCRIZIONE |
|----------------------|--|
| <i>Fase</i> | Sigla fase e titolo come risulta nel Piano; descrizione subfasi (a), (b), (d) etc. |
| <i>Strumenti</i> | Principali strumenti previsti nell'esecuzione della sub-fase |
| <i>Note (+ anno)</i> | Note relative alle attività svolte nell'anno |
| <i>Periodo</i> | Periodo in cui è prevista l'esecuzione della fase |
| <i>Check</i> | ok = subfase eseguita; ok? = subfase eseguita in parte; no = subfase da eseguire |
| <i>Data 1..2..3</i> | Date e località in cui sono state effettuate le principali operazioni afferenti alla subfase |

Tabella 9: Metadati Check List di campagna per Azione 3.3 (aggiornamento ottobre 2017)

| Fase 3a Allestimento di nuovi siti di monitoraggio | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|------------------|--|--|-----------------|--------------|--|--|---|
| a) sistemazione e georeferenziazione tramite GPS di 6 piezometri in PVC di 300 cm in 2 allineamenti da 3 strumenti (distanze previste 25, 75 e 150 m). | piezometri + GPS | Tutti posizionati; risolti problemi di interrimento con tubo interno e geotessile; già ricevuti i grigliati da IGM | Fatto Pomposa e Ramedello: | marzo - aprile | OK | FE: 19/05/16 e 30/11/2016 (tubi 5 cm e diver) | MO: 27/06/16 e 05/12/2016 (tubi 5 cm e diver) | FE GPS Pomposa 17/03/2017; MO GPS Ramedello 04/05/17 |
| b) In uno dei 2 allineamenti di ciascun sito sistemazione di 2 Mini-diver, calati all'interno del piezometro più vicino e più lontano dal canale | 4 Diver | arrivati il 02/09/16 e posizionati a dicembre | | aprile - giugno | OK | 30/11/16 FE | 05/12/16 MO | |
| c) scelta di gruppi di 6 piante per ciascun piezometro in azienda Bergamini | | Selezionati a dicembre 2016 e segnalati con nastro; bisogna escludere irrigazione a goccia; previsto feb 2017 | Acquisiti materiali richiesti a Bragaglia: bypass effettuato il 23 febbraio 2017 | Febbraio 2017 | OK | scelta piante 10/06/2016 | bypass su gruppi di piante 23/02/2017 | |

| Fase 3b Configurazione degli appezzamenti su Irrinet | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|---|------------------|--------------------------------|--|----------------------|--------------|---|---------------|---------------|
| d) Configurazione su Irrinet di ciascuno dei gruppi di piante, dopo aver raccolto dalle aziende agricole, i dati relativi a tutti i parametri di base | IRRINET | Fatto per tutte e 4 le aziende | riconfigurare con aziende per il 2018 e ricordare di stampare i grafici a settembre 2018 | settembre-ottobre 18 | OK | Esportate immagini da Irrinet il 17/09/2018 | | |

| Fase 3c Monitoraggio dei gruppi di piante | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|------------------------|--|--|-----------------------------|--------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| e) Letture manuali a cadenza quindicinale con appositi strumenti di misura in tutti i piezometri | flessometro | Letture eseguite da Aziende agricole | Continua ricezione delle letture | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | Dal 22/06/16 FE | dal 05/07/16 MO | |
| f) Ogni tre mesi circa scarico dati Diver | lettore + pc portatile | Già fatta 1 lettura su Ramedello. Tutto ok | Diver W2823 su Ramedello e W2829 su Pomposa rotti. Già segnalato ad Ecosearch; sostituiti con R9366 e nuovo AM157. | luglio-dicembre | OK | 12/03/2018 FE; | 31/05/2018 FE; 01/06/2018 MO | 17/01/2019 FE; 14/01/2019 MO |

| Fase 3c Monitoraggio dei gruppi di piante | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|---|---|--|---|-----------------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| g) campionamento orizzonti di suolo (uno iniziale in fase fenologica prestabilita su Irrinet, poi 2 di controllo durante la stagione). Campioni di terreno inviati al laboratorio CER e seccati in stufa 105° | trivella + sacchetti polietilene | da decidere secondo irrigazioni | Effettuato campionamento di suolo preliminare a Pomposa per taratura EM38 il 12/03/2018 | aprile - agosto 2018 | OK | 31/05/2018 FE; 01/06/2018 MO | 05/07/2018 FE; 04/07/2018 MO | 31/07/2018 MO; 01/08/2018 FE |
| h1) Rilievi della salinità in tutti i piezometri presso l'azienda La Pomposa e con stessa scansione delle letture manuali, idem per acqua del condotto Volano e del Po di Volano | Abelli con conduttimetro portatile | Effettuata escursione con Severi del SGSS: progettata posa di strumenti di misura in continuo della salinità | Posa di 4 piezometri e di strumenti per SGSS; OK da ex-genio civile per posa piezometro su Volano; continuano le letture. | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | da 22/06/16 a FE | relazioni SGSS 12/01/2018 | Ricevute ultime letture da sensori SGSS il 13/12/2018 |
| h2) Raccolta, 2 volte l'anno, prima e nel pieno della stagione irrigua, di un campione di acqua da ciascuno dei piezometri nell'azienda La Pomposa. In situ misura di cond. elettrica, pH e T°. I campioni saranno trasportati al laboratorio CER, per l'analisi dei principali ioni Ca++, Mg++, Na+, Cl-, SO4--, NH4+. | Boccette plastica 250 ml, Bailer e tanica acqua deionizzata | Prima raccolta alcuni campioni influenzati da irrigazione (P8 e P12); nella seconda non raccolto campione Condotto Volano (canale svasato) | Analisi completate | luglio e dicembre | OK | 31/05/2018 FE | 12/11/2018 FE; | |

| Fase 3c Monitoraggio dei gruppi di piante | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|---|---|--|----------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| i) Rilievi con sonda EM38: nel corso di ogni stagione irrigua saranno eseguiti 2 rilievi per mappare in quasi-3D la conducibilità apparente del terreno fino ad una profondità di 0,75 cm dal piano di campagna. | EM38 | Necessaria elaborazione geostatistica degli shapefiles | Effettuati rilievi di taratura abbinati a raccolta campioni di terra in Pomposa (12/03/2018) | maggio - agosto 2018 | OK | 12/03/2018 FE; 01/06/2018 MO | 05/07/2018 FE; 04/07/2018 MO | 01/08/2018 FE 31/07/2018 MO; |
| l) Rilievi della temperatura fogliare con sensore all'infrarosso portatile Scheduler. Due rilievi ogni stagione irrigua su piante selezionate, per ciascuna delle tre distanze dal canale. | Scheduler | Stabilito standard di 15 battute x pianta in prossimità di piezometro | Ramedello: effettuati rilievi anche su piante irrigate fuori dal bypass; IR del 05/07/2017 a Pomposa: valori non validi su P10-P12 | giugno-agosto 2018 | OK | 05/07/2018 FE; 04/07/2018 MO | 31/07/2018 MO; 01/08/2018 FE | |
| m) Raccolta contemporanea dei frutti di ciascuna pianta sottoposta ad indagine, per un metro lineare complessivo (su 1 branca posta a mezza altezza) con conseguente misura dei pesi e dei calibri | sacchetti polietilene grandi; calibro, bilancia | Metodologia 2018: 2 piante su asciutto e 2 su irrigato x la sequenza piezometri P22-P24 a Ramedello | Raccolta su 12 piante intere a Ramedello. idem a Pomposa ma senza distinzione asciutto/ irriguo | ago-18 | OK | 31/07/2018 MO | 05/09/2018 FE | |
| n) Stima della biomassa traspirante attraverso la misura del Canopy Cover (CC), espresso in percentuale. Misurazione eseguita 2 volte ogni stagione irrigua con obiettivi fish-eye. | obiettivi fish-eye e bastone selfie | Messo a punto metodo per trascinare strumento più rapidamente lungo filari. | Utilizzata stessa metodologia dell'anno precedente, ma su più filari | giugno - agosto 2018 | OK | 31/05/2018 FE; 01/06/2018 MO | 05/07/2018 FE; 04/07/2018 MO | 31/07/2018 MO; 01/08/2018 FE |

| Fase 3c Monitoraggio dei gruppi di piante | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|---|------------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| z1) prove infiltrometriche sul fondo canale del sito Ramedello in canale asciutto e prove conduc idraulica (NON PREVISTO IN PROGETTO) | doppio anello; bailer; half-barrel | protocollo metodologico in bozza | Eseguite misure infiltrometriche su Ramedello a gennaio; | gennaio – maggio 2017 | OK | 19/01/2017 MO | | |
| z2) misure sezione idraulica Po di Volano (NON PREVISTO IN PROGETTO) | drone natante | | Effettuato da Bondesan (Consorzio Bonifica Pianura FE) | marzo | OK | FE 17/03/2017 | | |
| z3) Scarico sensori Watermark solo su pereto Pomposa. (NON PREV. IN PROGETTO) | sensori watermark, cavo e pc | | Inserita centralina con sensori lungo filare P10 | giugno - agosto 2018 | OK | 31/05/2018 FE; | 01/08/2018 FE | 23/01/2019 FE |
| z4) salinità del suolo solo su Pomposa. (NON PREVISTO IN PROGETTO) | conduttimetro | estratto rapporto 1:2 | Attività una tantum, collegata al rilievo EM38 | mar-18 | OK | 26/03/2018 FE | | |

| Fase 3d Elaborazione dati | Strumenti | Note | Note 2018 | Periodo | Check | Data 1 | Data 2 | Data 3 |
|--|---|-------------|---|-----------------------------|--------------|--|--|--|
| a) indice di stress idrico CWSI rilevato tramite Scheduler; - media delle dimensioni dei calibri dei frutti raccolti per ciascun gruppo di piante; - indice di Canopy Cover.- Grafici diver, altri grafici con linea di tendenza ed R ² | <u>Strumenti GIS;</u> <u>software per elaborazioni statistiche ("R")</u> | | Negli allegati della rendicontazione intermedia sono già presenti i dati 2016 – 2017, rappresentati in forma tabellare e di grafici | luglio 2016 - dicembre 2018 | OK | Realizzati a gennaio 2019 grafici curve Diver; elaborazioni SGSS su salinità: relazione ok | A febbraio 2019 grafici su calibri e peso frutti ok; | marzo 2019 effettuazione calcoli CWSI; elab. immagini Canopy Cover e grafico sensori umidità |

ALLEGATO 16

DESCRIZIONE DEI SUOLI

Nella successiva tabella sono riportati i codici delle 12 trivellate eseguite nel 2016 per la posa dei piezometri nei due siti - studio di Pomposa e S. Felice. Ad essi sono associate:

- Coordinate dei punti X e Y in UTM32 ETRS89;
- Unità Tipologica di Suolo (UTS) secondo il Catalogo dei Suoli della Regione Emilia-Romagna³ e relativa sigla cartografica.

Le schede pedologiche sono state compilate secondo i codici e gli standard descritti nel Manuale di campagna ed. 2002 del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Questo l'elenco:

| Codice Trivellata | X | Y | UTS | Sito |
|--------------------------|----------|----------|---|-------------|
| E7609T0007 | 753264 | 4966908 | STRADA REALE franco limosi (SRE1) | Pomposa |
| E7609T0008 | 753266 | 4966954 | FORCELLO argilloso limosi (FOR1) | Pomposa |
| E7609T0009 | 753268 | 4967039 | VOLANO franchi (VOL1) | Pomposa |
| E7609T0010 | 753058 | 4966805 | VOLANO franchi (VOL1) | Pomposa |
| E7609T0011 | 753059 | 4966853 | RUINA franco argilloso limosi, (RU1) | Pomposa |
| E7609T0012 | 753061 | 4966941 | RUINA franco argilloso limosi, (RU1) | Pomposa |
| E7609T0019 | 668727 | 4969053 | SECCHIA franco argillosi (SEC1) | S. Felice |
| E7609T0020 | 668742 | 4969094 | SANT'OMOBONO franco argilloso limosi (SMB2) | S. Felice |
| E7609T0021 | 668768 | 4969168 | SANT'OMOBONO franco argilloso limosi (SMB2) | S. Felice |
| E7609T0022 | 668666 | 4969071 | SANT'OMOBONO franco argilloso limosi (SMB2) | S. Felice |
| E7609T0023 | 668684 | 4969122 | SANT'OMOBONO franco argilloso limosi (SMB2) | S. Felice |
| E7609T0024 | 668712 | 4969199 | SANT'OMOBONO franco argilloso limosi (SMB2) | S. Felice |

³ Reperibile in http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/catalogo_tipi_suolo.jsp

ALLEGATO 17

LETTURE MANUALI DELLA PROFONDITA' DI FALDA NEI PIEZOMETRI DEI DUE SITI STUDIO S. FELICE S. P. E POMPOSA

Sono di seguito presentate le tabelle che mostrano la quota falda rilevata manualmente in ciascuno dei piezometri posizionati nei due siti di S. Felice e Pomposa. La profondità è espressa in cm dal piano campagna. I valori si ritengono più attendibili a partire da dicembre 2016, quando nei piezometri è stato posizionato il tessuto/non tessuto per evitare intasamenti e vi sono stati collocati i lettori in continuo (Diver), che hanno permesso un controllo incrociato dei dati rilevati.

SITO S. FELICE

| Data | P19 | P20 | P21 | P22 | P23 | P24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 05/07/2016 | 189 | 230 | 301 | 193 | 246 | 268 |
| 21/07/2016 | 206 | 241 | 301 | 200 | 260 | 301 |
| 04/08/2016 | 212 | 246 | 301 | 214 | 267 | 301 |
| 18/08/2016 | 210 | 250 | 301 | 218 | 265 | 301 |
| 01/09/2016 | 218 | 301 | 301 | 225 | 257 | 278 |
| 20/09/2016 | 221 | 301 | 301 | 234 | 301 | 301 |
| 03/10/2016 | 214 | 301 | 301 | 204 | 270 | 301 |
| 19/10/2016 | 222 | 257 | 301 | 222 | 260 | 301 |
| 03/11/2016 | 228 | 301 | 267 | 236 | 272 | 301 |
| 22/11/2016 | 229 | 263 | 248 | 227 | 275 | 284 |
| 24/11/2016 | 301 | 262 | 250 | 218 | 301 | 301 |
| 06/12/2016 | 232 | 266 | 262 | 283 | 271 | 301 |
| 23/12/2016 | 269 | 287 | 291 | 252 | 291 | 299 |
| 02/01/2017 | 262 | 275 | 283 | 246 | 278 | 288 |
| 19/01/2017 | 262 | 284 | 288 | 247 | 284 | 293 |
| 20/01/2017 | 258 | 272 | 282 | 246 | 278 | 284 |
| 07/02/2017 | 252 | 266 | 264 | 226 | 269 | 281 |
| 23/02/2017 | 237 | 256 | 279 | 216 | 260 | 277 |
| 27/02/2017 | 230 | 246 | 259 | 218 | 249 | 271 |
| 10/03/2017 | 226 | 247 | 256 | 216 | 248 | 263 |
| 20/03/2017 | 227 | 249 | 256 | 218 | 247 | 264 |
| 10/04/2017 | 185 | 218 | 246 | 189 | 227 | 256 |
| 20/04/2017 | 186 | 217 | 243 | 179 | 227 | 256 |
| 04/05/2017 | 184 | 220 | 246 | 181 | 235 | 261 |
| 11/05/2017 | 193 | 218 | 238 | 185 | 226 | 252 |
| 22/05/2017 | 192 | 223 | 247 | 188 | 231 | 261 |
| 09/06/2017 | 204 | 249 | 262 | 198 | 253 | 283 |
| 14/06/2017 | 181 | 232 | 263 | 193 | 256 | 286 |
| 20/06/2017 | 183 | 227 | 253 | 193 | 248 | 285 |
| 11/07/2017 | 198 | 239 | 259 | 204 | 264 | 295 |
| 20/07/2017 | 208 | 247 | 267 | 219 | 269 | 301 |
| 25/07/2017 | 203 | 256 | 275 | 213 | 276 | 301 |
| 07/08/2017 | 202 | 247 | 279 | 217 | 291 | 301 |
| 10/08/2017 | 205 | 251 | 279 | 219 | 287 | 301 |
| 11/09/2017 | 204 | 241 | 266 | 215 | 267 | 301 |
| 20/09/2017 | 216 | 247 | 268 | 215 | 267 | 301 |
| 12/10/2017 | 223 | 254 | 278 | 229 | 270 | 301 |
| 23/10/2017 | 232 | 262 | 282 | 235 | 271 | 301 |

| Data | P19 | P20 | P21 | P22 | P23 | P24 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10/11/2017 | 255 | 272 | 292 | 246 | 286 | 301 |
| 20/11/2017 | 257 | 271 | 282 | 254 | 287 | 295 |
| 11/12/2017 | 266 | 281 | 288 | 262 | 291 | 301 |
| 20/12/2017 | 269 | 283 | 289 | 265 | 291 | 301 |
| 10/01/2018 | 270 | 291 | 295 | 271 | 297 | 301 |
| 23/01/2018 | 270 | 294 | 299 | 276 | 297 | 301 |
| 12/02/2018 | 270 | 289 | 290 | 274 | 299 | 294 |
| 20/02/2018 | 270 | 286 | 284 | 269 | 296 | 301 |
| 09/03/2018 | 202 | 230 | 254 | 210 | 249 | 275 |
| 20/03/2018 | 130 | 152 | 225 | 129 | 174 | 254 |
| 10/04/2018 | 181 | 202 | 213 | 181 | 209 | 228 |
| 20/04/2018 | 180 | 204 | 215 | 179 | 211 | 228 |
| 10/05/2018 | 194 | 219 | 231 | 191 | 226 | 246 |
| 21/05/2018 | 206 | 233 | 239 | 209 | 238 | 258 |
| 01/06/2018 | 195 | 230 | 246 | 194 | 239 | 259 |
| 08/06/2018 | 202 | 234 | 250 | 197 | 259 | 266 |
| 20/06/2018 | 210 | 241 | 249 | 202 | 254 | 271 |
| 10/07/2018 | 221 | 254 | 267 | 238 | 268 | 294 |
| 20/07/2018 | 206 | 246 | 271 | 214 | 264 | 288 |
| 31/07/2018 | 214 | 256 | 271 | 212 | 272 | 301 |
| 10/08/2018 | 217 | 253 | 279 | 229 | 276 | 298 |
| 20/08/2018 | 220 | 252 | 279 | 218 | 272 | 297 |
| 10/09/2018 | 244 | 277 | 290 | 247 | 285 | 301 |
| 20/09/2018 | 249 | 276 | 297 | 260 | 294 | 301 |
| 10/10/2018 | 263 | 301 | 290 | 260 | 301 | 301 |
| 22/10/2018 | 271 | 301 | 301 | 277 | 301 | 301 |
| 09/11/2018 | 301 | 301 | 301 | 273 | 301 | 288 |
| 21/11/2018 | 301 | 301 | 301 | 278 | 301 | 295 |
| 10/12/2018 | 301 | 301 | 301 | 294 | 301 | 301 |
| 24/12/2018 | 301 | 301 | 301 | 295 | 301 | 301 |

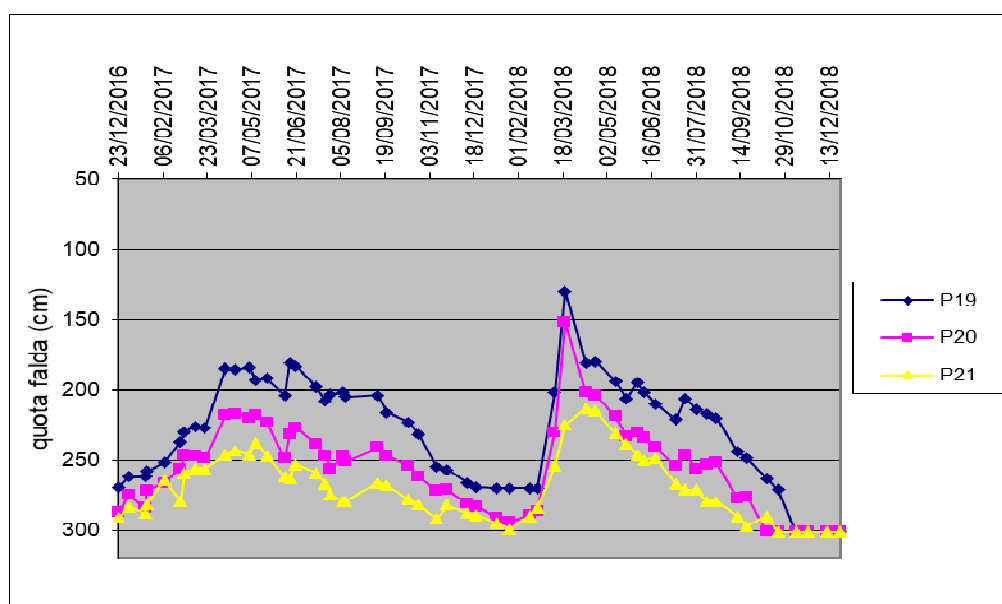


Grafico 9: andamento del livello di falda nell'allineamento di piezometri P19-P20-P21 del sito di S. Felice e secondo i rilievi manuali. Si noti la prevalenza del livello di falda nel P19, posto a 25 m dal canal Torbido, rispetto agli altri due.

SITO POMPOSA

Nel presente sito, contestualmente al livello di falda, è stata anche rilevata la conducibilità elettrica (espressa in $\mu\text{S}/\text{cm}$) tramite apposito strumento calato all'interno del piezometro. Inoltre, quando possibile, si è effettuata anche la lettura della conducibilità elettrica delle acque nel vicino Po di Volano.

| | P7 | | P8 | | P9 | | P10 | | P11 | | P12 | | VOLANO |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Data | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. | Prof. | Cond. |
| 22/06/16 | 3200 | 126 | 2030 | 121 | | | 1182 | 124 | | | 4420 | 90 | 1912 |
| 12/07/16 | 2800 | 138 | 1686 | 126 | 1137 | 115 | 2180 | 136 | 912 | 48 | 2870 | 129 | 1163 |
| 02/08/16 | 2840 | 134 | 1615 | 96 | 969 | 104 | 4180 | 124 | 794 | 50 | 2440 | 130 | 1207 |
| 11/08/16 | 3120 | 127 | 840 | 25 | 4330 | 121 | 3420 | 133 | 1267 | 119 | 978 | 102 | 1026 |
| 24/08/16 | 1827 | 103 | 813 | 73 | 3000 | 60 | 6450 | 108 | 1364 | 95 | 1160 | 94 | 1215 |
| 30/08/16 | 1822 | 115 | 930 | 25 | 3050 | 80 | 5980 | 130 | 1483 | 110 | 923 | 94 | 1148 |
| 14/09/16 | 2390 | 138 | 1020 | 134 | | | 5360 | 137 | | | | | 1268 |
| 04/10/16 | 1673 | 117 | 1284 | 105 | 2980 | 113 | 5660 | 124 | 1811 | 118 | 1485 | 124 | 2170 |
| 18/10/16 | 6090 | 90 | 1660 | 96 | 2712 | 105 | 4940 | 94 | 2340 | 108 | 3080 | 90 | |
| 03/11/16 | 5400 | 117 | 1980 | 115 | 2560 | 112 | 5120 | 124 | 2220 | 124 | 2170 | 121 | |
| 22/11/16 | 6120 | 120 | 1745 | 118 | 2660 | 119 | 5440 | 127 | 3070 | 126 | 3110 | 124 | |
| 07/12/16 | 3900 | 100 | 4200 | 100 | 4000 | 100 | 5970 | 100 | 2700 | 106 | 5230 | 105 | |
| 10/01/17 | 4600 | 96 | 3700 | 98 | 3600 | 103 | 4812 | 102 | 2650 | 108 | 4500 | 101 | |
| 01/02/17 | 3100 | 100 | 2900 | 106 | 1297 | 105 | 6200 | 109 | 2700 | 105 | 1707 | 105 | |
| 09/02/17 | 3700 | 98 | 4850 | 100 | 900 | 101 | 6100 | 101 | 1530 | 103 | 830 | 103 | 1800 |
| 20/02/17 | 2900 | 103 | 2800 | 104 | 1420 | 106 | 5900 | 106 | 3100 | 102 | 2020 | 103 | |
| 10/03/17 | 3050 | 109 | 2730 | 110 | 1360 | 109 | 5850 | 121 | 2960 | 118 | 2000 | 118 | |
| 17/03/17 | | 120 | | 110 | | 117 | | 125 | | 128 | | 136 | |
| 22/03/17 | 3680 | 123 | 2680 | 123 | 1636 | 118 | 6280 | 130 | 3520 | 129 | 2030 | 128 | |
| 10/04/17 | 4030 | 134 | 3980 | 130 | 3850 | 130 | 6340 | 143 | 5680 | 140 | 3370 | 140 | 960 |
| 26/04/17 | 4120 | 132 | 3650 | 134 | 3620 | 135 | 6280 | 135 | 5100 | 138 | 3420 | 136 | 950 |
| 22/05/17 | 975 | 123 | 4320 | 128 | 5480 | 124 | 6120 | 148 | 5560 | 143 | 4200 | 143 | 962 |
| 01/06/17 | 2960 | 171 | 2020 | 169 | 2240 | 168 | 5980 | 174 | 4100 | 174 | 1312 | 170 | 970 |
| 23/06/17 | 3180 | 174 | 1940 | 170 | 2170 | 164 | 6120 | 173 | 4800 | 177 | 1234 | 168 | 975 |
| 05/07/17 | 1200 | 144 | 985 | 143 | 1573 | 140 | 6170 | 153 | 4420 | 155 | 1415 | 150 | |
| 13/07/17 | 3280 | 160 | 1583 | 158 | 1550 | 150 | 6590 | 166 | 4400 | 169 | 2070 | 160 | 977 |
| 19/07/17 | | | | | | | 6370 | 175 | 2510 | 176 | 1870 | 171 | |
| 09/08/17 | 1460 | 147 | 698 | 144 | 1845 | 148 | 6260 | 165 | 876 | 160 | 3150 | 132 | 974 |
| 30/08/17 | 1510 | 151 | 1010 | 146 | 2050 | 151 | 6120 | 161 | 950 | 158 | 3190 | 130 | 965 |
| 14/09/17 | 1403 | 130 | 1810 | 127 | 2100 | 131 | 6060 | 122 | 1660 | 118 | 2400 | 115 | |
| 05/10/17 | 1088 | 120 | 3590 | 118 | 3230 | 115 | 6160 | 125 | 3070 | 125 | 1375 | 105 | |
| 15/11/17 | 1478 | 74 | 1663 | 78 | 1820 | 87 | 6150 | 75 | 1100 | 78 | 1385 | 58 | |
| 21/12/17 | 1720 | 116 | 6370 | 120 | 2150 | 118 | 6450 | 128 | 5200 | 127 | 1800 | 123 | 4580 |
| 11/01/18 | 2700 | 116 | 5850 | 116 | 2100 | 120 | 6520 | 121 | 5380 | 124 | 2660 | 110 | |
| 29/01/18 | 3120 | 110 | 4930 | 113 | 1970 | 114 | 6430 | 118 | 4100 | 111 | 2230 | 108 | |
| 12/03/18 | | 103 | | 104 | | 102 | | 97 | | 99 | | 97 | |
| 23/03/18 | 878 | 130 | 4270 | 130 | 4170 | 125 | 6180 | 130 | 3870 | 120 | 2010 | 130 | |

| Data | P7 | | P8 | | P9 | | P10 | | P11 | | P12 | | VOLANO |
|----------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|--------|
| 19/04/18 | 1920 | 118 | 4110 | 120 | 4620 | 120 | 6430 | 120 | 4100 | 120 | 1990 | 121 | |
| 18/05/18 | 1014 | 145 | 5750 | 145 | 2350 | 139 | 6380 | 148 | 3750 | 148 | 1882 | 140 | 973 |
| 28/05/18 | 1120 | 140 | 5810 | 142 | 2140 | 140 | 6230 | 145 | 3660 | 141 | 1720 | 138 | 968 |
| 31/05/18 | 860 | 141 | 3660 | 140 | 2570 | 134 | 6310 | 150 | 4330 | 149 | 1990 | 152 | |
| 18/06/18 | 700 | 157 | 5700 | 157 | 3000 | 149 | 6100 | 160 | 4330 | 160 | 3270 | 153 | 976 |
| 04/07/18 | 3000 | 150 | 1000 | 166 | 3750 | 150 | 6260 | 159 | 3035 | 164 | 2030 | 147 | 866 |
| 31/07/18 | 2500 | 150 | 1920 | 150 | 3200 | 140 | 6100 | 155 | 1150 | 160 | 2030 | 130 | 976 |
| 13/08/18 | 1990 | 147 | 2150 | 148 | 2700 | 150 | 4700 | 155 | 1210 | 149 | 1970 | 151 | 980 |
| 03/10/18 | 2100 | 153 | 2660 | 154 | 2690 | 154 | 4050 | 151 | 1330 | 150 | 2300 | 151 | 978 |
| 26/10/18 | 665 | 138 | 5270 | 138 | 1651 | 138 | 1292 | 140 | 695 | 140 | 895 | 139 | |
| 12/11/18 | 673 | 111 | 2480 | 119 | 1320 | 112 | 1180 | 109 | 1110 | 124 | 1940 | 125 | 1810 |
| 15/11/18 | 1980 | 121 | 4700 | 120 | 2300 | 120 | 2100 | 120 | 1960 | 120 | 3300 | 120 | |
| 04/12/18 | 2200 | 106 | 6300 | 109 | 2600 | 109 | 2600 | 109 | 3500 | 109 | 3290 | 109 | |
| 20/12/18 | 1960 | 121 | 5400 | 119 | 2850 | 119 | 2100 | 120 | 2900 | 120 | 3120 | 118 | |
| 02/01/19 | 2050 | 114 | 4600 | 115 | 3100 | 115 | 4200 | 115 | 3600 | 115 | 3450 | 110 | |
| 17/01/19 | 2400 | 130 | 5190 | 130 | 3340 | 128 | 4180 | 133 | 4450 | 138 | 3220 | 137 | |

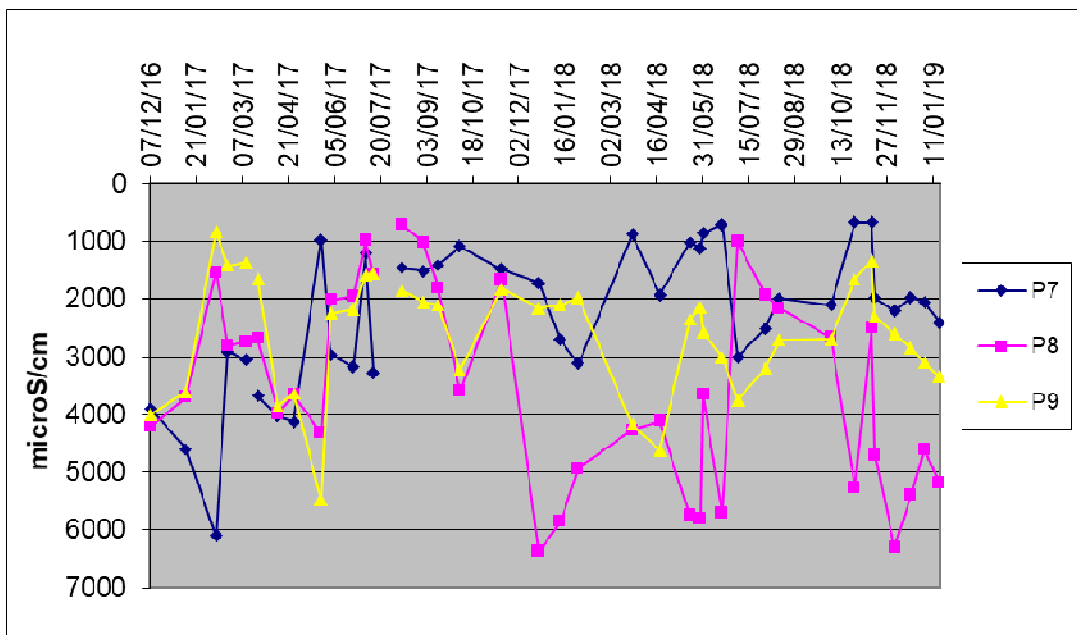


Grafico 10: andamento della conducibilità elettrica nell'allineamento di piezometri P7-P8-P9 del sito di Pomposa e secondo i rilievi strumentali in campo. La conducibilità è tendenzialmente minore nel P7, posto a 25 m dal Po di Volano, il che può rafforzare l'ipotesi che vi sia un contributo di acqua più dolce per infiltrazione da parte del suddetto fiume.

ALLEGATO 18

GRAFICI DEI BILANCI IDRICI RIFERITI AI DUE SITI STUDIO S. FELICE S. P. E POMPOSA

ANNO 2017

Nel 2016 i due appezzamenti a pero monitorati all'interno dei due siti studio di S. Felice s. P. e Pomposa sono stati configurati all'interno di IRRINET. Per ogni sito sono stati previsti tre scenari, ciascuno corrispondente alla situazione di falda presente all'interno di un piezometro a distanza crescente dal corso d'acqua prospiciente l'appezzamento. Nel sito di S. Felice s. P. sono stati selezionati i piezometri della sequenza P19, P20 e P21 (rispettivamente a 25, 75 e 150 m dal canale Ramedello), nel sito di Pomposa i piezometri della sequenza P10, P11 e P12 (rispettivamente a 25, 75 e 150 m dal Po di Volano). Nel 2017 e nel 2018, inserendo anche i valori delle rispettive irrigazioni, sono stati effettuati i calcoli del bilancio idrico, i cui risultati sono riportati nelle pagine seguenti. Per il 2017, nell'azienda di S. Felice, la presenza di falda abbastanza superficiale in corrispondenza del P19, abbinata alle irrigazioni, determina una situazione soddisfacente per quanto riguarda l'acqua disponibile (curva decisamente al di sopra della linea rossa della Soglia d'intervento). Nell'azienda di Pomposa, invece, i grafici relativi ad ogni piezometro mostrano un andamento simile, con un sensibile abbassamento della curva sotto la soglia d'intervento a partire da metà luglio fino alla data di raccolta (pero abate – raccolta 07/09/2017). Nel 2018 e per quanto riguarda l'azienda di S. Felice, sono disponibili sia grafici relativi alla coltura irrigata, sia grafici per la parte non irrigata. In entrambe, stante la decisione da parte dell'azienda agricola di irrigare il meno possibile, reputando le precipitazioni precedenti più che sufficienti al fabbisogno delle piante, le curve si pongono molto al di sotto della soglia d'intervento. Minime differenze sussistono fra il P19 e gli altri due piezometri, a causa della falda, lievemente più superficiale nel primo e decisamente molto bassa od assente entro i 3 m negli altri due. Nonostante il quadro prospettato su IrriNet, la produzione del frutteto è stata soddisfacente, come si evince anche dall'All. 21, relativo alla raccolta frutti.

Per quanto riguarda invece l'azienda Pomposa, la curva di umidità del terreno è posizionata poco sotto la soglia d'intervento, in virtù delle numerose irrigazioni effettuate già a partire da maggio per scongiurare la risalita della falda salina conseguente l'annata notevolmente siccitosa.

Sito studio S. Felice s. P. – Anno 2017

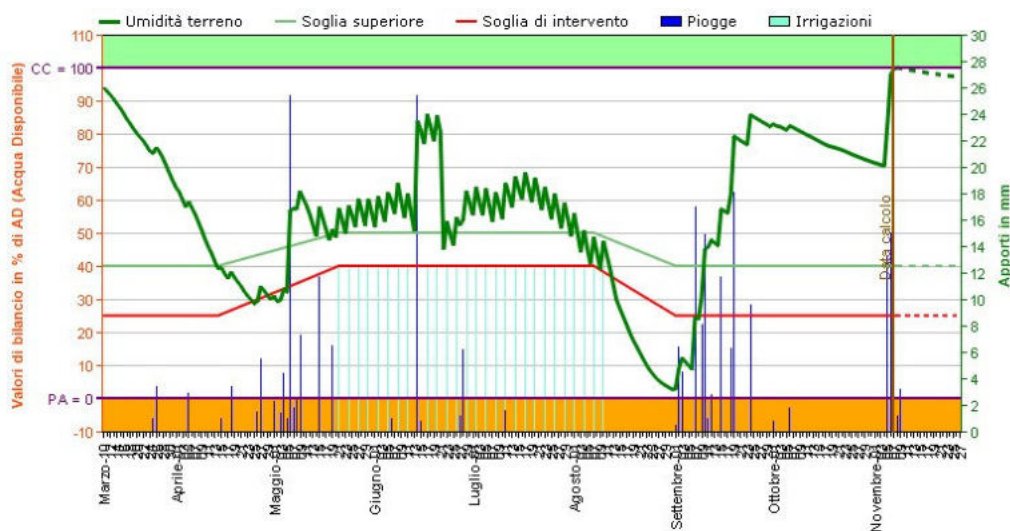


Grafico 11: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P19, posto a 25 m dal canale Ramedello.

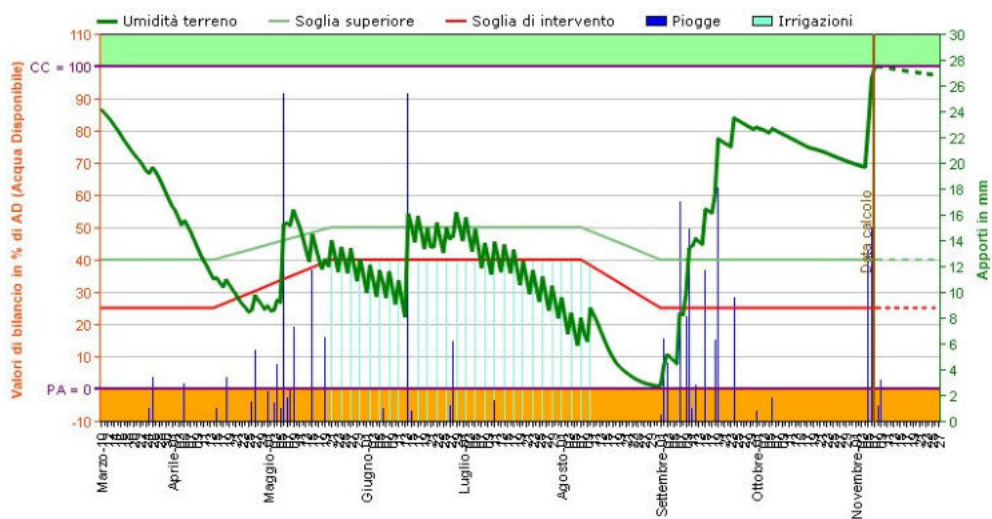


Grafico 12: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P20, posto a 75 m dal canale Ramedello.

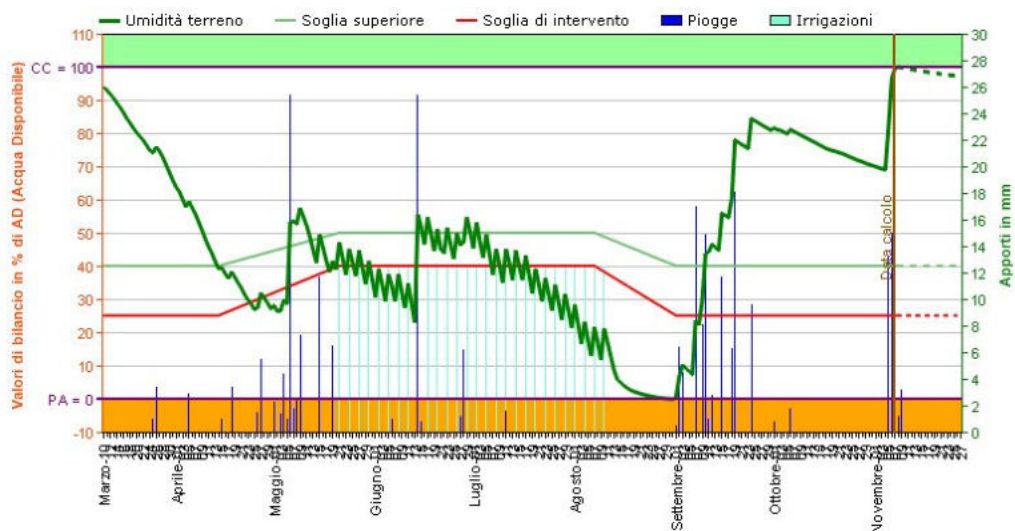


Grafico 13: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P21, posto a 150 m dal canale Ramedello.

Sito studio S. Felice s. P. – Anno 2018

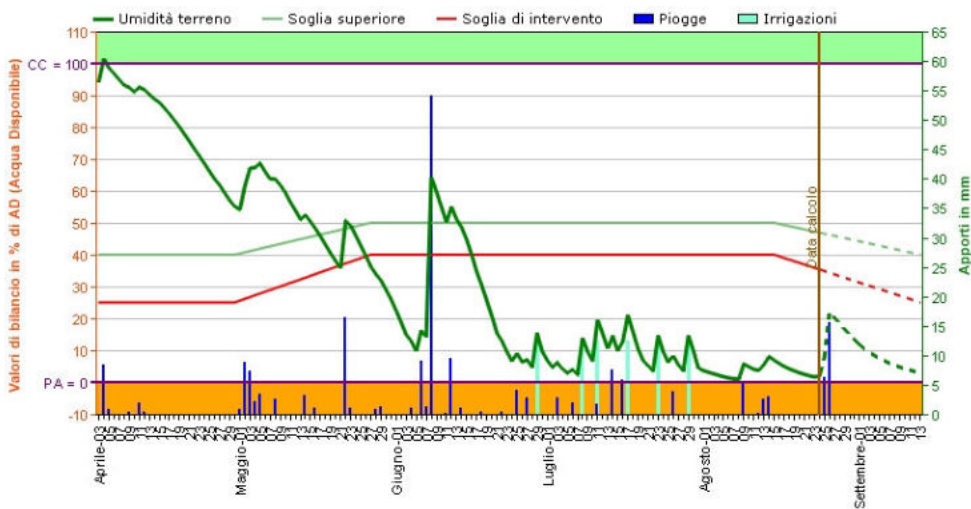


Grafico 14: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P19, posto a 25 m dal canale Ramedello - IRRIGATO.

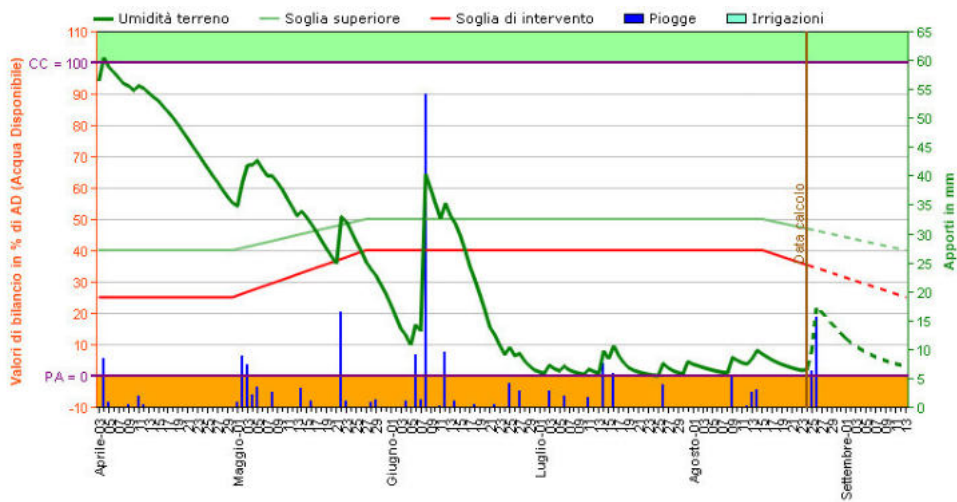


Grafico 15: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P19, posto a 25 m dal canale Ramedello – NON IRRIGATO.

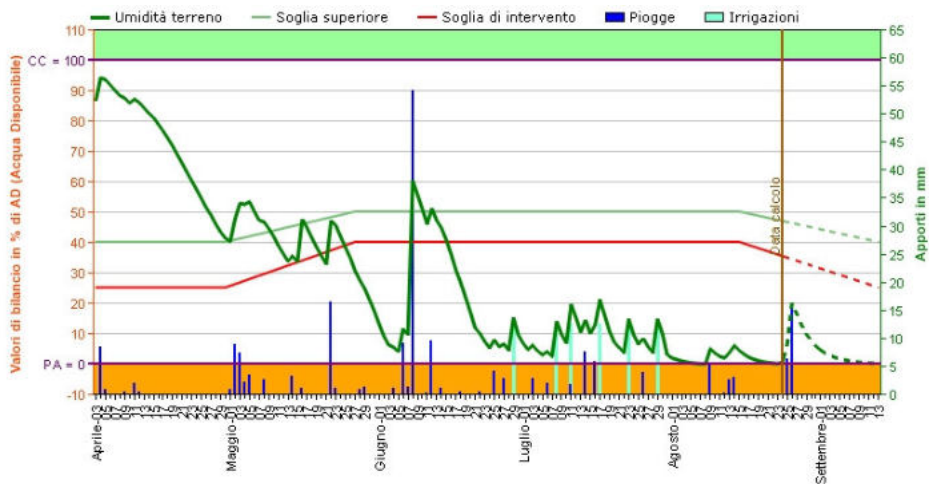


Grafico 16: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P20, posto a 75 m dal canale Ramedello - IRRIGATO.

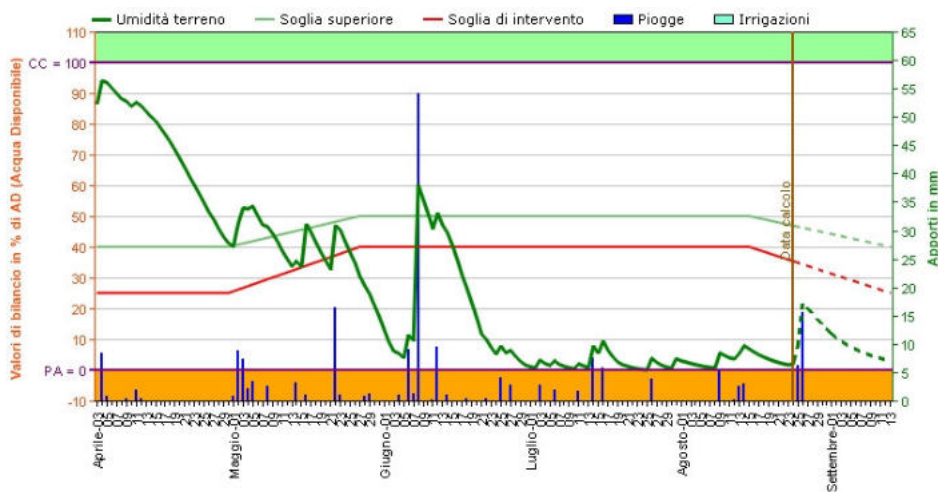


Grafico 17: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P20, posto a 75 m dal canale Ramedello - NON IRRIGATO.

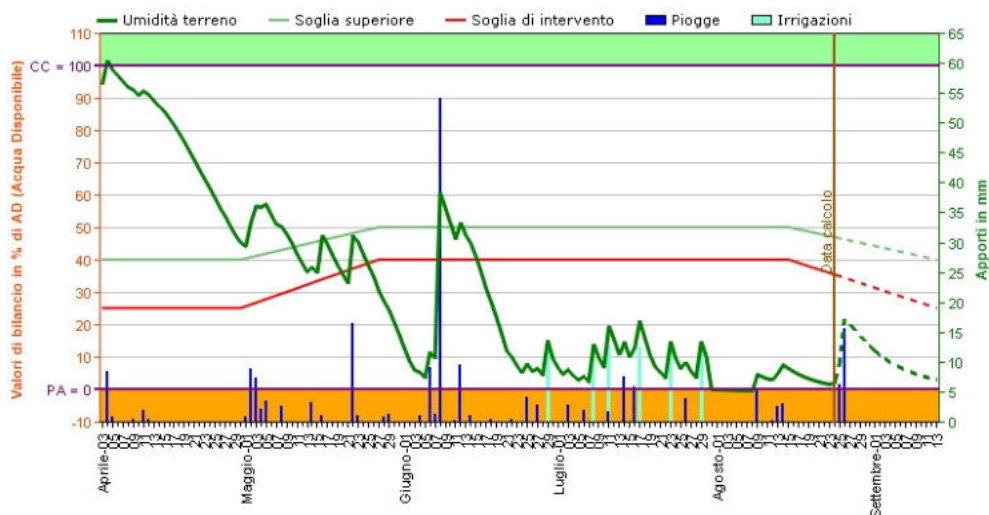


Grafico 18: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P21, posto a 75 m dal canale Ramedello - IRRIGATO.

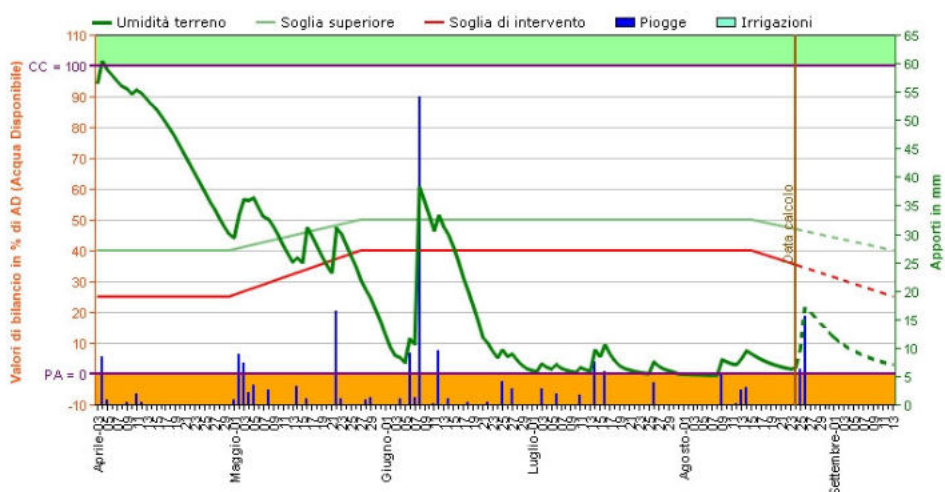


Grafico 19: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di S. Felice s. P. - piezometro P21, posto a 75 m dal canale Ramedello - NON IRRIGATO.

Sito studio Pomposa - Anno 2017

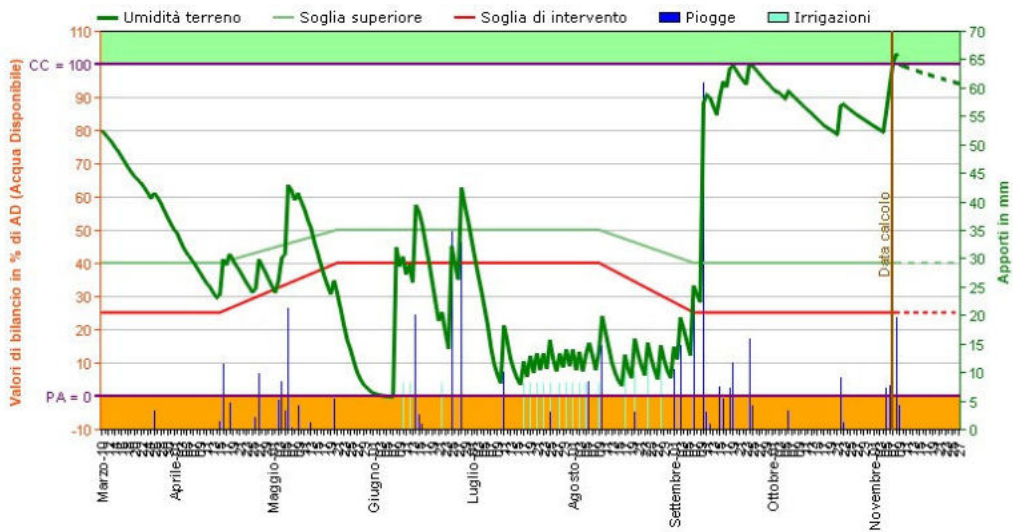


Grafico 20: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P10, posto a 25 m dal Po di Volano.

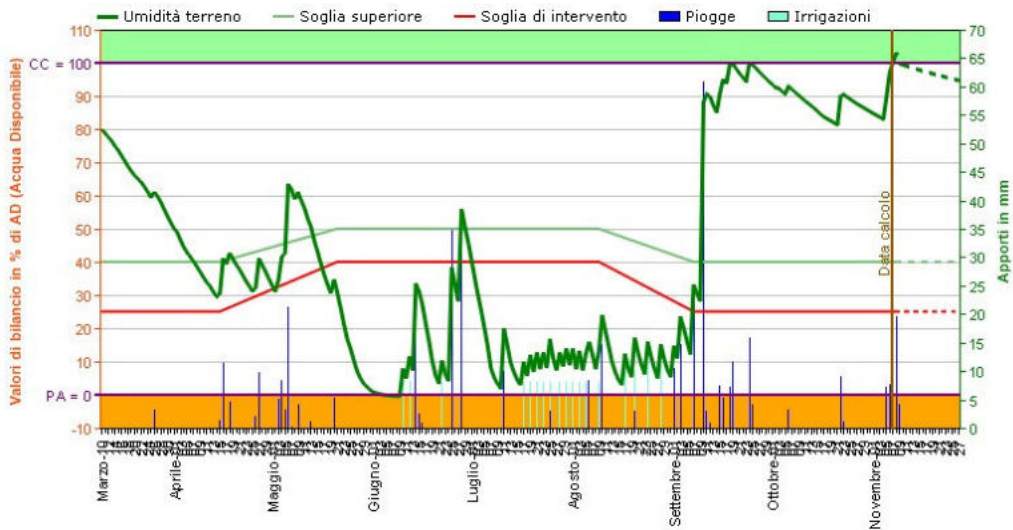


Grafico 21: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P11, posto a 75 m dal Po di Volano.

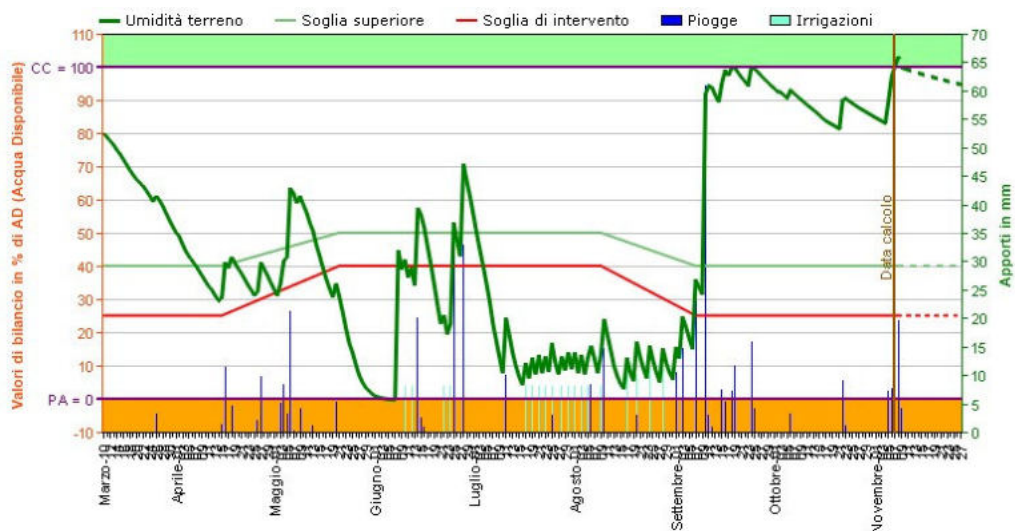


Grafico 22: Bilancio idrico 2017 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P12, posto a 150 m dal Po di Volano.

Sito studio Pomposa - Anno 2018

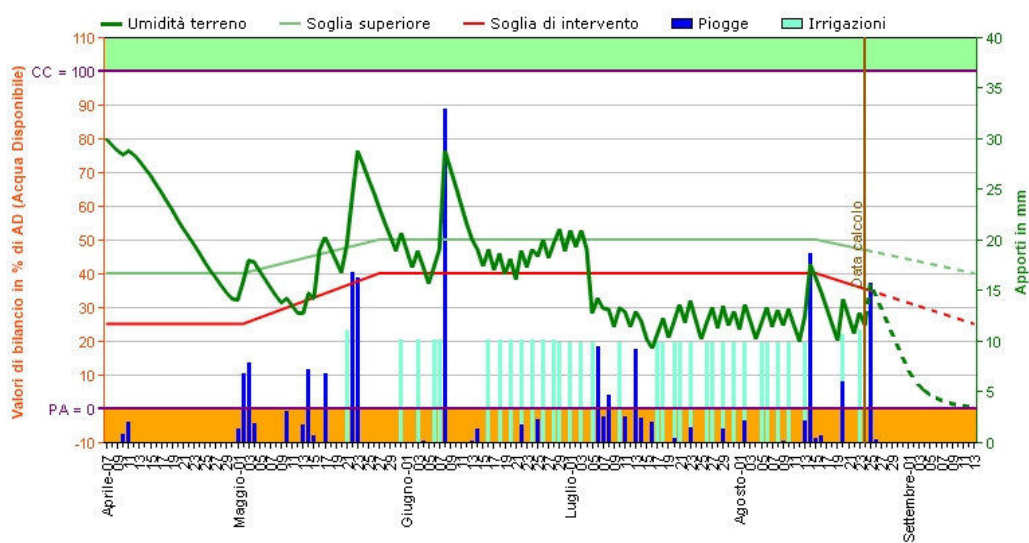


Grafico 23: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P10, posto a 25 m dal Po di Volano.

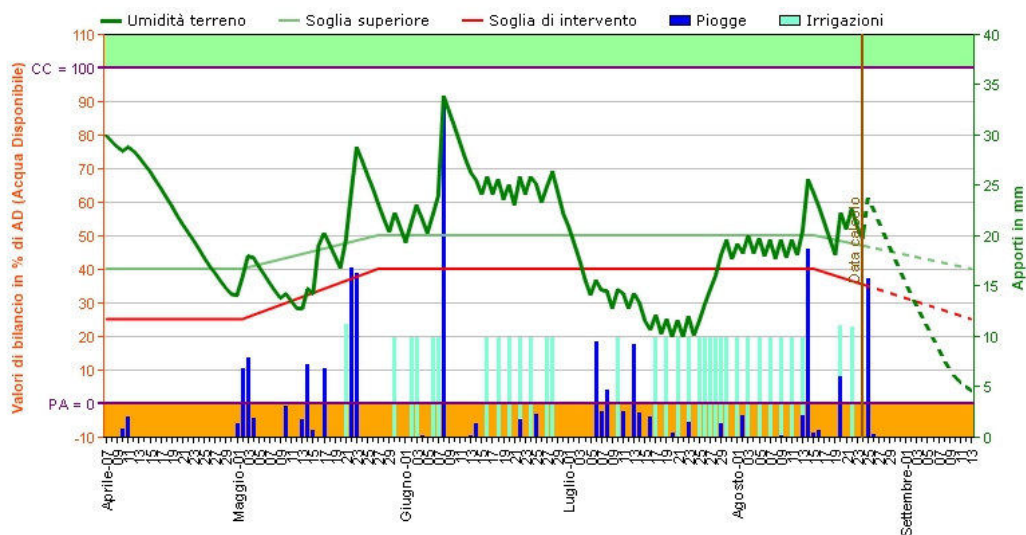


Grafico 24: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P11, posto a 75 m dal Po di Volano.

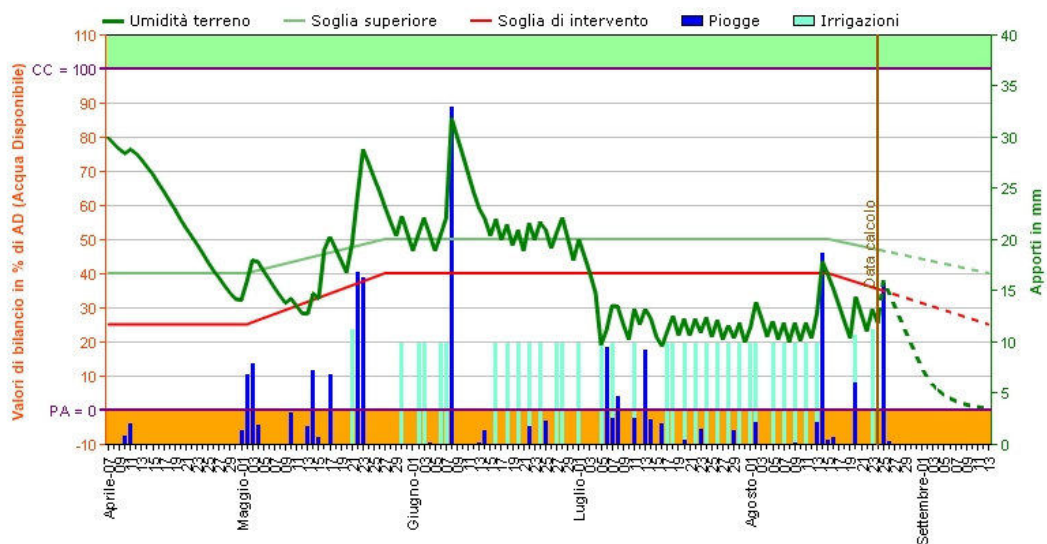


Grafico 25: Bilancio idrico 2018 riferito alla simulazione sull'azienda di Pomposa. - piezometro P12, posto a 150 m dal Po di Volano.

ALLEGATO 19

CAMPIONAMENTO DEGLI ORIZZONTI DI SUOLO PER LA DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IDRICO

Nei due siti di Pomposa e S. Felice sono stati effettuati ogni anno 3⁴ campionamenti del suolo durante la stagione irrigua per determinarne la % di acqua contenuta al fine di ottenere dati a supporto delle successive operazioni di monitoraggio (per es. EM38, rilievo IR) e del calcolo del bilancio idrico di IrriNet. I campioni di terreno raccolti, sono stati sigillati in sacchetti di polietilene, inviati al laboratorio CER e seccati in stufa alla temperatura di 105°. Per ogni sito e all'inizio di ogni anno è determinata, in prossimità di ciascun piezometro, la tessitura del suolo, sia nell'orizzonte superficiale che in quello profondo.

Per quanto riguarda il sito di S. Felice, a partire dal 2017, sono stati effettuati campionamenti separati della parte di suolo irrigata e di quella non irrigata, giungendo, nel solo 2018, al raddoppio del numero di campioni previsti (nel 2017 il numero era stato mantenuto inalterato, campionando solo uno dei due allineamenti di piezometri).

POMPOSA - ANNO 2016

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|---------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| Pomposa | 02/08/2016 | 7 | 25-30 | 13,36 | 24 | 5 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 20,66 | 29 | 5 |
| Pomposa | 02/08/2016 | 8 | 25-30 | 12,14 | 32 | 10 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 17,53 | 36 | 15 |
| Pomposa | 02/08/2016 | 9 | 25-30 | 18,89 | 29 | 25 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 17,44 | 38 | 21 |
| Pomposa | 02/08/2016 | 10 | 25-30 | 12,96 | 29 | 10 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 15,91 | 24 | 5 |
| Pomposa | 02/08/2016 | 11 | 25-30 | 16,56 | 33 | 10 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 19,14 | 16 | 15 |
| Pomposa | 02/08/2016 | 12 | 25-30 | 19,39 | 33 | 21 |
| Pomposa | 02/08/2016 | | 50-60 | 22,62 | 12 | 35 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 7 | 25-30 | 14,32 | 24 | 5 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 19,83 | 29 | 5 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 8 | 25-30 | 13,00 | 32 | 10 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 14,00 | 36 | 15 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 9 | 25-30 | 20,51 | 29 | 25 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 18,21 | 38 | 21 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 10 | 25-30 | 17,06 | 29 | 10 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 20,38 | 24 | 5 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 11 | 25-30 | 17,84 | 33 | 10 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 20,24 | 16 | 15 |
| Pomposa | 31/08/2016 | 12 | 25-30 | 15,81 | 33 | 21 |
| Pomposa | 31/08/2016 | | 50-60 | 19,51 | 12 | 35 |

⁴ In realtà nel 2016 ne furono effettuati solo due, a causa dei tempi necessari alla sistemazione della strumentazione di rilievo nei siti individuati, sicché il monitoraggio vero e proprio poté iniziare solo a luglio 2016.

POMPOSA - ANNO 2017

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|---------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| Pomposa | 21/04/2017 | 7 | 25-30 | 19,74 | 26 | 10 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 19,99 | 31 | 15 |
| Pomposa | 21/04/2017 | 8 | 25-30 | 19,10 | 29 | 5 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 21,52 | 32 | 10 |
| Pomposa | 21/04/2017 | 9 | 25-30 | 18,43 | 24 | 18 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 19,38 | 27 | 20 |
| Pomposa | 21/04/2017 | 10 | 25-30 | 17,07 | 30 | 10 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 17,39 | 31 | 15 |
| Pomposa | 21/04/2017 | 11 | 25-30 | 18,54 | 34 | 5 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 20,14 | 22 | 15 |
| Pomposa | 21/04/2017 | 12 | 25-30 | 19,40 | 34 | 5 |
| Pomposa | 21/04/2017 | | 50-60 | 19,28 | 26 | 20 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 7 | 25-30 | 16,73 | 26 | 10 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 16,27 | 31 | 15 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 8 | 25-30 | 12,42 | 29 | 5 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 19,75 | 32 | 10 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 9 | 25-30 | 17,14 | 24 | 18 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 15,82 | 27 | 20 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 10 | 25-30 | 13,90 | 30 | 10 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 15,50 | 31 | 15 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 11 | 25-30 | 13,61 | 34 | 5 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 13,82 | 22 | 15 |
| Pomposa | 05/07/2017 | 12 | 25-30 | 17,41 | 34 | 5 |
| Pomposa | 05/07/2017 | | 50-60 | 18,65 | 26 | 20 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 7 | 25-30 | 17,23 | 26 | 10 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 13,60 | 31 | 15 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 8 | 25-30 | 13,08 | 29 | 5 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 19,98 | 32 | 10 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 9 | 25-30 | 18,36 | 24 | 18 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 18,06 | 27 | 20 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 10 | 25-30 | 18,83 | 30 | 10 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 19,21 | 31 | 15 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 11 | 25-30 | 18,22 | 34 | 5 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 20,19 | 22 | 15 |
| Pomposa | 09/08/2017 | 12 | 25-30 | 17,18 | 34 | 5 |
| Pomposa | 09/08/2017 | | 50-60 | 20,79 | 26 | 20 |

POMPOSA - ANNO 2018

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|---------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| Pomposa | 31/05/2018 | 7 | 25-30 | 11,54 | 25 | 10 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 14,87 | 24 | 5 |
| Pomposa | 31/05/2018 | 8 | 25-30 | 15,10 | 33 | 15 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 17,97 | 36 | 10 |
| Pomposa | 31/05/2018 | 9 | 25-30 | 16,36 | 34 | 21 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 15,39 | 39 | 19 |
| Pomposa | 31/05/2018 | 10 | 25-30 | 12,60 | 37 | 11 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 12,79 | 32 | 8 |
| Pomposa | 31/05/2018 | 11 | 25-30 | 10,97 | 31 | 11 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 13,49 | 29 | 6 |
| Pomposa | 31/05/2018 | 12 | 25-30 | 15,02 | 41 | 12 |
| Pomposa | 31/05/2018 | | 50-60 | 13,86 | 26 | 21 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 7 | 25-30 | 17,49 | 25 | 10 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 15,85 | 24 | 5 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 8 | 25-30 | 14,98 | 33 | 15 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 18,08 | 36 | 10 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 9 | 25-30 | 11,84 | 34 | 21 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 12,06 | 39 | 19 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 10 | 25-30 | 18,15 | 37 | 11 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 21,43 | 32 | 8 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 11 | 25-30 | 20,36 | 31 | 11 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 19,69 | 29 | 6 |
| Pomposa | 05/07/2018 | 12 | 25-30 | 16,67 | 41 | 12 |
| Pomposa | 05/07/2018 | | 50-60 | 15,58 | 26 | 21 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 7 | 25-30 | 16,71 | 25 | 10 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 15,59 | 24 | 5 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 8 | 25-30 | 15,48 | 33 | 15 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 18,90 | 36 | 10 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 9 | 25-30 | 15,54 | 34 | 21 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 18,09 | 39 | 19 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 10 | 25-30 | 12,02 | 37 | 11 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 12,29 | 32 | 8 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 11 | 25-30 | 15,21 | 31 | 11 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 17,71 | 29 | 6 |
| Pomposa | 01/08/2018 | 12 | 25-30 | 16,80 | 41 | 12 |
| Pomposa | 01/08/2018 | | 50-60 | 20,30 | 26 | 21 |

S. FELICE - ANNO 2016

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| S. Felice | 04/08/2016 | 19 | 25-30 | 11,62 | 24 | 21 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 10,53 | 22 | 26 |
| S. Felice | 04/08/2016 | 20 | 25-30 | 12,79 | 32 | 25 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 12,80 | 21 | 30 |
| S. Felice | 04/08/2016 | 21 | 25-30 | 13,92 | 34 | 15 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 14,94 | 37 | 15 |
| S. Felice | 04/08/2016 | 22 | 25-30 | 12,95 | 31 | 26 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 17,71 | 29 | 10 |
| S. Felice | 04/08/2016 | 23 | 25-30 | 11,78 | 26 | 21 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 14,42 | 19 | 28 |
| S. Felice | 04/08/2016 | 24 | 25-30 | 13,21 | 33 | 10 |
| S. Felice | 04/08/2016 | | 50-60 | 15,72 | 36 | 10 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 19 | 25-30 | 13,78 | 24 | 21 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 15,36 | 22 | 26 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 20 | 25-30 | 15,31 | 32 | 25 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 15,62 | 21 | 30 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 21 | 25-30 | 16,03 | 34 | 15 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 16,73 | 37 | 15 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 22 | 25-30 | 14,71 | 31 | 26 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 17,78 | 29 | 10 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 23 | 25-30 | 13,95 | 26 | 21 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 15,29 | 19 | 28 |
| S. Felice | 26/08/2016 | 24 | 25-30 | 15,60 | 33 | 10 |
| S. Felice | 26/08/2016 | | 50-60 | 15,38 | 36 | 10 |

S. FELICE - ANNO 2017

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| S. Felice | 04/05/2017 | 19 | 25-30 | 13,39 | 30 | 21 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 17,05 | 23 | 35 |
| S. Felice | 04/05/2017 | 20 | 25-30 | 14,25 | 33 | 30 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 15,28 | 21 | 30 |
| S. Felice | 04/05/2017 | 21 | 25-30 | 15,89 | 36 | 16 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 16,09 | 27 | 21 |
| S. Felice | 04/05/2017 | 22 | 25-30 | 16,52 | 33 | 15 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 20,45 | 22 | 12 |
| S. Felice | 04/05/2017 | 23 | 25-30 | 13,91 | 27 | 15 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 15,67 | 34 | 15 |
| S. Felice | 04/05/2017 | 24 | 25-30 | 15,67 | 34 | 18 |
| S. Felice | 04/05/2017 | | 50-60 | 15,79 | 29 | 25 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 19 | 25-30 | 11,45 | 26 | 18 |
| S. Felice | 25/07/2017 | Irriguo | 50-60 | 15,45 | 19 | 30 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 19 | 25-30 | 11,07 | 29 | 15 |
| S. Felice | 25/07/2017 | No irriguo | 50-60 | 11,67 | 33 | 15 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 20 | 25-30 | 14,89 | 36 | 20 |
| S. Felice | 25/07/2017 | Irriguo | 50-60 | 15,96 | 21 | 40 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 20 | 25-30 | 12,34 | 33 | 25 |
| S. Felice | 25/07/2017 | No irriguo | 50-60 | 11,44 | 29 | 40 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 21 | 25-30 | 14,47 | 36 | 15 |
| S. Felice | 25/07/2017 | Irriguo | 50-60 | 17,26 | 29 | 20 |
| S. Felice | 25/07/2017 | 21 | 25-30 | 11,83 | 35 | 12 |
| S. Felice | 25/07/2017 | No irriguo | 50-60 | 11,56 | 27 | 25 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 22 | 25-30 | 12,60 | 33 | 22 |
| S. Felice | 07/08/2017 | Irriguo | 50-60 | 13,26 | 22 | 20 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 22 | 25-30 | 13,18 | 29 | 25 |
| S. Felice | 07/08/2017 | No irriguo | 50-60 | 19,30 | 34 | 21 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 23 | 25-30 | 11,42 | 30 | 25 |
| S. Felice | 07/08/2017 | Irriguo | 50-60 | 12,54 | 27 | 18 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 23 | 25-30 | 14,16 | 32 | 21 |
| S. Felice | 07/08/2017 | No irriguo | 50-60 | 16,09 | 34 | 30 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 24 | 25-30 | 13,76 | 30 | 20 |
| S. Felice | 07/08/2017 | Irriguo | 50-60 | 12,49 | 26 | 21 |
| S. Felice | 07/08/2017 | 24 | 25-30 | 15,72 | 25 | 21 |
| S. Felice | 07/08/2017 | No irriguo | 50-60 | 17,19 | 24 | 21 |

S. FELICE - ANNO 2018

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| S. Felice | 01/06/2018 | 19 | 25-30 | 11,97 | 30 | 21 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 17,25 | 23 | 35 |
| S. Felice | 01/06/2018 | 20 | 25-30 | 12,28 | 33 | 30 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 13,34 | 21 | 30 |
| S. Felice | 01/06/2018 | 21 | 25-30 | 12,02 | 36 | 16 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 12,06 | 27 | 21 |
| S. Felice | 01/06/2018 | 22 | 25-30 | 12,59 | 33 | 15 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 16,45 | 22 | 12 |
| S. Felice | 01/06/2018 | 23 | 25-30 | 11,00 | 27 | 15 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 15,92 | 34 | 15 |
| S. Felice | 01/06/2018 | 24 | 25-30 | 11,78 | 34 | 18 |
| S. Felice | 01/06/2018 | | 50-60 | 11,83 | 29 | 25 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 19 | 25-30 | 15,90 | 30 | 21 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 17,19 | 23 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 20 | 25-30 | 14,62 | 33 | 30 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 16,46 | 21 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 21 | 25-30 | 14,98 | 36 | 16 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 16,39 | 27 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 22 | 25-30 | 14,29 | 33 | 15 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 18,79 | 22 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 23 | 25-30 | 13,21 | 27 | 15 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 16,78 | 34 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 24 | 25-30 | 14,60 | 34 | 18 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | Irriguo | 50-60 | 16,87 | 29 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 19 | 25-30 | 11,60 | 30 | 21 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 15,37 | 23 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 20 | 25-30 | 12,53 | 33 | 30 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 12,68 | 21 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 21 | 25-30 | 12,90 | 36 | 16 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 12,96 | 27 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 22 | 25-30 | 14,11 | 33 | 15 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 15,68 | 22 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 23 | 25-30 | 13,10 | 27 | 15 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 15,98 | 34 |
| S. Felice | 04/07/2018 | 24 | 25-30 | 13,13 | 34 | 18 |
| S. Felice | 04/07/2018 | | No irriguo | 50-60 | 12,98 | 29 |

| Sito | Data | Piezometro | Profondità (cm) | % Umidità | % Sabbia stima | % Argilla stima |
|-----------|------------|------------|-----------------|-----------|----------------|-----------------|
| S. Felice | 31/07/2018 | 19 | 25-30 | 16,06 | 30 | 21 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 18,38 | 23 | 35 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 20 | 25-30 | 16,20 | 33 | 30 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 15,85 | 21 | 30 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 21 | 25-30 | 15,17 | 36 | 16 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 17,14 | 27 | 21 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 22 | 25-30 | 19,22 | 33 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 20,46 | 22 | 12 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 23 | 25-30 | 17,49 | 27 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 17,85 | 34 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 24 | 25-30 | 18,73 | 34 | 18 |
| S. Felice | 31/07/2018 | Irriguo | 50-60 | 18,20 | 29 | 25 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 19 | 25-30 | 12,15 | 30 | 21 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 15,86 | 23 | 35 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 20 | 25-30 | 11,87 | 33 | 30 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 12,75 | 21 | 30 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 21 | 25-30 | 11,46 | 36 | 16 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 11,84 | 27 | 21 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 22 | 25-30 | 13,33 | 33 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 13,57 | 22 | 12 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 23 | 25-30 | 12,32 | 27 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 12,73 | 34 | 15 |
| S. Felice | 31/07/2018 | 24 | 25-30 | 12,63 | 34 | 18 |
| S. Felice | 31/07/2018 | No irriguo | 50-60 | 12,04 | 29 | 25 |

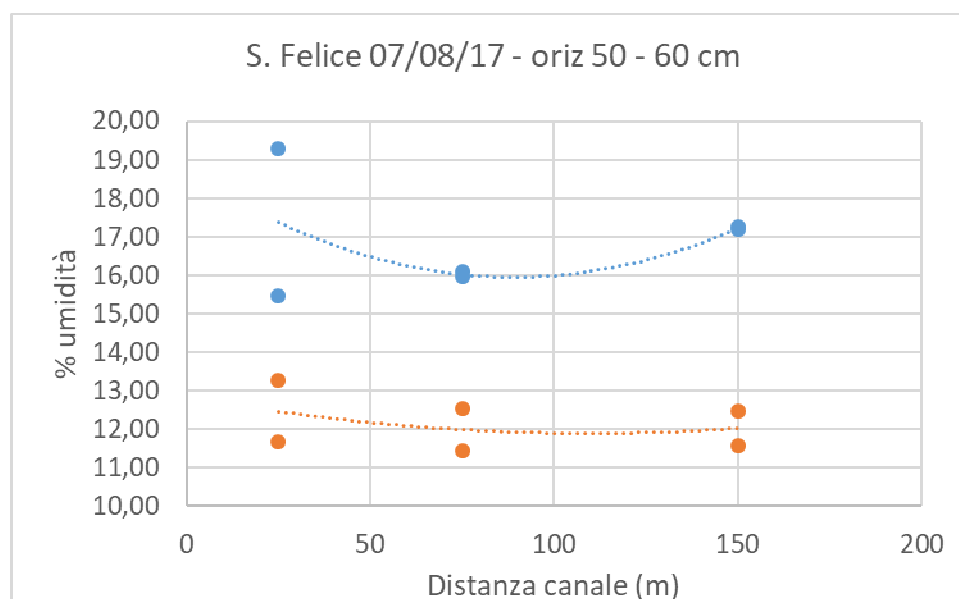


Grafico 26: Percentuale di umidità riscontrata il 7 agosto 2017 negli orizzonti profondi in prossimità dei piezometri del sito di S. Felice. In blu, la situazione in prossimità delle piante irrigate; in rosso, in prossimità delle piante soggette a bypass dall'irrigazione.

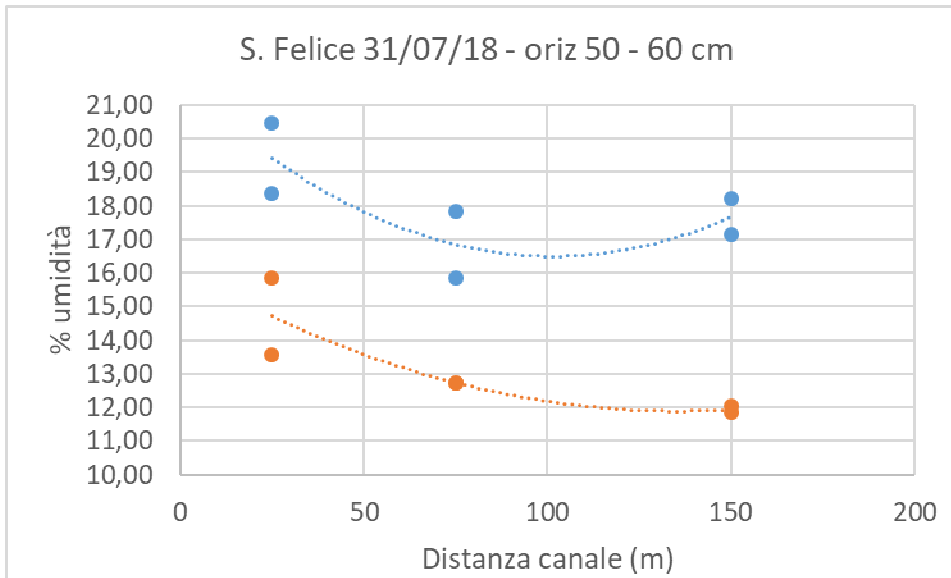


Grafico 27: Percentuale di umidità riscontrata il 31 agosto 2018 negli orizzonti profondi in prossimità dei piezometri del sito di S. Felice. In blu, la situazione in prossimità delle piante irrigate; in rosso, in prossimità delle piante soggette a bypass dall'irrigazione.

I grafici mostrano, per i due anni 2017 e 2018, la differenza di contenuto idrico negli orizzonti profondi del suolo, rispettivamente in prossimità dei peri irrigati e dei peri non irrigati. Essa si assesta, in entrambi gli anni e a stagione conclusa, attorno al 5%. Ma l'aspetto più importante riguarda l'andamento delle curve interpolate, in relazione alla distanza dal canale Ramedello. Si nota infatti, e solo presso le piante non irrigate, una regolare diminuzione del contenuto idrico nel suolo all'aumentare della distanza; esso è appena percepibile nel siccitoso 2017, mentre risulta ben evidente nel 2018.

ALLEGATO 20

RILIEVI DI TEMPERATURA FOGLIARE TRAMITE STRUMENTO ALL'INFRAROSSO
"SCHEDULER" (TABELLE E GRAFICI)

Anno: 2016

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|---------|---------|------------|--------|---------|-----------|------|
| 02/08/16 | P7 | 25 | 134 | 27,3 | 27,5 | -0,2 | 54 | 51 | 1,68 | 1,4 |
| 02/08/16 | P8 | 75 | 96 | 28,9 | 28,5 | 0,4 | 56 | 52 | 1,71 | 2,1 |
| 02/08/16 | P9 | 150 | 104 | 28,0 | 28,8 | -0,8 | 56 | 50 | 1,73 | 0,9 |
| 02/08/16 | P10 | 25 | 124 | 26,1 | 28,7 | -2,6 | 50 | 39 | 1,96 | -0,6 |
| 02/08/16 | P11 | 75 | 50 | 28,2 | 29,1 | -0,9 | 53 | 60 | 1,88 | 0,9 |
| 02/08/16 | P12 | 150 | 130 | 26,5 | 28,9 | -2,4 | 51 | 55 | 1,92 | -0,4 |
| Medie | | | | 27,5 | 28,6 | -1,1 | 53,3 | 51,2 | 1,8 | 0,7 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|---------|---------|------------|--------|---------|-----------|------|
| 31/08/16 | P7 | 25 | 115 | 29,8 | 29,1 | 0,7 | 52 | 55 | 1,91 | 2,7 |
| 31/08/16 | P8 | 75 | 25 | 30,7 | 29,2 | 1,5 | 53 | 51 | 1,90 | 3,3 |
| 31/08/16 | P9 | 150 | 80 | 30,5 | 29,4 | 1,1 | 49 | 48 | 2,08 | 3,1 |
| 31/08/16 | P10 | 25 | 130 | 28,1 | 28,6 | -0,5 | 48 | 51 | 2,02 | 1,5 |
| 31/08/16 | P11 | 75 | 110 | 32,7 | 30,0 | 2,7 | 49 | 54 | 2,15 | 4,8 |
| 31/08/16 | P12 | 150 | 90 | 28,3 | 30,1 | -1,8 | 49 | 51 | 2,16 | 0,4 |
| Medie | | | | 30,0 | 29,4 | 0,6 | 50,0 | 51,7 | 2,0 | 2,6 |

Nota: Valori in rosso nella colonna "Profondità falda" legati a ristagno di acqua irrigua all'interno del pozzetto a protezione del piezometro e quindi da considerarsi non realistici

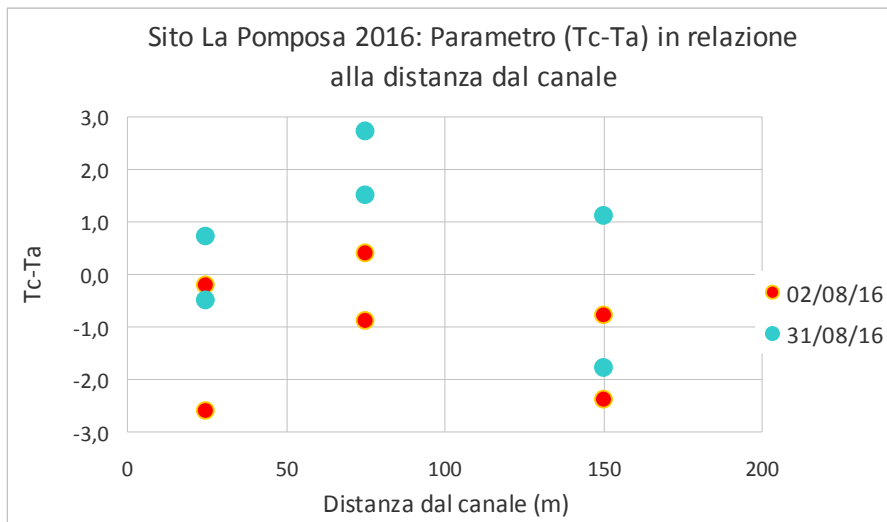


Grafico 28: Confronto 2016 fra il parametro calcolato $T_c - T_a$ e la distanza dal canale nel sito di Pomposa durante le due date di rilievi

Anno: 2017

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 05/07/17 | P7 | 25 | 144 | 28,7 | 28,5 | 0,2 | 53 | 67 | 1,83 | 2,1 |
| 05/07/17 | P8 | 75 | 143 | 29,6 | 29,2 | 0,4 | 48 | 66 | 2,10 | 2,5 |
| 05/07/17 | P9 | 150 | 140 | 29,0 | 29,3 | -0,3 | 49 | 67 | 2,05 | 1,8 |
| 05/07/17 | P10 | 25 | 153 | 29,3 | 29,4 | -0,1 | 48 | 66 | 2,12 | 2,0 |
| 05/07/17 | P11 | 75 | 155 | 29,9 | 29,7 | 0,1 | 47 | 67 | 2,18 | 2,3 |
| 05/07/17 | P12 | 150 | 150 | 29,4 | 29,9 | -0,5 | 49 | 72 | 2,16 | 1,5 |
| | Medie | | | 29,3 | 29,3 | 0,0 | 48,8 | 67,1 | 2,1 | 2,0 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 19/07/17 | P7 | 25 | 160 | 30,2 | 30,9 | -0,7 | 60 | 55 | 1,74 | 1,0 |
| 19/07/17 | P8 | 75 | 158 | 31,5 | 30,6 | 0,9 | 61 | 58 | 1,71 | 2,6 |
| 19/07/17 | P9 | 150 | 150 | 30,6 | 30,7 | -0,1 | 62 | 59 | 1,68 | 1,6 |
| 19/07/17 | P10 | 25 | 166 | 28,8 | 29,6 | -0,9 | 61 | 51 | 1,62 | 0,8 |
| 19/07/17 | P11 | 75 | 169 | 30,8 | 31,4 | -0,7 | 57 | 54 | 1,94 | 1,3 |
| 19/07/17 | P12 | 150 | 160 | 30,3 | 31,1 | -0,9 | 58 | 60 | 1,90 | 1,0 |
| | Medie | | | 30,3 | 30,7 | -0,4 | 59,6 | 56,0 | 1,8 | 1,4 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 09/08/17 | P7 | 25 | 147 | 33,5 | 33,3 | 0,2 | 52 | 52 | 2,44 | 2,5 |
| 09/08/17 | P8 | 75 | 144 | 34,6 | 34,1 | 0,5 | 48 | 58 | 2,75 | 3,0 |
| 09/08/17 | P9 | 150 | 148 | 33,1 | 34,5 | -1,4 | 49 | 51 | 2,75 | 1,2 |
| 09/08/17 | P10 | 25 | 165 | 33,5 | 34,6 | -1,1 | 49 | 55 | 2,76 | 1,6 |
| 09/08/17 | P11 | 75 | 160 | 34,5 | 35,0 | -0,5 | 50 | 56 | 2,77 | 2,1 |
| 09/08/17 | P12 | 150 | 132 | 34,6 | 35,2 | -0,6 | 52 | 55 | 2,69 | 2,0 |
| | Medie | | | 34,0 | 34,5 | -0,5 | 50,0 | 54,5 | 2,7 | 2,1 |

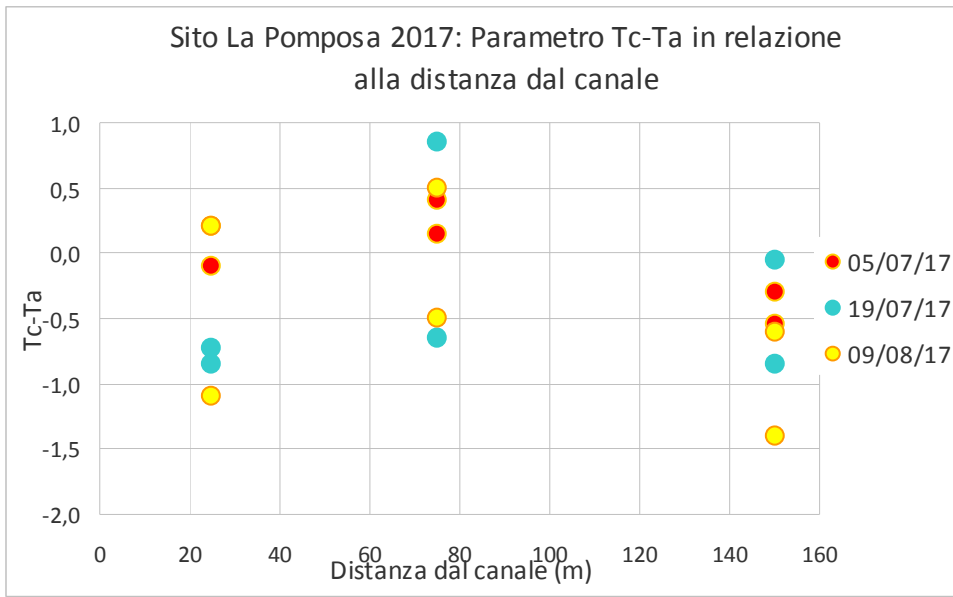


Grafico 29: Confronto 2017 fra il parametro calcolato Tc-Ta e la distanza dal canale nel sito di Pomposa durante le tre date di rilievi

Anno: 2018

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 05/07/18 | P7 | 25 | 150 | 31,2 | 31,3 | -0,1 | 58 | 57 | 1,88 | 1,7 |
| 05/07/18 | P8 | 75 | 166 | 32,3 | 32,2 | 0,1 | 55 | 57 | 2,17 | 2,2 |
| 05/07/18 | P9 | 150 | 150 | 31,6 | 32,5 | -0,9 | 54 | 55 | 2,22 | 1,3 |
| 05/07/18 | P10 | 25 | 159 | 27,2 | 29,7 | -2,5 | 63 | 24 | 1,52 | -0,9 |
| 05/07/18 | P11 | 75 | 164 | 29,5 | 31,1 | -1,6 | 62 | 32 | 1,69 | 0,1 |
| 05/07/18 | P12 | 150 | 147 | 26,5 | 29,9 | -3,4 | 63 | 13 | 1,54 | -1,8 |
| | Medie | | | 29,7 | 31,1 | -1,4 | 59,0 | 39,8 | 1,8 | 0,4 |

| Data | piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 01/08/18 | P7 | 25 | 150 | 34,0 | 33,8 | 0,2 | 56 | 57 | 2,32 | 2,4 |
| 01/08/18 | P8 | 75 | 150 | 34,9 | 34,8 | 0,1 | 55 | 56 | 2,49 | 2,4 |
| 01/08/18 | P9 | 150 | 140 | 34,9 | 35,3 | -0,4 | 55 | 58 | 2,58 | 2,0 |
| 01/08/18 | P10 | 25 | 155 | 35,0 | 34,8 | 0,2 | 57 | 56 | 2,36 | 2,4 |
| 01/08/18 | P11 | 75 | 160 | 35,5 | 35,8 | -0,3 | 55 | 54 | 2,60 | 2,1 |
| 01/08/18 | P12 | 150 | 130 | 34,1 | 35,3 | -1,2 | 49 | 56 | 2,88 | 1,5 |
| | Medie | | | 34,7 | 35,0 | -0,2 | 54,3 | 56,0 | 2,5 | 2,1 |

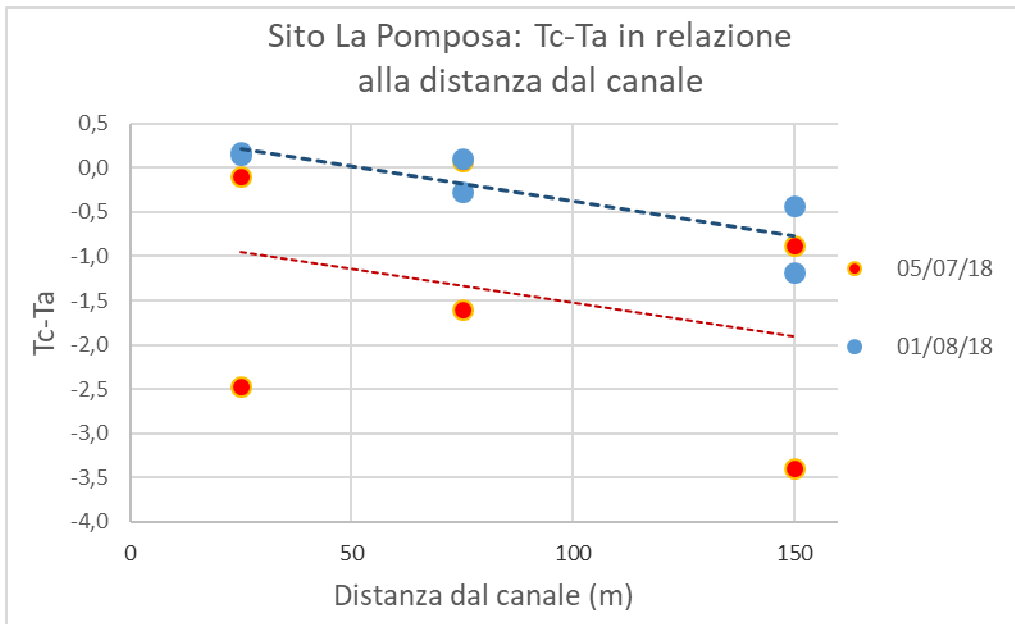


Grafico 30: Confronto 2018 fra il parametro calcolato Tc-Ta e la distanza dal canale nel sito di Pomposa durante le due date di rilievi

Anno: 2016

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 04/08/16 | P19 | 25 | 212 | 31,3 | 31,5 | -0,2 | 53 | 45 | 2,14 | 1,9 |
| 04/08/16 | P20 | 75 | 246 | 30,9 | 32,3 | -1,4 | 54 | 70 | 2,22 | 0,7 |
| 04/08/16 | P21 | 150 | 250 | 31,0 | 32,6 | -1,6 | 50 | 53 | 2,41 | 0,8 |
| 04/08/16 | P22 | 25 | 214 | 31,6 | 33,5 | -1,9 | 45 | 56 | 2,83 | 0,9 |
| 04/08/16 | P23 | 75 | 267 | 31,7 | 33,2 | -1,5 | 42 | 64 | 2,90 | 1,3 |
| 04/08/16 | P24 | 150 | 301 | 31,3 | 34,0 | -2,7 | 40 | 64 | 3,16 | 0,4 |
| Medie | | | | 31,3 | 32,9 | -1,6 | 47,3 | 58,7 | 2,6 | 1,0 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 26/08/16 | P19 | 25 | 210 | 30,6 | 30,8 | -0,2 | 38 | 63 | 2,73 | 2,4 |
| 26/08/16 | P20 | 75 | 254 | 29,4 | 30,3 | -0,9 | 39 | 66 | 2,62 | 1,5 |
| 26/08/16 | P21 | 150 | 264 | 28,9 | 29,6 | -0,7 | 38 | 72 | 2,55 | 1,7 |
| 26/08/16 | P22 | 25 | 210 | 30,4 | 30,3 | 0,1 | 41 | 67 | 2,51 | 2,5 |
| 26/08/16 | P23 | 75 | 252 | 30,7 | 30,3 | 0,4 | 42 | 67 | 2,50 | 2,8 |
| 26/08/16 | P24 | 150 | 274 | 29,8 | 30,0 | -0,2 | 45 | 55 | 2,30 | 2,0 |
| Medie | | | | 30,0 | 30,2 | -0,3 | 40,5 | 65,0 | 2,5 | 2,2 |

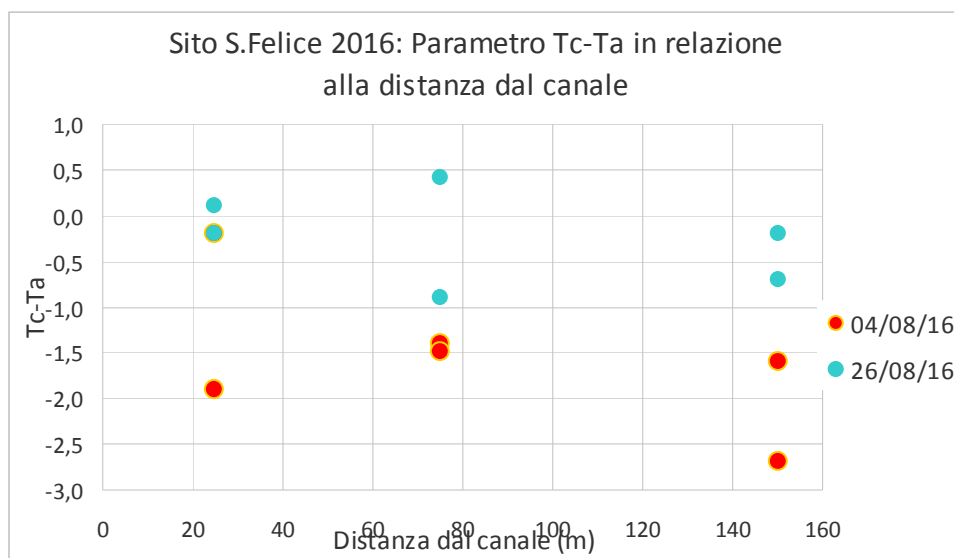


Grafico 31: Confronto 2016 fra il parametro calcolato Tc-Ta e la distanza dal canale nel sito di S. Felice durante le due date di rilievi

Anno: 2017

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|------------|--------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 14/06/2017 | P19 non irri | 25 | 181 | 28,3 | 30,2 | -2,0 | 63 | 58 | 1,58 | -0,4 |
| 14/06/2017 | P20 non irri | 75 | 232 | 27,4 | 29,4 | -2,0 | 63 | 58 | 1,51 | -0,4 |
| 14/06/2017 | P21 non irri | 150 | 263 | 27,3 | 28,8 | -1,5 | 67 | 48 | 1,27 | -0,2 |
| 14/06/2017 | P19 | 25 | 181 | 29,2 | 30,5 | -1,3 | 65 | 71 | 1,53 | 0,3 |
| 14/06/2017 | P20 | 75 | 232 | 26,9 | 29,7 | -2,8 | 63 | 52 | 1,54 | -1,3 |
| 14/06/2017 | P21 | 150 | 263 | 27,5 | 29,0 | -1,6 | 65 | 65 | 1,39 | -0,2 |
| | Medie | | | 27,7 | 29,6 | -1,9 | 64,0 | 58,5 | 1,5 | -0,3 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|------------|--------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 25/07/2017 | P19 non irri | 25 | 203 | 29,7 | 31,3 | -1,7 | 36 | 67 | 2,94 | 1,1 |
| 25/07/2017 | P20 non irri | 75 | 256 | 28,6 | 30,7 | -2,2 | 35 | 63 | 2,85 | 0,6 |
| 25/07/2017 | P21 non irri | 150 | 275 | 29,1 | 31,3 | -2,2 | 35 | 61 | 2,96 | 0,7 |
| 25/07/2017 | P22 non irri | 25 | 213 | 28,5 | 31,4 | -2,9 | 34 | 53 | 3,04 | 0,0 |
| 25/07/2017 | P23 non irri | 75 | 276 | 29,5 | 32,0 | -2,5 | 33 | 61 | 3,18 | 0,5 |
| 25/07/2017 | P24 non irri | 150 | 301 | 29,3 | 32,1 | -2,8 | 33 | 56 | 3,19 | 0,4 |
| 25/07/2017 | P19 | 25 | 203 | 29,3 | 31,1 | -1,8 | 37 | 56 | 2,86 | 1,0 |
| 25/07/2017 | P20 | 75 | 256 | 28,8 | 31,1 | -2,3 | 36 | 58 | 2,86 | 0,6 |
| 25/07/2017 | P21 | 150 | 275 | 30,1 | 32,0 | -1,9 | 36 | 57 | 3,03 | 1,0 |
| 25/07/2017 | P22 | 25 | 213 | 28,5 | 31,2 | -2,7 | 35 | 65 | 2,96 | 0,3 |
| 25/07/2017 | P23 | 75 | 276 | 29,5 | 31,7 | -2,2 | 33 | 54 | 3,12 | 0,8 |
| 25/07/2017 | P24 | 150 | 301 | 29,4 | 31,0 | -1,6 | 36 | 57 | 2,87 | 1,2 |
| | Medie | | | 29,2 | 31,4 | -2,2 | 34,7 | 58,7 | 3,0 | 0,7 |

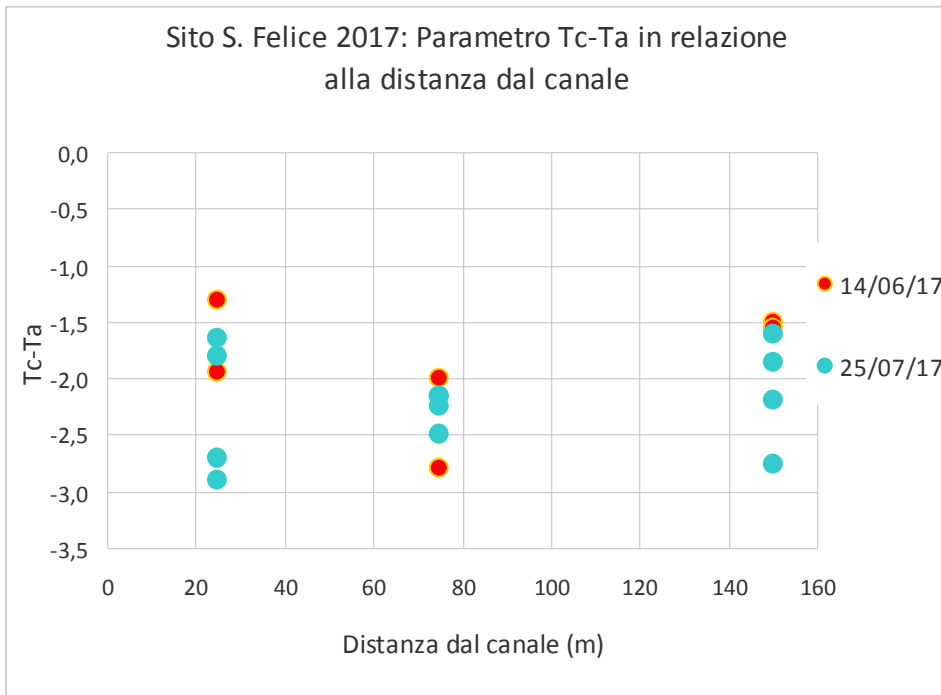


Grafico 32: Confronto 2017 fra il parametro calcolato T_c-T_a e la distanza dal canale nel sito di S. Felice durante le due date di rilievi

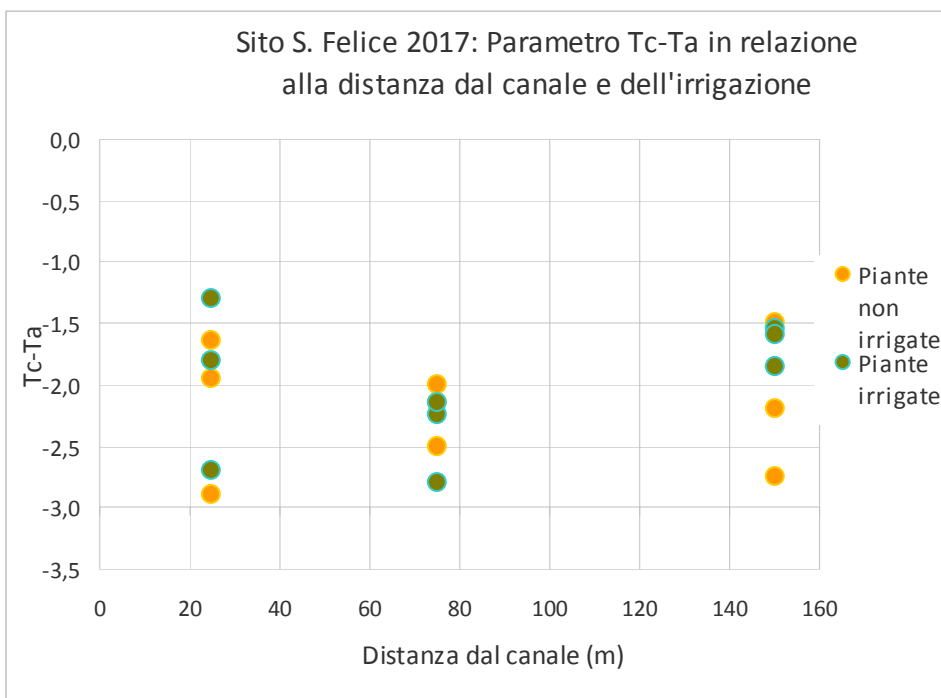


Grafico 33: Grafico analogo al precedente, ma inserendo come variabile anche il confronto fra piante irrigate e non irrigate.

Anno: 2018

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|--------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 04/07/18 | P19 non irri | 25 | 221 | 30,6 | 30,5 | 0,1 | 56 | 61 | 1,91 | 2,0 |
| 04/07/18 | P20 non irri | 75 | 254 | 31,3 | 31,4 | -0,1 | 57 | 64 | 1,96 | 1,9 |
| 04/07/18 | P21 non irri | 150 | 267 | 30,4 | 31,7 | -1,3 | 56 | 72 | 2,05 | 0,8 |
| 04/07/18 | P22 non irri | 25 | 238 | 31,2 | 31,8 | -0,6 | 53 | 64 | 2,22 | 1,6 |
| 04/07/18 | P23 non irri | 75 | 268 | 31,3 | 31,5 | -0,2 | 54 | 62 | 2,12 | 1,9 |
| 04/07/18 | P24 non irri | 150 | 294 | 31,6 | 31,7 | -0,2 | 55 | 57 | 2,11 | 1,9 |
| 04/07/18 | P19 | 25 | 221 | 30,2 | 31,2 | -1,1 | 53 | 64 | 2,15 | 1,1 |
| 04/07/18 | P20 | 75 | 254 | 30,8 | 31,3 | -0,4 | 55 | 69 | 2,06 | 1,6 |
| 04/07/18 | P21 | 150 | 267 | 30,2 | 31,6 | -1,4 | 53 | 62 | 2,14 | 0,7 |
| 04/07/18 | P22 | 25 | 238 | 30,3 | 31,7 | -1,5 | 50 | 70 | 2,35 | 0,8 |
| 04/07/18 | P23 | 75 | 268 | 31,7 | 32,3 | -0,6 | 52 | 65 | 2,28 | 1,7 |
| 04/07/18 | P24 | 150 | 294 | 31,6 | 31,5 | 0,1 | 55 | 63 | 2,04 | 2,1 |
| | Medie | | | 30,9 | 31,5 | -0,6 | 53,8 | 64,3 | 2,1 | 1,5 |

| Data | Piezometro | Distanza canale | Profond. falda | Tc (°C) | Ta (°C) | Tc-Ta (°C) | RH (%) | Rad (%) | VPD (kpa) | CWSI |
|----------|--------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 31/07/18 | P19 non irri | 25 | 214 | 33,1 | 33,5 | -0,4 | 58 | 64 | 2,17 | 1,7 |
| 31/07/18 | P20 non irri | 75 | 256 | 33,1 | 34,8 | -1,7 | 56 | 58 | 2,43 | 0,7 |
| 31/07/18 | P21 non irri | 150 | 271 | 33,1 | 35,3 | -2,2 | 51 | 55 | 2,78 | 0,5 |
| 31/07/18 | P22 non irri | 25 | 212 | 34,1 | 35,1 | -1,0 | 58 | 57 | 2,37 | 1,3 |
| 31/07/18 | P23 non irri | 75 | 272 | 35,3 | 35,0 | 0,3 | 57 | 62 | 2,42 | 2,6 |
| 31/07/18 | P24 non irri | 150 | 301 | 33,9 | 35,1 | -1,2 | 53 | 59 | 2,63 | 1,4 |
| 31/07/18 | P19 | 25 | 214 | 32,7 | 34,5 | -1,8 | 56 | 52 | 2,39 | 0,5 |
| 31/07/18 | P20 | 75 | 256 | 33,4 | 34,8 | -1,4 | 50 | 54 | 2,78 | 1,2 |
| 31/07/18 | P21 | 150 | 271 | 34,7 | 35,2 | -0,5 | 56 | 62 | 2,52 | 1,9 |
| 31/07/18 | P22 | 25 | 212 | 35,4 | 34,9 | 0,5 | 56 | 58 | 2,44 | 2,8 |
| 31/07/18 | P23 | 75 | 272 | 34,0 | 35,0 | -1,1 | 56 | 53 | 2,45 | 1,3 |
| 31/07/18 | P24 | 150 | 301 | 35,3 | 35,6 | -0,3 | 53 | 57 | 2,71 | 2,2 |
| | Medie | | | 34,0 | 34,9 | -0,9 | 54,8 | 57,4 | 2,5 | 1,5 |

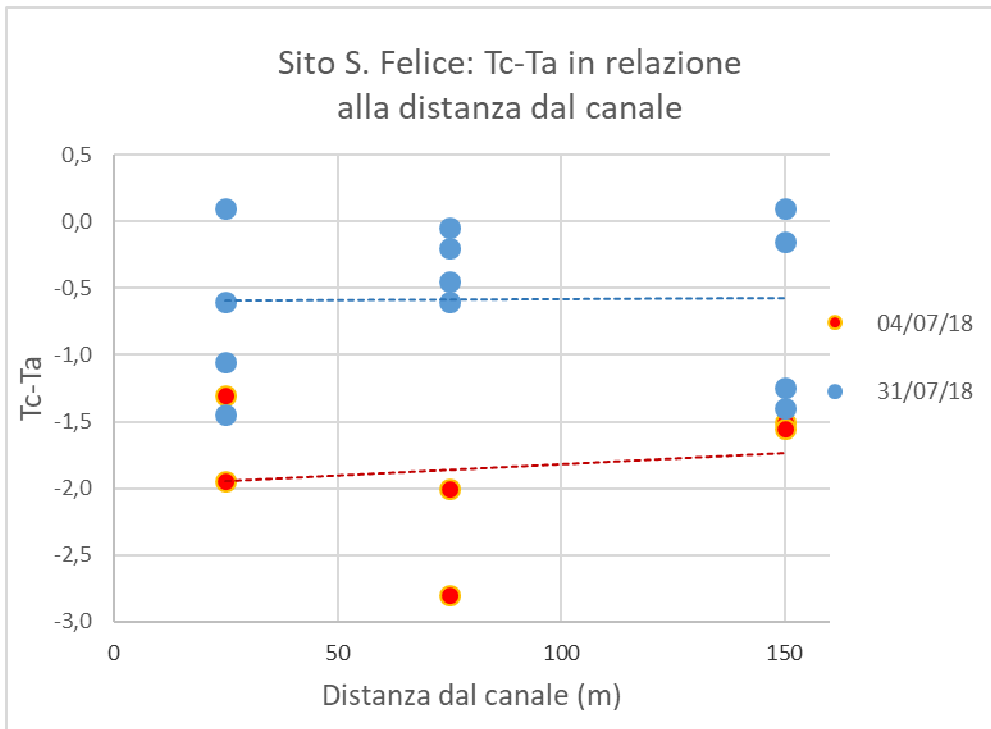


Grafico 34: Confronto 2018 fra il parametro calcolato T_c-T_a e la distanza dal canale nel sito di S. Felice durante le due date di rilievi

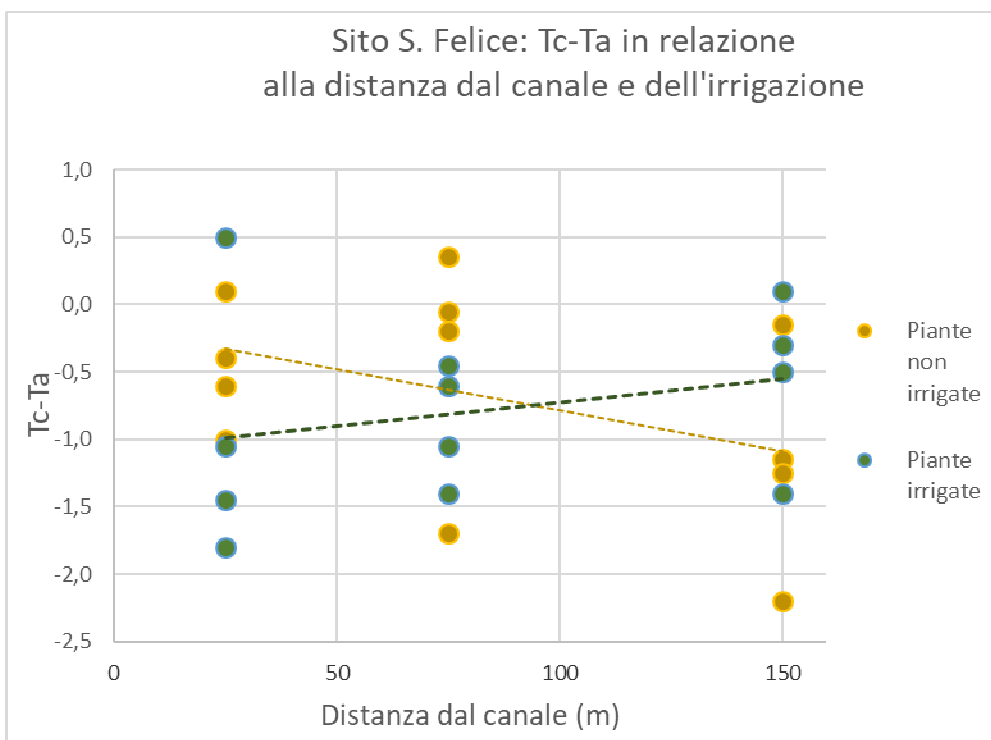


Grafico 35: Grafico analogo al precedente, ma inserendo come variabile anche il confronto fra piante irrigate e non irrigate.

ALLEGATO 21

GRAFICI DI RIPARTIZIONE DEI PESI E CALIBRO DEI FRUTTI RACCOLTI NEI DUE SITI DI POMPOSA E S. FELICE.

Nota: I frutti nelle due annate 2016 e 2017 sono stati raccolti secondo un metodo definito in fase progettuale e riportato nella parte iniziale di All. 26 (raccolta su branche di un filare per lunghezza complessiva 3,80 m ed altezza 60 cm); nel 2018, invece, secondo il metodo definito sempre in All. 26, ma in fondo (raccolta su 2 piante intere in corrispondenza di ogni piezometro).

Anno: 2016

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

Data raccolta: 31/08/2016

Metodo di raccolta: su branche di un filare per lunghezza complessiva 3,80 m ed altezza 60 cm

| CAMPIONE | | DIM. <55 | DIM. 55-65 | DIM. > 65 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|------------|-------------|-------------|---------------|--------------|---------|---------------|--------------------------------------|
| P7 | Frutti (n°) | 1 | 4 | 33 | | 38 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,194 | 0,741 | 9,71 | | 10,645 | 25 |
| P8 | Frutti (n°) | 14 | 46 | 19 | | 79 | 75 |
| | Peso (kg) | 1,663 | 7,789 | 4,262 | | 13,714 | 75 |
| P9 | Frutti (n°) | 6 | 12 | 35 | | 53 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,672 | 1,976 | 9,43 | | 12,078 | 150 |
| P10 | Frutti (n°) | 0 | 8 | 29 | 2 | 39 | 25 |
| | Peso (kg) | | 1,583 | 8,492 | 0,609 | 10,684 | 25 |
| P11 | Frutti (n°) | 0 | 4 | 45 | | 49 | 75 |
| | Peso (kg) | | 0,739 | 12,345 | | 13,084 | 75 |
| P12 | Frutti (n°) | 0 | 8 | 44 | | 52 | 150 |
| | Peso (kg) | | 1,369 | 14,025 | | 15,394 | 150 |

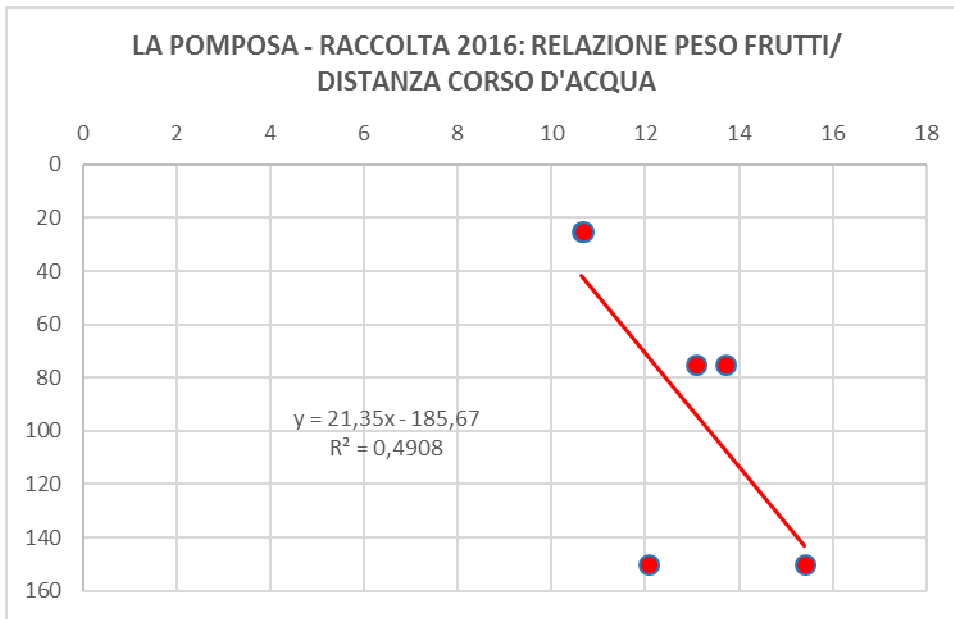


Grafico 36: Relazione 2016 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal Po di Volano nel sito di Pomposa; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

Anno: 2017

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

Data raccolta: 07/09/2017

Metodo di raccolta: su branche di un filare per lunghezza complessiva 3,80 m ed altezza 60 cm

| CAMPIONE | | <55 | 55-65 | > 65 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|----------|-------------|-------|-------|--------|---------|--------|--------------------------------|
| P7 | Frutti (n°) | 7 | 6 | 40 | | 53 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,51 | 1,407 | 11,169 | | 13,086 | 25 |
| P8 | Frutti (n°) | 3 | 5 | 19 | | 27 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,154 | 0,862 | 5,024 | | 6,04 | 75 |
| P9 | Frutti (n°) | 0 | 0 | 22 | | 22 | 150 |
| | Peso (kg) | 0 | 0 | 6,472 | | 6,472 | 150 |
| P10 | Frutti (n°) | 8 | 21 | 44 | 2 | 75 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,609 | 3,702 | 12,903 | 0,609 | 17,823 | 25 |
| P11 | Frutti (n°) | 0 | 3 | 21 | | 24 | 75 |
| | Peso (kg) | 0 | 0,444 | 6,844 | | 7,288 | 75 |
| P12 | Frutti (n°) | 2 | 12 | 48 | | 62 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,197 | 2,086 | 13,315 | | 15,598 | 150 |

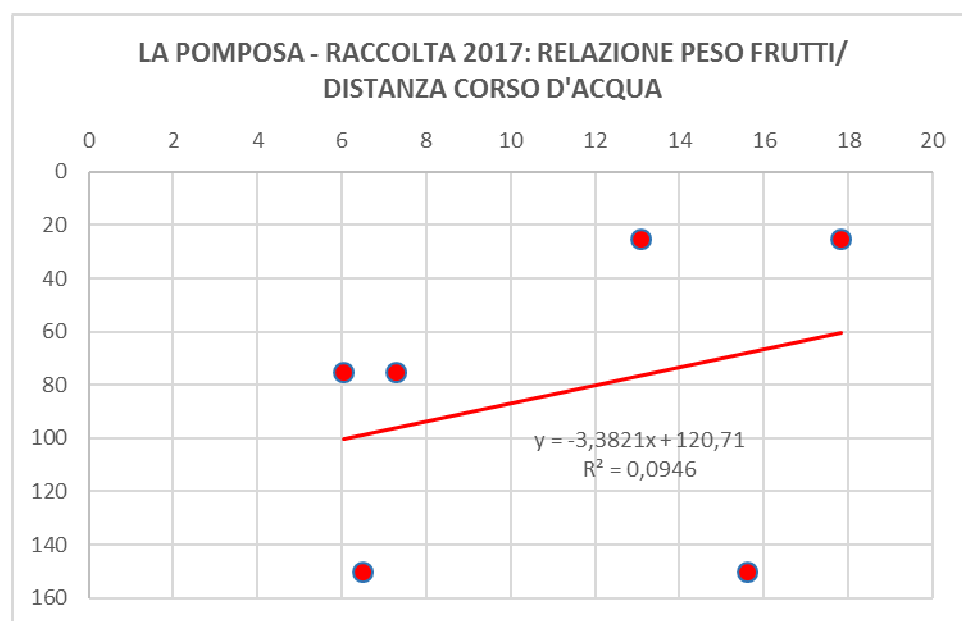


Grafico 37: Relazione 2017 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal Po di Volano nel sito di Pomposa; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

Anno: 2018

Sito studio: Pomposa

Coltura: Pero Abate

Data raccolta: 05/09/2018

Metodo di raccolta: 2 piante intere per ciascun piezometro dei 2 allineamenti P7-P8-P9 e P10-P11-P12.

| CAMPIONE | Parametro | <55 | 55-65 | 65-75 | > 75 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|----------|-------------|------|-------|-------|-------|---------|--------|--------------------------------|
| P7 | Frutti (n°) | 6 | 21 | 67 | 42 | 0 | 136 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,80 | 3,50 | 16,13 | 13,87 | | 34,29 | 25 |
| P8 | Frutti (n°) | 1 | 21 | 65 | 16 | 0 | 103 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,08 | 3,37 | 15,35 | 5,25 | | 24,05 | 75 |
| P9 | Frutti (n°) | 4 | 17 | 36 | 34 | 0 | 91 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,39 | 2,57 | 8,74 | 11,80 | | 23,50 | 150 |
| P10 | Frutti (n°) | 5 | 28 | 61 | 47 | 0 | 141 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,46 | 4,82 | 15,73 | 16,68 | | 37,68 | 25 |
| P11 | Frutti (n°) | 3 | 8 | 49 | 32 | 0 | 92 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,55 | 1,51 | 12,37 | 11,12 | | 25,56 | 75 |
| P12 | Frutti (n°) | 5 | 7 | 22 | 46 | 0 | 80 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,39 | 1,09 | 5,02 | 16,28 | | 22,77 | 150 |

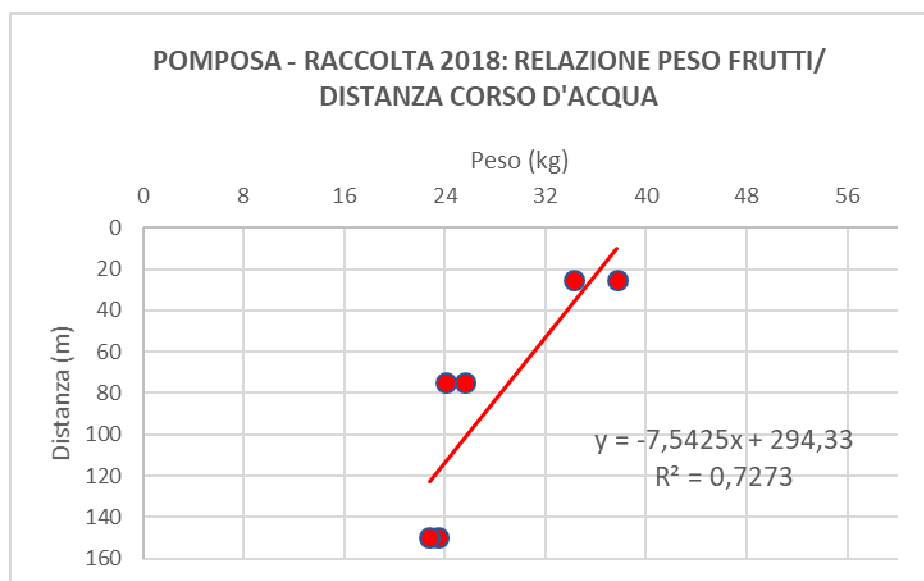


Grafico 38: Relazione 2018 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal Po di Volano nel sito di Pomposa; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

Anno: 2016

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

Data raccolta: 04/08/2016

| CAMPIONE | | <55 | 55-65 | > 65 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|------------|-------------|-------|-------|--------|---------|---------------|--------------------------------|
| P19 | Frutti (n°) | 13 | 50 | 57 | | 120 | 25 |
| | Peso (kg) | 1,104 | 6,382 | 10,654 | | 18,14 | 25 |
| P20 | Frutti (n°) | 11 | 61 | 39 | | 111 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,894 | 8,104 | 7,237 | | 16,235 | 75 |
| P21 | Frutti (n°) | 22 | 71 | 31 | | 124 | 150 |
| | Peso (kg) | 1,887 | 9,89 | 6,036 | | 17,813 | 150 |
| P22 | Frutti (n°) | 6 | 20 | 21 | 2 | 49 | 25 |
| | Peso (kg) | 0,513 | 2,676 | 3,525 | 0,609 | 7,323 | 25 |
| P23 | Frutti (n°) | 7 | 43 | 18 | | 68 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,605 | 5,841 | 3,385 | | 9,831 | 75 |
| P24 | Frutti (n°) | 8 | 42 | 22 | | 72 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,694 | 5,481 | 4,107 | | 10,282 | 150 |

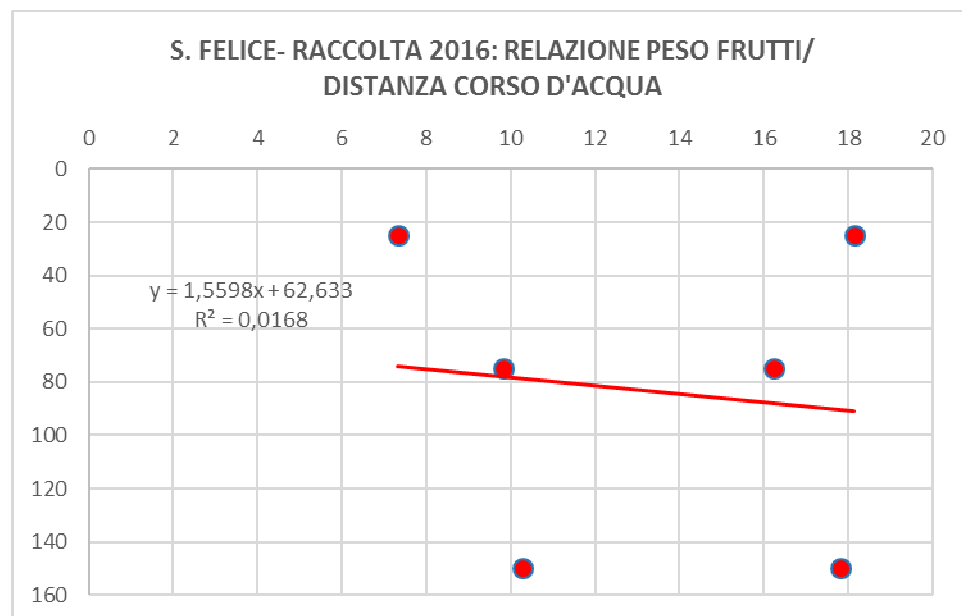


Grafico 39: Relazione 2016 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal canale Ramedello nel sito di S. Felice; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

Anno: 2017

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

Data raccolta: 07/08/2016

Nota: Frutti di sequenza piante presso P19 – P20 – P21 non raccolti a causa di raccolta anticipata da parte dell'azienda agricola.

| CAMPIONE | | <55 | 55-65 | > 65 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|------------|-------------|-------|-------|-------|---------|--------------|--------------------------------|
| P22 | Frutti (n°) | 0 | 5 | 12 | | 17 | 25 |
| | Peso (kg) | 0 | 0,677 | 2,521 | | 3,198 | 25 |
| P23 | Frutti (n°) | 1 | 4 | 22 | | 27 | 75 |
| | Peso (kg) | 0,03 | 0,56 | 4,538 | | 5,128 | 75 |
| P24 | Frutti (n°) | 2 | 9 | 14 | | 25 | 150 |
| | Peso (kg) | 0,113 | 1,176 | 2,944 | | 4,233 | 150 |

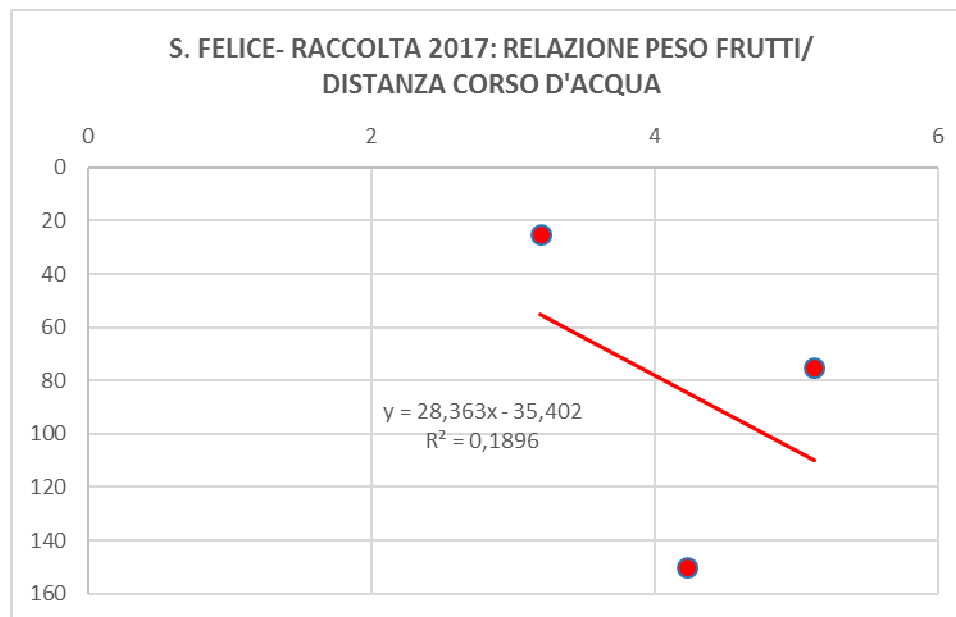


Grafico 40: Relazione 2017 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal canale Ramedello nel sito di S. Felice; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

Anno: 2018

Sito studio: S. Felice

Coltura: Pero Williams

Data raccolta: 01/08/2018

Metodo di raccolta: 2 piante intere settore irrigato/asciutto per ciascun piezometro dell'allineamento P22-P23-P24.

| CAMPIONE | Parametro | <55 | 55-65 | 65-75 | > 75 | Difetti | TOTALI | Distanza dal corso d'acqua (m) |
|----------|-------------|------|-------|-------|------|---------|--------|--------------------------------|
| P22 | Frutti (n°) | 30 | 196 | 270 | 19 | 0 | 515 | 25 |
| | Peso (kg) | 2,24 | 24,54 | 48,03 | 4,61 | | 79,41 | 25 |
| P23 | Frutti (n°) | 35 | 163 | 149 | 7 | 0 | 354 | 75 |
| | Peso (kg) | 2,80 | 20,60 | 26,08 | 1,75 | | 51,24 | 75 |
| P24 | Frutti (n°) | 61 | 191 | 123 | 6 | 0 | 381 | 150 |
| | Peso (kg) | 4,82 | 24,33 | 21,97 | 1,41 | | 52,53 | 150 |
| P22 | Frutti (n°) | 38 | 261 | 242 | 12 | 0 | 553 | 25 |
| | Peso (kg) | 3,06 | 33,20 | 41,71 | 3,01 | | 80,97 | 25 |
| P23 | Frutti (n°) | 29 | 177 | 147 | 13 | 0 | 366 | 75 |
| | Peso (kg) | 2,54 | 23,40 | 26,22 | 3,28 | | 55,43 | 75 |
| P24 | Frutti (n°) | 38 | 153 | 135 | 12 | 0 | 338 | 150 |
| | Peso (kg) | 2,98 | 18,42 | 24,30 | 2,80 | | 48,49 | 150 |

Nota: Evidenziata in giallo la raccolta da piante non irrigate nel corso della stagione; in azzurro da piante irrigate nel corso della stagione

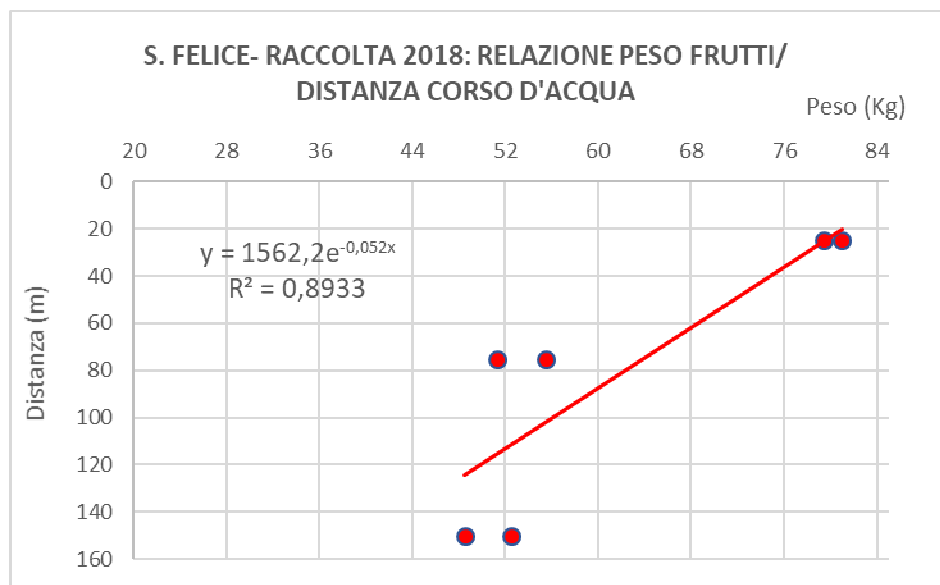


Grafico 41: Relazione 2018 fra il peso totale dei frutti raccolti e la distanza dal canale Ramedello nel sito di S. Felice; in ascissa i Kg, in ordinata la distanza in (m).

ALLEGATO 22

STIMA DELLA BIOMASSA TRASPIRANTE ATTRAVERSO LA MISURA DEL CANOPY COVER - CC, ESPRESSO IN PERCENTUALE SUI SITI STUDIO DI S. FELICE E POMPOSA (ANNO 2017)

La stima della biomassa traspirante è stata effettuata attraverso la misura, espressa in percentuale, del Canopy Cover (CC). Tale lavoro, che fornisce informazioni sullo sviluppo della parte aerea della pianta, è stato previsto per verificare, ancora una volta, l'eventuale positiva influenza sulle piante più vicine ai canali irrigui. La misurazione è stata eseguita 2 volte ogni stagione irrigua sui due siti di S. Felice e Pomposa, attraverso l'esecuzione di immagini fotografiche con il cosiddetto metodo della fotografia digitale emisferica ed utilizzando obiettivi *fish-eye*. Le foto così ottenute sono poi state elaborate attraverso il free software *ImageJ*, per ottenere per ciascuna un valore di CC. Il tutto è stato poi composto tramite elaborazioni geostatistiche, per determinare, per fasce di distanza dai canali oggetto di monitoraggio, valori complessivi di CC. Nel 2016 sono stati eseguiti i rilievi stagionali previsti, i quali sono stati utili per perfezionare il metodo di rilievo, in particolare per ottenere un meccanismo automatico di georeferenziazione delle foto



Figura 28: Esecuzione di foto con asta telescopica (a sinistra) e successiva georeferenziazione (a destra). Metodo in uso nel 2016.

Nel 2017 i rilievi sono stati effettuati con georeferenziazione automatica delle foto, ma ancora solo selezionando punti in corrispondenza dei piezometri posati in ciascun sito. Infine, nel 2018, utilizzando un apposito supporto montato su automobile, si è riusciti ad ottenere una numerosa sequenza di foto lungo una serie di filari selezionati.

Di seguito si espongono le elaborazioni effettuate sui valori acquisiti negli ultimi due anni. Si sottolinea che i valori di CC vanno da un teorico "0" (nessuna copertura) ad "1" (100% di copertura del suolo da parte della pianta).

Anno 2017

| Campo | Descrizione |
|----------------------|---|
| File Name | Sigla immagine ottenuta da macchina fotografica con lente Fish-eye |
| Porosity 0.60 | Valore medio degli spazi tra le foglie ottenuto con software ImageJ |
| CC 0.60 | Inverso del valore di porosity, corrispondente alla copertura fogliare (canopy cover) |
| ID Piezo | Sigla identificativa del Piezometro |
| AZIENDA | Azienda agricola interessata |
| Data | Data di svolgimento del rilievo |
| Irri/Non irri | Solo sul sito di S. Felice a luglio: foto effettuate sia su piante irrigate e piante escluse dall'irrigazione |

Tabella 10: Metadati del database utilizzato per il calcolo del Canopy Cover nei due siti di monitoraggio

| PIEZOMETRI E SITO | MEDIA CC NON IRRIGATO | MEDIA CC IRRIGATO | DATA |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------|
| POMPOSA | | | |
| p10 | | 0,880 | 19/07/2017 |
| p11 | | 0,829 | 19/07/2017 |
| p12 | | 0,838 | 19/07/2017 |
| p7 | | 0,857 | 19/07/2017 |
| p8 | | 0,869 | 19/07/2017 |
| p9 | | 0,844 | 19/07/2017 |
| SAN FELICE | | | |
| p22 | 0,822 | 0,830 | 25/07/2017 |
| p23 | 0,837 | 0,821 | 25/07/2017 |
| p24 | 0,821 | 0,803 | 25/07/2017 |
| p19 | 0,827 | 0,804 | 25/07/2017 |
| p20 | 0,840 | 0,844 | 25/07/2017 |
| p21 | 0,805 | 0,820 | 25/07/2017 |

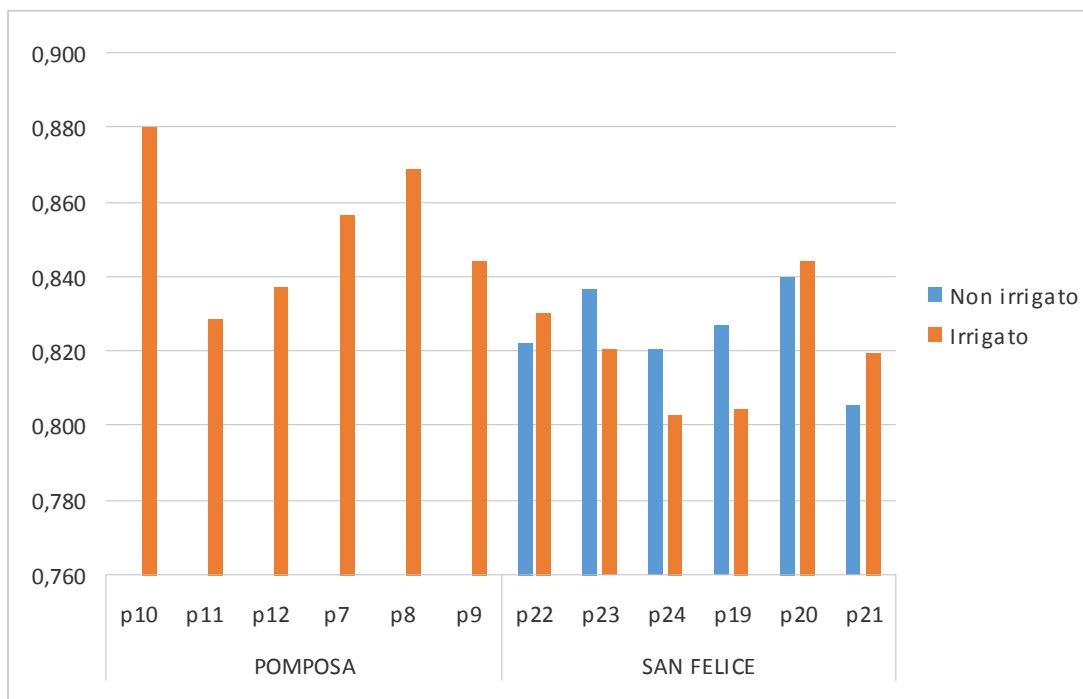


Grafico 42: Andamento a luglio 2017 della percentuale media di Canopy Cover nelle piante situate in prossimità dei piezometri. Per il solo sito di S. Felice è riportata, in blu, anche la percentuale relativa al Canopy Cover delle piante bypassate dall'irrigazione.

| PIEZOMETRI E SITO | MEDIA CC | DATA |
|-------------------|----------|------------|
| POMPOSA | | |
| P10 | 0,891 | 09/08/2017 |
| P11 | 0,868 | 09/08/2017 |
| P12 | 0,902 | 09/08/2017 |
| P7 | 0,902 | 09/08/2017 |
| P8 | 0,916 | 09/08/2017 |
| P9 | 0,920 | 09/08/2017 |
| SANFELICE | | |
| P19 | 0,921 | 10/08/2017 |
| P20 | 0,924 | 10/08/2017 |
| P21 | 0,925 | 10/08/2017 |
| P22 | 0,912 | 10/08/2017 |
| P23 | 0,881 | 10/08/2017 |
| P24 | 0,901 | 10/08/2017 |

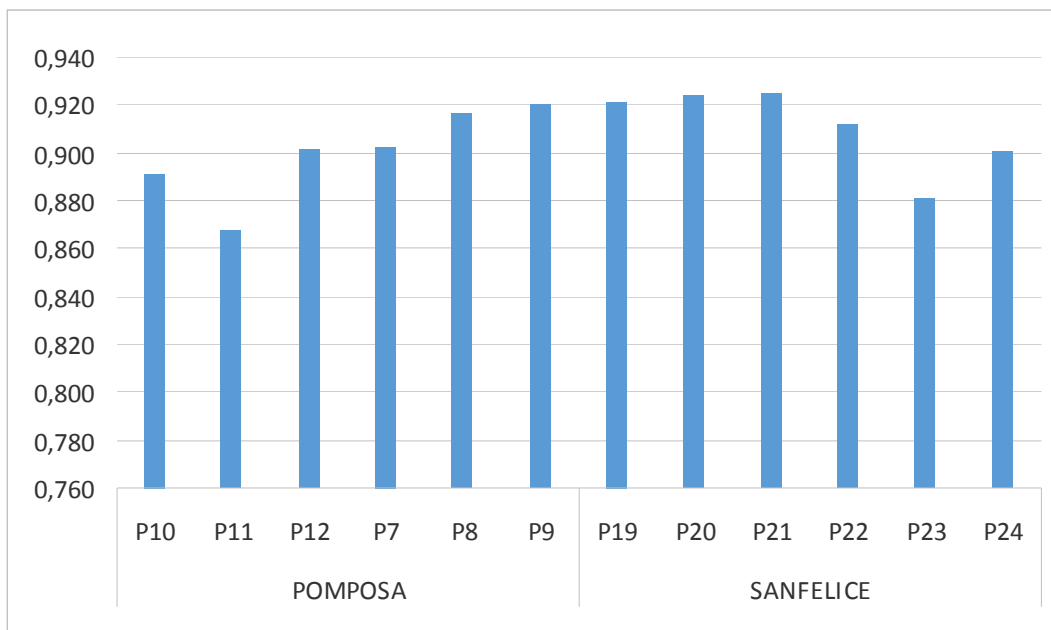


Grafico 43: Andamento ad agosto 2017 della percentuale media di Canopy Cover nelle piante situate in prossimità dei piezometri.

Considerazioni 2017: con il metodo adottato (foto su 4 piante nell'intorno di ciascun piezometro) non si evidenzia alcun trend rispetto alla distanza dal canale (o dal Po di Volano, nel caso del sito di Pomposa). Anche nella situazione più favorevole (piante non irrigate nel sito di S. Felice – rilievo di luglio) la maggior copertura fogliare è osservata a distanza intermedia dal canale.

Anno 2018



Figura 29: A sinistra fase iniziale di elaborazione GIS dei punti fotografati (sito di Pomposa – rilievo del 5 luglio 2018); a destra copertura areale ottenuta tramite interpolazione dei valori dei punti con algoritmo IDW (sito di S. Felice – rilievo del 4 luglio 2018).

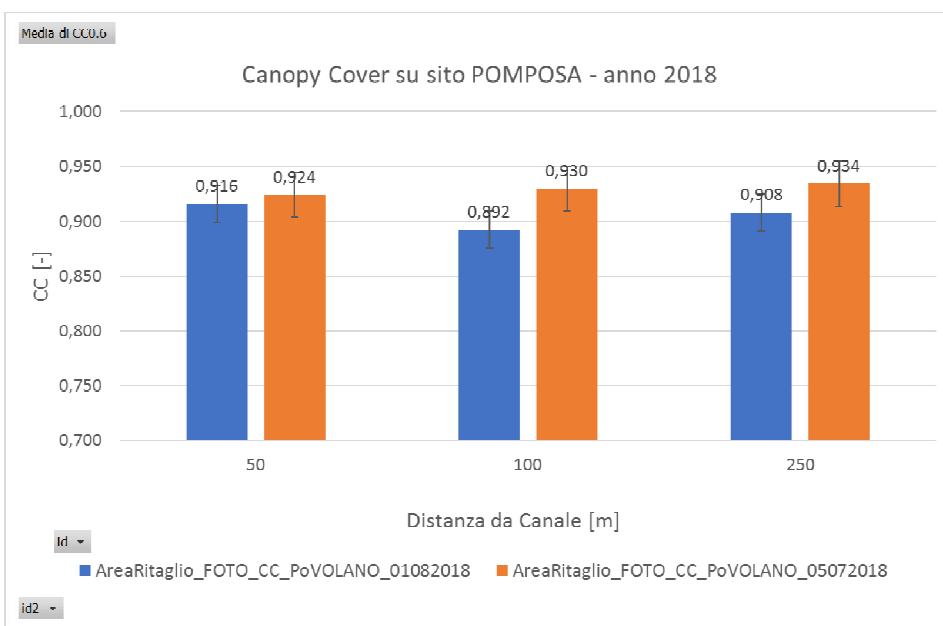


Grafico 44: rappresentazione con istogrammi della percentuale di CC nel sito di Pomposa, ripartita per date e distanza media dal Po di Volano.

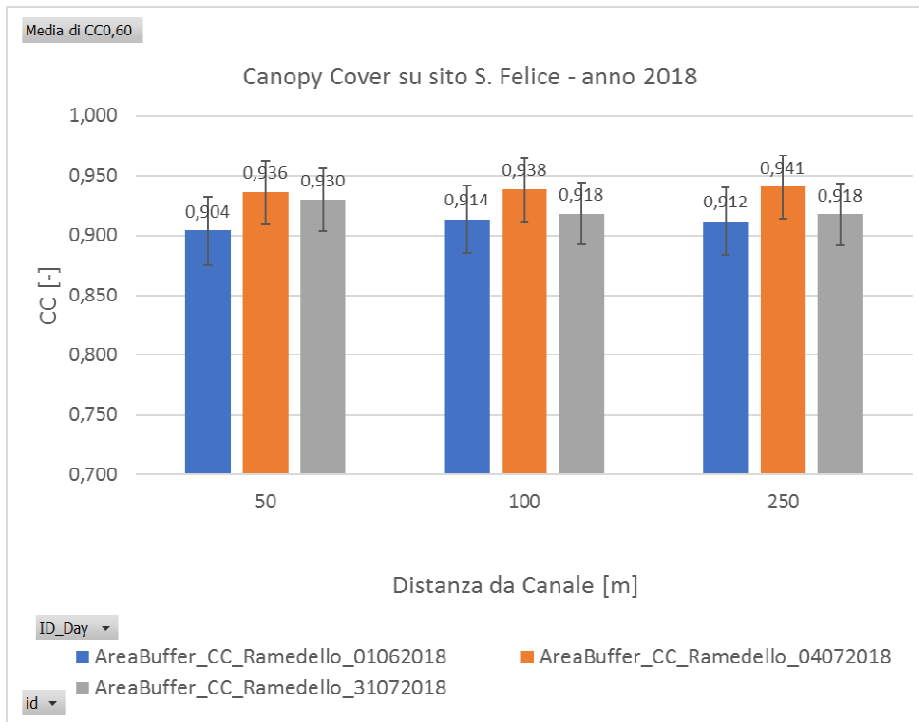


Grafico 45: rappresentazione con istogrammi della percentuale di CC nel sito di S. Felice, ripartita per date e distanza media dal canale Ramedello.

Considerazioni 2018: come anticipato, per ogni data di rilievi dell'anno preso in esame, si è riusciti ad effettuare centinaia di foto georeferenziate del CC lungo interi filari. L'elaborazione automatica di ciascuna immagine ha consentito di ottenere uno strato digitale di punti, ciascuno dei quali con un valore di CC associato (Fig. 11 – sinistra). Da questi poi, tramite appositi algoritmi, si è creato un raster con copertura areale continua (Fig. 11 – destra). Esso ha consentito di definire un valore medio di CC a distanze prefissate, che, nel caso in oggetto, sono rappresentate da 50, 100 e 250 m dal canale (o Po di Volano). L'ultimo passaggio è la trasformazione dei dati negli istogrammi sopra riprodotti, uno per ciascun sito. Come già per il 2017, non si evidenzia alcun trend significativo rispetto alla distanza dal canale (o dal Po di Volano), mentre è chiara una certa correlazione in entrambi i siti con la data di rilievo: quest'ultimo può essere legato alle differenti fasi di accrescimento vegetativo delle piante.

ALLEGATO 23

PARAMETRI ANALITICI RILEVATI NEI CAMPIONI DI ACQUE PRELEVATI DA PIEZOMETRI E CANALI AFFERENTI AL SITO DI POMPOSA (ANNO 2016)



Figura 30: Prelievo di campioni di acqua da piezometro nel sito di Pomposa tramite Bailer

| Data | Parametro | U.M. | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | Condotto Volano |
|----------|-----------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|------------------|----------------------|
| 31/08/16 | Durezza | dH | 15,7 | 14,1 | 32,7 | 45,0 | 25,3 | 15,4 | 15,4 |
| 31/08/16 | Ecw | μS/cm | 1994 | 848 ⁵ | 2840 | 5760 | 1362 | 798 ⁶ | 779 |
| 31/08/16 | pH | log | 7,45 | 7,50 | 7,28 | 7,60 | 7,28 | 7,60 | 7,58 |
| 31/08/16 | Cloruri | mg/l | 460 | 127 | 616 | 1363 | 157 | 120 | 129 |
| 31/08/16 | Solfati | mg/l | 102 | 60,3 | 190 | 243 | 162 | 55,3 | 44 |
| 31/08/16 | Calcio | mg/l | 61,8 | 68,2 | 124 | 110 | 125 | 75 | 75,6 |
| 31/08/16 | Magnesio | mg/l | 30,5 | 19,7 | 66,4 | 128 | 33,7 | 21 | 20,7 |
| 31/08/16 | Sodio | mg/l | 61,2 | 0,02 | 108,6 | 272,4 | 25,7 | 0,02 | 0,01 |
| 07/12/16 | Durezza | dH | 42,8 | 30,7 | 34,7 | 48,9 | 38,5 | 33,4 | NO DATA ⁷ |
| 07/12/16 | Ecw | μS/cm | 3540 | 3880 | 3690 | 5830 | 2540 | 4660 | NO DATA |
| 07/12/16 | pH | log | 7,79 | 7,51 | 7,60 | 7,42 | 7,54 | 7,43 | NO DATA |
| 07/12/16 | Cloruri | mg/l | 680 | 927 | 742 | 1256 | 339 | 893 | NO DATA |
| 07/12/16 | Solfati | mg/l | 288 | 146 | 205 | 205 | 248 | 251 | NO DATA |
| 07/12/16 | Calcio | mg/l | 136 | 89,2 | 108 | 104 | 156 | 93,8 | NO DATA |
| 07/12/16 | Magnesio | mg/l | 103 | 78,4 | 84,5 | 148 | 71,8 | 87,7 | NO DATA |
| 07/12/16 | Sodio | mg/l | 148,0 | 167,0 | 155,9 | 191,4 | 132,5 | 172,3 | NO DATA |

⁵ Bassa conducibilità elettrica legata alla diluizione per infiltrazione di acque irrigue nel pozzetto.

⁶ Come in nota (1)

⁷ Canale svasato nel periodo autunno - invernale; acqua non prelevabile.

POMPOSA - ANNO 2017

| Data | Parametro | U.M. | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | Condotto Volano | Po di Volano |
|------------|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|--------------|
| 09/08/2017 | Durezza | dH | 18,6 | 12,6 | 41,7 | 49,1 | 13,6 | 21,2 | 12,5 | 14,5 |
| 09/08/2017 | Ecw | µS/cm | 1807 | 642 | 2610 | 6290 | 761 | 1320 | 649 | 888 |
| 09/08/2017 | pH | log | 7,13 | 7,61 | 6,93 | 7,05 | 7,27 | 7,32 | 7,63 | 7,52 |
| 09/08/2017 | Cloruri | mg/l | 204 | 63,4 | 377 | 1333 | 100 | 214 | 61,5 | 126 |
| 09/08/2017 | Solfati | mg/l | 108 | 51 | 258 | 194 | 66,1 | 117 | 41,4 | 52,1 |
| 09/08/2017 | Calcio | mg/l | 86,7 | 64,6 | 167 | 93,3 | 71,6 | 99,2 | 64 | 71,7 |
| 09/08/2017 | Magnesio | mg/l | 27,9 | 15,5 | 79 | 156 | 15,5 | 31,8 | 15,4 | 19,3 |
| 09/08/2017 | Sodio | mg/l | 89,7 | 50,8 | 116,1 | 191,4 | 68,7 | 107,0 | 27,7 | 45,8 |
| 09/08/2017 | Torbidità | NTU | 4,9 | 36,9 | 3,4 | 47,8 | 13,8 | 57,6 | 36,5 | 19,6 |
| 21/12/2017 | Durezza | dH | 26,4 | 48,9 | 30,3 | 50,0 | 39,8 | 29,4 | NO DATA | 44,8 |
| 21/12/2017 | Ecw | µS/cm | 1720 | 6370 | 2070 | 5960 | 4590 | 1480 | NO DATA | 4580 |
| 21/12/2017 | pH | log | 7,54 | 7,83 | 7,65 | 7,76 | 7,73 | 7,66 | NO DATA | 7,15 |
| 21/12/2017 | Cloruri | mg/l | 216 | 1217 | 347 | 1362 | 738 | 169 | NO DATA | 1048 |
| 21/12/2017 | Solfati | mg/l | 160 | 351 | 194 | 188 | 319 | 190 | NO DATA | 195 |
| 21/12/2017 | Calcio | mg/l | 124 | 116 | 126 | 97,2 | 133 | 140 | NO DATA | 116 |
| 21/12/2017 | Magnesio | mg/l | 38,8 | 141 | 56,5 | 157 | 91,9 | 42,4 | NO DATA | 116 |
| 21/12/2017 | Sodio | mg/l | 84,3 | 154,4 | 93,1 | 150,9 | 138,7 | 68,0 | NO DATA | 135,2 |
| 21/12/2017 | Torbidità | NTU | 7,89 | 49,12 | 96,02 | 6,69 | 181,5 | 39,89 | NO DATA | 9,47 |

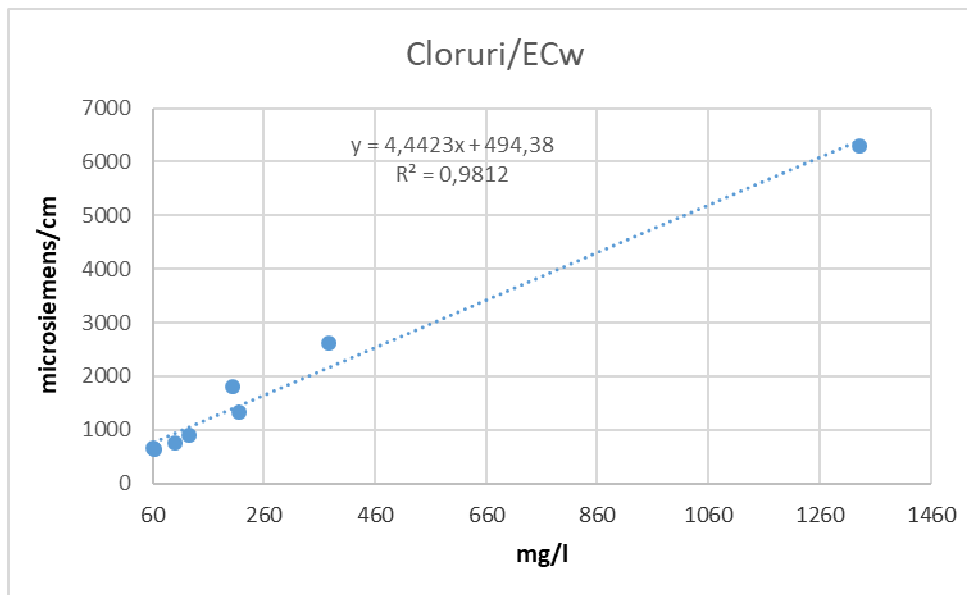


Grafico 46: Correlazione fra valori di conducibilità elettrica e contenuto in cloruri all'interno delle acque campionate nei piezometri, nel Condotto Volano e nel Po di Volano nel 2017.

POMPOSA - ANNO 2018

| Data | Parametro | U.M. | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | Condotta Volano | Po di Volano |
|------------|-----------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-----------------|--------------|
| 31/05/2018 | Durezza | dH | 11,5 | 40,2 | 31,1 | 49,4 | 40,3 | 29,1 | 14,1 | 18,5 |
| 31/05/2018 | Ecw | μS/cm | 860 | 3660 | 2370 | 6310 | 4330 | 1990 | 743 | 1255 |
| 31/05/2018 | pH | log | 7,18 | 7,27 | 7,25 | 7,36 | 7,46 | 7,44 | 7,52 | 7,47 |
| 31/05/2018 | Cloruri | mg/l | 65,8 | 769 | 446 | 1485 | 731 | 267 | 113 | 195 |
| 31/05/2018 | Solfati | mg/l | 49,9 | 252 | 178 | 142 | 285 | 204 | 64,1 | 92 |
| 31/05/2018 | Calcio | mg/l | 63,3 | 136 | 123 | 91,3 | 139 | 131 | 70,7 | 81,6 |
| 31/05/2018 | Magnesio | mg/l | 13,2 | 91,4 | 59,8 | 158 | 90,3 | 46,7 | 18,2 | 30,5 |
| 31/05/2018 | Sodio | mg/l | 45,0 | 122,2 | 90,2 | 159,1 | 139,1 | 97,7 | 37,1 | 76,6 |
| 31/05/2018 | Torbidità | NTU | 4,4 | 75,9 | 39,3 | 16,5 | 41,2 | 18,9 | 25,1 | 8,9 |
| 12/11/2018 | Durezza | dH | 13,1 | 31,9 | 30,0 | 29,2 | 23,4 | 33,0 | NO DATA | 28,3 |
| 12/11/2018 | Ecw | μS/cm | 673 | 2480 | 1320 | 1180 | 1110 | 1940 | NO DATA | 1810 |
| 12/11/2018 | pH | log | 8,02 | 7,74 | 7,79 | 8,20 | 8,31 | 8,55 | NO DATA | 8,42 |
| 12/11/2018 | Cloruri | mg/l | 64,2 | 645 | 135 | 89 | 127 | 326 | NO DATA | 392 |
| 12/11/2018 | Solfati | mg/l | 122 | 167 | 196 | 202 | 130 | 220 | NO DATA | 153 |
| 12/11/2018 | Calcio | mg/l | 71 | 129 | 152 | 162 | 123 | 149 | NO DATA | 118 |
| 12/11/2018 | Magnesio | mg/l | 13,5 | 59,9 | 37,6 | 28,2 | 26,7 | 52,5 | NO DATA | 50,9 |
| 12/11/2018 | Sodio | mg/l | 56,2 | 94,5 | 63,8 | 66,8 | 51,4 | 85,4 | NO DATA | 74,9 |
| 12/11/2018 | Torbidità | NTU | 25,7 | 282,1 | 36,7 | 2,3 | 79,9 | 32,3 | NO DATA | 45,6 |

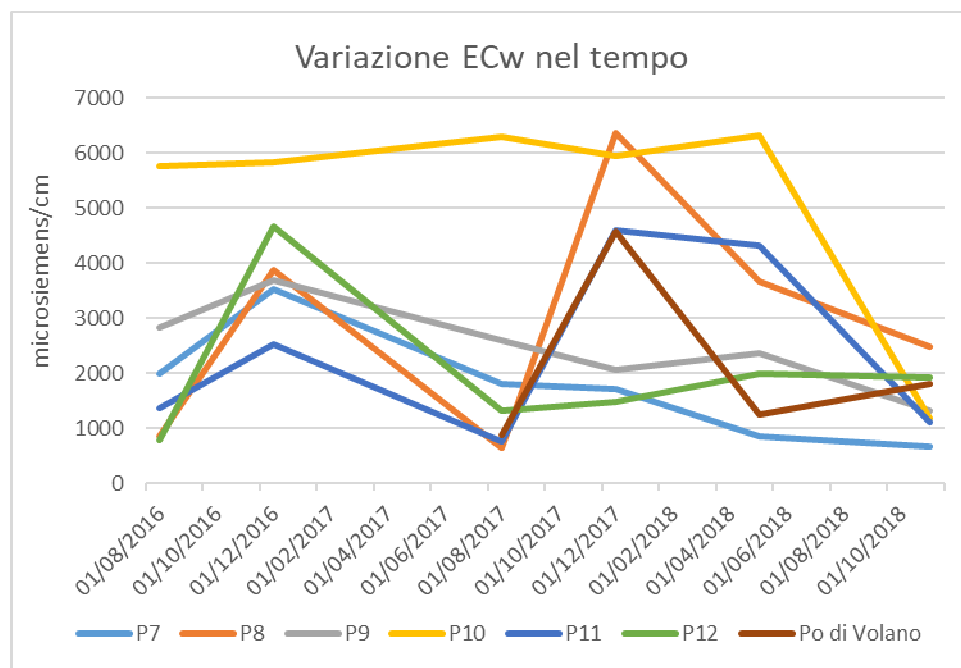


Grafico 47: Andamento per tutto il periodo di monitoraggio della conducibilità elettrica nel tempo in base alle analisi effettuate nelle acque di falda raccolte dai piezometri e dal Po di Volano. Da notare la quasi generale diminuzione di conducibilità nel periodo irriguo, con l'eccezione del P10, che assume un anomalo andamento costante per quasi tutto il periodo.

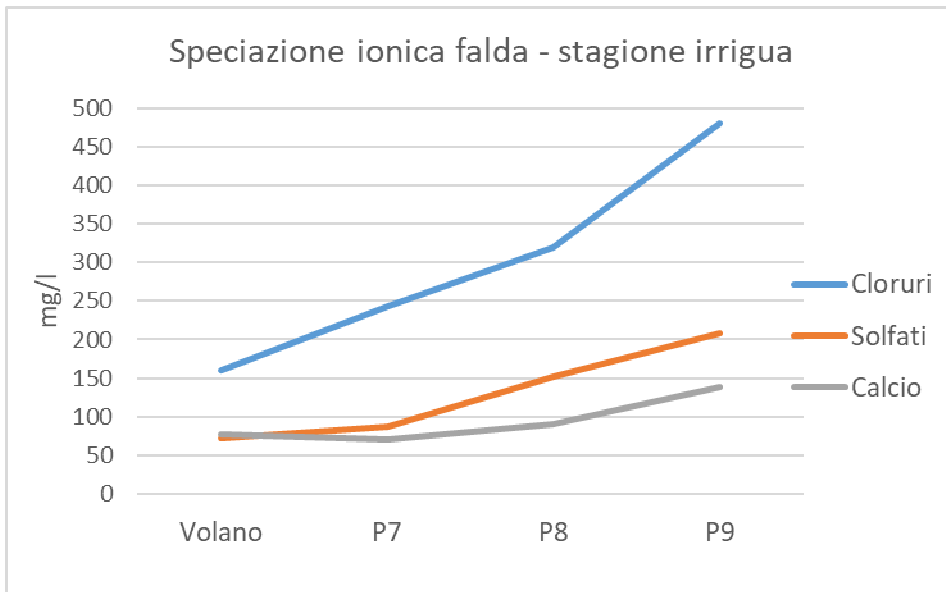


Grafico 48: andamento dei valori dei più comuni ioni presenti nella falda ipodermica del sito di Pomposa, partendo dal Po di Volano fino al piezometro più lontano dell'allineamento P7-P8-P9 (medie dei valori triennali riscontrati analiticamente nella stagione irrigua). La conducibilità elettrica, comunque fortemente correlata con cloruri (grafico 46) e solfati, non è riportata.

ALLEGATO 24

RAPPRESENTAZIONI SPAZIALI, TRAMITE IL METODO IDW, DELL'ANDAMENTO DELLA CONDUCEBILITA' ELETTRICA NEL SUOLO NEGLI APPEZZAMENTI MONITORATI DURANTE L'AZIONE 3.3

Introduzione

L'EM38 è uno strumento portatile di campo, che consente di mappare la conducibilità elettrica apparente del terreno fino ad una profondità di circa 0,70 -0,80 m dal piano di campagna. Tecnicamente, esso viene trasportato in campo, a piedi o con un mezzo trainante, rilevando ad un intervallo fisso di alcuni secondi un valore di conducibilità, che viene associato ad un punto identificato geograficamente tramite GPS integrato. Le variazioni riscontrate sono correlabili al contenuto idrico, alla salinità ed alla tessitura del terreno, e quindi, indirettamente, consentono di valutare l'influenza della falda ipodermica sulle colture.

Come previsto nel Piano, in ogni stagione irrigua sono stati eseguiti 2 rilievi in ciascuna delle aziende monitorate nell'ambito dell'Azione 3.3. Il risultato è costituito da mappe con curve di egual conducibilità, da confrontare successivamente con gli altri parametri monitorati (rilievi della temperatura fogliare, campionamento dei suoli per la determinazione della % di umidità, lettura della quota di falda ipodermica etc.). L'obiettivo finale, insito nell'Azione, è di verificare se, e in che misura, una falda ipodermica prossima alla superficie possa influenzare il comportamento e/o la produttività di alcune colture selezionate.

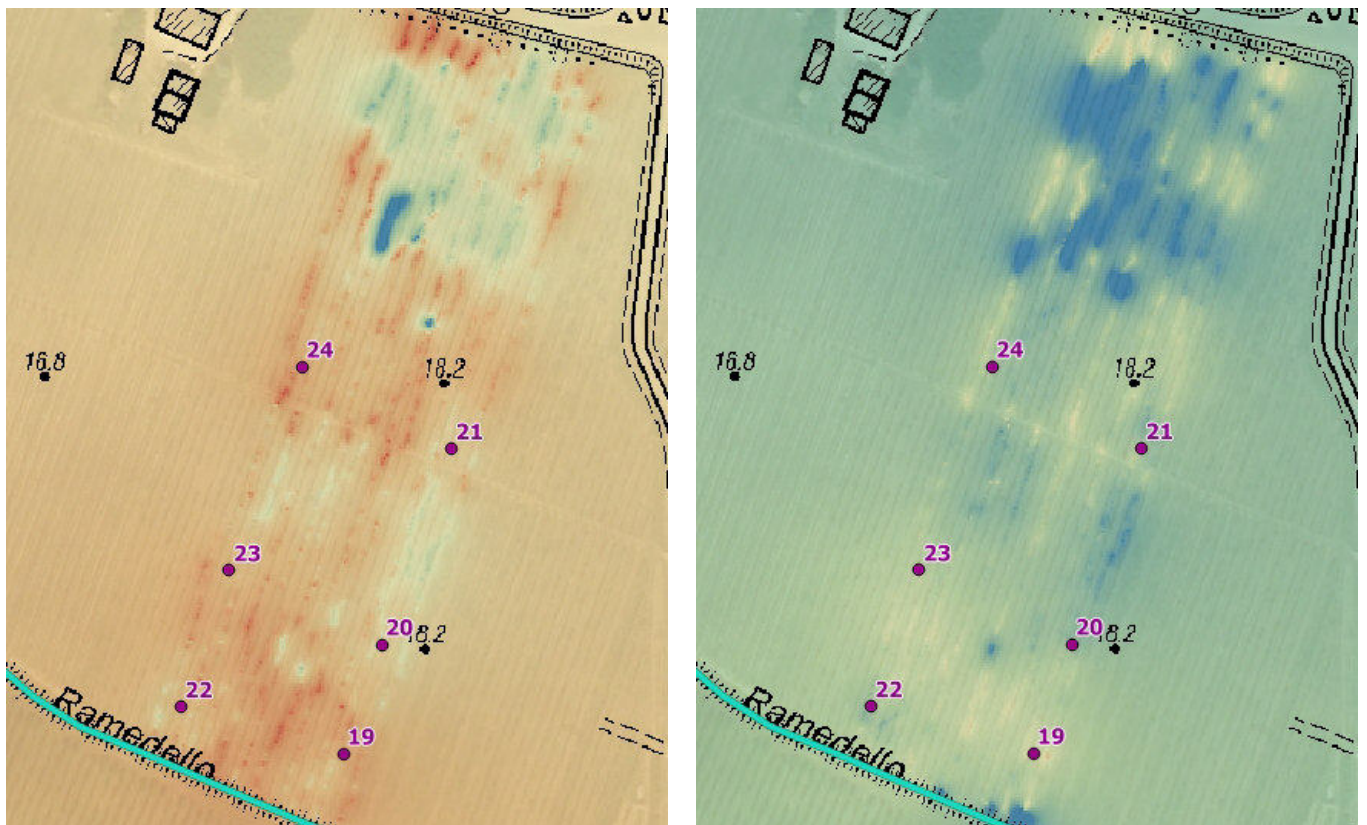
Per realizzare le mappe, si è dovuto estendere con tecniche geostatistiche (interpolazione col metodo IDW - Inverse Distance Weighted) i valori di conducibilità provenienti dai numerosi punti rilevati dallo strumento in ogni campo. Nel presente allegato, è descritto quanto realizzato nell'azienda di San Felice s. P. sul canale Ramedello, tenendo conto che analoghi rilievi ed elaborazioni sono stati effettuati anche nell'azienda Pomposa di Ferrara. Poiché però in tale azienda entra in gioco un'ulteriore variabile rappresentata dalla salinità della falda e vi è una maggior variabilità tessiturale, legata alle dinamiche dell'ambiente deposizionale (delta padano), i dati raccolti sono ancora in corso di valutazione.

In ogni immagine sono visibili la topografia, l'ubicazione dei piezometri ed aree a tinte graduate, corrispondenti ad intervalli di egual conducibilità elettrica, misurati in milliSiemens/m.

Sito S. Felice s. P. (MO)

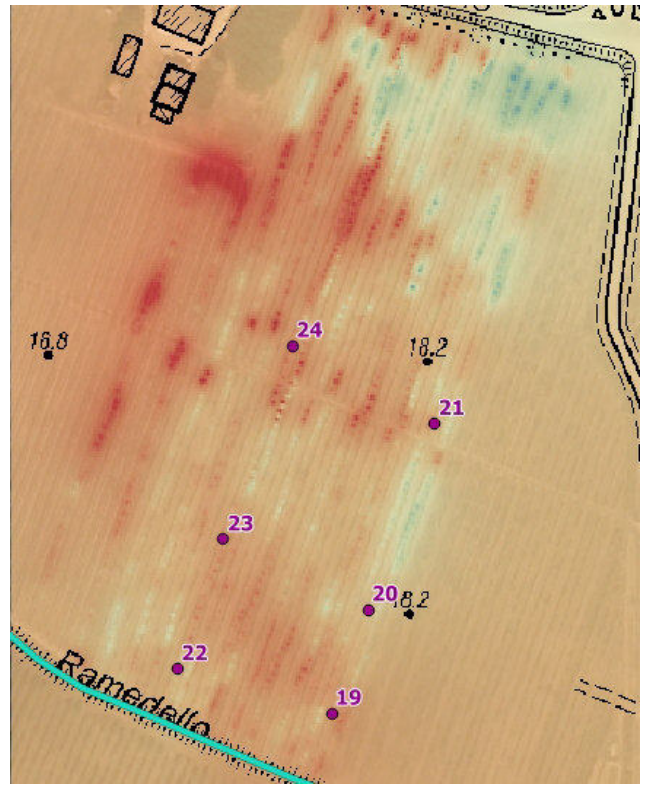
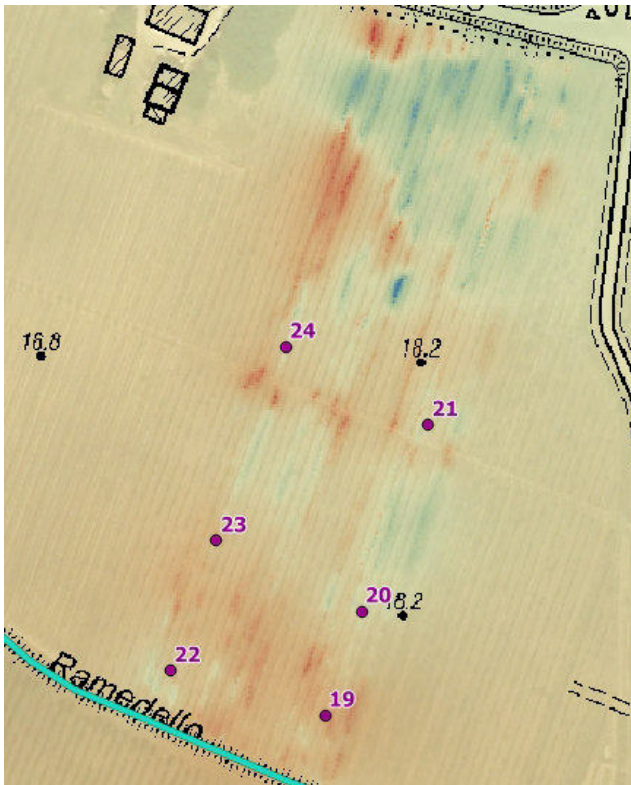
I rilievi con EM38 sono stati effettuati su un appezzamento coltivato a pereto di circa 3 ha, posto a NE del canale Ramedello e ospitante due allineamenti di 3 piezometri ciascuno, situati a distanza crescente dal canale. I suoli presenti sono abbastanza uniformi nei primi 150 cm dalla superficie, presentando quasi sempre orizzonti superficiali a tessitura franca argillosa – franca argillosa limosa ed orizzonti profondi a tessitura franca limosa, più raramente franca. Frequenti gli orizzonti ad accentuata idromorfia (gley) sotto i 130 - 150 cm dal p.c.

Di seguito sono mostrate le immagini relative ai rilievi effettuati nelle tre stagioni irrigue dal 2016 al 2018 (due per ciascun anno).



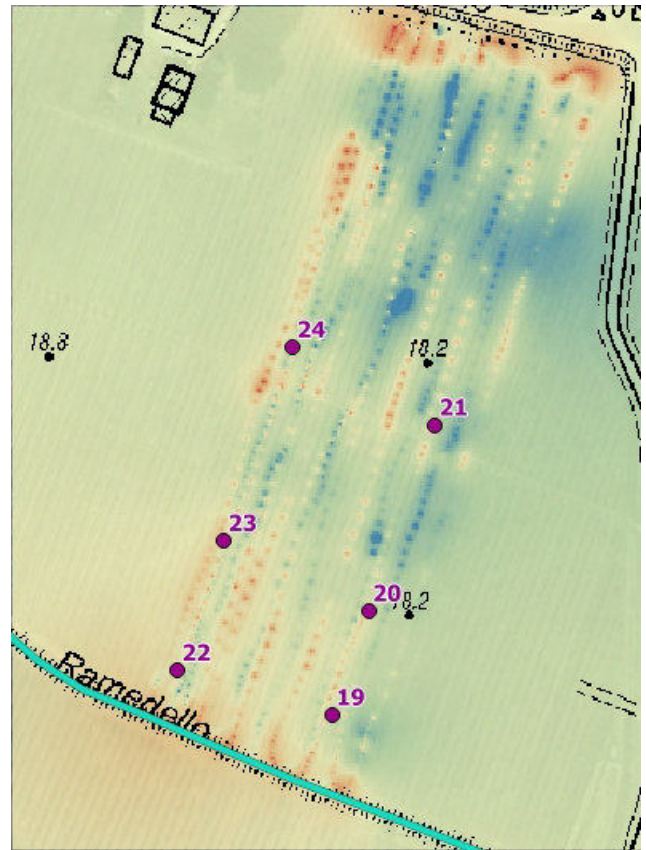
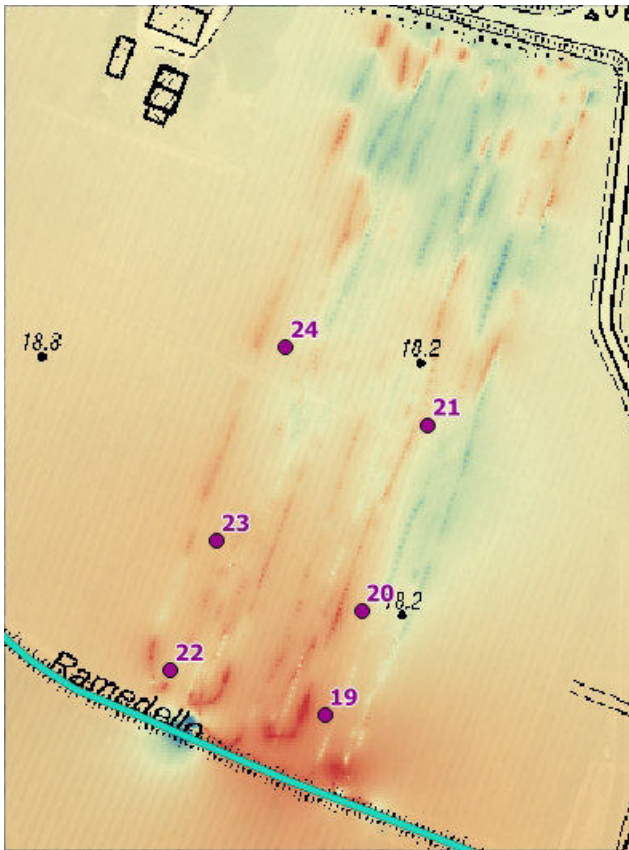
| Valore | Colore |
|-----------|---------------|
| 13.000000 | Red |
| 16.166700 | Orange |
| 19.333300 | Yellow-Orange |
| 22.500000 | Yellow |
| 25.666700 | Light Green |
| 28.833300 | Green |
| 32.000000 | Blue |

Figura 31: rappresentazioni IDW dell'andamento di conducibilità elettrica rilevata con EM38 nel sito di S. Felice s. P. nel 2016: 02/08/2016 (a sin.), 26/08/2016 (a des.), A sinistra la scala colorimetrica utilizzata (valori in milliSiemens/m).



| Valore | Colore |
|-----------|---------------|
| 39.000000 | Red |
| 42.000000 | Orange |
| 45.000000 | Yellow-Orange |
| 48.000000 | Yellow |
| 51.000000 | Light Green |
| 54.000000 | Green |
| 57.000000 | Blue |

Figura 32: rappresentazioni IDW dell'andamento di conducibilità elettrica rilevata con EM38 nel sito di S. Felice s. P. nel 2017: 25/07/2017 (a sin.), 10/08/2017 (a des.), A sinistra la scala colorimetrica utilizzata (valori in milliSiemens/m).



| Valore | Colore |
|-----------|-------------|
| 35.000000 | Red |
| 37.500000 | Orange |
| 40.000000 | Yellow |
| 42.500000 | Light Green |
| 45.000000 | Green |
| 47.500000 | Dark Green |
| 50.000000 | Blue |

Figura 33: rappresentazioni IDW dell'andamento di conducibilità elettrica rilevata con EM38 nel sito di S. Felice s. P. nel 2018: 01/06/2018 (a sin.), 31/07/2018 (a des.), A sinistra la scala colorimetrica utilizzata (valori in milliSiemens/m).

Come si può facilmente desumere dalle immagini sopra riportate, la conducibilità elettrica rilevata dallo strumento varia sia nel corso della stessa stagione, sia da un anno all'altro. La scala colorimetrica utilizzata per il 2016 mostra una variazione di valori di conducibilità (esclusi rari valori borderline legati ad anomalie locali) fra i 13 ed i 32 mS/m; quelle 2017 e 2018, invece, una variazione media fra 35 e 57 mS/m. Si tratta comunque di valori piuttosto raggruppati, se si tiene solo conto che, in un singolo rilievo presso l'azienda di Pomposa, sono stati riscontrati valori oscillanti fra i 32 ed i 283 mS/cm. Detto questo, si osserva altresì che i pattern di colori, salvo eccezioni di ridotta estensione, non variano in maniera sostanziale da un'immagine all'altra. Permane in tutte le immagini, ad esempio, la macchia azzurro/blu (maggiore conducibilità) a ferro di cavallo, situata nella parte settentrionale dell'appezzamento. Andando nel dettaglio dei singoli anni, vi è da rilevare un aumento medio dei valori di conducibilità nel corso della stagione irrigua, sia nel 2016 che nel 2018, mentre avviene il contrario (anche se in maniera meno evidente) nel 2017. I rilievi più rappresentativi sono probabilmente quelli del 2018, distanziati fra di loro circa due mesi e quindi in grado di mostrare differenze nell'arco di un periodo che va dall'inizio irrigazione fin quasi alla raccolta. Viceversa, i due rilievi stagionali 2016 e 2017 sono stati effettuati nell'arco di meno di un mese e possono essere stati influenzati da locali eventi piovosi intervenuti nel periodo: ad esempio, fra il 4 ed il 26 agosto 2016, vi sono state precipitazioni per circa 30 mm complessivi, con conseguente aumento dell'umidità nel suolo e relativa conducibilità.

Di seguito è mostrata una tabella di confronto fra i valori di umidità % del suolo provenienti dai campioni raccolti nei giorni in cui sono state effettuati i rilievi con EM38 e la conducibilità elettrica media. Si nota come, nell'ambito di ogni anno, vi sia una certa correlazione fra variazione della conducibilità e della % di umidità, con l'esclusione del dato del 25 luglio 2017 per cui, a fronte di una conducibilità media piuttosto elevata, non vi è adeguato riscontro nell'umidità. Vi è comunque da sottolineare che il campionamento per la determinazione della % di umidità è stato eseguito su soli 6 punti (per ciascuno 2 campioni: orizzonte superficiale ed orizzonte profondo), mentre i rilievi con l'EM38 constano di migliaia di battute su un'area molto più vasta. Si tratta pertanto di grandezze non sempre adeguatamente confrontabili.

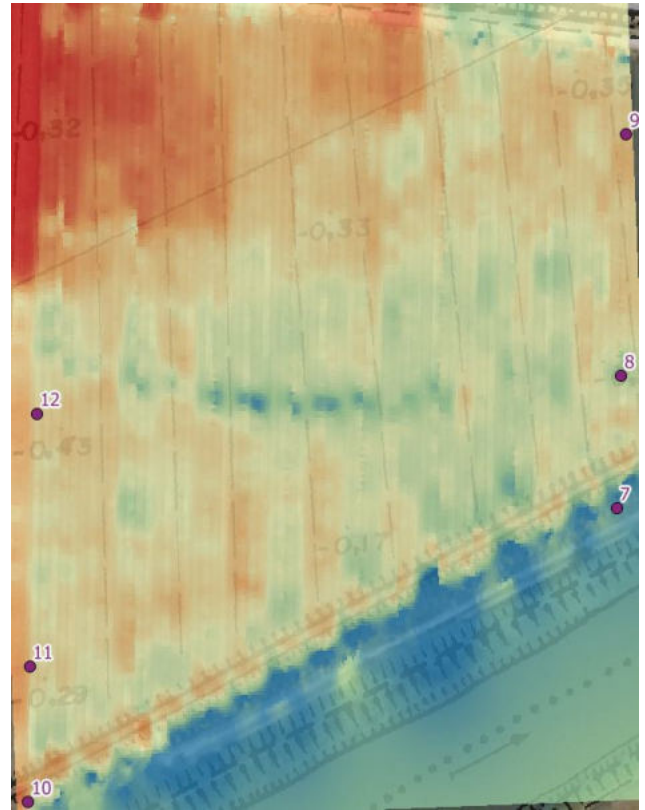
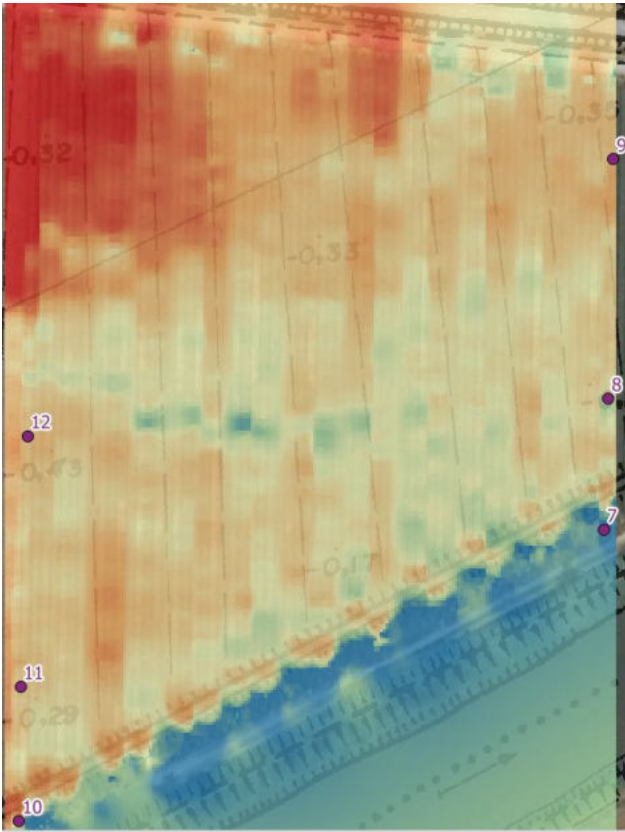
| Data | % media umidità suolo | Media conducibilità (mS/m) |
|------------|-----------------------|----------------------------|
| 04/08/2016 | 13,53 | 20,42 |
| 26/08/2016 | 15,46 | 27,22 |
| 25/07/2017 | 14,91 | 47,06 |
| 10/08/2017 | 15,94 | 44,84 |
| 01/06/2018 | 13,21 | 40,94 |
| 31/07/2018 | 17,56 | 43,59 |

Tabella 11: Confronto fra medie di umidità % del suolo e conducibilità elettrica riscontrate nel sito di S. Felice nei 3 anni di monitoraggio.

Sito Pomposa (FE)

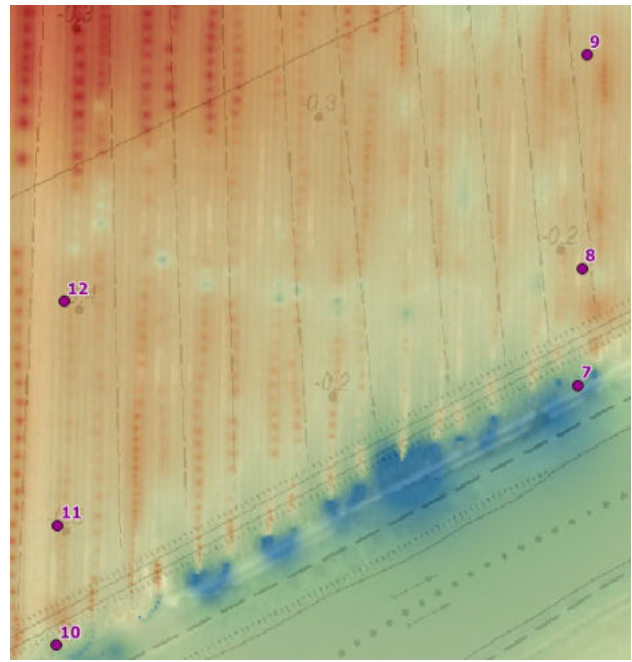
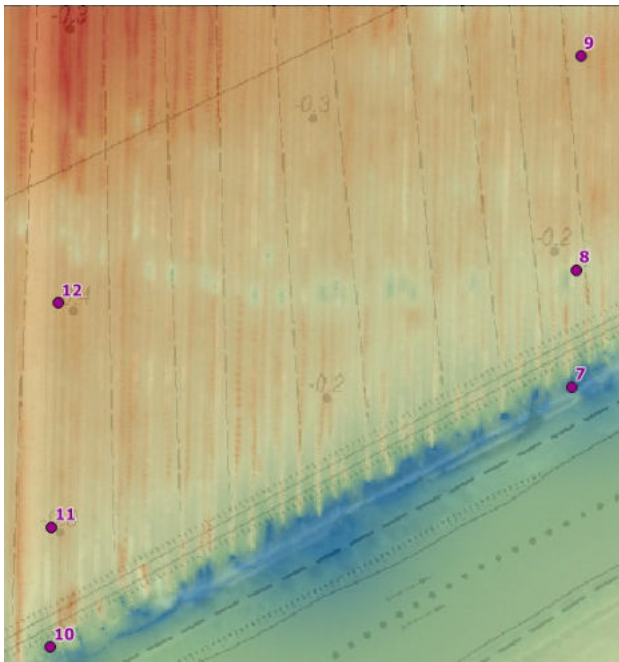
I rilievi con EM38 sono stati effettuati su un vasto appezzamento coltivato a pereto di circa 8 ha, posto a S del Po di Volano e ospitante due allineamenti di 3 piezometri ciascuno, situati a distanza crescente dal fiume. I suoli presenti hanno prevalente tessitura franca argillosa – franca argillosa limosa, ma può sussistere una certa variabilità legata alla presenza di antichi meandri del medesimo fiume, con tendenza a termini anche molto più grossolani (suoli franchi, franchi sabbiosi). E' presente una falda salina (6 – 8 $\mu\text{S}/\text{cm}$) solitamente sotto i 150 cm di profondità, ed una lente più superficiale di acqua più dolce (1,5 – 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$); orizzonti fortemente idromorfi si osservano già a partire da 80 - 90 cm dal p.c.

Di seguito, sono mostrate le immagini relative ai rilievi effettuati nelle stagioni irrigue 2017 - 2018 (due per ciascun anno).



| Valore | Colore |
|--------|---------------|
| 53.7 | Red |
| 68.1 | Orange-Red |
| 82.5 | Orange |
| 96.9 | Yellow-Orange |
| 111 | Yellow |
| 126 | Light Green |
| 140 | Green |
| 154 | Teal |
| 169 | Blue |

Figura 34: rappresentazioni IDW dell'andamento di conducibilità elettrica rilevata con EM38 nel sito di S. Pomposa nel 2017: 19/07/2017 (a sin.), 10/08/2017 (a des.), A sinistra la scala colorimetrica utilizzata (valori in milliSiemens/m).



| Valore | Colore |
|------------|---------------|
| 45.000000 | Red |
| 61.250000 | Orange-Red |
| 77.500000 | Orange |
| 93.750000 | Yellow-Orange |
| 110.000000 | Yellow |
| 126.250000 | Light Green |
| 142.500000 | Green |
| 158.750000 | Dark Green |
| 175.000000 | Blue |

Figura 35: rappresentazioni IDW dell'andamento di conducibilità elettrica rilevata con EM38 nel sito di S. Pomposa nel 2018: 31/05/2018 (a sin.), 01/08/2018 (a des.), A sinistra la scala colorimetrica utilizzata (valori in milliSiemens/m).

Complessivamente, il sito di Pomposa presenta variazioni di conducibilità elettrica decisamente maggiori (fra i 40 ed i 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$) rispetto al sito di S. Felice. Un range così ampio deriva in gran parte dalla presenza di due aree caratteristiche: la prima, collocata nell'angolo NW dell'appezzamento e non ospitante piezometri, contiene suoli grossolani (franco sabbiosi – sabbioso franchi), a bassa conducibilità; la seconda, al bordo meridionale verso il Po di Volano, mostra evidenze di forte inumidimento del terreno negli orizzonti profondi, quasi certamente causata dalla filtrazione di acque provenienti dal medesimo fiume. La parte intermedia, che ospita i due allineamenti di piezometri, è maggiormente uniforme, anche se, come evidente nelle elaborazioni 2017, sembra presentare, nella parte centrale, aree a maggior idromorfia.

Tutti questi aspetti derivano dalla precedente morfologia fluviale di piana a meandri, in gran parte obliterata dalle lavorazioni effettuate per la sistemazione dei campi e l'impianto del pereto.

Considerazioni sui rilievi effettuati

L'indagine tramite EM38 ha consentito pertanto, nei due siti citati, di verificarne il grado di omogeneità in relazione alle variazioni di umidità nel terreno e nel corso della stagione irrigua. Il sito di S. Felice si è senz'altro mostrato più omogeneo, con minime variazioni di conducibilità e a carico, soprattutto, delle zone ospitanti i piezometri più lontani dal canale. Il sito Pomposa, viceversa, presenta un'elevata variabilità intrinseca, per cui, ad esempio, i punti in cui sono collocati i piezometri P7, P8 e P10, si differenziano in maniera sensibile da quelli ospitanti gli altri tre. Tali indicazioni hanno contribuito a definire l'attendibilità delle indicazioni provenienti da ciascun sito per quanto riguarda le successive elaborazioni operate nell'ambito dell'Azione 3.3.



Figura 36: Strumento EM38 con slitta per il traino manuale

ALLEGATO 25

RAPPRESENTAZIONE DELL'ANDAMENTO DEL LIVELLO DI FALDA E DELLA CONDUCEBILITA' ELETTRICA RILEVATA DAI SENSORI DEL SERVIZIO GEOLOGICO, SISMICO E DEI SUOLI (SGSS) NEL SITO DI POMPOSA



Figura 37: Postazione presso il P9 con i due sensori e la centralina SGSS.

Caratteristiche delle 4 sonde:

Sonda 1: (n. 7387) – P9a (piezometro nuovo, installato vicino al 9)

- profondità 2.92 da b.f.⁸
- Soggiacenza: 1.32 da b.f. (con b.f. a + 20 cm da p.c.)
- CE sup. 7.16 mS/cm; a fondo foro 7.31 mS/cm
- T sup 12.9 °C; a fondo foro 12.3°C
- Sonda installata a 2.70 da b.f.

Sonda 2: (n. 7388) – P9b (piezometro nuovo, installato vicino al 9)

- profondità 1.78 da b.f. esterna
- Soggiacenza: 1.52 da b.f. esterna (con b.f. a xxx cm da p.c.)
- CE⁹ sup. 4.47 mS/cm; a fondo foro 4.99 mS/cm
- Sonda installata a 1.60 da b.f.

⁸ b.f. = Base freaticometro; corrisponde al piano campagna

⁹ CE = Conducibilità Elettrica

Sonda 3: (n. 7385) – P7a (piezometro nuovo, installato vicino al P7)

- profondità 2.10 da b.f./p.c.
- Soggiacenza al 21 aprile 2017: 1.13 da b.f./p.c.
- CE 1.15 m 2.80 mS/cm;
- CE a 1.50 m 4.17 mS/cm;
- CE a 1.80 m 7.60 mS/cm;
- CE a fondo foro 8.92 mS/cm
- Sonda installata a 1.90 da b.f.

Sonda 4: (n. 7384) – P7b (piezometro nuovo, installato vicino al 7)

- profondità 1.63 da b.f./p.c.
- Soggiacenza: 1.16 da b.f./p.c.
- CE: 1.16 m 5.76 mS/cm;
- CE a 1.50 m 6.32 mS/cm;
- CE a fondo foro 6.39 mS/cm
- Sonda installata a 1.60 da b.f.

Seguono due grafici, in cui è rappresentato l'andamento di altezza di falda rispetto al p.c. e di conducibilità elettrica nel primo periodo di rilievi.

Da questi rilievi estremamente precisi, si evince come, a variazioni molto simili di livello di falda in ciascuna coppia di sonde, corrispondano differenti valori di conducibilità elettrica, legati al fatto che la sonda più superficiale è posizionata su una lente di acqua più dolce (circa 2 mS/cm contro i 6-7 della falda sottostante). Tale lente è mantenuta dalle piogge e dalle numerose irrigazioni eseguite nel pereto, ma può variare di spessore nel corso dell'anno. E' esemplificativo il fatto che, in corrispondenza della sonda 7a, posta circa mezzo metro più in profondità rispetto alla 7b, i valori di conducibilità diminuiscano fra giugno ed agosto fino a livelli analoghi a quelli della suddetta 7b. Questo andamento può essere spiegato considerando che le irrigazioni abbiano approfondito ed ampliato, nel periodo, lo spessore della lente di acqua dolce. A fine agosto, dopo la raccolta dei frutti, la conducibilità torna naturalmente a risalire fino a valori analoghi a quelli del precedente periodo invernale. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione, allegata al presente Piano, prodotta a dicembre 2018 dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale (*Relazione_dati_2018_Pomposa_dicembre_2018.pdf*).

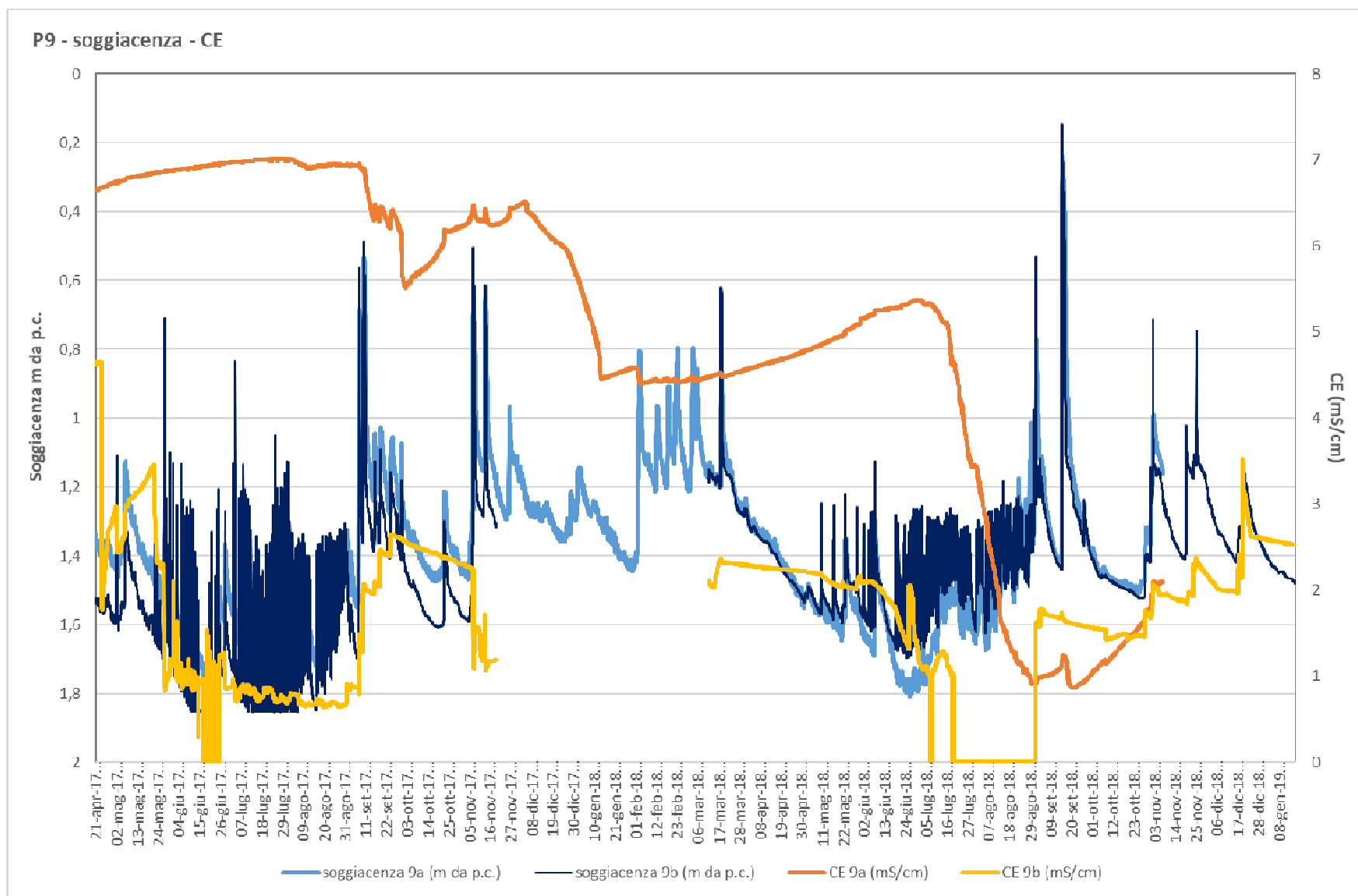


Grafico 49: Soggiacenza rispetto al p.c. e conducibilità elettrica rilevate nel periodo aprile 2017- gennaio 2019 nelle sonde in prossimità del P9 (a circa 150 m dal Po di Volano).

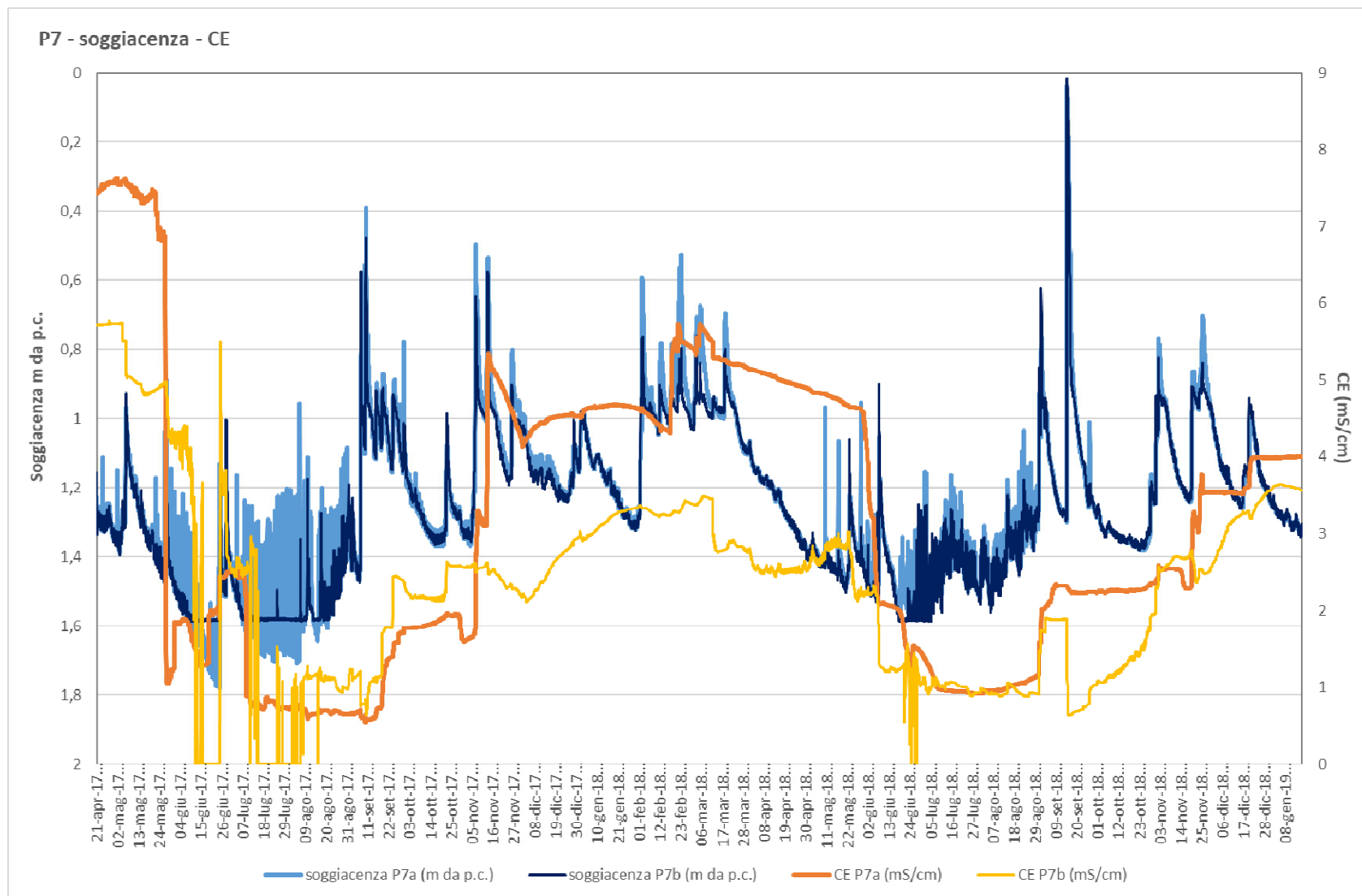


Grafico 50: Soggiacenza rispetto al p.c. e conducibilità elettrica rilevate nel periodo aprile 2017- gennaio 2019 nelle sonde in prossimità del P7 (a circa 25 m dal Po di Volano).

ALLEGATO 26

METODO ANNO 2017 DI RACCOLTA FRUTTI (RIF. AZIONE 3.3 - FASE "3C")

In alternativa a quanto scritto in progetto ("Raccolta contemporanea dei frutti di ciascuna pianta sottoposta ad indagine, per un metro lineare complessivo su 1 branca posta a mezza altezza e conseguente misura dei pesi e dei calibri") si è proposto ed attuato:

- In corrispondenza di ogni piezometro a distanza crescente dal canale: raccolta complessiva dei frutti lungo la fila per una distanza di circa 3,80 m ed un'altezza di circa 60 cm.

Per l'azienda La Pomposa la distanza comprende tutte le 6 piante selezionate (distanza sulla fila circa 50 cm) e per un'altezza corrispondente a 30 cm sopra e sotto rispetto al 2° filo di sostegno. Nell'azienda di S. Felice s. P. la distanza comprende una pianta intera e la metà destra e sinistra rispetto al tronco di due piante adiacenti; l'altezza comprende lo spazio fra il filo di sostegno dell'impianto a goccia e il filo superiore.

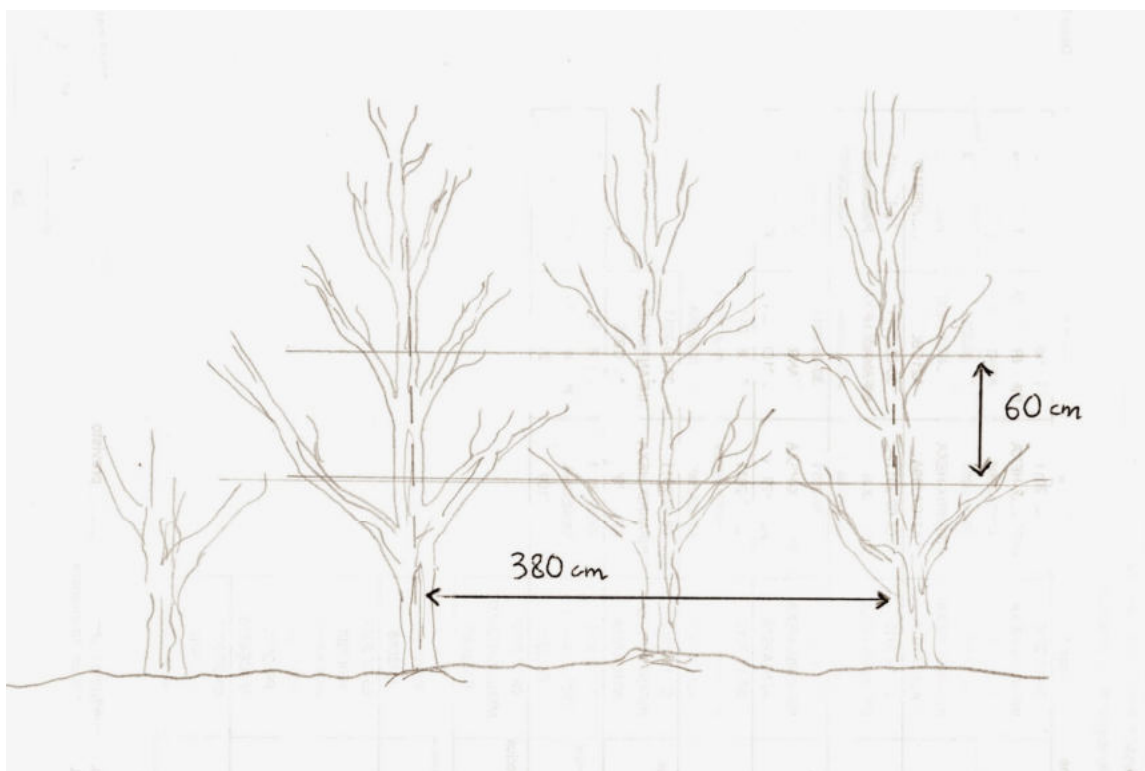


Figura 38: Rappresentazione schematica dell'area di raccolta frutti relativa all'impianto a pereto ubicato nell'azienda agricola di S. Felice s. P.

Inoltre, nel Piano, dopo la raccolta, era stato ipotizzato solo il computo della "media delle dimensioni dei calibri dei frutti raccolti per ciascun gruppo di piante"; nella nuova metodologia è prevista anche la misurazione del peso complessivo (si veda All. 21).

METODO ANNO 2018 DI RACCOLTA FRUTTI (RIF. AZIONE 3.3 - FASE "3C")

In considerazione del fatto che, anche a causa della siccità 2017, la raccolta frutti, effettuata tramite il metodo precedentemente descritto, aveva prodotto una ridotta quantità di campioni, poco significativi per le successive elaborazioni statistiche, si è deciso di adottare per il 2018 un ulteriore nuovo metodo.

Esso è consistito nella raccolta completa dei frutti su due piante poste in prossimità di ciascuno dei 6 piezometri, quindi, nel sito di Pomposa, $2 \times 6 = 12$ piante complete. Nel sito di S. Felice sono state campionate anche le piante bypassate dal sistema irriguo, quindi ulteriori 2 piante per ogni piezometro. In totale, quindi, in questo sito sono state campionate $2 \times 2 \times 6 = 24$ piante complete. Su questi frutti è stato eseguito, come già proposto nel 2017, il calcolo non solo della dimensione media dei calibri dei frutti, ma anche ma misura del peso complessivo.

Azione 3.4 – Valutazioni economiche relative ai servizi ecosistemici forniti dalla ricarica delle falde.

ALLEGATO 27

GRAFICI STORICI DI CORRELAZIONE PRODUZIONE AGRICOLA / ALTEZZA DI FALDA

Sono di seguito riportati tre grafici, estratti da progetti attivati in passato dal CER (c.d. “Piano inclinato”), per la determinazione del contributo di falda ipodermica alla produzione di alcune colture selezionate. Si tratta, in particolare, di pero William, mais e pomodoro. In queste sperimentazioni, la raccolta è stata effettuata su parcelle in cui è stata variata artificialmente l’altezza di falda ipodermica, sino ad ottenere un differenziale di quota della medesima di circa 100 cm fra la prima e l’ultima. I valori di produzione ottenuti, incrociati con quelli di profondità di falda, hanno consentito di sviluppare curve di tendenza, le cui formule sono state utilizzate per le fasi successive. Poiché non esistono sperimentazioni di questo tipo per ogni tipo di coltura, i risultati ottenuti sul pero sono stati applicati a tutte le colture arboree, quelli sul mais sulle erbacee e quelli sul pomodoro a tutte le orticole.

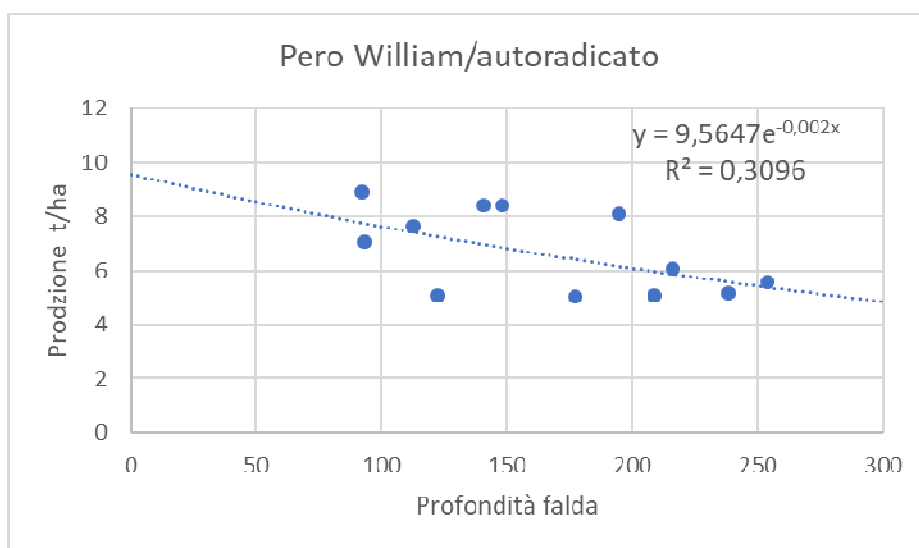


Grafico 51: Prova CER 1999 - “Influenza della profondità di falda sulle caratteristiche vegeto-produttive del pero autoradicato e su cotogno c”. Il grafico si riferisce a pero William, terzo anno di produzione.

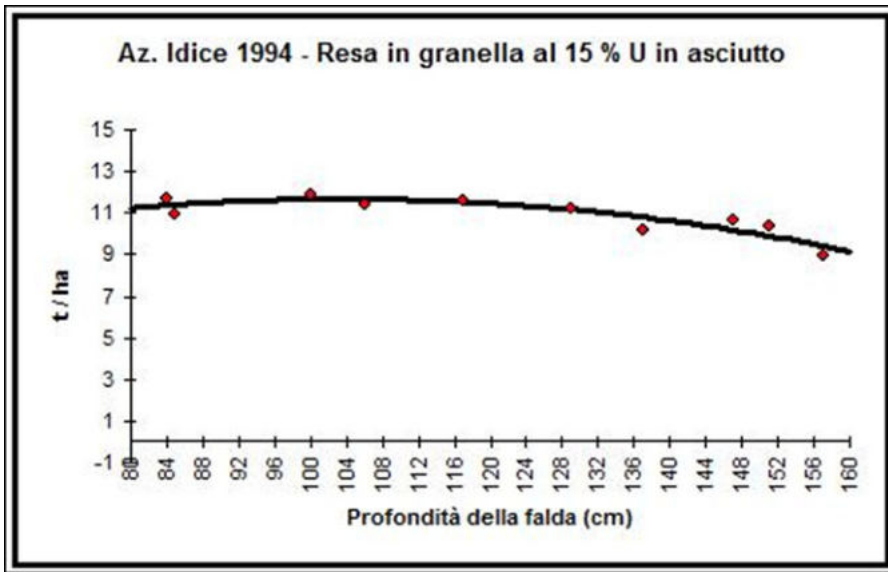


Grafico 52: Prova CER 1994 - "Influenza della profondità di falda ipodermica sulle caratteristiche vegeto-produttive del mais da granella in coltura asciutta ed irrigua"

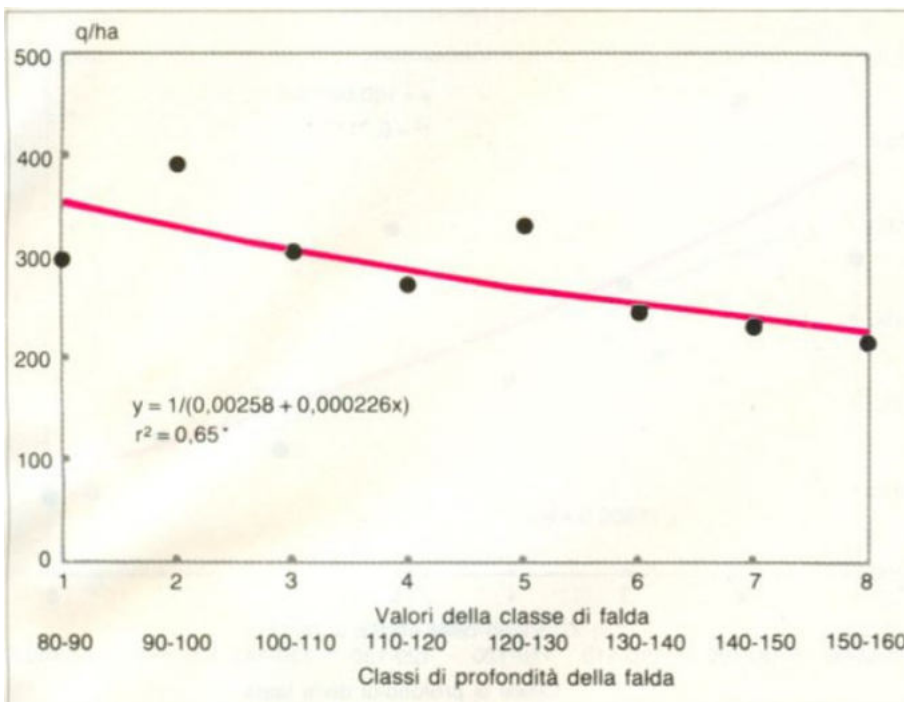


Grafico 53: "Influenza della profondità di falda sulla resa e qualità del pomodoro da industria (A. Battilani, P. Mannini - L'Informatore Agrario 15/92)

ALLEGATO 28

PROCEDURA FINALIZZATA ALLA CREAZIONE DI UN METODO PER LE VALUTAZIONI ECONOMICHE RELATIVE AI SERVIZI ECOSISTEMICI FORNITI DALLA RICARICA DELLE FALDE.

Partner di progetto: CNR – IBIMET

Responsabile: Dr. Guido M. Bazzani

Per la stima dei benefici derivanti dall'apporto idrico della falda freatica, mediante una procedura concordata con il CER, sviluppata in una ripetuta serie di incontri, è stata definita una procedura che, partendo dai dati sperimentali forniti dal CER che “esegue il monitoraggio su alcuni gruppi di arboree (pero, melo) escluse dall'irrigazione e poste a distanze crescenti da un canale invasato; tramite rilievi IR, raccolta frutti, dati di falda (piezometri), calcolo delle differenze produttive rispetto alle piante irrigate”, ha permesso:

- sulla base delle differenze produttive riscontrate sulle colture, di effettuare il calcolo del beneficio economico derivante dalla risalita di falda dovuta alle perdite dei canali di irrigazione gestiti dai consorzi di bonifica.
- di formulare sulla base dei dati bibliografici e su dati raccolti in altri progetti CER sullo stesso argomento, una prima ipotesi di stima del beneficio sulle restanti principali colture dell'area indagata
- di predisporre una procedura informatica che sulla base dei dati disponibili esegue la stima dei benefici derivanti dall'apporto idrico della falda freatica. Tale procedura è stata scritta in GAMS, programma liberamente utilizzabile, senza l'acquisto di licenze, nel contesto qui definito.

Di seguito vengono descritte la procedura ed il programma applicativo realizzato.

Il programma è sviluppato in modo da permettere una completa definizione dei suoi elementi all'utente finale (CER) ed è costruito in modo da poter essere adattato a situazioni specifiche relativamente agli ambiti temporali e spaziali considerati.

La sua applicazione richiede:

- l'installazione del programma predisposto in una cartella del computer definita radice
- l'installazione del programma GAMS scaricabile dal WEB al sito: <https://www.gams.com/download/>

Una volta effettuati i precedenti passaggi deve essere creata una cartella per gli archivi dati. Si consiglia di creare una sotto cartella del programma principale e chiamarla: DatiInput.

I dati utilizzati hanno un riferimento annuale e il periodo considerato viene definito in un archivio di testo modificabile dall'utente: anni.txt. Il contenuto di tale file definisce l'indice 'an' che individua gli anni.

Gli ambiti territoriali vengono individuati dall'indice 'd' e sono definiti nell'archivio: dove.txt.

Gli elementi di questo insieme comprendono

- i campi sperimentali 'k' utilizzati dal CER per ognuno dei quali sono state stimate le funzioni produzione/altezza falda
- gli ambiti territoriali 'z' per i quali si vuole stimare il beneficio derivante dalla falda

La stima del beneficio viene riferita a singoli appezzamenti omogenei per qualità ed uso del suolo, indicati dall'indice 'a', e definiti nell'archivio: appezzamenti.txt.

Le tipologie o qualità di suolo indicate dall'indice 's' sono definite nell'archivio: suoli.txt. La versione sperimentale contiene i seguenti tipi:

- sci 'sciolti',
- m_i 'medio impasto',
- arg 'argillosi'

che possono essere modificati dall'utente.

Gli usi del suolo, qui denominati colture ed individuati dall'indice 'c' sono definiti nell'archivio: colture.txt

- mais
- melo
- pero
- vite

Il regime irriguo, indice 'r', che può essere asciutto, irriguo o medio, rappresenta un ulteriore indice che a discrezione dell'utente può essere considerato quando disponibili separati dati sperimentali, distinte funzioni di beneficio di falda sono state stimate per i diversi regimi.

Solo per alcune colture sono forniti dati derivanti da ricerche sperimentali:

- pero
- mais

Il CER ha stimato la relazione tra la produzione e la profondità di falda sulla base dei dati raccolti. Le funzioni di grado uno e due sono di seguito riportate-

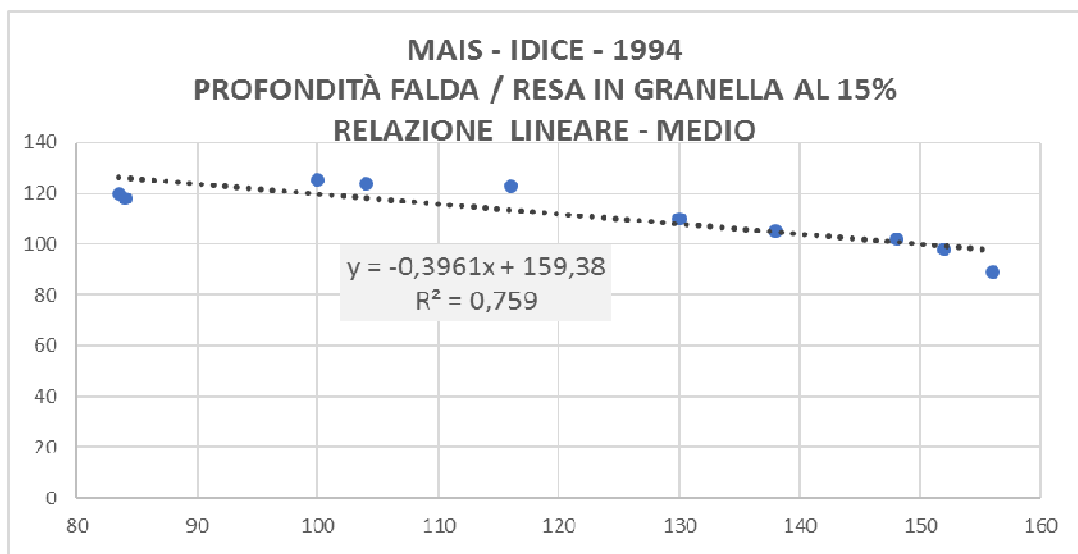


Grafico 54: Mais – funzione lineare

Figure 1 - Mais - funzione quadratica

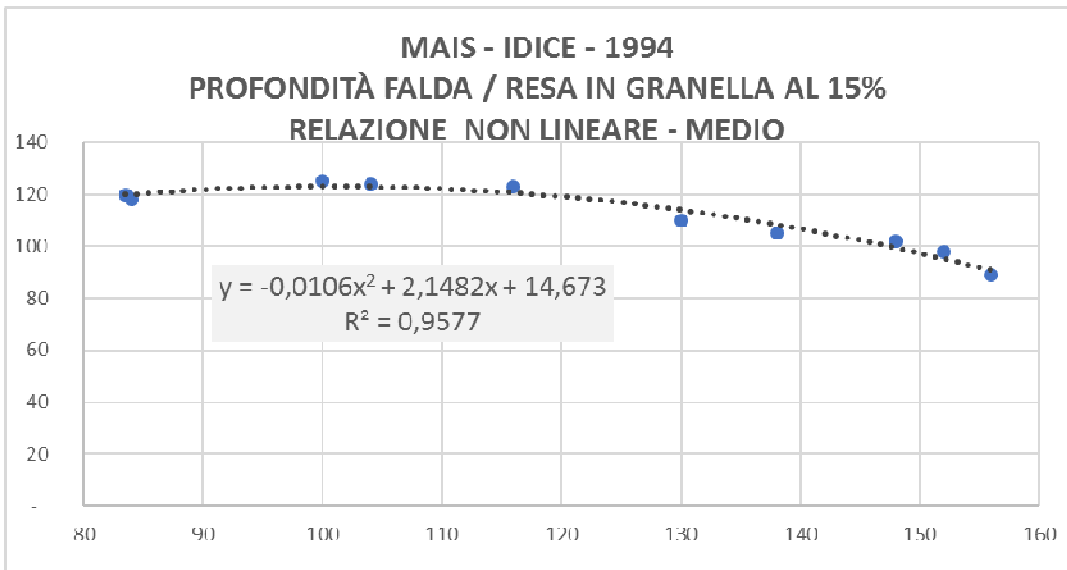


Grafico 55: Mais – funzione quadratica

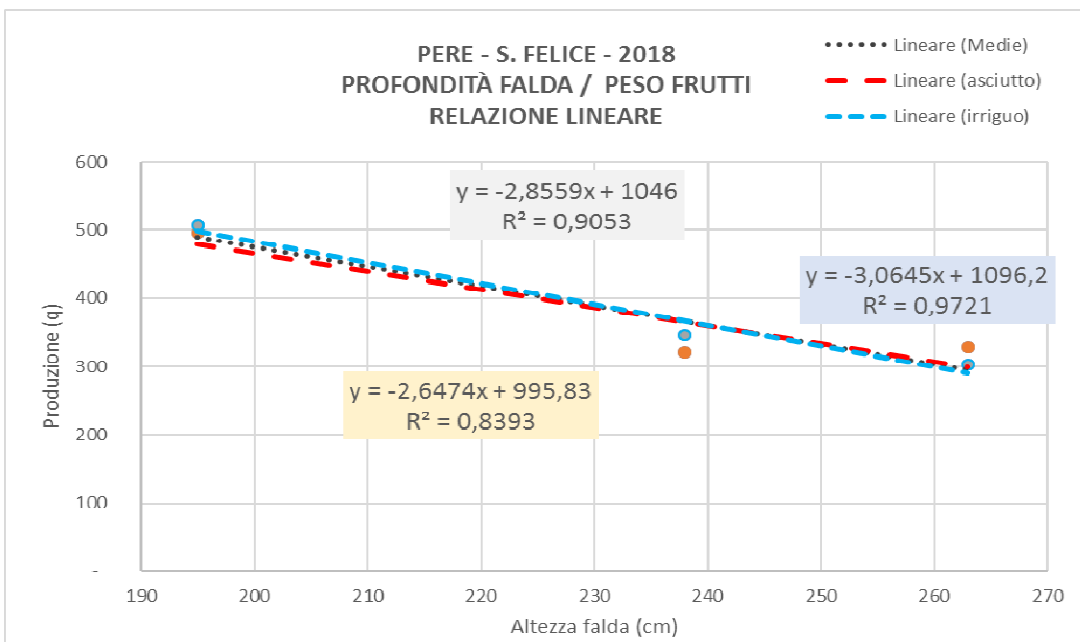


Grafico 56: Pero – funzione lineare

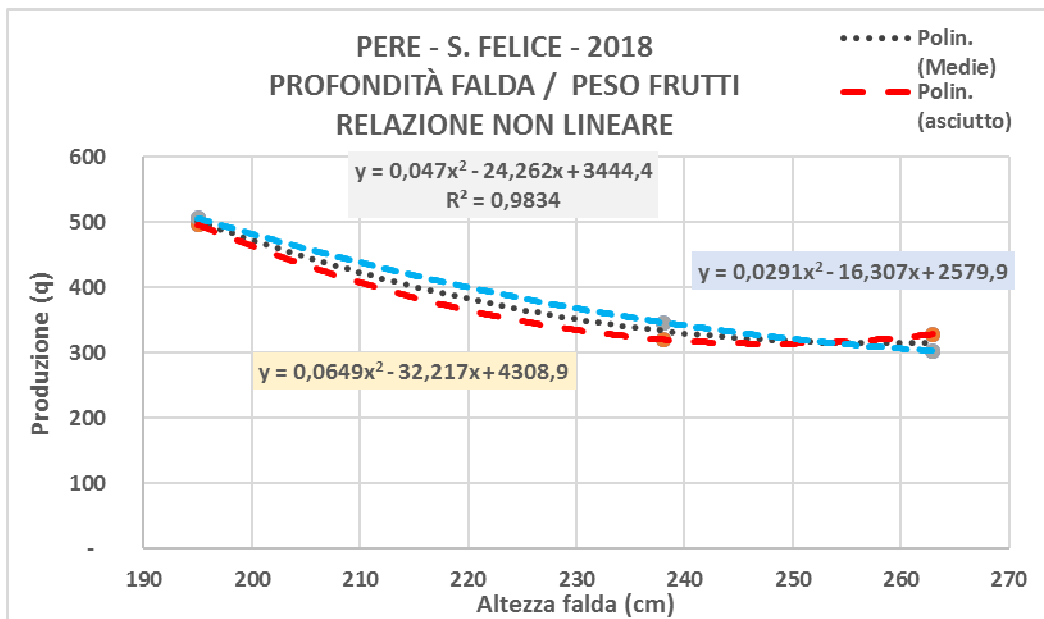


Grafico 57: Pero – funzione quadratica

Le funzioni sono stimate per un intervallo limitato di valori di profondità di falda che dipende dalla situazione esistente nei siti sperimentali.

Ogni funzione indicata genericamente come f' ha i seguenti indici precedentemente definiti: an,d,c,s,r, a cui si aggiunge un indice identificativo della funzione stessa (f1,f2,...) e informazioni che descrivono il sito sperimentale quando opportune (per le arboree):

- d1 distanza ortogonale tra le piante
- d2 distanza longitudinale tra le piante
- n_piante_ha, quantifica il numero di piante per ettaro
- n_piante_mis, quantifica il numero di piante misurate

i seguenti due parametri sono invece sempre richiesti:

- area, quantifica la superficie di riferimento della funzione
- coef_ha. permette di passare dal valore stimato che per le arboree è riferito ad alcune piante, alla produzione per ettaro

Seguono i parametri che rappresentano i coefficienti della funzione, in numero diverso se lineare, quadratica o di terzo grado.

- Il primo 'int' indica sempre il valore dell'intercetta con l'asse delle produzioni;
- il secondo 'coef1' il coefficiente di grado uno;
- il terzo 'coef2' il coefficiente di secondo grado presente solo nelle funzioni quadratiche;
- il quarto 'coef3' il coefficiente di terzo grado presente solo nelle funzioni di grado tre, finora non utilizzate;
- 'x_mi' indica la quota minore di falda;
- 'x_ma' indica la quota maggiore di falda.

Le funzioni sono inserite nel programma mediante una tabella riportata di seguito.

| f | an | sito | coltura | s | r | d1 | d2 | area | n_piante_ha | n_piante_mis | coef_ha | int | coef1 | coef2 | x_mi | x_ma |
|----|------|-------------|---------|-----|-----|----|----|-------|-------------|--------------|---------|--------|---------|---------|------|------|
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 995.83 | -2.6474 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1046 | -2.8559 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1096.2 | -3.0645 | | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4308.9 | -32.217 | 0.0649 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3444.4 | -24.262 | 0.047 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2579.9 | -16.307 | 0.0291 | 190 | 270 |
| f7 | 1994 | BO_Idice | mais | m_i | med | | | 10000 | | | 1 | 159.38 | -0.3961 | | 80 | 160 |
| f8 | 1994 | BO_Idice | mais | m_i | med | | | 10000 | | | 1 | 14.673 | 2.1482 | -0.0106 | 80 | 160 |

Tabella 12: Funzioni stimate nei siti sperimentali

Le precedenti funzioni sono tutte riferite a suoli di medio impasto.

È stato pertanto necessario definire delle tabelle di collegamento che permettessero di estendere i risultati ad una più ampia casistica produttiva:

- una prima tabella collega colture simili ed è definita $c_simili(c,c)$. Viene scritta e letta dall'archivio: `colture_simili.txt`. Attualmente il collegamento è tra pero e melo;
- una seconda tabella permette di adattare le funzioni a diverse qualità di suolo, l'archivio `q_varia_suolo` contiene i coefficienti di variazione rispetto alla funzione di riferimento;

| f | s | int | coef1 | coef2 |
|----|-----|------|-------|-------|
| f1 | sci | 0.93 | 1.1 | |
| f1 | arg | 1.05 | 0.95 | |
| f2 | sci | 0.93 | 1.1 | |
| f2 | arg | 1.05 | 0.95 | |
| f3 | sci | 0.93 | 1.1 | |
| f3 | arg | 1.05 | 0.95 | |
| f4 | sci | 0.98 | 1.01 | 1.03 |
| f4 | arg | 1.03 | 0.99 | 0.97 |
| f5 | sci | 0.98 | 1.01 | 1.03 |
| f5 | arg | 1.03 | 0.99 | 0.97 |
| f6 | sci | 0.98 | 1.01 | 1.03 |
| f6 | arg | 1.03 | 0.99 | 0.97 |
| f7 | sci | 0.97 | 1.26 | |
| f7 | arg | 1.03 | 0.8 | |
| f8 | sci | 0.97 | 1.05 | 1.18 |
| f8 | arg | 1.03 | 1.043 | 0.96 |

Tabella 13: Coefficienti di variazione delle funzioni per tipo di suolo

- una terza tabella collega siti sperimentali ed ambiti produttivi $d_simili(d,d)$ è salvata nell'archivio `dove_simili.txt`. Le relazioni sono le seguenti:

| | |
|-----------------|-------------------|
| Zona produttiva | sito sperimentale |
| z1 | MO_S_Felice |
| z1 | BO_Idice |

La contemporanea considerazione dei precedenti elementi ha permesso di stimare le produzioni in funzione della profondità di falda. Le funzioni lineare o quadratiche sono riportate nell'archivio: f_produzione_profondita.csv di seguito riportate.

| | anno | sito | coltura | terreno | regime | d1 | d2 | area | n_piante_ha | n_piante_mis | coef_ha | int | coef1 | coef2 | x_mi | x_ma |
|----|------|-------------|---------|---------|--------|----|----|-------|-------------|--------------|---------|------------|----------|---------|------|------|
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 926.1219 | - 2.9121 | | 190 | 270 |
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 995.8300 | - 2.6474 | | 190 | 270 |
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 045.6215 | - 2.5150 | | 190 | 270 |
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 926.1219 | - 2.9121 | | 190 | 270 |
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 995.8300 | - 2.6474 | | 190 | 270 |
| f1 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 045.6215 | - 2.5150 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 972.7800 | - 3.1415 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 046.0000 | - 2.8559 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 098.3000 | - 2.7131 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 972.7800 | - 3.1415 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 046.0000 | - 2.8559 | | 190 | 270 |
| f2 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 098.3000 | - 2.7131 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 019.4660 | - 3.3710 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 151.0100 | - 2.9113 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 019.4660 | - 3.3710 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | 190 | 270 |
| f3 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 1 151.0100 | - 2.9113 | | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 438.1670 | -31.8948 | 0.0630 | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | 190 | 270 |
| f4 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | asc | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 4 438.1670 | -31.8948 | 0.0630 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 375.5120 | -24.5046 | 0.0484 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 444.4000 | -24.2620 | 0.0470 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 547.7320 | -24.0194 | 0.0456 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 375.5120 | -24.5046 | 0.0484 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 444.4000 | -24.2620 | 0.0470 | 190 | 270 |
| f5 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | med | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 3 547.7320 | -24.0194 | 0.0456 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | pero | sci | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 528.3020 | -16.4701 | 0.0300 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | pero | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | pero | arg | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 657.2970 | -16.1439 | 0.0282 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | melo | sci | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 528.3020 | -16.4701 | 0.0300 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | melo | m_i | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | 190 | 270 |
| f6 | 2018 | MO_S_Felice | melo | arg | irr | 4 | 2 | 8 | 1250 | 2 | 6.25 | 2 657.2970 | -16.1439 | 0.0282 | 190 | 270 |
| f7 | 1994 | BO_Idice | mais | sci | med | | | 10000 | | | 1.00 | 154.5986 | - 0.4991 | | 80 | 160 |
| f7 | 1994 | BO_Idice | mais | m_i | med | | | 10000 | | | 1.00 | 159.3800 | - 0.3961 | | 80 | 160 |
| f7 | 1994 | BO_Idice | mais | arg | med | | | 10000 | | | 1.00 | 164.1614 | - 0.3169 | | 80 | 160 |
| f8 | 1994 | BO_Idice | mais | sci | med | | | 10000 | | | 1.00 | 14.2328 | 2.2556 | -0.0125 | 80 | 160 |
| f8 | 1994 | BO_Idice | mais | m_i | med | | | 10000 | | | 1.00 | 14.6730 | 2.1482 | -0.0106 | 80 | 160 |
| f8 | 1994 | BO_Idice | mais | arg | med | | | 10000 | | | 1.00 | 15.1132 | 2.2406 | -0.0102 | 80 | 160 |

Tabella 14: funzioni di produzione - profondità di falda

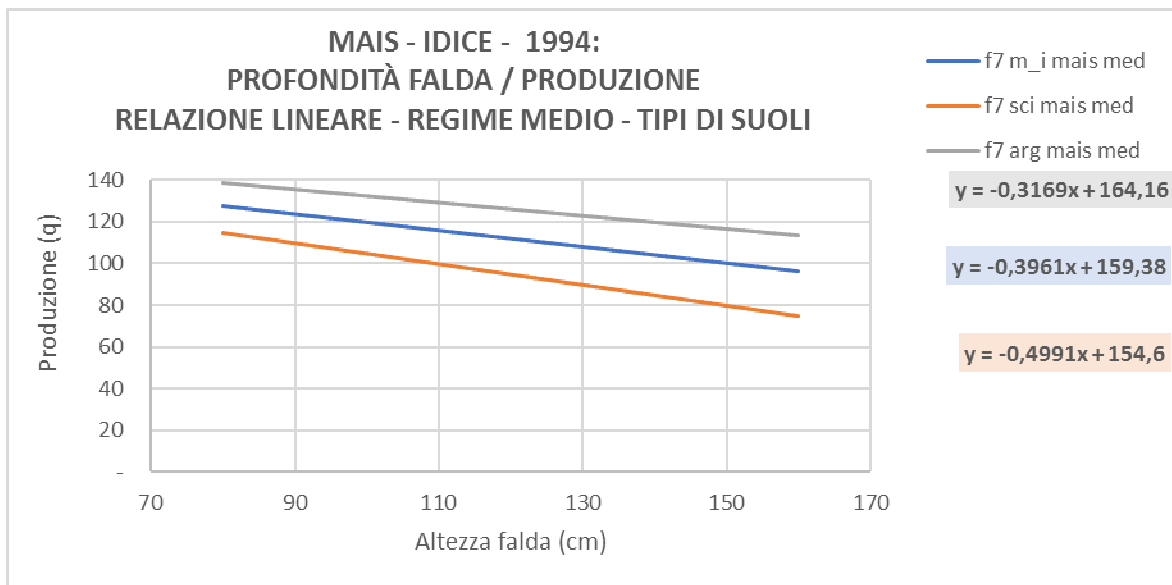


Grafico 58: Mais per tipo di suoli lineare

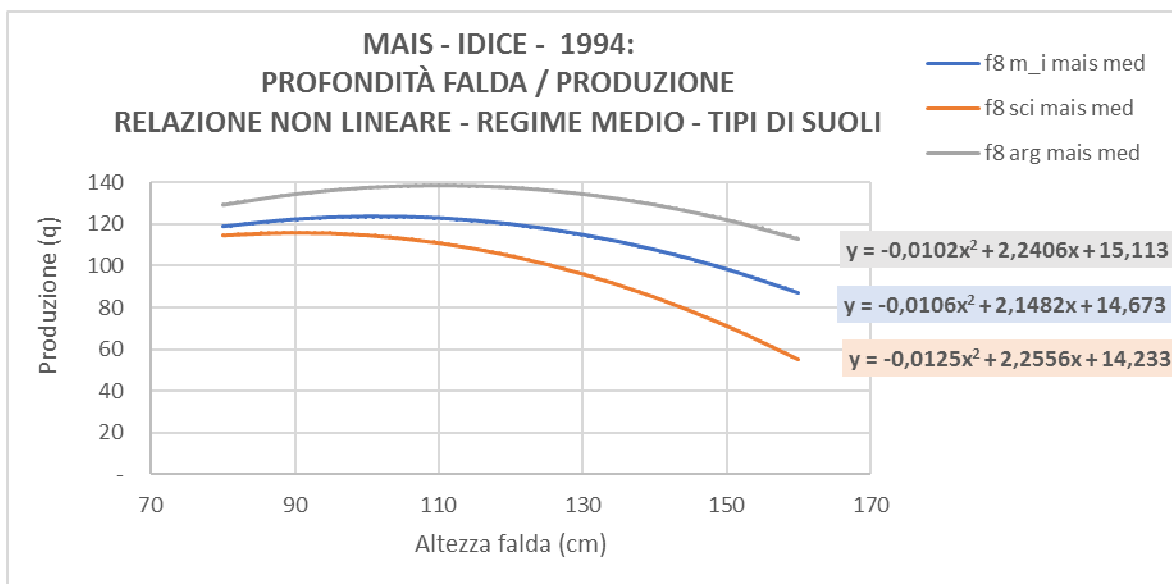


Grafico 59: Mais per tipo di suoli quadratica

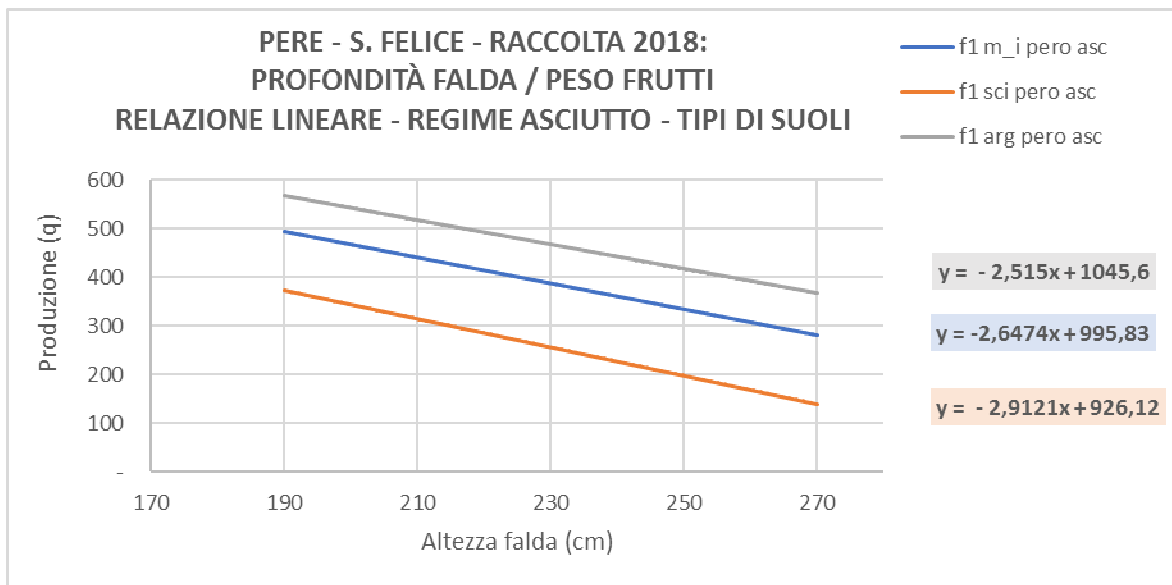


Grafico 60: Pero non irriguo - per tipo di suoli lineare

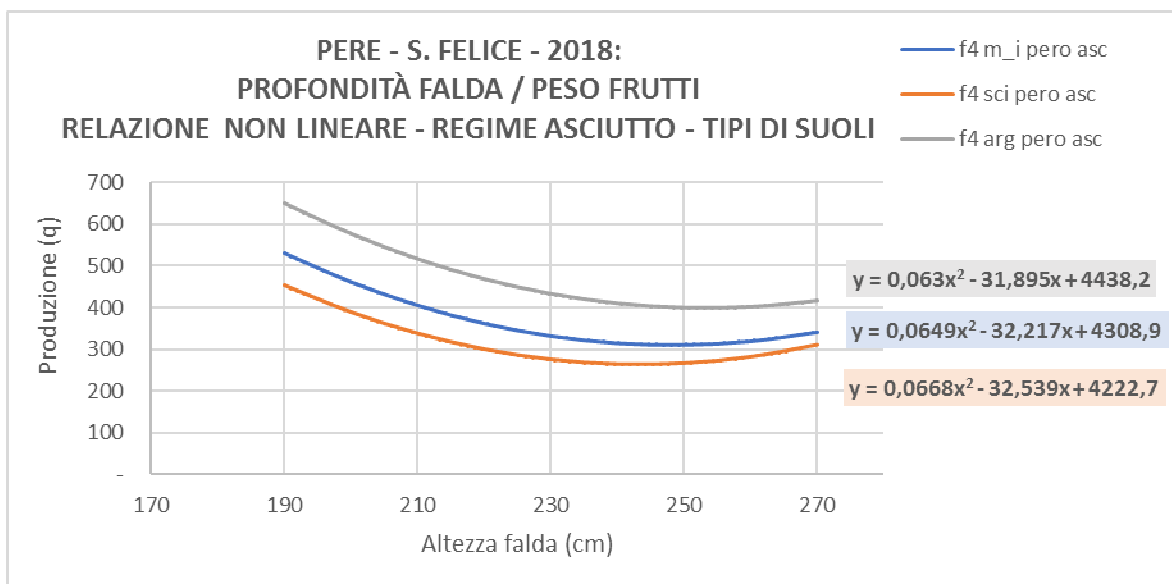


Grafico 61: Pero non irriguo - per tipo di suoli quadratica

Le precedenti funzioni sono state applicate a un gruppo di appezzamenti diversi per coltura, tipo di suolo, regime irriguo, localizzazione e profondità di falda tutti nella zona produttiva 'z1'.

| appezzamento | suolo | coltura | regime | H |
|--------------|-------|---------|--------|--------|
| a1 | sci | pero | asc | 241.45 |
| a2 | arg | pero | asc | 241.45 |
| a3 | m_i | pero | asc | 241.45 |
| a4 | m_i | pero | irr | 247.76 |
| a5 | m_i | pero | asc | 194.63 |
| a6 | sci | pero | asc | 242.31 |
| a7 | m_i | pero | irr | 198.83 |
| a8 | arg | pero | irr | 204.39 |
| a9 | sci | pero | asc | 271.37 |
| a10 | m_i | pero | asc | 235.55 |
| a11 | arg | melo | asc | 263.17 |
| a12 | m_i | melo | asc | 246.69 |
| a13 | arg | melo | asc | 224.17 |
| a14 | arg | melo | irr | 253.98 |
| a15 | sci | melo | asc | 238.62 |
| a16 | m_i | melo | irr | 199.21 |
| a17 | sci | melo | asc | 197.07 |
| a18 | m_i | melo | asc | 259.23 |
| a19 | m_i | melo | irr | 252.91 |
| a20 | m_i | melo | asc | 230.42 |
| a21 | m_i | mais | med | 90.03 |
| a22 | m_i | mais | med | 120.64 |
| a23 | arg | mais | med | 155.08 |
| a24 | sci | mais | med | 132.17 |
| a25 | m_i | mais | med | 94.42 |
| a26 | arg | mais | med | 102.83 |
| a27 | sci | mais | med | 140.66 |
| a28 | m_i | mais | med | 160.71 |
| a29 | arg | mais | med | 122.33 |
| a30 | m_i | mais | med | 98.03 |

Tabella 15: Appezzamenti di esempio

La stima del beneficio ha richiesto la stima di prezzi di riferimento, a tal fine per ogni coltura vengono individuati un prezzo minimo, uno medio e uno massimo.

| coltura | mi | me | ma |
|---------|-------|----|-------|
| pero | 14.4 | 18 | 21.6 |
| melo | 19.55 | 23 | 26.45 |
| mais | 11.48 | 14 | 16.52 |

Tabella 16: Prezzi per coltura (Euro/q)

L'applicazione delle precedenti funzioni ai valori dei siti ha permesso di stimare i benefici riportati nella seguente tabella.

| na | pezzamento | svolo | coltura | regime | azione | sito_sperimentale | H | Q | Q_Hma | Q_var | mi | me | ma | int | coef1 | coef2 | H_mi | H_ma | |
|----|------------|-------|---------|--------|--------|-------------------|--------|--------|--------|---------|-------|---------|--------|------------|----------|---------|------|------|-----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| z1 | a1 | sci | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 241.45 | 222.98 | 139.84 | 83.13 | 1 197 | 1 496 | 1 796 | 926.1219 | - 2.9121 | | | 190 | 270 |
| z1 | a1 | sci | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 241.45 | 263.19 | 310.29 | (47.10) | - 678 | - 848 | -1 017 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | | 190 | 270 |
| z1 | a2 | arg | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 241.45 | 438.36 | 366.56 | 71.80 | 1 034 | 1 292 | 1 551 | 1 045.6215 | - 2.5150 | | | 190 | 270 |
| z1 | a2 | arg | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 241.45 | 407.20 | 415.84 | (8.64) | - 124 | - 156 | - 187 | 4 438.1670 | -31.8948 | 0.0630 | | 190 | 270 |
| z1 | a3 | m_i | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 241.45 | 356.61 | 281.03 | 75.58 | 1 088 | 1 360 | 1 632 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a3 | m_i | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 241.45 | 313.65 | 341.52 | (27.87) | - 401 | - 502 | - 602 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a4 | m_i | pero | irr | f3 | MO_S_Felice | 247.76 | 336.94 | 268.79 | 68.16 | 981 | 1 227 | 1 472 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | | 190 | 270 |
| z1 | a4 | m_i | pero | irr | f6 | MO_S_Felice | 247.76 | 325.98 | 298.40 | 27.58 | 397 | 497 | 596 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | | 190 | 270 |
| z1 | a5 | m_i | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 194.63 | 480.56 | 281.03 | 199.53 | 2 873 | 3 591 | 4 310 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a5 | m_i | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 194.63 | 496.95 | 341.52 | 155.43 | 2 238 | 2 798 | 3 357 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a6 | sci | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 242.31 | 220.49 | 139.84 | 80.65 | 1 161 | 1 452 | 1 742 | 926.1219 | - 2.9121 | | | 190 | 270 |
| z1 | a6 | sci | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 242.31 | 263.02 | 310.29 | (47.27) | - 681 | - 851 | -1 021 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | | 190 | 270 |
| z1 | a7 | m_i | pero | irr | f3 | MO_S_Felice | 198.83 | 486.87 | 268.79 | 218.09 | 3 140 | 3 926 | 4 711 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | | 190 | 270 |
| z1 | a7 | m_i | pero | irr | f6 | MO_S_Felice | 198.83 | 487.98 | 298.40 | 189.58 | 2 730 | 3 412 | 4 095 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | | 190 | 270 |
| z1 | a8 | arg | pero | irr | f3 | MO_S_Felice | 204.39 | 555.99 | 364.97 | 191.02 | 2 751 | 3 438 | 4 126 | 1 151.0100 | - 2.9113 | | | 190 | 270 |
| z1 | a8 | arg | pero | irr | f6 | MO_S_Felice | 204.39 | 536.85 | 356.18 | 180.67 | 2 602 | 3 252 | 3 902 | 2 657.2970 | -16.1439 | 0.0282 | | 190 | 270 |
| z1 | a9 | sci | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 271.37 | | | | | | | | | | | | |
| z1 | a9 | sci | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 271.37 | | | | | | | | | | | | |
| z1 | a10 | m_i | pero | asc | f1 | MO_S_Felice | 235.55 | 372.23 | 281.03 | 91.20 | 1 313 | 1 642 | 1 970 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a10 | m_i | pero | asc | f4 | MO_S_Felice | 235.55 | 321.08 | 341.52 | (20.44) | - 294 | - 368 | - 441 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a11 | arg | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 263.17 | 383.74 | 366.56 | 17.18 | 336 | 395 | 454 | 1 045.6215 | - 2.5150 | | | 190 | 270 |
| z1 | a11 | arg | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 263.17 | 404.43 | 415.84 | (11.41) | - 223 | - 262 | - 302 | 4 438.1670 | -31.8948 | 0.0630 | | 190 | 270 |
| z1 | a12 | m_i | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 246.69 | 342.75 | 281.03 | 61.71 | 1 207 | 1 419 | 1 632 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a12 | m_i | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 246.69 | 310.84 | 341.52 | (30.68) | - 600 | - 706 | - 811 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a13 | arg | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 224.17 | 481.83 | 366.56 | 115.27 | 2 254 | 2 651 | 3 049 | 1 045.6215 | - 2.5150 | | | 190 | 270 |
| z1 | a13 | arg | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 224.17 | 451.84 | 415.84 | 36.00 | 704 | 828 | 952 | 4 438.1670 | -31.8948 | 0.0630 | | 190 | 270 |
| z1 | a14 | arg | melo | irr | f3 | MO_S_Felice | 253.98 | 411.60 | 364.97 | 46.63 | 912 | 1 072 | 1 233 | 1 151.0100 | - 2.9113 | | | 190 | 270 |
| z1 | a14 | arg | melo | irr | f6 | MO_S_Felice | 253.98 | 377.86 | 356.18 | 21.68 | 424 | 499 | 573 | 2 657.2970 | -16.1439 | 0.0282 | | 190 | 270 |
| z1 | a15 | sci | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 238.62 | 231.23 | 139.84 | 91.39 | 1 787 | 2 102 | 2 417 | 926.1219 | - 2.9121 | | | 190 | 270 |
| z1 | a15 | sci | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 238.62 | 264.46 | 310.29 | (45.83) | - 896 | - 1 054 | -1 212 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | | 190 | 270 |
| z1 | a16 | m_i | melo | irr | f3 | MO_S_Felice | 199.21 | 485.73 | 268.79 | 216.95 | 4 241 | 4 990 | 5 738 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | | 190 | 270 |
| z1 | a16 | m_i | melo | irr | f6 | MO_S_Felice | 199.21 | 486.22 | 298.40 | 187.82 | 3 672 | 4 320 | 4 968 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | | 190 | 270 |
| z1 | a17 | sci | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 197.07 | 352.21 | 139.84 | 212.37 | 4 152 | 4 885 | 5 617 | 926.1219 | - 2.9121 | | | 190 | 270 |
| z1 | a17 | sci | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 197.07 | 406.31 | 310.29 | 96.02 | 1 877 | 2 208 | 2 540 | 4 222.7220 | -32.5392 | 0.0668 | | 190 | 270 |
| z1 | a18 | m_i | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 259.23 | 309.55 | 281.03 | 28.52 | 558 | 656 | 754 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a18 | m_i | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 259.23 | 318.58 | 341.52 | (22.94) | - 449 | - 528 | - 607 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a19 | m_i | melo | irr | f3 | MO_S_Felice | 252.91 | 321.16 | 268.79 | 52.38 | 1 024 | 1 205 | 1 385 | 1 096.2000 | - 3.0645 | | | 190 | 270 |
| z1 | a19 | m_i | melo | irr | f6 | MO_S_Felice | 252.91 | 317.04 | 298.40 | 18.64 | 364 | 429 | 493 | 2 579.9000 | -16.3070 | 0.0291 | | 190 | 270 |
| z1 | a20 | m_i | melo | asc | f1 | MO_S_Felice | 230.42 | 385.81 | 281.03 | 104.78 | 2 048 | 2 410 | 2 771 | 995.8300 | - 2.6474 | | | 190 | 270 |
| z1 | a20 | m_i | melo | asc | f4 | MO_S_Felice | 230.42 | 331.21 | 341.52 | (10.31) | - 201 | - 237 | - 273 | 4 308.9000 | -32.2170 | 0.0649 | | 190 | 270 |
| z1 | a21 | m_i | mais | med | f7 | BO_Idice | 90.03 | 123.72 | 96.00 | 27.71 | 318 | 388 | 458 | 159.3800 | - 0.3961 | | | 80 | 160 |
| z1 | a21 | m_i | mais | med | f8 | BO_Idice | 90.03 | 122.16 | 87.03 | 35.13 | 403 | 492 | 580 | 14.6730 | 2.1482 | -0.0106 | | 80 | 160 |
| z1 | a22 | m_i | mais | med | f7 | BO_Idice | 120.64 | 111.60 | 96.00 | 15.59 | 179 | 218 | 258 | 159.3800 | - 0.3961 | | | 80 | 160 |
| z1 | a22 | m_i | mais | med | f8 | BO_Idice | 120.64 | 119.56 | 87.03 | 32.54 | 374 | 456 | 537 | 14.6730 | 2.1482 | -0.0106 | | 80 | 160 |
| z1 | a23 | arg | mais | med | f7 | BO_Idice | 155.08 | 115.02 | 113.46 | 1.56 | 18 | 22 | 26 | 164.1614 | - 0.3169 | | | 80 | 160 |
| z1 | a23 | arg | mais | med | f8 | BO_Idice | 155.08 | 117.85 | 113.10 | 4.75 | 55 | 66 | 78 | 15.1132 | 2.2406 | -0.0102 | | 80 | 160 |
| z1 | a24 | sci | mais | med | f7 | BO_Idice | 132.17 | 88.64 | 74.74 | 13.89 | 159 | 194 | 229 | 154.5986 | - 0.4991 | | | 80 | 160 |
| z1 | a24 | sci | mais | med | f8 | BO_Idice | 132.17 | 93.86 | 54.93 | 38.93 | 447 | 545 | 643 | 14.2328 | 2.2556 | -0.0125 | | 80 | 160 |
| z1 | a25 | m_i | mais | med | f7 | BO_Idice | 94.42 | 121.98 | 96.00 | 25.98 | 298 | 364 | 429 | 159.3800 | - 0.3961 | | | 80 | 160 |
| z1 | a25 | m_i | mais | med | f8 | BO_Idice | 94.42 | 123.01 | 87.03 | 35.98 | 413 | 504 | 594 | 14.6730 | 2.1482 | -0.0106 | | 80 | 160 |
| z1 | a26 | arg | mais | med | f7 | BO_Idice | 102.83 | 131.58 | 113.46 | 18.11 | 208 | 254 | 299 | 164.1614 | - 0.3169 | | | 80 | 160 |
| z1 | a26 | arg | mais | med | f8 | BO_Idice | 102.83 | 137.91 | 113.10 | 24.81 | 285 | 347 | 410 | 15.1132 | 2.2406 | -0.0102 | | 80 | 160 |
| z1 | a27 | sci | mais | med | f7 | BO_Idice | 140.66 | 84.40 | 74.74 | 9.65 | 111 | 135 | 159 | 154.5986 | - 0.4991 | | | 80 | 160 |
| z1 | a27 | sci | mais | med | f8 | BO_Idice | 140.66 | 84.03 | 54.93 | 29.10 | 334 | 407 | 481 | 14.2328 | 2.2556 | -0.0125 | | 80 | 160 |
| z1 | a28 | m_i | mais | med | f7 | BO_Idice | 160.71 | | | | | | | | | | | | |
| z1 | a28 | m_i | mais | med | f8 | BO_Idice | 160.71 | | | | | | | | | | | | |
| z1 | a29 | arg | mais | med | f7 | BO_Idice | 122.33 | 125.40 | 113.46 | 11.94 | 137 | 167 | 197 | 164.1614 | - 0.3169 | | | 80 | 160 |
| z1 | a29 | arg | mais | med | f8 | BO_Idice | 122.33 | 136.92 | 113.10 | 23.82 | 274 | 334 | 394 | 15.1132 | 2.2406 | -0.0102 | | 80 | 160 |
| z1 | a30 | m_i | mais | med | f7 | BO_Idice | 98.03 | 120.55 | 96.00 | 24.55 | 282 | 344 | 406 | 159.3800 | - 0.3961 | | | 80 | 160 |
| z1 | a30 | m_i | mais | med | f8 | BO_Idice | 98.03 | 123.40 | 87.03 | 36.37 | 418 | 509 | 601 | 14.6730 | 2.1482 | -0.0106 | | 80 | 160 |

Tabella 17: Benefici stimati e relative funzioni produzione/falda

La precedente tabella evidenzia alcune righe vuote, si tratta di siti produttivi in cui la profondità di falda ha mostrato valori esterni a quelli osservati nei campi sperimentali. In queste situazioni le funzioni non possono essere applicate.

Particolare attenzione deve essere prestata al fatto che mentre le funzioni di grado uno, lineari presentano una relazione decrescente tra produzioni e profondità di falda, pertanto il minimo delle funzioni è sempre all'estremo destro, in corrispondenza del valore di falda minimo; diverso andamento hanno le funzioni non lineari, in questo caso il minimo si trova in corrispondenza di valori intermedi. Questa situazione comporta conseguenze non trascurabili.

ALLEGATO 29

STIMA DEL BENEFICIO DA FALDA IPODERMICA APPLICATA SUL TERRITORIO DI PIANURA REGIONALE

Immagini esemplificative dei passaggi operativi eseguiti per giungere al calcolo del c.d. beneficio da falda.

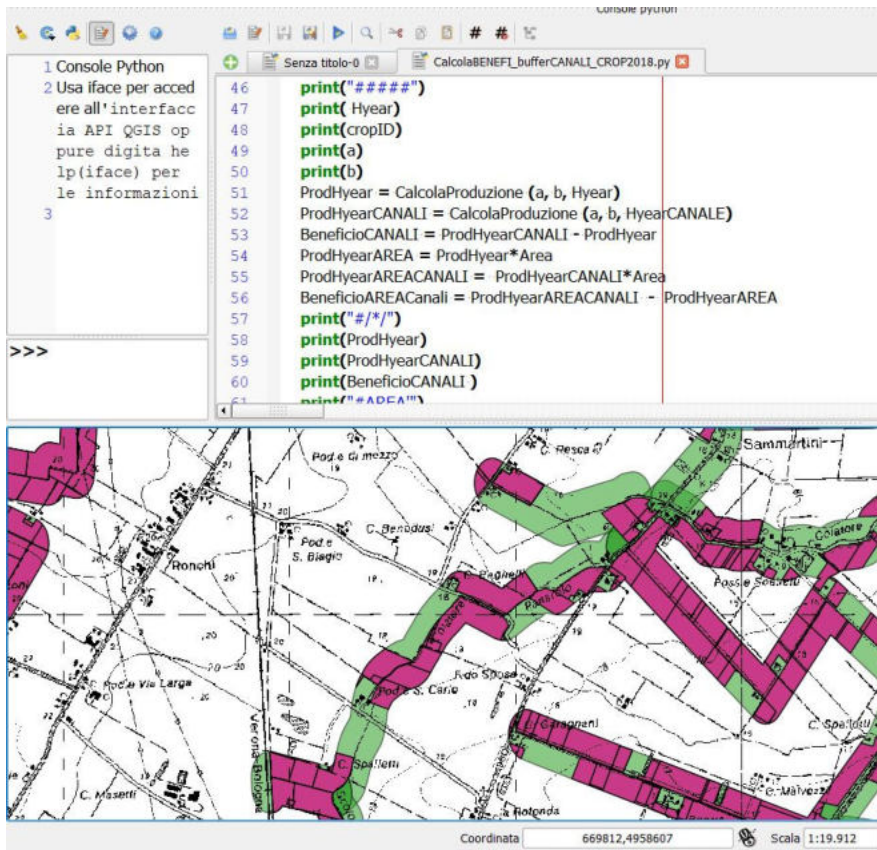


Figura 39: Intersezione GIS fra gli appezzamenti con colture irrigue secondo lo strato dell'uso agricolo del suolo AGREA (poligoni viola) e le fasce di pertinenza dei canali soggette a contributo di falda (in verde). In alto, parte dello script in codice Python per il calcolo del beneficio irriguo.

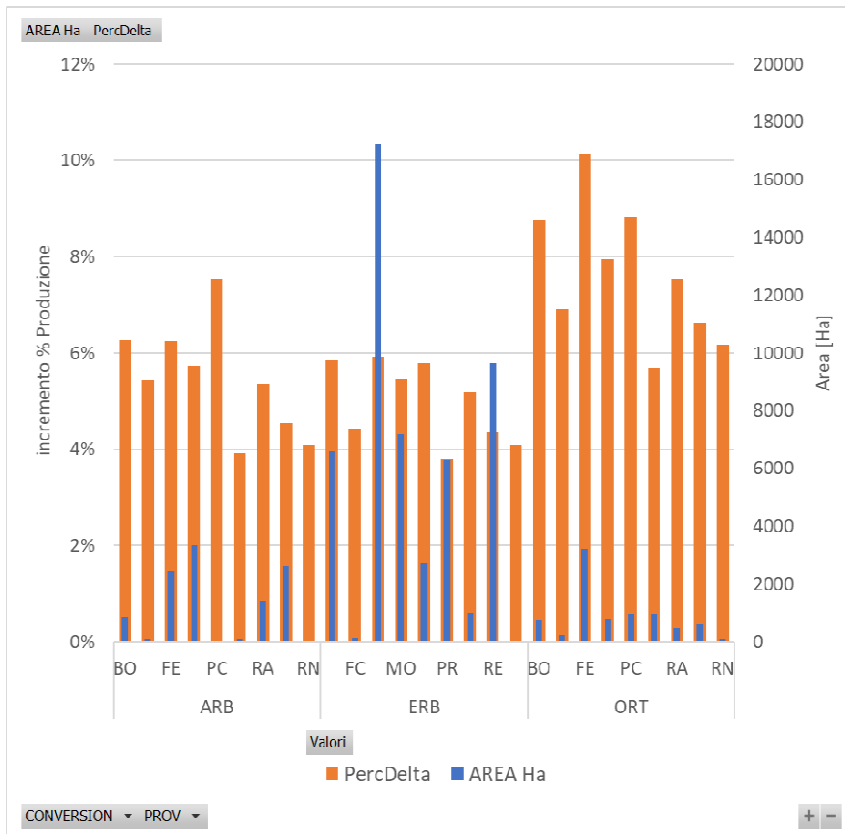


Grafico 62: stima per provincia della percentuale d'incremento di produzione determinata dall'innalzamento della falda in prossimità dei canali irrigui. Le colonne blu indicano la superficie totale in quella provincia interessata da colture irrigue; in arancione l'incremento percentuale.

| Descrizione | Valore |
|--|----------------|
| Superficie irrigua totale di pianura (Ha) | 575203 |
| Superfici soggette a beneficio per innalzamento falda (Ha) | 70080 |
| % di superfici con beneficio sul totale irriguo | 12,18% |
| Incremento medio di produzione per appezzamento (%) | 7,30% |
| Maggior produzione totale per beneficio da falda (q.li) | 157720 |
| Stima prezzo medio (euro/q.le) | 25 |
| Stima totale incremento di PLV (euro) | 3943000 |

Tabella 18: Statistiche valide per tutta la pianura emiliano-romagnola, relative all'estensione delle superfici interessate da beneficio per innalzamento di falda e conseguente stima dell'incremento medio di produzione.

**Relazioni di scambio idrico tra la falda freatica e le acque superficiali in
un settore della pianura ferrarese (Comune di Codigoro) -
Analisi dei dati raccolti da aprile 2017 a novembre 2018**

A cura di

Paolo Severi e Luciana Bonzi (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Regione Emilia-Romagna)

Dicembre 2018

Inquadramento

L'area oggetto del presente studio è ubicata nel Comune di Codigoro, in provincia di Ferrara (Figura 1).



Figura 1 – Ubicazione dell'area di studio

Si tratta di un appezzamento di terreno molto ampio, adibito alla coltivazione di pere. La falda più superficiale in quest'area è caratterizzata da valori di salinità piuttosto elevati e dal momento che questa caratteristica può compromettere la produttività del sito, si è pensato di valutare l'eventuale contributo che può derivare dalla vicinanza con il corso del Po di Volano, che scorre lungo il confine dell'appezzamento in esame, a pochi metri dal pereto (Figura 2). Si tratta quindi di capire se il contributo del Fiume, il cui regime in questa zona è in stretta connessione con l'oscillazione del livello del mare, possa diluire la salinità della falda intercettata dagli apparati radicali o se, in determinati periodi dell'anno, possa influenzarla negativamente.

Dal punto di vista geologico, il sito in questione ricade nel Foglio n. 187 - Codigoro ed è ubicato nell'unità stratigrafica AES8a (Unità di Modena di età olocenica, post Romana); il sistema deposizionale è quello delle sabbie di riempimento di canale distributore, caratterizzate da sabbie da medie a fini, localmente ricoperte da argille e limi d'abbandono fluviale.

La distribuzione delle litologie è caratterizzata da porzioni più o meno sabbiose che si interdigitano tra loro in modo complesso. Le fasce più chiare ben visibili in figura 2 a sud del Po di Volano, con andamento grossomodo nord sud, rappresentano parte della cuspidè deltizia di questo Fiume. Queste porzioni sono costituite da tessiture più sabbiose rispetto alle fasce più scure che le separano. La geologia di superficie della zona a nord del Volano, in cui si sviluppa il pereto, pare essere più influenzata dal sistema meandriforme del fiume, tuttavia, anche in questo caso è verosimile prevedere una certa variabilità complessiva del sito rispetto alla distribuzione delle tessiture grossolane e fini.



Figura 2 – Ubicazione dell'area di studio. Le tessiture più grossolane corrispondono alle aree più chiare.

Sistema di monitoraggio della falda freatica

Per definire le relazioni di scambio idrico tra la falda freatica e le acque superficiali nella zona oggetto di analisi, in accordo e collaborazione con i tecnici del Canale Emiliano-Romagnolo, è stato dimensionato un apposito sistema di monitoraggio che prevede:

- la messa in opera di un congruo numero di piezometri strumentati con sensori per il monitoraggio in continuo del livello della falda, della conducibilità elettrica e della temperatura all'interno di un appezzamento di terreno adibito a pereto;
- la messa in opera di un piezometro dentro l'alveo del Po di Volano, strumentato con sensore per il monitoraggio in continuo del livello della falda, della conducibilità elettrica e della temperatura, realizzato in modo da creare un transetto coi piezometri perforati nel pereto.

Nel mese di aprile del 2017, sono stati installati 4 sensori in continuo in altrettanti piezometri posti a distanza crescente rispetto al Fiume e nel mese di luglio dello stesso anno è stato invece installato il sensore nel Po di Volano, per un totale di 5 sensori. Il monitoraggio è proseguito senza interruzioni per tutto il 2018 ed è ancora in corso; sono quindi disponibili oltre 18 mesi di monitoraggio in continuo. L'ubicazione dei piezometri e dei rispettivi sensori è riportata in Figura 3.



Figura 3 – Ubicazione dei piezometri in cui sono state installate le sonde per il monitoraggio

Per installare le sonde sono stati scelti due siti (denominati P7 e P9 in Figura 3) ciascuno dei quali è formato da due piezometri così completati:

- Sito P7 (quota -0,63 m s.l.m.):
 - Piezometro P7a: profondità = 2.10 m da bocca-foro; sonda a 1.90 m da bocca-foro
 - Piezometro P7b: profondità = 1.63 m da bocca-foro; sonda a 1.60 m da bocca-foro
- Sito P9 (quota -0,78 m s.l.m.):
 - Piezometro P9a: profondità = 2.92 m da bocca-foro; sonda a 2.70 m da bocca-foro
 - Piezometro P9b: profondità = 1.78 m da bocca-foro; sonda a 1.60 m da bocca-foro

Al momento dell'installazione delle sonde è stato eseguito un profilo di conducibilità elettrica (funzione della salinità) in ciascun punto per valutare a quale profondità installare la sonda, nei limiti concessi dalla logistica del sito e dalle considerevoli dimensioni dei sensori. I profili realizzati sono riportati nelle Figure 4 e 5.

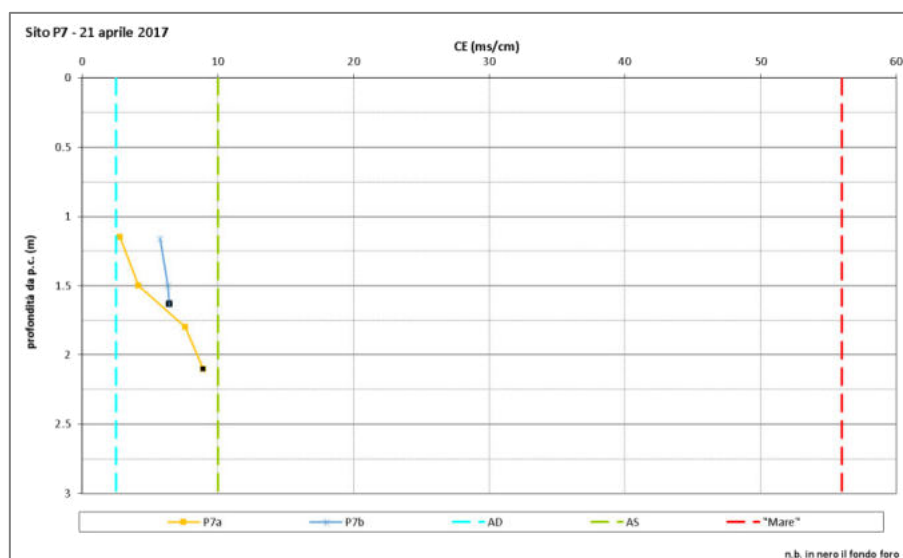


Figura 4 – Profili di conducibilità nei piezometri P7a e P7b

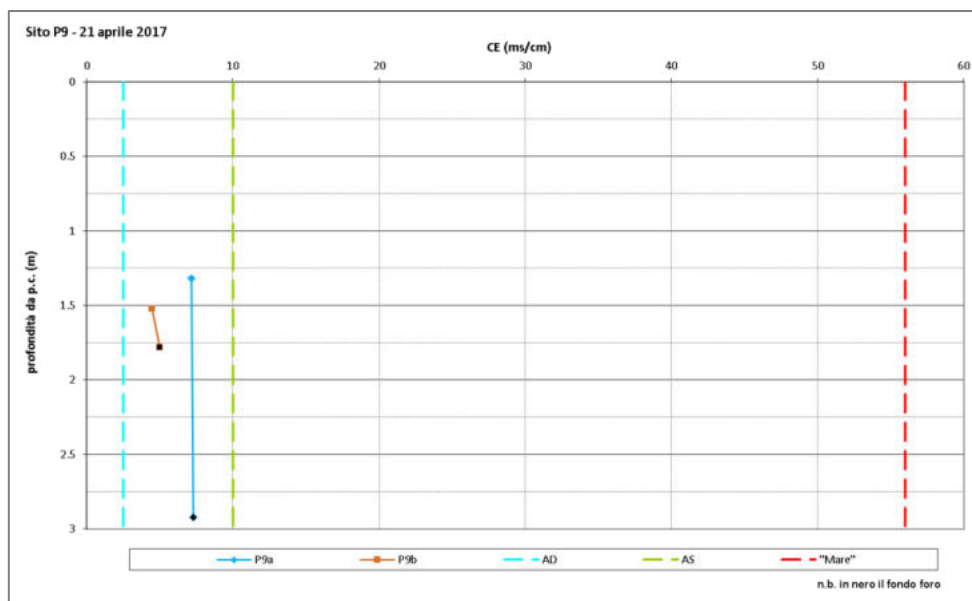


Figura 5 – Profili di conducibilità nei piezometri P9a e P9b

Nei grafici vengono rappresentati come riferimento per la CE: con la linea verticale azzurra il valore di 2.5 mS/cm (limite massimo delle acque destinate al consumo umano D.Lgs 31/01); con la linea verticale verde il valore (scelto a riferimento in modo convenzionale) di 10 mS/cm; con la linea rossa il valore di 56 mS/cm come CE media del Mare Adriatico (come indicato in Piccinini et alii, 2008).

Come si vede, la conducibilità elettrica è piuttosto elevata in tutti e quattro i piezometri e tende ad aumentare con la profondità: nel piezometro P7a si passa da una conducibilità di 2.8 mS/cm a 1.15 m di profondità ad una CE di 8.92 mS/cm a fondo foro; nel piezometro P7b la CE è piuttosto alta già nella parte più superficiale, passando da 5.76 mS/cm a 1.16 m a 6.39 mS/cm a fondo foro; nel piezometro P9a sembra essere più costante, pur avendo una valore piuttosto elevato (7.16 mS/cm a 1.32 m e 7.31 mS/cm a 2.92 m); anche nel piezometro P9b la CE sembra costante, passando da 4.47 mS/cm a 1.52 m a 4.99 mS/cm a 1.78 m.

I dati acquisiti in continuo (con cadenza oraria) dagli strumenti installati sono stati scaricati periodicamente in campo, e successivamente analizzati per comprendere se e quanto il Po di Volano sia in grado di influenzare la salinità nella falda freatica ad esso connessa. I dati raccolti sono stati messi in relazione tra loro e con le piogge cumulate.

Per comprendere la reale dinamica di una falda così superficiale, infatti, è indispensabile tenere in considerazione tutti i termini che possono concorrere all'ingresso e all'uscita dell'acqua e che possano quindi influenzarne il grado di salinità.

La conducibilità elettrica rilevata in continuo è chiaramente riferita alla profondità di installazione della sonda e non consente quindi di avere una valutazione della stratificazione dell'acqua all'interno del piezometro.

Analisi dei dati raccolti

Nella serie di figure che seguono vengono rappresentati i dati raccolti da aprile 2017 a novembre 2018, suddivisi per sito e confrontati tra loro.

- Sito P7:

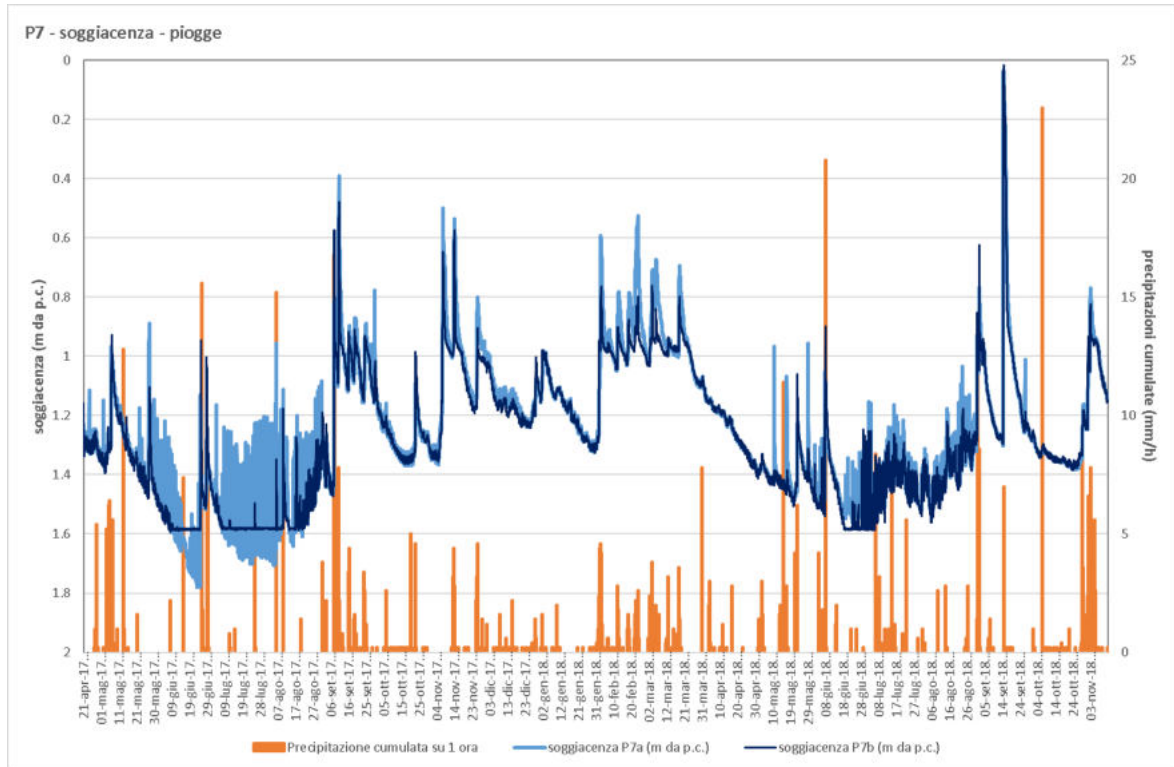


Figura 6 – Confronto tra soggiacenza e precipitazioni nel sito P7

Nella Figura 6 sono messe a confronto la soggiacenza nei due piezometri P7a (più profondo) e P7b (più superficiale) e le precipitazioni cumulate su un'ora nel pluviometro "Campello".

- P7a: la soggiacenza è compresa tra 0.04 m e 1.78 m e sembra essere ben correlata con le precipitazioni. Ciò è particolarmente evidente osservando i dati dei mesi autunno-invernali (da settembre 2017 a maggio 2018 circa) quando, in assenza di irrigazioni, ad ogni picco di precipitazione corrisponde un innalzamento della falda. Il livello della falda nei mesi tardo primaverili-estivi appare molto perturbato, con innalzamenti e abbassamenti repentini, verosimilmente per l'apporto irriguo. Durante tutto il periodo monitorato il piezometro non sembra essere mai rimasto all'asciutto;
- P7b: la soggiacenza è compresa tra 0.02 m e 1.6 m e sembra essere ben correlata con le precipitazioni. Ciò è particolarmente evidente osservando i dati dei mesi autunno-invernali (da settembre 2017 a maggio 2018 circa) quando, in assenza di irrigazioni, ad ogni picco di precipitazione corrisponde un innalzamento della falda. Il livello della falda nei mesi tardo primaverili-estivi appare molto perturbato, con innalzamenti e abbassamenti repentini, verosimilmente per l'apporto irriguo. Nei mesi di giugno e luglio (sia nel 2017 che nel 2018) sono stati registrati dei valori costanti di soggiacenza su valori corrispondenti al fondo del piezometro che ne fanno intuire il prosciugamento, con un abbassamento della falda al di sotto del sensore.

Il livello nei due piezometri si mantiene alla stessa quota per la gran parte del periodo analizzato. Nei picchi di innalzamento, invece, il livello nel piezometro 7a, più profondo, generalmente si alza maggiormente (sino a circa 20 centimetri più del 7b), forse a causa della presenza di orizzonti fini nella stratigrafia del sito. In entrambi i piezometri nell'estate del 2017 il livello è stato inferiore di una ventina centimetri rispetto all'anno successivo.

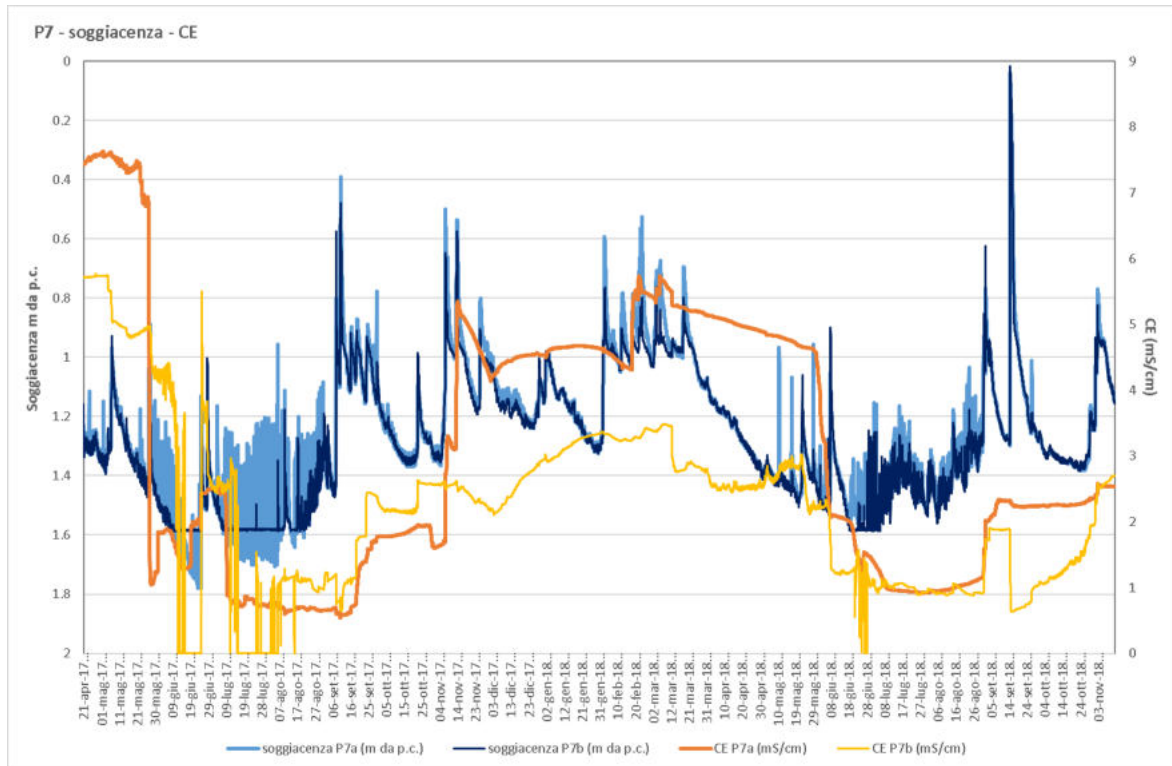


Figura 7 – Confronto tra soggiacenza e CE nel sito P7

Nella Figura 7 sono messe a confronto la soggiacenza e la conducibilità elettrica nei due piezometri P7a e P7b.

- P7a: la CE mostra un andamento stagionale; nel periodo invernale (da novembre a fine maggio) ha valori alti, superiori a 7 mS/cm nel 2017 e attorno a 4.5 mS/cm nel 2018, mentre nel periodo estivo (da fine maggio a novembre) CE diminuisce fino a circa 1 mS/cm, per alzarsi a circa 2 mS/cm da settembre in poi. Nel periodo giugno luglio 2017 la CE mostra alcuni innalzamenti sino a oltre 2 mS/cm
- P7b: anche in questo caso la CE ha un andamento stagionale, nel periodo invernale (da novembre a fine maggio) ha valori alti, oltre 5 mS/cm nel 2017 e attorno a 3 mS/cm nel 2018, mentre nel periodo estivo (da fine maggio a novembre) la CE diminuisce fino a circa 1 mS/cm. Nel periodo giugno luglio 2017 la CE mostra alcuni innalzamenti sino a oltre 2 mS/cm.

Complessivamente l'andamento della CE nei 2 piezometri del sito 7 è molto simile; è del tutto verosimile che la diminuzione estiva della CE sia da mettere in relazione con le pratiche di irrigazione e con la ricarica operata sulla falda dal Po di Volano (vedi oltre). Si nota che i valori di CE nel piezometro più profondo sono più alti nel periodo non irriguo, a significare che la CE in condizioni indisturbate aumenta con la profondità. Durante l'estate l'apporto di acque dolci irrigue e/o la ricarica dal Po di Volano abbassano i valori della CE in entrambi i piezometri, azzerando le differenze dovute alla profondità.

Si osservi che in entrambi i piezometri i valori della CE raggiunti nell'aprile - maggio 2017 sono notevolmente superiori rispetto a quelli dello stesso periodo nell'anno successivo, probabilmente a causa delle minori precipitazioni nel 2017 rispetto all'anno successivo.

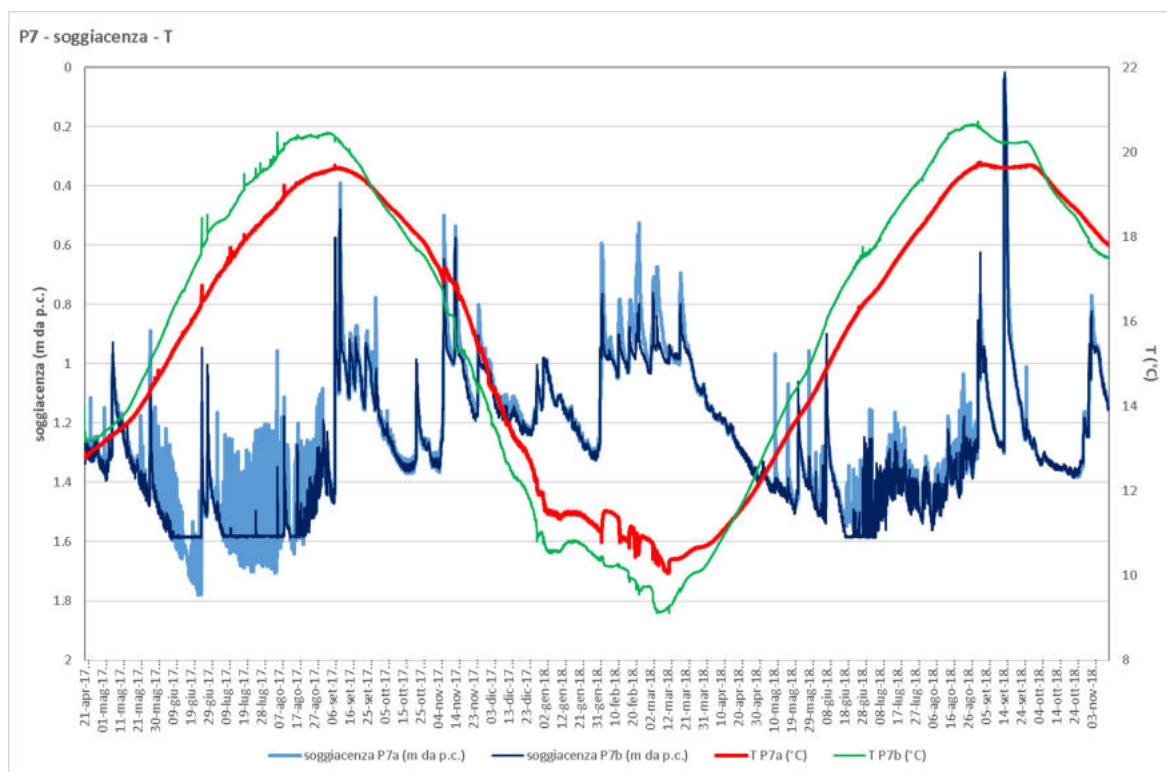


Figura 8 – Confronto tra soggiacenza e temperatura nel sito P7

Nella Figura 8 sono messe a confronto la soggiacenza e la temperatura nei due piezometri P7a e P7b. In entrambi i piezometri, la temperatura ha un andamento che riflette la stagionalità. In qualche caso si notano dei leggeri rialzi (in estate) e degli abbassamenti (in inverno), spesso corrispondenti ad oscillazioni del livello. Il piezometro P7b ha una temperatura media più alta del P7a probabilmente perché è meno profondo e quindi più vicino alle variazioni di temperatura della superficie.

- Sito P9:

Nella Figura 9 sono messe a confronto la soggiacenza nei due piezometri P9a e P9b e le precipitazioni cumulate su un'ora nel pluviometro "Campello".

- P9a: la soggiacenza è compresa tra 0.24 m e 1.87 m e sembra essere ben correlata con le precipitazioni per tutto il periodo monitorato. Non sembrano esserci particolari differenze nella risposta del piezometro nei periodi irrigui e non irrigui, sebbene a partire dall'estate del 2018 il piezometro sembri rispondere maggiormente.
- P9b: la serie storica del piezometro P9b ha un'interruzione nei dati che va da novembre 2017 a marzo 2018 per un malfunzionamento della sonda installata. La soggiacenza è compresa tra 0.15 m e 1.86 m e sembra essere fortemente influenzata dall'apporto irriguo, pur presentando una buona correlazione anche coi picchi di precipitazione. Intorno alla seconda metà del mese di giugno 2017, il piezometro si è asciugato o, comunque, il livello di falda si trovava ad una quota inferiore al sensore installato. Nel 2018 invece il livello è stato più alto ed il sensore non è quindi mai rimasto all'asciutto.

Gli andamenti dei due piezometri sono ben confrontabili tra loro, anche se il piezometro più superficiale risente molto maggiormente delle irrigazioni estive. Inoltre, il valore assoluto del livello piezometrico è a volte diverso, in particolare dall'aprile al novembre 2017 il piezometro più profondo è spesso più alto di 10 – 20 cm, mentre nel periodo maggio – settembre 2018 i rapporti si invertono. Ad oggi non è chiaro perché ci sia questa differenza di comportamento (se pure non molto rilevante) nei due periodi considerati. Come già osservato nel sito 7, anche in questo caso il livello nell'estate del 2017 è stato inferiore di alcuni decimetri rispetto all'anno successivo.

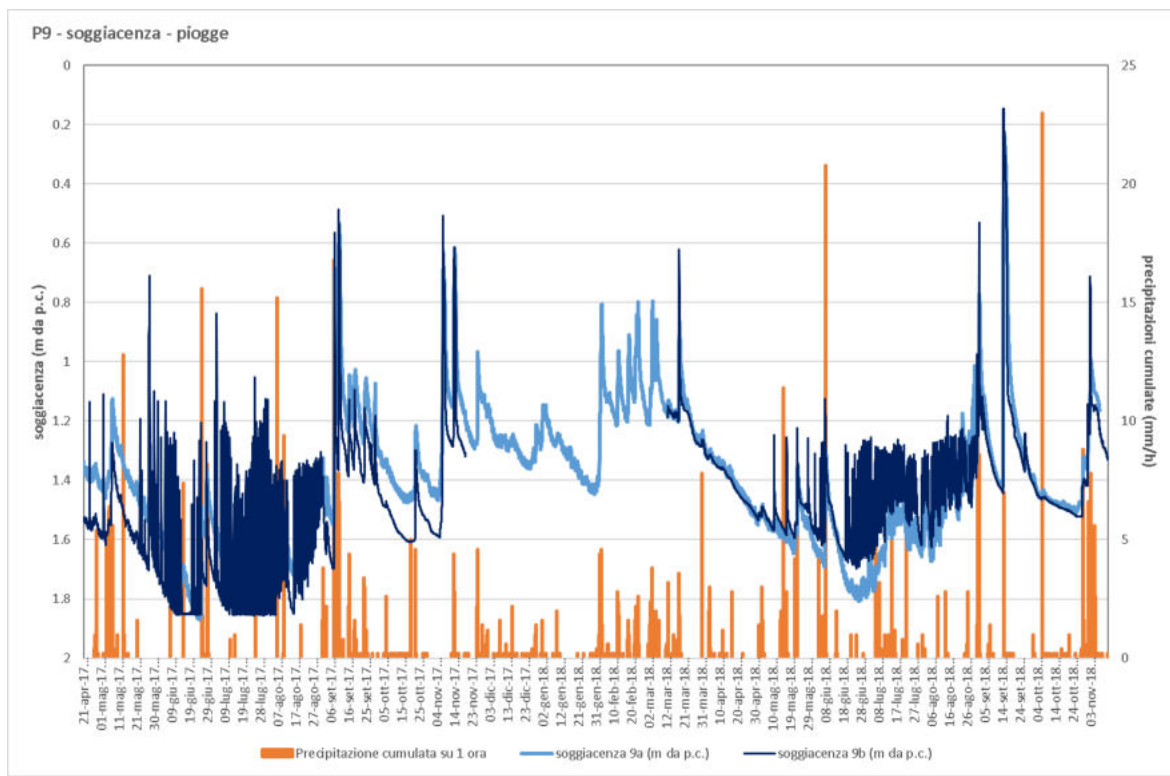


Figura 9 – Confronto tra soggiacenza e precipitazioni nel sito P9

Nella Figura 10 sono messe a confronto la soggiacenza e la conducibilità elettrica nei due piezometri P9a e P9b.

- P9a: all'inizio del periodo monitorato, la CE ha dei valori molto elevati (tra 6 e 7 mS/cm). A partire dal mese di settembre 2017, la CE comincia a scendere, in corrispondenza di un significativo aumento del livello dell'acqua e delle precipitazioni. La CE rimane su valori alti (attorno a 5mS/cm) sino al luglio del 2018, quando abbassa, più o meno in corrispondenza della maggiore risposta del piezometro alle variazioni di livello nel periodo irriguo. A seguito di questo abbassamento la CE arriva a valori di circa 1 mS/cm nel giro di quasi 2 mesi per poi risalire sino a 2 mS/cm.
- P9b: la CE mostra un andamento stagionale, con valori maggiori da settembre a maggio in inverno (da 3 a 5 mS/cm nel 2017 e circa 2.5 mS/c, nel 2018) e inferiori da giugno ad agosto (circa 1 mS/cm). Occorre però precisare che l'acquisizione dei dati non è stata continua.

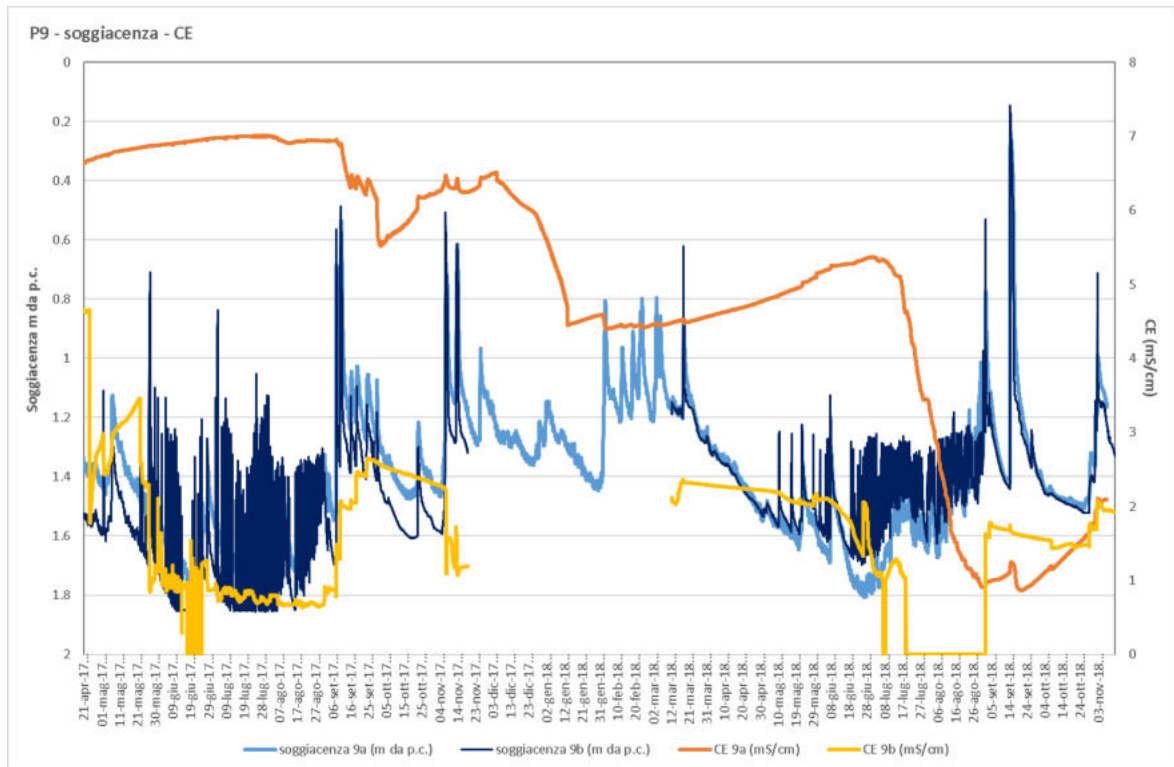


Figura 10 – Confronto tra soggiacenza e CE nel sito P9

L'andamento della CE nei due piezometri è sensibilmente diverso probabilmente in relazione alla presenza di orizzonti fini nella stratigrafia del sito, che tuttavia non influenzano l'andamento del livello piezometrico dei due piezometri che, come detto, è del tutto simile.

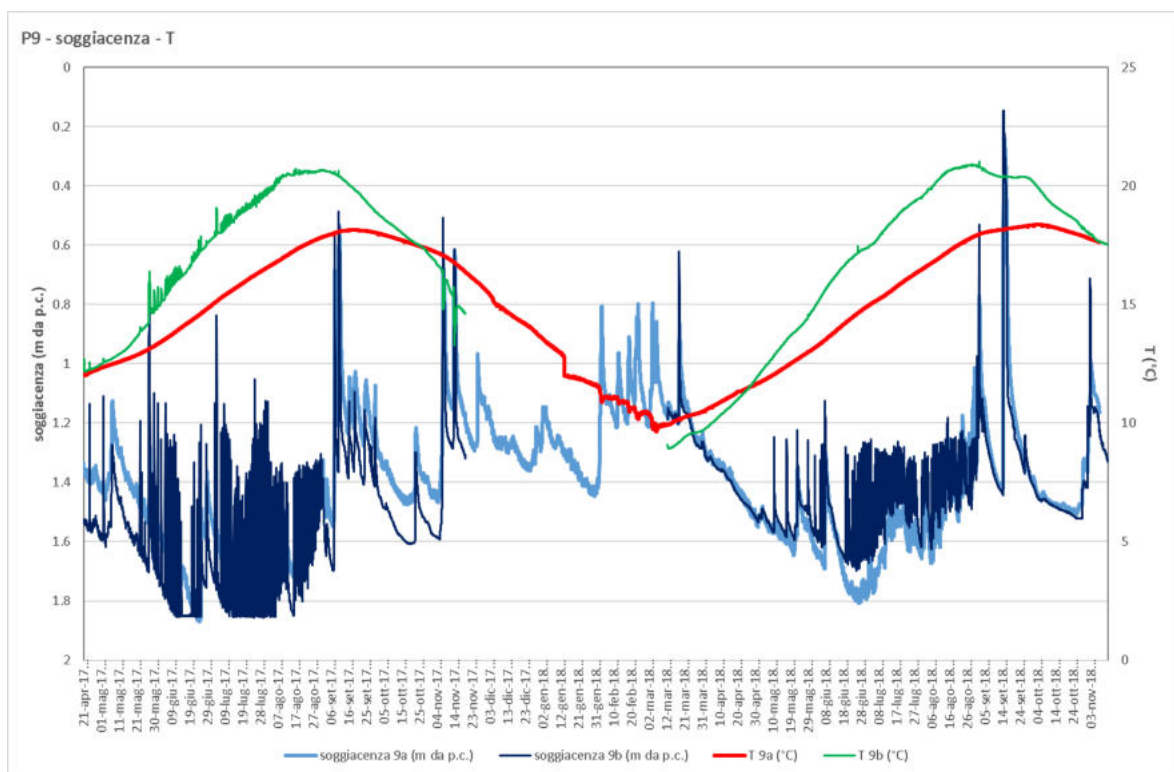


Figura 11 – Confronto tra soggiacenza e temperatura nel sito P9

Nella Figura 11 sono messe a confronto la soggiacenza e la temperatura nei due piezometri P9a e P9b.

In entrambi i piezometri, la temperatura ha un andamento che riflette la stagionalità. Il piezometro P9b ha una temperatura mediamente più alta del P9a probabilmente perché è meno profondo e quindi più vicino alle variazioni di temperatura della superficie. Nel piezometro P9b, si notano dei leggeri rialzi, spesso corrispondenti ad innalzamenti del livello, probabilmente correlabili con le irrigazioni.

- Sito Po di Volano

La Figura 12 rappresenta l'andamento del livello idrometrico e della conducibilità elettrica del Po di Volano, misurati in continuo a partire dal 5 luglio 2017.

Il livello idrometrico del Po ha un andamento che evidenzia in modo molto chiaro la presenza di due fenomeni distinti entrambi con andamento sinusoidale. Uno con frequenza giornaliera, con ampiezza variabile da pochi decimetri fino a circa un metro, verosimilmente collegato alle maree, ed uno con frequenza di 15 – 20 giorni e ampiezza di 20 – 40 centimetri (Figura 13), anch'esso in fase con delle oscillazioni marine di grado superiore evidenziate anche dall'andamento del mareografo di Lido di Volano (Figura 14).

Al di là di queste oscillazioni molto evidenti, il livello del Po di Volano non mostra particolari variazioni di quota durante il periodo monitorato, fatto salvo un aumento nel febbraio - marzo 2018.

Va ricordato che il livello idrometrico del Fiume è fortemente condizionato dall'attività antropica. Il Po di Volano è regimato da alcune traverse lungo il suo corso che mantengono sostanzialmente stabile il suo livello per permetterne la navigazione (Ing. A. Bondesan, comunicazione personale).

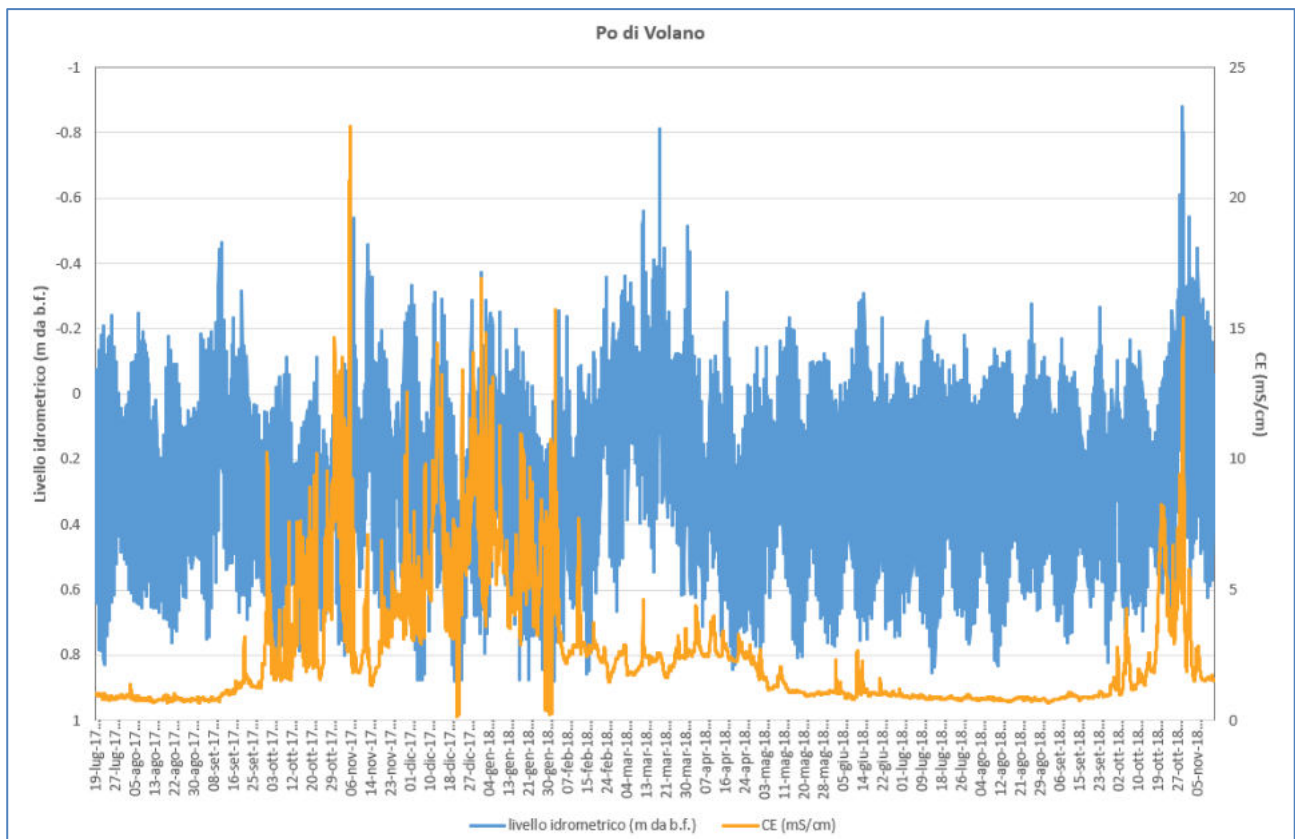


Figura 12 – Confronto tra livello idrometrico e CE nel Po di Volano.

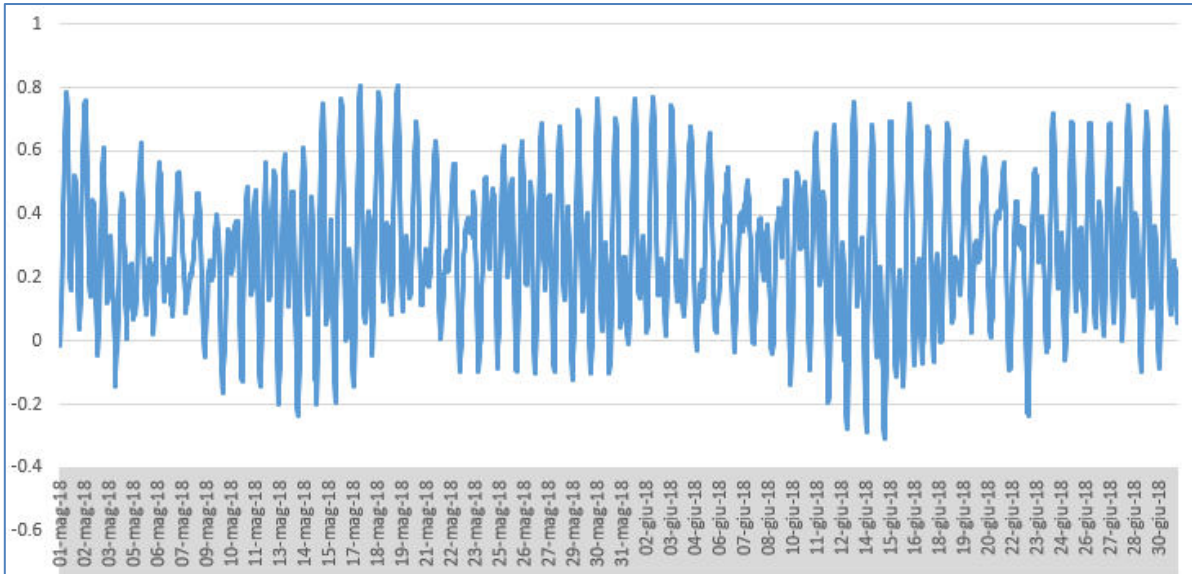


Figura 13. Dettaglio dell'andamento del livello idrometrico del Fiume Po di Volano nel periodo maggio – giugno 2018

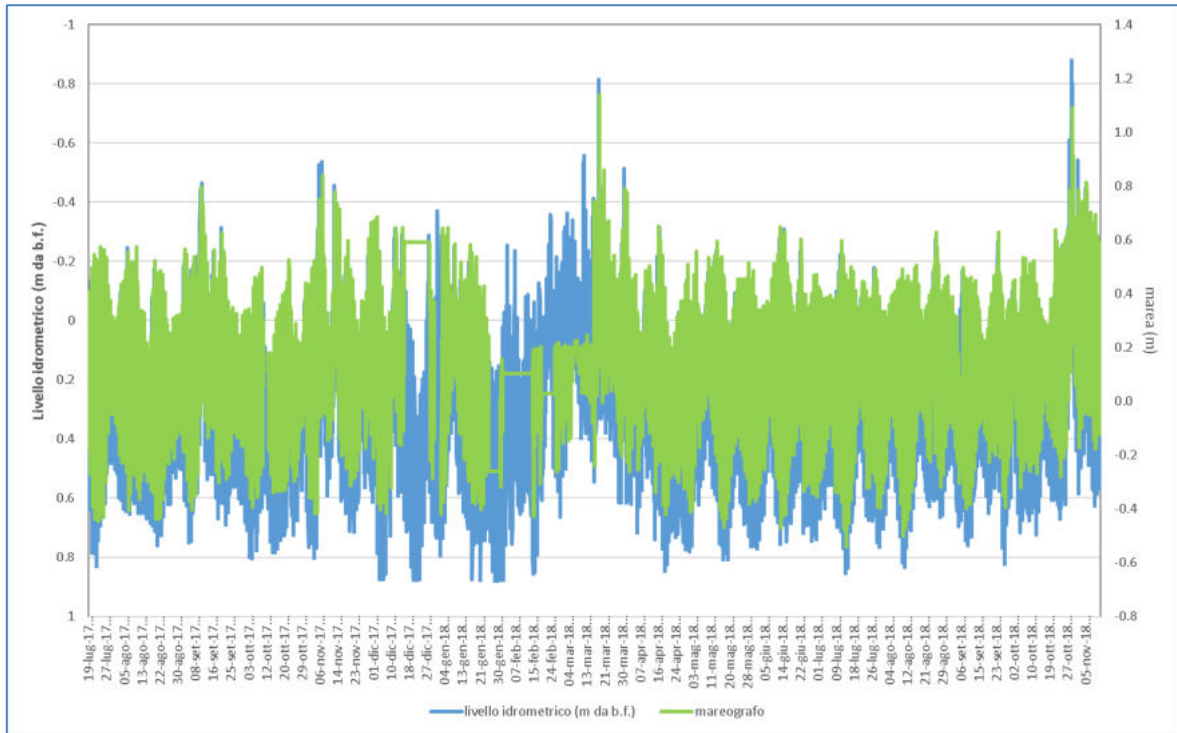


Figura 14 – Confronto tra livello idrometrico del Po di Volano (azzurro) e il livello del mare nel mareografo di Porto Garibaldi (verde). Si osservi che il livello idrometrico del Po di Volano non è riportato in quota assoluta.

Il confronto tra livello idrometrico e precipitazioni nel piezometro installato nel fiume (Figura 15) appare poco significativo a riprova che, probabilmente, in questo tratto, il Fiume è molto più influenzato dall'oscillazione del livello del mare e dalla regimazione della Bonifica che non dal regime delle piogge.

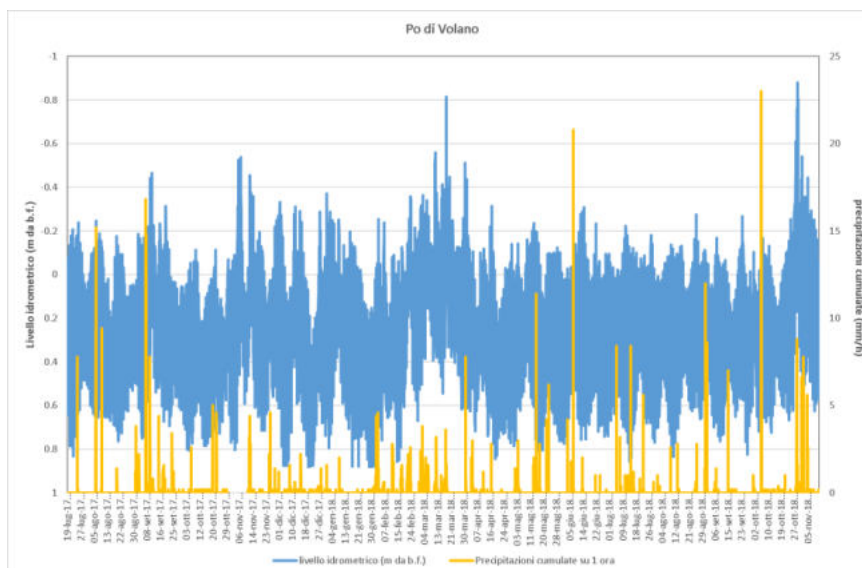


Figura 15 – Confronto tra livello idrometrico nel Po di Volano e precipitazioni cumulate nell'idrometro di Campello

La CE ha un andamento molto diverso nei diversi momenti dell'anno (Figura 12). In estate (maggio-settembre) è stabilmente bassa (circa 1 mS/cm), e non è influenzata dalle oscillazioni del livello idrometrico. Da febbraio a maggio 2018 ha valori attorno a 2.5 mS/cm con frequenti oscillazioni. Nei periodi autunnali ed invernali essa è complessivamente molto maggiore, e mostra oscillazioni frequenti con valori spesso superiori a 10 mS/cm e fino a oltre i 20 mS/cm.

Tali oscillazioni sembrano in fase con le oscillazioni del livello idrometrico, ovvero la CE ha valori maggiori durante i picchi del livello idrometrico dovuti alle oscillazioni positive della marea. Quindi gli aumenti della CE nel periodo invernale sono sostanzialmente legati a ingressione di acque marine nel Po causa l'alta marea. L'andamento della CE nel Po di Volano è fortemente condizionato dalla gestione della rete di bonifica della pianura ferrarese. Da aprile i canali di bonifica e irrigazione vengono invasati con l'acqua dolce del Po, l'acqua dolce di questi canali viene poi drenata dal Po di Volano, che è topograficamente più basso della rete di bonifica. Inoltre, il Po di Volano nel periodo irriguo riceve l'acqua, anch'essa dolce, del grande impianto idrovoro di Codigoro (Ing. A. Bondesan, comunicazione personale).

Il confronto tra livello idrometrico e temperatura nel piezometro installato nel fiume (Figura 16) appare poco significativo e riflette sostanzialmente un andamento stagionale.

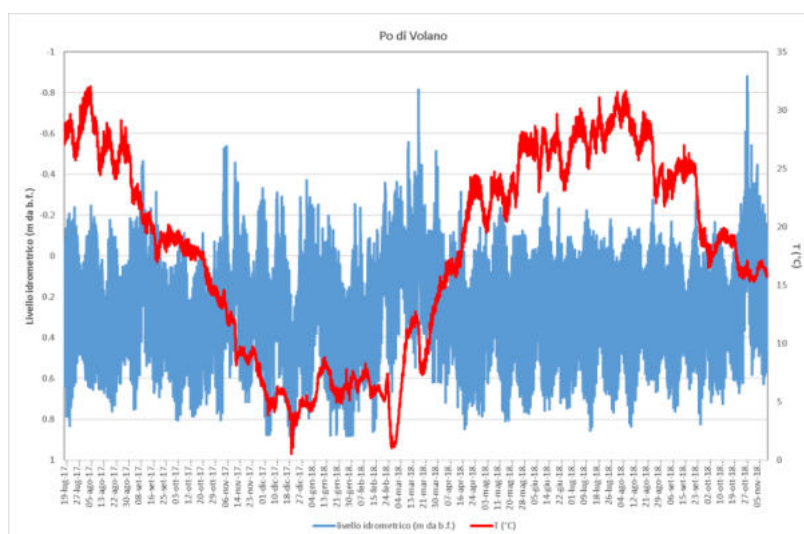


Figura 16 – Confronto tra livello idrometrico e temperatura nel Po di Volano

- Analisi comparata dei tre siti monitorati.

La Figura 17 riporta l'andamento, in quota rispetto al livello del mare, del livello piezometrico dei 4 piezometri relativi al sito 7 e 9, e del livello idrometrico del Po di Volano. Non conoscendo in modo preciso la quota di quest'ultimo punto, si è posizionato il livello del Po considerando che essa abbia mediamente una quota simile allo zero sul livello del mare (è chiaro che si tratta di una approssimazione per difetto, ovvero che la quota dovrebbe essere un po' maggiore, forse fino a 0.5 metri, Ing. A. Bondesan comunicazione personale).

La quota del Po è maggiore di oltre un paio di metri rispetto a quella della falda rilevata nei 4 piezometri, e quindi la falda viene alimentata dal fiume. Il livello dei piezometri del sito 7, più alti topograficamente e più vicini al fiume, è sempre maggiore rispetto a quello dei piezometri nel sito 9 (più basso topograficamente). Quindi si documenta un flusso idrico dal Po verso il sito 7, e quindi verso il sito 9.

L'andamento del livello di falda è complessivamente diverso rispetto a quello del livello del Po di Volano. A volte i picchi della falda sono visibili anche nel livello idrometrico del Po (cerchi rossi in figura 17), in altre occasioni ciò invece non è apprezzabile (cerchio verde). Allo stesso tempo le oscillazioni del livello idrometrico dovute alla marea non sono visibili nel livello di falda.

Livelli piezometrici m s.l.m.

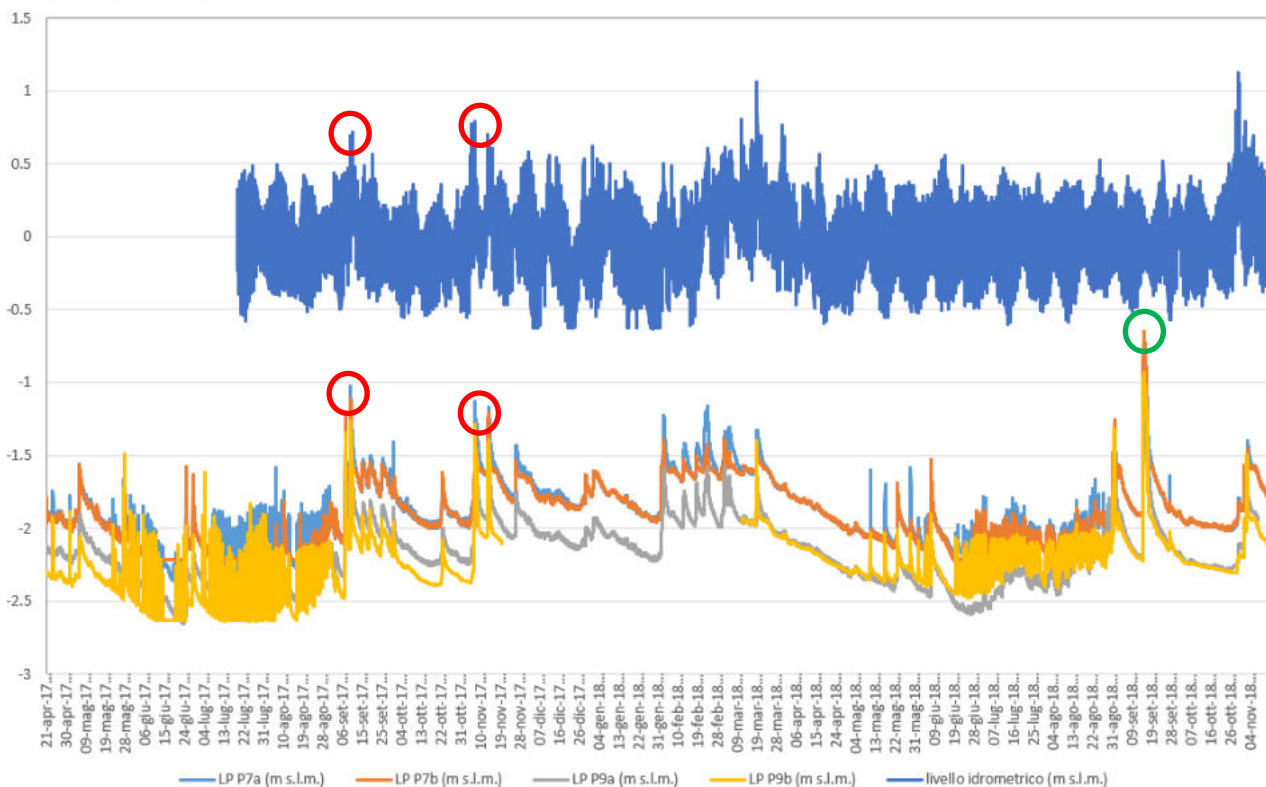


Figura 17. Confronto tra i livelli piezometrici nel sito 7, 9 e livello idrometrico del Po di Volano.

Nella Figura 18 viene confrontata la CE misurata in tutti i punti di controllo. La CE risente di variazioni stagionali, raggiungendo i massimi in inverno ed i minimi in estate in tutti i punti monitorati, tranne il 9a. In buona parte delle due estati monitorate e nella primavera del 2018 i valori della CE del Po, dei piezometri 7a, 7b e 9b sono sostanzialmente identici e pari a circa 1 mS/cm.

Mentre la CE del Fiume è sostanzialmente regolata dalla vicinanza del mare e dalle operazioni della Bonifica, il valore della CE nella falda dipende dalle precipitazioni, dall'irrigazione, dalla ricarica dal Po di Volano e dall'ingresso del cuneo salino nell'acquifero freatico costiero.

Considerata la vicinanza del fiume al sito monitorato e la sua portata, è possibile che la ricarica dal Po di Volano giochi un ruolo molto importante nell'andamento della CE in falda, soprattutto nella sua porzione più prossima al piano campagna (piezometri 7b e 9b).

L'andamento anomalo della CE nel P9a è probabilmente dovuto a motivi geologici, ovvero alla presenza di orizzonti fini che lo separano dalla superficie rispetto agli altri (si consideri anche che il P9a è il più profondo dei 4 piezometri). Tali orizzonti fini tuttavia non influenzano l'andamento del livello piezometrico, che infatti non è particolarmente diverso rispetto agli altri piezometri analizzati.

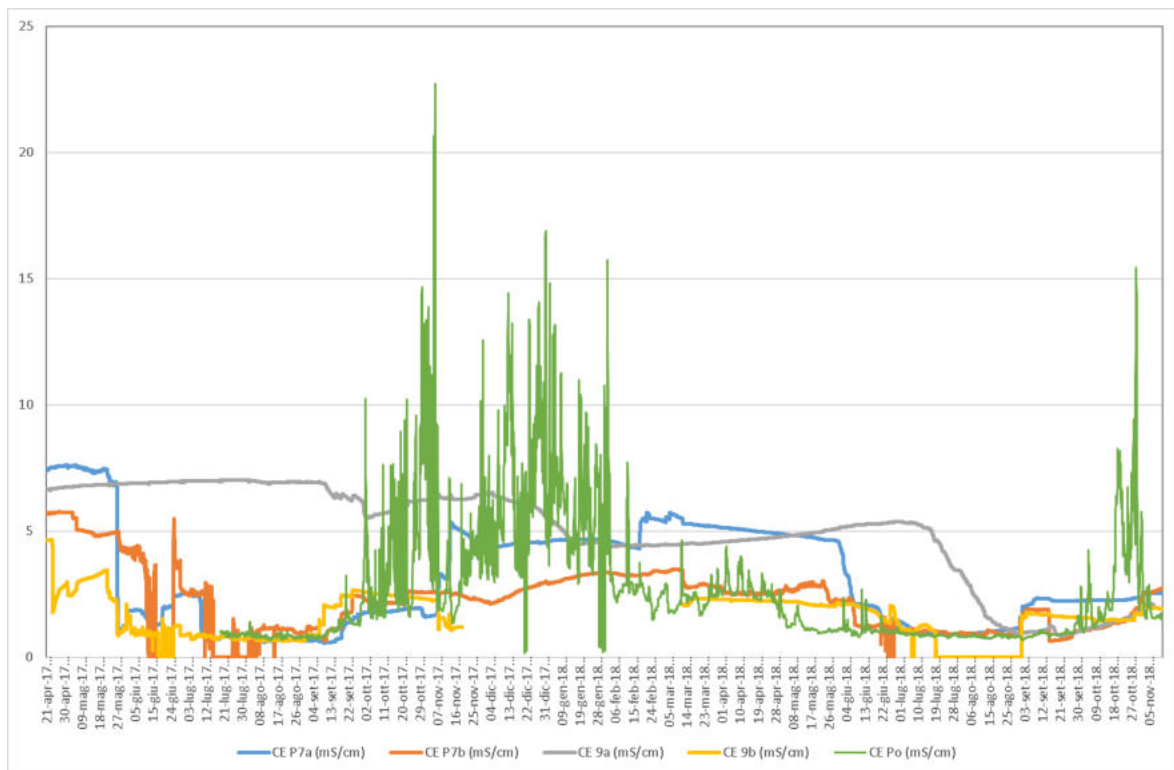


Figura 18 – Confronto tra le CE nel sito 7, 9 e Po di Volano.

Conclusioni

Per definire le relazioni di scambio idrico tra la falda freatica e le acque superficiali nella zona di Pomposa (FE), in accordo e collaborazione coi i tecnici del CER (Canale Emiliano-Romagnolo), è stato dimensionato un apposito sistema di monitoraggio costituito da cinque piezometri strumentati con sonde per la misura in continuo del livello, della temperatura e della conducibilità elettrica specifica.

Il livello piezometrico della falda è influenzato in inverno dalle precipitazioni ed in estate dall'irrigazione. Il livello idrometrico del Po risente maggiormente della vicinanza del mare e delle regimazioni operate dalla Bonifica.

La salinità della falda, qui misurata come conducibilità elettrica, risulta essere influenzata dalle precipitazioni, dal regime delle irrigazioni, dalla ricarica del Po di Volano, dall'ingressione del cuneo salino nell'acquifero freatico costiero, e forse anche dall'uso di particolari sostanze fertilizzanti. La salinità del Po di Volano è da mettere in relazione alla vicinanza del mare ed alle operazioni della Bonifica.

Forse la ricarica dal Po di Volano potrebbe avere rispetto alla salinizzazione della falda un ruolo maggiore rispetto alle altre variabili elencate, ma al momento non si è in grado di definire quali di esse sia effettivamente preponderante.

Ciò potrebbe essere quantificato con un apposito modello numerico, che potrebbe considerare oltre alle variabili qui analizzate anche le condizioni al contorno dovute alla salinizzazione dell'acquifero freatico costiero, il contributo delle irrigazioni, dell'evapotraspirazione, e l'utilizzo di eventuali sostanze fertilizzanti che potrebbero incidere sui valori di CE.