

***POLITECNICO DI MILANO***  
**Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale**  
**Sede di Cremona**



*Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio*  
*DIAR*

**Progetto di misuratori di portata  
per il bilancio idrico permanente della rete del  
Consorzio Irrigazioni Cremonesi**

Relatore: Prof. Ing. Nicola MONTALDO

Correlatori: Ing. Stefano LOFFI

***Elaborato di Laurea di:***

*Nabil AL SAWADI Matr. 647608*

*Simone ARDEMANI Matr. 644160*

Anno Accademico 2002-2003

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>	
<b>Capitolo 1</b>	<b>Inquadramento dell'area di studio</b> .....	<b>4</b>
1.1	Contesto idrografico .....	4
1.2	Contesto idrogeologico e geomorfologico .....	5
<b>Capitolo 2</b>	<b>La rete del Consorzio Irrigazioni Cremonesi</b> .....	<b>7</b>
2.1	Cenni storici .....	7
2.2	Funzionamento della rete .....	9
<b>Capitolo 3</b>	<b>I misuratori di portata</b> .....	<b>16</b>
3.1	I misuratori a risalto .....	16
3.2	Il misuratore a stramazzo .....	25
3.3	La misura della portata tramite dispositivi ad ultrasuoni .....	30
3.3.1	<i>Premessa</i> .....	30
3.3.2	<i>Teoria generale del metodo acustico</i> .....	31
3.3.3	<i>Calcolo della portata</i> .....	35
<b>Capitolo 4</b>	<b>Stato attuale e bilancio idrico della rete del C.I.C.</b> ..	<b>39</b>
4.1	La dislocazione attuale dei misuratori permanenti .....	41
4.2	Bilancio idrico della rete .....	45
4.2.1	<i>Analisi dei flussi nella prima zona</i> .....	47
4.2.2	<i>Analisi dei flussi nella seconda zona</i> .....	48
4.2.3	<i>Analisi dei flussi nella terza zona</i> .....	50
4.2.4	<i>Un commento alla situazione attuale</i> .....	52
<b>Capitolo 5</b>	<b>Progetto dei misuratori di portata</b> .....	<b>54</b>
5.1	Pianificazione della rete di misuratori .....	54
5.1.1	<i>Commento</i> .....	58
5.1.1.1	<i>Calcolo della lunghezza di un rigurgito</i> .....	60

5.2	Progetti realizzati .....	<b>64</b>
5.2.1.1	<i>Scelta del tipo di misuratore</i> .....	<b>64</b>
5.2.1.2	<i>Fase realizzativa</i> .....	<b>71</b>
5.2.1.3	<i>Riepilogo</i> .....	<b>129</b>

<b>Conclusioni</b> .....	<b>132</b>
--------------------------	------------

<b>Note e complementi</b> .....	<b>136</b>
---------------------------------	------------

<b>Riferimenti bibliografici</b> .....	<b>137</b>
----------------------------------------	------------

## **Allegati**

Allegato 1	Rete del Consorzio Irrigazioni Cremonesi
Allegato 2	Misuratori di portata attualmente esistenti nella rete del C.I.C.
Allegato 3	Misuratori di portata previsti
Allegato 4	Misuratori di portata a seguito del progetto
Allegato 5	Profilo del canale Vacchelli
Allegato 6	Profilo del canale Ciria Vecchia dal km 4,480 al km 7,925

# Introduzione

E' ormai generalmente accettata, perché condivisa, la necessità di porre limiti e discipline al consumo delle risorse fisiche non rinnovabili, cioè mantenere l'evoluzione dello sviluppo della società nell'ambito di parametri di consumo che non pregiudichino le generazioni future. Questo problema è oggetto di attenzione internazionale, tant'è che si moltiplicano, nel mondo, le iniziative e le attività volte ad individuare i parametri dello sviluppo sostenibile. Il *summit* di Rio de Janeiro 'Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e lo sviluppo', svoltosi nel 1992, propone il Protocollo denominato Agenda 21, al quale hanno aderito 150 paesi impegnati ad assumere scelte politiche orientate, se non addirittura dominate, da indirizzi di sostenibilità. Lo stesso accordo di Maastricht, nel medesimo anno, raccomanda un approccio alle risorse fisiche non rinnovabili impostato ai principi di precauzione e di azione preventiva, giudicando tali risorse così importanti da essere oggetto di regole anche in deroga alle garanzie della concorrenza e del mercato.

L'impegno, al quale tutti i paesi sono chiamati, è quindi finalizzato alla ricerca delle corrette politiche di gestione delle risorse limitate, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo.

L'acqua è certo la risorsa principe e ad essa è rivolta, da tempi ben precedenti alle vigenti tendenze, una particolare attenzione, in termini di tutela quali/quantitativa.

Ogni attività che all'acqua si rivolge, è, e lo sarà sempre più in un futuro a breve termine, indirizzata da politiche di risparmio, di razionalizzazione dell'uso e quindi di conservazione e tutela anche a scapito degli interessi economici conseguenti all'uso medesimo.

Il comparto dell'irrigazione, a volte ingiustamente accusato di essere un eccessivo consumatore di acqua, è pienamente coinvolto in questi nuovi indirizzi di sviluppo sostenibile, che si traducono nel più specifico termine di 'politica territoriale'.

Quindi è certo che sul sistema dell'irrigazione prenderà a breve sempre più importanza la problematica legata alla 'pressione' che l'irrigazione esercita sull'acqua, nel più ampio contesto delle singole realtà territoriali; ma queste valutazioni possono essere condotte correttamente a condizione che siano disponibili alcuni dati di base, primo fra tutti la conoscenza certa delle quantità in gioco: i dati delle portate transittanti ed utilizzate.

Questo lavoro intende inserire, nella realtà dell'estesa rete irrigua del Consorzio Irrigazioni Cremonesi, un progetto di adeguamento ed integrazioni delle esistenti strutture disponibili, finalizzato alla disponibilità di un bilancio idrico permanente lungo la rete medesima, introducendo

sistemi di misura di portata ai punti ove questa è, o sarà presto, imposta dalla Pubblica Amministrazione, per esigenze di valutazioni ‘di legge’ (specificamente in materia di concessione d’uso) oppure nelle sezioni che consentano al Consorzio stesso di mantenere costantemente sotto controllo il parametro ‘portata transitante’ nei punti, ovviamente, ove ciò sia di maggiore utilità per il miglioramento dell’attuale gestione.

Non bisogna poi dimenticare che la misura certa e continua delle portate derivate dai fiumi, caso prevalente nella rete del Consorzio, è un problema che si associa alla questione, in via di definizione, del deflusso minimo vitale (DMV - come enunciato nel decreto legislativo 152/99), che, proprio nell’interesse dell’agricoltura, utente unico dell’irrigazione, deve poter essere ‘moderato’ dall’applicazione della scala di priorità fissata dall’articolo 28 comma 1 della legge 5 gennaio 1994 n. 36 (legge ‘Galli’). Se infatti, ‘ . . . Nei periodi di siccità e comunque nei casi di scarsità di risorse idriche . . . deve essere assicurata, dopo il consumo umano, la priorità all’uso agricolo. . . ’ è ovvio quanto sia importante poter valutare correttamente la competenza effettiva.

Questo assunto, che ha però trovato – proprio durante la siccità del 2003 – applicazioni invero non rispettose, prevalendo, presso la Pubblica Amministrazione, l’interesse ‘energetico’ piuttosto che l’agricolo, deve quindi e comunque trovare i soggetti irrigui preparati.

La necessità di adeguati strumenti di misura è quindi sentita dal Consorzio, con lo scopo, come già sottolineato, di ottenere effetti diversi, anche di diretta utilità gestionale.

Il Consorzio Irrigazioni Cremonesi ha in dotazione una portata di circa 60 m<sup>3</sup>/s distribuita, a ai fini irrigui, attraverso una rete di canali sviluppata in lunghezza per circa 260 km, che garantiscono la dispensa ad un comprensorio, tra diretto ed indiretto, di circa 85000 ettari, al quale concorre anche il Naviglio di Cremona (per circa 16,5 metri cubi al secondo) ed alcuni consorzi minori.

Il nostro lavoro parte da questi presupposti ed è finalizzato ad individuare e progettare una serie di misuratori che li soddisfino. In particolare abbiamo preso in esame tre tipologie di dispositivi per la misura della portata idrica: il misuratore a risalto, a stramazzo e ad ultrasuoni descrivendone caratteristiche e condizioni di funzionamento; quindi abbiamo analizzato l’attuale situazione mettendo in evidenza l’impossibilità di effettuare un bilancio idrico permanente data l’assenza di adeguata strumentazione.

Per questo motivo si individuano le sezioni caratteristiche e, per ciascuna, la miglior scelta progettuale attraverso una comparazione tra diverse soluzioni.

Lo studio si concretizza nella progettazione esecutiva delle nuove stazioni di misura e controllo nonché a valutazioni di carattere generale sugli elementi di scelta dei diversi dispositivi applicabili alle situazioni possibili.

# **Capitolo 1 – Inquadramento dell’area di studio**

## **1.1 Contesto idrografico**

Da un punto di vista idrografico la provincia cremonese è delimitata su tre lati da altrettanti corsi d’acqua principali: a Sud-Ovest dall’Adda, a Est dall’Oglio e a Sud dal Po. Gli elementi secondari dell’idrografia superficiale sono molto più numerosi e costituiscono un denso reticolo di canalizzazioni che rispondono alle esigenze di drenaggio e di irrigazioni, a seconda dei casi. Alcuni di questi corsi sono situati all’interno di antiche depressioni vallive come nel caso del Serio Morto e del Morbasco; altri rappresentano il risultato di una complessa opera antropica di distribuzione artificiale delle acque irrigue e drenaggio di quelle reflue. La rete idrografica secondaria è quindi costituita da corsi d’acqua identificabili in canali irrigui, canali colatori e rogge, le quali svolgono una funzione mista di adduzione e colo.

A Nord la provincia non confina con nessun corso d’acqua, come accade nelle altre tre direzioni, ma tuttavia non è da trascurare l’influenza idrologica della fascia dei fontanili, la quale può essere localizzata nella zona di passaggio dall’alta alla bassa pianura. Essi rappresentano aree depresse in cui le cosiddette acque di risorgiva sfiorano dal terreno e vi si depositano creando una sorta di piccolo bacino; da questo, anticamente, è stato scavato un canale artificiale che, costantemente alimentato dall’acqua di risorgiva, ha costituito, e tuttora costituisce, un’importante risorsa per l’irrigazione. La variazione dei volumi d’acqua e quindi delle portate nei corsi d’acqua principali dipende da cause diverse, identificabili non tanto dalla diversità dei fattori permanenti, caratteristici dei relativi bacini imbriferi (lunghezza, ampiezza, precipitazioni, ...) ma dalla progressiva crescita delle derivazioni a scopo irriguo oltre che dalla presenza o meno di alimentazione dai ghiacciai e dai bacini lacustri. Per questo motivo è essenziale regolare a serbatoio i grandi laghi prealpini (lago d’Iseo per l’Oglio e lago di Como per l’Adda) al fine di garantire acqua per tutta la stagione irrigua.

Un fattore da non trascurare è la presenza del fiume Serio che attraversa l’area settentrionale della provincia da Nord a Sud arrivando a lambire la città di Crema per poi sfociare nell’Adda.

Serio, Adda e Oglio scorrono quindi da Nord a Sud drenando la falda e contribuendo in modo determinante all'irrigazione della pianura cremonese; per quanto riguarda il Po, invece, la sua funzione è essenzialmente quella di raccoglitore di acque in quanto rappresenta l'asta fluviale principale del suo bacino. Poiché tutto il terreno agricolo della bassa cremonese si trova a quote maggiori di quelle del Po, quest'ultimo è sempre stato di interesse dei consorzi di bonifica, ma negli ultimi anni, grazie al sollevamento meccanico delle sue acque, ha contribuito anche all'irrigazione. L'idrografia principale della provincia di Cremona è rappresentata in figura:

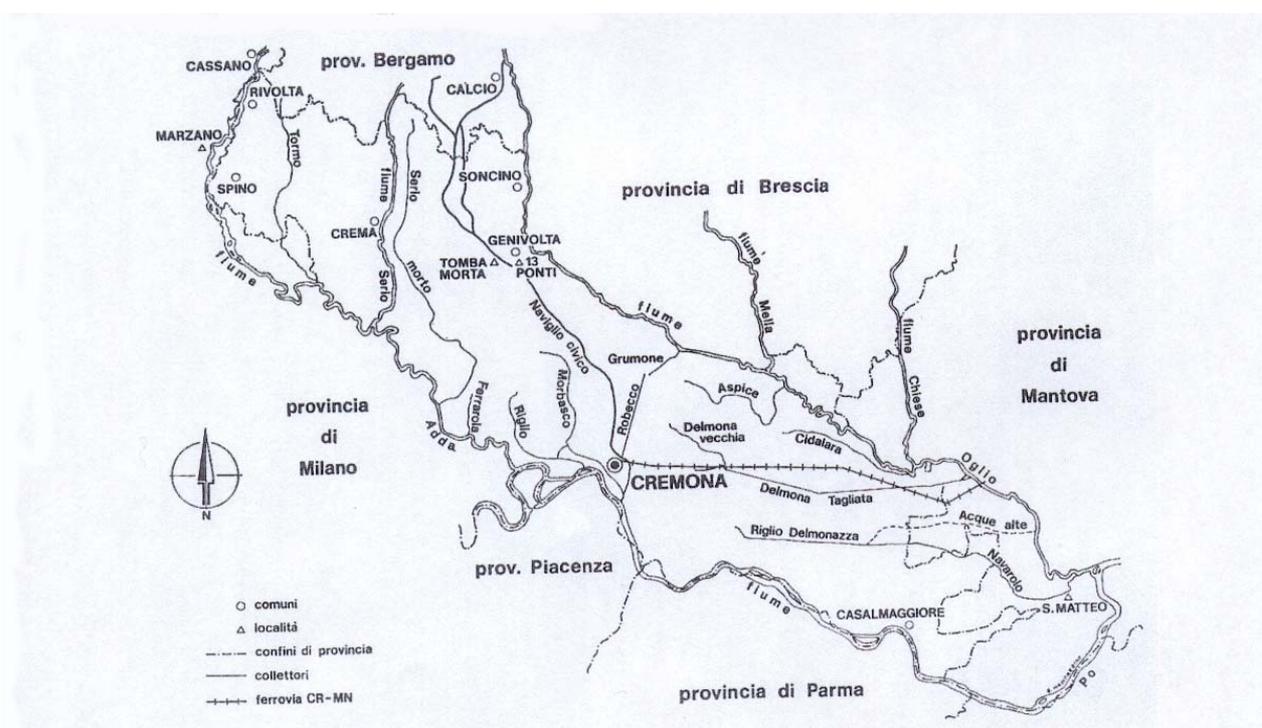


Fig. 1 - Idrografia della provincia di Cremona

## 1.2 Contesto idrogeologico e geomorfologico

La provincia di Cremona si trova al centro dell'area meridionale della regione Lombardia e occupa una superficie di 177.057 ha; la sua forma è inclinata da Nord-Ovest a Sud-Est con

pendenze molto basse tanto da poter considerare la provincia interamente pianeggiante. Ciò è ulteriormente dimostrato dal fatto che la quota massima provinciale, situata a Nord nei pressi del confine tra Rivolta e Soncino, non supera i 110 m s.l.m., mentre quella minima la troviamo al Sud lungo il confine con la provincia di Mantova e si aggira sui 18 m s.l.m.

Le acque di infiltrazione provenienti dalla superficie topografica e quelle derivanti dal deflusso sotterraneo, che si origina presso le conoidi pedemontane bresciane e bergamasche, alimentano la falda più superficiale, la quale assume un carattere prettamente freatico. In essa la linea piezometrica si trova a profondità assai basse (1-3 m) rispetto alla superficie topografica, raggiungendo il suo massimo valore (circa 20 m) a ridosso delle principali scarpate di terrazzo. Al di sotto di questa prima falda ne esistono altre di tipo artesiano, separate tra loro da strati di natura limosa ed argillosa e lateralmente discontinue, limitando così gli scambi idrici tra di esse.

Complessivamente il territorio provinciale presenta caratteristiche idrogeologiche non uniformi, tanto da poter individuare tre zone distinte: il cremasco, il cremonese e il casalasco. La prima è caratterizzata da una falda molto prossima al piano campagna (p.c.) con valori di soggiacenza che scendono anche al di sotto del metro; da un punto di vista pedologico troviamo suoli caratterizzati da tessitura media in prevalenza sabbiosi. La pianura del cremonese, invece, presenta depositi sabbiosi scarsamente calcarei e dunque maggiormente permeabili mentre la soggiacenza della falda è un po' più alta rispetto al cremasco (minimo 1,5 m). Infine nel casalasco, ovvero nell'area meridionale della provincia, il suolo risulta meno permeabile a causa di depositi prevalentemente limosi e argillosi; caratteristica di questa zona è la presenza di molti colatori, sia naturali che artificiali.

# Capitolo 2 – La rete del Consorzio Irrigazioni Cremonesi

## 2.1 Cenni storici

Nel territorio cremonese la conformazione prettamente pianeggiante e la notevole disponibilità idrica hanno permesso un forte sviluppo dell'attività agricola fin a partire da parecchi secoli fa; basti pensare che la prima derivazione del canale Calciana dall'Oglio risale al 1380. Già dal XV secolo esisteva una rete di canali e rogge che apparteneva al Condominio dei marchesi Pallavicino, i quali per circa 4 secoli l'hanno mantenuta funzionante provvedendo anche ad ampliamenti e miglioramenti a fronte della sempre maggiore esigenza degli utenti. Durante suddetto periodo e fino alla seconda metà del XIX secolo, l'alimentazione della rete si limitava alle derivazioni dal fiume Oglio, dai fontanili e agli antichi canali della rete; tuttavia l'acqua prelevata non era per nulla necessaria a soddisfare l'esigenza degli utenti di allora in quanto la dotazione media specifica del tempo era di circa 0.8 l/s ha quando era necessaria una portata di almeno 1 l/s ha per garantire un buon livello di producibilità delle colture irrigue.

Per affrontare questa carenza idrica che ha caratterizzato soprattutto il 1700 e la prima metà del 1800, un gruppo di 59 comuni cremonesi si è consorziato per la costruzione del canale "Marzano", oggi chiamato con il nome del personaggio cremonese che più di tutti ne ha determinato la costruzione: **Pietro Vacchelli**. Questo canale avrebbe dovuto derivare le acque del fiume Adda in località Merlino, nel cremasco, per convogliarle fino al nodo di Genivolta al fine allacciarsi alla rete già esistente. Terminata la sua costruzione nel 1890, il canale ha permesso il convogliamento di un'ulteriore portata di circa 25 m<sup>3</sup>/s, proveniente dall'Adda, che si andava a sommare a quella già disponibile, raddoppiando così la disponibilità idrica. Tuttavia la sempre maggiore presenza di utenze ha portato, nel 1948, ad una concessione di ulteriori 12 m<sup>3</sup>/s, sempre dal fiume Adda. In questo modo l'esigenza degli utenti veniva soddisfatta poiché la dotazione specifica media arrivava ad assumere il valore di 1.28 l/s ha. Questo valore è stato stimato dalla media dei fabbisogni medi unitari di tutte le varie zone del cremonese; per ognuna di esse questi

ultimi derivano dal rapporto tra la dotazione globale da assegnare (l/s) e la relativa porzione di territorio interessata (ha).



Fig. 2 - Il canale Vacchelli in costruzione

Parallelamente è importante sottolineare come i fiumi Oglio e Adda presentassero ancora un regime idrologico naturale tipico dei corsi d'acqua vallivi, con la consueta magra nel periodo estivo ovvero quando le esigenze delle colture irrigue sono massime. Di qui la necessità di intervenire colmando questo deficit; la regolazione dei laghi di Como e d'Iseo (di cui sono emissari rispettivamente l'Adda e l'Oglio) degli anni '20-'30 ha regolarizzato il loro corso e ha permesso al CIC di ottenere un aumento di portata che usualmente prende il nome di "acqua nuova". Essa si ottiene, giorno per giorno, come differenza tra la portata effettivamente erogata dal lago e quella di deflusso naturale, considerando solo le differenze positive; ciò ha permesso di utilizzare la risorsa acqua in maniera più razionale, garantendone la quantità sufficiente anche nei periodi in cui le richieste sono massime. In termini numerici, la regolazione dei laghi ha consentito di ottenere i seguenti aumenti:

- Adda + 1.5 m<sup>3</sup>/s
- Oglio + 1.536 m<sup>3</sup>/s.

Col tempo si sono introdotti ulteriori canali e rogge tra loro paralleli a fianco della rete preesistente; ciò ha reso possibile l'adozione di percorsi idrici indipendenti per ogni utente garantendo così un approvvigionamento autonomo. A partire dagli anni '60 una serie di sistemazioni idrauliche ha modificato, semplificato reso più efficiente la rete, riducendone la quantità di rogge e migliorandone il sistema di alimentazione.

Per concludere è doveroso fare un'ultima ma non meno importante precisazione: nel calcolo della dotazione idrica da assegnare a ciascuna zona, prima di valutare la quantità d'acqua necessaria all'agricoltura è basilare garantire la portata di deflusso minimo vitale, ovvero quella portata minima che garantisce la sopravvivenza della flora e della fauna acquatiche, come previsto dalla legge Galli del 1934.

## 2.2 Funzionamento della rete

Lo sviluppo totale dei canali della rete del CIC, i cui comuni consorziati sono 51, copre una lunghezza di circa 261 km e un'area che si aggira intorno ai 64510 ha (che aumenta fino a 82500 ha tenendo conto delle aree irrigate dai canali colatori).



Fig. 3 - Comprensorio ricoperto dalla rete del C.I.C.

La portata totale concessa al Consorzio durante l'intera stagione irrigua (25 aprile-25 settembre) è pari a 57,779 m<sup>3</sup>/s, che comprende l'acqua che passa attraverso tutti i canali principali della rete e i diramatori secondari. Nella tabella sottostante sono riportati i primi venti canali della rete in ordine di lunghezza:

<i>Nome canale</i>	<i>Lunghezza (km)</i>
Naviglio Grande	36.58
Vacchelli	34.4
Ciria Vecchia	31.96
Diversivo Magio	22.42
Canobbia Nuova	16.67
Bolla	14.27
Nuovo Delmona	14.1
Naviglio Nuovo	13.9
Ciria Nuova	11.33
Geronda	7.36
Canobbia Vecchia	4.8
Molinara	4.2
Primo diramatore Vacchelli	3.59
Quistra	3.5
Naviglietto di Calcio	3.18
Cavo delle Fontane	2.43
Fontana Facina	2.145
Fontana Bobbio e Grumella	1.65
Fontana Fornace	1.28
Cavo di Suppeditazione	0.6

Tab. 1 - Lunghezza in km dei principali canali della rete del C.I.C.

Ovviamente non è possibile pensare che tali canali abbiano tutti le stesse caratteristiche idrauliche all'interno della rete: a monte le sezioni sono molto più grandi in modo che possa fluirvi la portata sufficiente ad alimentare tutte le bocche successive, portata che si esaurisce lungo il percorso; anche da un punto di vista geometrico la variabilità delle sezioni è spiccata a causa delle diverse pendenze che assumono le sponde nei vari tratti. I materiali delle sponde stesse e del fondo dei canali tengono spesso conto delle caratteristiche idrogeologiche dell'area in esame: nella parte iniziale della rete, infatti, i canali sono spesso rivestiti poiché, oltre a far fronte ai fenomeni di erosione (causati dalle elevate portate), si vuole limitare l'infiltrazione d'acqua; in questa zona il suolo è infatti tipicamente

di tessitura grossolana e quindi maggiormente permeabile, cosicché sono richiesti maggiori attenzioni rispetto al centro-sud della provincia.

Il sistema idraulico adottato per tutti i canali della rete ai fini della loro alimentazione è quello delle bocche di presa. Esse consistono in luci rettangolari scavate sulle sponde dei canali le quali vengono regolate da una paratoia e sono collegate al relativo dispensatore tramite un piccolo canale artificiale in calcestruzzo di sezione rettangolare, alla fine di cui è presente un misuratore a risalto o a stramazzo per la misura della portata derivata. La presenza di un idrometro situato in un pozzetto a monte del dispositivo permette la regolazione della paratoia in modo da avere una derivazione costante; tale regolazione è svolta giornalmente dal personale addetto, i cosiddetti campari. Tornando per un momento al discorso delle bocche, precisiamo che esse possono essere di due tipi: bocche continue e bocche ad orario. Le prime vengono aperte all'inizio della stagione irrigua e chiuse alla fine di essa, fornendo in quest'arco temporale l'erogazione di una portata costante; nelle bocche ad orario, invece, le manovre di apertura e chiusura si ripetono periodicamente durante la stagione irrigua: di ciascuna di queste bocche si conoscono il giorno e l'ora della prima apertura e della prima chiusura e il turno irriguo (T) competente, cioè il tempo che intercorre tra due aperture/chiusure.

La rete del CIC è schematizzata in figura:

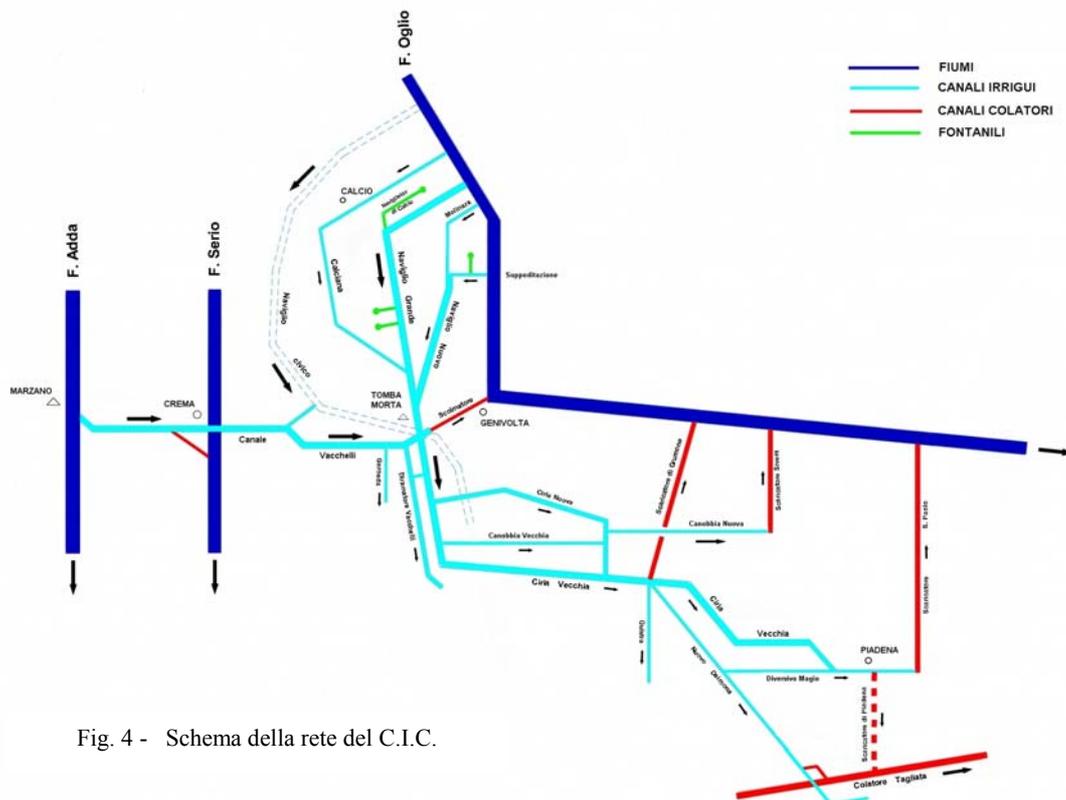


Fig. 4 - Schema della rete del C.I.C.

La portata complessiva concessa al CIC, che come abbiamo già detto è pari a 57,779 m<sup>3</sup>/s, è così percepita:

- 16,379 m<sup>3</sup>/s dal fiume Oglio
- 38,500 m<sup>3</sup>/s dal fiume Adda
- 2,900 m<sup>3</sup>/s da fontanili

In particolare le portate prelevate dai due fiumi principali possono essere così ripartite:

<b>FIUME</b>	<b>CONCESSIONE</b>	<b>RICONOSCIMENTO</b>	<b>ACQUE NUOVE</b>	<b>TOTALE</b>
<b>Oglio</b>	4,600	10,243	1,536	16,379
<b>Adda</b>	37,000	-	1,500	38,500

in cui le grandezze sono espresse in m<sup>3</sup>/s.



Fig. 5 - Presa del canale Vacchelli dal fiume Adda



Fig. 6 - Presa del canale Naviglio Grande dal fiume Oglio

Descrivendo nel dettaglio la rete del Consorzio, si evince che il canale Vacchelli preleva 38,500 m<sup>3</sup>/s dal fiume Adda, mentre dall'Oglio si derivano per riconoscimento 1,656 m<sup>3</sup>/s e 8,587 m<sup>3</sup>/s rispettivamente dal cavo Calciana e dal Naviglio Grande e 4,600 m<sup>3</sup>/s per concessione dai cavi Molinara e Suppeditazione. Le acque di questi due ultimi cavi confluiscono nello stesso punto in cui ha inizio il Naviglio Nuovo, il quale impingua il Naviglio Grande al km 18,27; quest'ultimo riceve anche le acque dal cavo Calciana (km 11,5) e da alcuni fontanili più a monte, il più importante di cui è il Naviglietto di Calcio che fornisce una portata di circa 600 l/s, dato che tuttavia è molto incerto.

Lungo il suo percorso il canale Vacchelli incrocia il fiume Serio e lo supera passandoci al di sopra mediante un ponte canale; prima di esso il Vacchelli scarica le sue acque nel fiume stesso, operazione che ovviamente non avviene nella stagione irrigua. Il superamento di un altro corso d'acqua da parte di un canale può infatti avvenire mediante soprapassaggio (come il caso del Vacchelli sul Serio), ma anche al di sotto tramite una tomba sifone; di essa ne troviamo un esempio a Crema dove la quota del piano campagna è minore rispetto a quella del pelo massimo del Vacchelli.

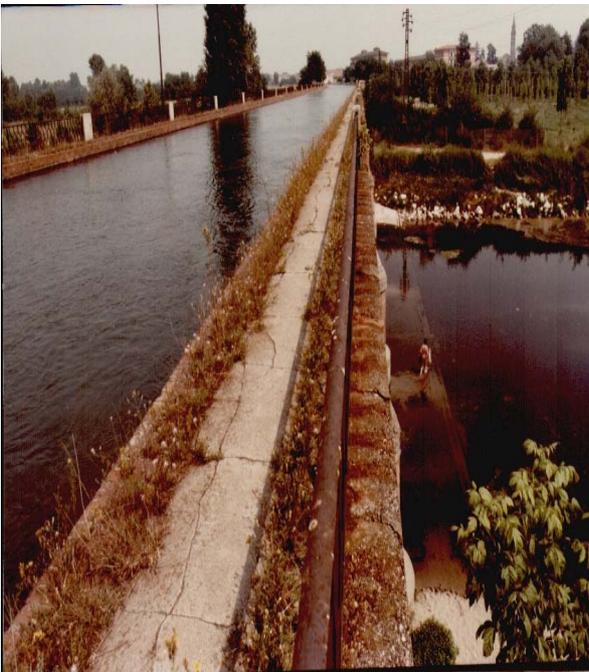


Fig. 7 - Il Vacchelli passa al di sopra del fiume Serio

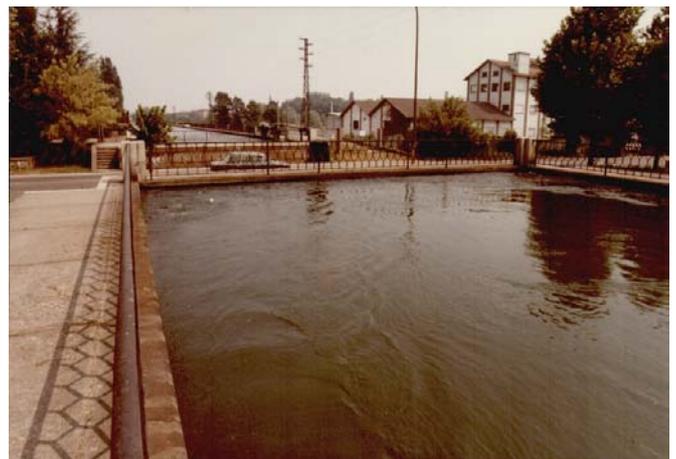


Fig.8 - Tomba sifone a Crema

Prima che il canale Vacchelli dispensi una portata costante al canale Geronda per mezzo di una paratoia di alimentazione (km 32,944) e un'altra portata al suo primo diramatore, esso smaltisce una grossa parte della sua portata alimentando il Naviglio Civico (km 27,4); oltrepassato il suo diramatore, il canale Vacchelli incontra il Naviglio Grande al cosiddetto “nodo idraulico” in località Tomba Morta, presso Genivolta. Lo snodo permette al Naviglio Grande di passare al di sotto del Vacchelli e da esso ricevere tramite paratoie laterali una portata di circa  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , ma il valore è tutto da verificare. A questo punto il Vacchelli prosegue ancora per alcune centinaia di metri raccogliendo altre dispense irrigue per terminare con lo scaricatore di Carione, responsabile dell'eliminazione dell'acqua in esubero.

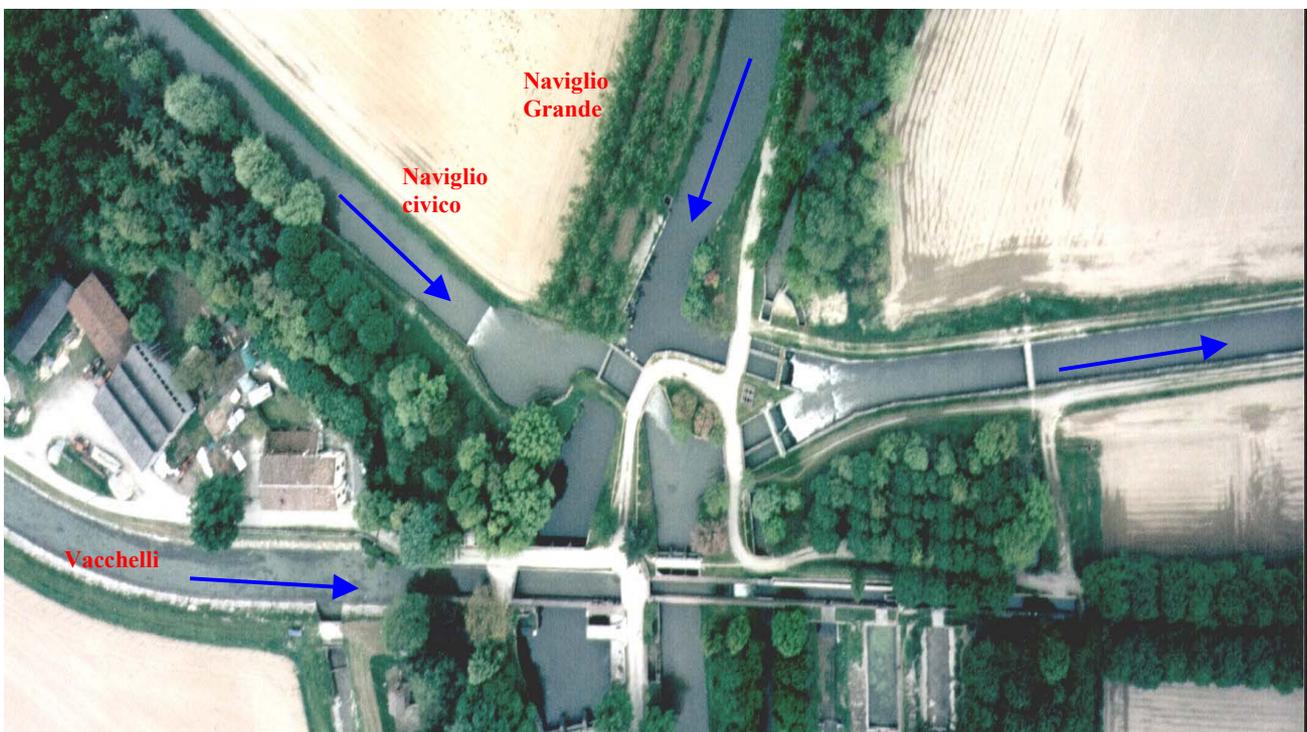


Fig. 9 - Il nodo idraulico in località Tombe Morte

Dopo aver oltrepassato lo snodo, il Naviglio Grande alimenta al km 29,67 la Ciria Nuova mediante una paratoia; il nuovo canale, al km 10,84, incontra un'altra paratoia di ferma utile ad innalzare il pelo libero al fine di poter alimentare la Canobbia Nuova; a valle di questa diramazione il pelo si riabbassa e la Ciria Nuova riceve acqua dalla Canobbia Vecchia. Quest'ultima, insieme

alla Ciria Vecchia, si origina al termine del Naviglio Grande mediante una biforcazione resa possibile da un partitore di portata.

Al km 4,25 della Ciria Vecchia si giunge alla confluenza di quest'ultima con la Ciria Nuova, mentre al km 17,36 ha origine il cavo Nuovo Delmona il quale termina vicino a Pieve S.Giacomo dopo aver originato al km 7,18 il Diversivo Magio, il quale deriva tramite un'altra paratoia di alimentazione una portata di circa 350 l/s, valore desunto dal misuratore a stramazzo presente alla sua presa. Infine il Diversivo Magio riceve, al km 12,515, le acque terminali della Ciria Vecchia prima di arrivare allo scaricatore S. Paolo che scarica le portate eccedenti nel fiume Oglio.

## Capitolo 3 – I misuratori di portata

I dispositivi di misura presi in esame nel nostro studio sono essenzialmente di tre tipi: il misuratore a risalto, il misuratore a stramazzo e il misuratore a ultrasuoni. Come vedremo in seguito, ognuno di essi ha caratteristiche proprie che lo rendono ottimale nell'una o nell'altra situazione a seconda delle caratteristiche del sito in esame; nella scelta del tipo di misuratore da installare in una certa sezione si è tenuto conto non solo dei requisiti tecnici dello strumento, ma, qualora tale scelta fosse multipla, si è posta attenzione anche al rapporto costi-benefici; andando con ordine introduciamo singolarmente i tre tipi di dispositivi.

### 3.1 Il misuratore a risalto

La grande quantità d'acqua presente nel territorio della provincia di Cremona ha permesso un marcato sviluppo dell'agricoltura, la quale necessita però di ingenti quantitativi idrici al fine di poter efficacemente irrigare tutti gli ettari di terreno coltivato. Nell'economia generale della provincia è facile immaginare quanta rilevanza abbia questo settore; da ciò ne deriva un continuo sviluppo nelle tecniche d'irrigazione al fine di riuscire a calcolare nel modo più corretto possibile la portata in ogni punto della rete di distribuzione.

La corretta determinazione della portata che attraversa i vari canali della rete è importante in primo luogo per conoscere e valutare le eventuali perdite d'acqua, siano esse dovute a cause naturali o antropiche; le sempre più moderne applicazioni idrauliche in campo irriguo hanno permesso di raggiungere risultati importanti e di realizzare opere sempre più sofisticate e precise. Al giorno d'oggi la prerogativa essenziale per ogni misuratore di portata è quella di essere un **semimodulo**, ovvero un dispositivo che permetta di lasciar defluire una portata che sia dipendente solo dal livello del pelo liquido del tratto di canale immediatamente a monte del misuratore stesso, ma indipendente dal tratto a valle di esso.

L'importanza della semimodularità di questi dispositivi dipende essenzialmente da due ragioni; in primo luogo i rapporti economici e giuridici tra ente distributore e singoli utenti non sarebbero del tutto trasparenti data la facilità con cui è possibile variare il livello del pelo liquido a valle del modellatore; inoltre molte altre sono le cause che possono provocare variazioni di livello nei canali distributori con conseguenti variazioni di portata. In secondo luogo (ma non meno importante) occorre fare delle considerazioni puramente tecniche: se la determinazione della portata dipendesse dai livelli di monte e di valle avremmo a che fare con un parametro in più; diversa e molto più pratica è la dipendenza univoca delle portate erogate dal solo livello del pelo dell'acqua a monte del modellatore. Questa relazione è comunemente conosciuta sotto il nome di **scala delle portate** e permette da una semplice lettura idrometrica di conoscere in modo preciso la portata che passa attraverso una particolare sezione.

Accanto alla semimodularità, un'altra prerogativa che un modellatore deve richiedere al fine di ottimizzare la misura è una piccola perdita di quota tra il pelo libero di monte e quello di valle; ciò è ancora più importante in un territorio pianeggiante dove i dislivelli sono assai contenuti. Inoltre la condizione ideale per mantenere un regime di moto uniforme sarebbe quella tale per cui al salto necessario fra i peli liquidi a monte e a valle (il più contenuto possibile) potesse corrispondere un uguale dislivello tra le quote di fondo del canale di arrivo e di quello di partenza. Ciò non è però concretamente realizzabile; ne deriva che, nell'ambito di una scelta tecnica, il misuratore migliore sarà quello che permetterà di discostarsi il meno possibile dal moto uniforme.

Un'ulteriore questione da non trascurare è quella degli interrimenti, specialmente se essi sono situati immediatamente a monte del misuratore; una loro eventuale presenza può provocare una diminuzione dell'area della sezione liquida trasversale con conseguente aumento della velocità di arrivo e quindi della portata, causando quindi un maggiore scostamento dal regime di moto uniforme. La formazione di questi depositi di materiale sul fondo è maggiormente favorita qualora venissero applicati sopraelevamenti di fondo molto alti; ciò è ovvio in quanto la sedimentazione è tanto maggiore quanto più grande è l'ostacolo che l'acqua incontra nel suo corso. Questo fenomeno diviene ancora più accentuato qualora ci fosse la presenza di grandi bacini di calma, i quali funzionano come vere e proprie vasche di sedimentazione. Concludendo, un misuratore di portata per reti irrigue deve possedere caratteristiche di semplicità e solidità al fine di garantire un funzionamento corretto e di richiedere poca manutenzione.

Il dispositivo che meglio racchiude in sé le caratteristiche elencate sopra è al giorno d'oggi il **modellatore a risalto**; esso, grazie alle sue caratteristiche costruttive, è in grado di creare una

separazione netta tra il regime idrometrico di monte e quello di valle. Nelle reti irrigue dei territori di pianura, infatti, la stragrande maggioranza dei canali è percorsa da correnti idriche *lente*; in idraulica una corrente è definita lenta quando la velocità di trasporto della portata liquida è inferiore al valore, detto **critico**, che coincide con la celerità con cui si propagano le piccole variazioni di livello sulla superficie liquida e conseguentemente le variazioni di pressione e velocità che ne derivano in seno alla massa d'acqua. Ciò significa che in mancanza di una separazione dei regimi idrometrici, ogni perturbazione potrebbe risalire una corrente lenta, ma non una corrente veloce in cui la velocità dell'acqua è superiore a quella critica. Per ottenere il funzionamento semimodulare nel dispositivo, è dunque necessario creare un tronco di canale attraversato da corrente veloce per avere, a monte di esso, un tratto percorso da corrente lenta e dunque indipendente da quello di valle; questo significa che qualsiasi cambiamento di livello che avvenga a valle del tratto di corrente veloce, e non sia di entità tale da annullarlo, non può ripercuotersi a monte di esso, né modificarne il valore della portata.

Tecnicamente, per poter passare da lenta a veloce, una corrente deve trovarsi, in una determinata sezione, nel cosiddetto stato critico. Per ottenere un tratto di corrente veloce sarà sufficiente strozzare la sezione immettendo restringimenti laterali, di fondo o una loro combinazione, in modo che la portata della corrente non possa attraversarla con il carico totale del regime uniforme lento proprio del tratto di monte. A questo punto, quindi, l'energia specifica della corrente aumenterà sino ad un valore minimo indispensabile (stato critico) per oltrepassare l'ostacolo; questo fenomeno comporterà immediatamente a monte di tale sezione un rigurgito dell'acqua. Attraversata la sezione critica (detta anche **sezione di controllo**), il livello del pelo liquido scenderà al di sotto dell'altezza critica e la corrente diverrà di conseguenza veloce, ottenendo quindi la separazione tra i due regimi idrometrici. Per porre fine al moto perturbato, generato dall'instaurarsi di una corrente veloce in un alveo a debole pendenza, occorre che avvenga la dissipazione dell'energia in eccesso formatasi nel rigurgito di monte; ciò si manifesta mediante un **risalto idraulico o salto di Bidone**, in onore dell'idraulico torinese che per primo lo studiò sperimentalmente all'inizio del secolo scorso.

Il risalto è un fenomeno tipico che ha luogo ogni qualvolta la corrente idrica debba passare da veloce a lenta; come conseguenza principale osserviamo un brusco innalzamento del pelo libero, a volte accompagnato dalla formazione di un vortice superficiale schiumeggiante. Tornando al nostro specifico caso, il regime idrometrico tenderà nuovamente a un moto uniforme, recuperando gran parte del dislivello perso nel passaggio da corrente lenta a veloce.

Riassumendo, per l'attuazione del processo idraulico descritto devono essere soddisfatte alcune condizioni, così schematizzabili:

- imbocco graduale, che non dia luogo a contrazione e a perdita di carico localizzata elevate;
- presenza di un tratto prismatico in corrispondenza della strozzatura che sia abbastanza lungo perché la sezione critica vi cada all'interno;
- tronco divergente abbastanza graduale.

In figura 10 è rappresentato lo schema riguardante il funzionamento idraulico del modellatore a risalto:

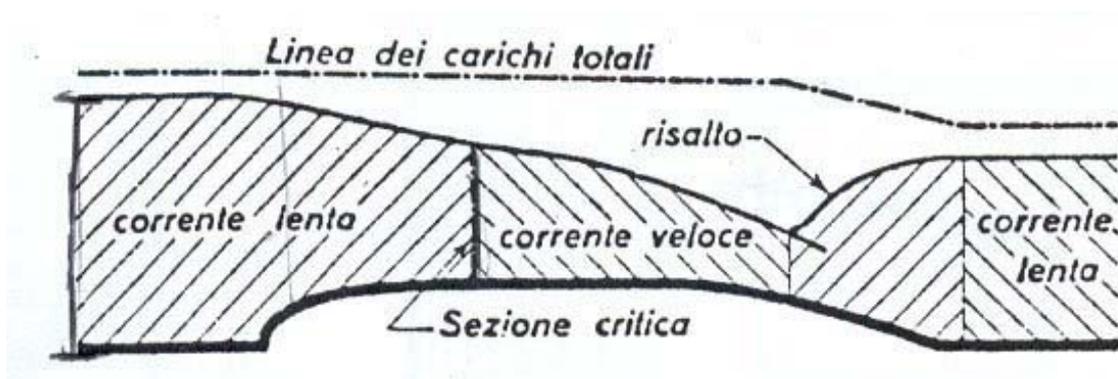


Fig. 10 – Schema del funzionamento idraulico di un modellatore a risalto

Alla luce di tutto ciò sinora detto, il misuratore a risalto è un dispositivo caratterizzato da un'unica scala delle portate, i cui valori potranno essere calcolati da una semplice nonché immediata lettura da un idrometro posto all'interno di un pozzetto vicino al modellatore stesso; l'efficacia di questo particolare strumento è anche dovuta al fatto che l'errore di misura difficilmente supera il 3-4% e, in più, il suo campo di applicazione (in ambito irriguo) è vastissimo.

In generale lo schema di un modellatore a risalto può prevedere la presenza contemporanea dei tre elementi che contribuiscono alla formazione della corrente veloce: restringimento laterale, soglia di fondo e abbassamento di fondo. In figura 11 è raffigurato tale schema che sarà seguito da una legenda esplicativa dei simboli utilizzati.

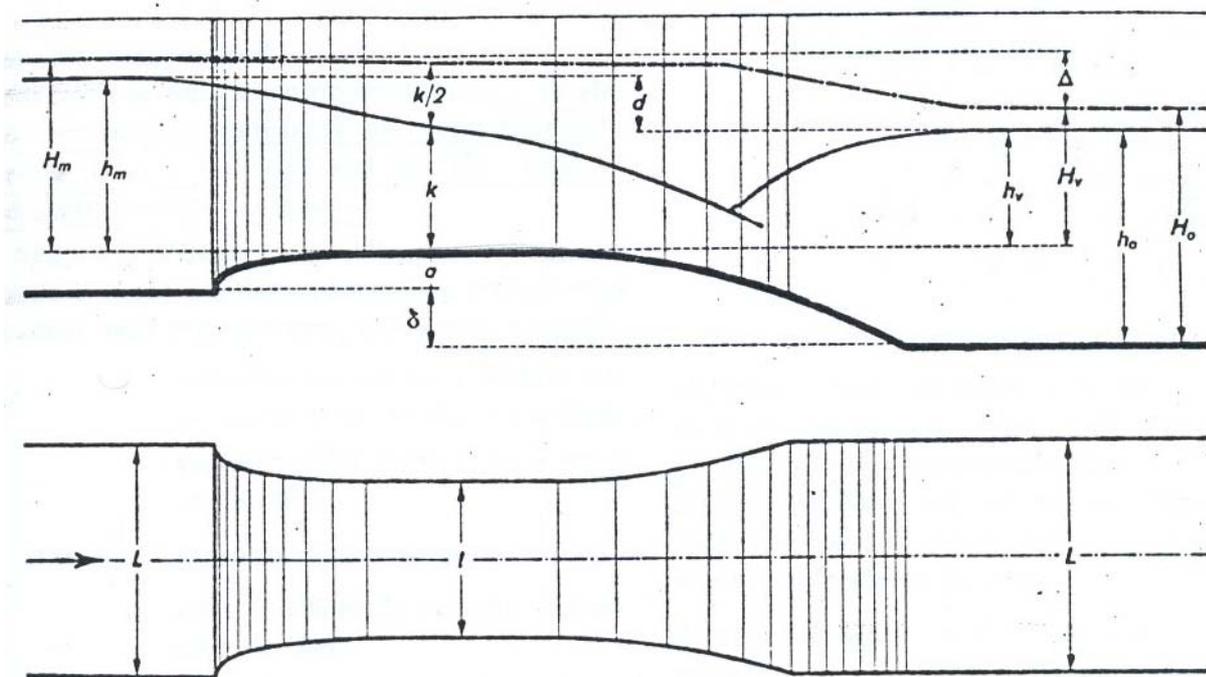


Fig. 11 : Grandezze caratteristiche di un modellatore e del processo idraulico che vi ha sede

**L** : larghezza del canale, a sezione rettangolare, a monte del misuratore;

**l** : larghezza del misuratore nella sezione ristretta;

**r** : rapporto di strozzamento. Esso è calcolato dal rapporto tra **l** e **L**;

**a** : altezza della soglia dal fondo del canale d'arrivo;

**δ** : dislivello fra le quote di fondo rispettivamente del canale d'arrivo e di quello di partenza;

**h<sub>m</sub>** : carico a monte, misurato a partire dalla quota di fondo della soglia e in una sezione abbastanza a monte dell'imbocco perché non vi si risenta l'effetto di chiamata;

**h<sub>v</sub>** : sommergenza, rappresentata dalla quota del pelo d'acqua a valle del risalto, misurata pure a partire dalla quota di fondo della soglia;

**h<sub>vl</sub>** : sommergenza limite, vale a dire il massimo valore della sommergenza compatibile con l'esistenza del tronco di corrente veloce e quindi con il funzionamento semimodulare;

**h<sub>o</sub>** : profondità dell'acqua nel canale a valle, generalmente coincidente con quella del moto in regime uniforme;

$H_m, H_v$  : distanza, dal piano di fondo della soglia, della linea dei carichi totali, rispettivamente a monte e a valle del risalto;

$\Delta = H_m - H_v$  : perdita di carico richiesta per il funzionamento del modellatore;

$d = h_m - h_v$  : perdita di quota, o dislivello fra i peli liquidi a monte e a valle;

$q$  : portata generica;

$k$  : altezza critica.

Nel misuratore rappresentato in figura le sezioni trasversali sono rettangolari in quanto per altre geometrie esistono tuttora delle incertezze; nel nostro studio specifico le formule e i calcoli effettuati si riferiranno anch'essi a modelli di questo tipo.

Accertato il funzionamento semimodulare del dispositivo, possiamo ora calcolare la portata che passa nel misuratore; l'espressione analitica è la seguente:

$$q = \mu C l h_m \sqrt{2 g h_m} \quad (1)$$

in cui:

$q$  = portata generica [m<sup>3</sup>/s],

$\mu$  = coefficiente d'efflusso [-],

$l$  = larghezza del misuratore nella sezione ristretta [m],

$h_m$  = carico a monte [m],

$C$  = coefficiente correttivo sperimentale [-],

$g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>].

Il coefficiente correttivo  $C$  è stato introdotto per tenere conto delle perdite di carico lungo il tronco convergente dell'imbocco e delle depressioni formatesi sul fondo del modellatore a causa della marcata curvatura delle traiettorie liquide; nella pratica esso assume il valore di 0,98.

Questa formula ha la stessa espressione di quella finalizzata al calcolo della portata negli stramazzi, con un'unica ma importante differenza, legata al coefficiente d'efflusso. Nel caso degli stramazzi, infatti, esso veniva predeterminato empiricamente e mantenuto costante; nel caso dei misuratori a risalto, invece, il suo valore sarà calcolato sulla base del processo idraulico che vi ha

sede. Ciò significa che tale coefficiente non è univoco, ma dipende dal rapporto di strozzamento ( $r$ ), dall'altezza della soglia di fondo ( $a$ ), dal carico a monte ( $h_m$ ) e dalle caratteristiche geometriche della sezione. Il suo valore varia quindi con la portata poiché quest'ultima dipende dalla velocità dell'acqua; l'assenza di una vera e propria vasca di calma e la limitatezza della strozzatura della sezione all'interno del dispositivo, difatti, rendono non trascurabile la velocità della corrente nel canale di arrivo.

Una prima espressione generale per la determinazione di  $\mu$  per una sezione rettangolare fu introdotta dal professor De Marchi, ma risultò piuttosto complessa; da essa ne derivarono altre due, decisamente più semplici, riguardanti la determinazione del coefficiente d'efflusso nei modellatori rispettivamente senza e con soglia di fondo. Anche se noi utilizzeremo nella quasi totalità dei casi strumenti dotati di soglia, per completezza citiamo entrambe le formule:

$$\mu = 2 \sqrt{\frac{1}{r^2} \cos^2 \left( \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos r \right)} \quad (\text{Modellatori privi di soglia}) \quad (2)$$

$$\mu = 0,385 + 0,108 r^2 \left( \frac{h_m}{h_m + a} \right)^2 \quad (\text{Modellatori dotati di soglia}) \quad (3)$$

Soffermandoci sulla (3), l'esperienza ha dimostrato che oltre alla sua maggior semplicità, rispetto all'originale essa è anche risultata più precisa; inoltre il suo campo di applicazione è assai vasto e comprende la quasi totalità delle situazioni pratiche.

A questo punto siamo completamente in grado di ricavare la portata che passa attraverso la sezione di controllo che si trova nella parte ristretta del misuratore; ad ogni valore di altezza del battente idrico, la cui lettura avviene mediante un idrometro, corrisponderà quindi un ben preciso valore di portata. In un grafico si sistemano i valori di  $q$  sull'asse delle ascisse e i valori di  $h_m$  (carico a monte) su quello delle ordinate; dalla curva ricavata si noterà che il valore della portata cresce più che proporzionalmente rispetto all'altezza idrometrica, come insegna la teoria idraulica.

Oltre a questa prima curva, nel grafico ne andrà inserita un'altra, quella relativa ai **limiti di sommergenza**; le due curve differiscono per i valori delle ordinate, in quanto sull'asse delle ascisse troviamo anche in questo caso le portate che transitano dalla sezione critica. Sull'asse delle  $y$  vengono inseriti non più i valori del carico a monte, ma bensì quelli della sommergenza limite ( $h_{vl}$ );

ricordiamo che questa rappresenta il valore massimo della sommergenza (carico a valle) compatibile con il funzionamento semimodulare del misuratore e costituisce quel particolare livello del canale di valle per cui, fermo restando il carico a monte, la portata  $q$  diminuirebbe dello 0,5% rispetto a quella di un ipotetico efflusso libero.

Per calcolare la sommergenza limite esiste un metodo empirico, per il quale si può porre :

$$H_{vl} = k \left( 1,5 - D \frac{k}{l} \right) \quad (4)$$

in cui la costante numerica  $D$  assume il valore di 0,35 nel caso di modellatori dotati di soglia di fondo e di 0,25 per quelli privi di essa; ricordiamo che  $k$  è la profondità dell'acqua in corrispondenza della sezione critica. Essa è in funzione della portata  $q$  tramite la relazione :

Per valori molto elevati del carico nel dispositivo, però, il funzionamento teorico di quest'ultimo viene meno, quindi la (4) può essere accettata solo per  $k < 1,1 * l$  circa.

$$k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g l^2}} \quad (5)$$

A questo punto abbiamo ricavato il carico totale della corrente a valle del risalto in corrispondenza alla situazione limite. In generale per carico totale si intende la somma della componente potenziale della corrente stessa (quota del pelo libero) più quella cinetica, dipendente ovviamente dalla sua velocità.

Dal momento che a noi interessa il valore di  $h_{vl}$ , esso verrà ricavato dalla seguente relazione:

$$h_{vl} = H_{vl} - v^2/2g \quad (6)$$

in cui la velocità  $v$  si riferisce alla corrente idrica del canale di valle; essa sarà calcolata mediante la formula di Chézy, la quale nella sua espressione analitica contiene un coefficiente  $C$  che tiene conto della scabrezza del canale, il raggio idraulico  $R$  e la pendenza del canale stesso,  $i$ :

$$v = C \sqrt{R \cdot i} \quad (7)$$

Il raggio idraulico è calcolato rapportando l'area della sezione trasversale della corrente e il suo perimetro; entrambe le grandezze sono funzioni dell'altezza del pelo libero ( $P = P(h)$ ,  $A = A(h)$ ), da cui ne deriva che ad ogni valore del carico a valle corrisponderà una certa velocità della corrente e di conseguenza una specifica portata  $q$ . A questo punto, conoscendo le caratteristiche idrauliche e geometriche del canale di valle, è possibile individuarne una scala di portate e confrontarla successivamente con la curva dei limiti di sommergenza; per il corretto funzionamento del misuratore, è evidente che quest'ultima dovrà giacere tutta superiormente alla predetta scala di portate di valle.

Il progetto del manufatto andrà compiuto con particolare attenzione e specifiche tecniche di calcolo qualora il dispositivo debba funzionare in condizioni idrometriche difficili; è il caso di canali primari e secondari in cui scorrono portate di entità particolarmente elevate. In queste situazioni andrà eseguito uno studio particolare che tuttavia omettiamo in quanto i canali della rete presi in esame non rientrano in questa categoria. La nostra attenzione sarà rivolta, infatti, a distributori di minore importanza per cui esistono 5 schemi tipo di modellatori già tarati sperimentalmente, applicabili a quasi tutto il campo dell'odierna pratica irrigua.

Nel nostro caso, considerazioni di carattere qualitativo ci hanno indotto a seguire abbastanza fedelmente uno degli schemi tipo sopracitati, rappresentato in figura 12:

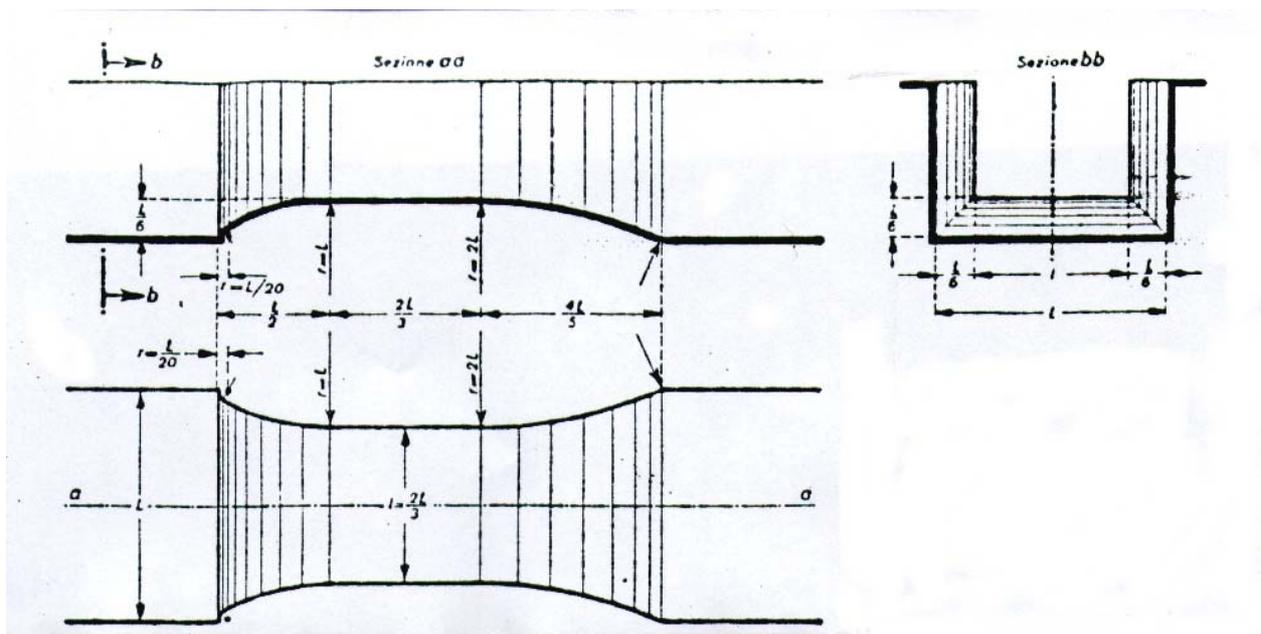


Fig.12 - Schema tipo di un modellatore a risalto

Nello schema le grandezze specifiche dipendono tutte da un parametro, in particolare dalla larghezza del canale  $L$ , che ha attinenza più immediata con gli elementi che si hanno a disposizione per il progetto del misuratore. In particolare la lunghezza del misuratore è pari a  $16/3 L$ , di cui  $6/3 L$  sono occupati dalla soglia (e quindi dal restringimento), e  $10/3 L$  dalla vasca di calma; il pozzetto contenente l'idrometro è distante  $8/3 L$  dall'inizio del restringimento.

Per concludere è opportuno affermare che nelle nostre applicazioni in cui si rende necessaria l'installazione di un misuratore a risalto, esso sarà caratterizzato dalla contemporanea presenza di una soglia di fondo, dei restringimenti laterali e di un rapporto di strozzamento (che, ricordiamo, corrisponde al rapporto tra la larghezza della sezione ristretta e quella a monte) pari a  $2/3$ .

## 3.2 Il misuratore di portata a stramazzo

Le luci a stramazzo hanno la caratteristica di avere un battente nullo, dove per battente si intende l'affondamento della parte superiore della luce rispetto al pelo libero; ciò significa che in una luce a stramazzo il contorno non è completamente lambito dalla vena effluente. Si definisce **carico dello stramazzo** il dislivello  $h$  tra il bordo inferiore della luce e la quota del pelo dell'acqua nel canale d'arrivo; essa però va considerata ad una certa distanza per evitare di risentire dell'effetto di chiamata di sbocco. In questo modo la portata a monte dello stramazzo dipenderà unicamente dal carico dello stesso rispettando il funzionamento semimodulare del dispositivo di misura, prerogativa essenziale per i nostri scopi.

Il misuratore forse più utilizzato nella comune pratica è lo **stramazzo Bazin**. Esso è rettangolare (e come tale va applicato in sezioni a loro volta rettangolari) ed è costituito da una traversa (normalmente in muratura) sormontata da una lama metallica a spigolo vivo; quest'ultima rappresenta la base della luce rettangolare, larga come la sezione trasversale del canale, e consente la contrazione completa della base stessa. I fianchi dello stramazzo, invece, sono costituiti dalle pareti stesse del canale, il che implica l'assenza di una contrazione laterale. Oltre che dalla lama, la contrazione alla base è assicurata anche dal fatto che al di sotto della vena stramazante viene mantenuta la pressione atmosferica. Cerchiamo di spiegare meglio questo concetto: inizialmente sotto la vena la pressione è uguale a quella atmosferica, ma l'assenza di strozzamenti laterali comporta una mancanza di contatto della parte inferiore della vena stessa con l'atmosfera cosicché

la pressione in questa zona andrà via via diminuendo fino ad annullarsi. Si avrà dunque la formazione di una cosiddetta *vena depressa* e successivamente di una *vena aderente* (quando si esaurirà completamente l'aria sotto la vena e questa aderirà alla parete). Ciò non deve avvenire per non impedire l'utilizzo dello stramazzo come misuratore di portata; per far ciò occorre garantire l'aerazione al di sotto della vena mediante canna aerofora o interruzione di una o entrambe le pareti poco a valle della traversa.

Il funzionamento idraulico dello stramazzo Bazin è rappresentato in figura 13:

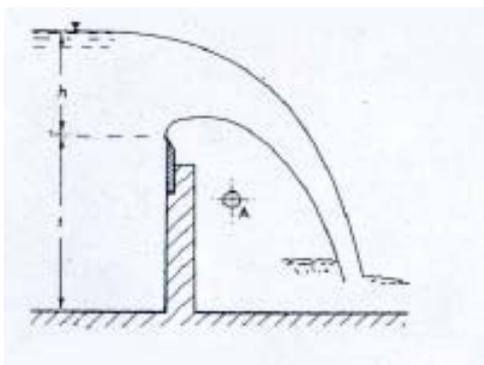


Fig. 13 - Funzionamento idraulico dello stramazzo Bazin

in cui con  $t$  è indicato il **petto dello stramazzo**, con  $h$  il relativo carico mentre il simbolo contrassegnato dalla lettera A individua la canna aerofora.

Dal momento che, a differenza delle luci a battente, non è possibile individuare una sezione ristretta, per calcolare la portata si opera in questo modo: si assimila lo stramazzo ad una luce a battente per cui quest'ultimo venga considerato nullo. In quest'ordine di idee la formula per il calcolo della portata è la seguente:

$$Q = \frac{2}{3} \mu h L (2gh)^{1/2} \quad (8)$$

in cui abbiamo:

$Q$  = portata a monte dello stramazzo [ $m^3/s$ ];

$\mu$  = coefficiente d'efflusso caratteristico delle luci a battente [-];

$h$  = carico dello stramazzo [m];

$L$  = larghezza dello stramazzo [m];

$g$  = accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ].

Quest'espressione può essere scritta anche sostituendo il coefficiente d'efflusso delle luci a battente con quello tipico degli stramazzi ( $\mu_s$ ):

$$Q = \mu_s h L (2gh)^{1/2} \quad (9)$$

Per la determinazione della formula sopra citata, si è trascurata la velocità dell'acqua nel canale di arrivo poiché il suo valore è decisamente basso; il funzionamento idraulico del dispositivo è infatti rispettato qualora esso sia preceduto da un'adeguata vasca di calma; in questo modo  $\mu$  può essere mantenuto costante.

Accanto a quello di Bazin troviamo altri tipi di misuratori come ad esempio lo **stramazzo triangolare**; esso ha la caratteristica di far corrispondere carichi molto elevati anche a piccole portate e quindi necessità di una taratura particolarmente raffinata. Per questo motivo il suo utilizzo più frequente avviene in laboratorio e non nella comune pratica irrigua. Il calcolo della portata per un simile dispositivo viene eseguito per mezzo della seguente formula:

$$Q = 8/15 \mu \operatorname{tg} \alpha (2g)^{1/2} h^{5/2} \quad (10)$$

Lo schema del misuratore è indicato in figura 14:

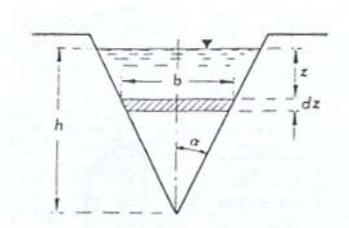


Fig. 14 - Schema dello stramazzo triangolare

Nel caso particolare in cui  $\alpha = 45^\circ$  lo stramazzo triangolare prende il nome di **stramazzo Thomson** e la formula finalizzata al calcolo della portata si riduce alla:

$$Q = 8/15 \mu (2g)^{1/2} h^{5/2} \quad (11)$$

Maggiore diffusione nella pratica trova lo **stramazzo Cipolletti**; esso presenta una sezione trapezia e una strozzatura laterale che evita quindi l'immissione di una canna aerofora per mantenere la pressione, al di sotto della vena stramazza, pari a quella atmosferica. L'area invasa dalla strozzatura è all'incirca pari a quella dei triangoli laterali del trapezio; in questo modo è

possibile ricondursi con buona approssimazione allo stramazzo Bazin (rettangolare) con larghezza pari alla base minore del trapezio.

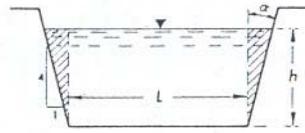


Fig. 15 - Schema dello stramazzo Cipolletti

La formula per il calcolo della portata è la seguente, molto simile a quella utilizzata per gli stramazzi Bazin:

$$Q = 0,415 L h (2gh)^{1/2} \quad (12)$$

L'ultimo tipo di misuratore che analizziamo è lo **stramazzo a larga soglia**, molto adatto al calcolo della portata nelle reti di canali irrigui a cielo aperto e rappresentato in figura 16:

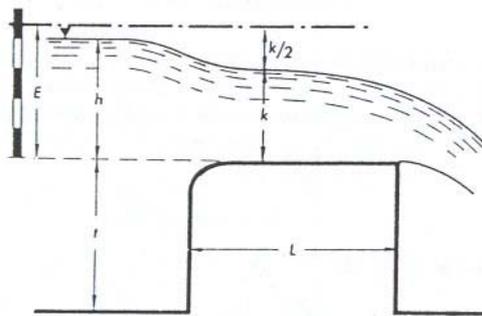


Fig. 16 - Schema di uno stramazzo a larga soglia

Esso è costituito da una soglia di fondo di altezza sufficiente perché la corrente risulti di certo influenzata dalla presenza dello stramazzo; per evitare la formazione di una vena distaccata, l'imbocco della soglia è graduale mentre la sua larghezza  $L$  è tale da rendere la vena che vi passa sopra assimilabile ad una corrente a pelo libero (normalmente questa larghezza è leggermente

superiore al carico  $h$  dello stramazzo). Nel caso rappresentato in figura l'efflusso dello stramazzo non è rigurgitato da valle e in conseguenza di ciò la sezione critica attraversata dalla corrente si troverà al di sopra della soglia; ciò garantisce la formazione di un tronco di corrente veloce e quindi la separazione dei regimi idrometrici: la semimodularità, tale per cui  $Q = Q(h)$ , è così garantita. La portata si calcola mediante l'espressione:

$$Q = 0,385 L h (2gh)^{1/2} \quad (13)$$

Se invece a valle dello stramazzo il livello del pelo libero aumenta al punto da sommergere la vena effluente si avrà la formazione di un risalto, come illustrato in figura:

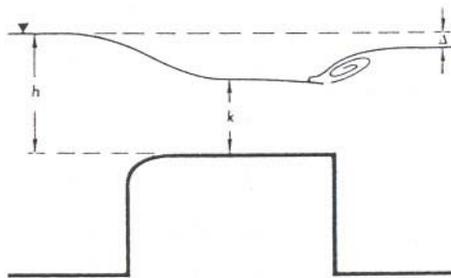


Fig. 17 - Stramazzo a larga soglia rigurgitato

In questo caso, tuttavia, lo stramazzo rientra nel più generale caso dei misuratori a risalto, la cui trattazione è svolta in un capitolo a parte. Nei nostri progetti quindi sarà assunto come parametro di funzionamento del dispositivo un dislivello di almeno 15-20 cm tra la quota superiore della soglia e il pelo di valle. Da un punto di vista costruttivo, essendo questo tipo di stramazzo simile ad un modellatore a risalto, assumiamo come parametro di progetto la larghezza  $L$  del canale; stabiliamo quindi che la vasca di calma sarà pari a  $10/3 L$  (come nel caso del risalto), mentre la lunghezza della soglia sarà fissa. Infine ricordiamo che l'asta idrometrica per la misura del battente sarà montata ad una distanza pari a  $8/3 L$  dall'inizio della soglia.

## 3.3 La misura della portata tramite dispositivi ad ultrasuoni

### 3.3.1 Premessa

Il calcolo della portata nei canali a cielo aperto può avvenire non soltanto per mezzo di dispositivi il cui funzionamento si basa unicamente su principi idraulici; in questa sezione presenteremo la teoria di funzionamento di strumenti elettronici che riusciranno a fornirci il valore della portata mediante l'emissione e la ricezione di segnali acustici. Qualora non esistano le condizioni per garantire il funzionamento semimodulare di un dispositivo di misura (che rende possibile una relazione univoca tra l'altezza idrometrica e la portata), occorre comunque assicurare, qualora necessario, affidabilità nelle misure; ciò è fondamentale affinché l'ente gestore delle acque ottimizzi le proprie risorse. In questi casi non è possibile installare misuratori a risalto o a stramazzo in quanto il loro corretto funzionamento è strettamente legato alla semimodularità; l'applicazione di flussometri acustici ad ultrasuoni permette di risolvere questi problemi in quanto una relazione univoca tra la velocità di propagazione di un'onda sonora in un mezzo fluido in movimento e la velocità della corrente stessa è garantita in ogni situazione.

I vantaggi che derivano dall'installazione di dispositivi di questo tipo possono essere così riassunti:

- Mancanza di parti meccaniche in movimento,
- Elevata precisione per vasti intervalli di portata e temperatura dell'acqua,
- Applicabilità possibile anche in luoghi difficilmente accessibili,
- Adattabilità ad ogni tipo di liquido in grado di trasmettere onde sonore ad alta frequenza,
- Possibilità di misurare il flusso nei due sensi,
- Ridotta intrusività nella sezione di misura per non arrecare disturbo al moto e non creare perdite di carico localizzate,
- Indipendenza del metodo di misura dalla legge di distribuzione delle velocità, il che consente l'applicazione del dispositivo anche in condizioni che sarebbero proibitive per altri metodi.

Accanto ai vantaggi occorre però mettere in luce anche i punti deboli di questo metodo:

- Difficoltà di allacciare gli strumenti alla rete elettrica qualora vengano collocati in zone isolate,

- Rischio di maneggiamento della strumentazione esterna al canale da parte di estranei,
- Costi elevati.

### 3.3.2 Teoria generale del metodo acustico

Il metodo acustico di misura della velocità di un fluido si basa sul principio secondo cui la velocità di un segnale acustico, che si propaga in un mezzo fluido in movimento, viene a modificarsi se la velocità della corrente del fluido possiede una componente non nulla nella direzione di propagazione del suono. Infatti la velocità di propagazione di un'onda acustica (normalmente ultrasonora) e la velocità della corrente sono sommabili vettorialmente; installando sonde ad ultrasuoni trasversalmente alla direzione del flusso, il tempo che il suono impiega per andare da una sonda all'altra dipende sia dalla velocità del suono nel mezzo che separa i due punti, sia dalla componente della velocità del mezzo stesso (nel nostro caso si tratta di acqua) lungo la linea virtuale che li congiunge, come si nota in figura 18:

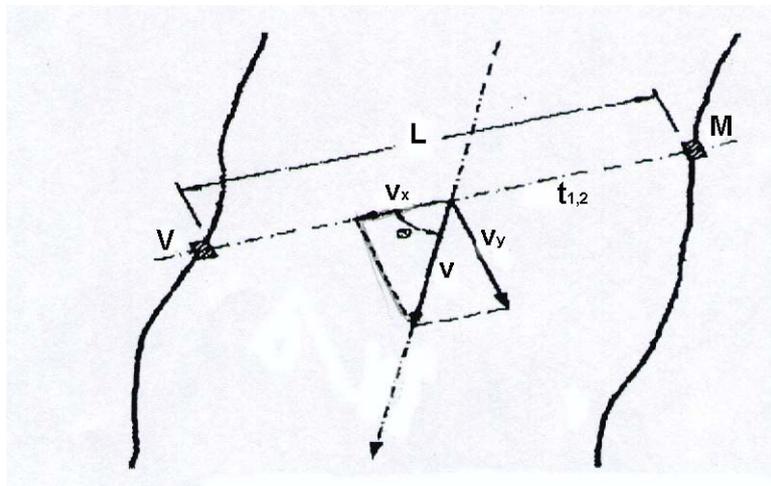


Fig. 18 - Componenti vettoriali della velocità nella teoria del metodo acustico

in cui:

$v$  = velocità media

$v_x$  = componente della velocità nella direzione della traiettoria acustica

$L$  = lunghezza della traiettoria

$t_1$  = tempo di percorrenza del segnale nel verso della corrente

$t_2$  = tempo di percorrenza del segnale contro corrente

$M$  = trasduttore acustico di monte

$V$  = trasduttore acustico di valle.

Un impulso acustico inviato verso monte viaggia ad una velocità assoluta minore di quella di uno inviato verso valle e dalla misura dei tempi di transito degli impulsi ad ultrasuoni si può calcolare direttamente la velocità dell'acqua.

Si possono ricavare le componenti della velocità media della corrente nel seguente modo :

$$v_x = v \cos \theta ,$$

$$v_y = v \sin \theta .$$

La componente  $v_x$  varia lungo la traiettoria acustica in quanto la velocità puntuale della corrente non è uniforme lungo la sezione ed è responsabile della modifica dei tempi di propagazione del segnale acustico nei due sensi.

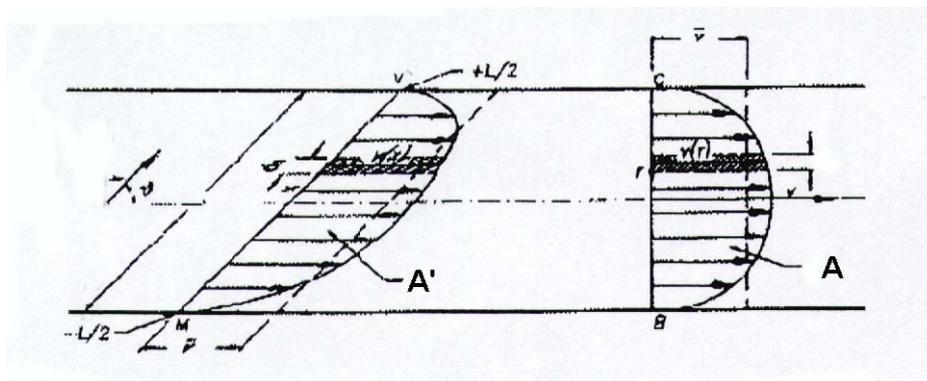


Fig. 19 - Profili di velocità per traiettorie acustiche (sinistra) e ortogonali alla corrente (destra)

In figura 19 sono rappresentati due profili di velocità: a sinistra troviamo quello relativo alla traiettoria acustica (MV), a destra è riferito invece ad una traiettoria ortogonale alla corrente. Se vale l'ipotesi che le aree  $A'$  e  $A$  (rispettivamente di uno e dell'altro profilo) sono uguali, la velocità media della corrente può essere calcolata lungo la linea MV mediante la solita relazione:

$$v_x = \underline{v} \cos \theta .$$

Il calcolo di  $\underline{v}$  dipenderà allora da  $\underline{v}_x$ , al cui valore si perviene attraverso la misura dei tempi  $t_1$  e  $t_2$  impiegati da un'onda ultrasonora a percorrere nei due sensi la distanza  $L$  che separa i due trasduttori affacciati (uno atto a trasmettere il segnale e uno a riceverlo). Queste due grandezze si ricavano dalle seguenti espressioni:

$$t_1 = L / (C_0 + \underline{v} \cos \theta) \quad (14)$$

$$t_2 = L / (C_0 - \underline{v} \cos \theta) \quad (15)$$

in cui il termine  $C_0$  indica la velocità del suono in acqua ferma, mentre la velocità media della corrente lungo  $L$  è riferita alla quota d'installazione dei trasduttori.

Supponendo costante  $C_0$  in entrambi i versi, si può trovare la differenza tra i due tempi nel seguente modo:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2 L \underline{v} \cos \theta / (C_0^2 - \underline{v}^2 \cos^2 \theta) \quad (16)$$

Tuttavia essendo la velocità del suono (pari a 1450 m/s) sempre molto maggiore di quella del fluido (che varia dai 1 – 10 m/s) e il  $\cos \theta < 1$  (in quanto  $30^\circ < \theta < 60^\circ$ ), il termine  $\underline{v}^2 \cos^2 \theta$  può essere trascurato cosicché l'espressione precedente diviene:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 2 L \underline{v} \cos \theta / C_0^2 \quad (17)$$

Nota quindi la velocità  $C_0$ , è possibile calcolare  $\underline{v}$  lungo la traiettoria acustica misurando unicamente la differenza dei tempi di percorso dell'impulso acustico.

Purtroppo, però, la costanza di  $C_0$  è solo teorica, in quanto quest'ultima dipende da diverse cause fisiche quali la temperatura dell'acqua, dalla sua pressione, salinità, concentrazione e dalla dimensione delle bolle di gas in essa presenti; occorre quindi trovare un'espressione per il calcolo di  $\underline{v}$  che sia indipendente da  $C_0$ .

Sperimentalmente si è trovato che:

$$\underline{v} = L (t_2 - t_1) / 2 \cos \theta t_2 t_1 \quad (18)$$

A questo punto occorre fare una piccola ma importante considerazione relativa ai tempi di percorrenza che compaiono nelle formule sopra citate; essi, infatti, non tengono conto dei ritardi che si verificano nei circuiti elettronici e nei cavi di collegamento e in generale in tutte le parti non costituite da acqua, ma solo del percorso compreso tra i due trasduttori nell'ipotesi che questi siano a diretto contatto con la massa d'acqua in movimento.

Dopo aver descritto la teoria generale del metodo acustico, passiamo ad analizzare più approfonditamente la composizione ed il funzionamento del flussometro acustico. Esso è composto dai trasduttori per la trasmissione e la ricezione dei segnali acustici ad alta frequenza e da un'unità elettronica preposta alla gestione dei traduttori ed all'elaborazione delle misure.

La stazione di misura può essere completata con attrezzature e dotazioni destinate a potenziare le sue prestazioni: un computer per archiviare ed elaborare i risultati delle misure, una stampante o plotter per le restituzioni grafiche, un modem per la trasmissione dei dati ad utenti remoti ed un'interfaccia per il collegamento con altre stazioni per l'integrazione in reti di misura complesse.

I trasduttori vengono installati a coppie, a quote prestabilite, sulle sponde opposte del canale, in modo tale da realizzare traiettorie acustiche che formino con l'asse del corso d'acqua angoli compresi tra 30° e 60°. Le frequenze dei trasduttori commerciali destinati all'impiego dei moti a pelo libero sono normalmente comprese tra i 100 kHz e 1 MHz; la scelta avviene in funzione della lunghezza delle traiettorie acustiche e dell'eventuale presenza di fattori che possano disturbare la trasmissione del suono in acqua. Ogni trasduttore funziona, alternativamente, in ricezione e in trasmissione e durante questo ciclo l'unità elettronica misura i tempi lungo tutte le traiettorie acustiche e per ciascuna di esse calcola la relativa velocità media. L'unità elettronica attiva i trasduttori, esegue le misure, processa i dati e comunica i risultati attraverso un display ottico; inoltre è possibile che essa esegua dei test di controllo.

Infine avviene il calcolo della portata come somma pesata delle velocità misurate dai trasduttori; in questa fase le costanti ponderali che intervengono nel calcolo dipendono dal metodo

utilizzato, dalle caratteristiche geometriche della sezione di misura, dalla scabrezza e dal tirante d'acqua.

### 3.3.3 Calcolo della portata

Nel metodo acustico il calcolo della portata avviene integrando, in termini finiti sulla sezione di misura, le velocità medie misurate lungo le traiettorie orizzontali che collegano idealmente le coppie di trasduttori affacciate e poste a quote differenti. Lo stesso metodo è utilizzato per il calcolo della portata mediante mulinelli idrometrici, ma con un'unica differenza legata alla modalità con la quale viene rilevato il campo di moto; infatti, mentre il metodo acustico procede per linee orizzontali opportunamente spaziate lungo la verticale, il metodo correntometrico opera generalmente per verticali successive adeguatamente spaziate sulla larghezza della sezione di misura.

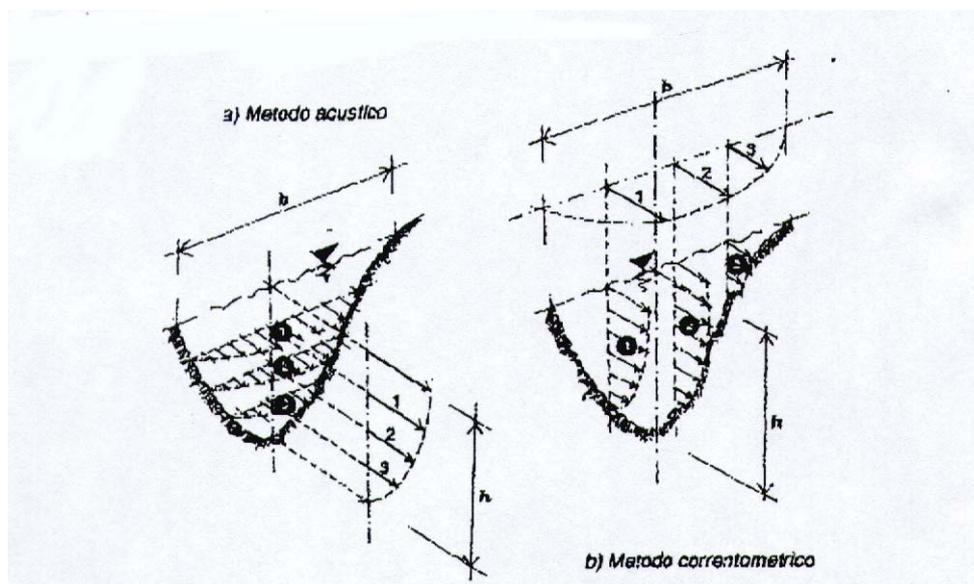


Fig. 20 - Misura della portata nel metodo acustico e in quello correntometrico

Nel metodo acustico ad ogni fascia orizzontale viene attribuito un “peso”  $W_i$  [m<sup>2</sup>] proporzionale all’area della rispettiva fascia e dipendente dalla geometria della sezione, dalla posizione dei trasduttori e dall’altezza idrometrica. In questo modo si può ricavare il valore della portata:

$$Q = W_1 \underline{V}_1 + W_2 \underline{V}_2 + \dots + W_n \underline{V}_n \quad (19)$$

in cui ogni addendo corrisponde ad una singola fascia  $i$ -esima con  $i = 1, \dots, n$ .

In generale, maggiore è il numero di fasce orizzontali, maggiore sarà la precisione della misura; a volte, però, la configurazione a multitraiettoria non è necessaria, specialmente qualora sia richiesta una precisione minore oppure quando esiste una relazione livelli-portate univoca. In questi casi è sufficiente l’installazione di due soli trasduttori realizzando una configurazione di monotraiettoria (con un ovvio risparmio in termini di costi). In questo caso il calcolo della portata si riduce all’espressione:

$$Q = W_1 \underline{V}_1 \quad (20)$$

La velocità che compare nella formula è allora un valore medio misurato nella sezione interessata; la sua determinazione può essere espressa in funzione della velocità media misurata ad una quota  $z$  dal fondo della sezione mediante un fattore correttivo adimensionale  $K$ , il cui valore dipende dalla legge di variazione della velocità media lungo la verticale. In particolare, se quest’ultima è funzione del solo tirante, così sarà anche per  $K$ . Riassumendo per un flussometro monotraiettoria la portata può essere così calcolata:

$$Q = \underline{V}_z A / K \quad (21)$$

Si noti che ponendo  $W = A / K$ , l’espressione assume la forma nota precedentemente introdotta.

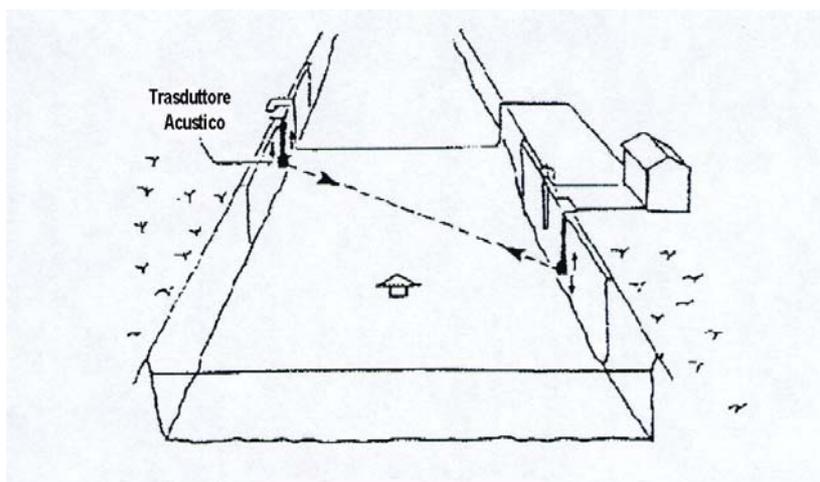


Fig. 21 - Schema di una configurazione monotraiettoria

Quando le condizioni di deflusso sono variabili oppure qualora sia richiesta un'elevata precisione di misura, è opportuno pensare ad una configurazione a multitraiettoria delle traiettorie acustiche. In questi casi servono più coppie di trasduttori installati a quote precise e adeguatamente distanziati tra loro, al fine di ricostruire mediante particolari funzioni interpolatrici la variazione della velocità media per ogni valore di livello e portata.

Una volta stimate le velocità, queste andranno moltiplicate per la relativa sezione per ottenere la portata; per far ciò citiamo soltanto due metodi: quello della *sezione mediana* e quello della *sezione media*. Nel primo la velocità misurata lungo una traiettoria intermedia viene considerata rappresentativa del valore medio relativo alla fascia orizzontale compresa fra le due linee mediane calcolate utilizzando la traiettoria stessa e le due ad essa più prossime, inferiore e superiore; come larghezza della fascia orizzontale viene considerata quella della sezione alla quota della traiettoria medesima.

Nel metodo della sezione media, invece, la sezione di misura viene suddivisa in fasce orizzontali delimitate da due traiettorie acustiche contigue; a ciascuna di queste fasce viene assegnata una larghezza pari alla media delle larghezze misurate alle quote delle due traiettorie acustiche che la delimitano, mentre la velocità assume un valore pari alla media dei valori misurati lungo le traiettorie stesse.

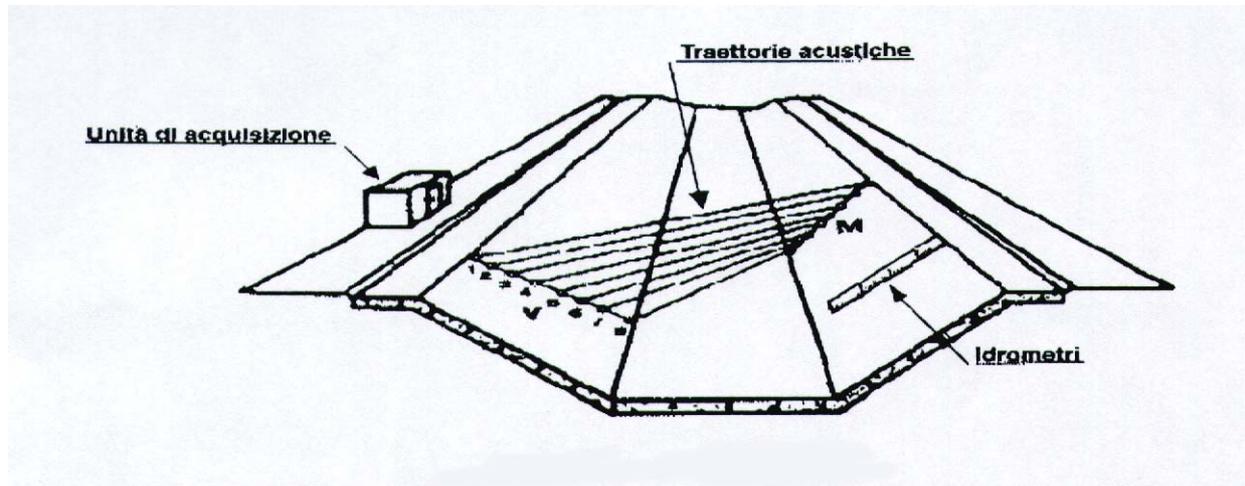


Fig. 22 - Schema di una configurazione multitraiettoria

Nei progetti che mostreremo abbiamo utilizzato alcuni standard costruttivi, così riassumibili: l'angolo compreso tra le traiettorie acustiche e l'asse del canale è stato assunto pari a  $45^\circ$  in modo che la lunghezza del tratto di canale compreso tra i due pozzetti sia uguale alla larghezza del canale. A questa lunghezza va aggiunto un tratto di lunghezza pari a 6 volte la larghezza del canale stesso a monte del primo pozzetto e uno di 4 lunghezze 4 volte superiore sempre alla larghezza a valle del secondo pozzetto; in conclusione la lunghezza totale del tratto di canale interessato dal rivestimento è pari a 11 volte la larghezza dello stesso.

Alla fine di tutta questa trattazione è opportuno fare un'importante precisazione; infatti esistono diversi tipi di misuratori ad ultrasuoni per il calcolo della portata in canali a cielo aperto, ma i dispositivi funzionanti secondo il metodo descritto sono ottimali per la rete del Consorzio per una serie di motivi che ora spiegheremo.

Innanzitutto questo sistema di misura è supportato oggi da strumenti molto innovativi e di conseguenza molto precisi, anche se ovviamente un po' più costosi; inoltre l'installazione permette di inscatolare i trasduttori all'interno delle sponde (rispettando ovviamente il campo di visibilità), evitando quindi di avere ostacoli lungo il corso del canale. Infine per lo stesso motivo appena citato non è necessario installare griglie a monte degli strumenti finalizzate a filtrare eventuali corpi contundenti che potrebbero danneggiare gli strumenti stessi; tali griglie, infatti, oltre ad essere molto costose causano perdite di carico localizzate.

## **Capitolo 4 – Stato attuale e bilancio idrico della rete del C.I.C.**

La rete del Consorzio, la cui descrizione è stata affrontata nel capitolo 2, è assai estesa; l'estensione del comprensorio e le deboli pendenze, unite alla distribuzione storica della proprietà fondiaria, hanno portato ad una rete distributrice di grande complessità, con numerosi canali e rogge che consentono di rendere irrigua l'intera campagna. Ovviamente tutti questi canali e rogge sono collegati tra loro con sapienti organizzazione e struttura, che consentono di recuperare il surplus dell'irrigazione attraverso la rete colante delle terre "superiori" che si trasforma in irrigua per i fondi a valle, in un circuito idrico che consente un uso ripetuto dello stesso corpo d'acqua. Tuttavia il trasferimento idrico dai canali principali alle utenze irrigue prevede spesso passaggi intermedi (canali secondari e terziari) e per questo motivo è più evidente la necessità di poter stabilire con esattezza le quantità d'acqua circolanti; in altre parole è fondamentale poter misurare l'acqua distribuita. Ciò però non è sempre semplice in quanto ci sono situazioni particolarmente complesse. Oltre al nodo idraulico in località Tomba Morta infatti, che rappresenta l'area di maggior interesse, esistono molte altre situazioni interessanti dal punto di vista idraulico, per esempio tutte le varie confluenze, diramazioni e scarichi in cui i flussi idrici devono essere controllati con un'attenzione particolare.



Fig. 23 - Nodo idraulico complesso

L'attività del Consorzio si basa sul trasporto e sulla distribuzione d'acqua irrigua agli utenti; la gestione della rete implica la conoscenza dei volumi idrici che attraversano i vari punti, ovvero della velocità dell'acqua e quindi della sua portata. Attualmente, però, i valori di portata non sempre si ricavano in maniera esatta perché la disponibilità di dispositivi di misura permanenti è ancora non sufficiente; in molti casi non si conosce il valore della portata, ma la si desume dal valore del battente associato ad una scala di portata, pur in assenza di una sezione di controllo. Tale scala di portata è stata definita in passato in uno stato ideale delle condizioni idrauliche del canale a valle della sezione. Nei tratti non rivestiti, che sono la maggioranza, l'alterazione sia geometrica, per i periodici interventi di manutenzione, ma soprattutto della scabrezza, per il crescere della vegetazione acquatica, rendono queste misure particolarmente imprecise.

Un obiettivo del Consorzio è quello di stimare nel modo più esatto possibile il bilancio idrico della rete e per realizzarlo è fondamentale conoscere direttamente (non, quindi, ricavandole) e contemporaneamente nell'intera rete le portate che transitano nei vari canali; la risposta ottimale al problema consisterebbe nell'installazione di una serie di dispositivi di misura permanenti opportunamente dislocati nei punti strategici della rete. Questi dispositivi sono fissi e non richiedono personale specializzato per il loro utilizzo, ma semplicemente una veloce lettura dei valori; essi, inoltre, consentirebbero di avere misure di portata istantanee, evitando quindi sprechi di tempo e ottimizzando la gestione interna della rete. Ad inizio della stagione irrigua, quando i canali sono in condizioni ottimali (assenza di alghe e materiali ostacolanti il moto), le scale di portata forniscono misure accettabili; come già detto, in un tempo a volte assai breve, la vegetazione provoca la riduzione delle velocità rendendo necessaria una nuova operazione di pulizia, la quale prevede problemi logistici non indifferenti.



Fig. 24 - Esempio di canale sporco

Tutto ciò potrebbe essere risolto mediante la conoscenza della velocità dell'acqua e quindi della sua portata, da cui si potrebbe risalire alla scabrezza del canale; solo conoscendo questi valori si riuscirebbe a capire in tempo se il canale è sporco e se necessita perciò di procedure di pulizia; anche quest'ultimo problema potrebbe essere agevolmente risolto qualora si disponesse di misuratori di portata permanenti.

Inoltre tramite l'installazione di questi dispositivi di misura è possibile effettuare in modo più celere e frequente controlli relativi a eventuali sperperi d'acqua e ad altri fenomeni occasionali (per esempio i prelievi abusivi).

In linea più generale, la corretta effettuazione del bilancio idrico è importante per poter utilizzare la risorsa acqua nel modo più razionale possibile; le leggi ambientali vigenti, infatti, sono sempre più indirizzate ad obiettivi di sostenibilità che possono portare ad esigere anche un "sacrificio" quantitativo, e quindi maggior necessità di efficienza di regolazione della rete. e ogniqualvolta si voglia realizzare un'opera che coinvolga l'ambiente occorrerà tenere conto dei danni provocati. Quindi oltre ai vantaggi più strettamente legati al Consorzio, i dispositivi di misura permanenti permetteranno un più efficace raggiungimento di questi obiettivi, in quanto il bilancio idrologico interno rappresenta sì una realtà locale, ma è anche un tassello fondamentale del quadro più generale del bilancio idrologico a scala di bacino idrografico.

## **4.1 La dislocazione attuale dei misuratori permanenti**

Come si può notare dalla mappa allegata (allegato 2) la presenza di misuratori permanenti è attualmente limitata a poche zone; per raggiungere l'obiettivo preposto (di cui abbiamo parlato nel paragrafo precedente) occorre installare altri dispositivi in punti particolari la cui scelta sarà dettata da differenti fattori, ma di ciò ne parleremo in seguito. Al momento gli strumenti fissi che il Consorzio ha a disposizione per la misura della portata sono essenzialmente di tre tipi : misuratori a risalto, misuratori a stramazzo e scale di portata; queste ultime però, come abbiamo già detto in precedenza, non sono dei dispositivi fisici, ma delle semplici relazioni tra livelli e portate, tra l'altro di affidabilità temporanea.

Andando con ordine, il canale Vacchelli dovrebbe derivare dal fiume Adda  $38,5 \text{ m}^3/\text{s}^{(1)}$ ; circa 200 metri a valle della presa è situato un idrometro con la sua scala delle portate, anche se

purtroppo, come già detto in precedenza, questa non è particolarmente affidabile. Infatti nella stagione irrigua 2003 si è riscontrata, tramite misurazioni di portata con il mulinello, una diminuzione della portata ordinaria ; le cause possono essere molteplici, ma la più probabile è associata ad un'abnorme crescita della vegetazione subacquea dovuta all'arrivo precoce del caldo estivo. Nonostante quella del 2003 sia stata una delle rare stagioni in cui questa scala di portate ha creato problemi, è evidente la poca affidabilità dello strumento in questione.

Il Consorzio dà in concessione all'ente amministratore del Naviglio Civico  $16,500 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  e ciò avviene in due punti differenti: al km 27,4 del canale Vacchelli attraverso uno stramazzo trapezoidale tipo il "Cipolletti" largo 12 metri e, in località Tomba Morta, attraverso uno stramazzo rettangolare. La divisione della portata concessa tra i due dispositivi è variabile, mentre ciò che rimane fisso è il valore complessivo sopracitato.



Fig. 25 - Stramazzo Cipolletti sul Naviglio Civico a Salvirola

Spostandoci dalla parte dell'Oglio, l'acqua prelevata dal canale Calciana è regolata da un misuratore a risalto; anche se la portata derivata è pari a  $1,700 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$ , il misuratore è stato progettato per  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

All'origine del Naviglio Grande, invece, il Consorzio dispone di una scala di portate; in questo caso il tratto di presa è a sezione rettangolare rivestita in cotto ed è frequentemente soggetto ad operazioni di pulizia e quindi le misure effettuate, che in piena stagione irrigua raggiungono gli  $8,600 \text{ m}^3/\text{s}^{(1)}$ , possono considerarsi abbastanza affidabili.

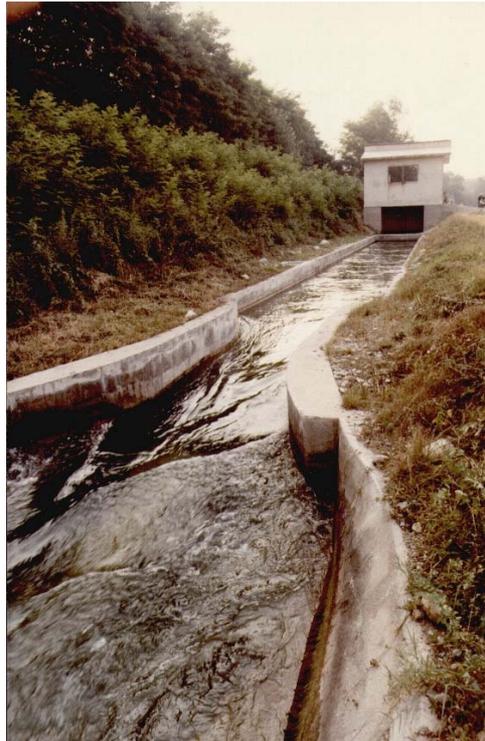


Fig. 26 - Misuratore a risalto alla presa della Calciana

Scendendo verso valle, e precisamente al km 18,6 del Naviglio Grande, dopo la confluenza di quest'ultimo prima con la Calciana e poi con il Naviglio Nuovo, troviamo un'altra scala di portate. Qui siamo di fronte ad uno dei casi più critici di tutta la rete in quanto i valori misurati direttamente in diversi momenti contrastano tra di loro oltre che con quelli ricavati sperimentalmente; di conseguenza questa sarà sicuramente un'interessante area di studio.

Circa 200 metri a valle della presa della Ciria Nuova dal Naviglio Grande abbiamo una scala di portate da  $12,500 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$ ; il suo funzionamento è affidabile anche perché è presente una soglia di fondo che dà origine ad un risalto permettendo così l'univocità della relazione tra livelli e portate. Dalla Ciria Nuova la Canobbia Nuova deriva una portata di  $2,300 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  misurata da uno stramazzo

rettangolare. Infine troviamo uno stramazzo da 4 metri alla presa del Diversivo Magio dal Nuovo Delmona attraverso cui transitano  $350 \text{ l/s}^{(2)}$ .



Fig. 27 - Stramazzo alla presa della Canobbia Nuova

Nonostante l'assenza di un'adeguata rete di misuratori permanenti, il Consorzio ha comunque l'assoluta necessità di misurare l'acqua che attraversa i vari punti della rete; nei siti in cui si trovano gli strumenti fissi la misura è istantanea, ma l'operazione va compiuta in moltissime altre sezioni in cui non si hanno dispositivi. Per fare un esempio concreto si può citare l'esperienza di misura della stagione irrigua 2003 il cui obiettivo era la stima delle perdite idriche lungo la rete e la valutazione di eventuali interventi progettuali di ammodernamento; il raggiungimento degli obiettivi allora preposti era subordinato all'effettuazione di un elevato numero di misurazioni di portata. Lo strumento più frequentemente utilizzato per adempiere agli scopi previsti è il mulinello; esso è costituito essenzialmente da un equipaggio mobile che, investito dalla corrente, ruota con velocità angolare funzione della velocità dell'acqua e da un dispositivo che conta il numero di giri in un fissato periodo  $T$ . La misura della portata tramite mulinello è però lenta e laboriosa in quanto occorre misurare la velocità dell'acqua lungo delle verticali il cui numero è funzione della larghezza del canale e per ognuna di queste andranno effettuate misurazioni alle diverse quote; inoltre una volta ricavati i valori delle velocità, da questi si dovrà ricavare la portata per mezzo di una integrazione numerica su tutta la superficie bagnata.

Nonostante l'affidabilità delle misure ricavate dallo strumento è però evidente che il tempo necessario alle operazioni nonché l'utilizzo di personale addetto è notevolmente maggiore rispetto al caso in cui negli stessi punti fossero collocati misuratori permanenti (il cui utilizzo, ricordiamolo, non richiede personale specializzato); ciò, unito al fatto che i misuratori fissi forniscono misure istantanee e continue nel tempo nonché molto affidabili, rendono questi ultimi decisamente più efficaci per i nostri scopi e sarà dunque essenziale individuare i punti strategici in cui valutarne l'installazione.

## **4.2 Bilancio idrico della rete**

Dopo aver descritto la situazione attuale in termini di misuratori fissi esistenti, tentiamo di effettuare un bilancio dei flussi idrici che transitano nei canali della rete del Consorzio, includendo tutti gli ingressi e tutte le uscite (erogazioni e perdite). Al fine di semplificare l'analisi abbiamo pensato di dividere la rete in tre zone, così identificabili:

- 1) Il canale Vacchelli
- 2) Il Naviglio Grande con i suoi canali immissari Calciana, Molinara, Suppeditazione, Naviglio Nuovo e fontanili associati
- 3) Parte terminale della rete comprensiva dei canali Ciria Vecchia, Ciria Nuova, Canobbia Vecchia, Canobbia Nuova, Nuovo Delmona e Diversivo Magio.

La nostra trattazione analizzerà ciascuna di queste zone singolarmente; successivamente, in fase di commento e valutazione, i risultati verranno uniti cercando di fornire una visione d'insieme del problema considerato. Per ogni zona verranno presi in esame tratti caratteristici di canali, la cui determinazione non è stata casuale ma basata su esperienze passate; il procedimento seguito consiste nel valutare gli ingressi nella rete e la detrazione di tutte le uscite (erogazioni e perdite) al fine di stimare le portate residuali transitanti in alcune sezioni particolari.

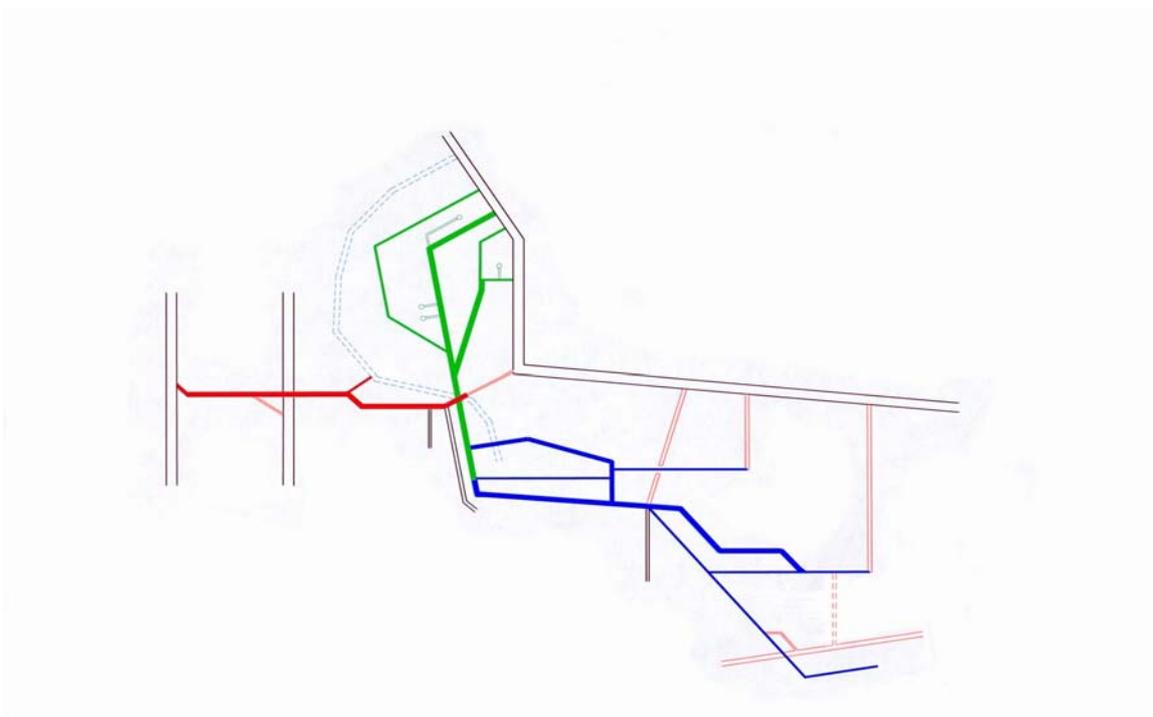


Fig. 27 - Divisione della rete in tre zone

Dalla tesi:

*“Stima delle perdite idriche della rete irrigua del Consorzio per l’Incremento dell’Irrigazione nel territorio Cremonese”*

di Bassi-Zoni, eseguita nell’a.a. 2002-2003 per il Politecnico di Milano, si evince che le perdite valutate nella stagione irrigua 2003 mediante un’intensa campagna di misurazioni sono di una certa rilevanza unicamente nel canale Calciana; quest’ultimo però non riveste una grande importanza ai fini del nostro studio in quanto l’efficienza del dispositivo di misura permanente già presente è buona e inoltre la portata che vi entra viene quasi completamente erogata, rendendo quindi trascurabile il suo contributo in entrata al Naviglio Grande. In generale i valori delle perdite sono tali da non influenzare il dimensionamento idraulico dei misuratori permanenti; il *range* del loro campo di misura, infatti, contiene ampiamente i detti valori, cosicché questi ultimi vengono trascurati in fase di progetto.

A questo punto occorre aggiungere che l’analisi è stata compiuta comparando i valori di portata con quelli già calcolati nella tesi:

*“Progetto di gestione della rete di canali del Consorzio Irrigazioni Cremonesi per l’attivazione di salti d’acqua disponibili ai fini idroelettrici”*

di ing. Angela Nadia Sulis, eseguita nell’a.a. 2002-2003 per il Politecnico di Milano, che al momento risulta essere il primo lavoro di analisi approfondita dei flussi circolanti nella complessa rete del Consorzio.

#### 4.2.1 Analisi dei flussi nella prima zona

Questa zona, evidenziata in rosso nella mappa generale raffigurata in figura , comprende unicamente il canale Vacchelli; analizzeremo gli ingressi e le uscite lungo tutto il percorso del canale, da Merlino, dove ha inizio, allo scarico a valle di Genivolta.

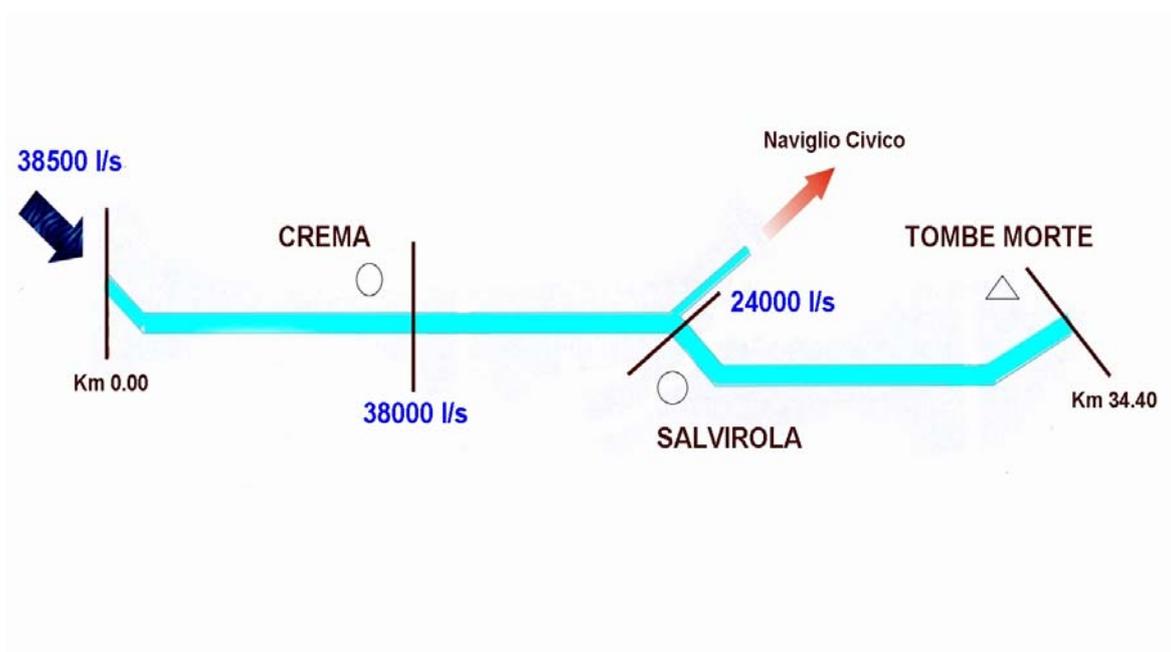


Fig. 28 - Schema della prima zona della rete

In località Merlino, provincia di Lodi, il canale Vacchelli deriva dal fiume Adda una portata di  $38,5^{(1)} \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre più avanti, ad ovest di Crema, entrano circa  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  dalle acque di colo delle antiche paludi dei Mosi.

Nei primi 20 km circa, il Vacchelli perde poca portata in quanto le erogazioni tra Merlino e Crema (progr. Km 20) non superano i  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$ ; ciò unito al fatto che, essendo nella stagione irrigua, non avviene alcuno scarico idrico nel fiume Serio, permette di quantificare la portata del Vacchelli nella città di Crema in circa  $38 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$ .

Procedendo oltre, tra Crema e Salvirola escono  $2,825 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$  destinati all'erogazione delle bocche e una portata variabile finalizzata ad impinguare il Naviglio Civico; la portata residuale del Vacchelli a Salvirola è quindi quantificata in circa  $24 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$ . Andando ulteriormente verso valle segnaliamo l'uscita di  $9,67 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$  per garantire acqua agli utenti, tra cui è compresa anche la portata con cui il Vacchelli alimenta il cavo Geronda (con le relative bocche servite) e il suo primo diramatore. Verso la fine del suo corso il Vacchelli giunge in località Tombe Morte, presso Genivolta, in cui alimenta il Naviglio Grande con circa  $7,3 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$ , il Naviglio Civico fornendogli una portata variabile a seconda di quanta ne era uscita nel primo punto d'impinguamento (Salvirola) e le ultime bocche prima di terminare completamente a valle di Genivolta.

#### **4.2.2 Analisi dei flussi nella seconda zona**

La seconda zona è colorata di verde in figura e ha come corso principale il Naviglio Grande, ma comprende anche i canali Calciana, Molinara, Suppeditazione e Naviglio Nuovo. In questo caso si ha a che fare con una situazione più complessa da un punto di vista idraulico, specialmente nella parte alta, quella cioè in cui il Naviglio Grande subisce la confluenza della Calciana e del Naviglio Nuovo, alimentato a sua volta dai cavi Molinara e Suppeditazione oltre che da qualche fontanile. La seconda parte, anche se più semplice da un punto di vista idraulico, ha come problema la mancanza di misure precise, come vedremo in seguito; una precisazione va fatta riguardo alla Calciana: nella figura sottostante esso è rappresentato come fosse un canale cieco poiché, anche se in realtà confluisce nel Naviglio Grande, durante il suo corso eroga la quasi totalità della sua portata al punto da poter trascurare l'intensità della confluenza.

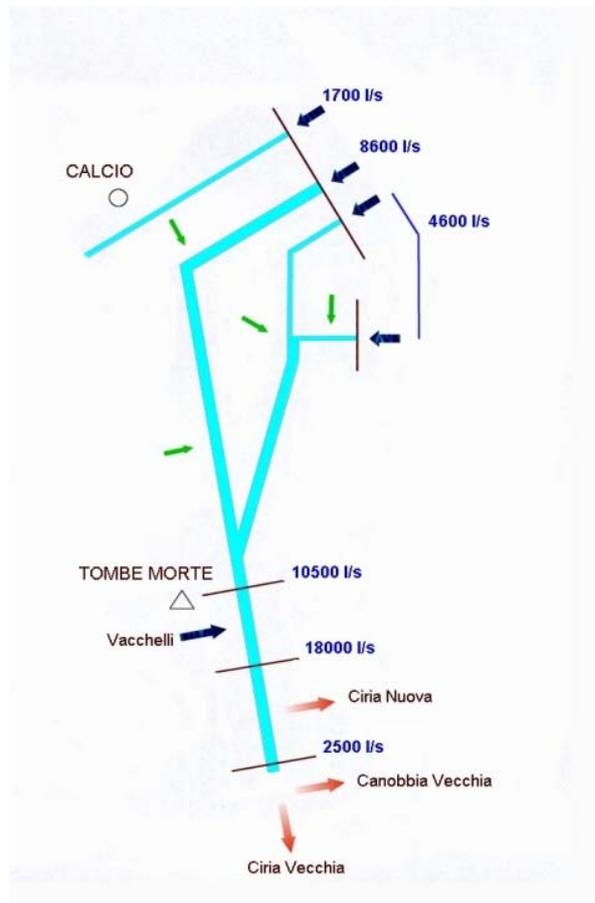


Fig. 29 - Schema della seconda zona della rete

In questa seconda zona gli ingressi sono costituiti da:

- 10,300 m<sup>3</sup>/s<sup>(1)</sup> dalle prese sull'Oglio del Naviglio Grande e della Calciana
- 4,600 m<sup>3</sup>/s<sup>(1)</sup> dalle prese dei cavi Molinara e Suppeditazione
- 4,400 m<sup>3</sup>/s<sup>(4)</sup> dai fontanili principali, ovvero il cavo delle Fontane, il Naviglietto di Calcio e il Bobbio-Grumella, che sono rappresentati dalle frecce verdi

per un totale di circa 19,300 m<sup>3</sup>/s. In questa quantità è presente anche il contributo della Calciana e per questo tra le uscite non potrà ovviamente essere omessa la portata in essa circolante; detto ciò possiamo individuare la portata uscente per erogazione delle bocche in:

- 3,7 m<sup>3</sup>/s<sup>(2)</sup> dal Naviglio Grande
- 1,500 m<sup>3</sup>/s<sup>(2)</sup> dal Naviglio Nuovo
- 0,35 m<sup>3</sup>/s<sup>(2)</sup> dal cavo Molinara.

Dalle prese sull'Oglio fino a Genivolta la portata uscente si aggira quindi sui  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; è importante segnalare che, come per il canale Vacchelli, anche in questo caso il Naviglio Grande non smaltisce acqua nel relativo scaricatore in quanto stiamo affrontando il nostro studio riferendoci alla stagione irrigua; a questa portata vanno aggiunti gli  $1,700 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  che la Calciana eroga durante il suo corso.

Immediatamente a monte di Genivolta si arriva al “nodo idraulico” di Tombe Morte in cui il Naviglio Grande riceve in ingresso una portata di circa  $7,300 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$  dal canale Vacchelli; oltrepassato lo snodo il Naviglio Grande eroga circa  $1,300 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$  alle sue bocche e arriva immediatamente a monte della presa della Ciria Nuova con una portata che si aggira sui  $18 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$ . A questo punto  $12,500 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  alimentano la Ciria e a valle, presso Mirabello transitano all'incirca  $4 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  dei quali  $0,400 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  danno origine alla Canobbia Vecchia e  $1,800 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  alla Ciria Vecchia; i restanti  $1,800 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$  vengono distribuiti alle ultime bocche del Naviglio Grande.

### **4.2.3 Analisi dei flussi nella terza zona**

Questa zona, raffigurata in azzurro nella mappa principale, rappresenta la parte terminale della rete del Consorzio ed è quindi caratterizzata da canali di carico inferiore che finiscono il loro corso scaricando le acque nei colatori; la parte iniziale di questa zona è situata laddove il Naviglio Grande finisce e dà origine ai canali Ciria Nuova, Canobbia Vecchia e Ciria Vecchia.

Gli ingressi sono quindi tre:

- $12,500 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  derivati dalla Ciria Nuova
- $0,400 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  derivati dalla Canobbia Vecchia
- $1,800 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  derivati dalla Ciria Vecchia.

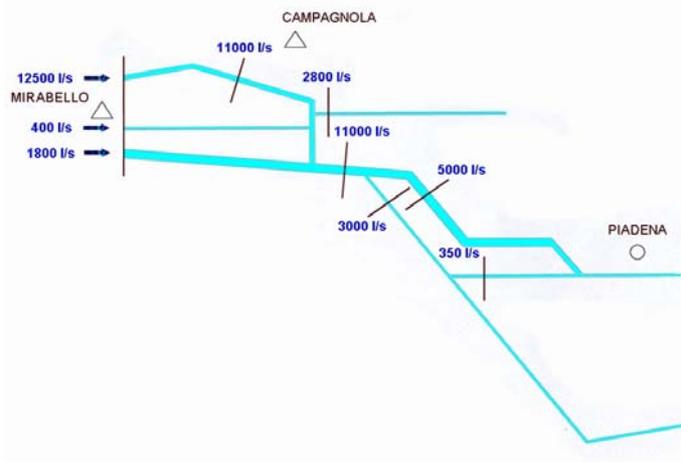


Fig. 30 - Schema della terza zona della rete

Dopo che la Ciria Nuova ha erogato  $2 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  alle utenze, arriva in località Campagnola con una portata di circa  $11 \text{ m}^3/\text{s}^{(3)}$ ; procedendo oltre si arriva alla confluenza con la Canobbia Nuova, a cui la Ciria fornisce una quantità d'acqua pari a circa  $2,300^{(2)} \text{ m}^3/\text{s}$ . Non ci soffermiamo sull'andamento dei flussi idrici nella Canobbia Nuova in quanto è un canale cieco che finisce nello scaricatore Sivera. A questo punto la Canobbia Vecchia scarica la sua poca portata terminale nella Ciria Nuova; parallelamente la Ciria Vecchia eroga circa  $0,300 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  alle sue bocche e quindi arriva a congiungersi con la Ciria nuova. Subito a valle di tale confluenza abbiamo una portata di circa  $11 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$ ; di essi circa  $7,7 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$  alimentano le bocche fino al termine del canale e  $3 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$  vengono derivati dal Nuovo Delmona. Quest'ultimo canale non verrà preso in seria considerazione, ma è comunque opportuno ricordare che fornisce  $350 \text{ l/s}^{(2)}$  al Diversivo Maggio, il quale più a valle raccoglie anche le acque residue della Ciria Vecchia, difficilmente quantificabili a causa dell'assenza di misuratori di portata. Il dato di  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  d'acqua entrante nel Nuovo Delmona presenta un certo grado di incertezza in quanto, non essendoci alcun dispositivo di misura alla presa, è stato stimato sulla base di esperienze passate; una situazione simile la troviamo anche alla presa della Canobbia Vecchia e nella parte finale della Ciria Vecchia.

#### 4.2.4 Un commento alla situazione attuale

Alla luce dell'analisi appena compiuta è necessario unire i risultati ottenuti al fine di averne una visione globale per poi fare le opportune considerazioni a riguardo.

Per prima cosa occorre ricordare che la tesi su cui ci siamo basati per analizzare i flussi idrici che percorrono i canali irrigui della rete del Consorzio ha stimato i valori di portata in modo sperimentale, in particolare attraverso un metodo di ottimizzazione proprio di uno specifico software. Di conseguenza, anche se i valori ottenuti sono risultati abbastanza attendibili con la realtà, è tuttavia ovvio il loro grado di incertezza e la loro, se pur minima, aleatorietà. Per esempio, la comparazione tra i dati sperimentali e quelli relativi a misure reali effettuate in varie circostanze passate ha portato a risultati a volte molto contrastanti; ciò è dovuto alla quantità di fattori che possono intervenire a modificare le condizioni della rete soprattutto qualora non si disponga di un adeguato metodo di misura. Infatti fino ad ora la maggior parte delle misure di portata effettuate ha avuto come punto di debolezza non tanto l'affidabilità, quanto la temporaneità; qualora si volesse rifare una nuova campagna di misure a fronte di dubbi sull'affidabilità della precedente, infatti, occorrerebbe un ingente dispendio di tempo e personale; ciò non permetterebbe di avere una buona stima dei valori interessati in quanto verrebbe a mancare l'istantaneità e di conseguenza la continuità nelle misure effettuate; solo disponendo di un'adeguata rete di dispositivi di misura permanenti si riuscirebbe a risolvere, almeno in parte, questi problemi e ad avere sotto controllo in modo continuo il bilancio idrico della rete, rendendolo di conseguenza più attendibile.

Un altro aspetto di cui bisogna tenere conto nella valutazione dei risultati ottenuti è legato alla caratteristica di temporaneità di cui abbiamo appena parlato; i dati in nostro possesso, infatti, risalgono alla stagione irrigua 2001, ma da allora sono avvenuti cambiamenti strutturali all'interno della rete e attualmente ne sono in corso altri (per esempio la dismissione del cavo Bolla) e di conseguenza, per poterne tenere conto, abbiamo fatto ricorso a delle approssimazioni.

Inoltre occorre sottolineare che la tesi di riferimento era finalizzata ad obiettivi diversi dai nostri, cosicché sono state trascurate alcune parti della rete per noi di primario interesse, vedi il Naviglio Nuovo, i cavi Molinara e Suppeditazione oltre alla parte terminale della rete comprendente i canali Diversivo Magio, Nuovo Delmona e il tratto finale della Ciria Vecchia. Per sopperire a queste lacune abbiamo cercato di azzardare alcune ipotesi senza però avere nessun elemento di confronto che potesse validarle.

Infine è opportuno dire che se si cerca di effettuare un bilancio idrico con i valori di portata citati in precedenza si noterà chiaramente che i conti non tornano; senza effettuare misure di portata tramite mulinelli è quindi impossibile avere un'idea sull'entità dei flussi che percorrono i canali della rete, ma è anche impensabile effettuare campagne di misura, che sono lunghe e laboriose, ogni volta che si desidera monitorare la situazione.

Per tutti questi motivi abbiamo pensato di analizzare le zone più critiche della rete e ivi pianificarne una serie di misuratori permanenti con la speranza di poter disporre di uno strumento di misura più efficace; l'obiettivo è quello di poter controllare l'andamento globale delle portate istantaneamente e continuamente; per la scelta delle sezioni caratteristiche d'installazione e del tipo di misuratore si rimanda ai successivi capitoli.

# **Capitolo 5 – Progetto dei misuratori di portata**

In questo capitolo affronteremo il tema centrale della nostra tesi ovvero la ricerca delle sezioni caratteristiche in cui installare dispositivi di misura permanenti, la cui determinazione del numero e del tipo dipende dalle diverse situazioni che si possono presentare e dalle relative caratteristiche. Inizialmente prenderemo in esame i problemi emersi a seguito del bilancio idrico effettuato e sulla base di questi proporrò la pianificazione di una rete di misuratori; fatto ciò valuteremo le condizioni idrauliche di ognuna delle sezioni individuate, cosa che ci aiuterà nella scelta del tipo di dispositivo da installare, e, qualora ci fossero più alternative possibili, la scelta sarà dettata da considerazioni di carattere tecnico ed economico, tramite cioè un'analisi costi-benefici. Una volta scelto il dispositivo da installare si effettuerà, caso per caso, un computo metrico estimativo in modo da avere un'idea del costo totale della pianificazione che proponiamo; in allegato forniremo uno o al massimo due esempi di progetti di massima completi per ognuno dei tre tipi di misuratori presi in esame

## **5.1 Pianificazione della rete di misuratori**

Dopo aver analizzato i vari tratti della rete del Consorzio da un punto di vista idraulico e sulla base dei commenti effettuati successivamente, cerchiamo ora di individuare quelle sezioni da considerare come rappresentative di una rete di misuratori permanenti in grado di descrivere in modo soddisfacente il bilancio idrico che ci siamo prefissati; la scelta di tali sezioni è stata compiuta sulla base di considerazioni prettamente logistiche e di ottimizzazione, non dimenticando, ovviamente, l'aspetto economico.

In questa sede ci limiteremo ad individuare i punti strategici di intervento, senza tuttavia valutare la scelta del tipo di dispositivo da installare, di cui forniremo alcuni esempi nei successivi capitoli; infatti tale scelta sarà dettata da considerazioni minuziose derivanti dalla geometria dei

canali e dall'inquadramento topografico dell'area in esame, possibile unicamente a seguito di un dettagliato rilievo plano-altimetrico.

Come abbiamo già ricordato, possiamo trovare una scala di portata alla presa del canale Vacchelli sul fiume Adda; ma è ormai noto che il funzionamento di un simile dispositivo è legato fortemente alla scabrezza del canale. Entrando nel dettaglio, la crescita di vegetazione subacquea e la presenza di materiale che si accumula ostruendo il moto dell'acqua influenzano negativamente l'affidabilità delle misure; dato che per un lungo tratto il Vacchelli non è rivestito artificialmente (e quindi presenta fondo e pareti in terra) questa possibilità è molto concreta.

Oltre a questa prima importante considerazione, va sottolineata l'importanza del canale Vacchelli; esso infatti preleva dall'Adda i 2/3 dell'acqua in concessione al Consorzio e per questo necessita di un costante e preciso controllo affinché alla presa entri la quantità d'acqua stabilita, né di più (per rispettare i limiti di concessione), né di meno. Inoltre si sottolinea che le perdite di condotta, stimate in circa 5 l/s km  $m_{pb}$  ( litri al secondo per chilometro per metro di perimetro bagnato), sono fortemente influenzate dall'andamento stagionale della falda freatica e quindi possono discostarsi notevolmente, in senso "favorevole", al suddetto valore stimato nella stagione irrigua 2003, caratterizzata da assoluta mancanza di precipitazioni e quindi dalla massima soggiacenza della piezometria (Bassi-Zoni, 2003).

Per tutti i motivi descritti la scala di portata non è sufficientemente affidabile nel tempo e quindi è necessario un dispositivo fisico di misura che fornisca indicazioni precise sulla quantità d'acqua entrante nel canale.

Seguendo il corso del Vacchelli, notiamo che in prossimità del fiume Serio il ponte canale è rivestito totalmente (e quindi non si sviluppa una vegetazione subacquea significativa) e il moto dell'acqua è prossimo all'uniforme; tuttavia non ci sembra opportuno progettare un dispositivo di misura in quanto fino a questo punto il canale non presenta significativi scambi idrici. La scelta ricade quindi nella costruzione di una scala di portata che ci permetta di controllare la situazione a fronte di un minimo dispendio economico e di tempo; il procedimento consisterà nell'effettuare una serie di misure di portata tramite mulinello e associare i valori trovati ad uno specifico battente. Una volta in possesso della quantità sufficiente di dati si costruirà un grafico livelli-portate la cui affidabilità, date le condizioni ideali, persisterà nel tempo.

A valle del primo impinguamento del Naviglio Civico da parte del Vacchelli, quest'ultimo ha già erogato una buona quantità d'acqua (circa il 40%); ciò ci ha indotto a prevedere un misuratore a

valle di Salvirola per avere una sezione di controllo e, al tempo stesso, per conoscere la quantità d'acqua che fluirà verso la parte terminale del canale.

Prima di arrivare all'importante nodo idraulico di Tombe Morte, il Vacchelli fornisce acqua alle sue bocche, al suo primo diramatore e al cavo Geronda; mentre le bocche dispongono tutte di un proprio misuratore, diverso è il caso degli altri due corpi idrici ricettori. Il diramatore non dispone di dispositivi ma è rivestito ed è caratterizzato da sezioni regolari, nonché da bocche perfettamente monitorate che permettono di conoscere i volumi d'acqua che vi fluiscono; il caso della Geronda è un po' più complesso in quanto è un canale con caratteristiche idrauliche non del tutto regolari (presenta, ad esempio, tratti non rivestiti) e per cui è necessario conoscere la portata che l'alimenta; per questo motivo abbiamo previsto l'installazione di un misuratore permanente alla sua presa.

Le ultime dispense irrigue del Vacchelli sono: le bocche del tratto terminale, il Naviglio Civico e il Naviglio Grande. Come nel resto dei casi, tutte le bocche dispongono di un proprio misuratore; il Naviglio Civico non è gestito dal CIC, ma da un Consorzio proprio e per questo l'acqua che l'alimenta è misurata in modo preciso. Per quanto riguarda il Naviglio Grande, invece, non si conosce la portata in esso entrante dal Vacchelli a causa dell'assenza di dispositivi di misura alla presa e difficilmente la si può ricavare data la complessità idraulica della zona. Per risolvere questo problema ci affideremo a misure di portata non direttamente sul canale Vacchelli ma sul Naviglio Grande, come vedremo in seguito.

Spostandoci dalla parte dell'Oglio le principali derivazioni sono, come abbiamo già detto, quelle della Calciana, del Naviglio Grande e dei cavi Molinara e Suppeditazione; mentre il caso della prima è stato già affrontato precedentemente, fissiamo la nostra attenzione sugli altri ricettori. Il Naviglio Grande, come il Vacchelli, prevede una scala di portata alla sua presa, ma a differenza di esso le misure sono più affidabili in quanto il Grande presenta delle sezioni regolari e rivestite.

Il problema sussiste per i cavi Molinara e Suppeditazione; essi non dispongono di alcun strumento che misuri l'acqua alla presa e di conseguenza la regolazione delle paratoie ivi poste avviene secondo delle convenzioni; ciò rappresenta un limite perché in questo modo non si conosce esattamente la portata derivata con i problemi che ne potrebbero conseguire. Inoltre, oltre a problemi di gestione interna, conoscere esattamente l'acqua entrante nei due cavi permette anche di non superare le quantità massime concesse al Consorzio; per questo motivo entrambe le prese dovranno essere dotate di un misuratore permanente adeguato.

Molinara e Suppeditazione originano successivamente il Naviglio Nuovo, insieme al contributo di qualche fontanile, il quale confluisce nel Naviglio Grande a monte di Genivolta; a valle di questa confluenza è fondamentale conoscere la portata circolante anche per sapere quanta acqua arriva al nodo idraulico di Tombe Morte. Qui in realtà esiste già una scala di portata, ma la sua affidabilità è scarsa perché non c'è corrispondenza con le misure effettuate in varie circostanze mediante l'uso del mulinello; per questo motivo anche questa sezione verrà inglobata nella rete di misuratori permanenti che stiamo pianificando. Adottando questa scelta si è in grado di quantificare l'acqua che arriverà a Tombe Morte; qui l'unico scambio idrico che il Naviglio presenta è l'alimentazione del Vacchelli in quanto non ci sono bocche (perché il canale è basso) e il suo scolmatore, nella stagione irrigua, non è in funzione.

Come ci si potrebbe aspettare, un altro dispositivo verrà installato a valle dell'importante nodo idraulico; in questo modo, oltre a conoscere la portata del Naviglio Grande a valle di una zona complessa, è possibile dedurre anche il volume d'acqua con cui il Vacchelli alimenta il Grande, al punto da rendere superflua la progettazione di un misuratore anche alla fine del Vacchelli stesso.

Percorrendo il suo corso, il Naviglio Grande arriva alla presa della Ciria Nuova con una portata nota; quest'ultima deriva dal Grande una quantità idrica altrettanto nota, data l'affidabilità del misuratore presente. Dopo quest'ultima derivazione, il Naviglio Grande termina bipartendo la sua portata residuale tra la Canobbia Vecchia e la Ciria Vecchia, ma entrambe non dispongono di strumenti di misura fissi; per motivi gestionali e di ottimizzazione si è deciso di installare un dispositivo di misura alla presa di uno solo dei due canali, in particolare sulla Canobbia Vecchia poiché date le sue ridotte dimensioni richiederà un impegno economico minore; quindi la portata alla presa della Ciria Vecchia verrà ricavata per differenza. Tuttavia il misuratore sulla Canobbia Vecchia verrà installato nel suo tratto terminale al fine di sfruttare un salto d'acqua e poter quindi progettare una scala di portate con conseguenti risparmi economici; ciò è possibile anche perché il canale alimenta un'unica bocca.

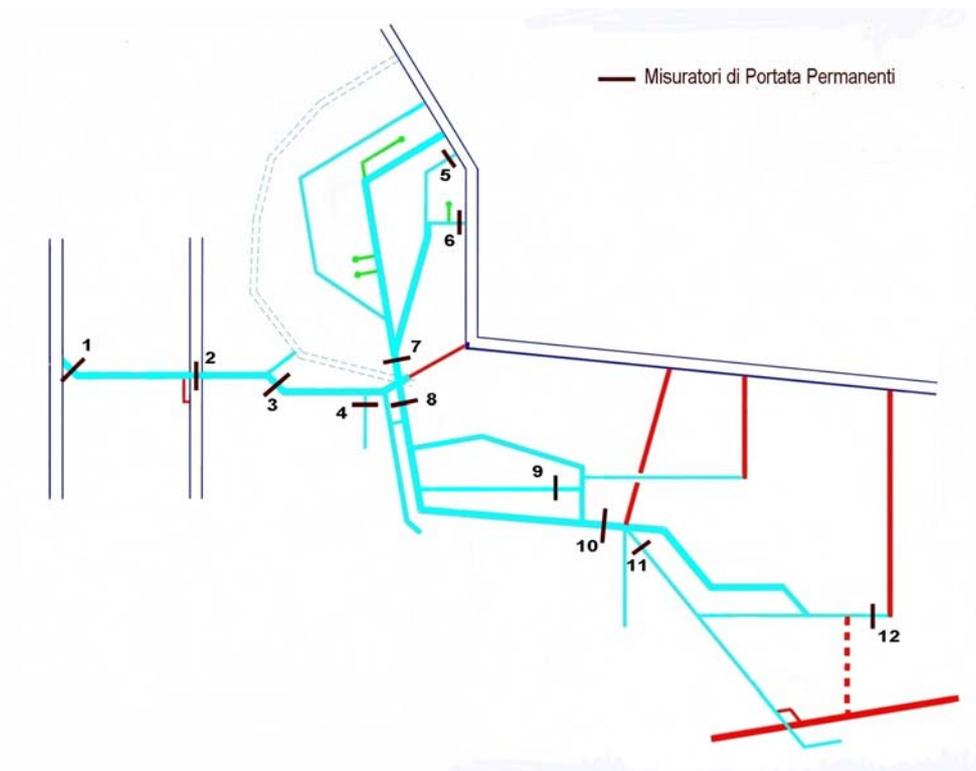
La Ciria Nuova alimenta poi la Canobbia Nuova, quest'ultima già dotata di un misuratore, per poi confluire, insieme alla Canobbia Vecchia, nella Ciria Vecchia; a valle di questa confluenza ci è sembrato opportuno prevedere l'installazione di un altro dispositivo al fine di disporre di una sezione di controllo per avere un'idea sull'entità delle portate circolanti negli ultimi canali della rete del Consorzio.

A valle di questo punto la Ciria Vecchia alimenta il cavo Quistra e il Nuovo Delmona, ma mentre al primo fornisce una portata esigua e nota, il secondo deriva circa  $3 \text{ m}^3/\text{s}^{(4)}$ ; tuttavia data

l'incertezza del dato e l'importanza del canale, verrà previsto un misuratore permanente anche alla sua presa; il Nuovo Delmona origina in seguito il Diversivo Magio con una portata misurata mentre la Ciria Vecchia, dopo aver impinguato le sue ultime bocche, scarica le sue acque nel Diversivo Magio. Questo è l'ultimo canale della rete e la conoscenza della sua portata terminale è fondamentale al fine di chiudere il bilancio idrico della rete stessa e poter quindi controllare la sua veridicità; per questo l'ultimo dispositivo previsto sarà collocato nei pressi dello scaricatore di Piadena di prossima costruzione, poco a monte dello scolmatore di S.Paolo.

### 5.1.1 Commento

La rete di misuratori permanenti appena pianificata è schematizzata in figura, dove i punti della rete sono indicati da tratti di colore nero:



Lo stesso schema lo si può trovare in formato più ampio in fondo alla tesi (allegato 3); come si può notare si tratta di installare 12 dispositivi dislocati in altrettanti punti particolari della rete, opportunamente scelti; ricordiamo che lo scopo del nostro lavoro è quello di poter effettuare in modo corretto ed esaustivo un bilancio idrico della rete al fine di ottimizzare la gestione interna della stessa; a questo proposito crediamo che questi 12 misuratori, uniti a quelli già presenti (allegato 4) siano assolutamente sufficienti per riuscire a soddisfare i nostri obiettivi dandoci un quadro generale dell'andamento dei flussi idrici e quindi permettendoci di verificare il mantenimento dei giusti equilibri all'interno della rete.

Uno degli obiettivi del bilancio idrico di una rete, però, è anche quello di valutare l'efficienza della stessa, ovvero individuare i tratti caratterizzati da maggior scabrezza e procedere con una certa celerità ad operazioni di pulizia; più i canali sono puliti, maggiore è l'efficienza di distribuzione dell'acqua in quanto essa non rallenta il suo corso e mantiene il moto pressoché uniforme, dissipando meno energia.

Inoltre un aumento di scabrezza comporta anche fenomeni di rigurgito localizzati, ovvero innalzamenti di livello del pelo libero causati dall'ostruzione al moto da parte di materiale presente sul fondo, soprattutto vegetazione. Tale fenomeno può essere anche pericoloso qualora fosse talmente accentuato da causare esondazioni; la sua determinazione è quindi assai importante per motivi sia di efficienza, sia di protezione idraulica dei territori adiacenti ai canali.

Il progetto della rete di misuratori che abbiamo effettuato non è, tuttavia, indirizzata a soddisfare questo obiettivo, poiché il nostro scopo è essenzialmente quello di stabilire con una certa precisione e continuità l'entità delle portate che circolano in tutta la rete; per stabilire se essa sia anche in grado di risolvere il problema legato all'evoluzione dell'efficienza idraulica della rete, bisogna valutare quali siano i fenomeni osservabili indotti dalla crescita della vegetazione acquatica e se i misuratori così posizionati possano fungere da utile monitoraggio. Poiché l'aumento della scabrezza di un canale a corrente lenta provoca un profilo di rigurgito che si estende verso monte e che è il principale segnale della ridotta efficienza idraulica nella sezione (o meglio nel tratto), ci si deve chiedere quali possano essere le distanze medie dove tali profili si manifestano, cioè quale sia la distanza tra il punto di massimo innalzamento e il punto a monte di esso in cui si inizia a risentire dell'influenza del rigurgito stesso. Prima di quest'ultimo punto il battente è quello caratteristico del moto uniforme e di conseguenza, al fine di individuare la posizione del rigurgito, sarebbe opportuno avere uno strumento di misura della portata che si trovi all'interno del tratto di variazione del moto. Soltanto quando il profilo di rigurgito raggiunge, "risalendo" la corrente, il misuratore è possibile

trarre utili indicazioni per valutare l'efficienza della rete. A questo punto occorre fornire una breve trattazione per il calcolo della lunghezza di un rigurgito.

### **5.1.1.1 Calcolo della lunghezza di un rigurgito**

In Idraulica il calcolo della lunghezza di un rigurgito è un procedimento tutt'altro che semplice e spesso si deve ricorrere ad approssimazioni talvolta notevoli; basti pensare che nel caso di alvei a debole pendenza, come possono essere i canali irrigui, la causa che ha dato origine alla perturbazione (la cui conseguenza è appunto il rigurgito) si estende a monte all'infinito, almeno in linea teorica. Ovviamente nella pratica si dovrà ricorrere a delle semplificazioni al fine di riuscire ad effettuare una procedura di calcolo; dall'Idraulica sappiamo che i profili di moto permanente sono analiticamente rappresentabili dall'equazione differenziale:

$$de/ds = i - \lambda \quad (22)$$

dove  $s$  è la coordinata spaziale proiettata nel senso del moto,  $e$  rappresenta la distanza della linea dei carichi totali dal fondo dell'alveo,  $i$  la pendenza dello stesso e  $\lambda$  individua le perdite di carico distribuite; dato che sia  $e$  sia  $\lambda$  sono funzioni di  $h$ , cioè della quota del pelo libero dal fondo, la precedente espressione si può scrivere come:

$$ds = \frac{de}{dh} \cdot \frac{dh}{i - \lambda} \quad (23)$$

L'integrazione dell'equazione dovrebbe quindi fornire un'espressione di  $s$  in funzione della profondità, definendo quindi l'andamento del profilo; tuttavia l'integrazione è valida solo per sezioni molto semplici (ad esempio rettangolare o triangolare) e anche per esse si è mantenuto costante, cioè indipendente dalla profondità, il coefficiente di Chézy,

semplificando troppo l'analisi; di conseguenza l'espressione non dà luogo, a rigore, a soluzioni del tutto esatte, nemmeno per i pochi casi per cui è stata integrata.

A questo punto i procedimenti risolutivi che portano al tracciamento dei profili delle correnti permanenti sono di due categorie: o si introducono nell'equazione delle espressioni approssimate dei vari termini in funzione di  $h$  oppure si ricorre al metodo per differenze finite, su cui poniamo ora la nostra attenzione.

Se  $e_i, e_{i+1}, \lambda_i$  e  $\lambda_{i+1}$  sono i valori che assumono la distanza della linea dei carichi totali dal fondo e le perdite distribuite rispettivamente nella sezione iniziale (a monte) e in quella terminale (a valle) di un tratto di corrente lungo  $\Delta s$ , lungo cui la profondità subisce la variazione  $\Delta h = h_{i+1} - h_i$ , l'equazione fornisce:

$$\Delta s = \frac{e_{i+1} - e_i}{i - \frac{(\lambda_{i+1} + \lambda_i)}{2}} \quad (24)$$

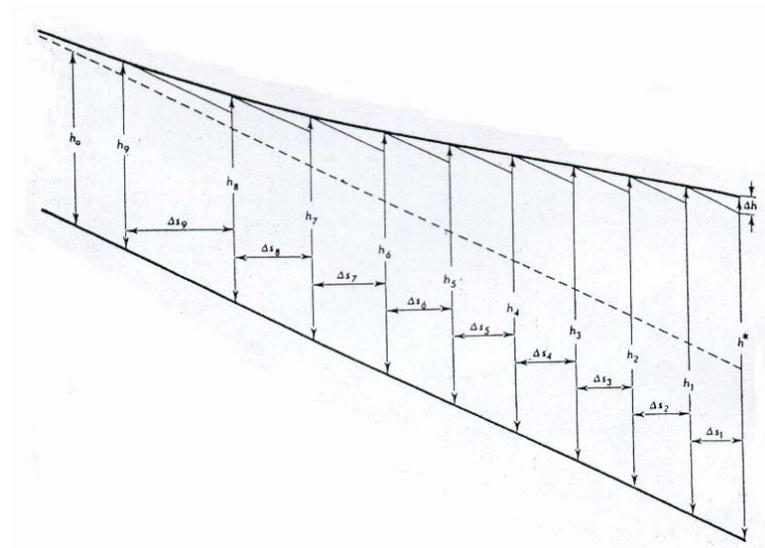
Il tentativo è quello di applicare il procedimento analitico al caso reale caratterizzato dal rigurgito di una corrente lenta a monte di un ostacolo, nel nostro caso rappresentato dalla crescita di vegetazione subacquea o dalla presenza sul fondo di materiale ostruente il moto; data quindi la profondità  $h_r$  riferita all'altezza di massimo rigurgito e quella  $h_0$  di moto uniforme, basta in generale suddividere l'intervallo  $h_r - h_0$  in un adeguato numero di parti di grandezza decrescente verso monte. Nel calcolo relativo ad ogni sottointervallo individuato compaiono sempre le perdite distribuite, che dipendono dal raggio idraulico  $R$ , dall'altezza  $h$ , dal coefficiente di scabrezza  $C$ , dall'area bagnata  $A$  e dalla velocità media  $V$ ; nel calcolo si utilizzeranno le medie di questi valori calcolate tra le due sezioni estreme dell'intervallo.

Quando le velocità sono limitate, come nel caso dei nostri canali irrigui, possiamo sostituire  $e$  con  $h$  in quanto il termine  $V^2/2g$ , riferito all'altezza cinetica, diviene irrilevante e quindi trascurabile e la formula per il calcolo dei tratti di lunghezza  $\Delta s$  diviene:

$$\Delta s = \frac{\bar{h}_{i+1} - \bar{h}_i}{i - (\bar{\lambda}_{i+1} + \bar{\lambda}_i)/2} \quad (25)$$

In generale però, occorre verificare che l'altezza cinetica non superi il 5% della profondità nella sezione in cui  $h = h_0$ ; solo in questo caso la sostituzione di cui sopra è accettabile; a questo punto abbiamo calcolato le lunghezze dei singoli tratti che costituiscono l'intervallo totale e il passo successivo sarà quello, ovvio, di sommare i contributi ottenendo così la lunghezza del rigurgito.

Il procedimento descritto è rappresentato in figura:



Il metodo descritto è decisamente complesso e laborioso oltre che non del tutto preciso, sia per l'adozione di semplificazioni, sia per la mancanza di sufficienti riscontri con la realtà; per i nostri scopi è quindi sufficiente citare il modello di *Poirée* la cui rappresentazione si scosta dall'andamento reale per varie ragioni, ma è in grado di fornirci in prima approssimazione un'indicazione di massima sulla lunghezza di un rigurgito.

Considerando tale modello, una sezione rigurgitata è caratterizzata da un'**ampiezza idrostatica**, la cui determinazione è possibile mediante la seguente formula:

$$a = (h_r - h_0) / i \quad (26)$$

dove:

$h_r$  = altezza dell'acqua nella sezione di massimo rigurgito

$h_0$  = altezza di moto uniforme

$i$  = pendenza media dell'alveo

Secondo Poirée, ad una distanza pari al doppio dell'altezza idrostatica dal punto di massimo rigurgito, quest'ultimo è di norma molto ridotto e conseguentemente possiamo assumere:

$$l_r = 2a \quad (27)$$

con:

$l_r$  = lunghezza del rigurgito

$a$  = ampiezza idrostatica.

Per verificare se la nostra pianificazione è adatta anche ad individuare eventuali rigurgiti, facciamo un esempio prendendo in esame il canale Vacchelli; esso, infatti, è pensile per alcuni tratti ed è caratterizzato da una minima pendenza e da una portata elevata e per questo rappresenta quello più a rischio di esondazioni, oltre ad essere il più soggetto a crescita di vegetazione subacquea in quanto è, per lunghi tratti, non rivestito. Il canale in esame presenta mediamente:

$$h_r - h_0 = 0,50 \text{ m}$$

$$i = 0,00036;$$

Da questi dati ne deriva che l'ampiezza idrostatica è di circa 1600 metri e quindi la lunghezza la propagazione del rigurgito arriva a circa 3200 metri a monte del punto di massimo rigurgito. Dato che abbiamo considerato uno dei casi peggiori, si può dedurre che nella rete del Consorzio i profili di rigurgito non superano mai i 3500-4000 metri e la loro individuazione è quindi impensabile con la rete di dispositivi di misura permanenti da noi pianificata; tuttavia, è altrettanto impensabile installare dei misuratori a così poca distanza tra di loro in quanto si andrebbe incontro a costi altissimi; la soluzione più adatta all'individuazione dei profili di rigurgito non ricade nella

costruzione di misuratori fissi, bensì nell'applicazione di un opportuno modello matematico che descriva con buona approssimazione la realtà.

## **5.2 Progetti realizzati**

### **5.2.1 Scelta del tipo di misuratore**

In questa sede fissiamo la nostra attenzione su ciascuno dei punti individuati come strategici e ne metteremo in risalto i dettagli tecnici di intervento spiegandone le motivazioni. Il procedimento è quasi sempre così schematizzabile:

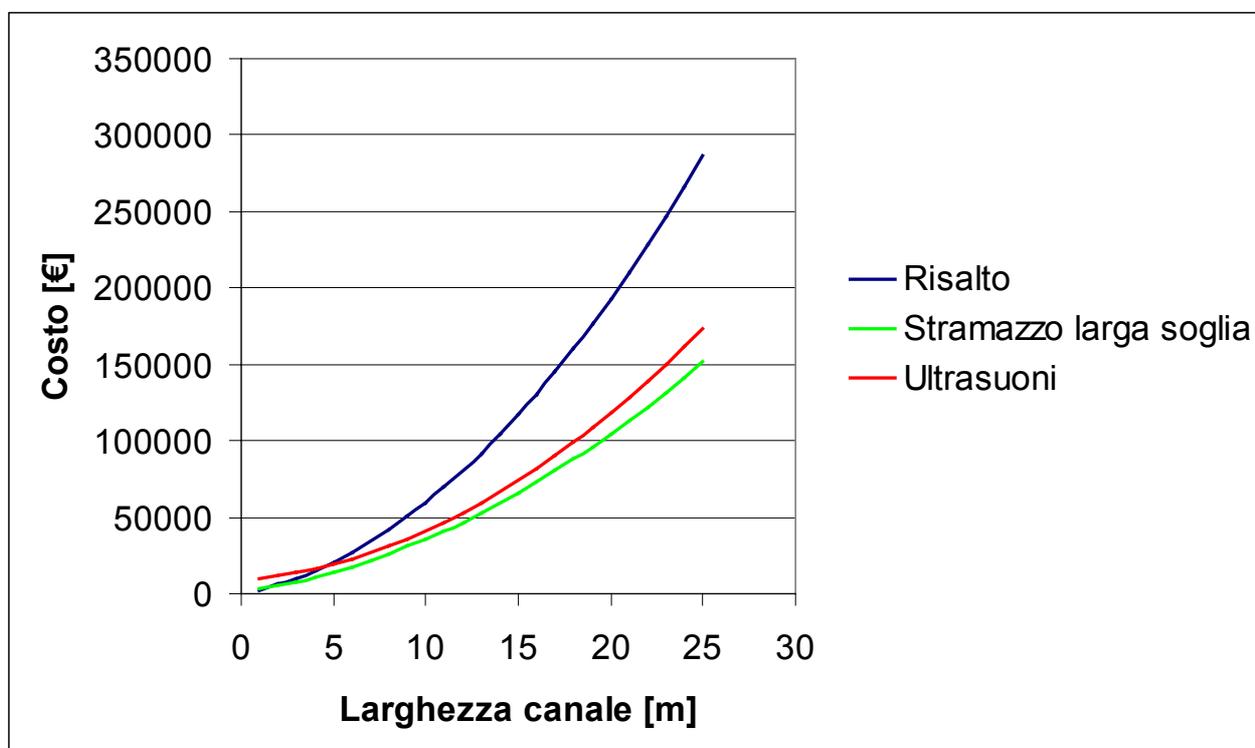
- Visita al sito in esame
- Rilievo plano-altimetrico
- Ricostruzione del rilievo in formato elettronico e/o cartaceo
- Analisi idraulica
- Scelta del tipo di misuratore da installare
- Stima di massima dei costi di esecuzione (computo metrico estimativo)

Come vedremo nelle singole trattazioni che seguono, non in tutti i casi è stato necessario seguire tutte le fasi appena elencate; per esempio dei canali Vacchelli e Naviglio Grande, di cui il Consorzio possiede i dati relativi a numerose sezioni, abbiamo evitato di compiere i rilievi nei punti da noi pianificati situati sui due canali principali della rete del Consorzio; in ogni caso, comunque, spiegheremo il procedimento seguito.

Mentre in alcuni casi la scelta del tipo di misuratore, come vedremo, è univoca, in altri le condizioni idrauliche consentono di avere delle alternative, il che è sempre conveniente; in questi casi tuttavia occorre avere a disposizione dei criteri di scelta che diano una certa garanzia di attendibilità; ciò che abbiamo pensato di fare è costruire una curva per ogni tipo di dispositivo che

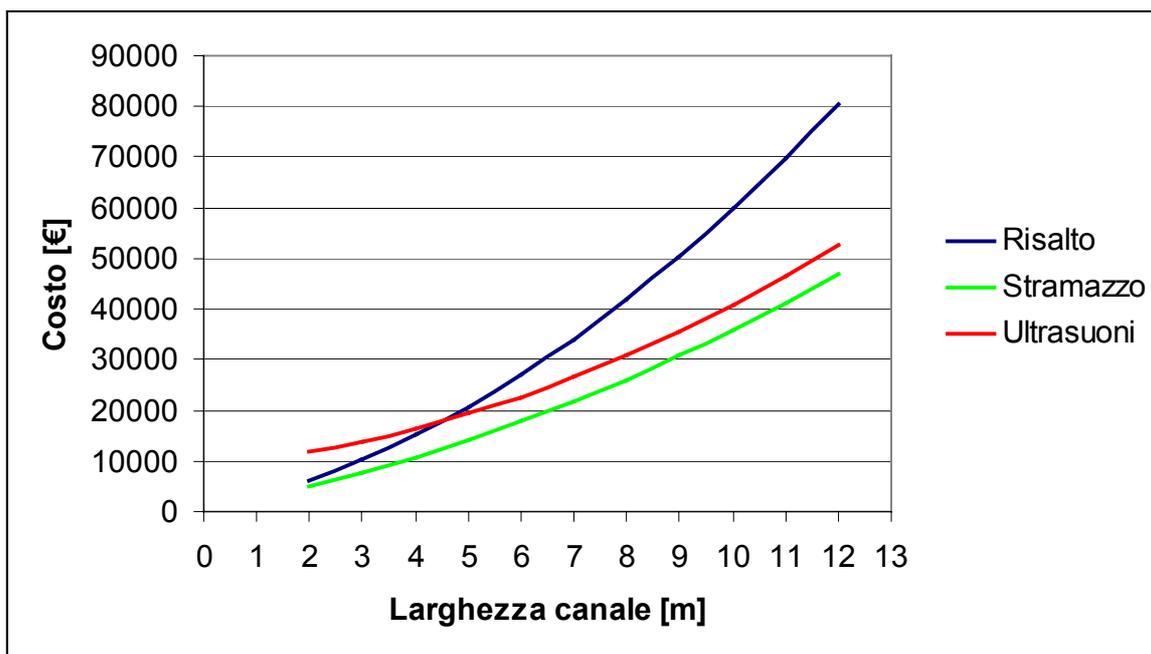
valuti l'andamento dei costi di realizzazione al variare della larghezza del canale. La scelta di parametrizzare questa grandezza geometrica è dovuta a ragioni di carattere puramente pratico: in primo luogo essa è la dimensione soggetta ad effettive nonché significative variazioni in quanto l'altezza dei canali è più o meno sempre la stessa, indipendentemente dalla larghezza; secondariamente, tra le grandezze potenzialmente assumibili come parametri (un'altra è, ad esempio, l'area bagnata) è indubbiamente quella più facilmente gestibile.

La costruzione di tali curve è avvenuta a seguito di un processo assai complesso di parametrizzazione di tutte le voci di costo rispetto alla larghezza del canale; quest'ultima è stata fatta variare tra il valore minimo di 1 m e quello massimo di 25 m (quest'ultimo raggiunto solo alla presa del canale maggiore, il Vacchelli). La parametrizzazione citata è stata eseguita a partire da un caso reale e prima di essere stata considerata come attendibile si è effettuato un confronto con alcuni computi metrici seguenti; ciò che è emerso è che, pur mantenendo costanti alcuni valori standard di costruzione, come è ovvio che sia, l'ordine di grandezza dei risultati ottenuti è assimilabile a quello dei valori reali in modo decisamente accettabile. Ogni voce di costo è stata moltiplicata per il relativo prezzo unitario, la cui fonte è rappresentata dal Bollettino Ufficiale della regione Lombardia dell'anno 2003; il risultato grafico ottenuto è il seguente:

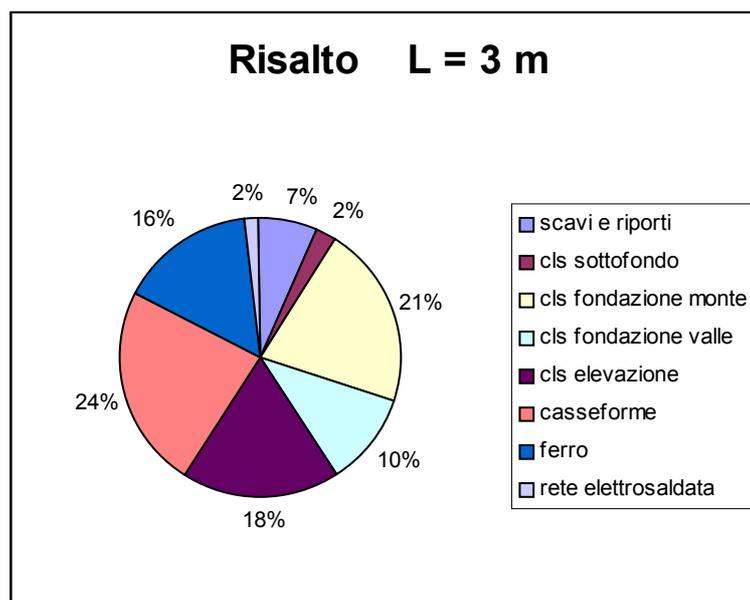


Osservando il grafico occorre necessariamente fare una considerazione: esso diviene molto utile qualora sussistano condizioni tali per cui è possibile la scelta tra almeno due dispositivi; in questo caso il grafico dà indicazioni sull'ordine di grandezza dei costi a cui si andrà incontro scegliendo l'una o l'altra ipotesi; conseguentemente non è corretto sostituire la stesura del computo metrico estimativo con una semplice lettura dei valori dal grafico. Dopo questa dovuta precisazione, possiamo interpretare i risultati grafici; la prima cosa che si nota è il diverso andamento dei costi del misuratore a risalto rispetto a quelli degli altri due tipi, le cui curve sono proporzionali. Ciò è dovuto alle dimensioni del misuratore unite alle sue caratteristiche costruttive; se il notevole divario di costi con il misuratore a stramazzo è causato essenzialmente dalle differenti aree occupate (molto maggiore quella del misuratore a risalto), la differenza sostanziale con i dispositivi ad ultrasuoni sta nelle caratteristiche costruttive: il rivestimento di questi ultimi è infatti necessario solo per regolarizzare la sezione e fare in modo che attraverso di essa l'acqua abbia un moto il più vicino possibile all'uniforme; di conseguenza non è necessario costruire muri verticali armati, con ovvio risparmio sul ferro e sullo spessore del rivestimento in calcestruzzo. Tuttavia c'è da considerare che un misuratore ad ultrasuoni è soggetto a frequenti operazioni di pulizia al fine di garantirne il corretto funzionamento; inoltre il rischio di danneggiamento da parte di atti vandalici è sicuramente maggiore.

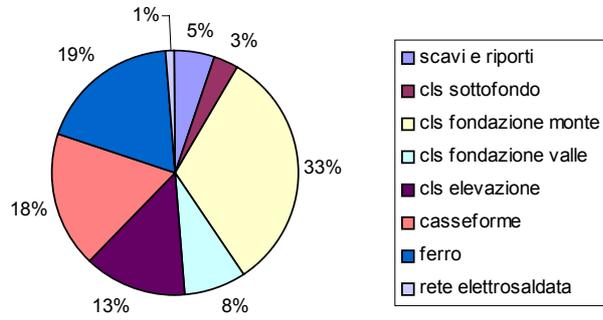
Riportiamo ora lo stesso grafico illustrato in precedenza ma maggiormente dettagliato, ovvero con i valori di larghezza compresi tra 2 m e 12 m, intervallo più diffuso tra i canali della rete del Consorzio:



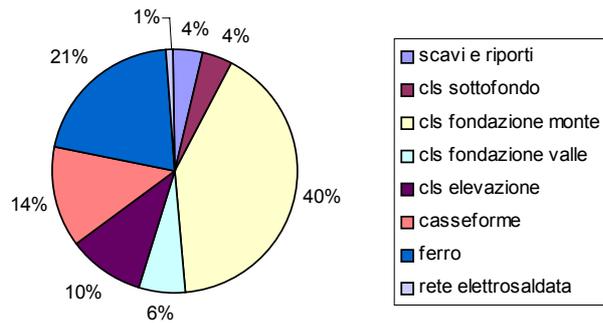
Cerchiamo ora di dare un'interpretazione ai risultati ottenuti anche con l'ausilio di grafici che mostrino l'incidenza delle singole voci di costo sul totale; inoltre va fatta una premessa: le considerazioni che seguono, legate al confronto tra tipologie di misuratori, sono valide qualora si possa scegliere tra più alternative. Vediamo che per canali molto stretti la soluzione meno conveniente dal punto di vista economico è sicuramente il misuratore ad ultrasuoni in quanto incidono in modo pesante i costi fissi, rappresentati soprattutto dallo strumento, ma anche dall'energia e dalla costruzione dei pozzetti nonché della cabina atta al ricovero dell'unità elettronica di elaborazione dei dati. Muovendoci lungo l'asse delle larghezze notiamo che presto la situazione cambia radicalmente in quanto i costi del misuratore a risalto aumentano, in proporzione, molto di più rispetto a quelli degli altri due tipi di dispositivi al punto da renderlo poco conveniente, sempre dal punto di vista economico. Escludendo dalle considerazioni il misuratore a stramazzo in virtù della regolarità del suo andamento, procediamo notando che nel caso limite ( $L = 25$  m) il divario tra i costi del risalto e quelli di un dispositivo ad ultrasuoni diventa molto ampio; ricordando che l'impiego di calcestruzzo per la costruzione del primo è nettamente superiore rispetto al secondo e in più è anche armato con barre d'acciaio, vediamo l'incidenza dei vari costi sul totale nel misuratore a risalto. I grafici che seguono si riferiscono a larghezze campione scelte non a caso, in particolare 3 m, 6 m, 10 m e il caso limite di 25 m.



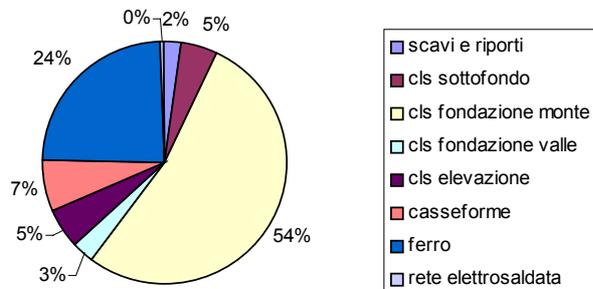
### Risalto L = 6 m



### Risalto L = 10 m

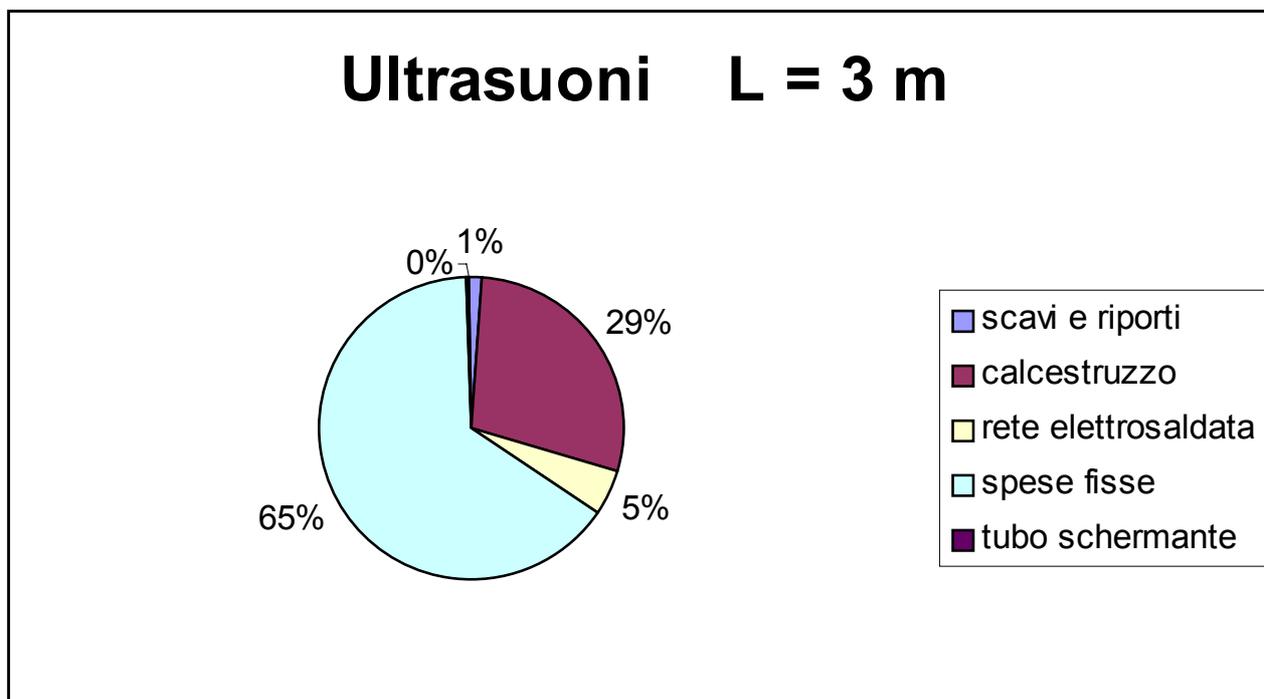


### Risalto L = 25 m

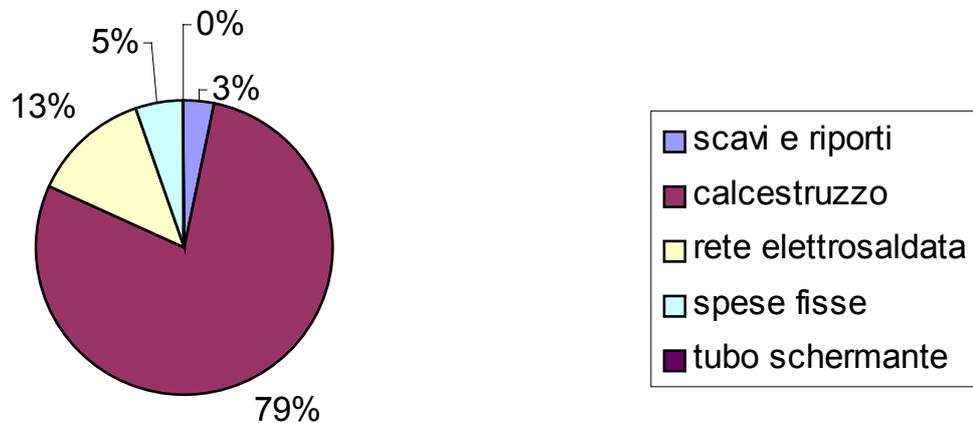


Come si può notare dai grafici l'incidenza del calcestruzzo per l'armatura della fondazione del canale di arrivo, ovvero del tratto a monte della soglia (che presenta spessori normalmente doppi rispetto al tratto immediatamente a valle della soglia ed è pure il più lungo) aumenta moltissimo al crescere della larghezza del canale (nel caso limite supera perfino il 50 %), mentre, come avevamo già preannunciato, cala quella del calcestruzzo impiegato per i muri di elevazione. Essendo il costo del calcestruzzo al metro cubo particolarmente gravoso, si spiega la crescita rapida dei costi di un simile dispositivo che per canali di larghezza superiore a 7-8 m risulta assolutamente sconveniente.

In un misuratore ad ultrasuoni l'impiego di calcestruzzo è finalizzato unicamente al rivestimento del tratto di canale interessato e di conseguenza non è armato; a differenza del risalto questo dispositivo non richiede necessariamente una sezione rettangolare e quindi anche per il rivestimento delle sponde si utilizza il calcestruzzo di fondazione, il quale costa il 25 % in meno rispetto a quello di elevazione. Anche in questo caso ci aiuteremo, nelle nostre considerazioni, con dei grafici che mostrano l'incidenza delle singole voci di costo sul totale in un misuratore ad ultrasuoni; questa volta analizziamo solo due casi in quanto sono sufficienti per chiarire la situazione: il primo si riferisce a canali di larghezza 3 m, mentre il secondo illustra il caso limite della rete del Consorzio (L = 25 m).



## Ultrasuoni L = 25 m



Osservando i due grafici è facile intuire il motivo per cui la convenienza di installare un misuratore ad ultrasuoni in un canale molto stretto è bassa; i costi fissi infatti, quantificabili in circa 9000 €, incidono moltissimo (65 %), fenomeno che cala all'aumentare della larghezza del canale fino a divenire esiguo nel caso limite (5 %), in cui l'incidenza dei costi fissi è perfino minore di quella della rete elettrosaldata (13 %). Inoltre in un dispositivo ad ultrasuoni non occorrono le casseforme e si pensa che, dove previste, esse devono ricoprire tutta la superficie rivestita e armata, è sicuramente un bel risparmio.

A questo punto possiamo fare alcune considerazioni generali:

- Il misuratore a stramazzo è in ogni caso il più conveniente, anche se, come vedremo, la sua installazione è prevista in uno solo dei 12 punti pianificati in quanto il suo funzionamento è legato a condizioni idrauliche non comuni in un compensorio irriguo di pianura (è necessario un notevole salto idrico);
- Tra il misuratore a risalto e quello ad ultrasuoni, il primo è da preferire in canali di modesta larghezza (fino a 5-6 m) ma anch'esso subordinato alla disponibilità di un salto idrico, seppur

minore di quello necessario per uno stramazzo, mentre il secondo risulta essere conveniente per canali larghi e in più esso ha la favorevole caratteristica di adattarsi ad ogni tipo di canale, anche in assenza di salti idraulici;

- Nei casi particolari in cui non c'è molta differenza di costo tra i dispositivi di misura studiati, andranno fatte considerazioni di natura diversa da quelle economiche, ad esempio l'efficienza dello strumento, l'onerosità della sua gestione, nonché la sua praticità.

### 5.2.2 Fase realizzativa

In questa sezione tratteremo caso per caso mettendo in evidenza le scelte compiute riguardo al tipo di misuratore da installare e le relative motivazioni, sia tecniche che economiche; la trattazione dei singoli casi seguirà l'ordine numerico illustrato nell'allegato 3, che per comodità riportiamo nella seguente tabella:

<i>N° misuratore</i>	<i>Canale</i>	<i>Luogo</i>
1	Vacchelli	Presa sul fiume Adda
2	Vacchelli	Ponte canale sul fiume Serio a Crema
3	Vacchelli	Salvirola
4	Geronda	Presa sul canale Vacchelli
5	Molinara	Presa sul fiume Oglio
6	Suppeditazione	Presa sul fiume Oglio
7	Naviglio Grande	Loc. Gorgo Rotondo – monte Tombe Morte
8	Naviglio Grande	Valle loc. Tombe Morte
9	Canobbia Vecchia	Tratto finale del canale in corrispondenza del salto
10	Ciria Vecchia	Valle confluenza con Ciria Nuova
11	Nuovo Delmona	Presa sul canale Ciria Vecchia
12	Diversivo Magio	Tratto terminale- monte scaricatore S. Paolo

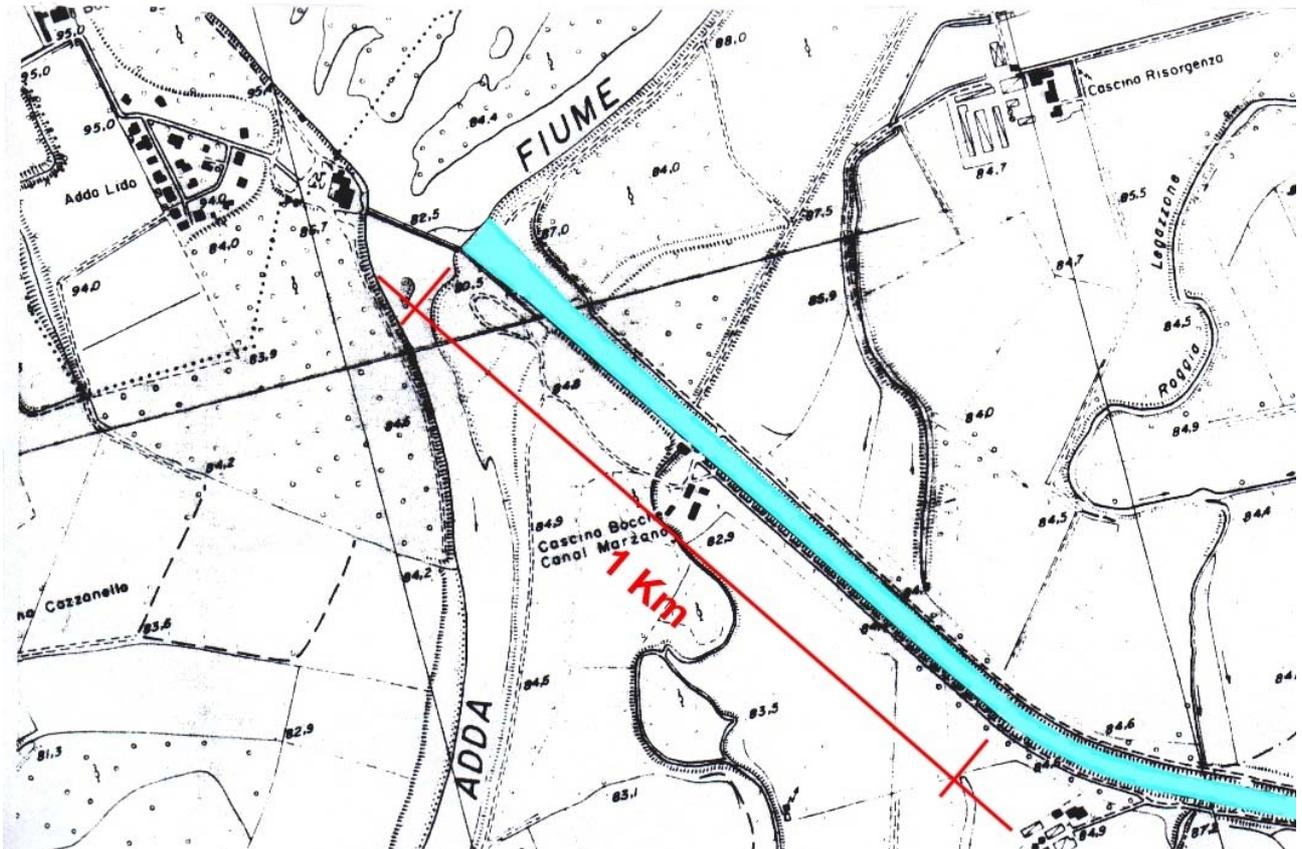
Tab. 2 - Misuratori pianificati e relativi canale e ubicazione

**Misuratore n° 1 – Presa del canale Vacchelli sul fiume Adda**

**Larghezza canale = 25 m**

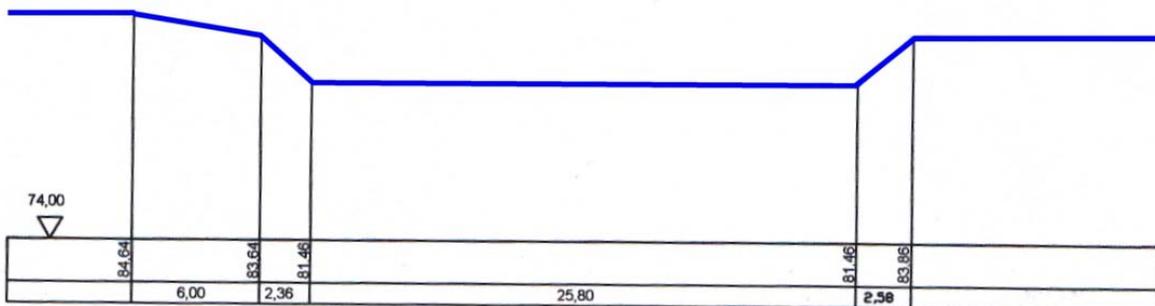
PLANIMETRIA

Scala 1:10000



**SEZIONE progr. 0,033**

SCALA 1:300



A valle della presa dal fiume Adda il canale Vacchelli raggiunge la larghezza di 25 m, valore massimo per la rete del Consorzio; in base all'analisi effettuata nel paragrafo 5.2.1, la scelta cade nell'installazione di un misuratore ad ultrasuoni poiché un misuratore a risalto sarebbe eccessivamente costoso. Inoltre l'ipotesi del risalto, e a maggior ragione anche quella dello stramazzo, diviene irrealizzabile in quanto il canale Vacchelli, come si nota nel profilo longitudinale (allegato 5), è quasi totalmente privo di salti idraulici; questo è uno di quei casi in cui la scelta è univoca e non si possono effettuare confronti tra alternative proprio perché le condizioni idrauliche non lo permettono.

Scelto il tipo di misuratore, cerchiamo di quantificare l'area che da esso sarà occupata: ad una larghezza di 25 m corrisponde, secondo i rapporti stabiliti nel capitolo sulle caratteristiche costruttive del dispositivo (3.3), una lunghezza del tratto rettilineo rivestito di 275 m. Dallo spaccato della planimetria 1:10000 del canale vediamo che dalla presa alla prima curva significativa abbiamo un tratto di circa 1 km, per cui anche le condizioni rettilinee sono soddisfatte.

Prima di effettuare un computo metrico estimativo dei lavori, occorre fare una precisazione: la zona in cui è stato previsto questo misuratore rientra nell'area del Parco dell'Adda Sud; l'ufficio dei Beni Ambientali della regione Lombardia ha previsto che il rivestimento della parte delle sponde non sommersa va effettuata mediante una scogliera di massi ciclopici intasati con calcestruzzo al fine di incrementare la protezione idraulica del territorio considerato. Tuttavia a livello di prezzi siamo sullo stesso ordine di grandezza per cui per comodità nel computo metrico abbiamo fatto i dovuti calcoli ipotizzando un rivestimento in calcestruzzo puro. Nel computo metrico estimativo seguente, come in tutti quelli che compariranno successivamente si fa riferimento ai prezzi contenuti nel Bollettino Ufficiale della regione Lombardia del 2003; nel nostro caso riportiamo solo le voci da noi utilizzate per il nostro lavoro.

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione B - B	$[(2,80+25,60+2,80)\times 0,15]\times 250,00 =$	mc	1.170,00			
		Tratto rialzato misuratore	$(3,40+25,60+3,60)\times 0,15\times 25,60 =$	mc	125,18			
		Sezione passaggio cavo	$[2\times (2,60\times 1,41)+(25,60\times 1,41)]\times 0,15\times 0,30 =$	mc	1,95			
		Diaframma terminale	$25,6\times 0,30\times 0,30 =$	mc	2,30			
		Fondazione cabina	$(2,00\times 2,00\times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento sommano		mc	<b>1.302,00</b>	<b>4,13</b>	<b>5.377,26</b>	
2	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Sezione B-B	$[(2,80+25,60+2,80)\times 0,15]\times 250,00 =$	mc	1.170,00			
		Tratto rialzato misuratore	$(3,40+25,60+3,60)\times 0,15\times 25,60 =$	mc	125,18			
		Sezione passaggio cavo	$[2\times (2,60\times 1,41)+(25,60\times 1,41)]\times 0,15\times 0,30 =$	mc	1,95			
		Diaframma terminale	$25,6\times 0,30\times 0,30 =$	mc	2,30			
		Fondazione cabina	$(2,00\times 2,00\times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento sommano		mc	<b>1.302,00</b>	<b>103,50</b>	<b>134.757,00</b>	
3	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Platea cabina	kg/mc 50,00xmc 1,60 =	kg	80,00	1,00	80,00	
4	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>						
		Sezione B-B	$(2,80+25,60+2,80)\times 250,00 =$ mq 7800,00					
		Tratto rialzato misuratore	$(3,40+25,60+3,60)\times 25,60 =$ mq 834,56					
		Totale	mq 8634,56					
		per arrotondamento sommano	mq 8634,56x kg/mq 2,22 =	kg	19.168,72			
				kg	1,28			
				kg	<b>19.170,00</b>	<b>1,20</b>	<b>23.004,00</b>	
5	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b>						
		Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	29,70	148,50	
6	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b>						
		Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	16,94	84,70	

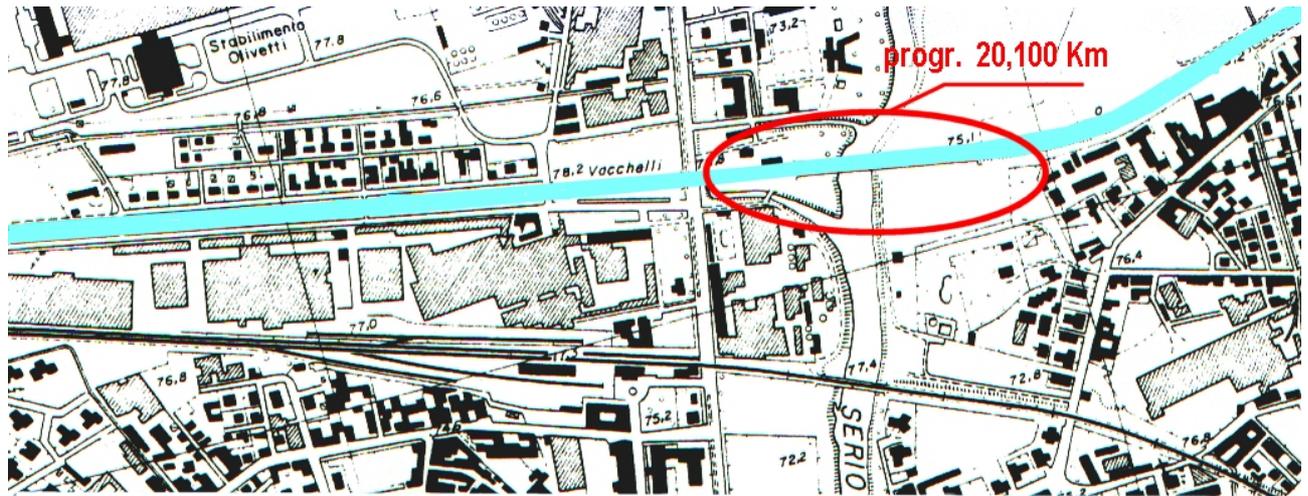
7	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	$2 \times (2,20 + 2,30) / 2 \times 2,00 =$	mc	2,25			
			$2,00 \times 2,30 =$	mc	1,15			
			$2,00 \times 2,20 =$	mc	1,10			
		a dedurre porta	$0,70 \times 2,10 =$	mc	-0,37			
		per arrotondamento		mc	0,37			
		sommano		<b>mc</b>	<b>4,50</b>	<b>36,98</b>	<b>166,41</b>	
8	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60	87,20	
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00	7.500,00	
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00	150,00	
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	55	4,00	220,00	
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00	150,00	
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	200,00	1,00	200,00	
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00	100,00	
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					474,93	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>							<b>172.500,00</b>	

**Misuratore n° 2 – Vacchelli sul ponte canale sul fiume Serio a Crema**

**Larghezza canale = 13 m**

PLANIMETRIA

Scala 1:10000



In questo caso siamo di fronte ad una situazione molto interessante in quanto si ha a disposizione una delle poche sezioni veramente regolari e rivestite della rete. Il ponte canale è a sezione rettangolare ed è rivestito sia sul fondo che sulle sponde per una lunghezza di circa 400 m e la sezione in cui vogliamo installare un misuratore si trova più o meno al centro di questo tratto. Ciò significa che attraverso la sezione interessata il moto dell'acqua sarà prossimo all'uniforme e sarà immune da fenomeni quali la crescita algale ed il conseguente aumento di scabrezza, fattori dannosi per la precisione di misura.

Ciò che abbiamo pensato è quindi di eseguire delle misure di portata tramite mulinello lungo un numero di verticali che sia funzione della larghezza del canale (in questo caso 13 m) e associare i valori di portata ottenuti ad uno specifico battente idraulico ottenendo una scala di portate; quest'ultima, data la regolarità della sezione per tutta la lunghezza del tratto rivestito, possiamo considerarla affidabile e durevole nel tempo.

Questa situazione è indubbiamente favorevole perché a fronte di spese esigue (un'asta idrometrica e un po' di manodopera per la misura con i mulinelli) si riesce ad avere un'importante sezione di controllo. I costi per l'installazione di questa scala di portate sono:

Fornitura e posa di asta idrometrica	€ 50
Misura di portata tramite mulinelli	€ 50
<hr/>	
TOTALE	€ 100

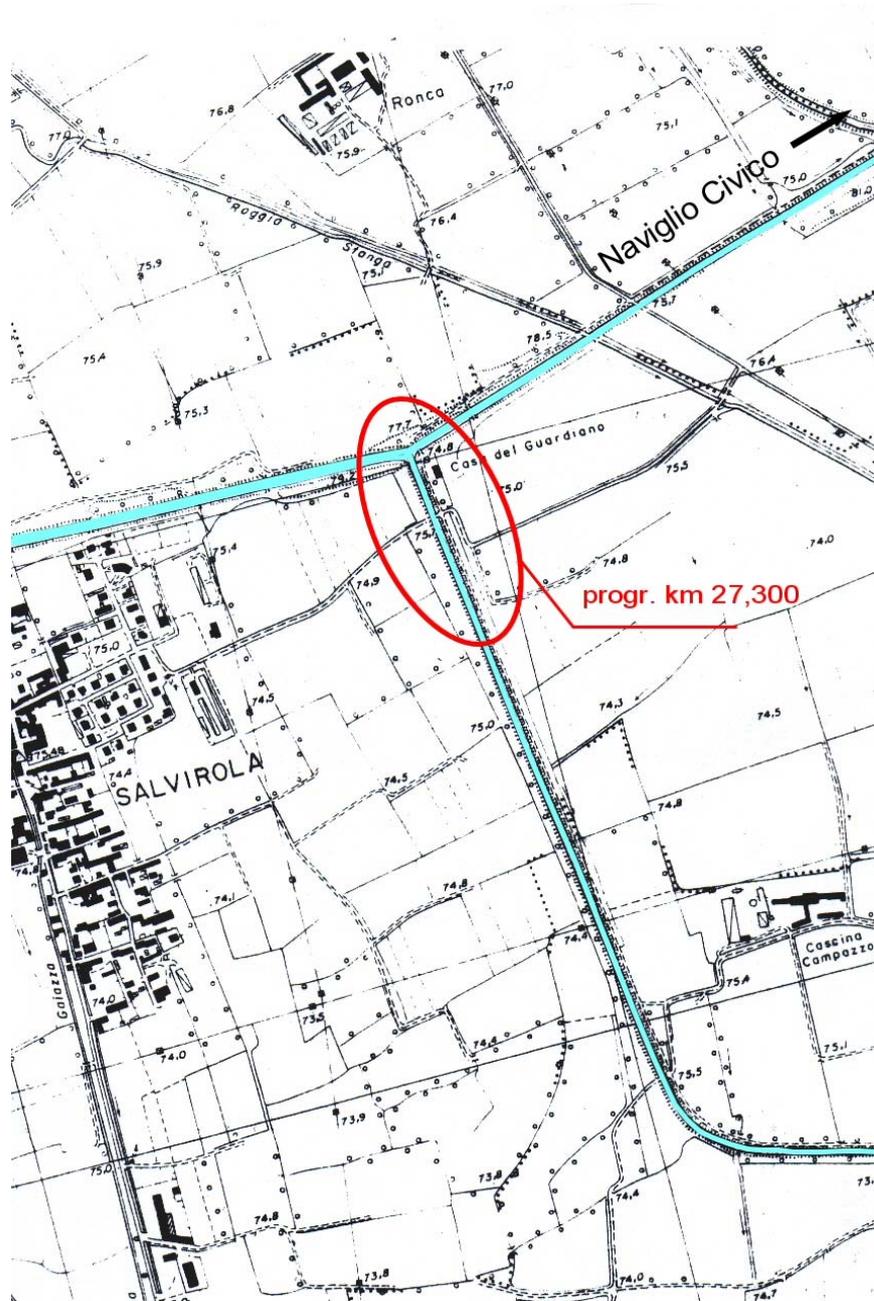
I costi relativi alla misura di portata si riferiscono ad una manodopera di circa 2 ore al prezzo di 25 €/h. Ciò che si vuole evidenziare è la convenienza a sfruttare questa sezione perché a costo praticamente nullo è possibile avere uno strumento in grado di dare informazioni sulla portata circolante nel canale principale della rete del Consorzio.

**Misuratore n° 3 – Vacchelli a Salvirola dopo l'impinguamento del Naviglio Civico**

**Larghezza canale = 15 m**

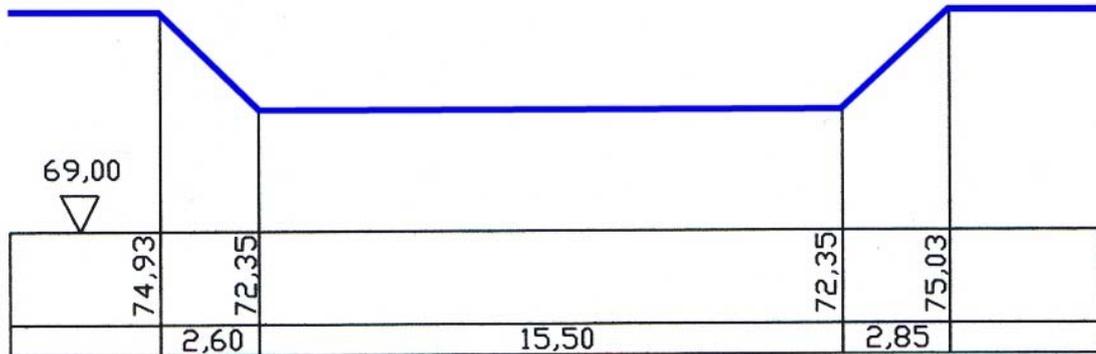
PLANIMETRIA

Scala 1:10000



# SEZIONE progr. km 27,300

SCALA 1:200



Da un punto di vista concettuale questo caso è assimilabile a quello della presa del Vacchelli dall'Adda; in questa sezione abbiamo infatti una larghezza di 15,5 m il che esclude a priori l'alternativa del risalto; in più, analogamente al caso precedente, non c'è salto idraulico quindi la scelta non può che cadere verso un dispositivo ad ultrasuoni. A valle dell'impinguamento del Naviglio Civico è presente un tratto rettilineo sufficientemente lungo tale da contenere sicuramente i 170 m di lunghezza del tratto rivestito in esame e, sempre a proposito di rivestimento, c'è da fare un'importante considerazione: l'attuale configurazione di questo tratto di canale prevede già un rivestimento delle sponde perciò sarà necessario rivestire solo il fondo. Ovviamente questo comporterà un risparmio non solo in termini di calcestruzzo, ma anche di costo di scavi e di rete elettrosaldata; questo spiega il divario notevole tra il valore totale che compare sul computo metrico estimativo, riportato di seguito, e quello desunto dal grafico costi-larghezza introdotto nel paragrafo 5.2.1 (quest'ultimo decisamente maggiore).

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE	
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>							
		Sezione B - B	15,5x0,15x155,00 =	mc	360,37				
			(3,60+15,50+3,60)x0,15x15,5						
		Tratto rialzato misuratore	0 =	mc	52,77				
			[2x(2,60x1,41)+(15,50x1,41)]x						
		Sezione passaggio cavo	0,15x0,30 =	mc	1,31				
		Diaframma terminale	15,50x0,30x0,30 =	mc	1,39				
2	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>							
		Sezione B-B	15,5x0,15x155,00 =	mc	360,37				
			(3,60+15,50+3,60)x0,15x15,5						
		Tratto rialzato misuratore	0 =	mc	52,77				
			[2x(2,60x1,41)+(15,50x1,41)]x						
		Sezione passaggio cavo	0,15x0,30 =	mc	1,31				
		Diaframma terminale	15,50x0,30x0,30 =	mc	1,39				
3	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>							
		Platea cabina	kg/mc 50,00xmc 1,60 =	kg	80,00	1,00	80,00		
4	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>							
		Sezione B-B	15,5x155,00 =mq 2402						
			(3,60+15,50+3,60)x15,50						
		Tratto rialzato misuratore	=mq 351,85						
		Totale	mq 2753,85						
			mq 2753,85x kg/mq 2,22 =	kg	6.113,55				
		per arrotondamento		kg	0,45				
sommano		kg	6.114,00	1,20	7.336,80				
5	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b>							
		Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	29,70	148,50		
6	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b>							
		Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	16,94	84,70		

7	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	$2 \times (2,20 + 2,30) / 2 \times 2,00 =$	mc				
						2,25		
			$2,00 \times 2,30 =$	mc		1,15		
			$2,00 \times 2,20 =$	mc		1,10		
		a dedurre porta	$0,70 \times 2,10 =$	mc		-0,37		
		per arrotondamento		mc		0,37		
		sommano		mc		4,50	36,98	166,41
8	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60		87,20
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00		7.500,00
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00		150,00
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	35	4,00		140,00
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00		150,00
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	100,00	1,00		100,00
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00		100,00
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>						467,05
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>								<b>61.500,00</b>

## Misuratore n° 4 – Presa del cavo Geronda dal canale Vacchelli

(vedi progetto allegato)

Larghezza canale = 4 m

Il misuratore alla presa della Geronda dal canale Vacchelli è il primo dei 5 casi di cui presentiamo un progetto completo, comprensivo di corografia, planimetria generale e sezioni, oltre che i particolari costruttivi del dispositivo di misura e il grafico con la scala delle portate.

Il caso in esame è piuttosto favorevole in quanto c'è la disponibilità di un notevole salto idraulico tra il pelo libero del canale di presa (Vacchelli) e quello della Geronda; esso supera i 90 cm e di conseguenza prima di tutto verifichiamo l'eventuale compatibilità del misuratore a stramazzo, che rappresenta sì il più conveniente ma anche il più "esigente" parlando in termini di salto d'acqua disponibile. Come si può osservare nei disegni presenti nell'allegato progetto la configurazione prevista per un simile dispositivo prevede una soglia larga come la sezione del canale, di lunghezza 1 m così come la sua altezza; per il corretto funzionamento del dispositivo occorre controllare che la quota della parte superiore della soglia sia maggiore di almeno 15-20 cm rispetto alla quota del pelo di valle, il che è verificato. A questo punto alla quota della soglia si aggiungono i cm di battente idraulico corrispondenti alla portata di progetto, che in questo caso è pari a 2850 l/s; fatto ciò è necessaria un'ultima verifica: la quota complessivamente raggiunta nel misuratore (soglia + battente) deve soggiacere di almeno 10 cm dal pelo del canale di presa per garantire l'efflusso e anche questa condizione è rispettata.

Dimostrata la compatibilità idraulica e appurata la convenienza economica, scegliamo senza nessun tipo di dubbio il misuratore a stramazzo; riportiamo di seguito, oltre al computo metrico estimativo, i calcoli effettuati per valutare il battente idraulico nel misuratore alla portata di progetto di 2850 l/s; inoltre forniamo i dati relativi al canale di valle del misuratore.



Fig. 31 - Presa del cavo Geronda



Fig. 32 – Presa della Geronda vista da valle

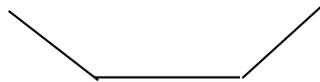
## Calcolo della portata nel misuratore (stramazzo a larga soglia)

$$Q = 0.385 l h (2 g h)^{1/2}$$

Larghezza  
canale [m]                      4

Tirante [m]	Portata [m]	Tirante [m]	Portata [m]
0	0	0,38	1598
0,01	7	0,39	1661
0,02	19	0,4	1726
0,03	35	0,41	1791
0,04	55	0,42	1857
0,05	76	0,43	1923
0,06	100	0,44	1991
0,07	126	0,45	2059
0,08	154	0,46	2128
0,09	184	0,47	2198
0,1	216	0,48	2268
0,11	249	0,49	2340
0,12	284	0,5	2412
0,13	320	0,51	2484
0,14	357	0,52	2558
0,15	396	0,53	2632
0,16	437	0,54	2707
0,17	478	0,55	2782
0,18	521	<b>0,56</b>	<b>2859</b>
0,19	565	0,57	2936
0,2	610	0,58	3013
0,21	656	0,59	3091
0,22	704	0,6	3170
0,23	752	0,61	3250
0,24	802	0,62	3330
0,25	853	0,63	3411
0,26	904	0,64	3493
0,27	957	0,65	3575
0,28	1011	0,66	3658
0,29	1065	0,67	3741
0,3	1121	0,68	3825
0,31	1177	0,69	3910
0,32	1235	0,7	3995
0,33	1293	0,71	4081
0,34	1352	0,72	4167
0,35	1412	0,73	4255
0,36	1473	0,74	4342
0,37	1535	0,75	4431

# Calcolo della portata nel canale di valle



$$X = 87/(1+(\gamma/(R^{1/2})))$$

dati:

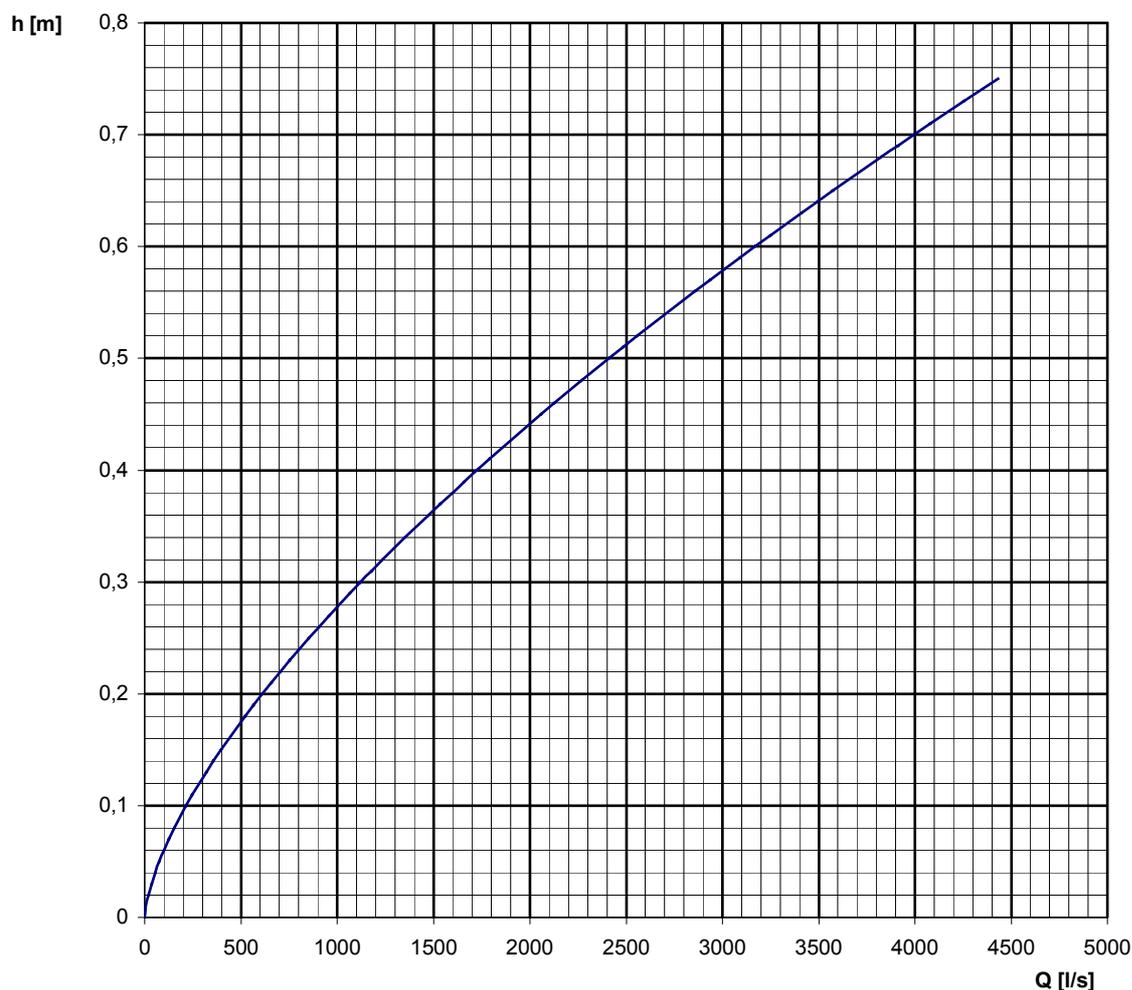
base = 4,00  
 scarpa = 1,00  
 tirante min = 0,00  
 pendenza = 0,00027  
 $\gamma = 0,85$   
 passo = 0,01

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,00	4,00	0,00	0,000	0,0000	0,000	0
0,01	4,03	0,04	0,010	9,1393	0,015	1
0,02	4,06	0,08	0,020	12,3620	0,029	2
0,03	4,08	0,12	0,030	14,6446	0,041	5
0,04	4,11	0,16	0,039	16,4514	0,054	9
0,05	4,14	0,20	0,049	17,9604	0,065	13
0,06	4,17	0,24	0,058	19,2619	0,077	19
0,07	4,20	0,28	0,068	20,4090	0,087	25
0,08	4,23	0,33	0,077	21,4360	0,098	32
0,09	4,25	0,37	0,087	22,3664	0,108	40
0,10	4,28	0,41	0,096	23,2172	0,118	48
0,11	4,31	0,45	0,105	24,0013	0,128	58
0,12	4,34	0,49	0,114	24,7284	0,137	68
0,13	4,37	0,54	0,123	25,4062	0,146	79
0,14	4,40	0,58	0,132	26,0409	0,155	90
0,15	4,42	0,62	0,141	26,6377	0,164	102
0,16	4,45	0,67	0,149	27,2007	0,173	115
0,17	4,48	0,71	0,158	27,7334	0,181	128
0,18	4,51	0,75	0,167	28,2390	0,190	143
0,19	4,54	0,80	0,175	28,7198	0,198	157
0,20	4,57	0,84	0,184	29,1782	0,206	173
0,21	4,59	0,88	0,192	29,6161	0,213	189
0,22	4,62	0,93	0,201	30,0351	0,221	205
0,23	4,65	0,97	0,209	30,4367	0,229	223
0,24	4,68	1,02	0,217	30,8223	0,236	240
0,25	4,71	1,06	0,226	31,1930	0,244	259
0,26	4,74	1,11	0,234	31,5499	0,251	278
0,27	4,76	1,15	0,242	31,8938	0,258	297
0,28	4,79	1,20	0,250	32,2257	0,265	317
0,29	4,82	1,24	0,258	32,5463	0,272	338
0,30	4,85	1,29	0,266	32,8563	0,278	359
0,31	4,88	1,34	0,274	33,1564	0,285	381
0,32	4,91	1,38	0,282	33,4470	0,292	403
0,33	4,93	1,43	0,290	33,7289	0,298	426
0,34	4,96	1,48	0,297	34,0023	0,305	450
0,35	4,99	1,52	0,305	34,2679	0,311	474

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,36	5,02	1,57	0,313	34,5259	0,317	498
0,37	5,05	1,62	0,320	34,7768	0,323	523
0,38	5,07	1,66	0,328	35,0210	0,330	549
0,39	5,10	1,71	0,336	35,2587	0,336	575
0,40	5,13	1,76	0,343	35,4903	0,342	601
0,41	5,16	1,81	0,350	35,7161	0,347	628
0,42	5,19	1,86	0,358	35,9362	0,353	656
0,43	5,22	1,90	0,365	36,1511	0,359	684
0,44	5,24	1,95	0,373	36,3608	0,365	712
0,45	5,27	2,00	0,380	36,5657	0,370	741
0,46	5,30	2,05	0,387	36,7658	0,376	771
0,47	5,33	2,10	0,394	36,9615	0,381	801
0,48	5,36	2,15	0,401	37,1529	0,387	832
0,49	5,39	2,20	0,408	37,3402	0,392	863
0,50	5,41	2,25	0,416	37,5235	0,397	894
0,51	5,44	2,30	0,423	37,7030	0,403	926
0,52	5,47	2,35	0,430	37,8788	0,408	959
0,53	5,50	2,40	0,437	38,0511	0,413	992
0,54	5,53	2,45	0,444	38,2199	0,418	1025
0,55	5,56	2,50	0,450	38,3855	0,423	1059
0,56	5,58	2,55	0,457	38,5479	0,428	1094
0,57	5,61	2,60	0,464	38,7072	0,433	1129
0,58	5,64	2,66	0,471	38,8636	0,438	1164
0,59	5,67	2,71	0,478	39,0171	0,443	1200
0,60	5,70	2,76	0,484	39,1679	0,448	1236
0,61	5,73	2,81	0,491	39,3160	0,453	1273
0,62	5,75	2,86	0,498	39,4615	0,458	1310
0,63	5,78	2,92	0,504	39,6044	0,462	1348
0,64	5,81	2,97	0,511	39,7450	0,467	1386
0,65	5,84	3,02	0,518	39,8832	0,472	1425
0,66	5,87	3,08	0,524	40,0191	0,476	1464
0,67	5,90	3,13	0,531	40,1529	0,481	1504
0,68	5,92	3,18	0,537	40,2844	0,485	1544
0,69	5,95	3,24	0,544	40,4139	0,490	1585
0,70	5,98	3,29	0,550	40,5414	0,494	1626
0,71	6,01	3,34	0,557	40,6669	0,499	1667
0,72	6,04	3,40	0,563	40,7905	0,503	1709
0,73	6,06	3,45	0,569	40,9122	0,507	1751
0,74	6,09	3,51	0,576	41,0321	0,512	1794
0,75	6,12	3,56	0,582	41,1503	0,516	1838
0,76	6,15	3,62	0,588	41,2667	0,520	1881
0,77	6,18	3,67	0,595	41,3815	0,524	1926
0,78	6,21	3,73	0,601	41,4947	0,528	1970
0,79	6,23	3,78	0,607	41,6063	0,533	2016
0,80	6,26	3,84	0,613	41,7163	0,537	2061
0,81	6,29	3,90	0,619	41,8249	0,541	2107
0,82	6,32	3,95	0,625	41,9320	0,545	2154
0,83	6,35	4,01	0,632	42,0376	0,549	2201
0,84	6,38	4,07	0,638	42,1419	0,553	2248
0,85	6,40	4,12	0,644	42,2448	0,557	2296

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,86	6,43	4,18	0,650	42,3464	0,561	2344
0,87	6,46	4,24	0,656	42,4467	0,565	2393
0,88	6,49	4,29	0,662	42,5458	0,569	2442
0,89	6,52	4,35	0,668	42,6436	0,573	2492
0,90	6,55	4,41	0,674	42,7402	0,576	2542
0,91	6,57	4,47	0,680	42,8356	0,580	2593
0,92	6,60	4,53	0,686	42,9298	0,584	2644
0,93	6,63	4,58	0,691	43,0230	0,588	2695
0,94	6,66	4,64	0,697	43,1150	0,592	2747
0,95	6,69	4,70	0,703	43,2060	0,595	2800
0,96	6,72	4,76	0,709	43,2959	0,599	2853
0,97	6,74	4,82	0,715	43,3848	0,603	2906
0,98	6,77	4,88	0,721	43,4727	0,606	2960
0,99	6,80	4,94	0,726	43,5596	0,610	3014
1,00	6,83	5,00	0,732	43,6455	0,614	3068
1,01	6,86	5,06	0,738	43,7305	0,617	3124
1,02	6,88	5,12	0,744	43,8146	0,621	3179
1,03	6,91	5,18	0,749	43,8977	0,624	3235
1,04	6,94	5,24	0,755	43,9800	0,628	3292
1,05	6,97	5,30	0,761	44,0614	0,631	3348
1,06	7,00	5,36	0,766	44,1419	0,635	3406
1,07	7,03	5,42	0,772	44,2216	0,638	3464
1,08	7,05	5,49	0,778	44,3005	0,642	3522
1,09	7,08	5,55	0,783	44,3786	0,645	3581
1,10	7,11	5,61	0,789	44,4558	0,649	3640

### Diagramma delle portate del misuratore



### Tabella delle portate del misuratore

h [m]	Q [l/s]								
0,00	0	0,15	396	0,30	1121	0,45	2059	0,60	3170
0,01	7	0,16	437	0,31	1177	0,46	2128	0,61	3250
0,02	19	0,17	478	0,32	1235	0,47	2198	0,62	3330
0,03	35	0,18	521	0,33	1293	0,48	2268	0,63	3411
0,04	55	0,19	565	0,34	1352	0,49	2340	0,64	3493
0,05	76	0,20	610	0,35	1412	0,50	2412	0,65	3575
0,06	100	0,21	656	0,36	1473	0,51	2484	0,66	3658
0,07	126	0,22	704	0,37	1535	0,52	2558	0,67	3741
0,08	154	0,23	752	0,38	1598	0,53	2632	0,68	3825
0,09	184	0,24	802	0,39	1661	0,54	2707	0,69	3910
0,1	216	0,25	853	0,4	1726	0,55	2782	0,7	3995
0,11	249	0,26	904	0,41	1791	0,56	2859	0,71	4081
0,12	284	0,27	957	0,42	1857	0,57	2936	0,72	4167
0,13	320	0,28	1011	0,43	1923	0,58	3013	0,73	4255
0,14	357	0,29	1065	0,44	1991	0,59	3091	0,74	4342

Dopo aver mostrato tutti i calcoli effettuati e la scala di portate che ne è risultata, elaboriamo un computo metrico estimativo che ci dia l'idea del costo dei lavori di realizzazione del dispositivo:

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>Scavo di sbancamento</b>						
		Misuratore	4,60x14,45x0,10 =	mc	6,65			
		Valle misuratore	4,00x4,00x0,10 =	mc	1,60			
		Muri d'ala	(0,50+2,10)/2x1,20 =	mc	1,56			
			(0,40+1,20)/2x1,20 =	mc	0,96			
		per arrotondamento		mc	0,23			
		sommano		<b>mc</b>	<b>11,00</b>	<b>4,13</b>	<b>45,43</b>	
2	3	<b>Scavo di fondazione a sezione obbligata eseguito a mano</b>						
		Diaframma di valle	4,00x0,80x0,30 =	mc	0,96			
		per arrotondamento		mc	0,04			
		sommano		<b>mc</b>	<b>1,00</b>	<b>67,14</b>	<b>67,14</b>	
3	4	<b>Demolizione parziale di strutture murarie in calcestruzzo non armato</b>						
		Sezione B - B	mq 0,18x14,45 =	mc	2,60			
		per arrotondamento		mc	0,40			
		sommano		<b>mc</b>	<b>3,00</b>	<b>157,52</b>	<b>472,56</b>	
4	5	<b>Formazione di fori</b>	2x12 =	n	24	15,49	371,76	
5	6a	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato proveniente dagli scavi del cantiere</b>						
		Vedi precedente n° 1 e 2	(11,00+1,00) =	mc	12,00	6,71	80,52	
6	6b	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato mancante</b>						
		Sezione B - B	mq 3,12x14,45 =	mc	45,08			
		a dedurre materiale proveniente dagli scavi sul cantiere		mc	-12,00			
		per arrotondamento		mc	0,92			
		sommano		<b>mc</b>	<b>34,00</b>	<b>16,53</b>	<b>562,02</b>	

7	7a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo di sottofondo a kg 150 di cemento tipo R 325</b>						
		Misuratore	4,00x14,45x0,10 =	mc	5,78			
		per arrotondamento		mc	0,22			
		sommano		<b>mc</b>	<b>6,00</b>	<b>81,25</b>	<b>487,50</b>	
8	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Misuratore	4,60x14,45x0,25 =	mc	16,62			
		Diaframma di valle	4,00x0,80x0,30 =	mc	0,96			
		Rivestimento di valle	4,00x4,00x0,10 =	mc	1,60			
		per arrotondamento			0,32			
		sommano		<b>mc</b>	<b>19,50</b>	<b>103,50</b>	<b>2.018,25</b>	
9	9a	<b>Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per murature di elevazione armate</b>						
		Misuratore	2x(14,45x1,83x0,30) =	mc	15,87			
		Soglia	1,00x1,00x4,00 =	mc	4,00			
		Muri d'ala	2x(2,12x1,20x0,30) =	mc	1,53			
		per arrotondamento		mc	0,10			
		sommano		<b>mc</b>	<b>21,50</b>	<b>125,15</b>	<b>2.690,73</b>	
10	10a	<b>casseforme per getti in calcestruzzo armato</b>						
		Misuratore	2x(2,12x14,45) =	mq	61,27			
			2x(1,83x14,45) =	mq	52,89			
		Soglia	(1,00+1,25)x4,00 =	mq	9,00			
		Muri d'ala	2x(1,20x2,12) =	mq	5,09			
			2x(1,50x2,12) =	mq	6,36			
			2x(0,30x2,12) =	mq	1,27			
		per arrotondamento		mq	0,12			
		sommano		<b>mq</b>	<b>136,00</b>	<b>23,24</b>	<b>3.160,64</b>	
11	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Misuratore	kg/mc 50,00xmc 39,40 =	kg	1.970,00			
		per arrotondamento		kg	30,00			
		sommano		<b>kg</b>	<b>2.000,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2.000,00</b>	
12	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata</b>						
		Tratto rivestito di valle						
		Calcolo superficie rivestita:						
		4,00x4,00 = mq 16,00	kg/mq 2,22xm <sup>2</sup> 16,00 =	kg	35,52			
		per arrotondamento		kg	4,48			
		sommano		<b>kg</b>	<b>40,00</b>	<b>1,20</b>	<b>48,00</b>	
13	17	<b>Fornitura e posa in opera di asta idrometrica</b>		n	1	50,00	50,00	
14		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					445,45	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>							<b>12.500,00</b>	

**Misuratore n° 5 – Presa del cavo Molinara dal fiume Oglio** (vedi progetto allegato)

**Larghezza canale = 5,70 m**



Fig. 33 - Presa del cavo Molinara dal fiume Oglio

Questo caso e quello successivo, relativo alla presa del cavo Suppeditazione sempre dal fiume Oglio, verranno illustrati più dettagliatamente nei rispettivi progetti allegati; i due casi sono tuttavia molto simili per caratteristiche idrauliche, dimensioni e localizzazione geografica, ma soffermiamoci inizialmente sul cavo Molinara.

Alla presa dall'Oglio il canale presenta una larghezza di quasi 6 m, 5,70 m per la precisione; a differenza di altri casi visti in precedenza, qui non si stabilisce a priori il tipo di misuratore nota la larghezza del canale in quanto, come si vede dal grafico costi-larghezza, non esistono divari netti

per dimensioni come queste, anche se il dispositivo a risalto inizia ad essere al limite della convenienza. Occorre quindi dare un peso molto rilevante all'aspetto idraulico, ma non appena si visiona la situazione la scelta diventa obbligata; come si può chiaramente notare dalla sezione longitudinale presente nell'allegato progetto, il salto d'acqua disponibile tra il pelo libero minimo del fiume Oglio e quello ordinario del cavo Molinara è praticamente nullo (3 cm) e in conseguenza di ciò l'unico dispositivo che si adatta a queste condizioni molto rigide da un punto di vista idraulico è quello ad ultrasuoni. Escludendo infatti lo stramazzo, il quale necessita almeno di un salto prossimo al metro, è utile ricordare che per un dispositivo a risalto occorre avere a disposizione come minimo 40 cm per garantirne un corretto e sicuro funzionamento.

Come si nota nel progetto allegato abbiamo un rivestimento di fondo lungo circa 70 m, mentre le sponde sono ricoperte per 66 m con un rialzo fino al ciglio nel tratto compreso tra i due pozzetti; questi ultimi sono finalizzati a contenere le estremità del tubo schermante entro cui passa il cavo di alimentazione delle unità elettroniche. Il diametro del tubo è stato scelto di 8 cm, dimensione più che sufficiente per il passaggio di un cavo elettrico; lungo il percorso sommerso del cavo è stato previsto un rivestimento doppio, pari a 30 cm per minimizzare il rischio di contatto con l'acqua. Il tratto rivestito a monte del misuratore è sempre più lungo di quello di valle per ovvie ragioni: la corrente deve attraversare la sezione di controllo con un moto il più possibile uniforme; il tratto di valle è utile per non dissipare immediatamente energia e mantenere questo regime per un certo tratto.

Sul sito è stata costruita anche una cabina destinata al ricovero dell'unità di elaborazione dei dati al fine di non sottoporla agli agenti atmosferici e per evitare danneggiamenti della stessa da parte di terzi. Il costo dei lavori è riassunto nel computo metrico estimativo che segue.

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione B - B	mq $0,36 \times 66,00 =$	mc	23,76			
			$[(7,00+9,20)/2] \times 1,41 \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,51			
		Sezione passaggio cavo		mc				
		Tratto iniziale	$(4,00 \times 0,15) / 2 \times 5,58 =$	mc	1,67			
		Diaframma terminale	$(5,70 \times 0,30 \times 0,30) =$	mc	0,51			
	Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60				
	per arrotondamento		mc	0,45				
	sommano		<b>mc</b>	<b>28,50</b>	<b>4,13</b>	<b>117,71</b>		
2	6a	<b>Sistemazione materiale in rilevato proveniente dagli scavi del cantiere</b>						
		Sezione B - B	mq $0,39 \times 66,00 =$	mc	25,74			
		Tratto rialzato misuratore	$2 \times (1,30 \times 0,25) / 2 \times 6,00 =$	mc	1,95			
		per arrotondamento		mc	0,31			
	sommano		<b>mc</b>	<b>28,00</b>	<b>6,71</b>	<b>187,88</b>		
5	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Sezione B-B	$(1,60+5,80+1,60) \times 0,15 \times 66,00 =$	mc	89,10			
		Tratto rialzato misuratore	$2 \times (1,00 \times 0,15 \times 6,00) =$	mc	1,80			
		Sezione passaggio cavo	$\{[2 \times (1,60 \times 1,41)] + (5,70 \times 1,41)\} \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,65			
		Tratto iniziale	$[(5,70+3,00)/2] \times 5,58 \times 0,15 =$	mc	3,64			
		Diaframma terminale	$(5,70 \times 0,30 \times 0,30) =$	mc	0,51			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento		mc	0,20			
	sommano		<b>mc</b>	<b>97,50</b>	<b>103,50</b>	<b>10.091,25</b>		
6	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Platea cabina	kg/mc $50,00 \times mc \ 1,60 =$	<b>kg</b>	<b>80,00</b>	<b>1,00</b>	<b>80,00</b>	
7	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>						
		Sezione B-B	$(1,60+5,80+1,60) \times 66,00 = 594$ mq					
		Tratto rialzato misuratore	$2 \times (1,00 \times 6,00) = 12$ mq					
		Tratto iniziale	$[(5,70+3,00)/2] \times 5,58 = 24,27$ mq					
		Totale	630,27 mq					
			kg/mq $2,22 \times mq \ 630,27 =$	kg	1.399,20			
	per arrotondamento		kg	0,80				
	sommano		<b>kg</b>	<b>1.400,00</b>	<b>1,20</b>	<b>1.680,00</b>		

8	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b> Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	29,70	148,50	
9	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b> Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	16,94	84,70	
10	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	2x(2,20+2,30)/2x2,00 =	mc	2,25			
			2,00x2,30 =	mc	1,15			
			2,00x2,20 =	mc	1,10			
		a dedurre porta	0,70x2,10 =	mc	-0,37			
		per arrotondamento		mc	0,37			
		sommano		mc	4,50	36,98	166,41	
11	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60	87,20	
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00	7.500,00	
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00	150,00	
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	15,00	4,00	60,00	
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00	150,00	
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	800,00	1,00	800,00	
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00	100,00	
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					96,35	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>							<b>21.500,00</b>	

**Misuratore n° 6 – Presa del cavo Suppeditazione dal fiume Oglio** (vedi progetto allegato)

**Larghezza canale = 8 m**



Fig. 34 - Presa del cavo Suppeditazione dal fiume Oglio

Questo caso è molto simile a quello precedente in cui si è analizzata l'area in cui è situata la presa del cavo Molinara dal fiume Oglio. Da un punto di vista geografico i due siti sono molto vicini tra di loro, così come molto simile è la situazione idraulica; mentre per la Molinara il salto tra l'Oglio e il canale era praticamente nullo, in questo caso il margine è un po' più ampio anche se molto contenuto (circa 20 cm) e dunque assolutamente insufficiente per un misuratore a risalto (escludendo ovviamente lo stramazzo per ovvie ragioni); il rischio forte sarebbe infatti di alzare il pelo della Suppeditazione a tal punto da rendere problematico l'efflusso dal fiume al canale al di sotto della paratoia d'alimentazione. Ricadendo la scelta sul misuratore ad ultrasuoni, facciamo notare che da un punto di vista costruttivo il caso è praticamente identico al precedente; essendo più largo il canale in questo caso, il rivestimento è ovviamente più esteso in lunghezza con un aumento dei costi quindi assolutamente proporzionale rispetto al caso precedente. Anche in questo caso la presenza di un tratto rettilineo sufficientemente lungo elimina qualunque problema legato al perfetto funzionamento dello strumento. Di seguito i costi dell'opera.

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione B - B	$[(2,30+8,20+2,30) \times 0,15] \times 83,00 =$	mc	159,36			
		Tratto rialzato misuratore	$2 \times (1,20 \times 0,15 \times 8,00) =$	mc	2,88			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (2,40 \times 1,41) + (8,00 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,94			
		Tratto iniziale	$8,00 \times 4,00 \times 0,15 =$	mc	4,80			
		Diaframma terminale	$8,00 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,72			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento						
		sommano		<b>mc</b>	<b>171,00</b>	<b>4,13</b>	<b>706,23</b>	
2	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Sezione B-B	$[(2,30+8,20+2,30) \times 0,15] \times 83,00 =$	mc	159,36			
		Tratto rialzato misuratore	$2 \times (1,20 \times 0,15 \times 8,00) =$	mc	2,88			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (2,40 \times 1,41) + (8,00 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,94			
		Tratto iniziale	$8,00 \times 4,00 \times 0,15 =$	mc	4,80			
		Diaframma terminale	$8,00 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,72			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento		mc	0,20			
		sommano		<b>mc</b>	<b>170,50</b>	<b>103,50</b>	<b>17.646,75</b>	
3	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Platea cabina	$\text{kg/mc } 50,00 \times \text{mc } 1,60 =$	<b>kg</b>	<b>80,00</b>	<b>1,00</b>	<b>80,00</b>	
4	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>						
		Sezione B-B	$[2 \times (1,55 \times 1,41) + 8,00] \times 83,00 = \text{mq } 1026,80$					
		Tratto rialzato misuratore	$[2 \times (2,40 - 1,55) \times 1,41] \times 8,00 = \text{mq } 19,18$					
		Tratto iniziale	$8,00 \times 4,00 = \text{mq } 32,00$					
		Totale	$\text{mq } 1077,98$					
		per arrotondamento	$\text{mq } 1077,98 \times \text{kg/mq } 2,22 =$	kg	2.393,12			
		sommano		kg	6,88			
				<b>kg</b>	<b>2.400,00</b>	<b>1,20</b>	<b>2.880,00</b>	
5	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b>						
		Cabina per ricovero strumentazione	$2,50 \times 2,00 =$	<b>mq</b>	<b>5,00</b>	<b>29,70</b>	<b>148,50</b>	

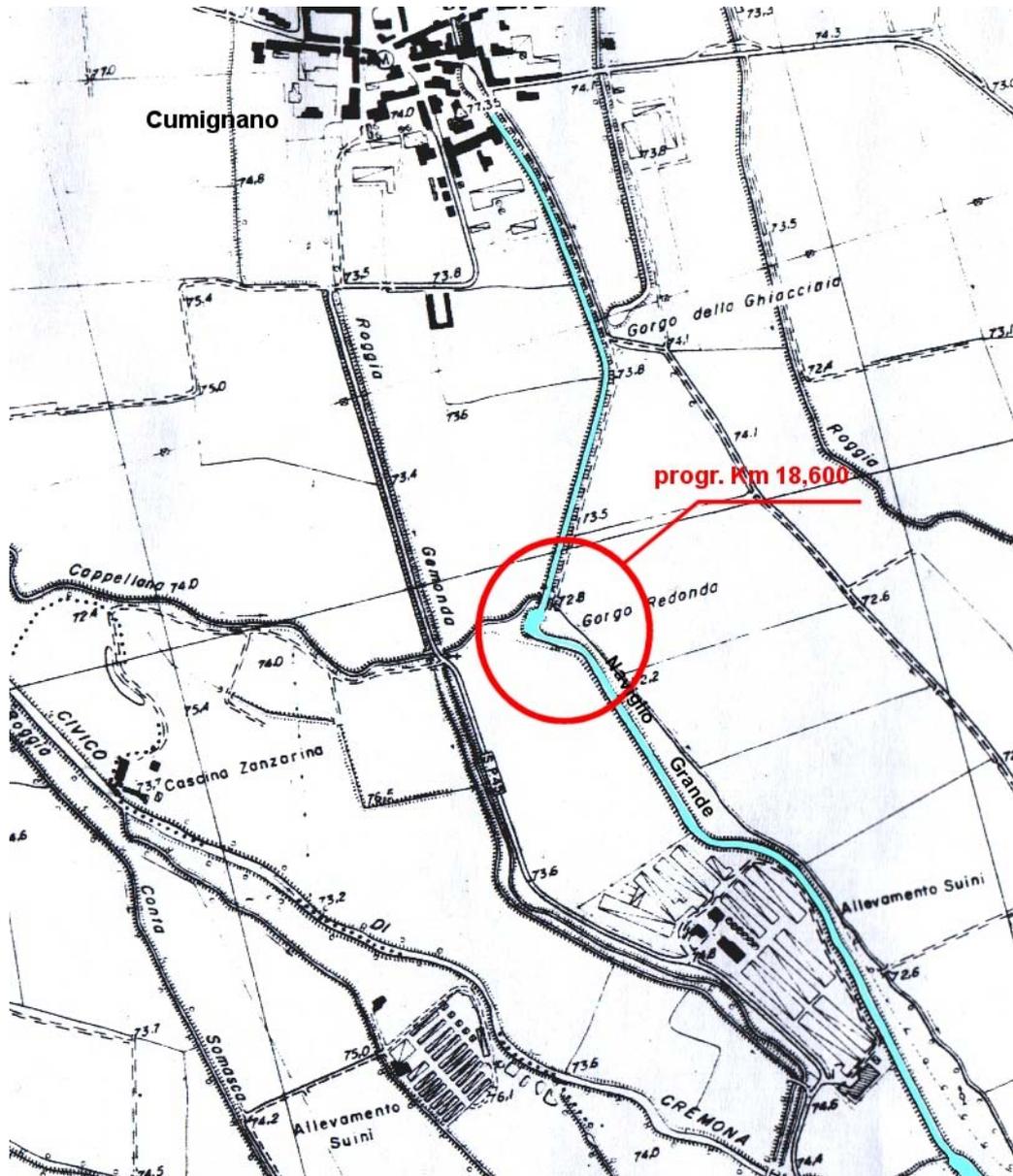
6	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b> Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	16,94	84,70	
7	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	2x(2,20+2,30)/2x2,00 =	mc	2,25			
			2,00x2,30 =	mc	1,15			
			2,00x2,20 =	mc	1,10			
		a dedurre porta	0,70x2,10 =	mc	-0,37			
		per arrotondamento		mc	0,37			
		sommano		mc	4,50	36,98	166,41	
8	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60	87,20	
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00	7.500,00	
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00	150,00	
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	21	4,00	84,00	
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00	150,00	
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	1000,00	1,00	1000,00	
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00	100,00	
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					216,21	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>							<b>31.000,00</b>	

**Misuratore n° 7 – Naviglio Grande in loc. Gorgo Rotondo**

**Larghezza canale = 13 m**

PLANIMETRIA

Scala 1:10000



In questo caso, come nel prossimo, ci spostiamo sul canale che, dopo il Vacchelli, è il più importante della rete del Consorzio, vale a dire il Naviglio Grande; il progetto è previsto in località Gorgo Rotondo, un'area a monte del nodo idraulico di Tombe Morte di circa 3 km in cui il canale presenta un notevole salto idraulico. Per questo motivo ed essendo il canale rivestito sia sul fondo che sulle sponde si è pensato di sfruttare la sconnessione idraulica creata dal salto e costruire una scala di portate nel tratto immediatamente a monte del salto stesso; si tratta quindi di compiere delle misure di portata con il mulinello ed associarle ad uno specifico battente.

Ovviamente questa soluzione è molto vantaggiosa da un punto di vista economico, ma di contro è molto delicata in quanto occorre garantire una notevole regolarità alla sezione di misura perché essa funzioni correttamente e per tal motivo il rivestimento è essenziale al fine di evitare una crescita di vegetazione significativa, che possa cioè influenzare le misure. Il costo di quest'opera è, come nel caso del Vacchelli sul ponte canale sul Serio, molto esiguo e lo possiamo quantificare in:

Fornitura e posa di asta idrometrica	€ 50
Misura di portata tramite mulinelli	€ 50
<hr/>	
TOTALE	€ 100



Fig. 35 - Salto d'acqua in loc. Gorgo Rotondo



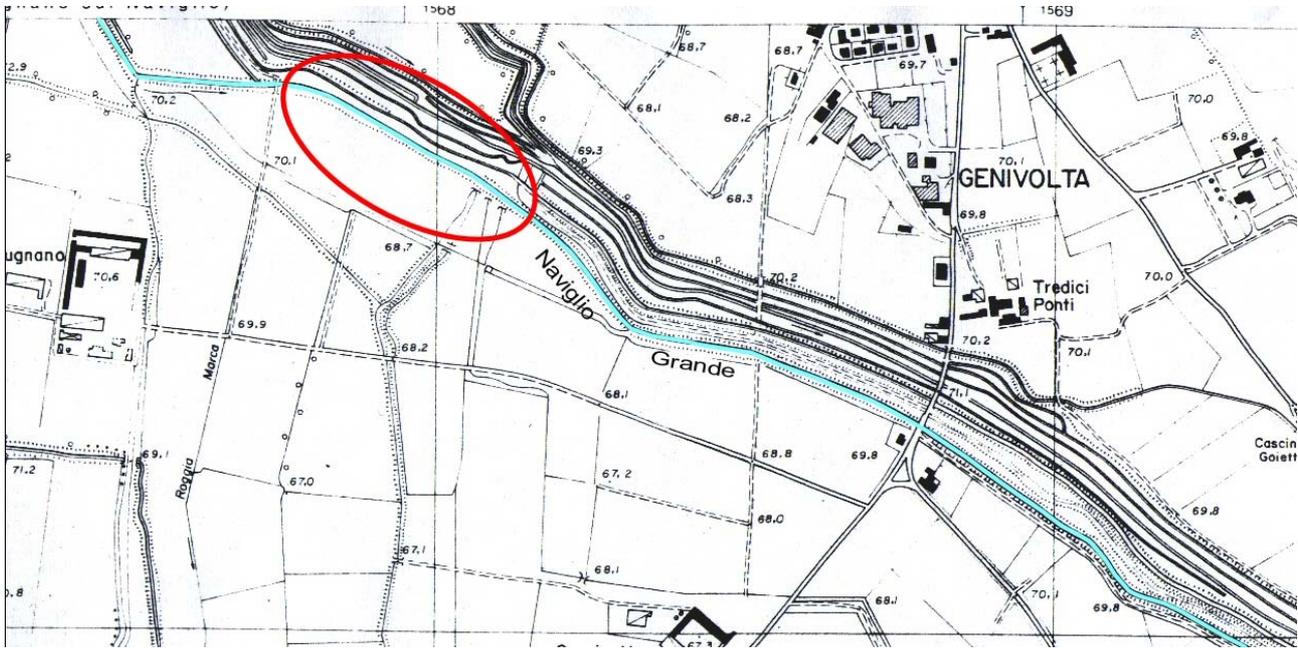
Fig. 36 - Naviglio Grande subito a monte del salto

**Misuratore n° 8 – Naviglio Grande a valle del nodo idraulico in loc. Tombe Morte**

Larghezza canale = 10 m

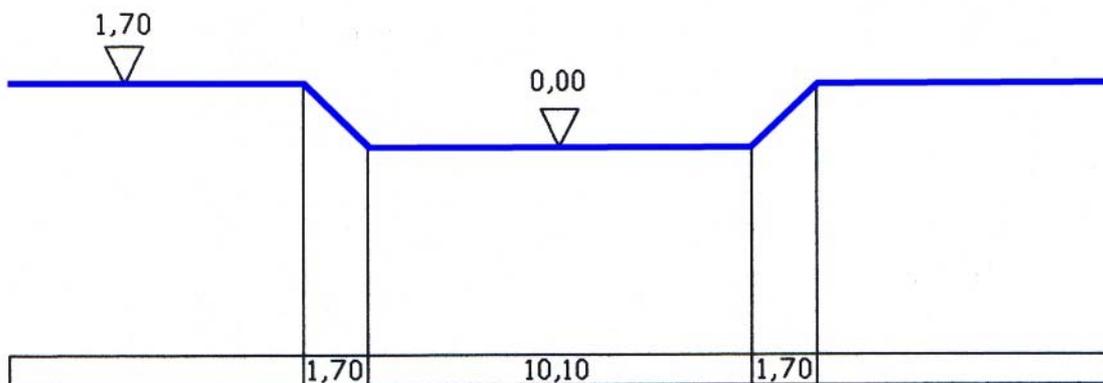
PLANIMETRIA

Scala 1:10000



SEZIONE

SCALA 1:200



Diversamente dal caso precedente, qui il canale è sì abbastanza largo (10 m) ma non presenta salti idraulici; per questa ragione verrà scelto un misuratore ad ultrasuoni. In questo caso le sponde sono già rivestite e di conseguenza il costo del calcestruzzo è riferito solo a quello di fondazione con un conseguente risparmio e scostamento dai valori stimati nel paragrafo 5.2.1.

Le caratteristiche costruttive sono sempre quelle tipiche di un misuratore ad ultrasuoni, già illustrate nei casi precedenti, e quindi possiamo passare al costo dei lavori.



Fig. 37 - Naviglio Grande a valle del nodo idraulico di Tombe Morte

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione B - B	$10,10 \times 0,15 \times 100,00 =$	mc	151,50			
		Tratto rialzato misuratore	$(2,40 + 10,10 + 2,40) \times 0,15 \times 10,10 =$	mc	22,57			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (1,70 \times 1,41) + (10,10 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,85			
		Diaframma terminale	$10,10 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,91			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento				0,57		
		sommano		<b>mc</b>	<b>178,00</b>	<b>4,13</b>	<b>735,14</b>	
2	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Sezione B-B	$10,10 \times 0,15 \times 100,00 =$	mc	151,50			
		Tratto rialzato misuratore	$(2,40 + 10,10 + 2,40) \times 0,15 \times 10,10 =$	mc	22,57			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (1,70 \times 1,41) + (10,10 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,85			
		Diaframma terminale	$10,10 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,91			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento				0,57		
		sommano		<b>mc</b>	<b>178,00</b>	<b>103,50</b>	<b>18.423,00</b>	
3	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Platea cabina	$\text{kg/mc } 50,00 \times \text{mc } 1,60 =$	kg	80,00	1,00	80,00	
4	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>						
		Sezione B-B	$10,10 \times 100,00 = \text{mq } 110,00$					
		Tratto rialzato misuratore	$(2,40 + 10,10 + 2,40) \times 10,10 = \text{mq } 150,49$					
		Totale	$\text{mq } 260,49$					
			$\text{mq } 260,49 \times \text{kg/mq } 2,22 =$	kg	578,28			
		per arrotondamento		kg	0,62			
		sommano		<b>kg</b>	<b>578,90</b>	<b>1,20</b>	<b>694,68</b>	

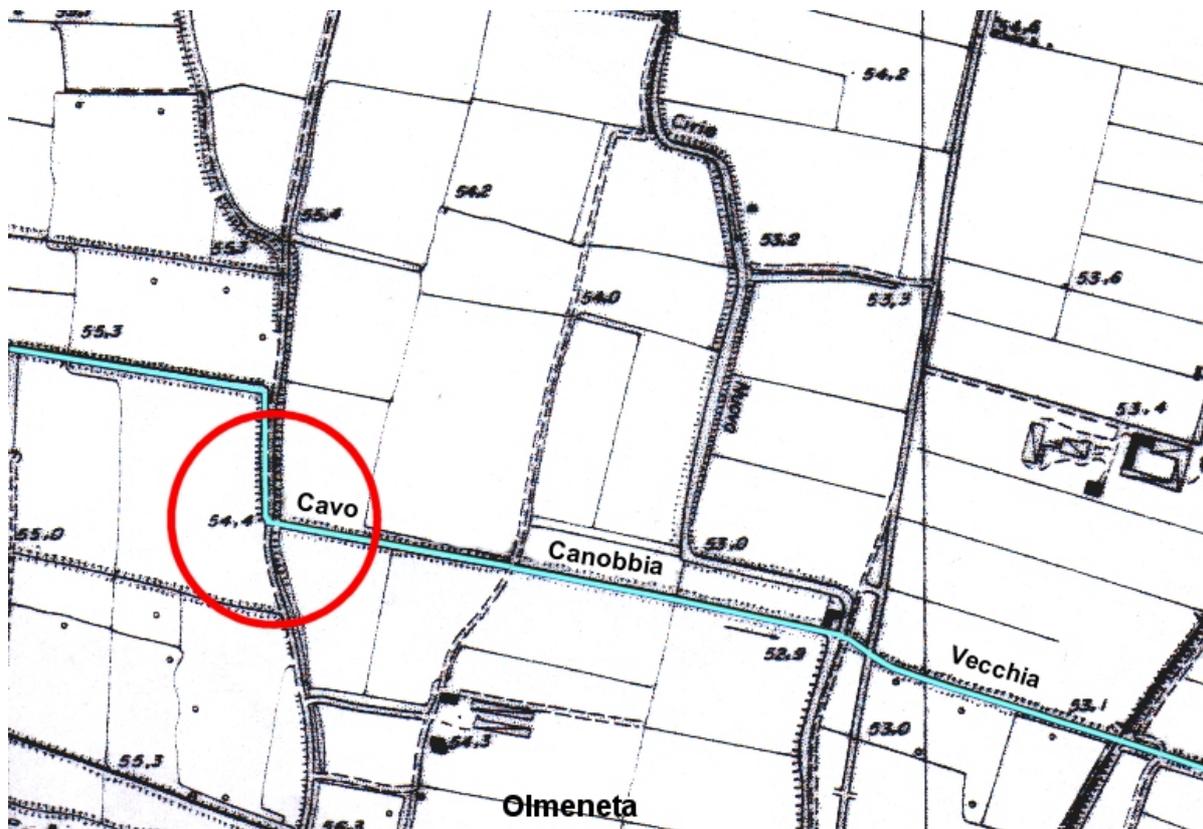
5	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b> Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	29,70	148,50	
6	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b> Cabina per ricovero strumentazione	2,50x2,00 =	mq	5,00	16,94	84,70	
7	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	2x(2,20+2,30)/2x2,00 =	mc	2,25			
			2,00x2,30 =	mc	1,15			
			2,00x2,20 =	mc	1,10			
		a dedurre porta	0,70x2,10 =	mc	-0,37			
		per arrotondamento		mc	0,37			
		sommano		mc	4,50	36,98	166,41	
8	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60	87,20	
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00	7.500,00	
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00	150,00	
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	20	4,00	80,00	
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00	150,00	
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	500,00	1,00	500,00	
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00	100,00	
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					100,37	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>							<b>29.000,00</b>	

**Misuratore n° 9 – Tratto finale della Canobbia Vecchia in località Olmeneta**

**Larghezza canale = 1,50 m**

PLANIMETRIA

Scala 1:10000



La decisione di progettare un dispositivo di misura in questo punto e non alla presa del canale è dettata dalla presenza di un salto d'acqua che permette una sconnessione idraulica; come noto nelle correnti a debole pendenza le perturbazioni derivano da valle e quindi tale sconnessione permette di avere a disposizione un tratto di corrente indisturbato. La sezione interessata è prossima ad un ponte strada ed è completamente rivestita (sia sul fondo che sulle sponde); ciò unito alla presenza del salto rende agevole la creazione di una scala di portate con un conseguente forte risparmio sui costi.



Fig. 38 – Salto d'acqua sulla Canobbia Vecchia (monte)



Fig. 39 – Salto d'acqua sulla Canobbia Vecchia (valle)

Come illustrato in alcuni casi precedenti, il costo della progettazione di una scala di portate è molto esiguo:

Fornitura e posa di asta idrometrica	€ 50
Misura di portata tramite mulinelli	€ 50
<hr/>	
TOTALE	€ 100

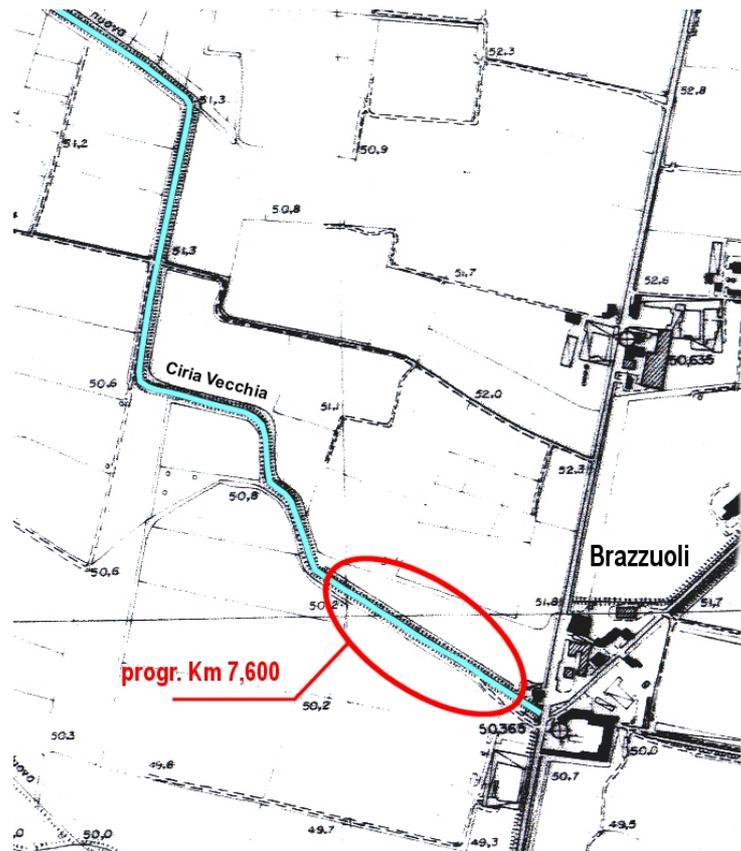
In realtà in questo caso la manodopera è molto minore rispetto alle situazioni precedenti in quanto il canale è molto stretto, ma in ogni caso l'incidenza di questi costi su quello che sarà il totale è praticamente nullo.

**Misuratore n° 10 – Ciria Vecchia tra la confluenza con la Ciria Nuova e lo scaricatore di Grumone**

**Larghezza canale = 8,70 m**

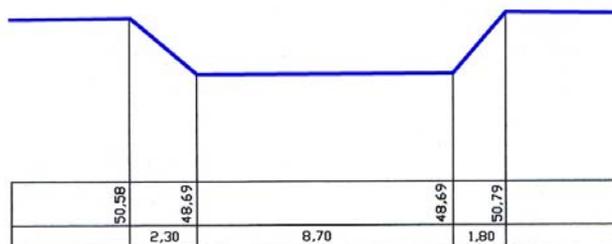
PLANIMETRIA

Scala 1:10000



SEZIONE progr. km 7,650

SCALA 1:150



Questo punto di misura è molto importante ai fini del bilancio idrico in quanto permette di conoscere l'entità della portata circolante nella Ciria Vecchia a valle della confluenza con la Ciria Nuova e prima di successive diramazioni (Quistra, Nuovo Delmona, scaricatore di Grumone); per questa ragione abbiamo preso in esame il tratto di canale compreso tra il punto immediatamente a valle della confluenza di cui sopra e la presa dello scaricatore di Grumone. Il tratto considerato è lungo circa 4 km e data la sua ridotta dimensione l'abbiamo percorso tutto lungo la strada alzaia che lo costeggia per scoprire eventuali salti. Per sicurezza abbiamo ricostruito il profilo longitudinale (allegato 6) del tratto in esame e da esso abbiamo potuto notare l'assenza di salti idraulici significativi il che, unito alla larghezza non proprio ridotta del canale, ci ha indotto a progettare un dispositivo di misura ad ultrasuoni nella parte terminale di questo tratto; ciò perché, come si può notare in fig. 37, abbiamo la presenza di un tratto rettilineo sufficientemente lungo che permetta il corretto funzionamento.



Fig. 40 - Ciria Vecchia in corrispondenza della sezione di installazione del misuratore (valle)

In fig. 37 si può notare anche il fatto che le sponde sono già rivestite e di conseguenza il calcestruzzo andrà messo solo sul fondo; anche in questo caso quindi avremo uno scostamento tra il valore totale emerso dal computo metrico estimativo che segue e quello desunto dal grafico costi-larghezza analizzato nel paragrafo 5.2.1.

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione B - B	$8,70 \times 0,15 \times 87,00 =$	mc	113,53			
		Tratto rialzato misuratore	$(3,00 + 8,70 + 3,00) \times 0,15 \times 8,70 =$	mc	19,18			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (2,10 \times 1,41) + (8,70 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,82			
		Diaframma terminale	$8,70 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,78			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento sommano		<b>mc</b>	<b>136,00</b>	<b>4,13</b>	<b>561,67</b>	
2	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Sezione B-B	$8,70 \times 0,15 \times 87,00 =$	mc	113,53			
		Tratto rialzato misuratore	$(3,00 + 8,70 + 3,00) \times 0,15 \times 8,70 =$	mc	19,18			
		Sezione passaggio cavo	$[2 \times (2,10 \times 1,41) + (8,70 \times 1,41)] \times 0,15 \times 0,30 =$	mc	0,82			
		Diaframma terminale	$8,70 \times 0,30 \times 0,30 =$	mc	0,78			
		Fondazione cabina	$(2,00 \times 2,00 \times 0,40) =$	mc	1,60			
		per arrotondamento sommano		<b>mc</b>	<b>136,00</b>	<b>103,50</b>	<b>14.076,00</b>	
3	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
Platea cabina	$\text{kg/mc } 50,00 \times \text{mc } 1,60 =$	kg	80,00	1,00	80,00			
4	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata F 6/20x20</b>						
		Sezione B-B	$8,70 \times 87,00 = \text{mq } 756,90$					
		Tratto rialzato misuratore	$(3,00 + 8,70 + 3,00) \times 8,70 = \text{mq } 127,90$					
		Totale	$\text{mq } 884,79$					
		per arrotondamento sommano	$\text{mq } 884,79 \times \text{kg/mq } 2,22 =$	kg	1.964,23			
		kg	5,77					
		<b>kg</b>	<b>1.970,00</b>	<b>1,20</b>	<b>2.364,00</b>			
5	12a	<b>Solaio misto di laterizio e c.a.</b>						
Cabina per ricovero strumentazione	$2,50 \times 2,00 =$	mq	5,00	29,70	148,50			
6	13a	<b>Copertura con lastre ondulate</b>						
Cabina per ricovero strumentazione	$2,50 \times 2,00 =$	mq	5,00	16,94	84,70			

7	14a	<b>Muratura in blocchi prefabbricati di cls</b> Cabina per ricovero strumentazione	$2 \times (2,20 + 2,30) / 2 \times 2,00 =$	mc				
						2,25		
			$2,00 \times 2,30 =$	mc		1,15		
			$2,00 \times 2,20 =$	mc		1,10		
		a dedurre porta	$0,70 \times 2,10 =$	mc		-0,37		
		per arrotondamento		mc		0,37		
		<b>sommano</b>		<b>mc</b>		<b>4,50</b>	<b>36,98</b>	<b>166,41</b>
8	16a	<b>Fornitura e posa in opera di pozzetti prefabbricati</b>		n	2	43,60		87,20
9	19	<b>Fornitura di misuratore di portata a corde acustiche</b>		n	1	7.500,00		7.500,00
10	20	<b>Fornitura e posa di staffe di fissaggio, posa dei sensori e dei cavi di collegamento</b>		a corpo		150,00		150,00
11	21	<b>Fornitura e posa di tubo schermante F 8</b>		m	20	4,00		80,00
12	22	<b>Costi energetici fissi</b>		a corpo		150,00		150,00
13	23	<b>Costi energetici variabili</b>		m	200,00	1,00		200,00
14	24	<b>Porta cabina per ricovero strumentazione</b>		n	1	100,00		100,00
15		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>						<b>251,52</b>
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>								<b>26.000,00</b>

## Misuratore n° 11 – Presa del cavo Nuovo Delmona dalla Ciria Vecchia

(vedi progetto allegato)

**Larghezza canale = 3,50 m**



Fig. 41 – Presa del Nuovo Delmona vista da valle



Fig. 42 - Presa Nuovo Delmona : manufatto di presa

Come si può notare dall'allegato progetto, in questo caso abbiamo a disposizione un discreto salto d'acqua quindi è sicuramente possibile valutare l'installazione di un misuratore a risalto o a stramazzo, viste anche le ridotte dimensioni del canale. In realtà il salto tra il canale di presa (Ciria Vecchia) e il Nuovo Delmona è appena superiore ai 70 cm, troppo poco per uno stramazzo; abbiamo infatti verificato l'impossibilità di un eventuale suo funzionamento. Osservando il grafico costi-larghezza, però, vediamo che la scelta del risalto in questo caso conviene economicamente, perciò ne abbiamo verificato in linea teorica il funzionamento date le condizioni idrauliche del sito in esame.

Innanzitutto è opportuno dire che la portata di progetto è pari a 2800 l/s; a questo punto, a partire dal pelo del canale di valle (di cui le caratteristiche geometriche ed idrauliche rimangono immutate) siamo saliti di 30 cm (dislivello di sicurezza tra misuratore e canale di valle) imponendo il pelo del misuratore che a questo punto soggiacerebbe di 40 cm dal pelo della Ciria Vecchia; imposta la quota del pelo e conoscendo quella del fondo (sempre del misuratore) abbiamo fatto variare i parametri di progetto, in particolare l'altezza della soglia e il rapporto di strozzamento, fino a trovare una soluzione opportuna come si può notare di seguito:

# Calcolo della portata nel misuratore

Immettere la larghezza del canale [m]	<b>L =</b>	3,50
Coefficiente correttivo sperimentale	<b>C =</b>	0,98
Rapporto di strozzamento	<b>r =</b>	0,666666667
Larghezza sezione ristretta [m]	<b>l =</b>	2,333333333
Altezza soglia di fondo [m]	<b>a =</b>	0,3

**$h_m$  = carico a monte del misuratore**

**$\mu$  = coefficiente di efflusso**

**Q = portata misurata**

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	Q [l/s]	k [m]	$H_{vl}$ [m]	V valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{vl}$ [m]
0,00	0,385	0	0	0	0	0	0
0,01	0,38505	4	0,006579	0,009862285	0,010357083	5,46734E-06	0,009856817
0,02	0,385188	11	0,013162	0,019716271	0,020041684	2,04724E-05	0,019695799
0,03	0,385397	20	0,019749	0,029565598	0,029303883	4,37675E-05	0,02952183
0,04	0,385664	31	0,026345	0,039412985	0,03823339	7,45052E-05	0,039338479
0,05	0,38598	44	0,032949	0,049260433	0,046882295	0,000112026	0,049148407
0,06	0,386333	58	0,039563	0,059109382	0,055285897	0,000155786	0,058953595
0,07	0,386718	73	0,046187	0,068960824	0,063470217	0,000205325	0,068755499
0,08	0,387127	89	0,052823	0,078815406	0,071455494	0,000260239	0,078555167
0,09	0,387556	106	0,059469	0,088673501	0,079258069	0,000320175	0,088353326
0,10	0,388	124	0,066127	0,098535269	0,086891502	0,000384818	0,098150451
0,11	0,388455	144	0,072797	0,108400704	0,094367287	0,000453883	0,107946821
0,12	0,388918	164	0,079478	0,118269668	0,101695333	0,000527112	0,117742555
0,13	0,389387	185	0,08617	0,128141926	0,108884296	0,000604271	0,127537655
0,14	0,38986	207	0,092874	0,138017169	0,115941827	0,000685143	0,137332026
0,15	0,390333	230	0,099588	0,147895028	0,122874749	0,000769531	0,147125497
0,16	0,390807	253	0,106314	0,157775096	0,129689198	0,000857252	0,156917844
0,17	0,39128	278	0,113049	0,167656935	0,13639073	0,000948136	0,166708799
0,18	0,39175	303	0,119795	0,177540089	0,142984408	0,001042026	0,176498063
0,19	0,392217	329	0,126551	0,187424087	0,149474865	0,001138773	0,186285314
0,20	0,39268	356	0,133316	0,197308456	0,155866367	0,001238243	0,196070213
0,21	0,393138	383	0,140091	0,20719272	0,162162855	0,001340305	0,205852415
0,22	0,393592	411	0,146875	0,217076406	0,168367982	0,001444841	0,215631565
0,23	0,39404	440	0,153667	0,226959046	0,174485149	0,001551736	0,22540731
0,24	0,394481	470	0,160468	0,236840182	0,18051753	0,001660886	0,235179296
0,25	0,394917	500	0,167278	0,246719363	0,186468095	0,001772189	0,244947174
0,26	0,395347	531	0,174095	0,256596151	0,19233963	0,001885552	0,254710598
0,27	0,39577	562	0,18092	0,266470118	0,198134758	0,002000886	0,264469232
0,28	0,396187	595	0,187752	0,27634085	0,203855948	0,002118106	0,274222744
0,29	0,396597	627	0,194592	0,286207946	0,209505534	0,002237134	0,283970812
0,30	0,397	661	0,201438	0,296071016	0,215085722	0,002357893	0,293713122
0,31	0,397397	695	0,208292	0,305929684	0,220598603	0,002480313	0,303449371

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	$Q$ [l/s]	$k$ [m]	$H_{v1}$ [m]	$V$ valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{v1}$ [m]
0,32	0,397787	729	0,215151	0,315783588	0,226046163	0,002604326	0,313179262
0,33	0,39817	765	0,222017	0,325632377	0,231430288	0,002729866	0,322902511
0,34	0,398547	800	0,22889	0,335475715	0,236752774	0,002856874	0,332618841
0,35	0,398917	837	0,235767	0,345313277	0,242015333	0,002985292	0,342327986
0,36	0,399281	874	0,242651	0,35514475	0,247219598	0,003115063	0,352029688
0,37	0,399638	911	0,24954	0,364969833	0,252367128	0,003246135	0,361723698
0,38	0,39999	949	0,256435	0,374788237	0,257459416	0,003378458	0,371409779
0,39	0,400335	988	0,263334	0,384599683	0,26249789	0,003511985	0,381087698
0,40	0,400673	1027	0,270239	0,394403902	0,267483918	0,003646669	0,390757233
0,41	0,401006	1066	0,277148	0,404200639	0,272418812	0,003782467	0,400418172
0,42	0,401333	1106	0,284062	0,413989644	0,277303832	0,003919338	0,410070306
0,43	0,401655	1147	0,290981	0,423770681	0,282140189	0,004057242	0,419713439
0,44	0,40197	1188	0,297904	0,433543519	0,286929044	0,00419614	0,429347378
0,45	0,40228	1230	0,304831	0,443307939	0,291671518	0,004335998	0,438971941
0,46	0,402584	1272	0,311762	0,453063728	0,296368688	0,004476779	0,44858695
0,47	0,402884	1315	0,318697	0,462810685	0,301021593	0,004618451	0,458192234
0,48	0,403178	1358	0,325636	0,472548611	0,305631232	0,004760981	0,46778763
0,49	0,403466	1402	0,332579	0,48227732	0,310198571	0,00490434	0,47737298
0,50	0,40375	1446	0,339526	0,491996629	0,314724543	0,005048498	0,486948131
0,51	0,404029	1490	0,346475	0,501706365	0,319210046	0,005193428	0,496512937
0,52	0,404303	1536	0,353429	0,511406359	0,323655951	0,005339102	0,506067257
0,53	0,404572	1581	0,360385	0,52109645	0,328063097	0,005485494	0,515610956
0,54	0,404837	1627	0,367345	0,530776482	0,332432299	0,005632581	0,525143902
0,55	0,405097	1674	0,374308	0,540446306	0,336764342	0,005780338	0,534665968
0,56	0,405353	1721	0,381274	0,550105777	0,341059989	0,005928742	0,544177035
0,57	0,405604	1768	0,388243	0,559754755	0,345319977	0,006077772	0,553676983
0,58	0,405851	1816	0,395215	0,569393108	0,349545021	0,006227407	0,563165701
0,59	0,406094	1864	0,402189	0,579020705	0,353735815	0,006377626	0,572643079
0,60	0,406333	1913	0,409167	0,588637423	0,35789303	0,006528411	0,582109012
0,61	0,406568	1962	0,416147	0,59824314	0,362017319	0,006679742	0,591563398
0,62	0,4068	2012	0,423129	0,607837743	0,366109314	0,006831602	0,601006141
0,63	0,407027	2062	0,430114	0,617421118	0,370169631	0,006983973	0,610437144
0,64	0,407251	2112	0,437101	0,626993157	0,374198866	0,00713684	0,619856318
0,65	0,407471	2163	0,444091	0,636553758	0,378197598	0,007290185	0,629263573
0,66	0,407688	2214	0,451083	0,646102819	0,382166392	0,007443993	0,638658826
0,67	0,407901	2266	0,458077	0,655640243	0,386105796	0,007598251	0,648041992
0,68	0,40811	2318	0,465073	0,665165938	0,390016341	0,007752943	0,657412994
0,69	0,408317	2370	0,472072	0,674679811	0,393898548	0,007908056	0,666771755
0,70	0,40852	2423	0,479072	0,684181776	0,39775292	0,008063577	0,676118199
0,71	0,40872	2477	0,486075	0,693671748	0,401579947	0,008219493	0,685452255
0,72	0,408917	2530	0,493079	0,703149646	0,405380109	0,008375792	0,694773854
0,73	0,409111	2585	0,500085	0,71261539	0,409153872	0,008532461	0,704082928
0,74	0,409302	2639	0,507094	0,722068904	0,412901687	0,00868949	0,713379413
0,75	0,40949	2694	0,514104	0,731510114	0,416623998	0,008846868	0,722663245
0,76	0,409675	2749	0,521115	0,740938948	0,420321236	0,009004584	0,731934364
<u>0,77</u>	0,409857	<u>2805</u>	0,528129	0,750355338	0,42399382	0,009162628	0,74119271
0,78	0,410037	2861	0,535144	0,759759216	0,42764216	0,00932099	0,750438226
0,79	0,410214	2917	0,542161	0,769150517	0,431266656	0,00947966	0,759670857
0,80	0,410388	2974	0,549179	0,778529178	0,434867697	0,00963863	0,768890548
0,81	0,41056	3031	0,556199	0,787895139	0,438445663	0,00979789	0,778097249
0,82	0,41073	3089	0,563221	0,79724834	0,442000926	0,009957432	0,787290908
0,83	0,410896	3147	0,570244	0,806588725	0,445533849	0,010117248	0,796471476

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	Q [l/s]	k [m]	$H_{vi}$ [m]	V valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{vi}$ [m]
0,84	0,411061	3205	0,577268	0,815916237	0,449044785	0,01027733	0,805638907
0,85	0,411223	3264	0,584294	0,825230823	0,452534079	0,01043767	0,814793152
0,86	0,411383	3323	0,591321	0,834532431	0,45600207	0,010598261	0,82393417
0,87	0,41154	3383	0,59835	0,84382101	0,459449087	0,010759096	0,833061914
0,88	0,411696	3442	0,605379	0,853096512	0,462875452	0,010920167	0,842176344
0,89	0,411849	3502	0,612411	0,862358888	0,466281481	0,011081469	0,851277419
0,90	0,412	3563	0,619443	0,871608092	0,469667481	0,011242994	0,860365098
0,91	0,412149	3624	0,626477	0,88084408	0,473033754	0,011404737	0,869439344
0,92	0,412296	3685	0,633512	0,890066808	0,476380594	0,011566691	0,878500117
0,93	0,412441	3747	0,640548	0,899276234	0,47970829	0,01172885	0,887547383
0,94	0,412584	3809	0,647585	0,908472316	0,483017122	0,01189121	0,896581106
0,95	0,412725	3871	0,654623	0,917655015	0,486307367	0,012053764	0,905601251
0,96	0,412864	3933	0,661663	0,926824292	0,489579295	0,012216508	0,914607784
0,97	0,413001	3996	0,668703	0,935980109	0,492833169	0,012379436	0,923600673
0,98	0,413137	4060	0,675745	0,94512243	0,496069248	0,012542543	0,932579886
0,99	0,41327	4123	0,682787	0,954251218	0,499287785	0,012705825	0,941545393
1,00	0,413402	4187	0,689831	0,96336644	0,502489028	0,012869277	0,950497163
1,01	0,413533	4252	0,696876	0,972468062	0,50567322	0,013032895	0,959435166
1,02	0,413661	4316	0,703921	0,98155605	0,508840597	0,013196674	0,968359375
1,03	0,413788	4381	0,710968	0,990630373	0,511991394	0,013360611	0,977269762
1,04	0,413913	4446	0,718015	0,999691	0,515125839	0,013524701	0,9861663

Con i valori di battente e portata riportati nella tabella abbiamo costruito due curve: la scala di portata del misuratore e il limite di sommergezza, ovvero le condizioni limite che può assumere il canale di valle senza alterare il funzionamento del misuratore; quest'ultima curva è stata costruita con i valori di altezza idrica riportati nell'ultima colonna a destra. La terza curva che ci siamo costruiti è la scala di portate del canale di valle, procedimento reso possibile solo dalla relativa conoscenza dei valori geometrici ed idraulici, attraverso cui abbiamo potuto calcolare velocità e portata, come riportato nella tabella seguente.

## Calcolo della portata nel canale di valle

dati:



base = 4,40  
 scarpa = 1,00  
 tirante min = 0,01  
 pendenza = 0,00028  
 gamma = 1,30  
 passo = 0,01

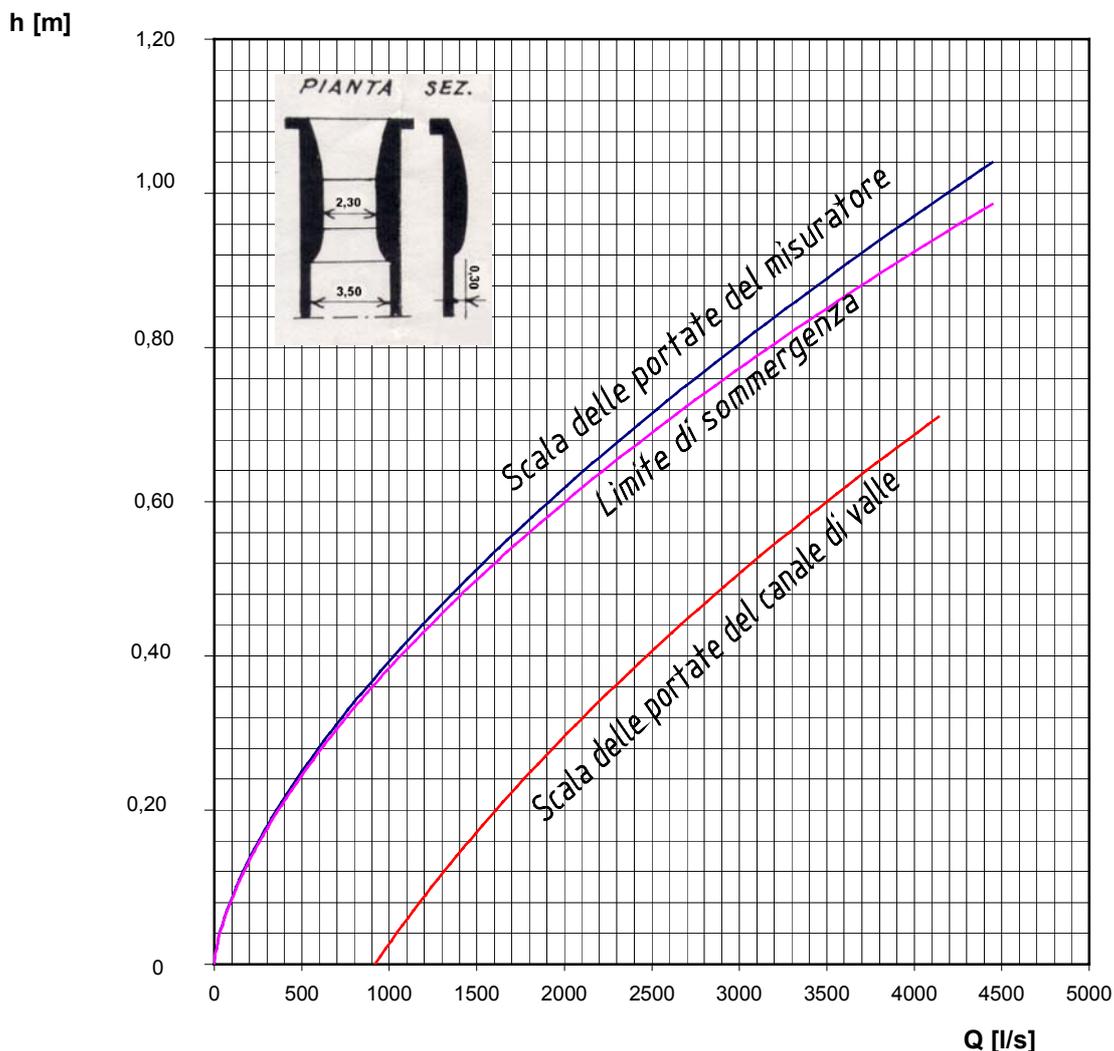
tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,01	4,43	0,04	0,010	6,2024	0,010	0
0,02	4,46	0,09	0,020	8,5041	0,020	2
0,03	4,48	0,13	0,030	10,1732	0,029	4
0,04	4,51	0,18	0,039	11,5181	0,038	7
0,05	4,54	0,22	0,049	12,6579	0,047	10
0,06	4,57	0,27	0,059	13,6533	0,055	15
0,07	4,60	0,31	0,068	14,5403	0,063	20
0,08	4,63	0,36	0,077	15,3422	0,071	26
0,09	4,65	0,40	0,087	16,0753	0,079	32
0,10	4,68	0,45	0,096	16,7512	0,087	39
0,11	4,71	0,50	0,105	17,3788	0,094	47
0,12	4,74	0,54	0,114	17,9649	0,102	55
0,13	4,77	0,59	0,124	18,5148	0,109	64
0,14	4,80	0,64	0,133	19,0330	0,116	74
0,15	4,82	0,68	0,141	19,5231	0,123	84
0,16	4,85	0,73	0,150	19,9879	0,130	95
0,17	4,88	0,78	0,159	20,4301	0,136	106
0,18	4,91	0,82	0,168	20,8517	0,143	118
0,19	4,94	0,87	0,177	21,2547	0,149	130
0,20	4,97	0,92	0,185	21,6406	0,156	143
0,21	4,99	0,97	0,194	22,0108	0,162	157
0,22	5,02	1,02	0,202	22,3665	0,168	171
0,23	5,05	1,06	0,211	22,7088	0,174	186
0,24	5,08	1,11	0,219	23,0387	0,181	201
0,25	5,11	1,16	0,228	23,3570	0,186	217
0,26	5,14	1,21	0,236	23,6645	0,192	233
0,27	5,16	1,26	0,244	23,9619	0,198	250
0,28	5,19	1,31	0,252	24,2498	0,204	267
0,29	5,22	1,36	0,261	24,5288	0,210	285
0,30	5,25	1,41	0,269	24,7994	0,215	303
0,31	5,28	1,46	0,277	25,0621	0,221	322
0,32	5,31	1,51	0,285	25,3174	0,226	341
0,33	5,33	1,56	0,293	25,5655	0,231	361
0,34	5,36	1,61	0,301	25,8070	0,237	382
0,35	5,39	1,66	0,308	26,0421	0,242	402
0,36	5,42	1,71	0,316	26,2711	0,247	424
0,37	5,45	1,76	0,324	26,4943	0,252	445

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,38	5,47	1,82	0,332	26,7121	0,257	468
0,39	5,50	1,87	0,339	26,9246	0,262	490
0,40	5,53	1,92	0,347	27,1322	0,267	514
0,41	5,56	1,97	0,355	27,3349	0,272	537
0,42	5,59	2,02	0,362	27,5331	0,277	561
0,43	5,62	2,08	0,370	27,7268	0,282	586
0,44	5,64	2,13	0,377	27,9164	0,287	611
0,45	5,67	2,18	0,385	28,1019	0,292	637
0,46	5,70	2,24	0,392	28,2836	0,296	663
0,47	5,73	2,29	0,400	28,4615	0,301	689
0,48	5,76	2,34	0,407	28,6359	0,306	716
0,49	5,79	2,40	0,414	28,8068	0,310	743
0,50	5,81	2,45	0,421	28,9744	0,315	771
0,51	5,84	2,50	0,429	29,1388	0,319	799
0,52	5,87	2,56	0,436	29,3000	0,324	828
0,53	5,90	2,61	0,443	29,4584	0,328	857
0,54	5,93	2,67	0,450	29,6138	0,332	887
0,55	5,96	2,72	0,457	29,7665	0,337	917
0,56	5,98	2,78	0,464	29,9164	0,341	947
0,57	6,01	2,83	0,471	30,0638	0,345	978
0,58	6,04	2,89	0,478	30,2087	0,350	1010
0,59	6,07	2,94	0,485	30,3511	0,354	1041
0,60	6,10	3,00	0,492	30,4911	0,358	1074
0,61	6,13	3,06	0,499	30,6289	0,362	1106
0,62	6,15	3,11	0,506	30,7645	0,366	1139
0,63	6,18	3,17	0,513	30,8979	0,370	1173
0,64	6,21	3,23	0,519	31,0292	0,374	1207
0,65	6,24	3,28	0,526	31,1585	0,378	1241
0,66	6,27	3,34	0,533	31,2858	0,382	1276
0,67	6,30	3,40	0,540	31,4113	0,386	1312
0,68	6,32	3,45	0,546	31,5348	0,390	1347
0,69	6,35	3,51	0,553	31,6566	0,394	1383
0,70	6,38	3,57	0,560	31,7766	0,398	1420
0,71	6,41	3,63	0,566	31,8949	0,402	1457
0,72	6,44	3,69	0,573	32,0115	0,405	1494
0,73	6,46	3,74	0,579	32,1265	0,409	1532
0,74	6,49	3,80	0,586	32,2399	0,413	1571
0,75	6,52	3,86	0,592	32,3518	0,417	1609
0,76	6,55	3,92	0,599	32,4622	0,420	1648
0,77	6,58	3,98	0,605	32,5712	0,424	1688
0,78	6,61	4,04	0,612	32,6787	0,428	1728
0,79	6,63	4,10	0,618	32,7848	0,431	1768
0,80	6,66	4,16	0,624	32,8896	0,435	1809
0,81	6,69	4,22	0,631	32,9930	0,438	1850
0,82	6,72	4,28	0,637	33,0951	0,442	1892
0,83	6,75	4,34	0,643	33,1960	0,446	1934
0,84	6,78	4,40	0,650	33,2957	0,449	1977
0,85	6,80	4,46	0,656	33,3942	0,453	2019
0,86	6,83	4,52	0,662	33,4914	0,456	2063
0,87	6,86	4,58	0,668	33,5876	0,459	2107

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q l/s
0,88	6,89	4,65	0,674	33,6826	0,463	2151
0,89	6,92	4,71	0,681	33,7765	0,466	2195
0,90	6,95	4,77	0,687	33,8693	0,470	2240
0,91	6,97	4,83	0,693	33,9611	0,473	2286
0,92	7,00	4,89	0,699	34,0519	0,476	2332
0,93	7,03	4,96	0,705	34,1416	0,480	2378
0,94	7,06	5,02	0,711	34,2304	0,483	2425
0,95	7,09	5,08	0,717	34,3182	0,486	2472
0,96	7,12	5,15	0,723	34,4051	0,490	2519
0,97	7,14	5,21	0,729	34,4910	0,493	2567
0,98	7,17	5,27	0,735	34,5760	0,496	2615
0,99	7,20	5,34	0,741	34,6602	0,499	2664
1,00	7,23	5,40	0,747	34,7434	0,502	2713
1,01	7,26	5,46	0,753	34,8258	0,506	2763
<b>1,02</b>	7,28	5,53	0,759	34,9074	0,509	<b>2813</b>
1,03	7,31	5,59	0,765	34,9882	0,512	2864
1,04	7,34	5,66	0,771	35,0681	0,515	2914
1,05	7,37	5,72	0,776	35,1473	0,518	2966
1,06	7,40	5,79	0,782	35,2257	0,521	3017
1,07	7,43	5,85	0,788	35,3033	0,524	3069
1,08	7,45	5,92	0,794	35,3802	0,528	3122
1,09	7,48	5,98	0,800	35,4563	0,531	3175
1,10	7,51	6,05	0,805	35,5318	0,534	3228
1,11	7,54	6,12	0,811	35,6065	0,537	3282
1,12	7,57	6,18	0,817	35,6805	0,540	3336
1,13	7,60	6,25	0,823	35,7539	0,543	3391
1,14	7,62	6,32	0,828	35,8266	0,546	3446
1,15	7,65	6,38	0,834	35,8986	0,549	3501
1,16	7,68	6,45	0,840	35,9700	0,552	3557
1,17	7,71	6,52	0,845	36,0408	0,554	3614
1,18	7,74	6,58	0,851	36,1109	0,557	3670
1,19	7,77	6,65	0,857	36,1804	0,560	3727
1,20	7,79	6,72	0,862	36,2493	0,563	3785
1,21	7,82	6,79	0,868	36,3176	0,566	3843
1,22	7,85	6,86	0,873	36,3854	0,569	3901
1,23	7,88	6,92	0,879	36,4526	0,572	3960
1,24	7,91	6,99	0,884	36,5192	0,575	4019
1,25	7,94	7,06	0,890	36,5852	0,578	4079
1,26	7,96	7,13	0,896	36,6507	0,580	4139

Di seguito riportiamo il grafico con le tre curve descritte in precedenza e successivamente il computo metrico estimativo.

**Diagramma delle portate del misuratore**



**Tabella delle portate del misuratore**

h [m]	Q [l/s]												
0,00	0	0,15	230	0,30	661	0,45	1230	0,60	1913	0,75	2694	0,90	3563
0,01	4	0,16	253	0,31	695	0,46	1272	0,61	1962	0,76	2749	0,91	3624
0,02	11	0,17	278	0,32	729	0,47	1315	0,62	2012	0,77	2805	0,92	3685
0,03	20	0,18	303	0,33	765	0,48	1358	0,63	2062	0,78	2861	0,93	3747
0,04	31	0,19	329	0,34	800	0,49	1402	0,64	2112	0,79	2917	0,94	3809
0,05	44	0,20	356	0,35	837	0,50	1446	0,65	2163	0,80	2974	0,95	3871
0,06	58	0,21	383	0,36	874	0,51	1490	0,66	2214	0,81	3031	0,96	3933
0,07	73	0,22	411	0,37	911	0,52	1536	0,67	2266	0,82	3089	0,97	3996
0,08	89	0,23	440	0,38	949	0,53	1581	0,68	2318	0,83	3147	0,98	4060
0,09	106	0,24	470	0,39	988	0,54	1627	0,69	2370	0,84	3205	0,99	4123
0,10	124	0,25	500	0,40	1027	0,55	1674	0,70	2423	0,85	3264	1,00	4187
0,11	144	0,26	531	0,41	1066	0,56	1721	0,71	2477	0,86	3323	1,01	4252
0,12	164	0,27	562	0,42	1106	0,57	1768	0,72	2530	0,87	3383	1,02	4316
0,13	185	0,28	595	0,43	1147	0,58	1816	0,73	2585	0,88	3442	1,03	4381
0,14	207	0,29	627	0,44	1188	0,59	1864	0,74	2639	0,89	3502	1,04	4446

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b> Sezione C - C sommano	mq 1,20x10,00 =	mc	12,00			
				<b>mc</b>	<b>12,00</b>	<b>4,13</b>	<b>49,56</b>	
2	2	<b>Scavo di fondazione a sezione obbligata eseguito a macchina</b> Muri d'ala Diaframma terminale per arrotondamento sommano	2x(1,50x1,65x0,25)= 4,00x0,25x0,50 =	mc mc mc	1,23 0,50 0,27			
				<b>mc</b>	<b>2,00</b>	<b>5,94</b>	<b>7,94</b>	
3	5	<b>Formazione di fori</b>	2x10 =	n	20	15,49	309,80	
4	6a	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato proveniente dagli scavi del cantiere</b> Vedi precedenti n° 1-2		mc	14,00	6,71	93,94	
5	6b	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato proveniente da cave</b> Sezione C - C a dedurre materiale proveniente dagli scavi sul cantiere per arrotondamento sommano	mq 3,30x10,50 =	mc mc mc	34,65 -14,00 0,35			
				<b>mc</b>	<b>21,00</b>	<b>16,53</b>	<b>347,13</b>	
6	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b> Platea tra presa e misuratore Misuratore Soglia risalto Pozzetto Rivestimento di valle Diaframma terminale Muri d'ala per arrotondamento sommano	{[(2,00+3,90)/2x1,50]+[(3,90+4,10)/2x7,80]+[(4,10+4,60)/2x1,40]+(4,60x3,45)}x0,25= (12,00+7,00)x4,45x0,25= [(7,00+2,30)/2x0,30]x3,50= 1,30x0,85x0,25 = (2,30+3,90+2,30)x0,15x10,00= 4,00x0,25x0,50 = 2x(1,50x0,25x0,25)=	mc mc mc mc mc mc mc mc	14,40 21,14 4,88 0,27 12,75 0,50 0,19 0,27			
				<b>mc</b>	<b>40,00</b>	<b>103,50</b>	<b>4.140,00</b>	
7	9a	<b>Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per murature di elevazione armate</b> Misuratore Risolto Pozzetto Muri d'ala per arrotondamento sommano	(12,00+7,00)x1,40x0,25= 2x(7,00+2,30)/2x0,60= (0,60+1,30+0,60)x1,40x0,25= 2x(1,50x1,40x0,25) =	mc mc mc mc mc	6,65 5,58 0,88 1,05 0,84			
				<b>mc</b>	<b>15,00</b>	<b>125,15</b>	<b>1.877,25</b>	

8	10a	<b>casseforme per getti in calcestruzzo armato</b>						
		Misuratore	2x(10,50x1,65)=	mq	34,65			
			4,00x0,25=	mq	1,00			
			2x(19,00x1,40)=	mq	53,20			
		pozzetto	2x(0,60x1,40) =	mq	1,68			
			2x(0,85x1,65) =	mq	2,81			
			2x(0,80x1,40)=	mq	2,24			
			1,30x1,65=	mq	2,15			
		muri d'ala	4x(1,50x1,65)=	mq	9,90			
		per arrotondamento		mq	0,37			
		sommano		<b>mq</b>	<b>108,00</b>	<b>23,24</b>		<b>2.509,92</b>
9	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Misuratore	kg/mc 50,00xmc 13,00 =	kg	650,00			
		per arrotondamento		kg	50,00			
		sommano		<b>kg</b>	<b>700,00</b>	<b>1,00</b>		<b>700,00</b>
10	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata</b>						
		Platea tra presa e misuratore						
		Calcolo superficie rivestita:						
		[(2,00+3,90)/2x1,50]+[(3,90+4,10)/2x7,80]+[(4,10+4,60)/2x1,40]+(4,60x3,45)=mq 57,60						
		Tratto rivestito di valle						
		Calcolo superficie rivestita:						
		(2,30+3,90+2,30)x10,00=85,00 mq						
		kg/mq 2,22xmq (57,60+85,00) =		kg	316,57			
		per arrotondamento		kg	3,43			
		sommano		<b>kg</b>	<b>320,00</b>	<b>1,20</b>		<b>384,00</b>
11	15	<b>Fornitura e posa in opera di polistirolo espanso per uno spessore di cm 10</b>						
		intercapedine tra muro esistente e muro misuratore	(8,50+4,00+3,20)x1,40=	mq	21,98			
		per arrotondamento		mq	0,02			
		sommano		mq	<b>22,00</b>	<b>16,35</b>		<b>359,70</b>
12	17	<b>Fornitura e posa in opera di asta idrometrica</b>		n	1	50,00		50,00
13		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>						170,76
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>								<b>11.000,00</b>

## **Misuratore n° 12 – Tratto terminale del Diversivo Magio in prossimità di Piadena**

(vedi progetto allegato)

**Larghezza canale = 1,20 m**

Il Diversivo Magio è l'ultimo canale della rete irrigua del Consorzio e in quanto tale svolge, oltre alla dispensa irrigua, la funzione di scaricatore terminale: la rete, al massimo regime nel periodo irriguo, è soggetta a periodi di regime transitorio in cui le portate, soprattutto nella parte centrale e terminale, possono essere temporaneamente esuberanti, rendendo quindi necessarie operazioni di sfioro o di scarico, allorquando non è possibile utilizzare diversamente l'acqua eccedente. Questo avviene in particolare in casi meteorologici eccezionali, identificabili con temporali improvvisi e di forte intensità. Nell'ambito di un progetto di riordino della rete di bonifica, il Consorzio di bonifica locale ha acquisito il tratto terminale del Diversivo Magio, rendendo necessario progettare uno scaricatore collocato nel punto che ora individua il nuovo termine della rete del CIC.

La delimitazione, nel Diversivo Magio, delle competenze del Consorzio di bonifica rende necessario progettare un dispositivo di misura nel punto di separazione della competenza; date le caratteristiche del canale, il quale è molto stretto, e la mancanza di salti significativi, si è optato per un modellatore a risalto.

Il Diversivo Magio deve garantire agli utenti delle bocche di valle una portata di circa 300 l/s, che sarà assunta come ordinaria di progetto; in quest'ultimo, però, si dovrà tenere conto anche di un'ulteriore portata, stimata in 150 l/s, che potrebbe essere richiesta in casi eccezionali (estati poco piovose) da tutti gli utenti contemporaneamente, sempre che il Consorzio ne abbia la disponibilità.

Come si nota nel progetto il dislivello tra il pelo a monte della paratoia di alimentazione della vasca del misuratore e il pelo del misuratore stesso è minimo; una situazione analoga l'abbiamo tra il pelo nel misuratore e il pelo di valle. Nonostante le condizioni al limite del funzionamento, il progetto risulta attendibile data l'esiguità della portata normalmente circolante in questo tratto del canale; come si nota dal grafico riportato in seguito il funzionamento è garantito per le condizioni ordinarie mentre siamo al limite per le situazioni eccezionali ( $q = 450$  l/s), ma esse si verificherebbero in casi talmente rari da accettare il rischio stesso. Di seguito sono riportati i calcoli della portata nel misuratore e nel canale di valle e il computo metrico estimativo.

# Calcolo della portata nel misuratore

Immettere la larghezza del canale [m]	<b>L =</b>	1,20
Coefficiente correttivo sperimentale	<b>C =</b>	0,93
Rapporto di strozzamento	<b>r =</b>	0,65
Larghezza sezione ristretta [m]	<b>l =</b>	0,78
Altezza soglia di fondo [m]	<b>a =</b>	0,15

**$h_m$  = carico a monte del misuratore**

**$\mu$  = coefficiente di efflusso**

**Q = portata misurata**

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	Q [l/s]	k [m]	$H_{v1}$ [m]	V valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{v1}$ [m]
0,00	0,385	0	0	0	0	0	0
0,01	0,385178	1	0,006355	0,009514179	0,003220384	5,28587E-07	0,009513651
0,02	0,385632	4	0,01272	0,019006957	0,006270552	2,00407E-06	0,019004953
0,03	0,386268	6	0,019101	0,028487083	0,009207381	4,32089E-06	0,028482763
0,04	0,387022	10	0,025501	0,037959016	0,012051965	7,40315E-06	0,037951613
0,05	0,387852	14	0,031921	0,047424575	0,014816893	1,11896E-05	0,047413386
0,06	0,388725	18	0,038363	0,056883969	0,01751091	1,56285E-05	0,0568868341
0,07	0,38962	23	0,044825	0,066336434	0,02014061	2,0675E-05	0,066315759
0,08	0,39052	28	0,051308	0,07578064	0,022711232	2,62895E-05	0,075754351
0,09	0,391417	34	0,05781	0,085214953	0,025227085	3,24366E-05	0,085182517
0,10	0,392301	40	0,06433	0,094637595	0,027691812	3,90844E-05	0,09459851
0,11	0,393168	46	0,070867	0,104046747	0,03010855	4,62041E-05	0,104000543
0,12	0,394013	53	0,07742	0,113440616	0,032480045	5,37693E-05	0,113386847
0,13	0,394836	59	0,083989	0,122817471	0,034808728	6,17557E-05	0,122755716
0,14	0,395634	67	0,090571	0,132175666	0,037096778	7,01412E-05	0,132105524
0,15	0,396408	74	0,097167	0,141513648	0,039346159	7,89052E-05	0,141434743
0,16	0,397155	82	0,103775	0,150829967	0,041558656	8,80286E-05	0,150741939
0,17	0,397878	90	0,110395	0,160123272	0,043735905	9,74939E-05	0,160025778
0,18	0,398576	98	0,117025	0,169392307	0,045879405	0,000107284	0,169285023
0,19	0,39925	106	0,123665	0,17863591	0,047990546	0,000117385	0,178518525
0,20	0,3999	115	0,130315	0,187853005	0,050070613	0,000127781	0,187725224
0,21	0,400527	124	0,136974	0,197042598	0,052120804	0,00013846	0,196904138
0,22	0,401132	133	0,143641	0,206203769	0,054142235	0,000149408	0,206054361
0,23	0,401716	142	0,150316	0,215335669	0,056135955	0,000160614	0,215175055
0,24	0,40228	152	0,156998	0,224437511	0,058102944	0,000172067	0,224265444
0,25	0,402824	162	0,163688	0,23350857	0,060044128	0,000183756	0,233324814
0,26	0,40335	172	0,170383	0,242548172	0,061960377	0,000195672	0,2423525
0,27	0,403857	182	0,177085	0,251555695	0,063852514	0,000207805	0,25134789
0,28	0,404348	192	0,183792	0,260530562	0,065721319	0,000220147	0,260310414
0,29	0,404822	203	0,190505	0,269472236	0,067567529	0,00023269	0,269239546
0,30	0,40528	214	0,197223	0,278380221	0,069391845	0,000245424	0,278134796
0,31	0,405723	225	0,203945	0,287254054	0,071194934	0,000258344	0,28699571

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	Q [l/s]	k [m]	$H_{vi}$ [m]	V valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{v1}$ [m]
0,32	0,406152	236	0,210672	0,296093306	0,072977429	0,000271443	0,295821863
0,33	0,406567	248	0,217404	0,304897576	0,074739934	0,000284712	0,304612863
0,34	0,406969	259	0,22414	0,313666491	0,076483027	0,000298147	0,313368344
0,35	0,407359	271	0,230879	0,322399704	0,078207257	0,000311742	0,322087962
0,36	0,407736	283	0,237622	0,33109689	0,079913151	0,00032549	0,3307714
0,37	0,408102	295	0,244369	0,339757744	0,081601213	0,000339386	0,339418358
0,38	0,408457	307	0,251119	0,348381983	0,083271924	0,000353426	0,348028558
0,39	0,408801	320	0,257872	0,356969342	0,084925748	0,000367604	0,356601738
0,40	0,409135	333	0,264628	0,36551957	0,086563128	0,000381915	0,365137655
0,41	0,409459	345	0,271387	0,374032435	0,088184489	0,000396356	0,373636079
0,42	0,409774	358	0,278149	0,382507716	0,089790241	0,000410922	0,382096794
0,43	0,41008	372	0,284913	0,390945208	0,091380777	0,000425609	0,390519599
0,44	0,410378	385	0,29168	0,399344716	0,092956476	0,000440413	0,398904303
0,45	0,410667	398	0,29845	0,407706059	0,094517701	0,000455331	0,407250728
0,46	0,410948	412	0,305221	0,416029063	0,096064803	0,000470359	0,415558704
0,47	0,411222	426	0,311995	0,424313568	0,097598121	0,000485494	0,423828074
0,48	0,411488	440	0,31877	0,432559419	0,099117981	0,000500733	0,432058687
<b>0,49</b>	0,411747	<b>454</b>	0,325548	0,440766474	0,100624697	0,000516072	0,440250402
0,50	0,412	468	0,332328	0,448934595	0,102118572	0,000531509	0,448403086
0,51	0,412246	482	0,339109	0,457063654	0,1035999	0,000547041	0,456516613
0,52	0,412486	497	0,345893	0,465153528	0,105068964	0,000562665	0,464590863
0,53	0,412719	512	0,352678	0,473204101	0,106526038	0,000578379	0,472625722
0,54	0,412947	527	0,359464	0,481215265	0,107971386	0,00059418	0,480621085
0,55	0,41317	542	0,366252	0,489186916	0,109405264	0,000610067	0,488576849
0,56	0,413386	557	0,373042	0,497118955	0,110827921	0,000626036	0,496492918
0,57	0,413598	572	0,379833	0,505011288	0,112239597	0,000642086	0,504369202
0,58	0,413805	587	0,386625	0,512863826	0,113640523	0,000658214	0,512205612
0,59	0,414006	603	0,393419	0,520676486	0,115030925	0,00067442	0,520002066
0,60	0,414203	619	0,400214	0,528449187	0,116411021	0,0006907	0,527758487
0,61	0,414396	634	0,40701	0,536181852	0,117781023	0,000707052	0,535474799
0,62	0,414584	650	0,413808	0,543874408	0,119141136	0,000723477	0,543150932
0,63	0,414768	666	0,420606	0,551526787	0,120491559	0,00073997	0,550786817
0,64	0,414947	683	0,427406	0,559138921	0,121832486	0,000756532	0,55838239
0,65	0,415123	699	0,434207	0,566710749	0,123164104	0,00077316	0,565937589
0,66	0,415295	715	0,441008	0,574242209	0,124486595	0,000789853	0,573452357
0,67	0,415463	732	0,447811	0,581733245	0,125800137	0,000806609	0,580926636
0,68	0,415628	749	0,454615	0,589183801	0,127104901	0,000823428	0,588360373
0,69	0,415789	766	0,46142	0,596593825	0,128401054	0,000840307	0,595753517
0,70	0,415946	783	0,468225	0,603963266	0,129688759	0,000857246	0,603106019
0,71	0,416101	800	0,475032	0,611292077	0,130968174	0,000874244	0,610417833
0,72	0,416252	817	0,481839	0,618580211	0,132239453	0,000891298	0,617688913
0,73	0,4164	834	0,488647	0,625827625	0,133502746	0,000908409	0,624919216
0,74	0,416545	852	0,495456	0,633034277	0,134758197	0,000925574	0,632108702
0,75	0,416688	870	0,502266	0,640200125	0,136005949	0,000942794	0,639257331
0,76	0,416827	887	0,509076	0,647325132	0,137246139	0,000960066	0,646365066
0,77	0,416964	905	0,515887	0,65440926	0,138478902	0,000977391	0,653431869
0,78	0,417098	923	0,522699	0,661452473	0,139704369	0,000994766	0,660457707
0,79	0,417229	941	0,529512	0,668454737	0,140922668	0,001012192	0,667442546
0,80	0,417358	960	0,536325	0,67541602	0,142133922	0,001029666	0,674386353
0,81	0,417485	978	0,543139	0,682336289	0,143338252	0,001047189	0,681289099
0,82	0,417609	996	0,549953	0,689215514	0,144535778	0,00106476	0,688150754
0,83	0,417731	1015	0,556768	0,696053666	0,145726613	0,001082377	0,694971288
0,84	0,41785	1034	0,563584	0,702850717	0,146910871	0,001100041	0,701750676

$h_m$ [m]	$\mu$ [-]	Q [l/s]	k [m]	$H_{vi}$ [m]	V valle	$V^2/2g$ [m]	$h_{vi}$ [m]
0,85	0,417968	1052	0,5704	0,709606639	0,148088661	0,00111775	0,70848889
0,86	0,418083	1071	0,577217	0,716321408	0,14926009	0,001135503	0,715185905
0,87	0,418196	1090	0,584034	0,722994997	0,150425261	0,001153301	0,721841696
0,88	0,418307	1110	0,590852	0,729627382	0,151584278	0,001171141	0,728456241
0,89	0,418417	1129	0,59767	0,736218541	0,15273724	0,001189025	0,735029517
0,90	0,418524	1148	0,604489	0,742768451	0,153884242	0,00120695	0,741561501
0,91	0,41863	1168	0,611308	0,749277089	0,155025382	0,001224917	0,748052173
0,92	0,418733	1187	0,618128	0,755744436	0,15616075	0,001242925	0,754501512
0,93	0,418835	1207	0,624948	0,762170472	0,157290437	0,001260973	0,760909499
0,94	0,418935	1227	0,631768	0,768555175	0,158414533	0,00127906	0,767276115
0,95	0,419034	1247	0,638589	0,774898529	0,159533123	0,001297187	0,773601342
0,96	0,419131	1267	0,645411	0,781200515	0,160646291	0,001315353	0,779885161
0,97	0,419226	1287	0,652233	0,787461114	0,161754121	0,001333557	0,786127557
0,98	0,41932	1307	0,659055	0,793680312	0,162856693	0,001351799	0,792328512
0,99	0,419412	1327	0,665878	0,79985809	0,163954085	0,001370079	0,798488011
1,00	0,419503	1348	0,672701	0,805994433	0,165046376	0,001388395	0,804606038
1,01	0,419592	1368	0,679524	0,812089326	0,16613364	0,001406748	0,810682579
1,02	0,41968	1389	0,686348	0,818142755	0,167215952	0,001425136	0,816717619
1,03	0,419766	1410	0,693172	0,824154704	0,168293384	0,001443561	0,822711143
1,04	0,419852	1431	0,699997	0,83012516	0,169366006	0,001462021	0,82866314

## Calcolo della portata nel canale di valle

dati:

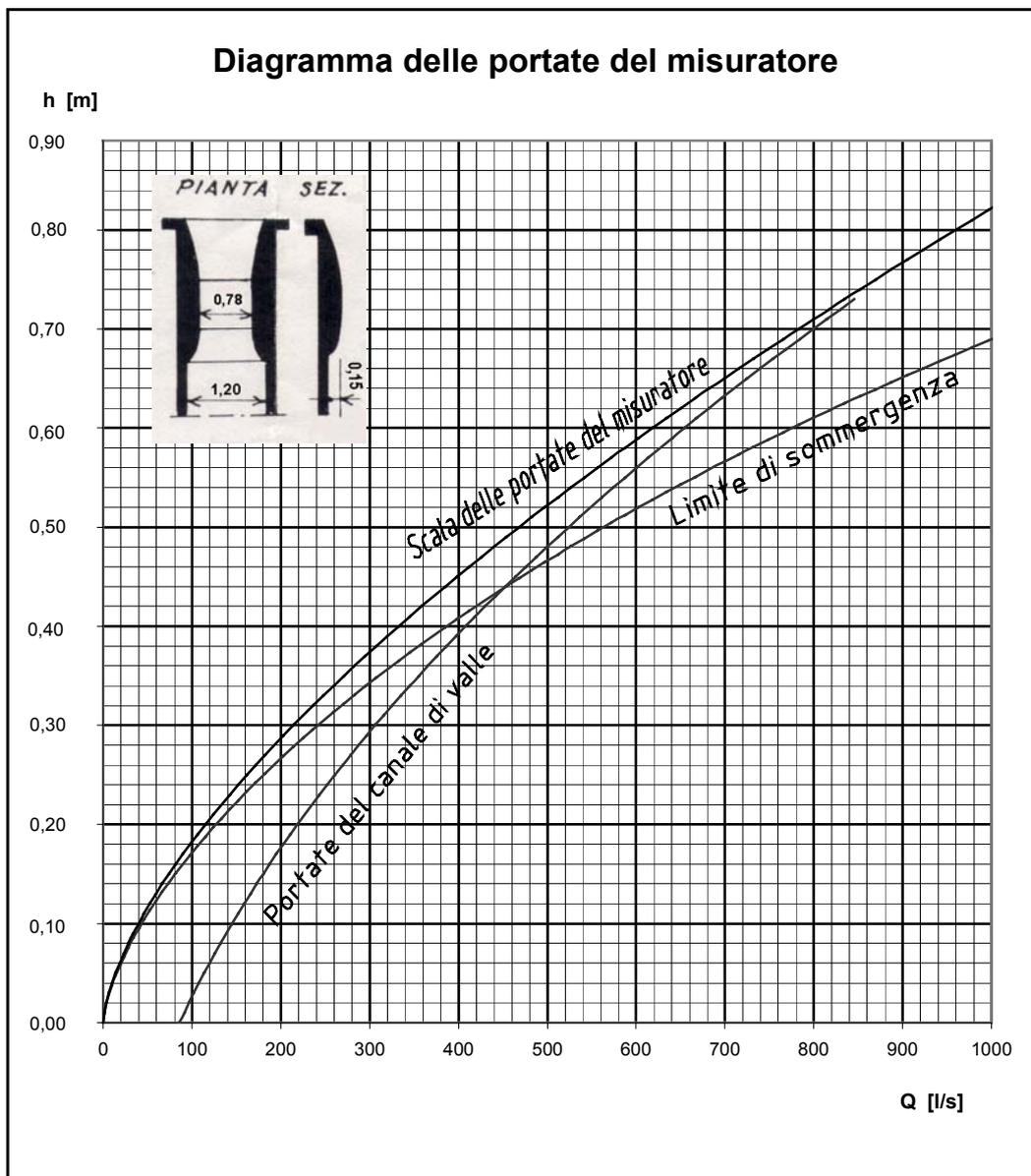


base = 3,50  
 scarpa = 1,25  
 tirante min = 0,00  
 pendenza = 0,00005  
 gamma = 1,80  
 passo = 0,01

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q m <sup>3</sup> /s
0,00	3,50	0,00	0,000	0,0000	0,000	0
0,01	3,53	0,04	0,010	4,5669	0,003	0
0,02	3,56	0,07	0,020	6,3052	0,006	0
0,03	3,60	0,11	0,030	7,5798	0,009	1
0,04	3,63	0,14	0,039	8,6152	0,012	2
0,05	3,66	0,18	0,049	9,4985	0,015	3
0,06	3,69	0,21	0,058	10,2742	0,018	4
0,07	3,72	0,25	0,067	10,9687	0,020	5
0,08	3,76	0,29	0,077	11,5992	0,023	7
0,09	3,79	0,33	0,086	12,1778	0,025	8
0,10	3,82	0,36	0,095	12,7131	0,028	10
0,11	3,85	0,40	0,104	13,2117	0,030	12
0,12	3,88	0,44	0,113	13,6787	0,032	14
0,13	3,92	0,48	0,122	14,1181	0,035	17
0,14	3,95	0,51	0,130	14,5331	0,037	19
0,15	3,98	0,55	0,139	14,9266	0,039	22
0,16	4,01	0,59	0,148	15,3006	0,042	25
0,17	4,04	0,63	0,156	15,6572	0,044	28
0,18	4,08	0,67	0,164	15,9980	0,046	31
0,19	4,11	0,71	0,173	16,3243	0,048	34
0,20	4,14	0,75	0,181	16,6373	0,050	38
0,21	4,17	0,79	0,189	16,9382	0,052	41
0,22	4,20	0,83	0,198	17,2278	0,054	45
0,23	4,24	0,87	0,206	17,5070	0,056	49
0,24	4,27	0,91	0,214	17,7765	0,058	53
0,25	4,30	0,95	0,222	18,0370	0,060	57
0,26	4,33	0,99	0,230	18,2891	0,062	62
0,27	4,36	1,04	0,237	18,5332	0,064	66
0,28	4,40	1,08	0,245	18,7699	0,066	71
0,29	4,43	1,12	0,253	18,9997	0,068	76
0,30	4,46	1,16	0,261	19,2228	0,069	81
0,31	4,49	1,21	0,268	19,4398	0,071	86
0,32	4,52	1,25	0,276	19,6509	0,073	91
0,33	4,56	1,29	0,283	19,8564	0,075	96
0,34	4,59	1,33	0,291	20,0566	0,076	102
0,35	4,62	1,38	0,298	20,2518	0,078	108

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q m <sup>3</sup> /s
0,36	4,65	1,42	0,306	20,4423	0,080	114
0,37	4,68	1,47	0,313	20,6282	0,082	120
0,38	4,72	1,51	0,320	20,8098	0,083	126
0,39	4,75	1,56	0,327	20,9872	0,085	132
0,40	4,78	1,60	0,335	21,1607	0,087	139
0,41	4,81	1,65	0,342	21,3304	0,088	145
0,42	4,84	1,69	0,349	21,4965	0,090	152
0,43	4,88	1,74	0,356	21,6591	0,091	159
0,44	4,91	1,78	0,363	21,8184	0,093	166
0,45	4,94	1,83	0,370	21,9745	0,095	173
0,46	4,97	1,87	0,377	22,1276	0,096	180
0,47	5,00	1,92	0,384	22,2776	0,098	187
0,48	5,04	1,97	0,391	22,4249	0,099	195
0,49	5,07	2,02	0,398	22,5694	0,101	203
0,50	5,10	2,06	0,404	22,7113	0,102	211
0,51	5,13	2,11	0,411	22,8506	0,104	219
0,52	5,16	2,16	0,418	22,9875	0,105	227
0,53	5,20	2,21	0,425	23,1220	0,107	235
0,54	5,23	2,25	0,431	23,2542	0,108	243
0,55	5,26	2,30	0,438	23,3842	0,109	252
0,56	5,29	2,35	0,444	23,5121	0,111	261
0,57	5,32	2,40	0,451	23,6379	0,112	270
0,58	5,36	2,45	0,457	23,7617	0,114	278
0,59	5,39	2,50	0,464	23,8836	0,115	288
0,60	5,42	2,55	0,470	24,0036	0,116	297
0,61	5,45	2,60	0,477	24,1218	0,118	306
0,62	5,48	2,65	0,483	24,2382	0,119	316
0,63	5,52	2,70	0,490	24,3529	0,120	325
0,64	5,55	2,75	0,496	24,4659	0,122	335
0,65	5,58	2,80	0,502	24,5773	0,123	345
0,66	5,61	2,85	0,509	24,6872	0,124	355
0,67	5,65	2,91	0,515	24,7955	0,126	366
0,68	5,68	2,96	0,521	24,9023	0,127	376
0,69	5,71	3,01	0,527	25,0077	0,128	387
0,70	5,74	3,06	0,533	25,1117	0,130	397
0,71	5,77	3,12	0,540	25,2144	0,131	408
0,72	5,81	3,17	0,546	25,3157	0,132	419
0,73	5,84	3,22	0,552	25,4157	0,134	430
0,74	5,87	3,27	0,558	25,5144	0,135	441
0,75	5,90	3,33	0,564	25,6119	0,136	453
0,76	5,93	3,38	0,570	25,7082	0,137	464
0,77	5,97	3,44	0,576	25,8034	0,138	476
0,78	6,00	3,49	0,582	25,8974	0,140	488
0,79	6,03	3,55	0,588	25,9903	0,141	500
0,80	6,06	3,60	0,594	26,0821	0,142	512
0,81	6,09	3,66	0,600	26,1729	0,143	524
0,82	6,13	3,71	0,606	26,2626	0,145	536
0,83	6,16	3,77	0,612	26,3513	0,146	549
0,84	6,19	3,82	0,618	26,4390	0,147	561
0,85	6,22	3,88	0,623	26,5257	0,148	574

tirante m	contorno bagnato m	superficie bagnata m <sup>2</sup>	raggio medio m	X	V m/s	Q m <sup>3</sup> /s
0,86	6,25	3,93	0,629	26,6115	0,149	587
0,87	6,29	3,99	0,635	26,6964	0,150	600
0,88	6,32	4,05	0,641	26,7804	0,152	614
0,89	6,35	4,11	0,647	26,8635	0,153	627
0,90	6,38	4,16	0,652	26,9457	0,154	641
0,91	6,41	4,22	0,658	27,0271	0,155	654
0,92	6,45	4,28	0,664	27,1077	0,156	668
0,93	6,48	4,34	0,669	27,1875	0,157	682
0,94	6,51	4,39	0,675	27,2664	0,158	696
0,95	6,54	4,45	0,681	27,3446	0,160	710
0,96	6,57	4,51	0,686	27,4220	0,161	725
0,97	6,61	4,57	0,692	27,4987	0,162	739
0,98	6,64	4,63	0,698	27,5746	0,163	754
0,99	6,67	4,69	0,703	27,6499	0,164	769
1,00	6,70	4,75	0,709	27,7244	0,165	784
1,01	6,73	4,81	0,714	27,7982	0,166	799
1,02	6,77	4,87	0,720	27,8714	0,167	814
1,03	6,80	4,93	0,725	27,9439	0,168	830
1,04	6,83	4,99	0,731	28,0158	0,169	845



### Tabella delle portate del misuratore

h [m]	Q [l/s]								
0,00	0	0,10	40	0,20	115	0,30	214	0,40	333
0,01	1	0,11	46	0,21	124	0,31	225	0,41	345
0,02	4	0,12	53	0,22	133	0,32	236	0,42	358
0,03	6	0,13	59	0,23	142	0,33	248	0,43	372
0,04	10	0,14	67	0,24	152	0,34	259	0,44	385
0,05	14	0,15	74	0,25	162	0,35	271	0,45	398
0,06	18	0,16	82	0,26	172	0,36	283	0,46	412
0,07	23	0,17	90	0,27	182	0,37	295	0,47	426
0,08	28	0,18	98	0,28	192	0,38	307	0,48	440
0,09	34	0,19	106	0,29	203	0,39	320	0,49	454

N. D'ORDINE	N. ELENCO PREZZI	INDICAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI O FATTORI	U.M.	QUANTITA'	PREZZO	IMPORTO PARZIALE	IMPORTO TOTALE
1	1a	<b>scavo di sbancamento</b>						
		Sezione C - C	mq 0,97x11,10 =	mc	10,77			
		Pozzetto	1,40x0,85x0,14 =	mc	0,17			
		Muri d'ala	(1,60x1,20)/2x0,25 =	mc	0,24			
			(1,10x1,20)/2x0,25 =	mc	0,17			
		Sezione D - D	mq 1,65x10,00 =	mc	16,50			
		per arrotondamento		mc	0,15			
		sommano		mc	28,00	4,13	115,64	
2	3	<b>Scavo di fondazione a sezione obbligata eseguito a mano</b>						
		Diaframma	0,40x1,75x0,25 =	mc	0,18			
		per arrotondamento		mc	0,02			
		sommano		mc	0,20	67,14	13,43	
3	6a	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato proveniente dagli scavi del cantiere</b>						
		Vedi precedente n° 1		mc	28,20	6,71	189,22	
4	6b	<b>Fornitura e sistemazione materiale in rilevato mancante</b>						
		Sezione C - C	mq 3,62x11,10 =	mc	40,18			
		Sezione D - D	mq 0,20x10,00 =	mc	2,00			
		a dedurre materiale proveniente dagli scavi sul cantiere		mc	-28,20			
		per arrotondamento		mc	0,02			
		sommano		mc	14,00	16,53	231,42	
5	7a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo di sottofondo a kg 150 di cemento tipo R 325</b>						
		Misuratore	1,75x11,10x0,10 =	mc	1,94			
		Pozzetto	1,40x0,85x0,10 =	mc	0,12			
		per arrotondamento		mc	0,44			
		sommano		mc	2,50	81,25	203,13	
6	8a	<b>Fornitura e posa di calcestruzzo per opere armate di fondazione</b>						
		Misuratore	1,75x11,10x0,25 =	mc	4,86			
			1,75x2,40x0,15 =	mc	0,63			
		Diaframma	1,75x0,50x0,25 =	mc	0,22			
		Pozzetto	1,40x0,85x0,25 =	mc	0,30			
		Tratto rivestito di valle						
		Calcolo area rivestimento :						
		(2,20+2,90+2,20)x0,15 = mq						
		1,10	mq 1,10x10,00 =	mc	11,00			
		per arrotondamento			0,49			
		sommano		mc	17,50	103,50	1.811,25	

7	9a	<b>Fornitura e posa in opera di calcestruzzo per murature di elevazione armate</b>						
		Misuratore	$2 \times (11,10 \times 1,00 \times 0,25) =$	mc	5,55			
			$2 \times (2,40 \times 1,00 \times 0,21) =$	mc	1,01			
		Muri d'ala	$2 \times (1,95 \times 1,00 \times 0,25) =$	mc	0,98			
		Pozzetto	$2 \times (0,60 \times 1,00 \times 0,25) =$	mc	0,30			
			$1,40 \times 1,00 \times 0,25 =$	mc	0,35			
		per arrotondamento		mc	0,31			
		sommano		<b>mc</b>	<b>8,50</b>	<b>125,15</b>	<b>1.063,78</b>	
8	10a	<b>Casseforme per getti in calcestruzzo armato</b>						
		Misuratore	$2 \times (11,10 \times 1,00) =$	mq	22,20			
			$2 \times (10,85 \times 1,00) =$	mq	21,70			
			$2 \times (1,95 \times 1,00) =$	mq	3,90			
			$2 \times (0,25 \times 1,00) =$	mq	0,50			
			$2 \times (2,20 \times 1,00) =$	mq	4,40			
		Pozzetto	$2 \times (0,85 \times 1,00) =$	mq	1,70			
			$2 \times (0,90 \times 1,00) =$	mq	1,80			
			$2 \times (0,85 \times 1,00) =$	mq	1,70			
			$2 \times (0,60 \times 1,00) =$	mq	1,20			
		per arrotondamento		mq	0,90			
		sommano		<b>mq</b>	<b>60,00</b>	<b>23,24</b>	<b>1.394,40</b>	
9	11a	<b>Fornitura e posa in opera di acciaio sagomato</b>						
		Misuratore	kg/mc 50,00 x mc 15,00 =	<b>kg</b>	<b>750,00</b>	<b>1,00</b>	<b>750,00</b>	
10	11b	<b>Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata</b>						
		Tratto rivestito di valle						
		Calcolo superficie rivestita:						
		$(2,20 + 2,90 + 2,20) \times 10,00 =$ mq						
		73,00						
			kg/mq 2,22 x mq 73,00 =	kg	162,06			
		per arrotondamento		kg	2,94			
		sommano		<b>kg</b>	<b>165,00</b>	<b>1,20</b>	<b>198,00</b>	
11	17	<b>Fornitura e posa in opera di asta idrometrica</b>		n	1	50,00	50,00	
12	18	<b>Fornitura e posa in opera di paratoia completa</b>		n	1	500,00	500,00	
13		<b>Per piccoli lavori non computabili a misura e per arrotondamento</b>					<b>479,74</b>	
<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI</b>								<b>7.000,00</b>

### 5.2.3 Riepilogo

Presa visione dei computi metrici, possiamo affermare nuovamente che i costi delle singole opere sono assolutamente in linea con le stime effettuate nel grafico costi-larghezza e quindi possiamo considerare anche a posteriori tale grafico uno strumento affidabile nella scelta del tipo di misuratore da installare caso per caso.

A questo punto è necessario stimare un costo totale delle opere:

<b><i>Luogo misuratore</i></b>	<b><i>N°</i></b>	<b><i>Tipo</i></b>	<b><i>Costo [€]</i></b>
Presa Vacchelli	1	Ultrasuoni	172500,00
Ponte canale sul Serio	2	Scala di portate	100,00
Vacchelli a Salvirola	3	Ultrasuoni	61500,00
Presa Geronda	4	Stramazzo a larga soglia	12500,00
Presa Molinara	5	Ultrasuoni	21500,00
Presa Suppeditazione	6	Ultrasuoni	31000,00
Naviglio Grande a Gorgo Rotondo	7	Scala di portate	100,00
Naviglio Grande a valle di Tombe Morte	8	Ultrasuoni	29000,00
Tratto finale Canobbia Vecchia	9	Scala di portate	100,00
Ciria Vecchia a monte di Brazzuoli	10	Ultrasuoni	26000,00
Presa Nuovo Delmona	11	Risalto	11000,00
Tratto finale Diversivo Magio	12	Risalto	7000,00

Ovviamente tutti i valori di costo, in quanto stimati, sono arrotondati; in totale avremo (trascurando le scale di portata):

**COSTO TOTALE DELLE OPERE** € **372000,00**

# Conclusioni

Nell'ambito della valutazione e controllo delle portate transitanti, e non solo, il Consorzio Irrigazioni Cremonesi appare attento ed attivo, soprattutto, come è ovvio, durante la stagione irrigua. In questo periodo, infatti, sono rilevati giornalmente, in punti strategici della rete, dati idrometrici di livello e di portate, sebbene queste ultime siano frutto dell'esperienza del personale di campagna piuttosto che di misure dirette. A tal proposito è comunque da sottolineare che ogni anno l'ente procede alla rilevazione delle portate transitanti attraverso misure dirette con mulinello e conseguentemente mantiene aggiornati gli strumenti esistenti (scale di portata ed idrometri) e concorre a rendere più precisa la valutazione giornaliera approssimata 'a vista'.

Tutto ciò non toglie la necessità del presente lavoro, dallo stesso Consorzio proposto, per rendere più efficiente tale indispensabile processo di valutazione del bilancio di massa del sistema.

Come già evidenziato in premessa, la valutazione del bilancio è anche cosa irrinunciabile per rispondere alle esigenze della Pubblica Amministrazione, ovvero all'orientamento della politica territoriale, che porta sempre maggior attenzione ai temi dello sviluppo sostenibile, quindi al risparmio delle risorse fisiche, quindi – per quanto qui interessa – alla più corretta valutazione dell'acqua utilizzata e circolante nella rete.

La situazione quindi è duplice: da un lato, certo più importante, l'ottemperanza ad obblighi che già insistono sul Consorzio in quanto titolare di concessioni d'uso dell'acqua con Grandi Derivazioni (come previste dal R. D. n. 1775 del 1933), dall'altro per aumentare la capacità di controllo – e quindi di intervento – per garantire la maggior efficienza della dispensa irrigua.

Per il primo aspetto si deve sottolineare che tre delle cinque Grandi Derivazioni attive sono dotate di strumenti di misura giudicati idonei (ovvero sufficienti) per le funzioni di vigilanza e controllo attribuiti, per legge, ai due Consorzi di regolazione dei grandi laghi prealpini di Iseo e di Como. Se per il cavo Calciana la presenza di un misuratore a risalto e per il Naviglio Grande Pallavicino quella di una scala di portate, perfettamente efficienti, sono soluzioni indiscutibili, altrettanto non si può dire per il canale Pietro Vacchelli, che deriva dall'Adda. Questo acquedotto è infatti caratterizzato, dal nostro punto di vista, dalla presenza di una scala di portate in moto permanente-uniforme, cioè senza sezioni critiche, oggetto, però, di periodici controlli e quindi, se necessario, di adeguamenti. Ciò non toglie che questa sezione di 'entrata' non dà, durante l'intera

stagione, misurazioni univoche, giacché la mancanza di rivestimento di gran parte del canale e lo sviluppo, comunque rigoglioso, di vegetazione ed ‘ostacoli di vario genere’ nell’alveo, portano ad allontanare il dato dedotto dalla scala, costruita in situazioni ‘ideali’, dal valore reale derivato. Va inoltre fatto notare che la vigilanza dei due Consorzi dell’Adda e dell’Oglio tende spesso a controllare che l’Utente consorziato non derivi più della portata concessa, non tanto, quindi, a verificare puntualmente con significato di controllo l’esatto valore derivato nelle diverse situazioni di regime idraulico.

Sempre per il discorso delle concessioni è opportuno far notare l’importanza d’intervento alla presa dei cavi Molinara e Suppedizione, in cui addirittura manca uno strumento di misura della portata idrica entrante dal fiume Oglio.

Ecco perché alla presa di questi due cavi oltre che del Vacchelli è stato previsto un sistema di monitoraggio.

Il secondo aspetto, controllo costante e continuo dell’efficienza della rete, è stato oggetto della progettazione più complessa, che ha dovuto tenere conto di molteplici fattori sia di natura tecnica (pendenze, tratti rettilinei, concentrazione di bocche di prelievo, dislivelli disponibili, regolarità dell’alveo, ecc.), sia di natura gestionale: uno strumento legato alla lettura da parte di un operatore deve necessariamente essere posizionato in un luogo accessibile dal medesimo; diversamente si rischia di non migliorare la gestione per intervenuti maggiori costi in termini di impegno temporale del personale.

Un fattore vincolante nella progettazione è, come spesso accade, quello economico, sia in termini di investimento che di costi di manutenzione. Ciò ci ha indotto ad analizzare l’andamento dei costi al variare della larghezza dei canali e, per ogni singola larghezza, l’incidenza delle singole voci di costo sul totale; i risultati ottenuti, pur approssimati, sono risultati assolutamente realistici e hanno permesso di effettuare conclusioni molto interessanti legate alla scelta del tipo di misuratore da installare in ogni sezione analizzata; esse possono essere così riassunte:

- Il misuratore a stramazzo è in ogni caso il più conveniente, anche se, come vedremo, la sua installazione è prevista in uno solo dei 12 punti pianificati in quanto il suo funzionamento è legato a condizioni idrauliche non comuni in un comprensorio irriguo di pianura (è necessario un notevole salto idrico);

- Tra il misuratore a risalto e quello ad ultrasuoni, il primo è da preferire in canali di modesta larghezza (fino a 5-6 m) ma anch'esso subordinato alla disponibilità di un salto idrico, seppur minore di quello necessario per uno stramazzo, mentre il secondo risulta essere conveniente per canali larghi e in più esso ha la favorevole caratteristica di adattarsi ad ogni tipo di canale, anche in assenza di salti idraulici;
- Nei casi particolari in cui non c'è molta differenza di costo tra i dispositivi di misura studiati, andranno fatte considerazioni di natura diversa da quelle economiche, ad esempio l'efficienza dello strumento, l'onerosità della sua gestione, nonché la sua praticità.

In quest'ultimo caso occorre anche valutare l'importanza del canale in quanto da essa dipende la maggiore o minore precisione di misura richiesta; infatti il Consorzio ritiene, e questa valutazione è condivisa, che la possibilità di valutare con esattezza la portata transitante sia data, *in primis*, al personale di campagna (i Campari) che, nell'organizzazione dell'ente, hanno una sufficiente autonomia decisionale per eseguire le manovre atte a garantire la costanza della dispensa. Campari ai quali resta più intuitivo(diremmo quasi più gradito!) leggere un idrometro ed associare ad esso la portata corrispondente, piuttosto che accedere ad una tastiera e restare sicuri del solo numero letto!

Del resto, come già detto, il Consorzio è organizzato in modo tale che siano i Campari che quotidianamente regolino i livelli e le bocche, e quindi che procedano quotidianamente al 'giro' della propria camperia. E' un'organizzazione vincente, nei confronti e nella tutela dell'utenza, che così usufruisce di un servizio al riparo da interferenze 'interessate'.

Alla luce di queste considerazioni, il nostro progetto, finalizzato a disporre permanentemente di un attendibile bilancio dei flussi transitanti, ha comportato la previsione di:

- 6 misuratori ad ultrasuoni;
- 2 misuratori a risalto;
- 1 misuratori a stramazzo a soglia larga;
- 3 costruzioni di scale di portata.

I costi complessivi d'investimento per questo sistema sono stati computati in complessivi € 372000,00 ai quali si aggiunge un costo di manutenzione – gestione significativamente per le

apparecchiature ad ultrasuoni. Questa voce è stimabile in non meno di 800 €/anno per dispositivo per un totale, quindi, di circa 5000 €/anno; a fronte di un bilancio annuo dell'ente di 1,5 milioni di Euro, quest'ultima voce incide per il 1,3 %, quindi assolutamente non rilevante.

Si rendono, inoltre, non più necessarie le numerose misure di portata condotte ogni anno dal Consorzio per verificare i flussi che, secondo il nostro progetto, saranno costantemente controllati. Il minor impegno, soprattutto per il personale ed i mezzi, può attestarsi intorno ai 5000 €/anno, dello stesso ordine di grandezza delle spese di manutenzione-gestione annue relative alle apparecchiature ad ultrasuoni.

I benefici sono evidenti: poter ricavare ogni giorno dati certi sulle portate transitanti significa disporre di una valutazione costante del comportamento della rete, soggetta ad alimentazioni continue e discontinue (bocche ad orario), nonché ad erogazioni straordinarie, oltre che al progressivo degrado della sezione dell'alveo.

Ciò dimostra, per concludere, che una simile progettazione può essere molto utile a tutti gli enti che debbano gestire alvei naturali o artificiali e siano sprovvisti di misuratori di portata permanenti; un investimento di questo tipo permette, infatti, di avere grandi vantaggi nel tempo, legati soprattutto ad un uso più razionale della risorsa acqua e ad un'ottimizzazione della gestione interna di un Ente.

## NOTE E COMPLEMENTI

- (1) Il dato si riferisce a valori stabiliti dal Consorzio dell'Adda nel caso del canale Vacchelli e dal Consorzio dell'Oglio per i canali Calciana, Naviglio Grande, Molinara e Suppeditazione. Queste portate rappresentano delle concessioni e di conseguenza sono valori certi, non soggetti a temporanee variazioni se non in casi particolari.
- (2) Il dato deriva da misure effettuate mediante dispositivi già presenti e molto affidabili; ciò riguarda sia il trasferimento idrico interno alla rete (da un canale all'altro, entrambi gestiti dal Consorzio), sia nel caso di distribuzione d'acqua alle bocche degli utenti, la cui portata richiede per ovvie ragioni una misura precisa. Di conseguenza questi dati sono attendibili.
- (3) Il dato deriva dalla tesi: *“Progetto di gestione della rete di canali del Consorzio Irrigazioni Cremonesi per l'attivazione di salti d'acqua disponibili ai fini idroelettrici”* di ing. Angela Nadia Sulis, eseguita nell'a.a. 2002-2003 per il Politecnico di Milano. I valori sono stati calcolati mediante un programma elettronico di simulazione e rappresentano ad ora, nel loro insieme, il primo lavoro di analisi approfondita dei flussi circolanti nella complessa rete del Consorzio. Questi dati andranno trattati con più attenzione in quanto sono sperimentali e quindi soggetti a scostamenti con la realtà.
- (4) Il dato non ha nessuna fonte attendibile, ma è semplicemente dedotto da altri dati, oppure stimato sulla base del buon senso. La sua affidabilità è quindi molto poca e necessita di verifiche.

## **Riferimenti bibliografici**

**Citrini D., Nosedà G.**

“Idraulica”

Casa Editrice Ambrosiana, 1987

**De Marchi G.**

“Nozioni di Idraulica riguardo alle bonifiche e alle irrigazioni”

Edizioni Agricole – Bologna, 1948

**Citrini D.**

“Modellatori a risalto – Guida al progetto”

Ed. Centro Studi per le applicazioni dell’ingegneria all’agricoltura, 1941

**Loffi B.**

“Consorzio Irrigazioni Cremonesi. Cento anni”

Ed. Camera di Commercio di Cremona, 1987

**AA.VV.**

“Contributo allo studio delle acque della provincia di Cremona”

Ed. Provincia di Cremona, 1996

**Bassi G.**

“Idrografia della provincia di Cremona”

Ed. Provincia di Cremona – Assessorato all’Ecologia, 1985

**Michielotto F.**

“Analisi della distribuzione temporale e spaziale della dispensa ad orario del Consorzio Irrigazioni Cremonesi”, 2002

**Sulis A.N.**

“Progetto di gestione della rete di canali del Consorzio Irrigazioni Cremonesi per l’attivazione di salti d’acqua disponibili ai fini idroelettrici”, 2002

**Bassi L., Zoni P.**

“Stima delle perdite idriche della rete irrigua del Consorzio Irrigazioni Cremonesi”, 2003

## **Siti Internet consultati**

[www.consorzioirrigazioni.it](http://www.consorzioirrigazioni.it)

[www.polimi.it](http://www.polimi.it)

[www.polito.it](http://www.polito.it)

[www.unibo.it](http://www.unibo.it)

[www.unipr.it](http://www.unipr.it)

[www.unipv.it](http://www.unipv.it)

[www.terryferraris.it](http://www.terryferraris.it)

[www.biomassimpianti.it](http://www.biomassimpianti.it)

[www.tecnowatt.com](http://www.tecnowatt.com)

