

***Facoltà di Architettura e Società
Facoltà di Ingegneria Civile,
Ambientale e Territoriale***



*Master universitario interfacoltà di II livello
in
Governo del territorio e delle risorse fisiche
Ingegneria del suolo e delle acque*

**Dinamiche idrologiche ed idrogeologiche del bacino
idrografico in sinistra Adda, tra la Gera d'Adda ed il fiume
Serio. Analisi dei fenomeni, dell'attuale gestione delle acque
territoriali, dei dati e dei presidi di monitoraggio esistenti.
Prime verifiche in aree campione. Proposta di indicatori
territoriali significativi.**

Relatore: dott. ing. Stefano LOFFI



Candidati:

Elisa BRUNI

Michele MEDAGLIANI

Anno Accademico 2005-2006

Premessa (p. 4)

Parte I

Contesto morfologico/economico ed evoluzione mondo agricolo sul territorio

1. *Il territorio del bacino idrografico dell'Adda sublacuale tra Gera d'Adda e destra Serio*

- 1.1. Caratteristiche idrologiche e geomorfologiche (p. 6).
- 1.2. Caratteristiche meteorologiche (p. 16).

2. *Le attività di governo delle acque superficiali e sotterranee*

- 2.1. L'irrigazione (p. 18).
- 2.2. L'uso industriale e di forza motrice (p. 22).
- 2.3. L'uso potabile (p. 23).

3. *L'agricoltura*

- 3.1. L'evoluzione del sistema agricolo (p. 24).
- 3.2. La situazione attuale (p. 25).
- 3.3. L'evoluzione socio-economica e i probabili scenari futuri a medio termine (p.26).

4. *La Multifunzionalità del mondo rurale* (p.30).

Parte II

Il governo delle acque

5. *L'organizzazione dei comprensori irrigui*

- 5.1. I Comprensori di Bonifica e Irrigazione (p. 33).
 - 5.1.1. Il Compensorio di Bonifica e Irrigazione n. 7 "Cremasco" (p. 35).
 - 5.1.2. Il Compensorio di Bonifica e Irrigazione n.6 "Media Pianura Bergamasca" (p.38).
 - 5.1.3. Il Consorzio di Miglioramento Fondiario di 2° grado Adda-Serio e i principali Consorzi di Irrigazione nell'area di studio (p.39).

6. *Il deflusso minimo vitale ed il piano di gestione del bacino idrografico*

- 6.1. Approccio metodologico alla determinazione del DMV (p. 42).
 - 6.1.1. Metodi teorici(p.43).
 - 6.1.2. Metodi sperimentali (p.44).
 - 6.1.3. Metodi ibridi (p.44).

Parte III

Dinamiche idrologiche e valutazione aree critiche nell'area campione

7. *Il Progetto Two-Le e la ricerca dei dati*

7.1. Il progetto (p.47).

7.1.1. Modello dell'interazione falda/acque superficiali (p.49).

7.2. Le aree campione per il rilevamento (p.50).

7.2.1. Scelta dei punti di rilevamento (p.50).

7.2.2. Monografia sezioni di controllo (p.54).

7.2.3. Dinamiche idrologiche di alimentazione dei corsi idrici (p.76).

7.3. Rilevamento in situ (p.77).

7.3.1. Livelli idrometrici (p.77).

7.3.2. Portate defluite (p.82).

7.3.2.1. Prova di portata su Tormello (p.89).

7.3.2.2. Prova di portata su Tormo (p.97).

7.3.2.3. Prova di portata su Merlò Giovane (p.101).

7.3.3. Pioggia (p.103)

8. *Ricerca delle correlazioni tra i fenomeni evolutisi durante il rilevamento in campagna*

8.1. Roggia Landriana (p. 108).

8.2. Roggia Merlò Giovane (p. 110).

8.3. Roggia Tormello (Tormo) (p. 112).

8.4. Roggia Quarantina (p. 117).

8.5. Rogge Rino Fontana , Cremasca e Nodello (p. 119).

9. *ANNO 2005: alla luce dell'eccezionale scarsità d'acqua...*

9.1. Estensione del fenomeno siccitoso (p. 122).

9.2. Valutazione qualitativa del deficit (p. 125).

9.3. Valutazione quantitativa del deficit (p. 129).

9.3.1. Prova portata sezione 2 sul Tormo (p. 129).

9.3.2. Prova portata sezione 5 sul Merlò Giovane (p. 131).

9.4. Confronto tra comprensorio diretto ed indiretto (p.133).

10. *Conclusioni e applicazione al caso pratico: proposta di indici ed indicatori sintetici* (p.134)

Parte IV

Riferimenti bibliografici

(p. 144)

Premessa

Non sono lontani i tempi nei quali la gestione delle acque territoriali, cioè quelle acque condotte artificialmente sul territorio per gli usi antropici, era dominata, nelle analisi delle potenzialità di sfruttamento, dal solo punto di vista idrologico: attraverso le indagini statistiche meteorologiche ed i modelli previsionali dei flussi idrici si procedeva a dare risposta a quello che appariva il problema: quanta acqua c'è disponibile per nuovi usi.

Tre fenomeni hanno indebolito la correttezza di questo approccio:

- il progressivo smantellamento dell'attività di rilievo sistematica dell'Istituto Idrografico e Mareografico del Ministero dei Lavori Pubblici, il cui compito era proprio quello di garantire la continuità delle osservazioni e, se necessario, integrare la rete di rilevamento seguendo l'evoluzione dei fenomeni osservati. L'ultima pubblicazione dell'istituto risale all'inizio degli anni Ottanta ed i dati, da quel periodo, hanno iniziato a diradarsi, con interruzione delle serie storiche, abbandono di stazioni, modifiche delle sezioni di controllo senza l'adeguata correlazione tra nuove e vecchie letture;
- l'esplosiva crescita delle piccole derivazioni, in carico alle sezioni provinciali del genio Civile, che non hanno trovato alcuna attività di coordinamento, secondo logiche di bacino idrografico. Le piccole derivazioni, in gran parte emungimenti da pozzi, ancora negli anni Ottanta hanno avuto una crescita esponenziale in tutta la Lombardia, soprattutto per scopi irrigui. In questo aspetto è da segnalare, in aggiunta, la realtà dei prelievi da pozzo abusivi, per loro natura 'nascosti' all'evidenza d'anche alla Pubblica Amministrazione. Alcuni effetti di questo esagerato prelievo dalle falde si sono evidenziati in recenti studi che hanno dimostrato che, in alcuni bacini idrografici, durante la stagione irrigua il flusso sotterraneo freatico da falda a fiume si inverte, sottraendo risorsa all'asta fluviale;
- il progressivo abbassamento dell'alveo del fiume Po, collettore finale dell'intero sistema idrico, privo di soglie fisse e costretto in sede stretta dalle difese per la navigazione, che ha trascinato tutti i livelli della falda in esso colante;
- l'esigenza, per una politica più attenta ai temi ambientali, ad un approccio integrato dei problemi della risorsa 'acqua' che non più riconosce come sufficiente il 'semplice' bilancio idrologico in termini di 'entrate ed uscite' in ciascun bacino idrografico.

Su quest'ultimo aspetto entra con veemenza il problema del DMV, il Deflusso Minimo Vitale, definito come il valore minimo di portata che deve essere garantito nelle aste fluviali in ogni loro punto al prezzo, laddove necessario, di ridurre le quantità ai fiumi stessi sottratte dalle derivazioni.

La necessità di continuità idrica dell'ambiente fluviale (e torrentizio) è indiscutibile.

Più esposta ad osservazioni e critiche è il puntare il dito sulle sole derivazioni superficiali, sapendo che il fiume è il termine di un complesso sistema di circolazioni superficiali e sotterranee e che anche, come già detto, l'altreazione dei flussi nelle falde possono nuocere, ed a volte già questo avviene in modo pesante, sulle risorse dei corsi d'acqua. Paradossalmente la diminuzione delle derivazioni superficiali dai fiumi, in gran parte dedicate all'irrigazione, potrebbe portare all'aumento degli emungimenti dal sottosuolo sottraendo, per 'altra nascosta via', acqua allo stesso corso che si intende tutelare.

Oltre ad un'attenta e più dettagliata attività di rilevazione idrologica, purtroppo interrotta e solo ora in fase di ripresa ad opera dell'ARPA – che ha raccolto la pesante 'eredità' del disciolto Servizio Idrografico nazionale, si deve però giungere ad una perfetta conoscenza degli effetti indotti da una riduzione delle quantità d'acqua destinate agli usi antropici: soprattutto l'uso irriguo, in questo ordine di problemi, nasconde collegamenti territoriali che possono produrre, a scala di area vasta, maggior danno del beneficio cercato.

Nel 2005 si è avviato un ponderoso studio, finanziato dalla Fondazione CARIPLO e denominato Two-Le (two levels) che si prefigge lo scopo di valutare gli effetti (positivi e negativi) prodotti dall'applicazione, al fiume Adda sub-lacuale, del DMV: per diversi valori del DMV il modello, in fase di preparazione, dovrebbe consentire di quantificare questi effetti su tutte le attività che utilizzano le acque dell'Adda, tra questi comprendendovi l'Ambiente fluviale.

Se applicare il Deflusso Minimo Vitale si traduce, in buona sostanza, nel ridurre le portate derivate dalle grandi utenze irrigue sull'Adda (il cui fabbisogno complessivo ammonta a 230 m³/s) poco o nulla il Two-Le

può dire, per come esso è strutturato (in particolare nel fattore tempo – essendo di soli due anni), sugli effetti indotti da quella parte del territorio del bacino dell'Adda che va sotto il nome di Compensorio Irriguo Indiretto; quelle terre, cioè, che si dotano di acqua per l'irrigazione vedendo i propri canali alimentati dalle risorgive e dalle colature, a loro volte termine della parte di acqua esuberante del Compensorio Diretto.

Non è questa la sede per dilungarsi sui fontanili e sulle opere di canalizzazione realizzate bel le bonifiche delle aree sortumose. Possiamo qui solo accennare al fatto che la pianura Padana, per causa della propria struttura alluvionale e ricchezza d'acqua, ha permesso alle comunità di sfruttarne egregiamente tutte le manifestazioni prodotte dalla circolazione delle acque, sia in superficie che sotterranee.

Ora, anche nel cremasco, esistono interi sistemi irrigui che derivano acqua direttamente dai fiumi o attarverso pozzi: sono infatti collegati a fontanili o, come il fiume Tormo, costituiscono la via di fuga delle acque colanti nelle 'terre alte' per poi trasformarsi, nelle 'terre basse' in reti di distribuzione per l'irrigazione.

La domanda è: quanto produce, in termini di riduzione della risorsa per il compensorio indiretto, la riduzione delle portate derivate dal fiume Adda dalle utenze che servono il Compensorio diretto? In altri termini, nel gergo 'irriguo': la riduzione delle acque 'vive' quanto influisce sulle colature e sulle risorgive?

Mentre Two-Le studia i problemi connessi a differenti simulazioni del Deflusso Minimo Vitale nel fiume, questo lavoro (ben più modestamente ma in modo in tutto originale – è una sperimentazione mai tentata in quest'area), si è posto il problema dell'Afflusso Minimo Vitale (AMV ?) al Compensorio Indiretto, negletto nel 'grande dibattito ed apparentemente privo del diritto di difendere la propria acqua 'riciclata'.

Nei limiti che può avere un lavoro di tesi, abbiamo percorso (o forse è più giusto dire 'tracciato') la strada per dimostrare la possibilità di una risposta.

Parte I

Contesto morfologico/economico ed evoluzione mondo agricolo sul territorio

1. *Il territorio del bacino idrografico dell'Adda sublacuale tra Gera d'Adda e destra Serio*

1.1 *Caratteristiche idrologiche e geomorfologiche*

La provincia di Cremona si trova essenzialmente chiusa dai bacini dei fiumi Adda a nord-ovest, Po a sud-ovest ed Oglio lungo la direttrice est, proprio al centro della grande pianura alluvionale Padana. Il territorio su cui si basa l'analisi interessa la parte nord della provincia delimitata ad est dal Serio Morto e marginalmente la bassa pianura bergamasca oltre ad alcuni comuni limitrofi del milanese e del lodigiano.

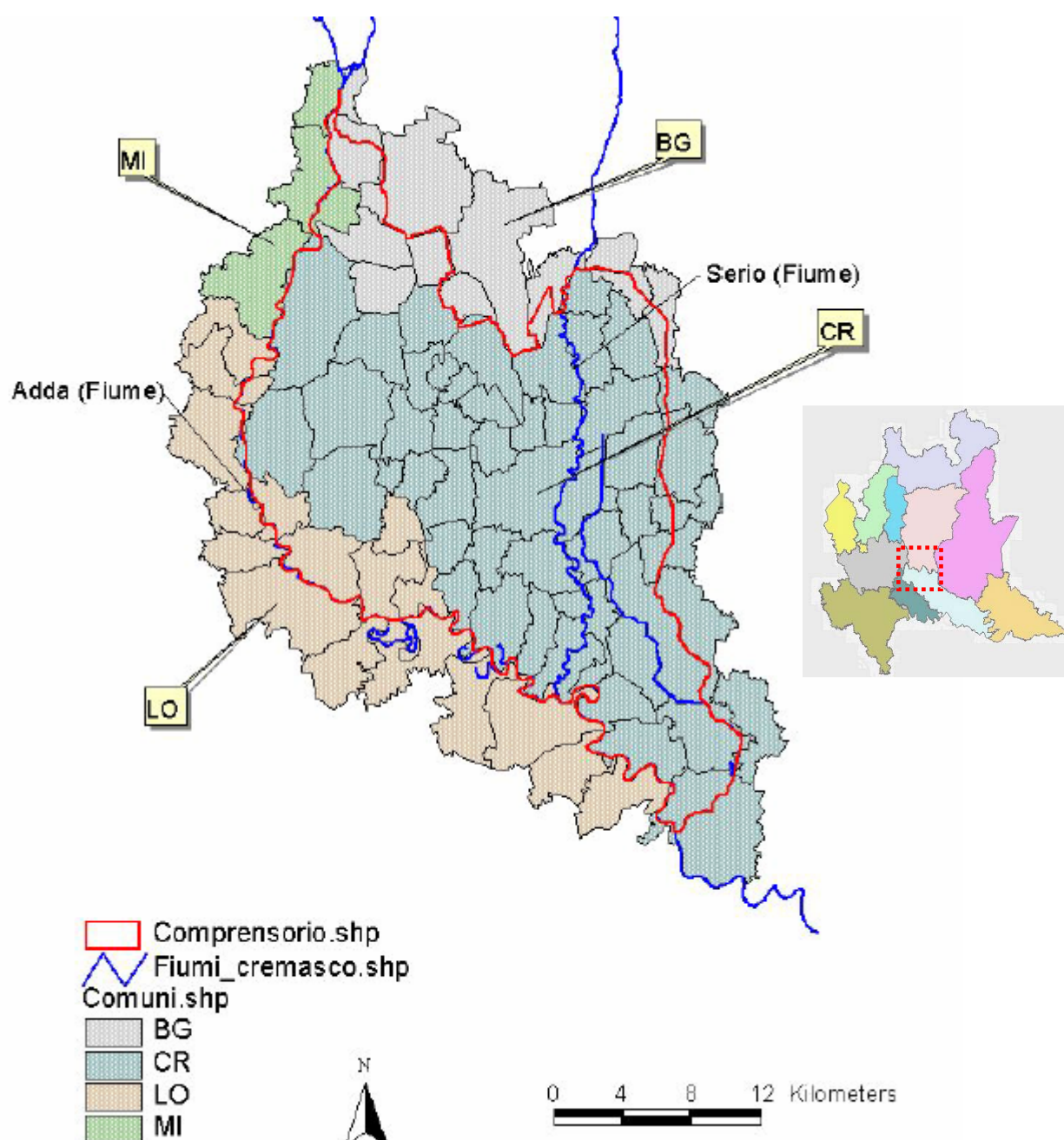


Fig.1 – Inquadramento geografico

Le caratteristiche idrologiche del territorio sono imprescindibilmente legate alla formazione geologica stessa dell'area. Essa si instaura nel complesso quadro della genesi della Pianura Padana e dei fenomeni che hanno portato nel corso dei millenni alla definizione di una morfologia complessa e fortemente legata alla rete idrografica presente.

La base della piana alluvionale è costituita da un substrato roccioso terziario che ha assunto la sua configurazione finale quando la placca africana cui appartiene, premendo contro quella euro-asiatica, ha provocato l'innalzamento delle vette alpine e la conseguente formazione di una zona depressa all'interno, l'attuale pianura.

Nel Pliocene il livello delle acque del Mar Mediterraneo aumentò fino al punto di insinuarsi all'interno della valle facendo sì che alla base originaria di rocce potesse sovrapporsi uno spesso strato di materiale sedimentario, argilla, limo, sabbia e materiale di origine organica.

A causa del sollevarsi della placca africana, dell'incessante ciclo di erosione e deposito di materiale da parte dei ghiacciai alpini e delle continue variazioni del livello marino si assistette ad un progressivo ritirarsi delle acque nella pianura.

I successivi due milioni di anni furono determinanti attraverso l'azione delle acque e dei mutamenti climatici, per la formazione dei substrati che ancora oggi costituiscono la base e la ricchezza della economia agricola padana. Si susseguirono poi quattro principali ere glaciali (Gunz, Mindel, Riss e Wurm) in cui ghiacciai di elevato spessore giunsero fino alla base delle vallate modellando il territorio e trasportando enormi masse di detriti che oggi prendono il nome di anfiteatri morenici.

Nei periodi interglaciali, il ritirarsi di queste enormi masse e il relativo scioglimento provocò il formarsi di enormi masse d'acqua capaci di trasportare sempre più a valle materiali morenici creando i cosiddetti "conoidi alluvionali" dalla tipica forma a ventaglio aperta verso la pianura.

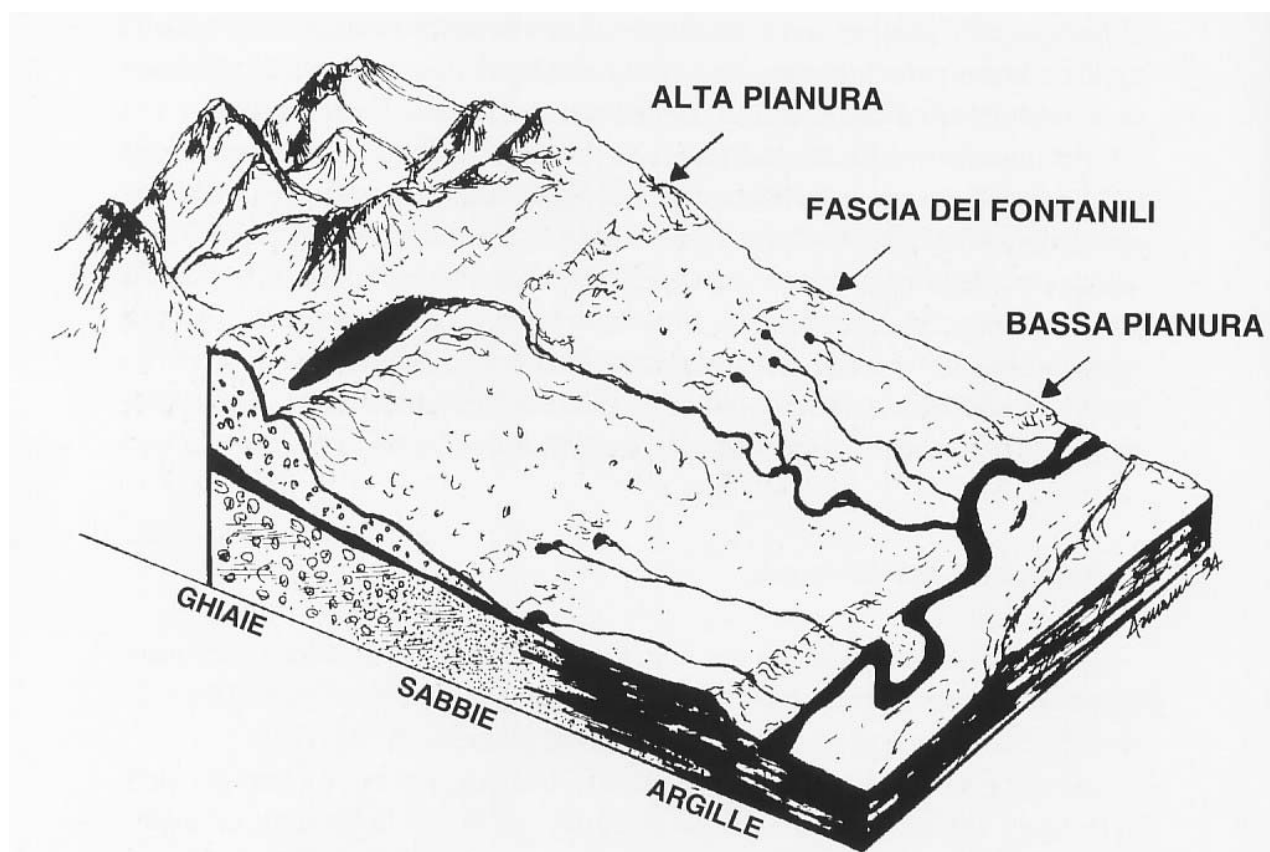


Fig.2 – Schema esemplificativo della pianura padana delle litologie prevalenti in rapporto al comportamento della falda (da Provincia di Cremona)

La prima fase dello scioglimento coincise con la maggiore quantità di volumi idrici in moto e quindi con la maggiore energia cinetica; proprio in queste epoche si assistette al deposito dei materiali più grossolani che vennero poi coperti da materiali sempre più fini col diminuire della forza di trasporto da parte dell'acqua. In tale contesto vennero a formarsi strutture a conoidi e valli viepiù incassate che costituiscono la struttura che oggi è ben visibile nel complesso sistema idrico dell'alta pianura. Il deposito di materiale sempre più

omogeneo ha portato ad una netta stratificazione composta da ghiaie e sabbie tipica della media pianura. Più a valle, in coincidenza delle minori pendenze e quindi della minore energia delle acque, i depositi furono essenzialmente di natura limosa, sabbiosa ed argillosa; questo andamento è, in grande scala, identificativo delle tipologie delle zone geografiche del territorio cremonese che, spostandoci da N-W verso S-E si incontrano terreni sempre più 'forti', quindi da granulometrie decrescenti e capacità di campo crescenti; l'effetto, per quanto riguarda la necessità irrigua, si traduce in una riduzione della dotazione media specifica che passa da 2,00 a 0,85 l/s x Ha.

Tale tipologia di configurazione morfologica incide decisamente sul regime delle acque sia superficiali che sotterranee; i parametri idrologici, in particolare le velocità medie dei flussi, hanno determinato l'evoluzione del sistema di gestione delle acque superficiali. Laddove la maggior granulometria consente una circolazione sotterranea particolarmente veloce, e quindi abbondante, ha favorito il sistema del recupero delle acque di risorgiva, alimentate dalla falda freatica che si impingua delle elevate perdite per infiltrazione. Nei tempi moderni, particolarmente negli anni Ottanta del secolo scorso, alcuni fattori territoriali, meteorologici ed economico-organizzativi, hanno portato alla massiccia crescita dei prelievi irrigui a mezzo di pozzi freatici; nel Cremasco, fatto riferimento alle sole istanze di autorizzazione (quindi senza contare il 'sommerso' sconosciuto alla P.A.) il 93% delle concessioni sono successive al 1980¹.

Ma la distinzione del territorio secondo un generico riferimento granulometrico è sostenibile se non, come detto, a larga scala. Le vicende della deposizione/erosione geologica ha infatti portato ad una alternanza di strati tra loro anche in tutto differenti. È quindi più corretto parlare in termini di prevalenza, in ogni zona del territorio, di una determinata classe granulometrica. Non mancano, infatti, anche nel Cremasco, presenze significative di stratigrafie fini o molto fini, un banco delle quali si trova poco più a Nord del limite amministrativo della provincia di Cremona, con direzione grosso modo W-E e che si para, in superficie, a terreni prevalentemente più grossolani posti a monte. Questo avvicendamento provoca il fenomeno caratteristico di quel territorio chiamato "Fascia dei Fontanili", zona che corre, parallelamente all'arco alpino, dal Piemonte sino al Friuli, dove il livello piezometrico emerge in superficie. L'affioramento idrico dava origine, in epoche remote, a diffuse sortumosità se non formazioni di vasti terreni paludosi in aree anche lontane dai corsi d'acqua e dalle aree delle loro geologiche divagazioni.

Le opere di prosciugamento di queste aree, iniziate al tempo della colonizzazione romana, hanno reso evidente che il ristagno delle acque non era dovuto alla sola concavità dei terreni, bensì all'affioramento della falda freatica il cui flusso si arrestava non appena i livelli delle acque ristagnanti giungevano al valore del carico totale idraulico di detto flusso. L'escavazione dei primi canali che, procedendo secondo le prevalenti pendenze del terreno, quasi sempre orientate – nell'area dove si è svolto questo lavoro - da Nord a Sud, ha reso evidente che dopo l'evacuazione delle acque stagnanti si produceva un flusso costante, a volte anche abbondante e caratterizzato da acque di ottima qualità.

Si sviluppò quindi una diffusa canalizzazione artificiale, ad andamento pressoché perpendicolare alle isoipse e quindi con tracciati grosso modo tra loro paralleli ed assi estesi. A questo proposito si deve infatti osservare che queste opere di canalizzazione costituivano un sistema di drenaggio dei terreni posti nei pressi dell'emersione della falda per poi diventare di distribuzione dell'acqua di irrigazione quando l'alveo aveva raggiunto una quota sufficiente, rispetto alla campagna, per consentire l'irrigazione che, sino alla metà del XX secolo, avveniva esclusivamente per gravità.

I fontanili o "fontanae" e "sortiae", e le relative canalizzazioni, sono di origine antropica ed hanno una duplice funzione: allontanare acque stagnanti che altrimenti sarebbero disperse su una vasta area generando zone insalubri e improduttive e convogliare preziosa risorsa idrica da sfruttare in un territorio con alta vocazione agricola.

La fascia interessata dal fenomeno in Lombardia aveva un'originaria ampiezza variabile tra i 3 ed i 25 chilometri, coinvolgendo con un andamento essenzialmente trasversale tutta la regione dove era chiaramente definibile un confine superiore ed uno inferiore di insistenza del fenomeno.

Al giorno d'oggi numerosi fattori, in particolare l'impovertimento delle falde acquifere, il continuo e sregolato sfruttamento delle acque territoriali e le anomalie meteorologiche, hanno determinato un drastico ridimensionamento del fenomeno spostando sensibilmente verso sud la linea superiore dei fontanili, conseguentemente al quasi totale inaridimento delle risorgive più settentrionali (fig.3).

¹ Gandolfi C. & altri - Progetto di fattibilità del Piano di Riordino Irriguo del Comprensorio Cremasco, pag. 41. – Crema CR 2005 – Consorzio di Miglioramento Fondiario di II grado 'Adda-Serio'.

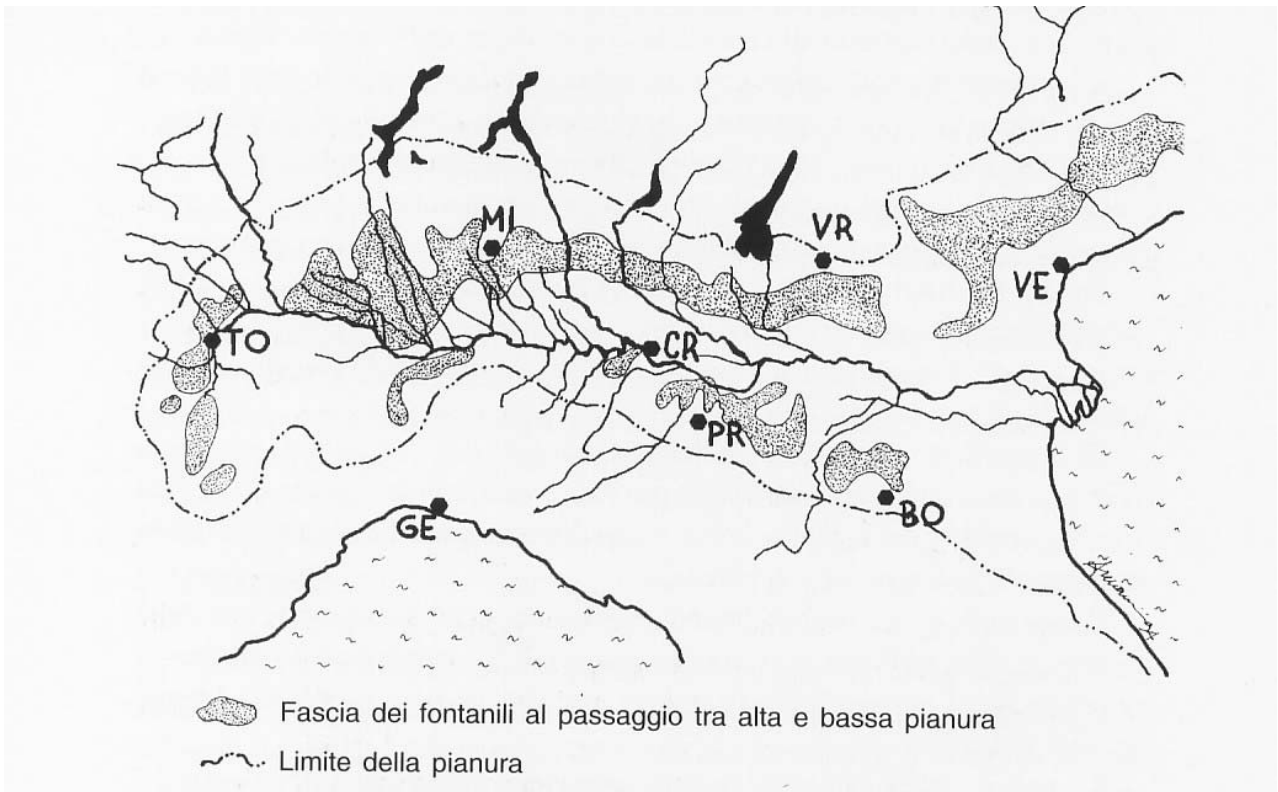


Fig.3 – Fascia dei fontanili nell'Italia settentrionale (da Provincia di Cremona)

I più gravi effetti di questi inaridimento si riscontrano nei comuni a nord della provincia di Cremona (Spino d'Adda, Agnadello, Vailate), ma soprattutto nella bassa pianura bergamasca dove nell'ultimo decennio si è assistito ad un numero rilevantissimo di risorgive "estinte".

La struttura essenziale dei fontanili è composta da un "capofonte" o "testa di fontanile" e da una "asta" talvolta separate da un "collo" ovvero una strozzatura più o meno marcata.

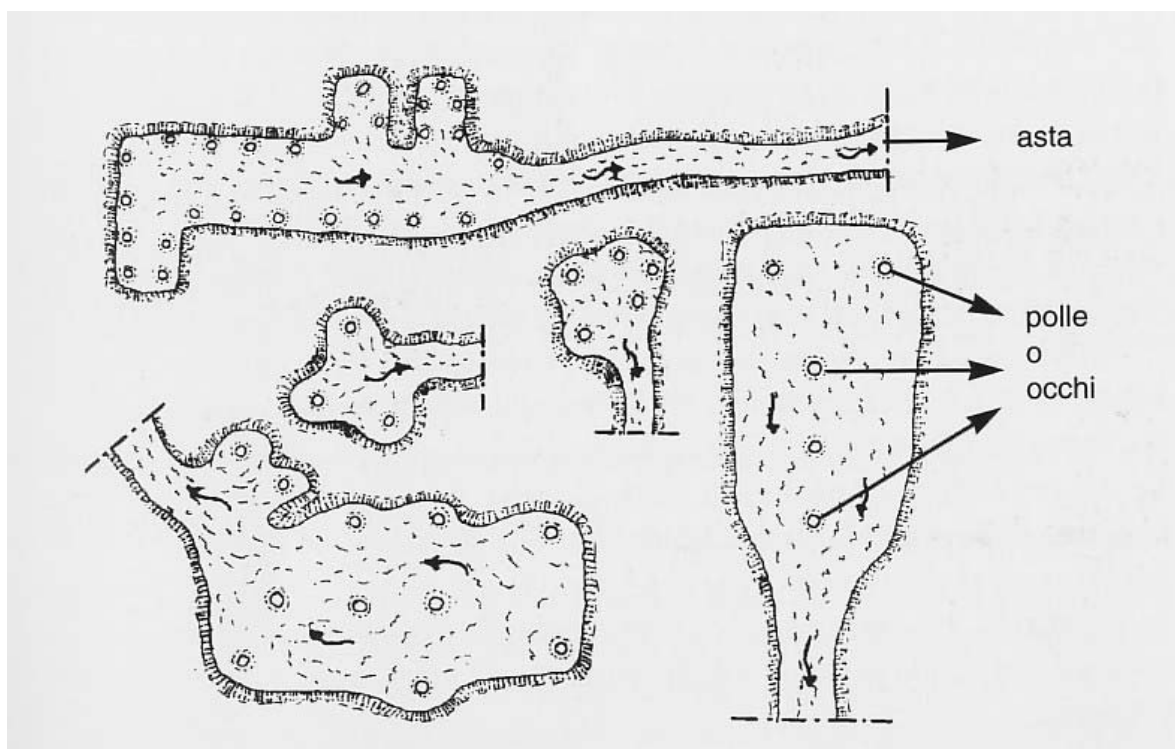


Fig.4 – Tipologie di teste di fontanile (da Provincia di Cremona)

La testa è un semplice scavo di dimensioni variabili praticato in modo che il fondo si trovi ad una quota leggermente inferiore a quella piezometrica della falda sottostante. All'interno di tale area si trovano le cosiddette "bocche" (o "polle" o "occhi"), ovvero le effettive opere di convogliamento delle acque: esse possono essere di diversa forma e costituzione, dai primi tini in rovere (ancora visibili ad esempio in alcune zone tra il comune di Dovera e Spino d'Adda), ai più recenti tubi in ferro e strutture cilindriche in cemento.



Fig.5 – Differenti bocche di fontanile: a sinistra fontanile dei Mosi nei pressi di Misano. A destra tino in cemento presso Dovera.

La salienza idrica all'interno dei condotti è di varia natura e facilitata dalla foratura delle tubazioni lungo tutto il loro attraversamento della falda; essenzialmente i fenomeni fisici dominanti sono di natura capillare e di pressione idrostatica.

Le proprietà fisiche della acque sgorganti da risorgiva sono di particolare valore sia naturalistico/ambientale, sia economico.

La risorsa idrica generata ha infatti il pregio di essere disponibile tutto l'anno in quantità cospicua e continua con una distribuzione capillare sul territorio. Va poi sottolineato come la purezza di tali acque e le loro proprietà termiche ne facciano un insostituibile fondamento per un habitat unico e peculiare. Proprio la caratteristica di mantenersi ad una temperatura costante che si aggira intorno ai 10-14°C veniva un tempo sfruttata per la formazione delle cosiddette "marcite", prati su cui veniva fatta scorrere acqua costantemente e che consentivano fino a nove sfalci l'anno, persino nei periodi più freddi invernali garantendo una resa economica eccezionale.



Fig.6 – Marcita (da Provincia di Cremona)

Purtroppo oggi questa pratica è venuta meno, soppiantata da colture e tecniche diverse più redditizie, ma spesso anche più dannose per l'ambiente ed il territorio. Permane comunque anche oggi il valore economico delle acque da risorgiva, a dire il vero quasi mai quasi riconosciuto a pieno; esse sono infatti componente fondamentale per la creazione della capillare rete irrigua della bassa pianura che fa di questo territorio uno dei più fertili al mondo.

Gli elementi descritti contribuiscono a definire la morfologia del territorio nel quale emerge come fattore primario quello idrografico.

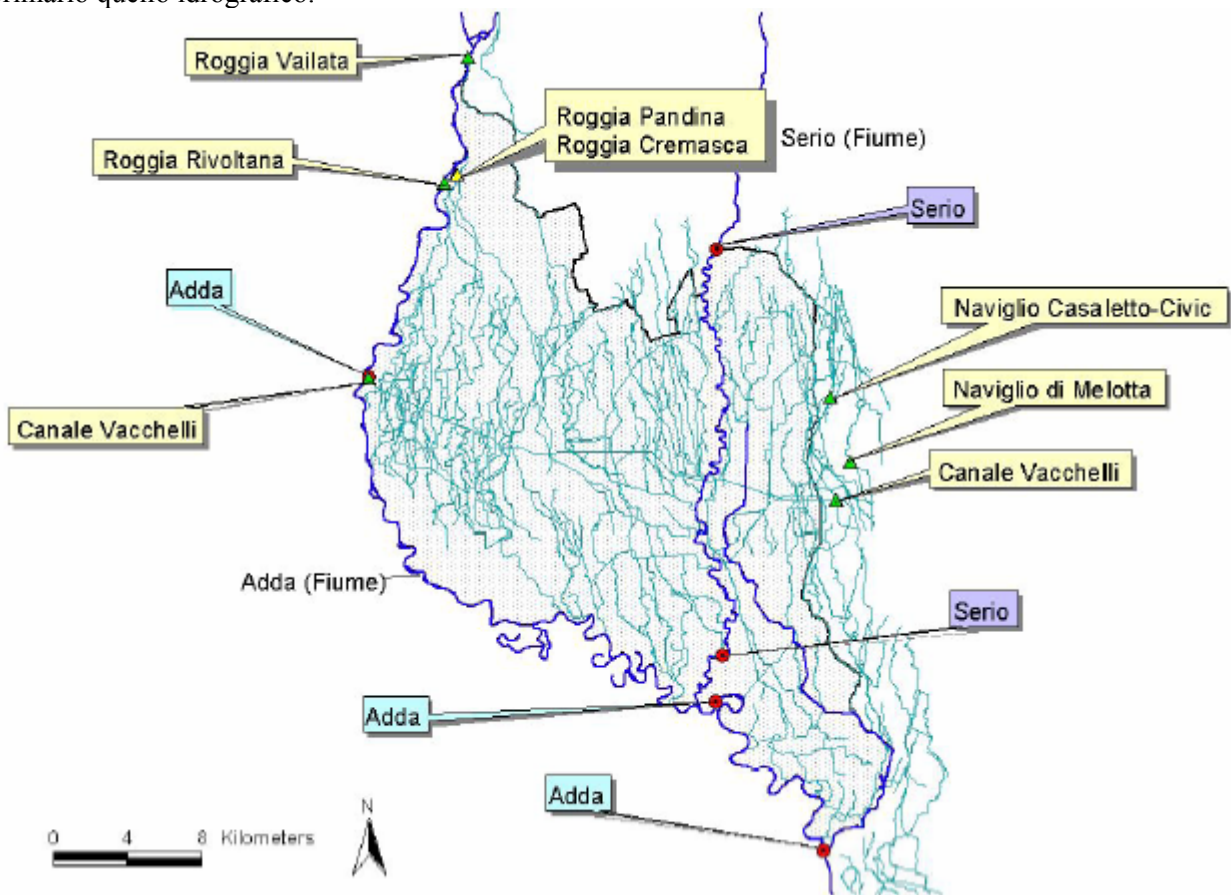


Fig.7 – Reticolo idrografico superficiale e stazioni di rilevamento idrometrico.

Il reticolo idrico principale della zona è costituito dai fiumi Adda, Oglio e Serio, il quale si differenzia dai primi per un regime tipicamente torrentizio causato dalla mancanza di alimentazione di origine glaciale o lacustre.

Il reticolo secondario è invece molto più complesso e costituito da una densissima rete di canali, rogge e colatori sfruttando le scarsissime pendenze per raggiungere la quasi totalità della regione oggetto di studio.

Alcuni di questi corsi hanno origine naturale da risorgive e fontanili e scorrono in letti che si sono scavati nel corso dei millenni come accadde per il Serio Morto, ma buona parte ha origine artificiale ed è stata organizzata dall'uomo per rendere possibile l'irrigazione nel modo più efficiente e capillare.

Morfologicamente l'area in esame è caratterizzata in zone omogenee frutto di tutti i processi idrogeologici accennati in precedenza.

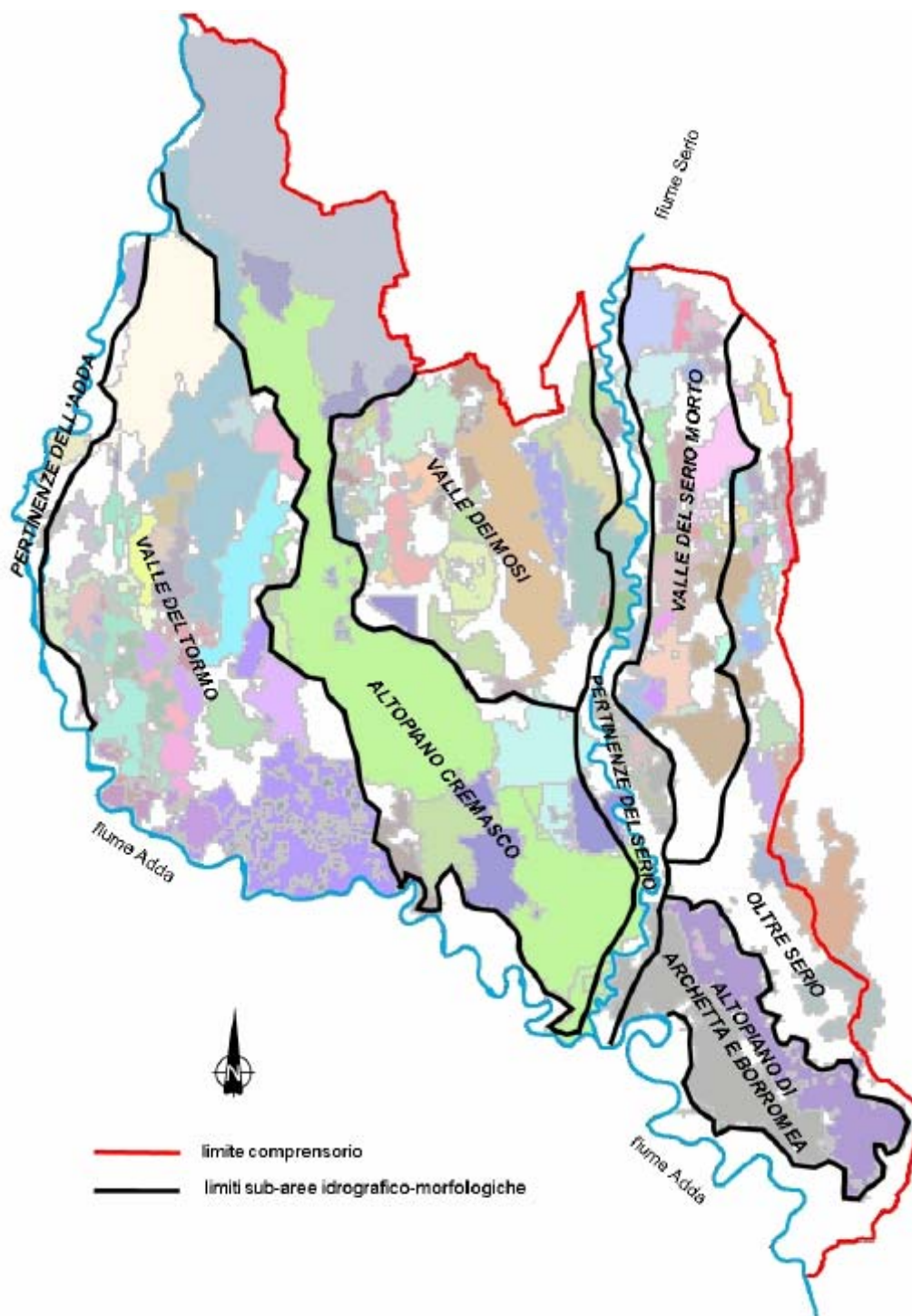


Fig.8 – Morfologia del territorio ed identificazione aree omogenee (da 'Progetto di fattibilità del riordino irriguo nel Comprensorio 'Cremasco' – òpera citata in Bilbiografia)

Ad eccezione della fascia dei fontanili, tipicamente posta in direzione Est-Ovest, le aree morfologicamente uniformi hanno principalmente direzione Nord-Sud. Esse sono costituite dall'alternarsi di valli create nei millenni dai grandi fiumi ancora presenti o ormai asciutti e di altipiani leggermente sopraelevati dai quali restano separate mediante le rispettive scarpate morfologiche che assumono altezza variabile tra i 20 m e i pochi centimetri.

Partendo da Ovest si identificano in primo luogo le pertinenze del fiume Adda che si estendono sulla sponda sinistra e coincidono con la scarpata morfologica che separa questi territori dall'antico alveo ora occupato dal Tormo. L'area prende origine a Nord di Rivolta d'Adda, immediatamente ad Ovest presso la cascina Altiero, e lambendo Rivolta a Ponente, procede in direzione sub-verticale verso Sud sino ad una prima chiusura all'altezza dello scarico in Adda di roggia Mozzànica qui, infatti, la modesta scarpata si fa tuttuno con la sponda del fiume.

Il secondo elemento di spicco è la valle del Tormo: il corso del fiume Adda, come avviene per tutti i fiumi delle pianure alluvionali, ha avuto un'evoluzione vittima e protagonista delle vicende idrogeologiche, mutando direzione e dimensione più volte, in gran parte a causa dell'alternarsi di periodi 'freddi' (anche glaciali) e periodi più temperati, di durata variabile da centinaia ad alcuni secoli, e con alterazioni macroscopiche (avanzamento ed arretramento dei ghiacciai) oppure meno evidenti (maggiore o minore piovosità).

La conseguenza ancora evidente è il segno che questa evoluzione ha lasciato sul territorio, costituito da un'ampia incisione del Livello Fondamentale della pianura. Essa è ben definita e, per quanto attiene il presente lavoro, appare limitata, nella sua falda alla sinistra orografica del fiume, dalla scarpata che corre tra gli abitati di Agnadello, Palazzo Pignano, Monte Cremasco, Bagnolo, Chieve, Casaletto, fino a saldarsi con la valle del Serio alla confluenza di quest'ultimo in Adda.

Le divagazioni del grande fiume lasciarono in quest'area un'abbondante ricchezza d'acqua che, in periodi nei quali l'alveo principale era a quote maggiori delle attuali, si configurava come successione di terreni sortumosi, se non paludosi, se non lacustri tant'è che alcuni studiosi hanno individuato la zona da riconoscersi quale sede del lago Gerundo. L'asta idrica principale che da il nome stesso alla "valle" è il Tormo, roggia che scorre essenzialmente da risorgiva e proprio per questo sembra legare indissolubilmente la propria sorte a quella dei fontanili (per una trattazione più completa si rimanda ai capitoli successivi).

Procedendo verso Est si incontra l'altipiano cremasco, i cui elementi di spicco sono la Roggia Comuna ed Unite o Cremasca ed il Canale Vacchelli che lo attraversa nella sua interezza. L'altipiano è caratterizzato da una fitta rete di piccoli canali che riescono a sfruttare le pendenze riutilizzando le eccedenze irrigue a mezzo di colatori. È quest'area un lembo del Livello Fondamentale della pianura, zona non interessata dall'erosione fluviale e quindi mediamente più elevata rispetto alla valli che i corsi d'acqua naturali hanno inciso.

Nella presente trattazione questo tipo di conformazione morfologica assume importanza rilevante visto che assolve il ruolo di ideale spartiacque tra il reticolo presente ad ovest, direttamente influenzato dalle derivazioni dell'Adda, e quello ad est esteso in particolare nella cosiddetta Valle dei Mosi.

Essa si trova interposta tra l'altipiano cremasco, la città di Crema ed il tracciato delle rogge Cremasca ed Acquarossa. Qui un tempo sorgeva una zona paludosa che attingeva acqua da risorgiva e che forniva utile barriera contro invasioni nemiche, ma soprattutto costituiva uno degli ultimi habitat naturali incontaminati presenti nella zona. Con la costruzione del Canale Vacchelli che convoglia con il Cresmiero gran parte delle acque territoriali, tutta la zona si è trasformata in area puramente agricola e si è uniformata al resto della regione.

Procedendo ad oriente si trova un altro avvallamento: la zona delle pertinenze del Serio e la successiva valle del Serio Morto.

A differenza delle omonime aree lungo l'Adda, le pertinenze del fiume Serio sono assai limitate, di ampiezza, tra le due scarpate morfologiche, compresa dai duecento ai ottocento/novecento metri. Le aree in esse ricomprese sono oggetto di irrigazioni da colature in piede scarpa, raramente da prelievi dal Serio. All'altezza di Montodine, il fiume passa in una strozzatura che poi si apre saldandosi alle Pertinenze dell'Adda. L'area è, quindi, caratterizzata da ampiezze limitate che si confondono, verso Est, con i terreni della valle del Serio Morto.

Essa si estende nella parte meridionale fino all'Adda nel comune di Pizzighettone ed è composta essenzialmente dagli alvei che il Serio col passare del tempo ha abbandonato fino a raggiungere l'attuale posizione. Le acque che oggi vi scorrono traggono origine dai fontanili e dalle risorgive poste nei pressi di Camisano costituendo un corso d'acqua di chiare caratteristiche naturali sottolineate dall'andamento tipicamente meandriforme. Numerose sono le derivazioni ed i coli di recupero presenti in quest'area.

Come termine di paragone sembra utile riportare la carta dei pedopaesaggi ERSAF relativa alla zona, nella quale è facile ritrovare con confini ben marcati le aree omogenee precedentemente descritte e classificate secondo criteri di omogeneità spaziale in termini di geologia e morfologia del suolo (fig.9).

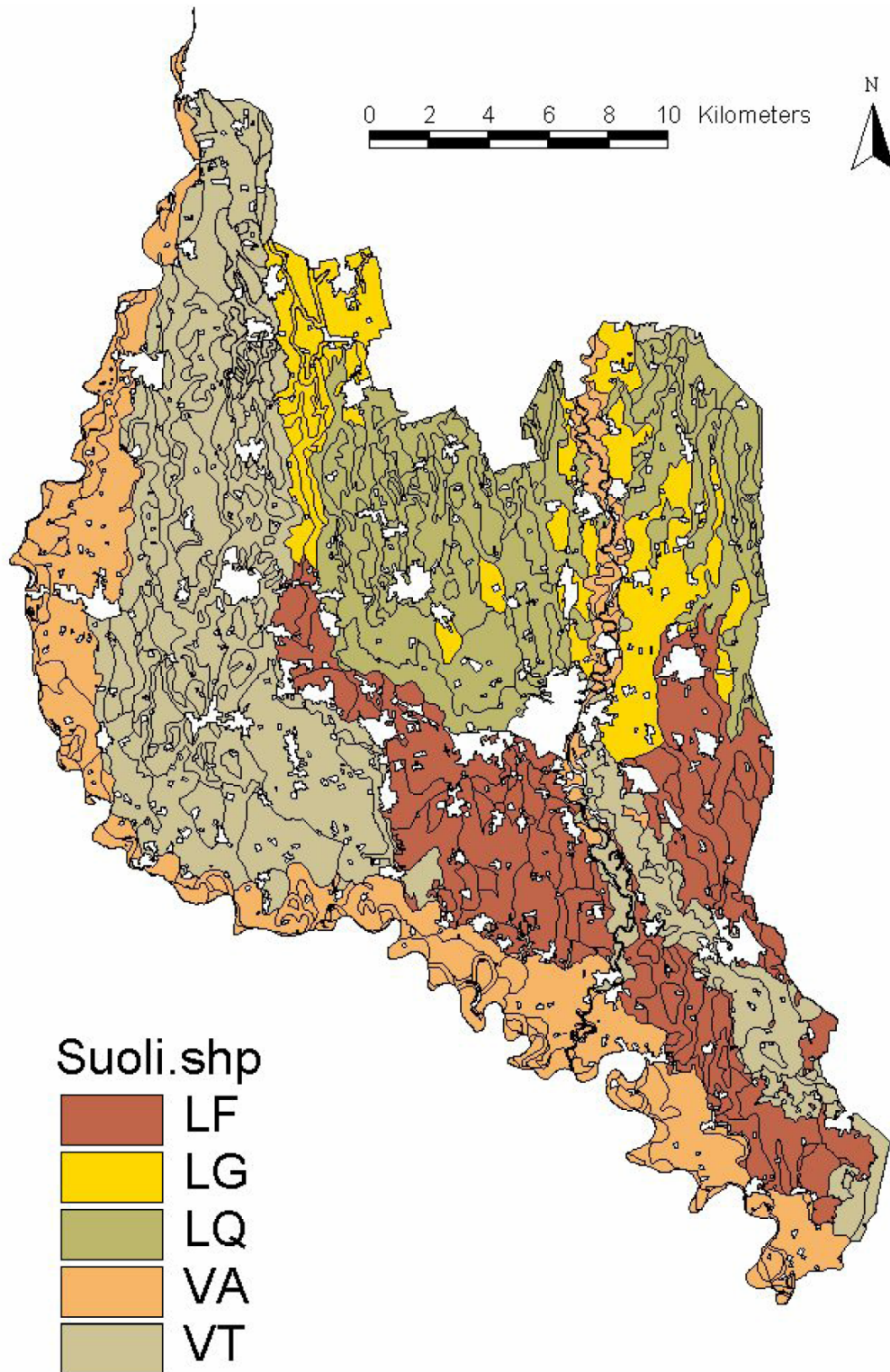


Fig.9 – Catalogo dei Pedopaesaggi ERSAF

I sistemi e sottosistemi riscontrati sono essenzialmente due:

1. *Livello fondamentale di pianura (L)*

Questo sistema raggruppa le varie morfologie riconoscibili entro la piana fluvioglaciale.

Si tratta di superfici costituite da depositi a granulometria variabile e decrescente, dalle ghiaie ai terreni più fini, procedendo in direzione sud. In funzione di questa variabilità granulometrica e dell'idrologia superficiale e profonda questo sistema si divide in tre sottosistemi: da nord verso sud si susseguono l'alta pianura ghiaiosa (LG), la media pianura idromorfa (LQ) e la bassa pianura sabbiosa (LF).

- Alta pianura ghiaiosa (LG): costituita dagli ampi conoidi ghiaiosi pedemontani costruiti dagli apporti dei torrenti fluvioglaciali e successivamente rimodellati dai corsi d'acqua attuali che ne sono gli eredi. La morfologia è lievemente convessa o sub pianeggiante e formano una superficie debolmente inclinata. Questi ambienti sono presenti in piccole porzioni nella parte più settentrionale e sono racchiusi all'interno del sistema della media pianura idromorfa (LQ). Hanno composizione prevalentemente ghiaiosa e pendenza media compresa tra 0,4 e 0,8%;
- Media pianura idromorfa (LQ) : il sottosistema è presente nella parte settentrionale sino all'altezza di Crema dove i conoidi perdono di evidenza ed i sedimenti fluvioglaciali diventano prevalentemente sabbiosi; in questa porzione della piana fluvioglaciale la riduzione granulometrica dei sedimenti determina una diminuzione di permeabilità e quindi la falda freatica emerge in superficie o permane a scarsa profondità originando intensi fenomeni di idromorfia. Questo paesaggio coincide con la fascia delle risorgive ed è delimitato a nord dalla linea ideale che congiunge i primi fontanili e termina a sud ove questi si organizzano in corsi d'acqua veri e propri.
- Bassa pianura sabbiosa (LF): l'ambiente di questo sottosistema si estende a sud della fascia delle risorgive, fino alla valle del Po. È costituita da sedimenti a composizione sabbioso-limosa e ha una pendenza quasi nulla. L'attuale carattere pianeggiante del livello fondamentale è il risultato dell'applicazione di intense tecniche di livellamento su una morfologia in origine leggermente più ondulata. Indicativa di questa attività sono le particelle agricole spesso separate da gradini.

2. *Valli alluvionali (V)*

E' il paesaggio delle valli fluviali caratterizzate dalle incisioni dei corsi d'acqua (attivi o fossili) e dalle loro superfici terrazzate; in particolare la loro presenza nel comprensorio cremasco è legata ai depositi dei fiumi Adda e Serio. E' un ambiente in continua evoluzione poiché i corsi d'acqua continuano ad incidere o a sovralluvionare i propri depositi. L'Adda scorre nella parte occidentale della provincia, ha una valle ampia e un tracciato a canali intrecciati verso settentrione che diventa meandriforme dopo Crema. Oltre al fondovalle attuale, che è inciso di circa 10-15 metri rispetto al livello fondamentale, si trovano conservati dei terrazzi d'accumulo formati in diversi periodi durante la storia erosiva del fiume. Il Serio, affluente di sinistra dell'Adda, ha una valle meno ampia e soprattutto meno profonda delle precedenti; ai bordi delle valli sono presenti piccoli terrazzi di accumulo formati alcune migliaia di anni fa ed il regime idrografico passa da canali intrecciati a meandriforme. A sud della città di Crema il corso del Serio è cambiato per cause naturali in periodo medioevale, abbandonando la vecchia valle, oggi detta del Serio Morto. Si tratta di una valle terrazzata in cui in alcuni casi, nonostante l'intensa attività antropica, si riconoscono ancora i bordi delle scarpate. In questo paesaggio si distinguono il sottosistema delle superfici terrazzate (VT) e quello delle piane alluvionali inondabili (VA).

- Piane alluvionali inondabili (VA) : le piane alluvionali inondabili attuali o recenti si trovano lateralmente alla stessa quota dei principali corsi d'acqua (Adda, Serio) e rappresentano la piana di trascinamento in occasione degli eventi di piena; si sono originate con dinamica prevalentemente deposizionale. In questo ambiente i corsi d'acqua hanno un regime a meandri, tipico della media e bassa pianura dove il fiume ha in carico il materiale fine e conserva una limitata capacità erosiva che può diminuire ulteriormente innescando processi di deposito.
- Superfici terrazzate (VT): questo sottosistema comprende i terrazzi alluvionali non più inondabili, sospesi sulle piane alluvionali da cui sono separati mediante scarpate erosive;

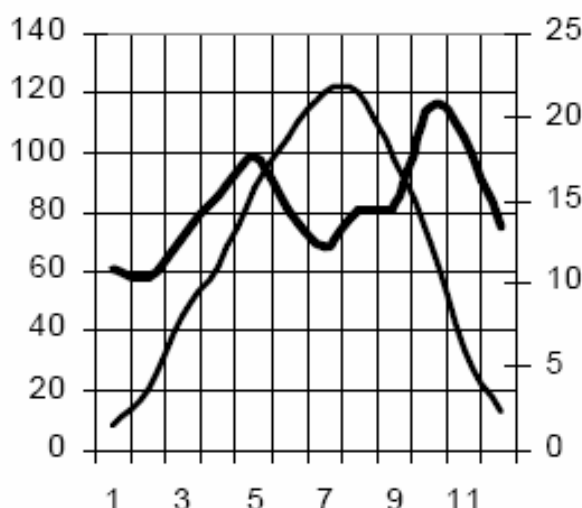
rappresentano precedenti alvei fluviali abbandonati in seguito ad una fase erosiva che ne ha provocato l'approfondimento. La genesi dei terrazzi richiede l'alternanza di fasi deposizionali ed erosive innescate dalle variazioni di portata dei corsi d'acqua e dalle ripetute variazioni del livello di base. Poiché i cicli erosivi spesso non determinano l'asportazione completa del deposito fluviale precedente, questi terrazzi possono presentare stratigrafie complesse dove quelli più bassi e più recenti ricoprono parzialmente quelli più alti ed antichi.

1.2 Caratteristiche meteorologiche

Da un punto di vista climatico la zona si trova in un ambito sub-continentale con inverni rigidi ed estati afose sebbene non si raggiungano picchi estremi come in altre regioni più interne del continente. In particolare le temperature medie giornaliere della provincia cremonese si attestano su valori invernali che raggiungono 1-2°C e valori estivi di 22-24°C garantendo una temperatura media annua tipicamente al di sopra dei 12°C.

Da un punto di vista delle circolazioni in quota, l'Europa è particolarmente interessata da perturbazioni atlantiche che seguono una direttrice suborizzontale da ovest ad est: in tale contesto è situata la Pianura Padana e la zona cremonese in esame che si trovano sotto la protezione fornita dalla catena delle Alpi. Tale posizione e la presenza di questa "barriera" naturale fanno sì che si instaurino regimi pluviometrici e climatici del tutto peculiari con l'alternarsi di fenomeni siccitosi nei periodi estivi e alluvionali in quelli autunnali, afa nei mesi più caldi, gelo e nebbie in quelli freddi invernali.

La fitta rete idrografica associata all'origine tendenzialmente paludosa dell'area fa sì che il tasso di umidità a bassa quota sia particolarmente elevato, fatto accentuato dalla scarsissima, spesso nullo regime anemologico. In tale contesto l'instabilità è fondamentalmente legata ai nuclei di aria fredda in quota provenienti dalle vallate alpine, flussi che si traducono in episodi temporaleschi di forte intensità a volte associati a grandine. Data la natura prevalentemente puntuale di tali fenomeni, i principali apporti idrici meteorici sul territorio sono forniti dalle cosiddette saccature, ossia campi di bassa pressione con isobare disposte a "v", prolungamenti di zone depressionarie più estese sul continente, ma soprattutto dai depressioni che si dipongono sottovento rispetto alle alpi. I flussi perturbati meridionali, di norma in transito da ovest verso est, sfruttano l'effetto barriera delle alpi e stanziano anche per diversi giorni sulla Pianura Padana scaricando ingenti quantità di pioggia. Al contrario, quando i flussi sono settentrionali, si assiste al fenomeno inverso: le alpi bloccano l'aria umida e provocano sulla Pianura condizioni di siccità prolungate venti caldi secchi (Foen).



Tav.1 – Andamento pluviometrico e termometrico della stazione meteo di Milano. Tipico regime "padano" con un massimo assoluto di piogge in autunno ed un massimo relativo in primavera

Partendo da quanto detto si giunge alla descrizione del regime pluviometrico relativo, tipico della Pianura Padana, con un massimo assoluto in autunno, un massimo relativo in primavera, un minimo assoluto in

inverno ed un minimo relativo in estate. In termini di precipitazioni cumulate annue (fig.10) il territorio in esame si trova in una fascia compresa tra le isoiete di 1000 e 900mm con un gradiente decrescente lungo l'asse principale della provincia NW-SE.

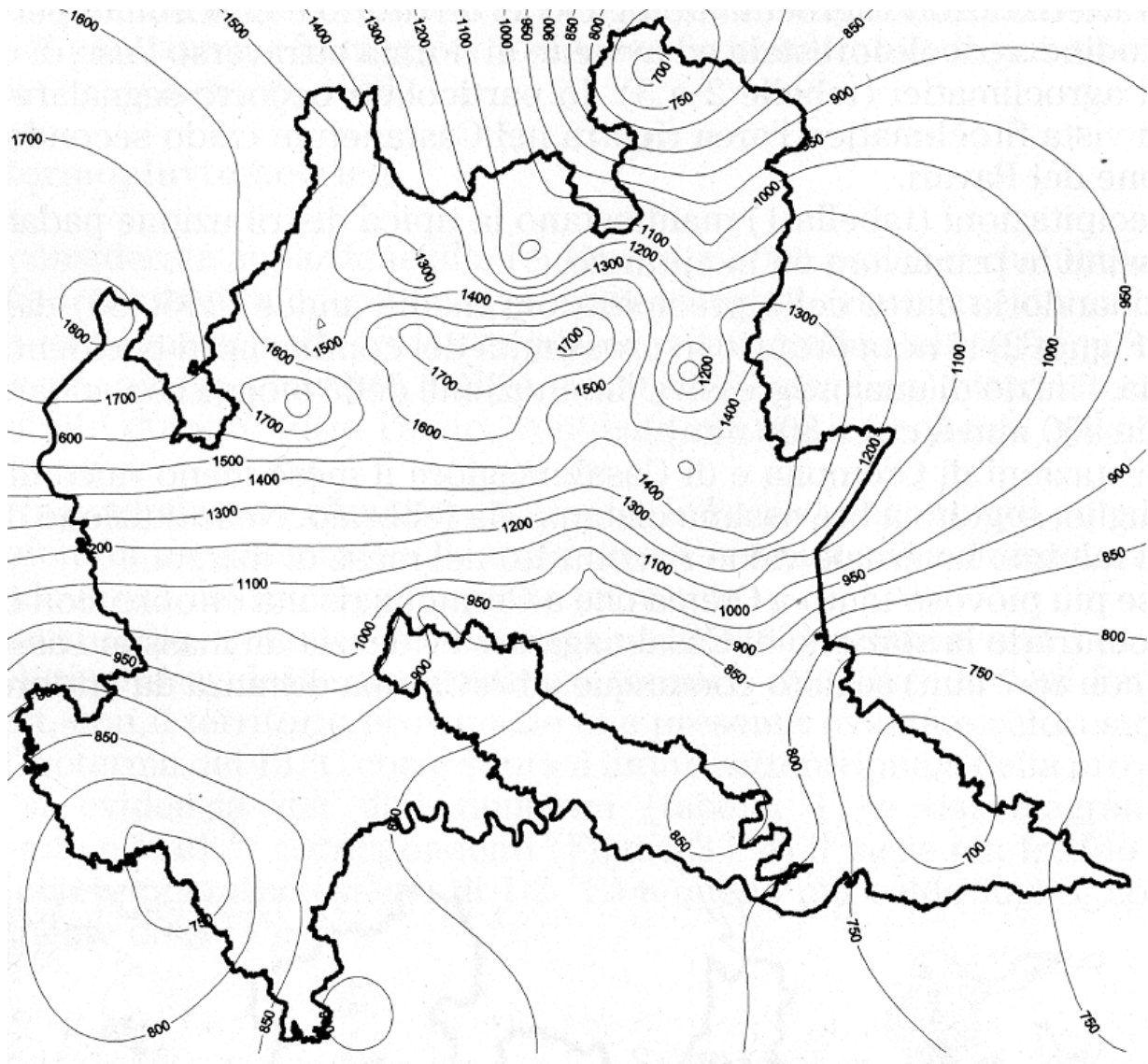


Fig.10 – Piogge cumulate annuali sulla Lombardia

2. *Le attività di governo delle acque superficiali e sotterranee*

2.1 *L'irrigazione*

La Pianura Padana Lombarda è caratterizzata da una abbondante disponibilità di acqua superficiale e sotterranea che ha permesso e favorito lo sviluppo antropico ed agricolo.

“Già nel primo secolo avanti Cristo la pianura Padana era caratterizzata da una ottima produzione agricola assistita da un’irrigazione fatta con canali e argini. La Pianura Padana subì, sin dal terzo secolo a. Cristo, la colonizzazione romana che portò alla costruzione non solo delle prime colonie, ma di strade e, per quanto a noi interessa, di aree coltivate, a scàpito di quella immensa foresta che, alternata ad estese paludi, ricopriva l’intera valle padana, dalle rive del grande fiume sino al limite delle nevi sui due versanti delle catene montane.”²

La realizzazione delle canalizzazioni aveva una molteplice funzione: igienica, energetica, militare, trasporto merci tramite i navigli, bonifica delle paludi ed irrigazione.

Mentre l’acqua sotterranea è stata irraggiungibile fino a fine Ottocento e quindi l’attingimento a questa risorsa si è sviluppato nell’ambito di una normativa, numerose sono state le vicende storiche connesse al privilegio dello sfruttamento delle acque superficiali.

Un episodio significativo, in cui l’acqua costituiva oggetto di contesa, è stata la Dieta di Roncaglia del 1157 tra i Comuni Lombardi e l’Imperatore Federico I detto “Il Barbarossa”. Quest’ultimo ottenne la podestà sui “*fulmina navigabilia et ex quibus fiunt navigabilia*” (i fiumi navigabili e quelli che, da questi, sono resi navigabili), un’ importante vittoria considerando che il trasporto sui navigli consentiva di trasportare carichi maggiori e più pesanti di quanto non fosse possibile fare sulle strade dell’epoca per mezzo degli animali da soma. D’ora in avanti l’acqua ha un proprietario che rivendica l’uso esclusivo di questa importante risorsa. Numerose furono le contese per assicurarsi l’uso esclusivo delle acque superficiali da parte di diversi soggetti pubblici e privati: dagli ordini ecclesiastici alle nobili famiglie alle comunità cittadine.

Nel territorio cremonese, dal XV secolo e per i successivi 4 secoli, i canali e le rogge sono appartenuti ai Marchesi Pallavicino, che hanno provveduto a migliorare ed ampliare la rete irrigua.

La tecnica irrigua non si diffuse con la stessa rapidità con cui procedette lo sviluppo dell’agricoltura infatti nel XVII secolo la superficie irrigua era pari a circa la metà delle aree coltivate. Un notevole impulso alla sua diffusione fu dato dalla nascita della scienza idraulica che rese possibile misurare l’acqua dispensata. Il problema fu risolto dal bresciano Benedetto Castelli (1577,1644), abate benedettino che per la prima volta realizzò che la misura dell’acqua corrente è proporzionale alla velocità della stessa nella sezione.

Nel Rinascimento, grazie alla consapevolezza che la disponibilità d’acqua è garanzia di un buon raccolto, si è ulteriormente ampliato il sistema di rogge e canali per merito delle pubbliche amministrazioni e delle nobili famiglie. Infatti queste avevano il potere di ottenere la concessione sull’uso delle acque, possedevano superfici abbastanza estese per la realizzazione dei canali ed ovviamente disponevano del capitale necessario per la sua realizzazione.

“Ma ancora a fine ottocento tutta l’acqua disponibile per l’agricoltura non era utilizzata interamente. Ne è esempio il caso, ultimo in ordine di tempo ma assai rilevante, del canale Pietro Vacchelli, realizzato tra il 1887 e il 1893: portatore oggi, nella pianura cremonese, di 38,5 metri cubi al secondo (che costituiscono il 34% del fabbisogno dell’intera provincia), che ebbe un avvio di richieste d’acqua così stentato da preoccupare gli allora amministratori del Consorzio. Le richieste d’acqua rispetto a tale canale esaurirono soltanto nel 1992 l’intera portata resasi disponibile nel corso del Novecento.”¹

² Il sistema irriguo – nascita ed evoluzione, Consorzio per l’incremento dell’irrigazione nel territorio cremonese, Ing. Stefano Loffi.



Fig.11 - Cariolanti e badilanti durante la costruzione del Canale Pietro Vacchelli nel 1888



Fig.12- Immagine del Canale Vacchelli nella zona dei Mosi di Bagnolo

La realizzazione del Canale Pietro Vacchelli e quindi la possibilità di disporre delle sue acque è stata anch'essa motivo di scontro. Il progetto del canale ideato dai cremonesi, sotto il protettorato milanese, mise in allarme i cremaschi, sotto il protettorato veneziano. Questi ultimi infatti temevano una possibile diminuzione delle acque del proprio territorio a vantaggio di quello vicino. La realizzazione di questo importante canale concludeva lo sviluppo delle grandi arterie irrigue del territorio cremonese.

Un'altra caratteristica, questa volta di natura territoriale, è stata la causa di accese diatribe. L'acqua prelevata dai fiumi nel cremasco è la stessa che, a monte, è già passata davanti alle prese dei canali bergamaschi e bresciani. In passato i bresciani e i bergamaschi vantavano il diritto di "traversata" cioè la possibilità di sbarrare

il corso d'acqua quando la risorsa scarseggiava. Un diritto che aveva ripercussioni pesanti su chi possedeva i territori "a valle".

Riflesso di questa storica evoluzione è la rete irrigua che tuttora è utilizzata e garantisce una fiorente agricoltura.

L'irrigazione ha l'importante compito di garantire l'apporto della quantità d'acqua necessaria alle colture quando queste ne hanno bisogno, infatti il suolo agrario non possiede la capacità di accumulare l'umidità per un periodo di tempo prolungato. Per fare ciò e per una ottimale gestione della risorsa idrica è oggi applicata la *distribuzione ad orario organizzata per le utenze di una stessa roggia in una ruota di dodici giorni*. Tutti i campi dispongono così dell'acqua irrigua in un orario prefissato. In questo modo si preleva l'acqua dai fiumi e dai fontanili in modo continuo evitando di sprecare l'acqua, garantendo alle colture l'apporto nel momento in cui ne hanno bisogno di una elevata portata d'acqua. Questo tipo di irrigazione è "a scorrimento": l'acqua immessa a monte scorre sul terreno verso valle. L'acqua in parte è assorbita dalle piante, in parte viene raccolta nei colli che a loro volta porteranno l'acqua ai campi più a valle ed in parte si infiltra andando ad alimentare la falda freatica che a sua volta alimenterà le risorgive e i fontanili. Insomma l'acqua che non viene direttamente assorbita dalle piante non è "persa" ma utilizzata più volte secondo il fenomeno del recupero delle colature. Questo fenomeno è tipico della *fascia dei fontanili* dove il livello piezometrico raggiunge quello della superficie del suolo per cui l'acqua, seppure con una pressione piccolissima, sgorga dal terreno e va ad alimentare la rete irrigua. La dotazione di questa fascia dipende da due fattori: l'apporto delle irrigazioni a scorrimento e la disponibilità di acqua nelle falde più superficiali.

Per riuscire a garantire la disponibilità di acqua nel momento del bisogno delle colture l'acqua viene immagazzinata e successivamente distribuita. Per questo motivo un elemento sul quale si basa l'Irrigazione lombarda è la regolazione a serbatoio dei grandi laghi prealpini, regolazione che avviene nel semestre estivo a favore delle utenze irrigue e nel semestre invernale per gli idroelettrici, posti lungo il percorso del fiume emissario.

La regolazione a serbatoio dei grandi laghi prealpini è un elemento fondamentale per la gestione del sistema irriguo cremonese. Negli anni compresi tra le due guerre mondiali furono a tal proposito realizzate le opere di sbarramento degli emissari dei grandi laghi prealpini di Iseo, di Como, Maggiore e Garda. Tramite queste opere è stato quindi possibile immagazzinare ingenti volumi di acqua sufficienti a garantire il regolare deflusso nei fiumi nel periodo estivo povero di precipitazioni. I fiumi Adda, Oglio, Ticino, Mincio e Chiese sono ora fiumi a regime semi-naturale dai quali prelevano le acque i canali derivatori che distribuiscono capillarmente sul territorio l'acqua irrigua. Sono quindi gli enti gestori che regolano le dighe mobili al punto di uscita del rispettivo lago, in base alle specifiche esigenze. Il territorio cremonese, anche da questo punto di vista, è diventato un territorio artificiale il cui equilibrio e corretto funzionamento è compito dell'uomo che lo ha modellato.

L'insieme delle rogge e dei canali che compongono il sistema è, infatti, il risultato di una incessante attività volta a mantenere la principale funzione irrigua. Diversi sono i soggetti che si occupano della gestione di questo sistema: soggetti pubblici come i consorzi di bonifica, soggetti privati come i consorzi di miglioramento fondiario e i consorzi di irrigazione come appunto il Consorzio per l'incremento dell'irrigazione cremonese.

"Il Consorzio rappresenta una singolarità in tutta Italia; esso è infatti l'unico ente nato in forza di una legge del 1873 che dava, e dà, facoltà agli enti locali di costituire Consorzi di Irrigazione. Nonostante il Consorzio sia espressione di 51 Comuni gode di natura privatistica ed è costituito in ente morale che opera senza scopo di lucro. Il Consorzio Irrigazioni Cremonesi è titolare, oltre che del canale Pietro Vacchelli, di una rete di altri canali principali per la distribuzione di acqua ai fini irrigui: la portata complessiva dispensata è di nominali 57,779 metri cubi al secondo che rappresentano circa il 35% di tutta l'acqua utilizzata nella provincia. Questa rete che si estende per circa 260 chilometri è localizzata nel territorio della bassa Pianura Padana e si sviluppa in tutta la provincia di Cremona e in una piccola parte della bassa pianura bergamasca. Le fonti di approvvigionamento idrico sono costituite dalle derivazioni dal fiume Adda, emissario del lago di Como, regolato alla traversa di Olginate, dal fiume Oglio, emissario del lago di Iseo, regolato alla traversa di Sarnico e infine dai fontanili, che separano idealmente in direzione est-ovest la provincia bergamasca da quella cremonese. Durante la stagione irrigua il Consorzio serve un comprensorio diretto di 64510 ettari, che diventa circa 85000 ettari tenendo conto di altri apporti sovrapposti e delle colature (comprensorio indiretto)."³

³ Progetto di gestione della rete di canali del Consorzio Irrigazioni Cremonesi per l'attivazione di salti d'acqua disponibili ai fini idroelettrici, Ing. Angela Nadia Sulis.

Il sistema di risorse idriche risulta essere quindi estremamente complesso e bisognoso di una attenta e coordinata pianificazione e gestione, considerando la pluralità di usi e la pluralità di soggetti coinvolti nella sua gestione. Questa esigenza è emersa ancor più chiaramente ad esempio in occasione della recentissima emergenza idrica verificatasi quest'anno.

Ma facciamo un passo indietro!

Le immense potenzialità dell'acqua sono ormai da tempo sfruttate dall'uomo secondo un complesso sistema di regole che vorrebbero garantire un equilibrio tra le esigenze dell'acqua in natura e quelle dell'uomo. Queste regole sono individuate dalla Polizia Idraulica, introdotta col Regio Decreto 523/1904. Il decreto del 1904 disciplina la tutela delle acque pubbliche e delle opere ad esse connesse. Un successivo decreto il 1775/1933 introduce un Elenco di Acque Pubbliche e fa corrispondere all'uso di acqua pubblica un atto di concessione, onerosa e temporanea, rilasciata dalla Pubblica Amministrazione. L'attività di vigilare sul corretto utilizzo delle acque e di rilasciare le concessioni è chiamata Polizia delle Acque ed è attualmente affidata alla Regione per le *grandi derivazioni* ed alla Provincia per le *piccole derivazioni*. Per grande derivazione ad uso irriguo si intende una portata maggiore a 1000 [l/s] o una superficie irrigua maggiore di 500 ettari. La legge 36/1994 conosciuta come legge "Galli" stabilì che *tutte le acque sono pubbliche*. Le letture di questo principio furono come sempre diverse. L'aver esteso a *tutte le acque* il carattere di bene pubblico non ha comportato però l'espropriazione dei contenitori delle acque. Essi restano nello stesso stato giuridico stabilito dalle leggi precedenti. Quindi continuano ad esistere:

- Canali (o corpi d'acqua) del Demanio Pubblico (appartenenti allo Stato o ad altri enti di diritto pubblico). Tra questi ci sono anche quelli degli elenchi di cui al R.D. 1775/1933;
- Canali (o corpi d'acqua) privati, ovvero dei quali il privato può dimostrare di possederne anche le aree sulle quali l'acqua scorre (o è contenuta);
- Canali in servitù d'acquedotto. In questo caso il corso d'acqua è segnato al Catasto come *acqua*, quindi senza numero né partita, né reddito, ma la proprietà è fissata al 50% tra i proprietari dei mappali immediatamente confinanti con l'acqua. Qualora il canale venisse interrato la sua linea di mezzeria costituirebbe il nuovo confine con le proprietà.

L'acqua è una risorsa limitata ma non riuscendo a quantificare la sua reale disponibilità le concessioni sono rilasciate con la nota *fatti salvi i diritti di terzi*. Prima di una nuova concessione andrebbero invece condotti specifici Studi di compatibilità ambientale, basati su dati attendibili e omogenei, così da valutare la sostenibilità del corpo idrico ad un ulteriore prelievo. Lo studio è tutt'altro che di facile effettuazione sia per la mancanza o disomogeneità dei dati che per la complessità dello stesso fenomeno idrologico. Com'è noto, esiste un moto di filtrazione e quindi una ricarica del corso d'acqua da parte della falda freatiche in funzione del livello della stessa. Inserendo un pozzo e pompando l'acqua si crea un abbassamento locale del livello piezometrico che, in funzione della portata emunta, può arrivare ad un livello tale da annullare la ricarica al corso d'acqua ed anzi il fiume va ad alimentare la falda! Il tutto si complica considerando l'elevato numero di pozzi esistenti.

Un ulteriore elemento, di cui ultimamente si parla tantissimo, è il famoso Deflusso Minimo Vitale. Il DMV è la quantità d'acqua che comunque deve essere garantita lungo il corso d'acqua per la salvaguardia dell'ambiente acquatico e non solo. In base al Piano di gestione del bacino idrografico o anche detto Piano di tutela delle acque (l.r. 26/2003) l'applicazione del deflusso minimo vitale comporterà una riduzione dei prelievi lordi da acque superficiali. Quindi meno portate per il settore irriguo senza tuttavia aver previsto una quantificazione dei danni economici derivanti. Vengono unicamente previste delle azioni per ridurre l'effetto della diminuzione di portate quali una possibile riduzione del 50% del DMV e azioni di tipo strutturale come l'ammodernamento delle reti con la riduzione delle perdite e la riconversione dei sistemi di irrigazione che tuttavia comporterebbe costi altissimi. Ci si chiede quindi cosa succederebbe nelle zone che si giovano delle colature per irrigare.

“In generale deve essere sottolineato che l'Irrigazione in Lombardia è di gran lunga il principale utente delle acque pubbliche dal punto di vista quantitativo ed il più compatibile dal punto di vista della sostenibilità dell'uso, poiché determina un deterioramento qualitativo delle acque (sia effettivo che potenziale) ben minore, in termini specifici, di qualunque altro uso; le compromissioni puntuali a volte generate dall'attività agricola non sono legate all'irrigazione, ed ai suoi consolidati metodi di gestione, bensì a comportamenti scorretti in quanto non conformi alla codificata Buona Pratica Agricola oltre che, ovviamente, alla normativa di tutela dell'Ambiente. Non solo: l'irrigazione svolge una funzione ambientale sostanziale per la vivibilità del territorio,

assicurando all'intera pianura una dotazione di acqua vitale per l'Ambiente, soprattutto durante la stagione estiva - di massima sofferenza per la flora e la fauna, nonché un'azione altrettanto irrinunciabile di ricarica dei serbatoi sotterranei dai quali è prelevata l'acqua per uso potabile, unico prevalente sull'uso irriguo ma da questo – e dalle altre attuali modalità di gestione – strettamente dipendente. Ogni valutazione che tenda a modificare – per legge cioè d'ufficio – tale realtà deve necessariamente darne in via preventiva la valorizzazione del rapporto costi-benefici.⁴

2.2 L'uso industriale e di forza motrice

L'acqua è prelevata e utilizzata dall'uomo per diverse finalità. Gli usi che se ne fanno possono essere ripartiti prevalentemente in: potabile, irriguo, industriale ed energetico. La priorità, riconosciuta dalla legge, sull'uso dell'acqua spetta a quello potabile che prevale sull'uso irriguo che a sua volta prevale sugli altri usi. La recente normativa ha imposto come prioritario l'uso ambientale, cioè la tutela della vita acquatica a cui deve infatti essere destinata una quota dei deflussi superficiali. In termini percentuali poco meno del 20% dei prelievi è destinata ad usi industriali ed energetici, poco meno del 20% ad usi civili e la restante è prelevata per uso agricolo.

L'uso comporta una trasformazione delle caratteristiche quali/quantitative ed uno spostamento nello spazio della risorsa. In questi termini l'uso civile ed industriale sono simili, nel senso che, l'acqua viene principalmente prelevata dalle falde profonde, che hanno acqua di buona qualità, usata e restituita in superficie. L'acqua restituita inoltre presenta generalmente caratteristiche qualitative significativamente peggiori rispetto all'acqua prelevata, il che rende l'acqua riutilizzabile soltanto dopo opportuni trattamenti.

I consumi idrici industriali risultano essere fortemente diversificati in relazione al tipo di attività industriale ed al tipo di specifico utilizzo dell'acqua nei vari cicli industriali. I settori maggiormente idro-esigenti sono il petrolchimico, il metallurgico, il tessile e quello alimentare. Negli ultimi anni il trend dei consumi idrici industriali è in diminuzione percentuale rispetto agli altri usi dell'acqua. Il fenomeno è dovuto al maggiore sviluppo delle industrie leggere rispetto a quelle pesanti (forti consumatrici d'acqua), all'introduzione di nuove tecnologie a basso consumo d'acqua e al sempre più diffuso impiego del riciclo dell'acqua nelle attività industriali.

L'uso idroelettrico non comporta consumi idrici o degrado delle caratteristiche di qualità dell'acqua (se non per un lieve aumento della temperatura); infatti dopo il suo utilizzo l'acqua viene restituita al corpo idrico. Il suo utilizzo comporta il solo spostamento nel tempo dei flussi (in quanto l'acqua è immagazzinata) ed il conseguente spostamento nello spazio (in quanto l'acqua defluisce a valle tramite condotte forzate). Questo tipo di uso risulta, tuttavia, spesso in conflitto con gli altri usi della risorsa, prevalentemente con quello irriguo. I bacini di invaso idroelettrici accumulano l'acqua nei mesi estivi per poi scaricarla in quelli invernali in cui sono massime le richieste energetiche. Il sistema agricolo ha esigenze diametralmente opposte, in quanto, la domanda risulta essere massima in estate. In Lombardia questo conflitto è gestito dagli enti gestori dei grandi laghi prealpini.

⁴ Organizzazione e pianificazione delle risorse fisiche, Consorzio per l'incremento dell'irrigazione nel territorio cremonese, Ing. Stefano Loffi.

2.3 L'uso potabile

Il problema maggiore posto dagli usi civili dell'acqua è dovuto al fatto che l'approvvigionamento idrico delle abitazioni è effettuato mediante il prelievo, l'adduzione e la distribuzione di un solo tipo d'acqua da parte dell'acquedotto. Dovendo l'acqua erogata essere utilizzata anche per scopi potabili, essa dovrà ovviamente soddisfare i requisiti di qualità più esigenti della potabilità anche se, in massima parte, viene impiegata per altri usi, i quali non richiedono requisiti di qualità elevati come quello potabile. Ciò comporta che l'acqua erogata dagli acquedotti debba essere prelevata da fonti sotterranee opportunamente protette oppure, nel caso in cui si prelevi da acque superficiali, l'acqua deve essere sottoposta a trattamenti di potabilizzazione. L'uso improprio di acqua potabile costituisce la causa principale del progressivo impoverimento della disponibilità di acque sotterranee, determinando delle situazioni di carenza idrica. Il decreto legislativo 152/1999 aveva provato a risolvere questa situazione, prescrivendo che si dovesse iniziare a costruire una doppia rete di distribuzione. La rete duale è composta da una rete destinata alla distribuzione di sola acqua per usi potabili e un'altra destinata alla distribuzione di acqua con caratteristiche qualitative meno elevate per usi non potabili. Le difficoltà per la realizzazione di una rete duale sono elevate, principalmente per un problema di tipo finanziario. L'impegno economico necessario per la sua realizzazione è elevatissimo soprattutto negli insediamenti già esistenti. Un mezzo per incentivare questo tipo di opera potrebbe essere una riduzione della tassa comunale sugli immobili provvisti di una doppia rete. In parallelo alle reti duali domestiche dovrebbe, inoltre, corrispondere la nascita, progressivamente alla sostituzione delle condotte, della rete duale urbana.

3. *L'agricoltura*

3.1 *L'evoluzione del sistema agricolo*

Il territorio Cremasco, come si può vedere dalla carta della capacità d'uso dei suoli fig. 13, è caratterizzato da una ottima propensione alle attività agricole infatti si può notare che, già alla fine dell'Ottocento, l'area risultava completamente coltivata e pressoché assenti le aree boscate (fig. 14 *Forme di utilizzazione del suolo alla fine dell'ottocento così come sono state riprodotte dalle tavolette della prima levata IGM*).

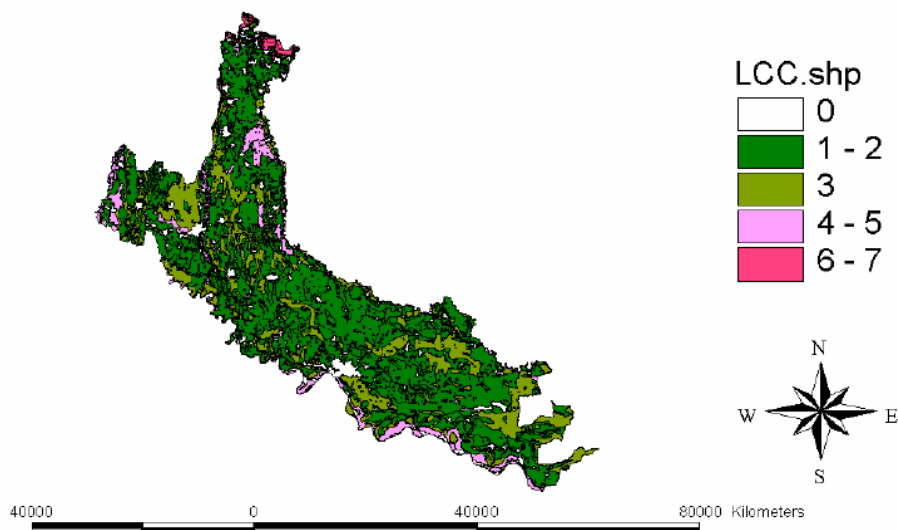


Fig.13 - *Capacità d'uso dei suoli del Comprensorio Cremasco (Ersal).*

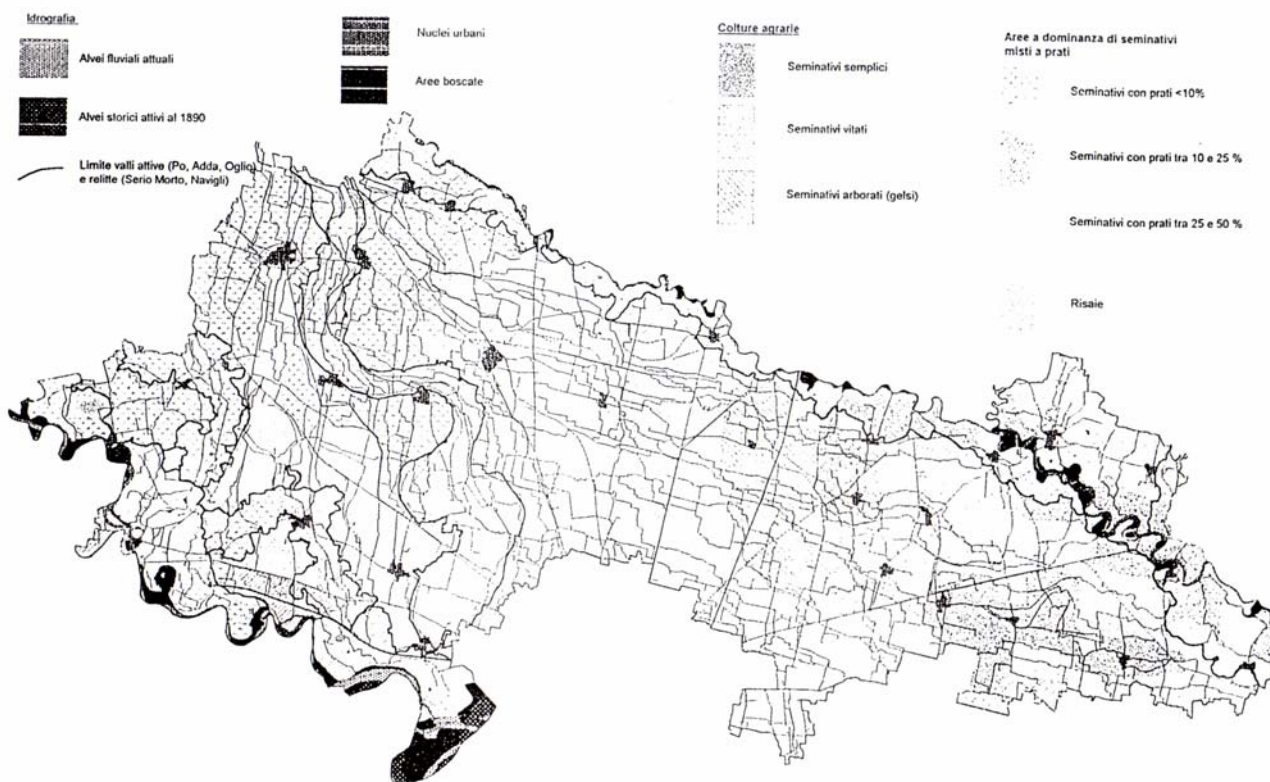


Fig.14 - *Uso del suolo nella cartografia del 1890.*

La diffusione dell'attività agricola è stata inoltre fortemente favorita dall'abbondante disponibilità di acqua per l'irrigazione, garantita dai fontanili e da una fitta rete di canali e rogge. Basti pensare che già intorno al XII secolo iniziarono i grandi lavori di regimazione delle acque, di bonifica ed incanalamento, soprattutto ad opera di ordini religiosi e di ricche e nobili famiglie locali che crearono la fittissima rete irrigua cremasca. Questo fitto reticolo irriguo ha fatto sì che per secoli il "fattore irrigazione" non sia stato un elemento limitante della produzione ma anzi abbia enormemente aumentato la produttività e la fertilità.

Nel «Rapporto della Commissione nominata dal Ministero dei Lavori Pubblici per lo studio e la ripartizione delle acque dell'Adda fra i canali Muzza, Ritorto e roggia di Cassano» edito nell'anno 1893, emerge come si sia sviluppato il sistema di coltivazione. Mentre fino ai primi secoli del Novecento il sistema agricolo si basava prevalentemente su coltivi in forma stabile prevalentemente di cereali e foraggio si è poi andato diffondendosi nel Pandinese e Cremasco il sistema chiamato «Ruota Agraria Lodigiana». Questo sistema agricolo era basato sull'avvicendamento delle varie coltivazioni in un ordine stabilito e aveva durata 7 anni. L'applicazione di questo sistema agricolo è stato soggetto a varie modificazioni nell'ordine e nelle proporzioni in funzione della natura del terreno, della sua estensione e delle esigenze del coltivatore.

| Coltura | Anni |
|---|-------------|
| <i>Prato</i> | 4 |
| <i>Lino, poi mais quarantino o miglio</i> | 1 |
| <i>Granoturco</i> | 1 |
| <i>Frumento poi spianata</i> | 1 |

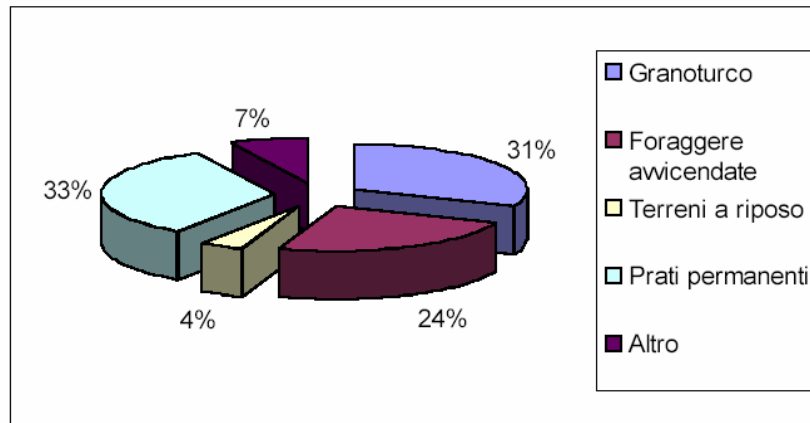
Tab.1 - Ruota Agraria Lodigiana

3.2 La situazione attuale

Il territorio del Comprensorio Cremasco, analogamente alla maggior parte del territorio lombardo, è destinato ad uso agricolo ed è caratterizzato dall'elevata presenza dei seminativi e di prati stabili. Come ci conferma l'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia nel Progetto «Carta Pedologica», l'orientamento produttivo delle aziende agricole del Cremasco è essenzialmente di zootecnia da latte. Di conseguenza il paesaggio agrario dell'area esaminata è caratterizzato dalla presenza di colture foraggere o di mais da granella o da trincia. Le superfici delle principali colture del territorio, in base all'ultimo censimento ISTAT del 2003, sono ripartite come di seguito sintetizzato:

| Coltura | Estensione in % di SAU del Comprensorio |
|-----------------------|--|
| Prati permanenti | 33 % |
| Granoturco | 31 % |
| Foraggere avvicendate | 24 % |
| Terreni a riposo | 4 % |

Tab.2 - Ripartizione della SAU (Superficie Agricola Utile) tra le principali colture



Tav.2 - Ripartizione della SAU (Superficie Agricola Utile) tra le principali colture

I prati permanenti sono la coltura maggiormente diffusa, sicuramente favoriti dall'abbondante disponibilità di acqua garantita dalla fitta rete di canali e fontanili. Purtroppo anche i prati stabili, nel corso degli ultimi anni, sono stati gradualmente sostituiti da colture maggiormente produttive, in quantità di prodotto per ettaro coltivato, come il mais da trinciato e prati avvicendati principalmente di erba medica. Resta oggi così più caratteristica della zona la monocoltura di mais e l'avvicendamento stretto, dominato dal mais in coltura principale estiva, orzo e frumento tra i cereali autunno-primaverili, con inserimento di colture intercalari. Per quanto riguarda l'orientamento produttivo delle aziende agricole, oltre a quello zootecnico da latte hanno assunto un ruolo rilevante anche quello di suini e avicoli. L'originalità agricola di quest'area si può quindi individuare nella diffusione delle colture a prato stabile e nella vocazione zootecnica soprattutto nell'ambito della filiera lattiero-casearia; proprio queste sue caratteristiche hanno fatto in modo che il territorio Cremasco si sia sviluppato e conservato come ambiente qualificato.

3.3 L'evoluzione socio-economica e i probabili scenari futuri a medio termine

Dalla metà del secolo ventesimo ad oggi l'agricoltura cremasca, similmente a quella delle aree di pianura, ha subito un stravolgente processo di trasformazione, tanto che l'agricoltura di allora è chiamata "vecchia" e quella attuale "nuova". L'impresa agricola era gestita da una famiglia che possedeva i fattori di produzione, la terra e il lavoro, era impossibile controllare la variabilità delle produzioni così che, per ridurre i rischi, l'orientamento produttivo era caratterizzato dalla contemporanea presenza di numerose produzioni. Il mercato aveva una dimensione locale e i prodotti venivano reimpiegati direttamente dall'agricoltore nei propri processi produttivi. Negli anni '60 lo sviluppo del progresso tecnico in agricoltura ha portato alla meccanizzazione e all'utilizzo di prodotti chimici. L'utilizzo di macchinari meccanici potenti e sofisticati ha ridotto notevolmente la necessità di manodopera così che si è visto un progressivo spopolamento delle campagne, favorito, a sua volta, dall'esponentiale crescita del costo della mano d'opera. Inoltre, essendo l'uso di siffatti macchinari maggiormente remunerativo su campi di superficie sempre più estesa si è provveduto all'eliminazione di fossi e coli e degli elementi arboreo-arbustivi ai margini dei coltivi. Il modello dell'agricoltura intensiva ha quindi mutato l'assetto territoriale/paeaggistico e soltanto in alcune aree del Cremasco resistono tuttora prati stabili, filari e fossi irrigui da fontanili in rapida successione, prima diffusi ovunque in quel territorio; infatti, mentre in quasi tutta la Lombardia le aziende tendono ad assumere dimensioni sempre più grandi, nel Cremasco rimangono le dimensioni medie ed anche medio-piccole, probabilmente dal profilo non economico se considerate a sé stante ma spesso fonti di reddito supplementare o in regime di affitto a comporre aziende di maggior superficie complessiva. In linea con il resto della pianura padana sono invece il progressivo abbandono della rotazione colturale, la diffusione della monocoltura del mais e la conseguente cancellazione delle altre colture, come ad esempio le marcite (fig. 16) presenti ormai solo in forma residua.



Fig.15 - La «nuova» agricoltura, mezzo meccanico all'opera.



Fig.16 - Originarietà agricola: le marcite (da Provincia di Cremona).

Recentemente numerosi altri fattori hanno portato a cambiamenti culturali e di assetto del territorio rurale che tendono ad un mutamento dell'originarietà paesaggistica dell'area. Per contrastare questo fenomeno e per la tutela e valorizzazione del territorio rurale si muove la pianificazione del territorio rurale. L'esigenza è di attuare una pianificazione tesa alla conservazione dinamica dell'uso agricolo del suolo. Il suolo infatti è una risorsa non rinnovabile per cui una volta urbanizzato non può più essere reimpiegato per la produzione agricola. Inoltre nella competizione dell'uso del suolo tra agricolo, urbano od industriale quello agricolo risulta il meno competitivo per ragioni ovviamente legate alla minor produzione di valore aggiunto per unità di superficie. Ed infatti il processo di sviluppo urbano ed industriale si dimostra un forte consumatore di suolo agricolo, quest'ultimo considerato quale serbatoio areale 'ad esaurimento', piuttosto che risorsa da sacrificare solo in caso di assoluta necessità. Legato al processo di sviluppo economico vi è il consumo di terra legato alle infrastrutture accessorie e di collegamento che comportano sia un consumo diretto di superfici che indiretto, causando la frammentazione di aree residuali non più interessanti alla buona conduzione agricola. L' estensione della Superficie Agricola Utile continua a diminuire come è dimostrato nella tab. 3.

| | 1996 | 1997 | 1998 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>SEMINATIVI</i> | 770.492 | 766.488 | 759.488 |
| CEREALI | 435.463 | 423.218 | 413.561 |
| - Frumento | 53.992 | 46.859 | 50.119 |
| - Mais | 241.532 | 244.280 | 236.710 |
| - Riso | 98.985 | 97.259 | 94.218 |
| - Altri | 40.954 | 34.820 | 32.514 |
| INDUSTRIALI | 99.653 | 125.826 | 133.831 |
| - Oleaginose | 58.144 | 79.901 | 88.413 |
| - Barbabietola da zucchero | 24.564 | 29.945 | 29.364 |
| - Orticole | 16.658 | 15.980 | 16.054 |
| FORAGGERE AVVICENDATE | 207.439 | 195.205 | 189.023 |
| TERRENI A RIPOSO | 27.490 | 21.726 | 22.560 |
| FLORICOLE | 447 | 513 | 513 |
| ARBOREE (<i>Vite e fruttiferi</i>) | 34.903 | 34.638 | 34.638 |
| FORAGGERE PERMANENTI | 292.259 | 288.315 | 288.315 |
| ALTRI UTILIZZI | 9.999 | 10.000 | 10.000 |
| TOTALE SAU | 1.107.653 | 1.099.551 | 1.092.441 |

Tab.3 - Superficie Agricola Utile nel periodo 1996 - 1998

Nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Cremona è espressa la necessità di individuare uno sviluppo sostenibile che salvaguardi le peculiarità agro/ambientale del territorio cremasco. Nel capitolo su "La Valorizzazione del paesaggio agricolo" si individuano gli indirizzi strategici del territorio cremonese cioè la necessità di:

- "- tutelare i filari arborei ed arbustivi esistenti e favorire la ricostruzione di quelli che segnano il confine delle suddivisioni poderale o la trama di elementi storici quali le strade, le ferrovie ed i corsi d'acqua;*
- tutelare e valorizzare le rogge ed i fontanili, ripristinando le condizioni funzionali dove queste siano deteriorate;*
- favorire, nelle aree di risorgenza idrica, la conduzione ed il ripristino dei prati stabili e delle marcite, compatibilmente con gli indirizzi agronomici e le valenze naturalistiche dell'area, nell'ottica di una maggior salvaguardia del bene acqua."*

L'obiettivo del PTCP di Cremona è indirizzare uno sviluppo sostenibile, capace cioè di limitare il consumo di suolo agricolo e di tutelare il paesaggio rurale di pregio compatibilmente con le esigenze socio-economiche ed insediative.

Nella recente Legge Regionale per il Governo del Territorio, del 11 Marzo 2005 n°12, viene individuata la necessità da parte del PTCP di individuare le aree agricole e di definire norme per la loro gestione d'uso e tutela paesistico-ambientale.

L'articolo 15 comma 4 della suddetta legge stabilisce infatti che *"Il PTCP definisce gli ambiti destinati all'attività agricola analizzando le caratteristiche, le risorse naturali e le funzioni e dettando i criteri e le modalità per individuare a scala comunale le aree agricole, nonché specifiche norme di valorizzazione, di uso e tutela, in rapporto con strumenti di pianificazione e programmazione regionali, ove esistenti."*

Resta quindi evidente la necessità di indirizzare l'evoluzione del sistema agricolo e dell'uso del suolo agricolo contemperando in modo più sostenibile le esigenze di conservarne la presenza significativa nel territorio.

Non mancano, come abbiamo visto, gli indirizzi legislativi e di pianificazione, ma essi non sono da soli sufficienti: devono infatti essere chiariti e fatti propri negli strumenti di attuazione della pianificazione i valori che accompagnano l'attività agricola affinché quest'ultima non si trovi considerata semplicemente quale fonte di ricchezza, in questo perdente di fronte a tutte le altre attività economiche, ma quale elemento di conservazione dell'ambiente rurale, fatto anche di valori ambientali, paesaggistici, culturali e storici a volte addirittura da considerare non negoziabili.

Ma l'ambiente rurale è senz'altro figlio di questo tipo di agricoltura che trova nell'acqua abbondante il motivo della sua evoluzione e la prima garanzia della sua conservazione: non sarebbe possibile, infatti, conservare le peculiarità paesaggistico/territoriali della campagna cremasca se ovunque si diffondesse, per esempio, l'uso delle irrigazioni ad aspersione, a mezzo dei tralicci su ruote cosiddetti *pivot*. Tralasciando le considerazioni economiche di una tale diffusa 'rivoluzione colturale' nonché le incertezze idrologiche di un serbatoio freatico chiamato ad erogare portate allo stesso non affluenti, è evidente la ripercussione inaccettabile sull'aspetto paesaggistico: il paesaggio infatti si presenterebbe come una selva di tralicci metallici, lunghi a volte anche alcune centinaia di metri, posti ad una altezza di quattro/cinque metri sul piano campagna, in campi di grandi dimensioni e perfettamente orizzontali, con conseguente distruzione del reticolo idrografico secondario. Il danno al paesaggio ed alla sua morfologia, per quanto evidentissimo, sarebbe ben poca cosa perché ad esso si accosterebbe un effetto ben più deleterio: la distruzione del reticolo idrografico ma ancor più la cessata necessità da parte dell'agricoltura di mantenere efficiente l'intero intrico dei canali di irrigazione e di drenaggio porterebbe ad uno squilibrio idraulico ed idrologico oggi neppure immaginabile, al quale dovrebbe far fronte una comunità assolutamente avulsa ed inadatta ad assolvere tali funzioni.

Ecco allora la necessità di lasciare all'agricoltura schemi, metodi e compiti che essa svolge egregiamente da secoli, e che, come già detto, costituiscono normali attività che ne sostengono la moderna eccellente produttività, cioè non costituendo un fattore limitante.

La conservazione degli schemi e delle geometrie dell'attuale sistema irriguo impone che sia conservata la caratteristica sostanziale: la disponibilità dell'acqua. Se essa è abbondante, cioè in alcune zone disponibile in quantità superiore alle necessità, si deve considerare che questa maggior dotazione è stata oggetto di grande attenzione nel passato, con la realizzazione di reti di colo e di successiva irrigazione di secondo livello in grado di riprendere gli esuberanti delle terre sovrastanti e di riutilizzarli per i terreni posti a minori quote, in un ciclo di dispersione e recuperi che può portare al riuso di acqua per più di due/tre volte.

Ci sono infatti interi settori della rete irrigua noti agli imprenditori agricoli del luogo perché in grado di assicurare una adeguata dispensa soltanto quando iniziano le irrigazioni in aree, altrettanto note, poste idrologicamente a monte. "Sino a quando non iniziano ad irrigare in quella zona qui non giunge che un rigagnolo inutilizzabile." Così molti agricoltori rispondono alla domanda: quando arriva l'acqua in questo fosso?

L'importanza di conoscere gli effetti della circolazione delle acque irrigue nel comprensorio diretto, cioè in quelle aree che si giovano di portate direttamente derivate dai fiumi, è strategica per ogni decisione che dovesse essere assunta in ordine alla modifica idrografica o colturale di area vasta. Ridurre derivate dai fiumi, impermeabilizzare o deviare un tratto di canale, modificare le modalità di irrigazione, diffondere colture con esigenze irrigue assai differenti dalle attuali sono operazioni che reclamano l'attenzione profonda e costante dei decisori territoriali, soprattutto dei dediti alla gestione delle acque e dei grandi interventi infrastrutturali. Interrompere o semplicemente alterare la connessione tra il comprensorio diretto e l'indiretto, quest'ultimo da secoli strutturato per utilizzare le acque esuberanti del primo, può significare togliere a vaste aree acqua che non può essere sostituita altrimenti, innescando un processo di caccia alla risorsa, ad ogni costo, che costituisce un pericoloso processo a catena delle cui conseguenze si può avere chiare evidenze soltanto in situazioni non più recuperabili.

Se è importante, come è in realtà, conoscere con precisione l'interconnessione tra le aree del comprensorio irriguo diretto e quello indiretto, dove in questo è da considerarsi anche la parte che si alimenta dai fontanili (che altro non sono se non punti artificiali di captazioni di acque permeate nei terreni sovrastanti) è altresì inevitabile produrre dati significativi, cioè rilevamenti sistematici di punti particolarmente espressivi dei fenomeni idrologici della circolazione superficie/sottosuolo/superficie.

Questo studio, lungi dall'essere quell'attività di area vasta e di lungo periodo che qui possiamo soltanto auspicare, vuole essere esemplificativo delle connessioni tra aree irrigate con acque 'vive' ed aree che di queste acque vive captano le esuberanze, attraverso un sistema costruito, con il passo dei secoli, proprio a tale funzione.

Cosa può succedere se in questo equilibrio si portasse una causa di permanente 'disturbo'?

L'anno di eccezionale siccità, durante il quale questo studio è stato condotto, ha consentito, tra molte difficoltà non preventivabili, di portare a considerazioni 'sul campo' di quali effetti possano portare, al comprensorio indiretto, le riduzioni della dispensa nei comprensori diretti, delle quali già si parla quale miglior sistema per garantire il Deflusso Minimo Vitale nei fiumi che può rischiare di tradursi in perdita dell'Afflusso Minimo Vitale per estese aree coltivate.

4. *La Multifunzionalità del mondo rurale*

L'utilizzo agricolo del territorio è sicuramente un'importante attività economica, ma riveste un ruolo fondamentale anche dal punto di vista della manutenzione del paesaggio. L'attività agricola è un fondamentale presidio per la tutela e la salvaguardia del territorio, soprattutto se si considera che i nostri territori agricoli sono quasi interamente ecosistemi artificiali. L'uomo, infatti, nel corso dei secoli, per incrementarne la fertilità e l'estensione areale sfruttabile, ha modellato il territorio che ora è "dipendente" dall'uomo perché non più in grado di autosostenersi.

Soprattutto nelle aree caratterizzate da elementi di marginalità la presenza dell'uomo garantisce una riduzione dell'accrescimento dei fattori di degrado.

L'incidenza della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) sulla superficie territoriale complessiva può essere presa come indicatore per la valutazione dell'evoluzione dell'utilizzo agricolo. Poiché l'agricoltura è un'importante attività di conservazione e gestione del territorio l'evoluzione della SAU è in grado di fornirci informazioni sulle trasformazioni in atto nel territorio e sui fenomeni che si potrebbero verificare in futuro.

La dinamica riferita ai quindici anni precedenti il 1997 dell'utilizzo della superficie territoriale lombarda indica che la Superficie agraria e forestale si è contratta in assoluto di circa 60.000 ettari, pari al 3% circa, mentre la Superficie agricola utilizzata (SAU) nello stesso periodo ha subito una contrazione di poco meno di 100.000 ettari passando da 1.194.828 ha a 1.099.551 con un calo di circa 8%.

Nello stesso periodo di tempo la superficie a boschi è invece aumentata dell'8%, passando da 473.862 a 513.537 ha. Quindi si è verificata una contrazione significativa della SAU dovuta da una parte all'aumento della superficie forestale, legata all'abbandono dei territori e dall'altra legata ai bisogni urbani ed infrastrutturali. L'aumento delle superfici boscate è anche dovuto alla politica comunitaria che, attraverso il Piano di Sviluppo Rurale (oggi in essere nella tornata 2000/2006) ha favorito, finanziandolo, lo sviluppo di coltivazioni d'alto fusto, sia produttivo (ventennale di essenze pregiate o per produzione di biomassa) sia conservativo/naturalistico (rinaturalizzazione di aree agricole).

| dati in ettari | 1982 | 1987 | 1992 | 1997 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Superficie agricola utilizzata (SAU)</i> | 1.194.828 | 1.176.306 | 1.144.216 | 1.099.551 |
| <i>Boschi</i> | 473.862 | 492.276 | 497.063 | 513.537 |
| <i>Altri terreni</i> | 224.891 | 214.481 | 205.206 | 221.414 |
| <i>Superficie agraria e forestale (SAF)</i> | 1.893.581 | 1.883.063 | 1.846.485 | 1.834.502 |
| <i>Superficie improduttiva</i> | 492.274 | 502.792 | 539.370 | 551.353 |
| <i>Superficie territoriale</i> | 2.385.855 | 2.385.855 | 2.385.855 | 2.385.855 |

Tab. 4 - *Dinamica dell'utilizzo della superficie territoriale lombarda (Regione Lombardia)*

L'orientamento comunitario, inoltre, concorre all'evoluzione della superficie coltivata attraverso i nuovi schemi di intervento della politica agricola comunitaria (PAC), approvata nell'ambito di Agenda 2000. La nuova PAC è orientata verso gli interessi dei consumatori e lascia gli agricoltori liberi di produrre ciò che è richiesto dal mercato, in modo tale da evitare l'accumulo di produzioni inutilizzate. Tuttavia, per evitare l'abbandono della produzione, gli Stati possono scegliere di mantenere ancora una certa correlazione tra sovvenzioni e tipologie di produzione entro limiti definiti. La concessione di questo nuovo "pagamento unico per azienda" sarà subordinata al rispetto delle norme in materia di salvaguardia ambientale, sicurezza alimentare e protezione degli animali.

I fondi che si renderanno reperibili grazie alla riduzione dei pagamenti diretti a favore delle grandi aziende saranno messi a disposizione degli agricoltori per realizzare programmi in materia di ambiente, qualità o benessere degli animali.

Il sostegno allo sviluppo rurale previsto dalla politica comunitaria persegue il triplice obiettivo di:

- accrescere la competitività del settore agricolo e forestale sostenendo la ristrutturazione, lo sviluppo e l'innovazione;
- valorizzare l'ambiente e lo spazio naturale sostenendo la gestione del territorio;
- migliorare la qualità di vita nelle zone rurali e promuovere la diversificazione delle attività economiche.

Dagli obiettivi che si è preposta la comunità europea appare chiaro come all'agricoltura oggi sia richiesto di assumere una nuova e importante funzione sociale e ambientale cioè non solo di produrre derrate alimentari

in grandi quantità, ma anche di fornire prodotti di qualità che rispettino l'ambiente e promuovano, anche in aspetti non propriamente agricoli (culturali, sociali, turistici, etc), il territorio in cui sono stati prodotti: questa è l'essenza del concetto di Agricoltura multifunzionale.

Un'agricoltura è multifunzionale se oltre ai prodotti sa anche fornire molteplici servizi, promuovere e valorizzare il territorio e difendere l'ambiente. Per muoversi in questa direzione si deve analizzare il territorio individuando e valorizzando le sue vocazioni e caratterizzazioni e verso queste orientare la produzione.

La nostra società richiede, inoltre, al territorio agricolo di offrire possibilità di svago e cultura. Sempre di più aumenta il numero di persone che apprezzano la vita all'aria aperta e il contatto con la natura; è un turismo mirato che può trovare soddisfazione principalmente nell' agriturismo ma anche ad esempio nei percorsi eno-gastronomici. I cittadini, da una parte, possono usufruire del patrimonio agricolo, imparare a conoscere ed apprezzare i prodotti locali (gastronomici e artigianali) e le lavorazioni ad essi legate, mentre gli agricoltori dall'altra promuovere i propri prodotti e trarne un profitto integrativo.



Fig.17 - Pista ciclabile lungo il Canale 'Pietro Vacchelli'

Il turismo potrebbe trovare un ulteriore incentivo mediante l'individuazione degli elementi di 'natura storica', cioè di evoluzione della civiltà, che caratterizzano il paesaggio agrario e la promozione del recupero e della riqualificazione del patrimonio architettonico rurale, come ad esempio le cascate rurali e, caratteristica del territorio cremasco, il patrimonio di rogge, di manufatti idraulici, di mulini, macchine idrauliche e di fontanili.

Un altro dei compiti principali che ci si aspetta dall'agricoltura è quello di difendere le risorse naturali non rinnovabili operando in modo sostenibile con l'ambiente.

Sono appunto questi i principi della più moderna agricoltura che a volte si identifica – in modo restrittivo – nell'aggettivo 'biologica' ma che invece dovrebbe ricomprendersi nel più generale e comprensivo termine di 'agricoltura multifunzionale sostenibile', sviluppata per dare una corretta soluzione ai problemi ambientali e agronomici, compatibilmente con le esigenze del mercato e del territorio. Si cerca quindi di migliorare la produzione e nel contempo ridurre gli impatti negativi sull'ambiente e lo spreco di risorse non rinnovabili per ripristinare l'equilibrio esistente tra il territorio e le specie che lo popolano.



Fig.18 - Biodiversità in una zona di pregio naturalistico

Conformemente alle indicazioni comunitarie e verso un potenziamento del ruolo multifunzionale dell'agricoltura la Regione Lombardia ha emanato il già ricordato Piano di sviluppo rurale 2000-2006. "In particolare, il Piano intende muoversi verso il raggiungimento di tre obiettivi diversi:

- sul versante economico, il rafforzamento e lo sviluppo di quell'ampia porzione di aziende agricole e del comparto agro-alimentare, per la quale è necessario assicurare adeguati livelli di competitività;
- sul versante sociale, lo sviluppo di un insieme di iniziative destinate a permettere il permanere di attività imprenditoriali agricole anche nelle aree meno vocate, o caratterizzate da forti fattori limitanti, a tutela dell'equilibrio dell'intero territorio regionale;
- sul versante ambientale, valorizzare le funzioni multiple dell'agricoltura, ed in particolare conservare dell'ambiente e del paesaggio agricolo, evitando deleterie forme di abbandono dei terreni a minore produttività e favorendo una positiva relazione con il territorio delle colture intensive".

Attraverso la multifunzionalità si intende garantire le condizioni sostenibili di sviluppo del settore agricolo, caratterizzato da una forte relazione tra terreni agricoli e urbanizzati e da una straordinaria ricchezza di prodotti tipici.

La multifunzionalità è la possibilità per ridare vita ad un'agricoltura in declino acquistando voce in ruoli sinora alla stessa avulsi (cultura, turismo, tempo libero) e quindi maggior quota nel condiviso apprezzamento del ruolo sociale ed ambientale che le appartiene.

Parte II

Il governo delle acque

5. *L'organizzazione dei comprensori irrigui*

5.1 *I Comprensori di Bonifica e Irrigazione*

Nel 1984, la Lombardia si dota della legge n. 59 “Riordino dei Consorzi di Bonifica”, che regola l’attività di bonifica. La pianura lombarda viene così suddivisa in Comprensori di bonifica, riorganizzando i territori sui quali già operavano i Consorzi di Bonifica esistenti, che hanno origini antichissime, ed istituendo, dove assenti, nuovi Consorzi. L’attività di delimitazione di queste aree, trovò ostacoli che si confusero tra situazioni storiche, culturali, territoriali ed esigenze politiche. La delimitazione di un territorio, da definire con criteri comunque idrologici, ben difficilmente può ignorare la presenza dei grandi fiumi e dei loro bacini, ma questi ultimi altrettanto difficilmente coincidono con suddivisioni territoriali, su basi storico-culturali ed amministrative. Non ultimo la nascita di nuovi Consorzi portava, a volte, ad incidere su territori già attribuiti ad altri Consorzi di bonifica pre-esistenti.

Successivamente la legge regionale numero 7, del 16 Giugno 2003 in materia di bonifica ed irrigazione stabiliva che:

“1. Il territorio regionale, non montano ai sensi della legislazione vigente, è classificato territorio di bonifica e irrigazione.”

” 2. Il territorio di cui al comma 1 è suddiviso in comprensori di bonifica e irrigazione delimitati in modo da costituire unità omogenee sotto il profilo idrografico ed idraulico e da risultare funzionali alle esigenze di programmazione, esecuzione e gestione dell’attività di bonifica, di irrigazione e di difesa del suolo e di coordinamento dell’intervento pubblico con quello privato.”



Fig.19 - I Comprensori di bonifica della Regione Lombardia.

I Comprensori di Bonifica

1. Area Lomellina
4. Est Ticino Villoresi
5. Oltrepò Pavese
6. Media Pianura Bergamasca
7. Cremasco
8. Muzza Bassa Lodigiana
9. Sinistra Oglio
10. Mella e dei Fontanili
11. Naviglio Vacchelli
12. Dugali
13. Medio Chiese
14. Fra Mella e Chiese
15. Alta e Media Pianura Mantovana
16. Navarolo-Agro Cremonese Mantovano
17. Colli Morenici del Garda
18. Sud-Ovest Mantova
19. Fossa di Pozzolo
20. Agro Mantovano Reggiano
21. Revere
22. Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

| Nome Comprensorio | Superficie Comprensorio (ha) |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. Lomellina | 132.094 |
| 2. Varese | 107.340 |
| 3. Brianza | 67.579 |
| 4. Est Ticino – Villoresi | 218.106 |
| 5. Oltrepò Pavese | 39.538 |
| 6. Media Pianura Bergamasca | 79.079 |
| 7. Cremasco | 56.537 |
| 8. Muzza - Bassa Lodigiana | 73.484 |
| 9. Sinistra Oglio | 52.300 |
| 10. Mella e dei Fontanili | 48.810 |
| 11. Naviglio Vacchelli | 56.356 |
| 12. Dugali | 54.478 |
| 13. Medio Chiese | 55.874 |
| 14. Fra Mella e Chiese | 36.098 |
| 15. Alta e Media Pianura Mantovana | 57.878 |
| 16. Navarolo | 47.792 |
| 17. Colli Morenici del Garda | 21.104 |
| 18. Sud Ovest Mantova | 27.955 |
| 19. Fossa di Pozzolo | 47.132 |
| 20. Agro Mantovano Reggiano | 27.741 |
| 21. Revere | 13.669 |
| 22. Burana | 17.616 |
| Totale | 1.339.560 |

Tab.5 - Comprensori di bonifica e la loro superficie

I comprensori oggetto del presente studio sono quelli il n.6 “Media Pianura Bergamasca” e il n.7 “CreMASCO”.

5.1.1 Il Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n. 7 “Cremasco”

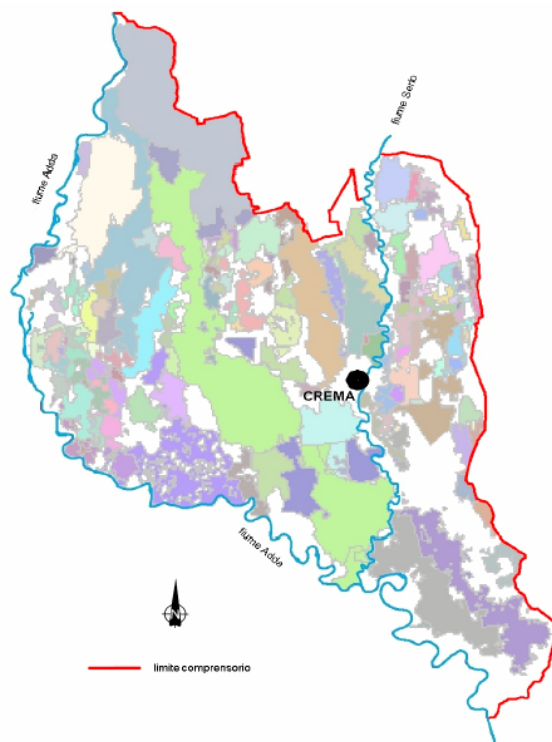


Fig.20 - Il Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n. 7 “Cremasco”
(da Consorzio Irrigazioni Cremonesi)

Il Comprensorio “Cremasco” è ubicato nel settore centrale della Pianura lombarda, si estende su una superficie di 568 Km² e comprende, totalmente o parzialmente, la superficie di 78 comuni: 47 della Provincia di Cremona, 16 della Provincia di Lodi, 12 della Provincia di Bergamo ed alcuni territori di 3 comuni della Provincia di Milano.

I confini comprensoriali discendono, di fatto, dalla Delibera del Consiglio regionale n.IV/213 del 26 marzo 1986 “Suddivisione in comprensori di bonifica del territorio regionale non già classificato di montagna, ai sensi dell’art. 5 della L.R. 26 novembre 1984 n. 59.”, che li definisce nel modo seguente:

- partendo dalla derivazione della roggia Vailata sul fiume Adda, in Comune di Fara Gera d’Adda;
- la roggia Vailata sino al confine del comune di Calvenzano;
- il confine settentrionale, orientale e meridionale di detto comune ed in prosecuzione il confine orientale del comune di Vailate sino alla roggia Cremasca; breve tratto della roggia Cremasca sino alla ferrovia Cremona- Treviglio;
- il confine tra le province di Bergamo e Cremona sino al confine occidentale di Mozzanica; la strada della cascina Vallarsa sino al limite dell’abitato di Mozzanica; strada Mozzanica-Sergnano sino al confine tra le province di Cremona e Bergamo; breve tratto di detto confine sino al fiume Serio; il fiume Serio sino alla strada Mozzanica-Iso; detta strada sino al Naviglio di Barbata;
- il naviglio di Barbata sino alla roggia Stanga Marchesa presso la cascina Fornace di Barbata; la roggia Stanga Marchesa sino all’interferenza con la roggia Madonna Gaiazza;
- la roggia Madonna Gaiazza;
- il Serio Morto sino allo sbocco in Adda;
- il fiume Adda sino alla presa di roggia Vailata, a chiusura del perimetro.”

Il confine traccia, rispettivamente nello stesso senso, i Comprensori limitrofi “ 6. Media Pianura Bergamasca”, “ 8. Muzza – Bassa Lodigiana”, “ 11. Vacchelli – Naviglio”.

Il perimetro ‘amministrativo’ ricomprende terreni totalmente o parzialmente contenuti nei territori dei seguenti Comuni:

- in Provincia di Cremona: Agnadello, Bagnolo Cremasco, Camisano, Campagnola Cremasca, Capergnanica, Capralba, Casale Cremasco-Vidolasco, Casaletto Ceredano, Casaletto di Sopra, Casaletto Vaprio, Castelgabbiano, Castelleone, Chieve, Credera Rubbiano, Crema, Cremosano, Dovéra, Fiesco, Formigara, Gombito, Izano, Madignano, Monte Cremasco, Montodine, Moscazzano, Offanengo, Palazzo Pignano, Pandino, Pianengo, Pieranica, Pizzighettone, Quintano, Ricengo, Ripalta Arpina, Ripalta Cremasca, Ripalta Guerina, Rivolta d’Adda, Romanengo, Salvirola, San Bassano, Sergnano, Spino d’Adda, Torlino Vimercati, Trescore Cremasco, Vaiano Cremasco, Vailate;
- in Provincia di Milano : Cassano d’Adda;
- in Provincia di Bergamo: Arzago d’Adda, Barbata, Calvenzano, Casiràte d’Adda, Fara Gera d’Adda, Isso, Mozzanica, Treviglio;
- in Provincia di Lodi: Abbazia Cerreto, Boffalora d’Adda, Cavenago d’Adda, Comazzo, Corte Palasio, Crespiatica, Lodi, Merlino, Zelo Buon Persico.

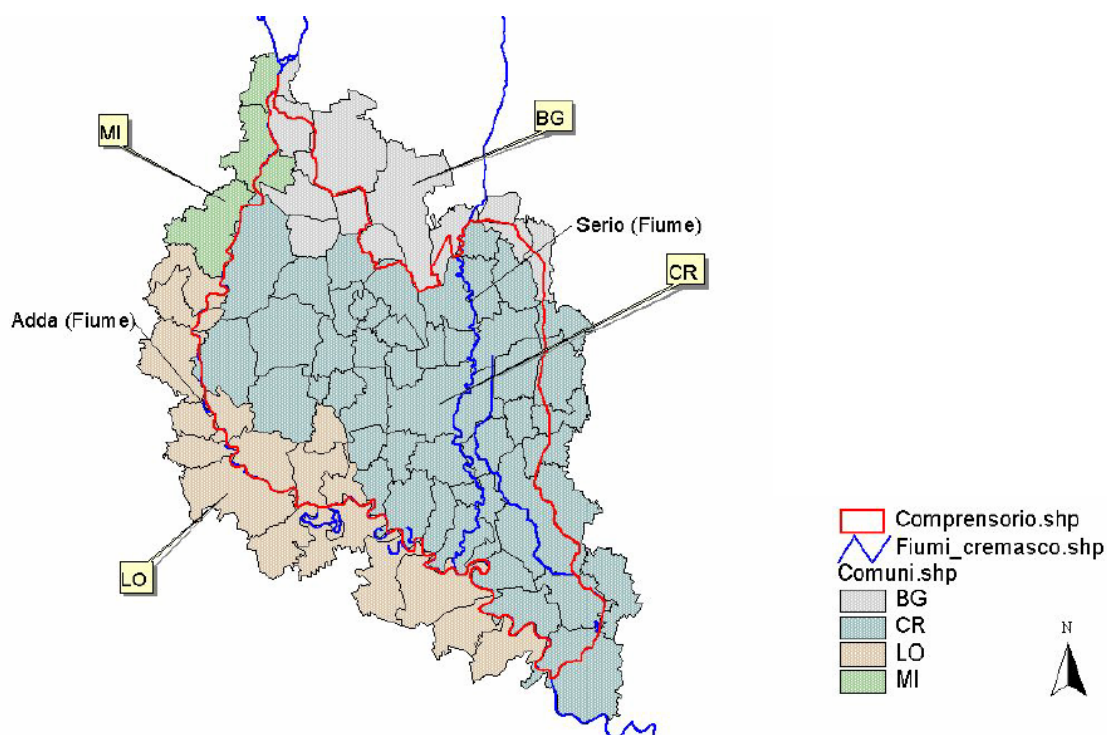


Fig.21 - Il Comensorio di Bonifica e Irrigazione n.7 “Cremasco”

5.1.2 Il Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n.6 “Media Pianura Bergamasca”

Il Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n.6 “Media Pianura Bergamasca” comprende 108 Comuni su cui risiedono 650 mila abitanti su una superficie di circa 80.000 ettari: si tratta dell’area che si sviluppa dalle pendici delle Prealpi Orobiche e discende lungo la sponda sinistra dell’Adda (da Brivio a Fara Gera d’Adda da una parte e dall’altra lungo la sponda destra dell’Oglio (da Castelli Calepio a Calcio) estendendosi a sud fino al confine con la provincia di Cremona.

Il Comprensorio è attraversato – da nord a sud – dai fiumi Brembo e Serio (affluenti di sinistra Adda) e Cherio (affluente di destra dell’Oglio), i cui deflussi hanno il caratteristico regime prealpino, con prolungate magre invernali ed estive. Ad est e ovest il comprensorio è lambito e delimitato dai fiumi Oglio e Adda, i cui deflussi sono regolati artificialmente con gli sbarramenti di Sarnico e di Olgiate. Nella fig. 22 è indicata la situazione dell’irrigazione preesistente alla esecuzione della derivazione di acque dal fiume Adda con le principali rogge d’irrigazione derivate dai fiumi Brembo, Serio e Cherio e con i rispettivi territori dominati. In verde sono rappresentati i terreni dominati e in giallo i terreni asciutti.

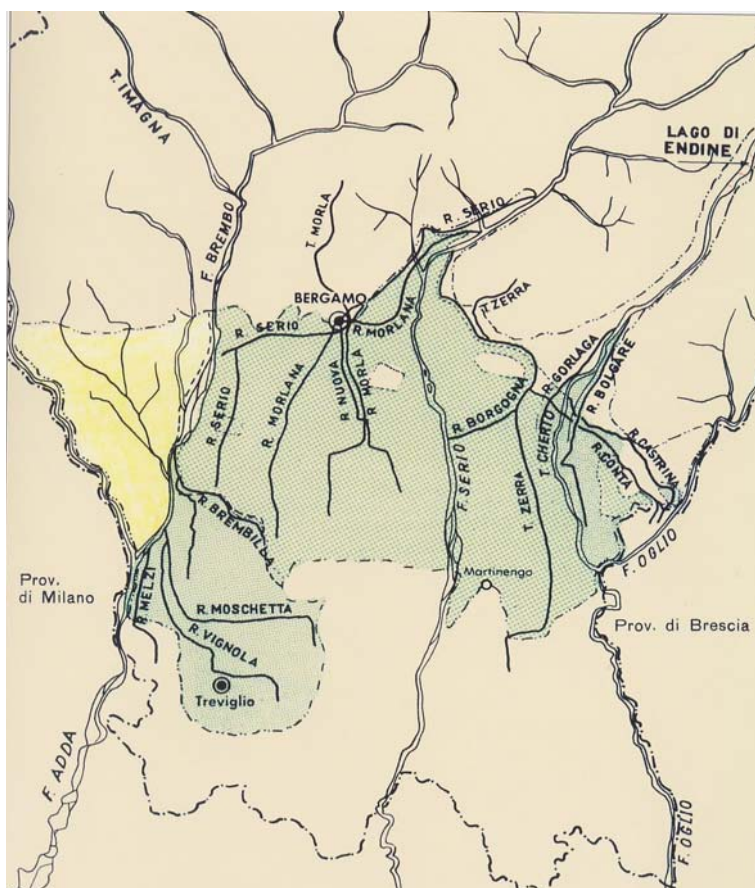


Fig.22 - Il Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n.6 “Media Pianura Bergamasca”

Le irrigazioni preesistenti alla derivazione dall’Adda, alimentate dalle acque del Brembo, del Serio e del Cherio erano tutte assai povere rispetto alle esigenze ambientali, e, dato il regime torrentizio dei corsi d’acqua, hanno avuto tutte carattere di saltuario soccorso, afflitte da ricorrenti gravi carenze che danneggiavano le produzioni. Nella parte inferiore del comprensorio, l’irrigazione era integrata da apporti delle falde idriche sotterranee. Gli Enti Locali Bergamaschi, di fronte ad una situazione di grave disagio economico e sociale, di una vasta area della provincia di Bergamo, promossero diverse iniziative tese a promuovere l’acquisizione di una idonea entità di acque nuove. La Giunta della Camera di Commercio Industria ed Agricoltura di Bergamo adottò la delibera n. 237/1947 in cui decise di approvare il progetto

studiato dal Dott. Ing. Luigi Pasinetti per l'attuazione di un canale che trasporti l'acqua per l'irrigazione attraverso la pianura bergamasca.

Nel 1953 il Decreto Ministeriale n. 833 classificava in Comprensorio di Bonifica Integrale di II categoria, un vasto territorio della provincia di Bergamo, comprendente le zone agricole bergamasche della Media Pianura Bergamasca, del territorio dell'Isola, porzione della Bassa Pianura Bergamasca, il territorio irrigato dalle Rogge Trevigliesi, e porzione della zona del fiume Oglio, limitatamente alla zona irrigata dalle Rogge derivate dal Torrente Cherio. Il perimetro, del detto Comprensorio classificato di Bonifica Integrale nel 1953 venne variato con provvedimento della Regione Lombardia nel 1990. In fig. 23 in viola sono rappresentati i comuni del comprensorio a seguito del D.M. 833/1953 e in verde i comuni subentrati nel 1990 (in giallo sono rappresentati i comuni del vecchio comprensorio che vengono stralciati col rifacimento del nuovo comprensorio).

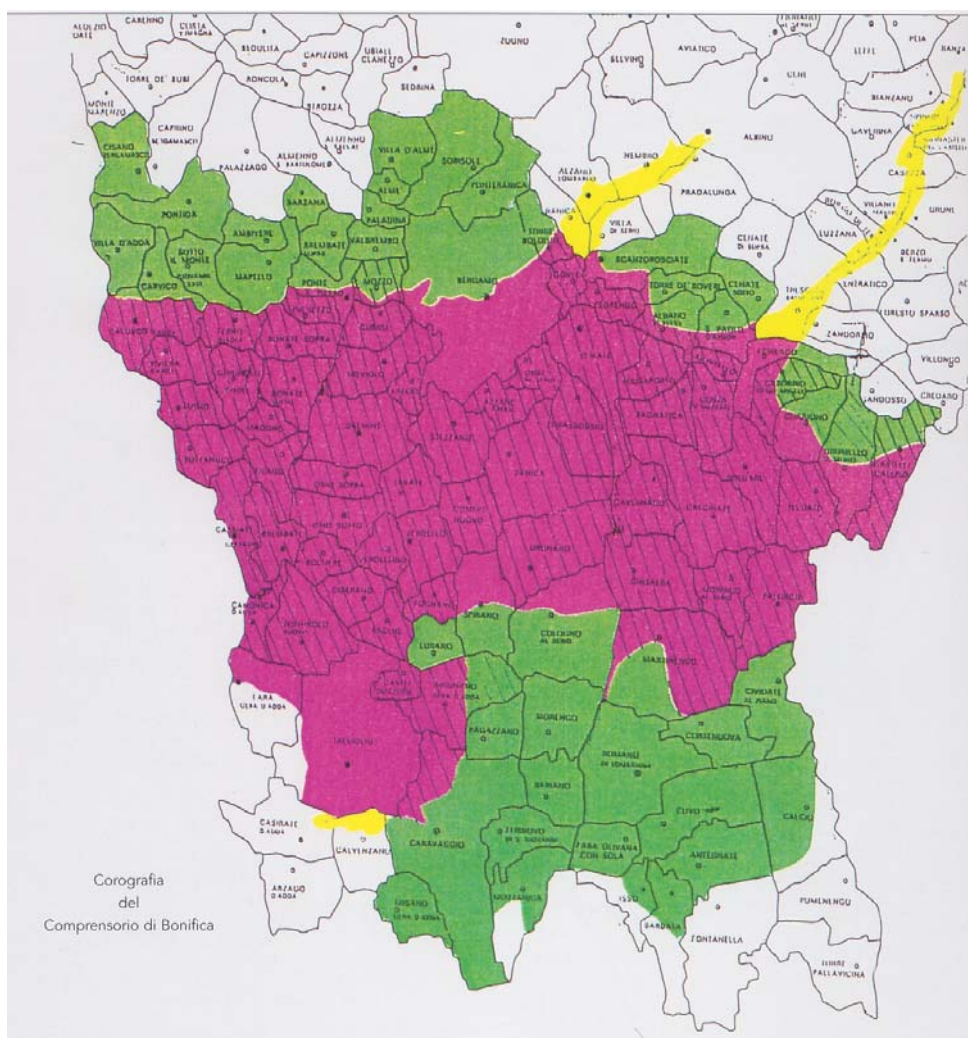


Fig.23 - I Comuni del "Comprensorio di Bonifica e Irrigazione n. 6 "Media Pianura Bergamasca" nel 1953 e 1990.

5.1.3 Il Consorzio di Miglioramento Fondiario di 2° grado Adda-Serio e i principali Consorzi di Irrigazione nell'area di studio.

Il sistema della gestione dell'acqua superficiale in Lombardia rappresenta una fase di transizione tra il sistema piemontese, gestito da soggetti privati (Consorzi di Miglioramento Fondiario) ed il sistema veneto, organizzato in Consorzi di Bonifica (pubblici). La legge regionale numero 7, del 16 Giugno 2003 prende atto di questa singolare realtà e ne diventa così lo strumento per la tutela, lo sviluppo e la 'conservazione dinamica'. Le opere dedicate alla bonifica ed alla irrigazione sono pubbliche e possono essere realizzate dalla Regione per il tramite dell'istituto della concessione ai Consorzi di Bonifica ed ai Consorzi di Miglioramento Fondiario di Secondo grado (art. 2). In ciascun "Comprensorio di Bonifica e Irrigazione " deve esistere un ente che sia il referente unico nei confronti della Regione e nei confronti di tutti i soggetti che, nel Comprensorio, si occupano di materie attinenti alla bonifica ed alla irrigazione, che hanno l'obbligo di non realizzare opere che siano in contrasto con gli strumenti pianificatori. Questo unico ente, posto in ogni Comprensorio, può essere un Consorzio di Bonifica, oppure un Consorzio di Miglioramento Fondiario di II grado, quest'ultimo solo se sia stata riscontrata l'assenza di un Consorzio di bonifica.

La pianificazione comprensoriale si estende sull'intero Comprensorio, è condotta dal Consorzio di Bonifica o di Miglioramento Fondiario di secondo grado, assicurando la partecipazione di tutti i soggetti irrigui, oltre a tutti gli enti istituzionali presenti ed incidenti sul territorio.

Cambia, in questo modo, il rapporto tra Consorzio di Bonifica e gli altri soggetti che si occupano di irrigazione: nasce cioè un 'condominio comprensoriale' nel uno coordina e sovrintende ogni singola gestione e tutti devono collaborare, gravati degli stessi oneri e favoriti dai medesimi vantaggi.

L'articolo 9 della legge regionale riguarda i Consorzi di miglioramento fondiario di secondo grado: "1. Tra i consorzi di irrigazione e di miglioramento fondiario operanti all'interno di un comprensorio omogeneo, delimitato ai sensi dell'articolo 3 sotto il profilo idrografico ed idraulico, in cui non sia già stato costituito un consorzio di bonifica, al fine di rendere più organici e coordinati gli interventi dell'attività irrigua, può essere costituito un consorzio di miglioramento fondiario di secondo grado, disciplinato dall'articolo 863 del codice civile, in quanto applicabile.

2. L'iniziativa per la costituzione dei consorzi di cui al comma 1 può essere assunta dai soggetti interessati nonché dalla Regione. La Giunta regionale delibera la costituzione di tali consorzi e ne approva gli statuti, elaborati in base alle linee guide approvate dalla Giunta regionale cui gli stessi devono adeguarsi, che definiscono i compiti, le finalità e la natura giuridica, la composizione degli organi e le norme di funzionamento.

3. I consorzi di miglioramento fondiario di secondo grado esercitano, nell'ambito dei piani di riordino irriguo, la funzione di vigilanza e coordinamento dell'attività dei consorzi che ne fanno parte."

Per descrivere lo stato attuale del sistema di gestione delle acque territoriali, si potrebbe procedere analizzando ogni singola roggia o canale che origina il comprensorio, generalmente omonimo. Tramite il Decreto n. 7 del 3 gennaio 2005 il Commissario procede all'ultima rettifica dell'elenco dei Consorzi Associati all' 'Adda-Serio'.

6. *Il deflusso minimo vitale ed il piano di gestione del bacino idrografico*

La Regione Lombardia, con l'approvazione della [Legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26](#), in linea con quanto previsto dalla [Direttiva quadro sulle acque 2000/60/CE](#), ha indicato il "Piano di gestione del bacino idrografico" quale strumento regionale per la pianificazione della tutela e dell'uso delle acque. Ha inoltre stabilito che, nella sua prima elaborazione, tale Piano costituisce il "Piano di tutela delle acque" previsto dal [Decreto legislativo n° 152 dell'11 maggio 1999](#), all'articolo 44.

Il Piano di gestione del bacino idrografico, piano stralcio di settore del Piano di bacino previsto all'art. 17 della Legge 183 del 18 maggio 1989 sulla difesa del suolo, è costituito:

- dall' "Atto degli indirizzi", approvato dal Consiglio regionale il 27 luglio 2004;
- dal "Programma di Tutela ed Uso delle Acque", la cui proposta è stata approvata dalla Giunta con [Deliberazione n. VII/19359 del 12 novembre 2004](#).

Il Programma di tutela e uso delle acque (PTUA) è articolato per bacini e sottobacini, specifiche problematiche o categorie di acque, e detta gli indirizzi delle future strategie di intervento e di gestione del settore.

Poiché ha il valore di un piano stralcio del piano di bacino, interviene sulle politiche di sviluppo territoriale e sulla programmazione degli interventi strutturali di settore.

Il PTUA prevede la tutela integrata degli aspetti qualitativi e quantitativi dei corpi idrici individuati come "[significativi](#)" (così come li definisce l'Allegato I del Dlgs 152 del 1999) per raggiungere o mantenere obiettivi minimi di qualità ambientale e quelli per i corpi idrici a specifica destinazione funzionale.

Il PTUA si coordina con gli obiettivi e le priorità degli interventi definiti dall'Autorità di Bacino del fiume Po, con le [Deliberazioni 6/02, 7/02 e 7/03](#) del Comitato Istituzionale, a scala dell'intero bacino.

Tra gli scopi del PTUA di grande interesse è la tutela quantitativa che, come espresso in Dlgs 152 del 1999, deve *"concorrere al raggiungimento degli obiettivi di qualità attraverso una pianificazione delle utilizzazioni delle acque volta ad evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse e a consentire un consumo idrico sostenibile. . . ."*

Segue *" . . . nei piani di tutela sono adottate le misure volte ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico come definito dall'Autorità di bacino, nel rispetto delle priorità della legge 5 gennaio 1994, n. 36, e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del **minimo deflusso vitale (DMV)**, della capacità di ravvenamento della falda e delle destinazioni d'uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative."*

Il concetto di DMV è stato introdotto per la prima volta nella legislazione italiana con la legge 183/1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" che recita all'articolo 3 come le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione devono riguardare anche: *"i) la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde, con una efficiente rete idraulica, irrigua e idrica, garantendo, comunque, che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi nonché la polizia delle acque"*.

Il concetto di flusso costante implica una portata fissa che si deve essere assicurata nel corso d'acqua. L'intenzione della norma è quella di porre un primo indirizzo di fronte ad una situazione dove spesso i corsi d'acqua rimangono, in certi periodi dell'anno, con portate non significative per garantire la continuità dell'ambiente fluviale a causa di un eccessivo prelievo. Questa prima indicazione normativa è stata colta nelle normative successive, ma è stata eliminata la parola "costante" in quanto è fuorviante. Il deflusso minimo vitale in un'ottica annuale deve poter tenere conto infatti delle naturali variazioni di portata che avvengono in un corso d'acqua.

Il DMV è citato anche nella legge 36/94 "Disposizione in materia di risorse idriche" riferendosi nell'articolo 3 punto 3 ad un deflusso necessario per la vita negli alvei sottesi (da derivazioni) e tale da non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatica, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici.

La definizione del DMV è estremamente complessa in quanto richiede approfondite conoscenze idrologiche ed idrobiologiche: un primo tipo di approccio è quello proposto dal Ministero dell'Ambiente nelle cosiddette *"linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale (Dlgs 152 del 1999, art 22 comma 3)"*. In queste linee guida si definisce il DMV come *"la portata che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali"* (cioè quelle del corpo idrico di riferimento). Nella bozza emerge quindi come il mantenimento di una portata minima nei corsi d'acqua deve poter garantire le dinamiche morfologiche tipiche di un fiume, mantenere la capacità autodepurativa e di diluizione dei carichi inquinanti e sostenere le comunità animali e vegetali. L'aggettivo locale indica che gli approcci per la definizione di un corretto DMV devono riferirsi alla singolarità ed unicità di alcuni ambienti di acque correnti. Per questo sembra essere stata opportuna la scelta di fornire in queste linee guida un approccio metodologico piuttosto che un elenco dei metodi ritenuti migliori da utilizzare.

Nella bozza ministeriale appare nebulosa la frase: *“Nel definire la portata di DMV bisogna necessariamente assicurare un valore minimo del tirante idrico”*, quasi che la portata del DMV possa ridursi alla determinazione di un tirante idraulico.

Bisogna sottolineare come il tirante idraulico (profondità dell’acqua) non sia un fattore fondamentale per la portata di un corso d’acqua. In ambienti con un alveo abbastanza ampio e con la presenza di raschi ben strutturati, un tirante di acqua di pochi centimetri è perfettamente normale e ricalca un regime idrologico naturale.

Vi sono però altre definizioni che possono forse aggiungere ulteriori elementi per comprensione del significato di DMV.

La definizione riportata in uno studio per il Ministero dei Lavori Pubblici dice (Vismara et al. 1999): *“ [Il DMV] . . . costituisce la minima quantità d’acqua che deve essere presente in un fiume, per garantire la sopravvivenza e la conservazione dell’ecosistema fluviale, assicurando le condizioni necessarie per un normale svolgimento dei processi biologici vitali degli organismi acquatici. Il DMV è quindi una portata che varia in funzione delle caratteristiche fisiche del corso d’acqua (forma dell’alveo, larghezza, pendenza, ecc.) e delle caratteristiche biologiche dell’ecosistema interessato.*

Nel documento *“Criteri per la definizione del Deflusso Minimo Vitale nel bacino del Fiume Serchio”* si dice: *“sebbene la definizione del DMV sia estremamente complessa . . . esso può essere sinteticamente definito come “la quantità minima di acqua che deve essere assicurata per la sopravvivenza delle biocenosi acquatiche, la salvaguardia del corpo idrico e, in generale, per gli usi plurimi a cui il fiume è destinato”.*

Sansoni (1999) parla di DMV inteso come portata in grado di consentire non solo la vita biologica dei corsi d’acqua, ma anche la pluralità degli habitat e la funzione a lungo termine degli interi sistemi fluviali.

Nelle definizioni illustrate sopra vi sono alcune differenze che, entrando nel dettaglio, possono essere anche sostanziali.

Interessante sottolineare come l’indicazione data dall’autorità di bacino pilota del Fiume Serchio inserisca l’assicurazione di un DMV che garantisca gli “usi plurimi” a cui è destinato. In questo caso si crede che ci si debba riferire all’uso dell’acqua per le sue funzioni rivolte all’uomo ad esempio lo scopo irriguo o anche sportivo (ad. es. canoistico o pesca sportiva), a quello ricreativo (aspetto paesaggistico). Questi due aspetti non sono certamente da sottovalutare e che andrebbero considerati nella determinazione del DMV.

In base all’analisi della definizione riportate sopra. Si può evidenziare che gli elementi che devono essere tenuti in considerazione per una corretta definizione del DMV dovrebbero essere:

- Mantenimento delle biocenosi tipiche locali
- Qualità delle acque
- Dinamiche morfologiche
- Aspetto paesaggistico
- Funzione ricreativa e sportiva
- Usi potabili, agricoli, industriali

La definizione di DMV quindi raccoglie vari aspetti non solo quelli “vitali” legati alle biocenosi acquatiche. Questo farebbe supporre che l’aggettivo vitale non comprenda tutti gli aspetti citati sopra, meglio sarebbe definire un *“Deflusso Minimo Funzionale”*, cioè quello in grado di consentire una funzionalità minima del corso d’acqua.

E’ da sottolineare anche come il concetto di portata minima vitale non necessariamente coincida, come a volte viene indicato, con il valore delle portate naturali di magra che, in determinati periodi dell’anno, possono avere, in alcuni casi, portate prossime allo zero. In tali situazioni, il valore teorico di portata minima vitale è ottenibile, ove ritenuto necessario, con determinate azioni dei piani di bacino, il cui obiettivo principale è quello di tendere al raggiungimento di portate sufficienti a sostenere complesse situazioni ambientali, assicurando comunque la vita acquatica, in particolare attraverso il rilascio di scorte accumulate nei periodi di disponibilità della risorsa.

L’ecosistema fluviale, così come tutti i sistemi naturali, è il risultato della interazione di molteplici fattori che concorrono alla determinazione di un particolare habitat in cui l’equilibrio delle caratteristiche ambientali è in continua evoluzione ed è particolarmente sensibile alle variazioni dei parametri idrologici e di qualità delle acque. Il fattore naturale che maggiormente caratterizza un corso fluviale è costituito dalla variazione delle portate lungo l’asta nel corso dell’anno, ed in particolare tra la stagione invernale e quella estiva, cosa che si riflette in un alto grado di diversità biologica. Le modificazioni indotte da una alterazione del regime idrologico naturale ad esempio per captazione possono essere molteplici e di vario tipo:

- *Morfologiche*: La riduzione della portata comporta nella maggior parte dei casi una diminuzione della velocità e quindi tutta la dinamicità morfologica dei fiumi tende a scomparire. Si perde una generale capacità di trasporto di materiale grossolano e si favorisce il processo di sedimentazione di quello fine in zone normalmente non interessate da questo fenomeno. Tale materiale va a depositarsi sul fondo con il rischio di occludere questi spazi tra sasso e sasso fondamentali per il sostentamento delle vita bentonica e per la riproduzione dei salmonidi.
- *Chimico-fisiche*: L'effetto immediato della riduzione di portata di un corso d'acqua si traduce in una minore diluizione degli inquinanti che arrivano nel corso d'acqua sia da scarichi puntuali che da fonti diffuse. Si riscontra quindi una generale riduzione della capacità autodepurativa del corso d'acqua anche per una diminuzione dei microhabitat colonizzati dal biota. Una minore portata significa quindi anche una riduzione delle possibilità autodepurative del corso d'acqua sia per diluizione che per meccanismi biologici. La temperatura dell'acqua può essere notevolmente influenzata da una riduzione della portata in quanto si riscontrano ad una alterazione del range termico annuale e giornalieri, si producono condizioni di riscaldamento estivo, un ritardo nel riscaldamento post invernale e un ritardo nel raffreddamento autunnale. L'aumento della temperatura influisce direttamente sulla produzione primaria cioè sullo sviluppo della componente vegetale in alveo che in alcuni casi può provocare problemi di eutrofizzazione.
- *Biologiche*: Una minore portata riduce l'area dell'alveo bagnato con una conseguente diminuzione di microhabitat e quindi un generale impoverimento delle biocenosi. Vengono a mancare inoltre quelle variazioni di velocità dell'acqua che servono alla fauna ittica durante il loro ciclo vitale: acque basse e veloci a scopo riproduttivo ed alimentare, acque poco profonde e lente per sosta e rifugio.

L'alterazione della naturale evoluzione e diversità degli ambienti fluviali può quindi avere gravi ripercussioni e i fattori antropici che vi possono concorrere sono molteplici tra cui, particolare importanza, assumono le opere di derivazione e di ritenuta a scopi idroelettrici, irrigui ed idropotabili che modificano in modo radicale il deflusso delle acque.

In questo contesto si pone quindi la tutela della portata minima come condizione primaria per qualsiasi pianificazione di uso delle acque territoriali; posto che tra i maggiori "utilizzatori" della risorsa idrica hanno un ruolo preponderante gli attingimenti ad uso agricolo, specialmente in una realtà come quella padana, non bisogna pensare però che l'applicazione del DMV possa tradursi in una brutale riduzione delle portate concesse per uso irriguo, ma piuttosto in una ragionata e graduale applicazione della disposizione di legge che assicuri tempo e risorse all'Agricoltura di adattarsi alla nuova situazione, nel rispetto, ovviamente, dei principi indiscutibili di legalità, precauzione – sussidiarietà – equità, e, non ultimo, nell'ambito di corrette valutazioni di bilancio idrologico a scala di bacino idrografico.

Il DMV è una grandezza media statistica (vedi paragrafi seguenti per una trattazione precisa delle metodologie di stima del DMV) che quindi non è sempre, ogni anno in ciascun periodo, compromessa, mentre la riduzione della portata concessa compromette l'attuale uso irriguo sempre e comunque. L'approccio graduale, quindi, e soprattutto l'accordo con il concessionario può materializzarsi, in modo amministrativamente corretto, non tanto con la diminuzione della portata concessa ma con una nuova prescrizione, nell'atto di concessione, che imponga la garanzia della portata di DMV nel fiume.

Sarà il concessionario medesimo responsabile della continuità 'naturalistica' del flusso in alveo, mentre resta all'ente di controllo il "controllare".

Questo approccio, tra l'altro, consente proprio quello spazio di accordo e di consenso, poiché permette la valutazione "sul campo" degli effetti e della loro progressione provocati dalla prescrizione.

Resta, purtroppo irrisolto, il problema legato all'esistenza di prelievi dall'alveo e dalle falde, oggi non controllati che generano ulteriori carenze idriche e che vanno ad inasprire, senza subirne conseguenze, i confronti con le grandi strutture di derivazione a pelo libero, uniche a tutti evidenti.

6.1 Approccio metodologico alla determinazione del DMV

I metodi utilizzati per determinare il DMV sono i più disparati.

Nella letteratura e nelle normative nazionali e di altri paesi vi sono numerosi esempi di calcolo della portata, da sottolineare che l'enfasi all'inizio era posta sulla determinazione di un DMV per la protezione di alcune specie ittiche.

Data la varietà di dimensioni e di tipologie fluviali, includendo corsi d'acqua stagionali, alpini, di pianura, mediterranei, glaciali, nivali o pluviali ogni metodologia è stata concepita anche per andare incontro ad esigenze specifiche e quindi non può avere una validità generale.

Le basi teoriche e concettuali che hanno portato alla definizione di tali metodi sono comunque simili e spesso omogenee. A tal proposito è possibile suddividere i metodi in grandi categorie. La prima distinzione da fare è relativa alla tipologia di indagine richiesta per la definizione del DMV:

- **Indagine di tipo teorico:** *Si ricava la portata per via indiretta, determinando alcuni parametri in qualche modo correlabili alla portata stessa. Questi parametri sono di varia natura, ad esempio parametri che descrivono le caratteristiche del bacino (dimensione, etc.) o dell'alveo (pendenza, etc).*
- **Indagine di tipo sperimentale:** *la priorità viene data ad obiettivi specifici quali ad esempio la protezione di una determinate specie ittica. Le portate sono ricavate dalla relazione tra una variabile idraulica o strutturale del corso d'acqua ed esigenze ecologiche di una specie vivente.*

Vengono raccolti pertanto in campo dati strutturali dell'alveo o caratteristiche chimiche e biologiche del corso d'acqua con riferimento ad un preciso obiettivo di tutela ambientale.

Queste due tipologie di indagine hanno condotto a metodi che sono profondamente diversi e che è possibile distinguere in metodi *teorici* e *sperimentali*.

Negli ultimi anni i metodi teorici hanno subito una modificazione alla loro impostazione introducendo alcune variabili correttive che fanno riferimento ad aspetti studiati in campo come la naturalità del corso d'acqua e la qualità delle acque. Si è passati in alcuni casi da un metodo totalmente teorico ad uno *ibrido* cioè con una combinazione di elementi teorici legati però alle caratteristiche del bacino.

6.1.1 Metodi teorici

1. Metodi che utilizzano le informazioni relative al bacino (approccio idrologico e morfologico)

Questi metodi si basano generalmente sulla correlazione tra l'area del bacino sottesa dalla derivazione e la portata minima di rilascio. Questi metodi possono venire integrati da altre variabili di tipo geografico e morfologico come ad esempio un indice di stagionalità in modo da modulare il rilascio a seconda del periodo dell'anno oppure l'altezza media del bacino per tutelare meglio ecosistemi fluviali di media ed alta montagna, notoriamente più fragili. Questo approccio è stato utilizzato fin dal 1986 dalla Provincia di Bolzano che prevede 2l/s per ogni km² di bacino sotteso dalla derivazione o per la Provincia di Torino che nel 1990 stabilisce che la portata minima defluente in alveo deve essere compresa 1 e 4 l/s per km² in relazione alle caratteristiche idroclimatiche del corso d'acqua.

2. Metodi che usano informazioni relative alla portata media (approccio idrologico)

In linea di principio è valido ritenere che il deflusso minimo vitale sia una porzione di un deflusso medio calcolato su un intervallo temporale definito ad esempio annuo, semestrale o giornaliero. Le proposte metodologiche si limitano a determinare il deflusso minimo vitale in base ad una percentuale fissa della portata media considerata.

Si ritiene che stabilendo una percentuale adeguata a priori si riesca a mantenere nel corso d'acqua una portata tale da consentire per la sopravvivenza delle biocenosi acquatiche. Nella legislazione francese legata alla pesca del 1984 si prevede che il DMV sia maggiore del 10% della portata media annuale di 5 anni del corso d'acqua se questo ha una portata inferiore a 80 m³/sec o maggiore del 5% nel caso di portate superiori.

3. Metodi che usano le curve di durata (approccio statistico)

Questo approccio richiede la costruzione di curve di durata delle portate naturali attraverso serie storiche più o meno lunghe a seconda della disponibilità dei dati.

Sull'asse delle ascisse vengono riportati il numero di giorni che superano una determinata portata in un anno e sull'asse delle ordinate la relativa portata, formando così una curva dalla forma iperbolica. Fissato un numero di giorni di riferimento si individua sulla curva la portata che si ritiene possa garantire un deflusso minimo vitale.

Normalmente non ci sono verifiche sperimentali della idoneità del dato ottenuto.

6.1.2 Metodi sperimentali

1. Metodi che usano variabili idrauliche e strutturali non trasformate

Le variabili idrauliche messe in relazione diretta con il DMV presupponendo una relazione tra tali variabili e le preferenze ecologiche delle comunità biotiche di un fiume.

Queste relazioni derivano da osservazioni sperimentali o da modelli di simulazione idraulica. Facendo riferimento ad esempio ad una particolare specie ittica si tende ad definire una formula che possa consentire una adeguata protezione di quella specie. In sostanza si vuole ricavare attraverso l'applicazione di una formula quali sono le condizioni ottimali di portata da far defluire in un corso d'acqua sottoposto a prelievi idrici.

2. Metodi che usano variabili idrauliche e strutturali trasformate in criteri biologici

Alcune variabili come il perimetro bagnato, la velocità media, la profondità. Il rapporto- larghezza profondità sono messe in relazione con la portata presupponendo una corrispondenza tra la variabile e la qualità biologica dell'acqua. La relazione deriva da misure sperimentali o da modelli di simulazione idraulica. Solitamente l'andamento di queste variabili è simile, aumentando rapidamente nell'ambito delle portate basse e con minori incrementi per quelle più elevate. Si crea così una curva il cui punto di cambiamento di pendenza (punto di rottura) definisce il valore ottimale di portata minima, poiché si ritiene che incrementi della portate oltre tale punto determini minori o nulli benefici rispetto alla prima parte della curva. Per ogni variabile strutturale selezionata viene definito un corrispondente valore biologico, la trasformazione è operata usando delle curve di preferenza che esprimono la percentuale di idoneità allo sviluppo di determinati organismi.

Ad esempio, la velocità di corrente ha un intervallo ottimale sotto il quale possono presentarsi problemi per la vita acquatica dovuti alla mancanza di ricambio e sopra per l'eccessivo trascinarsi. Rimane talvolta fumosa la scelta del punto di rottura non facilmente identificabile per cui anche il valore di portata minimo risulta arbitrario.

3. Metodo con un largo numero di variabili trasformate con criteri biologici

Questi metodi seguono sostanzialmente la filosofia metodologica descritta nel paragrafo precedente aggiungendo a variabili classiche un ampio numero di variabili come le zone di rifugio, l'erosione delle sponde, il tipo di substrato comprendendo anche dati di tipo chimico. Le variabili sono state trasformate in valori di importanza biologica e messe in regressione una per una con la biomassa, nel periodo estivo di bassa portata, quelle con le correlazioni maggiori sono state quindi utilizzate in una equazione di regressione lineare multipla verso la biomassa. Il risultato è una equazione di regressione multipla che predice la biomassa (definito come Habitat Quality Index). Da questo approccio si sono susseguiti vari altri studi.

6.1.3 Metodi ibridi

Questi metodi non sono associabili in linea generale ad uno dei due gruppi precedenti. Vi sono metodi che prendono spunto dall'approccio teorico inserendovi delle componenti biologiche e legate alla qualità delle acque ed altri metodi che non applicano una metodologia a priori precisa ma si affidano ad un gruppo di

esperti per determinare un DMV. Vista la tipologia peculiare di questi metodi si è ritenuto opportuno definire un nuovo gruppo chiamato metodi ibridi.

1. Metodi teorici contenenti parametri biologici ambientali

Viene mantenuto lo stesso approccio stabilendo una proporzionalità tra l'area del bacino e la portata da rilasciare ma tra i parametri correttivi vengono aggiunti alcuni che fanno riferimento a due aspetti intrinseci del corso d'acqua: la naturalità e la qualità delle acque. Forse questo è l'aspetto di novità che si è potuto riscontrare nel dibattito esistente nella comunità scientifica italiana in merito alla definizione del DMV.

Considerato che nei primi tentativi normativi si faceva riferimento ad aspetti idrogeologici e morfologici, si è ritenuto opportuno inserire anche dei correttivi ambientali che modulassero la portata in funzione della qualità dell'acqua, della naturalità dell'ecosistema fluviale e anche della stagionalità. Esempi ve ne sono, soprattutto italiani, tra cui si ricordano quelli del Politecnico di Milano, Autorità di Bacino del Po, Autorità di Bacino dell'Adige, Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico.

2. Metodi olistici che utilizzano il parere di esperti

Il Deflusso Minimo Vitale può essere anche determinato attraverso il confronto tra più esperti di diverse discipline attraverso la valutazione delle componenti ambientali, ma anche di quelle economiche e sociali. La procedura è quella di valutare l'ecosistema fluviale a scala di bacino dalla foce a alle sorgenti. Il gruppo di esperti esamina le conseguenze ecologiche della variazione quantitativa e temporale della portata. I risultati di questo processo decisionale portano a fornire indicazioni sul deflusso raccomandato ed a un programma di monitoraggio per stimare gli effetti del cambiamento del regime idrologico sull'ecosistema fluviale.

Di tutti i metodi suaccennati e del concetto stesso di Deflusso Minimo Vitale è importante distinguere le due categorie di aste fluviali nelle quali si deve operare, perché di fatto i fiumi, quantomeno in Lombardia, appartengono a due categorie ben distinte: fiumi a portata regolata ed a portata naturale/antropizzata.

È una realtà evidente che tutti i corsi d'acqua classificabili con il termine 'fiumi' sia stata soggetta ad interventi in grado di interferire anche con le portate transitanti; in questo non possiamo non annoverare i torrenti, acquisiti nell'accezione comune come "fiumi di montagna", a monte dei quali spesso insistono bacini di ritenuta, prevalentemente idroelettrici, che di fatto alterano i flussi stagionali. Siffatti corsi d'acqua, soggetti ad alterazioni dirette ed indirette di attività antropiche, possono essere compresi nella categoria "a portata naturale/antropizzata", distinguendoli da quelli "a portata regolata", ai quali va la nostra maggiore attenzione, nell'interesse del presente lavoro. Sono tali tutti i fiumi intercettati, nel loro corso, dai grandi laghi prealpini regolati (Maggiore, di Como, di Iseo, d'Idro e di Garda) che subiscono una regolazione della portata transitante nel tratto sub-lacuale decisa, di giorno in giorno, dall'ente regolatore della diga all'emissario, fatte salve le condizioni di massima piena, della durata di pochi giorni. La regolazione dei grandi laghi, quindi, rende artificiale la distribuzione delle portate e quindi, in margini certo non ampi ma possibili, l'adeguamento ad una differente regolazione per garantire il DMV in tutte le sezioni del fiume nel tratto sensibile alla regolazione. Il DMV, in altre parole, può quindi intervenire quale "nuovo utente della regolazione", producendo un maggior impegno (ed a volte una minore disponibilità statistica della risorsa) distribuita proporzionalmente, in quantità e tempi, agli utenti della stessa regolazione. Ecco allora la possibilità di studiare scenari possibili, valutando gli innumerevoli fattori ed attori interferenti sulla gestione del sistema, per cercare un'ottimizzazione che soddisfi anche questa "new entry" nel governo dei flussi. Il problema è di grande complessità, coinvolgendo anche interessi 'forti' come il turismo, la navigazione e la sicurezza lacuale nonché le modalità di gestione degli invasi alpini idroelettrici.

Un gruppo interuniversitario, dove partecipa come capofila un istituto del Politecnico di Milano, ha dato il via, nel 2005, al progetto Two-Le, finanziato dalla Fondazione CARIPO, che tende ad individuare gli scenari possibili nell'applicazione del DMV all'asta fluviale dell'Adda sub-lacuale, misurando effetti, benefici e 'difetti' più o meno evitabili.

È proprio "in parallelo" a questo studio, seppur nei limiti di un lavoro di tesi, che abbiamo tentato di affrontare lo stesso problema "dal punto di vista" del comprensorio irriguo indiretto, cioè di quella parte del territorio che appare non aver voce in capitolo come protagonista del confronto sul problema del DMV ma che, al contrario, rischia di subirne le conseguenze più pesanti.

Garantire in ogni sezione dell'Adda una portata minima, mai superata – verso minori valori – tutti i giorni dell'anno, porta necessariamente ad una riduzione, certa a livello statistico, delle portate derivate degli utenti irrigui, sempre fatta salva l'individuazione – oggi solo ipotizzabile – di “nuovi” volumi invasabili nel Lario. A fronte di una riduzione delle derivazioni dal fiume, quindi delle acque ‘vive’ cioè a servizio del comprensorio diretto, quali sono le ripercussioni a carico del comprensorio indiretto, cioè di quella parte del territorio agricolo che si approvvigiona delle colature e delle risorgive?

La domanda non è evidentemente capziosa né equivoca. Non esistono, a tutt'oggi, rilevamenti statistici che abbiano correlato i due flussi, senz'altro correlati, e quindi esiste un'ignoranza che può portare all'assunzione di decisioni non perfettamente cognite di tutte le producibili conseguenze, cosa che, soprattutto nel governo dei sistemi che sfruttano una rete irrigua millenaria, è particolarmente pericolosa.

Tende questo lavoro ad esplorare, con esempi concreti, questa correlazione e quindi l'ordine di grandezza delle possibili alterazioni dell'attuale equilibrio provocate da una riduzione “all'origine” della risorsa idrica per l'agricoltura del Comprensorio cremasco.

Parte III

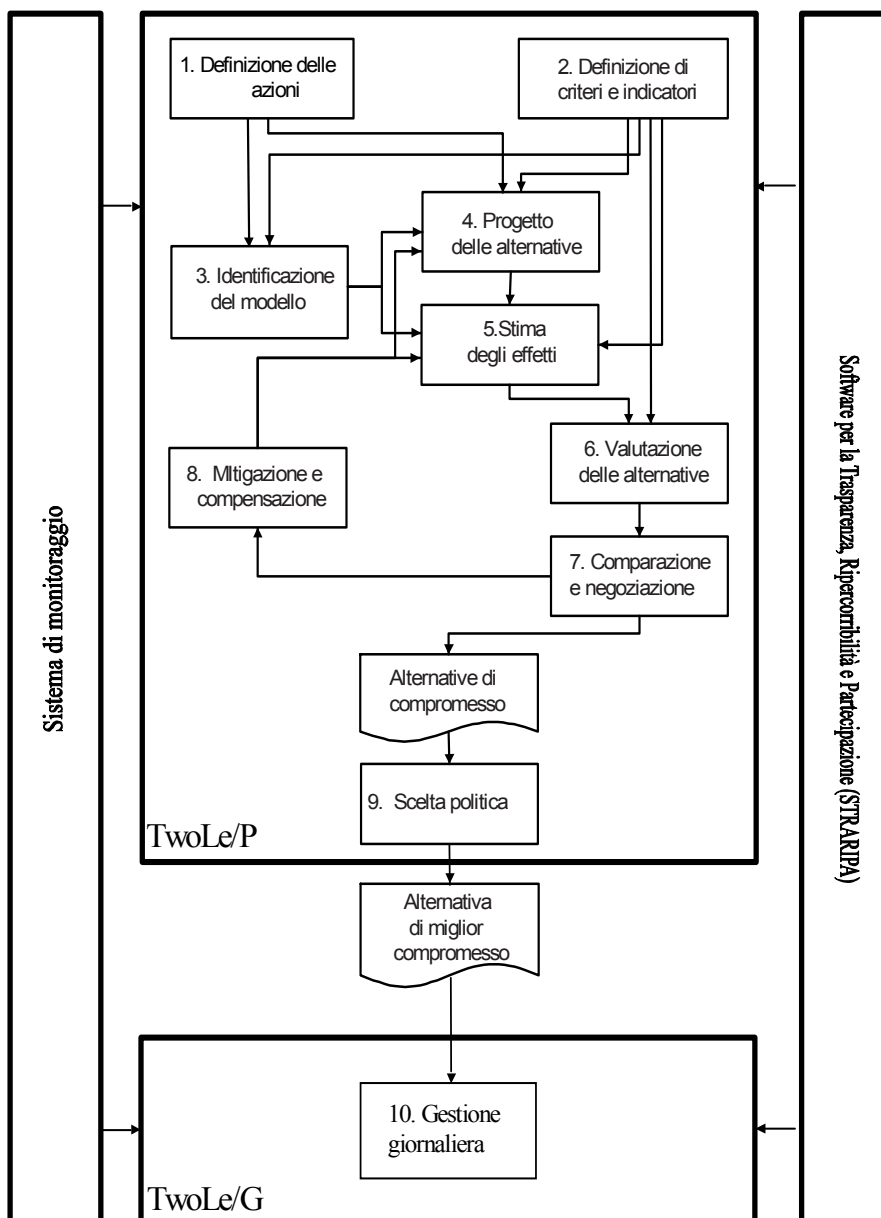
Dinamiche idrologiche e valutazione aree critiche nell'area campione

7. Il Progetto Two-Le e la ricerca dei dati

7.1 Il progetto

I tre progetti TwoLe-A, TwoLe-B e TwoLe-C, sono stati pensati in modo integrato e sinergico al fine di produrre e testare un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione e la gestione delle risorse idriche.

La Direttiva Quadro sulle Acque dell'Unione Europea (WFD 2000/06/EU) richiede che, entro il 2009, ogni Paese membro sviluppi Piani di Bacino per tutti i bacini del suo territorio, seguendo il paradigma della gestione integrata (Integrated River Basin Management, IRBM). Detti piani devono contenere Piani di Misure che specifichino come raggiungere gli obiettivi gestionali posti dalla WFD. Uno dei primi Documenti Guida (WFD-CIS-GD11, EU 2003) per l'implementazione della WFD chiarisce come per lo sviluppo di questi piani debba essere elaborata una procedura, assistita da strumenti informatici appropriati, in modo tale che il processo decisionale possa essere "sistematico, integrato e partecipato".



Tav.3 – Rappresentazione schematica dei principali flussi idrici; la linea a tratteggio trasversale rappresenta il confine tra due distretti irrigui

Uno dei proponenti del Progetto ha sviluppato (Soncini-Sessa, 2004a) una procedura detta PIP (Pianificazione Intergrata e Partecipata) e un MODSS (MultiObjective Decision Support System) per decisioni pianificatorie e gestionali (TwoLe) partecipate e integrate, la cui realizzazione è iniziata con il progetto Verbano Interreg II-UE (Soncini-Sessa, 2004b), ed è continuata nel progetto Sebino, finanziato dalla Fondazione Cariplo e nel progetto MERIT (Fp5-UE). Il MODSS TwoLe è attualmente in uno stadio di sviluppo prototipale e con esso sono stati elaborati, nei progetti sopraccitati, i Piani del Verbano, Sebino e Vomano.

Da qui nasce l'innovativa idea portante del Progetto: sviluppare una nuova versione del MODSS TwoLe composto da tre unità interconnesse (vedi tav.3).

Le prime due - TwoLe/P, che supporta il processo di pianificazione e TwoLe/G, che supporta la gestione - condividono base dati e modelli. Grazie a ciò il sistema informativo e i modelli utilizzati per pianificare possono essere in seguito utilizzati per gestire; dualmente i dati raccolti durante la gestione e le modifiche dei modelli che la pratica gestionale suggerisce sono immediatamente disponibili quando si debba rivedere e rinegoziare le decisioni pianificatorie.

Le terza unità (STRARIPA, Software per la Trasparenza, la Ripercorribilità e la Partecipazione) è destinata a supportare la partecipazione distribuita tramite la Rete, sia nella fase di pianificazione che in quella di gestione.

La sezione del programma di interesse per la presente trattazione è la Applicazione P.

Il suo scopo è la sperimentazione della PIP nel Lario e nell'Adda sublacuale. Le opzioni di intervento (misure) che il processo decisionale dovrà esaminare saranno definite nel corso del Progetto, ma si può sin d'ora prevedere che tra esse saranno comprese:

- l'introduzione del vincolo di Deflusso Minimo Vitale (DMV): per definirne il valore occorrerà valutare gli effetti che esso induce non solo sulla qualità ambientale dell'Adda e dei suoi canali, ma anche sulle attività antropiche da essi sostenuti;
- il rinnovo delle concessioni di derivazione: per definirne i valori si terrà conto degli effetti che eventuali variazioni dei loro valori produrrebbero sia sulla qualità ambientale dell'Adda, che in tutti i settori che dipendono, direttamente o indirettamente, dalle derivazioni. Un esempio dei primi sono i comprensori irrigui; del secondo la produzione idroelettrica o il livello del Lario.

Queste misure saranno valutate sia alla luce dell'attuale Politica Agricola Comunitaria (PAC), sia dei suoi possibili cambiamenti.

Gli effetti di queste misure coinvolgono una molteplicità di enti e soggetti (Portatori d'interesse) nel territorio dell'Adda sublacuale e sulle sponde del lago di Como. Per valutarli in modo proficuo, fornendo al contempo trasparenza e credibilità (prerequisiti indispensabili perché le scelte siano comprese e accettate), i Portatori saranno coinvolti in modo partecipativo, e non solo consultivo, dalla formulazione operativa del Progetto fino all'individuazione dell'alternativa(e) di miglior compromesso. Si attiverà così un processo di apprendimento sociale in cui i Portatori, prendendo coscienza dei problemi e dei punti di vista degli altri, si responsabilizzano e individuano assieme le alternative di compromesso. Questo processo sarà supportato da TwoLe/P e STRARIPA.

Date le peculiari caratteristiche dell'ambito territoriale considerato (presenza di corpi idrici non regolati e la rilevante interazione tra acque superficiali e falda), il prototipo di TwoLe dovrà essere potenziato. A tal fine, nell'ambito del progetto TwoLe-B, saranno sviluppati modelli del sistema irriguo e dell'interazione tra fiumi e falda. Nell'ambito del progetto TwoLe-C saranno sviluppati i moduli per il supporto delle Fasi 1, 2, 6, 7 e 9 di tav.3 e l'unità STRARIPA.

Applicazione P: il Lario e il bacino dell'Adda sublacuale

L'Adda sublacuale è alimentato dai deflussi regolati del Lario e il suo bacino è suddiviso tra le Province di Lecco, Bergamo, Monza, Milano, Lodi e Cremona. Esso è caratterizzato dalla presenza di due Parchi Regionali (Adda Sud e Adda Nord), da zone antropizzate e da un'agricoltura irrigua ricca e diffusa. Il sistema irriguo è servito da canali artificiali che sono alimentati non solo dai deflussi regolati del Lario, ma anche dalle acque fluenti del Brembo e del Serio (che sono però modulate dall'attività dei serbatoi idroelettrici presenti nei loro bacini imbriferi) e da abbondanti risorgenze in alveo e nei fontanili. Poiché queste ultime sono alimentate anche dalle perdite dei canali e dalla percolazione dei terreni irrigati a monte,

non è possibile pianificare la regolazione delle acque superficiali senza tener conto dell'effetto che essa induce su quelle sotterranee.

Il territorio è pertanto un caso pilota molto significativo, sia perché permette di esplorare il modo di risolvere i conflitti tra utenti irrigui, idroelettrici, ambientali (i Parchi) e civili, nonché la complessa interazione tra acque superficiali e sotterranee; sia perché la gestione delle acque è vitale per l'economia del territorio.

Poiché le caratteristiche citate sono comuni a gran parte della pianura lombarda, l'esperienza maturata e il MODSS TwoLe sviluppato in quest'applicazione potranno essere utilmente e facilmente riutilizzati in futuro.

Il presente lavoro di tesi si inserisce nell'ambito del punto 5 della Applicazione P all'interno del "pacchetto di lavoro" numero 5:

5) Modello dell'interazione falda/acque superficiali

Il modello dell'interazione falda/acque superficiali è finalizzato alla valutazione delle portate di risorgiva, sia dei fontanili, sia lungo l'asta dell'Adda, per diversi regimi di ricarica dell'acquifero conseguenti a varie configurazioni del sistema irriguo (variazioni di uso del suolo, dei metodi irrigui, eccetera). Lo sviluppo di questo prodotto comprende:

- raccolta e analisi dati (piezometrie, portate fontanili, portate Adda, portate derivazioni e restituzioni principali,...);
- sviluppo e verifica del modello;
- campagna di misure per la valutazione delle risorgenze lungo Adda.

7.1.1 Modello dell'interazione falda/acque superficiali

La pianura lombarda è un caso emblematico di forte interazione tra risorse idriche superficiali e sotterranee, e tra i diversi usi che di esse si fanno.

Gli ingenti volumi idrici prelevati dai corsi d'acqua e capillarmente distribuiti sul territorio per l'irrigazione contribuiscono in modo determinante alla rialimentazione delle falde acquifere, da cui vengono effettuate le aliquote prevalenti dei prelievi civile e industriale, ma anche all'attivazione di cospicui flussi di scambio tra acque sotterranee e di superficie.

La percolazione dai canali irrigui e dalle superfici irrigate incrementa, infatti, i livelli di prima falda, determinando l'innescarsi di processi di drenaggio laddove le condizioni idrogeologiche sono favorevoli.

Ciò si verifica principalmente in lunghi tratti dei corsi d'acqua principali, dove le quote di pelo libero della corrente sono inferiori alle quote della falda circostante, e in una vasta zona centrale della pianura, dove i substrati impermeabili diventano più superficiali e la falda si trova a piccola profondità.

Qui, attraverso i fontanili, è stato portato alla luce un elevatissimo numero di risorgive, utilizzate da tempo memorabile a fini irrigui.

La circolazione idrica tipica della pianura lombarda è schematizzata in fig.24 , con riferimento ad una porzione di territorio comprendente i distretti irrigui alimentati da due diverse derivazioni da uno stesso corso d'acqua.

sensibili e dei criteri di monitoraggio può comunque portare a ricavare considerazioni qualitativamente e quantitativamente conformi alle potenzialità che una tesi di Master presuppone.

In primo luogo si è cercato di concentrare l'attenzione su un'area più ristretta rispetto a quella valutata nel progetto Two-Le precedentemente descritto, tentando comunque di mantenere, attraverso la scelta di punti rappresentativi, una capacità descrittiva del fenomeno sufficientemente elevata. A tal fine l'area scelta si estende dalla sponda destra del fiume Adda fino al comune di Capralba sulla direttrice Est-Ovest, mentre i confini settentrionali e meridionali corrispondono all'incirca col confine provinciale di Cremona e il canale Vacchelli (fig.25).

I comuni interessati sono Rivolta d'Adda, Spino d'Adda, Agnadello, Pandino, Vailate, Capralba, Torlino Vimercati e Pieranica. L'area campione risulta presentare tutte quelle peculiarità presenti nella regione più ampia investigata dal progetto, in particolare, sia sotto l'aspetto morfologico sia sotto quello idrologico, le due zone sembrano simili. L'aspetto più rilevante è sicuramente la posizione centrale nei confronti della fascia dei fontanili e la natura della risorsa idrica stessa prevalentemente da risorgiva; da sottolineare è anche la presenza, nella zona a nord-ovest, di grandi derivazioni dell'Adda la cui influenza sulle acque sotterranee è oggetto centrale della ricerca.

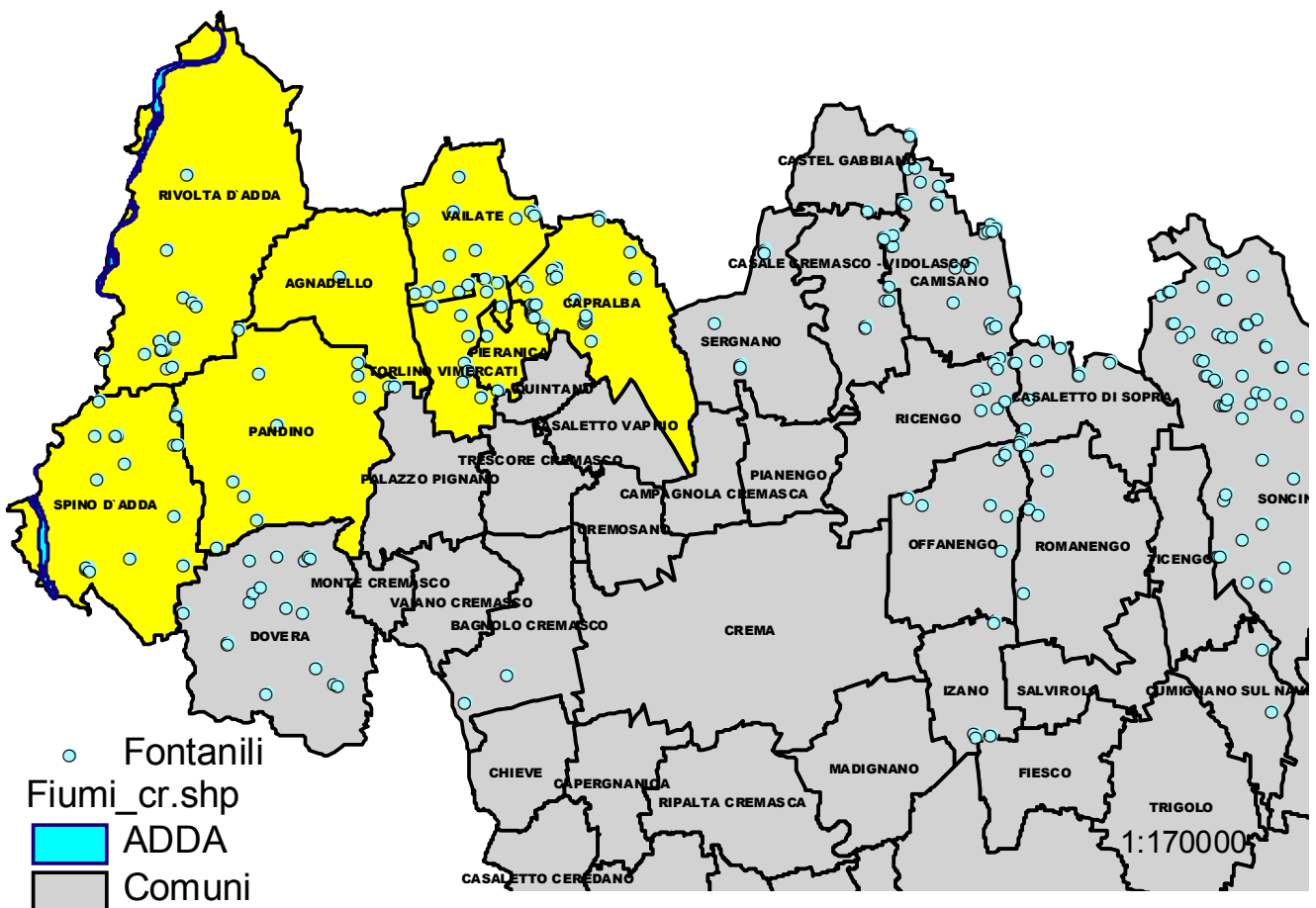


Fig.25 – E' evidenziata l'area campione in giallo ed i fontanili in azzurro

Il successivo passo è stata la valutazione, all'interno dell'area prescelta, dei corsi d'acqua più significativi e con l'imprescindibile caratteristica della accessibilità vista la modalità essenzialmente manuale delle rilevazioni.

Alla ricerca di una copertura il più possibile uniforme del territorio, la scelta è caduta in principio su sei rogge (Merlò Giovane, Landriana, Tormo, Cremasca, Rino Fontana e Nodello) alle quali è stato necessario aggiungere una settima (roggia Quarantina) viste le problematiche relative alle rilevazioni riscontrate in corso di monitoraggio.

E' stato poi valutato il miglior punto di rilevazione possibile per ognuno dei corsi idrici considerati. I criteri seguiti nell'analisi sono stati essenzialmente 5 e di varia natura, va ancora una volta sottolineato come tali

criteri non siano da valutare come assoluti, ma come i più adatti in rapporto ai mezzi ed alle risorse disponibili nel caso specifico:

- **Assenza a monte della sezione di captazioni** rilevanti e soprattutto discontinue nel corso dell'anno; la presenza di deviazioni del flusso o di parte di esso ad opera dell'uomo è infatti in grado di inficiare qualsiasi tipo di misurazione portando a valutazioni errate sulla dinamica naturale della falda. Proprio questo punto è stato uno dei più critici vista la difficoltà nell'identificare captazioni (anche sotterranee) spesso non registrate o comunque difficilmente riconoscibili.
- **Assenza di colli** di acque in eccesso nelle aree a monte; la presenza di acque di scolo può essere rilevante, specie in prossimità di eventi meteorici intensi o irrigazioni troppo abbondanti. In tali situazioni, vista la difficoltà nella stima quantitativa della frazione di portata riconducibile al fenomeno, il monitoraggio idrometrico risulta inefficace. Va comunque sottolineato come tale condizione sia difficilmente evitabile e l'unica soluzione adottabile sia la scelta di siti il più possibile prossimi alla fonte/risorgiva.
- **Assenza di disturbi.** Vista la scarsa pendenza degli alvei considerati è presumibile che le correnti siano lente e quindi qualsiasi irregolarità o disturbo nel flusso può generare incongruenze. Consci della difficoltà nel reperimento di sezioni ideali indisturbate, con il passaggio da corrente lenta a veloce, si sono comunque cercati punti il più possibile esenti da singolarità geometriche.
- **Presenza di capisaldi di misurazione** il più possibile affidabili quali attraversamenti in materiale cementizio o sponde regolari non soggette a cambiamenti in dimensioni e forma (ad esempio da escludere sponde in terra). Si è tenuto conto anche della tipologia di fondale anche se spesso, nonostante questo accorgimento, come verrà descritto nei paragrafi successivi, inattese manovre di pulizia o il deposito di sedimenti hanno condizionato le misurazioni.
- **Accessibilità.** Ancora una volta siti inaccessibili (ad esempio in zone impervie o in proprietà private non liberamente raggiungibili) sarebbero risultati privi di significatività vista la natura stessa delle rilevazioni.
- **Presenza di sezioni di controllo:** questo aspetto si è rilevato il più difficile da definire per motivi morfologici evidenti. Tutti i corsi d'acqua che alimentano il comprensorio indiretto, nel cremasco come in molte altre zone dell'alluvionale pianura Padana del versante alpino, si originano a quote depresse rispetto ai circostanti terreni. Con lenta progressione, le seppur minime pendenze e le dimensioni degli alvei portano il tirante idraulico a sovrastare la campagna, quindi a rendersi disponibile all'irrigazione a gravità, dopo percorsi di alcuni se non decine di chilometri, dove ogni singolo corso d'acqua già ha beneficiato di colature e contributi di innumerevoli connessioni in superficie e per infiltrazione dal sottosuolo. L'introduzione delle apparecchiature di sollevamento meccanico hanno affrancato l'irrigazione dalla necessità di disporre di acque già poste a livelli superiori ai campi, spostando il limite del comprensorio irrigato verso l'origine di ciascuna canale. La necessità di disporre di una sezione che non risulti alterata sia da afflussi non noti né controllabili che da emungimenti, quindi di un punto nel quale sia certo che il flusso osservato sia determinato dalla sola fonte di alimentazione che chiameremo 'originaria' del corso d'acqua stesso, porta in zone dove non vi sono né salti d'acqua, dove poter correlare con certezza una univoca scala delle portate, né manufatti di intercettazione e misura. La scelta quindi si è fortemente limitata nel ricercare sezioni quanto più possibili regolari dove, anche attraverso misure di portata, eseguite con il mulinello – a volte intervenendo con mezzi meccanici messi a disposizione dal Consorzio Irrigazioni Cremonesi, si è costruito un metodo indiretto per avere l'ordine di grandezza delle portate transitanti. Sebbene possa apparire strano, questi valori sono stati ricercati più per completezza di informazione e documentazione che per necessità diretta dello studio, che infatti si è prefisso soltanto di valutare se esisteva una connessione tra i flussi del comprensorio diretto e le sezioni, così individuate, degli adduttori al comprensorio indiretto e se la misura delle riduzioni delle acque 'vive' derivate dal fiume si ripercuoteva in pari o diversa misura sulle portate delle acque 'morte'. La valutazione relativa, però, presupponeva uno stadio di regime delle acque 'vive' che purtroppo mai

si è verificato, per periodi significativi nel corso del 2005, quando la crisi idrica ha impedito di portare al 100% della competenza le derivazioni influenti l'area di studio (significativamente le derivazioni di Vailata, retorto e Rivoltana). A questa difficoltà come in séguito vedremo, abbiamo ovviato ricostruendo l'anno medio secondo riscontri e testimonianze coerenti ed affidabili anche se, ci rendiamo conto, non prive di critiche da un rigoroso punto di vista scientifico; ma . . . all'andamento meteo climatico non abbiamo potuto opporre, oltre al nostro lavoro, tutta l'inventiva e la fantasia che a volte aiutano anche la scienza più raffinata!

Eccoci quindi così giunti alla definizione dei sette punti notevoli o stazioni che saranno alla base di gran parte dei dati raccolti.

7.2.2 Monografia sezioni di controllo

1 - Roggia Nodello a Capralba (vicinanze Cascina Pradello)

- *Inquadramento geografico:*

Codice: ST1

Tavola CTR: C6b3

Località: Vicinanze Cascina Pradello, Capralba (CR)

Posizione: strada comunale in direzione Panizzardo

Coordinate Gauss Boaga: X:1.551.330 Y:5.032.830

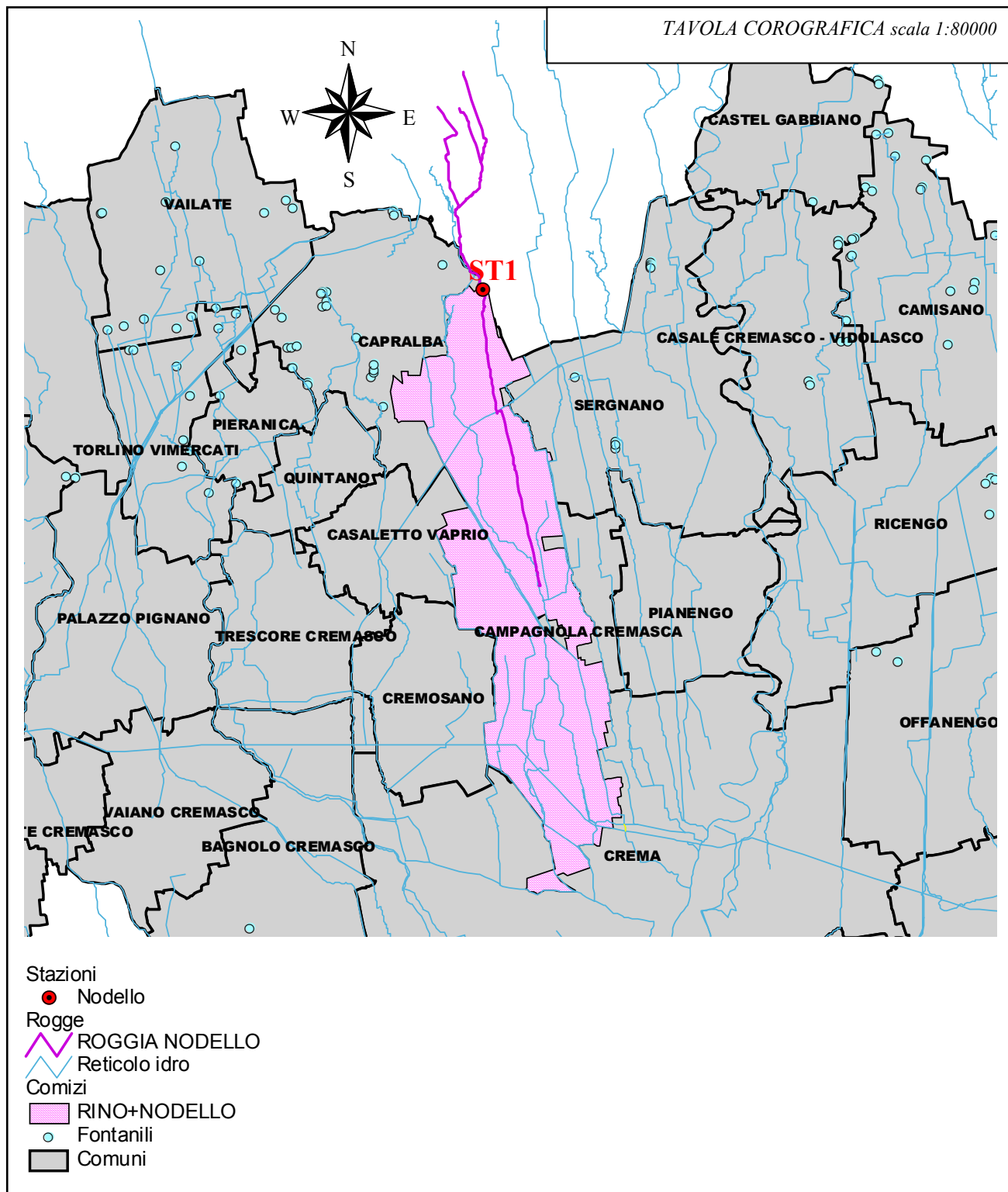
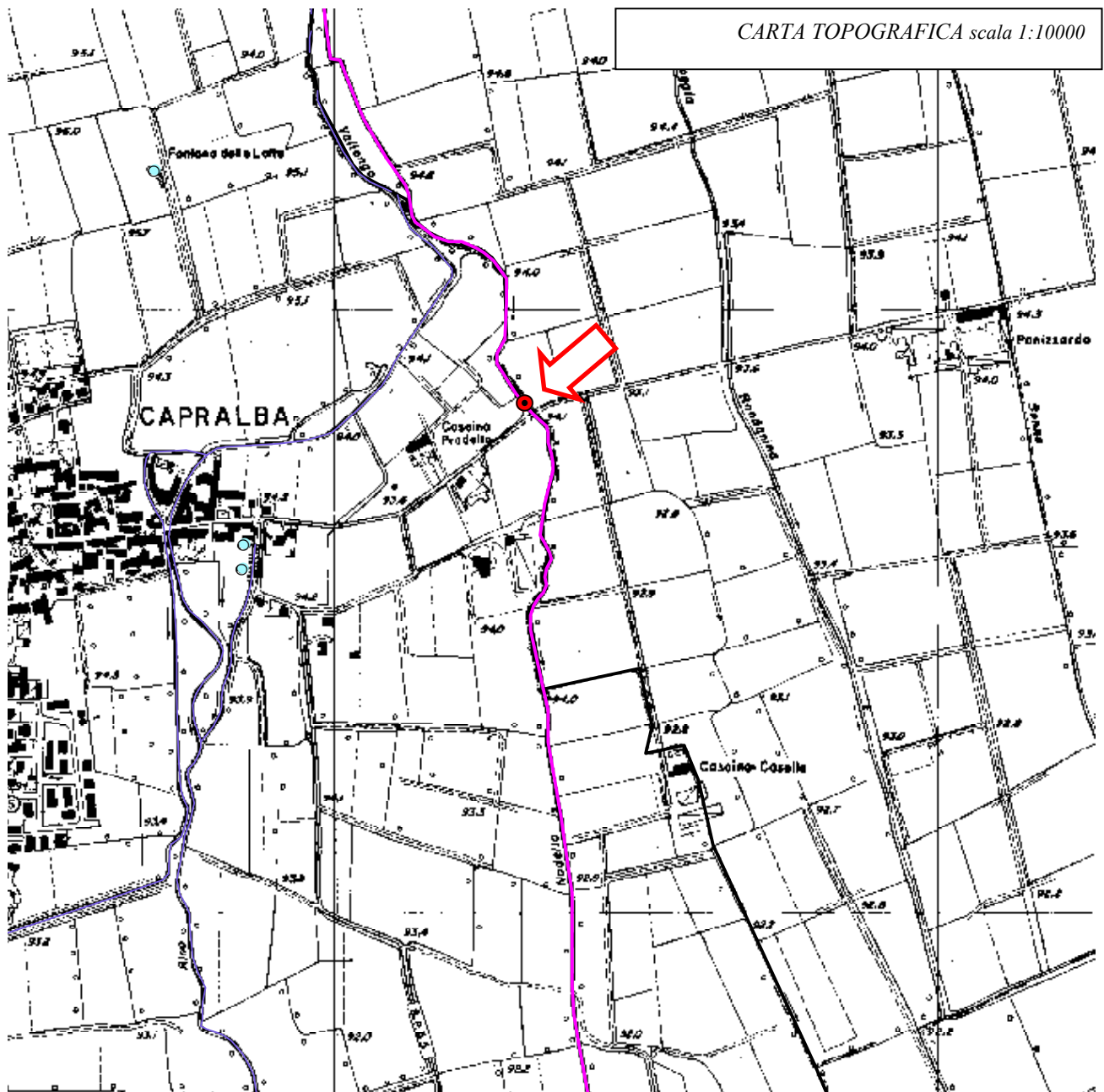


Fig.26 – ST1 sul Nodello, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: **Roggia Nodello**

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo naturale rettilineo, geometria rettangolare, tratto con presenza di vegetazione composta prevalentemente da erba o piccoli arbusti su sponda destra, alberi di dimensione medie con diametro inferiore a 30 cm e arbusti su sponda sinistra. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiali fini (argille, limi e sabbie).

Note: la roggia Nodello trae origine da diramazione della roggia Rino che ha sorgente in territorio di Caravaggio e Capralba, ricevendo anche le acque dei fontanili Rondanina, Vallongo e Carnadecco formati sempre nel basso bergamasco da fontanili. Durante il suo percorso torna a defluire nella Rino.

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.27 – Punto di misurazione S11 Roggia Nodello

Il punto di misurazione si trova in testa ad un partitore che fraziona il flusso in due rami distinti, uno principale che prosegue verso sud ed uno minore che devia verso il centro abitato di Capralba. Lo zero idrometrico è stato considerato come la superficie del partitore stesso. A monte della sezione non sembrano esserci disturbi evidenti vista la relativa vicinanza con le sorgenti e la regolarità dell'alveo. Da rilevare è comunque la presenza a circa 1 Km verso nord del partitore che genera il Nodello dalla roggia Rino; durante il periodo di monitoraggio sono stati riscontrati sporadici periodi di chiusura parziale di un ramo del partitore attraverso l'inserimento di un asse; questa manovra può essere stata dettata da comportamenti abitudinari o più verosimilmente dalla necessità di parzializzare le portate a causa dell'eccezionale scarsità di risorsa. L'assenza di gargami od ancoraggi per tassellature aveva fatto intendere, stante anche le informazioni raccolte, interventi di tale fatta che pregiudicano le valutazioni idrometriche condotte. Non sono presenti captazioni a monte e il comprensorio irriguo relativo alla roggia Nodello non è distinguibile da quello appartenente alla Rino; si nota comunque in fig.26 come questo si estenda in un'area immediatamente a sud del punto di rilevazione non influenzando direttamente la misura.

Il luogo è facilmente accessibile dalla strada comunale per Panizzardo.

2 - Roggia Rino a Capralba

• Inquadramento geografico:

Codice: ST2

Tavola CTR: C6b3

Località: Capralba (CR)

Posizione: Via Roma 45 , vicinanze mulino

Coordinate Gauss Boaga: X:1.550.720 Y:5.032.650

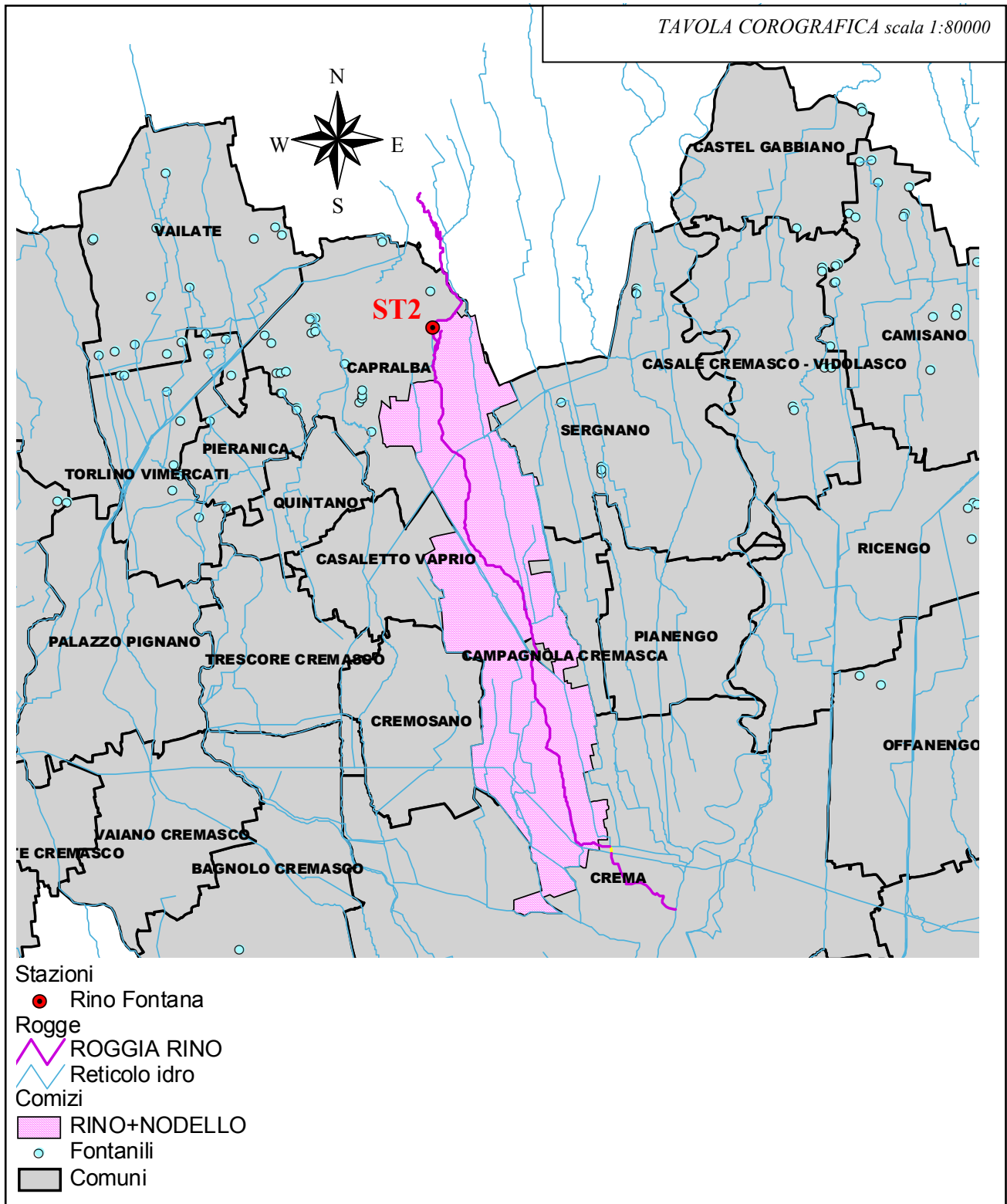
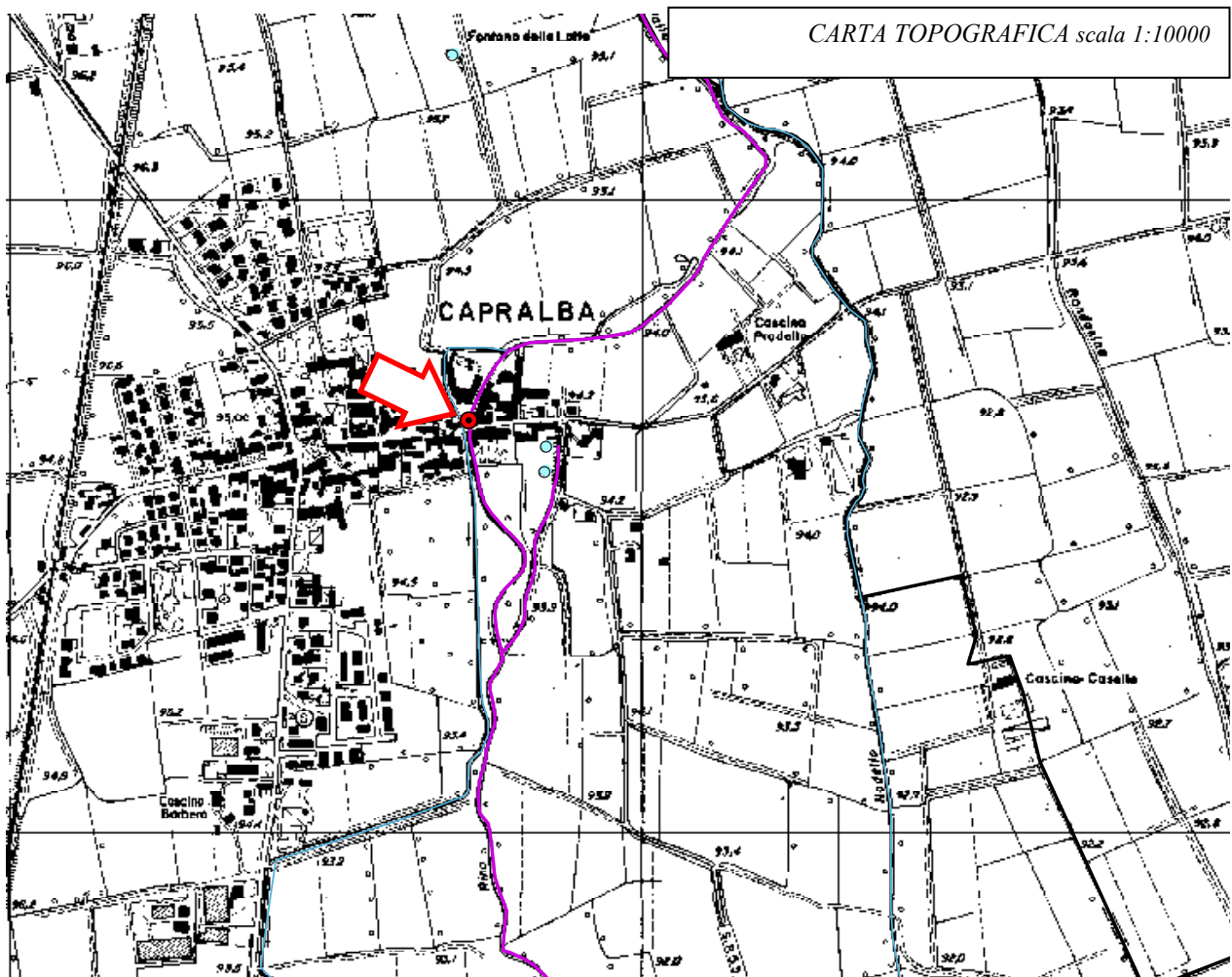


Fig.28 – ST2 sul Rino, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: **Roggia Rino Fontana**

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo rettilineo, geometria rettangolare, sponde verticali in materiale cementizio. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiali fini (argille, limi e sabbie).

Note: la roggia Rino Fontana ha sorgente in territorio di Caravaggio e Capralba, ricevendo anche le acque dei fontanili Rondanina, Vallongo e Carnadeco formati sempre nel basso bergamasco. Durante il suo tragitto da origine alla roggia Nodello, che ritorna poi a confluire nella Rino, e ad altre importanti diramazioni dirette verso Crema che sfociano poi tutte nel Serio. Corso d'acqua di primissimo rilievo storico il Rino, unitamente al suo ramo Fontana, costituì per secoli uno dei maggiori approvvigionamenti idrici della città di Crema. Il soggetto gestore delle sue acque è il "Consorzio Irrigazioni Rino ed Unite".

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.29 – Punto di misurazione ST2 Roggia Rino Fontana



Il punto di misurazione si trova in corrispondenza della spalla destra del ponte di attraversamento di via Roma in corrispondenza del civico 45. Come zero idrometrico è stata considerata la base di una trave metallica di armatura del ponte stesso.

A monte della sezione non sembrano esserci disturbi evidenti, da notare è l'allargamento dell'alveo in corrispondenza del vecchio mulino poco più a nord ed il restringimento in corrispondenza del passaggio obbligato sotto il ponte. Essendo la stazione a sud della biforcazione con il Nodello permane la problematica del possibile sbarramento artificiale a monte.

Non sono presenti captazioni a nord ed il comprensorio irriguo relativo si estende in un'area immediatamente a sud del punto di rilevazione non influenzando direttamente la misura.

Il luogo è facilmente accessibile all'interno del centro abitato di Capralba.

3 - Roggia Quarantina a Farinate

- *Inquadramento geografico:*

Codice: ST2B

Tavola CTR: C6b3

Località: Capralba (CR)

Posizione: località Farinate

Coordinate Gauss Boaga: X:1.549.296 Y:5.032.121

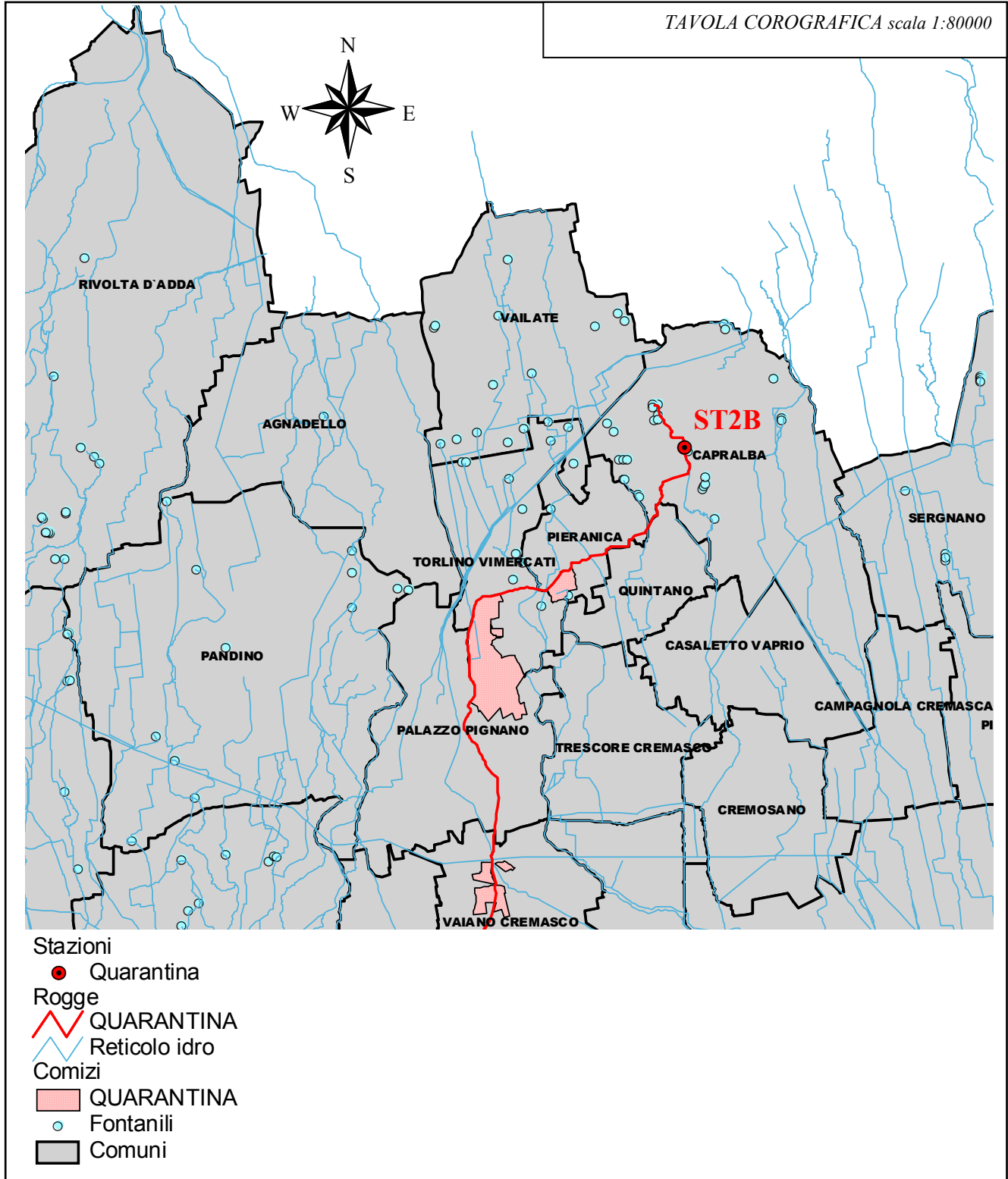
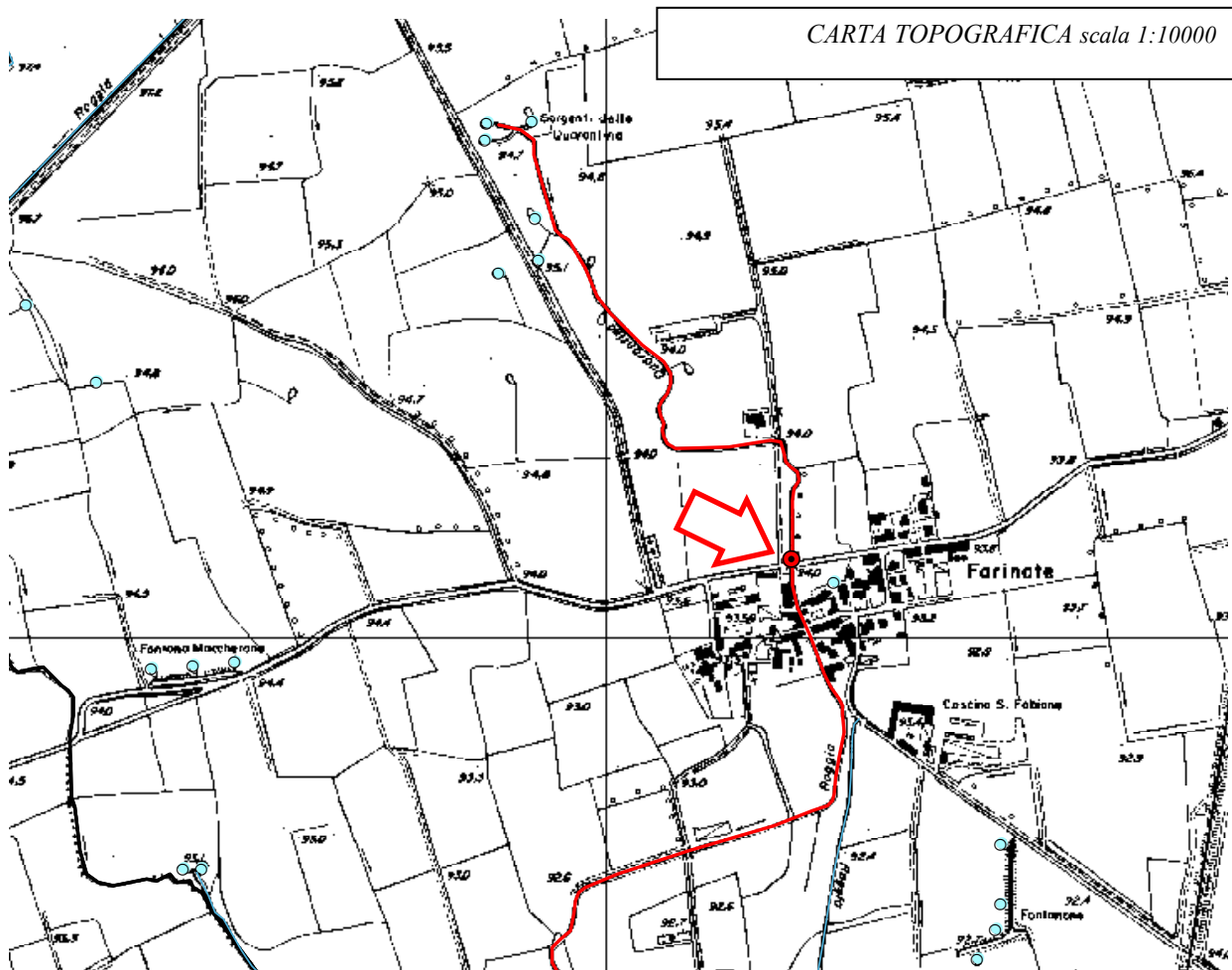


Fig.30 – ST2B sulla Quarantina, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: Roggia Quarantina

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo rettilineo, geometria rettangolare, sponde verticali in terra.. Tratto con presenza di vegetazione composta prevalentemente da erba o piccoli arbusti ed alberi di dimensione medie con diametro inferiore a 30 cm. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiali fini (argille, limi e sabbie) con inclusioni di materiale più grossolano.

Note: la roggia Quarantina ha sorgente immediatamente a nord della sezione dove è presente una testa di fontanile di medie dimensioni oggi adibita a zona ricreativa. Dopo aver attraversato la frazione di Farinate continua il suo percorso verso sud fino a Vaiano Cremasco.

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.31 – Punto di misurazione ST2B Roggia Quarantina

Il punto di misurazione si trova in corrispondenza della mezzaria del ponte della strada comunale che da Capralba porta sulla S.P. 2 (Vailate-Pieranica). Come zero idrometrico è stata considerata la testa del muretto supporto del guardrail.

A monte della sezione non sono presenti disturbi evidenti, e vista la vicinanza alle risorgive è da escludersi qualsiasi forma di scolo di acqua in eccesso.

Non sono presenti captazioni a nord ed il comprensorio irriguo relativo si estende in un'area abbastanza distante a sud nei comuni di Pieranica, Palazzo Pignano e Vaiano Cremasco (vedi fig.30).

Il luogo è facilmente accessibile direttamente sulla strada comunale.

4 - Roggia Cremasca

- *Inquadramento geografico:*

Codice: ST3

Tavola CTR: C6b3

Località: Vicinanze Cascina Benzona, Capralba (CR)

Posizione: strada provinciale N°19 ,da Capralba in direzione Misano di Gera d'Adda (BG)

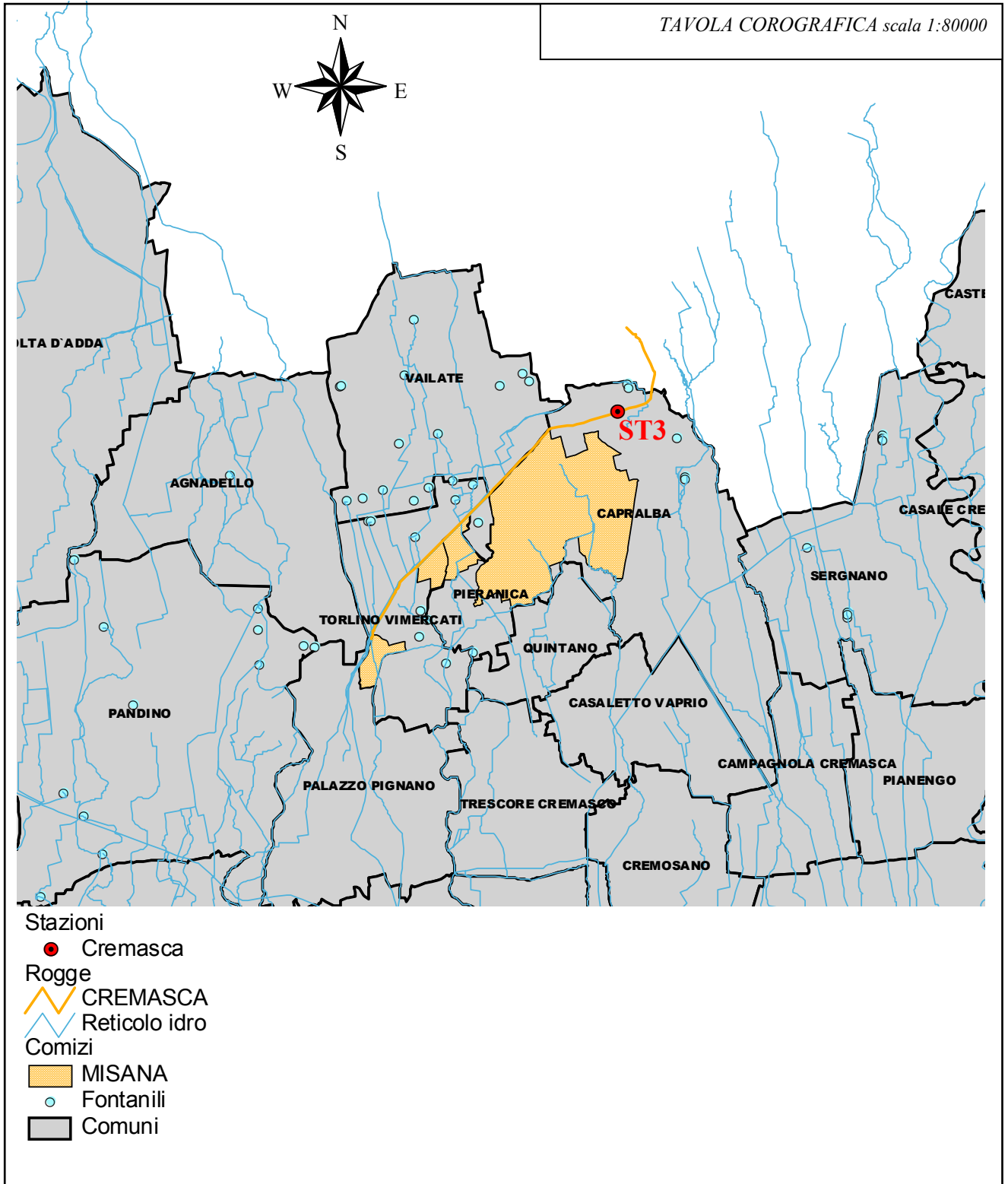
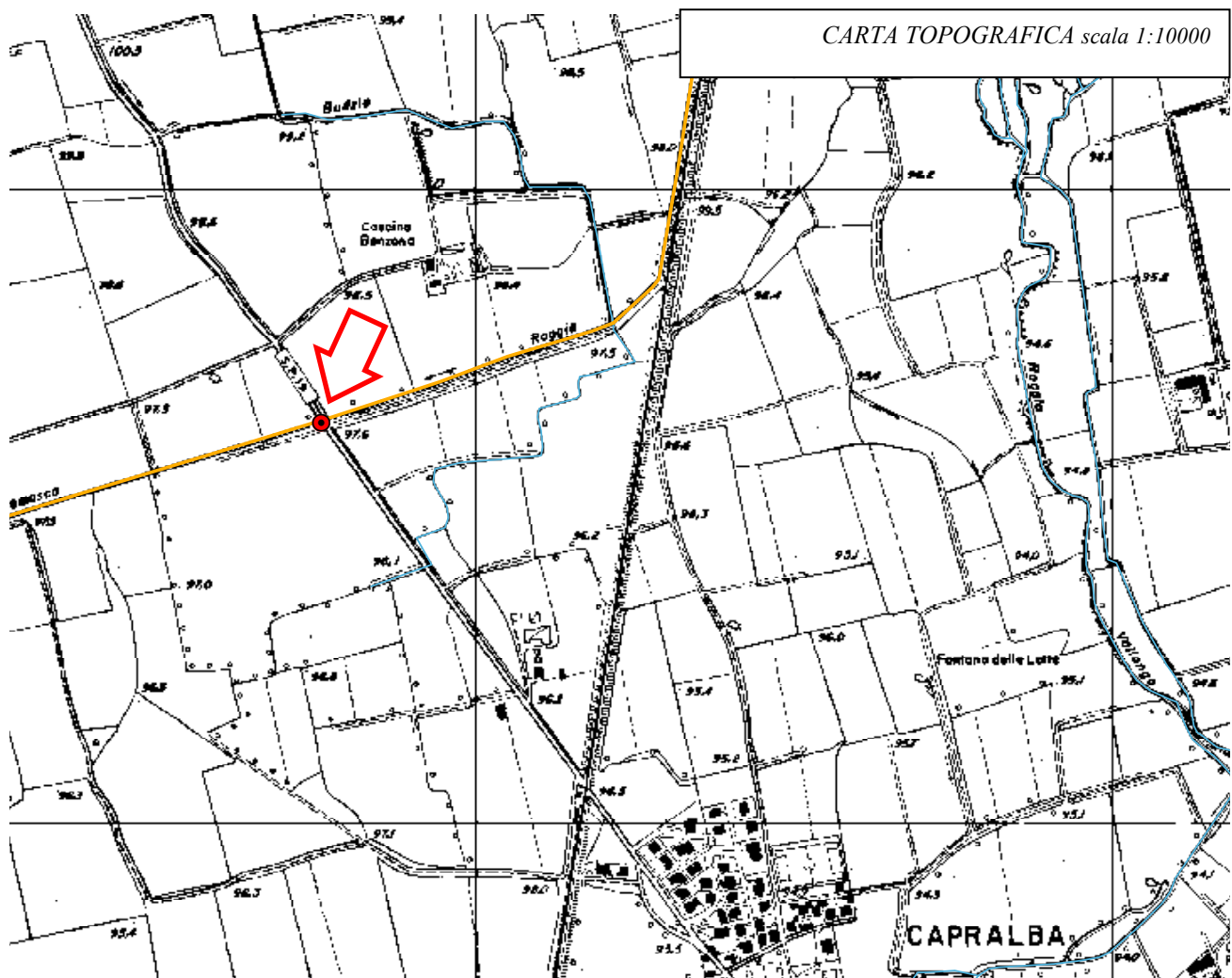


Fig.32 – ST3 sulla Cremasca, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: Roggia Cremasca

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo rettilineo, geometria rettangolare, sponde verticali in materiale cementizio. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiali fini (argille, limi e sabbie).

Note: nasce da un cospicuo complesso di teste di fontanile nei pressi di Misano di Gera D'Adda (BG) per entrare subito dopo in territorio cremasco, di cui rappresenta uno dei principali corsi irrigui. Nominata anche come Misana o roggia Vecchia fino ad Azzano venne successivamente impinguata con acque provenienti dall'Adda attraverso la roggia Badessa, diramazione del Retorto che prende origine dal fiume a Cassano d'Adda. Dal punto di confluenza in poi assume il nome di roggia Comuna che le deriva dal fatto di essere appartenuta al Comune di Crema per diversi secoli. Il gestore delle acque è il "Consorzio rogge Comuna ed Unite".

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.33 – Punto di misurazione ST3 Roggia Cremasca

Il punto di misurazione si trova in corrispondenza della spalla destra del ponte di attraversamento della strada provinciale (S.P. 2) che da Capralba porta a Misano nelle vicinanze della Cascina Benzona. Come zero idrometrico è stata considerata la testa del muretto supporto del guardrail.

A monte della sezione non sembrano esserci disturbi evidenti e l'alveo appare di geometria regolare con sponde cementizie. Non sono presenti captazioni a nord e la testa di fontanile detta "fontanile dei Mosi" è molto vicina al punto di misurazione. E' da sottolineare il valore naturalistico/ambientale dell'area che presenta una delle ultime aree interessate da risorgiva in grado di fornire acqua per tutto l'arco dell'anno (fig.34). Il comprensorio irriguo relativo si estende in un'area immediatamente a sud del punto di rilevazione non influenzando direttamente la misura.

Il luogo è facilmente accessibile direttamente sulla S.P.2.



Fig.34 – Fontanili dei Mosi, sorgente della roggia Cremasca

5 - Roggia Tormello ad Agnadello

• *Inquadramento geografico:*

Codice: ST4

Tavola CTR: C6a3

Località: Agnadello (CR)

Posizione: Via Padre Marcellino in direzione Pandino, loc. Centro Agricolo S. Francesco

Coordinate Gauss Boaga: X:1.543.260 Y:5.031.130

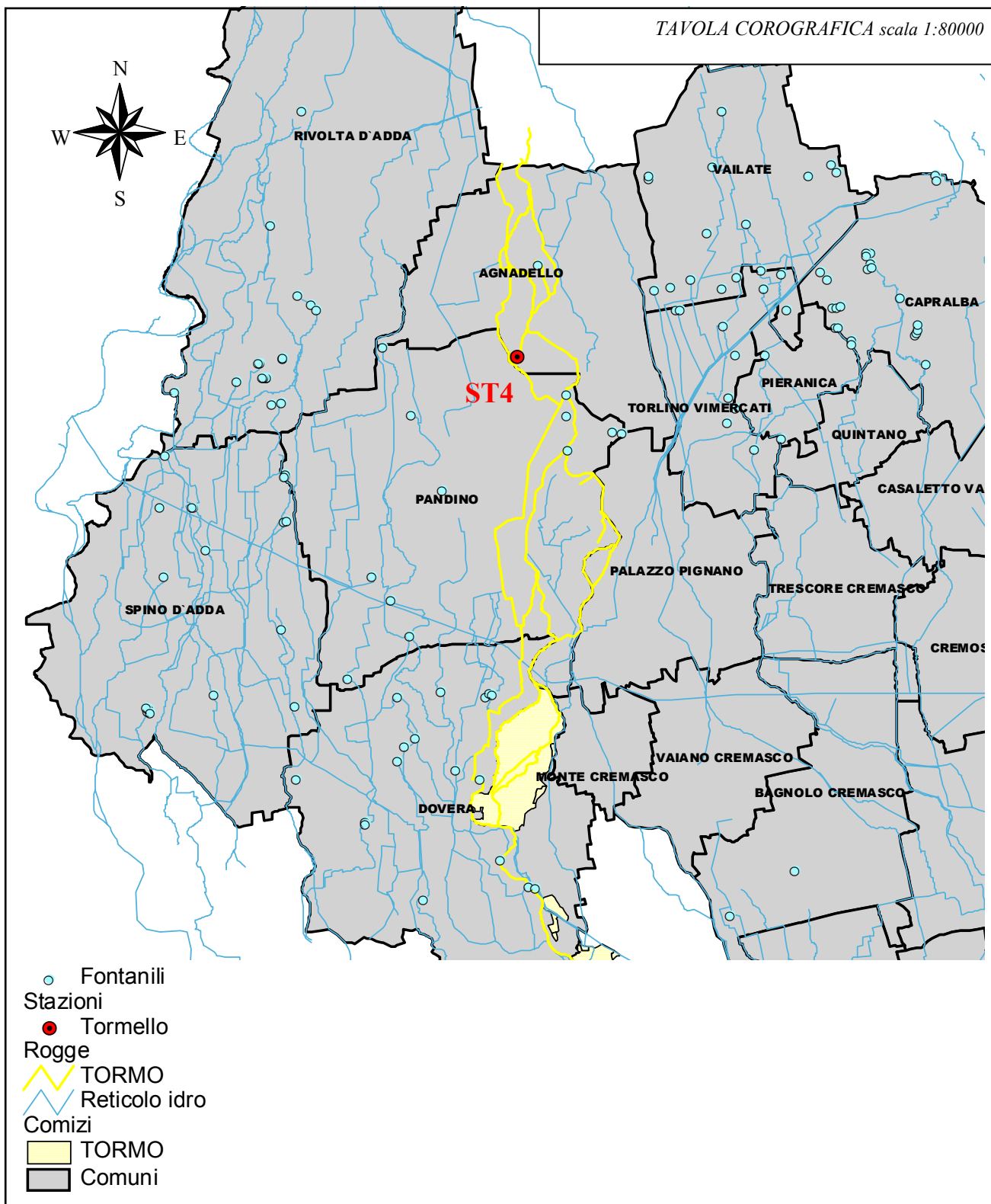
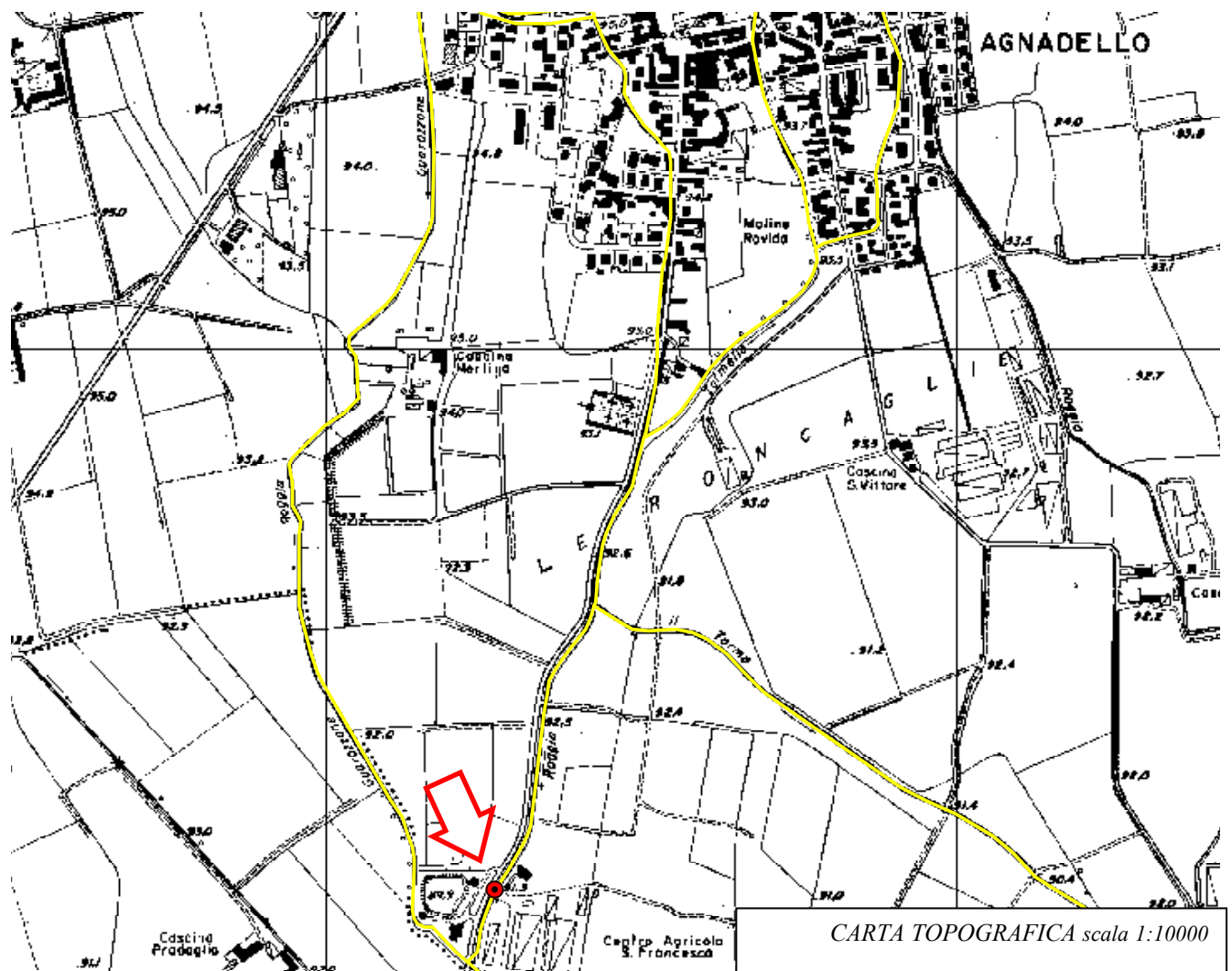


Fig.35 – ST4 sul Tormello, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: Tormo

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo rettilineo, geometria rettangolare, sponde verticali in materiale cementizio. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiali fini (argille, limi e sabbie), presenza di fitta vegetazione acquatica.

Note: vero e proprio fiumicello da risorgiva ha le sue origini in territorio di Arzago d'Adda tramite la roggia Murata e di Agnadello prosegue il suo corso per circa 30 chilometri fino a sfociare nell'Adda nei pressi di Abbazia Cerreto (Lodi). Il suo corso avviene in uno dei paleoalvei del fiume Adda, come già accennato nei paragrafi precedenti, conferendo ulteriore valore naturalistico ad una roggia già ricchissima sotto il profilo storico.

Molteplici sono i gestori delle acque del Tormo, che si succedono lungo il suo corso. Trovandosi a coincidere, nel suo corso principale, nell'impluvio della 'Gera d'Adda' il Tormo raccoglie le acque che anche da esso sono state derivate, restituendo, a valle, portate sempre di valore significativo. Ecco pertanto che i molti soggetti irrigui 'convivono' pacificamente nella grande maggioranza delle annate, trovando soddisfazione dei rispettivi fabbisogni.

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig. 36 – Punto di misurazione ST4 Tormello

Il punto di misurazione si trova in corrispondenza della spalla destra del ponticello di accesso al Centro Agricolo San Francesco sulla strada comunale che porta a Pandino. Come zero idrometrico è stata considerata la superficie del muretto di cinta del ponte stesso.

A monte della sezione non sembrano esserci disturbi evidenti anche se l'alveo appare di geometria regolare solo a tratti. La presenza di sedimenti sul fondo e soprattutto di una fitta vegetazione disturbano il regolare moto dell'acqua. Non sono presenti captazioni a nord mentre la discreta distanza dalla sorgente fa sì che possano instaurarsi fenomeni di colo dalle aree adiacenti.

La posizione della sezione è stata definita vista l'impossibilità di determinare altri attraversamenti a monte e la scelta del Tormello (derivazione diretta del Tormo) e non del canale principale, è stata guidata da necessità pratiche dettate dalle modalità di rilevamento dati. Del resto la diramazione avviene, poche centinaia di metri a monte della stazione, senza alcun organo o dispositivo di regolazione e la portata è quindi costantemente suddivisa nella medesima proporzione. A sicurezza di questa affermazione si sono condotte, non senza difficoltà, misure di portata anche sul ramo denominato, in quel tratto, "Tormo".

Il comprensorio irriguo a cui fa capo il Tormo si estende in un'area molto distante a sud nel comune di Dovera e nel Lodigiano.

Il luogo è facilmente accessibile e, anche se la via d'accesso è privata, è stato gentilmente consentito il transito dai proprietari.

6 - Roggia Landriana a Rivolta d'Adda

Codice: ST5

Tavola CTR: B6e3

Località: Rivolta d'Adda (CR), fraz. Gradella

Posizione: presso Cascina Carezza, deviazione da SP N°1 in direzione Spino d'Adda

Coordinate Gauss Boaga: X:1.539.850 Y:5.031.350

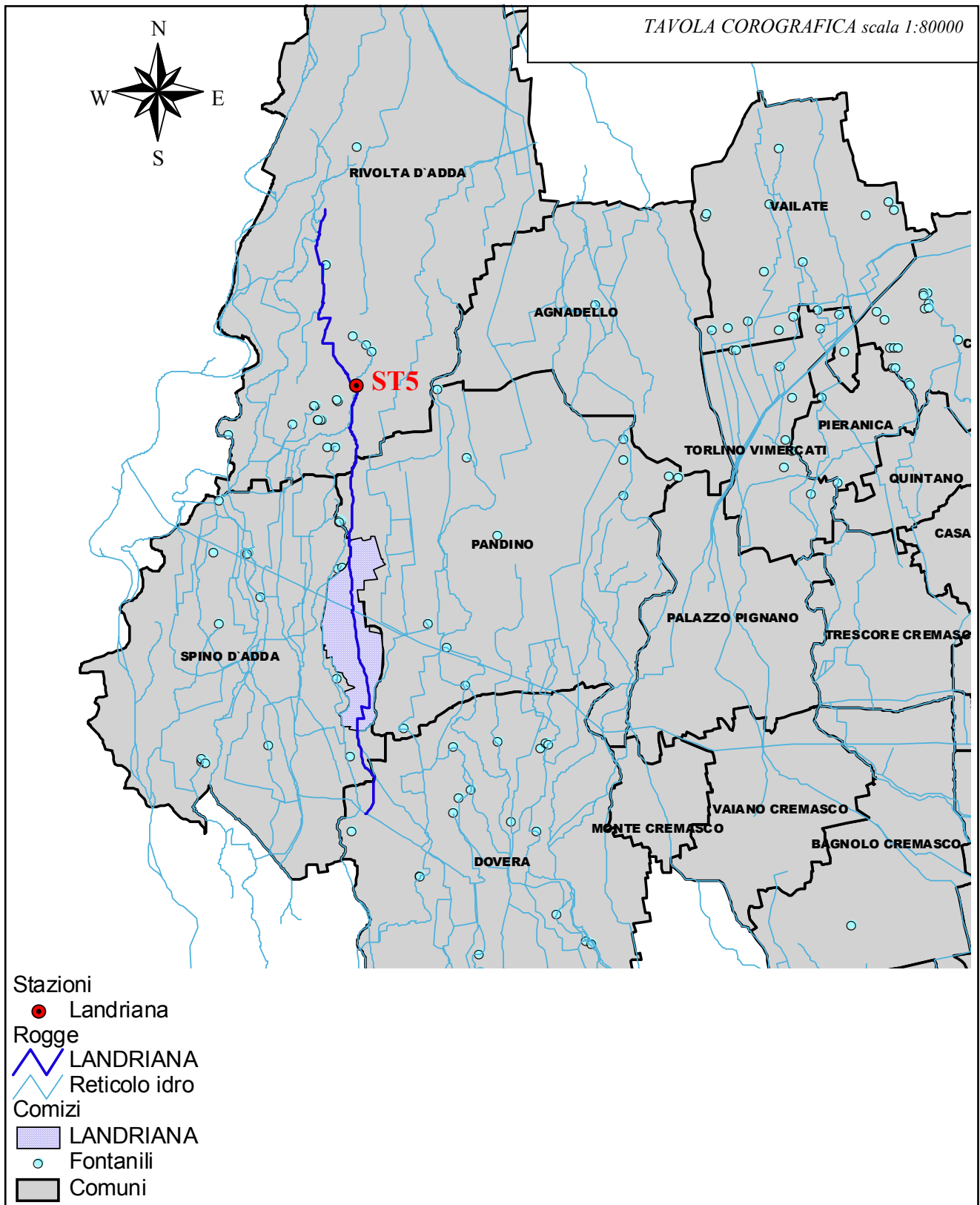
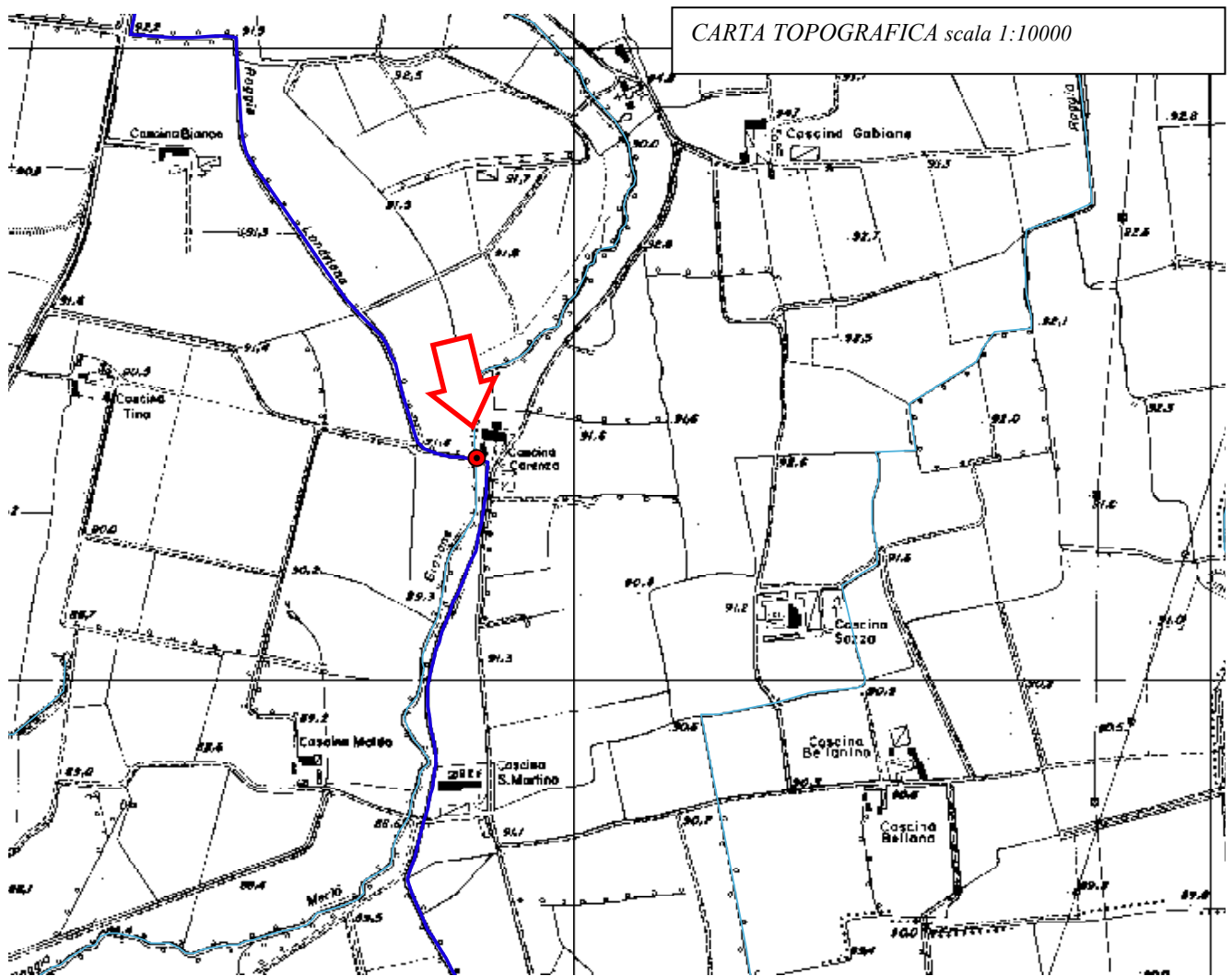


Fig.37 – ST5 sulla Landriana, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: Roggia Landriana

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: trattasi di un lungo ponte-canale, con alveo rettilineo, geometria rettangolare, sponde verticali in materiale cementizio, terminante con un salto a soglia rettilinea. Fondo alveo in materiale cementizio con leggero accumulo di sedimenti su sponda sinistra.

Note: la roggia Landriana nasce nelle vicinanze di Rivolta d'Adda da una serie di fontanili e dalla confluenza della roggia Legazzo. Il suo corso prosegue in direzione sud fino a riversarsi, in prossimità del comune di Dovera, nella roggia Dardanona.

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.38 – Punto di misurazione ST5 Landriana

Il punto di misurazione si trova in corrispondenza della spalla sinistra del pontecanale presso la Cascina Carezza in località Gradella. Il manufatto è in materiale cementizio e consente il sovrappasso della Roggia Merlò Giovane (vedi fig.39). Come zero idrometrico è stata considerata la sommità del muretto di sponda nella posizione indicata (fig.38).

Non sono risultate presenti captazioni a nord mentre la notevole distanza dalla sorgente fa sì che possano instaurarsi fenomeni di colo dalle aree adiacenti, testimoniati dalla notevole quantità di sedimenti sul fondo.

La posizione della sezione risulta particolarmente idonea alla misura vista la presenza di un salto con passaggio da corrente lenta a veloce immediatamente a sud che garantisce la mancanza di disturbi da valle.

Il comprensorio irriguo a cui fa capo la Landriana si estende qualche chilometro più a sud nel comune di Spino d'Adda.

Il luogo non risulta di facile raggiungimento vista la ubicazione in suolo privato all'interno della cascina (anche se è stato gentilmente consentito l'accesso dai proprietari) e soprattutto la posizione sopraelevata con fitta vegetazione del pontecanale stesso.



Fig. 39 – Pontecanale roggia Landriana presso Cascina Carezza

7 - Roggia Merlò Giovane a Rivolta d'Adda

- *Inquadramento geografico:*

Codice: ST6

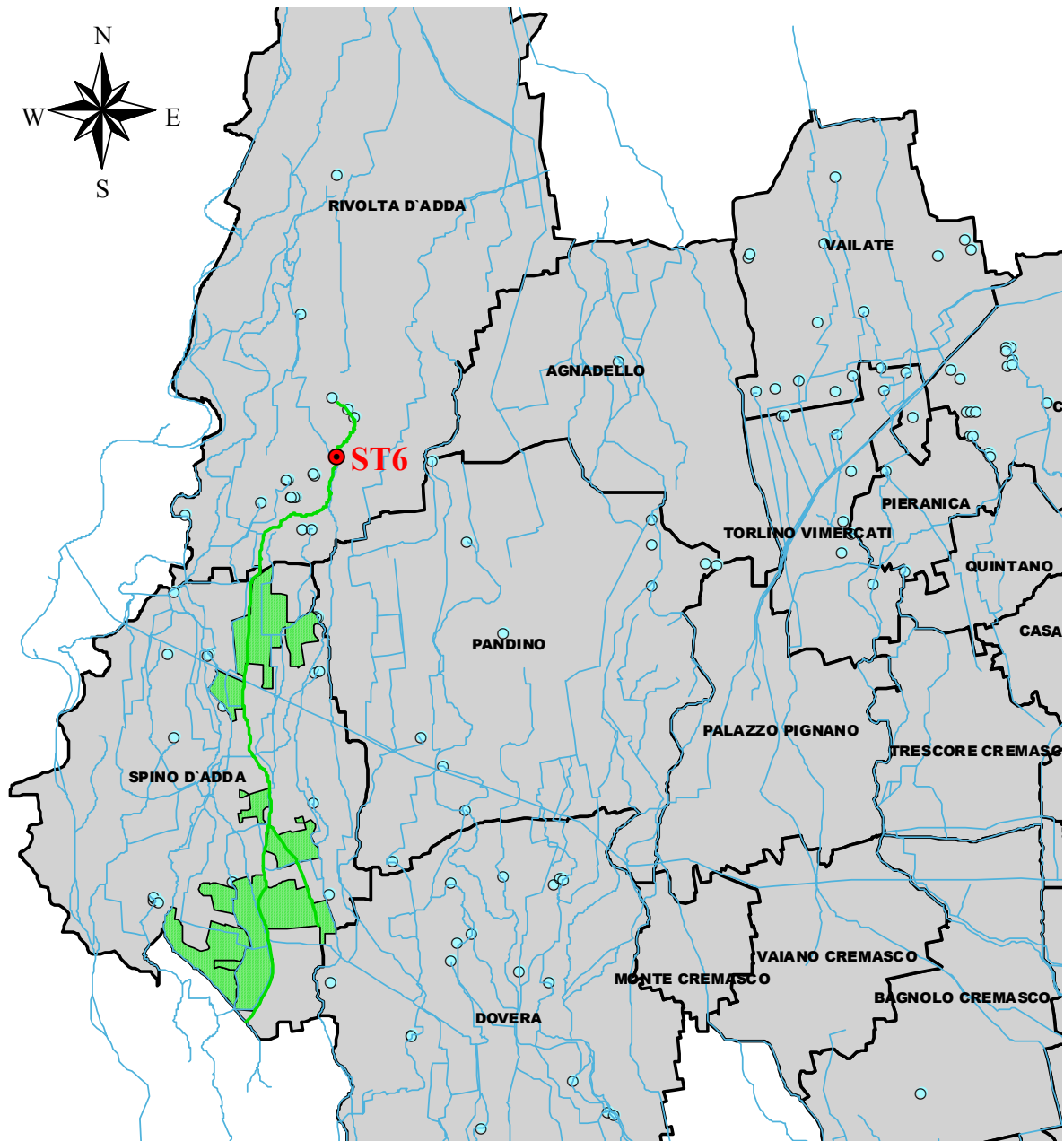
Tavola CTR: B6e3

Località: Rivolta d'Adda (CR), fraz. Gradella

Posizione: presso Cascina Carezza, deviazione da SP N°1 per Spino d'Adda

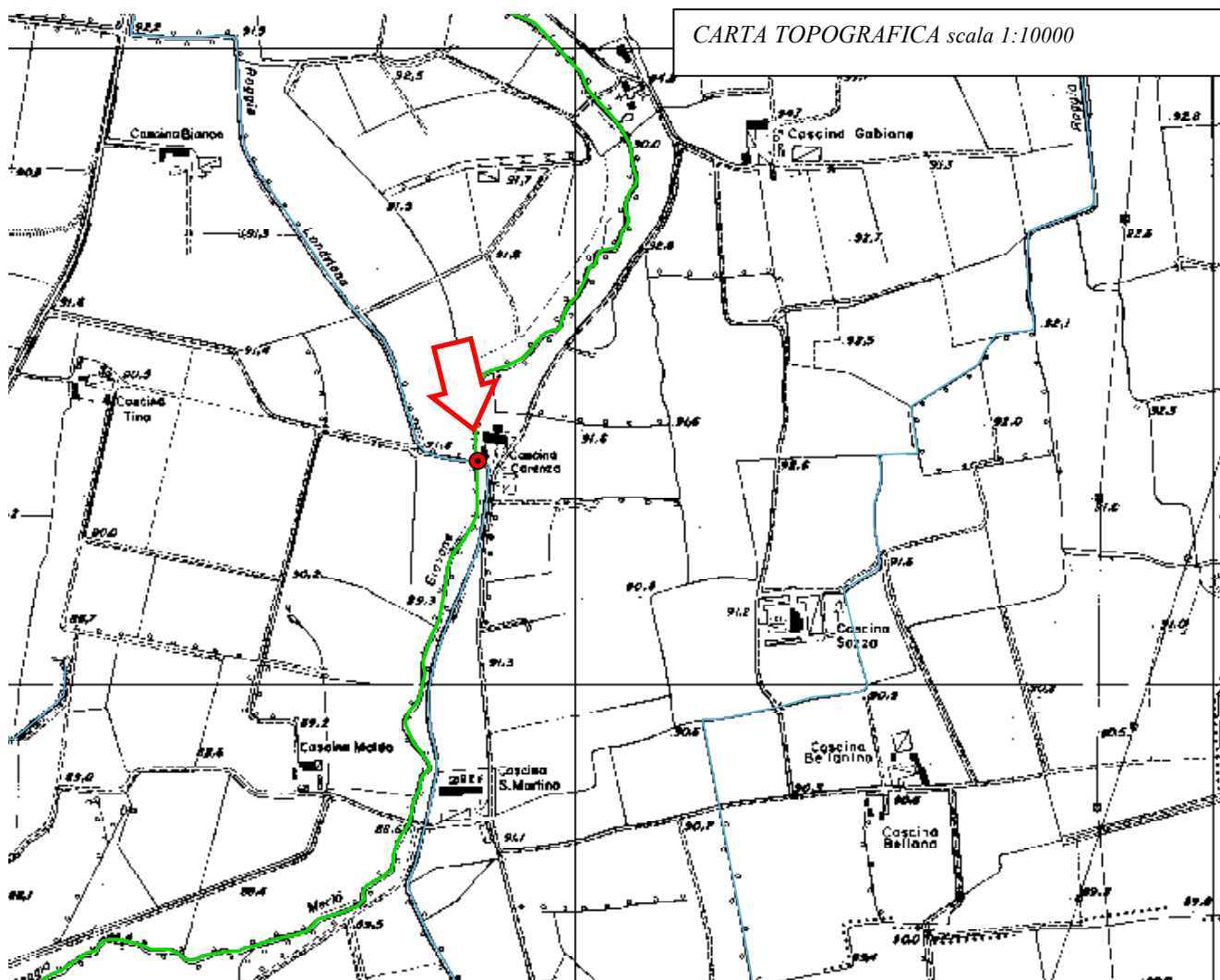
Coordinate Gauss Boaga: X:1.539.850 Y:5.031.350

TAVOLA COROGRAFICA scala 1:80000



- Stazioni
 ● Merlò Giovane
- Rogge
 ✓ MERLO' GIOVANE
 ⚡ Reticolo idro
- Comizi
 ■ MERLO' GIOVANE
 ● Fontanili
 ■ Comuni

Fig.40 – ST6 sulla Rivoltana, è evidenziato il comizio afferente



- *Caratteristiche morfologiche/idrologiche*

Canale: Roggia Merlò Giovane

Fonte di approvvigionamento: risorgiva

Caratteristiche nella sezione: alveo rettilineo, geometria rettangolare, tratto con presenza di vegetazione composta prevalentemente da erba o piccoli arbusti. Fondo alveo prevalentemente costituito da materiale grossolano.

Note: Il Merlò Giovane ha origine dai fontanili presso la Cascina Castello ed è una delle rogge da risorgiva meglio mantenutesi nel corso degli anni. Per il suo valore storico/ambientale oggi si trova sotto tutela ed è inserito, oltre che nel parco naturale regionale Adda Sud, anche nella riserva naturale parziale biologica “fontanile Merlò Giovane”.

Le sue acque confluiscono più a sud presso il comune di Dovera nella Roggia Villana. L'ente gestore è l'Utenza della Roggia Merlò Giovane.

- *Descrizione punto di misurazione:*



Fig.41 – Punto di misurazione ST6 Merlò Giovane

Il punto di misurazione si trova in mezzaria del ponticello aziendale presso la Cascina Carezza. Come zero idrometrico è stata considerata la superficie del ponte stesso.

A monte della sezione non sono presenti agenti di disturbo se non un colo di piccola portata comunque monitorata presso la Cascina Castello in prossimità dei fontanili sorgente della roggia. Non sono presenti captazioni a nord.

Il comprensorio irriguo a cui fa capo il Merlò Giovane si estende in a sud prevalentemente nel comune di Spino d'Adda.

Il luogo si trova all'interno della cascina in suolo privato; grazie a gentile concessione dei proprietari l'accesso è stato comunque sempre agevole.

7.2.3 Dinamiche idrologiche di alimentazione dei corsi idrici

Come descritto le rogge in esame hanno tutte origine da risorgiva. Gli ambiti territoriali nei quali tali corsi idrici trovano origine sono però decisamente differenti; la zona contraddistinta in fig.42 dal numero 1 è caratterizzata dalla vicinanza del fiume Adda e soprattutto delle derivazioni dirette Rivoltana, Pandina, Vailata e Cremasca che sono in grado di “caricare” attraverso fenomeni di infiltrazione e scorrimento sotterraneo la fascia dei fontanili e quindi la gran parte della rete irrigua. Tale tipologia di alimentazione fa sì che il regime idrico dell’area sia indirettamente legato a quello delle grandi derivazioni dell’Adda immediatamente a nord rendendo indispensabile un’ottica più ampia e sistemica nella gestione delle captazioni dirette.

In quest’area ricadono le rogge Landriana, Merlò Giovane, Tormo e Tormello.

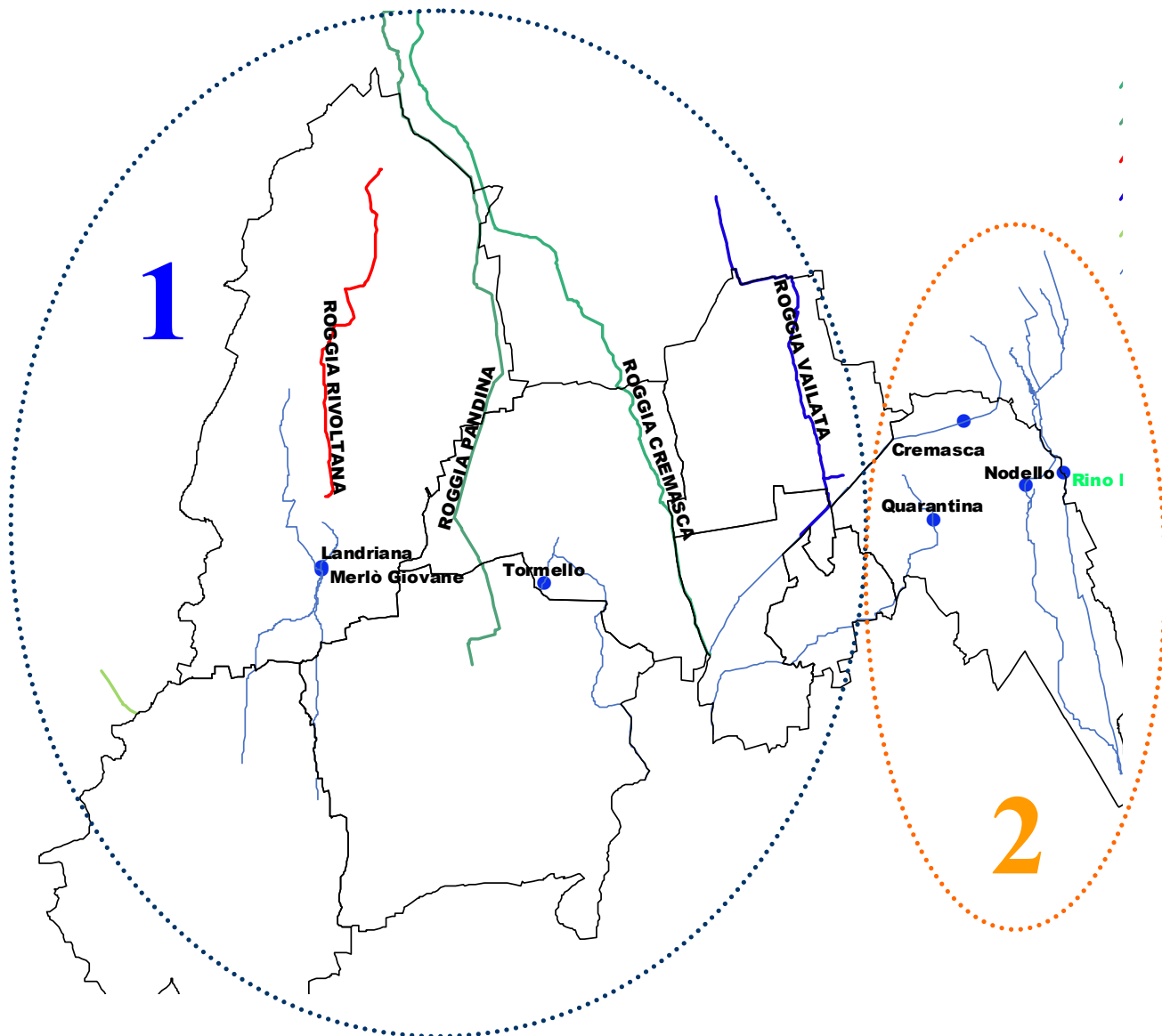


Fig.42 – Suddivisione qualitativa dell’area campione in zone “caricate” dalle grandi derivazioni dell’Adda o dalla fascia dei fontanili

La zona identificata invece con il numero 2 non riceve acqua da derivazioni dirette risultando maggiormente soggetta alle fluttuazioni di portata generate dalle vicende meteorologiche e mantenendo comunque un regime idrico più costante nel corso dell’anno vista la scarsa escursione della prima falda nell’arco dell’anno. In tale area ricadono le rogge Cremasca, Quarantina, Nodello e Rino Fontana.

7.3 Rilevamento in situ

7.3.1 Livelli idrometrici

I livelli idrometrici registrati sono stati valutati a partire dallo zero idrometrico scelto in funzione delle caratteristiche della stazione di monitoraggio relativa. In ogni caso tale quota di riferimento è stata considerata in modo tale da rendere agevole la misura e quindi in un punto che risultasse sempre al di sopra del pelo libero dell'acqua. In conseguenza di questo fatto, le registrazioni sono tutte con segno negativo, al di sotto dello zero.

La frequenza di monitoraggio è stata variabile ed in funzione sia delle esigenze tecniche, sia delle condizioni meteo sia della disponibilità di mezzi e risorse.

Non è stata possibile un'osservazione dei livelli in continuo, ma ci si è dovuti limitare a misure puntuali il più possibile fitte nel tempo; tipicamente sono state effettuate due misurazioni a settimana, quando possibile tre o più.

I dati registrati sono stati:

- **Livelli idrometrici:** espressi in centimetri come distanza del pelo libero dell'acqua dal caposaldo;
- **Condizione meteo:** nel caso di piogge in atto o eventi significativi nelle vicinanze della stazione di misura, vista la natura localizzata dei fenomeni temporaleschi estivi la registrazione in loco è fondamentale;
- **Disturbi:** registrazione di tutti quegli agenti di origine antropica e naturale che potenzialmente possano recare disturbo alla misurazione o mutare le condizioni di stato dell'alveo;
- **Misure Fontanili Cascina Castello:** come informazione integrativa, specialmente per quanto riguarda la Roggia Merlò Giovane, si è effettuata anche la registrazione del livello idrico all'interno della bocca di un fontanile presso la Cascina Castello (Font.1). Sono state annotate anche le portate provenienti da un piccolo scarico proveniente direttamente dalla Roggia Rivoltana, da un colo sul lato ovest della cascina che confluisce nel Merlò e la portata qualitativa dal fontanile su lato strada vicinale (Font.2).

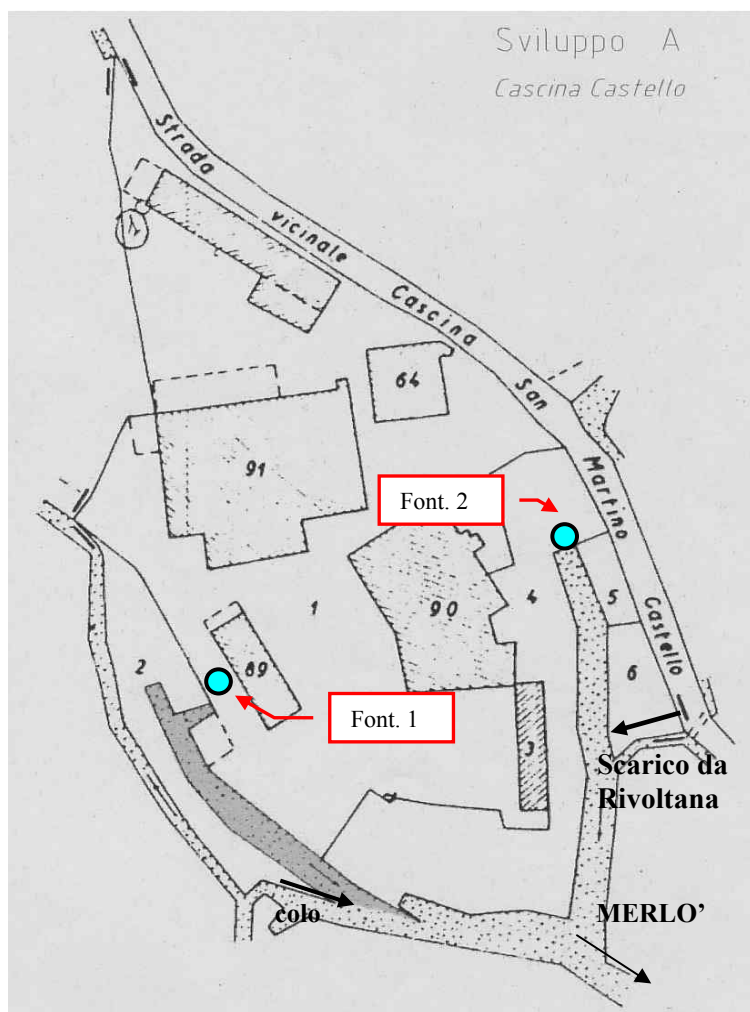


Fig.43 – Schema Cascina Castello (da foglio catastale 27). Sono indicati i due fontanili monitorati e i due principali contributi diretti al Merlò Giovane



Fig.44 – Fontanile 1 presso cascina Castello. E' apprezzabile la variazione di livello (foto scattate il 4 Aprile e il 14 Luglio).

- *Problemi riscontrati*

Nel corso del monitoraggio ci si è trovati di fronte a problematiche di varia natura e spesso inattese. Nonostante le precauzioni adottate in fase di valutazione e selezione dei punti di misura più adatti, sono molteplici i fenomeni di disturbo che potenzialmente possono aver influito anche pesantemente sulle misurazioni. In fase di monitoraggio è sembrato opportuno annotare ognuno di questi, per poi valutare in un secondo momento il grado di influenza e l'eventuale inattendibilità del livello idrometrico rilevato. In primo luogo si è assistito ad eventi di carattere naturale come fenomeni temporaleschi violenti o prolungati periodi di assenza idrica.

Per quanto riguarda questi ultimi, verranno descritti in seguito in apposita sezione; i primi invece hanno caratterizzato prevalentemente il periodo fine Maggio – inizio Giugno con due eventi particolarmente intensi che hanno provocato flussi di scolo e scarichi di acque meteoriche in eccesso nella maggior parte dei siti proprio all'attimo della rilevazione (31 Maggio e 9 Giugno).



Fig.45 – Cumulonembo presso Roggia Nodello il 31 Maggio.

Altri disturbi sono stati originati dall'interazione dell'uomo con il naturale regime idrico della rete. Sulla Roggia Merlò Giovane, ad esempio, si sono registrate fluttuazioni (in realtà poco rilevanti) del livello idrometrico in corrispondenza del periodo 14 Aprile – 2 Maggio quando lo scarico proveniente dalla Roggia Rivoltana (vedi fig.43) è stato aperto per irrigare i terreni limitrofi la cascina Castello.

I maggiori influssi antropici si sono registrati però sulle rogge Rino Fontana e Nodello; in corrispondenza del partitore presso la ST.1 (Nodello, punto B in fig.46) ci si è spesso trovati di fronte al posizionamento di un'asta di legno allo scopo di deviare totalmente l'acqua proveniente da monte verso l'asta principale della roggia creando un evidente disturbo da valle al livello idrico misurato.

Allo stesso modo, anche se con cadenza molto meno frequente, si è verificata la chiusura di una delle due luci del partitore di frazionamento delle acque della roggia Rino Fontana e della Nodello (punto A in fig.46) provocando il quasi totale prosciugamento del relativo corso idrico (vedi 6 Maggio con Nodello completamente asciutto).

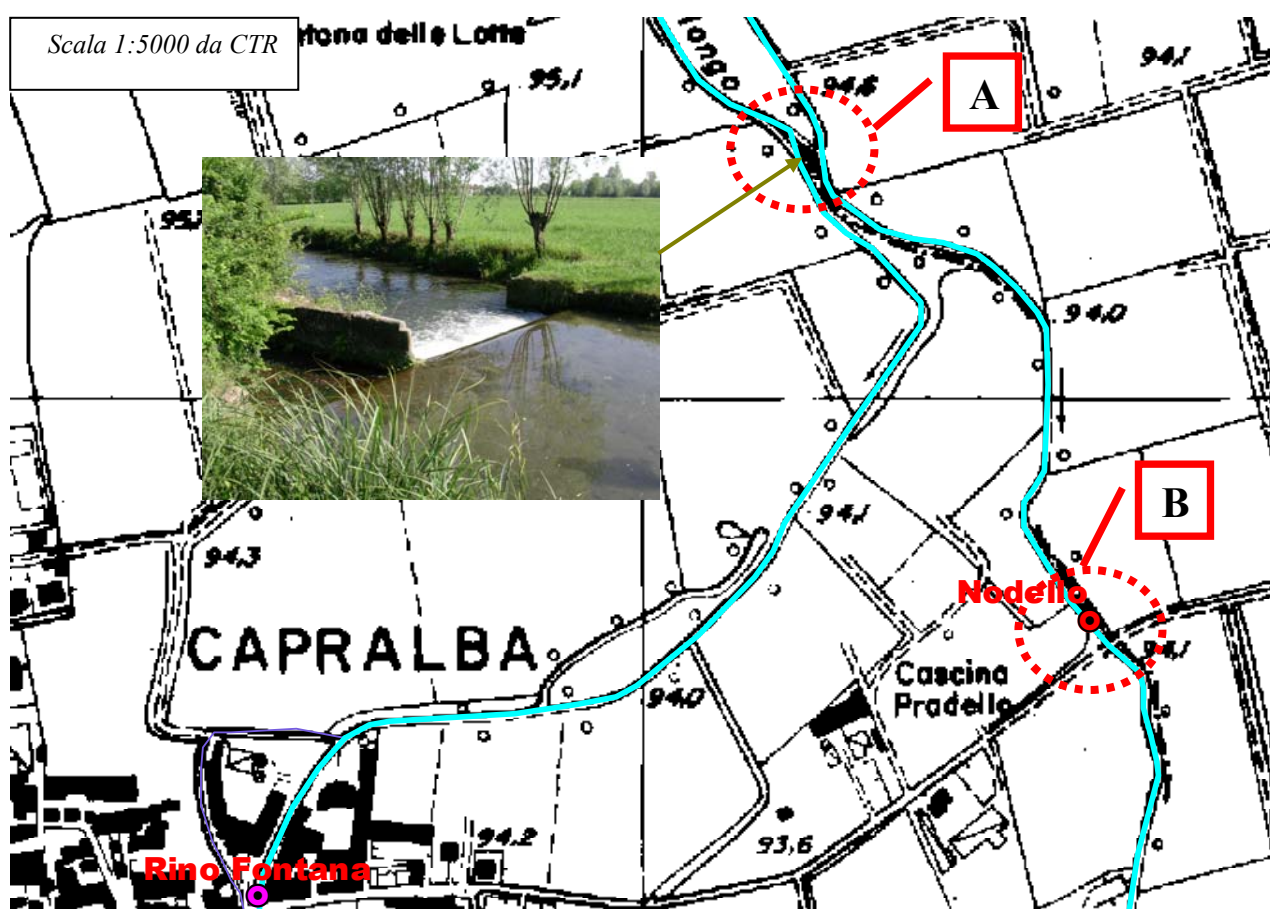


Fig.46 (alto) – Posizione dei due partitori oggetto di manovre su Nodello e Rino -
(basso) Asta di legno posta a sbarramento presso il partitore sulla Roggia Nodello.

L'ultimo tipo di problematica riscontrata comune a tutte le rogge, seppur in diversa misura, è stata la manutenzione dei corsi idrici stessi attraverso sfalci e pulizie di fondali. Tali operazioni possono essere anche molto invasive rispetto alle condizioni naturali dell'alveo; gli effetti principali che si evidenziano sono la diminuzione della scabrezza dell'alveo stesso con una conseguente variazione del moto della corrente e quindi una diversa distribuzione delle portate in rapporto alle altezze idrometriche registrate. Tale fenomeno risulta più evidente nelle immediate vicinanze del periodo dell'operazione per poi scomparire quasi completamente nel corso di qualche giorno con il ristabilirsi di condizioni di crescita vegetale simili a quelle originarie.

Sicuramente più dannose dal punto di vista delle misurazioni sono state quelle manovre di ripulitura dei fondali attraverso draghe in grado di mutare la geometria stessa dell'alveo fino a far variare sensibilmente la quota relativa del caposaldo di misurazione rispetto al fondale. Ne è esempio la pulizia del fondo della Roggia Cremasca del 18 Aprile che ha reso inconsistenti tutte le misure effettuate fino a quel momento con un abbassamento del fondale nell'ordine di diversi centimetri.

La somma di tutti questi fattori, ed in particolar modo quelli relativi alle rogge Nodello e Rino, hanno reso indispensabile l'attivazione di un nuovo punto di monitoraggio a copertura dell'area ad Est; per questo dal 19 Maggio si è iniziata la rilevazione idrometrica sulla Roggia Quarantina (ST2B).

| Data | Nodello | Rino Fontana | Quarantina | Cremasca | Tormello | Landriana | Merib' giovane | Fontanille Castello | | | | Note | |
|--------|---------|--------------|------------|----------|----------|-----------|----------------|---------------------|-------------|-----------|---------|------|------|
| | | | | | | | | lato nord | lato strada | lato nord | scarico | | colo |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 04-apr | ST1 | ST2 | ST2B | ST3 | ST4 | ST5 | ST6 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 07-apr | 61.5 | 118 | 178.5 | 172 | 84 | 177.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 11-apr | 60.0 | 116.5 | 175 | 171 | 82 | 174.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 14-apr | 61.0 | 115 | 170 | 171 | 82 | 166 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 18-apr | 60.5 | 116.5 | 164 | 170.50 | 81.50 | 165 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 21-apr | 63.0 | 117 | 185 | 167.5 | 82.00 | 161.5 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 26-apr | 60 | 113 | 193 | 157 | 82 | 152 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 27-apr | 60 | 112 | 204.5 | 154 | 82.5 | 152 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 28-apr | 61 | 113 | 194.5 | 153 | 82 | 152 | 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 2-mag | 66 | 99.5 | 195.5 | 149.5 | 81.5 | 151.5 | 30 | 0 | 1 | 10 | 3 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 6-mag | 75 | 113 | 194.5 | 149 | 82.5 | 145 | 29 | 0 | 1 | 0 | 5 | | |
| 9-mag | 58 | 119.5 | 195.5 | 149 | 82 | 146.5 | 30 | 0 | 1 | 0 | 5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 11-mag | 54.5 | 120 | 195.5 | 148.5 | 81.5 | 150 | 30 | 0 | 1 | 0 | 5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 13-mag | // | 120 | 195 | 156 | 75 | 147 | 30 | 0 | 1 | 0 | 5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 15-mag | // | 122 | 195 | 153.5 | 80 | 149.5 | 29.5 | 0 | 1 | 0 | 5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 19-mag | 60 | 119 | 149 | 143.5 | 74 | 148 | 29 | 1 | 1 | 0 | 5 | | |
| 20-mag | 60 | 120 | 149 | 143.5 | 76.5 | 149.5 | 28.5 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 24-mag | 60 | 122.5 | 149 | 143.5 | 83.5 | 149.5 | 29.5 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 26-mag | 61 | 120 | 148.5 | 151 | 78.5 | 147 | 29 | 1/3 | 1 | 0 | 5 | | |
| 31-mag | // | 124 | 150 | 151.5 | 24.5 | 150.5 | 30 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 2-giu | // | 121 | 150 | 153 | 82 | 151.5 | 29 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 7-giu | 61 | 118 | 147 | 135.5 | 72.5 | 149 | 29.5 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 9-giu | 72.5 | 119.5 | 140 | 141.5 | 65 | 145 | 29 | 3 | 1 | 0 | 5 | | |
| 13-giu | 60 | 130 | 139.5 | 139 | 67.5 | 141 | 29.5 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 16-giu | 60.5 | 125.5 | 142 | 138 | 60.5 | 142 | 30 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 20-giu | 64 | 122 | 141.5 | 141.5 | 52 | 137 | 29 | 3 | 1 | 0 | 5 | | |
| 23-giu | 60.5 | 121.5 | 139 | 141.5 | 58 | 133.5 | 29 | 3 | 1 | 0 | 5 | | |
| 27-giu | 62 | 132.5 | 136 | 137 | 66 | 141 | 29.5 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 30-giu | 60.5 | 123.5 | 132.5 | 141 | 72 | 144 | 30.5 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 4-lug | 62 | 124.5 | 134 | 133.5 | 57 | 137 | 30 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 7-lug | 62 | 115 | 133 | 129.5 | 66 | 136 | 30.5 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 11-lug | 61.5 | 114.5 | 132 | 130 | 64 | 143 | 31 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 14-lug | // | 120 | 129.5 | 139.5 | 49 | 145.5 | 30.5 | 1/3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 17-lug | 62 | 127.5 | 128 | 110 | 68 | 143 | 30 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |
| 21-lug | // | 120.5 | 130 | 137 | 74 | 149.5 | 30.5 | 1 | 1 | 0 | 3 | | |
| 25-lug | 61 | 117 | 152.5 | 119 | 71.5 | 140 | 30 | 3 | 1 | 0 | 3 | | |

Tab.6 – Database altezze idrometriche misurate nel periodo di monitoraggio

7.3.2 Portate defluite

Per l'analisi in questione, essenzialmente qualitativa, le altezze idrometriche forniscono un'informazione sufficientemente esplicativa per attuare il confronto tra le portate defluite nelle rogge derivazione dell'Adda e quelle provenienti da corsi alimentati da fontanile.

Tuttavia è sembrato opportuno approfondire la conoscenza delle sezioni in esame valutando anche il legame tra i livelli idrometrici stessi e le portate transitanti. Questo essenzialmente per due motivi: innanzitutto verificare l'esistenza di una relazione che si possa definire univoca tra deflussi ed altezze e che fornisca quindi ulteriore robustezza alla successiva fase di confronto tra le stesse. In secondo luogo proporre l'"input" per una successivo lavoro di analisi quantitativa dei deflussi in gioco e il possibile sviluppo di un bilancio idrologico che tenga presente anche i flussi sotterranei, obiettivo primario del progetto TwoLe (anche in questa ottica è già stato posizionato un idrometro automatico sul Tormello).

Il legame tra i livelli registrati e le portate viene definito scala di deflusso: per la stima di tale funzione si cerca, con l'utilizzo di opportuna strumentazione, di valutare il legame in situazioni puntuali per poi stimare la curva in continuo attraverso regressione.

La procedura per una valutazione di tale relazione è spesso complessa e richiede, oltre all'impiego di personale e strumenti specializzati, condizioni di campo omogenee e adatte alle prove. In particolare fenomeni di disturbo quali vegetazione, sponde irregolari, livelli disomogenei possono portare a risultati poco veritieri. Per questo motivo si è pensato di concentrare l'analisi su tre corsi d'acqua ritenuti i più idonei sia in funzione della completezza delle serie idrometriche registrate sia della qualità della sezione. Ciononostante le problematiche incontrate sono state molteplici, di varia natura, spesso imprevedibili come verrà descritto nei paragrafi seguenti.

Sono state quindi escluse, da questa parte della trattazione, le rogge situate più ad Est nella zona di Capralba sia perché hanno mostrato un maggiore livello di incertezza nelle misure sia perché già ad una prima analisi i flussi defluiti appaiono correlati da quelli delle acque vive a monte.

I corsi oggetto delle prove sono stati invece il Tormello/Tormo, il Merlò Giovane e la roggia Landriana. Ad eccezione di quest'ultima, per la quale si è fatto utilizzo di una semplice formula empirica a causa delle caratteristiche particolari della sezione, per gli altri due corpi idrici si è proceduto con prove di portata attraverso l'uso di mulinello. Va sottolineato come ogni singola prova richieda l'impiego di una gran quantità di risorse sia in termini di tempo (circa 3 ore esclusi gli spostamenti per ogni misura), sia in termine di personale (2-3 tecnici specializzati gentilmente forniti dal Consorzio Irrigazioni Cremonesi): per questo le registrazioni effettuate non hanno mai superato il numero di 5 per roggia, numero che comunque può garantire un buon livello di approssimazione nella stima sempre con la consapevolezza che una campagna di misure più varia sia in termini di ricchezza del campione sia di variabilità di condizioni del canale avrebbe fornito indicazioni più robuste.

- *Prove di portata tramite mulinello*

La portata è, per definizione, il flusso del vettore velocità attraverso una sezione trasversale del corso d'acqua. Se consideriamo v il vettore velocità e n il versore concorde con il moto generale dell'acqua (da monte verso valle) normale alla superficie A , la portata è data dall'espressione:

$$Q = \int_A v \cdot n \, dA$$

Il metodo più diffuso di misura delle portate per i corsi d'acqua naturali, ma anche artificiali, consiste nell'eseguire un certo numero di misure di velocità in diversi punti, opportunamente distribuiti, di una superficie ideale disposta trasversalmente al corso d'acqua, e nell'approssimare l'integrale con una sommatoria. Le misure di portata si riducono quindi a misure di velocità.

Lo strumento usato per misurare la velocità dell'acqua in un punto è il mulinello costituito da due componenti: un equipaggio mobile che, investito dalla corrente, ruota con velocità angolare funzione della velocità dell'acqua, e un dispositivo che conta il numero di giri in un fissato periodo T .

I mulinelli sono di due tipi:

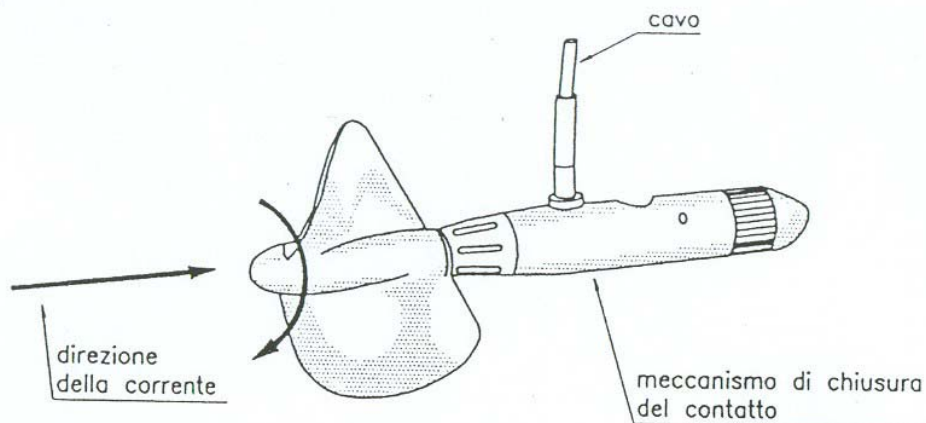


Fig.47 - Mulinello ad asse orizzontale

1 - mulinello ad asse orizzontale o mulinello ad elica (fig.47) è il più comune (usato anche da noi) è costituito da un elica il cui asse si dispone nella direzione della corrente. La velocità di rotazione dell'elica è data dal rapporto fra il numero di giri (che appare sul dispositivo conta giri) e il relativo intervallo di tempo T.

Le eliche sono caratterizzate dal passo (distanza verticale fra l'asse e l'estremità della pala), compreso normalmente fra 0.05m e 0.5m. Quelle a passo breve hanno pale fortemente arcuate, quelle a passo lungo hanno pale quasi piane.

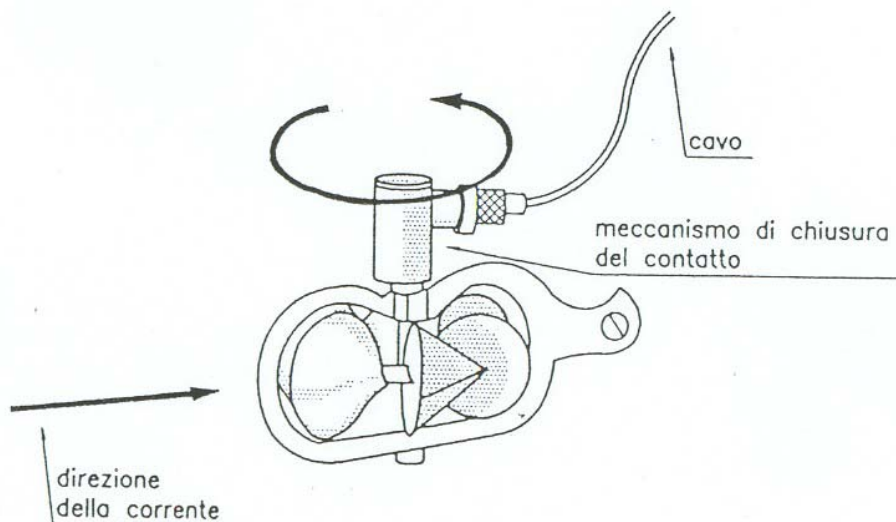


Fig.48 - Mulinello ad asse verticale

2 - mulinello ad asse verticale o mulinello a coppelle (fig.48)

L'equipaggio mobile è costituito da un certo numero di coppelle, disposte a corona intorno all'asse, che offrono alla corrente una resistenza diversa a seconda che questa investa la faccia concava o quella convessa. La corrente mantiene in rotazione l'equipaggio. Questo tipo di mulinello è usato negli Stati Uniti.

❖ Taratura

La taratura di un mulinello è la determinazione sperimentale della relazione che lega la velocità angolare delle eliche ω e la velocità della corrente v .

L'operazione di taratura si esegue trascinando a velocità costante e nota il mulinello montato su un opportuno supporto in una vasca d'acqua ferma.

In questo modo si determina la curva di taratura del mulinello espressa nella forma lineare

$$v = a + b\omega$$

La costante a rappresenta la velocità minima per vincere gli attriti; la costante b è, nel caso dei mulinelli ad asse orizzontale, molto vicina al passo dell'elica.

La curva di taratura dipende dal tipo di supporto usato per il mulinello che non deve mai essere cambiato. E' importante inoltre che l'elica non subisca deformazioni poiché la curva risente delle condizioni di manutenzione.



Fig. 49 – Strumentazione adottata dal CIC. A sinistra mulinello ad asse orizzontale. A destra il contatore e la staffa di supporto all'asta scorrevole per la misurazione dei livelli

❖ Scheda tecnica

Elica: \varnothing 120 mm – passo 60 mm
Sensibilità: 0,05 m/s
Velocità max: 5 m/s

Mulinello: Dimensioni 120 x 290 mm
Peso 1,200 Kg

Contatore: frequenza max di conteggio 25 giri/s
Indicatore numerico a 4 cifre
Azzeramento manuale
Alimentazione: 4 batterie da 1,5 V
Precisione $\pm 0,1$ s
Temperatura di funzionamento -5° : $+45^{\circ}$
Preselezione del giro
Dimensioni 110 x 130 x 40 mm
Peso (completo di batterie) 1,050 Kg

❖ Principio di funzionamento del mulinello

L'elica del mulinello è trascinata in rotazione dalla corrente dell'acqua: ogni mezzo giro viene azionato un contatto ed il corrispondente segnale viene acquisito dal contatore.

Ottenuto il numero di giri dell'elica al secondo, dalle tabelle di taratura si ottiene la velocità.

La taratura consiste nel tracciamento per punti delle curve che rappresentano queste funzioni: esse recano in ascisse il numero di giri ed in ordinate la velocità in m/s.

La teoria del mulinello ci fornisce una relazione tra la velocità V della corrente ed il numero di giri n del mulinello attraverso le costanti dello strumento: $V=an+bn^2+c$ dove a rappresenta il passo geometrico dell'elica, mentre b e c sono funzioni degli attriti.

Per velocità superiori al m/s è possibile trascurare gli attriti di movimento, ottenendo così una proporzionalità diretta $V=an$.

❖ Tabelle di taratura del mulinello

Riportano i valori della velocità lineare V in m/s in funzione della velocità di rotazione N dell'elica (giri/s). Se si usa un contatore a preselezione si deve dividere il numero di giri per il tempo di rilevazione in secondi allo scopo di ottenere il valore N , calcolandone anche i primi due decimali.

Si cerca poi la tabella (presente in letteratura) relativa alla parte intera di N ed in essa si trova il valore di V cercato, all'incrocio tra la riga dei decimi di N e la colonna dei centesimi di N .

Le equazioni di taratura utilizzate sono le seguenti:

- $V = N \times 0,2514 + 0,0070$ per N compreso tra 0,10 e 9,03
- $V = N \times 0,2575 - 0,048$ per N compreso tra 9,03 e 16,00

e sono state dedotte dai risultati di taratura individuali di un elevato numero di eliche, presso l'istituto di Idraulica dell'Università di Padova e dalla Stazione di Taratura del Servizio Idrologico Nazionale di Berna (CH) con asta cilindrica $\varnothing 20$ mm.

Le tabelle forniscono valori con scarti inferiori all'1% rispetto ai valori individuali di taratura nel campo 0÷5 m/s.

Per la campagna di misure effettuate per il CIC il processo di calcolo di V , sopra citato, e quindi della corrispondente portata Q , è stato realizzato utilizzando un apposito software messo a disposizione dalla ditta fornitrice del mulinello, contenente all'interno della sua banca dati le equazioni di taratura dello strumento.

Inserendo nel software i dati caratteristici della sezione (lunghezza, profondità, numero di verticali) e il numero di giri relativo ad ogni punto esplorato, si ricavano la velocità media dell'acqua e la corrispondente portata.

Il software ricava una portata per unità di larghezza q , attraverso un modello matematico che consente di calcolare l'area sottesa alla curva velocità – profondità per ciascuna verticale esaminata. La portata totale transitante nella sezione liquida è data dalla sommatoria delle q moltiplicate per la distanza progressiva fra le verticali (Δl).

• Esecuzione delle misure con il mulinello

Come primo passo si richiede il campionamento del vettore velocità nella sezione trasversale: misurata la larghezza della sezione si fissa un certo numero di verticali; lungo ogni verticale si effettuano misure con il mulinello a diverse profondità. (fig.50)

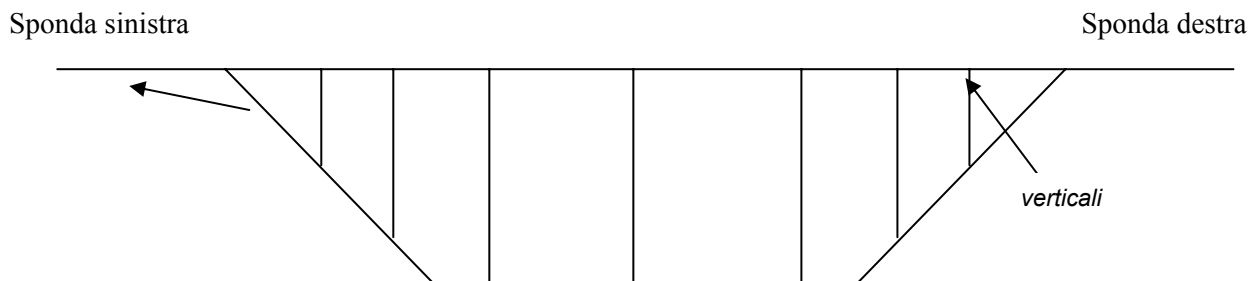


Fig.50 – Sezione ideale canale

E' possibile eseguire queste operazioni in 4 modi diversi a seconda delle circostanze: da una passerella o da un ponte, a guado, con una teleferica, da un natante. Nel caso in esame si è adottato il primo metodo •

❖ *Misurazione tramite ponte o passerella*

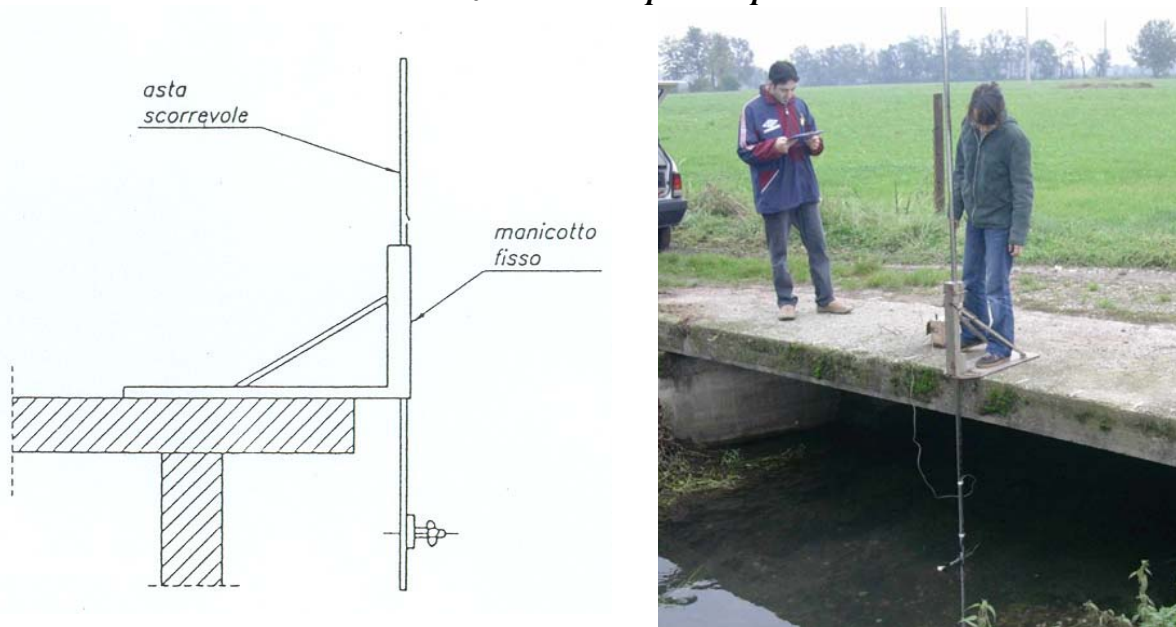


Fig. 51 - Pertica per misure da passerella

La misurazione tramite passerella viene utilizzata quando le caratteristiche del corso d'acqua non permettono di eseguire le misure a guado; questa tecnica è stata adottata per eseguire la campagna di misure di portata lungo la rete in oggetto, visto la presenza lungo i canali di ponti strada, ponti canale, passerelle, etc.

Quando si opera da una passerella o da un ponte si usa come supporto un manicotto fisso alla cui estremità scorre un'asta graduata (quella da noi utilizzata ha fondoscala di 5 m e sensibilità al cm).

La sezione è materializzata dallo stesso manufatto dal quale si eseguono le misure e la posizione di ogni verticale si individua immediatamente con un nastro graduato.

Il mulinello viene agganciato nella parte inferiore dell'asta nella direzione opposta a quella della corrente e si orienta con l'asse perpendicolare alla sezione di misura utilizzando preferibilmente un'elica autocomponente. La scelta della sezione deve avvenire seguendo fondamentalmente 4 criteri:

- 1- Si cerca, nei limiti del possibile, di far coincidere la sezione nella quale si eseguono le misure di portata con quella in cui si sono effettuate le misure di altezza idrometrica. Spesso le circostanze favorevoli all'esecuzione delle misure si presentano altrove: si separano le due sezioni ritenendo la portata la stessa.
- 2- Per ottenere delle misure di portata soddisfacenti è necessario che i filetti liquidi siano tra loro paralleli in modo che, scelta la sezione trasversale, sia minimo l'angolo formato dalla direzione del vettore velocità con quella della normale alla sezione. Individuare quindi una sezione il più possibile ortogonale alla direzione della corrente.
- 3- La profondità dell'alveo deve essere tale da permettere una buona esecuzione delle misure; la profondità della sezione deve quindi essere compresa tra 0,10m e 6/7 m.
- 4- Non ci devono essere zone di esondazione, nelle quali la vegetazione rende impossibile l'uso del mulinello, e il fondo deve essere il più regolare possibile. Ogni irregolarità (rocce, vegetazione arbustiva, banchi di sabbia...) influisce sfavorevolmente sull'andamento dei filetti liquidi e rende più incerta la determinazione della sezione trasversale. Si deve quindi intervenire sull'alveo ripulendolo e regolarizzandolo (questo soprattutto per piccoli alvei in quanto l'effetto delle irregolarità è inversamente proporzionale alla larghezza della sezione).

- *Sezioni considerate*

Si sono scelte lungo i canali oggetto dell'analisi, le sezioni sulle quali eseguire le misure di portata con il mulinello.

Passerelle, pontistrada, ponticanale sono stati i luoghi ideali dove operare. Era necessario infatti avere un solido punto d'appoggio per la strumentazione che fosse facilmente raggiungibile.

- ❖ Tormo

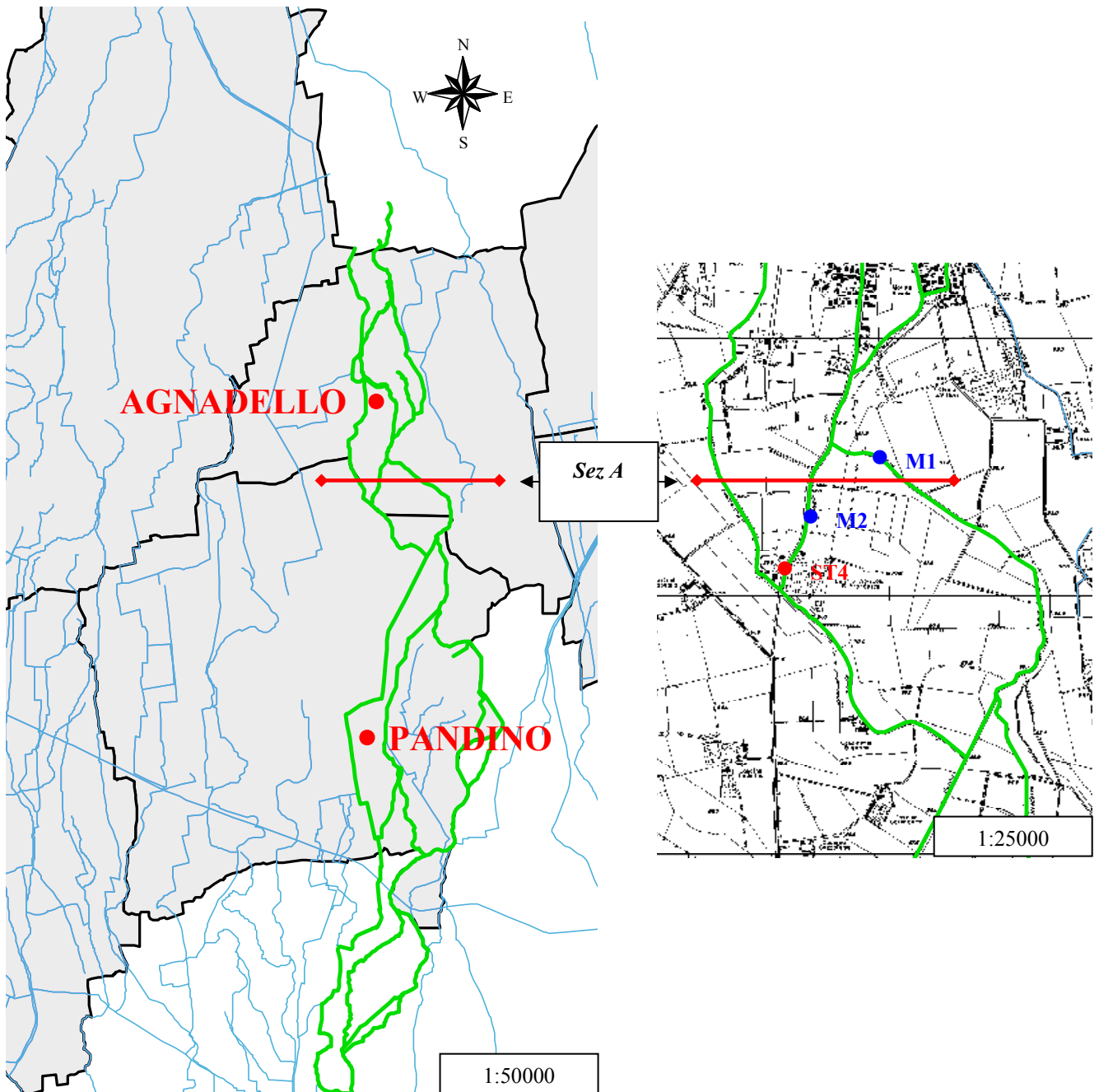


Fig.52 – Percorso del Tormo: è evidenziata la sezione A per la valutazione della portata ed il dettaglio della posizione delle stazioni di misura con mulinello

Il Tormo è stato scelto per le valutazioni di portata vista la serie storica completa dei dati idrometrici raccolti, la relativa regolarità dell'alveo e l'importanza stessa della roggia che serve un grande comprensorio totalmente alimentato da acque di risorgiva. Non ultimo è stato considerato il fatto che in data 3 settembre

2005 è stato attivato, in corrispondenza della stazione ST4, il monitoraggio in continuo del livello idrico attraverso l'impiego di un idrometro automatico a galleggiante.

Il bacino del Tormo è in realtà costituito da una fitta rete di canali: i maggiori sono quelli indicati in fig.52 . Per questo le valutazioni di portata relative al solo tronco del Tormello non possono essere sufficienti. Si è pensato di ampliare l'analisi ricercando una scala di deflusso valida anche per il ramo denominato "Tormo" che scorre più ad est comprendendo così la totalità delle acque che fluiranno poi verso sud fino ai comprensori irrigui. Si può notare in fig.52 come in realtà, attraverso la "sezione A" segnata, scorra anche la roggia Guarazona ad est della ST4; essa è però di scarso rilievo in quanto è costituita da una piccola derivazione dell'asta principale all'altezza di Agnadello e per l'indagine qualitativa in atto non fornisce ulteriori elementi significativi.

7.3.2.1 Prova di portata su Tormello

- Prova del 4 Agosto 2005

La prima prova è stata effettuata il 4 Agosto presso il Centro Agricolo San Francesco, sul ponticello aziendale riferimento per le misurazioni di altezza idrometrica. A causa del posizionamento di un cartello pubblicitario non è stato possibile effettuare la misurazione sullo stesso lato del ponte (nord) visto l'ingombro della strumentazione, ma ci si è dovuti riferire al lato a valle (lato sud); tale espediente non influenza la bontà del risultato in quanto la portata in transito nelle due sezioni distanti pochi metri può essere considerata costante.

L'intera larghezza del canale è stata suddivisa in 7 porzioni e per ognuna di esse è stata valutata, attraverso il mulinello, la velocità puntuale sulla verticale a differenti profondità (vicino alla superficie dell'acqua dove la velocità è massima, sul fondo, dove è vicina allo 0, ed in posizioni intermedie).

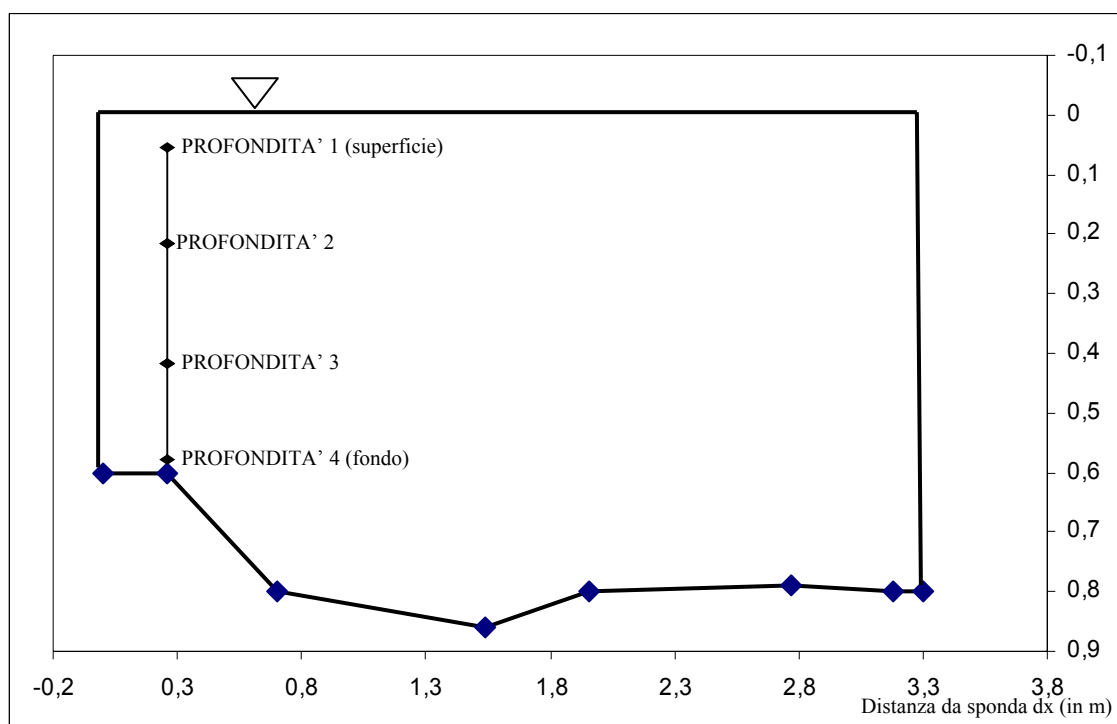


Fig. 53 – Sezione rilevata il 4/8/2005 sul Tormello. Sono indicate a titolo esemplificativo le profondità di misurazione della velocità per una verticale

Come si può notare in fig.53 la sezione non risulta perfettamente rettangolare, ma presenta un fondale leggermente irregolare. Questa è stata una delle problematiche riscontrate in questa prova; molto più determinante è stata la presenza di vegetazione acquatica circolante nella corrente a causa di probabili sfalci a monte (fig.54).



Fig. 54 – A sinistra: mulinello con elica ostruita da vegetazione acquatica.
A destra: misurazione del 4/8/05 con ausilio di contenitore protettivo per piante da fiore

Tale situazione può influire sulla velocità stessa del fluido, ma soprattutto può interferire nella registrazione della stessa attraverso l'ostruzione dell'elica del mulinello. Si è cercato di ovviare il problema pulendo per quanto più possibile sponde e fondale ed agendo nelle misurazioni in momenti di assenza di trasporto di materiale.

Altra inattesa problematica è stata la presenza di piantumazione di fiori nei cilindri in materiale cementizio sul bordo del ponte, cilindri che dovevano fornire solido caposaldo per le misure; i proprietari del Centro Agricolo hanno infatti imposto l'utilizzo di un bidone in plastica (fig.54) a protezione delle piantine provocando un indiscutibile fattore di disturbo alla precisione delle misure stesse.

I risultati della prova, rielaborati con opportuno software, hanno comunque condotto al risultato di stima di una velocità di 0,45 m/sec e di una portata di 1,17 m³/sec in corrispondenza di un pelo libero dell'acqua posto a -120cm rispetto al caposaldo di misurazione.

- Prova del 7 Settembre 2005

La seconda prova è stata effettuata il 7 Settembre; viste le difficoltà incontrate nella prima prova si è deciso di effettuare la misurazione in un punto poco a monte (in fig.52 Segnalato come “M2”) partendo dall’ipotesi che la ricarica dal sottosuolo nel piccolo tragitto possa essere considerata nulla e quindi la portata fluente identica. Si è registrata l’altezza idrometrica nello stesso punto della stazione ST4 e si è notato come il livello dell’acqua fosse diminuito rispetto alla volta precedente fino a -131 dal caposaldo.

La sezione in esame presenta una certa regolarità anche se in sinistra idrografica un folto cespuglio impedisce il deflusso delle acque che quindi risultano stagnanti; essendo il fluido fermo tale parte dell’area bagnata non è stata considerata e la sponda nella modellazione risulta verticale in corrispondenza dell’iniziare della vegetazione.

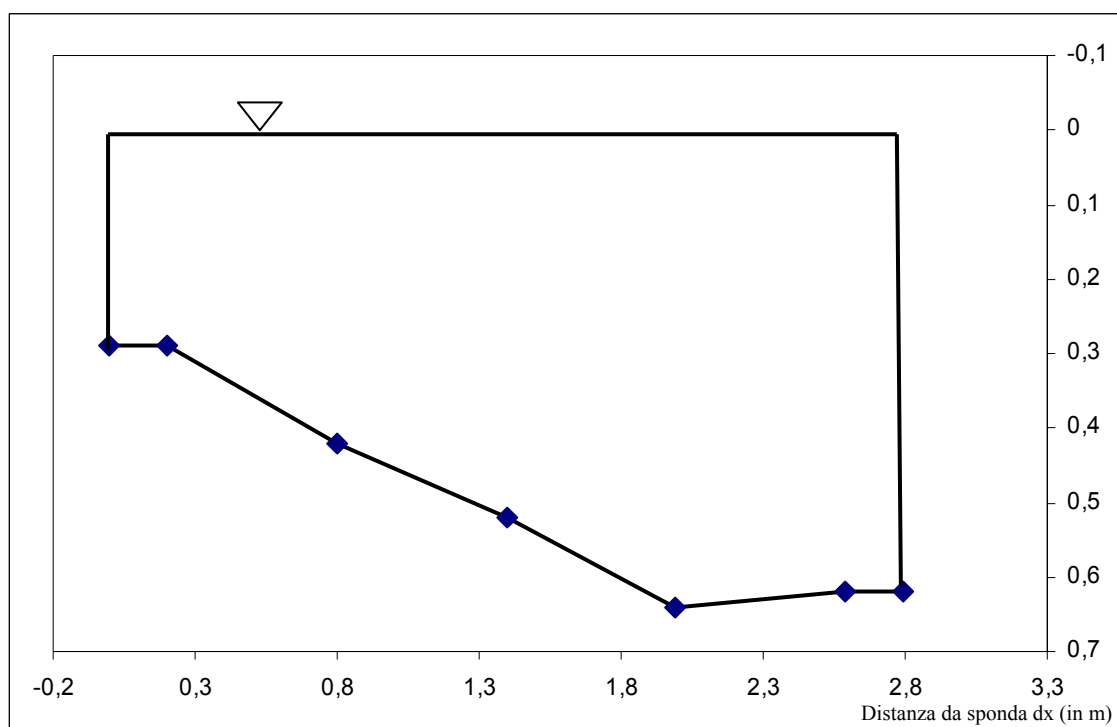


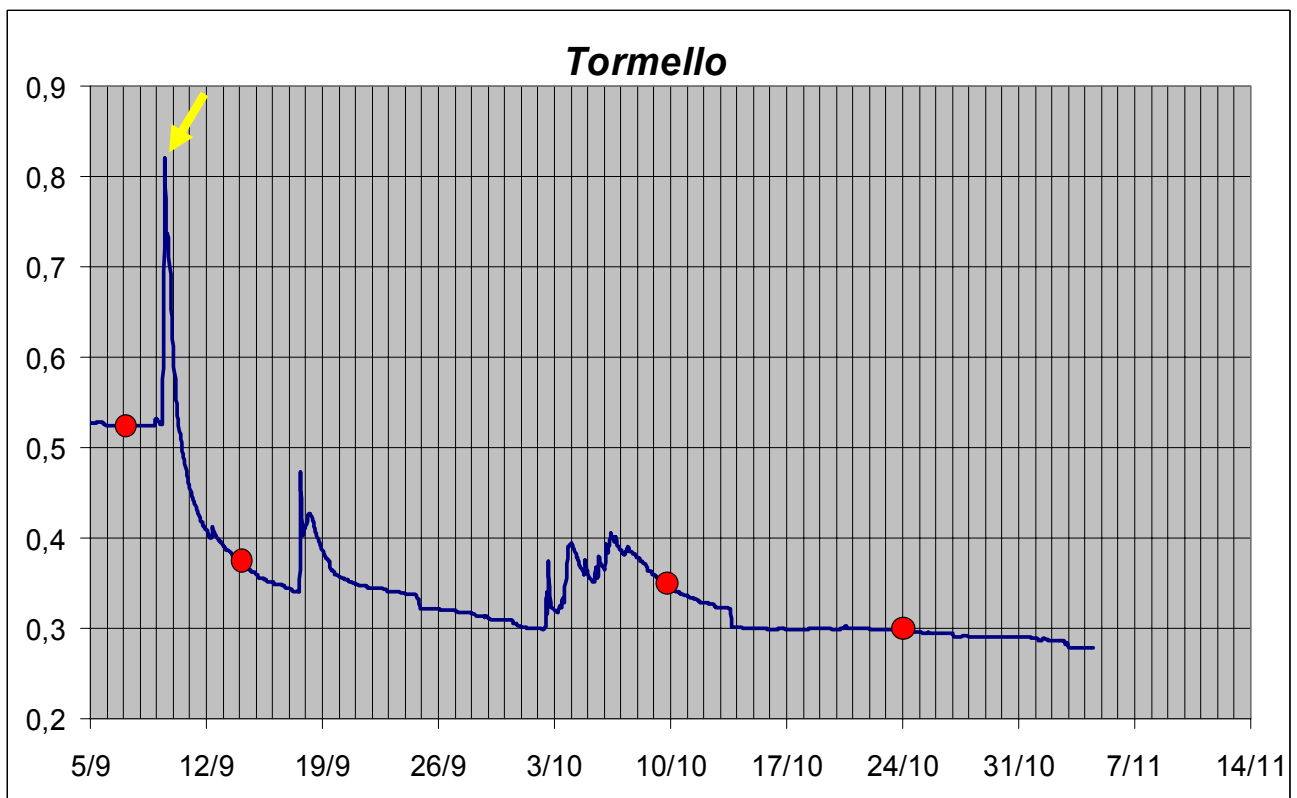
Fig. 55 – Sezione rilevata il 7/9/2005 sul Tormello. Si nota la sponda sinistra “tagliata” in corrispondenza della folta vegetazione che impedisce il deflusso regolare delle acque

La larghezza totale del canale è stata suddivisa in 6 parti e la velocità media misurata è stata di 0,32m/sec corrispondenti ad una portata di 0,462m³/sec.

Prova del 14 Settembre 2005

La terza prova è stata effettuata nella stessa posizione M2. Le condizioni della sezione sono però mutate rispetto alla prova precedente; mentre il livello al momento della misurazione è calato a -137cm, il giorno 9 settembre si è verificato nella zona un forte nubifragio che ha provocato, oltre allo straripamento del Tormo, anche una certa rimodellazione dei fondali e delle sponde del Tormello. Tale piena è stata registrata dall'idrometro posto sul ponticello del Centro Agricolo San Francesco in posizione ST4. Sebbene le condizioni siano mutate ed in particolare la velocità sia presumibilmente aumentata con la diminuzione della scabrezza del canale, la prova sembra comunque significativa visto che le maggiori conseguenze dell'evento si sono avute più a monte.

La forma della sezione è rimasta infatti inalterata e la velocità registrata pari a 0,34m/sec per una portata di 0,532m³/sec.



Tav. 4 – Misurazioni effettuate con idrometro a galleggiante posizionato sul Tormello il 3 Settembre 2005. E' evidenziato l'evento di piena del 9 Settembre

Prova del 10 Ottobre 2005

La quarta prova è stata effettuata il 10 Ottobre sempre in posizione M2. Le problematiche riscontrate in questa prova sono state molteplici: un recente intervento di pulizia dei fondali e delle sponde ha infatti mutato profondamente le caratteristiche della sezione.

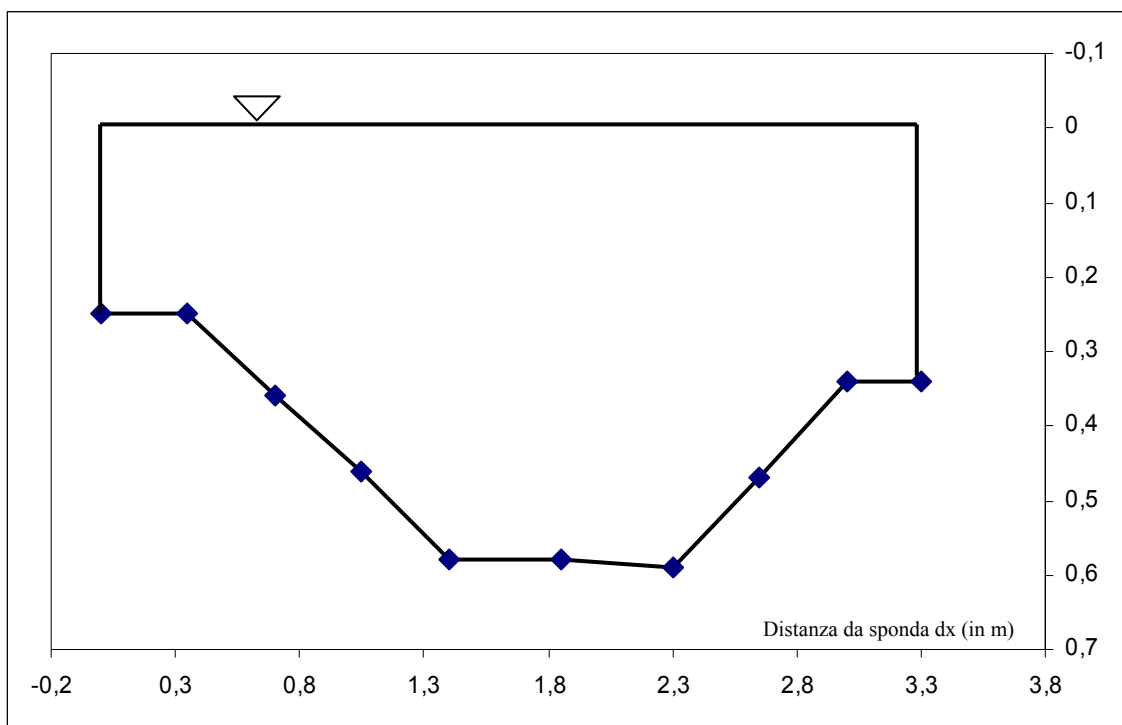


Fig. 56 – Sezione rilevata il 10/10/2005 sul Tormello. La pulizia del fondale ha provocato la rimodellazione della sezione mutata sia in sponda destra che in sponda sinistra

I principali disturbi, oltre ad una diminuzione della scabrezza, sono stati lo sfalcio dei cespugli in sinistra idrografica con conseguente variazione della larghezza complessiva del canale e soprattutto l'accumulo di materiale grossolano proprio in corrispondenza della sezione in esame in destra idrografica.



Fig. 57 – Disturbo provocato da cumulo di materiale grossolano accumulatosi in seguito a pulitura del fondale.

Tali fattori sembrano comunque non influenzare il moto più a valle, al punto di misurazione della quota idrometrica, rendendo di fatto il legame portata/altezza inalterato. Gli ostacoli maggiori sono portati invece alla misurazione stessa e alla identificazione della sezione bagnata in un contorno così irregolare; per questo si è dovuta infittire la divisione trasversale del canale adoperandosi nel considerare 10 differenti verticali di misura.

La velocità riscontrata è stata pari a 0,28m/sec per una portata di 0,41m³/sec; l'altezza idrometrica invece è di -140cm rispetto allo zero del caposaldo di misura.

Prova del 27 Ottobre 2005

La quinta prova è stata effettuata il 27 Ottobre sempre in posizione M2 quando la quota idrometrica del Tormello si era ormai assestata sui -145cm dal caposaldo di misura.

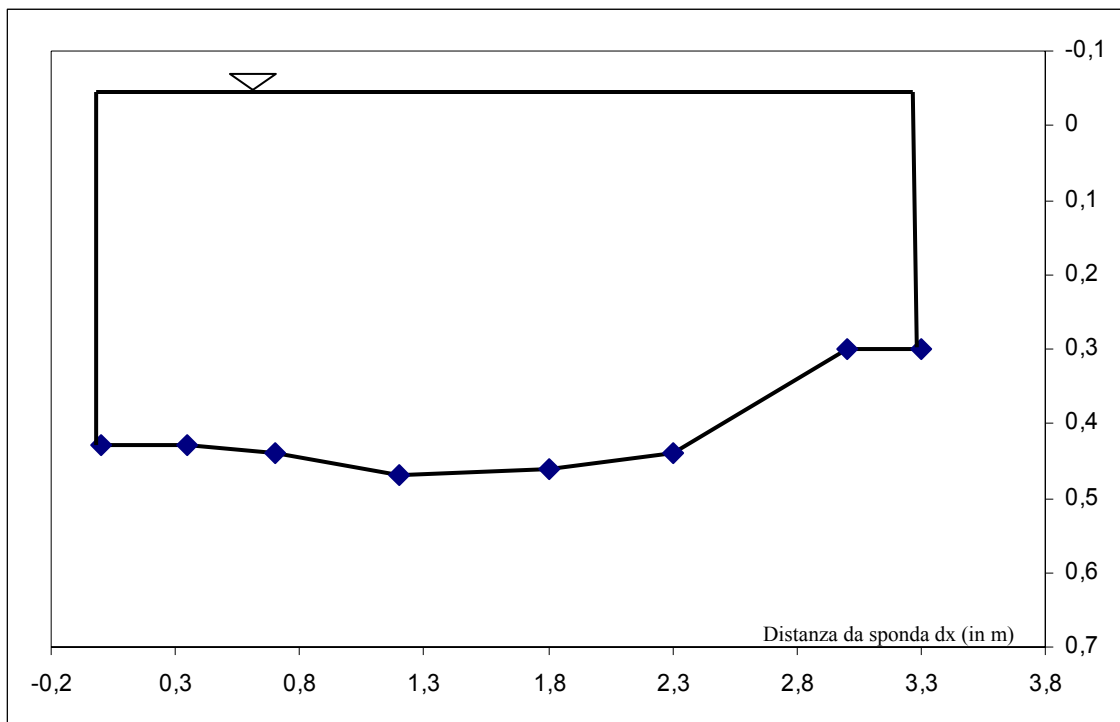


Fig.58 – Sezione rilevata il 27/10/2005 sul Tormello dopo intervento mezzi meccanici del CIC.

Viste le difficoltà riscontrate nella precedente misurazione si è reso necessario l'intervento di pulizia della sezione per riportare l'alveo alla regolarità originaria (vedi fig.58). Per l'operazione si è fatto uso di macchinari gentilmente forniti dal Consorzio Irrigazioni di Cremona.

La velocità riscontrata è stata pari a 0,20m/sec per una portata di 0,27m³/sec.

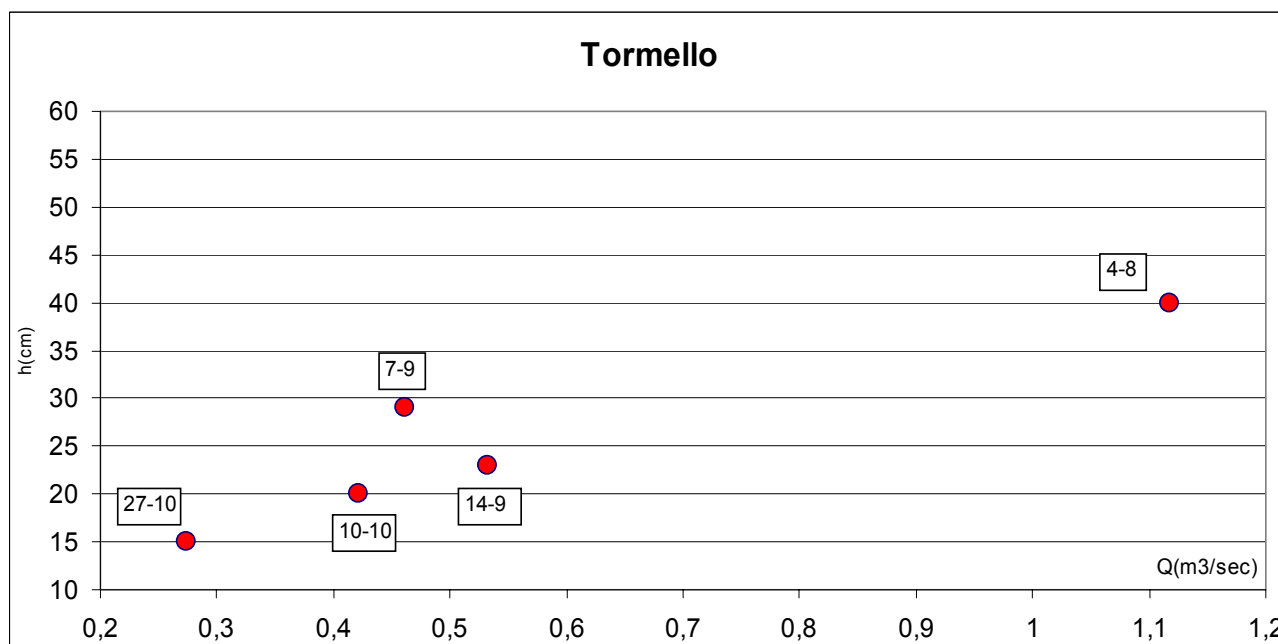
❖ Costruzione scala di deflusso Tormello

I valori di portata trovati sono stati finora messi in relazione alla distanza del pelo libero dal caposaldo di misura; appare più logico definire tale legame in funzione dell'altezza dell'acqua. Essendo il fondale irregolare ed essendo quindi impossibile definire lo spessore della lama d'acqua univocamente su tutta la larghezza, si è deciso di prendere un valore di riferimento ipotetico del fondale per ogni roggia cui sottrarre i livelli misurati così da definire un valore direttamente proporzionale alla portata fluente. Va quindi sottolineato come le altezze idrometriche indicate non siano quelle reali dell'acqua dal fondo, ma un semplice valore di riferimento che ha comunque la stessa variabilità del valore reale a meno di una costante. Un primo tipo di approccio è la definizione della scala di deflusso a partire da una delle funzioni teoriche proposte in letteratura come ad esempio Chezy:

$$Q = K_s \cdot \sqrt{i} \cdot R^{2/3} \cdot A \quad (\text{Eq1})$$

Dove Q è la portata (in m^3/sec), K_s è il coefficiente di scabrezza di Strikler, i è la pendenza dell'alveo, R è il raggio idraulico (in m) e A è la sezione bagnata (in m^2).

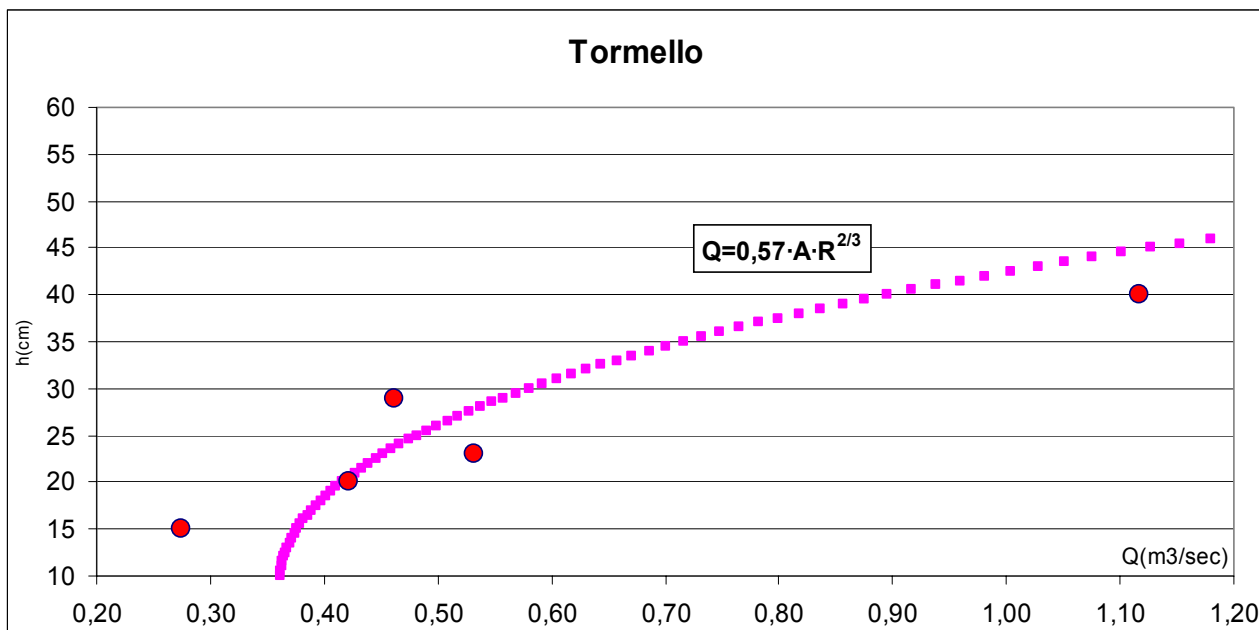
Note la geometria della sezione, l'altezza idrometrica e la portata è possibile stimare il prodotto $K_s \sqrt{i}$ che si può verosimilmente presupporre costante sull'alveo.



Tav.5 – Dati di portata registrati nelle 5 prove col mulinello sul Tormello. Si nota come il dato del 7 Settembre si discosti dall'andamento crescente degli altri dati.

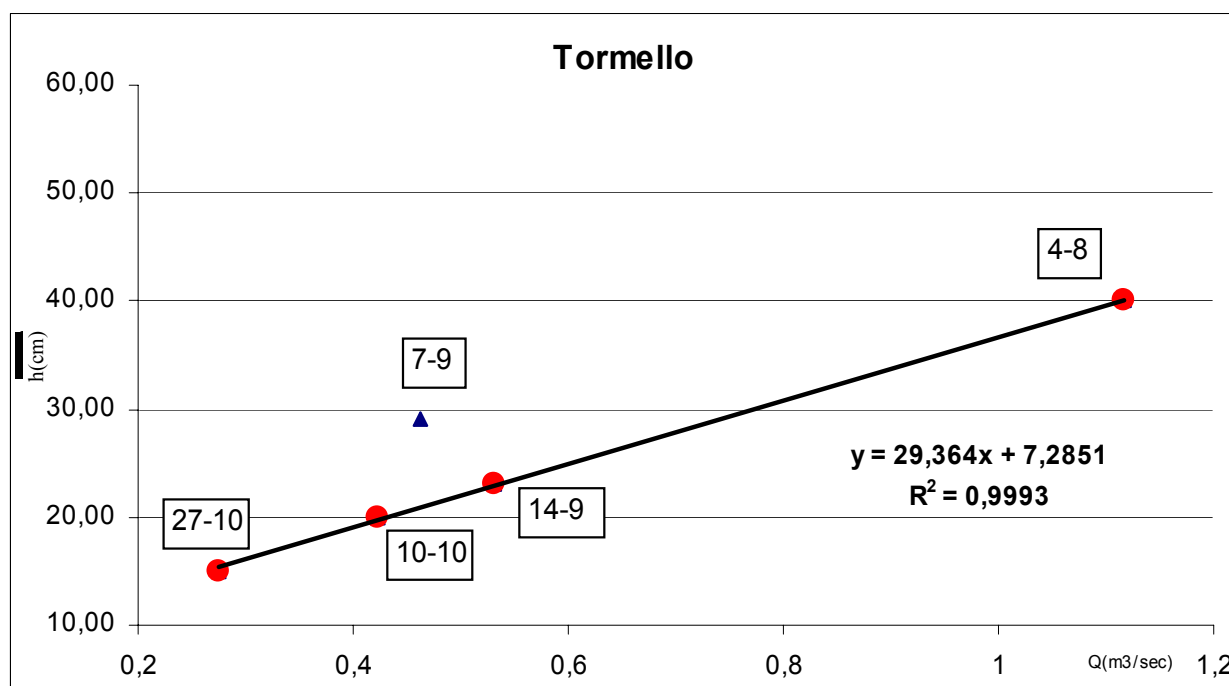
Già da una prima analisi dei dati a disposizione si può notare come sia chiaro un legame tra portate ed altezze: è evidente però l'incongruenza del dato del 7 Settembre. Per questo tale misurazione non verrà considerata nelle analisi successive, nonostante le difficoltà e le problematiche riscontrate siano state molteplici, la presenza di vegetazione in sponda sinistra (vedi paragrafo precedente) e la conseguente imprecisione nella definizione del contorno bagnato sembra aver influito pesantemente sulla prova.

A partire dai 4 restanti valori ed attraverso una stima ai minimi quadrati, è stato calcolato un valore, pari a 0,57, per la costante che tiene conto della scabrezza e della pendenza con un rispettivo coefficiente di regressione pari a 0,88.



Tav.6 – Legame di tipo esponenziale altezze idrometriche/portate per il Tormello. E' evidenziata la curva di regressione calcolata con una stima ai minimi quadrati.

Pur essendo ben approssimati dalla curva, i valori misurati appaiono decisamente mostrare un andamento lineare che, pur in contrasto con quanto enunciato in letteratura, riesce a spiegare quasi completamente la varianza del fenomeno con un R^2 di 0,99. Tale discrepanza con gli studi teorici, ovvero la diretta proporzionalità tra altezze e portate, può essere spiegata da numerosi fattori: dalla non coincidenza della sezione di misura delle altezze con quella delle prove col mulinello, alla variabilità delle condizioni in alveo al momento delle misure e soprattutto al fatto della mancanza di una vera e propria sezione di controllo.



Tav.7 – Legame lineare altezze idrometriche/portate per il Tormello. E' evidenziata la curva di regressione lineare calcolata con una stima ai minimi quadrati. Il punto 7-9 è stato escluso dal campione.

7.3.2.2 Prova di portata su Tormo

La sezione considerata si trova circa 100m a valle della biforcazione con il Tormello ed è indicata in fig. 52 dalla sigla M1.

E' di forma regolare pseudo-rettangolare con un fondale in ciotoli e materiale grossolano. Le sponde, in corrispondenza del ponticello, sono in materiale cementizio e, nei tratti immediatamente a monte, coperte da vegetazione che però non sembra disturbare significativamente il moto del fluido.



Fig. 59 – Sezione M1 sul Tormo.

Le prove eseguite sono state quattro, tutte effettuate negli stessi giorni di quelle relative al Tormello (ad eccezione della lettura del 4 Agosto). Le altezze idrometriche considerate sono state le medesime per le due rogge in modo da ottenere una scala di deflusso che legasse univocamente sia le portate del Tormo, sia quelle del Tormello allo stesso dato di altezza dell'acqua (relativo alla stazione ST4).

I risultati attesi dovrebbero portare anche alla definizione della percentuale di acqua che defluisce nel ramo ad Est e di quella che scorre ad Ovest successivamente alla biforcazione a sud di Agnadello: non esistendo organi di manovra, tale rapporto non dovrebbe essere influenzato dalla portata totale circolante, ma rimanere costante. Sarebbe così possibile ricavare l'intero deflusso nel bacino del Tormo nella sezione in esame, conoscendo la sola portata transitante da un ramo (nell'ottica del progetto TwoLe il Tormello, sul qual è posizionato l'idrometro).

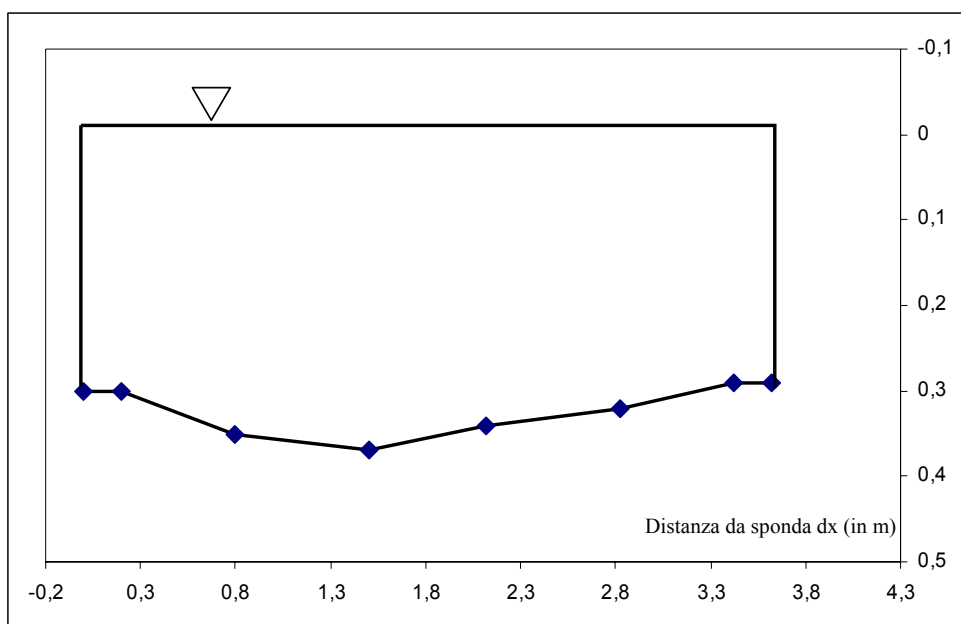


Fig.60 – Geometria sezione M1 sul Tormo.



Fig. 61 – Accumulo di erba da sfalcio nei pressi della sezione M1 sul Tormo .

Le condizioni di misura sono state ottimali solo per tre delle quattro prove; in quella del 7 Settembre ci si è imbattuti infatti nella pulizia delle sponde e in un notevole accumulo di erba in destra idrografica (fig.61). La corrente è risultata quindi deviata con il possibile venir meno della condizione di parallelismo dei filetti liquidi e quindi di ortogonalità del vettore velocità con la sezione, necessario per una misura precisa. I risultati ottenuti sono riassunti in tab.7.

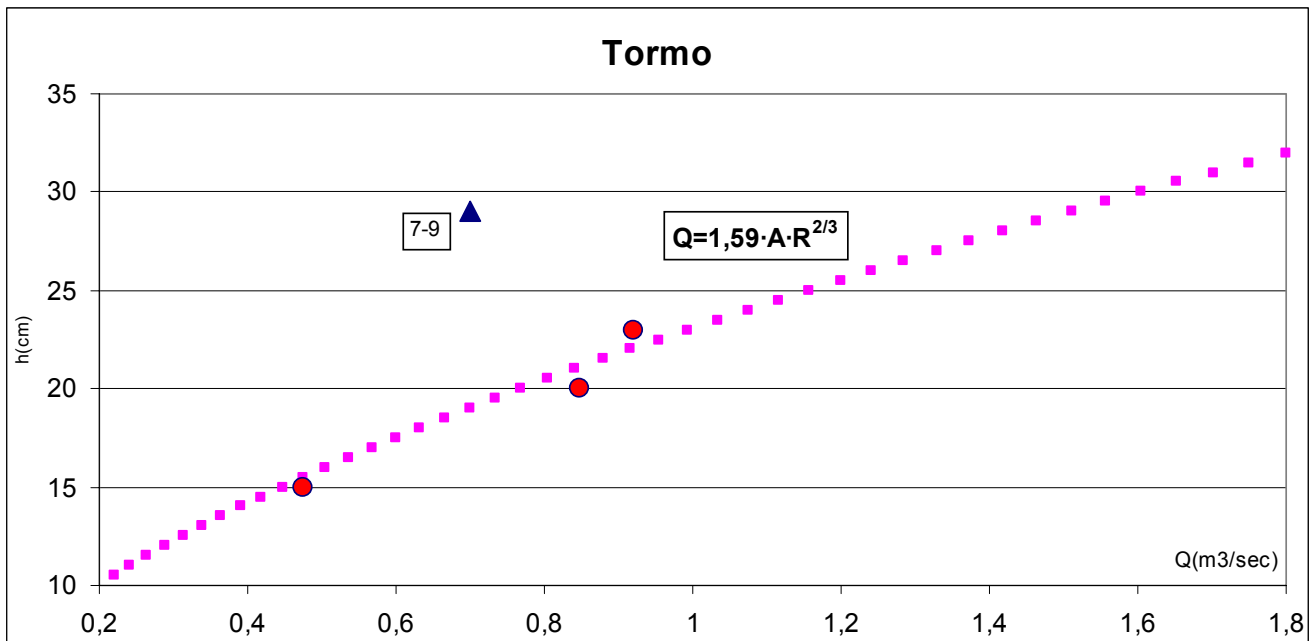
| Data | Altezza ST4 (cm) | Velocità (m/sec) | Portata (m ³ /sec) |
|----------|------------------|------------------|-------------------------------|
| 7/09/05 | -131 | 0,53 | 0,70 |
| 14/09/05 | -137 | 0,64 | 0,92 |
| 10/10/05 | -140 | 0,63 | 0,85 |
| 27/10/05 | -145 | 0,49 | 0,47 |

Tab.7 – Misure puntuali di velocità e stima della portata per il Tormo

❖ C

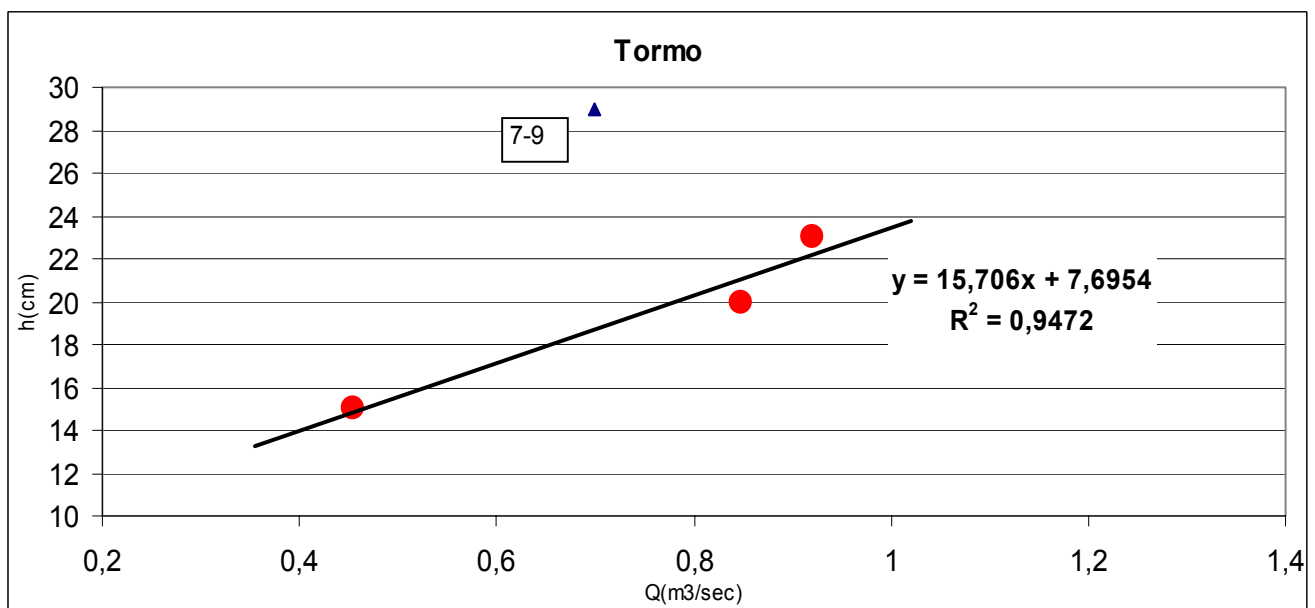
ostruzione scala di deflusso Tormo

Allo stesso modo delle considerazioni effettuate sul Tormello, anche per il Tormo si è cercata una relazione tipo “Chezy” (eq.1) che potesse ben approssimare i dati disponibili. Ancora una volta il valore relativo al 7 Settembre è dovuto essere escluso a causa del disturbo provocato dall’accumulo di materiale sulla sponda e quindi della incongruenza del dato.



Tav.8 – Legame di tipo esponenziale altezze idrometriche/portate per il Tormo. E’ evidenziata la curva di regressione calcolata con una stima ai minimi quadrati. Il punto 7-9 è stato escluso dal campione.

Il valore del coefficiente di regressione si è attestato su 0,89; la soluzione è molto buona, ma nuovamente la approssimazione lineare sembra fornire un risultato migliore ottenendo una correlazione del 94%.



Tav.9 – Legame lineare altezze idrometriche/portate per il Tormo. E’ evidenziata la curva di regressione lineare calcolata con una stima ai minimi quadrati. Il punto 7-9 è stato escluso dal campione.

Definita la scala di deflusso e quindi le portate transitanti sia per il Tormo sia per il Tormello è possibile calcolare la frazione del flusso totale dell'asta principale deviata ad est (nel ramo "Tormo") e quella ad ovest (Tormello).

Osservando i dati a disposizione si apprezza come il rapporto dei due flussi rimanga pressoché costante nei casi analizzati attestandosi circa sul 35% per il Tormello e 65% sul Tormo.

| Data | Tormo | Tormello | Totale | Tormo | Tormello |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|
| | Q(m3/sec) | Q(m3/sec) | Q(m3/sec) | | |
| 07/09/05 | 0,699 | 0,462 | 1,161 | 60% | 40% |
| 14/09/05 | 0,921 | 0,532 | 1,453 | 63% | 37% |
| 10/10/05 | 0,847 | 0,422 | 1,269 | 67% | 33% |
| 27/10/05 | 0,455 | 0,274 | 0,729 | 62% | 38% |

Tab.8 – Portate misurate su Tormo e Tormello e stima del frazionamento dell'asta principale

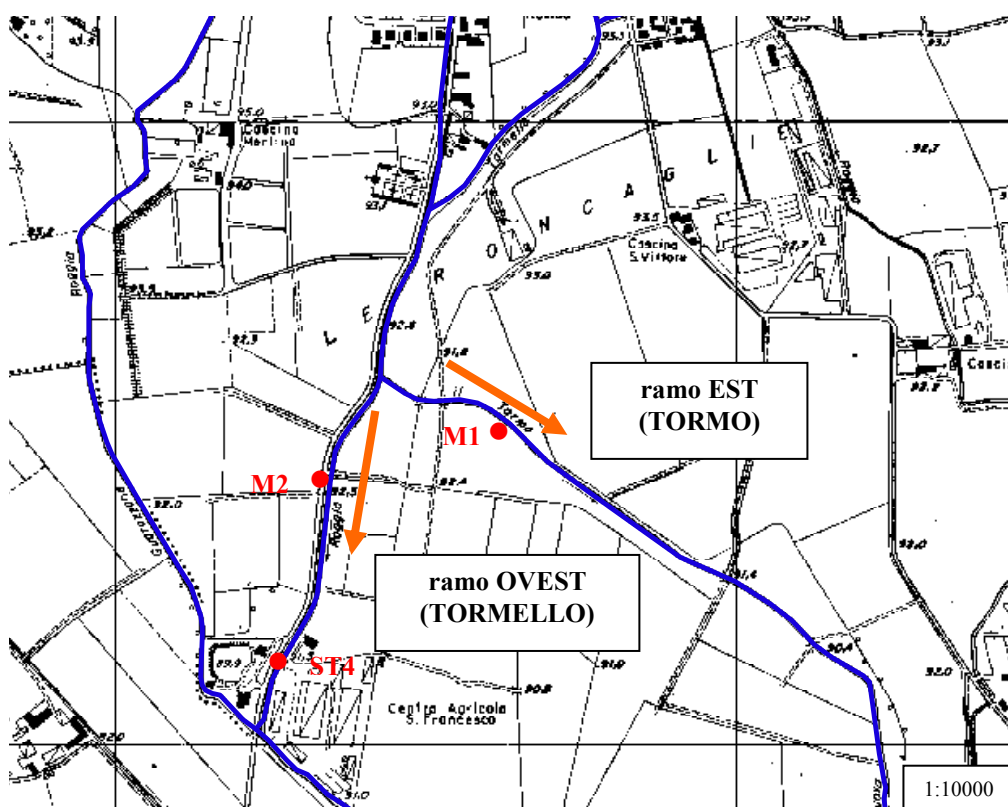


Fig. 62 – Biforcazione dell'asta principale del Tormo nei due rami analizzati a sud di Agnadello. Tormo e Tormello si ricongiungono poco più a sud fino ad alimentare il consorzio irriguo

7.3.2.3 Prova di portata su Merlò Giovane

Le prove effettuate sul Merlò Giovane hanno sfruttato la medesima sezione utilizzata per le misurazioni idrometriche (ST6). L'alveo è di forma regolare pseudo-rettangolare con un fondale in ciotoli e materiale grossolano. Le sponde sono coperte da vegetazione non molto fitta che quindi non sembra disturbare significativamente il moto del fluido.

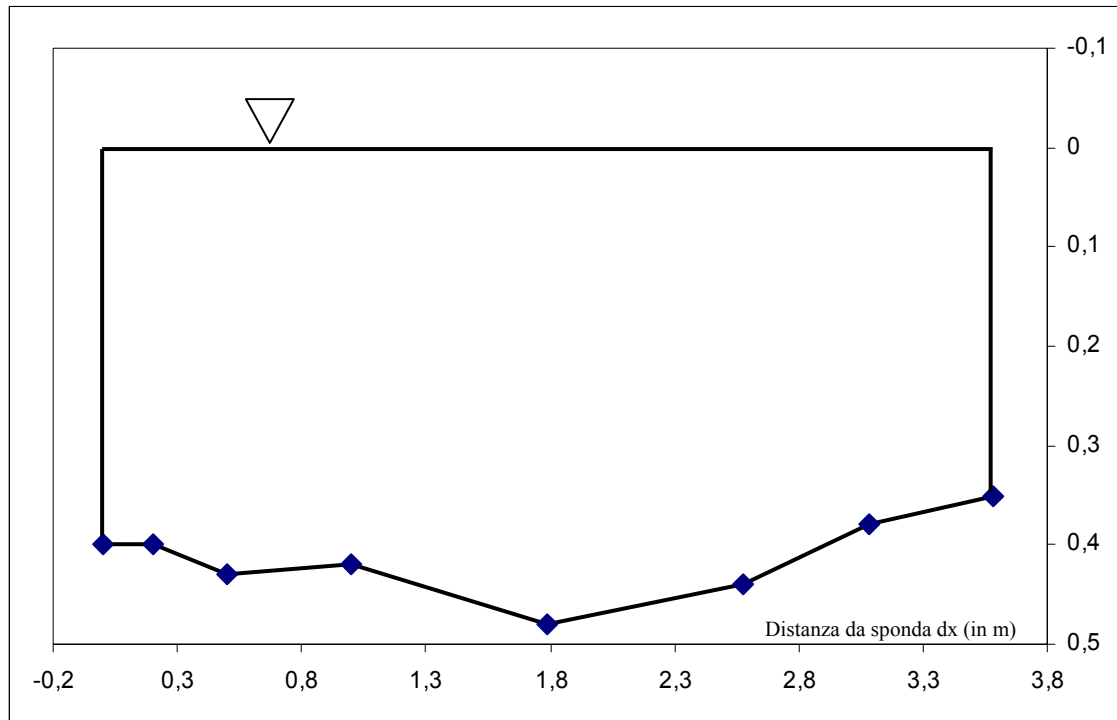


Fig. 63– Geometria sezione ST6 sul Merlò Giovane

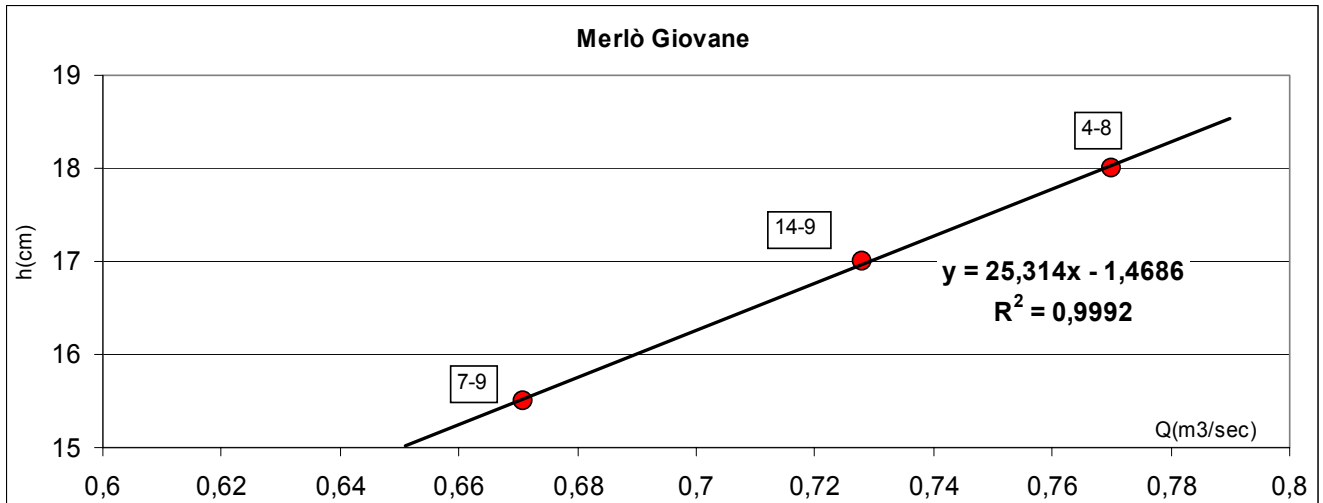
Sono state effettuate tre prove, tutte in condizioni ottimali. L'unico problema è stato lo spessore ridotto della lama d'acqua intorno ai 40 cm che non ha consentito più di tre prove per ogni verticale di misura. I risultati ottenuti sono comunque quelli espressi in tab.9.

| <i>Data</i> | <i>Altezza ST4 (cm)</i> | <i>Velocità (m/sec)</i> | <i>Portata (m³/sec)</i> |
|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 04/08/05 | -142 | 0,50 | 0,77 |
| 14/09/05 | -143 | 0,47 | 0,72 |
| 07/09/05 | -144,5 | 0,45 | 0,67 |

Tab.9 – Misure puntuali di velocità e stima della portata per il Merlò Giovane

❖ Costruzione scala di deflusso Merlò Giovane

Le tre prove effettuate sul Merlò Giovane mostrano un andamento lineare molto marcato delle altezze nei confronti delle portate circolanti assicurando una varianza spiegata del 99,9%. Per questo è sembrato superfluo proporre l'approssimazione ad una curva di tipo "Chezy", sicuramente meno rappresentativa.



Tav.10 – Legame lineare altezze idrometriche/portate per il Merlò Giovane. E' evidenziata la curva di regressione lineare calcolata con una stima ai minimi quadrati

❖ Costruzione scala di deflusso roggia Landriana

Come già accennato in precedenza, l'alveo della roggia Landriana, all'altezza della sezione monitorata, presenta caratteristiche di regolarità non riscontrabili negli altri corsi idrici.

Il pontecanale che consente il sovrappasso della roggia Merlò Giovane è in materiale cementizio a sezione rettangolare regolare (vedi fig.64).



Fig. 64 – Geometria della sezione ST5 sulla roggia Landriana. Pontecanale sulla roggia Merlò Giovane nei pressi della Cascina Carezza (Rivolta d'Adda)

La presenza di un fondale limaccioso con materiale sciolto, e la conseguente difficoltà nella stima dell'indice di scabrezza relativa, unita all'esistenza di un salto immediatamente a valle della sezione, fanno sì che si possa approssimare il legame altezze/portate attraverso una formula assimilabile a quella di uno stramazzo a larga soglia. Tale equazione consente infatti di definire la scala di deflusso conoscendo le sole proprietà geometriche della sezione e assimilando quindi il corso idrico ad uno stramazzo da un bacino attraverso una soglia: tale ipotesi è giustificata anche dal fatto che la Landriana è qui caratterizzata da corrente lenta e interessata dalla presenza di un salto che genera il passaggio da corrente critica.



Fig.65 – Salto sulla roggia Landriana presso la ST5. La “soglia” generatasi è assimilabile ad uno stramazzo a larga soglia

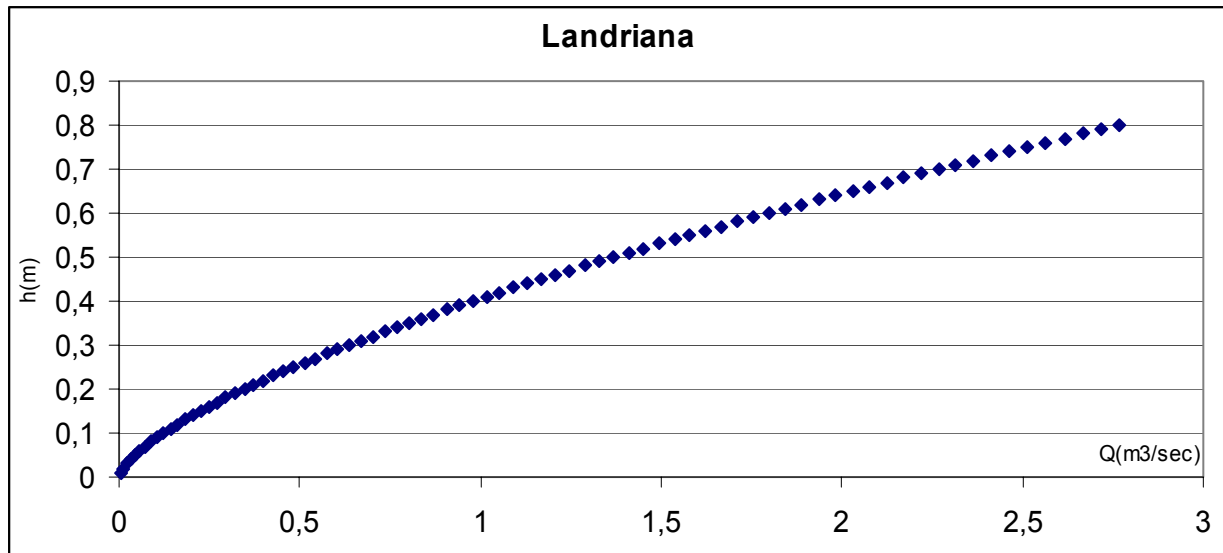
La presenza poi di una lama d'acqua molto sottile (intorno ai 20 cm in media) non ha consentito misure attendibili attraverso l'uso di mulinello e quindi interpolazione delle misure con regressione.

La formula per lo stramazzo proposta è:

$$Q = 0.385 \cdot (L \cdot h) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (\text{Eq2})$$

Dove Q è la portata, 0,385 è il coefficiente di efflusso, L è la larghezza dell'alveo ed h è il carico idraulico ovvero l'altezza del pelo libero dell'acqua.

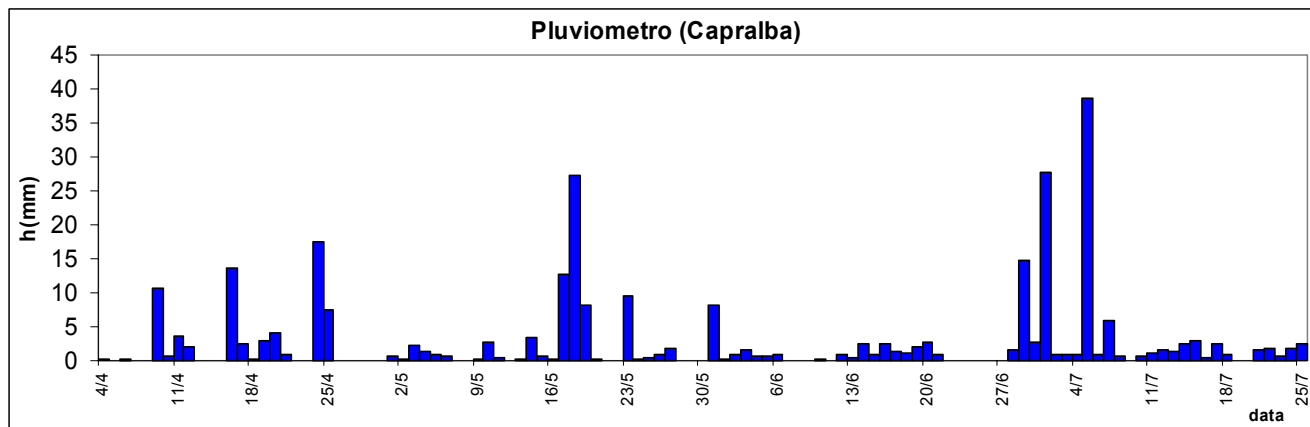
La curva di deflusso generata è quella mostrata in tav.11 .



Tav.11 – Scala di deflusso per la roggia Landriana

7.3.3 Pioggia

Indispensabile per l'analisi è una valutazione delle precipitazioni meteoriche nell'area monitorata. Considerando la natura qualitativa del lavoro si è ritenuto sufficiente analizzare i dati (forniti dall'ARPA) provenienti dal solo pluviometro posizionato a Capralba, comunque baricentrico rispetto alla zona campione. E' infatti sembrato superfluo uno studio della distribuzione spaziale delle piogge che avrebbe fornito indicazioni significative solo sull'entità dei fenomeni, ma non avrebbe aggiunto indicazioni circa la cadenza degli eventi. Si è comunque consci che la variabilità spaziale di episodi come temporali e celle convettive, specialmente in un periodo come quello primaverile-estivo, è sicuramente rilevante. La serie completa dei valori in millimetri di pioggia è mostrata in tav.12.



Tav.12 – Serie pluviometrica nella stazione di Capralba

Sono da evidenziare gli eventi del 31 Maggio e del 7 Luglio che hanno coinciso con giornate di rilevazione e quindi possono aver influito pesantemente sulle portate transittanti nella rete idrica.

8. Ricerca delle correlazioni tra i fenomeni evolutisi durante il rilevamento in campagna

Il livello di correlazione e la ricerca di un legame tra i flussi defluiti nel cosiddetto comprensorio indiretto, quello alimentato da risorgiva, e le acque “vive”, diretta derivazione dell’Adda, sono il cuore del presente lavoro.

Si è proceduto con tale confronto considerando le portate transitanti nei principali corpi idrici che attingono dall’Adda (Rivoltana, Pandina, Cremasca e Vailata) e le altezze idrometriche registrate nei mesi di monitoraggio.

La tesi di significatività del confronto è avvalorata dalle precedenti considerazioni circa le scale di deflusso per le rogge esaminate che hanno mostrato una dipendenza pressoché diretta tra altezze e portate e una conseguente coincidenza, da un punto di vista qualitativo, tra gli andamenti delle due quantità.

Nei paragrafi successivi ci si adopererà ad una descrizione delle principali correlazioni scegliendo i parametri del confronto a partire da considerazioni di tipo geografico (distanza) e morfologico.

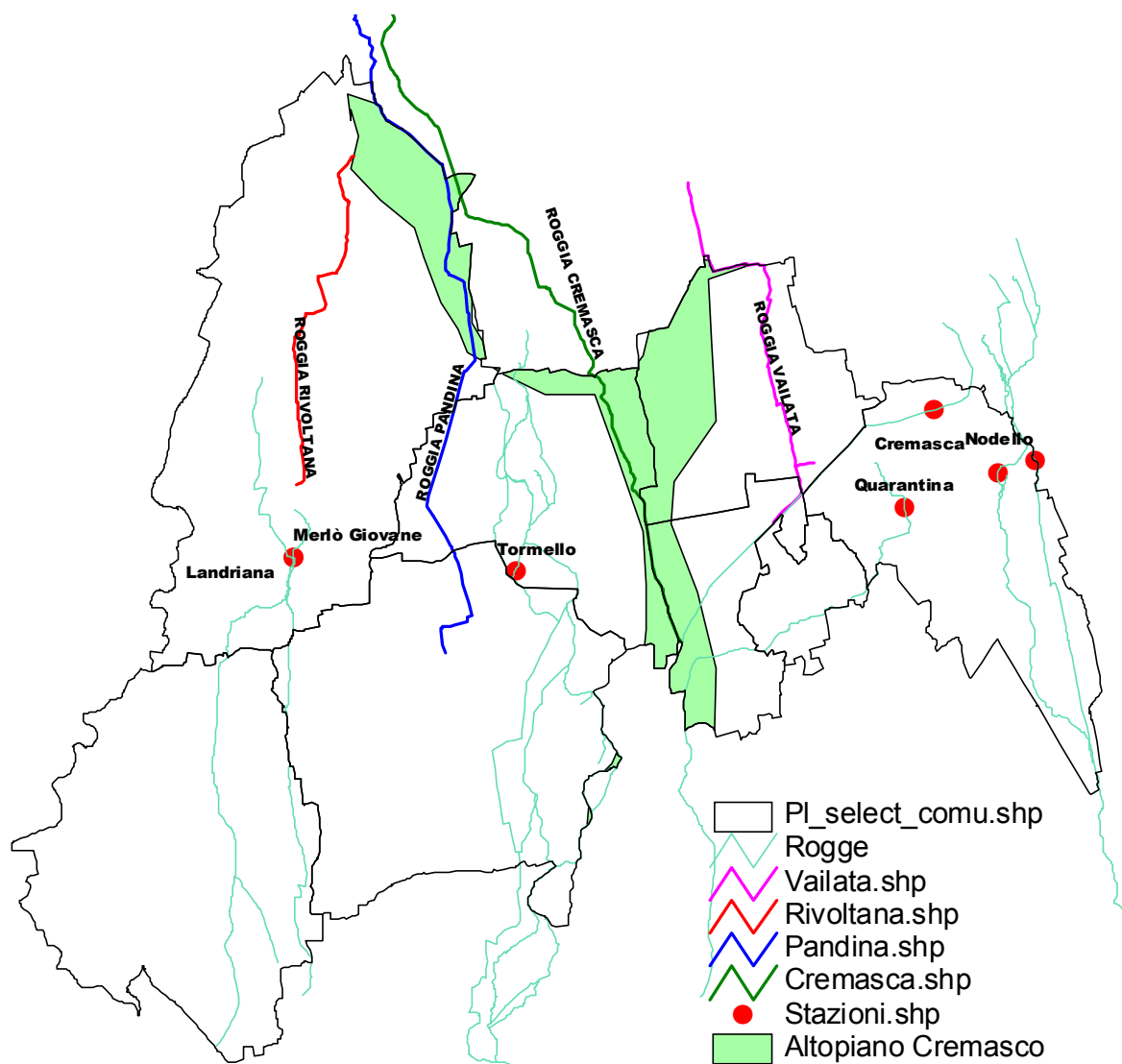


Fig.66 – Schema dell’area in esame. Sono evidenziati lo spartiacque generato dall’Altopiano Cremasco, le derivazioni dell’Adda e le rogge monitorate

Il territorio in questione, seppur pianeggiante, risulta infatti morfologicamente vario (vedi cap 1 fig.8) e presenta nella sua parte centrale il cosiddetto “Altopiano Cremasco” che funge da virtuale spartiacque tra i bacini ad est e quelli ad ovest (vedi fig.66). Per questo verranno esaminati approfonditamente solo i legami tra rogge appartenenti allo stesso “versante” e geograficamente non troppo distanti.

Come primo approccio è stato utilizzato quello statistico calcolando l'indice di correlazione tra le rogge esaminate (tab.10).

| | <i>Nodello</i> | <i>Rino</i> | <i>Creasca</i> | <i>Quarantina</i> | <i>Tormello</i> | <i>Landriana</i> | <i>Merlò</i> |
|-------------------|----------------|-------------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------|
| <i>Nodello</i> | 100% | | | | | | |
| <i>Rino</i> | 5% | 100% | | | | | |
| <i>Creasca</i> | 13% | 36% | 100% | | | | |
| <i>Quarantina</i> | 16% | 9% | 79% | 100% | | | |
| <i>Tormello</i> | 1% | 28% | 40% | 79% | 100% | | |
| <i>Landriana</i> | 31% | 42% | 27% | 15% | 47% | 100% | |
| <i>Merlò</i> | 9% | 32% | 36% | 50% | 88% | 51% | 100% |

Tab.10 – Indici di correlazione tra le rogge oggetto dell'analisi. Valori espressi in percentuale.

Si notano già chiaramente le aree omogenee: le rogge ad Ovest (Landriana, Merlò e Tormello) evidenziano un legame superiore al 47% in ognuna delle combinazioni, mentre non vanno oltre il 40% se confrontate con le rogge dell'area Est. Unica eccezione è la roggia Quarantina che mostra un indice del 79% con Tormello e Creasca, 50% col Merlò e scarsa correlazione invece con le rogge ad Est; si può ipotizzare che, trovandosi in una posizione intermedia tra le due aree, subisca influenza da entrambe le zone. Non appare invece, a questo livello dell'analisi, un chiaro legame tra le altre rogge dell'area più orientale; bisogna comunque sottolineare come queste ultime risentano degli emungimenti di acque sotterranee, particolarmente frequenti nella bassa bergamasca, ovvero nel territorio che dovrebbe fornire la ricarica della falda, alimentazione delle risorgive della zona.

Più significativo è invece il primo confronto tra comprensorio diretto ed indiretto (tab.11): è evidente l'importanza della vicinanza geografica e dell'appartenenza all'area di influenza delle acque vive.

Le rogge ad occidente presentano indici superiori al 30%, con numerose combinazioni al di sopra del 60%-65%.

| | Creasca | Pandina | Vailata | Rivoltana |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Landriana | 44% | 70% | 45% | 20% |
| Tormello | 51% | 63% | 27% | 31% |
| Merlò giovane | 58% | 63% | 46% | 59% |
| Rino Fontana | 10% | 24% | 33% | 8% |
| Quarantina | 48% | 3% | 2% | 20% |
| Nodello | 19% | 7% | 2% | 21% |
| Creasca | 22% | 24% | 10% | 52% |

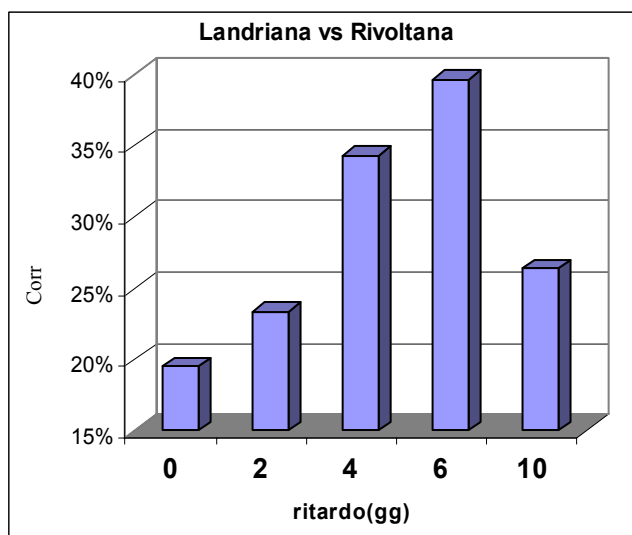
Tab.11 – Indici di correlazione tra le rogge monitorate e le derivazioni dell'Adda. Valori espressi in percentuale.

Questo primo tipo di analisi non è sufficiente a dare una spiegazione se pur qualitativa dei fenomeni che intercorrono sul territorio a definire tale dipendenza: per questo nei paragrafi seguenti verranno esaminate le singole casistiche più salienti per fornire un quadro il più possibile completo ed esplicativo. I dati utilizzati nelle serie sono già stati depurati dei valori inconsistenti invalidati da disturbi esterni, essenzialmente antropici (vedi par. 7.3.1).

8.1 Roggia Landriana

- Confronto Landriana/Rivoltana

Il primo paragone è effettuato tra la roggia Landriana e la Rivoltana. Partendo da una correlazione intorno al 20% tra le due successioni, si può notare come tale valore subisca un deciso incremento se si considera un ritardo nelle serie di alcuni giorni (vedi tav.13).



Tav.13 – Indici di correlazione tra le rogge Landriana e Rivoltana al variare dello scarto temporale tra le serie

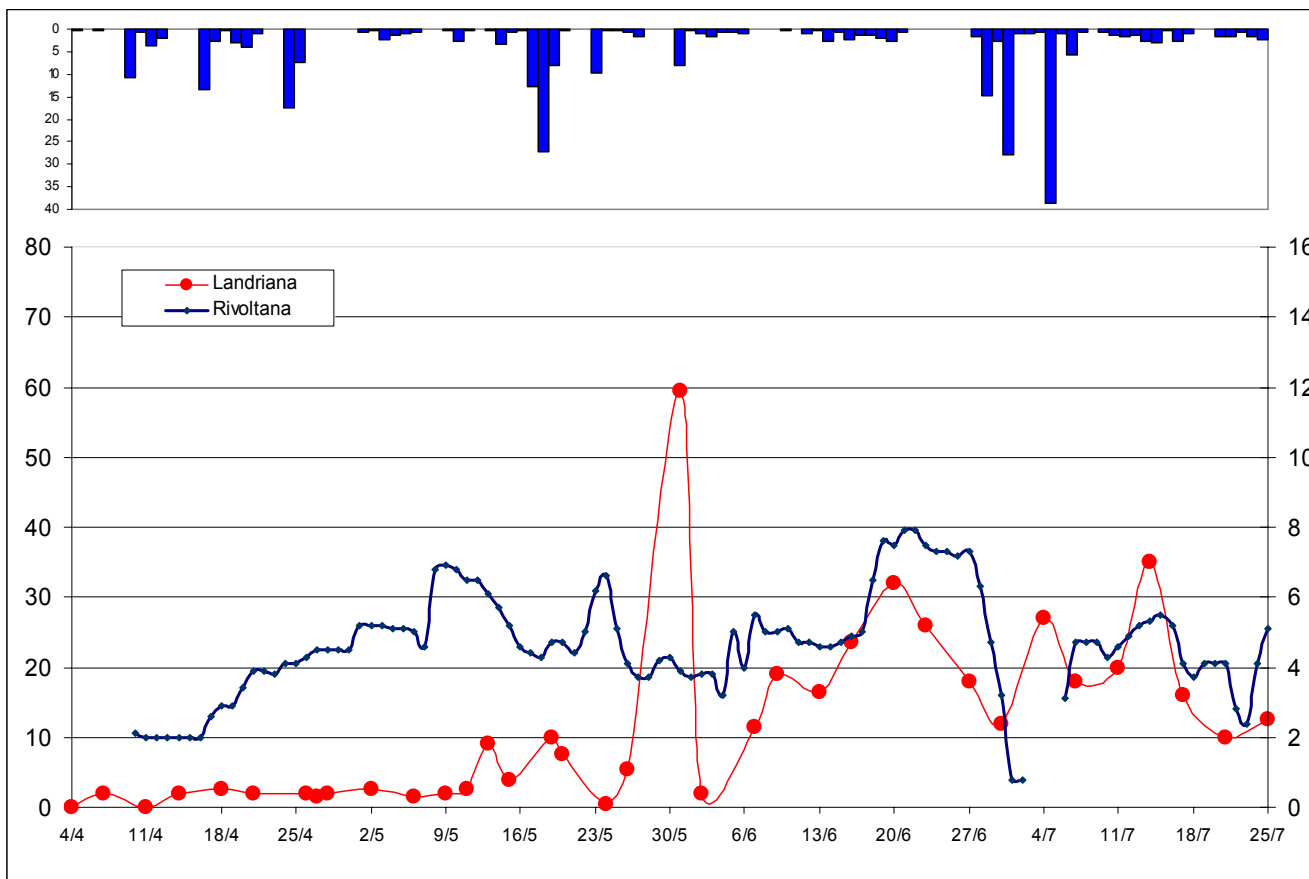
Emerge che il legame tra altezze e portate è tanto più forte quanto più ci si avvicina ad una differenza di 6 giorni tra la data del deflusso nella roggia Landriana e quella del transito nella Rivoltana. Procedendo in tal senso, considerando un lasso di tempo maggiore, l'indice di correlazione subisce una flessione evidenziando una sempre minore dipendenza. E' quindi evidente come le acque provenienti dalla roggia Rivoltana impieghino un periodo di circa 6 giorni per giungere ad influenzare le portate nella roggia Landriana; pur essendo la distanza tra i due corsi idrici molto limitata (non più di 2-3 Km), le scarse pendenze, e soprattutto il tempo necessario perché l'irrigazione riesca ad utilizzare effettivamente ed a pieno quest'acqua, fan sì che il flusso sotterraneo impieghi un relativamente lungo lasso di tempo per percorrere l'intero percorso.

Un indice di correlazione massimo intorno al 40% può già esser considerato rappresentativo del legame in gioco; sicuramente più esplicativo è comunque il confronto grafico tra le due serie (vedi tav.14) dove è già stata effettuata la traslazione dei valori con un ritardo di 6 giorni nelle altezze misurate sulla Landriana.

E' mostrato anche l'andamento delle precipitazioni a Capralba come ulteriore termine di paragone per evidenziare eventuali eventi di piena indipendenti dalla fluttuazione dei livelli di falda e quindi dai moti di filtrazione oggetto dell'analisi.

Si nota come i *trend* siano del tutto simili; da notare il picco nelle altezze della Landriana il 31 Maggio riconducibile al temporale in atto nell'area (visibile nella serie pluviometrica e rilevato in loco al momento del monitoraggio).

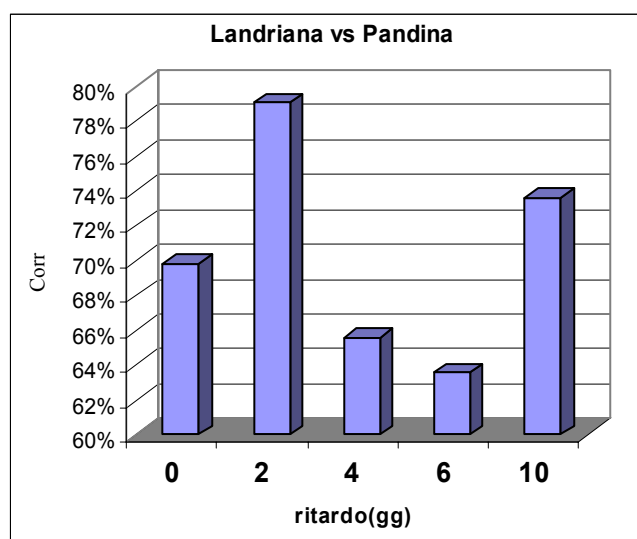
Le variazioni dei deflussi nelle rogge derivazione dell'Adda sono spesso brusche e si passa da periodi con portate vicine al massimo consentito ad altri con alvei quasi asciutti nel giro di pochi giorni. Tali fluttuazioni sono legate alla politica di controllo delle acque dei singoli gestori; una prima osservazione significativa è l'attenuazione di tali variazioni, soprattutto di quelli più bruschi e brevi nel tempo, nel comprensorio indiretto. Tale fenomeno sarà visibile con maggior chiarezza nelle altre serie idrometriche, ma evidenzia già la possibile tendenza alla laminazione di queste "onde di piena" proprio come avviene per le acque superficiali nei bacini di vasta superficie. Pur essendo consci del fatto che un raffronto tra le ampiezze delle variazioni è quantomeno incongruente vista la differente natura dei dati (altezze/portate), di sicuro rilievo è l'annotazione sulle differenze nella frequenza e nella lunghezza delle "onde" che formano le due curve pseudo-sinusoidali.



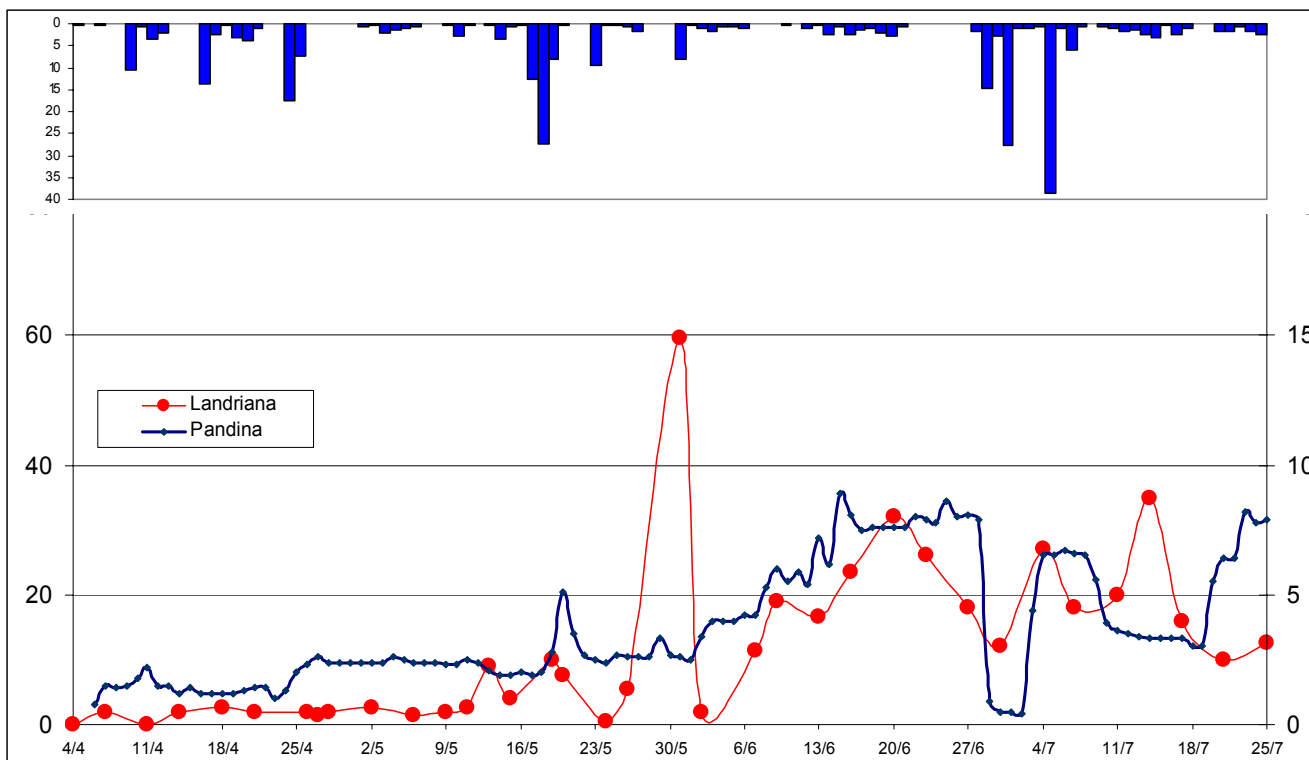
Tav.14 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Landriana (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Rivoltana (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 6 giorni rispetto alle altezze della Landriana . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

- Confronto Landriana/Pandina

Il confronto tra roggia Pandina e Landriana presenta un alto livello di correlazione; le due serie partono da un livello del 70% se considerati deflussi simultanei. Procedendo come nel paragrafo precedente si considera la variazione dell'indice di correlazione con il ritardo temporale (tav.15). Il massimo è raggiunto già dopo due giorni evidenziando un flusso probabilmente più rapido rispetto a quello dalla Rivoltana. L'indice decresce poi fino a rappresentare una crescita intorno ai 10 giorni. Dal confronto grafico (tav.16) si vede comunque chiaramente come il massimo livello di sovrapposizione si ottenga con una distanza temporale intorno ai 2 giorni.



Tav.15 – Indici di correlazione tra le rogge Landriana e Pandina al variare dello scarto temporale tra le serie



Tav.16 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Landriana (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Pandina (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 2 giorni rispetto alle altezze della Landriana . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

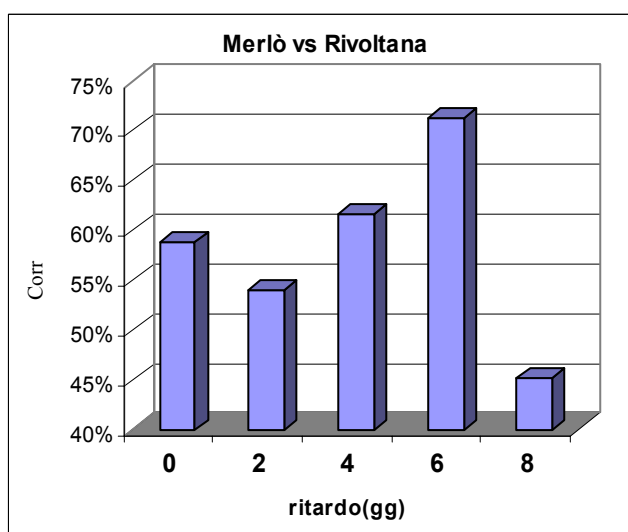
8.2 Roggia Merlò Giovane

- Confronto Merlò/Rivoltana

Il Merlò Giovane scorre parallelamente alla roggia Landriana e le misure di altezza sono state effettuate proprio alla intersezione con la essa; per questo, l'influenza delle derivazioni dell'Adda, non dovrebbe discostarsi molto nelle modalità. Il primo confronto, quello con la Rivoltana, evidenzia infatti un indice di correlazione che aumenta con il numero di giorni di scarto considerati fino ad un massimo che si attesta intorno a 6 , proprio come si era ricavato per la Landriana. Il valore dell'indice stesso è però più elevato arrivando fino ad un picco del 70% sintomo di un legame molto stretto.

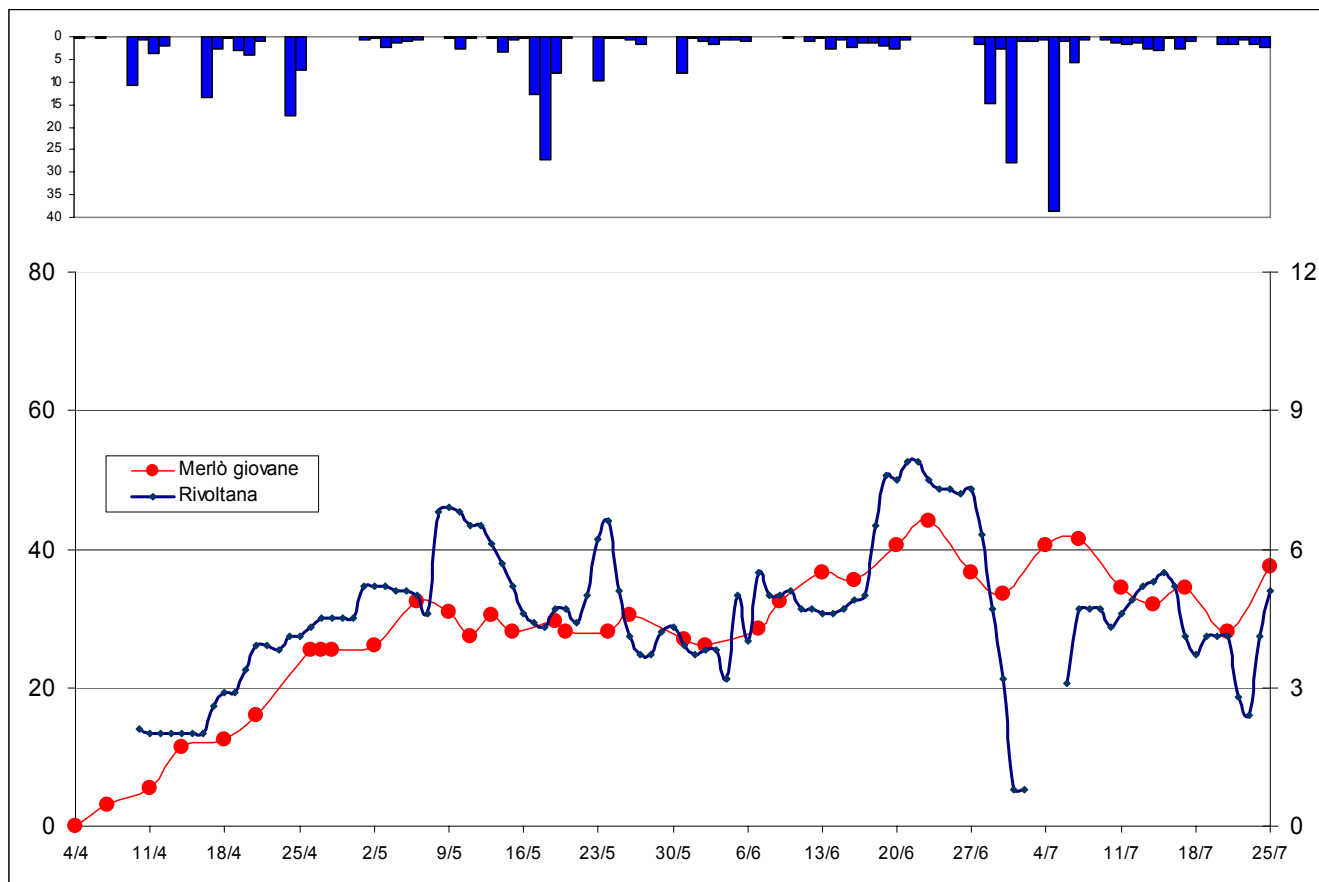
Legame evidenziato anche dall'andamento qualitativo delle due serie (vedi tav.18): queste si sovrappongono quasi perfettamente, ad eccezione del periodo 1-9 Luglio quando l'influenza degli apporti meteorici intensi è il fattore dominante.

E' chiarissimo qui l'effetto di laminazione dell'“onda”; le oscillazioni della Rivoltana, significative sia per quanto riguarda la frequenza sia per quanto riguarda l'ampiezza, vengono “appiattite” e si tramutano in piccole variazioni dell'altezza idrometrica.



Tav.17 – Indici di correlazione tra le rogge Merlò Giovane e Rivoltana al variare dello scarto temporale tra le serie

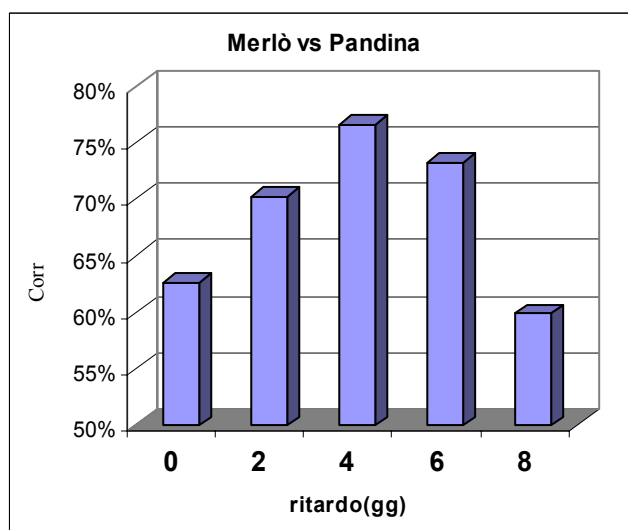
Il legame tra i due andamenti è comunque chiarissimo, apprezzabile è in particolare la crescita dei livelli del Merlò nelle ultime due settimane di Giugno, riconducibile esclusivamente a flussi sotterranei vista la quasi totale assenza di precipitazioni meteoriche.



Tav.18 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Merlò Giovane (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Rivoltana (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 6 giorni rispetto alle altezze del Merlò). E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

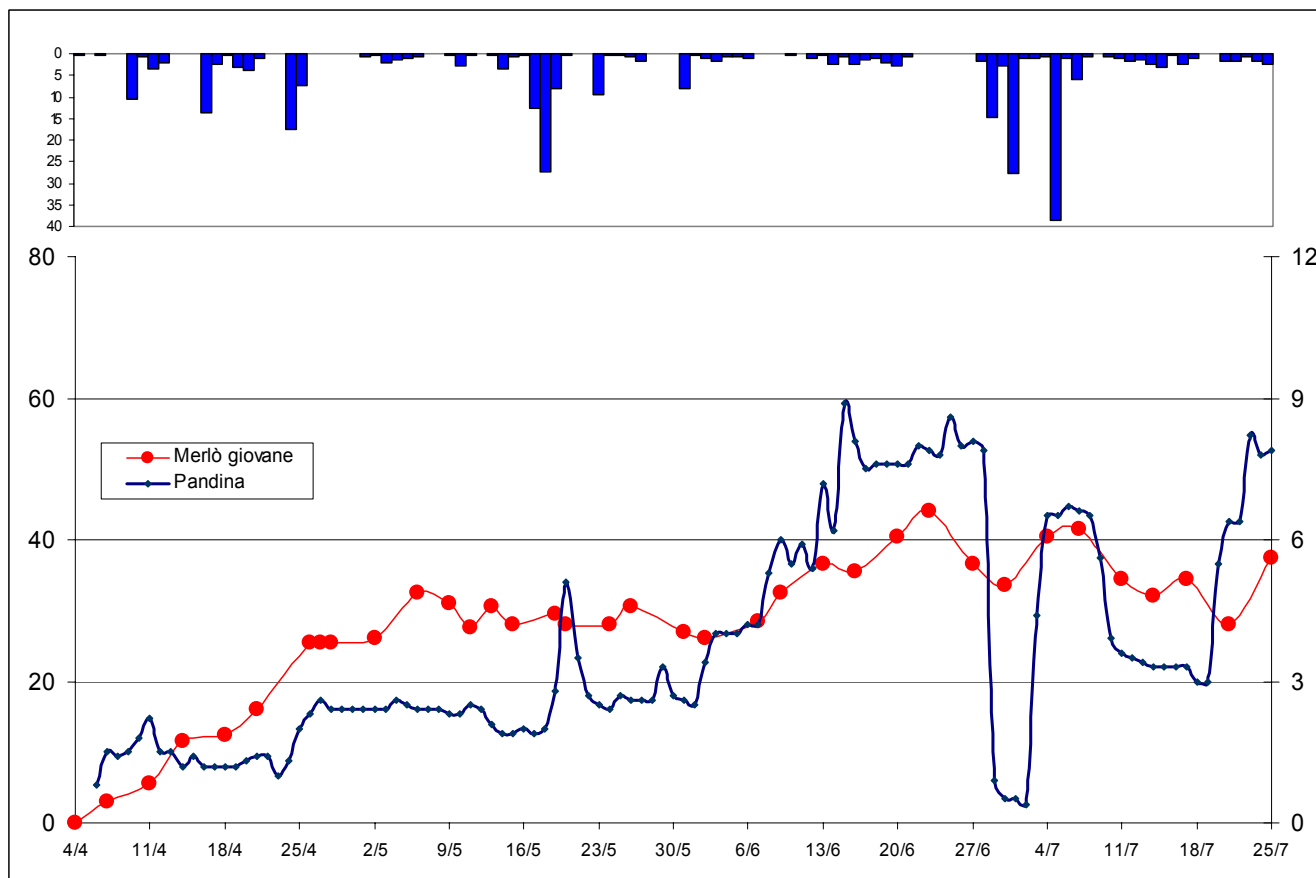
- Confronto Merlò/Pandina

Come per la Landriana, la roggia Pandina risulta ad un elevato livello di correlazione con il Merlò. L'indice relativo raggiunge il 76% a 4 giorni per poi decrescere aumentando la distanza temporale tra le serie. I flussi della Pandina sembrano interessare i livelli del Merlò con 2 giorni di anticipo rispetto a quelli della Landriana pur essendo le sorgenti del primo più prossime al corso della roggia derivata dall'Adda. Questo fatto dimostra come le dinamiche di interazione tra falda ed acque vive siano molto complesse e richiedano ulteriori analisi a livello di bilancio idrologico ed equazioni di continuità. Per la presente trattazione appare comunque eccellente la corrispondenza delle due serie se confrontate su un grafico nella scala del tempo



Tav.19 – Indici di correlazione tra le rogge Merlò Giovane e Pandina al variare dello scarto temporale tra le serie

(tav.20). Si nota ancora bene l'effetto di attenuazione dei picchi soprattutto in corrispondenza delle fasi di diminuzione di portata nella roggia Pandina.



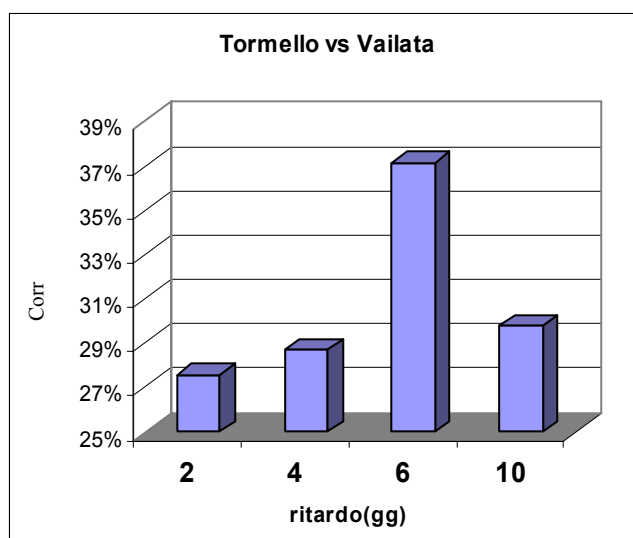
Tav.20 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Merlò Giovane (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Pandina (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 4 giorni rispetto alle altezze del Merlò . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

8.3 Roggia Tormello (Tormo)

- Confronto Tormello/Vailata

Va innanzitutto sottolineato come le altezze idriche registrate siano relative alla sezione sul Tormello. Tali valori, alla luce delle considerazioni fatte circa la scala di deflusso del Tormo e la partizione costante del flusso, sono però rappresentativi dell'andamento di tutta l'asta principale della roggia rendendo così possibile l'estensione del discorso ad una realtà ben più ampia di quella del breve tratto in esame. Proprio per la grande estensione dell'area interessata dal bacino e per la posizione intermedia all'interno dei limiti della zona campione, si è pensato di effettuare un paragone con ognuna delle 4 rogge derivazione dell'Adda.

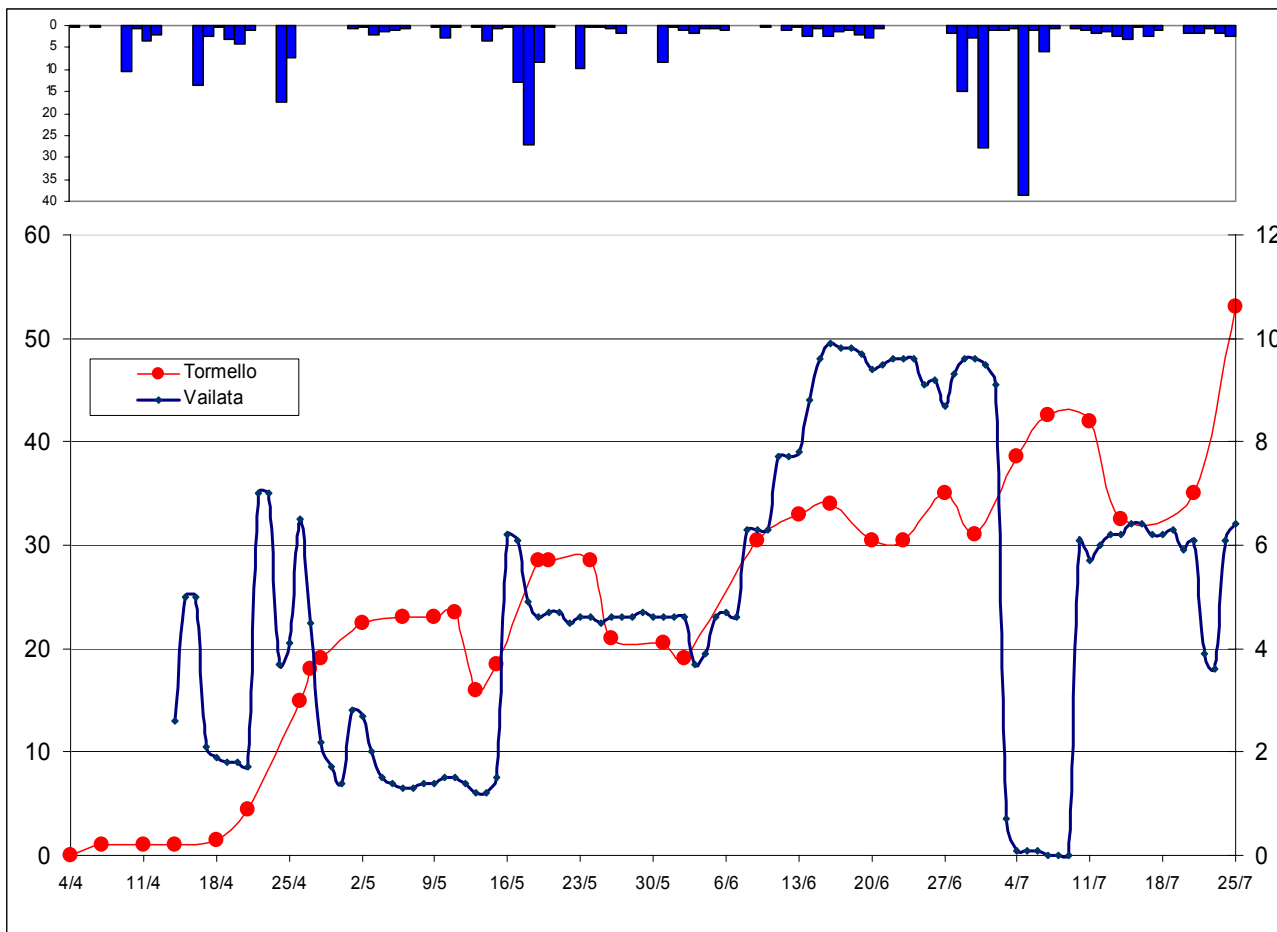
Il primo confronto è attuato con la più lontana di queste, la roggia Vailata. Essa scorre al di là del già citato spartiacque costituito dall'Altopiano Cremasco, ma seppur limitatamente, sembra riuscire



Tav.21 – Indici di correlazione tra le rogge Tormello e Vailata al variare dello scarto temporale tra le serie

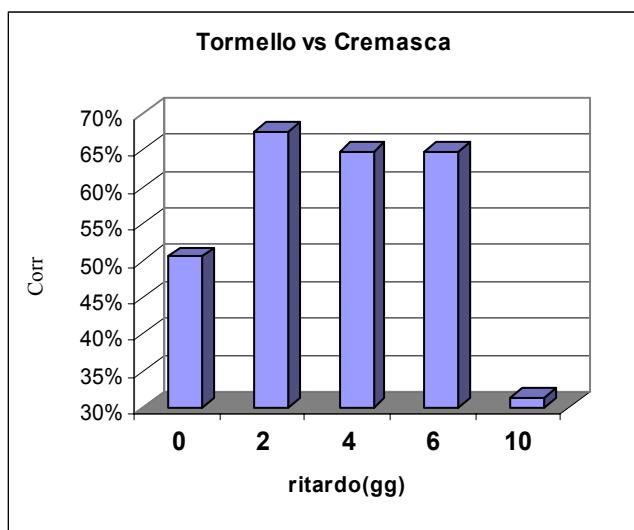
ad influenzare i deflussi nel Tormo. La correlazione tra le due serie è al di sotto del 30%, ma raggiunge valori vicini al 40% (quindi apparentemente significativi) se si considera un ritardo di 6 giorni.

Dal confronto grafico emerge una certa corrispondenza dei dati, soprattutto nella seconda parte del periodo di monitoraggio quando, escluso il picco dovuto al temporale del 7 Luglio, le due serie mostrano un buon legame.



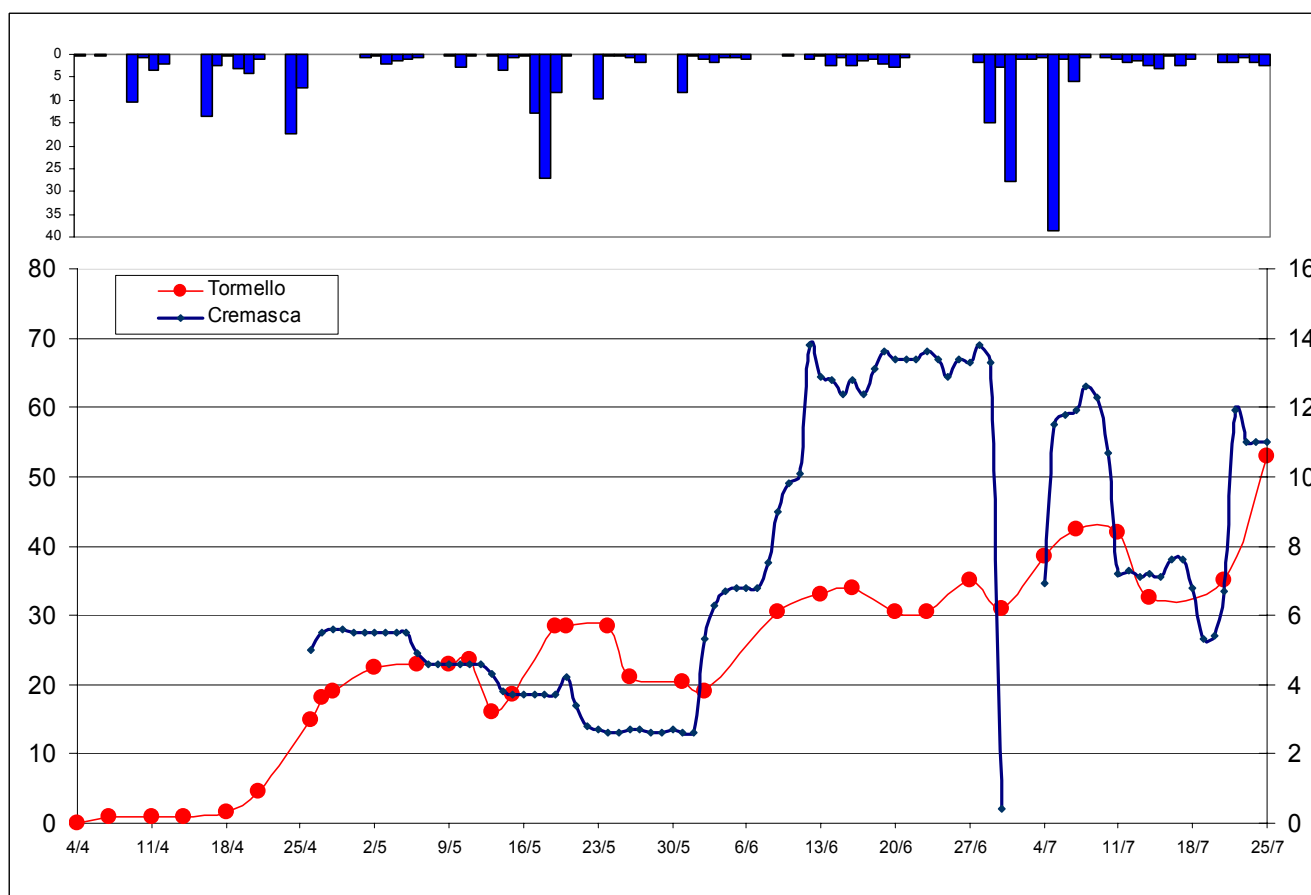
Tav.22 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Tormello (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Vailata (in m^3/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 6 giorni rispetto alle altezze del Tormello). E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

- Confronto Tormello/Cremasca



La roggia Cremasca presenta un indice di correlazione con il Tormello molto elevato; partendo dal 50% per le serie se considerate contemporanee, si arriva fino al massimo di 67% per un ritardo di 2 giorni. Anche considerando un lasso di tempo maggiore, fino a 6 giorni, la correlazione rimane elevata e l'influsso della Cremasca può essere considerato significativo. Dal confronto grafico (tav.24) sembra comunque lo sfasamento di 2 giorni il miglior compromesso e la soluzione che porta i risultati più evidenti.

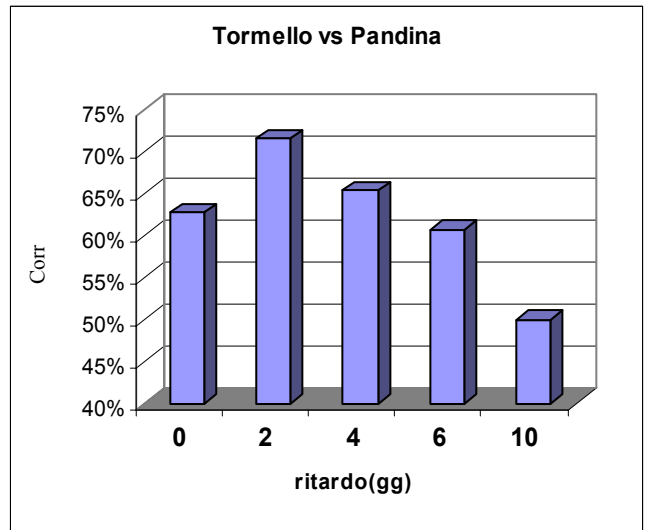
Tav.23 – Indici di correlazione tra le rogge Tormello e Cremasca al variare dello scarto temporale tra le serie



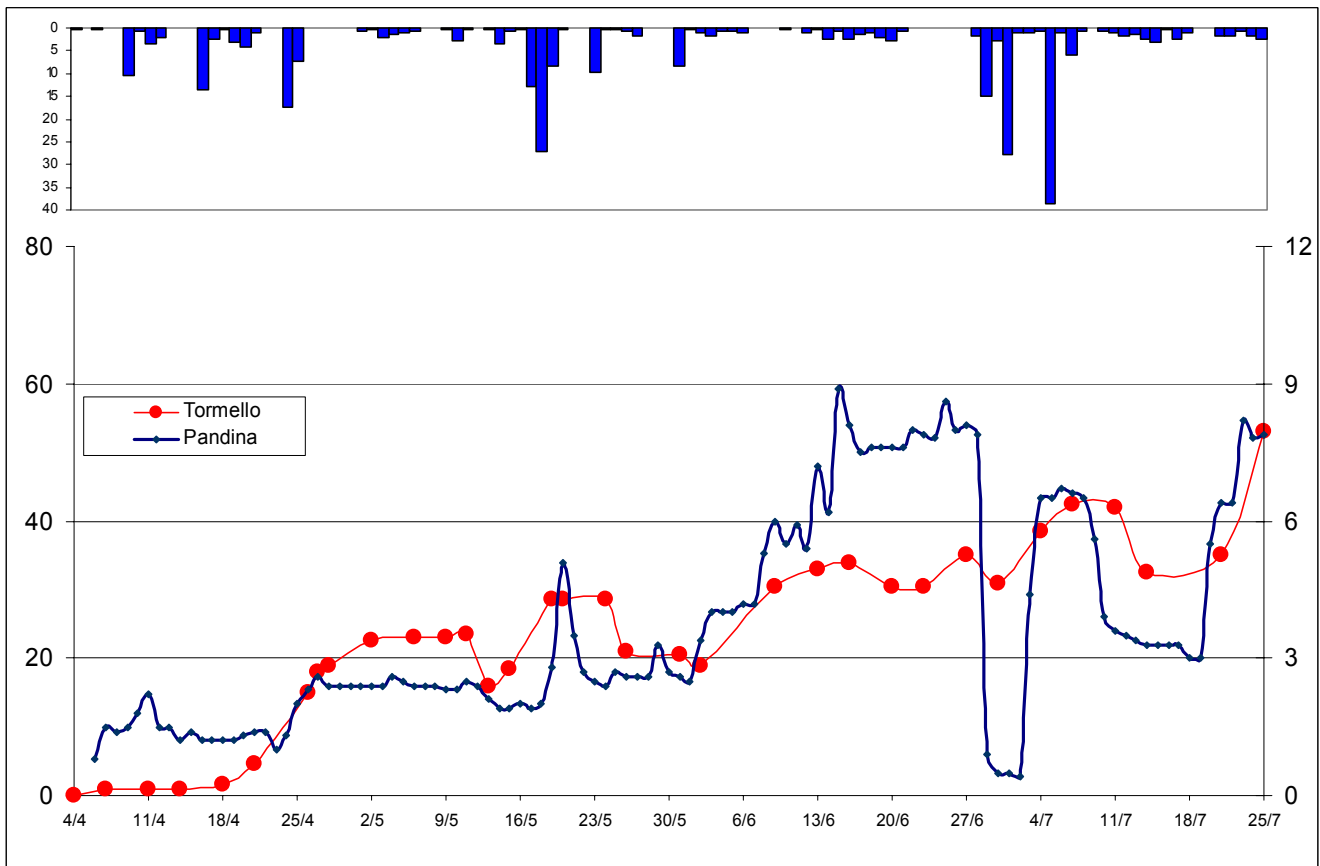
Tav. 24– Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Tormello (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Cremasca (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 2 giorni rispetto alle altezze del Tormello). E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

- Confronto Tormello/Pandina

La roggia Pandina è situata ad Ovest del Tormello, in posizione simmetrica alla Cremasca rispetto al Tormo. Pur consapevoli del fatto che le portate defluenti nella Pandina costituiscono una frazione praticamente costante del canale Retorto e che la sua complementare, costituita dalla Cremasca, è ovviamente legata strettamente alla prima, sorprendono le analogie dei comportamenti dei due corsi idrici nei confronti del Tormo. Il suo livello di correlazione con essa (70%) è infatti pressoché identico a quello con la Cremasca (67%) ed anche la stima sul ritardo che fornisca la miglior sovrapposizione degli andamenti coincide (2 giorni). Dal confronto grafico (tav.26) emergono due comportamenti molto simili, praticamente coincidenti nella prima parte del periodo campione, quando le manovre sulla Cremasca sono state meno brusche.



Tav. 25– Indici di correlazione tra le rogge Tormello e Pandina al variare dello scarto temporale tra le serie



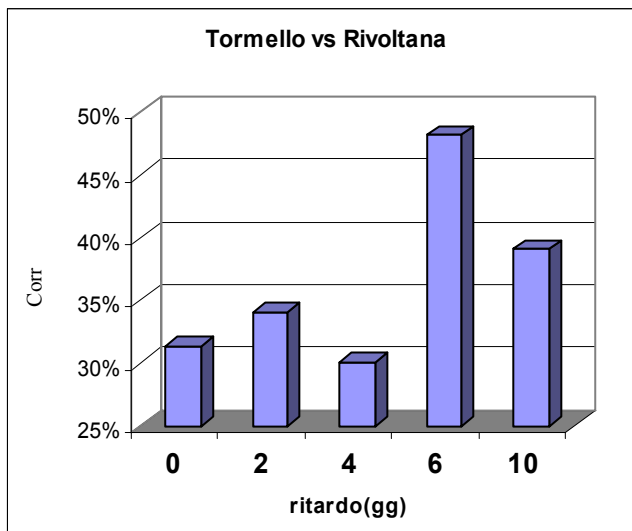
Tav. 26– Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Tormello (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Pandina (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 2 giorni rispetto alle altezze del Tormello). E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

- Confronto Tormello/Rivoltana

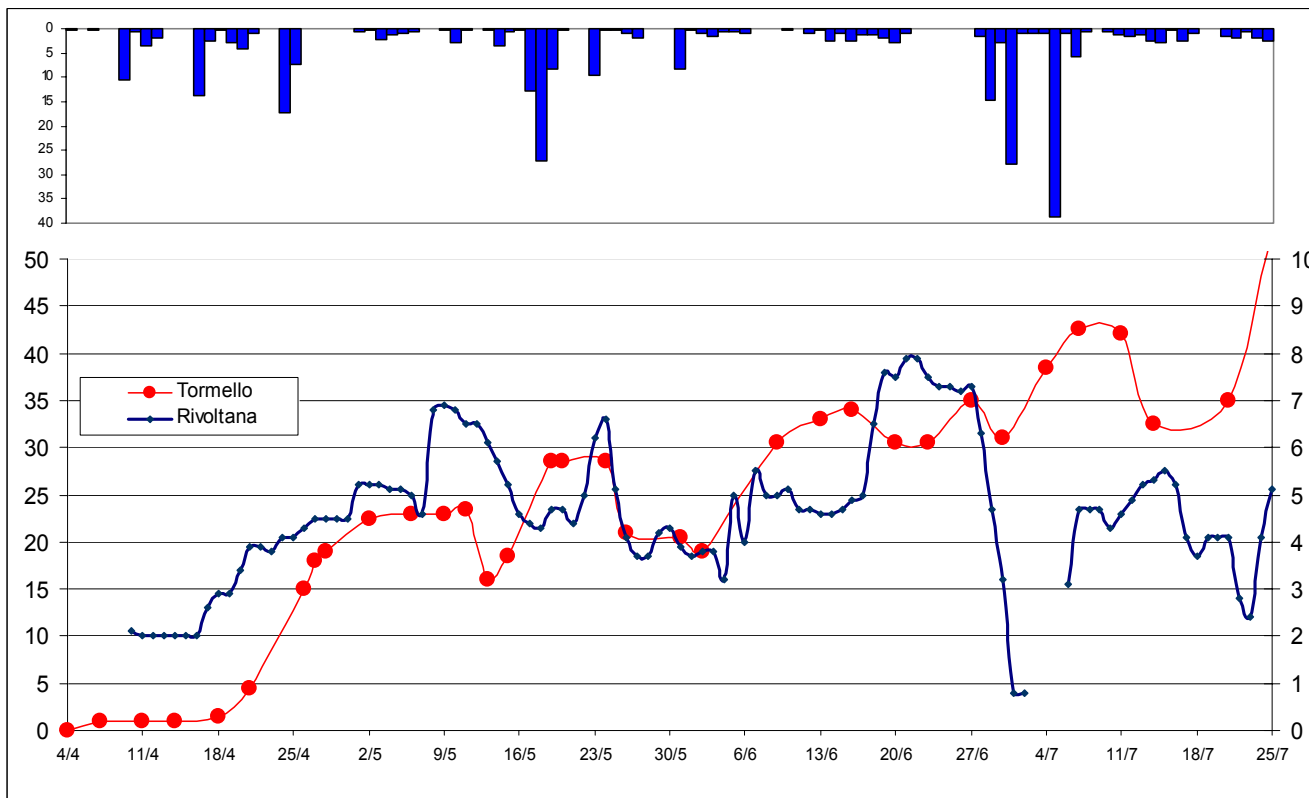
Il legame tra Rivoltana e Tormello sembra meno forte rispetto a quello con le due precedenti rogge. Se si considera però un ritardo maggiore (6 giorni) nei deflussi, si trova un massimo significativamente elevato vicino al 50%.

Da sottolineare come la distanza nello spazio giochi un ruolo fondamentale nella durata del transito sotterraneo delle acque dalle rogge derivazione dell'Adda al Tormello; le rogge più vicine (Cremasca e Pandina) sono caratterizzate da un lasso di tempo non superiore ai 2 giorni, mentre Rivoltana e Vailata, più distanti di qualche chilometro, fanno sentire la loro influenza solo dopo circa 6 giorni.

Osservando la raffigurazione su assi cartesiani delle serie relative al Tormello ed alla Rivoltana si può apprezzare sicuramente meglio lo stretto legame tra i due andamenti.



Tav. 27– Indici di correlazione tra le rogge Tormello e Rivoltana al variare dello scarto temporale tra le serie



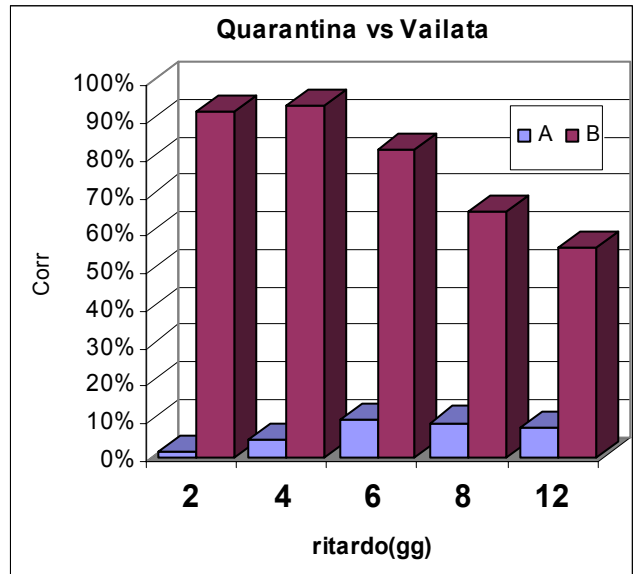
Tav.28 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Tormello (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Rivoltana (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 6 giorni rispetto alle altezze del Tormello . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

8.4 Roggia Quarantina

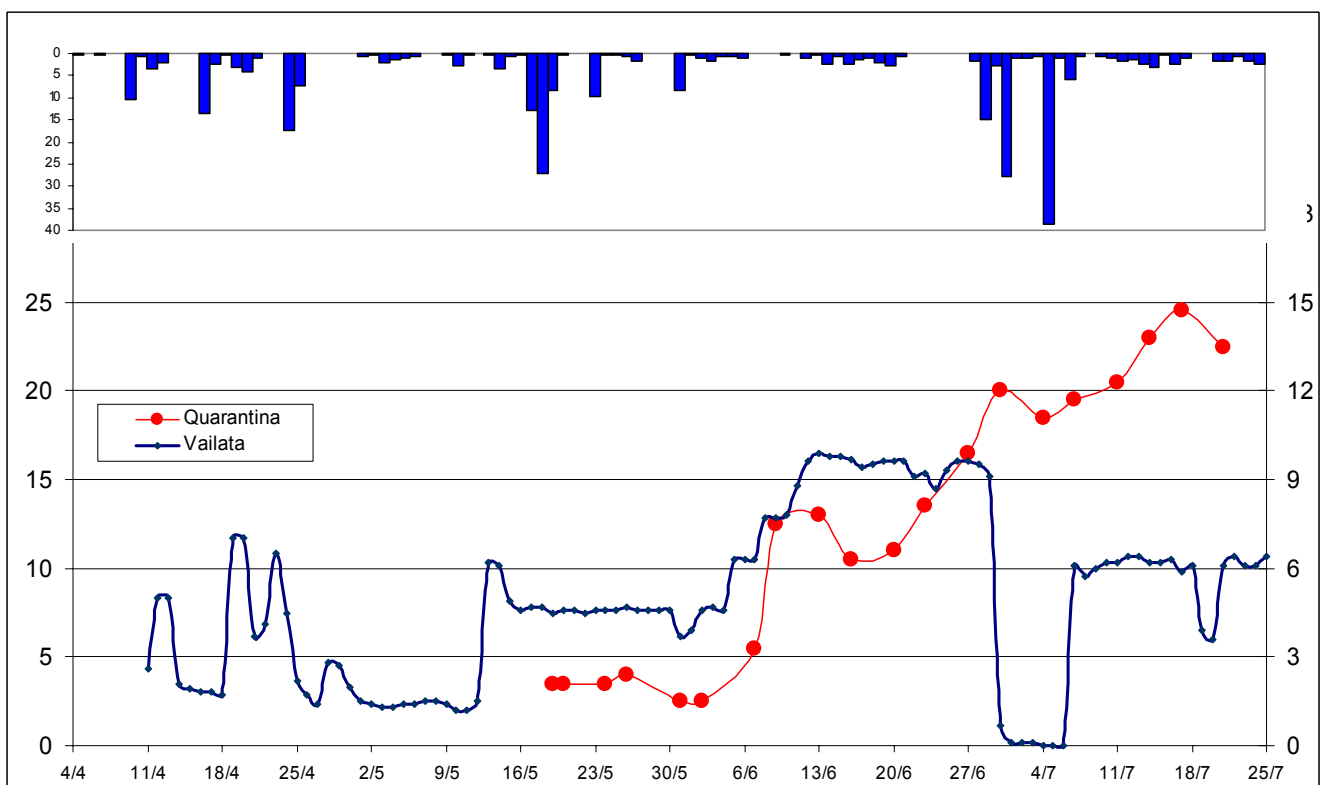
- Confronto Quarantina/Vailata

La roggia Quarantina è la prima situata nell'area orientale: i corsi idrici di questa zona non denotano legami con le acque vive considerate forti quanto quelli dell'area occidentale. La derivazione dell'Adda più vicina è la Vailata e per questo si è deciso di utilizzarla come termine di paragone per tutte le rogge rimanenti. Il primo riscontro, quello con la Quarantina, fornisce uno scarso livello di correlazione che anche al suo massimo non supera il 10% (valore trascurabile). Si è pensato di trovare una parte della serie completa che presentasse legame maggiore visto che invece dal confronto grafico (tav.30) questo era ben visibile, specie nella parte iniziale del periodo. Si sono quindi esclusi dall'analisi i valori di altezza registrati dopo il 30 Giugno e si è notato come l'indice di correlazione raggiunga valori addirittura del 90%. Consci del fatto che così facendo si va a ridurre un campione già limitato nelle dimensioni, si è comunque deciso di valutare i due dati abbinati (serie completa, A, e serie

tagliata,B) giungendo alla conclusione che il ritardo ottimale stimato si attesta intorno ai 4 giorni.



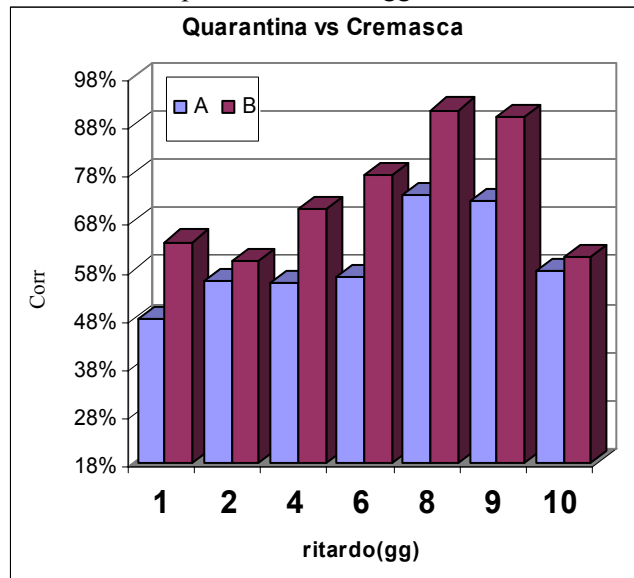
Tav.29 – Indici di correlazione tra le rogge Quarantina e Vailata. Le colonne A indicano gli indici relativi alla serie completa, le colonne B quelli relativi alla serie decurtata dell'ultimo mese di rilievi



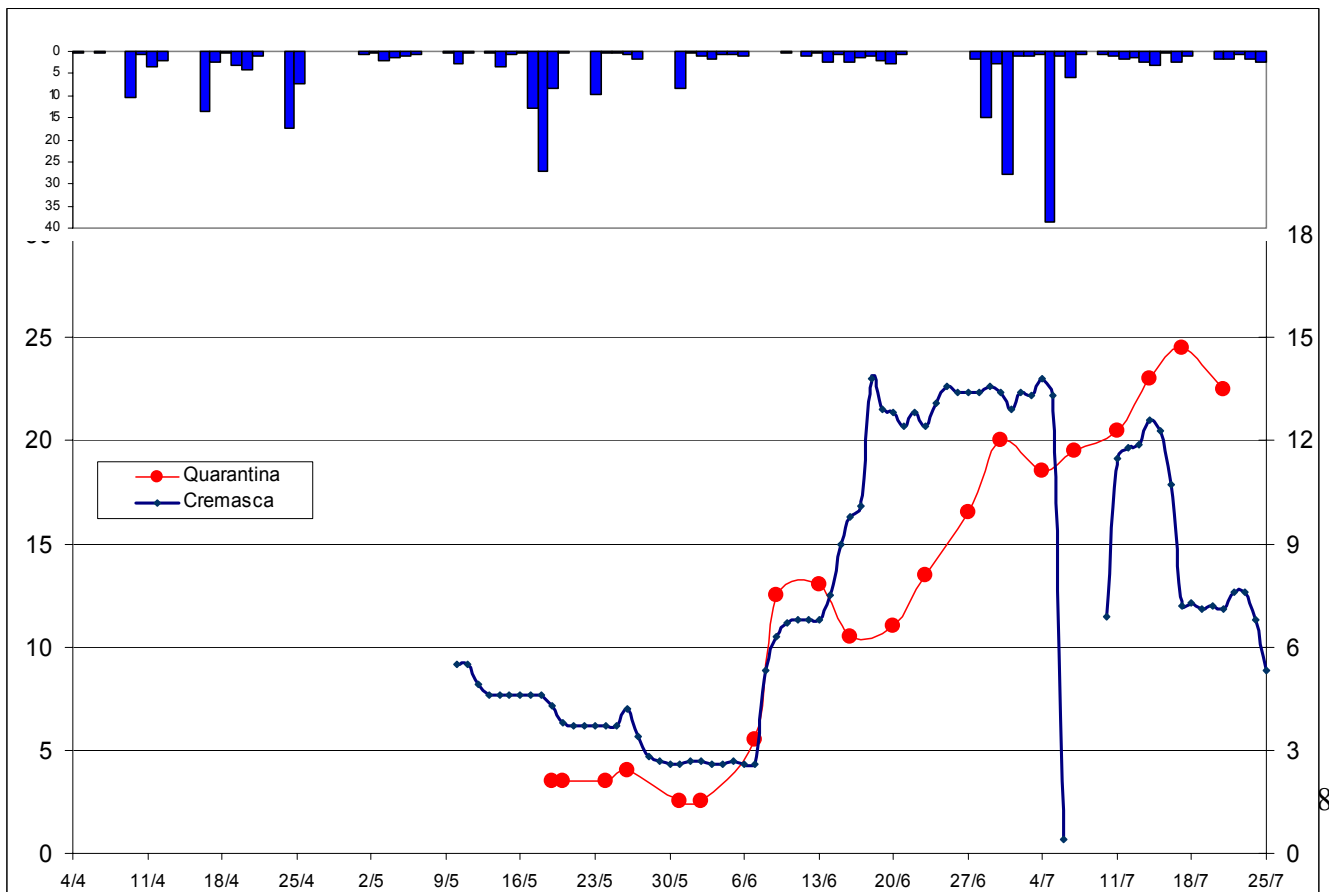
Tav. 30– Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Quarantina (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Vailata (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 4 giorni rispetto alle altezze della Quarantina . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

- Confronto Quarantina/Cremasca

Nel caso della Quarantina, in quanto situata in una zona intermedia rispetto alle altre rogge, si è effettuato un confronto anche con la roggia Cremasca che scorre ridosso dell'Altopiano Cremasco. Considerando l'indice di correlazione si vede come abbia una variabilità ridotta pur raggiungendo valori elevati in corrispondenza degli 8-9 giorni di ritardo tra le serie. Come nel caso precedente e consapevoli che probabilmente gli eventi meteorici di inizio Luglio possono avere influito pesantemente sulle portate, si è deciso di considerare solamente le rilevazioni effettuate nel periodo precedente il 30 Giugno. Gli indici di correlazione mostrano un andamento analogo al precedente, ma è sicuramente più evidente la tendenza a raggiungere il massimo per il valore di 8 giorni, adottato quindi come ottimale. Anche dal confronto grafico emerge un buon adattamento delle due serie che arrivano a coincidere nell'andamento del primo tratto.



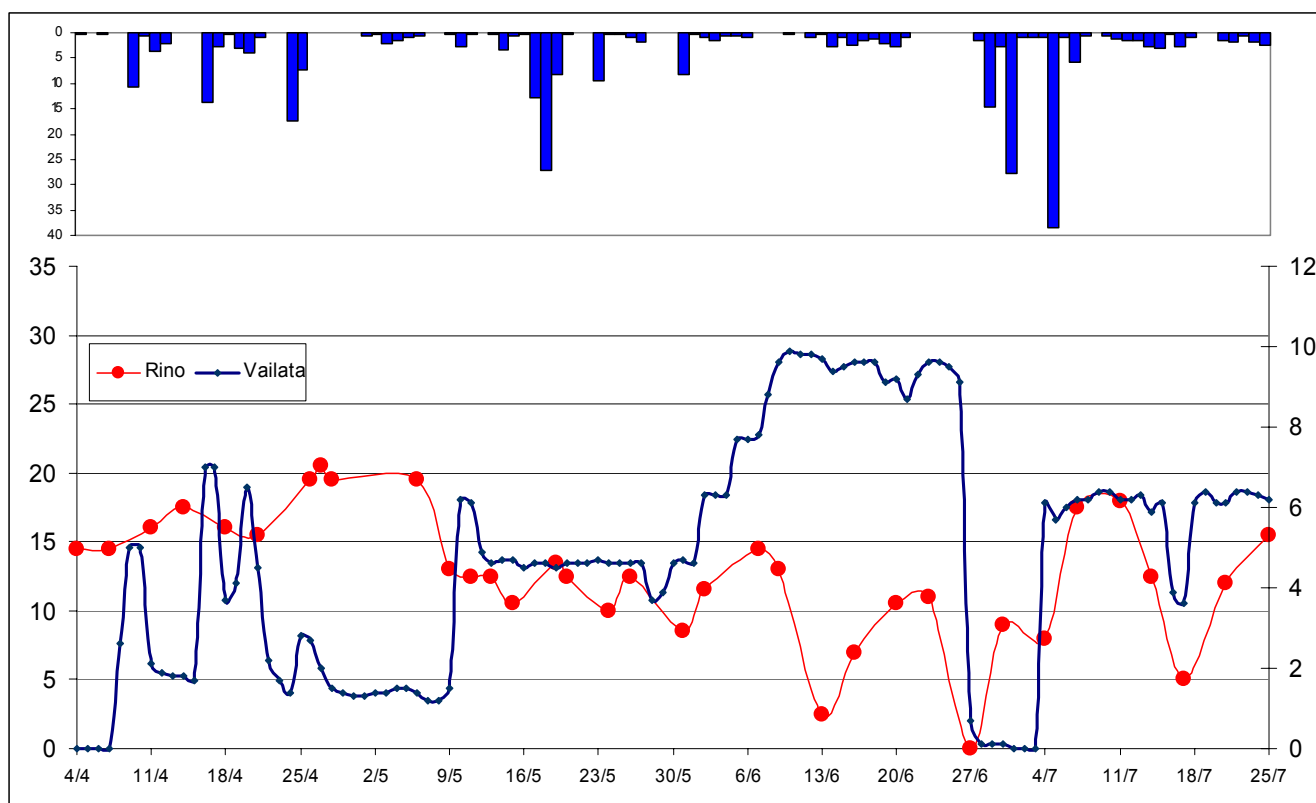
Tav. 31– Indici di correlazione tra le rogge Quarantina e Vailata .Le colonne A indicano gli indici relativi alla serie completa, le colonne B quelli relativi alla serie decurtata dell'ultimo mese di rilievi



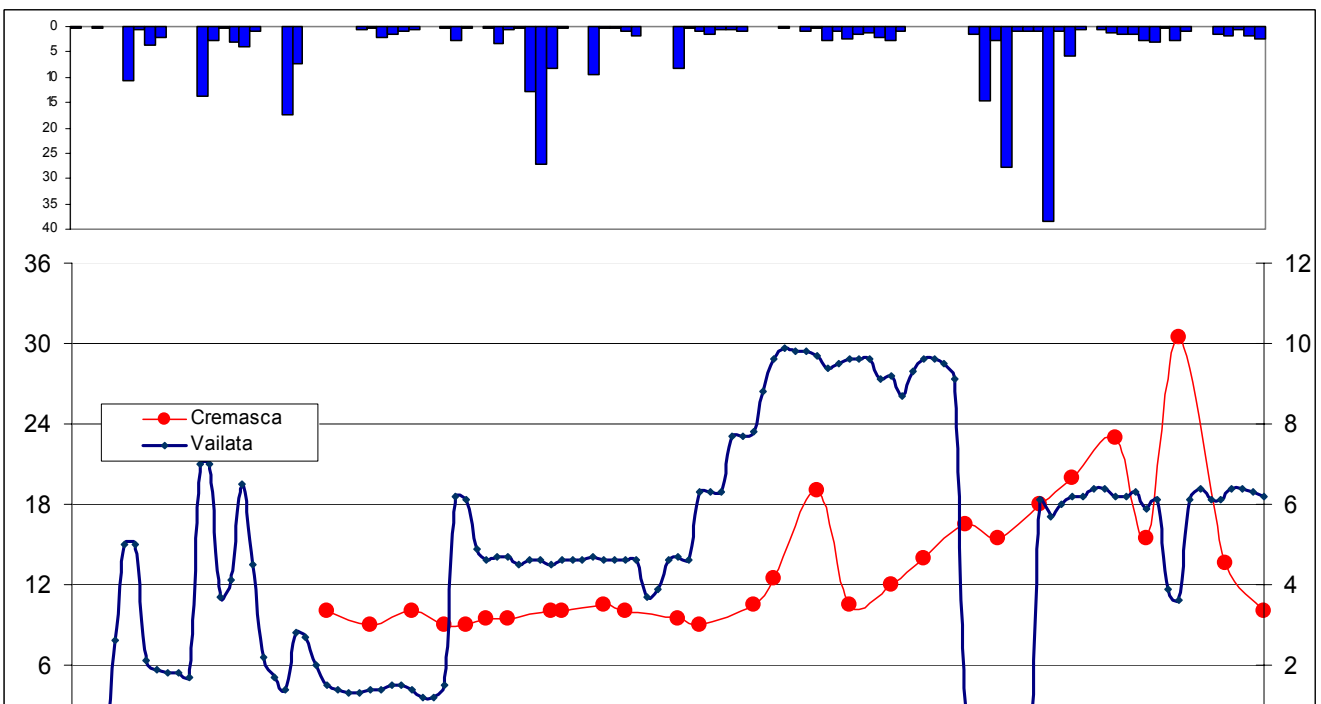
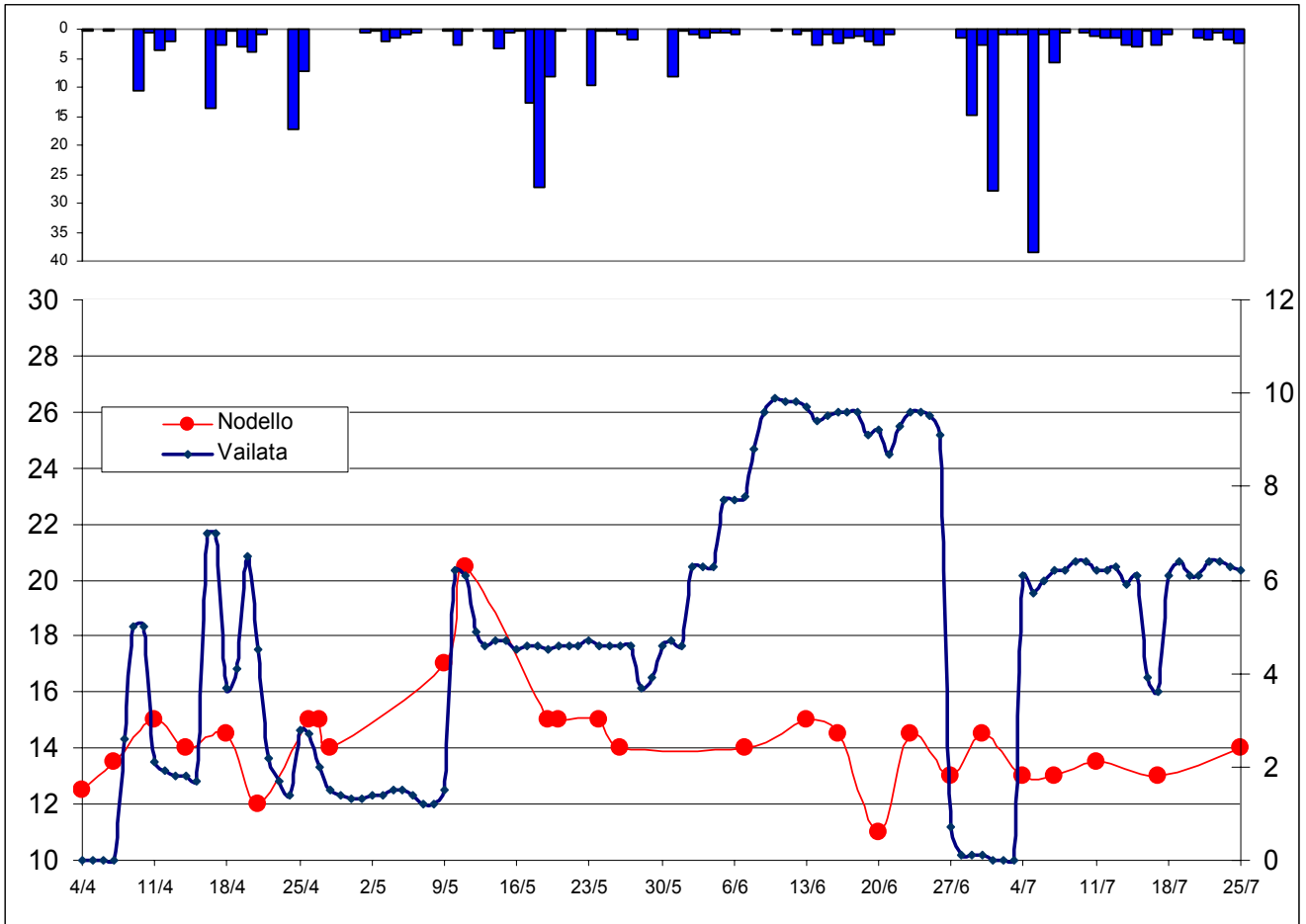
Tav.32 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Quarantina (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Vailata (in m³/sec su asse di destra; queste sono rappresentate con uno scarto di 4 giorni rispetto alle altezze della Quarantina . E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

8.5 Rogge Rino Fontana , Cremasca e Nodello

Le ultime tre rogge, oltre a presentare indici di correlazione poco significativi, mostrano anche ad una analisi grafica scarso legame nei confronti delle derivazioni dell'Adda. Non è stato nemmeno possibile determinare alcuno scarto ottimo per rappresentare le serie che quindi vengono di seguito riportate con coincidenza temporale nei confronti della roggia Vailata, la più orientale delle disponibili. Causa di tale comportamento è da ricercare presumibilmente nella complessità delle dinamiche di infiltrazione sotterranee e nei numerosi fattori che influenzano l'idrologia del territorio immediatamente a nord. La bassa bergamasca infatti, come già accennato in precedenza, è caratterizzata da una grande presenza di pozzi, spesso non registrati, che attingendo dalla falda influiscono pesantemente sulla capacità di alimentazione delle risorgive.



Tav. 33– Confronto tra le serie di altezza idrometrica della roggia Rino Fontana (in cm su asse a sinistra) e di portata della roggia Vailata (in m³/sec su asse di destra).E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.



Tab. 34 – Confronto tra le serie di altezza idrometrica delle rogge Nodello e Cremasca (in cm su asse a sinistra) e di portata della rogge Vailata (in m^3/sec su asse di destra). E' evidenziato l'andamento pluviometrico a Capralba con livelli espressi in mm.

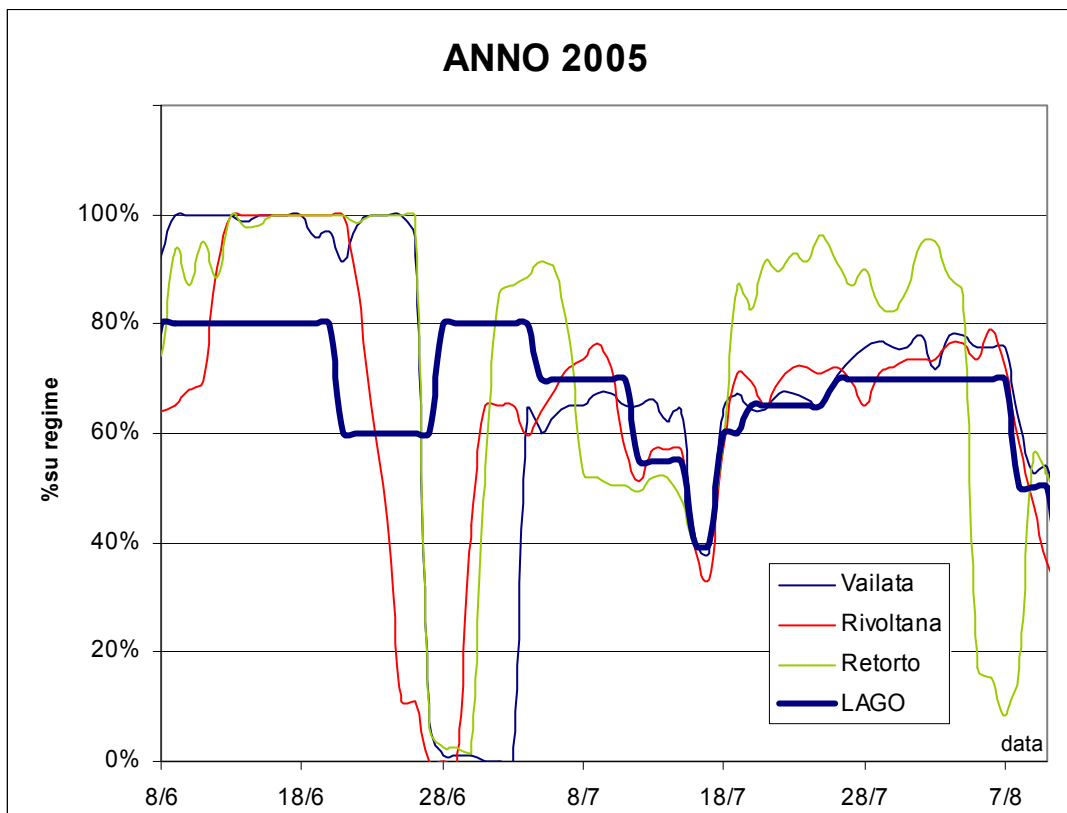
9. Anno 2005: alla luce dell'eccezionale scarsità d'acqua...

Definita con buona certezza l'esistenza di una correlazione tra i flussi delle acque vive e quelli nel comprensorio indiretto, è ora possibile cercare una prima descrizione da un punto di vista quantitativo del fenomeno; tale obiettivo richiederebbe un'analisi approfondita delle dinamiche alla base degli scorrimenti nel sottosuolo. L'idea iniziale di questo lavoro è però quella di tracciare una primo segno che possa indicare la strada da percorrere per futuri lavori. Per questo si è cercato l'approccio più immediato al problema ragionando solo in termini di "relazione tra le conseguenze" ovvero tra i deflussi nei due comprensori e non in termini di studio delle dinamiche di scorrimento sotterraneo da un punto di vista idraulico.

Ciononostante le caratteristiche di criticità della stagione analizzata hanno introdotto una serie di problematiche inattese che hanno reso inapplicabile parte del piano di lavoro originario rendendo indispensabile la ricerca di soluzioni alternative, immediate, condizionate dalle esigenze contingenti e frutto soprattutto del prezioso supporto fornito dal lavoro e dall'esperienza del personale del Consorzio Irrigazioni Cremonesi.

L'anno 2005 è stato caratterizzato da una lunga fase siccitosa iniziata già nell'inverno 2004-2005 e protrattasi fino ad agosto, per quanto qui interessa, creando situazioni di crisi idrica specialmente nell'Italia settentrionale: nei mesi Dicembre 2004 – Maggio 2005 si sono registrate precipitazioni di gran lunga sotto la media (intorno ai 235 mm contro i 370mm di norma) con un deficit stimato rispetto alle medie del periodo del 35%. La scarsità di riserve immagazzinate sulle Alpi durante l'inverno e un Giugno eccezionalmente avaro di piogge (-80% rispetto alla media!) hanno accentuato la crisi proprio nel momento più delicato per l'agricoltura con l'inizio delle irrigazioni. Tale carenza idrica è poi proseguita fino a fine Luglio (-40% di precipitazioni rispetto al normale) costringendo a pesanti riduzioni e, in alcuni casi, alla totale chiusura temporanea, delle maggiori derivazioni dell'Adda.

Tale situazione ha influito pesantemente sul presente lavoro: per una valutazione del legame quantitativo della dipendenza dei flussi tra il comprensorio diretto e quello indiretto era infatti necessario poter fissare un valore di riferimento "a regime" delle portate nell'uno e nell'altro. Tale valore non è mai stato raggiunto o lo è stato solo per un periodo limitato di tempo, non sufficiente a portare in una situazione stabile di pieno funzionamento tutto il reticolo.



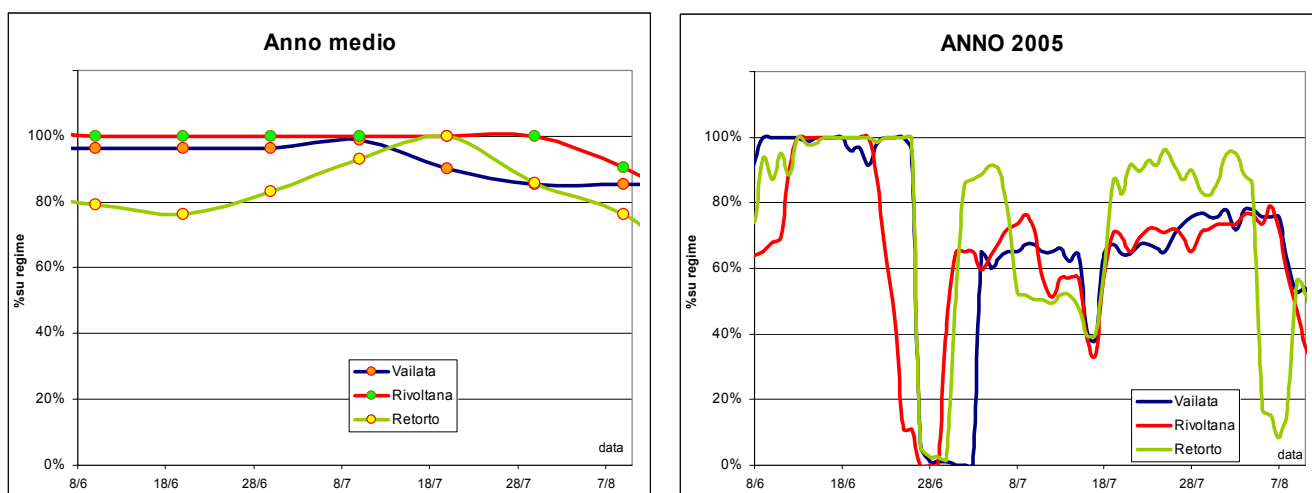
Tav.35 – Andamenti delle portate nella stagione irrigua per le rogge analizzate a confronto con i deflussi dal Lago di Como (espresse in % rispetto alla portata nominale)

Le portate defluite nelle derivazioni dell’Adda, e quindi quelle che hanno raggiunto il comprensorio diretto, dipendono strettamente da quelle transitanti nell’Adda stesso e quindi dai livelli del Lago di Como; come si può notare in tav.35 i deflussi dal lago non hanno mai raggiunto la potenzialità massima, ma si sono attestati all’80% solo per un breve periodo ad inizio Giugno quando cominciarono le irrigazioni e probabilmente la fiducia in afflussi meteorici poteva ancora far sperare in una stagione non del tutto disastrosa.

La persistente siccità e la forse scarsa parsimonia all’inizio della stagione hanno portato poi alla chiusura totale di tutte le rogge in analisi da fine a Giugno ad inizio Luglio con gravi ripercussioni su tutto il territorio. I deflussi non riusciranno poi più a tornare su livelli significativamente elevati facendo ricordare così il 2005 come uno degli anni peggiori per il mondo agricolo cremonese e non solo.

Dal punto di vista dell’analisi in atto, deleteria è stata soprattutto la limitata durata del periodo di contemporaneo funzionamento a regime: in una annata normale, durante la stagione irrigua le portate nei canali sono ai massimi livelli per garantire il supporto necessario a colmare il normale deficit idrico nelle colture.

Se si considerano come estremi temporali dell’ultima stagione irrigua (inizio 8 Giugno e termine 15 Agosto) si notano chiaramente le differenze tra l’annata 2005 e quella media (tav.36).



Tav.36 – A sinistra: Andamenti delle portate in un anno medio (Gandolfi, “Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia”) A destra: portate nel 2005 (tutto espresso in % rispetto al valore nominale)

In un anno nella norma gli andamenti dei deflussi nelle derivazioni sono pressoché coincidenti (tav.36 a sinistra) in conseguenza delle politiche di gestione dettate dai comuni bisogni degli agricoltori. La scarsità di risorsa ha portato quest’anno alla definizione di andamenti differenti (tav.36 a destra) delineando risposte alla domanda diverse: la Vailata ad esempio ha raggiunto il 100% a Giugno con quasi una settimana di anticipo rispetto alle altre garantendo subito il deflusso massimo, ma essendo così costretta ad essere del tutto privata d’acqua per un periodo più prolungato ad inizio Luglio. Evidenti sono anche le discrepanze tra gli andamenti delineati per il Retorto e quelli della Rivoltana, emergono cioè picchi più elevati ed un andamento meno omogeneo per il primo.

Tali disparità hanno fatto sì che il territorio, soprattutto nei comprensori indiretti, non potesse mai usufruire di tutta la quantità d’acqua normalmente presente inducendo un inevitabile deficit nelle portate alimentanti le risorgive. Mentre tale differenza è facilmente controllabile sulle acque vive, costantemente monitorate ad opera dei concessionari e degli utenti, nel comprensorio indiretto non esiste alcun organo di misura che consenta un riscontro con gli anni passati, né alcuna serie storica che renda possibile una diretta valutazione dell’ammacco. Questo fatto è già abbastanza esplicativo dello scarso livello di attenzione alla tutela della risorsa idrica quando questa non è strettamente legata ad una specifica concessione: se l’acqua proviene da un fontanile che attinge dal sottosuolo non deve essere né misurata, né monitorata né tanto meno limitata da alcuna concessione che garantisca una politica di gestione sostenibile, questo è il pensiero comune riscontrato...

Mentre la consapevolezza di un'annata siccitosa era già presente ad inizio primavera, la gravità degli sviluppi della situazione e le disparità nelle politiche di gestione non erano prevedibili in fase di pianificazione del lavoro; per questo non è emersa, in fase preliminare, la necessità di effettuare misure di portata ulteriori che invece si sarebbero rivelate preziose.

Una volta determinata l'esigenza di ottenere informazioni circa il reale deflusso nel comprensorio indiretto nell'annata corrente e in quella media, si è cercato di risolvere il problema ottenendo il maggior numero di indicazioni dai soggetti interessati e da fattori "tangibili" sul territorio.

9.1 Estensione del fenomeno siccitoso

In primo luogo si è cercato di valutare l'estensione delle zone più colpite attraverso una serie di interviste agli agricoltori e di sopralluoghi sul campo; al 7 Luglio la situazione era già critica ed i raccolti in parte compromessi. Tutta l'area a sud del Canale Vacchelli, nei comuni di Spino d'Adda, Pandino, ma soprattutto Dovera, si trovava in una condizione di marcato deficit idrico (fig.67).

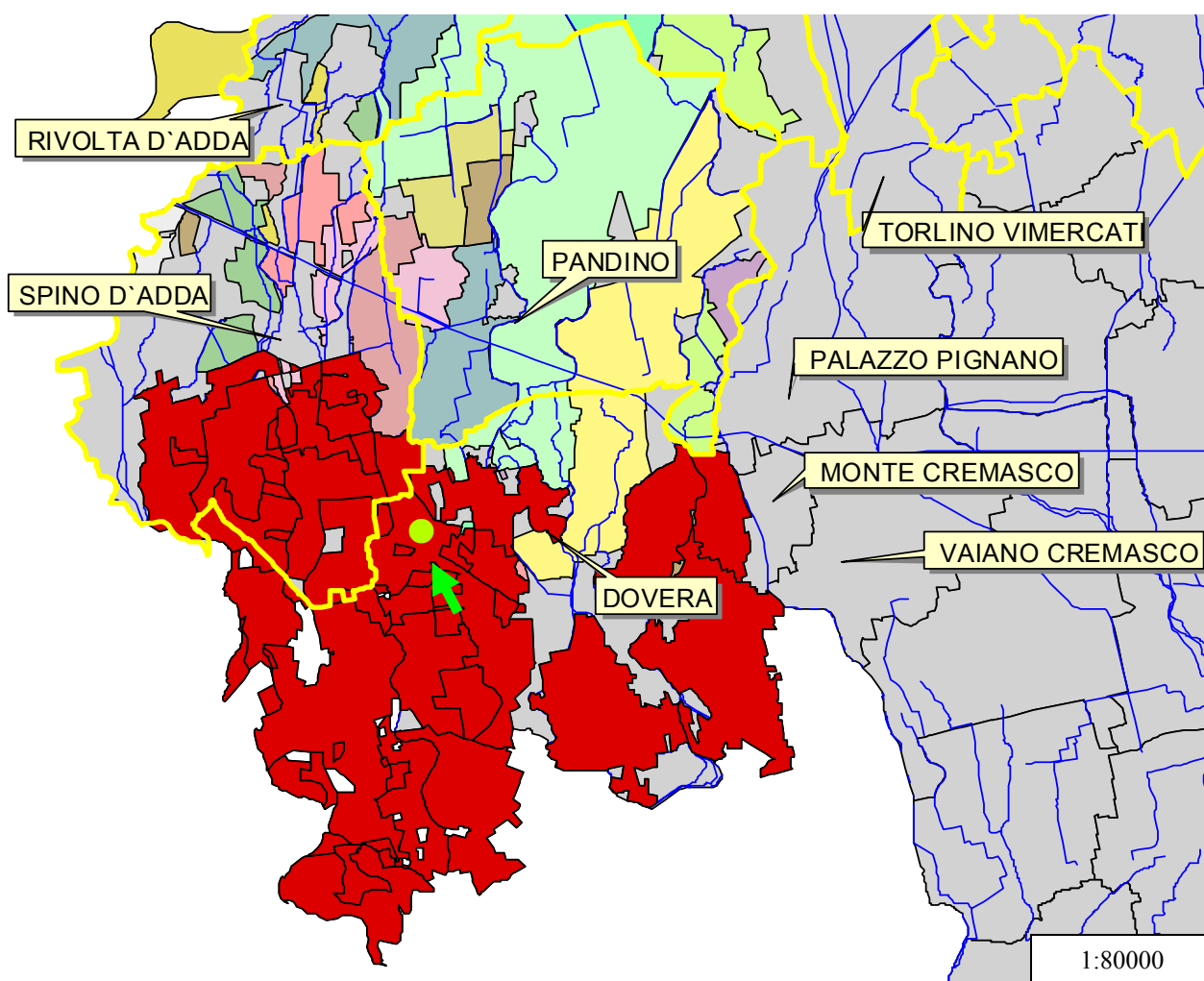


Fig.67 – In rosso sono evidenziate le zone maggiormente colpite dalla siccità nel 2005 (rilievo del 7 Luglio).
In verde è segnato il punto dove sono stati concentrati gli studi e le interviste

Le coltivazioni a prato stabile, molto frequenti nell'area, garantivano sfalci molto meno frequenti della norma e una condizione di sofferenza delle piante evidenziata dal colore tipicamente giallastro dei campi (fig.68).



Fig.68 – Evidente stress idrico in un prato stabile nei pressi di Dovera (7 Luglio 05)

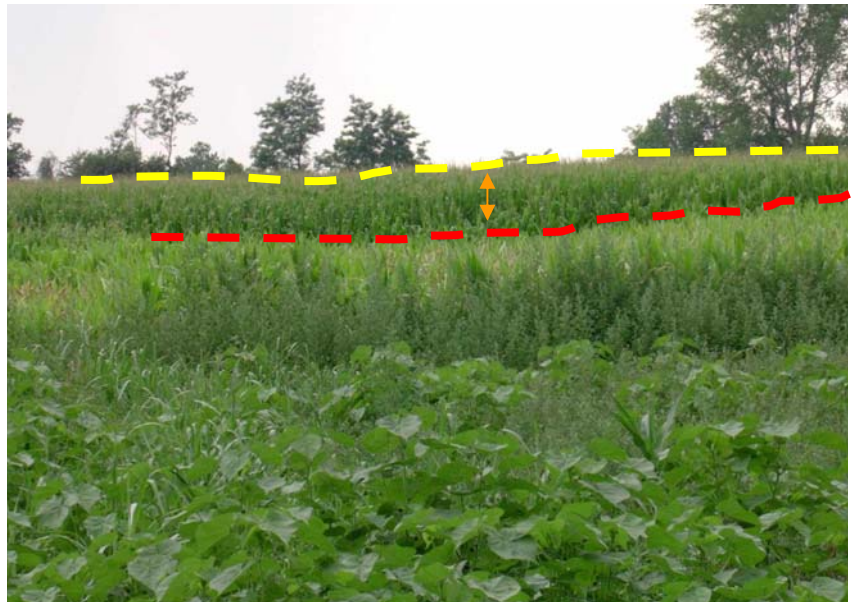


Fig.69 – Effetti del deficit idrico su una coltura di mais nei pressi di Dovera (7 Luglio 05). E' evidenziata la disomogeneità nell'irrigazione attraverso la differenza nello sviluppo di piante in zone raggiunte dall'acqua e in altre marginali secche

Anche le colture di mais erano soggette a evidente stress: si poteva notare come le altezze dei fusti andavano via via diminuendo (fig.69 a destra) all'allontanarsi dal punto di adacquamento, sintomo di una irrigazione scarsa e non omogenea. Le piante poi presentavano, specialmente ai margini, foglie gialle (fig.69 a sinistra) o bruciate dal sole segno di una difficoltà a reperire acqua e quindi presupposto di un'annata difficile anche dal punto di vista dei raccolti.

Le zone più colpite sono state sicuramente quelle più meridionali (nei dintorni di Boffalora d'Adda) dove si è resa necessaria la scelta di irrigare solamente le colture più pregiate o comunque redditizie (mais) lasciando a secco prati e altri coltivi con un notevole danno economico.

Già da questa prima analisi è evidente quali siano le ripercussioni di un calo delle portate a monte, nel comprensorio diretto, anche in un'area che non riceve direttamente le acque da derivazioni dell'Adda: tra i comizi irrigui più interessati ci sono stati proprio quelli del Merlò Giovane, della Landriana e del Tormo che come abbiamo visto sono alimentati da risorgive. Una diminuzione dell'efflusso dal lago di Como del 20% significa ettari di campi praticamente a secco in zone non monitorate da un punto di vista idrico, non riconosciute come utilizzatrici di acque vive, prive di una gestione efficiente della risorsa e che quindi possono scarsamente far sentire la propria voce.

9.2 Valutazione qualitativa del deficit

Il secondo tipo di indagine effettuata ha riguardato gli “amministratori” e gli utenti della risorsa idrica sul territorio, ovvero i responsabili dei vari comizi e i cosiddetti “campari”, coloro che custodiscono forse la memoria storica più approfondita e attendibile della rete irrigua.

Si sono effettuate numerose uscite identificando punti salienti del territorio focalizzando l’attenzione sul corso del Tormo e su quello del Merlò perché, come visto, tra i maggiormente interessati dalla siccità oltre ad essere quelli che hanno fornito indicazioni più significative nell’analisi di correlazione precedente.

Le sezioni identificate non possono coincidere con quelle già selezionate nella presente trattazione visto che differenti sono gli scopi dell’attuale analisi: non interessa più avere tratti non influenzati da colti, emungimenti e vicini alla sorgente, ma in questo caso domina l’importanza della regolarità dell’alveo, la presenza di soglie, sezioni di controllo e soprattutto indicazioni circa le portate medie storiche transitanti nella stagione irrigua.

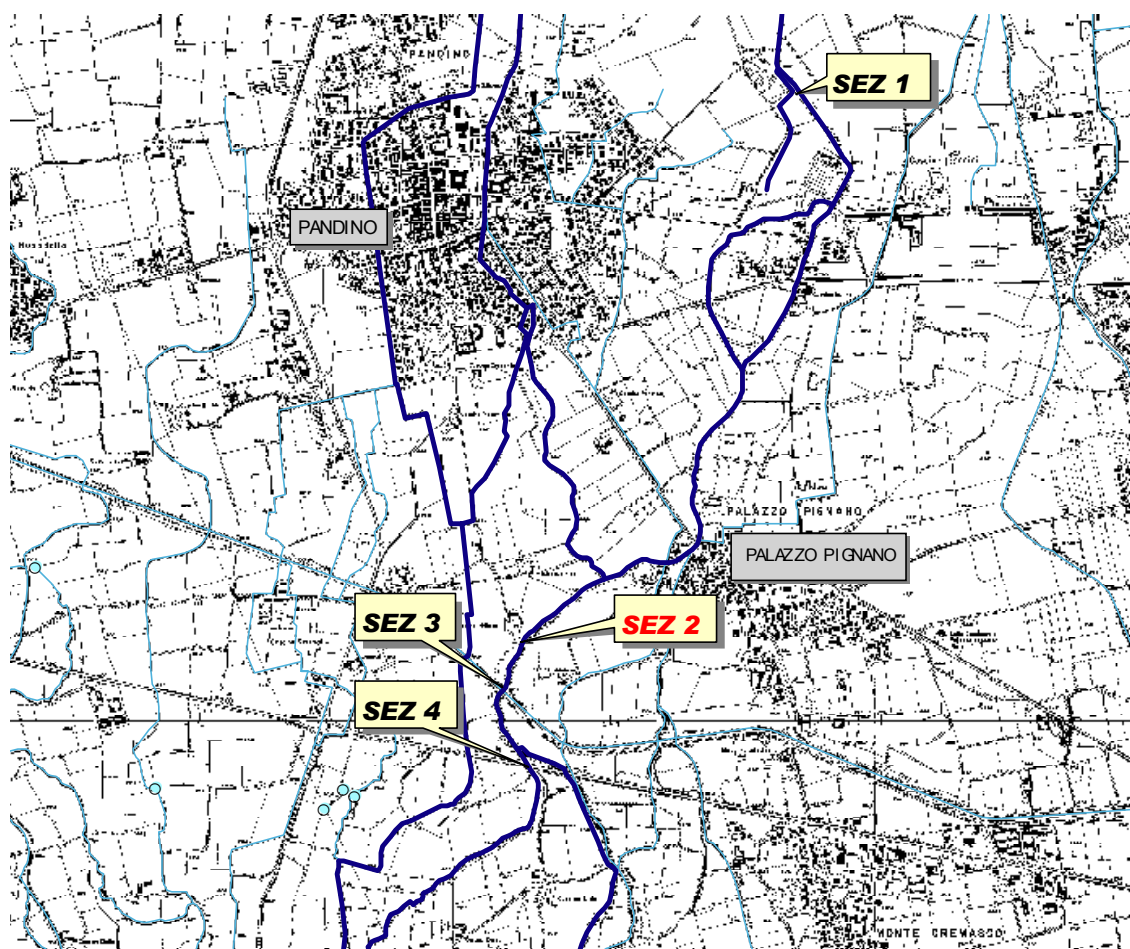


Fig.70 – Posizione delle sezioni salienti sul Tormo. In rosso la sezione dove si effettueranno prove di portata

Per quanto riguarda il Tormo sono state individuate 4 sezioni (fig.70) posizionate lungo l’asta principale in grado di fornire una indicazione sul deficit sia in termini di memoria dei soggetti intervistati sia di “segni” sul campo come tracce sulle sponde o depositi sulle rive.

La sezione 1 si trova in prossimità della Cascina Rinetta vicino al centro di Pandino: forse è questo il punto dove è più facile identificare i segnali del deficit idrico che ha interessato la zona. Come si può notare in fig.71 il livello medio estivo è molto più elevato di quello indicato per la stagione 2005: tale differenza è stata valutata intorno ai 50cm di altezza d’acqua su un livello totale di poco più di 1 metro.



Fig.71 – Sezione 1 sul Tormo: è evidenziata la differenza di livello tra il 2005 e una stagione media.

La seconda sezione si trova più a valle, nei pressi di Palazzo Pignano. Questa rilevazione si mostrerà molto preziosa visto che, oltre ad essere chiari segni degli andamenti dei livelli negli anni, l'alveo presenta un piccolo salto che garantisce condizioni ottimali di sezione di controllo (vedi in seguito per trattazione completa).



Fig.72 – Sezione 2 sul Tormo: è evidenziata la differenza di livello tra il 2005 e una stagione media.

La sezione 3 si trova in corrispondenza dell'attraversamento del Canale Vacchelli: qui la presenza del pontecanale potrebbe generare qualche disturbo, ma l'osservazione è stata considerata comunque significativa grazie alle evidenti tracce lasciate dai livelli di quest'anno ed alle memorie dei livelli passati ben delineate dai soggetti interessati (il punto si trova in un luogo facilmente raggiungibile e quindi molto frequentato grazie anche alla presenza di piste ciclabili e postazioni adatte alla pesca). Su un'altezza massima dell'acqua intorno ai 130 cm, quest'anno si è osservato un livello di almeno 50cm inferiore.



Fig.73 – Sezione 3 sul Tormo: è evidenziata la differenza di livello tra il 2005 e una stagione media.

La sezione 4 è nelle vicinanze della Statale Paullese (SS415) all’altezza del chilometro 25 su una deviazione verso la Cascina Livia. Anche qui sono evidenti i segni dei livelli con una lama massima di 70cm ed un deficit quest’anno di circa 20cm.



Fig. 74– Sezione 4 sul Tormo: è evidenziata la differenza di livello tra il 2005 e una stagione media.

Per quanto riguarda il Merlò la sezione considerata è stata unica visto che per caratteri di regolarità e indicazioni circa i livelli è stato sufficiente analizzare una singola postazione.

Questa si trova all'attraversamento del Canale Vacchelli (fig.75) e consiste in un pontecanale a sezione regolare rettangolare (per una trattazione più completa vedi seguenti).

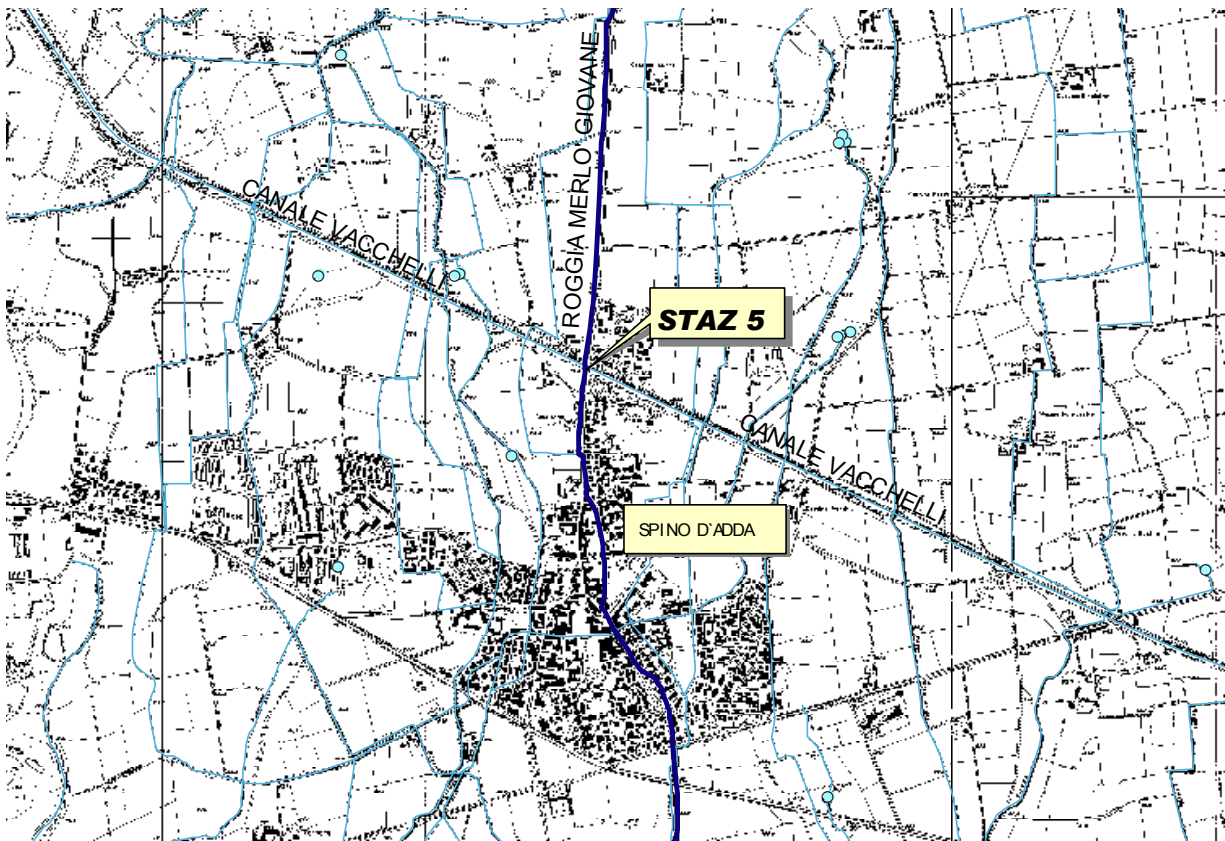


Fig.75 – Posizione della stazione di misura sul Merlò Giovane.

9.3 Valutazione quantitativa del deficit

Si è quindi cercata una prima valutazione quantitativa del deficit idrico che ha interessato il comprensorio indiretto. Sono state considerate la sezione 2 sul Tormo, caratterizzata dalla presenza di una soglia e di alveo rettilineo regolare, e quella sul Merlò.

9.3.1 Prova portata sezione 2 sul Tormo

La sezione in esame si trova in corrispondenza di un partitore che fraziona il deflusso in due rami: quello principale presenta un salto di circa 30cm e, proprio in corrispondenza del punto di misura, sponde verticali regolari in materiale cementizio.



Fig. 76– Sezione 2 sul Tormo nei pressi del partitore.

La geometria dell'alveo è mostrata in fig.77 ed i livelli di altezza idrometrica sono stati valutati in corrispondenza del partitore.

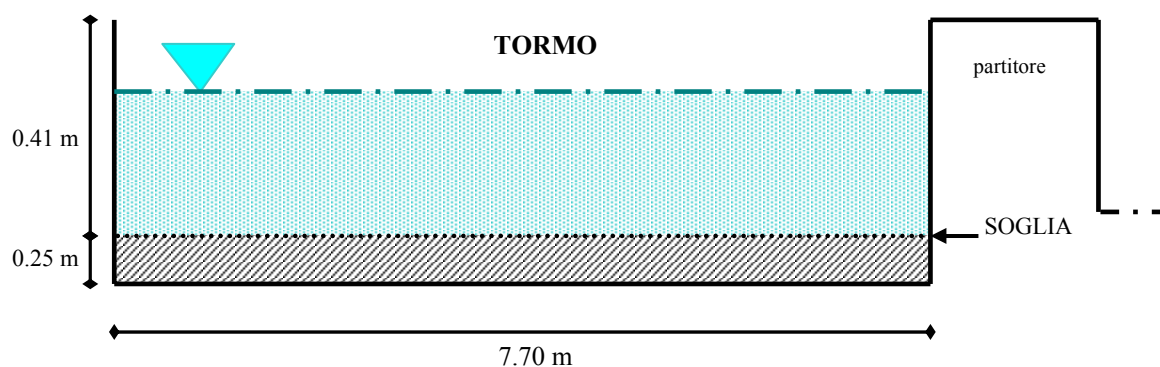


Fig. 77– Schema della geometria della Sezione 2 sul Tormo.

Per una valutazione delle portate transitive è stato necessario stimare una curva di deflusso: non essendo possibile effettuare misure con mulinello per ragioni logistiche e di risorse disponibili, si è cercato di ovviare il problema partendo da considerazioni di tipo teorico-pratiche.

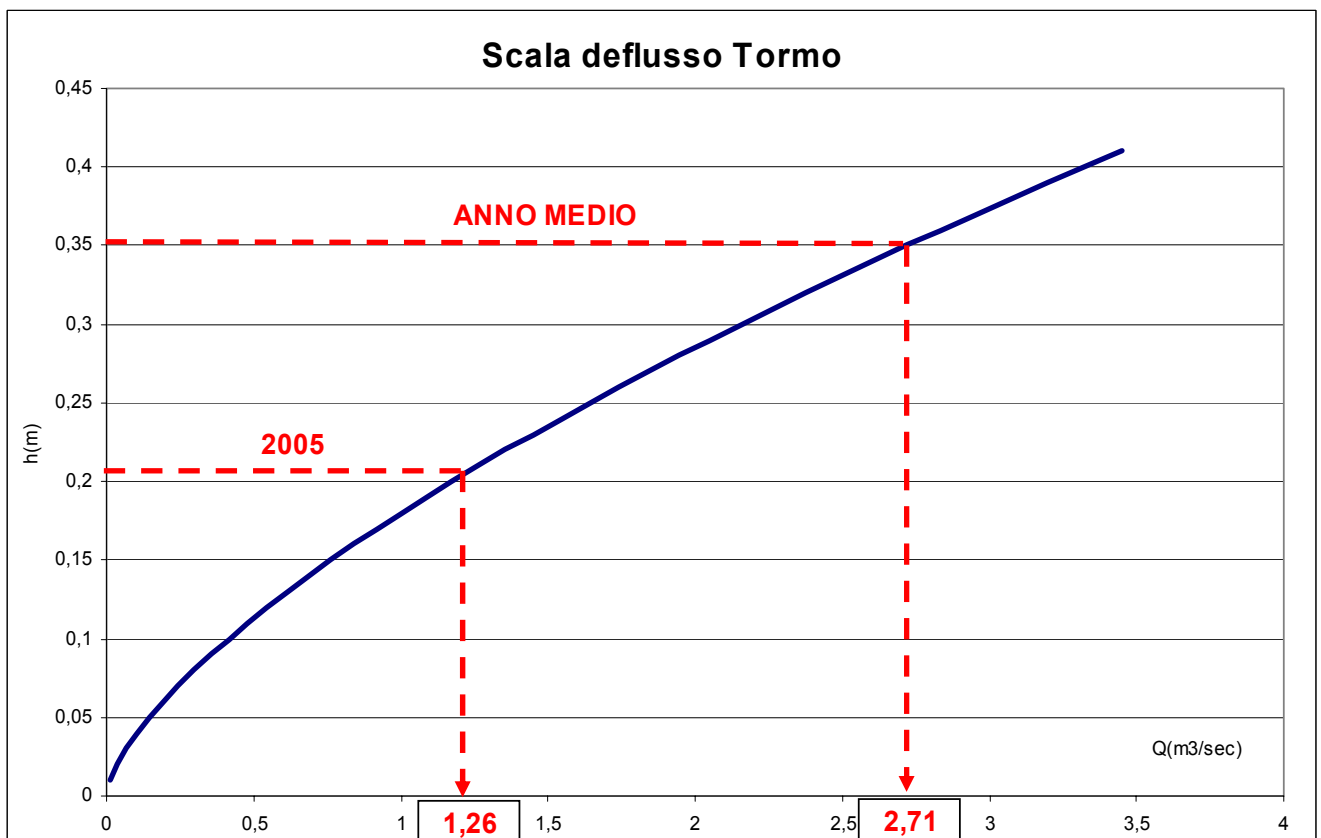
La geometria stessa della sezione, con la presenza di una soglia, costituisce condizione ottimale per considerare la portata transitante in alveo paragonabile a quella uscente da uno stramazzo a larga soglia di dimensioni analoghe. Tale approssimazione, pur garantendo risultati affidabili, consente la stima dei deflussi partendo solo da considerazioni geometriche e misurazioni di altezze idrometriche.

Adottando la formula:

$$Q = 0.385 \cdot (L \cdot h) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (\text{Eq2})$$

Dove Q è la portata, 0,385 è il coefficiente di efflusso, L è la larghezza dell'alveo ed h è il carico, si nota come la sola quota del pelo libero (che funge da carico idraulico) costituisca la variabile indipendente.

La scala così trovata (vedi tav.37) porta ad una stima delle portate storiche relative ai livelli misurati dell'annata media e dell'anno appena passato.



Tav. 37– Scala di deflusso stimata per il Tormo nella sezione 2. Sono evidenziati i valori relativi al massimo estivo del 2005 e di una annata media

Dalle misurazioni di altezza idrometrica a regime per l'annata media (35cm) e di quest'estate (21cm) le relative portate ($1.26\text{m}^3/\text{sec}$ e $2.71\text{m}^3/\text{sec}$ rispettivamente) portano ad un deficit stimato del **54%**.

9.3.2 Prova portata sezione 5 sul Merlò Giovane

L'alveo del Merlò, invece, mostra una geometria differente a causa dell'assenza di una soglia, ma si presta comunque ad una semplificazione del problema attraverso considerazioni di tipo teorico-pratiche grazie alla sua regolarità.

La sezione 5 presenta la geometria proposta in fig.78 : l'alveo è in materiale cementizio, di forma rettangolare regolare e costituisce il pontecanale di passaggio del Merlò sopra il Canale Vacchelli.

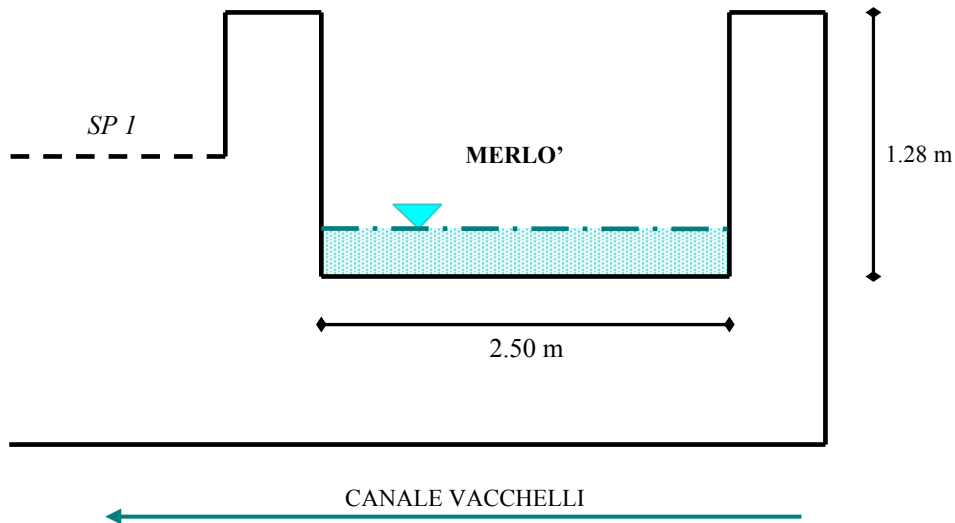


Fig.78 – Schema della geometria della Sezione 5 sul Merlò.

Le misure di altezza idrometrica sono state prese in corrispondenza della sponda di destra idrografica.

Non essendo possibile ancora una volta per ragioni logistiche e di risorse disponibili effettuare prove con mulinello, e considerando la sottilissima lama d'acqua che non avrebbe consentito l'utilizzo della strumentazione, si è deciso di effettuare prove di portata con galleggiante.

Queste consistono nel valutare la velocità superficiale del fluido facendo transitare, trasportato dalla corrente, un corpo galleggiante e misurando i tempi di passaggio da due sezioni posizionate ad una distanza prestabilita (almeno 10m). Nel caso in esame la lunghezza del manufatto ha consentito di utilizzare un percorso maggiore, e quindi più probante, di 20 metri.

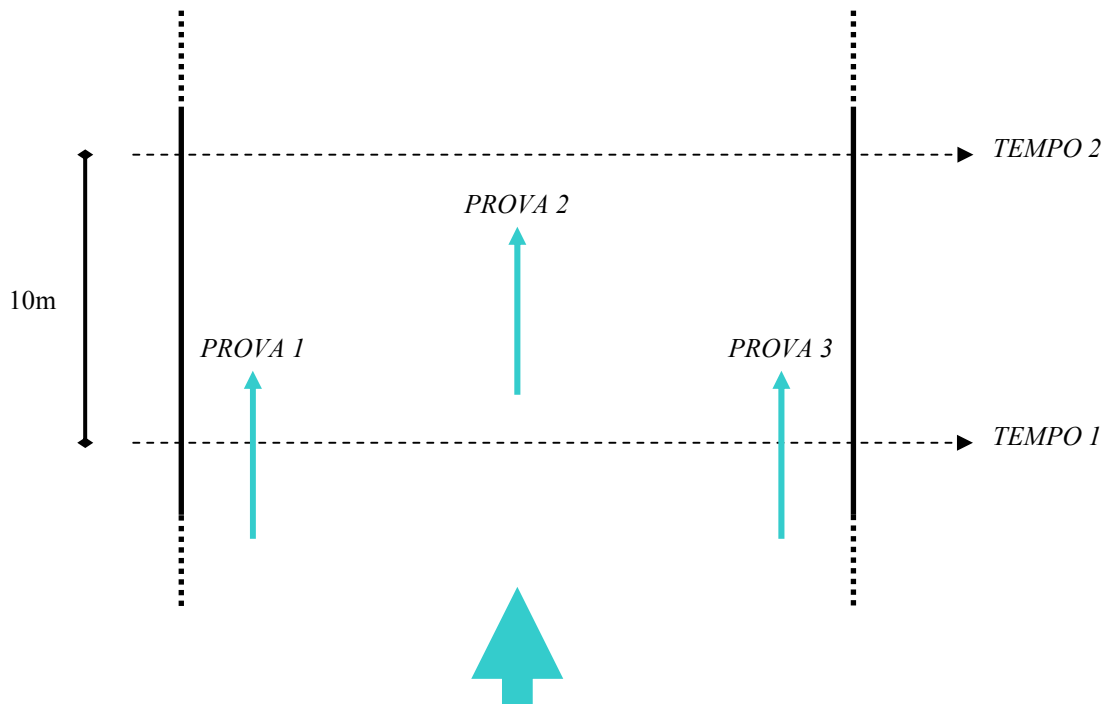
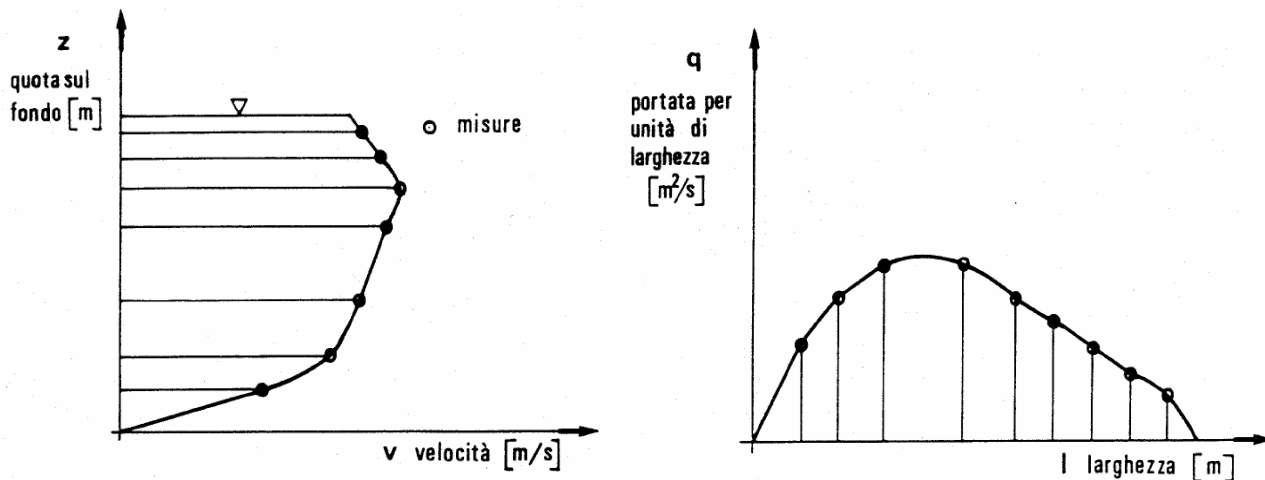


Fig. 79- Schema esemplificativo di prova di portata con galleggiante

E' necessario effettuare la prova considerando almeno tre posizioni all'interno della larghezza totale per valutare la velocità in prossimità delle due sponde e al centro: come si può notare in tav.38 la distribuzione delle velocità transitive varia all'interno della sezione con un gradiente sia verticale sia orizzontale, con valori minimi in prossimità del fondo e delle sponde, massimi in posizione mediana.



Tav. 38– Andamenti qualitativi di velocità (a sinistra) e portata (a destra) in funzione dello spostamento su una verticale o su un asse trasversale alla sezione

Essendo dominante nell'alveo in sezione la componente orizzontale (250 cm di larghezza contro ~20 cm di lama d'acqua) le variazioni sulle verticali possono ritenersi trascurabili e la velocità media corrispondente a quella in superficie. Per quanto riguarda invece la variazione in direzione trasversale questa è stata considerata effettuando appunto tre prove e calcolando la media aritmetica delle misure trovate.



Fig. 80– Sezione 5 sul Merlò. Sono indicati i capisaldi di misura dei tempi di passaggio del galleggiante

Registrati i tempi di passaggio nelle posizioni indicate in fig.80 , si è calcolato che per una altezza dell'acqua al momento della prova di 16 cm la velocità media corrispondente è di 0.56m/sec. Partendo da questo dato si è cercato di stimare la curva di deflusso ipotizzando un legame del tipo di quello proposto da Chezy:

$$Q = K_s \cdot \sqrt{i} \cdot R^{2/3} \cdot A \quad (\text{Eq1})$$

Nota la geometria dell'alveo (e quindi il raggio idraulico R e la sezione bagnata A) e la velocità (e quindi Q) è possibile stimare il parametro K_s e la pendenza i . Verificata, in quel punto, una pendenza pari all' 1 ‰ si trova un coefficiente di Strickler pari a 60, compatibile con quanto trovato in letteratura per "per canali artificiali lisci ed uniformi".

Dalle misurazioni di altezza idrometrica a regime per l'annata media (34cm) e di quest'estate (22cm) è possibile stimare le due portate transitanti nei due istanti (0.73m³/sec e 0.37m³/sec rispettivamente) e il relativo deficit del **49%**.

9.4 Confronto tra comprensorio diretto ed indiretto

Partendo dai dati già descritti nei paragrafi precedenti inerenti gli andamenti dei deflussi nelle derivazioni dell'Adda nell'ultima stagione irrigua e in quella media, è possibile valutare il deficit registrato nel comprensorio diretto e confrontarlo con quello appena stimato per l'indiretto.

Si è deciso di ragionare in termini di volumi defluiti per ottenere un risultato quanto più possibile esplicativo. Partendo dai dati di portata e noto che :

$$Volume = \int_{t_0}^{t_1} Q dt \quad (\text{Eq.3})$$

è possibile, trasformando l'integrale in sommatoria sui dati relativi alle portate medie giornaliere, stimare i volumi transitati nella stagione e da qui i deficit.

| | Vailata (m³) | Rivoltana (m³) | Retorto (m³) | TOTALE (m³) |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Anno medio | 39.536.640 | 31.726.080 | 79.963.200 | 151.225.920 |
| 2005 | 28.244.160 | 20.658.240 | 70.070.400 | 118.972.800 |
| Deficit (m ³) | -11.292.480 | -11.067.840 | -9.892.800 | -32.253.120 |
| Deficit (%) | -29% | -35% | -12% | -21% |

Tab.12 – Valori di volumi d'acqua defluiti nelle principali derivazioni dell'Adda durante la stagione irrigua (8/6-15/8) nel 2005 ed in un anno medio.

I risultati (tab.12) mostrano come nel comprensorio diretto mediamente si siano avuti dei deflussi inferiori del 20% rispetto alla norma, quantificazione che pare attendibile anche alla luce delle emissioni dal lago di Como che non hanno mai superato l'80%.

Già dalla prima analisi dei danni e dell'estensione dei territori interessati dalla siccità nel comprensorio indiretto sarebbe stato possibile affermare che il deficit qui è sicuramente stato superiore, conferma di questo fatto è fornita anche dalle stime quantitative del deficit sul Tormo e sul Merlò attestatesi al 54% e al 49%.

Tali stime, se pur effettuate con tecniche e mezzi sicuramente migliorabili con un maggiore sforzo economico e una maggiore disponibilità di tempo, sono un primo allarmante indice del fenomeno di amplificazione dei tagli all'irrigazione che le attuali politiche di gestione delle acque spesso non considerano. Una diminuzione di pochi punti percentuali fa sentire i suoi effetti più che raddoppiati proprio in quelle aree meno tutelate e con una minore attenzione alla pianificazione dell'acqua come bene territoriale e risorsa.

10. Conclusioni e applicazione al caso pratico: proposta di indici ed indicatori sintetici

I risultati ottenuti hanno una grande rilevanza dal punto di vista teorico in quanto hanno dimostrato l'esistenza di una correlazione tra i flussi transitanti in due sistemi idrologici che fino ad oggi erano sempre stati considerati distinti, dimostrando dinamiche di flusso sotterranee complesse e poco, se non per nulla, studiate.

Tali considerazioni portano inevitabilmente a conclusioni forse ancora più importanti da un punto di vista pratico ed applicativo: nella definizione delle concessioni, del rispetto del deflusso minimo vitale e più in generale della gestione della rete irrigua, nasce l'idea di un sistema integrato che tenga conto di una realtà ben più ampia e complessa di quella ristretta dell'ambito amministrativo dei singoli comprensori irrigui. La successione a cascata degli eventi generati da ogni singola mutazione del naturale/regolare deflusso delle acque deve far riflettere sulle reali implicazioni che una politica di gestione sconsiderata o comunque non ragionata può originare. Il fatto poi che tali conseguenze subiscano un fenomeno di amplificazione degli effetti con un fattore moltiplicativo stimato intorno a 2, sottolinea la necessità di un'opera di riorganizzazione dell'attuale sistema di irrigazione in un'ottica sistemica che tenga presente di tutti i bisogni degli utenti sul territorio (dove per "utenti" si intendono i veri e propri fruitori dell'acqua territoriale: agricoltura, industria, ma anche ambiente nella sua più ampia accezione).

Il lavoro fin qui esposto deve quindi essere da guida verso un processo di conoscenza del territorio che attraverso la valutazione delle variabili di stato proprie della realtà specifica possa indurre a delle risposte altrettanto specifiche e ragionate.

Da qui nasce quindi l'idea di proporre uno schema logico di valutazione dei principali indicatori significativi e un primo framework operativo (vedi tav.39) per la stesura di un piano di riordino irriguo in una realtà complessa come quella del cremasco.

Il primo passo, come già accennato, è sicuramente la conoscenza approfondita del territorio e delle dinamiche idrologiche che lo governano per una valutazione il più possibile oggettiva e robusta dei limiti e delle dipendenze del comprensorio indiretto. Partendo dalle valutazioni e dall'esperienza di questo lavoro di tesi appare fondamentale una ricerca dei principali indicatori di qualità che diano informazioni utili al riconoscimento delle sezioni di monitoraggio più adatte per una campagna di misure in continuo dei livelli idrometrici. Come visto i parametri in gioco sono sicuramente l'assenza di captazioni a monte, la minor presenza possibile di coli, l'assenza di fenomeni di disturbo da monte e da valle, la presenza di solidi ed affidabili caposalda di riferimento, l'accessibilità dei siti e la presenza di sezioni di controllo. Una volta definiti il peso e quindi l'importanza di ogni singolo fattore, sarà possibile definire i punti ottimali, ovvero le sezioni notevoli, in cui posizionare organi di misura dei livelli, preferibilmente in automatico. Si va così a costituire nel tempo un database affidabile, tuttora inesistente, in grado di fornire non solo la base per le valutazioni nell'immediato, ma anche, in futuro, un controllo della funzionalità e della riuscita del piano stesso.

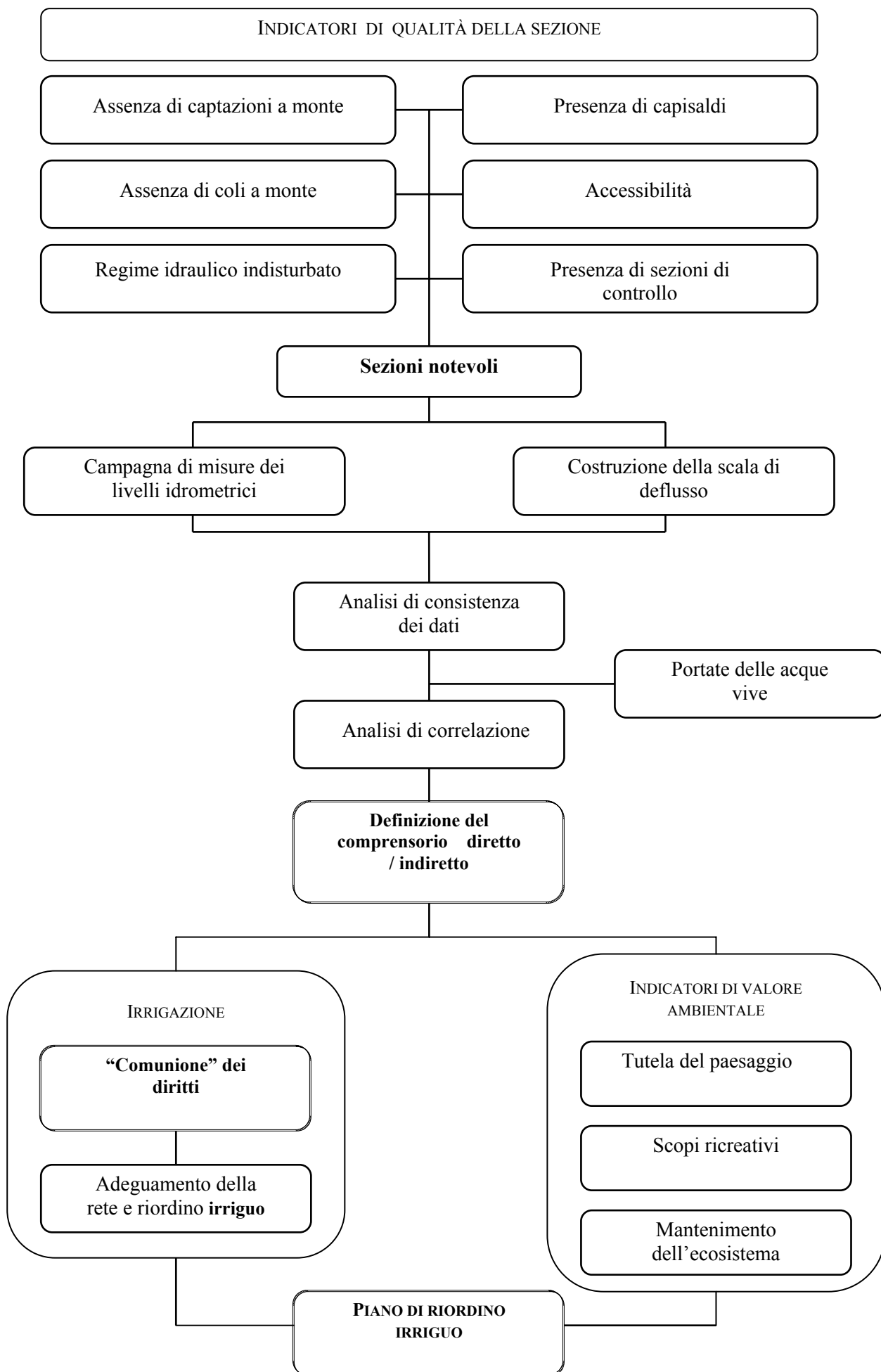
Parallelamente a questa fase è necessaria ovviamente una campagna di misure atta alla definizione delle scale di deflusso di ogni sezione per una stima il più possibile affidabile delle portate circolanti. Utilizzando poi i dati dei deflussi nel comprensorio diretto dalle derivazioni dell'Adda sarà possibile, previa una opportuna analisi di consistenza dei dati per l'eliminazione di eventuali outlier, il confronto tra le portate.

Da questo paragone effettuato in primis con una analisi di correlazione e successivamente con una regionalizzazione dell'area, sarà possibile definire con buona approssimazione i limiti del comprensorio indiretto e il livello di dipendenza da quello diretto.

La distinzione di tali limiti costituisce forse la parte più laboriosa e più passibile di critiche, visti anche gli interessi in gioco spesso contrastanti: per questo si rende necessaria alle spalle un'analisi il più possibile robusta e oggettiva.

Definiti gli ambiti territoriali è possibile iniziare la vera e propria valutazione della miglior politica di gestione che dovrà inevitabilmente partire da considerazioni "settoriali", ma che alla fine dovrà esaminare tutti gli aspetti nel loro insieme.

Viene qui proposta l'analisi di due campi sembrati i più significativi: quello agricolo e quello ambientale anche se il discorso può esser ampliato ad altri settori a seconda della realtà locale del territorio.



Per quanto riguarda l'irrigazione, soprattutto per l'area campione, numerose considerazioni sono state già sviluppate all'interno della tesi: sembra però opportuno proporre una ulteriore modifica all'attuale sistema di gestione delle acque. Appare infatti basilare la istituzione di un organo in grado di unire, da un punto di vista amministrativo, i comprensori, diretti ed indiretti, dimostrati afferenti alla stessa utenza idrica (derivazione dell'Adda nella fattispecie).

Questo passo è di fondamentale importanza allo scopo di garantire una "comunione dei diritti", ad oggi assente, sotto il principio di equanimità nella distribuzione della risorsa. Questo non solo fornirebbe l'opportunità di un uso più "sostenibile" dell'acqua territoriale, ma sarebbe garanzia di tutela di tutte quelle utenze del comprensorio indiretto oggi poco assistite e scarsamente considerate.

Un ulteriore e forse ancora più importante passo sarebbe la pianificazione vera e propria del sistema irriguo, con tutte le opportune opere di miglioramento, a partire proprio da quelle zone che più frequentemente vanno in crisi in caso di stagioni siccitose come quella passata. Si è infatti dimostrato come i danni provocati dalle attuali politiche di gestione delle acque vive, cieche nei confronti del comprensorio indiretto, siano ingenti e vadano a minare le basi di una delle principali fonti di ricchezza di un territorio come quello cremasco. Una pianificazione che consideri il comprensorio nel suo insieme e che parta a garantire irrigazione dal fondo, dal "collo di bottiglia", potrebbe sicuramente essere una soluzione valida ad un problema sempre più frequente.

E' vero che un approccio di questo tipo richiede fondi e tempo non sempre disponibili, ma pare utile sottolineare l'opportunità, proprio nell'area esaminata, fornita dalla nascita recente del Consorzio di Miglioramento Fondiario Adda-Serio. Tale istituzione fondata essenzialmente allo scopo di riorganizzare l'assetto irriguo di un'area molto vasta offre una ghiotta e irripetibile opportunità di applicazione di questo modello.

Parallelamente alle valutazioni effettuate per quanto riguarda l'agricoltura, la pianificazione dovrebbe tenere conto anche dell'aspetto ambientale specialmente in un territorio come quello cremasco, uno dei pochi ancora interessato da peculiarità naturali e ricchezze paesaggistiche di valore indiscusso.

L'approccio da seguire dovrebbe tenere conto di tutti gli aspetti legati alla tutela del paesaggio e dell'ambiente nell'ottica di garantire in ogni area quel Deflusso Minimo Vitale, o meglio "Funzionale" (vedi capitolo 6), che assicuri la sopravvivenza delle biocenosi acquatiche, la salvaguardia del corpo idrico e, in generale, gli usi plurimi a cui il fiume è destinato (quindi anche gli scopi ricreativi come la pesca e le aree verdi per lo svago, il paesaggio come ricchezza territoriale e l'ecosistema in ogni sua parte).

Come passo conclusivo del lavoro di tesi si è cercato di esaminare una parte di questi ambiti, ancora una volta per tracciare una possibile via di analisi. Considerando la tipologia di irrigazioni, prevalentemente a scorrimento, presenti nell'area e le numerose implicazioni che queste metodologie hanno sull'habitat naturale, si è valutato quali siano le aree di maggior spessore ambientale e in che misura vadano in crisi in episodi di carenza idrica.

Soprattutto nel comprensorio indiretto, grazie alla presenza di fontanili, di acque da risorgiva e di colli dalle zone più a monte, si incontrano realtà naturalistiche uniche di valore inestimabile, da mettere sicuramente sullo stesso piano delle ricchezze fornite dall'agricoltura.

Si sono quindi identificati, tra quelli disponibili, gli indicatori ambientali che meglio potevano rappresentare la realtà da questo punto di vista (tra parentesi la sigla identificativa della variabile):

1. Presenza di vegetazione naturale (VEG_NAT): comprende ogni tipo di forma vegetativa naturale come cespuglietti e vegetazione arbustiva, ma anche macchie di vegetazione arborea in evoluzione verso forme forestali (da cartografia di Destinazione ed Uso Suoli Agricoli e Forestali DUSAF);
2. Presenza di zone boscate (BOSC): comprende tutti i tipi di boschi e rimboschimenti recenti (da SIT Regione Lombardia);
3. Siepi (SIEPI): filari e siepi continui e discontinui, ma di dimensioni tali da essere considerabili come un unico sistema ambientale e possibile corridoio ecologico (da cartografia di Destinazione ed Uso Suoli Agricoli e Forestali DUSAF);
4. Coltivazioni legnose (LEGN): coltivazioni legnose agrarie, prevalentemente pioppeti razionali, possibile habitat di diverse specie e comunque valida variabile per indicare il livello di biodiversità dell'area (da cartografia di Destinazione ed Uso Suoli Agricoli e Forestali DUSAF);
5. Seminativo semplice con presenza diffusa di filari arborei (S1a): la presenza di filari ad intervallare gli appezzamenti è apprezzabile per l'ecosistema fornendo rifugio zone di passaggio per numerose specie (da cartografia di Destinazione ed Uso Suoli Agricoli e Forestali DUSAF);
6. Seminativo semplice con presenza rada di filari arborei (S1c), (da cartografia di Destinazione ed Uso Suoli Agricoli e Forestali DUSAF);

7. Valore Naturalistico dei suoli (VAL_NAT): questa variabile è stata introdotta per valorizzare anche i pedopaesaggi della zona che costituiscono una vera e propria ricchezza del sistema ambiente e per questo vanno tutelati (da Progetto Carta Pedologica ERSAF).

Si è suddiviso il territorio campione in celle quadrate di 1 ha di ampiezza (100x100m) così da discretizzare la zona e rendere le analisi più significative.

Ragionando ora in termini di piccole subaree è possibile stimare (attraverso software ArcView 3.2®) quali siano caratterizzate dalla presenza di una o più variabili di quelle proposte: considerando una cella ad esempio interessata da bosco quando questo copre almeno il 50% della superficie (valore di default) si sono formate 7 griglie, una per ogni variabile (fig.81 e 82).

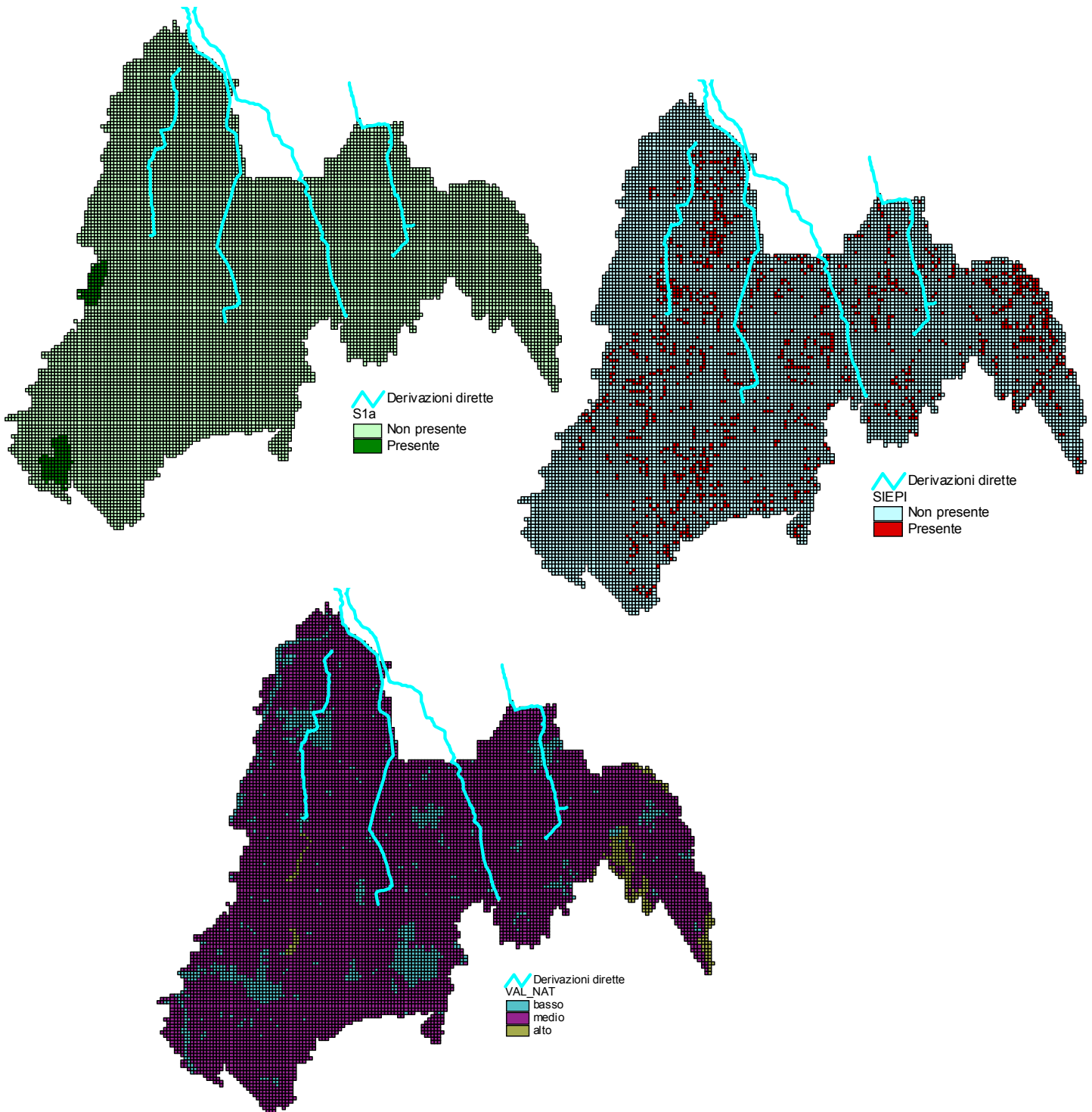


Fig.81 – Discretizzazione del territorio e modalità variabili significative

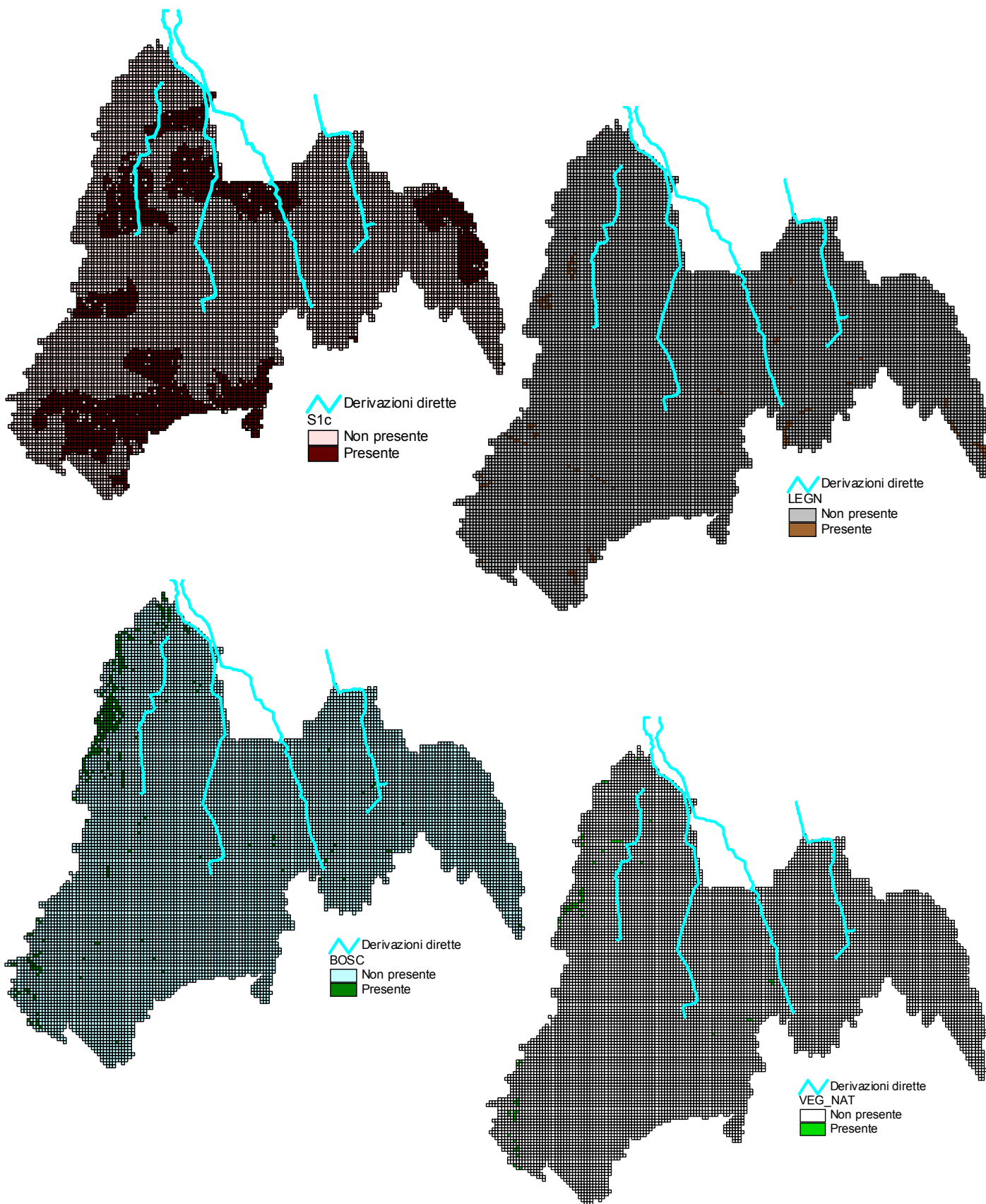


Fig. 82– Discretizzazione del territorio e modalità variabili significative

Attribuendo poi ad ogni variabile un diverso valore ambientale (vedi tab.13) si è creata una prima proposta di indicatore della distribuzione del “valore ambientale” nella zona (vedi fig.83).

| <i>VARIABILE</i> | <i>MODALITA'</i> | <i>VALORE</i> |
|------------------|---------------------|---------------|
| VEG_NAT | <i>Presente</i> | 10 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| BOSC | <i>Presente</i> | 9 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| SIEPI | <i>Presente</i> | 8 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| LEGN | <i>Presente</i> | 6 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| S1a | <i>Presente</i> | 5 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| S1c | <i>Presente</i> | 3 |
| | <i>Non Presente</i> | 0 |
| VAL_NAT | <i>Basso</i> | 1 |
| | <i>Medio</i> | 2 |
| | <i>Alto</i> | 3 |

Tab.13 – Valori attribuiti alle varie modalità per ogni variabile

Si può notare come vi siano aree di notevole rilevanza distribuite non del tutto in modo omogeneo, ma sono riconoscibili comunque zone di concentrazione di tale valore: in particolare quella più meridionale e quella settentrionale nelle vicinanze dell’Adda e quella orientale.

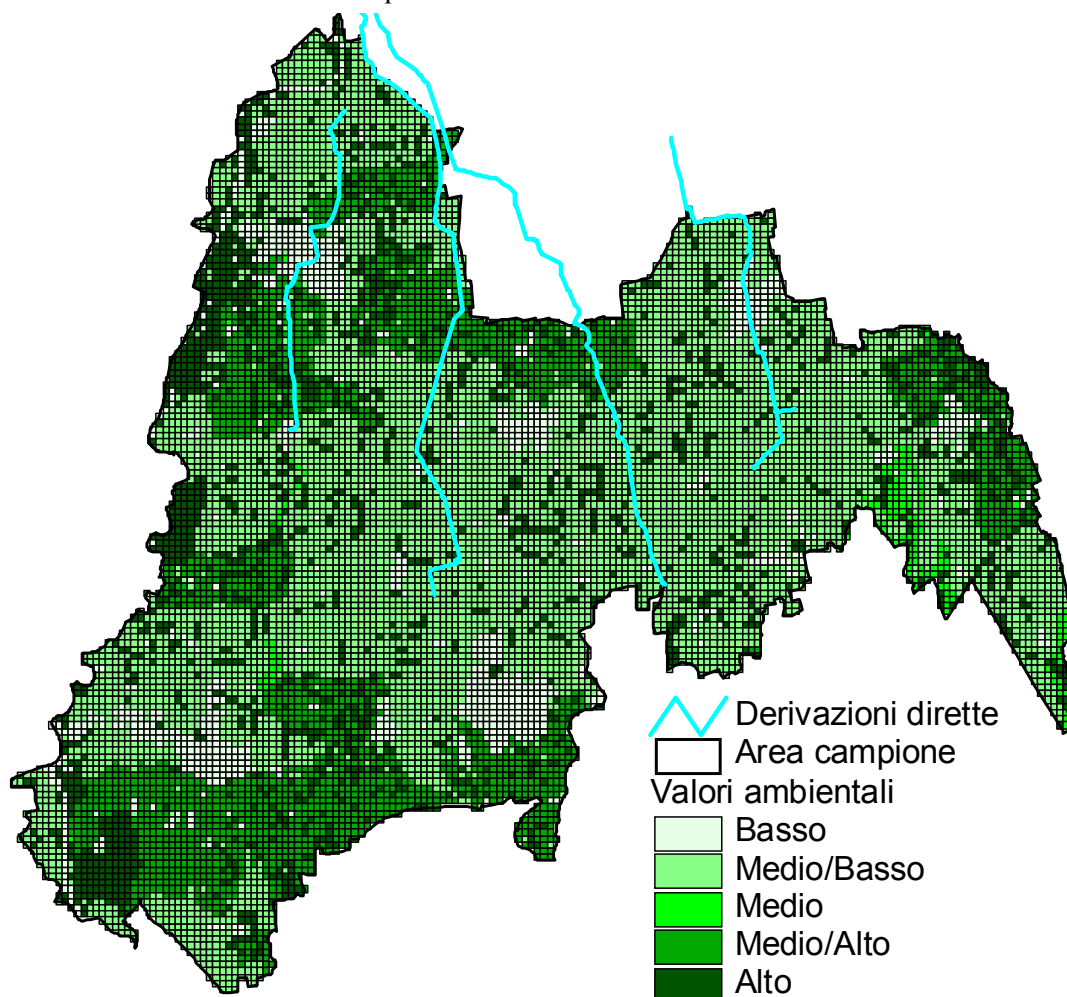


Fig. 83– Discretizzazione del territorio e valore ambientale

A conferma della validità dell'analisi proposta è da notare come tali aree siano in realtà quelle già tutelate sotto numerosi aspetti vista l'esistenza di parchi di interesse locale, ma anche regionale (vedi fig.84): a maggior ragione sembra opportuna una maggiore attenzione della risorsa idrica in queste zone, anche da un punto di vista quantitativo, a partire dalle aree più a monte.

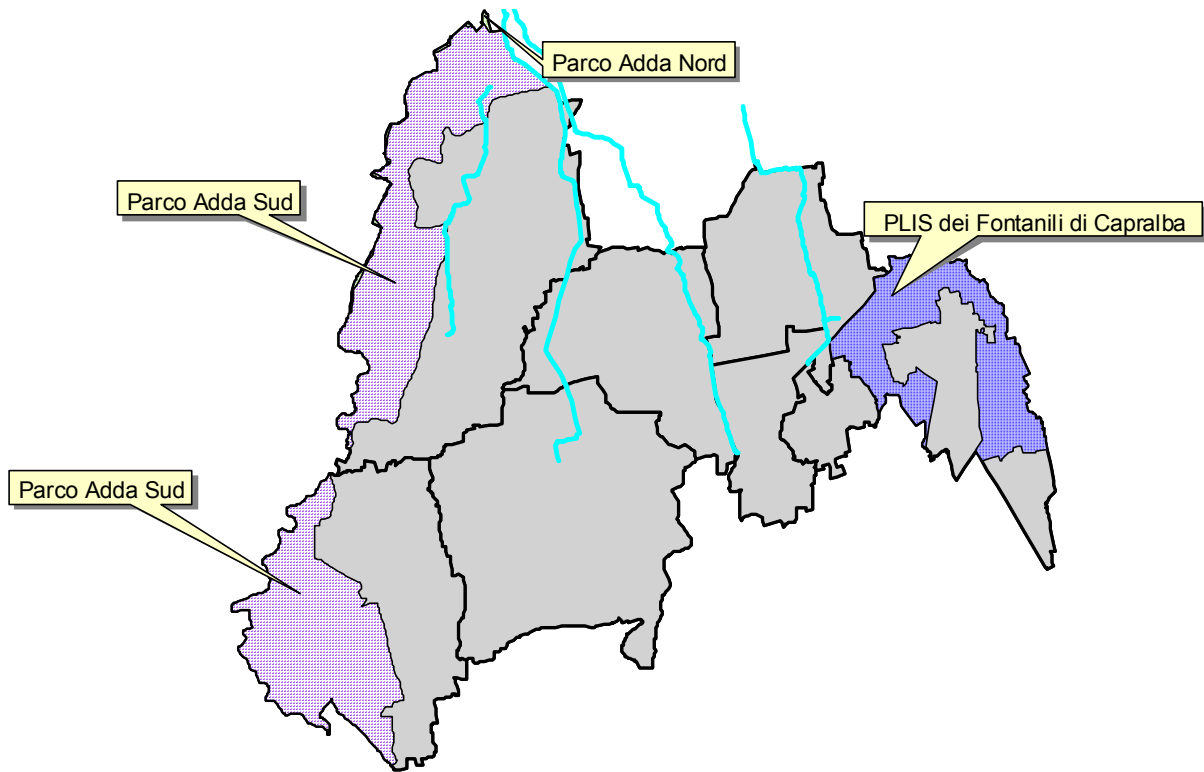


Fig.84 – Zone protette nell'area campione

Costruendo una carta che delinei per ogni cella la distanza minima dalle acque vive più vicine, è possibile ipotizzare quali aree vadano in crisi per prime, e quindi con maggior frequenza, in caso di eventi siccitosi.

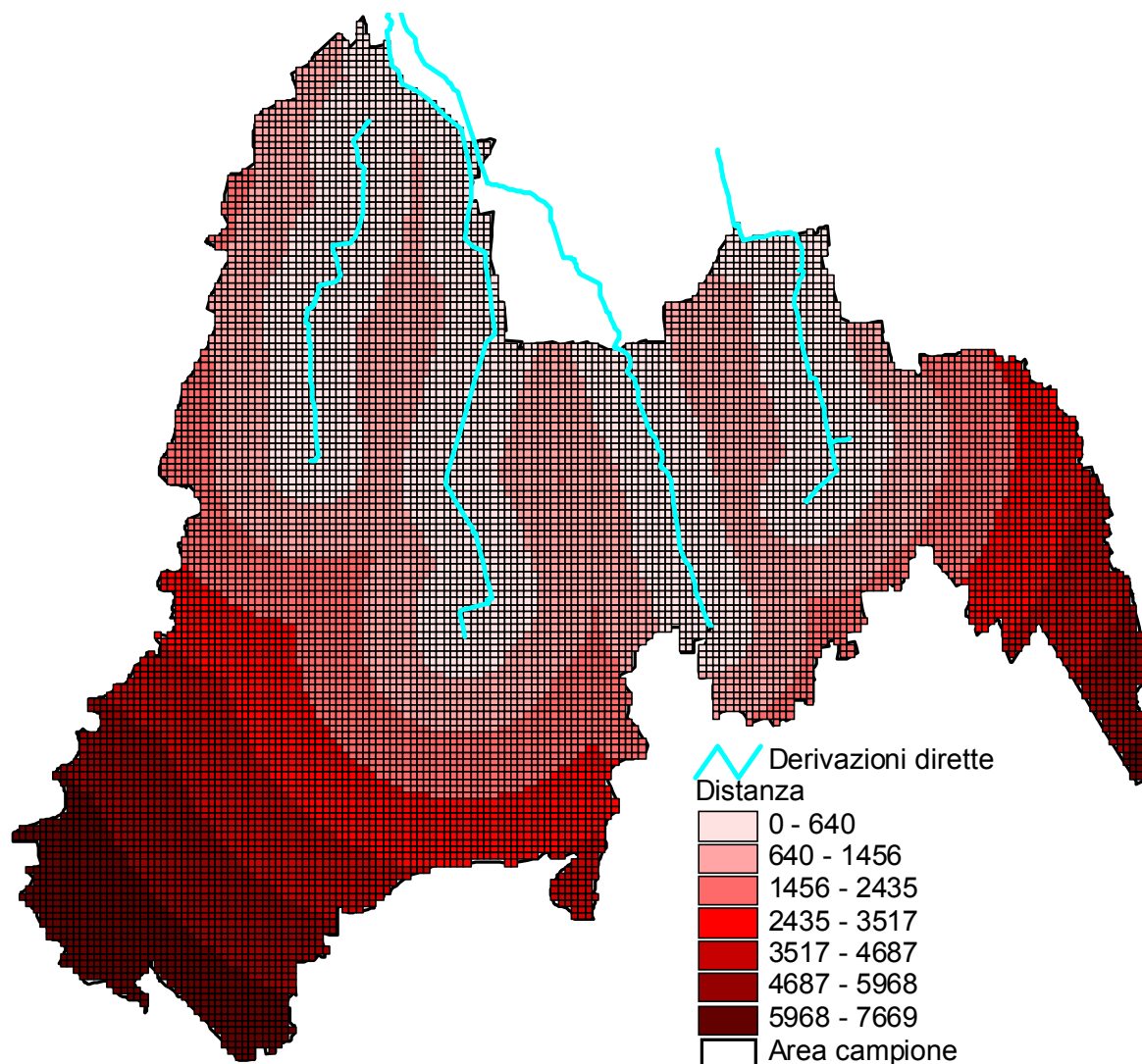


Fig. 85– Discretizzazione del territorio e distanze in metri da derivazioni dell'Adda

Confrontando i dati di distanza e quelli di ricchezza ambientale, ovvero costruendo un indice adimensionale che calcoli il prodotto dei due valori normalizzati (eq.4), è possibile delineare le aree più critiche, quelle dove è più urgente intervenire, il cosiddetto “collo di bottiglia” ovvero la base di partenza per ogni tipo di piano di gestione o miglioramento.

$$\text{Criticità ambientali} = \left[\frac{\text{Valore ambientale}}{\text{Max} [\text{Valore Ambientale}]} \right] \div \left[\frac{\text{Distanza}}{\text{Max} [\text{Distanza}]} \right] \quad (\text{Eq4})$$

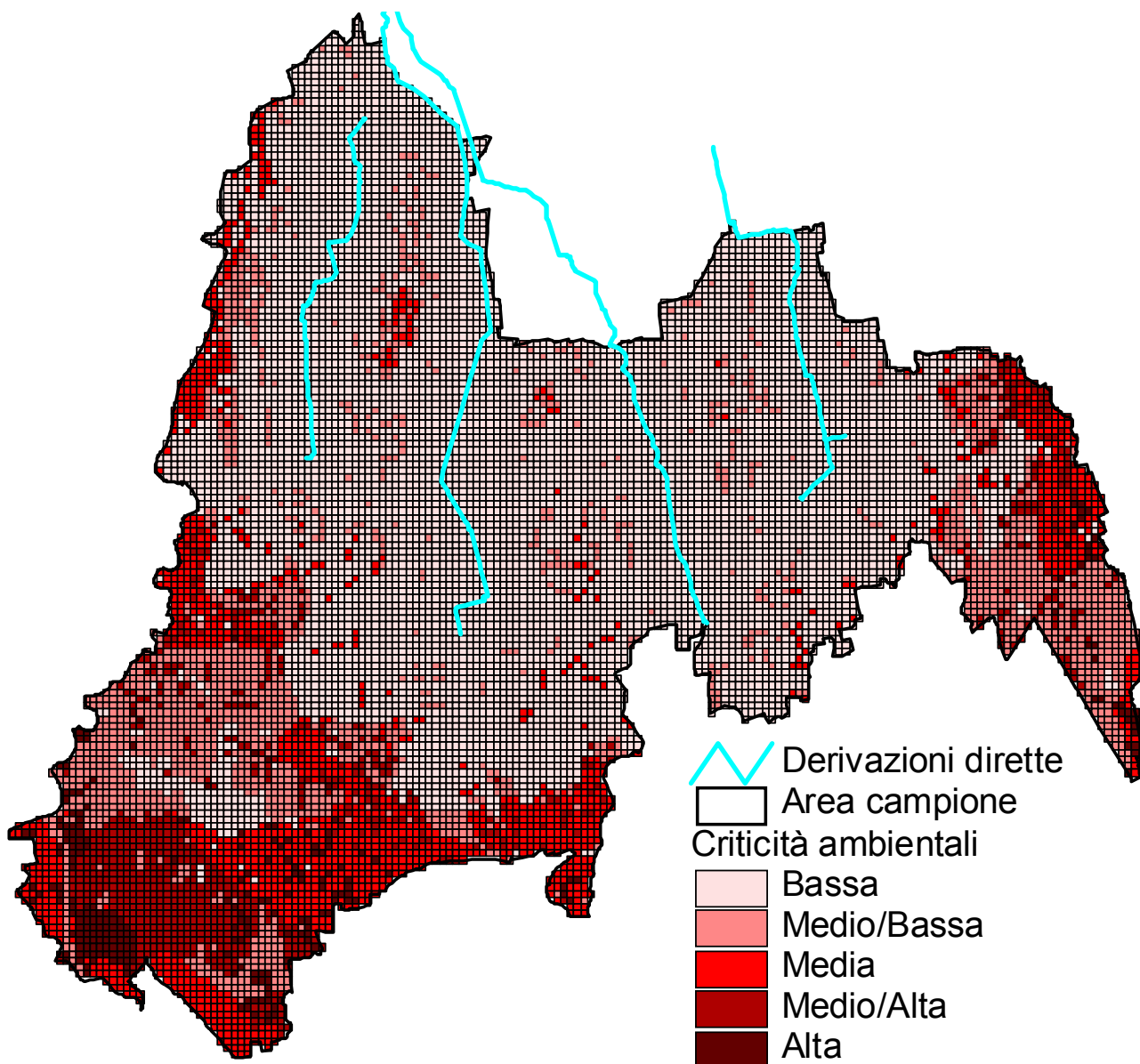


Fig. 86– Discretizzazione del territorio e criticità ambientali

Ultima osservazione a supporto dell'approccio utilizzato, è la quasi perfetta coincidenza delle aree più critiche con quelle osservate (il 7 Luglio 2005) e realmente andate in crisi idrica per prime (vedi paragrafo 9.1 e figura a lato). Questo sottolinea anche come il problema ambientale ed il riordino irriguo non possano essere affrontati in modo indipendente nell'ambito di qualsivoglia pianificazione che pertanto necessita di adeguate banche dati di rilevamento sistematico idrologico prima di 'mettere mano' al territorio.

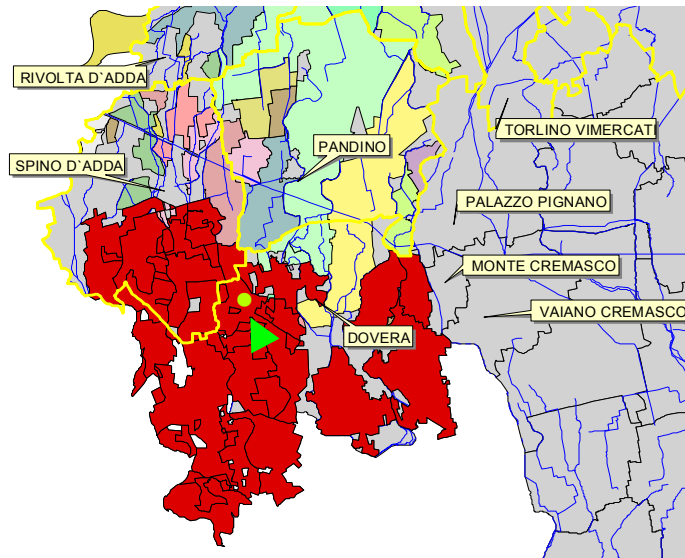


Fig. 87– Zone colpite da siccità al 7/7/05

Parte IV

Riferimenti bibliografici

Autorità di Bacino: BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO, 2001, *Criteri per la definizione del Deflusso Minimo Vitale nel bacino del Fiume Serchio (Legge 183/1989, D.L.vo 275/1993, Legge 36/1994, D.L.vo.152/1999, http://www.serchio-autoritadibacino.it/pianif/index_t.html;*

Bassi-Zoni, *Stima delle perdite idriche della rete irrigua del Consorzio per l'Incremento dell'Irrigazione nel territorio Cremonese, Tesi di Laurea;*

Boccasile G., Loffi S., Perani E., Valdameri S., Gandolfi C., 2005, *Consorzio di Miglioramento Fondiario di 2° grado Adda – Serio “Progetto di fattibilità del Piano di Riordino Irriguo”;*

Citrini D., Nosedà G., 1987, *Idraulica, Casa Editrice Ambrosiana;*

Compiani F., 2003/2004, *“La millenaria rete irrigua del comprensorio cremasco: evoluzione storica e prospettive future”, Tesi di Master in Ingegneria del suolo e delle acque, governo del territorio e delle risorse fisiche, Politecnico di Milano;*

Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia, 2000, *Progetto Carta Pedologica –“I suoli della pianura cremasca”;*

Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia, 2000, *Progetto Carta Pedologica -“I suoli della pianura cremonese centro-orientale”;*

Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia, 2000, *Progetto Carta Pedologica -“I suoli della pianura cremonese centrale”;*

Galizzi G., 1981, *“Pianificazione territoriale e agricola”, Rivista di Economia Agraria n.3;*

Gandolfi C., 2003, *RICERCA SUI CONSUMI IRRIGUI E LE TECNICHE DI IRRIGAZIONE IN LOMBARDIA;*
Il “Piano di gestione del bacino idrografico”, La Sentinella Agricola’ n. 4/2004 , periodico edito dalla Provincia di Cremona;

Horeschi D., 2004, *Sulla Stima delle curve di possibilità pluviometriche nella Provincia di Cremona: elaborazione ed analisi di nuove ed esistenti serie storiche, Tesi di Master;*

Loffi S., 2003, *“ Il sistema irriguo – nascita ed evoluzione ”, 30 maggio 2003 convegno organizzato dall’istituto Tecnico Agrario “Stanga” di Crema;*

Loffi S., 2004/2005, *“Organizzazione e pianificazione delle risorse fisiche”, dispensa del corso di Organizzazione e pianificazione delle risorse fisiche, Master in Ingegneria del suolo e delle acque, governo del territorio e delle risorse fisiche, Politecnico di Milano;*

Moisello U., 1999, *Idrologia Tecnica, La Goliardica Pavese;*

Pasinetti A., 2003, *Il canale irriguo Adda – Cherio, Bolis;*

Pezzerà G. et al., 2001, *Monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo (Rete provinciale pozzi anni 1999 – 2000 – 2001), da http://www.provincia.bergamo.it/provpordocs/Ac_07.pdf;*

Sulis A., 2001/2002 *“Progetto di gestione della rete di canali del Consorzio Irrigazioni Cremonesi per l’attivazione di salti d’acqua disponibili ai fini idroelettrici”*, Tesi di Master in Ingegneria del suolo e delle acque, governo del territorio e delle risorse fisiche, Politecnico di Milano;

Toso E., 2004, *MINIMO DEFLUSSO VITALE DEI CORSI D’ACQUA*, ARPA Trento, http://www.sinanet.apat.it/site/_contentfiles/00037000/37081_AIM_T_LGU_03_12_R02dmv.pdf;

TwoLe Un sistema per la Pianificazione e la Gestione delle Risorse Idriche Applicazione pilota ai bacini del Ticino e dell’Adda;

Varola L., 2004, *Analisi critica degli attuali presidi di monitoraggio idrologico della provincia di Cremona e dei sovrastanti bacini idrografici*, Tesi di Master.

* * *