



PTCP 2010

PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE



PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

LA PRESIDENTE DELLA PROVINCIA

Sonia Masini

L'ASSESSORE PIANIFICAZIONE:
CULTURA, PAESAGGIO, AMBIENTE

Roberto Ferrari

IL DIRIGENTE SERVIZIO PIANIFICAZIONE
TERRITORIALE, AMBIENTE E POLITICHE CULTURALI

Arch. Anna Campeol

Adottato dal
Consiglio Provinciale
con atto n° 92 del 06.11.2008

Approvato dal
Consiglio Provinciale
con atto n° 124 del 17.06.2010

IL SEGRETARIO GENERALE
Dott. Enzo E. Di Cagno

Allegato 15 - Appendice 6

**STUDIO DELLE PERDITE IDRICHE
NELLE RETI DI DISTRIBUZIONE
DEI CONSORZI DI BONIFICA**

QC15

STRUTTURA TECNICA

Area Cultura e Valorizzazione Del Territorio *(in essere fino al 23 Luglio 2009)*

Paolo Gandolfi *(Dirigente in carica fino al 30 Aprile 2007)*

Servizio Pianificazione Territoriale, Ambiente e Politiche Culturali

Anna Campeol (Dirigente)

U.O. PTCP, Programmi e Piani di Settore

Renzo Pavignani (Coordinatore), Francesca Ansaloni, Silvia Ascari, Simona Giampellegrini, Andrea Modesti, Lara Petrucci, Serena Pezzoli, Giuseppe Ponz de Leon Pisani *(fino al 31 Marzo 2008)*, Maria Giuseppina Vetrone

U.O. Difesa del Suolo e Protezione Civile

Federica Manenti, Alessio Campisi, Maria Cristina Cavazzoni, Matteo Guerra, Andrea Marchi

U.O. Attività estrattive

Barbara Casoli, Cristina Baroni, Andrea Chierici, Corrado Re

U.O. Pianificazione Urbanistica

Elena Pastorini, Maria Silvia Boeri, Francesca Cigarini

U.O. Aree protette e Paesaggio

Saverio Cioce, Elena Confortini, Rossana Cornia *(fino al 13 Maggio 2007)*, Alessandra Curotti, Dario Mussini, Federica Oppi, Gabriella Turina

U.O. Tecnico Giuridica, AIA e Procedimenti Deliberativi

Pietro Oleari, Alessandro Costi, Silvia Selmi

U.O. Amministrativa

Stefano Tagliavini, Mirella Ferrari, Francesco Punzi, Rosa Ruffini, Francesca Caroli, Paolo Arcudi *(fino al 30 Ottobre 2007)*

U.O. Sistema Informativo Territoriale

Stefano Bonaretti, Davide Cavecchi, Emanuele Porcu

U.O. VIA e Politiche Energetiche

Giovanni Ferrari, Aldo Treville, Paolo Ferri, Beatrice Cattini, Alessandro Cervi

U.O. Qualità dell'Aria

Francesca Inverardi, Cecilia Guaitoli, Raffaele Cosimo Scagliosi

U.O. Tutela ed uso risorse idriche

Attilio Giacobbe, Raffaella Geroldi *(fino al 31 Luglio 2009)*, Aimone Landini, Raffaele Scagliosi, Simona Tagliavini, Davide Varini

Consulenti e progettisti esterni

Sistema paesistico-percettivo

Prof. Roberto Gambino, Politecnico di Torino, Arch. Federica Thomasset, Arch. Raffaella Gambino

Sistema storico - archeologico

Arch. Elisabetta Cavazza

Dott. James Tirabassi

Sistema ecologico e VALSAT/VINCA

Prof. Sergio Malcevschi (NQA), Dott. Luca Bisogni (NQA), Dott. Riccardo Vezzani (NQA)

Sistema insediativo

Prof. Federico Oliva, Arch. Piergiorgio Vitillo, Laboratorio labURB, DIAP, Politecnico di Milano
Tecnicoop (insediamenti commerciali)

Sistema ambientale

Dott. geol. Gian Pietro Mazzetti (pericolosità sismica)

Prof. Alessandro Corsini, Dott. Federico Cervi, Univ. Modena e Reggio (frane di superficie)

Ing. Tiziano Binini, Ing. Gianluca Lombardi Studio

Binini Architetti & Ingegneri Associati (fasce fluviali)

Percorso di partecipazione e ascolto

Prof. Alessandro Balducci, Arch. Claudio Calvaresi, Arch. Elena Donaggio, DIAP, Politecnico di Milano

Sistema economico

PEGroup

INDICE

1. Premessa	3
2. Lineamenti essenziali in merito all'efficienza delle reti irrigue in Provincia di Reggio Emilia	5
3. Gli obiettivi del Piano Regionale di tutela delle Acque in relazione all'efficienza delle reti irrigue	8
4. Stima dei volumi idrici recuperabili dalle derivazioni appenniniche in Provincia di Reggio Emilia in relazione al raggiungimento degli obiettivi del PTA regionale	9
5. Descrizione della prova sperimentale	12
5.1 Descrizione sintetica del tronco di canale oggetto di indagine.....	12
5.2 Descrizione della sperimentazione effettuata	14
5.3 Descrizione di dettaglio degli strumenti e dei metodi utilizzati per la misura della portata idrica	20
6. Analisi dei dati sperimentali	23
7. Interventi per la limitazione delle perdite nei canali irrigui	27
7.1 Geomembrane sintetiche	27
7.2 La Bentonite	29
7.3 Poliacrilammide.....	31
8. Conclusioni	34

1. PREMESSA

Il 23 ottobre 2000 il Parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione Europea hanno approvato la Direttiva 2000/60/CE, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Scopo della Direttiva è istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee. Nel dettaglio la Direttiva si propone i seguenti obiettivi:

- a) impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri, nonché delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
- b) agevolare un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
- c) migliorare la qualità dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione e l'arresto degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze inquinanti e pericolose;
- d) proteggere la qualità delle acque sotterranee;
- e) mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

La Legislazione italiana, mediante il Decreto Legislativo (D.Lgs.) 152/99, ha recepito formalmente le Direttive comunitarie sul trattamento delle acque reflue urbane (Direttiva 91/271/CEE) e sull'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole (Direttiva 91/676/CEE), Direttive che sono attualmente in vigore. Il D.Lgs. 152/99 è stato concepito alla luce della discussione a livello comunitario che ha portato alla elaborazione della Direttiva 2000/60. Alcuni principi chiave di quest'ultima sono stati perciò già recepiti nel D.Lgs. medesimo. Nella primavera del 2006, la Legislazione Italiana ha infine approvato il nuovo Testo Unico in materia ambientale mediante il D.Lgs. 152/06, che abroga il D.Lgs. 152/99 mantenendone tuttavia sostanzialmente invariata l'ossatura per quanto attiene gli obiettivi per le risorse idriche.

Il D.Lgs. 152/99 ed il successivo D.Lgs. 152/06 prescrivono alle regioni la predisposizione del Piano di Tutela delle Acque (PTA), che si configura quale Piano Stralcio del Piano di Bacino ai sensi della Legge 183/89. I contenuti del Piano di Tutela delle Acque, così come prescritti dal D.Lgs. 152/99 sono essenzialmente:

- a) l'analisi dello stato di fatto a livello regionale in materia di acque (quadro conoscitivo);
- b) la sintesi delle pressioni e degli impatti significativi esercitati dall'attività antropica sullo stato delle acque superficiali e sotterranee;
- c) l'elenco delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento;
- d) i dati ed i risultati del monitoraggio ambientale in corso;
- e) l'individuazione degli obiettivi di qualità ambientale per specifica destinazione;
- f) le misure di tutela qualitative e quantitative tra loro integrate e coordinate per bacino idrografico;
- g) l'indicazione della cadenza temporale degli interventi e relative priorità;
- h) il programma di verifica degli interventi temporali previsti;
- i) gli interventi di bonifica dei corpi idrici;

j) La sintesi dell'analisi economica.

La Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna ha approvato il Documento preliminare del Piano di Tutela delle Acque Regionale, di seguito indicato brevemente come "PTA regionale", nel novembre 2003.

Il PTA regionale è stato approvato in via definitiva con Delibera n. 40 dell'Assemblea legislativa il 21 dicembre 2005.

A seguito della predisposizione del PTA regionale, le province sono tenute ad adeguare il proprio Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) in ottemperanza alle disposizioni del PTA; alle province è lasciata facoltà di compiere approfondimenti locali e eventualmente predisporre misure più restrittive in considerazione di esigenze particolari.

Fra le azioni previste dal PTA regionale per l'ottimizzazione della gestione della risorsa idrica, nell'ambito del settore irriguo, figura il programma di riduzione delle perdite idriche dalle reti di adduzione e distribuzione delle acque superficiali di origine appenninica. L'obiettivo, a scala regionale, è quello di raggiungere un rendimento pari al 80% entro l'anno 2016. Chiaramente tale azione consentirebbe di conseguire un notevole risparmio di risorsa, la cui attendibile quantificazione è strettamente legata alla stima del rendimento delle reti nelle condizioni attuali.

In vista di tale considerazione, il presente lavoro si propone di analizzare, mediante rilievi sperimentali, il rendimento di un tronco rappresentativo di un canale di distribuzione irrigua di interesse rilevante. La rappresentatività delle prove sperimentali condotte è stata giudicata in ragione della lunghezza del canale preso in considerazione, dei volumi idrici derivati e che sono in esso immessi, dei tempi per i quali esso risulta invasato rispetto ai tempi della stagione irrigua e delle derivazioni dal corso d'acqua ed in ragione delle condizioni ambientali al momento dell'effettuazione dei rilievi.

Il presente studio si inserisce nell'ambito dei lavori della Provincia di Reggio Emilia al fine di predisporre il Piano di Tutela delle Acque Provinciale – variante al PTCP, in recepimento del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna. Nell'ambito di tali lavori si sono avviate importanti operazioni finalizzate al completamento del quadro conoscitivo in materia di acque della Provincia di Reggio Emilia, operazioni che aggiornano ed integrano le conoscenze sintetizzate dal PTA regionale in merito soprattutto alle specificità del territorio provinciale. I risultati di dette operazioni rappresentano contributi al completamento del quadro conoscitivo.

Il seguito del presente documento è strutturato come segue.

- 1) La seconda sezione del presente documento riassume i lineamenti essenziali in merito all'efficienza delle reti irrigue nella Provincia di Reggio Emilia;
- 2) la terza sezione riporta una sintesi degli obiettivi del Piano Regionale di tutela delle Acque in merito all'efficienza delle reti irrigue;
- 3) la quarta sezione riporta una stima dei volumi idrici recuperabili dalle reti irrigue appenniniche della Provincia di Reggio Emilia mediante il raggiungimento degli obiettivi del Piano Regionale di Tutela delle Acque;
- 4) la quinta sezione descrive la prova sperimentale effettuata;
- 5) la sesta sezione riporta i risultati della prova eseguita;
- 6) la settima sezione riassume sinteticamente gli orientamenti recenti in materia di interventi per la riduzione delle perdite in canali in terra a cielo aperto;
- 4) infine, l'ottava sezione riporta alcune considerazioni conclusive.

2. LINEAMENTI ESSENZIALI IN MERITO ALL'EFFICIENZA DELLE RETI IRRIGUE IN PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

Il PTA regionale ha operato un'analisi dettagliata dello stato del comparto irriguo sul territorio regionale, stimando le necessità idriche al campo, la disponibilità di risorsa idrica alla fonte, il rendimento delle reti di distribuzione ed adduzione nella situazione attuale, nonché gli scenari previsti per il 2008 e 2016.

La richiesta idrica al campo per fini irrigui è stata valutata a partire dalla conoscenza delle superfici coltivate, derivata dai dati del censimento ISTAT 2001, alla quale si sono associate le esigenze irrigue per ciascuna coltura che sono state stimate in base ad indicazioni di letteratura.

La disponibilità di risorsa alla fonte è stata stimata facendo uso di metodi di simulazione idrologica, generando portate sintetiche sui corsi d'acqua appenninici regionali significativi in riferimento al periodo 1991-2001. La scelta di operare con metodi di simulazione è stata indotta dalla volontà di riferirsi ad un contesto climatico recente, per poter tener conto degli effetti di possibili cambiamenti climatici prendendo a riferimento un periodo che potesse rappresentare la situazione attuale. Ai fini del presente studio, è di interesse conoscere come sono state stimate le perdite nelle reti di distribuzione idrica ad uso irriguo. A tale scopo è bene premettere una breve descrizione della procedura di simulazione dei deflussi fluviali sintetici.

Detta procedura di simulazione è descritta in dettaglio nella relazione "Modelli afflussi-deflussi sul reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale", a cura di ARPA Ingegneria Ambientale Emilia-Romagna, relazione che costituisce allegato al Quadro Conoscitivo del Piano Regionale di Tutela medesimo. A detta relazione si rimanda quindi per quanto riguarda i dettagli tecnici, mentre nel seguito si fornisce un prospetto sintetico delle peculiarità applicative di maggior interesse.

La ricostruzione dei dati di portata fluviale è stata operata utilizzando un modello afflussi-deflussi; ovvero un modello matematico il quale, in funzione di dati osservati di pioggia e temperatura, consente di ricostruire le osservazioni di portata fluviale. E' bene premettere che tali procedure di ricostruzione sono affette da approssimazioni significative che sono ben note in ambito scientifico. Nel dettaglio, il modello utilizzato è di tipo concettuale; ovvero si basa su una schematizzazione che per sua natura riproduce con una schematizzazione semplificata il ciclo idrologico. I modelli concettuali sono caratterizzati dalla presenza di parametri, ovvero variabili che possono essere determinate imponendo che le portate fluviali simulate soddisfino ad assegnati vincoli. E' così possibile, in fase di calibrazione dei parametri, l'utilizzo della conoscenza a priori del processo di formazione delle portate fluviali stesse.

Ai fini della modellazione idrologica il bacino imbrifero viene schematizzato attraverso un certo numero di sottobacini, collegati fra loro in serie o in parallelo; ad ognuno di essi vengono attribuite caratteristiche idrologiche omogenee. I deflussi simulati all'interno dei diversi sottobacini vengono poi propagati procedendo da monte verso valle. A livello di sottobacino la trasformazione afflussi-deflussi viene schematizzata dal modello sulla base di due distinte strutture: il "suolo" e la "zona inferiore". Alla prima, che simula il comportamento degli strati superficiali del terreno, compete l'individuazione delle componenti di deflusso superficiale e ipodermico, delle perdite per evapotraspirazione, nonché delle infiltrazioni verso la

falda. La seconda, che rappresenta sostanzialmente il complesso degli acquiferi, fornisce la componente del deflusso idrico profondo.

Per la determinazione delle grandezze climatologiche giornaliere ragguagliate (precipitazioni e temperature), relative ai singoli sottobacini dell'area di studio, sono state individuate stazioni pluviometriche e termometriche (complessivamente 236 pluviometri e 56 termometri su tutto il territorio regionale). Con il metodo dei poligoni di Thiessen vengono delimitate le aree di influenza delle singole stazioni; ad ogni areale così determinato sono attribuite le precipitazioni e temperature registrate dalla stazione di riferimento.

Il modello ricostruisce, sulla base dei dati giornalieri di precipitazione e temperatura forniti da una serie di stazioni pluviometriche e termometriche, le portate medie giornaliere nelle sezioni fluviali di interesse, all'interno e alla chiusura del bacino idrografico considerato. La trasformazione afflussi-deflussi viene simulata stimando la componente di deflusso superficiale, quella di deflusso ipodermico e quella di deflusso profondo o di base; a tale fine vengono schematizzati e riprodotti i fenomeni di immagazzinamento e rilascio di acqua negli strati superficiali del suolo e negli acquiferi profondi, di accumulo e scioglimento del manto nevoso, nonché di perdita per evapotraspirazione e per infiltrazione in falde non attive rispetto al bacino di riferimento.

E' di interesse la descrizione dei volumi idrici che possono essere persi durante la propagazione delle portate fluviali verso valle. In particolare, al contributo dei singoli sottobacini sono sottratti eventuali quantitativi infiltrati, nonché eventuali derivazioni per usi che prevedono la restituzione in alveo dei volumi prelevati. Nel dettaglio, dai sottobacini all'uscita dei tratti collinari viene sottratta, come perdita, una frazione stimata di drenaggio verso gli acquiferi dell'area di conoide. Nei giorni caratterizzati da una piovosità superiore a 20 mm, è inoltre prevista l'interruzione delle derivazioni irrigue, in relazione alla presumibile elevata torbidità delle acque in alveo, nonché la loro riduzione al 20% dei valori massimi potenziali nella successiva settimana, in considerazione della non necessità di acque irrigue.

La taratura del modello, ovvero l'affinamento dei valori dei suoi parametri in modo da ottimizzarne le prestazioni, consiste nella variazione dei parametri stessi effettuando tentativi mirati fino ad ottenere una risposta il più possibile aderente ai valori di portata misurati nelle sezioni fluviali strumentate; il principale riferimento nella calibrazione sono pertanto le serie storiche di misure di portata disponibili. Poiché per pressoché tutti gli affluenti in Po non risultano di fatto disponibili misure di portata affidabili per il periodo 1991-2001, è stato necessario esaminare altre metodologie di verifica delle prestazioni del modello, facendo in particolare riferimento all'esame delle portate medie annue e dei mesi di minimo e massimo deflusso, nonché delle curve di durata delle portate. Per gli affluenti del Po sono stati determinati dei parametri di taratura del modello, individuati sia sulla base delle misure di portata disponibili in anni antecedenti a quelli di interesse, sia in relazione a procedimenti di regionalizzazione dei parametri stessi ai fini di stimarne il valore in riferimento ai bacini non strumentati.

La disponibilità di risorsa idrica alla fonte è stata tradotta in disponibilità al campo stimando l'efficienza delle reti irrigue. In alcuni comprensori, per i quali sono disponibili dati attendibili dei prelievi idrici da falda, il rendimento della rete è stato stimato confrontando l'esigenza idrica al campo con il volume idrico prelevato da falda, derivando così una stima del volume idrico disponibile al campo che è stato

successivamente confrontato con il volume idrico derivato alla fonte. Tale calcolo ha permesso di trarre un'indicazione sul rendimento della rete che è stato successivamente esteso, sulla base di considerazioni sviluppate caso per caso, a tutti comprensori irrigui più rilevanti della regione.

In merito alla Provincia di Reggio Emilia, i dati relativi all'efficienza delle reti sono desumibili dalla relazione "Bilanci idrici: aggiornamento dello stato attuale, scenari evolutivi e di azioni e misure di razionalizzazione, risparmio e riutilizzo", a cura di ARPA Ingegneria Ambientale Emilia-Romagna, relazione che costituisce allegato al Quadro Conoscitivo del PTA regionale.

I risultati concernenti le reti gestite dai consorzi di bonifica Bentivoglio-Enza e Parmigiana Moglia-Secchia sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1. Rendimento delle reti irrigue gestite dai consorzi di bonifica Bentivoglio-Enza e Parmigiana Moglia-Secchia.

Consorzio di Bonifica	Corpo idrico di prelievo	Rendimento della rete
Parmigiana Moglia-Secchia	Po	0.35
Bentivoglio-Enza	Po	0.6
Parmigiana Moglia-Secchia	Secchia	0.5
Bentivoglio-Enza	Enza	0.55

3. GLI OBIETTIVI DEL PIANO REGIONALE DI TUTELA DELLE ACQUE IN RELAZIONE ALL'EFFICIENZA DELLE RETI IRRIGUE

Il PTA regionale prevede l'attuazione di interventi finalizzati al risparmio della risorsa idrica derivata per fini irrigui. Fra questi interventi figura la riduzione delle perdite nelle reti di distribuzione (si veda la Relazione Generale del PTA, pag. 243). Il miglioramento dell'efficienza delle reti di adduzione e distribuzione è possibile attraverso l'impermeabilizzazione della parte inferiore (di magra) della sezione dei canali esistenti, almeno nei tratti che evidenziano le maggiori permeabilità; in alternativa è possibile prevedere la realizzazione, in parallelo ai canali "storici", di adduzioni interrato, in grado di provvedere al trasporto dell'acqua nei periodi di scarsità idrica. In questo secondo caso vanno predisposte anche le relative reti distributive in pressione; si tratta dell'alternativa nel complesso più costosa in termini di impianto, che tuttavia consente di raggiungere un ragguardevole risparmio idrico. Nel caso dell'impermeabilizzazione della sola canaletta di magra dei canali, nei periodi in cui vi è la presenza di quantitativi idonei di acqua la stessa può continuare a disperdersi lateralmente, a favore della vegetazione circostante e delle falde. La penuria di acqua, le necessità di utilizzo e gli obblighi di rispetto del DMV dei corsi d'acqua fanno sì che il possibile beneficio dell'infiltrazione dai canali, verso le falde di conoide, possa essere mantenuto nei periodi di adeguata presenza di risorsa in transito, ritenendo comunque che abbia maggiori effetti quella in alveo, incrementata dalla presenza dei DMV.

Il PTA, ritenendo che si tratti di una azione prioritaria, valuta che il rendimento conseguito sul percorso di adduzione – distribuzione all'utenza debba raggiungere l'80% al 2016, con un risultato intermedio al 2008 pari a: $0,267 + 0,667 \times$ rendimento attuale.

4. STIMA DEI VOLUMI IDRICI RECUPERABILI DALLE DERIVAZIONI APPENNINICHE IN PROVINCIA DI REGGIO EMILIA IN RELAZIONE AL RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DEL PTA REGIONALE

In relazione alla situazione in precedenza prospettata per la Provincia di Reggio Emilia al riguardo dell'efficienza delle reti di distribuzione irrigua (si veda la precedente Sezione 2), ed in relazione agli obiettivi prospettati dal PTA regionale (si veda la precedente Sezione 3) è possibile operare una stima approssimata dei volumi idrici recuperabili con interventi finalizzati alla riduzione delle perdite come prospettato dal PTA regionale. La stima è approssimata poiché una valutazione esatta richiederebbe la stima puntuale del rendimento attuale e di quello effettivamente raggiungibile in ogni ramo della rete. Tuttavia la valutazione, anche non potendosi riferirsi a tutte le specifiche e singole situazioni, è sicuramente in grado di fornire indicazioni attendibili.

La valutazione dei volumi idrici recuperabili è stata effettuata compiendo un'analisi alla scala temporale giornaliera, utilizzando i dati di portata idrica dei fiumi Secchia ed Enza simulati dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito dei lavori di predisposizione del PTA regionale.

Una volta note le richieste idriche alla fonte stimate dal PTA regionale (per ulteriori dettagli si veda il documento "Bilanci idrici della Provincia di Reggio Emilia. Completamento del quadro conoscitivo, bilanci idrici per i comprensori irrigui di alta pianura, prospetto della disponibilità e usi della risorsa idrica", a cura del Dipartimento DISTART dell'Università di Bologna, responsabile scientifico il Prof. Ing. Alberto Montanari), l'effettuazione del bilancio idrico, ovvero del confronto fra le portate idriche richieste e quelle effettivamente prelevabili dal fiume, consente di mettere in evidenza la presenza di situazioni di deficit idrico. Variando il rendimento della rete è possibile stimare detto deficit nelle due situazioni corrispondenti prima allo scenario attuale e successivamente a quello prospettato dal PTA regionale.

Detto bilancio idrico è stato effettuato mettendo a punto un modello matematico che ha consentito, per ogni giorno del periodo irriguo estivo, che si estende dal 1 giugno al 5 settembre, di stimare la portata derivabile dal corso d'acqua. Tale modello ha evidentemente necessità di ricevere in ingresso i dati di portata idrica del fiume considerato (Secchia o Enza). A tale scopo, come in precedenza anticipato, si sono utilizzati i dati di portata idrica ricostruiti dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del PTA regionale.

Successivamente è stata stabilita una regola empirica di ripartizione della risorsa idrica fra la Provincia di Reggio Emilia e quelle limitrofe.

Nel caso del Fiume Secchia, si è assunto che il rapporto $K = Q_{fs}(t)/Q_{fd}(t)$ fra la portata prelevata in sinistra Secchia, $Q_{fs}(t)$, e quella prelevata in destra, $Q_{fd}(t)$, sia costante nel tempo. Per ottenere una prima stima di K , si sono considerate le misure operate dal Consorzio di Bonifica delle portate prelevate. Dette misure porgono un valore medio di K , in riferimento al periodo irriguo estivo del periodo 1996-2004, pari a 2.02. Considerando invece le stime operate dalla Regione delle richieste idriche alla fonte emerge un valore di K pari a 1.78. La differenza, invero non rilevante, fra i due valori costituisce una ulteriore conferma dell'attendibilità delle stime della Regione. In quanto segue, a favore di sicurezza, si è assunto un valore

di K pari a 1.78, ovvero quello risultante dalle stime regionali, che prefigura una disponibilità di risorsa più limitata per la Provincia di Reggio.

Nel caso del Fiume Enza, la risorsa idrica è stata ripartita in parti uguali fra Reggio e Parma, come previsto dalla relativa concessione.

La stima del bilancio idrico è stata effettuata imponendo le seguenti condizioni al sistema di riferimento:

- 1) La portata fluviale simulata è stata ritenuta disponibile totalmente per fini irrigui.
- 2) La portata massima derivabile dal Canale di Reggio (sinistra idrografica del Fiume Secchia) e dal Canale d'Enza (destra idrografica del Torrente Enza) è pari, rispettivamente, a $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 3) La richiesta irrigua alla fonte, al netto del contributo fornito dalle piogge, è stata determinata a partire dalle necessità al campo e dai rendimenti della rete proposti dal PTA regionale, prima nella configurazione attuale poi con quella corrispondente al rendimento dell'80%.
- 4) Quando la portata idrica eccede un assegnato valore limite il prelievo assume valore nullo. Infatti, in tali condizioni non viene fatta alcuna derivazione per evitare l'ingresso di materiale flottante o sedimenti in sospensione nella rete di bonifica.
- 5) Il contributo idrico al campo dato dalle piogge è stato determinato come descritto nel documento "Bilanci idrici della Provincia di Reggio Emilia. Completamento del quadro conoscitivo, bilanci idrici per i comprensori irrigui di alta pianura, prospetto della disponibilità e usi della risorsa idrica", a cura del Dipartimento DISTART dell'Università di Bologna, responsabile scientifico il Prof. Ing. Alberto Montanari). In sintesi, si sono ricostruite le piogge sul comprensorio, a partire dai dati del data-base regionale per il periodo 1991-2001 e da dati forniti dai consorzi per gli altri periodi. A partire da tali piogge ricostruite, si è proceduto a calcolare l'altezza media di pioggia sfruttabile quale contributo idrico al campo nel periodo irriguo estivo (1 giugno – 5 settembre), assumendo che la pioggia eventuale non dia alcun contributo qualora la media mobile delle piogge osservate nel giorno stesso e nei 3 giorni precedenti sia inferiore a 3 mm/giorno , valore che non produce apprezzabili variazioni nelle esigenze idriche delle colture. D'altro canto, si è assunto che, qualora la somma delle piogge osservate nel giorno stesso e negli 9 giorni precedenti sia superiore a 30 mm , la quota eccedente a tale soglia massima non dia alcun contributo per la compensazione delle esigenze idriche delle colture.

In tal modo, è stato possibile determinare, per ogni giorno del periodo irriguo estivo, le necessità irrigue alla fonte nel caso di piogge nulle. A partire da tali dati, si è quindi proceduto a calcolare, per ogni giorno del periodo irriguo estivo, le necessità irrigue reali alla fonte, tenendo conto delle piogge effettive che in ogni giorno si verificano, con le restrizioni alla possibilità di utilizzare le piogge innanzi menzionate (rispetto di una soglia minima e di una soglia massima oltre le quali i contributi meteorici non producono alcun effetto utile al fine di alleviare le necessità irrigue).

Una volta imposto il rispetto delle condizioni in precedenza menzionate, nota la portata idrica del fiume e la richiesta irrigua alla fonte è possibile stimare la portata idrica derivata e quindi l'eventuale deficit irriguo, in corrispondenza di diversi scenari

di rendimento della rete, in riferimento al periodo irriguo estivo 1 giugno – 5 settembre.

I risultati ottenuti, per il Fiume Enza ed il Torrente Enza, sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2. Stima del deficit irriguo medio alla fonte e del volume idrico medio disponibile al campo per il rendimento attuale della rete (stimato dal PTA regionale) e per il rendimento previsto dagli obiettivi del PTA regionale, in riferimento al periodo irriguo estivo 1 giugno – 5 settembre.

	Parmigiana Moglia-Secchia	Bentivoglio-Enza
Rendimento attuale	0.50	0.55
Rendimento previsto	0.80	0.80
Deficit alla fonte con il rendimento attuale	1.6 Mm ³	57.4 Mm ³
Deficit alla fonte con il rendimento previsto	0.4 Mm ³	37.5 Mm ³
Volume idrico disponibile al campo con il rendimento attuale	8.6 Mm ³	3.6 Mm ³
Volume idrico disponibile al campo con il rendimento previsto	10.1 Mm ³	5.1 Mm ³

In sostanza, si può osservare come l'aumento previsto del rendimento delle reti di distribuzione irrigua comporti un deciso abbattimento del deficit alla fonte, soprattutto nel caso del Torrente Enza. L'incremento di volume idrico disponibile al campo si assesta attorno ai 1.5-2 Mm³ in entrambi i casi.

Chiaramente l'attendibilità di dette stime è condizionata dalla corrispondente attendibilità dei rendimenti delle reti. In particolare, risulta di estrema importanza verificare la stima operata nell'ambito del PTA regionale del rendimento della rete nella condizione attuale. Detta esigenza ha originato l'opportunità di procedere con una prova sperimentale, che verrà descritta nella Sezione 5.

5. DESCRIZIONE DELLA PROVA SPERIMENTALE

5.1 Descrizione sintetica del tronco di canale oggetto di indagine

L'acqua derivata dal Fiume Enza per fini irrigui è prelevata in corrispondenza della Traversa di Cerezzola (Figura 1) ed è veicolata nel Canale d'Enza, che si stacca in destra idrografica del Torrente Enza e si dirige verso Ciano. La portata massima del canale nel suo primo tratto è pari a circa $8 \text{ m}^3/\text{s}$. Circa 3 km a valle della traversa il Canale serve una cartiera e una centrale idroelettrica, in corrispondenza della quale parte dell'acqua prelevata nelle stagioni di abbondanza di risorsa viene riversata in Enza. Il prelievo operato dalla cartiera ammonta a circa 50-100 l/s. A valle della centrale e della cartiera il Canale D'Enza è in grado di veicolare una portata idrica massima pari a circa $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Proseguendo lungo il suo tracciato, il canale giunge in breve al Partitore di Fontaneto, ove l'acqua viene divisa in parti uguali fra le province di Reggio e Parma e dove si origina il Canale della Spelta. In corrispondenza del Partitore di Fontaneto è localizzato un teleidrometro che consente di rilevare l'altezza idrica nel Canale d'Enza ad intervalli temporali regolari. Poiché la sezione del canale è ivi fissa e nota, è possibile calcolare attendibilmente la portata defluente che compete al comprensorio irriguo servito dal Canale d'Enza in sponda reggiana. La Figura 2 mostra un particolare del Partitore con evidenziato il teleidrometro.



Figura 1. La Traversa di Cerezzola



Figura 2. Il Partitore di Fontaneto

A valle del Partitore di Fontaneto il Canale d'Enza ha una portata massima di circa $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$. E' gestito a turno dal Consorzio di Bonifica Bentivoglio-Enza e da consorzi privati, che si configurano quali macrountenti del Consorzio Bentivoglio-Enza medesimo. Tali sono i consorzi di Cavriago, Gaida, Vicedomini, Costa Aiola, San Polo, Bibbiano e Barco. I consorzi di Costa Aiola e Vicedomini dispongono anche di una derivazione autonoma da Enza, mediante la Canalina di Razzeto, che tuttavia per lunghi periodi non riesce ad assicurare alcun prelievo idrico.

E' di interesse ricordare che vi sono aree in destra Enza, a valle di Cerezzola, che sono irrigate con canali gestiti da:

- Consorzio di Pozzoferrato-Piazza;
- Consorzio della Vernazza;
- Consorzio di Sant'Eulalia.

A valle del Partitore di Fontaneto il Canale D'Enza si presenta in buone condizioni di manutenzione, con sponde ricoperte d'erba e fondo in terra e ghiaia (Figura 3), con pendenza regolare. Il canale è presidiato da numerose opere idrauliche aventi principalmente la finalità di consentire la deviazione del flusso nei canali laterali. Si tratta perlopiù di chiaviche ad azionamento manuale e di piccole chiavichette, la cui tenuta nei confronti delle infiltrazioni idriche è aleatoria. Tali opere di chiusura e deviazione sono una fonte di perdite idriche che in talune condizioni può divenire significativa, soprattutto se sono frequentemente mosse. Al contrario, la loro permanenza in posizione di chiusura per tempi prolungati facilita la tenuta, poiché i depositi di sedimenti limitano le infiltrazioni.



Figura 3. Il Canale D'Enza a valle del Partitore di Fontaneto

5.2 Descrizione della sperimentazione effettuata

La prova ha lo scopo di fornire una stima delle perdite idriche che si verificano nelle reti di distribuzione irrigua. A tale scopo si è effettuata la prova sul Canale D'Enza, che si ritiene possa rappresentare un caso significativo. Inoltre, in ragione della sua lunghezza e della possibilità di chiudere ogni derivazione laterale per un tratto di considerevole estensione, il Canale D'Enza ha permesso di effettuare la prova in condizioni particolarmente favorevoli.

La prova è stata realizzata istituendo nel canale condizioni di moto approssimativamente permanente per un periodo di tempo che si estese per circa 12 ore dalle 6 del mattino alle 18 pomeridiane. La condizione di moto permanente si deve ritenere approssimativa poiché in realtà è impossibile mantenere la portata in ingresso nella sezione di monte del canale strettamente costante. Tuttavia, come si potrà notare nella successiva Sezione 6, le variazioni di portata in ingresso si sono rivelate estremamente contenute, sicché l'ipotesi di moto permanente è fondata.

In tali condizioni, si è provveduto a registrare la portata in ingresso nella sezione di monte del canale, ovvero al Partitore di Fontaneto, con intervallo di discretizzazione temporale pari a 10 minuti. La portata in ingresso è stata stimata a partire dalla misura di livello rilevata mediante il teleidrometro, che ha consentito di stimare la corrispondente portata per mezzo di una scala di deflusso che si può ritenere attendibile, in ragione del carattere della sezione la quale è impostata su un tratto di canale in cemento armato. Tuttavia, al fine di confermare l'attendibilità della misura di portata è stata anche eseguita una verifica mediante rilevamento della portata medesima con lo strumento area-velocity. I risultati di tale verifica, dall'esito soddisfacente, sono presentati nella successiva Sezione 6.

A valle del Partitore sono state effettuate, per tutta la durata della prova, misure di portata in 3 sezioni successive, con l'intento di stimare le perdite idriche intermedie.

La prima misura di portata a valle del Partitore di Fontaneto è stata effettuata in corrispondenza di una chiavica localizzata circa 6.0 km a valle, denominata "Chiavica Le Rosse" (Figura 4). La portata è stata misurata posizionando un misuratore in continuo del livello del pelo libero che si è instaurato a monte della chiavica. La paratoia della chiavica stessa è stata abbassata creando un gradino di fondo che veniva sormontato dalla lama d'acqua, la quale successivamente stramazza a valle mediante un passaggio in corrente veloce che ha consentito di originare una sezione di controllo; in questo modo, a partire dal dato di altezza idrica a monte è stato possibile risalire al dato di portata utilizzando la scala di deflusso dello stramazzo in parete sottile. Per ulteriori dettagli si veda la successiva Sezione 5.3.



Figura 4. Chiavica Le Rosse. Immagine presa durante la prova.

La seconda misura di portata a valle del Partitore di Fontaneto è stata effettuata in corrispondenza dello sfioratore denominato "La Camera", localizzato circa 8.8 km a

valle del Partitore di Fontaneto (quindi circa 2.8 km a valle della Chiavica Le Rosse; Figure 5 e 6). La portata è stata misurata posizionando un misuratore di tipo area-velocity che ha consentito di stimare direttamente il dato di portata. Per ulteriori dettagli si veda la successiva Sezione 5.3.



Figura 5. Lo sfioratore de La Camera. Vista da monte.



Figura 6. Lo sfioratore de La Camera. Vista da valle durante la prova.

La terza misura di portata a valle del Partitore di Fontaneto è stata effettuata in corrispondenza della chiavica denominata “Bertani”, localizzata circa 15.0 km a valle del Partitore di Fontaneto (quindi circa 9.0 km a valle della Chiavica Le Rosse e 6.2 km a valle dello sfioratore de La Camera; Figura 7). Analogamente a quanto attuato in corrispondenza della chiavica Le Rosse, la portata è stata misurata posizionando un misuratore in continuo del livello del pelo libero, con la paratoia della chiavica abbassata per originare il gradino di fondo che provocava il passaggio in corrente veloce; la scala di deflusso utilizzata è ancora quella dello stramazzo in parete sottile. Per ulteriori dettagli si veda la successiva Sezione 5.3.

L’ubicazione delle sezioni di misura della portata è mostrata nella cartina riportata in Figura 8.



Figura 7. Chiavica Bertani. Immagine presa da valle durante la prova.

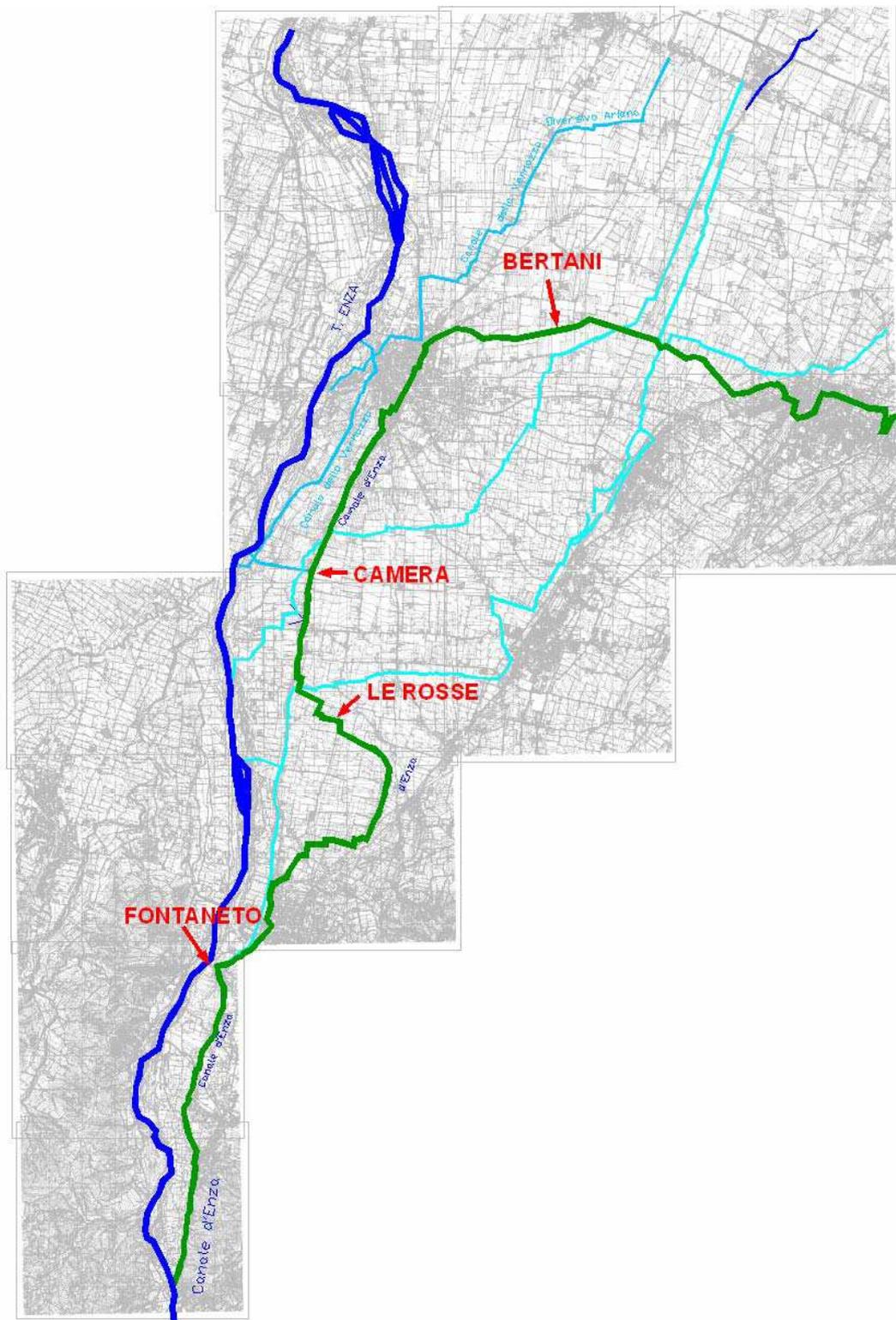


Figura 8. Ubicazione delle sezioni di misura della portata lungo il corso del Canale d'Enza.

5.3 Descrizione di dettaglio degli strumenti e dei metodi utilizzati per la misura della portata idrica

La campagna di misura si è avvalsa di due diversi metodi di misura della portata. In corrispondenza della Chiavica Le Rosse della Chiavica Bertani si è utilizzato un metodo di misura che prevede la rilevazione del livello del pelo libero e da questo si risale successivamente alla portata. Allo sfioratore de La Camera si è invece provveduto a misurare direttamente la portata mediante uno strumento area-velocity. E' bene precisare che i due metodi di misura possono porgere rilevazioni sensibilmente diverse, per effetto delle incertezze in gioco.

Durante la prova sperimentale sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- 2 misuratori di livello ad ultrasuoni (posizionati nelle sezioni della Chiavica Le rosse e della Chiavica Bertani);
- 1 misuratore di portata di tipo "area-velocity" (posizionato presso lo scaricatore de La Camera);
- 1 sonda per la misura della conducibilità elettrica.

Il cosiddetto metodo "area-velocity" consiste nella misura contemporanea, in una determinata sezione, sia della sezione del flusso idrico, A, sia della velocità media del flusso stesso, V. Il valore di portata viene dunque ottenuto dal prodotto delle due grandezze precedenti: $Q = A V$. La sonda effettua quindi due misure contemporanee: quella di livello, dalla quale calcola l'area bagnata basandosi sulla forma geometrica del canale programmata e quella di velocità, determinata con tecnica Doppler.

Come illustrato nella Figura 9, il sensore emette un'onda sonora ad alta frequenza, la quale viene riflessa dalle particelle in sospensione e dalle bolle d'aria presenti nel fluido per poi essere nuovamente rilevata dallo stesso sensore. Le frequenze delle onde riflesse vengono correlate alla velocità delle particelle fluide nel flusso idrico che hanno determinato la riflessione. Lo strumento analizza quindi la serie di frequenze riflesse in modo da ottenere un valore medio di velocità sulla sezione di interesse.

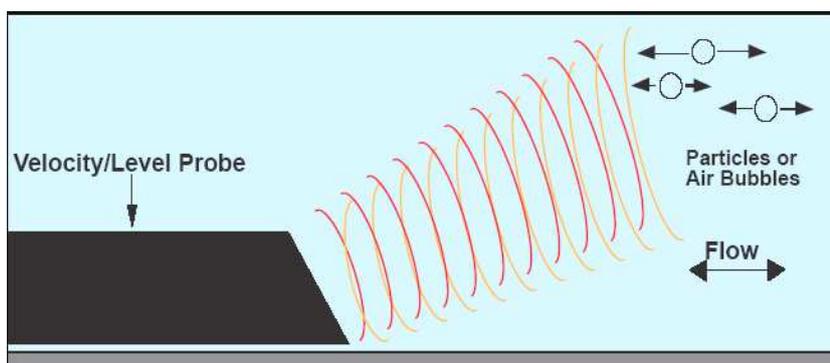


Figura 9. Rappresentazione schematica del funzionamento di una sonda area-velocity che sfrutta l'effetto Doppler

I sensori di livello ad ultrasuoni si basano sul principio di emissione di un cono di onde ultrasonore che partono da una sonda posta sopra la superficie del pelo libero della corrente. Osservando il tempo impiegato dalle onde per compiere il tragitto sonda-pelo libero-sonda è possibile determinare la distanza che intercorre tra il

senso e la superficie del liquido. Tali sensori devono necessariamente venire abbinati ad un dispositivo di tipo primario, nel caso specifico ad uno stramazzo in parete sottile ottenuto mediante l'abbassamento di una paratoia piana. La portata viene dunque determinata mediante la classica formula dello stramazzo in parete sottile,

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

nella quale μ è l'apposito coefficiente pari circa a 0.4, L è la lunghezza effettiva della soglia sfiorante, g è l'accelerazione di gravità e h è la distanza verticale fra il livello idrico indisturbato misurato a monte della soglia e la quota della soglia stessa. Il valore del coefficiente μ e la lunghezza effettiva L sono soggetti ad incertezze di natura sperimentale. Pertanto, al fine di calibrare il dato di portata ottenuto dai misuratori ad ultrasuoni, nonché di validare quello fornito dalla sonda "area-velocity", sono state condotte ulteriori misure mediante il cosiddetto metodo della diluizione, ovvero mediante rilascio di tracciante.

Il principio fondamentale del metodo di misura con tracciante consiste nell'immissione istantanea di una massa nota di una sostanza conservativa (nel caso specifico cloruro di sodio) in una determinata sezione trasversale. La rapida immissione di tale soluto causa una alterazione della conducibilità elettrica nel corso d'acqua, la quale viene rilevata da un'apposita sonda posta circa 200 metri a valle della sezione ove avviene il rilascio (Figura 10).

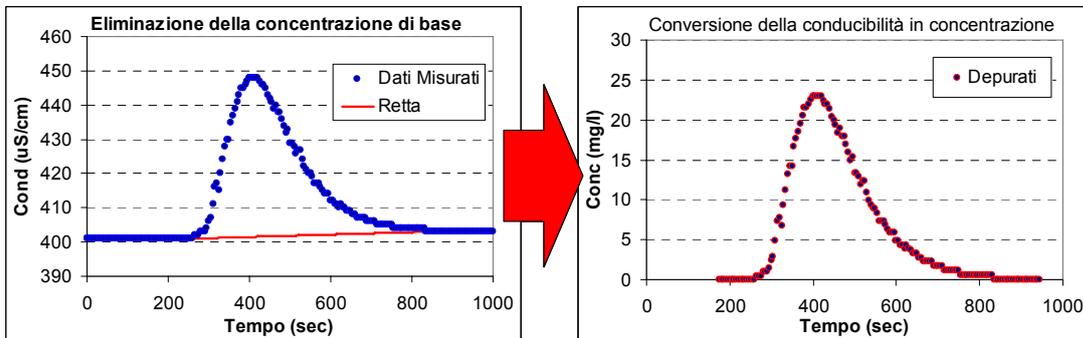


Figura 10. Metodo di misura con tracciante: procedura di elaborazione dei dati

La stima della portata si ottiene imponendo la continuità della massa di tracciante rilasciato fra la sezione di immissione e quella di misura delle conducibilità elettrica,

$$M = \int Q \cdot C(t) dt \quad Q = \frac{M}{\int C(t) dt} = \frac{M}{A}$$

dove M è la massa di tracciante immessa, Q è la portata (media sul tempo di transito dell'impulso) della corrente, $C(t)$ è l'andamento della concentrazione di tracciante nel tempo e A è l'area sottesa dalla curva che esprime l'andamento della concentrazione in funzione del tempo.

Non è possibile effettuare in continuo misure dirette della concentrazione di cloruro di sodio presenti nel flusso; è tuttavia dimostrato che esiste una relazione pressoché lineare tra la concentrazione di cloruro di sodio ed il valore della conducibilità elettrica

$$C(t) = (\chi(t) - \chi_o(t)) \cdot \alpha$$

dove $\sigma(t)$ è il valore della conducibilità letta dallo strumento; $\sigma_0(t)$ è la cosiddetta conducibilità di base (rumore di fondo), ossia la conducibilità elettrica propria del fluido, preesistente al passaggio dell'impulso e k è il coefficiente che lega quasi linearmente la conducibilità alla concentrazione.

Di conseguenza, rilevando per un periodo di tempo sufficientemente esteso la conducibilità elettrica è possibile risalire alla concentrazione di cloruro di sodio e quindi calcolare la portata idrica della corrente.

6. ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI

Innanzitutto è opportuno premettere che è stato in primo luogo eseguito un confronto puntuale (ovvero ad un assegnato istante temporale) fra la portata idrica osservata a Fontaneto mediante misura di livello e la portata rilevata mediante lo strumento area-velocity. I due diversi metodi di misura hanno fornito valori di portata del tutto paragonabili (1003 l/s mediante misura di livello, 1045 l/s mediante area-velocity).

La Figura 11 mostra le portate idriche rilevate nella prova sperimentale a Fontaneto (misura di livello), Chiavica Le Rosse (misura di livello), Sfiatore de La Camera (misura con area-velocity) e Chiavica Bertani (misura di livello).

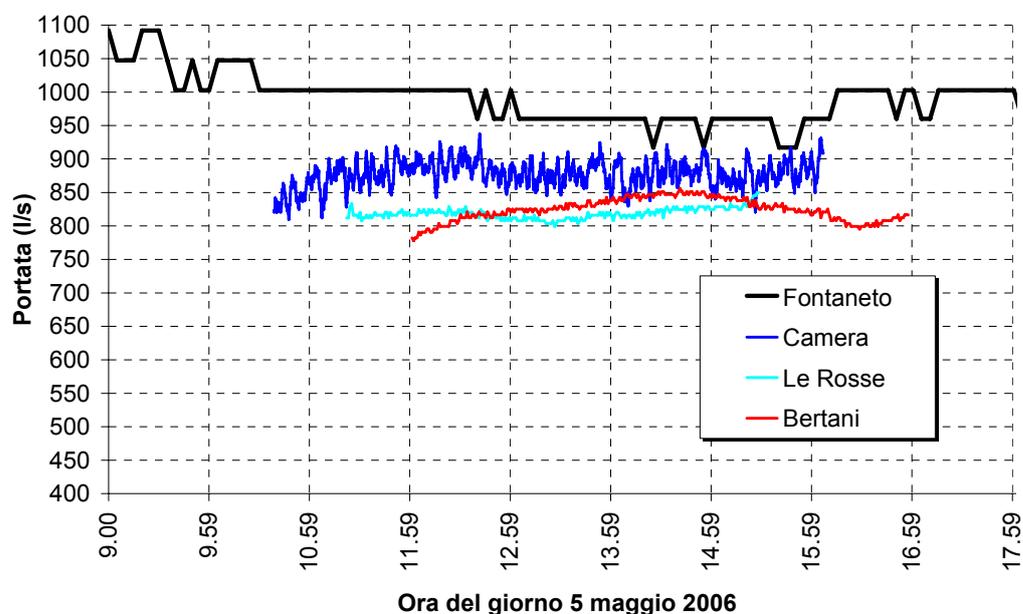


Figura 11. Portate idriche rilevate nella prova sperimentale a Fontaneto (misura di livello), Chiavica Le Rosse (misura di livello), Sfiatore de La Camera (misura con area-velocity) e Chiavica Bertani (misura di livello).

Allo scopo di confrontare le portate idriche transitanti nelle 4 sezioni trasversali successive del Canale D'Enza è opportuno confrontare il dato rilevato all'istante t alla Chiavica Le Rosse con il dato rilevato a Fontaneto al tempo $t - \Delta t_1$, dove Δt_1 è il tempo impiegato dalla corrente a percorrere il tratto di canale compreso fra Fontaneto e Le Rosse. Allo stesso modo, il dato da confrontare con il rilevamento a La Camera sarà quello rilevato a Fontaneto all'istante $t - \Delta t_2$ mentre per la Chiavica Bertani occorre considerare la portata rilevata a Fontaneto all'istante $t - \Delta t_3$. Per calcolare gli intervalli temporali Δt_1 , Δt_2 e Δt_3 si è assunto che la corrente viaggi ad una velocità costante pari a 0.7 m/s. Per operare il confronto con le modalità innanzi descritte è necessario quindi traslare a ritroso nel tempo per intervalli temporali pari a Δt_1 , Δt_2 e Δt_3 gli idrogrammi rilevati a, rispettivamente, Chiavica Le Rosse, La

Camera e Chiavica Bertani. E' bene osservare che l'approssimazione che deriva da una stima non raffinata della velocità della corrente, e quindi della traslazione temporale, non è molto rilevante, essendo il moto essenzialmente permanente. Con il valore della velocità sopra indicato si sono ottenuti i seguenti valori per gli intervalli temporali Δt_1 , Δt_2 e Δt_3 :

$\Delta t_1 = 2$ ore e 22 minuti;

$\Delta t_2 = 3$ ore e 29 minuti;

$\Delta t_3 = 5$ ore e 57 minuti;

La Figura 12 riporta l'andamento nel tempo delle portate idriche osservate a Fontaneto, alla Chiavica Le Rosse, a La Camera ed infine alla Chiavica Bertani. Gli idrogrammi sono mostrati nel riferimento temporale modificato come innanzi descritto.

Al fine di porgere un riscontro di tipo numerico, la Tabella 3 riporta le portate medie osservate nell'intervallo temporale compreso fra le ore 9.00 e le ore 12.00 (riferimento temporale di Fontaneto) nei 4 punti di misura.

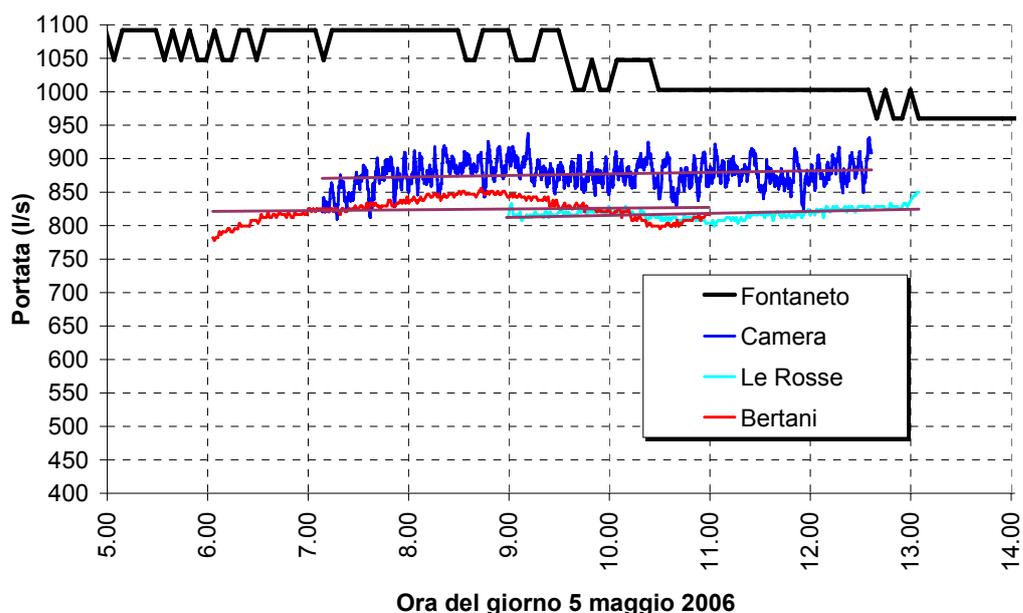


Figura 12. Portate idriche rilevate nella prova sperimentale a Fontaneto (misura di livello), Chiavica Le Rosse (misura di livello), Sfiatore de La Camera (misura con area-velocity) e Chiavica Bertani (misura di livello).

Tabella 3. Rendimento delle reti irrigue gestite dai consorzi di bonifica Bentivoglio-Enza e Parmigiana Moglia-Secchia.

Stazione di misura	Portata media (l/s)
Partitore di Fontaneto	1035
Chiavica Le Rosse	816
Sfiatore de La Camera	878
Chiavica Bertani	821

Osservando i risultati ottenuti si possono trarre tre conclusioni intuitive ed importanti:

- 1) si verificano perdite idriche significative fra il Partitore di Fontaneto e la Chiavica Le Rosse. In circa 600 metri di percorso del Canale D'Enza si verifica una perdita di circa 220 l/s. In termini percentuali si verifica una perdita di circa il 22%;
- 2) a valle della Chiavica Le Rosse, e fino alla Chiavica Bertani, le perdite sono pressoché trascurabili;
- 3) la portata misurata con lo strumento area-velocity sembra essere sensibilmente superiore a quella misurata mediante le misure di livello; la differenza pare ammontare a circa 60 l/s.

I risultati di cui ai punti 1 e 2 sono credibili; è infatti risaputo che la parte più significativa delle perdite idriche che hanno luogo sul Canale D'Enza si verifica nel primo tratto, ove il canale scorre pensile rispetto al piano campagna, su terreni di conoide caratterizzati da spiccata permeabilità; in tale tratto il Canale D'Enza è stato rivestito di calcestruzzo in tempi passati; tuttavia il rivestimento si presenta in precarie condizioni di conservazione. E' inoltre credibile che a valle della Chiavica Le Rosse le perdite siano sostanzialmente trascurabili. E' opportuno ricordare, a questo proposito, che le chiaviche di derivazione poste lungo il canale si trovavano, durante la prova, in posizione di chiusura conservata per lungo tempo (tutto il periodo invernale), condizione che limita le perdite idriche. Inoltre il periodo di svolgimento della prova, subito dopo precipitazioni significative, era caratterizzato da condizioni di spiccata umidità del suolo, condizioni che hanno probabilmente contribuito a limitare le perdite per infiltrazione.

In merito al punto 3, occorre osservare che una differenza, in termini percentuali, di circa il 6% fra le rilevazioni di portata idrica effettuate da strumenti diversi è del tutto accettabile dal punto di vista sperimentale.

Tuttavia è opportuno menzionare che potrebbe essere formulata un'interpretazione alternativa dei risultati, ammettendo che la portata osservata presso la Chiavica Le Rosse sia stata misurata per difetto, ad esempio per incerta taratura del coefficiente di deflusso dello stramazzo in parete sottile. Tale eventualità è ritenuta essere meno probabile rispetto a quella, precedentemente ipotizzata, che prevede una differenza sistematica fra le misure di portata effettuate con strumenti diversi. Tuttavia è opportuno osservare come tale interpretazione, che prevede quindi una sottostima della portata alla Chiavica Le Rosse, potrebbe essere plausibile dal punto di vista fisico. Infatti, se la portata osservata presso la Chiavica Le Rosse fosse sistematicamente valutata per difetto di circa 80 l/s, si osserverebbe allora una progressiva diminuzione della portata lungo tutto il corso del canale. Ciò implicherebbe il verificarsi di una perdita pari a circa il 14% nei primi 6000 metri di canale, ed una perdita pari a circa 8% nei rimanenti 9000 metri. Tale circostanza non comporterebbe una sostanziale variazione della conclusione generale, che prevede una perdita comunque spiccata nei primi 6000 metri di canale, ed una perdita totale comunque pari a circa il 21% nel corso dei 15000 metri di canale presi in considerazione.

Comunque si vogliano interpretare i risultati, è opportuno segnalare come nel corso dei primi 15000 di Canale D'enza si verifichi una perdita pari a circa il 21%, in condizioni spiccatamente favorevoli alla limitazione delle perdite idriche per infiltrazione nel terreno, evaporazione e scarsa tenuta delle opere idrauliche. Considerando che durante il periodo irriguo estivo l'infiltrazione e l'evaporazione

sono sicuramente significative, così come le perdite per infiltrazione dalle opere idrauliche, considerando che non sono state considerate le perdite per invaso e svaso della rete, e considerando infine la notevole estensione della rete irrigua del comprensorio irriguo servito dalla Bonifica Bentivoglio-Enza, si può ragionevolmente concludere che il rendimento medio della rete ipotizzato dal PTA regionale, pari al 55% (il che equivale a perdite pari al 45%) sia probabilmente ottimista, giacchè le prove effettuate inducono ad ipotizzare che il rendimento sia in realtà più limitato. Questa considerazione implica che i recuperi idrici che si potrebbero ottenere attuando le politiche di contenimento delle perdite ipotizzate dal PTA regionale siano in realtà più consistenti rispetto a quanto ipotizzato.

7. INTERVENTI PER LA LIMITAZIONE DELLE PERDITE NEI CANALI IRRIGUI

La letteratura scientifica, anche a livello internazionale, ha recentemente dedicato numerosi contributi al contenimento delle perdite nei canali a cielo aperto. Prima di passare in rassegna gli interventi sui quali oggi maggiormente si concentra l'attenzione dei ricercatori è necessario accennare alla possibilità di sostituire i canali di sezione più ridotta con condotte interrato in pressione, operazione che presenta indubbi vantaggi dal punto di vista paesaggistico e che si configura quale rimedio di indubbia efficacia per la riduzione delle perdite.

Nel caso si voglia propendere per la conservazione del canale a cielo aperto, si fornisce di seguito una descrizione sintetica dei seguenti interventi per la riduzione delle perdite idriche per infiltrazione:

- posa in opera geomembrane sintetiche;
- posa in opera di bentonite e geocomposti bentonitici;
- rilascio di poliacrilammide.

7.1 Geomembrane sintetiche

I geosintetici si distinguono in una serie di prodotti differenziati in base ai materiali utilizzati, alle tecniche costruttive, e ai campi di intervento in cui vengono utilizzati; è possibile anche l'applicazione di due o più tipologie di geosintetici, sovrapposti, ottenendo così un geocomposito. I materiali utilizzati per la produzione dei geosintetici sono quasi interamente provenienti dall'industria dei polimeri, sebbene gomme, fibre di vetro ed altri prodotti naturali siano talvolta utilizzati.

Tra i vari tipi di geosintetici si distinguono i geotessili, le geogriglie, le georeti, le geostuoie, i geocompositi per il drenaggio, le geocelle, i geocompositi bentonitici, le geomembrane sintetiche e le geomembrane bituminose. Oltre ai prodotti appena elencati esistono in commercio prodotti derivati dall'accoppiamento di materiali sintetici a materiali di origine naturale, quali le biostuoie e i biotessili. L'utilizzo di materiali biodegradabili rendono tali elementi molto efficaci per realizzare rivestimenti superficiali temporanei antierosione dei versanti nudi dove si deve attendere la crescita della vegetazione per una definitiva stabilizzazione del sistema. Nel campo applicativo di interesse nell'ambito del presente lavoro, cioè l'impermeabilizzazione di superfici bagnate, il prodotto che garantisce le migliori prestazioni è probabilmente la geomembrana. Si configura come un tappeto di materiale sintetico caratterizzato da una bassissima permeabilità. Si parla di geomembrane sintetiche quando il materiale utilizzato è di tipo plastomerico o elastomerico, mentre si parla di geomembrane bituminose quando il materiale utilizzato è a base di bitume, polimeri elasto/plastomerici e cariche minerali; in entrambi i casi comunque è assicurata la bassissima permeabilità dei materiali.

I materiali utilizzati per la produzione di geomembrane, dunque, si distinguono in materiali bituminosi e materiali plastici. Il bitume è una miscela di idrocarburi naturali o residuati dalla distillazione del petrolio grezzo, più propriamente può essere definito bitume il materiale proveniente dalla spontanea alterazione dei petroli naturali venuti a contatto con l'atmosfera; la sua capacità di rimarginare autonomamente eventuali fessurazioni (potere cicatrizzante) lo rende estremamente

efficace negli interventi di impermeabilizzazione. I principali materiali plastici utilizzati nella produzione di geomembrane sintetiche sono invece il polivinilcloruro (PVC), il polipropilene, il poliestere e il polietilene.

L'utilizzo delle geomembrane nel campo dell'impermeabilizzazione dei canali sta riscontrando col tempo sempre più successo, poiché i costi di produzione si sono abbassati rendendo tale soluzione competitiva rispetto alle più classiche tecniche di impermeabilizzazione che prevedono l'uso di materiale cementizio. Svariati sono i punti di forza che rendono l'utilizzo delle geomembrane preferibile a quello del cemento; primo tra tutti la permeabilità, di gran lunga più bassa per la geomembrana rispetto al calcestruzzo; inoltre la rapidità di messa in opera e la flessibilità rende la geomembrana esente da problemi relativi ai cedimenti del terreno; per contro la sua resistenza alle azioni meccaniche è inferiore, nonché alle azioni chimiche e fisiche che possono andare ad intaccare l'integrità della superficie rendendo necessarie particolari precauzioni.

All'utilizzo di geomembrane è spesso associato l'utilizzo di geostuoie applicate sul fondo del canale, o su parte di esso, atte a garantire una protezione dalle possibili cause di punzonatura o strappo della superficie impermeabile; geostuoie possono essere utilizzate anche per la protezione delle sponde dall'erosione; andrebbero privilegiate le soluzioni che portano alla formazione di uno strato di vegetazione tale da aumentare la stabilità delle sponde, garantendo tuttavia le caratteristiche idrauliche richieste alla funzionalità del canale.

Le geostuoie, oltre alla protezione della membrana, garantiscono l'importante funzione di drenaggio dell'acqua permeata nel terreno circostante il canale; nel caso di repentini abbassamenti o innalzamenti della tavola d'acqua, infatti, possono manifestarsi pressioni non equilibrate sulla superficie impermeabile, con un elevato effetto destabilizzante.

L'utilizzo di geomembrane comporta l'adozione di precauzioni nella fase di applicazione, perchè deve essere garantita l'integrità dei fogli nel tempo, e la perfetta tenuta delle giunzioni tra foglio e foglio. I fogli vengono solitamente forniti in rotoli; ciò permette una più facile stesura sulla superficie dell'alveo del canale. Il fondo dell'alveo dovrà essere preparato ad accogliere la geomembrana; dovranno infatti essere eliminati tutte le possibili cause di danneggiamento della superficie della stuoia. Nel caso in cui la superficie non possa, da sola, garantire l'integrità della geomembrana viene applicata una biostuoia, o un prodotto affine, opportunamente dimensionata e tale da garantire una protezione adeguata.

La giunzione dei fogli costituisce una delle fasi più delicate della messa in opera; dovrà essere garantita una appropriata sovrapposizione dei lembi dei fogli, sovrapposizione utile a garantire l'aderenza dei fogli i quali vengono accoppiati tramite termosaldatura o tramite l'utilizzo di collanti; le tecnologie utilizzate variano a seconda del tipo di prodotto utilizzato, ma in presenza di una guaina bituminosa, se di spessore sufficiente, si preferisce una giunzione per termosaldatura, cioè tramite una parziale fusione dei lembi, che messi a contatto e fatti raffreddare, andranno a costituire un corpo unico e difficilmente scindibile. La perfetta aderenza tra i lembi delle giunzioni risulta fondamentale poiché la presenza di eventuali discontinuità va a costituire una serie di possibili punti di rottura preferenziali della membrana che, soggetta al logorio della corrente e del suo trasporto solido, sul lungo periodo può essere soggetta a lacerazioni.

La presenza di un fluido in moto comporta, in fase di messa in opera, delle particolari precauzioni anche sul fissaggio della geomembrana, tenendo conto però che ogni sistema di ancoraggio della stuoia al fondo dell'alveo che comporti la punzonatura della stuoia stessa può essere causa di perdite non insignificanti se ripetute su tutta la lunghezza del canale. E' per questo che tali ancoraggi devono essere resi efficacemente stagni in fase di applicazione. Solitamente nella parte alta della scarpata i teli sono fissati a picchetti infissi sul ciglio arginale o poco sotto, mentre sul fondo del canale, al piede della scarpata, i teli possono essere bloccati con pietrame di adeguata pezzatura, o poggiati in apposite trincee da riempire formando un sacco di sabbia o pietrame.

Interessante è la possibilità di l'utilizzo di geomembrane "nude", cioè non associate ad alcun tipo di elemento di copertura; in tal caso è necessario associare alla geomembrana un materiale di rivestimento che garantisce una protezione della stuoia dagli attacchi dell'ambiente esterno (luce, prodotti chimici, logorii, etc.), e allo stesso tempo garantisce una certa stabilità al posizionamento della membrana stessa. Il metodo più semplice ed economico risulta essere l'interramento della membrana, soprattutto in presenza di terreno di escavazione prodotto da fasi precedenti della costruzione del canale, eventualità abbastanza probabile anche nel caso si stia procedendo all'impermeabilizzazione di un canale già esistente. Il semplice interrimento della stuoia può tuttavia non essere sufficiente; il trasporto e l'erosione della corrente infatti potrebbero andare a scoprire la membrana impermeabile; nel caso di portate modeste e di un uso discontinuo del canale una soluzione a tale problema può essere l'inerbimento del canale. Tuttavia tale soluzione non può applicarsi nel caso di canali di una certa portata, dove il trasporto della corrente è troppo elevato per permettere la formazione, soprattutto nel breve periodo, di uno strato inerbito. In questi casi si ricorre all'utilizzo di tappeti di materiale inerte, di granulometria appropriata a resistere per gravità alla corrente o dotati di opportuni apparati di fissaggio.

Per il fissaggio e la protezione della geomembrana, una delle prime tecniche ideate è stato l'utilizzo del calcestruzzo spruzzato, detto shotcrete, il quale viene applicato in un sottile strato su tutta la superficie interessata dal rivestimento, tale soluzione risulta molto economica ed efficace. Uno studio del U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation ha dimostrato che l'associazione del calcestruzzo alla geomembrana innalza l'efficacia della riduzione delle infiltrazioni al 95%, contro il 90% ottenuto con l'uso della sola geomembrana, e il 70% ottenuto con il solo calcestruzzo. Inoltre, il calcestruzzo preserva la guaina impermeabile dalla corrosione degli elementi esterni, abbassando di conseguenza anche i costi di manutenzione dell'opera.

7.2 La Bentonite

La bentonite è un fillosilicato, ovvero un minerale argilloso composto per lo più da montmorillonite, calcio o sodio, con spiccate caratteristiche colloidali. Le sue caratteristiche idrofile la rendono un materiale utilizzabile in moltissimi campi. E' plastica ed adesiva se miscelata opportunamente con acqua, diventa dura e rigida quando è sottoposta ad essiccamento, ma rimane plastica se non ha subito un elevato riscaldamento. Ad altissima temperatura si verifica il processo di

calcificazione e l'acqua persa non può essere reintrodotta; la bentonite ha una temperatura di fusione inferiore a quella della silice e quindi una limitata refrattarietà; ma la sua proprietà più interessante, dal punto di vista dell'impermeabilizzazione dei canali, è la capacità di rigonfiare a contatto con l'acqua, fino ad occupare un volume parecchie volte superiore a quello del materiale secco, e di dar luogo alla formazione di gel tixotropici (viscosità variabile in relazione allo stato dinamico della sostanza) anche con rapporti bentonite-acqua molto bassi.

L'utilizzo della bentonite ricopre una vastissima gamma di campi di applicazione, dai fanghi per la perforazione, alla concimazione biologica, dalla produzione di ceramiche speciali, al trattamento dei liquami, dal trattamento dei vini, alle terre da fonderia; le sue proprietà impermeabilizzanti tuttavia sono quelle più interessanti. Come in precedenza menzionato, le molecole di argilla possono assorbire acqua trattenendola nel loro reticolo; il gel che si viene a formare in questo modo va a costituire un film che riduce drasticamente la porosità interconnessa e, di conseguenza, la permeabilità, del terreno. Per quanto riguarda l'impermeabilizzazione dei canali, la bentonite offre interessanti opportunità applicative; oltre alla sua capacità di abbattere la permeabilità del suolo, infatti, possiede la pregevole caratteristica di non alterare le caratteristiche chimico fisiche dell'acqua, non dando luogo a reazioni che potrebbero compromettere la qualità dell'acqua stessa. Essendo un materiale di origine naturale, l'applicazione al suolo non comporta elevati impatti; l'utilizzo della bentonite mantiene costi inferiori all'applicazione di lastre in cemento, garantendo prestazioni accettabili e abbattendo l'impatto visivo che un'impermeabilizzazione estesa tramite cemento comporta; l'inerbimento dell'alveo infatti conferirebbe in poco tempo un aspetto abbastanza naturale alla canalizzazione.

I costi derivati dall'applicazione di bentonite sull'alveo rimangono comunque abbastanza elevati, mentre non si dispone ancora di dati affidabili in merito alla durabilità dell'intervento. Se nel campo dell'impermeabilizzazione di bacini o discariche sembra si sia raggiunta una certa sicurezza sulla validità dell'intervento, nel caso di canali in terra a pelo libero si mantengono delle riserve sulla sua efficacia. I canali irrigui infatti, a differenza dei bacini idrici, sono caratterizzati da flussi d'acqua discontinui e con portate che variano a seconda delle necessità delle utenze; di conseguenza l'alveo del canale è soggetto a forti sollecitazioni in termine di erosione, trasporto solido e accumulo di materiali trasportati. Il rischio di un intervento di questo tipo è che lo strato impermeabile possa essere destabilizzato dagli effetti della corrente, andando a scoprire, anche localmente, il terreno autoctono permeabile, invalidando di fatto lo scopo dell'intervento. Senza l'apporto di validi dispositivi di protezione dello strato argilloso, il suo utilizzo come unico agente impermeabilizzante risulta difficoltoso; è stato invece riscontrata l'efficacia della bentonite come elemento sigillante negli interventi di recupero di vecchie impermeabilizzazioni in cemento. Nell'impermeabilizzazione delle fessure formatesi nelle lastre di calcestruzzo, o sulle giunzioni delle stesse, la bentonite garantisce efficacia di intervento con costi ridotti, grazie alla sua capacità di penetrare in profondità trasportata dall'acqua stessa infiltrata nella fessura.

Particolare interesse suscita l'utilizzo della bentonite applicata nei geocompositi; sono infatti ormai commercializzati prodotti costituiti da argilla bentonitici applicata a geosintetici; tali prodotti prendono il nome di geocompositi bentonitici. La bentonite, ai fini di evitare il problema della "dispersione" del materiale, viene vincolata

meccanicamente ad uno strato di geocomposito; in questo modo si riesce a sfruttare le proprietà impermeabilizzanti della bentonite associate ai vantaggi di gestione dei geocompositi. Esistono tre famiglie fondamentali di geocompositi bentonitici: quelli realizzati interponendo uno strato di bentonite tra due geotessili, il tutto vincolato meccanicamente. Quelli realizzati mescolando polvere di bentonite sodica o calcica modificata con un collante solubile in acqua; tale miscela viene quindi interposta tra i due geotessili. Ed infine quelli realizzati mescolando la bentonite con un collante che la fa aderire ad una geomembrana sintetica. Tutte e tre le soluzioni risultano efficaci, ma i costi ne suggeriscono un uso localizzato in piccole aree di intervento.

7.3 Poliacrilammide

La poliacrilammide (PAM) è un polimero idrofilo sintetico costituito da monomeri di acrilammide; assume un comportamento simile ad una spugna a contatto con acqua, riuscendo ad assorbirne molte volte la propria massa. L'acqua viene poi liberata quando la PAM viene a contatto con sostanze in grado di rompere i legami ad idrogeno, come sali o sostanze ioniche. Gli usi della poliacrilammide sono molteplici ed applicati in svariati campi, dalla conservazione alimentare al giardinaggio, dall'industria della carta al trattamento delle acque reflue. Negli ultimi decenni ha dimostrato di avere importanti sbocchi nel campo agricolo grazie alla sua capacità di protezione del suolo dall'erosione. Altra caratteristica rilevante in campo agricolo è la capacità di aumentare l'infiltrazione dell'acqua nel suolo abbassandone la tensione capillare, e quindi accentuando la risalita capillare del fluido. Recenti evidenze empiriche hanno altresì portato allo studio delle sue potenzialità nel campo della riduzione dell'infiltrazione nei canali in terra; nonostante tale caratteristica sembri in contrasto con le proprietà sopra descritte, in realtà la poliacrilammide, una volta idratata, forma un gel che, se distribuito sul letto del canale, abbassa notevolmente la permeabilità del suolo.

Tale tipo di applicazione della PAM è tuttora in fase sperimentale; si stanno testando con prove di campo, eseguite negli Stati Uniti (Desert Research Institute di Reno in Nevada), la riduzione di permeabilità in relazione al metodo di applicazione e alle concentrazioni applicate; tali tipi di test vengono condotti su diversi livelli di scala, da piccoli solchi artificiali ai grandi canali e bacini artificiali.

Le prove sperimentali in corso tendono a identificare criteri per ridurre al minimo il dosaggio della PAM per raggiungere i seguenti scopi: 1) ridurre il potenziale trasporto a valle della PAM da parte della corrente evitando il contatto con ambienti sensibili a possibili effetti negativi se in contatto con la PAM. 2) Ridurre il potenziale rischio che lo strato di gel soffochi le popolazioni di organismi bentonitici viventi sul letto del canale e/o gli effetti negativi sulle specie acquatiche. 3) Ridurre l'esposizione ambientale alla acrilammide, una impurità cancerogena presente in basse concentrazioni nella PAM.

I test svolti su canali di controllo lunghi 24m e profondi 10cm, nei quali sono state monitorate e misurate le quantità d'acqua in ingresso, in uscita e persa per infiltrazione, hanno dato i seguenti risultati: L'applicazione di 11kg/ha di Poliacrilammide anionica lineare in granuli ha prodotto la riduzione di infiltrazioni maggiore, raggiungendo una riduzione pari a 81 ± 10 % rispetto alle condizioni iniziali; concentrazioni più alte non hanno portato ad effetti apprezzabilmente migliori; concentrazioni inferiori di 6 kg/ha hanno abbassato la riduzione al 60 ± 2 %.

Si è osservato che, nonostante sia il metodo più facile di applicazione, l'utilizzo di PAM in forma granulare è quello che provoca la maggiore concentrazione di PAM disciolta nelle acque defluite; l'utilizzo di PAM parzialmente reidratata ha invece indotto concentrazioni nelle acque in uscita ampiamente inferiori ai livelli di guardia. L'applicazione diretta nel flusso d'acqua comporta problematiche dovute ai tempi di interazione della PAM con il suolo; il polimero infatti necessita di un determinato tempo per entrare in contatto ed interagire con i sedimenti del fondo, in tale tempo la corrente del canale rischia di aver trasportato la sostanza in sezioni a valle non interessate all'intervento, o peggio, negativamente sensibili ad un contatto con la Poliacrilammide.

Ancora negli Stati Uniti, il Department of Agriculture of the Agricultural Research Service ha pubblicato risultati di una serie di sperimentazioni atte a determinare l'efficacia dell'utilizzo della poliacrilammide al fine della riduzione delle infiltrazioni nei canali. Lo studio è stato strutturato con quattro sperimentazioni rivolte alla valutazione delle prestazioni della PAM, additivata con agenti tensioattivi, in condizioni simili a quelle determinabili in campo. Le conclusioni a cui si è giunti è che la riduzione di permeabilità aumenta con l'aumento della viscosità e della concentrazione della soluzione di poliacrilammide utilizzata; la riduzione delle perdite risulta non trascurabile, con tassi di riduzione da 60% a 99%.

Sussiste perplessità in merito alla durata dell'intervento; su piccola scala si è infatti dimostrato che la durata dell'efficacia dell'intervento risulta molto bassa, irrisoria se proporzionata alla durata delle altre tipologie di intervento. Sarebbe comunque possibile immaginare un impiego periodico della PAM in quei casi in cui il canale irriguo sia soggetto ad utilizzo solo per periodi limitati nel tempo.

Il Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti, USDANRCS, ha sviluppato una metodologia di valutazione comprendente tutti i possibili impatti della PAM sul sistema ambiente inteso come suolo, acqua, aria, piante, animali. Nella documentazione esistente, le indicazioni riguardanti i possibili impatti negativi della PAM sull'ambiente sono quasi sempre legate alla maggiore capacità infiltrante delle acque e del loro carico inquinante nel suolo. Il polimero comunque non presenta caratteristiche tossiche, né tantomeno risulta reagire con sostanze presenti in natura. Nel caso dell'impermeabilizzazione di un canale i problemi relativi all'infiltrazione scompaiono per la natura stessa dell'intervento che si realizza; per quanto riguarda altri effetti indesiderati della sostanza, occorre considerare che le dosi applicate in un intervento di questo tipo andrebbero a raggiungere valori ben più grandi di quelli considerati dalla documentazione esistente, di conseguenza gli impatti che ora vengono valutati come non apprezzabili perdono la loro significatività.

La poliacrilammide con basso peso molecolare risulta ben più pericolosa per la tossicità correlata alla presenza del monomero Acrilammide (AMD). Se la poliacrilammide sembra avere un comportamento abbastanza innocuo, lo stesso non si può dire del monomero da cui deriva, l'acrilammide infatti è una potente neurotossina con potenziale cancerogeno e mutageno. Peraltro va detto che l'acrilammide non ha usi specifici, esiste solo in forma di prodotto intermedio di produzione della poliacrilammide, di conseguenza, sebbene pericoloso, ha scarse possibilità di entrare in contatto con l'uomo o l'ambiente.

Nel complesso la PAM pare essere un'interessante possibilità per l'impermeabilizzazione dei canali, che tuttavia necessita di ulteriori ricerche e sperimentazioni.

8. CONCLUSIONI

La presente relazione descrive i risultati di un'indagine finalizzata ad ottenere un'indicazione di campo in merito alle perdite idriche che si verificano in canali irrigui serviti da derivazioni appenniniche in Provincia di Reggio Emilia.

A tale scopo è stata eseguita una prova sperimentale, mediante misura continua della portata idrica in 4 sezioni successive di un canale in terra a cielo aperto, per un'estensione totale del tronco interessato pari a circa 15000 metri.

La prova eseguita, in condizioni di afflussi e deflussi laterali macroscopici nulli, ha evidenziato che, anche in condizioni favorevoli, le perdite idriche sono consistenti, soprattutto nel tratto di canale che scorre nel tratto di conoide.

Le risultanze sperimentali corroborano una realtà intuitiva, permettendo però di dare indicazioni di tipo quantitativo e pongono in evidenza i benefici potenzialmente ritraibili mediante interventi di riduzione delle perdite. I volumi idrici recuperati, ancorché ridotti ad un primo esame, consentirebbero in realtà una significativa riduzione del deficit idrico alla fonte.

A tale scopo, la presente relazione presenta una breve rassegna degli ultimi risultati raggiunti dalla comunità scientifica in merito a riduzione delle perdite idriche in canali a cielo aperto.

