

**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. 5005236

DOMANDA DI PAGAMENTO n. 5147149

FOCUS AREA: 5A

Titolo Piano	Automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo dei fabbisogni delle aziende agricole aderenti a IrriNet
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 – DIPSA – partner effettivo C.R.P.V. – Centro Ricerche Produzioni Vegetali – Soc. Coop. – partner associato C.I.O. – Consorzio interregionale ortofrutticoli soc. coop. a r.l. – partner associato

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	31
Data inizio attività	01/09/2016
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	27/09/2019

Relazione relativa al periodo di attività dal	01/09/2017	Al 27/09/2019
Data rilascio relazione	12/11/2019	

Autore della relazione	Roberto genovesi		
telefono		email	genovesi@consorzioicer.it

## 1. Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

L'idea che sta alla base del Piano è di risparmiare risorsa idrica andando ad incidere sulle efficienze legate al prelievo ed alla consegna dell'acqua da parte dei Consorzi di Bonifica, alle aziende agricole all'interno dei comprensori consortili. Preso atto che il percorso che vuole portare al risparmio idrico aziendale è già "maturo" è arrivato il tempo di lavorare sul prelievo alla fonte e sulla consegna dell'acqua da parte dei gestori della risorsa a beneficio delle aziende del territorio.

È stato quindi elaborato un modello idraulico che gestisce il prelievo e la distribuzione dell'acqua nella canalizzazione consortile, è stata realizzata la versione beta del sw che ne deriva, completo di collegamento con IrriNet per conoscere la domanda irrigua dell'area test.

Per quanto riguarda le aree test individuate, sono state attivate entrambe ed i relativi agricoltori risultano allo stato attuale tutti utenti IrriNet. Il sw è pronto per entrare nella fase di test di campo.

### 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	31	31
Azione 3.1	CER	Costi di progettazione per nuovi prodotti e/o processi	1	1	15	27
Azione 3.2	CER	Investimenti funzionali	4	4	31	31
Azione 3.3	CER - CIO	Prove in campo	4	4	31	31
Azione 3.4	CER – UNIBO DIPSA	Investimenti funzionali	19	19	31	31
Azione 4	CER - CRPV	Piano divulgazione	1	1	31	31

## 2. Descrizione per singola azione

### 2.1. AZIONE 1

#### 2.1.1. Attività e risultati Azione 1

Azione	Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione attività	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). 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.

#### Attivazione del Gruppo Operativo

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.

In merito agli aspetti formali, con particolare riferimento alle attività del Piano e ai relativi costi ammessi, il CRPV, unitamente al Responsabile Tecnico Scientifico (RTS) Roberto Genovesi 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).

#### Costituzione del Comitato di Piano

In occasione della riunione di attivazione del 26-10-2016 si è proceduto all'attivazione formale del progetto, nella quale il RTS 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. Nella medesima riunione si è anche proceduto alla costituzione del Comitato di Piano (CP) per la gestione e il del GO, che è così composto:

- Dal Responsabile Tecnico-Scientifico (RTS), nella persona di Roberto Genovesi (CER);
- Dal Responsabile Organizzativo del Piano (RO), nella persona di Renato Canestrone (CRPV);
- Dal Rappresentante dell'Università di Bologna: Davide Viaggi;
- Dal Rappresentante di CIO: Alessandro Piva.

#### 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 e finali ottenuti in ciascuna fase e in tutto il Piano. In particolare CRPV ha curato per la sua parte la relazione delle attività relative all'esercizio della cooperazione che sono state presentate alla Regione Emilia-Romagna nel corso del controllo amministrativo cui ha partecipato il RO del 17/04/2018, effettuato a seguito della Relazione Intermedia di Progetto.

#### Preparazione dei documenti per le domande di pagamento

In occasione della prima domanda di pagamento (stralcio) e della domanda di pagamento finale, l'RO e l'RTS, insieme a tutti i partner coinvolti, hanno completato l'analisi dei risultati intermedi e finali 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. Analoga attività è stata svolta per la preparazione dei documenti relativi alla domanda di pagamento a saldo.

#### 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 RP 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 telefonici periodici con il Responsabile Tecnico Scientifico di progetto e con quelli delle Unità Operative coinvolte.

	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifiche dell'applicazione dei protocolli operativi in relazione a quanto riportato nella scheda progetto;</li> <li>- Visite ai campi sperimentali e ai laboratori coinvolti nella conduzione delle specifiche attività.</li> </ul> <p>Il RO ha tenuto regolari rapporti con il Responsabile Scientifico per monitorare lo stato di avanzamento. Tali riunioni e verifiche sono state svolte, presso Aqua Campus a Mezzolara di Budrio, presso la sede CER di Bologna o in occasione di visite guidate e incontri tecnici nelle seguenti date: 19/04/2017; 19/05/2017; 12/06/2017; 18/07/2017; 18/08/2017; 23/08/2017; 22/02/2018; 27/03/2018; 3/03/2018; 15/10/2018.</p> <p><i>Riscontro di non conformità e/o gestione di modifiche e varianti</i> Nell'ottobre 2018, in considerazione del periodo di siccità intercorso nel 2017, il RTS ha valutato la necessità di chiedere alla Regione Emilia-Romagna una proroga delle attività di 6 mesi, allo scopo di disporre di due annate irrigue (2018-2019) necessarie per mettere a punto e testare il previsto software di gestione automatica dei manufatti. La richiesta di proroga è stata formalmente inviata all'ufficio regionale competente e in seguito alla sua accettazione, le attività di progetto hanno avuto termine il 27 settembre 2019.</p> <p>Tutte le attività svolte come previsto nella procedura specifica di processo sono registrate e archiviate nel fascicolo di progetto e certificate attraverso visite ispettive svolte dal Responsabile Gestione Qualità del 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, è monitorato mediante visite ispettive interne e verificato ogni 12 mesi da Ente Certificatore accreditato (DNV-GL).</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nell'ambito di questa azione sono stati e raggiunti.</p> <p>Tenendo conto della richiesta di proroga delle attività, nessun altro scostamento rispetto al piano di lavoro è da segnalare. Nessuna criticità è stata evidenziata durante l'attività svolta.</p>

## 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	17	660,96
	Ricercatore Quadro preposto	Know how servizi di assistenza tecnica per l'irrigazione	9,25	369,91
			<b>Totale</b>	<b>1.030,87</b>

## Personale CRPV

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Segreteria	Segreteria	30	748,50
	Tecnico	Coordinamento	32	591,36
	Tecnico	Coordinamento	42	1.167,18
	Amministrativo	Supporto	41	1.525,61
	Amministrativo	Supporto	26,5	588,09
			<b>Totale</b>	<b>4.620,74</b>

### 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	Messa a punto di un algoritmo di calcolo per la stima delle esigenze irrigue di un'area servita da un'opera irrigua, e contestuale gestione dei volumi derivanti dal calcolo per loro effettiva erogazione alle utenze irrigue
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione attività	Come previsto dal Piano è stato messo a punto l'algoritmo per la gestione dei prelievi e dei flussi idrici nella rete sottesa, in base ai consumi delle colture degli appezzamenti serviti dalla rete secondo i consigli irrigui di IrriNet. L'algoritmo originario è stato modificato nel modulo idraulico rivelatosi inadeguato a descrivere le numerose e complesse condizioni di moto che si possono riscontrare nella rete idrica di vettoriamento. I test hanno dimostrato una migliore aderenza descrittiva dei volumi transitati nei vari tratti della rete, una più efficace valutazione dei volumi messi a disposizione degli appezzamenti da irrigare. Il risultato finale appare molto più soddisfacente grazie alla maggiore coerenza del moto dell'acqua nella rete promiscua, così come risulta dall'applicazione del modello, rispetto alla reale dinamica gestionale dell'area test. Vale la pena ricordare che il passo temporale di calcolo del modello è giornaliero, per compatibilità con il passo di calcolo del modello di bilancio idrico (IrriNet) che

	<p>stima i fabbisogni delle colture, ciò complica un calcolo che deve necessariamente prevedere un flusso dinamico delle entità in gioco, comprensivo di una quota di risorsa da lasciare nella rete per il giorno seguente.</p> <p>È stata messa a punto la metodologia di gestione delle logiche che presiedono la valutazione delle produzioni ottenibili dagli interventi irrigui e la conseguente valutazione delle porzioni di rete da alimentare in caso di riduzione forzata delle portate.</p> <p>La completa descrizione degli algoritmi e delle scelte tecniche menzionate è riportata nell'allegato 1. e nel file ReteBluEquazioniFinale.pdf</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Il grado di raggiungimento degli obiettivi descritti nel progetto è completo, tuttavia durante lo svolgimento si sono evidenziate alcune criticità:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Il passo temporale giornaliero imposto dal passo di calcolo dei fabbisogni irrigui, deve essere in qualche modo completato con la previsione degli impieghi del giorno seguente</li> <li>2. Considerare un solo giorno per volta non permette di sfruttare le potenzialità predittive di IrriNet che si spinge per 20 giorni dalla data di interrogazione. Ciò non soddisfa le necessità programmatiche del Consorzio di Bonifica per la gestione automatizzata ed innovativa della rete</li> <li>3. Difficoltà nel descrivere compiutamente la rete di consegna dell'acqua alle utenze agricole, dovuta alla presenza di piccoli invasi aziendali (maceri) che alterano i prelievi fungendo da volano aziendale per il soddisfacimento dei fabbisogni delle colture, impedendo una relazione perfettamente lineare tra consumi delle colture e richiesta da parte degli agricoltori, sia nel tempo che nelle quantità. Inoltre, l'invaso aziendale genera una rilevante difficoltà nella modellazione idraulica e idrologica</li> </ol>
Attività ancora da realizzare	Nessuna

Azione 3.2	Modifiche al software di IrriNet per integrare il nuovo strato informativo relativo ai manufatti idraulici e realizzazione di un software, che applicando l'algoritmo individuato, regoli automaticamente l'apertura e la chiusura delle paratoie di manufatti irrigui a servizio di un'opera irrigua
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione attività	<p>Come previsto dal Piano è stata realizzata la versione definitiva del sw che applica l'algoritmo denominato Rete Blu, esso è stato per il momento installato sul terminale del Cer a simulare l'operatività del consorzio di bonifica che gestisce la rete; è stato realizzato inoltre un manuale d'uso che si riporta in allegato 3.</p> <p>Le modifiche al sw di IrriNet sono state effettuate per potere consentire a Rete Blu di collegarsi ed ottenere il valore dei consumi previsti negli appezzamenti assegnati ai vari tratti di rete. I dettagli</p>

	sono riportati nell' allegato 2.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi dell'azione sono stati raggiunti per la parte riguardante la creazione del sw Rete Blu.</p> <p>La criticità maggiore incontrata fino ad ora è stata la difficoltà nel rendere compatibili il data base di Rete Blu, in formato txt e csv, con i formati dbf dei data base relazioni dei Gis che descrivono le reti consortili. Naturalmente il db di Rete Blu si può popolare a mano, tuttavia è evidente che la messa a punto di una procedura automatica che possa convertire i db dei Gis sia un'operazione assolutamente da tentare, per rendere il sw Rete Blu applicabile su larga scala presso i consorzi. È stata tentata la conversione delle informazioni sulla rete consortile archiviate in Sigrian, il sistema di rappresentazione delle reti consortili previsto dal MIPAF, dalle regioni tra cui la RER, e utilizzato da tutti i consorzi di bonifica italiani. L'operazione non è andata a buon fine a causa del rifacimento completo del sw di SIGRIAN, la cui versione definitiva è, alla data di chiusura del progetto, ancora in fase di rodaggio, pertanto soggetta ad ulteriori modifiche.</p> <p>Sempre in tema di descrizione della rete idraulica, vale la pena di segnalare l'utilità di prevedere in progetti futuri l'attivazione di funzionalità che permettano la conversione dei file di Autocad, modalità in cui è attualmente perlopiù descritta la rete di vettoriamento delle acque nei consorzi di bonifica, in file .dbf; ciò per potere ottenere la descrizione geometrica e dunque matematica della rete, consentendo di realizzare funzionalità di calcolo delle portate a partire da tali dati.</p> <p>Un altro punto critico riguarda l'output economico di IrriNet, che richiede l'inserimento obbligatorio di tutti i dati economici, sia aziendali, sia relativi all'appezzamento, ciò per ottenere in output, disponibile per Rete Blu, il mero dato di beneficio in q.li, quando per il modello di calcolo descritto all'allegato 1, in realtà sono indispensabili un numero molto inferiore di dati. Il mancato inserimento di tutti i dati economici, indispensabili e non, genera un beneficio pari a zero, impedendo al sw Rete Blu di potere elaborare la strategia di corretta allocazione della risorsa.</p> <p>È evidente che in una ipotesi di proseguimento del progetto, questa difficoltà vada superata per evitare all'utente un impegno gravoso nel caricamento dei dati, assolutamente inutile ai fini della gestione automatizzata della rete.</p> <p>Il grado di raggiungimento degli obiettivi del progetto è stato parziale, come descritto più compiutamente nel punto seguente, dove si illustra l'attività che non è stata realizzata.</p>
Attività ancora da realizzare	<p>Manca il software, che applicando l'algoritmo individuato, regoli automaticamente l'apertura e la chiusura delle paratoie di manufatti irrigui a servizio di un'opera irrigua. Ciò è stato determinato dal rifiuto da parte dei consorzi delle aree test di farsi carico dei costi per dotarsi di quanto meccanicamente ed elettronicamente necessario per automatizzare le paratoie.</p> <p>Conseguentemente è stato ritenuto inutile realizzare un sw che non avrebbe mai trovato applicazione sul campo, quantomeno</p>



	nelle 2 aree test e nel periodo di tempo di durata del progetto.
--	--

Azione 3.3	Applicazione dei software realizzati nelle aree test
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione attività	<p>Innanzitutto, va premesso che le aree test sono state parzialmente rispettate nella conduzione del progetto, a causa della complessità delle rilevazioni, tale da obbligare il progetto a concentrare l'attività in alcuni tratti delle reti. Il riferimento è alle criticità già elencate nei precedenti punti, in particolare la descrizione della rete è apparso un ostacolo insormontabile per il periodo di tempo di interesse del progetto.</p> <p>Area test Bologna: delle due aree interessate dal progetto la canaletta di Castagnolino è stata abbandonata per concentrare l'attività sulla canaletta Venenta; ciò è stato determinato dalla difficoltà di descrivere la rete e dalla oggettiva impossibilità di rilevare tutti i numerosi parametri di gestione in maniera adeguata, nel poco tempo avuto a disposizione per avere la rete impinguata, prima che scattasse il regime controllato di attingimento dal fiume Reno per il superamento della soglia minima di DMV (scattato a fine giugno nel 2017 e 2018, protratto solo nell'anno 2019). La riduzione della portata del fiume non è stata tale da comportare il blocco degli attingimenti.</p> <p>Area test Piacenza: in questo caso alle difficoltà connesse alla descrizione della rete, si è sommata l'assenza di un db relazionale GIS, sostituito da file di autocad non importabili in .dbf e dunque da decodificare manualmente prima della loro immissione nel db di ReteBlu sempre manualmente. Inoltre, la superficie del distretto è risultata troppo ampia per il suo inserimento completo in ReteBlu, quindi si è deciso di ridurre il raggio d'azione al tratto che precede il primo partitore ed alla canaletta Mirafiori che da esso deriva.</p> <p>Nelle aree così delimitate, come previsto nel progetto sono stati individuati tutti i parametri idraulici delle reti, richiesti per la messa a punto dell'algoritmo di calcolo. Inoltre, in ogni area test tutti gli appezzamenti sono stati caricati in IrrNet e conseguentemente le aziende iscritte al servizio e addestrate al suo uso.</p> <p>Durante la stagione irrigua sono stati misurati i volumi derivati in entrata al sistema, e stimati i volumi effettivamente consegnati in azienda e quelli effettivamente erogati al campo.</p> <p>I risultati dei rilievi idrologici e idraulici sono riportati nell'allegato 4.</p> <p>I risultati ottenuti con l'applicazione di rete blu nelle aree test sono stati parzialmente descritti nell'allegato 1, per meglio spiegare le logiche che presidono al funzionamento del sw e più compiutamente nell'allegato 6</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	La grave carenza negli approvvigionamenti idrici dei fiumi Trebbia e Reno che alimentano i distretti test hanno provocato notevoli difficoltà anche al progetto, contraendo la stagione irrigua, impedendo lo svolgimento delle attività previste nei tempi previsti

	<p>e costringendo l'anticipo di molti rilievi che richiedevano la presenza di acqua nella rete. Malgrado ciò gli obiettivi dell'azione sono stati quindi ugualmente raggiunti grazie all'attività condotta anticipatamente rispetto alla stagione irrigua vera e propria.</p> <p>Per quanto riguarda invece la gestione del software con passo quotidiano sono insorte delle difficoltà principalmente dovute alla scarsa collaborazione dei consorzi, in particolare quello di Piacenza, che ha ostacolato la regolarità dei calcoli giornalieri. Ciò ha obbligato il coordinatore a modificare il programma di lavoro, relegando agli ultimi mesi del progetto (utilizzando in tale modo la deroga richiesta) la simulazione dei calcoli effettuati dal sw, che di fatto è stato fatto girare a fine stagione simulando lo svolgimento dell'intera annata irrigua. Per fare questo è stato necessario disporre dell'intero set di dati e simulare tutte le due annate 2018 e 2019, e questi risultati vengono presentati nell'allegato 6.</p> <p>Al di là delle criticità segnalate il raggiungimento degli obiettivi è stato completo.</p>
Attività ancora da realizzare	nessuna

Azione 3.4	Valutazione economica
Unità aziendale responsabile	CER
Descrizione attività	<p>È stato affrontato il problema della valutazione economica applicando due diverse strategie nelle due aree test, che hanno in comune la determinazione della produzione ottenibile con il singolo intervento irriguo mediante l'applicazione economica di IrriNet. A partire dal dato produttivo, nell'area test della Venenta è stata applicato un metodo che prende in considerazione il solo valore della produzione (produzione x prezzo di vendita) e lo contestualizza a scenari precostituiti che vogliono rappresentare la realtà operativa, mentre nell'area test Trebbia è stata applicato un metodo di calcolo che prende in considerazione i ricavi, confrontando valore della produzione con i costi sostenuti per ottenerla, secondo il modello di calcolo completo desunto dall'applicazione economica di IrriNet.</p> <p>I risultati ottenuti nell'area test Venenta sono riportati in parte nell'allegato 1 e in parte nell'allegato 6. Mentre tutto quanto è stato fatto nell'area di Piacenza è descritto nell'allegato 5.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	completo
Attività ancora da realizzare	nessuna

### 2.2.2. Personale Azione 3

#### PERSONALE CER

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Ricercatore Quadro preposto	Realizzazione	285	11.139,15
	Personale di concetto	Realizzazione	450,06	11.473,96
	Ricercatore Quadro preposto	Realizzazione	370,25	14.619,39
	Personale di concetto	Realizzazione	399,79	8.420,93
	Personale di concetto	Realizzazione	257,25	8.329,76
	Operaio Specializzato	Realizzazione	98	1.635,62
<b>Totale</b>				55.618,81

#### PERSONALE UNIBO DIPSA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Ricercatore	Realizzazione	155	6.262,00
	Ricercatore	Realizzazione	849	11.733,18
<b>Totale</b>				17.995,18

#### PERSONALE CIO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Tecnico	Realizzazione	136	10.267,68
<b>Totale</b>				10.267,68

### 2.2.3. Trasferte

#### CER

Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missione per contatti con le aziende	170,61
	Missione per contatti con le aziende	1.599,30
<b>Totale:</b>		1.769,91

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il DIPSA - UNIBO

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il CIO

## 2.2.4. Collaborazioni, consulenze, altri servizi

### CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	20.000,00	Realizzazione algoritmo di calcolo e scrittura software	15.000,00
Totale:			15.000,00

### 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 15.349,00	Sviluppo WebAPI su piattaforma IRRINET e modifiche software IRRINET	15.349,00
Totale:				15.349,00

## 2.3. AZIONE 4

### 2.3.1. Attività e risultati Azione 4

Azione 4	Piano 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 ed i risultati che via via saranno acquisiti. La pagina contiene testi descrittivi.</p> <p>E' stato prodotto il tutorial sull'uso di Irrinet.</p> <p>Sono stati realizzati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 video da utilizzare all'interno dell'informazione televisiva (servizio tg) (Il Piacenza febbraio/Marzo 2017 - Nettuno TV 2019).</li> <li>- 5 video da utilizzare all'interno dell'informazione televisiva specialistica o di settore (tipo redazionale) (Telesanterno febbraio Marzo e Settembre 2017; Il Piacenza Febbraio 2017; Telelibertà Marzo 2017 – Nettuno TV 2019)</li> </ul> <p>Tutto il materiale audiovisivo disponibile è in fase di caricamento sul sito del Consorzio</p>

CER, attraverso il canale YouTube dedicato con lo scopo di amplificare il messaggio veicolato dall'intero Piano, aumentandone la ricaduta sia territoriale, coinvolgendo categorie di fruitori più avvezzi a questi mezzi di comunicazione assai differenti e più immediati rispetto ai tradizionali manuali cartacei.

Sono stati progettati e stampati e sono stati installati, n.4 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. È stato pubblicato un articolo tecnico sulla rivista Acqua nel settembre 2019 intitolato "Bilancio idrico di un canale ad uso irriguo in presenza di controllo remoto e di servizi di previsione dei fabbisogni"

La tabella sottostante descrive schematicamente le ulteriori attività di divulgazione svolte dal 1 settembre 2016 al 27 settembre 2019

	<b>Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale CRPV)</b>	<b>Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale CRPV)</b>	<b>Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale CRPV)</b>	<b>Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale CRPV)</b>	<b>Titolo (Provincia, data, n. presenze, link portale CRPV)</b>
<b>Inc ontr i tec ni ci</b>	Implementazione del DSS IRRINET nel distretto Rivo Villano PC 30-01-2017 <a href="#">AUTOMAZIONE RETEIncontro30genn17PC</a>	Calcolo distrettuale dei consumi culturali e interazione coi modelli di calcolo per il vettoriamento delle acque PC 28-02-17 <a href="#">AUTOMAZIONERE TEIncontro28febb17PC</a>	Metodi di rilievo delle perdite da canale BO 16-10-2018 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEIncontro16ott18BO</a>	Automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo dei fabbisogni delle aziende agricole aderenti a IRRINET BO 17-10-2018 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEIncontro17ott18BO</a>	Presentazione e primi risultati del Progetto Paratoie intelligenti BO 18-04-2019 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEIncontro18apr19BO</a>
<b>Visit e guid ate</b>	Illustrazione strumenti di rilievo della permeabilità satura nei canali RE 17-08-2017 <a href="#">AUTOMAZIONE RETEVisita17ag17RE</a>	Illustrazione modalità di automazione delle paratoie BO 28-09-2018 <a href="#">AUTOMAZIONERE TEVisita28sett18BO</a>	Illustrazione modalità di automazione delle paratoie BO 12-10-2018 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEVisita12ott18BO</a>	Illustrazione modalità di automazione delle paratoie BO 26-10-2018 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEVisita26ott18BO</a>	Illustrazione modalità di automazione delle paratoie BO 09-11-2018 <a href="#">AUTOMAZIONE NERETEVisita9nov18BO</a>

	<b>Pub blic azio ni</b>	Uso sostenibile dell'acqua, il CER è in prima linea (Rivista Agricoltura 3/2017) <a href="#">AUTOMAZIONE RETERivistaAgricolturaMarzo2017</a>	Le nuove frontiere dell'acqua a Macfrut (Rivista Agricoltura 4/2017) <a href="#">AUTOMAZIONERE TERivistaAgricolturaMarzoAprile2018</a>	IrriFrame, continua l'evoluzione (Terra è Vita 20-2018) <a href="#">AUTOMAZIONE RERETETerraVita202018</a>	IrriFrame, continua l'evoluzione (Frutticoltura 5-2018) <a href="#">AUTOMAZIONE RERETEFrutticoltura52018</a>		
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	completo						
Attività ancora da realizzare	nessuna						

### 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	129,60	3.339,45
	Ricercatore Quadro preposto	Realizzazione materiale illustrativo e promozionale - svolgimento attività dimostrativa	104,50	4.139,25

<b>Totale</b>	<b>7.478,71</b>
---------------	-----------------

### Personale CRPV

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Tecnico	Divulgazione	12	658,48
	Segreteria	Segreteria	16	399,20
	Tecnico	Divulgazione	36	657,44
	Tecnico	Divulgazione	64	1.604,28
	Tecnico	Divulgazione	26	724,74
<b>Totale</b>				<b>4.044,14</b>

### 2.3.3. Trasferte

Nessuna spesa di trasferta prevista per il CER

Nessuna spesa di trasferta sostenuta per il CRPV

### 2.3.4 Attività di formazione

Non è stata sostenuta l'attività di formazione non essendo stata approvata.

### 2.3.5. 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 1.350,00	Riprese e montaggio video	12.250,00
<b>Totale €</b>				<b>12.250,00</b>

### 3. Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

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

### 4. Altre informazioni

/

## **5. Considerazioni finali**

/

Data 12 novembre 2019

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

dott. Massimiliano Pederzoli

firmato digitalmente



## Allegato 1

### Sommario

Introduzione	4
La metodologia	8
Fabbisogni irrigui e danno da carenza idrica	8
La rete irrigua	9
Modello Idraulico	11
La rete test	14
Elaborazioni preparatorie	15
I parametri idraulici della rete	15
Fabbisogni irrigui colturali e danno per carenza idrica	16
Parametri ulteriori	18
Il modello matematico	20
Obiettivo	20
Flusso in assenza di fabbisogni irrigui	20
Fabbisogni irrigui	22
Flussi con prelievi e manufatto di valle aperto con disponibilità abbondante	22
Fabbisogni irrigui totali superiori alla disponibilità giornaliera	24
Minimizzazione del danno economico totale causato da carenze irrigue (EF)	24
Uguale copertura dei fabbisogni irrigui di tutti gli utenti (UG)	26
Riduzione progressiva della copertura irrigua all'allontanarsi dal punto di immissione in rete (DE)	27
Subordinazione dei prelievi a valle al pieno soddisfacimento di quelli a monte (MO)	28
Confronto tra le allocazioni	31
Conclusioni	35

## Indice delle tabelle

Tab. 1	. La rete test .....	14
Tab. 2	Dati elementari dei canali test .....	14
Tab. 3	Parametri idraulici dei canali test .....	16
Tab. 4	Dati per appezzamento: superfici, colture, fabbisogni irrigui, perdite di produzione e prezzo dei prodotti. 17	
Tab. 5	Superfici, fabbisogni irrigui e danno per canale.....	18
Tab. 6	Flussi senza prelievi e manufatto di valle aperto.....	21
Tab. 7	Flussi con prelievi e manufatto di valle aperto con disponibilità abbondante.....	22
Tab. 8	Risultati per appezzamento con disponibilità abbondante.....	23
Tab. 9	Risultati per appezzamento allocazione di minimo danno totale .....	25
Tab. 10	Flussi allocazione di minimo danno totale .....	25
Tab. 11	Risultati con allocazione di minimo danno totale.....	25
Tab. 12	Risultati per appezzamento allocazione con uguale copertura .....	26
Tab. 13	Flussi allocazione con uguale copertura.....	26
Tab. 14	Risultati con allocazione con uguale copertura .....	27
Tab. 15	Risultati per appezzamento allocazione decrescente.....	27
Tab. 16	Flussi allocazione decrescente.....	28
Tab. 17	Risultati con allocazione decrescente .....	28
Tab. 18	Risultati per appezzamento allocazione prima a monte.....	29
Tab. 19	Flussi allocazione prima a monte .....	29
Tab. 20	Risultati con allocazione prima a monte.....	30
Tab. 21	Comparazione risultati delle allocazioni considerate .....	31

## Indice delle figure

Fig. 1	Il problema analizzato .....	5
Fig. 2	Il sistema considerato .....	5
Fig. 3	Schema di tratto di canale.....	11
Fig. 4	Volume minimo richiesto per prelievo a fini irrigui in un canale a cielo aperto <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>	
Fig. 5	Fabbisogni irrigui e danno per canale.....	18
Fig. 6	Danno evitato totale per allocazione .....	32
Fig. 7	Valore medio del metro cubo di acqua fornito per allocazione.....	32
Fig. 8	Danno totale per allocazione .....	33
Fig. 9	Valore del metro cubo di acqua aggiuntivo per allocazione.....	33
Fig. 10	Rapporto del danno totale con la soluzione efficiente.....	34

## Introduzione

In relazione all'attività svolta al punto 3.1 nell'ambito del progetto PSR: "automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo di fabbisogni delle aziende agricole aderenti a IRRINET" viene qui illustrato il modello predisposto per conseguire l'obiettivo del progetto, individuato nell'aumentare l'efficienza della gestione irrigua consortile, mediante l'automazione di paratoie della rete irrigua consortile che dovranno operare per fornire i volumi idrici richiesti solo quando effettivamente necessari sulla base dei reali usi del suolo e delle agrotecniche adottate a livello aziendale e della loro gestione, delle idro-esigenze colturali, delle caratteristiche della rete.

Il modello è stato prima concettualizzato, questa fase basata su un'analisi del sistema ha permesso di costruire uno schema logico che partendo dai dati disponibili rendesse possibile individuare le componenti e le relazioni esistenti. Successivamente lo schema interpretativo è stato tradotto in un modello quantitativo, basato su tecniche di programmazione matematica, che integra le fonti dati disponibili dimostrandosi capace di produrre informazioni utili al processo decisionale finalizzato alla gestione efficiente della risorsa idrica e alla sostenibilità socio-economica del sistema stesso.

Il sistema comprende due componenti principali e un contorno:

- un sottosistema produttivo agricolo che considera gli usi dei suoli, le tecniche irrigue adottate e la loro gestione; questa componente genera una domanda di acqua che varia nello spazio e nel tempo. La domanda deve, pertanto, essere scomposta nelle unità elementari che la determinano, rappresentate dalle aree servite dalla rete irrigua, aree non omogenee ma caratterizzate da profonde diversità sia negli aspetti ambientali quali i suoli e il clima, che gestionali rappresentati dalle colture e dalle agrotecniche adottate. La scala richiesta al modello agricolo è pertanto quella sub-particellare; a questo livello devono essere forniti sia i volumi irrigui richiesti al campo considerando le agrotecniche utilizzate, sia le perdite di produzione, derivanti da una mancata irrigazione. Ai precedenti dati si aggiungono i prezzi di vendita dei prodotti agricoli che permettono la stima monetaria del danno;
- un sottosistema idraulico, costituito dalla rete di irrigazione interessata descritta nella sua articolazione in canali e manufatti, per ognuno dei quali vanno individuati e quantificati i seguenti aspetti: la tipologia e le caratteristiche costruttive che determinano, tra l'altro, la capacità di invaso, le restituzioni ambientali, che comprendono le perdite per evaporazione e le percolazioni, la portata;
- il contorno comprende tutti gli altri dati che possono influire sulla gestione della rete, quali: disponibilità di acqua alla fonte, fabbisogni esterni, vincoli di diversa natura.



Fig. 1 Il problema analizzato

L'approccio considera le principali componenti dell'utilizzo dell'acqua in agricoltura integrando una gestione efficiente a scala aziendale, espressa dai volumi calcolati da IrriNet, con una gestione efficiente a scala di sub-bacino, considerando gli aspetti idraulici correlati alla fornitura di acqua a fini irrigui in reti composte prevalentemente da canali a cielo aperto, in cui la componente di restituzione ambientale, sotto forma prevalentemente di percolazione, non può essere trascurata. Questo aspetto, spesso erroneamente considerato una perdita o un consumo di risorsa, rappresenta un trasferimento di risorsa dalla superficie alla falda, con benefici effetti per i terreni circostanti, rappresentati non solo da un innalzamento della falda, ma anche dalla diluzione salina ove questa fosse presente, come in vaste zone costiere che soffrono del fenomeno di risalita del cuneo salino.

La Fig. 2 mostra come al sottosistema idraulico, rappresentato da canali, manufatti, sia associato il sistema agricolo produttivo rappresentato dagli appezzamenti di terreno 'ap' di diverso colore ad indicare colture diverse. Proprio la localizzazione dei terreni agricoli e la conseguente associazione ai canali irrigui permette la quantificazione spaziale dei fabbisogni lungo la rete che è un'informazione strategica per una gestione consortile.

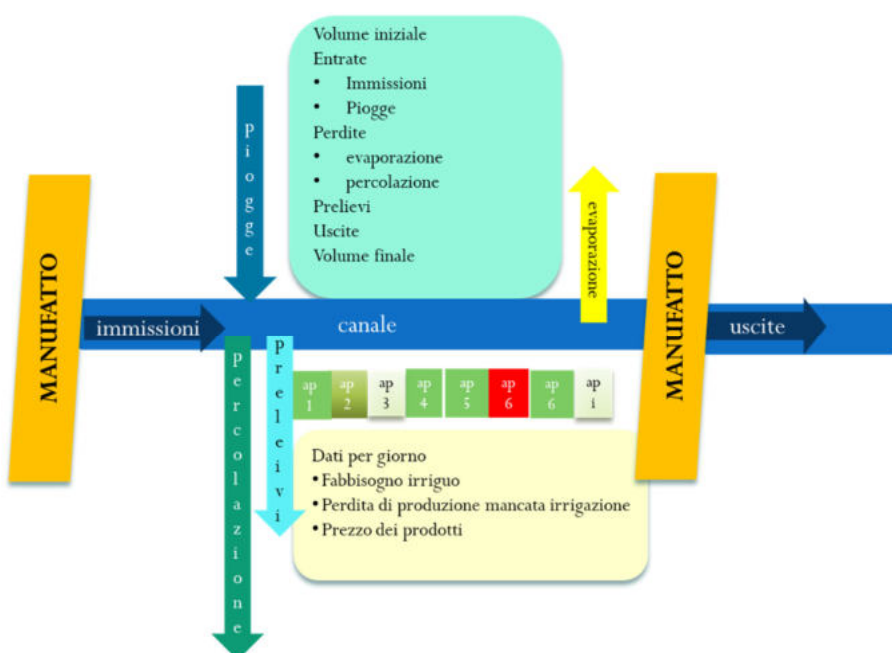


Fig. 2 Il sistema considerato

La conoscenza di *quanto, dove e quando* esiste un fabbisogno idrico rende possibile adottare una gestione della rete capace di rispondere in modo efficace ed efficiente alle esigenze del sistema produttivo. In situazioni normali, quando la risorsa disponibile al Consorzio è sufficiente a soddisfare il fabbisogno idrico delle colture agricole presenti possono essere minimizzati volumi prelevati da fonte esterna. Questo permette inoltre di contenere i costi consortili poiché minori volumi prelevati comportano anche minori spese per la fornitura del servizio irriguo. Lo strumento assume particolare importanza in situazioni di scarsità idrica, quando cioè la disponibilità non è in grado di soddisfare interamente i fabbisogni irrigui; in queste situazioni che si rendono sempre più frequenti a causa del cambiamento climatico in corso, diventa rilevante come viene distribuita l'acqua disponibile. Il Consorzio può, infatti, scegliere tra una pluralità di criteri allocativi che rispondono a criteri idraulici e/o socio-economici. In situazioni di scarsità idrica il modello permette di analizzare le seguenti modalità allocative della risorsa finalizzate a:

- a) la minimizzazione del danno economico totale causato da carenze irrigue
- b) un uguale copertura di tutti gli utenti
- c) la riduzione progressiva della copertura irrigua all'allontanarsi dal punto di immissione in rete
- d) la subordinazione dei prelievi a valle al pieno soddisfacimento di quelli a monte

Il danno causato dalla mancata irrigazione di appezzamenti agricoli assume nei quattro precedenti casi valori che possono essere sensibilmente diversi. La disamina di queste diverse situazioni viene approfondita nella seconda parte con riferimento all'esempio applicativo.

Si può qui rilevare come l'acquisizione di queste informazioni, anche con metodi di simulazione e scenari ipotetici, possa rappresentare un elemento rilevante per calcolare i danni per carenza idrica sostenuti dai singoli agricoltori, e non solo dal settore primario nel suo insieme, con le relative probabilità di accadimento e conseguentemente predisporre strumenti assicurativi capaci di affrontare queste situazioni. L'attivazione di adeguati strumenti assicurativi, in grado di compensare chi subisce danni rappresenta un percorso privilegiato per poter realizzare una gestione della risorsa idrica a scala territoriale che sia improntata alla minimizzazione del danno totale. Escludendo ogni approccio coercitivo, questa soluzione, la migliore dal punto di vista economico, può essere realizzata solo in modo concertato con percorsi condivisi e accettati da tutti i soggetti coinvolti. La garanzia che chi subirà il danno sarà indennizzato rappresenta, pertanto, una condizione indispensabile alla sua realizzazione, che rende possibile il contenimento del danno totale massimizzando il valore della produzione agricola conseguibile. Il metodo qui indicato potrà essere affinato con la considerazione dei mancati costi, che saranno tanto minori quanto più il momento della carenza sarà vicino al momento del raccolto; aspetto questo che non presenta particolari difficoltà operative ma esula dallo scopo del presente lavoro.

L'analisi del sistema richiede per ognuno dei due sottosistemi individuati la raccolta di adeguate informazioni. Il sistema produttivo agricolo viene completamente descritto mediante l'integrazione con il programma IrriNet, il quadro informativo agricolo può essere aggiornato da dati economici sui prezzi di vendita dei prodotti. La rete irrigua dei Consorzi di Bonifica ed Irrigazione dovrebbe trovare completa e piena descrizione nei sistemi informativi geografici GIS esistenti, tuttavia le informazioni richieste non appaiono essere sempre

immediatamente disponibili; questo suggerisce una revisione dei GIS che possa automatizzare lo scambio di dati elementari tra i diversi programmi.

La metodologia è resa operativa mediante appositi algoritmi di calcolo scritti in un linguaggio di programmazione matematica in ambiente GAMS e dalla creazione di un'interfaccia grafica di controllo.

Nella prossima parte viene presentata in maggior dettaglio la metodologia; nella seconda illustrata un'applicazione test, condotta su un tratto di rete teorico costruito per rendere facilmente comprensibili e verificabili i calcoli fatti.

## La metodologia

### Fabbisogni irrigui e danno da carenza idrica

Il modello di calcolo adottato ha tra i dati di input il volume richiesto per ogni tratto di rete dagli utenti del Consorzio. Il dato è ottenuto associando alla rete gli appezzamenti presenti serviti dal Consorzio e calcolando per ognuno il fabbisogno irriguo attraverso il programma IrriNet. Il valore calcolato dovrebbe identificarsi con il volume irriguo ottimale, quello idoneo a soddisfare le esigenze irrigue delle colture effettivamente presenti, considerando la convenienza economica privata all'intervento; che non coincide necessariamente con la massima produzione ottenibile, in quanto i costi privati di irrigazione potrebbero essere maggiori degli incrementi di reddito ottenibili dall'intervento stesso.

Va tenuto presente che non tutte le particelle presenti in un dato territorio sono servite dal Consorzio, e non tutte quelle servite hanno esigenze irrigue. L'esatta individuazione delle superfici irrigate e delle colture effettivamente presenti sono, pertanto, elementi centrali per il calcolo dei fabbisogni irrigui nei tratti di rete, così come aspetti tecnici connessi alle tecniche irrigue adottate e alle perdite di campo aziendali connesse anche alla tipologia di suoli. I precedenti aspetti sono considerati dal programma IrriNet. Vi sono tuttavia aspetti che sfuggono connessi, ad esempio, alla gestione degli impianti irrigui aziendali, quali: irrigazione in presenza o assenza di vento, rispetto dei volumi irrigui e dei tempi consigliati da IrriNet. La modellizzazione di questi ultimi aspetti richiede un fabbisogno informativo che allo stato attuale non può essere acquisito, conseguentemente si assume che i consigli irrigui calcolati da IrriNet siano sempre adottati.

L'interrogazione fatta per singola particella fornisce anche informazioni su: la coltura presente, la superficie coltivata, la tecnica irrigua adottata e se introdotto il prezzo di vendita del prodotto

L'attuale versione permette di considerare un giorno per volta. Quest'aspetto richiede un'adeguata riflessione e introduce problematiche sia nella stima delle idro-esigenze, che nella gestione della rete. Un orizzonte temporale che vada oltre quello attuale sarebbe sicuramente auspicabile, ma si scontra con una complessità che non è possibile risolvere stante l'attuale base informativa; sfuggono infatti al controllo comportamenti degli utenti che possono modificare sensibilmente i volumi stimati, ad esempio prelievi fatti in assenza di fabbisogno delle colture per riempire invasi aziendali (maceri e laghetti), o non fatti perché sostituiti da prelievi da fonti aziendali esistenti.

Un ulteriore dato che IrriNet fornisce al modello è l'impatto della mancata irrigazione sulla produzione. Il valore fornito è la perdita di produzione espressa come quantità. Questo dato deve essere convertito in un valore monetario, espresso in euro, che quantifichi il danno economico derivante dalla mancata irrigazione. A tal fine viene introdotto il prezzo di vendita dei prodotti. Il ricorso alla valuta rende possibile confrontare colture diverse e rende possibile considerare criteri economici nell'allocazione della risorsa idrica in situazioni di scarsità. Qualora IrriNet non fornisca il prezzo di vendita, tale dato deve essere introdotto in modo autonomo mediante un archivio appositamente predisposto. I prezzi presentano sensibili oscillazioni nel tempo e nello spazio che quasi mai sono correttamente anticipate dalla stima di un unico prezzo stimato all'inizio della stagione irrigua. La possibilità data all'utente di aggiornare i prezzi dei prodotti introduce un elemento di



flessibilità che permette di riprodurre più fedelmente le situazioni esistenti. La metodologia proposta risponde efficacemente all'obiettivo di contenere il danno economico totale rappresentato dal valore delle produzioni agricole perse. La considerazione dei costi futuri evitati potrà essere introdotta come opzione qualora si accerti che i dati richiesti alla loro quantificazione siano effettivamente disponibili.

La seguente tabella sintetizza come sono considerati diversi fattori rilevanti per la stima dei fabbisogni irrigui e dei danni da carenza idrica:

Aspetto	Considerazione	Affidabilità del dato	Impatto sulle stime del modello
l'uso dei suoli	colture praticate	ottima	Ottimo
gli aspetti climatici	considerati per macro-aree	adeguata	Adeguato
le caratteristiche dei suoli;	considerate per macro-aree	adeguata	Adeguato
la tecnica di irrigazione adottata	considerata da IrriNet	adeguata	Adeguato
la gestione irrigua aziendale	non considerata	nulla	Forte criticità
la presenza di fonti alternative ed il loro utilizzo (pozzi ed invasi)	non considerata	nulla	Forte criticità
le perdite di produzione	stimate con IrriNet	adeguata	Adeguato
i prezzi delle produzioni	forniti da IrriNet/ dal Consorzio	buona	Buona

### La rete irrigua

La rete irrigua di un Consorzio di Bonifica ed irrigazione è un sistema complesso, che schematicamente in generale si compone di:

- punti di presa, ossia di punti in cui l'acqua viene prelevata da una fonte esterna al Consorzio e immessa nella rete irrigua tramite pompaggio. I punti di presa possono essere posti su aste fluviali, è questa la situazione del Consorzio di Bonifica di Piacenza nel distretto Villano che preleva dal fiume Trebbia, alimentato anche tramite i rilasci operati dalla diga del Brugneto; o su canali artificiali, quale il Canale Emiliano Romagnolo, come accade nel Comprensorio irriguo del Consorzio di Bonifica della Renana a Bologna;
- manufatti di distribuzione di diversa tipologia; due sono quelle principali rappresentate da canali a cielo aperto e condotte in pressione;
- i primi, scavati nel terreno e diversamente impermeabilizzati, si caratterizzano per una distribuzione a gravità in cui l'acqua fluisce da punti più alti a punti più bassi, avendo sempre una superficie esposta all'atmosfera con la quale intrattengono scambi per fenomeni di evaporazione, e le altre a contatto con il suolo nel quale rilasciano per percolazione quantità diverse dei volumi immessi in funzioni di diversi parametri, tra cui assumono particolare importanza: il substrato, l'impermeabilizzazione, il volume presente e il tempo di giacenza;

- le seconde, sono manufatti chiusi che isolando maggiormente la risorsa idrica dall'ambiente circostante riducono le perdite e consentono un flusso in pressione che aumenta la velocità di trasferimento garantendo importanti volumi trasferiti con sezioni minori.
- ripartitori che distribuiscono l'acqua in arrivo da una condotta a più condotte generalmente più piccole, spesso controllati da paratoie.
- punti finali o uscite dove possono trovare collocazione impianti di sollevamento per permettere l'allontanamento delle acque non utilizzate quando la quota finale della rete è inferiore al livello richiesto a consentire lo sgrondo gravitazionale.

Le reti a cielo aperto presentano inoltre manufatti finalizzati al controllo del flusso di acqua. Travate e paratoie rispondono entrambe a questa finalità con un'importanti differenze:

- le travate, costituite spesso da assi di legno, sono strutture mobili a gestione manuale; vengono inserite quando richiesto nell'asta fluviale per trattenere l'acqua a monte, innalzare il livello e creare le condizioni idonee al prelievo irriguo aziendale e successivamente tolte per ripristinare il flusso. Non sono meccanizzabili;
- le paratoie sono invece manufatti permanenti meccanizzati generalmente a regolazione manuale che permettono di regolare il deflusso a valle e l'invasamento a monte. Possono essere automatizzate.

Oltre ai parametri idraulici e alle prestazioni offerte anche i costi di costruzione e di mantenimento di questi manufatti sono profondamente diversi come specifiche analisi hanno evidenziato.

La rete a cielo aperto è caratterizzata da una minor efficienza, espressa dal rapporto volumi utilizzati a fini irrigui / volumi immessi, rispetto alle condotte in pressione ed è pertanto su questa tipologia di rete è possibile ed opportuno operare per aumentare l'efficienza della gestione irrigua consortile.

Va ricordato che la rete irrigua a cielo aperto svolge, spesso, anche la funzione di scolo consentendo l'allontanamento delle acque piovane, azione che rientra nei compiti di bonifica svolti dal Consorzio. Questa funzione si intreccia con il servizio irriguo e può determinare la necessità di svuotare la rete dai volumi invasati per permettere la raccolta e il deflusso delle acque meteoriche. Le reti a cielo aperto sono, inoltre, recettori di scarichi di acque diverse in particolare nel periodo autunno invernale. Questo rende quasi sempre necessario immettere nei canali volumi di acqua all'inizio della stagione irrigua per garantire la pulizia della rete e un regolare svolgimento del servizio irriguo.

La rete a cielo aperto è pertanto un insieme di manufatti che consentono di regolare il flusso di acqua che dipende dalla pendenza, generalmente molto bassa, dell'ordine dell'uno per mille. Una rappresentazione schematica è riportata in Fig. 3. Una condotta di distribuzione, può essere visualizzata come una sequenza di canali tra loro dipendenti, in quanto ogni tratto riceve l'acqua da quello precedente e ne cede a quello successivo. I flussi in entrata ed uscita possono essere regolati da manufatti che possono essere chiusi consentendo una disponibilità di acqua al territorio servito.

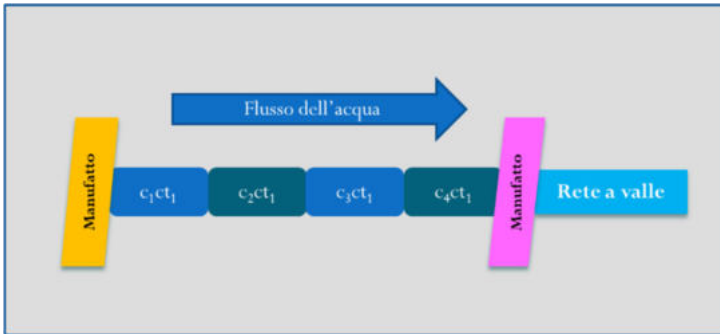


Fig. 3 Schema di tratto di canale

### Modello Idraulico

Il modello idraulico utilizza una procedura di ottimizzazione che persegue due obiettivi da minimizzazione: il danno e il volume di risorsa idrica immesso in rete. Le condizioni meteo sono imposte al sistema attraverso la determinazione del fabbisogno irriguo, mentre il volume immesso è limitato dalla disponibilità in alveo ovvero dai parametri della concessione al prelievo. In aggiunta il sistema tiene conto del vincolo tecnologico che limita

la possibilità di prelievo dal canale al permanere di un tirante minimo. Le variabili di controllo si riducono al volume immesso e al grado di apertura delle paratoie.

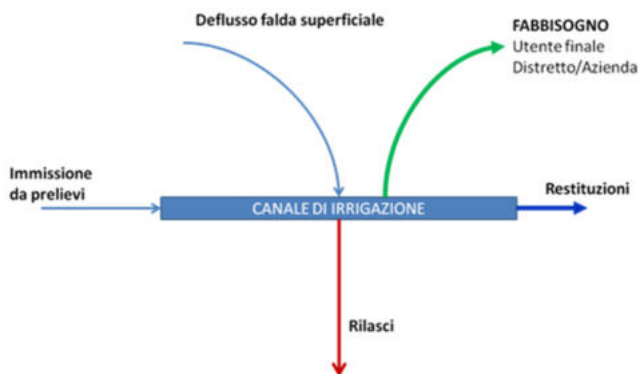


Figura 4 – Schema cella elementare per il calcolo per il calcolo del bilancio idrico

La necessità di rendere il modello applicabile e operativo a larga scala richiede una formulazione matematica sufficientemente semplice adattabile ai dati effettivamente disponibili. In particolare, la rete dei canali è suddivisa in celle elementari di calcolo il cui schema è riportato nella Figura 4.

La schematizzazione di un canale è quindi costituita da una successione di celle elementari di calcolo in cui la restituzione verso valle costituisce l'alimentazione della cella posta più a valle. Per la cella di Figura :

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_e(t) - Q_v(t) - \sum_i D_{u,i} - \sum_j S_j \cdot q_{r,j} \quad (1)$$

In cui  $A(h)$  è la superficie del pelo libero nella cella in si evidenzia la sua dipendenza dal tirante idrico  $h$ . Mentre  $Q_e$ , e  $Q_v$  sono rispettivamente la portata entrante e la portata uscente dalla cella;  $D_{u,i}$  è la domanda complessiva dell'appezzamento  $i$ -esimo e  $q_{r,j}$  è la portata per unitaria di infiltrazione per il tratto  $j$ -esimo e  $S_j$  è la superficie laterale bagnata nel tratto  $j$ -esimo. Si assume che tra i due elementi contigui possa esserci un

trasferimento di portata da calcolare con le classiche formule di moto permanente come ad esempi la formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = k_s \cdot A(h) \cdot [R_H(h)]^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{j} \quad (2)$$

Dove  $k_s$  è il coefficiente di Gauckler-Strickler,  $A$  è l'area della sezione trasversale bagnata,  $R_H$  è il raggio idraulico, mentre  $J$  è la dissipazione di energia per unità di lunghezza.

Nel caso in cui sia presente una paratoia, l'equazione (2) deve essere sostituita con l'equazione che descrive il manufatto, che in generale è una funzione del tirante idrico ( $h$ ), delle dimensioni geometriche ( $d$ ) della paratoia, e del grado di apertura ( $\gamma$ ):

$$Q = f(h, d, \gamma) \quad (3)$$

Ai fini della compilazione del bilancio idrico, l'apporto verso la falda superficiale è, in questa prima fase, ottenuto attraverso l'uso dei dati sperimentali rilevati nel corso campagne di sperimentazione ad hoc svolte all'interno del progetto ovvero da campagne precedenti. La componente di apporto di deflusso superficiale e dalla falda viene in questa fase trascurato così come la componente di evaporazione diretta dallo specchio d'acqua. Sono è altresì trascurata la componente di evapotraspirazione per la vegetazione in alveo e sulle pertinenze non agricole del canale. Va notato che la conoscenza del rilascio in falda, permette di dare una prima stima, con la sola equazione di bilancio, ai volumi restituiti al reticolo naturale così come richiesto dal DM del MIPAAF (2015).

## La rete test

La rete considerata comprende 4 canali (indicati con gli indici 'c' e 'c\_a'), identificati dai numeri da 1 a 4, tutti a cielo aperto, di forma trapezoidale, disposti in linea; di un manufatto all'inizio del canale 1 che permette le immissioni in rete da fonte esterna 'E'; di un manufatto collocato al termine, ossia alla fine del canale 4 che regola le uscite, (U) dalla rete. Si assume infatti che a valle del canale 4 la rete prosegua, ma tale parte non viene considerata. La Tab. 1 illustra le relazioni tra i canali.

c	c_a
E	1
1	2
2	3
3	4
4	U

Tab. 1 . La rete test

I valori dei parametri che descrivono i canali usati nel test sono riportati in Tab. 2

c	ct	Geometria	Lu	i	L	H	gradi	ang_oriz	coef_rest	coef_k	quota_ini	quota_fin
1	1	trap	100.00	0.00	1.00	1.50	30.00	60.00	0.34	40.00	32.30	
2	1	trap	100.00	0.00	1.00	1.50	30.00	60.00	0.34	40.00		
3	1	trap	100.00	0.00	1.00	1.50	30.00	60.00	0.34	40.00		
4	1	trap	100.00	0.00	1.00	1.40	25.00	65.00	0.34	40.00		31.90

Tab. 2 Dati elementari dei canali test

## Elaborazioni preparatorie

### I parametri idraulici della rete

La pendenza dei canali, in assenza di corrette informazioni specifiche per canale, viene calcolata dal programma come valore medio sulla base delle quote iniziali e finali; nel test è pari a 0.001.

Per quanto riguarda la lunghezza ogni canale viene automaticamente diviso in tratti uguali, con valori quanto più prossimi ai 100 metri. Ad esempio, un canale di 309 metri, viene diviso in 3 tratti di 103 metri ciascuno. Nel test ogni canale ha un solo tratto della stessa lunghezza del canale, di lunghezza pari a 100 m per semplificare la verifica dei calcoli effettuati.

L'altezza del tirante in un canale può variare tra zero (canale vuoto) e l'altezza massima invasabile (canale pieno), assumendo ogni valore intermedio. Il modello discretizza questo parametro continuo, creando in modo automatico un numero di livelli (l) pari al tirante massimo diviso un valore definito passo di variazione dell'altezza, di default pari a 10 cm ma modificabile dall'utente. Nel test si adotta un passo di 1 cm; i canali 1, 2, 3 che hanno un'altezza di 1,5 m vengono divisi in 150 tratti, indicati con la lettera 'l' associata ad un numero progressivo che fa riferimento all'altezza, a cui si aggiunge il livello canale vuoto, indicato da 'l\_0'; il canale 4 in 140 tratti essendo alto 1,4 m, più il livello vuoto.

Il programma partendo dai precedenti dati forniti dal CB calcola i parametri idraulici per tutti i canali e livelli individuati. I parametri considerati e le relative formule di calcolo utilizzate per canali trapezoidali isosceli, come quelli del test, sono le seguenti:

• radianti	=	$(90\text{-gradi})/57,295779$	angolo del lato	[radianti]
• tg	=	$\text{Sin}(\text{radianti})/\text{Cos}(\text{radianti})$	tangente del lato	[n]
• ld	=	$H/\text{Cos}(\text{radianti})$	lunghezza lato diagonale	[m]
• sb	=	$H*\text{tg}$	sbalzo	[m]
• L	=	$L_0+sb*2$	larghezza al pelo libero	[m]
• Area	=	$(L+sb)*H$	area della sezione	[m <sup>2</sup> ]
• Volume	=	$\text{Area}*L_u$	volume	[m <sup>3</sup> ]
• Cb	=	$L_0+ld*2$	contorno bagnato	[m]
• R	=	$\text{Area}/\text{Cb}$	raggio idraulico	[m]
• V_s	=	$\text{coef\_k} * R^{2/3} * i^{1/2}$	velocità	[m/s]
• Q_s	=	$V_s*\text{Area}$	portata al secondo	[m <sup>3</sup> /s]
• Q_g	=	$Q_s*60*60*24$	portata giornaliera	[m <sup>3</sup> /g]
• Rest	=	$\text{Cb}*L_u*\text{coef\_rest}$	restituzioni	[m <sup>3</sup> /g]

La Tab. 3 riporta i valori calcolati per diversi livelli (l) del primo canale ed alcuni per gli altri.

c	ct	l	Lu	i	L	H	gradi	radianti	tg	ld	sb	s	Area	Ch	R	Volume	Cb*Lu	coef_rest	rest_g	coef_k	V_s	Q_s	Q_g	quota_ini	quota_fin	liv
1	1	l_0	100.000		1.00																			32.30	32.20	
1	1	l_1	100.000	0.001	1.01	0.01	30.00	0.52	0.58	0.01	0.01	1.73	0.01	1.02	0.01	1.01	102.31	0.34	34.95	40.00	0.06	0.00	50.44	32.30	32.20	1.00
1	1	l_2	100.000	0.001	1.02	0.02	30.00	0.52	0.58	0.02	0.01	1.73	0.02	1.05	0.02	2.02	104.62	0.34	35.74	40.00	0.09	0.00	159.29	32.30	32.20	1.00
1	1	l_3	100.000	0.001	1.03	0.03	30.00	0.52	0.58	0.03	0.02	1.73	0.03	1.07	0.03	3.05	106.93	0.34	36.53	40.00	0.12	0.00	311.51	32.30	32.20	1.00
1	1	l_4	100.000	0.001	1.05	0.04	30.00	0.52	0.58	0.05	0.02	1.73	0.04	1.09	0.04	4.09	109.24	0.34	37.32	40.00	0.14	0.01	500.75	32.30	32.20	1.00
1	1	l_5	100.000	0.001	1.06	0.05	30.00	0.52	0.58	0.06	0.03	1.73	0.05	1.12	0.05	5.14	111.55	0.34	38.10	40.00	0.16	0.01	723.02	32.30	32.20	1.00
1	1	l_6	100.000	0.001	1.07	0.06	30.00	0.52	0.58	0.07	0.03	1.73	0.06	1.14	0.05	6.21	113.86	0.34	38.89	40.00	0.18	0.01	975.52	32.30	32.20	1.00
1	1	l_7	100.000	0.001	1.08	0.07	30.00	0.52	0.58	0.08	0.04	1.73	0.07	1.16	0.06	7.28	116.17	0.34	39.68	40.00	0.20	0.01	1256.11	32.30	32.20	1.00
1	1	l_8	100.000	0.001	1.09	0.08	30.00	0.52	0.58	0.09	0.05	1.73	0.08	1.18	0.07	8.37	118.48	0.34	40.47	40.00	0.22	0.02	1563.11	32.30	32.20	1.00
1	1	l_9	100.000	0.001	1.10	0.09	30.00	0.52	0.58	0.10	0.05	1.73	0.09	1.21	0.08	9.47	120.78	0.34	41.26	40.00	0.23	0.02	1895.12	32.30	32.20	1.00
1	1	l_10	100.000	0.001	1.12	0.10	30.00	0.52	0.58	0.12	0.06	1.73	0.11	1.23	0.09	10.58	123.09	0.34	42.05	40.00	0.25	0.03	2251.01	32.30	32.20	1.00
1	1	l_11	100.000	0.001	1.13	0.11	30.00	0.52	0.58	0.13	0.06	1.73	0.12	1.25	0.09	11.70	125.40	0.34	42.84	40.00	0.26	0.03	2629.81	32.30	32.20	1.00
1	1	l_12	100.000	0.001	1.14	0.12	30.00	0.52	0.58	0.14	0.07	1.73	0.13	1.28	0.10	12.83	127.71	0.34	43.63	40.00	0.27	0.04	3030.68	32.30	32.20	1.00
1	1	l_13	100.000	0.001	1.15	0.13	30.00	0.52	0.58	0.15	0.08	1.73	0.14	1.30	0.11	13.98	130.02	0.34	44.42	40.00	0.29	0.04	3452.91	32.30	32.20	1.00
1	1	l_14	100.000	0.001	1.16	0.14	30.00	0.52	0.58	0.16	0.08	1.73	0.15	1.32	0.11	15.13	132.33	0.34	45.20	40.00	0.30	0.05	3895.89	32.30	32.20	1.00
1	1	l_15	100.000	0.001	1.17	0.15	30.00	0.52	0.58	0.17	0.09	1.73	0.16	1.35	0.12	16.30	134.64	0.34	45.99	40.00	0.31	0.05	4359.05	32.30	32.20	1.00
1	1	l_16	100.000	0.001	1.18	0.16	30.00	0.52	0.58	0.18	0.09	1.73	0.17	1.37	0.13	17.48	136.95	0.34	46.78	40.00	0.32	0.06	4841.93	32.30	32.20	1.00
1	1	l_17	100.000	0.001	1.20	0.17	30.00	0.52	0.58	0.20	0.10	1.73	0.19	1.39	0.13	18.67	139.26	0.34	47.57	40.00	0.33	0.06	5344.09	32.30	32.20	1.00
1	1	l_18	100.000	0.001	1.21	0.18	30.00	0.52	0.58	0.21	0.10	1.73	0.20	1.42	0.14	19.87	141.57	0.34	48.36	40.00	0.34	0.07	5865.16	32.30	32.20	1.00
1	1	l_19	100.000	0.001	1.22	0.19	30.00	0.52	0.58	0.22	0.11	1.73	0.21	1.44	0.15	21.08	143.88	0.34	49.15	40.00	0.35	0.07	6404.81	32.30	32.20	1.00
1	1	l_20	100.000	0.001	1.23	0.20	30.00	0.52	0.58	0.23	0.12	1.73	0.22	1.46	0.15	22.31	146.19	0.34	49.94	40.00	0.36	0.08	6962.72	32.30	32.20	1.00
1	1	l_21	100.000	0.001	1.24	0.21	30.00	0.52	0.58	0.24	0.12	1.73	0.24	1.48	0.16	23.55	148.50	0.34	50.73	40.00	0.37	0.09	7538.64	32.30	32.20	1.00
1	1	l_22	100.000	0.001	1.25	0.22	30.00	0.52	0.58	0.25	0.13	1.73	0.25	1.51	0.16	24.79	150.81	0.34	51.52	40.00	0.38	0.09	8132.33	32.30	32.20	1.00
1	1	l_23	100.000	0.001	1.27	0.23	30.00	0.52	0.58	0.27	0.13	1.73	0.26	1.53	0.17	26.05	153.12	0.34	52.30	40.00	0.39	0.10	8743.57	32.30	32.20	1.00
1	1	l_24	100.000	0.001	1.28	0.24	30.00	0.52	0.58	0.28	0.14	1.73	0.27	1.55	0.18	27.33	155.43	0.34	53.09	40.00	0.40	0.11	9372.16	32.30	32.20	1.00
1	1	l_25	100.000	0.001	1.29	0.25	30.00	0.52	0.58	0.29	0.14	1.73	0.29	1.58	0.18	28.61	157.74	0.34	53.88	40.00	0.41	0.12	10017.94	32.30	32.20	1.00
1	1	l_26	100.000	0.001	1.30	0.26	30.00	0.52	0.58	0.30	0.15	1.73	0.30	1.60	0.19	29.90	160.04	0.34	54.67	40.00	0.41	0.12	10680.75	32.30	32.20	1.00
1	1	l_27	100.000	0.001	1.31	0.27	30.00	0.52	0.58	0.31	0.16	1.73	0.31	1.62	0.19	31.21	162.35	0.34	55.46	40.00	0.42	0.13	11360.46	32.30	32.20	1.00
1	1	l_28	100.000	0.001	1.32	0.28	30.00	0.52	0.58	0.32	0.16	1.73	0.33	1.65	0.20	32.53	164.66	0.34	56.25	40.00	0.43	0.14	12056.92	32.30	32.20	1.00
1	1	l_29	100.000	0.001	1.33	0.29	30.00	0.52	0.58	0.33	0.17	1.73	0.34	1.67	0.20	33.86	166.97	0.34	57.04	40.00	0.44	0.15	12770.05	32.30	32.20	1.00
1	1	l_30	100.000	0.001	1.35	0.30	30.00	0.52	0.58	0.35	0.17	1.73	0.35	1.69	0.21	35.20	169.28	0.34	57.83	40.00	0.44	0.16	13499.73	32.30	32.20	1.00
1	1	l_31	100.000	0.001	1.36	0.31	30.00	0.52	0.58	0.36	0.18	1.73	0.37	1.72	0.21	36.55	171.59	0.34	58.62	40.00	0.45	0.16	14245.88	32.30	32.20	1.00
1	1	l_32	100.000	0.001	1.37	0.32	30.00	0.52	0.58	0.37	0.18	1.73	0.38	1.74	0.22	37.91	173.90	0.34	59.40	40.00	0.46	0.17	15008.42	32.30	32.20	1.00
1	1	l_33	100.000	0.001	1.38	0.33	30.00	0.52	0.58	0.38	0.19	1.73	0.39	1.76	0.22	39.29	176.21	0.34	60.19	40.00	0.47	0.18	15787.28	32.30	32.20	1.00
1	1	l_34	100.000	0.001	1.39	0.34	30.00	0.52	0.58	0.39	0.20	1.73	0.41	1.79	0.23	40.67	178.52	0.34	60.98	40.00	0.47	0.19	16582.41	32.30	32.20	1.00
1	1	l_35	100.000	0.001	1.40	0.35	30.00	0.52	0.58	0.40	0.20	1.73	0.42	1.81	0.23	42.07	180.83	0.34	61.77	40.00	0.48	0.20	17393.74	32.30	32.20	1.00
1	1	l_36	100.000	0.001	1.42	0.36	30.00	0.52	0.58	0.42	0.21	1.73	0.43	1.83	0.24	43.48	183.14	0.34	62.56	40.00	0.49	0.21	18221.22	32.30	32.20	1.00
1	1	l_37	100.000	0.001	1.43	0.37	30.00	0.52	0.58	0.43	0.21	1.73	0.45	1.85	0.24	44.90	185.45	0.34	63.35	40.00	0.49	0.22	19064.84	32.30	32.20	1.00
1	1	l_38	100.000	0.001	1.44	0.38	30.00	0.52	0.58	0.44	0.22	1.73	0.46	1.88	0.25	46.34	187.76	0.34	64.14	40.00	0.50	0.23	19924.53	32.30	32.20	1.00
1	1	l_39	100.000	0.001	1.45	0.39	30.00	0.52	0.58	0.45	0.23	1.73	0.48	1.90	0.25	47.78	190.07	0.34	64.93	40.00	0.50	0.24	20800.29	32.30	32.20	1.00
1	1	l_40	100.000	0.001	1.46	0.40	30.00	0.52	0.58	0.46	0.23	1.73	0.49	1.92	0.26	49.24	192.38	0.34	65.72	40.00	0.51	0.25	21692.08	32.30	32.20	1.00
1	1	l_150	100.000	0.001	2.73	1.50	30.00	0.52	0.58	1.73	0.87	1.73	2.80	4.46	0.63	279.90	446.41	0.34	152.49	40.00	0.93	2.59	224095.11	32.30	32.20	1.00
2	1	l_0	100.000		1.00																			32.20	32.10	
2	1	l_1	100.000	0.001	1.01	0.01	30.00	0.52	0.58	0.01	0.01	1.73	0.01	1.02	0.01	1.01	102.31	0.34	34.95	40.00	0.06	0.00	50.44	32.20	32.10	2.00
2	1	l_150	100.000	0.001	2.73	1.50	30.00	0.52	0.58	1.73	0.87	1.73	2.80	4.46	0.63	279.90	446.41	0.34	152.49	40.00	0.93	2.59	224095.11	32.20	32.10	2.00
3	1	l_0	100.000		1.00																			32.10	32.00	
3	1	l_1	100.000	0.001	1.01	0.01	30.00	0.52	0.58	0.01	0.01	1.73	0.01	1.02	0.01	1.01	102.31	0.34	34.95	40.00	0.06	0.00	50.44	32.10	32.00	3.00
3	1	l_150	100.000	0.001	2.73	1.50	30.00	0.52	0.58	1.73	0.87	1.73	2.80	4.46	0.63	279.90	446.41	0.34	152.49	40.00	0.93	2.59	224095.11	32.10	32.00	3.00
4	1	l_0	100.000		1.00																			32.00	31.90	
4	1	l_1																								



ALBICOCCO  
 MELO  
 PERO  
 PESCO  
 SUSINO  
 VITE

La quantificazione dei fabbisogni irrigui colturali giornalieri viene fatta per appezzamento, considerando le colture effettivamente presenti attraverso il programma IrriNet. Il test viene effettuato con riferimento al 09 luglio del 2018, il 190 giorno dell'anno.

Una serie di interrogazioni effettuate in automatico, una per ogni appezzamento, permette la quantificazione dei fabbisogni irrigui (espressi in m<sup>3</sup>/g), parametro 'fabbisogno\_pa', e delle perdite di produzione che si avrebbero qualora il volume indicato non venisse fornito (colonna 'Prod' espresse in q di Tab. 4).

I prezzi non forniti da IrriNet sono introdotti in modo autonomo sulla base di valori medi di mercato nell'area di studio nel periodo considerato.

			Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Danno ma. (E)	Danno u. (E/m3)
			190	190	190	190	190	190
c	ct	pa	co					
1	1	36748	MELO	0.11	3.76	61.10	39	5.87
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.69	17.10	290	0.93
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.92	84.00	171	6.85
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.14	64.20	50	7.91
1	1	36757	MELO	0.41	21.56	61.10	146	9.03
1	1	36759	PESCO	1.81	88.76	51.10	644	7.04
1	1	36762	PESCO	0.46	22.56	51.10	164	7.04
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.90	17.10	54	0.93
2	1	37130	PESCO	0.14	6.87	51.10	50	7.04
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.14	17.10	58	0.93
2	1	37533	VITE	0.59	36.06	40.20	263	5.52
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.36	17.10	506	0.55
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.30	610.74	17.10	14117	0.74
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.02	299.49	8.00	1447	1.66
3	1	36749	PERO	0.38	18.01	85.20	135	11.34
3	1	36753	PERO	0.91	43.13	85.20	324	11.34
3	1	36758	PERO	2.39	113.29	85.20	851	11.34
3	1	45631	VITE	0.98	59.90	40.20	436	5.52
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.43	330.04	8.00	1595	1.66
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	3.22	239.89	8.00	1159	1.66

Tab. 4 Dati per appezzamento: superfici, colture, fabbisogni irrigui, perdite di produzione e prezzo dei prodotti.

Il modello calcola per ogni appezzamento il danno imputabile alla mancata irrigazione sull'intera superficie, colonna 'Danno ma', moltiplicando la quantità di produzione persa (colonna Prod) per il prezzo di vendita (colonna Prezzo). Il danno rappresenta quindi il minor incasso dovuto alla mancata irrigazione, parametro 'danno\_pa'.

Viene inoltre stimato il danno per metro cubo di acqua, ottenuto dividendo il danno totale per il fabbisogno; il valore è riportato nell'ultima colonna 'Danno u.' Questo parametro esprime l'utilità marginale dell'irrigazione e viene utilizzato in situazioni di scarsità idrica come parametro di riferimento per trovare l'allocazione che minimizza il danno totale (allocazione efficiente). I valori presentano una grande variabilità e vanno da un minimo di 0,55 Euro/m<sup>3</sup> per il 'MAIS MEDIO', ad un massimo di 11,34 Euro/m<sup>3</sup> per il 'PERO'.

I precedenti dati sono riassunti per canale e distretto in Tab. 5. La superficie totale con fabbisogni irrigui è di 49,5 Ha. Il fabbisogno irriguo complessivo di tutti gli appezzamenti è pari a 22498 m<sup>3</sup>. Il fabbisogno medio unitario è pari a 454 m<sup>3</sup>/Ha. Il danno totale di 45920 Euro, concentrato nel terzo (43,36%) e nel secondo canale (32,72%), ha un valore medio unitario di 2 Euro/m<sup>3</sup>.

La Tab. 5 evidenzia come il 67% della superficie e il 73% circa del fabbisogno sia concentrato nel secondo canale dove si concentra solo il 33% del danno totale e presenta i minimi valori di danno unitario (0.91 Euro m<sup>3</sup>).

c	Superficie		Fabbisogno irriguo		Danno		
	Ha	%	m <sup>3</sup>	%	Euro	%	Euro/m <sup>3</sup>
1	4.06	8.20	1504	6.68	9068	19.75	6.03
2	33.14	66.94	16494	73.31	15023	32.72	0.91
3	9.09	18.36	3341	14.85	19910	43.36	5.96
4	3.22	6.50	1159	5.15	1919	4.18	1.66
<b>Totale</b>	<b>49.51</b>	<b>100.00</b>	<b>22498</b>	<b>100.00</b>	<b>45920</b>	<b>100.00</b>	<b>2.04</b>

Tab. 5 Superfici, fabbisogni irrigui e danno per canale

La Fig. 4 mostra in blu i fabbisogni e in rosso il danno per canale, il cui indice è riportato sull'asse orizzontale.

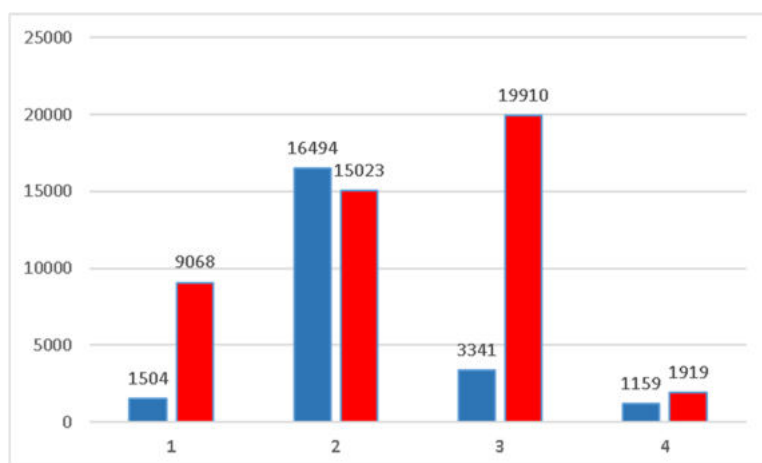


Fig. 4 Fabbisogni irrigui e danno per canale

L'immagine evidenzia bene la situazione descritta, quanto maggiore la differenza tra il valore del danno e il valore del fabbisogno, tanto maggiore è il valore unitario del metro cubo di acqua, situazione che si ritrova nei canali 1 e 3.

La distribuzione del fabbisogno irriguo e del danno da mancata irrigazione determina risultati diversi in termini assoluti e distributivi in relazione alle modalità di allocazione della risorsa in situazioni di scarsità. Questi aspetti sono oggetto delle successive analisi svolte con il modello.

### Parametri ulteriori

Un dato che deve essere fornito prima di ogni elaborazione è il volume giornaliero disponibile al consorzio, che rappresenta il volume che può essere prelevato e immesso in rete. Tale valore rappresenta il massimo

volume utilizzabile nel giorno considerato e viene individuato dai diritti di prelievo del Consorzio. Il valore è memorizzato nel parametro “**volmaxpre\_g**”.

Deve essere definita l'altezza minima del tirante che rende possibile il prelievo irriguo per gli utilizzatori finali, definita tirante irriguo minimo. Questo parametro dipende dalle modalità con cui avvengono i prelievi dal canale degli agricoltori, che generalmente si avvalgono di un pescante posto nel canale associato ad una moto-pompa. Tale altezza di default e nel test è posta pari a 20 cm. Il valore è memorizzato nel parametro ‘**h\_min\_pre**’.

Il modello permette di quantificare il volume presente nei canali ‘VIN’ prima di eventuali immissioni in rete, a tal fine l'utente deve indicare l'altezza media del canale. Il volume, definito iniziale, viene calcolato sulla base della Tab. 3 con le modalità di seguito indicate. Data l'altezza indicata, viene prima di tutto viene individuato il livello corrispondente, ad esempio a un'altezza ‘H’ di 0,24 m, ossia 24 cm, corrisponde il livello ‘1\_24’. Successivamente viene letto il valore della colonna ‘Volume’ nella Tab. 3 nella riga individuata dal livello che identifica il tirante del tratto, e salvato nel parametro ‘**v\_ini\_ct**’.

Un ulteriore dato che può essere considerato è relativo al ruscellamento, ossia alla quantità di acqua che può entrare nei canali indipendentemente dall'azione del Consorzio, ad esempio a seguito di eventi meteorici. Questo parametro nel test è stato posto pari a zero, che rappresenta una situazione di assenza di eventi meteorici.

## Il modello matematico

In questa sezione viene illustrata la modellizzazione adottata, la completa formalizzazione matematica del modello è riportata nell'appendice denominata ReteBluEquazioniFinale.pdf.

Il modello quantifica per ogni tratto di canale e in tutta la rete:

- il volume iniziale e quello finale
- le restituzioni
- i prelievi irrigui
- le entrate e le uscite
- il tirante

Poiché IrriNet rende disponibili i dati sui prelievi per giorno, senza fornire informazioni su quando essi avvengono, ogni passaggio ad una scala temporale minore richiede ipotesi sulla distribuzione dei prelievi nella giornata che in questa fase si è ritenuto opportuno non introdurre.

Il modello comprende un blocco di equazioni sempre presenti; altre equazioni rispondono, invece, a specifiche applicazioni connesse alle regole allocative adottate o alla presenza o meno di manufatti. La numerazione che precede la descrizione permette di individuare nell'allegato la corrispondente equazione.

### Obiettivo

Obiettivo del modello è l'individuazione di una gestione efficiente della risorsa idrica, basata sulla quantificazione dei fabbisogni per tratto di canale che permetta la regolazione di manufatti idraulici finalizzata al risparmio idrico e alla copertura dei fabbisogni irrigui degli utenti.

L'obiettivo viene quantificato da un'apposita equazione definita

1. Funzione obiettivo, che comprende diverse voci, tra cui il prelievo giornaliero totale del Consorzio e il danno totale per carenza irrigua sofferto dagli appezzamenti serviti; alle precedenti voci viene assegnato un peso diverso. La funzione considera anche altre componenti che verranno spiegate successivamente.

Il valore dell'obiettivo 'OB' deve essere minimizzato.

In situazioni di abbondante disponibilità di risorsa idrica, il danno è nullo e questa componente pertanto si azzerava. Viceversa, in situazioni di scarsità l'intero volume disponibile verrà possibilmente utilizzato lasciando alla minimizzazione del danno un ruolo decisivo nell'individuazione della soluzione che dipenderà dalle regole allocative adottate.

Le soluzioni trovate dal modello sono di supporto ad una gestione sostenibile sia dal punto di vista ambientale essendo mirata al risparmio idrico; sia economico, considerando aspetti pubblici e privati.

### Flusso in assenza di fabbisogni irrigui

La prima situazione esaminata è quella di un giorno in cui

- il prelievo disponibile per il Consorzio è pari a 10 mila m<sup>3</sup>;

- i canali sono parzialmente pieni con un tirante di 27 cm;
- nei tratti considerati non sono richiesti interventi irrigui;
- si ha la necessità di far fluire tutta l'acqua possibile a valle, il manufatto di valle se presente viene pertanto mantenuto aperto.

Il modello in questo caso setta il parametro 'vol\_usc\_richiesto' pari al prelievo disponibile, e calcola poi il deficit di rilascio a valle come la differenza tra questo valore e il volume calcolato in uscita in una variabile definita 'USC\_EST\_DEF', che entra nella funzione obiettivo e deve essere minimizzata.

Le equazioni richieste, oltre alla funzione obiettivo, sono le seguenti:

1. Calcolo delle immissioni totali in rete
2. Attivazione di un solo livello tra quelli possibili nel tratto di canale
3. Calcolo del tirante al pelo libero
4. Calcolo delle restituzioni nel tratto
5. Calcolo dei volumi finali nel tratto
6. Bilancio nel tratto
7. Calcolo della portata nel tratto
8. Tolleranza della portata
9. Collegamento portata e volumi
10. Uscite di monte pari alle entrate di valle
11. Calcola il volume in uscita mancante rispetto al richiesto
12. Attivazione di un solo livello tra quelli possibili per manufatto
13. Portata a valle del manufatto

Il valore dei volumi iniziali dei tratti 'VIN' che entra nell'equazione di bilancio (6) viene posto pari al valore del parametro 'v\_ini\_ct'.

La Tab. 6 riporta i valori calcolati dal modello per le variabili considerate. La prima riga indicata con 'Tot' il totale del tratto di rete considerato, le righe successive considerano un singolo tratto (ct) di canale (c) in progressione da monte a valle.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	10000	218	119	9782	
1	1	100	30	10000	55	30	9945	0.26
2	1	100	30	9945	55	30	9891	0.26
3	1	100	30	9891	55	30	9836	0.26
4	1	100	29	9836	54	29	9782	0.26

Tab. 6 Flussi senza prelievi e manufatto di valle aperto

Si può osservare come i volumi iniziali 'VIN' e finali 'VFI' siano uguali, con la differenza che i primi sono definiti dall'utente i secondi calcolati dal modello. Tutta l'acqua immessa fluisce nella rete con una progressiva riduzione del volume transitato a causa delle restituzioni che complessivamente sommano 218 m<sup>3</sup>, il volume defluito a valle è pari a 9782 m<sup>3</sup>.

Le righe successive a quella dei totali, evidenziano come il volume immesso in rete in 1.1, pari all'intera disponibilità giornaliera, si riduca in ogni tratto per le restituzioni, calcolate anch'esse dai dati della Tab. 3 con la stessa modalità dei volumi iniziale e finale.

### Fabbisogni irrigui

La considerazione dei fabbisogni irrigui colturali richiede sempre anche le seguenti equazioni:

1. Impone che altezza del tirante nei tratti in cui avvengono prelievi aziendali sia almeno pari al minimo richiesto per renderli tecnicamente possibili
2. Calcola il prelievo irriguo nel tratto
3. Calcola il deficit irriguo nel tratto
4. Verifica che il prelievo più deficit siano pari al fabbisogno irriguo per appezzamento
5. Calcola il deficit irriguo percentuale per appezzamento
6. Calcola il prelievo irriguo percentuale per appezzamento
7. Calcola il danno per mancata irrigazione per appezzamento
8. Calcola il danno totale per mancata irrigazione

### Flussi con prelievi e manufatto di valle aperto con disponibilità abbondante

Qualora la disponibilità sia sufficiente a coprire interamente i fabbisogni non si ha nessuna perdita di produzione e il danno totale è nullo. Il modello in questo caso se la paratoia posta alla fine della rete è aperta lascia fluire il volume restante a valle del tratto di rete considerato.

La Tab. 7. Illustra questa situazione assumendo una disponibilità per il Consorzio di 50 mila m<sup>3</sup> giornalieri.

La colonna 'ENT' nella riga che individua il primo tratto di rete e nella riga 'Tot' riporta il valore immesso, pari a 32946 m<sup>3</sup>, inferiore alla disponibilità giornaliera. La differenza tra questi due valori si configura come un risparmio idrico in quanto la sua immissione in rete non avrebbe apportato nessun beneficio agli agricoltori.

Nella stessa riga, la colonna 'USC' riporta il valore dell'ultima riga di quella colonna, riga quest'ultima che fa riferimento al tratto finale di rete; il volume richiesto di 10 mila m<sup>3</sup> passi a valle, dopo che 299 m<sup>3</sup> sono stati restituiti alla falda e 22498 m<sup>3</sup> prelevati ad uso irriguo, pari all'intero fabbisogno giornaliero indicato in Tab.

5. Il volume finale nei canali 'VFI' è maggiore di quello iniziale essendo più alto il tirante richiesto a far transitare nella giornata il volume calcolato necessario a coprire i prelievi e le restituzioni.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	PRE	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	32946	299	22498	267	10000	
1	1	100	30	32946	75	1504	68	31329	0.52
2	1	100	30	31329	75	16494	68	14722	0.52
3	1	100	30	14722	75	3341	68	11268	0.52
4	1	100	29	11268	73	1159	65	10000	0.52

Tab. 7 Flussi con prelievi e manufatto di valle aperto con disponibilità abbondante

La Tab. 8 riporta i risultati per appezzamento. Le ultime due colonne mostrano rispettivamente il volume prelevato, uguale al fabbisogno, e la percentuale di copertura del fabbisogno sempre pari a 100. In tutti gli appezzamenti le esigenze irrigue sono completamente soddisfatte. Il danno evitato è pertanto pari a 45920 Euro, come indicato in Tab. 5.

				Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Prelievi (m3)	Prelievi %
c	ct	pa	co	190	190	190	190	190	190
1	1	36748	MELO	0.11	3.76	61.10	39	39	100
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.69	17.10	290	290	100
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.92	84.00	171	171	100
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.14	64.20	50	50	100
1	1	36757	MELO	0.41	21.56	61.10	146	146	100
1	1	36759	PESCO	1.81	88.76	51.10	644	644	100
1	1	36762	PESCO	0.46	22.56	51.10	164	164	100
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.90	17.10	54	54	100
2	1	37130	PESCO	0.14	6.87	51.10	50	50	100
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.14	17.10	58	58	100
2	1	37533	VITE	0.59	36.06	40.20	263	263	100
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.36	17.10	506	506	100
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.30	610.74	17.10	14117	14117	100
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.02	299.49	8.00	1447	1447	100
3	1	36749	PERO	0.38	18.01	85.20	135	135	100
3	1	36753	PERO	0.91	43.13	85.20	324	324	100
3	1	36758	PERO	2.39	113.29	85.20	851	851	100
3	1	45631	VITE	0.98	59.90	40.20	436	436	100
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.43	330.04	8.00	1595	1595	100
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	3.22	239.89	8.00	1159	1159	100

Tab. 8 Risultati per appezzamento con disponibilità abbondante

## **Fabbisogni irrigui totali superiori alla disponibilità giornaliera**

Situazioni di carenza irrigua introducono notevole complessità nei calcoli. Infatti non solo gli appezzamenti presentano, come visto, valori di danno per metro cubo di acqua molto diversi in relazione alle colture praticate, e, in generale, la disponibilità non è nulla ma tale da permettere solo un soddisfacimento parziale dei fabbisogni irrigui totali. In questa situazione di carenza idrica diversi criteri allocativi possono essere adottati con effetti diversi sui singoli utenti, e complessivi.

È opportuno precisare che la modellizzazione adottata non considera solo situazioni di irrigazione completa/nulla per appezzamento, ma consente una modulazione dell'intervento con conseguenti effetti su benefici e danni. Per ogni singolo appezzamento se la disponibilità idrica è inferiore al fabbisogno stimato da IrriNet il modello può ridurre la superficie irrigata, garantendo una piena irrigazione solo ad una percentuale dell'appezzamento e lasciando non irrigata la restante parte. In questo caso il danno economico, dovuto alla perdita di produzione segue la percentuale di non fornitura del servizio irriguo. Tale percentuale varia tra 0 situazione di piena irrigazione ed assenza di danno, a 1 carenza idrica per l'intero appezzamento.

Con questo procedimento è possibile analizzare diversi scenari allocativi in presenza di volumi disponibili non in grado di coprire i fabbisogni irrigui totali.

Nei seguenti esempi si assume che il volume disponibile sia di 10 mila m<sup>3</sup>/g.

In situazioni di scarsità idrica la minimizzazione del danno totale diviene l'obiettivo principale, la minimizzazione delle immissioni in rete che sono sempre insufficienti a soddisfare pienamente i fabbisogni irrigui totali, non ha nessun effetto sull'ottimizzazione.

### Minimizzazione del danno economico totale causato da carenze irrigue (EF)

La minimizzazione del danno economico totale causato da carenze irrigue viene trovata dal modello utilizzando i valori di danno unitario, denominati 'danno u.' nell'ultima colonna della Tab. 4. La regola adottata lascia in situazione di carenza idrica gli appezzamenti con un valore di danno unitario più basso. Il volume disponibile viene assegnato prioritariamente agli appezzamenti con danno unitario maggiore, e solo dopo che i loro fabbisogni sono stati completamente soddisfatti, il volume rimasto viene allocato a quelli che presentano ora il danno unitario maggiore. Con questa regola allocativa nel test si arriva ad una situazione in cui resta una disponibilità di 1913 m<sup>3</sup>, e solo due appezzamenti di 'MAIS MEDIO' sono non irrigati, con danno rispettivamente pari a 0,74 e 0,55 Euro/m<sup>3</sup>. Il volume restante viene interamente allocato all'appezzamento identificato dal codice '45568' che presenta il danno unitario più alto tra i precedenti. Viene in questo modo coperto il 13,51% del fabbisogno, come indicato nella colonna 'Prelievi %'; il danno è pari al 86,49% (il complemento a 100) del danno che si avrebbe in assenza completa di irrigazione ed è di 9033 Euro. L'appezzamento '38817', che ha il valore di danno minore, non viene minimamente servito e subisce un danno di 280 Euro pari al mancato incasso della produzione persa al prezzo indicato.



				Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Prelievi (m3)	Prelievi %	Danno u. (E/m3)	Danno ma. (E)	Danno (E)	
c	ct	pa	co	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
1	1	36748	MELO	0.11	3.762	61.1		39	39	100.00	5.87	230	
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.691	17.1		290	290	100.00	0.93	268	
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.9248	84		171	171	100.00	6.85	1170	
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.1376	64.2		50	50	100.00	7.91	394	
1	1	36757	MELO	0.41	21.5619	61.1		146	146	100.00	9.03	1317	
1	1	36759	PESCO	1.81	88.7624	51.1		644	644	100.00	7.04	4536	
1	1	36762	PESCO	0.46	22.5584	51.1		164	164	100.00	7.04	1153	
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.8968	17.1		54	54	100.00	0.93	50	
2	1	37130	PESCO	0.14	6.8656	51.1		50	50	100.00	7.04	351	
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.1382	17.1		58	58	100.00	0.93	54	
2	1	37533	VITE	0.59	36.0608	40.2		263	263	100.00	5.52	1450	
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.3584	17.1		506			0.55	280	280
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.3	610.742	17.1		14117	1907	13.51	0.74	10444	9033
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.02	299.49	8		1447	1447	100.00	1.66	2396	
3	1	36749	PERO	0.38	18.012	85.2		135	135	100.00	11.34	1535	
3	1	36753	PERO	0.91	43.134	85.2		324	324	100.00	11.34	3675	
3	1	36758	PERO	2.39	113.286	85.2		851	851	100.00	11.34	9652	
3	1	45631	VITE	0.98	59.8976	40.2		436	436	100.00	5.52	2408	
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.43	330.035	8		1595	1595	100.00	1.66	2640	
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	3.22	239.89	8		1159	1159	100.00	1.66	1919	

Tab. 9 Risultati per appezzamento allocazione di minimo danno totale

La soluzione fa chiudere il manufatto posto al termine del canale 4; questo blocca ogni deflusso a valle, come riportato nella colonna 'USC' della Tab. 10. L'altezza del tirante è sempre di 26 cm, superiore all'altezza minima richiesta per i prelievi aziendali.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	PRE	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	10000	218	9782	119		
1	1	100	30	10000	55	1504	30	8441	0.26
2	1	100	30	8441	55	3778	30	4609	0.26
3	1	100	30	4609	55	3341	30	1213	0.26
4	1	100	29	1213	54	1159	29		0.26

Tab. 10 Flussi allocazione di minimo danno totale

Con questa allocazione 9782 m<sup>3</sup> sono utilizzati a fini irrigui, il deficit irriguo è di 12716 m<sup>3</sup>, mentre il danno totale è pari a 9313 Euro, il valore medio del m<sup>3</sup> di acqua mancante è pari a 0,73 Euro.

c	ct	FAB	PRE	DEF	DAN	DAN_NO	PRE/FAB	DAN_NO/PRE	DAN/FAB	DAN/DEF
Tot	Tot	22498	9782	12716	9313	36607	0.43	3.74	0.41	0.73
1	1	1504	1504			9068	1.00	6.03		
2	1	16494	3778	12716	9313	5710	0.23	1.51	0.56	0.73
3	1	3341	3341			19910	1.00	5.96		
4	1	1159	1159			1919	1.00	1.66		

Tab. 11 Risultati con allocazione di minimo danno totale

## Uguale copertura dei fabbisogni irrigui di tutti gli utenti (UG)

Un'allocazione ispirata a criteri di equità dovrebbe prevedere che in caso di carenza idrica tutti gli utenti vengano trattati allo stesso modo, questo comporta che ogni appezzamento debba ricevere un volume che garantisca la stessa percentuale di copertura irrigua.

Per ottenere questo risultato vengono introdotte due nuove equazioni che impongono

1. Un limite superiore del prelievo irriguo percentuale per appezzamento
2. Un limite inferiore del prelievo irriguo percentuale per appezzamento

L'introduzione di due disuguaglianze, anziché di un'uguaglianza, permette una piccola tolleranza al valore percentuale calcolato dal modello, questo facilita e velocizza la ricerca della soluzione ottima.

La Tab. 12 riporta i risultati per appezzamento, tutte le particelle ricevono il 43.48% del loro fabbisogno. Il danno è conseguentemente distribuito tra tutti gli utenti allo stesso modo anche se il valore del danno è diverso tra gli appezzamenti.

c	ct	pa	co	Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Prelievi (m3)	Prelievi %	Danno u. (E/m3)	Danno ma. (E)	Danno (E)
				190	190	190	190	190	190	190	190	190
1	1	36748	MELO	0.11	3.762	61.1	39	17	43.48	5.87	230	130
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.691	17.1	290	126	43.48	0.93	268	152
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.9248	84	171	74	43.48	6.85	1170	661
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.1376	64.2	50	22	43.48	7.91	394	223
1	1	36757	MELO	0.41	21.5619	61.1	146	63	43.48	9.03	1317	745
1	1	36759	PESCO	1.81	88.7624	51.1	644	280	43.48	7.04	4536	2564
1	1	36762	PESCO	0.46	22.5584	51.1	164	71	43.48	7.04	1153	652
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.8968	17.1	54	23	43.48	0.93	50	28
2	1	37130	PESCO	0.14	6.8656	51.1	50	22	43.48	7.04	351	198
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.1382	17.1	58	25	43.48	0.93	54	30
2	1	37533	VITE	0.59	36.0608	40.2	263	114	43.48	5.52	1450	819
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.3584	17.1	506	220	43.48	0.55	280	158
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.3	610.742	17.1	14117	6138	43.48	0.74	10444	5903
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.02	299.49	8	1447	629	43.48	1.66	2396	1354
3	1	36749	PERO	0.38	18.012	85.2	135	59	43.48	11.34	1535	867
3	1	36753	PERO	0.91	43.134	85.2	324	141	43.48	11.34	3675	2077
3	1	36758	PERO	2.39	113.286	85.2	851	370	43.48	11.34	9652	5455
3	1	45631	VITE	0.98	59.8976	40.2	436	190	43.48	5.52	2408	1361
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.43	330.035	8	1595	693	43.48	1.66	2640	1492
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	3.22	239.89	8	1159	504	43.48	1.66	1919	1085

Tab. 12 Risultati per appezzamento allocazione con uguale copertura

La Tab. 13 mostra i flussi per tratti di canale. Anche in questo caso l'intero volume disponibile è prelevato dal Consorzio, la paratoia di valle è chiusa e nessun volume passa a valle, 212 m<sup>3</sup> percolano in falda, 9788 m<sup>3</sup> sono utilizzati a fini irrigui.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	PRE	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	10000	218	9782	119		
1	1	100	30	10000	55	654	30	9291	0.26
2	1	100	30	9291	55	7172	30	2065	0.26
3	1	100	30	2065	55	1453	30	558	0.26
4	1	100	29	558	54	504	29		0.26

Tab. 13 Flussi allocazione con uguale copertura

La Tab. 14 mostra i risultati economici. Il danno totale è pari a 25953 Euro, quello evitato grazie alla fornitura di acqua è pari a 19966 Euro. L'ultima colonna della tabella mostra come ogni metro cubo aggiuntivo

ridurrebbe il danno, con valori sensibilmente diversi tra i tratti. Il valore medio per la rete di oltre 2 Euro/m<sup>3</sup> scende da oltre 6 Euro/m<sup>3</sup> nel primo tratto a 0,91 Euro/m<sup>3</sup> nel secondo.

c	ct	FAB	PRE	DEF	DAN	DAN_NO	PRE/FAB	DAN_NO/PRE	DAN/FAB	DAN/DEF
Tot	Tot	22498	9782	12716	25953	19966	0.43	2.04	1.15	2.04
1	1	1504	654	850	5125	3943	0.43	6.03	3.41	6.03
2	1	16494	7172	9322	8491	6532	0.43	0.91	0.51	0.91
3	1	3341	1453	1888	11253	8657	0.43	5.96	3.37	5.96
4	1	1159	504	655	1085	834	0.43	1.65	0.94	1.66

Tab. 14 Risultati con allocazione con uguale copertura

### Riduzione progressiva della copertura irrigua all'allontanarsi dal punto di immissione in rete (DE)

La riduzione progressiva dei prelievi lungo l'asta fluviale riproduce la situazione in cui chi sta a monte ha accesso prima alla risorsa e può pertanto soddisfare meglio il proprio fabbisogno rispetto a chi si trova a valle.

Sono richieste due nuove equazioni

1. Prelievo irriguo percentuale del tratto a valle non maggiore di quello di monte
2. Prelievo irriguo percentuale per appezzamento uguale nel tratto

La 1 impone una percentuale di copertura irrigua decrescente, con una regola definita dall'utente che tiene conto della posizione del tratto nella rete.

La 2 impone uguale percentuale irrigua a tutte le particelle del tratto.

I risultati per appezzamento sono illustrati in Tab. 15. La percentuale di copertura irrigua scenda dal 100% del primo canale; a 41,78% nel secondo; a 33,42 nel terzo; e a 23,39% nel quarto; gli appezzamenti serviti dai canali oltre il primo evidenziano sofferenze irrigue crescenti e un conseguente danno maggiore.

c	ct	pa	co	Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Prelievi (m3)	Prelievi %	Danno u. (E/m3)	Danno ma. (E)	Danno (E)
				190	190	190	190	190	190	190	190	190
1	1	36748	MELO	0.11	3.762	61.1	39	39	100.00	5.87	230	
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.691	17.1	290	290	100.00	0.93	268	
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.9248	84	171	171	100.00	6.85	1170	
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.1376	64.2	50	50	100.00	7.91	394	
1	1	36757	MELO	0.41	21.5619	61.1	146	146	100.00	9.03	1317	
1	1	36759	PESCO	1.81	88.7624	51.1	644	644	100.00	7.04	4536	
1	1	36762	PESCO	0.46	22.5584	51.1	164	164	100.00	7.04	1153	
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.8968	17.1	54	22	41.78	0.93	50	29
2	1	37130	PESCO	0.14	6.8656	51.1	50	21	41.78	7.04	351	204
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.1382	17.1	58	24	41.78	0.93	54	31
2	1	37533	VITE	0.59	36.0608	40.2	263	110	41.78	5.52	1450	844
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.3584	17.1	506	211	41.78	0.55	280	163
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.3	610.742	17.1	14117	5898	41.78	0.74	10444	6081
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.02	299.49	8	1447	605	41.78	1.66	2396	1395
3	1	36749	PERO	0.38	18.012	85.2	135	45	33.42	11.34	1535	1022
3	1	36753	PERO	0.91	43.134	85.2	324	108	33.42	11.34	3675	2447
3	1	36758	PERO	2.39	113.286	85.2	851	284	33.42	11.34	9652	6426
3	1	45631	VITE	0.98	59.8976	40.2	436	146	33.42	5.52	2408	1603
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	4.43	330.035	8	1595	533	33.42	1.66	2640	1758
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo	3.22	239.89	8	1159	271	23.39	1.66	1919	1470

Tab. 15 Risultati per appezzamento allocazione decrescente

La Tab. 16 mostra come si distribuiscono i 119 m<sup>3</sup> presenti inizialmente e i 10 mila m<sup>3</sup> disponibili al Consorzio interamente prelevati. La paratoia di valle è chiusa e nessun volume passa a valle, 218 m<sup>3</sup> percolano in falda, 9782 m<sup>3</sup> sono utilizzati a fini irrigui, 119 m<sup>3</sup> restano nei canali.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	PRE	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	10000	218	9782	119		
1	1	100	30	10000	55	1504	30	8441	0.26
2	1	100	30	8441	55	6891	30	1496	0.26
3	1	100	30	1496	55	1117	30	325	0.26
4	1	100	29	325	54	271	29		0.26

Tab. 16 *Flussi allocazione decrescente*

La Tab. 17 mostra i volumi irrigui richiesti, prelevati e mancanti per tratto e i risultati economici. I 12716 m<sup>3</sup> mancanti provocano un danno di 23473 Euro, pari a 1,85 Euro/m<sup>3</sup> riportato nell'ultima colonna, che evidenzia come il valore unitario del m<sup>3</sup> vari tra 0,91 Euro nel secondo canale e 5,96 Euro nel terzo, mentre nessun danno è presente nel primo canale dove i prelievi coprono i fabbisogni.

c	ct	FAB	PRE	DEF	DAN	DAN_NO	PRE/FAB	DAN_NO/PRE	DAN/FAB	DAN/DEF
Tot	Tot	22498	9782	12716	23473	22447	0.43	2.29	1.04	1.85
1	1	1504	1504			9068	1.00	6.03		
2	1	16494	6891	9603	8747	6276	0.42	0.91	0.53	0.91
3	1	3341	1117	2224	13256	6654	0.33	5.96	3.97	5.96
4	1	1159	271	888	1470	449	0.23	1.66	1.27	1.66

Tab. 17 *Risultati con allocazione decrescente*

### Subordinazione dei prelievi a valle al pieno soddisfacimento di quelli a monte (MO)

Un ulteriore modalità di allocazione prevede che un tratto di rete possa effettuare prelievi solo se tutti quelli a monte hanno completamente soddisfatto i fabbisogni irrigui.

Questa situazione è conseguibile introducendo ulteriori manufatti al termine dei canali, partendo da quelli più a monte, che blocchino il deflusso a valle. Una volta soddisfatto il fabbisogno del canale il manufatto viene tolto, l'acqua defluisce nel canale e valle che può ora essere utilizzato a fini irrigui. La sequenza di chiusure ed aperture termina quando un canale esaurisce la disponibilità.

Il modello richiede l'introduzione di diverse variabili di controllo ed equazioni aggiuntive.

1. Attiva il controller di prelievo per canale che assume valore 1 se vi sono dei prelievi, 0 in loro assenza
2. Attiva il controller di prelievo per tratto canale che assume valore 1 se vi sono dei prelievi, 0 in loro assenza
3. Attiva controller di deficit irriguo per tratto canale che assume valore 1 se i prelievi sono inferiori ai fabbisogni, 0 in caso contrario

4. Attiva controller di assenza di deficit irriguo per tratto, il complemento del precedente, assume valore 1 se i prelievi sono pari ai fabbisogni, 0 in caso contrario
5. Controller di prelievo per tratto a monte maggiore di quello a valle, impone che un tratto possa avere prelievi solo se il fabbisogno irriguo a monte è pienamente soddisfatto
6. Collega il prelievo e il deficit irriguo percentuale per tratto, la loro somma è sempre pari a 1.

La Tab. 18 mostra come dopo aver pienamente soddisfatto le esigenze del canale 1, aperto il manufatto a valle il volume restante venga completamente esaurito dai prelievi degli appezzamenti serviti in questo tratto, che coprono poco più della metà del loro fabbisogno, esattamente il 50,77%.

c	ct	pa	co	Sup. (Ha)	Prod. (q)	Prezzo (E/q)	Fabbisogno irriguo (m3)	Prelievi (m3)	Prelievi %	Danno u. (E/m3)	Danno ma. (E)	Danno (E)
				190	190	190	190	190	190	190	190	190
1	1	36748	MELO	0.11	3.762	61.1	39	39	100.00	5.87	230	
1	1	36750	MAIS MEDIO	0.65	15.691	17.1	290	290	100.00	0.93	268	
1	1	36752	ALBICOCCO	0.48	13.9248	84	171	171	100.00	6.85	1170	
1	1	36756	SUSINO	0.14	6.1376	64.2	50	50	100.00	7.91	394	
1	1	36757	MELO	0.41	21.5619	61.1	146	146	100.00	9.03	1317	
1	1	36759	PESCO	1.81	88.7624	51.1	644	644	100.00	7.04	4536	
1	1	36762	PESCO	0.46	22.5584	51.1	164	164	100.00	7.04	1153	
2	1	37128	MAIS MEDIO	0.12	2.8968	17.1	54	27	50.77	0.93	50	24
2	1	37130	PESCO	0.14	6.8656	51.1	50	25	50.77	7.04	351	173
2	1	37131	MAIS MEDIO	0.13	3.1382	17.1	58	29	50.77	0.93	54	26
2	1	37533	VITE	0.59	36.0608	40.2	263	133	50.77	5.52	1450	714
2	1	38817	MAIS MEDIO	2.84	16.3584	17.1	506	257	50.77	0.55	280	138
2	1	45568	MAIS MEDIO	25.3	610.742	17.1	14117	7167	50.77	0.74	10444	5141
2	1	45575	BIETOLA DA ZUCCHERO 2A* modulo	4.02	299.49	8	1447	735	50.77	1.66	2396	1180
3	1	36749	PERO	0.38	18.012	85.2	135			11.34	1535	1535
3	1	36753	PERO	0.91	43.134	85.2	324			11.34	3675	3675
3	1	36758	PERO	2.39	113.286	85.2	851			11.34	9652	9652
3	1	45631	VITE	0.98	59.8976	40.2	436			5.52	2408	2408
3	1	45718	BIETOLA DA ZUCCHERO 2A* modulo	4.43	330.035	8	1595			1.66	2640	2640
4	1	47251	BIETOLA DA ZUCCHERO 2A* modulo	3.22	239.89	8	1159			1.66	1919	1919

Tab. 18 Risultati per appezzamento allocazione prima a monte

La non apertura del manufatto posto al termine del secondo canale blocca le uscite a valle, che assumono un valore residuale, in questo caso di 13 m<sup>3</sup>, necessario a bilanciare i volumi con la portata giornaliera.

c	ct	Lu	VIN	ENT	RES	PRE	VFI	USC	H
Tot	Tot	400	119	10000	179	9878	62		
1	1	100	30	10000	55	1504	30	8441	0.26
2	1	100	30	8441	55	8374	30	13	0.26
3	1	100	30	13	35		1	7	0.01
4	1	100	29	7	35		1		0.01

Tab. 19 Flussi allocazione prima a monte

I 12620 m<sup>3</sup> mancanti provocano un danno di 29225 Euro, pari a 2,32 Euro/m<sup>3</sup> riportato nell'ultima colonna, il valore unitario del m<sup>3</sup> ha i valori già visti e varia tra 0,91 Euro nel secondo canale e 5,96 Euro nel terzo; nessun danno è presente nel primo canale dove i prelievi coprono i fabbisogni.

c	ct	FAB	PRE	DEF	DAN	DAN_NO	PRE/FAB	DAN_NO/PRE	DAN/FAB	DAN/DEF
Tot	Tot	22498	9878	12620	29225	16695	0.44	1.69	1.30	2.32
1	1	1504	1504			9068	1.00	6.03		
2	1	16494	8374	8120	7396	7627	0.51	0.91	0.45	0.91
3	1	3341		3341	19910				5.96	5.96
4	1	1159		1159	1919				1.66	1.66

Tab. 20 Risultati con allocazione prima a monte

## Confronto tra le allocazioni

Il confronto delle quattro allocazioni considerate evidenzia come nella situazione esaminata, che si caratterizza per la presenza di colture con un ridotto danno per mancata irrigazione nei tratti intermedi, quale il 'MAIS MEDIO', ed alti valori in quelli finali per la presenza di PERO e VITE crei una sensibile differenza tra la soluzione efficiente (EF) e tutte le altre, pur diversificate tra loro.

La Tab. 21 mostra come solo l'allocazione che apre progressivamente il deflusso a valle (MO), in cui il blocco del flusso avviene sempre e solo al termine del tratto di rete considerato, consenta un leggero aumento (+1,0%) dei prelievi totali rispetto alle altre situazioni e riduca le restituzioni ed il volume finale. Questa modalità presenta tuttavia i peggiori risultati dal punto di vista economico in quanto le colture servite hanno un'alta percentuale di colture con danno da carenza idrica contenuto. Tutti gli indicatori calcolati assumono i valori peggiori di riga: il danno evitato (Fig. 5), il valore medio del metro cubo di acqua fornito (Fig. 6) sono, infatti, i minimi; il danno totale (Fig. 7) e il valore medio del metro cubo di acqua mancante (Fig. 8) i massimi. Rispetto alla soluzione efficiente il danno è con questa allocazione più che triplo (Fig. 9).

	Allocazione			
	EF	UG	DE	MO
Volume iniziale	119	119	119	119
Immissioni	10000	10000	10000	10000
Volume disponibile	10119	10119	10119	10119
Restituzioni	218	218	218	179
Volume finale	119	119	119	62
Fabbisogno irriguo	22498	22498	22498	22498
Prelievi	9782	9782	9782	9878
Danno evitato	36607	19966	22447	16695
Valore di 1 m <sup>3</sup> di acqua fornito	3.74	2.04	2.29	1.69
Rapporto danno evitato con soluzione efficiente	1.00	0.55	0.61	0.46
Deficit irriguo	12716	12716	12716	12620
Danno	9313	25953	23473	29225
Valore di 1 m <sup>3</sup> di acqua aggiuntivo	0.73	2.04	1.85	2.32
Rapporto danno con soluzione efficiente	1.00	2.79	2.52	3.14

Tab. 21 Comparazione risultati delle allocazioni considerate

La Tab. 21 evidenzia la sensibile riduzione di danno che l'allocazione efficiente permetterebbe rispetto a tutte le altre. Si apre il problema se e come essa possa essere realizzata nella realtà consortile. Si può ritenere che essa nella sua pienezza o almeno in parte potrebbe essere raggiunta attraverso accordi preventivi vincolanti e sanzionabili tra il Consorzio e gli agricoltori. Ogni utilizzatore dovrebbe accettare l'indicazione fornita dall'Ente erogatore del servizio idrico, non solo di irrigare con i volumi indicati come già si assume avvenga, ma anche di non irrigare qualora il Consorzio ravvisasse questa necessità, a fronte della corresponsione di un indennizzo commisurato al danno sofferto. Questo approccio che per essere applicato richiede le informazioni che il modello qui illustrato fornisce, richiede una gestione continua e partecipata di tutti i soggetti coinvolti, con un continuo scambio di informazioni tra le parti. Seri controlli dovrebbero poi essere effettuati per

verificare che gli appezzamenti sospesi dal servizio irriguo consortile rispettino veramente l'obbligazione assunta. Le moderne tecnologie di rilevamento dati basate su sensori di campo e osservazioni aeree attraverso droni possono altamente agevolare e ridurre i costi dei controlli. L'applicazione di severe sanzioni ai trasgressori, supportate da prove certe di frode, garantirebbe il funzionamento del sistema.

Le altre due allocazioni considerate, ugual percentuale di copertura dei fabbisogni irrigui (UG) e prelievi decrescenti all'allontanarsi dal punto di immissione in rete (DE) non presentano qui grandi differenze tra loro e danno risultati economici lievemente migliori rispetto all'allocazione esaminata (MO). Mentre la prima (UG) richiede anch'essa accordi analoghi a quelli descritti per la sua applicazione, la seconda (DE) può essere approssimata regolando il deflusso mediante l'apertura di manufatti posti lungo l'asta fluviale.

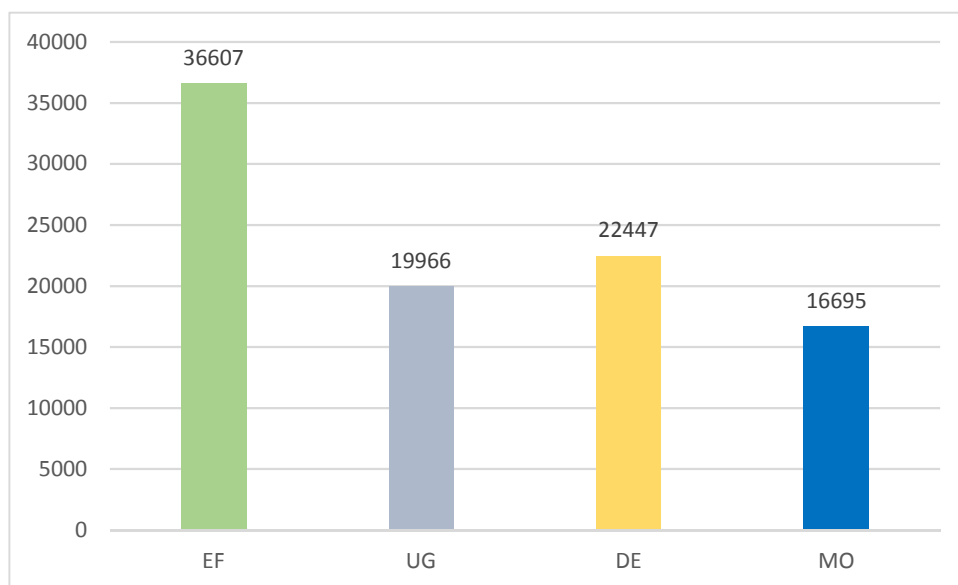


Fig. 5 Danno evitato totale per allocazione

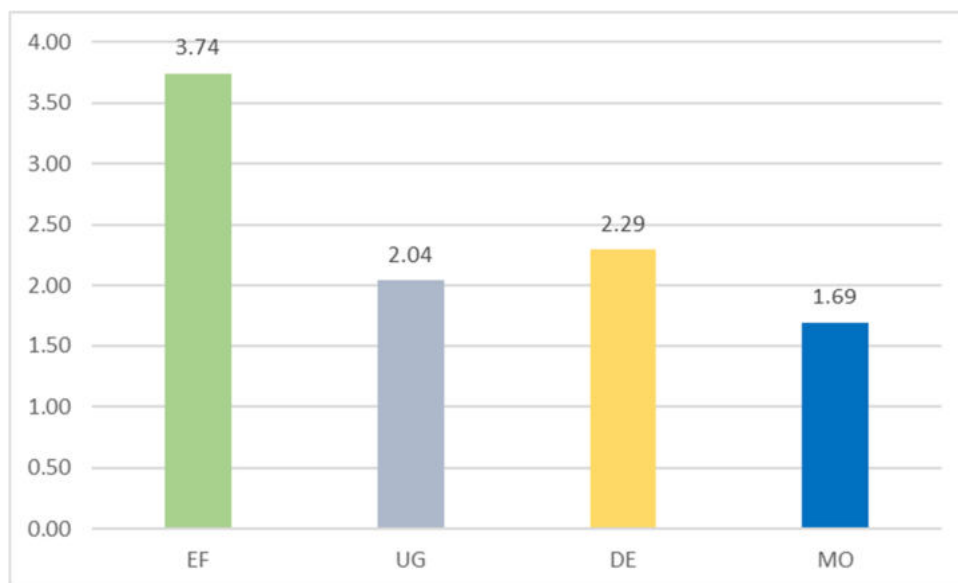


Fig. 6 Valore medio del metro cubo di acqua fornito per allocazione



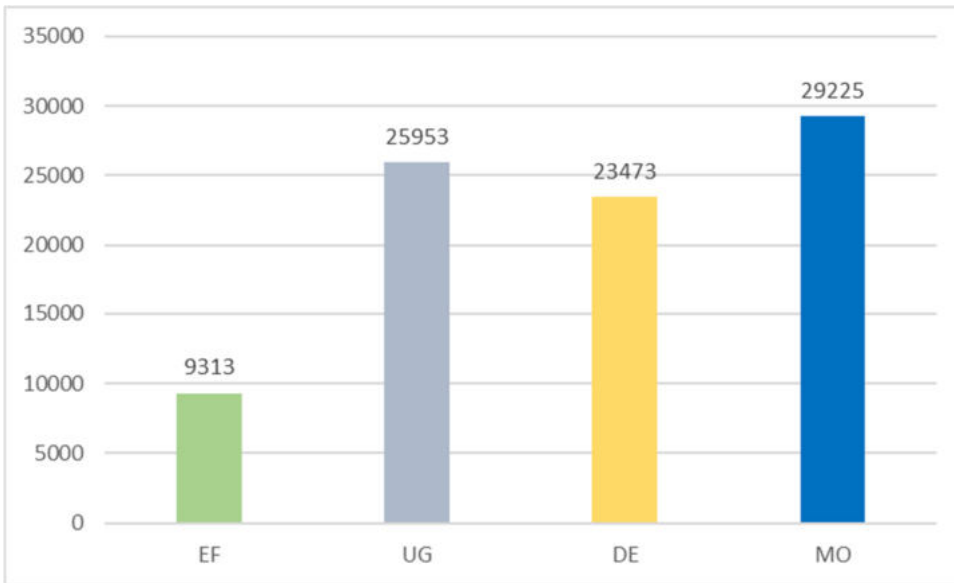


Fig. 7 *Danno totale per allocazione*

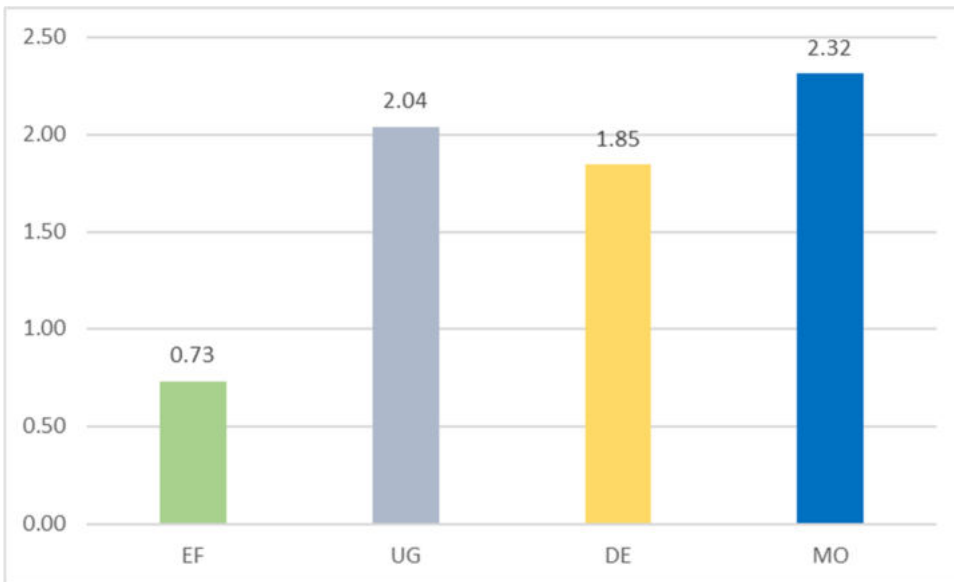
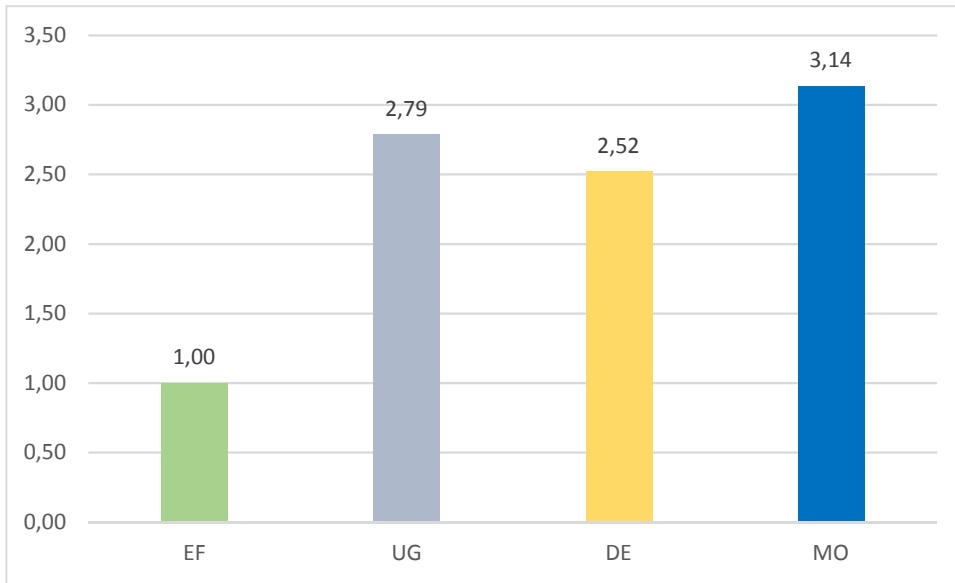


Fig. 8 *Valore del metro cubo di acqua aggiuntivo per allocazione*



*Fig. 9 Rapporto del danno totale con la soluzione efficiente*

## Conclusioni

Il modello predisposto integra, in modo diretto ed indiretto, diverse fonti dati relative ai principali fattori che determinano l'uso dell'acqua in agricoltura in condotte prevalentemente a cielo aperto tra cui: la rete irrigua consortile, descritta nei suoi tratti ed elementi costitutivi, l'uso dei suoli, l'andamento climatico e i conseguenti fabbisogni irrigui colturali, i vincoli esistenti sull'uso dell'acqua di tipo normativo, che determinano i volumi prelevabili dal Consorzio Irriguo, e tecnico come le tecniche irrigue aziendali e l'altezza minima richiesta per garantire il pescaggio degli impianti irrigui aziendali dalla rete. Il modello include componenti capaci di considerare la dimensione economica oltre che quella idraulica; questo consente di stimare il danno che una mancata copertura dei fabbisogni irrigui comporterebbe. La contemporanea considerazione dei precedenti aspetti in un sistema integrato che gestisce il dialogo tra programmi diversi quali IrriNet, deputato a fornire su base giornaliera le informazioni sugli appezzamenti irrigui, e un modello matematico appositamente scritto, permette l'analisi di diversi schemi allocativi, offrendo un ricco set di informazioni all'Ente gestore. Questo approccio si rivela di particolare interesse ed utilità in situazione di carenza idrica, quando cioè il fabbisogno totale non può essere soddisfatto data la disponibilità di prelievo del Consorzio. Le informazioni prodotte suggeriscono l'opportunità di adottare approcci innovativi alla gestione della risorsa idrica in agricoltura.

La scala temporale giornaliera adottata è l'unica compatibile con il dato sui fabbisogni irrigui fornito da IrriNet; tutte le elaborazioni fanno pertanto riferimento a quest'intervallo temporale.

Verificata la validità ed utilità dello strumento predisposto all'analisi ex-ante dell'equilibrio tra offerta e domanda di acqua ad suo irriguo, e la possibilità di utilizzare le informazioni prodotte per aumentare l'efficienza della gestione irrigua consortile, modulando non solo i prelievi da fonte esterna sui reali fabbisogni, ma anche operando in modo opportuno sui manufatti di rete, si ritiene opportuno segnalare limiti dell'attuale strumento che possono essere oggetto di ulteriori approfondimenti e sviluppi.

La considerazione di più giorni successivi, si suggerisce un orizzonte di tre giorni, potrebbe arricchire il quadro conoscitivo attualmente prodotto. Questo sviluppo è strettamente correlato all'acquisizione di informazioni, oggi mancanti, su altre fonti di approvvigionamento e stoccaggio idrico aziendale, quali pozzi e invasi.

Un ulteriore sviluppo suggerisce la modellizzazione di tratti di rete più complessi, che possono essere caratterizzati da più punti di prelievo e diramazioni della rete irrigua.

Si ritiene altresì utile un approccio partecipato con l'Ente gestore della rete che permetta la verifica del dato simulato con il comportamento adottato dal Consorzio, questo richiede la possibilità di acquisire in tempo reale informazioni sui flussi di entrata e di uscita in diversi tratti della rete considerata.

## Allegato 3

### Modifiche al sw di IrriNet (IN)

Di seguito si riportano analiticamente le modifiche effettuate al sw di IrriNet per potere consentire a Rete Blu di collegarsi ed ottenere il valore dei consumi previsti negli appezzamenti assegnati ai vari tratti di rete

#### **A.1.1 Estensione Plot con nuove entità**

Sono stati aggiunti due nuovi campi alla tabella Plot:

IdReteCons: campo testo che sarà compilato dal consorzio in base alla codifica della propria rete

IsDeletable: campo booleano che assume valori 0 = no 1 = si che indica se l'appezzamento appartiene ad una rete gestita dal modulo paratoie e pertanto non è modificabile.

#### **A.1.2 Libreria di interfacciamento Client ReteBlu con IN**

E' stata sviluppata una libreria software che, integrata nel client Rete Blu, si incarica di reperire alcuni dati di input necessari a questo modulo e di formattarli in modo opportuno su file di tipo testo.

Le funzionalità della libreria sono le seguenti

- Lettura del file *Canale\_tratto\_particelle.txt*
- Lettura del file *Canale\_tratti\_attivi.csv*
- Sulla base dei Canali/Tratti attivi definiti nel file *Canale\_tratti\_attivi.csv*, viene chiamato per ogni appezzamento presente nel file *Canale\_tratto\_particelle.txt* la Api di IN *GetWbResult* che restituisce il fabbisogno irriguo calcolato per i giorni specificati in un lista fornita come parametro di ingresso. I fabbisogni irrigui vengono poi totalizzati per Canale/Tratto e scritti nel file *Fabbisogni\_idrici.csv*
- Scrittura file dei danni in *Danno.csv* funzionalità ancora in corso di sviluppo al 31/8/2017

#### **A.1.3 Gestione del parametro efficienza impianti irrigui**

Modifica alla tabella parametrica impianti irrigui in IN perché sia possibile associare a ciascun impianto irriguo presente nella tabella WBPARG\_IrriSysType l'informazione relativa all'efficienza irrigua di quella tipologia di impianto.

La tabella WBPARG\_IrriSysType è stata estesa con l'attributo [EffIrri] (integer) che contiene la percentuale di efficienza di applicazione di quella tipologia di impianto.

Controllo valori: numero intero tra 1 e 100 compresi

#### **A.1.4 Interfaccia amministrativa di IN: inserimento di filtri per migliorare la gestione della piattaforma**

Modifica all'interfaccia amministratore per la gestione degli utenti da parte dei consorzi e delle tabelle parametriche. I filtri applicati sono riferiti a ciascuna colonna della tabella gestionale e permettono di selezionare tutti gli utenti di un determinato distretto.

E' prevista anche la selezione di tutti gli utenti afferenti ad un canale che sottende ad una determinata paratoia.

Gli strumenti di ricerca che sono stati realizzati sono i seguenti

- cercare i singoli appezzamenti
- cercare i singoli appezzamenti in base al nome dell'azienda agricola
- cercare i singoli appezzamenti in base al nome dell'utente

- cercare i singoli appezzamenti in base alla Coltura

E' presente un pulsante "Azzera filtri" che riporta tutti i filtri nella situazione iniziale.

Cruscotto gestionale di IriFrame per CB RENANA

**Filtri di selezione appezzamenti**

IdPlot:

Coltura:

Utente:

Azienda:

Distretto:

[Vedi mappa localizzazione appezzamenti >](#)

**Funzionalità di gestione**

- [Gestione distretti colture e turni >](#)
- [Gestione parametri colturali >](#)
- [Gestione IriSMS >](#)

**Appezzamenti**

Id plot	N. plot	Coltura	Utente	Azienda	CUA	Distretto	Ultimo calcolo effettuato	Ultimo SMS inviato	Accesso utente
39497	17	BIETOLA DA ZUCCHERO 2° modulo	fabrizio magri	mirri andrea		SESTO IMOLESE	23/05/2016	non disponibile	<a href="#">Accedi</a>
Id plot	N. plot	Coltura	Utente	Azienda	CUA	Distretto	Ultimo calcolo effettuato	Ultimo SMS inviato	Accesso utente

Figura 1 Filtri di ricerca e selezione nella interfaccia amministrativa di IN

# ReteBlu

Manuale del programma di automazione delle paratoie  
della rete irrigua consortile

di Guido Maria Bazzani

Versione 1.1

28 Giugno, 2017

Manuale

Volume 1



## Sommario

Introduzione	1
Il programma	5
Istallazione	6
Interfaccia grafica	8
Dati forniti dal CB per descrivere la rete irrigua e le particelle servite: Dati_CB	11
Componenti della rete	12
Fonti	12
Canali	12
Tratti di canale	13
Paratoie	15
Travate	15
Relazioni tra le componenti	15
Canali/tratti	15
Posizione paratoie e travate	16
Associazione particelle - canali	17
Descrizione delle componenti	17
Canale parametri	18
Paratoie parametri	18
Travate parametri	19
Uso dei suoli	19
Elenchi per uso dei suoli	20
Archivi ausiliari	21
Zonizzazione per suscettività alla carenza del servizio irriguo	21
Apertura degli archivi del CB (comando 'CB dati' del menu)	23
Creazione della rete irrigua (comando 'Rete' del menu)	24
Uso dei suoli	24
Rete	25
Paratoie_travate	25
Canali_t	26
Osservazioni relative all'irrigazione aziendale ed alla stima del danno da mancata irrigazione	30

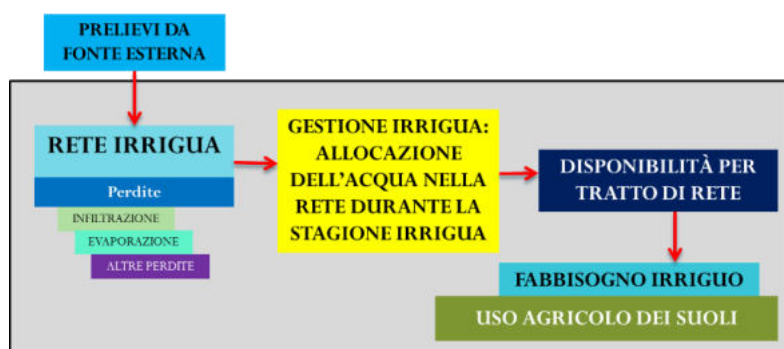




## Introduzione

Il manuale illustra il programma “Rete blu” sviluppato nell’ambito del progetto PSR: “Automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo di fabbisogni delle aziende agricole aderenti a Irrinet”, finalizzato ad aumentare l’efficienza della gestione irrigua consortile mediante l’automazione di paratoie che dovranno operare per fornire i volumi idrici richiesti solo quando effettivamente necessari sulla base dei reali usi del suolo e delle agrotecniche adottate a livello aziendale e della loro gestione, delle idro-esigenze colturali, delle caratteristiche della rete (Figura 1).

Figura 1 Il problema analizzato



ReteBlu risponde all’esigenza di migliorare la gestione irrigua da parte dei Consorzi di Bonifica ed Irrigazione (d’ora in poi CB) integrando diverse fonti dati in un unico strumento di supporto (SDS) che possa permettere di soddisfare le esigenze irrigue dei consorziati in modo efficiente, ossia minimizzando i volumi utilizzati, mediante l’applicazione di modelli matematici che vengono risolti dal programma di calcolo GAMS, attraverso un’apposita interfaccia in ambiente Windows che semplifica l’accesso ai dati, le interrogazioni e l’analisi dei risultati.

ReteBlu può essere adattato a situazioni diverse in quanto tutti gli elementi che descrivono il sistema considerato con uno schema logico predefinito, sono definiti in archivi che vengono letti ed importati dal SDS. L’attuale versione comprende due componenti principali:

- la rete irrigua;
- il sistema produttivo agricolo.

Il programma richiede per ognuno dei due sottosistemi individuati la raccolta di adeguate informazioni che si differenziano in strutturali che possono restare invariati durante la stagione irrigua, e contingenti che variano quotidianamente come di seguito indicato.

Possono essere considerati invariati i dati che descrivono:

- la rete di irrigazione interessata, che comprende canali, punti di presa, paratoie;
- le particelle e le relative associazioni ai canali.

Variano, invece, durante la stagione irrigua anche se con modalità diverse:

- gli usi dei suoli a scala di sub-particella per ognuna delle aree servite;
- i volumi irrigui richiesti al campo considerando le agrotecniche presenti;
- le disponibilità di acqua ai punti di presa;
- i volumi presenti nella rete;
- i volumi che possono aggiungersi a quelli presenti nella rete per effetto di ruscellamento a seguito di eventi meteorici;
- i danni subiti dalle colture in caso di mancata irrigazione.

La rete irrigua di un CB è un sistema complesso, il modello considera:

- punti di presa, ossia di punti in cui l'acqua viene prelevata da una fonte esterna al Consorzio e immessa nella rete irrigua;
- manufatti di distribuzione di diversa tipologia; due sono quelle principali rappresentate da canali a cielo aperto e condotte in pressione;
  - i primi, scavati nel terreno e diversamente impermeabilizzati, si caratterizzano per una distribuzione a gravità in cui l'acqua fluisce da punti più alti a punti più bassi, avendo sempre una superficie esposta all'atmosfera con la quale intrattengono scambi per fenomeni di evaporazione, e le altre a contatto con il suolo nel quale rilasciano per percolazione quantità diverse dei volumi immessi in funzioni di diversi parametri, tra cui assumono particolare importanza: il substrato, l'impermeabilizzazione, il volume presente e il tempo di giacenza;
  - le seconde, attualmente non modellizzate, sono manufatti chiusi che isolando maggiormente la risorsa idrica dall'ambiente circostante riducono le perdite e consentono un flusso in pressione che aumenta la velocità di trasferimento garantendo importanti volumi trasferiti con sezioni minori.
- paratoie che controllano il deflusso dell'acqua in arrivo da una condotta a una o più condotte generalmente più piccole
- travate che permettono di sbarrare il deflusso dell'acqua innalzando il livello a monte

Va ricordato che la rete irrigua a cielo aperto svolge, spesso, anche la funzione di scolo consentendo l'allontanamento delle acque piovane, azione che rientra nei compiti di bonifica svolti dal CB. Questa funzione richiede l'immissione di volumi di acqua all'inizio della stagione irrigua per finalità di pulizia della rete stessa. Questa funzione può essere considerata stimando i volumi richiesti come fossero fabbisogni irrigui.

La rete a cielo aperto è pertanto un insieme di manufatti, principalmente canali e paratoie e travate che consentono di regolare il flusso di acqua in entrata ed uscita, a cui possono aggiungersi impianti di sollevamento, che serve terreni ad uso agricolo, consentendo l'approvvigionamento idrico di acqua di buona qualità.

La descrizione della rete e degli usi del suolo nel Comprensorio irriguo viene fatta dal CB, secondo la metodologia di seguito indicata, e si concretizza nella predisposizione di specifici archivi.

La stima dei volumi da immettere nella rete e la loro distribuzione richiede ulteriori dati che permettono l'identificazione

- del giorno
- del tratto di rete oggetto dell'analisi

e quantificano:

- i volumi presenti nella rete;
- la disponibilità di acqua prelevabile giornalmente dal CB dalle fonti esterne;
- i volumi che possono aggiungersi a quelli presenti per effetto di ruscellamento a seguito di eventi meteorici.

Il programma ReteBlu è integrato con il sistema Irrinet, sviluppato da ALTAVIA, opportunamente adattato. Questo programma produce i dati relativi a:

- i fabbisogni irrigui;
- la stima del danno derivante da una mancata irrigazione;

che vengono salvati in appositi archivi al momento dell'interrogazione effettuata dall'utente nella cartella predisposta.

La costruzione modulare adottata permette futuri adattamenti del programma per incorporare nuovi elementi che applicazioni ad ambiti e contesti diversi potrebbero rendere necessari.

L'attuale versione non considera la presenza di invasi e di pozzi, che sono generalmente presenti nei territori serviti dai CB, e il cui utilizzo interferisce con la gestione della rete irrigua.

Questa versione di ReteBlu assume che:

- la rete di irrigazione sia nota e possa essere descritta nei suoi parametri caratteristici per tutte le componenti;
- il CB abbia dei limiti sui prelievi giornalieri da fonti esterne che devono essere rispettati;
- la circolazione dell'acqua nella rete dia luogo a perdite per infiltrazione ed evaporazione che sono quantificabili con esattezza sulla base di parametri idraulici noti;
- i volumi presenti nei tratti di rete e quelli derivanti da fenomeni di ruscellamento da acque piovane sono conosciuti al momento dell'analisi
- gli appezzamenti agricoli di interesse (solo quelli dei consorziati e non tutti quelli potenzialmente irrigui) siano serviti esclusivamente da un tratto di canale;
- dati gli usi dei suoli, conosciuti dal CB, possano essere stimati giornalmente mediante Irrinet i fabbisogni irrigui per tutti i tratti di canale per alcuni giorni a venire a partire dalla data dell'interrogazione;
- i danni derivanti da mancate irrigazioni siano quantificabili mediante Irrinet;
- i fabbisogni irrigui vengano soddisfatti con prelievi di uguale valore dalla rete irrigua nello stesso giorno senza ricorso ad altre fonti;

- il CB possa regolare i flussi nella rete mediante la regolazione di paratoie e la collocazione di travate
- obiettivo della gestione irrigua sia:
  - prioritariamente il soddisfacimento dei fabbisogni irrigui con il minimo volume di prelievo totale;
  - in caso di disponibilità insufficiente, la minimizzazione del danno economico derivante da una carenza idrica.

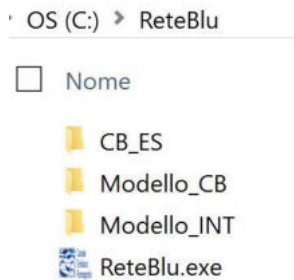
ReteBlu integrando tutti i dati sopra indicati, scrive e risolve un problema matematico adatto al contesto considerato, ottimizzando la gestione della rete individuando: i volumi ottimi di prelievo per punto di presa, le modalità di gestione delle paratoie e delle travate, i flussi e le conseguenti perdite nella rete, i prelievi, gli eventuali danni, i volumi residui considerando l'altezza minima di pescaggio degli impianti irrigui aziendali. Il problema matematico predisposto è sempre un problema a numeri interi che approssima la realtà indagata, in cui i fenomeni variano con continuità, in modo discreto ed assume complessità crescente con l'estendersi della rete e il livello di dettaglio adottato nella sua descrizione.

## **Il programma**

## Istallazione

Il programma viene istallato nella cartella **ReteBlu**, al cui interno si trovano diverse sottocartelle. Le cartelle (Figura 2) non devono essere modificate, nel nome, posizione, contenuto.

Figura 2 Le cartelle del programma



Ogni cartella contiene un gruppo omogeneo di archivi:

Cartella	Contenuto
CB_[acronimo CB]	i dati di <i>input</i> ed <i>output</i> delle simulazioni
Modello_CB	il programma, composto da diversi archivi in formato .gms, che carica i dati sulla rete e prepara l'output per il successivo modello di gestione della rete
Modello_INT	il programma, composto da diversi archivi in formato .gms, che esegue il modello di gestione della rete

Il file ReteBlu.exe è l'interfaccia grafica dei modelli in ambiente Windows.

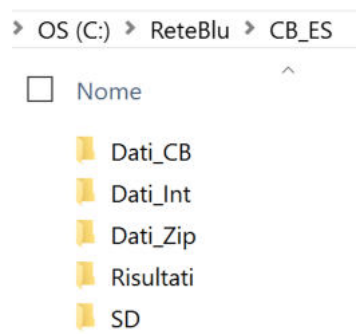
Tutti i file di programma non devono essere modificati dall'utente.

La cartella **CB\_[acronimo CB]** ha al suo interno cinque distinte cartelle:

Cartella	Contenuto
Dati_CB	i dati forniti dal CB che descrivono la rete e le particelle servite
Dati_INT	i dati richiesti per la stima dei prelievi e dei flussi e che vengono generati al momento dell'interrogazione
Dati_ZIP	copia dei dati richiesti per la stima dei prelievi e dei flussi e che vengono generati al momento dell'interrogazione
Risultati	gli archivi dei risultati in cartelle separate per gli utilizzatori
SD	archivi di programma

come illustrato in Figura 3.

Figura 3 *Le cartelle dati del programma*





## Interfaccia grafica

Il programma ha un'interfaccia grafica dedicata che permette di eseguire tutte le operazioni, gestione archivi, interrogazioni, calcoli, visualizzazioni dei risultati.

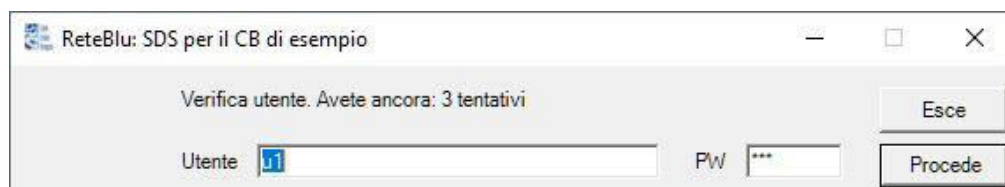
Informazioni sulla versione sono riportate nella maschera di informazioni (Figura 4).

Figura 4 Maschera di informazioni



Per poter accedere l'utente deve inserire nella maschera di accesso (Figura 1) il proprio codice utente e la password che gli sono state assegnate dall'amministratore del programma.

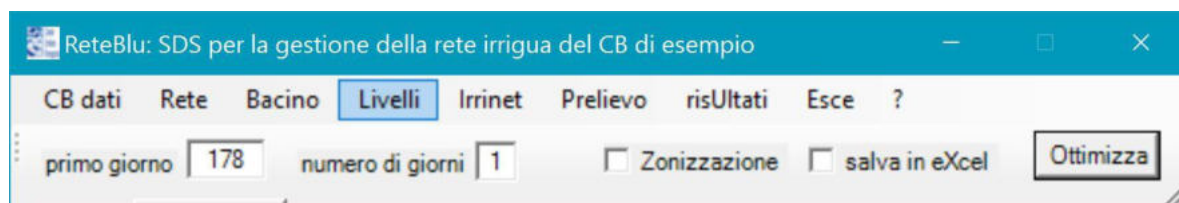
Figura 5 Maschera accesso



La gestione dei nomi utente e delle password di accesso è demandata all'amministratore del programma.

L'interfaccia (Figura 6) ha la forma di una barra allungata, può essere ridotta a icona o spostata, ma non modificata nelle dimensioni.

Figura 6 Interfaccia grafica



Si compone di due parti, in alto una barra dei menu, in basso delle caselle per introdurre valori, settare parametri, lanciare il programma di calcolo GAMS per effettuare le analisi

La barra dei menu comprende le seguenti voci:

CB dati	Permette di aprire gli archivi con i dati del CB posti in Dati_CB N.B. tutti gli archivi di testo (.txt) e in colonne separate da virgole (.csv) vanno modificati con appositi programmi o un editor di testo
Rete	Crea i file di programma che descrivono la rete sulla base dei parametri forniti dal CB. Il comando fa eseguire GAMS per compilare gli archivi e preparare l'archivio utilizzato nelle successive analisi.
Bacino	Apri l'archivio che individua la parte di rete da analizzare
Livelli	Apri l'archivio che quantifica l'altezza dell'acqua nei tratti di canale al momento dell'analisi
Irrinet	Ottiene da Irrinet gli archivi sui fabbisogni e il danno
Prelievo	Apri una maschera che permette di inserire i volumi prelevabili totali per giorno
risultati	Permette di aprire gli archivi dati dei risultati
Esce	Chiude il programma
?	Apri la maschera con informazioni sul programma

La parte inferiore permette di definire i seguenti parametri:

primo giorno	Il primo giorno considerato nell'analisi
numero di giorni	Il numero di giorni considerati
Zonizzazione	Attiva o disabilita la zonizzazione prevista dal CB nelle analisi
salva in eXcel	Se attivata, quando vengono lanciati Rete o Ottimizza, l'opzione fa creare archivi di Excel con i risultati, oltre agli archivi di testo.

Il tasto posto in basso a destra 'Ottimizza' permette di lanciare la procedura di calcolo del modello. Quando viene eseguito il programma verifica che:

- esistano nella cartella Dati\_INT tutti gli archivi richiesti;
- ci sia coincidenza tra il giorno settato nella maschera e quello definito nei file dei fabbisogni idrici;
- siano stati inseriti i volumi massimi di prelievo giornalieri. Questi sono inseribili tramite la maschera (Figura 7) richiamabile dalla voce Prelievi del menu:

Figura 7 Maschera per inserimento delle disponibilità

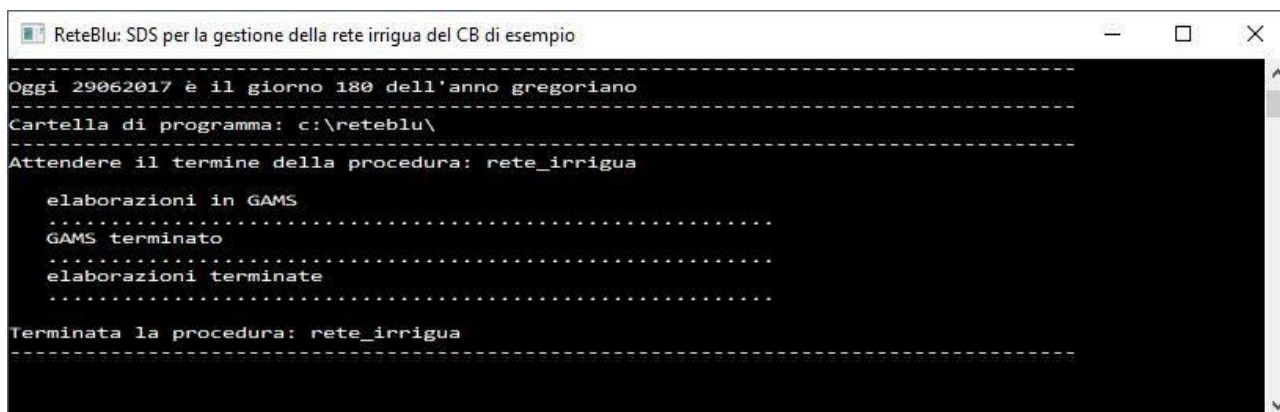


In caso di errore, vengono visualizzati appropriati messaggi.

Tutte le voci del menu, le opzioni e il comando possono essere richiamate da tastiera mediante la combinazione del tasto “alt” e la lettera indicata in maiuscolo. Ad esempio: Alt R equivale a richiamare Rete dalla barra dei menu, Alt O a premere il comando ottimizza.

Il programma ha una finestra di log che visualizza informazioni sull’esito delle procedure realizzate (Figura 8). Se viene chiusa il programma termina. La finestra può essere spostata o ridotta a icona.

Figura 8 Shell di log



L’esecuzione del comando ottimizza richiede una licenza di GAMS Base e una per la soluzione di problemi a numeri interi tramite CPLEX. Le licenze non sono parte del programma.

## Dati forniti dal CB per descrivere la rete irrigua e le particelle servite: Dati\_CB
























La rete irrigua del CB e le particelle servite vengono descritte in tre fasi successive che richiedono:

- l'individuazione delle componenti elementari del sistema: canali, tratti, paratoie, travate, fonti, particelle;
- la descrizione delle relazioni esistenti tra le componenti;
- la quantificazione dei parametri che permettono una modellizzazione del sistema.

A tal fine i seguenti archivi devono essere predisposti da parte del CB e posti nella cartella Dati\_CB.

La Figura 9 mostra gli archivi richiesti con riferimento ad un CB fittizio usato come esempio denominato 'ES'.

Figura 9 Archivi che descrivono la rete irrigua e gli usi dei suoli

<input type="checkbox"/> Nome	Tipo ^	Dimensione
 canali_parametri.csv	File CSV	2 KB
 paratoie_parametri.csv	File CSV	1 KB
 soglie_irrigue.csv	File CSV	1 KB
 travate_parametri.csv	File CSV	1 KB
 uso_suoli.csv	File CSV	1 KB
 c_ct_pt_c_ct.txt	File TXT	1 KB
 canali.txt	File TXT	1 KB
 canali_tratti.txt	File TXT	1 KB
 canali_tratti_particelle.txt	File TXT	1 KB
 colture.txt	File TXT	1 KB
 colture_codici.txt	File TXT	1 KB
 comuni.txt	File TXT	1 KB
 fogli.txt	File TXT	1 KB
 fonti.txt	File TXT	1 KB
 paratoie.txt	File TXT	1 KB
 particelle.txt	File TXT	1 KB
 particelle_chiavi.txt	File TXT	1 KB
 province.txt	File TXT	1 KB
 regimi.txt	File TXT	1 KB
 suscettivita_irrigua.txt	File TXT	1 KB
 tecniche_irrigue.txt	File TXT	1 KB
 tratti.txt	File TXT	1 KB
 travate.txt	File TXT	1 KB

Il programma permette una notevole flessibilità nella costruzione della rete e nella descrizione degli usi del suolo ma le seguenti regole vanno sempre rispettate.

- I codici identificativi utilizzati devono essere sempre univoci in ogni archivio, non sono ammesse ripetizioni dello stesso codice.
- Vanno introdotti tutti e solo i codici che permettono una completa descrizione del sistema.
- I codici adottati per descrivere le componenti del sistema, una volta definiti, devono essere mantenuti in tutti gli archivi.
- Negli archivi possono essere introdotti commenti ed annotazioni nelle righe che iniziano con un asterisco \* (segno di moltiplicazione).

Questi archivi vengono modificati solo quando cambiano le condizioni strutturali del sistema.

Questo gruppo comprende solo elenchi e combinazione di elementi individuati negli elenchi stessi; tutti questi archivi sono scritti e salvati in formato testo con suffisso .txt.

Gli archivi che contengono invece informazioni quantitative dette parametri, che descrivono la rete o gli usi del suolo, sono salvati con il suffisso .csv, in quanto i valori sono riportati in colonne separate dalla virgola. In questi ultimi archivi, le etichette vanno scritte tra doppi apici, i valori senza.

Gli archivi richiesti per la descrizione della rete sono di seguito descritti, distintamente tra componenti e loro relazioni.

## **Componenti della rete**

### ***Fonti***

**fonti.txt** individua le fonti esterne disponibili. Ogni fonte è individuata da un codice si suggerisce di adottare la lettera seguita da un numero: F[n] ogni riga individua una diversa fonte. L'archivio assume la seguente forma:

```
* fonti esterne
F1
* eof
```

### ***Canali***

**canali.txt** individua i canali, che possono essere a cielo aperto o condotte in pressione. Si richiede un numero progressivo come identificativo. Ipotizzando 6 canali si avrebbe:

```
* canali
1
2
3
4
5
6
* eof
```

L'individuazione del livello gerarchico del canale nella rete è richiesta dal programma e deve essere inserita nell'archivio che descrive i canali con un apposito indice; i canali che

partono da un punto di presa esterno hanno livello 1, indice 2 quelli che iniziano da lui, e così via. In Figura 9 il canale 1 ha indice 1, entrambi i canali che si dipartono da questo canale hanno indice 2, se da questi partisse un ulteriore canale avrebbe indice 3, e così via.

### ***Tratti di canale***

I canali devono poi essere articolati in tratti, questo risponde all'esigenza di individuare segmenti omogeni nella rete irrigua.

L'individuazione dei tratti è un'operazione preliminare che ha ripercussioni anche sulla codificazione degli elementi del sistema irriguo.

Si considerino le seguenti situazioni:

- un canale cambia alcune caratteristiche rilevanti quali: il contorno bagnato, la pendenza, le infiltrazioni, ... in tutti questi casi e situazioni simili è opportuno individuare tratti distinti;
- il prelievo in un canale a cielo aperto richiede un'altezza minima di acqua, tale altezza non è costante per la pendenza del canale. La presenza di paratoie e traverse rende possibile innalzare a monte il livello dell'acqua per un tratto che dipende dall'altezza dello sbarramento e dalla pendenza del canale. Questo aspetto è rilevante in quanto il pezzo di canale che può essere irrigato ha una lunghezza determinata che dà luogo ad un tratto autonomo. Ad esempio se in un canale lungo 1.200 metri, con una pendenza costante dell'1 per mille viene posta a 300 metri dalla fine una travata alta 0,7 metri e si richiedono 0,2 metri come altezza minima per i prelievi aziendali, il tratto che può essere irrigato grazie al volume invasato dalla paratoia è lungo 500 metri. Il canale, in questo caso, dovrà essere diviso in tre tratti di lunghezza rispettivamente di 400, 500, 300 metri

Seguendo la teoria dei grafi si adottano le seguenti definizioni tratte da Wikipedia, l'enciclopedia libera:

- un grafo  $G$  è una coppia  $(V, E)$  dove  $V$  è un insieme e  $E \subseteq V \times V$  è un sottoinsieme del prodotto cartesiano di  $V$  per se stesso. Gli elementi di  $V$  sono detti nodi e quelli di  $E$  sono detti archi. I nodi sono spesso chiamati anche "vertici". Gli archi sono detti anche "lati" o "spigoli".
- Il vertice  $v$  si dice connesso a  $w$  se esiste un percorso da  $v$  a  $w$ .
- Un grafo si dice connesso se i vertici  $v$  e  $w$  sono connessi per ogni  $v, w \in V$ .
- Un grafo orientato si dice fortemente connesso se esiste un cammino da  $v$  a  $w$  per ogni coppia  $v, w \in V$
- Si definisce foresta un grafo nel quale ogni nodo ha al più un genitore. I nodi privi di genitori si dicono *radici*, quelli privi di figli si dicono *foglie*. In questo contesto, le sequenze di archi si dicono anche *rami*.

A ulteriore chiarimento si veda l'esempio riportato in Figura 10 in cui è rappresentato un tratto di rete.

Il cerchio blu a sinistra individua una presa esterna ed è il nodo iniziale, la radice.

Il canale '1' presenta lungo il suo corso una prima travata (tratto rosso 12t13), si dirama poi in due altri canali '2' e '3', ognuno regolato da una travata (tratti rossi 14t21 e 14t31). Altre due travate sono poste sui canali '2' e '3'.

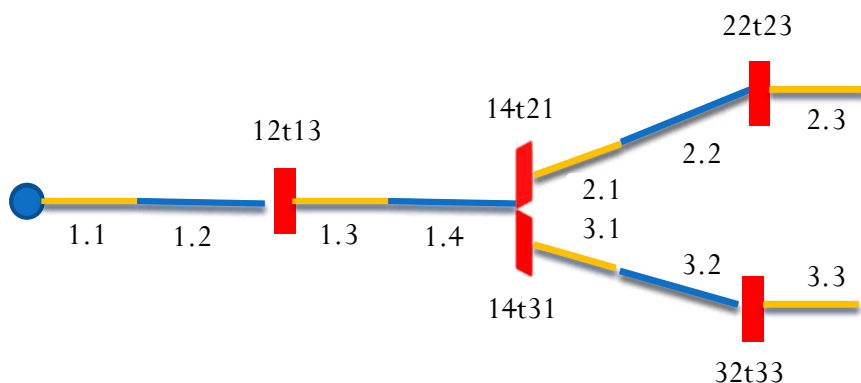
La presenza delle travate rende possibile irrigare i tratti a monte per una determinata lunghezza inferiore all'intero tratto. Questo rende necessario individuare i singoli tratti con le modalità descritte che tengono conto della pendenza del canale dell'altezza della travata.

In blu sono rappresentati i tratti irrigui, in giallo quelli che in assenza di un afflusso da monte non lo sono.

I punti in cui terminano ed iniziano i tratti, con o senza travate sono nodi o vertici; i tratti di canale sono archi. Si noti che ogni tratto di canale è univocamente identificato da due numeri, il primo indicante il canale, il secondo il tratto. L'adozione di una numerazione progressiva dei tratti rende evidente quale stia a monte (numero minore) e quale a valle (numero immediatamente successivo).

La numerazione dei canali segue la stessa logica di numerazione crescente a valle di una data diramazione, ma poiché le diramazioni sono generalmente molte, non è possibile identificare sulla base della numerazione assegnata la posizione occupata nella rete. Questa informazione è, invece, introdotta separatamente nell'archivio canale\_parametri.csv che descrive i canali.

Figura 10 Schema di tratto di rete



**tratti.txt** individua i tratti di canale. Si adotta un numero progressivo come identificativo. Lo stesso codice tratto può essere assegnato a canali diversi. Se il numero massimo di tratti presenti nello stesso canale fosse tre, l'archivio sarebbe:

```
* tratti di canale
1
2
3
* eof
```

Due ulteriori elenchi sono richiesti dal programma, quello delle paratoie (indicate da 'p') manufatti che permettono di regolare il flusso dell'acqua e sono automatizzate, e quello delle travate (indicate da 't') che rappresentano sbarramenti dei canali finalizzati ad innalzare il livello a monte (attualmente richiedono regolazioni manuali). Questi manufatti sono elencati in appositi archivi, si adotti la codifica di seguito indicata che facilita la comprensione della loro collocazione nella rete.

## *Paratoie*

**paratoie.txt** le paratoie ‘p’ vengono individuate da un codice composto da tre componenti: provenienza-tipologia-destinazione. Non ci sono spazi nel codice che adotta per provenienza e destinazione riferimenti agli elementi individuati. L’esempio che segue individua due paratoie poste ai punti di presa sulla stessa fonte esterna ‘F1’, la prima paratoia controlla le immissioni al canale 1 tratto 1 ‘11’, la seconda al canale 4 tratto 1 ‘41’:

```
* paratoie
F1p11
F1p41
* eof
```

## *Travate*

**travate.txt** per le travate ‘t’ si richiede l’approccio già visto per le paratoie, vengono anch’esse individuate da un codice composto da tre componenti: provenienza-tipologia-destinazione. Poiché le travate sono interne alla rete irrigua iniziano e finiscono in due tratti di canale contigui. L’esempio che segue riporta diverse travate, alcune poste tra due tratti dello stesso canale (es. tra il secondo e il terzo tratto del canale ‘2’ - 22t23), altre tra due tratti appartenenti a canali diversi (es. tra il secondo tratto del canale ‘1’ e il primo tratto del canale ‘2’ - 12t21):

```
* travate
12t21
12t31
22t23
...
52t53
52t61
62t63
*eof
```

## **Relazioni tra le componenti**

Un secondo gruppo di archivi descrive le relazioni tra le componenti precedentemente individuate.

Devono essere introdotte le seguenti informazioni che permettono di descrivere la rete irrigua.

### *Canali/tratti*

**canali\_tratti.txt** descrive l’articolazione in tratti dei canali. L’esempio seguente presenta tre canali, con rispettivamente due, tre, tre tratti.



canale	numero di tratti
1	2
2	3
...	...
6	3

L'archivio corrispondente ha due colonne separate da un punto:

- la prima colonna individua il canale
- la seconda il tratto.

\* canali tratti

1 . 1

1 . 2

2 . 1

2 . 2

2 . 3

...

6 . 1

6 . 2

6 . 3

\* eof

### ***Posizione paratoie e travate***

**c\_ct\_pt\_c\_ct.txt** descrive la posizione delle paratoie (p) e delle travate (t) nella rete individuando la relazione tra la parte a monte e quella a valle. Per entrambe vengono specificate il canale (c) e il tratto (ct) di appartenenza.

Si utilizza pertanto un codice composto di 5 elementi posti in altrettante colonne separate da un punto. N.B. il separatore tra elementi deve essere il punto.

La parte a monte può essere anche una fonte esterna, ad esempio 'F1', in questo caso poiché la fonte esterna non ha tratti deve essere indicato 'null' in corrispondenza del tratto. Nell'esempio la 'F1' che si collega al primo tratto del primo canale attraverso la paratoia denominata 'F1p11' viene indicata con F1.null.F1p11.1.1

La traversa interposta tra i tratti '2' e '3' del secondo canale con 2.2.22t23.2.3

Il seguente esempio illustra come può essere scritto l'archivio richiesto

\* relazione: canale-tratto-paratoia/traversa-canale-tratto

\* f\_c.ct.pt.c.ct

F1.null.F1p11.1.1

1.2.12t21.2.1

1.2.12t31.3.1

2.2.22t23.2.3

....

5.2.52t53.5.3

6.2.62t63.6.3  
F1.null.F1p41.4.1  
4.1.41t42.4.2  
\* eof

### ***Associazione particelle - canali***

**canali\_tratti\_particelle.txt** descrive l'associazione delle particelle ai canali.

Tale associazione deve essere univoca, una particella può essere irrigata solo da un tratto di canale. La seguente tabella presenta un esempio che viene poi illustrato dal corrispondente archivio.

canale	tratto	particelle afferenti
1	1	1,2,3
1	2	4,5,6,7,9
...	...	...
6	1	60,61
6	2	62,63,64,65,66

L'archivio che descrive la precedente situazione ha tre colonne separate da un punto: la prima colonna individua il canale, la seconda il tratto, la terza la chiave della particella che viene descritta in un apposito archivio. La presenza di spazi è irrilevante.

\* canali.tratti.particelle  
1.1.pc1  
1.1.pc2  
1.1.pc3  
1.2.pc4  
1.2.pc5  
....  
6.1.pc60  
...  
6.2.pc65  
6.2.pc66  
\* eof

### **Descrizione delle componenti**

Il modello richiede una descrizione quantitativa delle componenti della rete, in particolare dei canali, delle paratoie e delle travate, nonché degli usi del suolo che viene fatta con i seguenti archivi.

### **Canale parametri**

**canale\_parametri.csv** La presente versione richiede per ogni tratta di canale, individuata dai suoi due indici: 'c' e 'ct', i seguenti dati che descrivono in modo quantitativo i parametri considerati:

Parametro	Indice	Unità di misura	Note
Lunghezza	Lu	metri	
Larghezza alla base	L	metri	
Altezza	H	metri	
Pendenza	i	‰	per mille
Angolo verticale dei lati	gradi	gradi	
Coefficiente di attrito	coef_k	numero	
Coefficiente di perdita	coef_perd	numero	
Posizione del canale nella rete	seq	numero	indica la posizione occupata dal canale nella rete
Quota iniziale	quota_ini	numero	quota al punto iniziale
Quota finale	quota_fin	numero	quota al punto finale

I dati devono essere introdotti in un archivio di testo in colonne divise da virgola, formato .csv. L'archivio riporta nella prima riga le etichette che riportano gli indici precedente individuati e nelle righe successive i tratti di canale. Tutti i valori non numerici ossia la prima riga e le prime due colonne vanno racchiusi tra doppi apici come nel seguente esempio:

"c"	"ct"	"Lu"	"L"	"H"	"i"	"gradi"	"coef_k"	"coef_perd"	"seq"	"quota_ini"	"quota_fin"
"1"	"1"	1500.000	1.000	1.200	0.001	45.0	40.0	0.3416	1	35.50	
"1"	"2"	400.000	1.000	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	1		
"2"	"1"	1200.000	1.000	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	2		
"2"	"2"	500.000	1.000	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	2		
"2"	"3"	1.000	0.850	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	2		
..	..	..	..	..	..	..	..	..			
"6"	"1"	400.000	0.900	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	4		
"6"	"2"	400.000	0.800	1.100	0.001	45.0	40.0	0.3416	4		

La quota iniziale può essere fornita solo per i canali con indice di sequenza 1, ossia quelli che iniziano da una presa esterna, nel loro primo tratto.

### **Paratoie parametri**

**paratoie\_parametri.csv** La presente versione introduce come unico parametro per le paratoie la portata massima prelevabile al secondo espressa in litri al secondo.

\* paratoie parametri  
 't' , 'Qs'  
 '62t63' , 1000  
 \* eof

### **Travate parametri**

**travate\_parametri.csv**

La presente versione richiede di indicare l'altezza delle travate espressa in metri. Si assume che le travate abbiano la stessa sezione del tratto di canale in cui sono poste.

\* travate parametri  
 't' , 'H'  
 '12t21' , 0.60  
 '12t31' , 0.60  
 '22t23' , 0.70  
 ...  
 '52t61' , 0.70  
 '62t63' , 0.60  
 \* eof

### **Uso dei suoli**

**uso\_suoli.csv**

L'uso dei suoli deve essere descritto fornendo per ogni sub-particella, caratterizzata dalla stessa qualità di coltura, le seguenti informazioni raccolte in un database sull'uso dei suoli fornito nel formato seguente:

Campo	Descrizione	Tipo
CHIAVE_PARTICELLA	Codice identificativo univoco, deve essere quello definito nell'archivio "particelle_chiavi.txt"	indice
PROVINCIA	Provincia	indice
COMUNE	Comune	indice
FOGLIO	Foglio catastale	indice
PARTICELLA	Numero di particella	indice
COD_COLT	Codice coltura (classificazione AGREA)	indice
COLTURA	Uso del suolo, coltura (classificazione AGREA)	indice
REGIME	Irriguo/non irriguo	indice
TEC_IRR	Tecnica irrigua adottata secondo una casistica da concordare	indice
INIZIO_OCC	Data di semina o inizio occupazione del suolo (giorno giuliano)	valore
FINE_OCC	Data di raccolto o liberazione del suolo (giorno giuliano)	valore
SUP_COLT	Superficie della coltura (in ettari)	valore

Quando su una stessa superficie viene coltivata una sola coltura nell'intera stagione irrigua il database conterrà una sola riga; qualora diverse colture siano presenti sulla stessa particella il database conterrà tante righe quante sono le colture presenti sulla sub-particella. Analogamente quando la stessa superficie viene occupata in successione nell'anno da colture diverse si avranno altrettante righe quante le colture.

La seguente figura illustra un esempio.

Figura 11 Archivio uso\_suoli.csv

```
* uso del suolo
'CHIAVE','PROVINCIA','COMUNE','FOGLIO','PARTICELLA','COD_COLT','CULTURA','REGIME','TEC_IRR','INIZIO_OCC','FINE_OCC','SUP_COLT'
'pc9','BO','BO','11','6','C1','mais','irriguo','rotolone',74,230,23.53
'pc32','BO','BO','20','4','C2','frumento tenero','asciutto','nessuna',1,170,32.49
'pc36','BO','BO','21','9','C6','soia','irriguo','rotolone',80,265,5.72
'pc42','BO','BO','25','7','C1','mais','irriguo','rotolone',74,230,11.93
'pc52','BO','BO','28','4','C1','mais','irriguo','rotolone',74,230,9.32
*eof
```

### Elenchi per uso dei suoli

La descrizione degli usi dei suoli richiedono altri archivi che individuano le modalità possibili per gli indici utilizzati:

Campo	Descrizione	Archivio con lista modalità
CHIAVE_PARTICELLA	chiave della particella	particelle_chiavi.txt
PROVINCIA	provincia	province.txt
COMUNE	comune	comuni.txt
FOGLIO	foglio	fogli.txt
PARTICELLA	particella	particelle.txt
COD_COLT	codice descrittivo uso dei suoli dell'AGREA	codici_colture.txt
CULTURA	coltura per esteso	colture.txt
REGIME	regime	regimi.txt
TEC_IRR	tecnica irrigua	tecniche_irrigue.txt

Sono tutti archivi in formato testo (.txt) che contengono elenchi completi delle modalità dei diversi campi.

L'indice CHIAVE\_PARTICELLA permette la connessione con il tratto di canale e deve essere lo stesso utilizzato per identificare le particelle nel file "canali\_tratti\_particelle.txt" e "uso\_suoli.csv".

Si tenga presente che se nelle liste vengono introdotti elementi che contengono spazi questi devono essere racchiusi tra apici, come nell'esempio seguente le colture 'frumento tenero' e 'barbabietola da zucchero' nell'archivio "coltura.csv".

\* COLTURA  
'frumento tenero'  
girasole  
mais  
soia  
'barbabetola da zucchero'  
fagiolino  
\* eof

Sempre tra apici vanno introdotti elementi che contengono caratteri quali i trattini, ad esempio 'micro-irrigazione' in "tecniche\_irrigue.csv". Questo archivio deve anche contenere una voce da associare alle colture non irrigue nell'esempio si usa "nessuna".

\* TEC\_IRR  
aspersione  
rotolone  
'ala piovana'  
pivot  
'micro-irrigazione'  
goccia  
nessuna  
\*eof

### **Archivi ausiliari**

Il modello prevede la predisposizione di archivi ausiliari che permettono la considerazione di aspetti specifici e rilevanti alla gestione irrigua consortile.

### ***Zonizzazione per suscettività alla carenza del servizio irriguo***

Un aspetto considerato è relativo alla zonizzazione del territorio per individuare aree a diversa suscettività di copertura irrigua consortile. Poiché i volumi prelevabili possono variare nella stagione irrigua, in particolare a seguito dell'applicazione del minimo deflusso vitale (MDV) nelle aste fluviali, il CB può decidere di non offrire il servizio irriguo a determinate aree quando i volumi disponibili sono inferiori a soglie predefinite. Il programma permette di considerare questa modalità di gestione, sia che sia adottata o la si voglia simulare. L'approccio previsto prevede una classificazione del territorio in classi a decrescente suscettività di carenza idrica e la specificazione dei valori di soglia per ogni classe. Disponibilità inferiori alle soglie escludono le aree dal servizio irriguo.

Le classi previste sono quattro:

Classe di suscettività alla scarsità irrigua	Indice di scarsità
sempre serviti da irrigazione	I
scarsità irrigua moderata	B
scarsità irrigua media	M
scarsità irrigua forte	F

Gli archivi richiesti sono due:

**soglie\_irrigue.csv**                    quantifica le soglie per le classi di suscettività irrigua:

```
* soglie irrigue
soglie_scarsita('A')=700
soglie_scarsita('M')=550
soglie_scarsita('B')=400
* eof
```

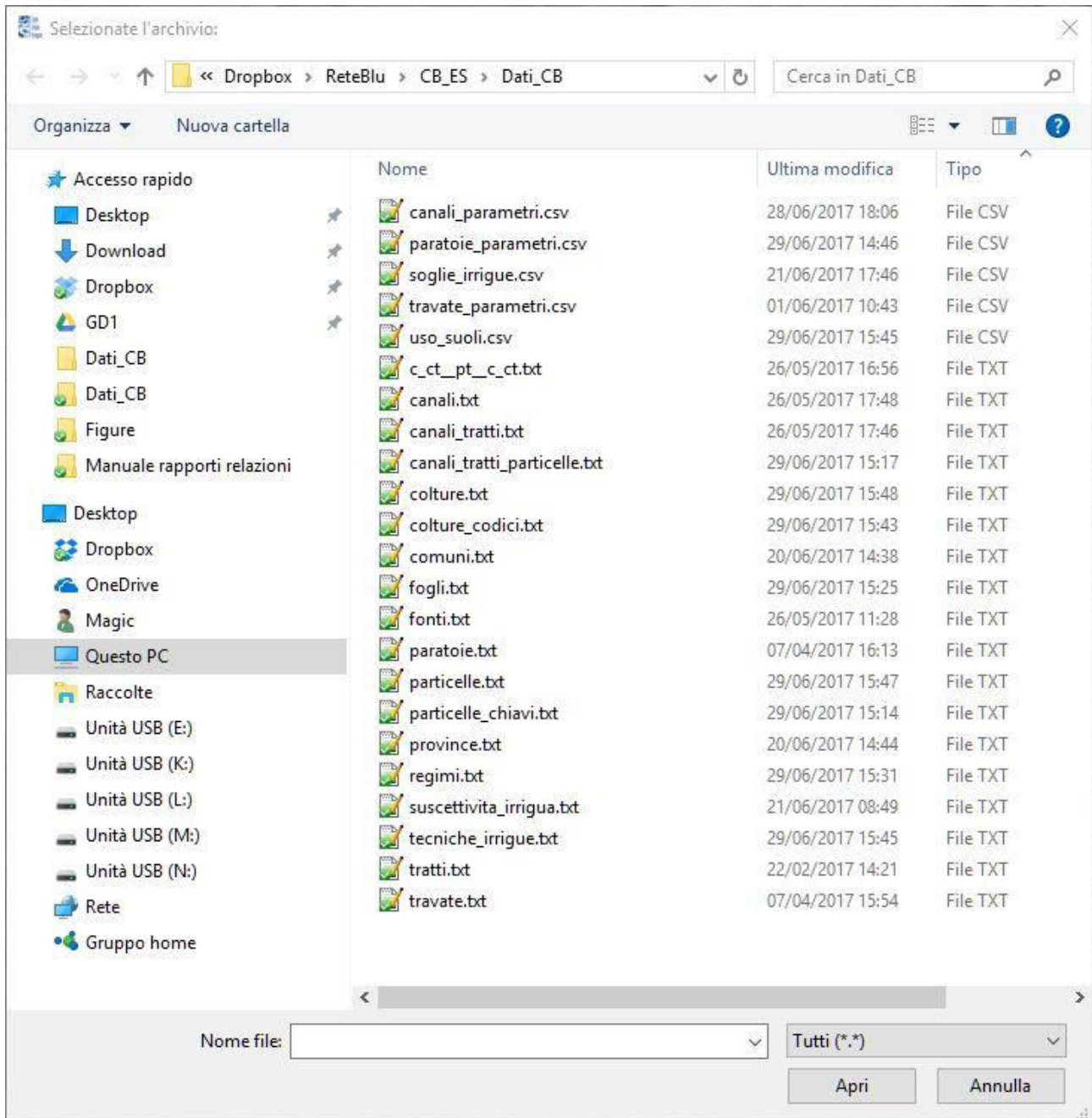
**suscettivita\_irrigua.txt**            associa ai tratti di canale l'appropriato indice di suscettività irrigua:

```
* c.ct.scarsità
1 .1 .i
1 .2 .i
2 .1 .b
2 .2 .b
....
4 .1 .m
4 .2 .m
5 .1 .a
5 .2 .a
• eof
```

## Apertura degli archivi del CB (comando 'CB dati' del menu)

La voce 'CB dati' del menu apre una maschera che permette di aprire un archivio tra quelli presenti nella cartella omonima.

Figura 12 Maschera per apertura di un archivio in 'Dati\_CB'



È possibile in questo modo un rapido controllo degli archivi esistenti.



## Creazione della rete irrigua (comando 'Rete' del menu)

Una volta preparati tutti gli archivi come indicato nella sezione “Dati forniti dal CB per descrivere la rete irrigua e le particelle servite: Dati\_CB” è possibile lanciare il comando ‘Rete’ dalla bara dei menu.

La voce lancia il programma GAMS che compila gli archivi richiesti e genera nella cartella DATI\_INT un file salvato come .g00 che contiene tutte le informazioni sulla rete.

La procedura produce un archivio salvato come [CB]\_rete in formato testo e se richiesto in Excel, in questo caso il programma deve essere installato sul computer.

Il file di Excel permette una chiara ed esaustiva visualizzazione dei risultati delle elaborazioni e consente la verifica delle stesse ed implicitamente dei dati immessi.

L’archivio [CB]\_rete di Excel contiene 4 fogli:

### Uso dei suoli

Il foglio riassume i dati forniti dal CB nell’archivio “uso\_suoli.csv”, ed è così organizzato

Colonna	Etichetta	Descrizione	Tipo	Unità di misura
A	c	Canale	indice	
B	ct	Tratto	indice	
C	co	Coltura/uso del suolo AGREA	indice	
D	re	Regime	indice	
E	ti	Tecnica irrigua	indice	
F	SUP_COLT	Superficie	valore	Ha

Figura 13 Foglio uso dei suoli

	A	B	C	D	E	F
1	Usi del suolo per canale (Ha)					
2						
3	c	ct	co	re	ti	SUP_COLT
4	Tot	Tot	Tot	Tot	Tot	29,25
5	1	Tot	Tot	Irriguo	Tot	29,25
6	1	1	Tot	Tot	Tot	29,25
7	1	1	Tot	Irriguo	Tot	29,25
8	1	1	mais	Irriguo	rotolone	23,53
9	1	1	soia	Irriguo	rotolone	5,72

Gli indici sono evidenziati in verde e possono essere filtrati richiamando il triangolino posto in basso a destra nella rispettiva cella.

La prima riga di valori (4) riporta il totale generale

Seguono totali parziali per regime e canale.

Completano la tabella i dati per tratto di canale distintamente per uso/coltura, regime, tecnica irrigua.

Il foglio permette una semplice analisi degli usi del suolo esistenti gravanti sulla rete irrigua.

## **Rete**

Il foglio descrive la rete irrigua mostrando le connessioni tra tratti di canale sulla base dei dati forniti dal CB nei diversi archivi richiesti e ha la seguente struttura:

Colonna	Etichetta	Descrizione	Tipo
A	c	Canale in entrata	indice
B	ct	Tratto in entrata	indice
C	c	Canale in uscita	indice
D	ct	Tratto in uscita	indice

Il foglio riporta tutti i collegamenti esistenti.

*Figura 14 Foglio rete*

	A	B	C	D
1	Rete:			
2	c	ct	c_a	ct_a
3	1	1	1	2
4	1	2	2	1
5	1	2	3	1
6	2	1	2	2
7	2	2	2	3
8	3	1	3	2
9	3	2	3	3
10	3	2	5	1
11	4	1	4	2
12	4	2	4	3
13	5	1	5	2
14	5	2	5	3
15	5	2	6	1
16	6	1	6	2
17	6	2	6	3

## **Paratoie travate**

Il foglio Paratoie\_travate mostra la collocazione delle travate e delle paratoie come indicato nell'archivio "c\_ct\_pt\_c\_ct.txt" fornito dal CB e ha la seguente struttura

Colonna	Etichetta	Descrizione	Tipo
A	c	Canale in entrata	indice
B	ct	Tratto in entrata	indice
C	p t	Paratoia o travata	indice
D	c	Canale in uscita	indice
E	ct	Tratto in uscita	indice

Il foglio riporta tutte e solo le paratoie e travate esistenti.

Figura 15 Foglio paratoie\_travate

	A	B	C	D	E
1	<b>Paratoie e travate:</b>				
2	c	ct	p t	c_a	ct_a
3	1	2	12t21	2	1
4	1	2	12t31	3	1
5	2	2	22t23	2	3
6	3	1	31t32	3	2
7	3	2	32t33	3	3
8	3	2	32t51	5	1
9	4	1	41t42	4	2
10	4	2	42t43	4	3
11	5	2	52t53	5	3
12	5	2	52t61	6	1
13	6	2	62t63	6	3
14	F1	null	F1p11	1	1
15	F1	null	F1p41	4	1

Si osservi la corrispondenza del indice assegnato alla paratoia o travata con i tratti di canale in entrata e uscita che ne facilita l'identificazione e posizione nella rete.

### Canali t

Le prime tre colonne del foglio Canali\_t riportano gli indici evidenziati in verde che possono essere filtrati richiamando il triangolino posto in basso a destra nella rispettiva cella.

La tabella viene generata partendo dalle informazioni contenute nell'archivio "canali\_parametri.csv" e di quella sulla rete irrigua.

La struttura completa dell'archivio e le modalità di calcolo dei campi calcolati sono di seguito indicate:

Colonna	Etichetta	Descrizione	Tipo	Unità di misura	Tipo di dato
A	c	Canale	indice		
B	ct	Tratto	indice		
C	l	Livello	indice		
D	i	Pendenza	valore	‰	fornito
E	Lu	Lunghezza	valore	m	fornito
F	L	Larghezza	valore	m	fornito al suolo poi calcolato
G	H	Altezza	valore	m	intervallo di 10 cm predefinito
H	gradi	Pendenza lati	valore	gradi	fornito
I	ld	Lunghezza sponda	valore	m	calcolato
J	sb	Proiezione sponda	valore	m	calcolato
K	s	Scarpa	valore	m	calcolato
L	Area	Area	valore	m <sup>2</sup>	calcolato
M	Cb	Contorno bagnato	valore	m	calcolato
M	Cb*Lu	Contorno bagnato per lunghezza	valore	m <sup>2</sup>	calcolato
O	Vol	Volume	valore	m <sup>3</sup>	calcolato
P	R	Volume	valore	m <sup>3</sup>	calcolato
Q	perd_%	Perdite percentuali	valore	%	fornito
R	raggio	Raggio idraulico	valore	m	calcolato
S	Vgms	Velocità	valore	m/s	calcolato
T	Qgms_s	Portata al secondo	valore	m <sup>3</sup> /s	calcolato
U	Qgms_h	Portata oraria	valore	m <sup>3</sup> /h	calcolato
V	Qgms_g	Portata giornaliera	valore	m <sup>3</sup> /g	calcolato
W	Ore	Ore	valore	h	calcolato
X	Min	Minuti	valore	m	calcolato
Y	coef_k	Coefficiente di attrito	valore	numero	fornito
Z	quota_var	Variatione di quota tra inizio e fine	valore	m	fornito e ricalcolato
AA	quota_ini	Quota della base del canale all'inizio del tratto	valore	m	fornito e ricalcolato esclusi canali iniziali
AB	quota_fin	Quota della base del canale alla fine del tratto	valore	m	fornito e ricalcolato

Le modalità di calcolo sono di seguito illustrate.

- La tabella presenta più righe per ogni tratto di canale, ognuna caratterizzata da un'altezza H diversa. Il canale viene diviso in intervalli di 10 cm, per cui il livello 0 corrisponde alla base con H pari a 0 metri, il livello 1 a un'altezza di 0,1 m, e così via fino all'altezza massima del canale.

- La riga con indice 'mi' in corrispondenza del livello riporta il livello minimo richiesto per i prelievi degli utenti, tale valore è settato a 20 cm.
- Pendenza 'i' e lunghezza 'Lu', fornite dal CB, non variano con l'altezza, mentre la larghezza viene calcolata a partire da quella al suolo (indicata dal CB).
- La pendenza dei lati, fornita in gradi, viene espressa in radianti dividendo per 57.29577951308233; partendo da H per ogni livello è quindi possibile calcolare la lunghezza dei lati obliqui 'ld' moltiplicando per il coseno dell'angolo e la semi base 'sb', la proiezione al suolo, moltiplicando per il seno dell'angolo.
- La larghezza 'L<sub>i</sub>' ad una data altezza 'l' è pari alla somma delle 2 semi-basi con la larghezza iniziale.
- L'Area<sub>i</sub> ad una certa altezza è ottenuta con la formula:  $(L_0+sb_i)*H_i$ .
- Il contorno bagnato ad una certa altezza, ossia livello, 'Cb<sub>i</sub>' è pari a  $L_0+2*sb_i$ .
- Il contorno bagnato moltiplicato per la lunghezza  $Cb_i*Lu$  è alla base del calcolo delle perdite utilizzando la formula fornita dal CER in cui il coefficiente medio 0,34 viene ridotto per i livelli più bassi ed innalzato per i più alti.
- Il raggio idraulico  $R_1$  pari all'Area<sub>i</sub> divisa  $Cb_i$  è utilizzato per calcolare la velocità media  $V_{gms_i}$  con la formula di Gauckler-Manning-Strickler adottata per canali a cielo aperto in terra:  $coef\_k * R_1^{2/3} * i^{1/2}$ , espressa in metri al secondo.
- Le velocità sono state ulteriormente ridotte fino ad un livello di 0.3 m di altezza per riprodurre il fenomeno delle correnti lente, rispettivamente del 10% a 0.3 m, del 20% a 0.2 m, del 50% a 0.1 m.
- La portata convogliata al secondo è ottenuta moltiplicando l'area per la velocità  $Area_i * V_{gms_i}$ . Moltiplicando per 3600 e poi per 24 vengono calcolate le portate orarie e giornaliere.
- Il tempo richiesto al completo attraversamento del tratto è pari alla lunghezza divisa la velocità  $Lu/V_{gms_i}$  moltiplicato per 3600 per esprimerlo in ore, ed ancora per 60 per esprimerlo in minuti. Lo stesso risultato è ottenibile dividendo il volume per la portata di un dato livello.
- La variazione di quota nel tratto è data dal prodotto della lunghezza per la pendenza che si assume sia negativa se non diversamente indicato. La quota finale del tratto è pari alla quota iniziale più la variazione di quota con il suo segno.

Figura 16 Foglio canali\_t

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
1	Canali:																											
2	c et l																											
3																												
4	1	1	0	0,0010	25,000	1,00		45,00			1,00		25,000,00															
5	1	1	1	0,0010	25,000	1,20	0,10	45,00	0,14	0,10	1,00	0,11	1,28	32,071,07	2,750	0,09	0,31	9,924,01	0,12	0,01	48,70	1,168,82	56,47	3,388,02	40,00	25,00	35,50	10,50
6	1	1	2	0,0010	25,000	1,40	0,20	45,00	0,28	0,20	1,00	0,24	1,57	39,142,14	6,000	0,15	0,31	12,166,93	0,29	0,07	250,42	6,010,07	23,96	1,437,59	40,00	25,00	35,50	10,50
7	1	1	3	0,0010	25,000	1,60	0,30	45,00	0,42	0,30	1,00	0,39	1,85	46,213,20	9,750	0,21	0,31	14,446,46	0,40	0,16	566,45	13,594,81	17,21	1,032,75	40,00	25,00	35,50	10,50
8	1	1	4	0,0010	25,000	1,80	0,40	45,00	0,57	0,40	1,00	0,56	2,13	53,284,27	14,000	0,26	0,31	16,775,29	0,52	0,29	1,046,09	25,106,21	13,38	802,99	40,00	25,00	35,50	10,50
9	1	1	5	0,0010	25,000	2,00	0,50	45,00	0,71	0,50	1,00	0,75	2,41	60,355,34	18,750	0,31	0,32	19,170,26	0,58	0,44	1,566,56	37,597,48	11,97	718,13	40,00	25,00	35,50	10,50
10	1	1	6	0,0010	25,000	2,20	0,60	45,00	0,85	0,60	1,00	0,96	2,70	67,426,41	24,000	0,36	0,32	21,653,62	0,64	0,61	2,195,61	52,694,56	10,93	655,86	40,00	25,00	35,50	10,50
11	1	1	7	0,0010	25,000	2,40	0,70	45,00	0,99	0,70	1,00	1,19	2,98	74,497,47	29,750	0,40	0,33	24,254,70	0,69	0,82	2,938,59	70,526,28	10,12	607,43	40,00	25,00	35,50	10,50
12	1	1	8	0,0010	25,000	2,60	0,80	45,00	1,13	0,80	1,00	1,44	3,26	81,568,54	36,000	0,44	0,33	27,012,10	0,73	1,06	3,801,12	91,226,87	9,47	568,25	40,00	25,00	35,50	10,50
13	1	1	9	0,0010	25,000	2,80	0,90	45,00	1,27	0,90	1,00	1,71	3,55	88,639,61	42,750	0,48	0,34	29,976,50	0,78	1,33	4,788,85	114,932,28	8,93	535,62	40,00	25,00	35,50	10,50
14	1	1	10	0,0010	25,000	3,00	1,00	45,00	1,41	1,00	1,00	2,00	3,83	95,710,68	50,000	0,52	0,35	33,214,37	0,82	1,64	5,907,43	141,778,42	8,46	507,83	40,00	25,00	35,50	10,50
15	1	1	11	0,0010	25,000	3,20	1,10	45,00	1,56	1,10	1,00	2,31	4,11	102,781,75	57,750	0,56	0,36	36,812,72	0,86	1,99	7,162,51	171,900,20	8,06	483,77	40,00	25,00	35,50	10,50
16	1	1	12	0,0010	25,000	3,40	1,20	45,00	1,70	1,20	1,00	2,64	4,39	109,852,81	66,000	0,60	0,37	40,885,26	0,90	2,38	8,559,63	205,431,09	7,71	462,64	40,00	25,00	35,50	10,50
17	1	1	mi				0,20																					
18	1	2	0	0,0010	400	1,00		45,00			1,00		1,00	400,00														
19	1	2	1	0,0010	400	1,20	0,10	45,00	0,14	0,10	1,00	0,11	1,28	513,14	44	0,09	0,31	158,78	0,12	0,01	48,70	1,168,82	0,90	54,21	40,00	0,40	10,50	10,10
20	1	2	2	0,0010	400	1,40	0,20	45,00	0,28	0,20	1,00	0,24	1,57	626,27	96	0,15	0,31	194,67	0,29	0,07	250,42	6,010,07	0,38	23,00	40,00	0,40	10,50	10,10
21	1	2	3	0,0010	400	1,60	0,30	45,00	0,42	0,30	1,00	0,39	1,85	739,41	156	0,21	0,31	231,14	0,40	0,16	566,45	13,594,81	0,28	16,52	40,00	0,40	10,50	10,10
22	1	2	4	0,0010	400	1,80	0,40	45,00	0,57	0,40	1,00	0,56	2,13	852,55	224	0,26	0,31	268,40	0,52	0,29	1,046,09	25,106,21	0,21	12,85	40,00	0,40	10,50	10,10
23	1	2	5	0,0010	400	2,00	0,50	45,00	0,71	0,50	1,00	0,75	2,41	965,69	300	0,31	0,32	306,72	0,58	0,44	1,566,56	37,597,48	0,19	11,49	40,00	0,40	10,50	10,10
24	1	2	6	0,0010	400	2,20	0,60	45,00	0,85	0,60	1,00	0,96	2,70	1,078,82	384	0,36	0,32	346,46	0,64	0,61	2,195,61	52,694,56	0,17	10,49	40,00	0,40	10,50	10,10
25	1	2	7	0,0010	400	2,40	0,70	45,00	0,99	0,70	1,00	1,19	2,98	1,191,96	476	0,40	0,33	388,08	0,69	0,82	2,938,59	70,526,28	0,16	9,72	40,00	0,40	10,50	10,10
26	1	2	8	0,0010	400	2,60	0,80	45,00	1,13	0,80	1,00	1,44	3,26	1,305,10	576	0,44	0,33	432,19	0,73	1,06	3,801,12	91,226,87	0,15	9,09	40,00	0,40	10,50	10,10
27	1	2	9	0,0010	400	2,80	0,90	45,00	1,27	0,90	1,00	1,71	3,55	1,418,23	684	0,48	0,34	479,62	0,78	1,33	4,788,85	114,932,28	0,14	8,57	40,00	0,40	10,50	10,10
28	1	2	10	0,0010	400	3,00	1,00	45,00	1,41	1,00	1,00	2,00	3,83	1,531,37	800	0,52	0,35	531,43	0,82	1,64	5,907,43	141,778,42	0,14	8,13	40,00	0,40	10,50	10,10
29	1	2	11	0,0010	400	3,20	1,10	45,00	1,56	1,10	1,00	2,31	4,11	1,644,51	924	0,56	0,36	589,00	0,86	1,99	7,162,51	171,900,20	0,13	7,74	40,00	0,40	10,50	10,10
30	1	2	mi				0,20																					
31	2	1	0	0,0010	1,200	1,00		45,00			1,00		1,00	1,200,00														
32	2	1	1	0,0010	1,200	1,20	0,10	45,00	0,14	0,10	1,00	0,11	1,28	1,539,41	132	0,09	0,31	476,35	0,12	0,01	48,70	1,168,82	2,71	162,62	40,00	1,20	10,10	8,90
33	2	1	2	0,0010	1,200	1,40	0,20	45,00	0,28	0,20	1,00	0,24	1,57	1,878,82	288	0,15	0,31	584,01	0,29	0,07	250,42	6,010,07	1,15	69,00	40,00	1,20	10,10	8,90
34	2	1	3	0,0010	1,200	1,60	0,30	45,00	0,42	0,30	1,00	0,39	1,85	2,218,23	468	0,21	0,31	693,43	0,40	0,16	566,45	13,594,81	0,83	49,57	40,00	1,20	10,10	8,90

Questi parametri vengono poi utilizzati nel modello di ottimizzazione della gestione della rete irrigua.

## Osservazioni relative all'irrigazione aziendale ed alla stima del danno da mancata irrigazione

Il modello di calcolo adottato ha tra i dati di input il volume richiesto per ogni tratto di rete dagli utenti del CB. Tale volume dovrebbe identificarsi con il volume irriguo ottimale, quello idoneo a soddisfare le esigenze irrigue delle colture effettivamente presenti, considerando la convenienza economica privata all'intervento; questo consente di ottimizzare la redditività agricola, che non coincide necessariamente con la massima produzione ottenibile, in quanto i costi privati di irrigazione potrebbero essere maggiori degli incrementi di reddito ottenibili dall'intervento stesso.

Nel calcolo dei fabbisogni irrigui va tenuto presente che non tutte le particelle presenti in un dato territorio sono servite dal CB, e non tutte quelle servite hanno esigenze irrigue. L'esatta individuazione delle superfici irrigate e delle colture effettivamente presenti sono, pertanto, elementi centrali per il calcolo dei fabbisogni irrigui.

La stima di quando e quanto irrigare a livello di campo rappresenta un parametro necessario per stimare i volumi irrigui richiesti nella stagione irrigua e conseguentemente i volumi da fornire mediante il servizio irriguo.

Il calendario irriguo varia non solo tra le colture, ma anche tra gli appezzamenti della stessa coltura in funzione di scelte puntuali dei singoli agricoltori. Quest'aspetto può essere considerato in modo puntuale, o con approssimazioni.

- Il primo approccio (puntuale) prende in considerazione la gestione dell'irrigazione effettivamente adottata dagli agricoltori, richiede pertanto una perfetta conoscenza del sistema a livello di singola sub-particella; questo si traduce in un fabbisogno di dati aggiornati durante tutta la stagione irrigua su base giornaliera che descrivano le scelte operate dai singoli agricoltori;
- il secondo può essere realizzato in modi diversi, ad esempio assumendo che i consigli irrigui calcolati da Irrinet siano sempre adottati.

La quantificazione dei volumi irrigui richiesti sarà nel tempo tanto più diversa tra i due approcci quanto maggiori saranno le differenze tra il dato stimato da Irrinet e il dato reale derivante dai comportamenti adottati dagli agenti.

La considerazione o meno delle perdite di campo e dell'effettiva efficienza irrigua aziendale, connessa alla tipologia di suoli, alla tecnica irrigua adottata ed alla sua gestione aziendale, ha effetti anche importanti sulle stime effettuate. Si osserva, infatti, una variabilità anche significativa non solo tra le colture, colture diverse sono generalmente irrigate con diverse tecniche irrigue, erbacee a pioggia, ortive e frutticole a goccia; ma anche tra gli agricoltori, la stessa coltura può infatti essere irrigate con impianti caratterizzati da un'efficienza diversa (rotoloni semoventi rispetto a postazioni fisse) ma soprattutto in relazione alla gestione degli impianti (irrigazione in presenza o assenza di vento, rispetto dei volumi irrigui e dei tempi ottimali).

La modellizzazione di questi ultimi aspetti richiede un adeguato approfondimento con i gestori della rete per individuare sia il loro reale fabbisogno informativo, sia la loro disponibilità di dati. Una descrizione puntuale

delle scelte e modalità irrigue operate a scala sub-particellare nella stagione irrigua può, infatti, essere adottato solo quando sia garantita un'adeguata disponibilità di dati.

La seguente tabella individua per diversi fattori rilevanti per la domanda irrigua aziendale la loro modalità di considerazione:

Aspetto	Considerazione	Affidabilità del dato	Impatto sulle stime del modello
l'uso dei suoli	mediante le colture effettivamente praticate	ottima	ottimo
le idro-esigenze colturali	stimate con Irrinet	buona	buono
gli aspetti climatici	considerate per macro-aree	adeguato	adeguato
le caratteristiche dei suoli;	considerate per macro-aree	adeguato	adeguato
la tecnica di irrigazione adottata	da definire	da definire	da definire
la gestione irrigua aziendale	non considerata	nullo	media criticità
la presenza di fonti alternative ed il loro utilizzo (pozzi ed invasi)	non considerata	nullo	forte

È possibile considerare un periodo successivo a quello dell'interrogazione, che può essere definito dall'utente. L'attuale versione permette di considerare da 1 a 4 giorni. Quest'aspetto richiede un'adeguata riflessione e introduce problematiche sia nella stima delle idro-esigenze che nella gestione della rete. Si ritiene che con un orizzonte temporale che vada oltre quello di interrogazione, stante l'attuale base informativa le stime possono essere ritenute affidabili per il primo giorno, ma in modo decrescente per quelli successivi in quanto comportamenti degli utenti possono modificare sensibilmente i prelievi relativamente al momento ed al volume. Questi comportamenti vengono catturati dalle informazioni generate il giorno successivo che ristimano i fabbisogni idrici colturali e correggono i livelli dei canali, recuperando così corrette informazioni sui prelievi effettivamente realizzati, ad esempio prelievi fatti in assenza di fabbisogno delle colture per riempire invasi aziendali (maceri e laghetti), o non fatti perché sostituiti da prelievi da fonti aziendali esistenti. Un ulteriore dato che deve essere fornito al modello è l'impatto della mancata irrigazione, dato che Irrinet già stima. Il valore dovrebbe esprimere il danno economico espresso in euro per la mancata irrigazione, il ricorso alla valuta rende possibile confrontare colture diverse, che si estendono su superfici diverse e rende possibile l'allocazione ottimale della risorsa idrica in situazioni di scarsità, applicando il criterio della sua minimizzazione. Questo non sarebbe possibile se il danno venisse stimato in modi diversi.



# Rilievi in campo per la caratterizzazione idraulica dei canali irrigui

## Sommario

<b>RILIEVI IN CAMPO PER LA CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEI CANALI IRRIGUI</b>	<b>1</b>
<b>1. <u>INQUADRAMENTO GENERALE</u></b>	<b>1</b>
<b>2. <u>DESCRIZIONE DEI METODI DI MISURA</u></b>	<b>4</b>
<b>3. <u>RISULTATI DEI RILIEVI</u></b>	<b>13</b>

### 1. Inquadramento generale

I rilievi in campo sono stati effettuati sui canali irrigui principali del Canale Venenta, gestito dal Consorzio di Bonifica della Renana, e del Canale Rivo Villano gestito dal Consorzio di Bonifica di Piacenza.

I rilievi effettuati e le relative date di esecuzione sono stati i seguenti:

- misura della portata idraulica con mulinello idrometrico: Venenta (22-06-2018), Rivo Villano (14-06-2018)
  - misure della conducibilità idraulica del letto del canale e degli argini: Venenta (11-12-2018)
  - misura della portata idraulica con metodo del galleggiante: Venenta (08-07-2019)
  - misura del tirante idraulico durante la stagione irrigua con pressostati: Venenta (dal 08-07 al 10-09 del 2019)
  - test di misure sperimentali di conducibilità idraulica sul fondo dei canali in terra in presenza di acqua: Venenta (08-08-2018)
  - test sperimentale di applicazione di misure a induzione elettromagnetica per la caratterizzazione degli argini in terra di canali irrigui: Canale Allacciante IV Circondario (25-06-2019)
- Di seguito riportiamo un'immagine con la localizzazione dei punti di misura del Canale Rivo Villano.



*Figura 1: Tracciato del Rivo Villano con identificati i punti di rilievo. Punto 1: derivazione su torrente Trebbia. Punto 2: partitore.*

Nell'immagine in figura 2 riportiamo il tracciato del sistema irriguo del Canale Venenta con i relativi punti di misura.

Il tratto in blu rappresenta il canale principale ove sono stati eseguiti i rilievi e l'installazione di sensori di livello come segue:

- **Punto A:** rilievo portata con mulinello presso travata e rilievo delle perdite con metodo sperimentale in presenza di acqua
- **Punto B:** rilievo perdite con canale senza acqua con metodo del infiltrometro a doppio anello e permeametro Guelph
- **Punto C:** rilievo delle portate con galleggiante ed installazione di 2 sensori di pressione (misuratori di pressione per rilievo tirante) prima e dopo una travata per la derivazione alle utenze
- **Punto D:** rilievo delle portate con galleggiante ed installazione di 2 sensori di pressione (misuratori di pressione per rilievo tirante) prima e dopo un sifone ed una paratoia manuale per la derivazione alle utenze

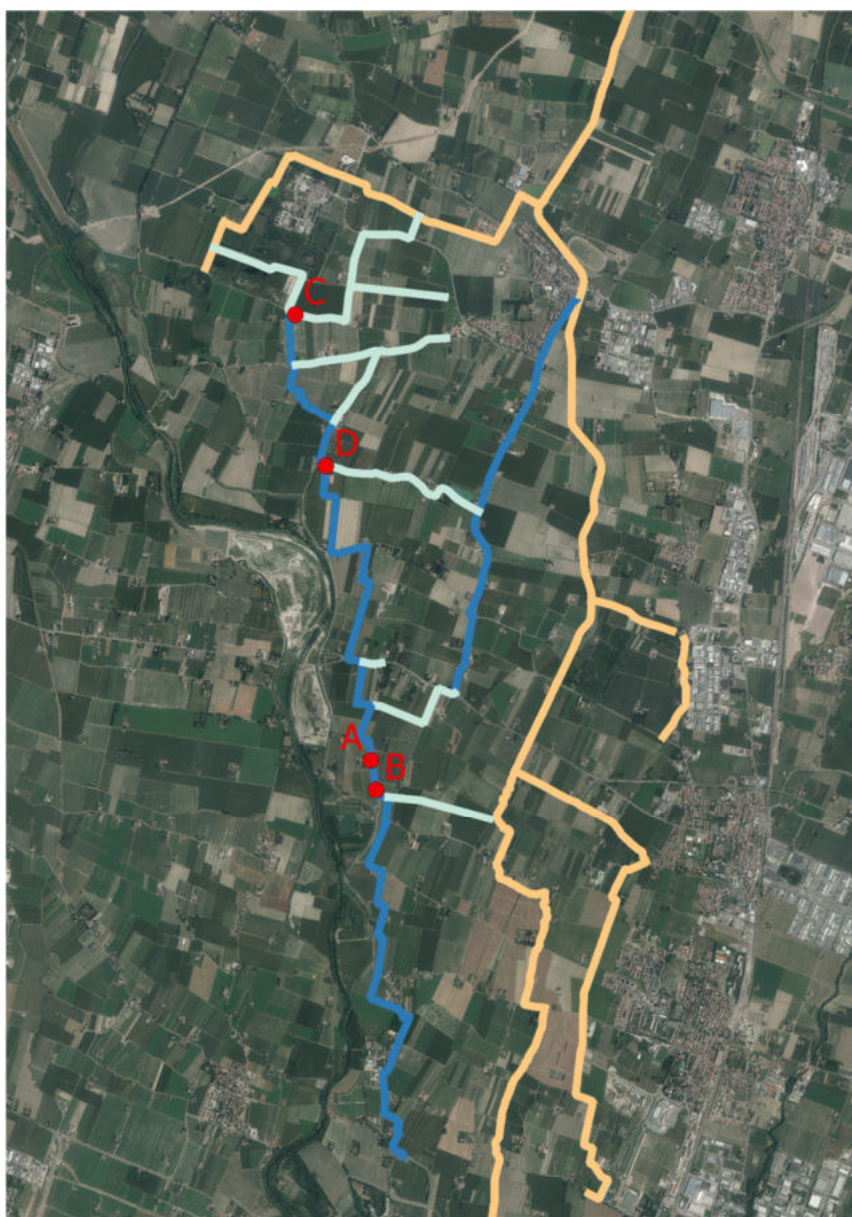


Figura 2: tracciato del distretto irriguo Venenta: Blu: Canale principale - Celeste: canali di derivazione - Arancione: Fosso di Scolo

## 2. Descrizione dei metodi di misura

### 2.1. Metodi per la misurazione della portata di correnti a pelo libero in moto laminare applicati ai casi di studio.

Il CER dispone di un mulinello idraulico modello SIAP C31 per la misura della velocità della corrente idraulica. La misura della portata viene eseguita utilizzando il comune metodo area-velocità come riportato nell'immagine in figura 3.

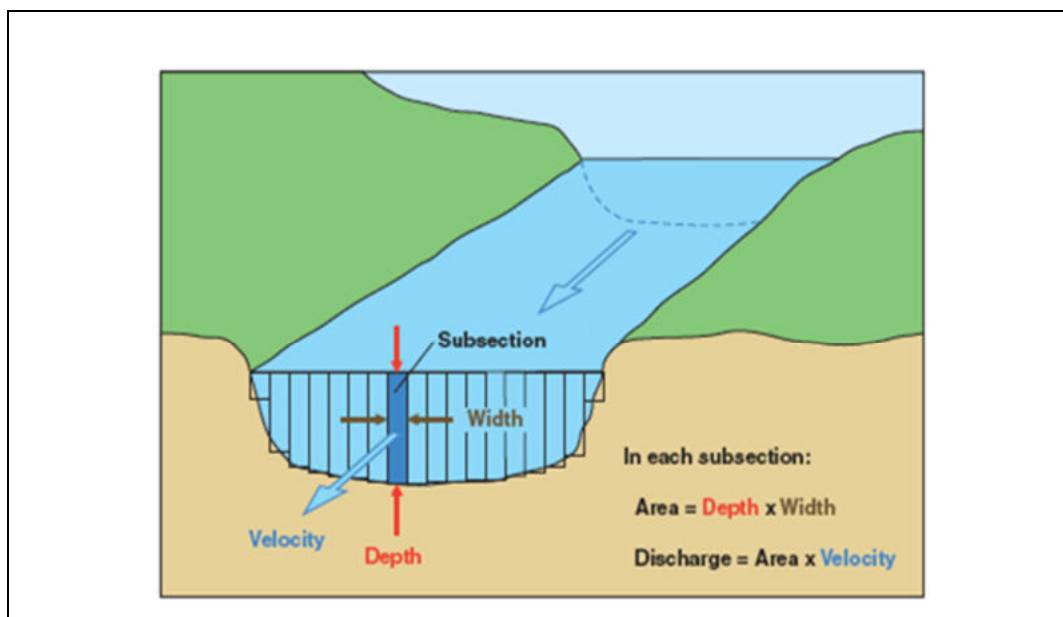


Figura 3: schematizzazione del metodo area-velocità per la misura della portata

Viene eseguito il rilievo della sezione oggetto della misura con i relativi tiranti idraulici a distanze incrementali. La sezione di rilievo deve essere individuata in un tratto rettilineo ove per una distanza pari ad almeno 10 volte la larghezza del tratto sia a monte che a valle non ci siano evidenti variazioni di sezioni.

In ogni frazione di sezione viene eseguita una misura di velocità della corrente idraulica utilizzando il mulinello. Il rilievo viene eseguito 1 volta per ogni sezione, qualora sia sufficiente un solo rilievo per ogni profilo, per una durata di 120 secondi durante i quali viene contato il numero di giri. Dal valore calcolato in giri al secondo si può calcolare la velocità del flusso con specifica formula di taratura del mulinello. Per una trattazione dettagliata si rimanda a manuali specialistici. Al fine di chiarire il rilievo eseguito si ritiene opportuno dettagliare nella seguente figura la teoria per lo studio del profilo verticale di velocità per correnti a pelo libero in moto laminare.

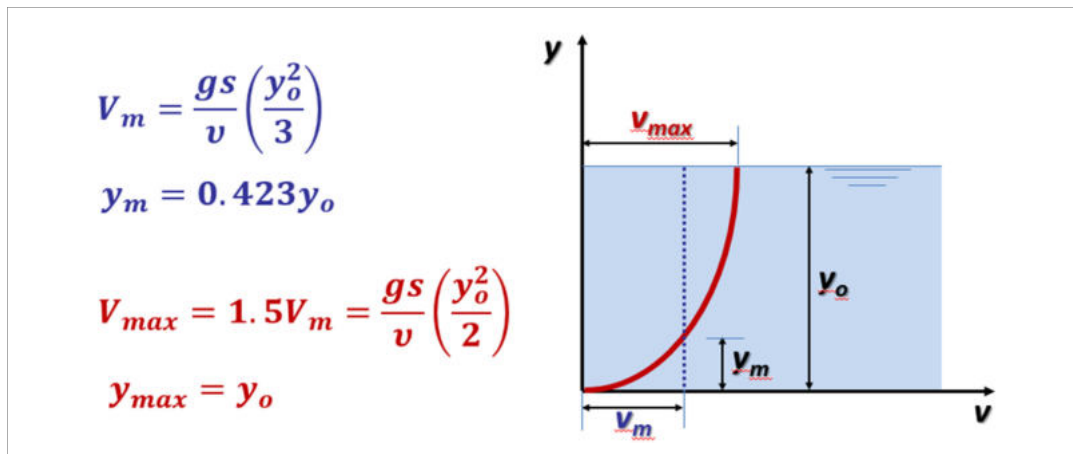


Figura 4: Andamento del profilo verticale di velocità per canali con moto laminare

Dalla figura 4, ove riportiamo l'andamento del profilo verticale di velocità della corrente, possiamo evidenziare quanto successivamente riportato nei prossimi paragrafi per contestualizzare a livello teorico alcuni aspetti del rilievo eseguito:

- 1) La velocità media nel profilo di velocità del fluido, con andamento parabolico, si ritrova a circa  $y_m = 0,4 \cdot y_0$  dal fondo del canale. Per i canali in questione ove il tirante è sempre inferiore ai 40 cm si è provveduto ad eseguire una sola misura di velocità per sezione essendo 13 centimetri il diametro della girante del mulinello.
- 2) La velocità massima è teoricamente in superficie, anche se nella norma si attesta a qualche centimetro dal pelo libero dell'acqua ed è uguale ad  $1,5 \cdot V_{media} \Rightarrow V_{media} = V_{max} \cdot 0,66$ . Misurata la velocità in superficie è possibile usare la precedente formula per stimare la velocità media del profilo.

Le procedure sopradescritte saranno utilizzate per il rilievo ed il calcolo della portata con i metodi utilizzati nei rilievi.

I tiranti idraulici rilevati in tutti i canali oggetto del rilievo erano in alcuni casi minimi tali non consentire il rilievo con il mulinello. Tale strumento ha bisogno di almeno 15-20 cm di tirante di acqua. Nel Canale Venenta per le sezioni misurate, D e C, tale metodo non era applicabile ed è stato utilizzato il metodo del galleggiante. In tutti i casi comunque si provveduto a rilevare 1 solo valore per ogni profilo verticale rappresentativo della media della velocità della corrente nell'intera altezza. Nella figura seguente riportiamo una foto dei rilievi eseguiti.





*Figura 5: rilievi della velocità del flusso con mulinello Siap C31*

La misura con galleggiante è stata necessaria per le 2 sezioni del Canale Venenta (punto C e D) per i seguenti motivi:

- tirante ridotto ( $H < 15-10$  cm)
- velocità di flusso ridotte ( $v < 0,2$  m/s)

Tali valori soprattutto se combinati sono da considerarsi il limite di applicazione del metodo del mulinello.

Per misurare la velocità nei tratti in esame quindi è stato utilizzato il metodo del galleggiante. Le misure sono state eseguite in tratti di Canale di 10 metri e sono state ripetute 4 volte. I valori ottenuti di velocità sono stati moltiplicati per un fattore correttivo di 0,65 come riportato in letteratura al fine di stimare la velocità media del profilo.

## **2.2. Metodo per la misura della conducibilità idraulica del fondo del canale in terra e degli argini**

Il metodo si basa sulla misura della velocità d'infiltrazione stabilizzata attraverso il sistema del doppio anello, comunemente utilizzato in idrologia del suolo. Il metodo prevede l'installazione di un anello di metallo del diametro di circa 30 cm e altezza di 45 cm. Il cilindro viene infisso nel terreno per 5-10 cm. Il cilindro esterno ha un diametro di circa 60 cm. Nel cilindro esterno viene mantenuto un livello di acqua tale da evitare il flusso laterale. Il cilindro interno all'inizio della misura viene riempito di acqua e a step temporali regolari di circa 5-10 minuti viene rilevato, tramite un galleggiante, l'abbassamento del livello di acqua. In funzione del tipo di terreno può essere necessario riempire il

cilindro interno varie volte prima di iniziare la misurazione al fine di arrivare a saturazione del terreno sottostante così come gli step temporali possono essere variati in funzione del tipo di terreno. Nel caso del fondo di canali in terra spesso non è necessario essendo già a saturazione. Al fine di evitare la necessità di strumentazioni complesse per la misura che assicurino un carico idraulico costante nel cilindro interno si può provvedere a utilizzare per il calcolo della conducibilità idraulica solo i valori di abbassamento del tirante registrati all'interno di un range di livello di acqua nel cilindro. Nel caso di studio sono sempre stati utilizzati valore di abbassamento registrati nel range di tirante idraulico di 5-10 cm da piano campagna.

Il metodo del doppio anello si basa sull'equazione del flusso idraulico sotterraneo a saturazione di Darcy:

$$Q = A \cdot K \cdot \frac{\Delta h + \Psi^0}{L}$$

ove

Q è la portata che defluisce dal cilindro avente unità [mc/s]

A è la sezione di deflusso [mq]

K è conducibilità idraulica a saturazione [m/s]

$\Delta h$  è il gradiente idraulico [m]

$\Psi^0$  è il potenziale dell'acqua nel suolo nel punto di transizione nel fronte di imbibimento del suolo [m]

L'applicazione della formula precedente risolvendola per K permette di calcolare la conducibilità idraulica del terreno. Al fine di facilitare il rilievo si possono fare alcune approssimazione:

-  $\Psi^0 = 0$ , oltre al fronte di imbibimento il potenziale dell'acqua nel suolo è 0. Ciò rappresenta la realtà delle condizioni di test essendo il suolo al disotto del fronte di avanzamento completamente bagnato.

- il parametro  $\Delta h/L$  può essere semplificato come segue:

$$\frac{\Delta h}{L} = \frac{H + L}{L} \approx 1; L \gg H$$

ove

H è il tirante idraulico dentro il cilindro centrale [m]

L è la profondità del fronte di avanzamento del processo di imbibizione del suolo [m].

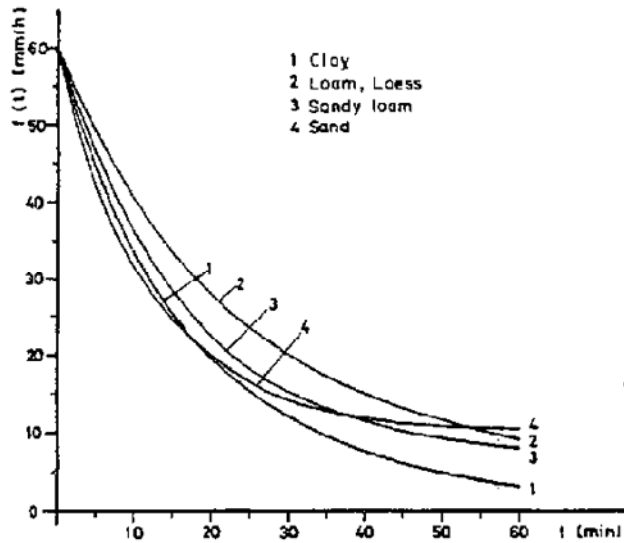
In tale condizione il carico idraulico (H) presente nel cilindro può essere trascurabile. Per avere una certa stabilità del processo è comunque necessario mantenere un range di H costante durante le misure. Per fare ciò il livello di acqua sul quale viene misurato l'abbassamento del tirante è tra 5 e 10 cm dal piano campagna ed in tale range la velocità di abbassamento viene utilizzata per il calcolo della conducibilità idraulica.

Al fine di confermare la validità dell'impostazione metodologica della prova generalmente viene eseguito un campionamento del terreno, alla fine della prova, per verificare la completa saturazione dello stesso almeno sino ad 1 metro di profondità dal piano campagna.

Per verifica delle condizioni idrauliche degli argini del canale, congiuntamente al rilievo delle perdite sul fondo dello stesso, viene eseguito anche il rilievo della conducibilità idraulica insatura con metodo del permeametro Guelph. Di tale rilievo non si farà nota nel presente documento essendo solo atto a verificare la omogeneità lungo il perimetro bagnato della sezione del canale in esame. Tale verifica consente di approssimare il valore di conducibilità idraulica satura, fatta sul fondo del canale, come rappresentativo di tutta la sezione bagnata comprensiva anche delle sponde.

A titolo esemplificativo riportiamo nel grafico sottostante l'andamento della velocità di infiltrazione in funzione del tempo.

A)



B)

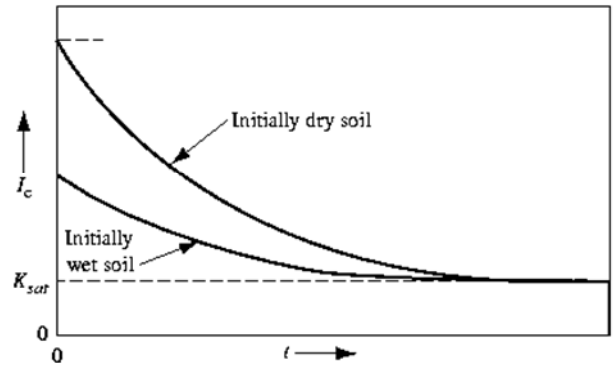


Figura 6: A- Andamento della velocità di infiltrazione in funzione del tempo per vari tipi di suolo con terreno asciutto al tempo  $t_0$ . B- Andamento della velocità di infiltrazione nel tempo per suolo in funzione del tempo a partire da umidità del suolo iniziale differente

L'andamento della velocità di infiltrazione può essere descritto dalla formula semi-empirica di Philip come segue:

$$V_i = \frac{B}{2\sqrt{t}} + A \cdot K_s$$

ove

$V$  è la velocità di infiltrazione in m/s

$t$  è il tempo in s

$A$  è un fattore di correzione che può variare tra 0,3 e 1, generalmente considerato pari a 1

$K_s$  è conducibilità idraulica satura [m/s]

$B$  è la "sorpitivity" che dipende dal tipo di terreno e dall'umidità iniziale la cui unità di misura è [m\*s<sup>-1/2</sup>]

La parte iniziale della curva è influenzata dalla "sorpitivity" del suolo. Con il passare del tempo il primo addendo tende a 0 e la velocità di infiltrazione è solo dipendente dalla conducibilità idraulica satura.

Per il caso in esame e sulle base delle misure di infiltrazione sul letto dei canali bonifica realizzate, in funzione della teoria dell'infiltrazione sopra esposta, è possibile riepilogare alcune condizioni comuni:

- nei canali di bonifica spesso le pendenze sono minime e quindi anche le velocità del flusso sono ridotte e ciò è potrebbe far presumere delle omogenee condizioni di sedimentazione associate al processo del "river bed clogging"
- le misure di conducibilità idraulica sul letto dei canali viene eseguita in assenza di acqua in essi come avviene nel periodo invernale ove comunque, a causa delle piogge della stagione, i terreni



evidenziano tenori di umidità sempre elevati: le velocità di infiltrazione non manifestano elevate variabilità come descritto in figura 5B.

### **2.3. Misura del tirante idraulico in continuo presso sezioni di verifica attraverso l'installazione di sensori di pressione non differenziali**

Il metodo per la misura del tirante idraulico in sezioni note prevede l'installazione di piezometri fessurati verso l'alto nel fondo nel canale in terra. Immerso nell'acqua poi si installa all'interno del piezometro il sensore di pressione a distanza nota dal fondo. Il datalogger, integrato nel sensore, è stato programmato per registrare un dato di pressione a cadenza di 60 minuti. Tale valore attraverso la correzione con il dato di pressione atmosferica rilevato nella stazione meteo più vicina consente di stimare il tirante idraulico nella sezione misurata. La misura in continuo del tirante associata alla misura della velocità del flusso consente di stimare la portata defluita dalla sezione di misura nel periodo di tempo rilevato. Nelle immagini seguenti riportiamo alcune foto relative alla fase di installazione e recupero dei sensori.



*Figura 7: foto dell'installazione dei sensori di pressione e del recupero degli stessi presso punto C e D del tracciato del Canale Venenta*

## 2.4. Test sperimentale per misura della conducibilità idraulica saturata sul fondo di canali in terra in presenza di acqua

Durante le attività svolte è stato possibile testare alcuni metodi utilizzati per rilevare gli scambi tra zona iporeica e corso d'acqua in presenza di acqua. Per una esemplificazione del metodo riportiamo l'immagine in figura 8.

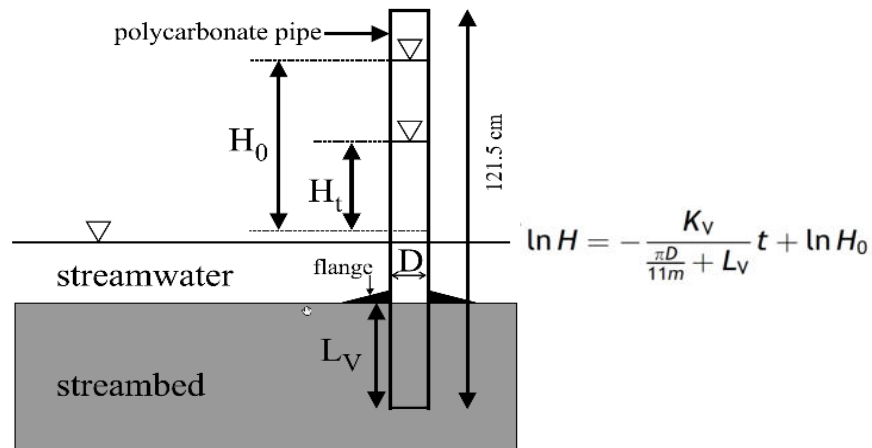


Figura 8: Rappresentazione del metodo proposto da Hvorslev (1951)

Il metodo prevede l'infissione sul fondo del canale di tubo aperto sul fondo. Dopo averlo riempito d'acqua viene misurata la velocità dell'abbassamento del tirante. Nella immagine successiva riportiamo una foto dell'installazione eseguita.



Figura 9: foto dell'installazione eseguita per i test del metodo sul Canale Venenta presso il punto B

Nella figura seguente riportiamo il grafico dei dati rilevati elaborati secondo la teoria di Hvorslev (1951) come descritto in precedenza.

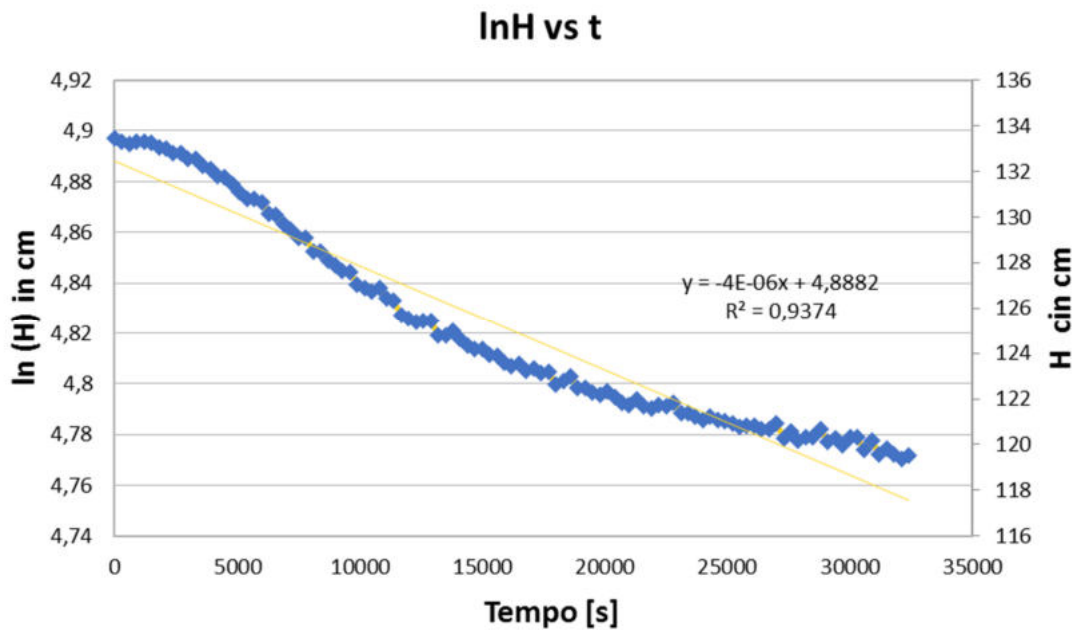


Figura 10: plot dei rilievi eseguiti nell'installazione

Il dato calcolato è stato di 0,97 mc/mq al giorno. Il metodo risulta ancora in stato di test al fine di validarne la bontà.

## 2.5. Test sperimentale di applicazione di misure a induzione elettromagnetica per la caratterizzazione degli argini in terra di canali irrigui: Canale Allacciante IV Circondario (Bonifica Renana)

Il CER dispone di strumentazione geofisica per misura della conducibilità elettrica del terreno attraverso il metodo dell'induzione elettromagnetica: EM38 della Geonics. Nella figura seguente riportiamo una schematizzazione del metodo di misura.

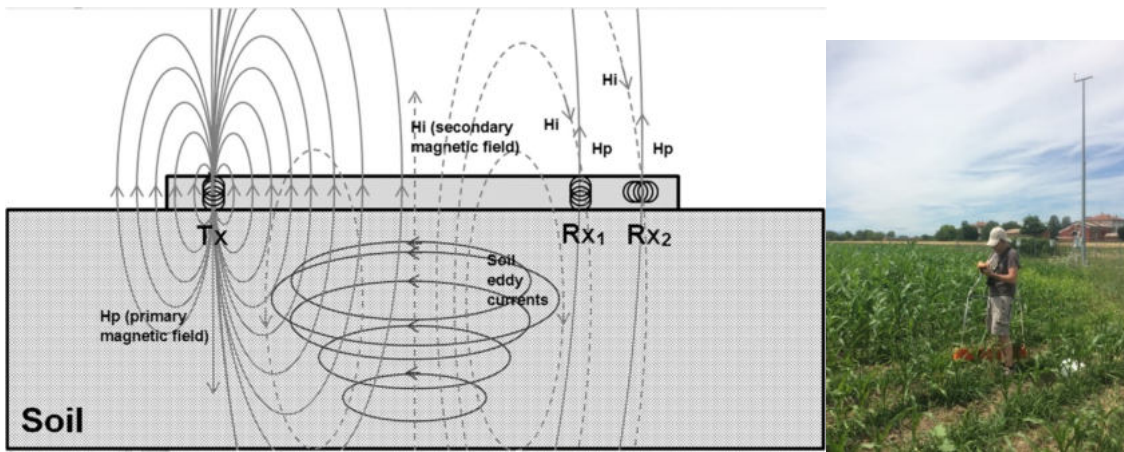


Figura 11: rappresentazione del EM38 e del metodo di misura ad induzione elettromagnetica e foto dello strumento durante il rilievo

Lo strumento è costituito da una polo di sorgente di campo magnetico generato a partire da una corrente alternata a 14.3 KHz. Tale sorgente (Tx in figura) genera un campo magnetico primario perpendicolare al terreno (Hp). Il campo Hp si dissipa nel terreno generando un campo elettrico ortogonale. A sua volta il campo elettrico genera un campo magnetico secondario (Hi) che viene rilevato, sfasato di  $2\pi$ , da un sensore di campo magnetico posto nello strumento al vertice opposto (Rx1). La schematizzazione del circuito elettrico equivalente viene riportata nell'immagine seguente.

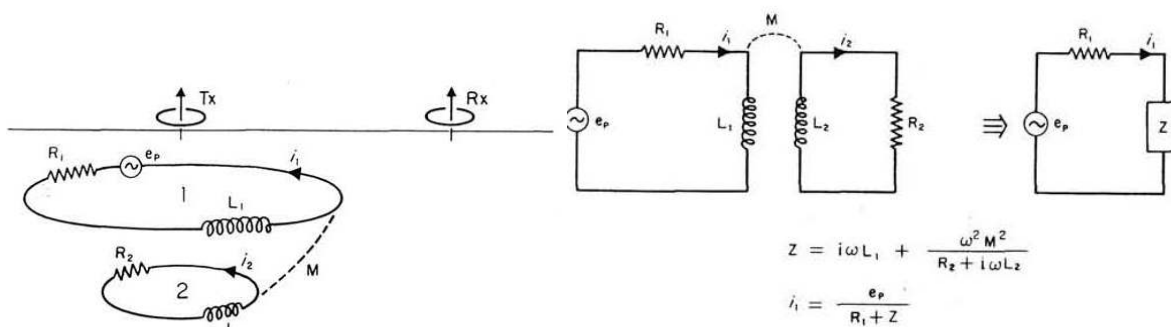


FIGURE AII. Electrical model for vertical dipoles.

FIGURE AIII. Equivalent circuit for model of Figure AII.

Figura 12: schematizzazione del circuito elettrico equivalente e sua risoluzione numerica.

Sulla base di quanto esposto è possibile calcolare il valore della conducibilità elettrica misurata dallo strumento applicando la seguente formula:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu S^2} \left( \frac{H_s}{H_p} \right)$$

Ove:  $\sigma_a$  è la conducibilità elettrica [S/m],  $\mu$  è la permeabilità magnetica del vuoto [ $N/A^2$ ],  $S$  è lo spazio tra Tx e Rx1 (m),  $H_p$  campo magnetico primario,  $H_s$  campo magnetico secondario e  $\omega = 2\pi f$  con  $f$  uguale alla frequenza di alimentazione del generatore (Hz).

La conducibilità elettrica del volume esplorato dallo strumento che arriva sino alla profondità di 1,5 metri dal piano campagna viene comunemente denominata conducibilità elettrica apparente del suolo  $\sigma_a$ . Vari modelli sono stati sviluppati per l'interpretazione della misura ai quali rimandiamo per



una trattazione più dettagliata. Per semplicità si riporta solo la formula di Archie (1942) comunemente utilizzata in geofisica utile per l'interpretazione delle misure:

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

Ove:  $\Phi$  è la porosità (%),  $C_w$  è la Conducibilità elettrica dell'acqua (mS/m),  $S$  è la Grado di saturazione (contenuto idrico in %),  $m$  è il cementation exponent,  $n$  è la saturation exponent ed  $a$  è la tortuosity factor.

A parità di altre condizioni il valore della conducibilità elettrica apparente del suolo dipende dal contenuto idrico del terreno e ciò può essere indicativo della presenza di vie di deflusso preferenziale in argini in terra.

### 3. Risultati dei rilievi

#### 3.1. Portate rilevate nel Rivo villano (Punto 1 e 2)

Nel Rivo Villano sono state individuate 2 sezioni di misura della portata:

- 1) - la sezione alla derivazione per gravità dal Fiume Trebbia (punto 1 della mappa)
- 2) - le sezioni dell'opera di distribuzione che divide la portata in 4 canali principali per l'adduzione di acque presso i comizi (punto 2 della mappa)

Per quanto riguarda la portata alla derivazione riportiamo il grafico dei tiranti rilevati e delle velocità del flusso in Figura 11.

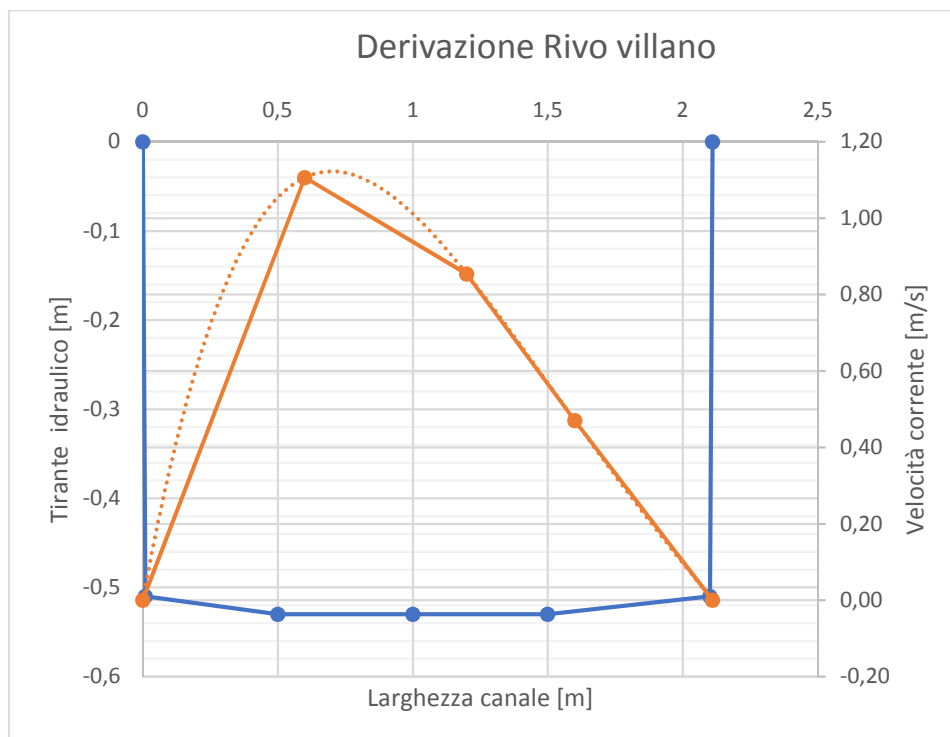


Figura 13: Andamento delle velocità del flusso rilevate e dei tiranti per i vari punti della sezione

Il rilievo ha permesso di calcolare la portata derivata in **719 litri al secondo**.

Nella sezione a valle sono stati rilevate le portate dei 4 canali secondari in cui si divide il canale principali. Per semplicità non si riporta il grafico delle velocità rilevate.

La somma delle portate derivate al partitore è risultata di **562 litri al secondo**.

Considerando i seguenti dati:

- la lunghezza del tratto di calcolo di circa 3163 metri rilevato su GIS
- un perimetro bagnato medio stimato di 3,1 metri.

Le perdite totali calcolate sono risultate uguale 156 litri a secondo ( $719 - 563 = 156 \text{ l/s} \Rightarrow 13514 \text{ mc/d}$ ). Le perdite unitarie sono risultate di circa 1,37 metri cubi per metro quadrato di sezione per giorno ( $13514 / (3163 * 3,1) = 1,37 \text{ mc/mq*d}$ ). Tali dati potrebbero essere in accordo con la litologia attraversa dal canale costituita prevalentemente da materiali grossolani alluvionali dal fiume Trebbia.

### 3.2. Portate rilevate nel Canale Venenta

Nei punti C e D, come riportato in planimetria, sono state eseguite delle misure di portata con metodo del galleggiante. Presso il punto C e D è stata rilevata una velocità del flusso media per la sezione di misure di rispettivamente di 0,10 e 0,08 m/s, considerando un fattore correttivo della velocità di 0,65 come descritto nei paragrafi precedenti. Tali valori sono stati utilizzati in prima approssimazione per le successive elaborazioni.

Nel punto B, circa 20 metri a valle della travata, è stato fatto un rilievo di portata con mulinello idrometrico. Nell'immagine seguente riportiamo il grafico del profilo delle velocità rilevate.

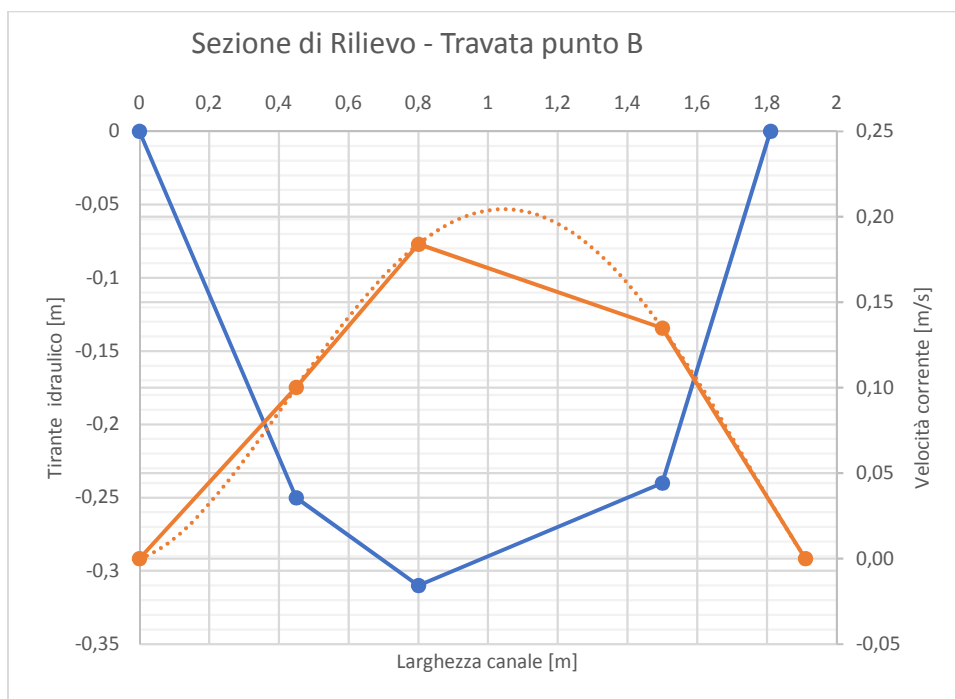


Figura 14: tirante rilevato e velocità del flusso

La portata calcolata con il metodo area-velocità è stata di **77,2 litri al secondo**.

### 3.3. Conducibilità idraulica misura sul fondo del Canale Venenta (punto B)

Il rilievo è avvenuto in data 11-12-2018 nel punto B definito in planimetria. Il set-up della prova prevede di installare 3 cilindri, di cui 2 in ferro ed 1 in pvc distanti 2-3 metri l'uno dall'altro. I cilindri vengono riempiti con acque e vengono eseguite le misure di abbassamento del tirante come descritto nei paragrafi precedenti. Nella immagine seguente riportiamo una foto dell'area di studio con il set-up della prova.



*Figura 15: foto del rilievo eseguito presso Canale Venenta in data 11-12-2018 con permeometro Guelph sull'argine.*

Nell'immagine si vedono i due cilindri di metallo ed il cilindro in pvc, ognuno dotato del galleggiante per il rilievo dell'abbassamento del livello dell'acqua. Sull'argine era stato installato il permeometro Guelph per la misura della conducibilità idraulica insatura come descritto nel paragrafo precedente. Nei grafici seguenti riportiamo l'andamento della conducibilità idraulica calcolata come descritto nel paragrafo del metodo per il cilindro 1 (dx della foto) e per il cilindro 3 (centrale nella foto). Per quanto riguarda il cilindro in plastica il rilievo non è risultato affidabile probabilmente a causa delle discontinuità sul fondo del canale.

Di seguito riportiamo il grafico con l'andamento della velocità di infiltrazione durante le prove del cilindro 1 e 2.

Come si può notare nel cilindro 1 le ripetizioni delle misure sono state 5 al contrario del cilindro 2. Probabilmente a causa di una discontinuità al di sotto del punto di inserzione del cilindro ed il terreno, che è risultata evidente dopo l'installazione ed è stata confermata durante l'esecuzione delle prove, il sistema di misura non è entrato in equilibrio generando un continuo abbassamento delle velocità di infiltrazione senza mai arrivare all'asintoto della cosiddetta "velocità d'infiltrazione stabilizzata".

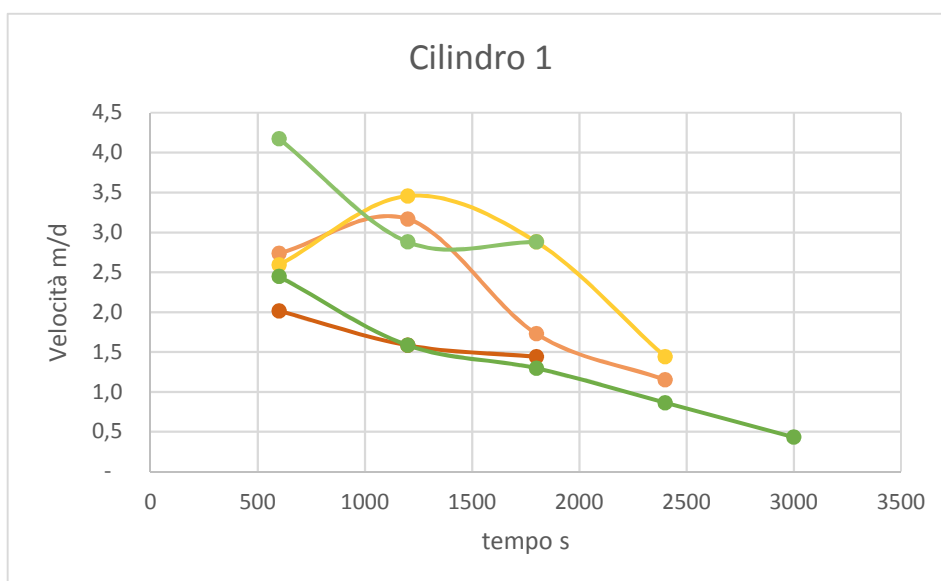


Figura 16: Andamento delle velocità d'infiltrazione calcolate dalle misure di abbassamento per il cilindro 1 per 5 misure ripetute

Il continuo decrescere della velocità di infiltrazione senza raggiungere la condizione di velocità di infiltrazione stabilizzata per tutte le ripetizioni, come descritto nella teoria riportata ai paragrafi precedenti, consente di escludere il rilievo eseguito.

Al contrario per il cilindro 2 come si vede nel grafico in figura 15 sono stati rilevati velocità di infiltrazione minori, senza manifestare variabilità marcata nel tempo e ciò probabilmente perché connesso ad una condizione iniziale di umidità del suolo elevata come era evidente in campo.

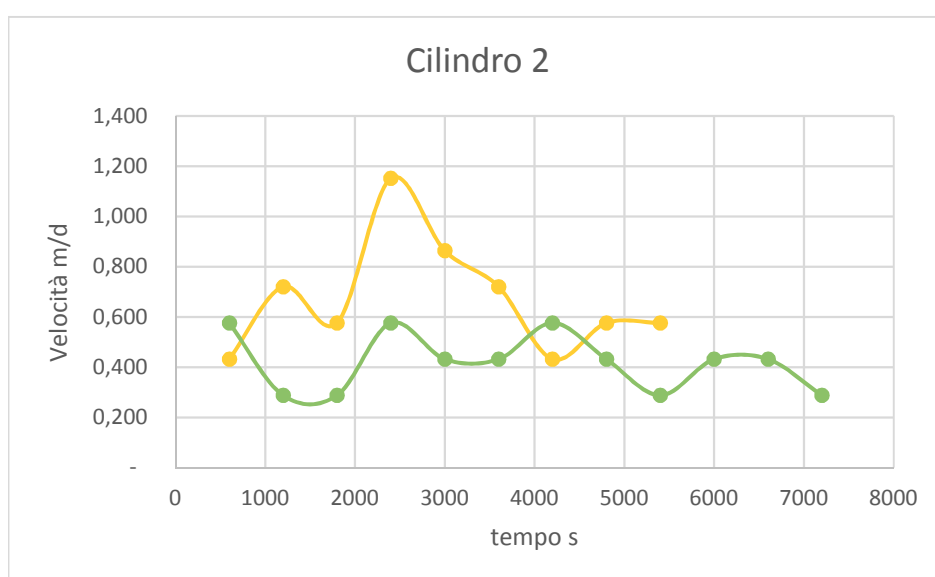


Figura 17: Andamento delle velocità d'infiltrazione calcolate dalle misure di abbassamento per il cilindro 2 per 2 misure ripetute



Sulla base di quanto esposto, per il calcolo della conducibilità idraulica satura sono stati utilizzati i risultati ottenuti dal cilindro 2. Considerando gli ultimi 3 rilievi del cilindro 2 per ognuno dei due rilievi, associabili alle condizioni di velocità di infiltrazione stabilizzata con tirante idrico costante compreso tra 8 e 10 cm da piano campagna, il valore medio di conducibilità idraulica è risultato di 0,45 m/d.

Nella tabella successiva riportiamo la tabella con i dati rilevati e con evidenziato in rosso i valori utilizzati per la stima della conducibilità idraulica satura.

CL2	RIL1	H iniziale cm	13,5	diametro cm	26,5	Posizione	2	Cilindro2
CL2	RIL1	H fine	5,5					
CL2	RIL1	tempo	temp	H carico	h misura	deltah	Velocità	Velocità
CL2	RIL1	min	s	cm	cm	cm	cm/s	m/g
CL2	RIL1	0		13,5	414,4			
CL2	RIL1	10	600	13,1	414,8	0,4	0,000667	0,576
CL2	RIL1	20	1200	12,9	415	0,2	0,000333	0,288
CL2	RIL1	30	1800	12,7	415,2	0,2	0,000333	0,288
CL2	RIL1	40	2400	12,3	415,6	0,4	0,000667	0,576
CL2	RIL1	50	3000	12	415,9	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL1	60	3600	11,7	416,2	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL1	70	4200	11,3	416,6	0,4	0,000667	0,576
CL2	RIL1	80	4800	11	416,9	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL1	90	5400	10,8	417,1	0,2	0,000333	0,288
CL2	RIL1	100	6000	10,5	417,4	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL1	110	6600	10,2	417,7	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL1	120	7200	10	417,9	0,2	0,000333	0,288
CL2	RIL1	200	12000	10	419,9		0	-
CL2	RIL2	H iniziale cm	12	diametro cm	26,5	Posizione	2	Cilindro2
CL2	RIL2	H fine	8					
CL2	RIL2	tempo	temp	H carico	h misura	deltah	Velocità	Velocità
CL2	RIL2	min	s	cm	cm	cm	cm/s	m/g
CL2	RIL2	0		12	414,8			
CL2	RIL2	10	600	11,7	415,1	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL2	20	1200	11,2	415,6	0,5	0,000833	0,720
CL2	RIL2	30	1800	10,8	416	0,4	0,000667	0,576
CL2	RIL2	40	2400	10	416,8	0,8	0,001333	1,152
CL2	RIL2	50	3000	9,4	417,4	0,6	0,001	0,864
CL2	RIL2	60	3600	8,9	417,9	0,5	0,000833	0,720
CL2	RIL2	70	4200	8,6	418,2	0,3	0,0005	0,432
CL2	RIL2	80	4800	8,2	418,6	0,4	0,000667	0,576
CL2	RIL2	90	5400	7,8	419	0,4	0,000667	0,576

*Tabella 1: dati rilevati per il cilindro 2 utilizzati per il calcolo della conducibilità idraulica del fondo del Canale Veneta nel punto di rilievo.*

Applicando il modello di Philip ai dati rilevati, escludendo alcuni outliers, per il cilindro 2 è stato possibile calcolare la velocità d'infiltrazione stabilizzata che è uguale all'intercetta della regressione come riportato nel grafico seguente di figura 16. Il valore dell'intercetta pari a 0,43 m/d è molto vicino al valore calcolato applicando la sola formula di Darcy.

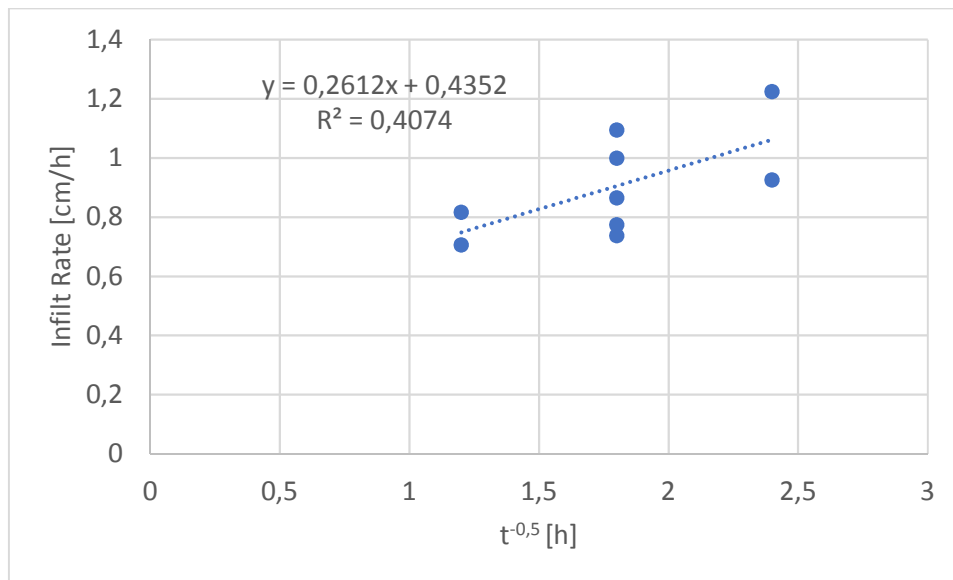


Figura 18: Andamento del tasso di infiltrazione nel tempo applicando il modello di Philip

### 3.4. Andamento dei tiranti idraulici rilevati in continuo per la stagione irrigua 2019 nel Canale Venenta in 2 sezioni

I 4 sensori di pressione localizzati lungo il canale sono stati utilizzati per valutare l'andamento del tirante e delle portate stimate associate in 2 diverse sezioni.

Nel punto D, come riportato nella planimetria, sono stati localizzati 2 sensori: 1 a monte ed 1 a valle della travata. Lo stesso è stato fatto nel punto C ove però troviamo una paratoia manuale a chiusura di un sifone stradale. Il punto C rappresenta con buona approssimazione anche il punto di restituzione delle colature del canale al reticolo idrografico anche se a valle è presente un'altra utenza con richieste quasi nulle a detta degli operatori. Nei grafici seguenti per TRAVATA si intende il punto D, per SIFONE si intende il punto C. I sensori installati vengono utilizzati generalmente per la misura in continuo del carico idraulico in piezometri. Il range di funzionamento è 0 - 1 atmosfera di H<sub>2</sub>O. I tiranti rilevati nel canale in esame sono variati da 0 cm a 50 cm dal fondo del canale. È evidente che tale sensore non è completamente appropriato per rilevare tali range di misura infatti il sensore rileva la pressione assoluta e non la pressione differenziale, e quindi necessità della correzione per la pressione atmosferica. L'errore del sensore da datasheet può arrivare a circa 5-10 cm. È evidente che l'utilizzo di tali sensori ha rilevanti limitazioni in termini di valore assoluto del dato. Inoltre, è da notare come il sensore durante l'utilizzo possa essere sommerso da flusso di sedimenti che si depositano nel piezometro. In tale condizione la misura verrà inficiata anche dall'accumulo di sedimento soprattutto in condizioni di canale asciutto. Infatti, a complicare il rilievo si aggiunge anche come spesso il Canale Venenta venga lasciato senza acqua qualora le utenze non richiedano necessità di attingimento.

La paratoia e la travata oggetto del rilievo sono azionate manualmente dall'operatore al fine di incrementare il tirante idraulico e consentire all'acqua di risalire in contro-pendenza nella canaletta ad altre utenze generalmente costituite da agricoltori dotati di maceri aziendali. L'acqua risale nel canale sino ad arrivare ad una breve derivazione ove per gravità l'acqua defluisce andando a riempire il macero aziendale.

Nelle sezioni di controllo le velocità del flusso laminare misurata con il metodo del galleggiante sono state utilizzate per il calcolo delle portate defluite durante il periodo di rilievo applicando se le seguenti approssimazioni:

- la velocità è stata considerata costante durante il periodo in esame essendo comunque molto bassa.
- la sezione è stata considerata rettangolare

Nel periodo in esame quindi l'unico parametro variato è stato il tirante rilevato in continuo.

### a) Interpretazione ed analisi delle misure di tirante idraulico in continuo

L'analisi combinata dei rilievi descritti nel precedente paragrafo relativi alla misura della portata nel Canale Venenta e la misura in continuo del tirante idraulico con sensori di pressione ha consentito di eseguire alcune elaborazioni:

1. stimare il numero di giorni e le perdite in tratti di canali terziari che vengono utilizzati per la distribuzione di acqua alla domanda in funzione delle necessità delle utenze
2. stimare le colature del canale restituite al reticolo idraulico
3. stimare le perdite idrauliche utilizzando le portate calcolate a partire dal tirante in periodi di assenza di prelievi da parte di altri utenti nel tratto considerato

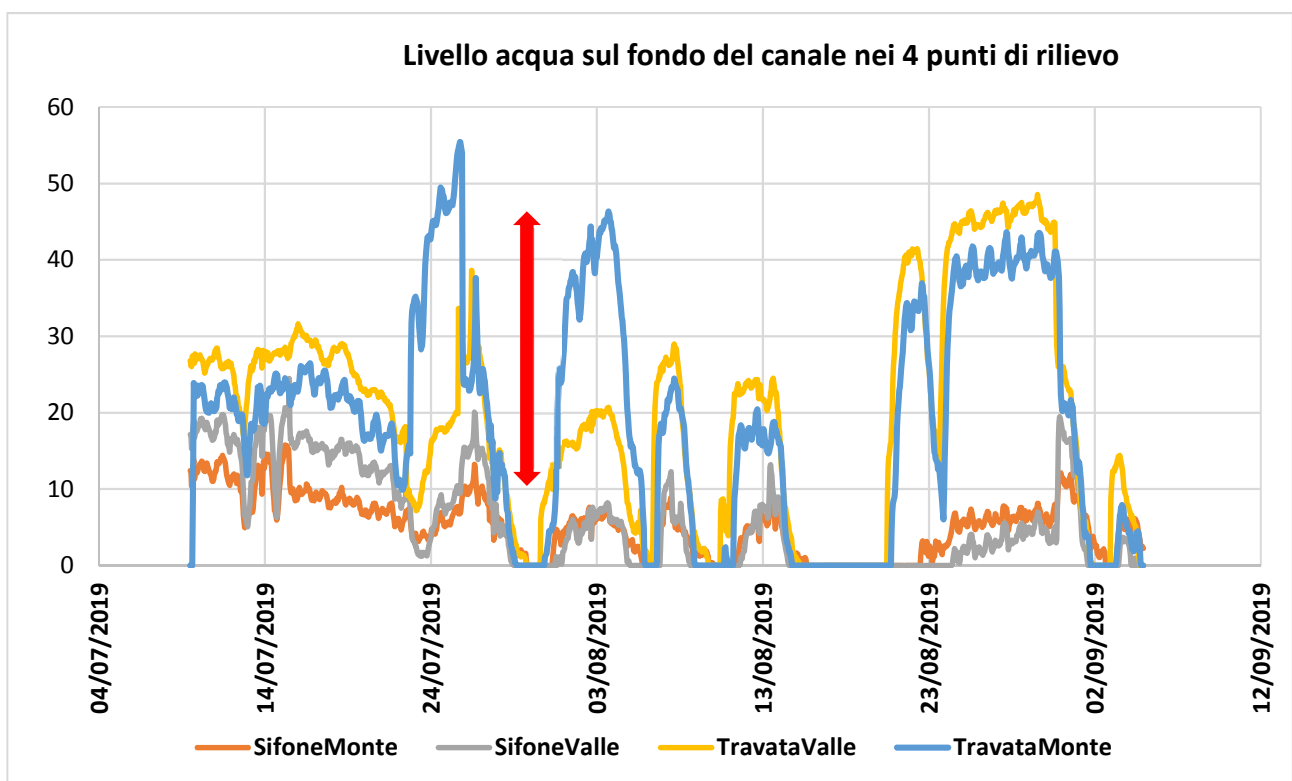


Figura 19: andamento dei 4 tiranti idraulici rilevati rispetto al fondo del canale nei 2 punti (y [cm]) TRAVATA punto C della mappa, SIFONE punto D della mappa

Come si può notare dal grafico in figura 17 nel punto C il livello della TravataMonte è cresciuto rispetto al livello della TravataValle per il periodo 22/07-25/07 e 31/07-05/08 per un totale circa di 8 giorni. Durante tale periodo l'acqua nel canale probabilmente è risalita in contro-pendenza lungo

il canale fino ad arrivare a livello delle derivazioni a servizio degli utenti che dispongono di maceri aziendali. Considerata una pendenza dei canali di circa 0,1% si può dedurre che il tratto di canale, per il periodo 22/07-25/07, ove si è verificato il riempimento aveva una lunghezza di circa 440 metri, in funzione dell'incremento del livello di acqua rilevato dai sensori di circa 44 cm dal fondo canale nel punto di misura (freccia rossa di figura 17). Considerando un perimetro bagnato di 0,8 metri (0,4 m di base e 2x0,2m di sponda) ciò significa avere una superficie soggetta a perdite di circa 352 metri quadrati per una durata di 8 giorni. Tali conteggi sono da considerarsi puramente indicativi perché basanti sulle seguenti semplificazioni: istantaneità nel riempimento del canale e perimetro bagnato medio del tratto senza considerare la diminuzione della sezione bagnata connessa alla pendenza. La superficie di filtrazione e la durata in cui tali tratti di canali sono soggetti a perdite temporanee durante la stagione sono minimi rispetto alla superficie complessiva del canale per il totale del periodo irriguo, ma potrebbe essere necessario considerare alcuni aspetti teorici del processo di infiltrazione come descritto nei paragrafi precedenti. Il terreno in condizioni di non saturazione e nel periodo iniziale del processo ha elevati valori di velocità di infiltrazione che possono essere anche 5-6 volte la velocità d'infiltrazione stabilizzata e quindi, nonostante il breve periodo, si potrebbero verificare rilasci idrici incontrollati ingenti. Al fine del calcolo delle perdite con metodi empirici quindi potrebbe essere utile considerare anche quei tratti di canale utilizzati temporaneamente per l'adduzione delle acque alle utenze solo alla domanda per il calcolo delle superfici dei canali soggette a perdite inserendo opportuni fattori correttivi applicabili ai valori standard di perdite.

Al fine di calcolare le perdite per unità di contorno bagnato lungo la rete attraverso le misure del tirante rilevato in continuo ed utilizzando la velocità del flusso laminare rilevata con i rilievi ripetiamo il grafico seguente ove abbiamo calcolato le portate per due le due sezioni C e D nel periodo selezionato. Dal 19 al 20 luglio si è evidenziato un periodo con valori abbastanza costanti.

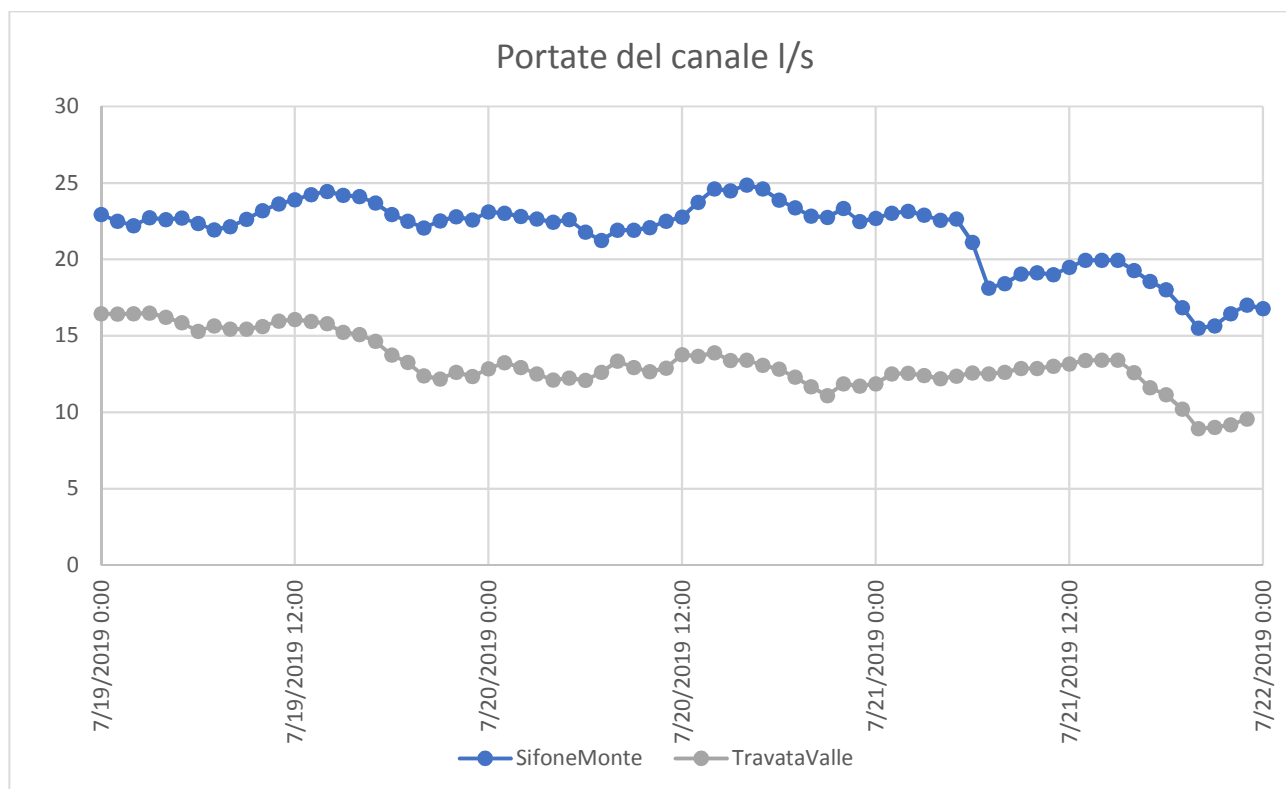


Figura 20: Andamento delle portate calcolate durante il periodo selezionato

La media delle differenziali di portata nel periodo selezionato è risultata di 9,8 l/s. Considerato la lunghezza del tratto di circa 2100 metri, con un contorno bagnato di 2,05 metri si può stimare un coefficiente di perdite pari a 0,19 mc/mq al giorno. Comunque, i differenziali di portata calcolati sono così ridotti da ritenere che tale metodo non risulti affidabile in tali condizioni di portate ridotte.

Nel grafico successivo in figura 19 riportiamo l'andamento delle portate stimate presso sifone Monte del punto D rappresentante il possibile punto di restituzione al reticolo idrografico.

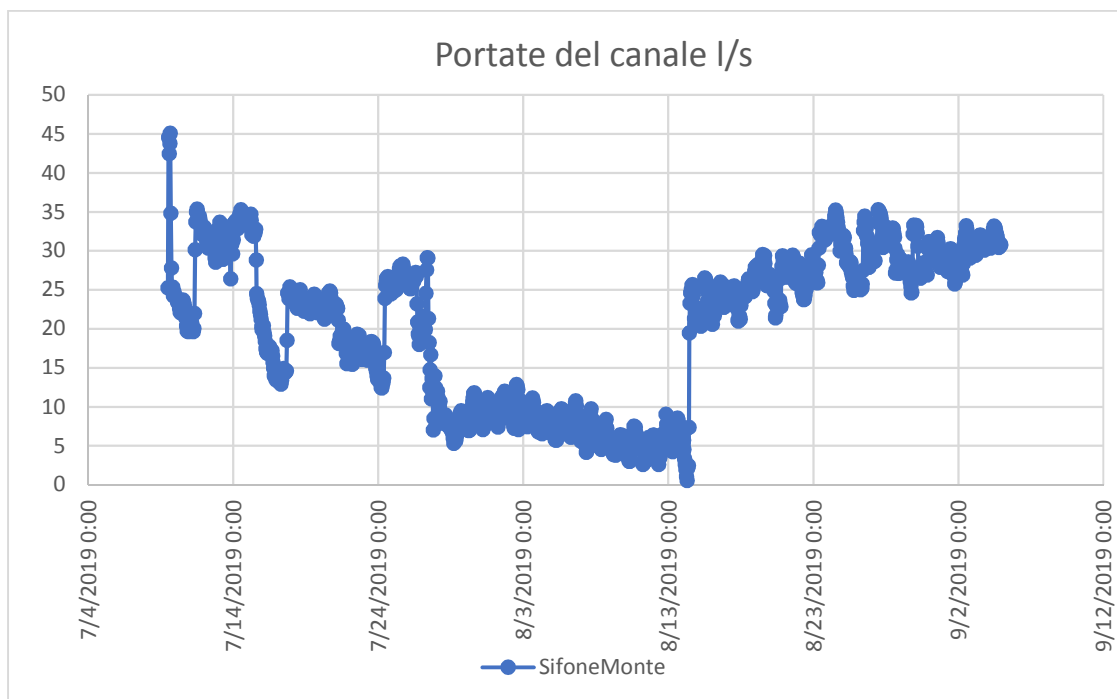


Figura 21: Andamento delle portate stimate transitate dal punto D.

I valori rilevati sono stati utilizzati per stimare il volume transitato nel periodo di rilievo dal 8-7-2019 al 4-9-2019. Durante tale periodo è stato stimato deflusso complessivo di circa 84'000 metri cubi. Tale valore potrebbe essere rappresentativo delle portate che il sistema ha restituito al reticolo idrografico perché in surplus rispetto alle necessità degli utenti. Qualora tale frazione nell'arco dell'intera stagione, considerati i volumi derivati alla presa del canale che per l'anno 2018 sono stati stimati in circa 1'750'000 metri cubi, fosse non trascurabile potrebbe essere utile conteggiarla tra i volumi del bilancio d'esercizio. Il dato complessivo relativo alle colature del reticolo in esame comunque risente dei problemi intrinseci del metodo di rilevazione presentati in precedenza e ciò mette in discussione l'affidabilità del dato. Nonostante questo, è da notare comunque che deflussi benché minimi protratti nel tempo come le colature possano avere un impatto non trascurabile sugli altri parametri del bilancio d'esercizio di un distretto irriguo. Il valore calcolato delle colature, che è con molta probabilità sovrastimato, comunque potrebbe rappresentare, nell'arco dell'intera stagione irrigua, una frazione pari a circa il 3-5% del volume derivato.

Allegato 5  
Gruppo Operativo: Reti di Consegna Intelligenti  
Automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo dei  
fabbisogni delle aziende agricole aderenti a IrriNet

Valutazione Economica

Davide Viaggi, Francesco Cavazza, Francesco Galioto  
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari, Università degli Studi di Bologna

**Sommario**

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Analisi della letteratura.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodologia .....</b>	<b>6</b>
3.1. Nota introduttiva .....	6
3.2. Metodo per definire la fattibilità del progetto .....	6
3.3. Metodo per stabilire priorità di intervento in condizioni di scarsità .....	7
3.4. Metodo per la stima dei costi variabili dell'irrigazione.....	11
<b>4. Descrizione del caso studio .....</b>	<b>13</b>
<b>5. Dati raccolti e procedure di stima adottate .....</b>	<b>15</b>
5.1. Dati utilizzati per l'analisi costi benefici .....	15
5.2. Dati utilizzati per stimare il fabbisogno idrico delle colture.....	16
5.3. Considerazioni di sintesi e informazioni aggiuntive .....	18
<b>6. Risultati.....</b>	<b>20</b>
6.1. Benefici economici generati attraverso l'irrigazione .....	20
6.2. Benefici economici generati dall'automazione delle paratoie .....	24
6.3. Priorità di intervento in condizioni di scarsa disponibilità di acqua irrigua.....	27
<b>7. Discussione.....</b>	<b>30</b>
<b>8. Conclusioni.....</b>	<b>33</b>
<b>9. Riferimenti bibliografici .....</b>	<b>35</b>

## 1. Introduzione

L'automazione delle Paratoie per regolamentare la portata delle reti di canali a cielo aperto di distribuzione e scolo viene considerata in letteratura il sistema più indicato sia per la gestione ordinaria, in quanto consente di razionalizzare la manodopera, che per la gestione straordinaria, perché consente di agire tempestivamente in condizioni di emergenza (Molle & Berkoff 2007; Bogaert 2012). Analogamente, l'uso di sistemi di supporto alle decisioni per stimare i fabbisogni irrigui viene considerato, utile sia al livello di gestione della rete di distribuzione (Cao and Yan 2012; Ge et al. 2013; Giusti and Marsili-Libelli 2015) che al livello di azienda agricola (García-Vila and Fereres 2012; Linker et al. 2016; Mannini, Genovesi, and Letterio 2013; Moreira Barradas, Matula, and Dolezal 2012).

A fronte di tali considerazioni, il progetto di automazione delle reti di consegna è stato messo a punto con l'ambizione di coniugare l'automazione della rete, impiegando tecnologie disponibili sul mercato, ma ancora non utilizzate per la gestione delle acque da parte dei consorzi di bonifica della Regione Emilia-Romagna, con IRRINET per stimare i fabbisogni puntuali delle colture, tecnologia già disponibile ed utilizzata dagli agricoltori della Regione per guidare gli interventi irrigui. Il progetto aveva originariamente l'obiettivo di automatizzare completamente la rete di distribuzione e scolo di alcuni tratti di canali consortili, ovvero di distribuire l'acqua in relazione ai fabbisogni stimati da IRRINET. Per poter raggiungere l'automazione integrale della rete di distribuzione e scolo è indispensabile soddisfare le seguenti condizioni: 1) Completa conoscenza del funzionamento idraulico della rete; 2) Corretta applicazione di IRRINET da parte di tutti gli agricoltori serviti dalla rete. La mancata soddisfazione di entrambe le condizioni ha indotto il Consorzio da una parte a concentrare gran parte degli sforzi finanziari e di lavoro nello studio e modellizzazione del funzionamento idraulico della rete, dall'altra a deviare dagli obiettivi prefissati, utilizzando IRRINET come strumento di supporto all'identificazione di aree prioritarie di intervento in condizioni di scarsità.

Questa deviazione dagli obiettivi originali del progetto ha avuto ripercussioni anche sulla parte economica, originariamente volta ad analizzare la fattibilità del progetto di intervento nel suo insieme, tenendo conto dei possibili effetti del progetto sulla gestione ordinaria (risparmio di acqua, energia e manodopera) e straordinaria della rete (danni evitati). La mancata disponibilità di dati sul risparmio di acqua, energia e manodopera in seguito all'automazione della rete ha indotto i responsabili della parte economica ad abbandonare l'obiettivo originario di una valutazione ex-post della fattibilità dell'intervento, limitando tale valutazione ad un'analisi ex-ante, basata su dati stimati da esperti coinvolti nel progetto e su informazioni raccolte tramite questionari sottoposti ad agricoltori che operano nella regione interessata dal progetto. Un ulteriore obiettivo del gruppo coinvolto nella valutazione economica è stato quello di elaborare un criterio economico per stabilire delle priorità di intervento in condizioni di scarsa disponibilità di acqua per l'irrigazione.

Per raggiungere tali obiettivi, nella valutazione economica sono stati sviluppati due modelli economici distinti. Per la valutazione di fattibilità, è stato sviluppato un modello per l'analisi dei benefici economici potenziali generati grazie all'allocazione efficiente delle risorse irrigue. Questa

risulta ottenibile in seguito all'automazione della rete a fronte dei costi necessari per l'automazione stessa. Viceversa, per la definizione del criterio di priorità, è stato sviluppato un modello che consentisse di individuare le aree dove il danno potenziale dovuto alla scarsità fosse maggiore e dove prioritariamente dovessero essere allocate le risorse disponibili.

Entrambi i modelli sviluppati in questo studio hanno avuto come applicazione l'allocazione dell'acqua tra distretti irrigui appartenenti al Consorzio di Bonifica di Piacenza. Sebbene l'analisi economica originariamente prevedesse di considerare le strategie di allocazione dell'acqua all'interno di un singolo settore il cui reticolo irriguo fosse completamente automatizzato, questo non è stato ritenuto utile né possibile. Infatti, per via di condizioni gestionali particolarmente complesse i dati disponibili di tipo agronomico ed idraulico risultavano aggregati per settore o sotto-distretto. Inoltre, per la dimensione tecnico-economica degli investimenti necessari per l'automazione, è stata ritenuta più verosimile l'installazione delle paratoie automatizzate a monte dei distretti/settori piuttosto che per ogni nodo idraulico all'interno dei settori stessi. Sebbene questo comporti il mancato raggiungimento del pieno potenziale di risparmio idrico derivante da un'automazione completa del reticolo irriguo, ciò non risulta ancora possibile per le condizioni infrastrutturali del sistema assieme all'elevato costo delle paratoie automatizzate.

La restante parte dell'elaborato si suddivide in 5 sezioni. Nella sezione 2 si affronta l'analisi della letteratura in riferimento ai metodi proposti per identificare le priorità di allocazione dell'acqua ad uso irriguo in condizioni di scarsità. Nella sezione 3 si presenta la metodologia utilizzata per lo studio. Nella sezione 4 si introduce il caso studio in cui viene applicata la metodologia proposta. Nella sezione 5 è descritto il procedimento di raccolta dei dati e nella sezione 6 si riportano i risultati ottenuti. Infine, nella sezione 7 vengono discussi i risultati e nella sezione 8 si offrono delle considerazioni di sintesi nelle quali si evidenzia l'influenza della governance della rete di distribuzione e sugli effetti associati all'automazione della rete stessa.



## 2. Analisi della letteratura

La sempre più alta frequenza di eventi siccitosi estremi ha spinto molti autori ad analizzare il problema di come allocare l'acqua irrigua tra singoli agricoltori e/o distretti produttivi in caso di scarsità (Sepahvand, Safavi, e Rezaei 2019). Nonostante la diversità delle applicazioni, tutte presentano un elemento comune, ossia quello di ottimizzare l'uso della risorsa disponibile. Grazie ai modelli di ottimizzazione e attraverso l'uso di dati affidabili, è possibile minimizzare i danni da siccità, ridurre i costi di gestione, allocazione e uso, minimizzando l'impatto ambientale dell'attività agricola irrigua (Cetinkaya e Gunacti 2018).

La maggior parte degli studi di ottimizzazione considera scenari di scarsità e mira a massimizzare i profitti agricoli agendo su due variabili principali: (i) l'allocazione dell'acqua tra colture e (ii) la scelta delle colture (Kuschel-Otárola et al. 2018). A questo proposito, Kipkorir, Raes, e Labadie (2001) hanno sviluppato un modello di ottimizzazione che considerasse la diversità delle colture e dei sistemi irrigui presenti in un distretto. Utilizzando curve di produttività delle colture in funzione dell'acqua, Prasad, Umamahesh, e Viswanath (2006) hanno applicato un modello di programmazione dinamica per identificare l'allocazione ottimale di acqua e terreno tra le colture per massimizzare i profitti. Anche Homayounfar et al. (2014) hanno applicato un modello di programmazione dinamica per l'identificazione di priorità nell'uso di acqua tra colture al fine di raggiungere l'allocazione ottimale. Tale metodologia è infatti la più diffusa per risolvere problemi di ottimizzazione nell'uso di risorse irrigue in caso di scarsità (Jin et al. 2012). Anvari, Mousavi, e Morid (2017) hanno sviluppato ulteriormente tale metodo per tenere conto dell'incertezza nella domanda di acqua da parte delle colture. Inoltre, essi sottolineano l'importanza di considerare lo stadio fenologico delle colture, questo può condizionare enormemente gli impatti di un evento siccitoso o di un'allocazione dell'acqua errata.

Sebbene tali studi costituiscano un importante supporto decisionale per l'allocazione dell'acqua in caso di scarsità, presentano come unici criteri di valutazione della strategia ottimale quelli economici legati alle performance produttive delle aziende agricole. Questa semplificazione rischia di compromettere l'uso di tali strumenti, poiché la gestione di una risorsa complessa come l'acqua richiede di considerare molteplici aspetti oltre quelli prettamente economici. Kipkorir et al. (2001) sono tra i primi a considerare nel loro modello di ottimizzazione altri criteri oltre quello di massimizzazione dei profitti. Essi hanno ipotizzato che un'autorità irrigua possa identificare tre strategie gestionali: (i) la prima, per la massimizzazione dei profitti totali in un distretto; (ii) la seconda, per una distribuzione equa tra gli agricoltori dei benefici economici derivanti dall'uso dell'acqua; (iii) l'ultima, per il mantenimento di rese omogenee tra gli agricoltori. A tale proposito Devatha e Thalla (2018) hanno sviluppato un approccio basato sulla metodologia Multiple Attribute Decision Making (MADM) per effettuare un ranking delle alternative di allocazione delle acque tra colture in presenza di scarsità. Questa metodologia permette di analizzare le diverse alternative e quindi di selezionare quella ottimale in base a molteplici criteri di carattere produttivo, economico e ambientale, tipici dell'agricoltura irrigua. Un approccio multicriteriale simile è stato adottato anche da Cetinkaya e Gunacti (2018) con l'obiettivo di supportare le autorità irrigue nella scelta razionale tra differenti strategie di allocazione.

Parallelamente allo sviluppo di questi modelli di analisi multi-attributo/multi-criterio, recentemente, sono stati sviluppati modelli multi-obiettivo che consentissero di aiutare le autorità irrigue nel raggiungimento di obiettivi di natura economica, sociale ed ambientale che spesso competono loro (Sepahvand et al. 2019). Tali modelli, non solo consentono di considerare molteplici criteri nella scelta della strategia ottimale, ma permettono anche di tenere conto di molteplici obiettivi. Per esempio Sun et al. (2017) hanno sviluppato un modello multi-obiettivo che consentisse la massimizzazione dei profitti agricoli, minimizzando al tempo stesso gli stress da siccità e i prelievi da falda. Un approccio simile è stato adottato da Sepahvand et al. (2019), i quali hanno considerato due obiettivi: (i) la minimizzazione dei periodi di carenza della risorsa irrigua e (ii) la massimizzazione dei benefici irrigui a livello di azienda agricola. Il modello proposto dagli autori permette di ottenere un aumento fino al 59% dei benefici irrigui, dimostrando così la potenzialità di questi strumenti.

Infine, alcuni studi hanno sottolineato il ruolo dell'allocazione delle risorse irrigue sul rischio produttivo causato dalla mancanza di acqua (Li, Xu, e Zhu 2018). Tra questi, Li et al. (2016) hanno sviluppato un modello per supportare l'allocazione di acqua e terreno tra colture in periodi di scarsità. Includendo le fonti di incertezza che affliggono le decisioni allocative, il modello è in grado di minimizzare i danni da siccità, migliorando così le performance economiche del territorio analizzato.

In tale contesto si inserisce la metodologia di cui al paragrafo seguente. Si tratta di una metodologia, per certi versi, più semplice dei criteri più recenti proposti in letteratura per fronteggiare il problema dell'allocazione dell'acqua irrigua tra colture e regioni produttive in condizioni di scarsità. Tuttavia, i modelli sviluppati sono più coerenti con le finalità richieste dal progetto, ossia di sviluppare un criterio di valutazione del danno potenziale da assimilare agli strumenti gestionali già impiegati dal Consorzio, ovvero IRRINET, e che tenga conto delle peculiari condizioni di governance della rete irrigua dei consorzi di Bonifica Emiliano-Romagnoli.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Nota introduttiva

Il progetto “Automazione della rete di consegna delle acque irrigue mediante calcolo dei fabbisogni delle aziende agricole aderenti a IRRINET” nasce dalla necessità dei Consorzi di migliorare l’efficienza di distribuzione dell’acqua utilizzata a scopo irriguo attraverso canali a cielo aperto. A tal proposito il progetto ha sfruttato conoscenze e tecnologie esistenti, mettendo a punto un sistema di automazione delle paratoie in grado di gestire la fornitura di acqua in funzione della domanda reale o potenziale delle utenze agricole servite. Si tratta di un cambio di paradigma gestionale di notevole importanza che di fatto consentirebbe di passare da un sistema di distribuzione rigido e calendarizzato, che si limita a mantenere i canali consortili impinguati durante la stagione irrigua, ad un sistema di distribuzione dinamico e guidato dalla domanda, che consente di limitare gli sprechi. L’aspetto più interessante collegato a questo potenziale cambio di paradigma è rappresentato dalla gestione delle emergenze, in particolare quelle legate a condizioni di temporanea scarsità. In tali circostanze, non solo è possibile evitare sprechi, ma si possono anche limitare i danni, in particolare se il Consorzio è in grado di modulare la distribuzione di acqua lungo la rete, dando priorità di fornitura alle colture agricole e o ai settori che potrebbero subire danni maggiori. La restante parte di questa sezione descrive due metodologie parallele per rispondere ai due obiettivi di fondo della parte economica del progetto, ovvero: 1) valutare la fattibilità del progetto; 2) identificare un criterio per la gestione delle emergenze in situazioni di scarsità.

#### 3.2. Metodo per definire la fattibilità del progetto

Il metodo presentato in questa parte della sezione metodologica segue i passaggi analitici offerti nelle linee guida Europee del 2008 per valutare la fattibilità di investimenti pubblici e privati (EC, 2008). Si tratta del Valore Attuale Netto (VAN), un indicatore che consente di quantificare l’impatto economico dell’intervento nel suo insieme, senza dare indicazioni in merito a come vengono ripartiti i benefici e gli oneri economici del progetto tra i diversi portatori di interesse. La presente analisi si limita ad offrire indicazioni in merito agli impatti economici diretti (fattibilità economica del progetto) e non in merito agli impatti ambientali (effetto delle pressioni sulle risorse idriche) e sociali (effetto sull’occupazione) potenziali che possono scaturire dall’esecuzione del progetto, contribuendo a condizionarne la fattibilità. Quindi si tratta di un approccio riduttivo che meriterebbe ulteriori approfondimenti in vista della riconversione dell’intera rete di distribuzione. Il VAN è così definito (Equazione 1):

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t(A) - C_t(A)}{(1+r)^t}$$

EQUAZIONE 1

In questa formula:  $t$  rappresenta il tempo che varia dal momento in cui viene realizzata l’opera al momento in cui è necessario rinnovare l’opera stessa o sostenere un nuovo investimento, questo intervallo di tempo lo definiamo orizzonte temporale dell’investimento;  $A$  rappresenta la dimensione della regione interessata dall’intervento, in termini di ettari irrigabili;  $B_t(A)$

rappresenta i benefici ottenuti in seguito alla realizzazione del progetto e si traduce in costi evitati limitando sprechi energetici e costi di derivazione determinati dall'immissione di acqua in eccesso nella rete per uso irriguo e razionalizzando l'uso di personale qualificato per la gestione del deflusso di acqua nella rete;  $C_t(A)$  rappresentano i costi sostenuti per realizzare l'opera e i costi di gestione ordinaria del servizio (manodopera e licenze d'uso dei software);  $r$ , infine, rappresenta il tasso di sconto che riproduce il costo opportunità dell'opera, ovvero il tasso di interesse generato dalla miglior alternativa possibile all'investimento in oggetto.

Sia i costi che i benefici sono influenzati dalla dimensione della regione di intervento. I benefici aumentano in parte in modo progressivo, supponendo un risparmio di acqua costante per unità di superficie, e in parte scalare, supponendo il risparmio di un'unità di lavoro per un dato tratto di rete di distribuzione automatizzata. Considerate le attuali modalità di gestione della fornitura di acqua a scopo irriguo è verosimile assumere un impinguamento della rete di canali tale da garantire la massima disponibilità di acqua nel periodo irriguo. L'automazione della rete di distribuzione consentirebbe di modulare le portate di acqua immesse nella rete in base alla domanda presunta (la domanda stimata da IRRINET). La differenza tra portata massima per periodo irriguo e portata necessaria per garantire il soddisfacimento dei fabbisogni determina il risparmio di acqua.

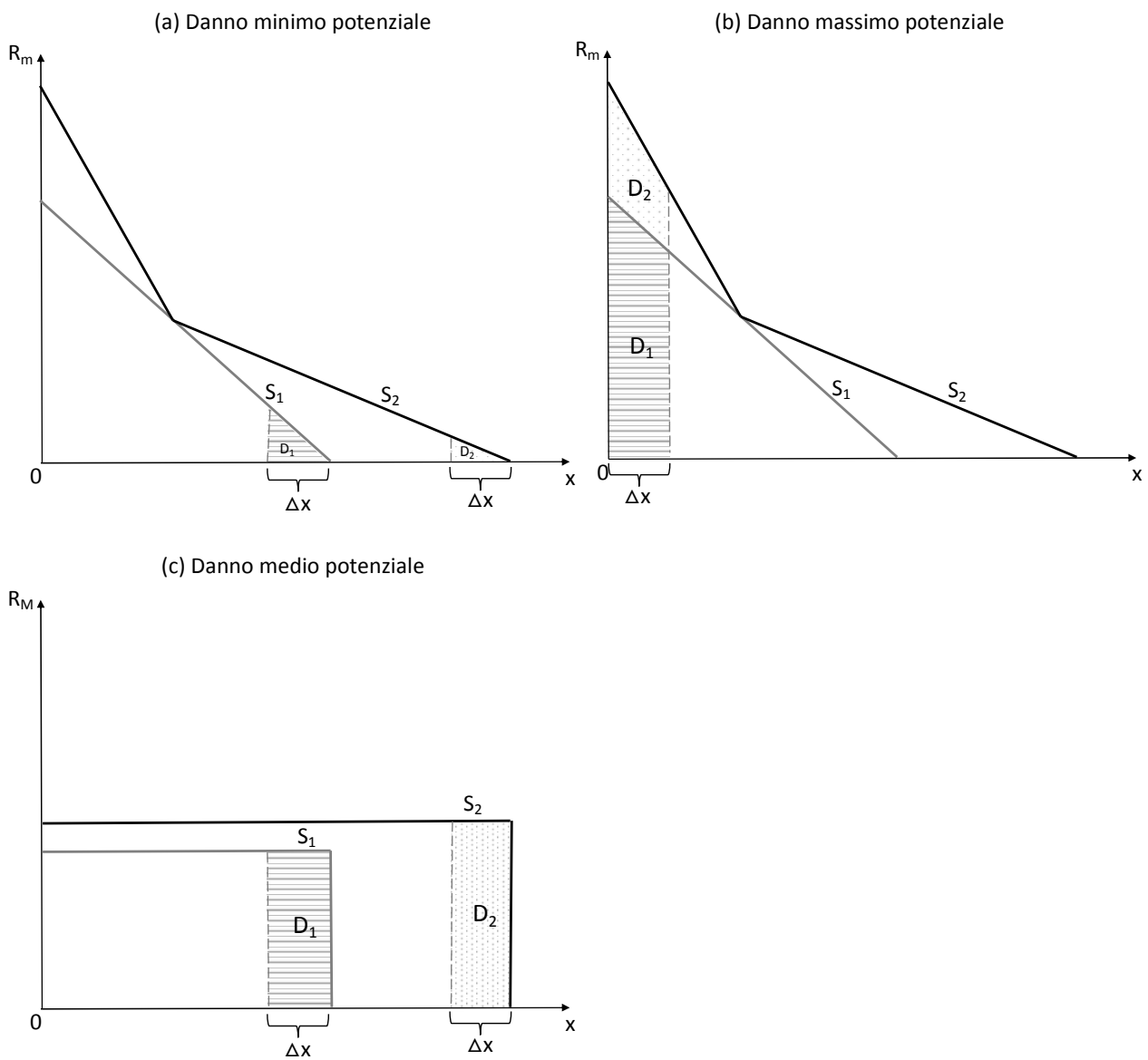
I costi si riducono in modo progressivo all'aumentare della regione servita per la presenza di costi fissi, come ad esempio il centro di telecontrollo necessario per gestire tutte le paratoie, e variano a seconda del tipo di soluzione d'impianto (es. sistema di alimentazione della paratoia – pannello solare / rete elettrica, intervento di automazione – su opera esistente / su opera da realizzare).

Alcuni degli elementi chiave da cui dipende il giudizio di convenienza rispetto al quale decidere se realizzare o meno l'opera sono il tasso di sconto e l'orizzonte temporale. Si tratta di due fattori il cui livello viene stabilito in modo a volte troppo arbitrario. Per queste ragioni la Commissione Europea ha stabilito delle linee guida per selezionare il tasso di sconto e l'orizzonte temporale più opportuno per le opere infrastrutturali di carattere pubblico (EC, 2008). Tali valori sono stati utilizzati come riferimento per il presente studio.

### 3.3. Metodo per stabilire priorità di intervento in condizioni di scarsità

In questa parte della sezione metodologica proponiamo un modello teorico che consente di identificare il criterio più opportuno di allocazione delle risorse irrigue in condizioni di scarsità (disponibilità di acqua irrigua inferiore ai fabbisogni delle colture).

In una condizione ideale in cui il Consorzio ha un controllo puntuale della fornitura di acqua per l'irrigazione, il criterio ottimale di allocazione della risorsa dovrebbe essere basato sul concetto di danno marginale, ovvero riduzione marginale dei ricavi in seguito ad una riduzione di acqua disponibile. Tale criterio implica una progressiva riduzione di acqua disponibile dalle colture che subiscono danni minori a quelle che subiscono danni maggiori. L'acqua viene allocata in modo efficiente e il danno conseguente ad una riduzione della disponibilità viene minimizzato. Il grafico riportato in Figura 1 (a) rappresenta questa condizione.



LEGENDA

$S_1$  – Settore 1       $R_m$  – Ricavo marginale       $D_1$  – Danno settore 1       $\Delta x$  – riduzione disponibilità di acqua  
 $S_2$  – Settore 2       $R_M$  – Ricavo medio               $D_2$  – Danno settore 2

**FIGURA 1: STIMA DEL DANNO MINIMO (A) E DEL DANNO MASSIMO POTENZIALE (B) IN RAGIONE DI UNA RIDUZIONE DELL'ACQUA DISPONIBILE IN 2 IPOTETICI SETTORI SERVITI DALLA RETE CONSORTILE**

Nel grafico vengono riportati i ricavi marginali dell'insieme delle colture presenti in 2 settori serviti da un ipotetico Consorzio, denominati rispettivamente  $S_1$  e  $S_2$ . Ora, nei due settori si suppone siano presenti colture diverse e caratterizzate da diverse esigenze idriche. Ciò implica una diversa forma delle curve di domanda (o ricavo marginale). Se l'acqua fosse allocata in modo efficiente, una riduzione della disponibilità di acqua pari a  $\Delta x$  in  $S_1$  genera un danno economico pari all'area  $D_1$ . Analogamente, una riduzione della disponibilità di acqua pari a  $\Delta x$  in  $S_2$  genera un danno economico pari all'area  $D_2$ . Secondo tale criterio il Consorzio dovrebbe dare priorità al settore che rischia di subire un danno maggiore,  $S_1$  nel caso riportato in figura 1 (a). Ma se l'acqua non fosse allocata in modo efficiente all'interno dei due settori, il danno potenziale potrebbe raggiungere al limite i livelli

riportati in Figura 1 (b). In tale circostanza, la non efficiente allocazione all'interno dei settori può causare un danno massimo potenziale pari ai nuovi livelli  $D_1$  e  $D_2$ . In tale circostanza il danno è superiore in  $S_2$ , che viene, quindi, privilegiato in caso di ridotta disponibilità idrica.

In generale, se l'acqua non venisse allocata in modo efficiente all'interno di un settore bisognerebbe calcolare le priorità di intervento in ragione della riduzione del ricavo medio causata dalla mancanza di disponibilità idrica per settore (Figura 1 (c)). In tale circostanza il Consorzio potrebbe adottare il criterio del danno massimo potenziale, in ragione di una logica precauzionale (Figura 1 (b)). Se, invece, l'acqua venisse allocata in modo efficiente bisognerebbe calcolare le priorità di intervento in ragione della riduzione del ricavo marginale causata dalla mancanza di disponibilità idrica per settore (Figura 1 (a)). I criteri di definizione delle priorità di intervento sopra discussi sono tutti validi. L'uso dell'uno o dell'altro criterio dipende dalle modalità con cui viene gestita la distribuzione di acqua all'interno della rete e dalle caratteristiche delle utenze agricole.

Per poter mettere in atto i criteri sopra esposti, è necessario stimare il danno economico potenziale determinato dalla mancanza di disponibilità idrica in un dato momento della stagione irrigua in modo tale da tenere conto della fase fenologica che stanno attraversando le colture in atto. A tal proposito ricorriamo ad una semplice rielaborazione della classica funzione di produzione rispetto alla quantità di acqua disponibile introdotta nel FAO Irrigation and Drainage Paper N°33 (Doorenbos and Kassam 1979) per stimare la riduzione di produzione determinata da un mancato soddisfacimento dei fabbisogni irrigui di una data coltura (Equazione 2):

$$Y_t(x_t) = Y_t^* \left[ 1 - k_{y_t} \left( 1 - \frac{ET_t(x_t)}{ET_t^*} \right) \right] \frac{Y_{t-1}(x_{t-1})}{Y_{t-1}^*}$$

EQUAZIONE 2

dove:  $x_t$  e  $x_{t-1}$  rappresentano le variabili decisionali, ovvero, rispettivamente la quantità di acqua irrigua al tempo  $t$  e la quantità di acqua irrigua al tempo  $t - 1$ ;  $Y_t(x_t)$  e  $Y_{t-1}(x_{t-1})$  rappresentano rispettivamente la produzione al tempo  $t$  e la produzione al tempo  $t - 1$ ;  $Y_t^*$  e  $Y_{t-1}^*$  rappresentano rispettivamente la produzione massima ottenibile al tempo  $t$  e al tempo  $t - 1$ ;  $k_{y_t}$  rappresenta un coefficiente di conversione dell'evapotraspirazione della coltura in produzione;  $ET_t(x_t)$  rappresenta l'evapotraspirazione della coltura al tempo  $t$ ;  $ET_t^*$  rappresenta l'evapotraspirazione della coltura al tempo  $t$  in assenza di stress idrici.

L'Equazione 2 differisce dal modello originario per il fatto di tener conto dell'effetto di eventuali stress idrici subiti in precedenza sulla produzione potenziale corrente. Tale accorgimento metodologico mira a rappresentare un *effetto di trascinamento* per il quale gli stress idrici subiti nella fase fenologica corrente hanno ripercussioni sulla produttività massima ottenibile nelle fasi successive. Si tratta di un'approssimazione lineare non supportata da osservazioni empiriche ma che si ritiene necessario includere per ottenere stime più realistiche.

L'Equazione 2 nella sua semplicità è in grado di intercettare le variabili fondamentali che influenzano la relazione tra la quantità di acqua irrigua e la produzione per singola coltura e per fase fenologica in un dato contesto territoriale. Di fatto la relazione esistente tra evapotraspirazione attuale e acqua irrigua in una data fase fenologica dipende delle condizioni climatiche in cui la coltura viene coltivata, dal tipo di terreno, dalla fase fenologica, dall'altezza della falda, e da altre condizioni sito-specifiche. Analoghe considerazioni valgono per la produzione e l'evapotraspirazione massima potenziale.

Secondo tale equazione è verosimile ipotizzare una relazione tra evapotraspirazione attuale e acqua irrigua che varia al variare dello stato fenologico della coltura a parità di altre condizioni. Esistono diversi studi che mettono in relazione l'evapotraspirazione con la quantità di acqua irrigua. Si tratta di studi condotti in condizioni produttive estremamente varie e che portano a risultati necessariamente diversi (Linker et al. 2016). Nonostante ciò, tali studi rivelano una relazione di tipo polinomiale tra evapotraspirazione attuale e irrigazione che può essere sintetizzata nella seguente Equazione 3:

$$ET_t(x_t) = a_t x_t - b_t x_t^2 + c_t$$

EQUAZIONE 3

Si tratta di una tipica funzione a campana. L'evapotraspirazione attuale inizialmente aumenta all'aumentare dell'irrigazione per poi ridursi se il terreno raggiunge stati di saturazione. I parametri  $a_t$  e  $b_t$  definiscono il contributo diretto dell'acqua irrigua sull'evapotraspirazione, il parametro  $c_t$  definisce il contributo determinato da fenomeni di risalita capillare e/o piogge. La relazione tra questi parametri definisce il contributo relativo dell'acqua irrigua in un dato stadio fenologico della coltura. L'effetto dell'irrigazione sull'evapotraspirazione della coltura è ininfluenza o poco significativo quando questa viene determinata prevalentemente dal parametro  $c_t$ , significativo quando questa viene determinata prevalentemente dagli altri parametri. Nel presente studio l'Equazione 3 viene ridotta ad una relazione lineare tra evapotraspirazione e acqua irrigua (coefficienti  $b, c = 0, a = 1$ ). Si tratta di un'approssimazione forte ma dalla quale non è stato possibile prescindere data la mancanza di informazioni.

A partire dalle equazioni precedenti si arriva infine a determinare il beneficio economico potenziale di una data coltura in una data fase fenologica, come riportato nella seguente Equazione 4:

$$\pi_t(x_t) = pY_t(x_t) - vx_t$$

EQUAZIONE 4

Nell'Equazione 4,  $p$  rappresenta il prezzo per unità di produzione vendibile e  $v$  il costo per unità di acqua irrigua somministrata alla coltura. La derivata rispetto a  $x_t$  di questa funzione determina la funzione di domanda di acqua irrigua al netto dei costi dell'irrigazione stessa. In questo modo è quindi possibile ottenere una rappresentazione grafica delle curve di domanda delle singole colture e delle colture raggruppate per settori in un dato areale e in un dato intervallo temporale.

Si identificano ulteriori sviluppi della metodologia proposta nei seguenti elementi:

- Aggiornare i metodi di stima per calcolare l'effetto degli stress idrici sulla produzione (passare dall'equazione di Doorenbos e Kassam del 1979 all'equazione di Steduto e Raes del 2009);
- Mettere in relazione la funzione di stress idrico con il bilancio idrico del terreno per coordinare le turnazioni;
- Effettuare sperimentazioni ad hoc per valutare la possibilità di estendere l'uso di tale criterio per gestione emergenziale (minimizzare i danni) alla gestione ordinaria (risparmiare acqua) della rete irrigua.

Infine, si ritiene importante evidenziare che la stima delle equazioni sopra descritte non è scevra da errori. Il passaggio logico appena esposto si trascina due tipi di errore: 1) un termine di errore che dipende unicamente dall'andamento climatico; 2) un termine di errore che dipende dalle fluttuazioni dei prezzi all'origine dei prodotti agricoli e dei mezzi impiegati, in particolare l'energia. La quantificazione di questi errori consentirebbe di ottenere una dimensione dell'incertezza del modello di stima proposto, incertezza che può compromettere la possibilità da parte del Consorzio di regolare la distribuzione di acqua in funzione della domanda potenziale.

### 3.4. Metodo per la stima dei costi variabili dell'irrigazione

I costi variabili utilizzati nell'analisi economica sono stati calcolati a partire dall'equazione contenuta nel progetto sull'individuazione della convenienza economica dell'irrigazione all'interno del sistema IRRINET (Gallerani, Taglioli, & Viaggi, 2007) (Equazione 5):

$$CV = CE + CM$$

EQUAZIONE 5

dove: CM costi manodopera; CE costi energetici (Equazione 6):

$$CE = \left[ \frac{Q_i * P_i}{\eta * k_i} \right] * C_s * C_u * O_a$$

EQUAZIONE 6

dove:  $Q_i$  è la portata dell'irrigatore espressa in litri al secondo;  $P_i$  è la pressione alla stazione di pompaggio espressa in metri;  $\eta$  è il rendimento gruppo pompaggio; l'altezza d'adattamento espressa in millimetri;  $C_u$  rappresenta il costo unitario energetico ed è stato determinato in proporzione alle ore di lavoro degli impianti di distribuzione;  $O_a$  corrisponde al numero di ore necessarie per ettaro;  $C_m$  è il costo della manodopera (Equazione 7):

$$CM = x * C_{om}$$

EQUAZIONE 7

dove:  $x$  corrisponde alle ore necessarie di manodopera per irrigare;  $C_{om}$  è il costo orario della manodopera. Per semplicità si è assunto mediamente un costo corrisponde a 17 euro ad ettaro per



intervento irriguo nel caso si utilizzi un sistema di irrigazione ad aspersione e 15 o 7,5 euro ad ettaro per intervento irriguo nel caso si utilizzi rispettivamente un sistema di microirrigazione con gruppo pompaggio a combustione interna o ad energia elettrica.

#### 4. Descrizione del caso studio

Come esempio applicativo, il modello fino ad ora descritto viene implementato in un caso studio per valutare la fattibilità dell'automazione delle paratoie e identificare un criterio di priorità nell'allocazione della risorsa irrigua in caso di scarsità. Lo studio è stato condotto nell'area del Consorzio di Bonifica di Piacenza, uno degli otto consorzi di bonifica di primo grado in cui è divisa la Regione Emilia-Romagna. Il Consorzio considerato offre nel suo insieme una rappresentazione completa dell'uso dell'acqua ai fini irrigui, data l'elevata variabilità dei distretti, della rete di canali, dei sistemi di distribuzioni e dei riparti colturali. Inoltre, le mutate condizioni climatiche rendono la zona caratterizzata da estati con precipitazioni scarse e mal distribuite.

L'attività del Consorzio comprende la gestione del servizio irriguo, dove nei mesi estivi il Consorzio preleva l'acqua dalle dighe, dai fiumi o mediante sistemi di sollevamento dal fiume Po e, tramite una fitta rete di canali, distribuisce l'acqua agli utilizzatori finali. L'irrigazione è indispensabile per far fronte ai ricorrenti fenomeni di siccità e garantire lo sviluppo delle produzioni che caratterizzano il territorio piacentino. L'orticoltura piacentina ha una posizione fondamentale tra le colture idroesigenti, essendo una delle zone più importanti per la coltivazione e la trasformazione del pomodoro da industria (Consorzio di Bonifica di Piacenza, 2019). Oltre al pomodoro le colture prevalenti nel territorio consortile sono il mais e l'erba medica, distribuite omogeneamente tra i diversi distretti, con una discreta presenza di prati polifiti (Zucaro & Furlani, 2009).

La superficie totale del comprensorio è pari a 592 kmq. Il comprensorio è suddiviso in quattro distretti irrigui in base alle fonti di approvvigionamento della risorsa idrica: il Distretto Val Tidone, il Distretto Val Trebbia, il Distretto Basso Piacentino e il Distretto Val d'Arda (Consorzio di Bonifica di Piacenza, 2019). A loro volta i distretti sono suddivisi in sotto-distretti o settori, così come rappresentato in Figura 2 e descritto nei paragrafi seguenti.



FIGURA 2: SUDDIVISIONE DEL CONSORZIO IN DISTRETTI E SOTTO-DISTRETTI

Il Distretto Val Tidone ha una superficie irrigabile di 13.000 ettari e si estende dalla diga del Molato al fiume Po. È diviso in due sub-bacini, Sinistra e Destra Tidone con il primo avente un'estensione maggiore. Ai fini irrigui vengono utilizzate le acque del torrente Tidone e del torrente Rio Saturno. Per quanto riguarda la consegna dell'acqua, viene effettuata la turnazione in tutta l'area. Il Distretto Val Trebbia ha una superficie irrigua di circa 30.000 ettari. Si articola in due settori, Destra e Sinistra Trebbia aventi una simile estensione. L'approvvigionamento ai fini irrigui è fornito dal fiume Trebbia. Il Distretto Basso Piacentino si estende nella pianura est di piacenza ed ha una superficie irrigabile di 26600 ettari. Si divide in due sub-distretti, Valle e Monte. La principale fonte di approvvigionamento è la presa d'acqua sul fiume Po. Mediante un impianto di sollevamento, e il sistema di mandata, l'acqua viene distribuita alla rete di distretto. Il Distretto Val D'Arda è delimitato dai torrenti Riglio e Ongina. Il torrente Arda, principale corso d'acqua del distretto, provvede ad alimentare l'invaso del Bacino di Mignano, dove vengono immagazzinati ogni anno 11,500 metri cubi di acqua per l'irrigazione. Da esso si dipartono due collettori secondari che definiscono due settori, Destra e Sinistra Arda, e distribuiscono l'acqua alle aziende tramite una fitta rete di canali terziari. Tra i settori sopra descritti l'uso del suolo è comparabile e riflette la vocazione agricola del territorio. Tuttavia, nell'uso del suolo relativo all'anno 2018 (Figura 3), anno nel quale sono state condotte le analisi, si manifestano variazioni importanti tra settori nella superficie destinata a pomodoro. Vista l'importanza economica di questa coltura, tale fattore avrà implicazioni importanti per l'analisi dei risultati, così come verrà descritto nelle sezioni che seguono.

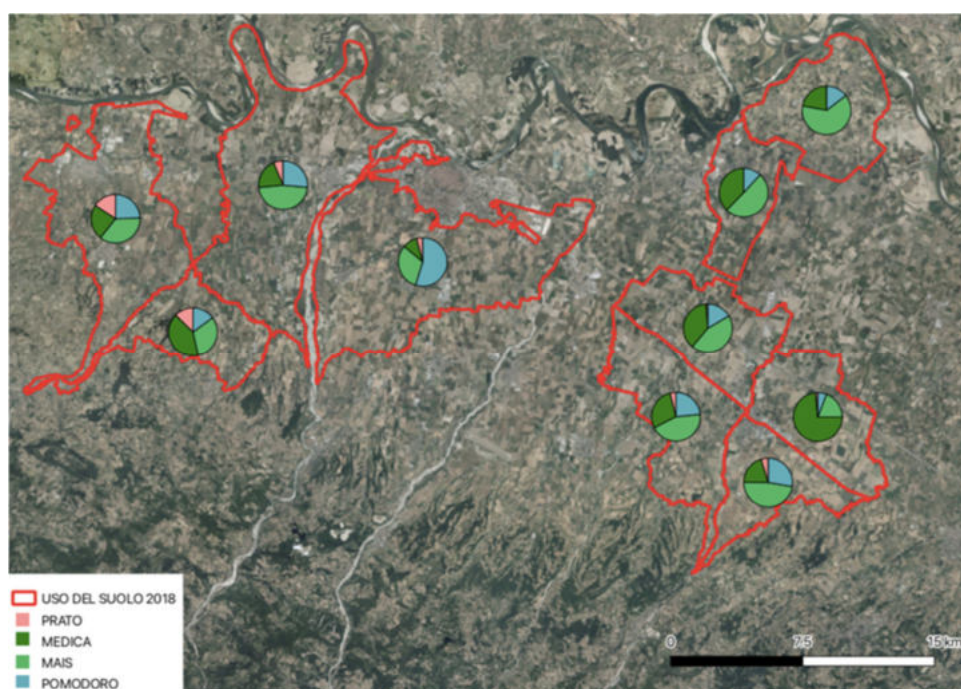


FIGURA 3: RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA DELL'USO DEL SUOLO DEI DISTRETTI

## 5. Dati raccolti e procedure di stima adottate

### 5.1. Dati utilizzati per l'analisi costi benefici

Il tasso di sconto e l'orizzonte temporale utilizzati nell'analisi costi benefici sono derivati da quanto suggerito dalla Commissione Europea nella guida all'analisi costi-benefici (EC, 2008). Coerentemente con quanto previsto per le opere pubbliche il tasso di sconto selezionato si attesta al 7%, mentre l'orizzonte temporale individuato come più appropriato per le caratteristiche tecniche dell'investimento stesso è di 30 anni. Per quanto riguarda i costi di automazione della rete, è stato stimato un costo fisso iniziale di 40.000-50.000€ per allestire un centro di telecontrollo che gestisca tutte le paratoie. I costi di automazione delle paratoie variano da 15.000€ a 28.000€, per paratoie di dimensioni di 1,20 m x 1 m in grado di gestire portate di 1500-2000 l/sec e di servire fino a 770 ha di superficie irrigata. I costi aumentano dal 15% al 40% per paratoie di dimensioni maggiori (4000-5000 l/sec). A questi costi si somma il costo di formazione del personale che si attesta a 3.000€ (Tabella 1).

TABELLA 1: PREZZI INDICATIVI FORNITURA E POSA PARATOIE IRRIGUE

Tipologia di paratoia	Dimensione (D)	Costo (€)	Aumento dei costi per paratoie di dimensioni D x 2
Componenti assemblate	1,20 m x 1 m; 1500-2000 l/sec	28.000€	40%
Componenti separate con alimentazione da rete	1,20 m x 1 m; 1500-2000 l/sec	17.000€	15%
Componenti separate con alimentazione da pannello solare	1,20 m x 1 m; 1500-2000 l/sec	19.000€	15%
Componenti separate con alimentazione da rete su paratoie esistenti	1,20 m x 1 m; 1500-2000 l/sec	15.000€	15%
Componenti separate con alimentazione da pannello solare su paratoie esistenti	1,20 m x 1 m; 1500-2000 l/sec	17.000€	15%
<b>Altre voci di costo</b>			
Formazione del personale	3.000€		
Centro di telecontrollo	45.000€		
Eventuale alimentazione ENEL	3.000€		

A fronte dei costi sostenuti per automatizzare la rete di distribuzione, sono stati stimati i seguenti benefici: (i) costi evitati per l'immissione di acqua in eccesso nella rete – prodotto tra la differenza tra la portata massima di acqua immessa nella rete per periodo e la portata necessaria a soddisfare il fabbisogno delle colture presenti in ogni distretto (stimato utilizzando i dati indicati nella sezione seguente) e il costo unitario sostenuto dal Consorzio per l'immissione di acqua nella rete; (ii) costi evitati grazie alla riduzione di forza lavoro necessaria per la gestione delle paratoie stimati pari ad un'unità di lavoro (circa 22.000 €/anno) ogni 10.000 ha serviti da rete automatizzata.

## 5.2. Dati utilizzati per stimare il fabbisogno idrico delle colture

Per stimare il fabbisogno idrico delle colture in base alla metodologia descritta nel Capitolo 3, sono stati raccolti dati puntuali relativi all'evapotraspirazione massima, la produzione massima, il coefficiente di produzione forniti dal CER per ogni fase fenologica delle 4 colture irrigue più rappresentative dell'area studio: erba medica, prato stabile, mais e pomodoro. Inoltre, dallo stesso ente sono state fornite informazioni relative all'epoca di semina/trapianto e raccolta/sfalci di ogni coltura e all'andamento climatico di modo da ricostruire l'andamento dei fabbisogni irrigui per unità di superficie per tutta la stagione irrigua. Il CER ha anche fornito informazioni relative all'uso del suolo nell'area studio per ogni distretto servito dalla rete (Tabella 2). Ciò ha consentito di stimare l'andamento dei fabbisogni irrigui anche per distretto. Tali informazioni sono state successivamente elaborate nella tesi di Laurea Magistrale di Tipaldi (2019), alla quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

TABELLA 2: SUPERFICI CULTURALI PER DISTRETTO

Distretti	Superficie per coltura (ha)			
	Prato stabile	Erba medica	Pomodoro	Mais
Bassopiacentono Monte	0	514	160	687
Bassopiacentono Valle	3	366	242	1.060
Destra Tidone	190	611	222	476
Destra Trebbia	146	341	1.918	1.095
Sinistra Tidone	421	626	649	968
Sinistra Trebbia	352	1.106	1.451	2.584
Valdarda Destra Monte	64	268	369	637
Valdarda Destra Valle	75	376	265	882
Valdarda Sinistra Monte	98	719	589	1.109
Valdarda Sinistra Valle	26	772	337	916

I dati necessari per calcolare l'effetto degli stress idrici attraverso l'Equazione 2 sono stati desunti da IRRINET. Questi sono relativi ad ogni fase fenologica delle colture di riferimento, dalla semina/trapianto alla raccolta/sfalci. Sono stati anche raccolti i dati riguardanti la data di inizio e di raccolta, la durata delle singole fasi fenologiche e il numero di interventi irrigui eseguiti durante la coltivazione. Anche i dati climatici, relativi all'anno 2018, sono stati desunti da IRRINET. In particolare, sono stati utilizzati i dati registrati nella stazione meteo 331 Ottavello, stazione meteo facente parte della rete idrometeorologica regionale, gestita dall'Arpae (Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna). La stazione di rilevamento ha consentito di acquisire, giornalmente, tutti i dati delle variabili necessarie per il calcolo del bilancio idrico. Il termine fondamentale da stimare è l'evapotraspirazione. I valori di coefficiente colturale ( $K_c$ ) e coefficiente di produzione ( $K_y$ ) sono quelli elaborati dalla FAO nel quaderno 66 (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012). Per quanto riguarda il secondo termine, è stato opportunamente adattato dal CER per le diverse fasi di sviluppo.

Per quanto riguarda le rese delle colture oggetto di studio, sono stati utilizzati i dati individuati dal CER. Da tali dati sono state elaborate le produzioni massime ottenibili nelle diverse fasi fenologiche,

utilizzando valori noti in letteratura (Tabella 3). I prezzi attesi del prodotto sono stati ricavati dal listino della borsa merci di Piacenza e fanno riferimento all'elaborazione media annuale del 2018.

TABELLA 3: PARAMETRI UTILIZZATI PER CALCOLARE LA RELAZIONE TRA IRRIGAZIONE E PRODUTTIVITÀ (STIME ANNO 2018)

Coltura	Fase fenologica	Coefficiente di produzione (Ky)	Produzione ottimale (q.li/ha)	Fabbisogno irriguo (mm)
<b>Pomodoro</b>	semina/trapianto	0.4	0	172.21
	allegagione primo palco: fase piena (>50%)	1.5	300	57.63
	invaiaitura primo palco: inizio fase (0 - 5 %)	1.5	200	121.80
	invaiaitura secondo palco: fase piena (>50%)	1.5	200	40.74
	maturazione finale del 50 % delle bacche	0.4	50	70.11
	maturazione finale del 100% delle bacche	0.4	50	43.08
<b>Mais</b>	semina	0.4	0	36.05
	emergenza: fase piena (>50%)	0.4	10	116.61
	levata: fase piena (>50%)	1.2	10	192.82
	emissione del polline: fase piena (>50%)	1.2	40	58.00
	senescenza delle setole: fase piena (>50%)	1.2	30	78.60
	maturazione latte: fase piena (>50%)	0.5	20	100.50
	maturazione cerosa: inizio fase (0-5 %)	0.5	5	36.70
<b>Erba Medica</b>	ripresa vegetativa	0.3	0	15.21
	1 ricaccio- 10 cm di altezza	0.5	20	47.91
	1 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	66.34
	primo sfalcio	0.7	40	30.25
	2 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	39.23
	2 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	29.10
	secondo sfalcio	0.7	40	32.79
	3 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	36.80
	3 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	37.00
	terzo sfalcio	0.7	40	33.16
	4 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	30.94
	4 ricaccio - 30 cm di altezza	0.6	20	41.82
	quarto sfalcio	0.7	20	34.75
<b>Prato Stabile</b>	ripresa vegetativa	0.3	0	15.21
	1 ricaccio- 10 cm di altezza	0.5	20	47.91
	1 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	66.34
	primo sfalcio	0.7	40	30.25
	2 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	39.23
	2 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	29.10
	secondo sfalcio	0.7	40	32.79
	3 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	36.80
	3 ricaccio- 30 cm di altezza	0.6	20	37.00
	terzo sfalcio	0.7	40	33.16
	4 ricaccio - 10 cm di altezza	0.5	20	30.94
	4 ricaccio - 30 cm di altezza	0.6	20	62.73
	quarto sfalcio	0.7	20	34.75



A seguire, sono stati raccolti dati per stimare i consumi energetici (Tabella 4) e la quantità di manodopera impiegata (Tabella 5), i prezzi unitari della produzione vendibile (Tabella 6), il costo unitario dell'energia impiegata per irrigare, il costo unitario dell'acqua destinata all'irrigazione (Tabella 6), il costo unitario della forza lavoro impiegata per irrigare (Tabella 6).

TABELLA 4: ENERGIA CONSUMATA PER IRRIGARE (IPOTESI E DATI TABELLARI ANNO 2018)

Parametri	Elettropompa	Motopompa
Rendimento gruppo pompaggio**	0.65	0.75
Consumo unitario energia (Cu)*	0.74	0.068
Pressione alla stazione di pompaggio (Pi)*	60	60
Rendimento gruppo pompaggio ( $\eta$ )**	0.75	0.65
Coefficiente (Ki)**	102	75

Nota: \* dati ipotizzati; \*\* dati tabellari da (Gallerani, Taglioli, & Viaggi, 2007)

TABELLA 5: MANODOPERA IMPIEGATA PER IRRIGARE (DATI RACCOLTI ANNO 2018)

Coltura	Sistema irriguo prevalente	Manodopera impiegata (h/ha)
Pomodoro	Microirrigazione	20
Mais	Rotolone	12
Erba Medica	Rotolone	13
Prato Stabile	Rotolone	17

TABELLA 6: PREZZI E COSTI UNITARI IMPIEGATI PER LE STIME DEI BENEFICI E DEI DANNI (DATI ANNO 2018)\*

Parametro	Costo unitario
Costo acqua	0,08 €/m <sup>3</sup>
Forza lavoro	17 €/h
Gasolio	0,74 €/kg
Energia elettrica	0,068 €/kw
<b>Prezzo produzione vendibile (€/q.le)</b>	
Pomodoro	8,08
Mais	17,80
Erba Medica	22,15
Prato Stabile	12,95

Nota: \* dati sono stati reperiti presso la camera di commercio di Piacenza (<https://www.pc.camcom.it/>)

### 5.3. Considerazioni di sintesi e informazioni aggiuntive

Le informazioni raccolte hanno consentito di stimare i benefici economici generati dall'irrigazione per le colture di riferimento nonché i costi sostenuti per consentire l'irrigazione. A partire da tale stima è stato quindi possibile procedere all'implementazione dei modelli sviluppati per: (i) analizzare la fattibilità dell'automazione della rete di distribuzione di acqua per l'irrigazione; (ii) mettere in atto il criterio di priorità di distribuzione di acqua irrigua in condizioni di scarsità. Con riferimento al secondo punto, nelle analisi, il criterio di priorità utilizzato è quello relativo all'utilizzo dei ricavi medi per identificare le colture e i settori prioritari nell'allocazione dell'acqua. Tale scelta

è stata guidata dalla maggior rappresentatività di tale criterio, nonché dalla sua più facile interpretazione e applicabilità da parte delle autorità gestionali.

Infine, sono state raccolte informazioni in merito all'uso di IRRINET da parte delle aziende agricole nelle aree test attraverso la distribuzione di questionari disegnati ad hoc. La raccolta di tali informazioni è motivata dall'ambizione originaria del progetto, ovvero utilizzare IRRINET per guidare l'offerta di acqua irrigua. Dai questionari è emerso che tale strumento non viene utilizzato da tutte le aziende servite e che non tutti gli utenti attivi lo usano correttamente. Per approfondimenti in merito alla struttura del questionario ed ai risultati ottenuti si rimanda alla tesi di Cuscini (2018).



## 6. Risultati

In questo capitolo sono riportati i principali risultati derivanti dall'implementazione dei modelli sviluppati nel caso di studio. La stagione irrigua è stata suddivisa in quattro periodi compresi tra marzo ed ottobre. Per ogni periodo sono stati stimati i fabbisogni irrigui delle colture di riferimento a partire da simulazioni effettuate attraverso la piattaforma IRRINET, così come descritto al capitolo precedente. Per questo motivo, i valori ottenuti sono stimati e vanno intesi come indicativi. Si è scelto di adottare questo metodo semplificato in quanto l'adozione di una strategia di calcolo diretta delle variazioni di produzione al variare degli stress idrici sarebbe risultata impraticabile per l'elevato grado di variabilità introdotto dall'ambiente e dalle tecniche colturali.

### 6.1. Benefici economici generati attraverso l'irrigazione

Dall'implementazione dell'equazione 2 è stato possibile stimare la riduzione di produzione determinata da un mancato soddisfacimento dei fabbisogni irrigui di una data coltura. Da queste informazioni sono stati quindi derivati il beneficio marginale e medio ottenibili per volume irriguo. Le variazioni di resa analizzate utilizzano come benchmark le produzioni massime per singola coltura e per fase fenologica, dato il pieno soddisfacimento dei fabbisogni irrigui. La stima è elaborata in modo tale da rappresentare il cosiddetto *effetto trascinamento*, per il quale una perdita di resa in un periodo ha effetto sulle rese ottenibili nei periodi successivi. Questo è stato possibile grazie agli accorgimenti metodologici per lo sviluppo dell'equazione di Doremboos e Kassam (1979).

Al fine di comprendere meglio come variazioni nella disponibilità di acqua possano incidere sulle rese, è stata condotta un'analisi di sensitività. Per ciascuno dei quattro periodi considerati è stata determinata la produttività della coltura al variare dell'apporto irriguo. In particolare, è stato ipotizzato un Coefficiente di Apporto Idrico (CAI) compreso in tra zero e uno. Questo rappresenta la frazione di fabbisogno irriguo soddisfatta attraverso l'irrigazione: al valore 1 corrisponde l'assenza di stress idrico nel periodo considerato, ossia una condizione in cui l'irrigazione soddisfa a pieno la domanda di acqua da parte delle colture. Viceversa, un valore del coefficiente pari a 0 coincide con la totale assenza di irrigazione nel periodo considerato. Nel passaggio tra valori del coefficiente da 1 a 0 si manifesta una progressiva diminuzione dell'evapotraspirazione e delle rese effettive.

Analizzando l'andamento dei ricavi per coltura al variare del CAI (Figura 4), risulta interessante comparare la suscettibilità delle singole colture alla mancanza di acqua in un determinato periodo. In particolare, nel periodo maggio-giugno, appare evidente come in generale tutte le colture, ma soprattutto il pomodoro, siano particolarmente sensibili a stress idrici. Viceversa, nel periodo settembre-ottobre si ha una variazione pressoché nulla dei ricavi al variare del deficit. Questo testimonia la mancanza di benefici derivanti dall'irrigazione, cosa che trova conferma nella pratica comune, dove la stagione irrigua termina abitualmente entro metà/fine settembre.

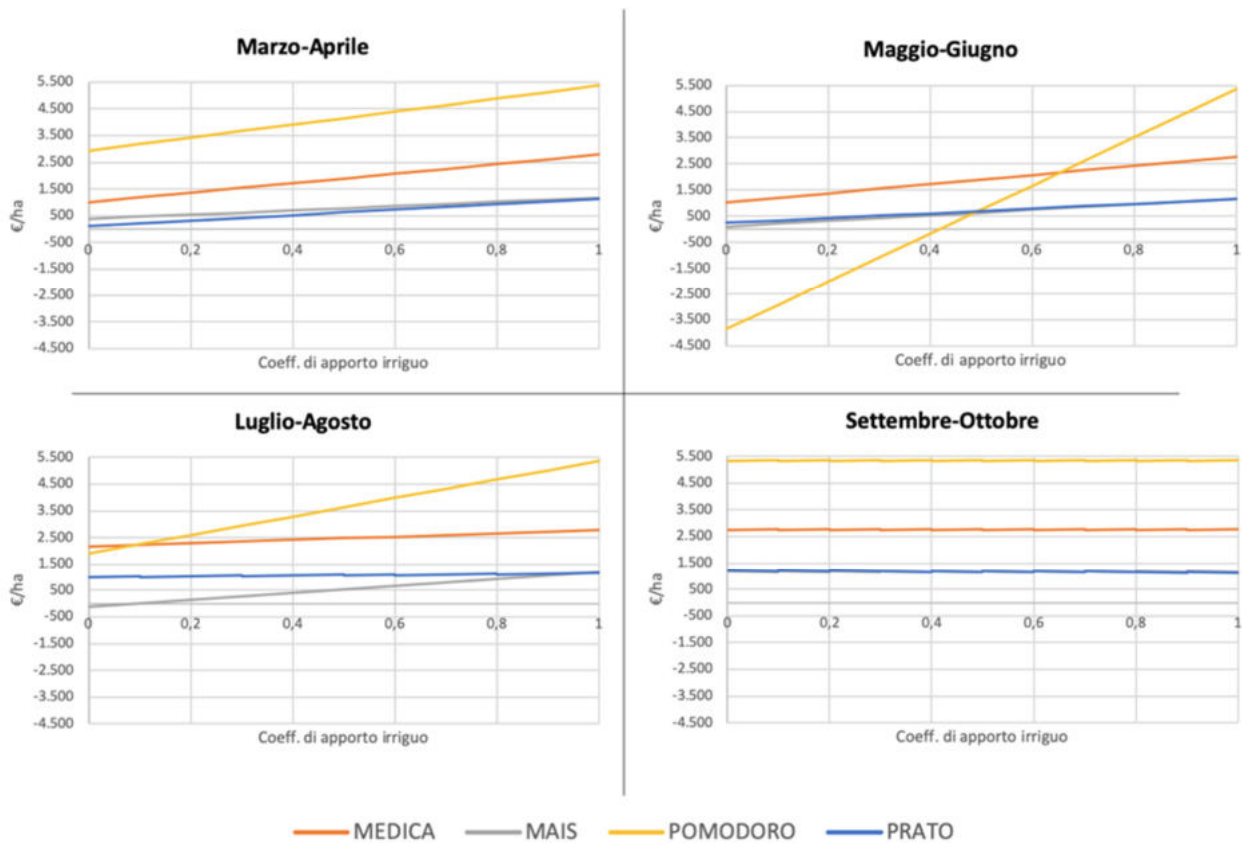


FIGURA 4: ANDAMENTO DEI RICAVI AL VARIARE DELL'APPORTO IRRIGUO

Utilizzando i risultati dell'analisi di sensitività sopra descritta, è stato possibile identificare i valori di produttività dell'acqua medi e marginali. Questi sono espressi come ricavi per volume di acqua utilizzato. Nel presente studio sono stati considerati i valori di ricavo medio per mm di acqua irrigua (

Tabella 7), tali risultati riflettono quanto emerge dalle analisi di sensitività sopra descritte. Qui appare evidente come il pomodoro sia la coltura che permette il raggiungimento dei valori di ricavo medio maggiori in tutti i quattro periodi considerati. Nel confrontare la produttività dell'acqua tra periodi, quello di maggio-giugno risulta chiave presentando esso i valori maggiori di ricavo medio. Viceversa, nel periodo settembre-ottobre sono apprezzabili valori di produttività dell'acqua nulli o negativi, poiché, nonostante il costo sostenuto per irrigare, tale pratica non apporta incrementi produttivi sensibili.

**AVENDO L'USO DEL SUOLO DEI DIECI SUB-DISTRETTI IN CUI È DIVISO IL CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA, È STATO POSSIBILE STIMARE L'ANDAMENTO DEI FABBISOGNI IRRIGUI PER OGNI DISTRETTO. NELLA**

Tabella 8 vengono riportati i costi ed i ricavi conseguibili in ogni distretto nel relativo periodo. Anche in questo caso l'acqua ha una maggiore redditività nei periodi marzo-aprile e maggio-giugno con una redditività pressoché nulla nel periodo settembre-ottobre. Questo fenomeno è rilevabile anche in

Tabella 7 e, oltre a riflettere la suscettibilità delle colture nei periodi chiave della stagione, rappresenta anche il risultato dell'effetto di trascinamento descritto precedentemente. Pertanto, il mancato soddisfacimento dei fabbisogni irrigui delle colture durante le prime fasi fenologiche ha importanti ripercussioni su tutte le fasi seguenti. Viceversa, al termine della stagione, l'effetto di trascinamento risulta pressoché nullo.

TABELLA 7: STIMA DEI COSTI E DEI RICAVI PER UNITÀ DI ACQUA IRRIGUA PER COLTURA (STIME ANNO 2018)

<b>Periodo</b>	<b>Coltura</b>	<b>Costi irrigazione (€/mm)</b>	<b>Ricavi (€/mm)</b>
Marzo – Aprile	Pomodoro	1.7	32.4
	Mais	0.0	28.6
	Erba Medica	0.9	20.2
	Prato Stabile	1.6	7.6
Maggio - Giugno	Pomodoro	2.5	42.1
	Mais	1.4	4.5
	Erba Medica	1.9	9.0
	Prato Stabile	1.5	3.2
Luglio – Agosto	Pomodoro	2.0	16.0
	Mais	1.6	3.9
	Erba Medica	1.9	2.9
	Prato Stabile	1.5	0.6
Settembre - Ottobre	Pomodoro	2.0	1.0
	Mais	1.8	-1.0
	Erba Medica	2.5	3.2
	Prato Stabile	1.3	-0.6

TABELLA 8: STIMA DEI COSTI E DEI RICAVI PER UNITÀ DI ACQUA IRRIGUA PER SETTORE (STIME ANNO 2018)

<b>Periodo</b>	<b>Settore</b>	<b>Costi irrigazione per periodo (€/mm)</b>	<b>Ricavi medi per periodo (€/mm)</b>
Marzo-Aprile	Basso Piacentino Monte	0.54	25.87
	Basso Piacentino Valle	0.45	27.28
	Destra Tidone	0.81	23.07
	Destra Trebbia	1.09	28.99
	Sinistra Tidone	0.87	24.24
	Sinistra Trebbia	0.73	26.57
	Valdarda Destra Monte	0.72	26.96
	Valdarda Destra Valle	0.57	26.27
	Valdarda Sinistra Monte	0.72	26.27
	Valdarda Sinistra Valle	0.64	25.80
Maggio - Giugno	Basso Piacentino Monte	1.69	10.65
	Basso Piacentino Valle	1.64	10.95
	Destra Tidone	1.76	11.74
	Destra Trebbia	2.02	25.51
	Sinistra Tidone	1.78	14.53
	Sinistra Trebbia	1.77	15.27
	Valdarda Destra Monte	1.78	15.73
	Valdarda Destra Valle	1.68	11.75
	Valdarda Sinistra Monte	1.78	14.56
Valdarda Sinistra Valle	1.75	12.38	
Luglio - Agosto	Basso Piacentino Monte	1.78	4.93
	Basso Piacentino Valle	1.74	5.40
	Destra Tidone	1.80	4.86
	Destra Trebbia	1.85	10.29
	Sinistra Tidone	1.77	6.09
	Sinistra Trebbia	1.78	6.67
	Valdarda Destra Monte	1.78	6.87
	Valdarda Destra Valle	1.75	5.50
	Valdarda Sinistra Monte	1.79	6.31
Valdarda Sinistra Valle	1.80	5.46	
Settembre - Ottobre	Basso Piacentino Monte	2.10	0.82
	Basso Piacentino Valle	2.00	0.22
	Destra Tidone	2.06	1.05
	Destra Trebbia	1.96	0.53
	Sinistra Tidone	1.94	0.54
	Sinistra Trebbia	1.97	0.41
	Valdarda Destra Monte	1.98	0.42
	Valdarda Destra Valle	1.99	0.35
	Valdarda Sinistra Monte	2.04	0.69
	Valdarda Sinistra Valle	2.10	0.91

## 6.2. Benefici economici generati dall'automazione delle paratoie

Per stimare i benefici raggiungibili attraverso l'uso congiunto di IRRINET e di paratoie automatizzate, è stata analizzata la portata delle paratoie stesse in condizioni di normalità. In particolare, sono stati ipotizzati e confrontati due scenari: (i) il primo, definito come *status quo*, è quello abituale dove i volumi immessi nel reticolo irriguo corrispondono alla portata massima giornaliera delle paratoie; (ii) il secondo scenario vede invece un volume immesso che risulta inferiore, poiché proporzionale ai fabbisogni stimati da IRRINET. Il risultato dei rilievi atti a stimare il consumo d'acqua a livello consortile nei due scenari è riportato in Figura 5; da qui si può osservare un progressivo incremento dei volumi derivati da IRRINET ad inizio stagione fino a raggiungere un massimo comparabile con i livelli di *status quo*. Raggiunto il picco nei periodi di Maggio-Giugno e Luglio-Agosto, i volumi diminuiscono, con un drastico calo nel periodo Settembre-Ottobre.

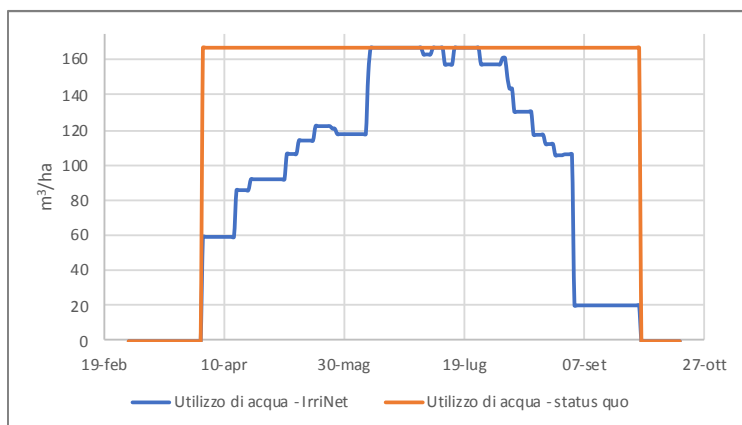


FIGURA 5: VOLUMI GIORNALIERI IMMESSI NEL RETICOLO IRRIGUO

Come si può apprezzare dalla Figura 5, l'utilizzo di IRRINET da parte del Consorzio consente un notevole risparmio idrico. Perciò, considerando i dati descritti nel Capitolo 5, ed in particolare quelli relativi al costo dell'acqua e della manodopera necessaria per la regolazione delle paratoie, è stato così possibile stimare i benefici economici derivanti dall'uso congiunto di IRRINET e automazione.

A differenza dei benefici che si ripetono annualmente, è verosimile assumere che i costi relativi all'automazione delle paratoie siano sostenuti una sola volta all'inizio dell'orizzonte temporale considerato. Questi infatti corrispondono ai costi di investimento per l'installazione delle paratoie automatizzate e, per semplicità, vengono trascurati gli eventuali costi annuali imputabili alla manutenzione dell'impianto di automazione. Pertanto, al fine di valutare la fattibilità economica dell'investimento, si è proceduto all'attualizzazione dei soli benefici al cosiddetto anno zero, ossia al momento in cui il Consorzio deve decidere se procedere o meno all'investimento per poter beneficiare dei risparmi garantiti dall'automazione.

Nella stima dei costi necessari per l'automazione, è da attendersi che non vi sia una proporzionalità lineare tra investimento iniziale e superficie dominata dalla paratoia automatizzata. In particolare, grazie ad economie di scala, è verosimile un andamento dei costi per ettaro che risulta decrescente



all'aumentare della superficie complessiva dominata dall'investimento. Per esempio, l'installazione di paratoie di misura D x 2 (Tabella 1) consente un notevole risparmio per ettaro servito dalla paratoia stessa. Ciò è dovuto ad economie di scala che si manifestano nell'adozione di paratoie di dimensioni maggiori. Tuttavia, l'installazione di questo tipo di paratoie trova giustificazione economica unicamente con superfici a valle considerevoli. Questo si traduce in una soglia di convenienza dell'investimento che varia al variare delle caratteristiche tecniche e del costo della paratoia stessa. Pertanto, risulta interessante analizzare in Figura 6 come, all'aumentare della superficie dominata, varino le performance economiche dell'investimento. In figura, sono riportati i risultati delle analisi dei costi relativi a due alternative di intervento. La prima, è rappresentata dall'investimento più costoso che vede l'installazione di una paratoia nuova già automatizzata e assemblata, la seconda considera l'automatizzazione di una paratoia esistente. Come atteso, i benefici derivanti dai due investimenti risultano equivalenti, viceversa i costi variano sensibilmente e, con essi, le superfici minime dominate dalla paratoia, sopra le quali risulta conveniente l'automazione. Le soglie di convenienza dell'investimento, espresse come superficie minima dominata dalla paratoia automatizzata, sono di estrema importanza ai fini applicativi e per la valutazione di fattibilità. Queste si identificano con i punti in cui la curva dei benefici netti attualizzati interseca quella dei costi di investimento.

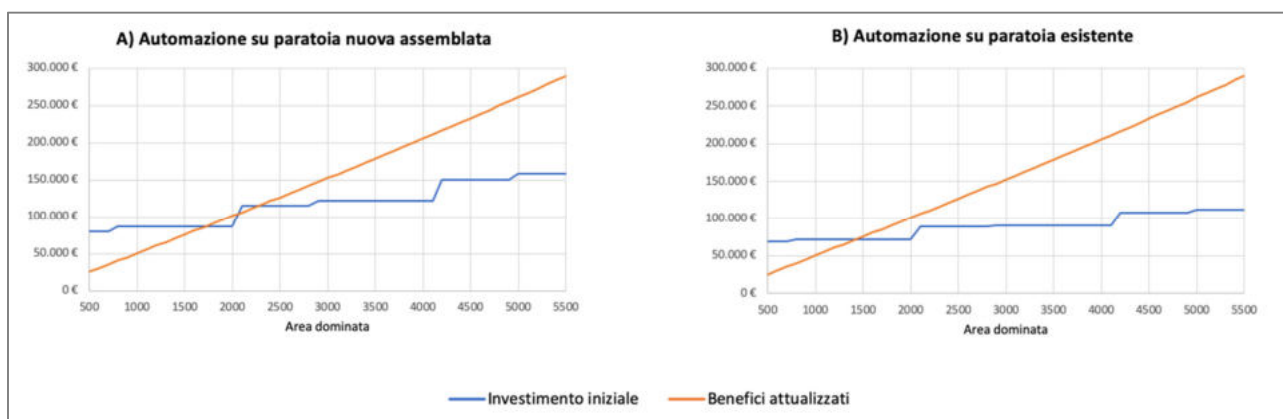


FIGURA 6: ANDAMENTO DEI VALORI UNITARI DI COSTO DI INVESTIMENTO E DEI BENEFICI ATTUALIZZATI AL VARIARE DELL'AREA DOMINATA

Come apprezzabile in Figura 6, la curva dei costi presenta un evidente andamento a step; questo deriva dalla modularità delle paratoie, dove più paratoie di dimensioni D o D x 2 vengono combinate per adattare la portata alla superficie dominata dall'investimento. Di conseguenza, all'aumentare della superficie dominata, ad ogni modulo aggiuntivo necessario per garantire portate sufficienti corrisponde uno step per l'incremento dei costi derivanti all'acquisto del modulo stesso. Il risultato di questo fenomeno può portare a più punti in cui la curva dei costi risulta superiore a quella dei benefici. Questo è evidente nel caso di investimenti che prevedano l'installazione di una paratoia nuova già assemblata (Figura 6 A). Qui, quando la superficie richiede l'installazione di due paratoie, una di dimensioni D e l'altra D x 2, si ha una prevalenza dei costi sui benefici. Viceversa, nel caso di investimenti che prevedano l'installazione del meccanismo di automazione su paratoie esistenti, si verifica un solo punto di intersezione tra le due curve e un'unica soglia che identifica la superficie minima al di sopra della quale l'investimento risulta conveniente.

Per meglio comprendere l'effetto della superficie dominata dalla paratoia sulla convenienza dell'investimento, in Figura 7 viene riportata la curva dei benefici netti attualizzati. Questa deriva dall'applicazione delle equazioni per la determinazione del VAN e permette di identificare in maniera chiara le soglie di convenienza per tipologia di investimento considerato. Da tale curva è stato così possibile analizzare la fattibilità dell'automazione per ognuno dei dieci sotto-distretti analizzati. I risultati di queste analisi vengono riportati in Figura 8, dove si può notare la presenza di alcuni settori in cui non vi sarebbe convenienza nell'installazione di paratoie automatizzate. In particolare, il numero dei settori in cui l'investimento iniziale non è compensato dai benefici attualizzati aumenta nel passaggio dall'investimento per l'automazione di una paratoia esistente alla realizzazione di una paratoia nuova già automatizzata. Ciò è dovuto ai maggiori costi nell'impianto di paratoie nuove già automatizzate. Tali costi aggiuntivi troveranno giustificazione solo qualora le condizioni tecniche locali richiederanno la costituzione di paratoie in nodi idraulici nei quali prima risultavano assenti o laddove le paratoie esistenti non risultino automatizzabili.

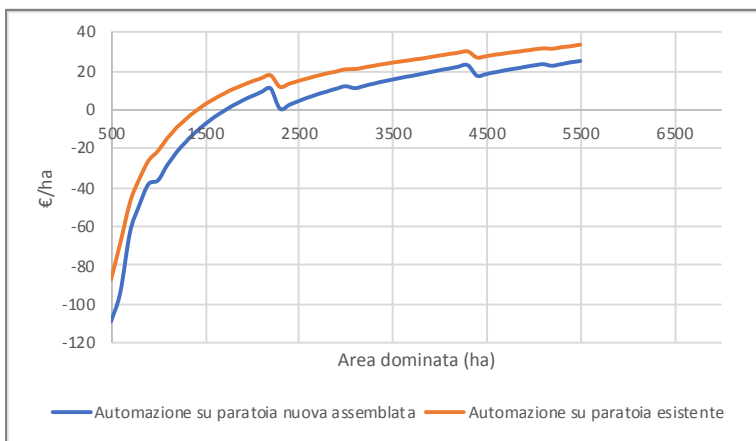


FIGURA 7: ANDAMENTO DEI BENEFICI NETTI ATTUALIZZATI AL VARIARE DELL'AREA DOMINATA DALLA PARATOIA

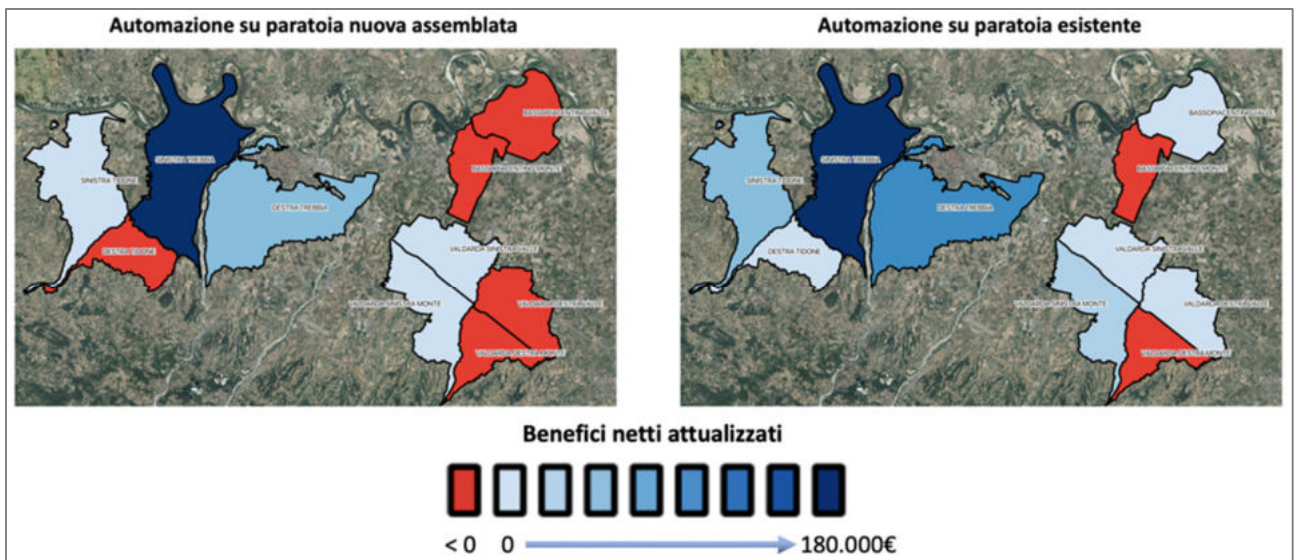


FIGURA 8: BENEFICI NETTI ATTUALIZZATI PER SETTORE

### 6.3. Priorità di intervento in condizioni di scarsa disponibilità di acqua irrigua

In questa sezione vengono riportati i risultati del modello atti a definire il criterio di priorità nell'allocazione delle risorse irrigue in condizioni di scarsità. Il criterio ottimale di allocazione della risorsa dovrebbe mirare alla massimizzazione dei ricavi marginali derivanti dalla distribuzione dell'acqua disponibile tra colture e settori. Tale criterio implica una progressiva riduzione di acqua disponibile dalle colture/settori che per il periodo analizzato presentano i ricavi marginali minori, a favore delle colture/settori che sono caratterizzate da ricavi marginali maggiori. Così facendo, l'acqua verrebbe allocata in modo efficiente e il danno conseguente ad una riduzione della disponibilità minimizzato. Tuttavia, tale criterio richiederebbe una condizione ideale in cui il Consorzio abbia pieno controllo della fornitura di acqua per l'irrigazione e conoscenza puntuale delle condizioni di fabbisogno irriguo delle colture. Specialmente per quanto riguarda il secondo punto, questo si verifica raramente poiché richiede un uso fedele della piattaforma IRRINET da parte di tutti gli agricoltori. Pertanto, nel presente studio, si è ritenuto più opportuno proporre un criterio di priorità basato sui ricavi medi per periodo per una determinata coltura o settore. Questo criterio, seppur economicamente meno performante, consente comunque una riduzione dei danni da siccità, risultando al tempo stesso di più immediata comprensione e utilizzabilità. I risultati del modello presentati in questa sezione costituiscono un esempio chiaro di come l'uso della piattaforma IRRINET non rappresenti solo uno strumento per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua a livello consortile in condizioni di regolarità, ma costituisce anche un elemento di supporto chiave per la gestione delle emergenze.

Il primo step necessario per definire il criterio di priorità è nella definizione delle curve di domanda irrigua per le singole colture (Figura 9). Queste sono determinate considerando come input i risultati della stima dei ricavi e dei costi medi per coltura per periodo (

Tabella 7) assieme al fabbisogno idrico della coltura nello stesso periodo (Tabella 3). Anche in questo caso, dall'osservazione dell'andamento delle curve appare evidente come il pomodoro presenti una dominanza in termini di ricavi medi su tutte le altre colture. All'opposto, la curva di domanda del prato risulta inferiore a tutte le altre colture eccetto nel periodo maggio-giugno dove domina rispetto all'erba medica, la quale presenta ricavi medi lievemente inferiori.

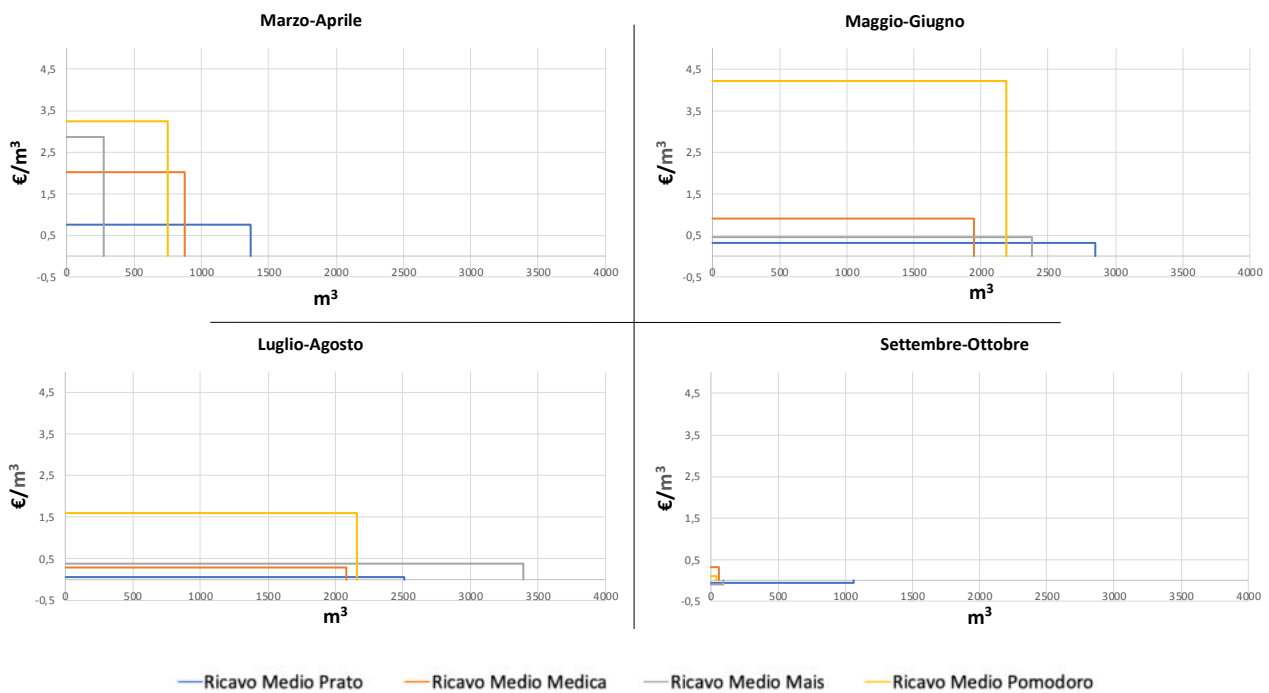


FIGURA 9: CURVE DI RICAPO MEDIO PER COLTURA

Una volta stimata la curva di domanda per le singole colture, è possibile procedere alla stima della stessa curva per settore, considerandone l'uso del suolo (Figura 10). Anche in questo caso la domanda viene identificata tramite il ricavo medio per settore. Analizzando i quattro periodi, si evidenzia che in i ricavi marginali medi maggiori si hanno nei distretti che presentano una maggiore superficie dedita alla coltivazione del pomodoro. Pertanto, tra i dieci sub-distretti, Destra Trebbia risulterà prioritario nell'allocazione della risorsa disponibile. Questo è vero in tutti i periodi considerati, tranne che in settembre-ottobre; come osservato precedentemente, il periodo è caratterizzato da valori di ricavo medio prossimi allo zero, pertanto la pratica irrigua nel periodo risulta sconsigliabile.

Grazie all'utilizzo di tali risultati è stato così possibile determinare un elaborato cartografico nel quale vengono assegnate priorità crescenti ai distretti aventi maggiori ricavi medi per unità di acqua utilizzata (Figura 11). La produzione di cartografia di questo tipo costituirebbe così un valido supporto informativo per la gestione delle emergenze in caso di siccità basata sull'assegnazione di priorità nell'allocazione dell'acqua disponibile nei settori dove il danno sarebbe maggiore. I risultati del modello presentati in questa sezione costituiscono un esempio chiaro di come l'uso della piattaforma IRRINET non rappresenti solo uno strumento per migliorare l'efficienza dell'uso

dell'acqua a livello consortile in condizioni di regolarità, ma costituisce anche un elemento di supporto chiave per la gestione delle emergenze.

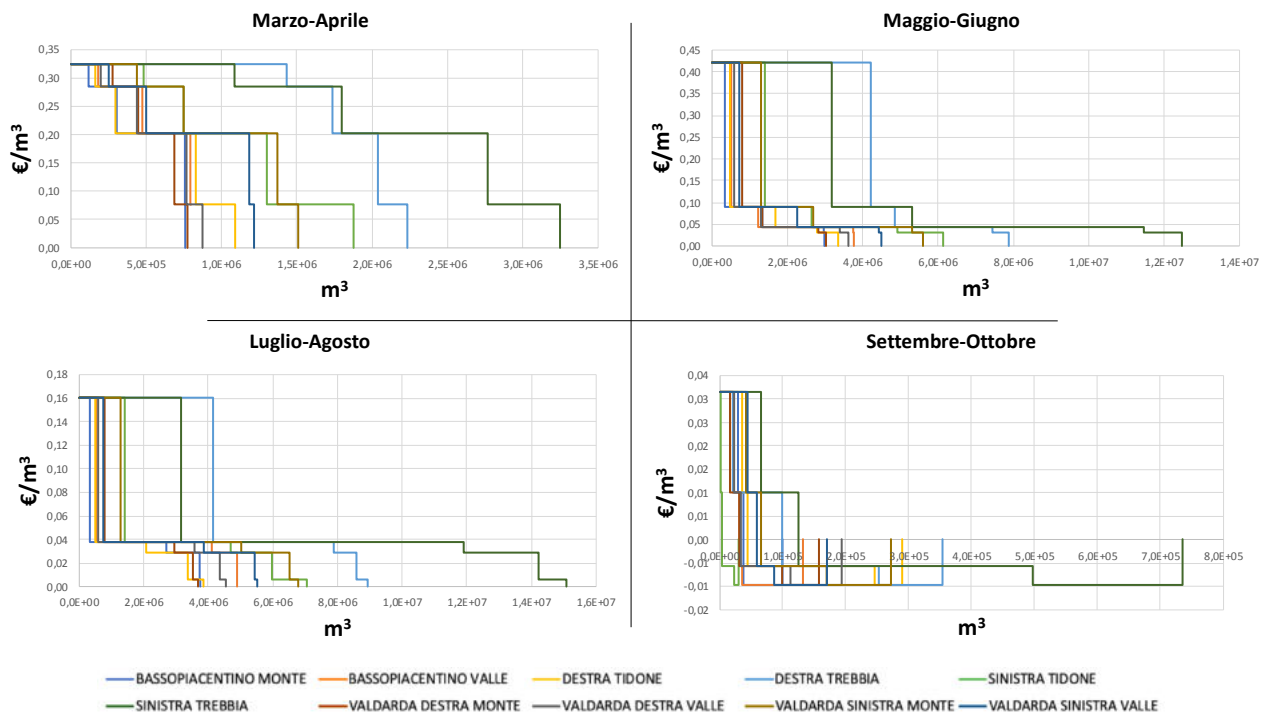


FIGURA 10 - CURVE DI DOMANDA PER SETTORE

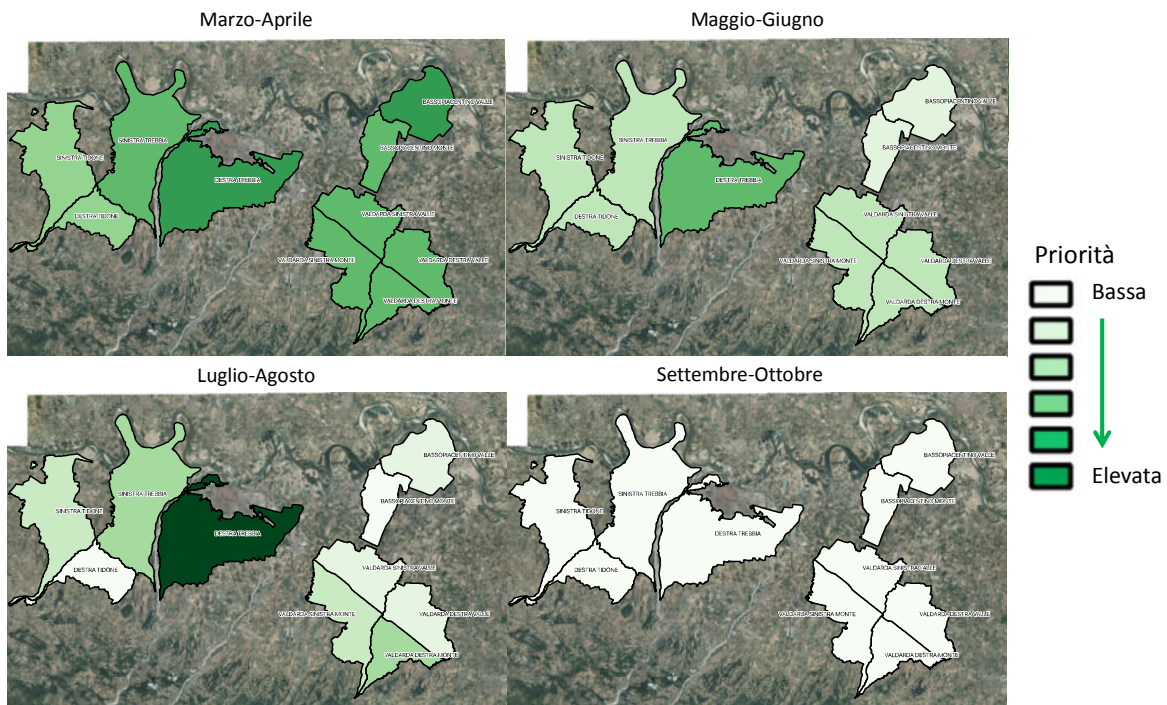


FIGURA 11: IDENTIFICAZIONE DELLE PRIORITÀ PER SOTTO-DISTRETTI

## 7. Discussione

I risultati ottenuti in questo studio permettono di rispondere agli obiettivi prefissati, ossia di: (i) fornire supporto al giudizio di fattibilità degli investimenti necessari per l'automazione delle paratoie; (ii) sviluppare un modello che consenta di assegnare priorità nell'allocazione dell'acqua in caso di scarsità. Tuttavia, per la mancanza di informazioni, alcuni dati utilizzati come input al modello sono stimati o simulati attraverso la piattaforma IRRINET; ciò ha richiesto alcune semplificazioni nelle informazioni in input o nel contesto decisionale.

Tra le semplificazioni più rilevanti vi sono assunzioni relative all'andamento climatico e alle fluttuazioni dei prezzi all'origine dei prodotti agricoli e dei mezzi impiegati; infatti questi vengono considerati costanti per tutta la durata dell'orizzonte temporale analizzato. La quantificazione della variabilità di tali informazioni permetterebbe di ottenere una dimensione dell'incertezza del modello di stima proposto, nonché un'analisi dettagliata del rischio che l'investimento per l'automazione delle paratoie comporterebbe. Nonostante ciò, nella letteratura relativa all'analisi costi benefici è pratica frequente quella di assumere condizioni di perfetta informazione circa la variabilità degli elementi che condizionano gli investimenti (EC, 2009). Per questo motivo, le informazioni adottate si ritengono comunque rappresentative del contesto decisionale in cui sono stati analizzati gli investimenti.

Il criterio del VAN utilizzato per la stima della fattibilità del progetto si limita ad offrire indicazioni in merito agli impatti economici diretti (fattibilità economica del progetto) e non in merito agli impatti ambientali (effetto delle pressioni sulle risorse idriche) e sociali (effetto sull'occupazione) potenziali che possono scaturire dall'esecuzione del progetto, contribuendo a condizionarne la fattibilità. Sviluppare lo studio in queste direzioni consentirebbe di fornire al Consorzio un'immagine più completa di quelli che potrebbero essere i benefici derivanti dall'uso congiunto di IRRINET e paratoie automatizzate.

Infine, nell'analisi costi benefici così come nella definizione del criterio di priorità, il modello assume che il volume immesso nel reticolo irriguo venga utilizzato dagli agricoltori in maniera efficiente. Questo implica che: (i) in condizioni di normalità (per l'analisi costi benefici) non vi sia eccesso d'uso dell'acqua da parte degli agricoltori; (ii) in condizioni di scarsità (per la definizione del criterio di priorità) l'acqua allocata ai settori prioritari, venga gestita in maniera efficiente dagli agricoltori, destinandola alle colture prioritarie.

Nel primo caso, ignorare eventuali eccessi nell'uso della risorsa porta a sottovalutare una componente rilevante di rischio che viene introdotta attraverso l'efficientamento della rete. Infatti, la riduzione dei volumi operativi immessi nel reticolo irriguo, rispetto alla condizione di status quo dove il reticolo risulta perennemente impinguato, espone maggiormente il Consorzio ai danni derivanti dall'eccesso d'uso della risorsa da parte degli agricoltori. Il Consorzio non possiede strumenti validi per il controllo volumetrico dei prelievi, pertanto gli agricoltori più prossimi al canale irriguo principale potrebbero prelevare acqua in eccesso a scapito degli agricoltori a valle. Il risultato di tale inefficienza allocativa comporterebbe una diminuzione potenziale della redditività media per



ettaro; l'entità del danno che ne consegue varia al variare del grado di uso eccessivo della risorsa. A scopo puramente esplicativo, abbiamo analizzato uno scenario in cui ¼ degli agricoltori posti a monte del reticolo irriguo utilizzino il 30% o il 50% dell'acqua in più rispetto a quanto specificato da IRRINET. In

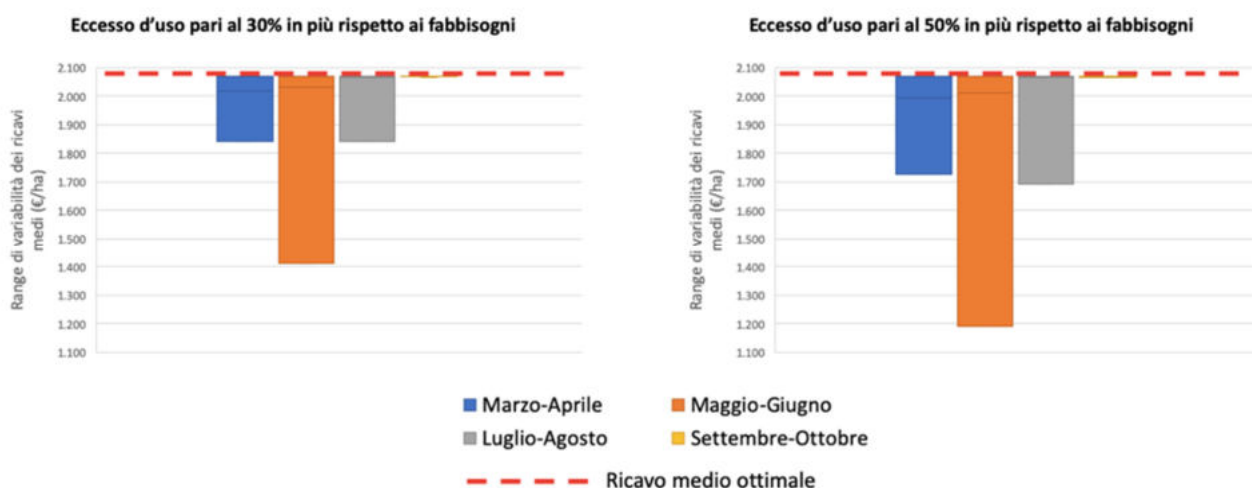


Figura 12 viene rappresentata la porzione dei ricavi medi consortili per ettaro soggetta ai danni derivanti da allocazione inefficiente dei volumi immessi nel reticolo irriguo consortile. Dalla Figura appare evidente come il danno potenziale da allocazione inefficiente in condizioni di regolare disponibilità idrica sia rilevante specialmente nel periodo di maggio-giugno, quando le colture risultano maggiormente suscettibili a stress. Viceversa, nel periodo di settembre-ottobre, il danno potenziale risulta pressoché nullo.

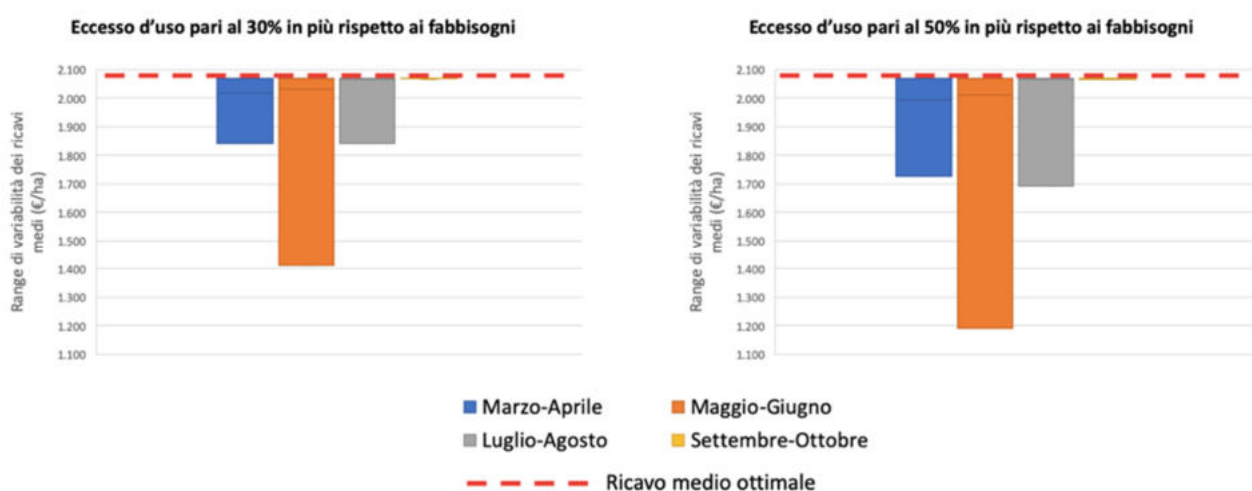


FIGURA 12: RANGE DI RICAVI MEDI SOGGETTI AL RISCHIO DI ALLOCAZIONE INEFFICIENTE IN PERIODI DI REGOLARE DISPONIBILITÀ IDRICA

L'effetto negativo derivante da inefficienze nell'allocazione dell'acqua a livello aziendale risulta ancor più evidente in presenza di siccità. Come esempio esplicativo viene considerata una situazione di progressiva scarsità, per far fronte alla quale, è possibile applicare il criterio di priorità basato sul ricavo medio per determinare quale settore avrà la precedenza nell'allocazione dell'acqua. Tuttavia, all'interno del settore, il Consorzio non ha strumenti per regolare l'allocazione dell'acqua tra

colture/aziende, poiché ciò è determinato dalle scelte dei singoli agricoltori. Pertanto, la poca acqua disponibile rischia di essere allocata alle colture meno prioritarie, ossia a quelle che presentano ricavi medi minori. Ciò può essere dovuto ad un mancato utilizzo della piattaforma IRRINET a livello di azienda agricola. Oppure, può accadere che gli agricoltori a monte del reticolo irriguo, pur avendo colture non prioritarie, utilizzino la poca acqua disponibile per irrigarle a scapito delle colture prioritarie poste nelle aziende agricole a valle. In questo modo, i benefici determinati dall'implementazione di un criterio di priorità efficiente a livello consortile, vengono annullati dall'allocazione inefficiente a livello aziendale, con impatti negativi sulla redditività media consortile per ettaro (Figura 13).

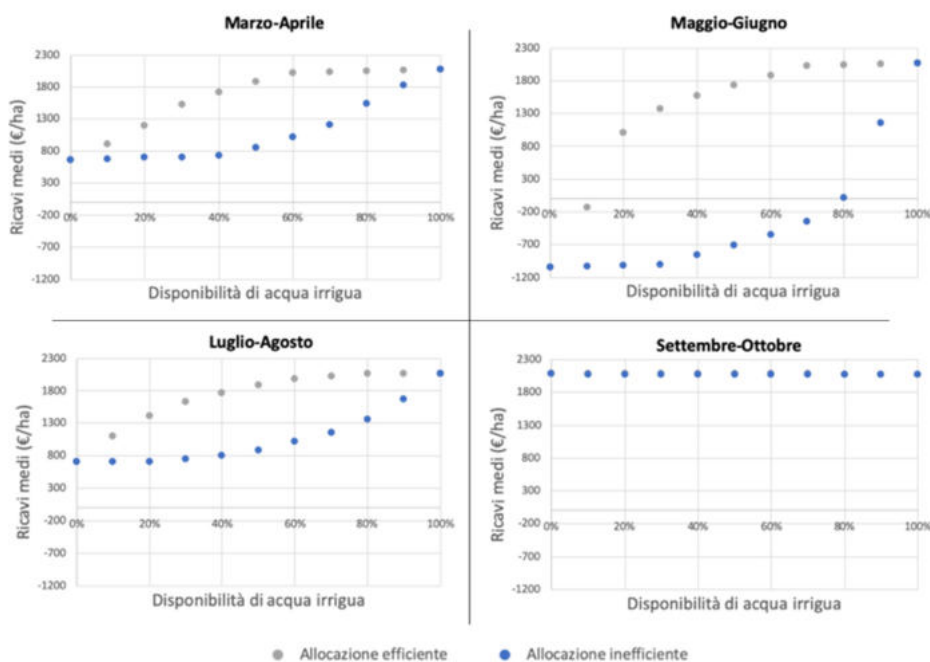


FIGURA 13: ANDAMENTO DEI RICAVI MEDI STAGIONALI IN PRESENZA DI ALLOCAZIONE EFFICIENTE O INEFFICIENTE DELL'ACQUA DISPONIBILE IN PERIODI DI SCARSITÀ



## 8. Conclusioni

Il presente studio è nato dalla necessità di condurre un'analisi dei benefici e dei costi derivanti da un uso congiunto di IRRINET e paratoie automatizzate per l'allocazione delle acque irrigue. In questo contesto sono state considerate sia gestione straordinaria che ordinaria del reticolo irriguo, con l'obiettivo di stimare rispettivamente i danni evitati nonché il risparmio di acqua, energia e manodopera derivanti dall'automazione della rete. La mancata disponibilità di informazioni relative alle performance del Consorzio raggiunte in seguito all'automazione della rete ha indotto i responsabili della parte economica ad abbandonare l'obiettivo originario di una valutazione ex-post della fattibilità dell'intervento, limitando tale valutazione ad un'analisi ex-ante. Questa si è basata su dati stimati da esperti coinvolti nel progetto e su informazioni raccolte tramite questionari sottoposti ad agricoltori che operano nella regione interessata dal progetto, ed ha perseguito due obiettivi specifici, ovvero di: (i) valutare la fattibilità del progetto; (ii) identificare un criterio per la gestione delle emergenze in situazioni di scarsità.

Per raggiungere tali obiettivi, nella valutazione economica sono stati sviluppati due modelli economici distinti. Per la valutazione di fattibilità, è stato sviluppato un modello per l'analisi dei benefici economici potenziali generati grazie all'allocazione efficiente delle risorse irrigue. Questa risulta ottenibile in seguito all'automazione della rete a fronte dei costi necessari per l'automazione stessa. Viceversa, per la definizione del criterio di priorità, è stato sviluppato un modello che consentisse di individuare le aree dove il danno potenziale dovuto alla scarsità fosse maggiore e dove prioritariamente dovessero essere allocate le risorse disponibili. Entrambi i modelli hanno avuto come applicazione l'allocazione dell'acqua tra distretti irrigui appartenenti al Consorzio di Bonifica di Piacenza.

Dall'applicazione del modello per l'analisi di fattibilità è stato possibile evidenziare come un uso congiunto di IRRINET e paratoie automatizzate possa permettere un cambio di paradigma gestionale di notevole importanza. Questo consentirebbe di passare da un sistema di distribuzione rigido e calendarizzato, che si limita a mantenere i canali consortili impinguati durante la stagione irrigua, ad un sistema di distribuzione dinamico e guidato dalla domanda, che consente di limitare gli sprechi.

L'automazione delle reti di consegna consentirebbe un ulteriore vantaggio, ancor più interessante, rappresentato dalla gestione delle emergenze, in particolare quelle legate a condizioni di temporanea scarsità. In tali circostanze, non solo è possibile evitare sprechi, ma si possono anche limitare i danni consentendo al Consorzio di modulare la distribuzione di acqua lungo la rete, dando priorità di fornitura ai settori che potrebbero subire danni maggiori. A tal proposito è stato sviluppato e applicato un criterio per assegnare priorità ai settori/colture il cui danno medio derivante da un mancato soddisfacimento dei fabbisogni irrigui sia maggiore. Dall'applicazione di tale criterio, il Consorzio potrebbe gestire in maniera più efficiente le crisi irrigue, minimizzando i danni derivanti dai sempre più frequenti fenomeni di scarsità.

L'applicazione di questo nuovo paradigma gestionale non è tuttavia scevra da rischi. Tramite alcuni esempi, abbiamo mostrato come inefficienze allocative nella distribuzione dell'acqua tra colture all'interno di un settore potrebbero causare una significativa diminuzione dei ricavi attesi. In particolare, l'eccesso d'uso della risorsa disponibile da parte di alcuni agricoltori posti a monte del reticolo irriguo di un settore potrebbe indurre a fenomeni di scarsità tra gli agricoltori a valle in caso di normale disponibilità idrica, o peggio accentuare i danni, in caso di siccità. Il manifestarsi di tali inefficienze allocative sarebbe evitabile qualora si manifestassero due condizioni: (i) l'automazione integrale della rete di distribuzione in ogni suo nodo idraulico; (ii) la corretta applicazione di IRRINET da parte di tutti gli agricoltori serviti dalla rete. Da un lato, il pieno controllo del reticolo automatizzato consentirebbe una precisa ed efficiente allocazione dell'acqua agli agricoltori, minimizzando così la possibilità di un utilizzo eccessivo. Dall'altro lato, per garantire l'allocazione efficiente dell'acqua tra le colture sarebbe necessario un uso diffuso della piattaforma IRRINET da parte gli agricoltori. Così facendo il Consorzio avrebbe anche informazione puntiforme circa i fabbisogni irrigui, così da massimizzare il potenziale di risparmio idrico offerto dall'automazione del reticolo.

In conclusione, lo studio ha presentato un esempio chiaro di come l'uso della piattaforma IRRINET assieme all'automazione delle paratoie non rappresenti solo uno strumento utile per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua a livello consortile in condizioni di regolarità, ma costituisce anche un elemento di supporto chiave per la gestione delle emergenze.

## 9. Riferimenti bibliografici

- Anvari, S., S. J. Mousavi, and S. Morid. 2017. "Stochastic Dynamic Programming-Based Approach for Optimal Irrigation Scheduling under Restricted Water Availability Conditions." *Irrigation and Drainage* 66(4):492–500.
- Bogaert, Sarah. 2012. "The Role of Water Pricing and Water Allocation in Agriculture in Delivering Sustainable Water Use in Europe."
- Cao, Yu and Jing Yan. 2012. "Decision Support System for Watershed Management: A Review." *Chinese Journal of Applied Ecology* 23(7):2007–14.
- Cetinkaya, Cem P. and Mert Can Gunacti. 2018. "Multi-Criteria Analysis of Water Allocation Scenarios in a Water Scarce Basin." *Water Resources Management* 32(8):2867–84.
- Devatha, C. P. and Arun Kumar Thalla. 2018. "Prioritizing Cropping Alternatives Based on Attribute Specification and Comparison Using MADM Models." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. "Yield Response to Water." *Irrigation and Drainage Paper* 33:257.
- García-Vila, Margarita and Elías Fereres. 2012. "Combining the Simulation Crop Model AquaCrop with an Economic Model for the Optimization of Irrigation Management at Farm Level." *European Journal of Agronomy* 36(1):21–31.
- Ge, Yingchun, Xin Li, Chunlin Huang, and Zhuotong Nan. 2013. "A Decision Support System for Irrigation Water Allocation along the Middle Reaches of the Heihe River Basin, Northwest China." *Environmental Modelling & Software* 47:182–92.
- Giusti, Elisabetta and Stefano Marsili-Libelli. 2015. "A Fuzzy Decision Support System for Irrigation and Water Conservation in Agriculture." *Environmental Modelling & Software* 63:73–86.
- Homayounfar, Mehran, Sai Hin Lai, Mehdi Zomorodian, Ali Reza Sepaskhah, and Arman Ganji. 2014. "Optimal Crop Water Allocation in Case of Drought Occurrence, Imposing Deficit Irrigation with Proportional Cutback Constraint." *Water Resources Management* 28(10):3207–25.
- Jin, Lei, Guohe Huang, Yurui Fan, Xianghui Nie, and Guanhui Cheng. 2012. "A Hybrid Dynamic Dual Interval Programming for Irrigation Water Allocation under Uncertainty." *Water Resources Management* 26(5):1183–1200.
- Kipkorir, E. C., D. Raes, and J. Labadie. 2001. "Optimal Allocation of Short-Term Irrigation Supply." *Irrigation and Drainage Systems* 15(3):247–67.
- Kuschel-Otárola, Mathias, Diego Rivera, Eduardo Holzapfel, Cristian Palma, Alex Godoy-Faúndez, Mathias Kuschel-Otárola, Diego Rivera, Eduardo Holzapfel, Cristian D. Palma, and Alex Godoy-Faúndez. 2018. "Multiperiod Optimisation of Irrigated Crops under Different Conditions of Water Availability." *Water* 10(10):1434.
- Li, Man, Wenchao Xu, and Tingju Zhu. 2018. "Agricultural Water Allocation under Uncertainty: Redistribution of Water Shortage Risk." *American Journal of Agricultural Economics* 00(0):1–20.
- Li, Wei, Changchun Feng, Chao Dai, Yongping Li, Chunhui Li, and Ming Liu. 2016. "An Inexact Risk Management Model for Agricultural Land-Use Planning under Water Shortage." *Frontiers of Earth Science* 10(3):419–31.

- Linker, Raphael, Ilya Ioslovich, Georgios Sylaios, Finn Plauborg, and Adriano Battilani. 2016. "Optimal Model-Based Deficit Irrigation Scheduling Using AquaCrop: A Simulation Study with Cotton, Potato and Tomato." *Agricultural Water Management* 163:236–43.
- Mannini, P., R. Genovesi, and T. Letterio. 2013. "IRRINET: Large Scale DSS Application for on-Farm Irrigation Scheduling." *Procedia Environmental Sciences* 19:823–29.
- Molle, F. and J. Berkoff. 2007. "Water Pricing in Irrigation : Mapping the Debate in the Light of Experience." 21–93.
- Moreira Barradas, J. M., S. Matula, and F. Dolezal. 2012. "A Decision Support System-Fertigation Simulator (DSS-FS) for Design and Optimization of Sprinkler and Drip Irrigation Systems." *Computers and Electronics in Agriculture* 86:111–19.
- Prasad, A. Srinivasa, N. V Umamahesh, and G. K. Viswanath. 2006. "Optimal Irrigation Planning under Water Scarcity." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 132(3):228–37.
- Sepahvand, Reza, Hamid R. Safavi, and Farshad Rezaei. 2019. "Multi-Objective Planning for Conjunctive Use of Surface and Subsurface Water Using Genetic." *Water Resources Management* (33):2123–37.
- Sun, Qihui, Guobin Xu, Chao Ma, and Liang Chen. 2017. "Optimal Crop-Planting Area Considering the Agricultural Drought Degree." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 143(12):04017050.
- Vos, Jeroen and Linden Vincent. 2011. "Volumetric Water Control in a Large-Scale Open Canal Irrigation System with Many Smallholders: The Case of Chancay-Lambayeque in Peru." *Agricultural Water Management* 98(4):705–14.

## Allegato 6 – Risultati idraulici e risultati economici ottenuti nelle aree test stimati dal sw ReteBlu applicato nelle annate 2018 e 2019

### Risultati idraulici

Confronto tra dati Renana/misure idrauliche da progetto e dati stimati da ReteBlu nella giornata del 01/07/2018

	<b>Consorzio Bonifica Renana</b>	<b>ReteBlu</b>
Volume iniziale m3*	Non disponibile	7751
Prelevato da Reno m3	25000	24213
Fabbisogno irriguo m3	11332	16520
Percolazione m3	7620	5160
Uscito da rete m3	6048	6000
Volume finale presente m3*	Non disponibile	4284
Danno evitato euro	Non disponibile	9836

\* questa informazione viene calcolata dal sw, ma non è reso disponibile dal consorzio in quanto irrilevante ai fini della gestione trattandosi di un continuum quotidiano. Questa differenza pone in evidenza il problema della scansione temporale giornaliera del sw, per cui è corretto che il dato venga calcolato, ma deve essere inserito in un contesto di “fluidità nel tempo” che permetta di considerare i giorni a venire, per ottenere quella attitudine programmatoria che un sw del genere deve avere.

Al fine di dettagliare la tabella precedente riportiamo di seguito l’elenco dei valori presenti e la modalità con la quale sono stati calcolati/rilevati:

#### Consorzio Bonifica Renana

1. Volume iniziale m3 (misurato): Il volume iniziale non è un dato disponibile presente nel database del telecontrollo del Consorzio.
2. Prelevato da Reno m3: Il dato viene calcolato dal sistema di telecontrollo utilizzando sensori di livello prima e dopo la paratoia di derivazione alla presa e sistemi che misurano il grado di apertura della bocca a stramazzo presente. Utilizzando specifici coefficienti di efflusso  $\mu$  (coefficiente di riduzione della velocità del filetto fluido  $u$  e coefficiente di riduzione della sezione  $m$ ) misurati della bocca a stramazzo in questione viene calcolata la portata media oraria.
3. Fabbisogno irriguo m3 (stimato): Il fabbisogno irriguo viene calcolato a partire dell’equazione del bilancio di massa per il canale in questione come dettagliata negli allegati del modello idraulico.
4. Percolazione m3 (misurato): Il valore viene calcolato a partire dal dato misurato in campo con il metodo del doppio anello come descritto negli allegati moltiplicato per il perimetro bagnato stimato  $P$  [m] e per la lunghezza del tratto oggetto della simulazione  $L$  [m] secondo la seguente formula:

$$P [mc \cdot d^{-1}] = K_s [m \cdot d^{-1}] \cdot L [m] \cdot P [m]$$

5. Uscito da rete m3 (misurato): il valore è stato misurato a partire dal rilievo di portata eseguito nella sezione di chiusura del tratto di canale simulato. Il valore di velocità del flusso misurato per il giorno di rilievo è stato utilizzato per calcolare le portate uscite a partire dai dati di tirante rilevati dall’operatore a cadenza giornaliera.
6. Volume finale presente m3\*: non misurato.
7. Danno evitato euro: non misurato.

## ReteBlu

1. Volume iniziale m3 (stimato): tale dato è stato stimato a partire da simulazioni di RETEBLU giornaliere. A scala reale il canale viene riempito ad inizio anno ed il gestore esegue la ricarica della rete in funzione delle richieste degli utenti. Avendo utilizzato per il confronto 1 solo giorno si è provveduto a simulare il volume invasato al giorno i con il modello a partire dalla data di inizio dell'attività irrigua registrata dal Consorzio.
2. Fabbisogno irriguo m3 (calcolato): il fabbisogno irriguo è stato simulato utilizzando il bilancio di IRRINET per gli appezzamenti che attingono dai tratti in esame.
3. Percolazione m3 (calcolata): la percolazione è stata stimata a partire dal valore di conducibilità idraulica misurata del fondo del canale (come nel caso precedente) utilizzando però nel calcolo i valori di lunghezza e tirante idraulico per ogni sezione come simulato nel modello RETEBLU.
4. Uscito da rete m3 (misurato): vedere caso precedente.
5. Volume finale presente m3 (calcolato): stimato dal modello idraulico di RETEBLU.
6. Danno evitato euro (calcola): utilizzando la funzione di IRRINET ECONOMICO è stato calcolato dal modello RETEBLU il danno evitato complessivo.

Come è chiaramente stato indicato precedentemente l'impossibilità di avere dal Consorzio il dato del volume iniziale e finale all'interno della rete, perché da loro giustamente ritenuto del tutto teorico e poco rappresentativo della dinamicità della circolazione dell'acqua nella rete, rende assai arduo un confronto stagionale tra il dato stimato dal modello ed il dato reale desunto dal telecontrollo consortile. D'altra parte, perché il modello riesca ad effettuare tutti i suoi calcoli con passo giornaliero, in accordo con il passo di IrriNet, deve essere necessariamente assegnato un valore all'invaso nella rete. Il sistema software in oggetto è stato sviluppato per integrarsi con il sistema di telecontrollo presente nei Consorzi al fine di ottimizzare la gestione delle risorse idriche in agricoltura. Il sistema, quindi, deve funzionare in real-time, o quasi, così come avviene nella gestione delle opere idrauliche ad opera degli addetti del Consorzio. L'operatore, in funzione di diverse variabili opera a cadenza oraria, giornaliera, settimanale o all'occorrenza ed esegue operazioni sugli organi meccanici di manovra per la regolazione dei deflussi. Altro contesto invece rappresenta un modello di simulazione idraulica della rete che in parte esula dalla seguente trattazione.

Per potere svolgere il necessario confronto sull'efficacia del modello nella rappresentazione idraulica del contesto si è preferito optare per un confronto su di una giornata qualunque della stagione irrigua ed i dati in tabella si riferiscono infatti al giorno 1° luglio. L'analisi dei dati indica una buona rispondenza del modello, molto buona nella valutazione dei prelievi e nelle uscite (misurate direttamente nell'azione 3.3), mentre la differenza dei valori nell'acqua percolata è da ricercare nell'utilizzo da parte del modello dei dati desunti dall'attività di misura delle perdite effettuata dal CER e dai Consorzi in aree rappresentative delle tipologie dei suoli presenti nella cartografia regionale, mentre il dato della Renana è stato ottenuto inserendo il valore rilevato direttamente in campo nella azione 3.3 del progetto. Essendo la formula identica in entrambe i casi è evidente che tali valori, unificando tale parametro risulteranno perfettamente identici. Per quanto riguarda i differenti valori di fabbisogno irriguo va ricordato che l'entropia introdotta dal riempimento dei maceri, rende intellegibile il valore riportato, poiché una richiesta di acqua da parte dell'utenza in quella giornata, rispetto al fabbisogno delle colture, potrebbe essere dovuta al ricorso ad acqua stoccata nel macero per integrare quanto prelevato direttamente dalla rete. In ogni caso un'analisi di massa riferisce di una sostanziale congruità dei dati stimati in relazione ai dati effettivi forniti dal consorzio e misurati in campo.

## Risultati economici

Si premette che i risultati riguardano le sole colture (tra quelle presenti nelle aree test) di cui IrriNet, nella sua versione economica che viene utilizzata da ReteBlu, fornisce le produzioni ottenibili applicando i volumi irrigui consigliati. I prezzi sono stati ricavati da:

-CAMERA DI COMMERCIO DI BOLOGNA - Elaborazione media annuale dei prezzi rilevati

- <https://www.bo.camcom.gov.it/sites/default/files/borsa-merci-e-rilevazione-prezzi/listino-annuale/Anno%202018.pdf>

-Listino delle medie dei prezzi rilevati a Forlì-Cesena per i listini dal 01/01/2018 al 31/12/2018

- [https://www.romagna.camcom.it/ufficio-tutela-fede-pubblica-e-dellingegno/prezzi/listino-settimanale-prezzi-allingrosso-e-alla-produzione-forli-cesena/index.htm?ID\\_D=115](https://www.romagna.camcom.it/ufficio-tutela-fede-pubblica-e-dellingegno/prezzi/listino-settimanale-prezzi-allingrosso-e-alla-produzione-forli-cesena/index.htm?ID_D=115)

-Listino-bb-2018/19 per la barbabietola - <http://www.coprob.com/azienda/>

-I PREZZI DELLE UVE DA VINO RILEVATI DALLE CAMERE DI COMMERCIO

- <https://www.cn.camcom.gov.it/it/focus/informazione-economica/prezzi/prezzi-dei-vini-e-delle-uve>

Tab.1 Risultati Veneta ( Bo) 2018

colture	volume di adacquata a ettaro in m3	volume stagionale m3	Q.li/Ha	q.li Totali	prezzo euro	beneficio totale euro	beneficio euro/m3
<b>'ALBICOCCO'</b>	<b>356,00</b>	<b>2.050,56</b>	<b>24,16</b>	<b>139,15</b>	<b>18,00</b>	<b>2.504,65</b>	<b>1,22</b>
'Rotolone 70'	356,00	2.050,56	24,16	139,15	18,00	2.504,65	1,22
<b>'BIETOLA DA ZUCCHERO 2Â° modulo'</b>	<b>303,67</b>	<b>11.012,68</b>	<b>65,93</b>	<b>2.231,11</b>	<b>8,00</b>	<b>17.848,91</b>	<b>1,67</b>
'Rotolone 100'	303,67	11.012,68	65,93	2.231,11	8,00	17.848,91	1,67
<b>'MAIS MEDIO'</b>	<b>344,00</b>	<b>34.918,54</b>	<b>8,73</b>	<b>1.251,86</b>	<b>12,00</b>	<b>15.022,31</b>	<b>0,29</b>
'Impianto a goccia generico'	168,60	4.788,24	3,86	109,54	12,00	1.314,47	0,26
'Manichetta ad alta portata'	446,00	1.681,42	10,05	35,02	12,00	420,19	0,27
'Pioggia mobile media gittata'	446,00	214,08	11,44	5,49	12,00	65,88	0,31
'Rotolone 120'	558,00	28.234,80	21,78	1.101,82	12,00	13.221,78	0,47
<b>'MELO'</b>	<b>356,00</b>	<b>1.851,20</b>	<b>40,79</b>	<b>210,89</b>	<b>16,00</b>	<b>3.374,17</b>	<b>1,83</b>
'Rotolone 70'	356,00	1.851,20	40,79	210,89	16,00	3.374,17	1,83
<b>'PATATA'</b>	<b>279,86</b>	<b>8.134,86</b>	<b>56,70</b>	<b>1.653,46</b>	<b>16,00</b>	<b>26.455,39</b>	<b>3,52</b>
'Rotolone 100'	279,86	8.134,86	56,70	1.653,46	16,00	26.455,39	3,52
<b>'PERO'</b>	<b>356,00</b>	<b>9.170,56</b>	<b>31,88</b>	<b>821,12</b>	<b>15,00</b>	<b>12.316,78</b>	<b>1,34</b>
'Rotolone 70'	356,00	9.170,56	31,88	821,12	15,00	12.316,78	1,34
<b>'PESCO'</b>	<b>356,00</b>	<b>5.792,12</b>	<b>36,89</b>	<b>560,17</b>	<b>16,00</b>	<b>8.962,75</b>	<b>1,65</b>
'Pioggia mobile media gittata'	356,00	299,04	41,49	34,85	16,00	557,67	1,86
'Rotolone 70'	356,00	5.493,08	34,76	525,32	16,00	8.405,08	1,56
<b>'POMODORO DA INDUSTRIA'</b>	<b>334,00</b>	<b>33,40</b>	<b>57,75</b>	<b>5,77</b>	<b>15,00</b>	<b>86,62</b>	<b>2,79</b>
'Manichetta ad alta portata'	334,00	33,40	57,75	5,77	15,00	86,62	2,79
<b>'SUSINO'</b>	<b>356,00</b>	<b>398,72</b>	<b>26,33</b>	<b>29,49</b>	<b>21,00</b>	<b>619,22</b>	<b>1,55</b>
'Rotolone 70'	356,00	398,72	26,33	29,49	21,00	619,22	1,55
<b>'VITE'</b>	<b>385,67</b>	<b>3.376,66</b>	<b>31,02</b>	<b>277,81</b>	<b>24,00</b>	<b>6.667,42</b>	<b>1,85</b>
'Rotolone 100'	445,00	1.397,30	52,89	166,15	24,00	3.987,62	2,85
'Rotolone 70'	356,00	1.979,36	20,08	111,66	24,00	2.679,81	1,35
<b>Totale complessivo</b>	<b>349,67</b>	<b>76.739,30</b>	<b>31,71</b>	<b>7.180,83</b>	<b>15,92</b>	<b>93.858,22</b>	<b>1,46</b>

Il risultato riportato è stato ottenuto fornendo alle colture tutto il fabbisogno irriguo, poiché non vi sono stati problemi di approvvigionamento, evitando un danno stimato di quasi 94.000 euro, pari un beneficio fornito dal m3 di acqua pari a 1,46 euro. Nessuna particella ha subito riduzioni, dunque non ci sono stati danni effettivi alle colture.

Tab.2 Risultati Rivo Villano (Pc) 2018

colture	volume di adacquata a ettaro in m3	volume stagionale m3	Q.li/Ha	q.li Totali	prezzo euro	beneficio totale euro	beneficio euro/m3
<b>'POMODORO DA INDUSTRIA'</b>	<b>107,08</b>	<b>77.139,13</b>	<b>15,15</b>	<b>11.377,91</b>	<b>15,00</b>	<b>170.668,69</b>	<b>2,25</b>
'Ala gocciolante'	106,53	56.797,73	14,64	7.814,03	15,00	117.210,40	2,20
'Impianto a goccia generico'	111,89	20.341,40	19,60	3.563,89	15,00	53.458,29	2,69
<b>Totale complessivo</b>	<b>107,08</b>	<b>77.139,13</b>	<b>15,15</b>	<b>11.377,91</b>	<b>15,00</b>	<b>170.668,69</b>	<b>2,25</b>

Il risultato riportato è stato ottenuto fornendo alle colture tutto il fabbisogno irriguo, poiché non vi sono stati problemi di approvvigionamento, evitando un danno stimato di poco più di 170.000 euro, pari un beneficio fornito dal m3 di acqua pari a 2,25 euro; il valore sensibilmente più alto rispetto alle colture dell'area test bolognese, dimostra la redditività dell'acqua quando viene impiegata per irrigare quella coltura, valore

superato solo dalla patata. Nessuna particella ha subito riduzioni, dunque non ci sono stati danni effettivi alle colture.

Tab.3 Risultati Veneta ( Bo) 2019

colture	VOLUME di adacquata m3/ha	volume stagionale m3	PRODUZIONE 'Q.li/Ha'	Produzione totale Q.li	prezzo euro	beneficio totale euro	beneficio euro/m3
<b>'ALBICOCCO'</b>	<b>356,00</b>	<b>2.221,44</b>	<b>26,19</b>	<b>163,42</b>	<b>90,00</b>	<b>14.707,44</b>	<b>6,62</b>
'Rotolone 70'	356,00	2.221,44	26,19	163,42	90,00	14.707,44	6,62
<b>'MAIS MEDIO'</b>	<b>342,63</b>	<b>65.296,86</b>	<b>8,68</b>	<b>1.428,17</b>	<b>18,00</b>	<b>25.707,08</b>	<b>0,50</b>
'Impianto a goccia generico'	165,31	6.103,16	5,85	216,10	18,00	3.889,72	0,61
'Manichetta ad alta portata'	450,89	1.697,54	10,86	42,39	18,00	763,00	0,43
'Pioggia mobile media gittata'	452,00	216,96	10,16	4,87	18,00	87,74	0,40
'Rotolone 120'	566,00	57.279,20	11,51	1.164,81	18,00	20.966,62	0,37
<b>'MELO'</b>	<b>356,00</b>	<b>1.812,04</b>	<b>50,20</b>	<b>251,55</b>	<b>40,00</b>	<b>10.061,82</b>	<b>5,64</b>
'Rotolone 70'	356,00	1.812,04	50,20	251,55	40,00	10.061,82	5,64
<b>'PATATA'</b>	<b>333,25</b>	<b>11.368,11</b>	<b>34,16</b>	<b>1.196,09</b>	<b>25,00</b>	<b>29.902,30</b>	<b>2,69</b>
'Rotolone 100'	333,25	11.368,11	34,16	1.196,09	25,00	29.902,30	2,69
<b>'PERO'</b>	<b>356,00</b>	<b>11.790,72</b>	<b>32,50</b>	<b>1.076,47</b>	<b>60,00</b>	<b>64.588,42</b>	<b>5,48</b>
'Rotolone 70'	356,00	11.790,72	32,50	1.076,47	60,00	64.588,42	5,48
<b>'PESCO'</b>	<b>356,00</b>	<b>6.813,84</b>	<b>45,42</b>	<b>889,93</b>	<b>58,00</b>	<b>51.615,67</b>	<b>7,40</b>
'Pioggia mobile media gittata'	356,00	348,88	48,11	47,15	58,00	2.734,82	7,84
'Rotolone 70'	356,00	6.464,96	44,24	842,77	58,00	48.880,85	7,21
<b>'POMODORO DA INDUSTRIA'</b>	<b>433,00</b>	<b>43,30</b>	<b>67,95</b>	<b>6,80</b>	<b>8,00</b>	<b>54,36</b>	<b>1,26</b>
'Manichetta ad alta portata'	433,00	43,30	67,95	6,80	8,00	54,36	1,26
<b>'SUSINO'</b>	<b>356,00</b>	<b>398,72</b>	<b>44,33</b>	<b>49,65</b>	<b>50,00</b>	<b>2.482,62</b>	<b>6,23</b>
'Rotolone 70'	356,00	398,72	44,33	49,65	50,00	2.482,62	6,23
<b>'VITE'</b>	<b>381,43</b>	<b>3.871,50</b>	<b>22,67</b>	<b>229,22</b>	<b>42,00</b>	<b>9.627,16</b>	<b>2,51</b>
'Rotolone 100'	445,00	1.397,30	23,92	75,11	42,00	3.154,57	2,26
'Rotolone 70'	356,00	2.474,20	22,17	154,11	42,00	6.472,59	2,62
<b>'BIETOLA DA ZUCCHERO 2Å° modulo'</b>	<b>382,45</b>	<b>21.479,50</b>	<b>47,95</b>	<b>2.430,95</b>	<b>4,06</b>	<b>9.869,67</b>	<b>0,52</b>
'Rotolone 100'	376,10	21.296,64	47,34	2.408,80	4,06	9.779,75	0,52
'Rotolone 80'	446,00	182,86	54,02	22,15	4,06	89,92	0,49
<b>Totale complessivo</b>	<b>357,41</b>	<b>125.096,03</b>	<b>32,81</b>	<b>7.722,24</b>	<b>43,05</b>	<b>218.616,53</b>	<b>4,14</b>

Tab.4 Risultati Rivo Villano (Pc) 2019

colture	VOLUME di adacquata m3/Ha	volume stagionale m3	PRODUZIONE Q.li/Ha	Produzione totale Q.li	prezzo in euro	Beneficio totale euro	beneficio euro/m3
<b>'POMODORO DA INDUSTRIA'</b>	<b>96,75</b>	<b>93.766,43</b>	<b>20,66</b>	<b>19.893,95</b>	<b>8,00</b>	<b>159.151,62</b>	<b>1,83</b>
'Ala gocciolante'	98,42	63.717,88	20,91	13.567,46	8,00	108.539,69	1,82
'Impianto a goccia generico'	89,83	30.048,55	19,64	6.326,49	8,00	50.611,92	1,84
<b>Totale complessivo</b>	<b>96,75</b>	<b>93.766,43</b>	<b>20,66</b>	<b>19.893,95</b>	<b>8,00</b>	<b>159.151,62</b>	<b>1,83</b>

Va segnalato che l'erogazione di tutti i fabbisogni delle colture, senza che vi fossero situazioni di carenza tali da generare conflitti per la distribuzione di volumi sub ottimali, ha impedito di applicare quanto descritto nell'allegato 1, dove si descriveva quali scenari il sw avesse creato per rappresentare la gamma di comportamenti dell'utenza di fronte alla scarsità di risorsa, e sostanzialmente non ha permesso di effettuare i confronti e mettere alla prova il sw sui casi reali.



# Appendice

## Il modello matematico

### INDICI

e	entrate in rete
u	uscite dalla rete
c	canali
ct	tratti di canale
l	livello del tratto
ap	appezzamento
ma	manufatto

### ALIAS

c,c_a
ct,ct_a

### ELEMENTI DELLA RETE

rete	sequenza di due tratti successivi
c_ct_imm	tratti che immettono acqua nella rete
c_ct_usc	tratti di uscita dalla rete
c_ct_at	tratti attivi nell'analisi

### PARAMETRI

c_gerarchia	posizione del canale nella rete (n)
t_posizione	posizione del tratto nel canale (n)
canali_l('H')	altezza (m)
canali_l('volume')	volume ( $m^3$ )
canali_l('rest')	restituzioni ( $m^3$ )
canali_l('Q')	portata ( $m^3/g$ )
h_min_pre	altezza minima per prelievi irrigui (m)
coef_rid_h_valle	coefficiente di riduzione tirante di valle (n)
fabbisogno_ap	fabbisogno irriguo per appezzamento ( $m^3$ )
fabbisogno_ct	fabbisogno irriguo per tratto ( $m^3$ )
danno_ap	danno per mancata irrigazione alla appezzamento (euro)
v_ini_ct	volume iniziale del tratto ( $m^3$ )
vol_usc_richiesto	volume in uscita richiesto per uscita ( $m^3$ )

### VARIABILI

#### VARIABILE BINARIA [0/1]

CT_L_AT	livello attivo per tratto di canale
CT_DEF_PRESENTE	carenze per tratto di canale
CT_DEF_NULLO	assenza di carenze per tratto di canale
CT_PRE_ATT	prelievi per tratto di canale
C_PRE_ATT	prelievi per canale

#### VARIABILI POSITIVE [ $\geq 0$ ]

TOT_IMM	volume immesso totale
IMM	immissioni da fonte esterna per tratto di canale
VIN	volume iniziale per tratto di canale
ENT	entrate per tratto di canale

RUS	ruscellamento per tratto di canale
PRE	prelievi ad uso irriguo per tratto di canale
DEF	deficit irriguo per tratto di canale
RES	restituzioni per tratto di canale
VFI	volume finale per tratto di canale
USC	uscite per tratto di canale
USC_EST	uscite dalla rete
USC_EST_DEF	volume mancante in uscita dalla rete rispetto a richiesto
AP_PRE	prelievi ad uso irriguo per appezzamento
AP_DEF	deficit irriguo per appezzamento
AP_PRE_P	prelievi ad uso irriguo percentuale per appezzamento
AP_DEF_P	deficit irriguo percentuale per appezzamento
AP_DAN	danno per mancata irrigazione per appezzamento
TOT_DAN	danno alle colture totale
R_PRE_P	percentuale irrigua rete
C_PRE_P	percentuale irrigua canale
CT_PRE_P	percentuale irrigua tratto di canale
CT_DEF_P	deficit irriguo percentuale per tratto di canale
CT_H	tirante del tratto di canale - altezza al pelo libero
CT_Q	portata del tratto di canale
Q_ECC	portata in eccesso

**VARIABILE LIBERA [-∞ >= OB\_1 <= ∞]**

OB obiettivo

**EQUAZIONI**

Calcola obiettivo

$$\begin{aligned}
 \text{OB\_EQ: } \text{OB} = & \text{TOT\_IMM} + \\
 & 10^4 * \text{TOT\_DAN} \\
 + 10^2 * & \sum_{\square=\square}^{u,ct} \text{USC\_EST\_DEF}_{u,ct} \\
 + 10 * & \sum_{\square=\square}^{c,ct \vee c_{ct\_at_{c,ct}}} \text{Q\_ECC}_{c,ct}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Calcola le immissioni totali in rete

$$\begin{aligned}
 \text{TOT\_IMM\_EQ :} \\
 \text{TOT\_IMM} = & \sum_{\square=\square}^{c,ct \vee c_{ct\_imm_{c,ct}}} \text{IMM}_{c,ct}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Un solo livello attivo per tratto

$$\begin{aligned}
 \text{CT\_L1\_EQ } c_{,ct} \vee c_{ct\_at_{c,ct}} : \\
 \sum_{\square=\square}^1 \text{CT\_L\_AT}_{c,ct,1} = 1
 \end{aligned} \tag{3}$$

Calcolo del tirante idraulico al pelo libero

$$\begin{aligned}
 \text{CT\_H\_EQ } c_{,ct} \vee c_{ct\_at_{c,ct}} : \\
 \text{CT\_H}_{c,ct} = \sum_{\square=\square}^1 \text{CT\_L\_AT}_{c,ct,1} * \text{canali\_l}_{c,1,'H'}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Calcola le restituzioni nel tratto

$$\begin{aligned}
 \text{CT\_RES\_EQ}_{c,ct} \vee c_{ct\_at_{c,ct}} : \\
 \text{RES}_{c,ct} = \sum_{\square=\square}^1 \vee \text{canali\_l}_{c,1,'H'} \text{canali\_l}_{c,1,'rest'} * \text{CT\_L\_AT}_{c,ct,1}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Calcola i volumi finali nel tratto

$$CT\_VFI\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ VFI_{c,ct} = \sum_{\square=0}^{1 \vee canali_{lc,1,'H'}} canali_{lc,1,'volume'} * CT\_L\_AT_{c,ct,1} \quad (6)$$

Bilancio nel tratto

$$CT\_BIL\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ VIN_{c,ct} \\ + IMM_{c,ct} \forall c\_ct\_imm_{c,ct} \\ + ENT_{c,ct} \forall not\ c\_ct\_imm_{c,ct} \\ = + RES_{c,ct} \quad (7) \\ + PRE_{c,ct} \forall\ fabbisogno\_ct_{c,ct} \\ + USC_{c,ct} \\ + VFI_{c,ct}$$

Calcola la portata nel tratto

$$CT\_Q\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ CT\_Q_{c,ct} + Q\_ECC_{c,ct} = \sum_{\square=0}^{1 \vee canali_{lc,1,'H'}} canali_{lc,1,'Q'} * CT\_L\_AT_{c,ct,1} \quad (8)$$

Limite di errore per la portata

$$CT\_Q\_UP\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ Q\_ECC_{c,ct} \leq \sum_{\square=0}^{1 \vee canali_{lc,1,'H'}} canali_{lc,1,'Q'} * CT\_L\_AT_{c,ct,1} * coef\_q\_ecc \quad (9)$$

Collega portata e volumi

$$CT\_Q\_COL\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ CT\_Q_{c,ct} \geq + VIN_{c,ct} + IMM_{c,ct} + ENT_{c,ct} \quad (10)$$

Uscite da monte pari alle entrate a valle

$$CT\_USC\_ENT\_EQ_{c,ct} \forall c\_ct\_at_{c,ct} : \\ \sum_{\square=0}^{c\_a,ct\_a \vee rete_{c,ct,c\_a,ct\_a}} USC_{c,ct} = \sum_{\square=0}^{c\_a,ct\_a \vee} ENT_{c\_a,ct\_a} \quad (11)$$

Calcola volume in uscita mancante rispetto al richiesto

$$USC\_EST\_DEF\_EQ_{u,ct\_a} \forall \sum_{\square=0}^{c,ct \vee c\_ct\_usc_{c,ct}} rete_{c,ct,c,u,ct\_a} : \\ ENT_{u,ct\_a} + USC\_EST\_DEF_{u,ct\_a} \geq vol\_usc\_richiesto_{u,ct\_a} \quad (12)$$

Attivazione di un solo livello tra quelli possibili per manufatto

$$(13)$$

Portata a valle del manufatto

$$(14)$$

Impone altezza del tirante almeno pari al minimo richiesto per prelievi per tratto

$$CT\_H\_MIN\_IRR\_EQ_{c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{co,ti} fabbisogno_{ap_{ap,c,ct,co,ti}, 'm3'} : \\ CT\_H_{c,ct} \geq h\_minima\_prelievi * CT\_PRE\_ATT_{c,ct} \quad (15)$$

Calcola il prelievo irriguo nel tratto

$$CT\_PRE\_EQ_{c,ct} \forall\ fabbisogno\_ct_{c,ct} : \\ PRE_{c,ct} = \sum_{\square=0}^{ap \vee \sum_{co,ti} fabbisogno_{ap_{ap,c,ct,co,ti}, 'm3'}} AP\_PRE_{ap,c,ct} \quad (16)$$

Calcola il deficit irriguo nel tratto

$$\begin{aligned} &CT\_DEF\_EQ_{c,ct} \forall \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} : \\ &DEF_{c,ct} = \text{fabbisogno\_ct}_{c,ct} - PRE_{c,ct} \end{aligned} \quad (17)$$

Prelievo più deficit pari al fabbisogno irriguo per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_PRE\_DEF\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &\sum_{\square=0}^{p \vee at_p} AP\_PRE_{ap,c,ct} + AP\_DEF_{ap,c,ct} = \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} \end{aligned} \quad (18)$$

Calcola il deficit irriguo percentuale per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_DEF\_P\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &AP\_DEF\_P_{ap,c,ct} = \frac{AP\_DEF_{ap,c,ct}}{\sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'}} \end{aligned} \quad (19)$$

Calcola il prelievo irriguo percentuale per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_PRE\_P\_DEF\_P\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &AP\_PRE\_P_{ap,c,ct} = 1 - AP\_DEF\_P_{ap,c,ct} \end{aligned} \quad (20)$$

Calcola il danno per mancata irrigazione per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_DAN\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &AP\_DAN_{ap,c,ct} = \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ danno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti} * AP\_DEF\_P_{ap,c,ct} \end{aligned} \quad (21)$$

Calcola il danno totale per mancata irrigazione

$$\begin{aligned} &TOT\_DAN\_EQ : \\ &TOT\_DAN = \sum_{\square=0}^{ap,c,ct \vee \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'}} AP\_DAN_{ap,c,ct} \end{aligned} \quad (22)$$

Limite superiore del prelievo irriguo percentuale per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_PRE\_P\_UGUALE\_U\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &AP\_PRE\_P_{ap,c,ct} \leq R\_PRE\_P + .00001 \end{aligned} \quad (23)$$

Limite inferiore del prelievo irriguo percentuale per appezzamento

$$\begin{aligned} &AP\_PRE\_P\_UGUALE\_L\_EQ_{ap,c,ct} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &AP\_PRE\_P_{ap,c,ct} \geq R\_PRE\_P - .00001 \end{aligned} \quad (24)$$

Prelievo irriguo percentuale per appezzamento decrescente lungo la rete

$$\begin{aligned} &CT\_PRE\_P\_DECRESCENTE\_EQ_{c,ct,c_a,ct_a} \forall \text{ rete}_{c,ct,c_a,ct_a} : \\ &CT\_PRE\_P_{c_a,ct_a} \leq \\ &CT\_PRE\_P_{c,ct} * \frac{1}{100} (100 - [c\_gerarchia_c * 10 + (ct\_posizione_{c,ct} - 1) * .05]) \end{aligned} \quad (25)$$

Prelievo irriguo percentuale per appezzamento uguale nel tratto

$$\begin{aligned} &AP\_CT\_PRE\_P\_UGUALE\_EQ_{(ap,c,ct)} \forall \sum_{\square=0}^{cQ+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\ &CT\_PRE\_P_{c,ct} = AP\_PRE\_P_{ap,c,ct} \end{aligned} \quad (26)$$

Attiva il controller di prelievo per tratto

$$\begin{aligned}
 &CT\_PRE\_ATT\_EQ_{c,ct} \forall \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} : \\
 &CT\_PRE\_ATT_{c,ct} * \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} \geq PRE_{c,ct}
 \end{aligned} \tag{27}$$

Attiva il controller di prelievo per canale

$$\begin{aligned}
 &C\_PRE\_ATT\_EQ_c \forall \sum_{i=0}^{co+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\
 &C\_PRE\_ATT_c \geq \sum_{i=0}^{ct} CT\_PRE\_ATT_{c,ct}
 \end{aligned} \tag{28}$$

Attiva controller di deficit irriguo per tratto

$$\begin{aligned}
 &CT\_DEF\_PRESENTE\_EQ_{c,ct} \forall \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} : \\
 &CT\_DEF\_PRESENTE_{c,ct} * \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} \geq DEF_{c,ct}
 \end{aligned} \tag{29}$$

Attiva controller di assenza di deficit irriguo per tratto

$$\begin{aligned}
 &CT\_DEF\_NULLO\_EQ_{c,ct} \forall \text{ fabbisogno\_ct}_{c,ct} : \\
 &CT\_DEF\_NULLO_{c,ct} + CT\_DEF\_PRESENTE_{c,ct} = 1
 \end{aligned} \tag{30}$$

Controller di prelievo per tratto a monte maggiore di quello a valle

$$\begin{aligned}
 &CT\_PRE\_ATT\_DECRESCENTE\_EQ_{c,ct,c_a,ct_a} \forall \text{ rete}_{c,ct,c_a,ct_a} : \\
 &CT\_PRE\_ATT_{c,ct} \geq CT\_PRE\_ATT_{c_a,ct_a}
 \end{aligned} \tag{31}$$

Collega il prelievo e il deficit irriguo percentuale per tratto

$$\begin{aligned}
 &CT\_PRE\_P\_DEF\_P\_EQ_{c,ct} \forall \sum_{i=0}^{co+ti} \text{ fabbisogno\_ap}_{ap,c,ct,co,ti,'m3'} : \\
 &CT\_PRE\_P_{c,ct} + CT\_DEF\_P_{c,ct} = 1
 \end{aligned} \tag{32}$$