0	08/2013	BOZZA	Ferrari	Ferrari	Cerlini
Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato

REGIONE LIGURIA PROVINCIA DI GENOVA COMUNE DI GENOVA

PROTOCOLLO D'INTESA PER GLI INTERVENTI STRUTTURALI VOLTI ALLA MITIGAZIONE DELL'EMERGENZA IDRAULICA DEL BACINO DEL TORRENTE BISAGNO, ALLA RIDEFINIZIONE URBANISTICA DEL TRATTO TERMINALE ED ALLA RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DELL'ALVEO E DELLE AREE CIRCOSTANTI

COMUNE DI GENOVA

AREA TECNICA - DIREZIONE MANUTENZIONE INFRASTRUTTURE E VERDE PUBBLICO

Dirigente **Ing. Stefano PINASCO**

PROGETTISTI:

A.T.I.

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
ARTELIA GROUP S.A.

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO **Ing. Stefano PINASCO**

Staff tecnico

TECHNITAL S.p.A. (Capogruppo mandataria)
Ing. A.Scotti - Ing. S. Venturini
STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI
Ing. D. Cerlini - Ing. M. Ferrari
SGI STUDIO GALLI INGEGNERIA S.p.A.
Ing. A.Galli - Ing. U. Galli
ARTELIA GROUP S.A.
Mr. O. Cazaillet

Intervento/Opera

SCOLMATORE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA
PRIMO LOTTO: REALIZZAZIONE DELLE OPERE PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA DEL TORRENTE FEREGGIANO (E RIVI ROVARE E NOCE)

Elaborato

STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI

Dott. Ing. Denis Cerlini

Oggetto della tavola

Opere di presa minori
Relazione idraulica

Scala

Data

Agosto 2013

Progetto Definitivo

Tavola N° PD1.RI.02

Codice GULP	Codice Commessa Precedente	Revisione
12383	DSU100	0

I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DEL COMUNE DI GENOVA E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

OPERE DI PRESA MINORI - RELAZIONE IDRAULICA

I N D I C E

1. PREMESSA 3

2. DEFINIZIONE DELLE PORTATE 4

2.1. Torrente Fereggiano 4
2.1.1. Portate di progetto del Fereggiano (Piano di Bacino e PD 2007) 5
2.1.2. Rio Noce 9
2.1.3. Rio Rovare 10
2.1.4. Portata complessivamente derivata in galleria 10

3. TIPOLOGIA DELLE OPERE 14

3.1. Manufatto di presa 14
3.2. Camera di dissipazione 17

4. OPERA DI PRESA SUL TORRENTE FEREGGIANO 19

4.1. Descrizione dell'opera 19
4.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1) 21
4.2.1. Manufatto di presa e pozzo 21
4.2.2. Camera di dissipazione 26
4.3. Il modello fisico 27
4.3.1. Caratteristiche geometriche del modello 27
4.3.2. Finalità del modello fisico 30
4.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello 31
4.3.4. Strumenti di misura 33
4.3.5. Configurazione di base 36
4.3.6. Variante n. 1 36
4.4. Conclusioni 64

5. OPERA DI PRESA SUL RIO ROVARE 66

5.1. Descrizione dell'opera 66
5.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1) 68
5.2.1. Manufatto di presa e pozzo 68
5.2.2. Camera di dissipazione 70
5.3. Il modello fisico 71
5.3.1. Caratteristiche geometriche del modello 71
5.3.2. Finalità del modello fisico 72
5.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello 73
5.3.4. Strumenti di misura 73
5.3.5. Configurazione di base 76
5.3.6. Variante n. 1 77
5.4. Conclusioni 89

6. OPERA DI PRESA SUL RIO NOCE 90

6.1. Descrizione dell'opera 90

6.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1) 91
6.2.1. Manufatto di presa e pozzo 91
6.2.2. Camera di dissipazione 94
6.3. Il modello fisico 95
6.3.1. Caratteristiche geometriche del modello 95
6.3.2. Finalità del modello fisico 98
6.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello 99
6.3.4. Strumenti di misura 99
6.3.5. Configurazione di base 101
6.3.6. Variante n. 1 102
6.4. Conclusioni 113
7. APPENDICE: INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA (Lettera Prot. 48(170851) del 15.12.2006) 114
7.1. Impatto della cantierizzazione sul rischio di inondazione 115
7.2. Opportunità di realizzare opere di trattenuta del materiale solido 117
7.3. Interferenza con servizi e sottoservizi 118
8. APPENDICE: ULTERIORI INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA 119
8.1. Impatto della cantierizzazione sul rischio di inondazione 120
8.2. Zone di apporto di materiale solido nel bacino 120

1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è quello di fornire una panoramica sul dimensionamento e sul comportamento idraulico delle opere che compongono il sistema di controllo delle piene del Torrente Fereggiano e Rii Rovare e Noce.
In particolare nella presente nota tecnica verrà descritta la tipologia adottata per le opere di presa sui corsi d'acqua sopra indicati, nonchè la metodologia utilizzata per il dimensionamenti idraulico delle stesse.
Infine sarà illustrato il comportamento idraulico dei manufatti osservato su modello fisico e confrontato con i risultati dei calcoli effettuati preliminarmente, durante la Fase 1 della progettazione definitiva del PD 2007.

2. DEFINIZIONE DELLE PORTATE

L'attività di progettazione dei manufatti di presa sui Rii Fereggiano, Rovare e Noce è stata condotta mediante la definizione delle portate di riferimento per ciascuno di essi. In particolare, per ciascuno dei tre corsi d'acqua in corrispondenza dell'opera di presa, sono state definite le seguenti grandezze:

- la portata critica di progetto Q_p;
- la portata limite Q_i oltre la quale deve iniziare lo scarico delle acque in eccesso;
- la portata massima che si vuole derivare Q_s verso la galleria in progetto;
- la portata massima che procede nel corso d'acqua a valle del manufatto di captazione Q_v.

Alla grandezza Q_p sono stati attribuiti valori di portata associati ad un tempo di ritorno pari a quelli definiti nel Piano di Bacino, associati a Tr =200 anni.

Alla variabile Q_i è stato invece inizialmente associato, in accordo con il PD2007, un valore di portata che si verifica con ritorno statistico prossimo a 2 anni. La scelta è stata dettata dalla necessità di contenere il più possibile gli eventi di scolmo e quindi l'accesso nella galleria scolmatrice del materiale solido trasportato dalla corrente e dall'esigenza di garantire un deflusso minimo all'interno del corso d'acqua di valle.

La portata da scolmare Q_s è stata valutata invece caso per caso, come si spiegherà in seguito.

Per i rii Noce e Rovare si era già deciso all'epoca del PD2007, di considerare di derivare la quasi totalità della portata di progetto, facendo comunque defluire a valle solo una portata Q_v superiore di almeno un ordine di grandezza della portata nera potenziale che potrebbe affluire nel corso d'acqua.

In proposito occorre rilevare che tutti i corsi d'acqua oggetto di derivazione sono dotati di sistemi duali destinati al convogliamento delle acque reflue aventi come destinazione il depuratore. Tuttavia, al fine di far fronte a situazioni di fallanza della rete fognaria, nel definire la portata Q_v si è tenuto conto di un significativo rapporto di diluizione rispetto alla portata nera del bacino.

2.1. Torrente Fereggiano

Venendo allo specifico sui diversi corsi d'acqua, la portata di progetto del Rio Fereggiano è stata definita in base a quanto riportato nel Piano di Bacino del Torrente Bisagno, avendo poi cura di verificare le opere anche per le portate indicate nella relazione Bellini/Tubino redatta per conto del Tribunale di Genova a seguito

degli eventi alluvionali del 4 Novembre 2011 e che eccedono le portate indicate nel Piano di Bacino.

Il riferimento ufficiale dei dati di portata (Q_p) è dato dunque dai valori di portata con TR=200 anni fissati dal Piano di Bacino dell'Autorità di Bacino ed utilizzati anche per il progetto Definitivo Generale dello Scolmatore del Bisagno del 2007. Tali valori sono:

- Fereggiano Q(200) = 90 m^3/s
- Rovare Q(200) = 26 m^3/s
- Noce Q(200) = 23 m^3/s

Si esaminano di seguito, con maggiore dettaglio, i valori di portata assunti a riferimento affiancandoli con i dati più recenti assunti da analisi condotte a valle dell'evento del 4.11.2011.

2.1.1. Portate di progetto del Fereggiano (Piano di Bacino e PD 2007)

Ai valori di portata del Piano di Bacino aveva fatto riferimento il PD 2007 dello scolmatore Bisagno, Fereggiano, Rovare e Noce che assumeva di derivare alla presa del Fereggiano una portata di 80 m^3/s, a fronte di un valore di portata duecentennale di 90 m^3/s all'altezza della sezione di presa, come indicato in Fig. 2.1..

Si indica di seguito la sezione di presa (all'altezza di via Pinetti – salita Ginestrato) con il numero 3, in aderenza a quanto indicato nella perizia Bellini/Tubino.

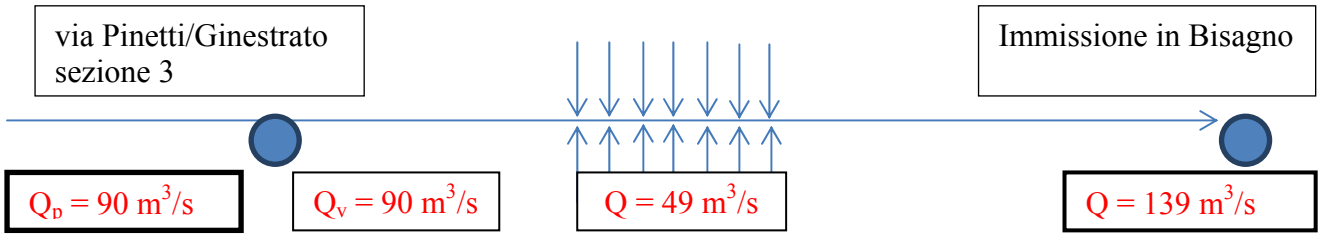


Fig. 2.1 - Distribuzione delle portate massime assumendo i valori del Piano di Bacino

Nella progettazione del PD 2007 si era inoltre tenuto conto della comunicazione 25909 del 14.06.2004 del Comune di Genova che stabiliva la portata da scolmare pari a 80 m^3/s. A fronte di una portata massima a valle della copertura stradale di via Pinetti di 90 mc/s, conforme a PdB ed a quanto previsto nello studio idraulico realizzato per conto A.S.Ter nonché alla sopra citata comunicazione del Comune, le verifiche idrauliche della nuova copertura eseguite da ITEC Engineering per conto della Regione Liguria/Comune di Genova hanno considerato una portata a

valle della sezione di presa di 115 m^3/s in conformità con il PdB a valle della presa.

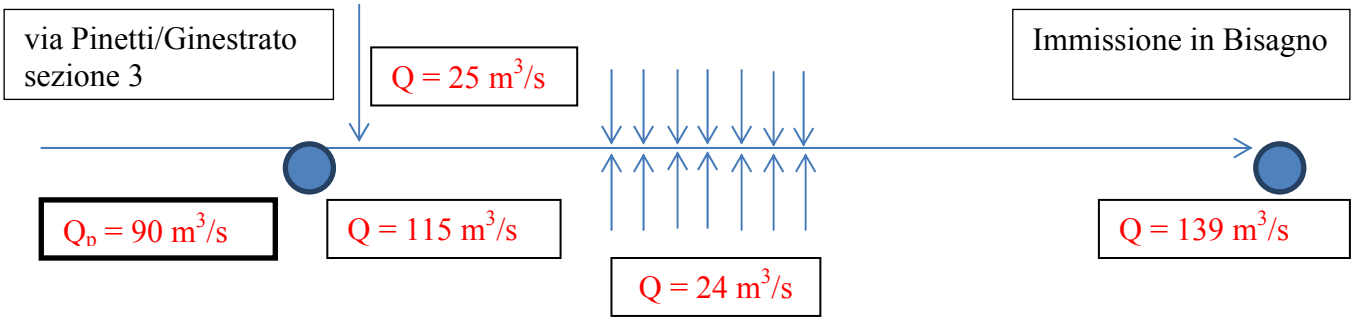


Fig. 2.2 - distribuzione delle portate massime assumendo i valori della comunicazione prot. 25909 del 14.06.2004 del Comune di Genova (situazione senza scolmatore Fereggiano)

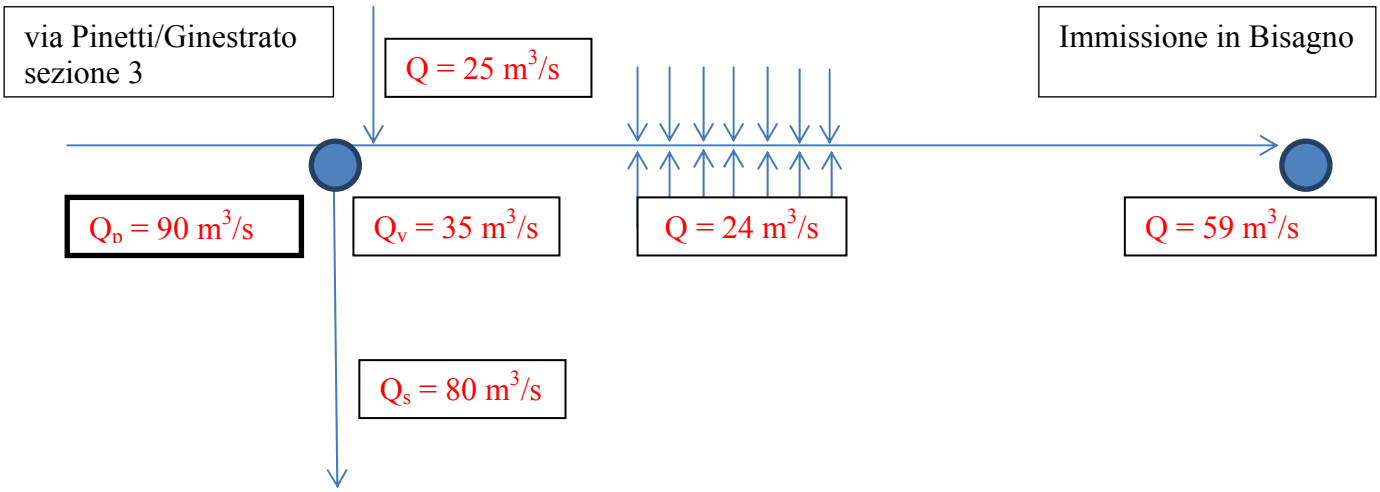


Fig. 2.3 - distribuzione delle portate massime assumendo i valori della comunicazione prot. 25909 del 14.06.2004 del Comune di Genova (situazione con scolmatore Fereggiano)

Fermo restando il fatto che i valori delle portate di progetto di riferimento per il dimensionamento delle opere rimangono quelli del PD 2007, concordati e condivisi con Autorità di Bacino, Comune, Regione, Provincia e Università di Genova – DICCA -, in relazione ai quali dovranno essere rispettati appieno i franchi e le norme del vigente Piano di Bacino, si tengono in considerazione di seguito anche le portate stimate per il rio Fereggiano nella perizia eseguita per il Tribunale di Genova dal proff. Bellini/Tubino e che sembrerebbero essere transitate durante l'evento del 4 Novembre 2011 al fine di analizzare se risulti possibile far si che le opere in progetto, pur con franchi ridotti, siano in grado di gestirli. Tali portate sono:

Q alla sezione n. 3 – via Ginestrato/via Pinetti: 138 m^3/s

Q alla sezione n. 5 – inizio ultimo tratto tombinato,: 176 m^3/s

La medesima perizia Bellini/Tubino stima in 65 m^3/s la massima portata transitabile nel tratto terminale coperto del Fereggiano.

Il gruppo di lavoro formato dal Comune di Genova dalla Regione, dalla Provincia con coordinamento e supervisione scientifica del DICCA – Università di Genova - ha confermato che tale valore può essere assunto come riferimento oltre il quale hanno inizio esondazioni nella parte terminale, sottolineando come le opere che andranno realizzate debbano avere caratteristiche idrauliche tali da evitare, in modo assoluto, che nel tratto terminale possa transitare una portata superiore al valore definito (65 m^3/s).

In aderenza a quanto operato nella perizia Bellini/Tubino, si assume dalla differenza tra portata stimata alla sezione 3 e quella stimata alla sezione di chiusura n. 5 che la portata generata e raccolta dal bacino afferente al rio Fereggiano compreso tra le sezioni n. 3 e n. 5, in occasione dell'evento 4 Novembre 2011, sia stata pari a 176 – 138 = 38 m^3/s come schematizzato nella

Fig. 2.4.

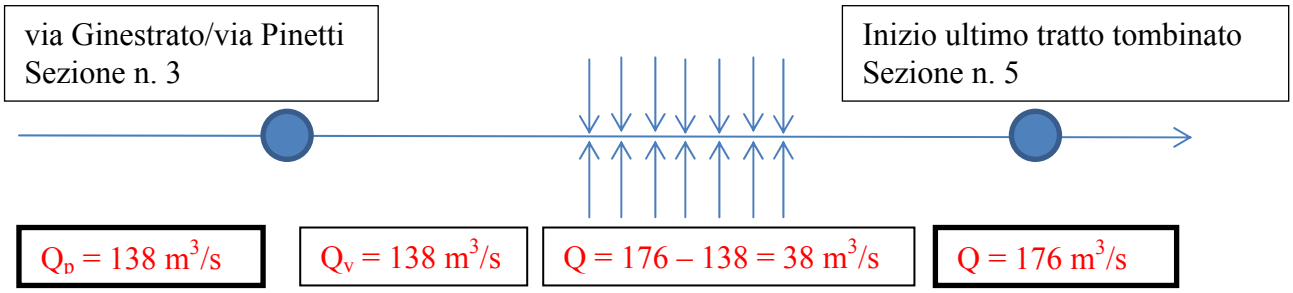


Fig. 2.4 - Distribuzione delle portate massime in occasione dell'evento 4 Novembre 2011 (Perizia Bellini/Tubino)

Da ciò si può dedurre che, assunto il valore massimo di portata transitabile nel tratto terminale pari a 65 m^3/s, la massima portata rilasciabile a valle dell'opera di presa Fereggiano (prevista alla sezione n. 3) facendo riferimento allo scenario di evento 2011 sarebbe potuta essere 65 – 38 = 27 m^3/s.

Data dunque la portata transitata alla sezione n. 3 pari a 138 m^3/s, la portata minima che si sarebbe dovuto derivare, in occasione dell'evento del 4 Novembre 2011, per evitare l'esondazione del Fereggiano nel tatto terminale, sarebbe dovuta essere pari a 138 – 27 = 111 m^3/s.

Tale valore può essere assunto come portata di verifica di funzionamento estremo delle opere in progetto (cfr.

Fig. 2.5).

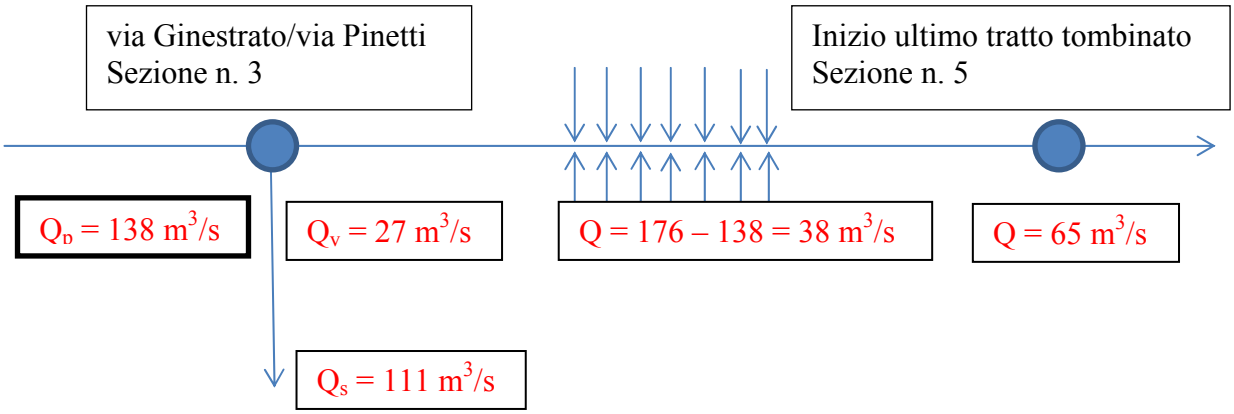


Fig. 2.5 - Distribuzione delle portate da ottenere con le opere, assumendo a riferimento le portate stimate in occasione dell'evento 4 Novembre 2011 (Perizia Bellini/Tubino)

Il già citato gruppo di lavoro costituito dal Comune di Genova ha poi richiesto di poter verificare quale sia il massimo valore di portata che può essere smaltito dall'opera di presa Fereggiano e relativa galleria.

Dalla relazione Bellini/Tubino si è ricavato infatti per la sezione di via Ginestrato/via Pinetti una portata pari a 138 m^3/s: nel progetto Italstrade era stato considerato un valore di portata nella stessa sezione pari a 137 m^3/s (associata nella relazione idrologica di progetto ad un Tr di 1000 anni).

La perizia Bellini/Tubino arriva a concludere che se all'epoca dell'evento alluvionale del 4 novembre 2011 ci fosse stato in funzione il deviatore Fereggiano, l'intera sua portata transitante nella sezione di via Ginestrato/via Pinetti avrebbe potuto essere scolmata, consentendo dunque a valle, ossia nei pressi del tratto coperto finale del Fereggiano, il transito della portata residua di 38 m^3/s, tollerata in quel tratto.

E' lecito chiedersi dunque quale sia la massima portata che il pozzo di presa e l'intera opera di derivazione e scarico è in grado di intercettare, fermo restando il suo ottimale dimensionamento per la portata di progetto pari a 80 m^3/s.

La medesima relazione Bellini/Tubino stima in 176 m^3/s la massima portata idrologica (ma idraulicamente non tollerabile) nel tratto terminale del Fereggiano alla confluenza nel Bisagno.

La relazione Bellini/Tubino precisa infine che il tempo di ritorno associato alla portata di 176 m^3/s nel tratto terminale è superiore a 200 anni così come la portata stimata alla sezione 3 (via Ginestrato/via Pinetti) per l'evento del 4 novembre 2011 pari a 138 m^3/s, il tutto come descritto nella seguente tabella:

Tab. 2.1 - Portate di riferimento ufficiali

dati e documenti di riferimento	**portata al picco in via Ginestrato/via Pinetti (sezione 3)**	**Portata massima stimata nel tratto terminale (sezione 5)**	**TR (anni)**
Evento 4.11.2011 (relazione Bellini/Tubino)	138 m^3/s	176 $m^{3/}s$	>200 (≈ 1000, secondo statistica progetto Italstrade)
Relazione idrologica Progetto Italstrade	137 m^3/s 124 m^3/s		1000 anni 500 anni
Piano di bacino all'altezza della presa (Tr = 200 anni)	90 m^3/s	139 m^3/s	200
Piano di bacino a valle della presa (Tr = 200 anni)	115 m^3/s	139 m^3/s	200

Come riportato in Fig. 2.5 si assume per la portata massima con la quale verificare il funzionamento dell'opera di presa sul Fereggiano ubicata alla sezione n. 3 pari a 111 m^3/s.

Con tale valore (che è superiore a quello associato a TR 200 anni dal Piano di Bacino), la portata rilasciata a valle nell'evento del 4 novembre 2011 sarebbe stata 138 – 111 = 27 m^3/s.

2.1.2. Rio Noce

Per il Rio Noce si è deciso di derivare, così come richiesto dal Comune di Genova, la quasi totalità della portata del corso d'acqua (garantendo, in alveo, a valle dell'opera di presa un deflusso minimo stimato in 0,30 m^3/s) a causa della gravissima insufficienza idraulica dei tratti tombati a valle dell'opera di captazione. La portata da derivare è stato definita pari all'intera portata di piena nella sezione considerata, pari cioè a 23 m^3/s (portata di progetto assunta nel PD 2007).

Il progetto Italstrade associava al Rio Noce la seguente statistica di piena:

Q(500) = 28 m^3/s;

Q(1000) = 30 m^3/s.

In occasione di incontri con il Comune di Genova svoltisi nell'ambito del PD 2007, lo stesso Comune espresse la volontà che l'opera di presa derivasse tutta la portata in arrivo dal by pass previsto nel progetto di 'Sistemazione idraulica del Rio Noce nel tratto compreso tra la scuola d'infanzia "Delia Repetto" in salita superiore Noce ed il Pozzo "Carena" all'incrocio tra via Benedetto XV e C.so Europa', in quanto la derivazione e il recapito della portata ordinaria in alveo dovrà avvenire a monte dell'opera in progetto.

La portata assunta nel PD 2007 e qui confermata (23 m^3/s), secondo la statistica del Progetto Italstrade, ha tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

2.1.3. Rio Rovare

Considerazioni e richieste analoghe a quelle condotte per il Rio Noce, sempre da parte del Comune, hanno condotto a derivare dal Rio Rovare quasi tutta la portata di progetto, pari a 26 m^3/s come assunto nel Progetto definitivo del 2007 (il progetto Italstrade associava al Rio Rovare la seguente statistica di piena:

$Q(500) = 24\ m^3/s$;

$Q(1000) = 27\ m^3/s$.

La portata assunta nel PD 2007 e qui confermata (26 m^3/s), secondo la statistica del Progetto Italstrade, ha tempo di ritorno compreso tra 500 e 1000 anni.

2.1.4. Portata complessivamente derivata in galleria

Nella tabella 2.2. di seguito si riportano sinteticamente i valori di portata sopra descritti e presi a riferimento per il dimensionamento dei manufatti.

Si sottolinea in questa sede che la portata di progetto della galleria è pari a 96 m^3/s. Tale valore risulta da considerazioni, già formulate nel progetto preliminare e definitivo approvato, sulla non contemporaneità dei colmi di piena dei corsi d'acqua in studio: essa risulta essere la somma della portata di progetto scolmata dal Fereggiano (80 m^3/s), e di circa un terzo delle portate derivate dai due rii minori (rispettivamente 9 mc/s e 7 mc/s per Rovare e Noce).

A tal proposito rimane da osservare come l'analisi idrologica del Progetto Italstrade aveva stabilito che il picco di piena del Fereggiano si produce per una durata di pioggia di 60 minuti, mentre per i rii minori Rovare e Noce questo avviene per una durata di 15 minuti.

Lo studio dei 3 idrogrammi aveva portato i progettisti a ritenere che il picco di piena della galleria si sarebbe formato al minuto 60 dell'evento pluviometrico di progetto, con la somma delle seguenti portate:

Fereggiano:	136,60 m^3/s
Noce:	20,61 m^3/s
Rovare:	19,11 m^3/s
---	---
Totale:	176,32 m^3/s.

A tale evento era stato associato un TR di 1000 anni.

Nel PD 2007, nonché nel precedente progetto preliminare del 2000, si è invece assunto che le portate massime di Rovare e Noce da sommare alla portata di piena TR200 del Fereggiano (pari nel PP 2000 a 35 mc/s ed incrementata a 80 mc/s nel PD 2007, in conformità con quanto definito nel Piano di Bacino), fossero pari a circa un terzo delle portate massime sicché ne deriva:

Fereggiano: 90 m^3/s
Noce: 7 m^3/s
Rovare: 9 m^3/s

Totale: 106 m^3/s;

e che le portate da derivare fossero:

Fereggiano: 80 m^3/s
Noce: 7 m^3/s
Rovare: 9 m^3/s

Totale: 96 m^3/s.

In definitiva si ha dunque:

Tab. 2.2 - Portate di riferimento per il dimensionamento delle opere di presa

RIO FEREGGIANO **Sup. Bacino = 3 km²**	**RIO ROVARE** **Sup. Bacino = 0.55 km²**	**RIO NOCE** **Sup. Bacino = 0.49 km²**
Q_p [m^3/s]= 90,0	Q_p [m^3/s]= 26,00	Q_p [m^3/s]= 23,00
Q_i [m^3/s]= 5,00	Q_i [m^3/s]= 0,07	Q_i [m^3/s]= 0,10
Q_s [m^3/s]= 80,00	Q_s [m^3/s]= 26,00	Q_s [m^3/s]= 23,00
Q_v [m^3/s]= 28,0	Q_v [m^3/s]= 0,30	Q_v [m^3/s]= 0,00

La portata massima contemporanea nella galleria di progetto con la quale verificare il funzionamento delle opere è data dalla massima portata scolmata del Fereggiano (111 m^3/s) e dai valori delle portate degli altri 2 corsi d'acqua ridotte a circa un terzo per tenere conto della diversità di tempi di corrivazione dei bacini e quindi delle non contemporaneità dei picchi di piena.

La massima portata che cimenta la galleria (per la quale verificare le opere) è dunque pari a 111 + 9 + 7 = 127 m^3/s, avendo arrotondato i valori delle portate di Rovare e Noce.
Sulle base delle portate su menzionate, si possono individuare i 3 scenari considerati:

Scenario 1: portate duecentennali scolmate, avendo assunto a riferimento i dati del Piano di Bacino e PD2007:

Fereggiano	80 m^3/s
Rovare	9 m^3/s (~ 1/3 di 26)
Noce	7 m^3/s (~ 1/3 di 23)
Totale	96 m^3/s.

Scenario 2: portate straordinarie, non contemporanee (evento 4 Novembre 2011):

Fereggiano	111 m^3/s
Rovare	9 m^3/s (~ 1/3 di 26)
Noce	7 m^3/s (~ 1/3 di 23)
Totale	127 m^3/s.

Scenario 3: portate straordinarie, contemporanee (evento 4 Novembre 2011):

Fereggiano	111 m^3/s
Rovare	26 m^3/s
Noce	23 m^3/s
Totale	160 m^3/s.

Come si può osservare lo scenario 3 di funzionamento delle opere è dato la somma della portata scolmata massima prevista alla presa Fereggiano (111 m^3/s) e delle massime portate due centennali degli altri due rii minori.

Tale scenario considera una portata totale allo sbocco di 160 m^3/s, pari alla portata cinquecentennale assunta nel progetto Italstrade.
E' da rilevare come l'idrogramma (associato a TR = 1000 anni) del rio Fereggiano (analizzato nel progetto Italstrade) sia tale da presentare portate superiori a 111 m^3/s per una durata di quasi 25 minuti (Cfr. Fig. 2.6.).
Assumendo che per tale durata, l'opera di presa sia in grado di derivare tale portata (111 m^3/s), la possibilità che essa si sommi ai valori di picco degli idrogrammi

dei 2 rii minori (non a tali valori divisi per 3) è concreta e quindi lo scenario millenario qui considerato appare comunque indicativo di una situazione realistica.

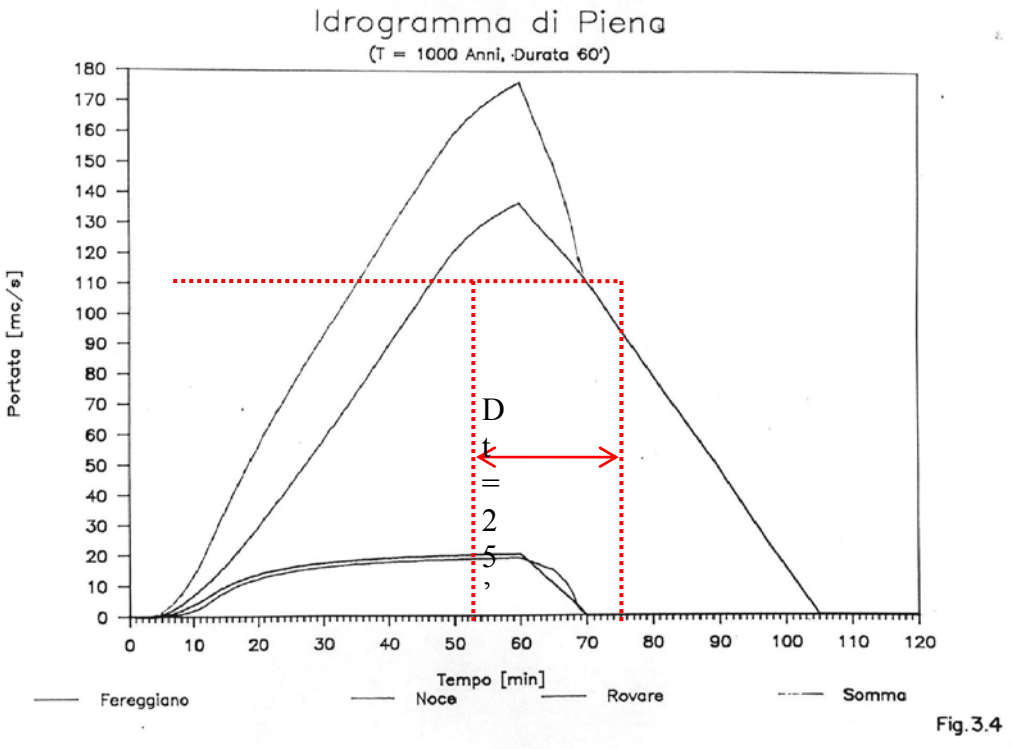


Fig. 2.6 - Idrogrammi di piena dei rii Fereggiano, Rovare e Noce (Progetto Italstrade)

Quindi i tre scenari considerati si possono associare, indicativamente, ai seguenti tempi di ritorno:

scenario 1 (Piano di bacino): TR = 200 anni

scenario 2 (evento 4 Novembre 2011): 200<TR<500 anni

scenario 3 (evento 4 Novembre 2011 e contemporaneità dei picchi di piena delle portate derivate): TR = 1000 anni

3. TIPOLOGIA DELLE OPERE

3.1. Manufatto di presa

La tipologia adottata per le tre opere di presa in oggetto è quella delle luci e delle soglie che sono governate dalle classiche leggi dell'idraulica.

Per quanto riguarda invece il collegamento con la galleria di derivazione viene utilizzato un pozzo, in accordo con quanto previsto in fase di progettazione preliminare. Questo tipo di manufatti è stato utilizzato per superare i notevoli dislivelli tra la quota del corso d'acqua e la galleria di progetto garantendo al contempo efficienza idraulica e dissipazione dell'energia.

Il comportamento idraulico di tale tipo di struttura è governato dalla configurazione della zona di imbocco, che definisce la natura della corrente del pozzo. Nella struttura con camera di imbocco a vortice l'acqua aderisce alle pareti e scorre verso il basso assumendo la conformazione di un getto anulare, per via del momento angolare impresso alla corrente dalla struttura vorticosa d'imbocco, mentre al centro del pozzo si sviluppa una zona aerata all'interno della quale la pressione è pressoché quella atmosferica.

Sul fondo della struttura si è previsto di realizzare una vasca atta di dissipare energia e rilasciare l'aria eventualmente trascinata dalla corrente, onde evitare anomali funzionamenti e che questa possa liberarsi repentinamente danneggiando le strutture. L'opera è perciò costituita essenzialmente da un canale di imbocco al vortice, da una camera a vortice da cui parte il pozzo e da un canale di sbocco delle acque.

Esperienze di laboratorio (Viparelli, 1950) hanno evidenziato che nei manufatti di imbocco al pozzo a vortice con fondo a debole pendenza, il deflusso aveva carattere molto regolare e con piccole pulsazioni che non producevano la chiusura del foro per l'aria. Ci si è orientati perciò a progettare manufatti con canali di imbocco con fondo a debole pendenza e quindi con corrente 'lenta' in arrivo al vortice.

In questo caso la relazione fra la portata e il tirante idrico a monte è data da (Hager, 1985):

$$q = \frac{\pi\sqrt{2h}}{\sqrt{\frac{1}{\mu^2} + \left(\frac{\pi R}{ha}\right)^2}}$$

in cui:

$$\mu = 0.95 - \left(1 - \left(\frac{2h}{9\pi}\right)^{2/3}\right)^2$$

$$h = \frac{by}{aR}$$

$$q = \frac{Q\sqrt{b}}{\sqrt{gaR^5}}.$$

Definiti i parametri:

b = larghezza del canale in arrivo;
a = distanza tra la mezzeria del canale in arrivo e l'asse del pozzo;
R = raggio del pozzo,

la portata adimensionalizzata *q* è quindi funzione dell'altezza idrica *h* a monte del vortice e del parametro *R/a*.

Al fine di evitare che l'asse del vortice risulti obliquo ed eccentrico rispetto l'asse del pozzo deve essere soddisfatta la relazione (Viparelli, 1950):

$$a - \frac{b}{2} > 1.3R,$$

mentre per garantire l'aerazione della vena all'interno del pozzo devono verificarsi le seguenti relazioni:

$h < 4$,
$q < 5.7$.
$\mu < 0.626$.

La figura di seguito riportata mostra la struttura della camera del vortice nel caso in cui la corrente in arrivo sia lenta; il diametro del pozzo è stato indicato con *Ds* (=2R), mentre con R_i sono stati indicati i raggi dei quadranti delle pareti interne del vortice. Il fondo della camera è orizzontale.

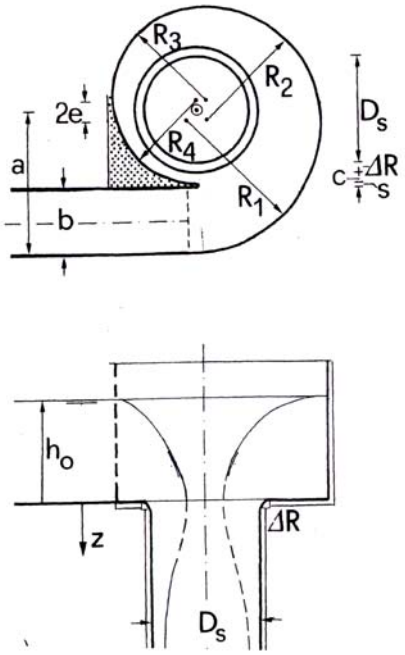


Fig. 3.1: Geometria della camera del vortice (da Hager,1985)

In particolare i parametri caratteristici della geometria della suddetta camera sono definiti come segue (Drioli, 1969):

$$a = \frac{Ds}{2} + \Delta R + c + s + \frac{b}{2},$$

$$e = \frac{b+s}{7},$$

$$R_4 = \frac{Ds}{2} + \Delta R + c + e$$

$$R_3 = R_4 + e$$

$$R_2 = R_4 + 3e$$

$$R_1 = R_4 + 5e\,.$$

Infine, da analisi sperimentali, è risultato che il rapporto ottimale tra il raggio del pozzo *R* e la distanza *a* tra il centro del pozzo e la mezzeria del canale di imbocco deve essere prossimo a 0.4 - 0.5:

$$\frac{R}{a} \cong 0.4 - 0.5\,.$$

Si sottolinea in questa sede che i manufatti sono stati pensati in modo tale che possa essere prevista la chiusura dell'opera di presa, convogliando tutta la portata in arrivo negli alvei attuali; questo allo scopo di favorire le attività di manutenzio-

ne delle opere in progetto. Viceversa tutti i deflussi possono essere inviati temporaneamente nella galleria in progetto per la manutenzione del tratto di valle del corso d'acqua.

Inoltre è utile sottolineare che tutti i manufatti di partizione delle portate, sono stati studiati in modo tale da far confluire in alveo quanto più possibile dell'eventuale trasporto solido nella corrente, in corrispondenza di portate ordinarie, sebbene le analisi granulometriche condotte sui rii minori abbiano comunque verificato che nessuno di questi torrenti è in grado di trasportare a valle materiale aventi dimensioni significative.
Dalle stesse analisi riguardanti la capacità di trasporto di materiale solido da parte della corrente dei tre rii, è emerso infatti che i corsi d'acqua in oggetto non sembrano avere la possibilità di giungere a saturazione in quanto i depositi a monte delle prese non sono ben sviluppati.

3.2. Camera di dissipazione

Per quanto riguarda la camera di sbocco delle acque alla base del pozzo, questa è stata pensata in modo tale che si formi al suo interno un cuscino d'acqua che permetta la dissipazione dell'energia della corrente in caduta dal pozzo, prima che questa entri nella galleria di collegamento allo scolmatore in progetto.
Allo scopo è stato previsto un gradino, posto alla quota di partenza della galleria di collegamento, che permette di creare un cuscino d'acqua di profondità almeno pari a 0.1 volte l'altezza di caduta della corrente.
La camera è stata progettata di lunghezza almeno pari a 4 volte il diametro del pozzo (Hager, 1985) e di forma policentrica, al fine di una sua più facile realizzazione.
Il diametro di tale camera è stato dimensionato in modo tale che la distanza tra il cielo della camera e il fondo della galleria di collegamento all'imbocco risultasse almeno pari a circa 2 volte il diametro del pozzo (Hager, 1985).
Durante la fase terminale del PD 2007, a valle delle prove su modello fisico, il diametro della camera è stato aumentato al fine di realizzare sul cielo della camera stessa un camminamento e garantire un franco idraulico di almeno 2 m da tale camminamento.

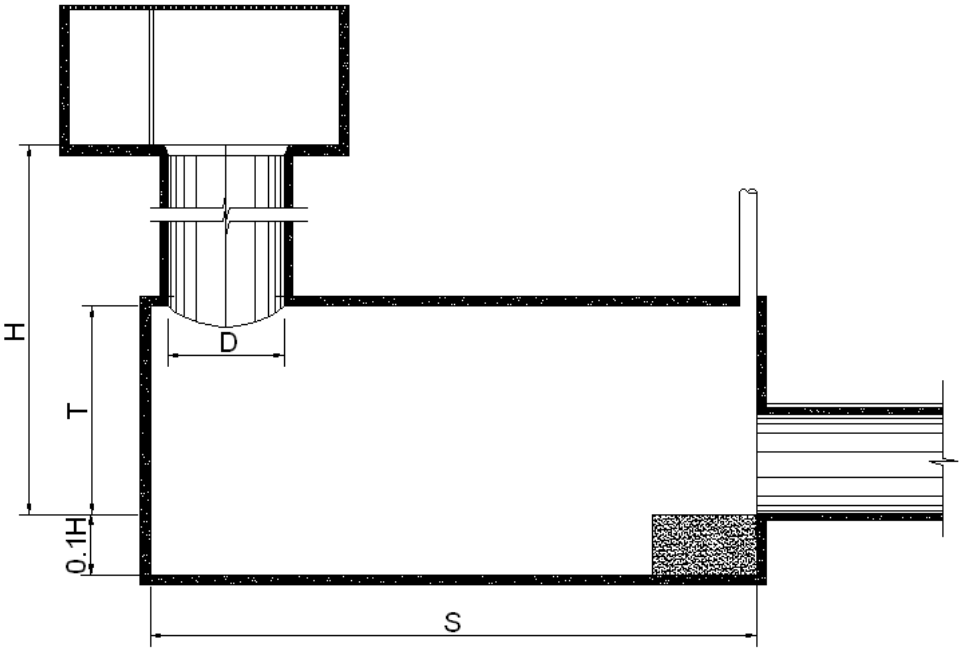


Fig. 3.2: Geometria della camera di dissipazione (da Hager,1985)

Come si illustrerà di seguito la fuoriuscita dell'aria trascinata dalla corrente in caduta dal pozzo sarà garantita mediante la realizzazione di un pozzo di servizio dove sono allocate delle scale di servizio, mentre l'areazione dell'imbocco della galleria di collegamento sarà permesso dalla posa di un tubo in acciao ϕ1200 in prossimità dell'imbocco stesso.

4. OPERA DI PRESA SUL TORRENTE FEREGGIANO

4.1. Descrizione dell'opera

In seguito ai sopralluoghi svolti nel bacino e nell'asta del Rio Fereggiano, è stata confermata l'ubicazione dell'opera decisa nel progetto preliminare.

Tale ubicazione dell'opera di presa è in alveo, in corrispondenza della piccola ansa a valle della copertura attualmente ad uso parcheggio-strada che si trova in Via Pinetti all'altezza di Salita Ginestrato, e consente di raggiungere un buon compromesso tra le esigenze di carattere idrologico, idraulico, e di disponibilità di area. Quest'ultimo aspetto, in particolare, costituisce la motivazione forte che ha condotto alla scelta indicata.

L'opera di presa in progetto è stata pensata in modo che la portata ordinaria defluisca in adiacenza alla sponda destra attraverso una luce opportunamente dimensionata.

Tale portata, pari a 10 m^3/s per un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni, sarà convogliata in un canale a sezione rettangolare di larghezza pari a 1.9 m e altezza variabile, con pendenza del fondo pari a 0.04.

Quando la portata Q_i (=5 m^3/s) verrà superata, l'eccesso di portata sarà convogliato mediante uno sfioro nel canale di alimentazione del pozzo a vortice.

La soglia di imbocco della derivazione alla galleria in progetto, posizionata appena a monte della fine della copertura stradale di Via Pinetti e dimensionata secondo le leggi classiche dell'idraulica, consente di derivare la portata Q_s pari a 80 m^3/s, nel caso di un evento duecentennale.

La sua conformazione, inclinata rispetto al corso d'acqua, è stata pensata in modo tale da far confluire, per quanto possibile, la maggior parte del trasporto solido verso valle lungo il Fereggiano cioè attraverso la luce di fondo precedentemente descritta.

A tal riguardo si ricorda in questa sede che, dalle indagini condotte, è emerso che il torrente Fereggiano è in grado di trasportare a valle materiale avente dimensioni massime che possono arrivare a 90 - 100 mm, ed è comunque poco probabile che possa giungere a saturazione perché le zone di apporto non sembrano ben sviluppate, anche a causa dell'intensa edificazione dei versanti adiacenti il corso d'acqua.
Si rimanda al capitolo dedicato (par. 4.3) per la descrizione delle prove condotte sul modello fisico, atte a valutare il reale impatto del materiale solido trasportato dalla corrente sul funzionamento dell'opera.

Il canale di imbocco al pozzo ha dimensione 4.0 x 6.75 m, una lunghezza pari a 20 m e inclinazione del fondo pari a 0.0023. La sezione del canale è stata dimensionata in modo tale che riesca a contenere la portata di progetto con un franco di almeno 1 m rispetto alle strutture esistenti e di progetto.

Il manufatto così pensato è in grado di scaricare portate anche superiori alla portata di progetto. Tuttavia nel caso in cui il pozzo si otturasse o non fosse in grado di smaltire la portata di progetto si è pensato di far sfiorare la portata in eccesso lungo una soglia ricavata su una parete della camera del vortice, e di farla proseguire in alveo.
La geometria di tale soglia, posta inizialmente a quota 54.75 m s.m.m., è stata affinata in seguito alla realizzazione del modello fisico; in particolare la sagoma dello sfioro è stata fatta coincidere con il profilo idrico della corrente corrispondente ad un evento duecentennale, in modo tale che lo sfioro in alveo della portata in eccesso inizi al raggiungimento di tale portata.
Tale soglia è stata inoltre allungata rispetto alla versione provata su modello fisico, al fine di permettere lo sfioro di una quantità maggiore di portata, ed aumentare così il valore della portata 'limite' di funzionamento a pelo libero del 4.3.6.5).

Il pozzo a vortice di diametro pari a 5.8 m, ubicato in sponda sinistra, permette alla corrente in arrivo di superare un dislivello di 31 m nel PD 2007, giunti a 36 m nella presente progettazione di primo lotto.

La corrente, cadrà in una camera di fondo di forma policentrica di diametro inizialmente pari 13.4 m e di lunghezza pari a 25 m, dalla quale parte la galleria di collegamento allo scolmatore principale.

A monte dell'opera in oggetto è stata prevista, in fase di dimensionamento preliminare, una risagomatura dell'alveo per un tratto di circa 40 m, fino al salto di fondo esistente, al fine di regolarizzarne il fondo e controllare meglio le caratteristiche idrauliche della corrente in arrivo.
È stato previsto inoltre un rivestimento del fondo, mediante la realizzazione di un selciatone in pietrame, in corrispondenza al risalto idraulico che si forma a monte delle opere di presa per un tratto stimato di 20 m, e per un tratto altrettanto lungo a valle del pozzo, nel caso in cui la soglia prevista nella camera del pozzo dovesse essere attivata.
Come si illustrerà in seguito, attraverso la realizzazione del modello fisico è emersa la necessità di rivestire il fondo dell'alveo per un tratto di circa 100 m a monte del manufatto di partizione della portata e 50 m a valle del manufatto.

Si è infine ricollocata in destra idrografica, subito a monte dell'opera di derivazione, della fognatura nera di diametro pari a 300 mm contenuta nel cassonetto in calcestruzzo che attualmente corre in sinistra idraulica.

La manutenzione dell'opera di presa sarà possibile mediante il posizionamento di panconi nel canale di imbocco al vortice; tutta la portata in arrivo sarà quindi convogliata nel canale rettangolare in destra idraulica e quindi nell'alveo.

Al contrario, in caso di necessità, tutta la portata potrà essere convogliata nella galleria in progetto chiudendo la paratoia di accesso al corso d'acqua.

4.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1)

4.2.1. Manufatto di presa e pozzo

Come già detto la tipologia adottata per l'opera di presa in oggetto è quella delle luci e delle soglie; in particolare, come già ricordato, la portata destinata a proseguire nel Fereggiano sarà derivata attraverso una luce di fondo, mentre quella da condurre nella galleria in progetto sarà sfiorata mediante una soglia nel canale di imbocco al vortice e quindi al pozzo.

Il fondo della luce è stato posto a quota 50.9 m s.l.m.. Tale luce di fondo, di dimensioni 1.9x1.9 m permette di derivare le portate ordinarie e sarà dotata di una paratoia che parzializzerà la sezione della stessa al fine di non far confluire a valle dell'opera di captazione in studio una portata maggiore di 10 m^3/s.

Tale dispositivo, da mantenere fisso durante gli eventi, potrà nel tempo essere utilizzato oltre che per le fasi di manutenzione anche per modificare le portate che proseguono verso valle.
La sezione parzializzata della luce è stata calcolata utilizzando la relazione che regola il funzionamento sottobattente delle luci e che esprime la portata fluente dalla luce di sezione *A* in funzione del tirante d'acqua *h* rispetto il baricentro della luce stessa.

Tale relazione ha la seguente espressione

$$Q_v = \mu A\sqrt{2gh}\,,$$

in cui *A* è l'area della luce, μ è un coefficiente pari a 0.6 e *h* è il carico idraulico rispetto il baricentro della sezione. Per la portata duecentennale la sezione parzializzata risulta esser pari a 1,9 x 1 m. La restante portata sarà quindi derivata, mediante una soglia di lunghezza *L* pari a 7.5 m circa, nel canale di imbocco al pozzo.

Il funzionamento di tale struttura è bidimensionale e quindi il comportamento idraulico del manufatto difficile da interpretare. Tale struttura potrebbe infatti essere studiata come uno sfioratore, una soglia frontale o uno sfioro laterale. In fase di dimensionamento preliminare di tale struttura, è sembrato cautelativo assimilarla a uno sfioratore, rimandando alla realizzazione del modello fisico per una descrizione dettagliata del profilo idraulico nella sezione in studio.

Si ricorda in questa sede che la relazione che lega la portata sfiorata *Qs* alla lunghezza della soglia si esprime con la seguente espressione:

$$Q_s = 0.385hL\sqrt{2gh}\,,$$

in cui *h* è il tirante della corrente rispetto la quota di sfioro, che è pari a 51.45 m s.l.m. Tale quota di sfioro è stata determinata in modo tale che la portata di inizio sfioro fosse pari a 5 m^3/s circa; per valori di portata inferiori a tale quantità tutto il deflusso continua verso valle, nel Fereggiano.

Il pozzo è stato utilizzato per il recapito nella galleria di derivazione delle acque così captate, in accordo con quanto previsto in fase di progettazione preliminare.

Utilizzando le relazioni illustrate nel cap 3.1 che descrivono il funzionamento della corrente nei manufatti a vortice in cui la corrente di ingresso risulta lenta, si è definita la geometria della camera del vortice ed il raggio del pozzo. Si ricordano solo brevemente, rimandando al capitolo dedicato per la definizioni dei parametri citati, che le condizioni di moto sufficienti a garantire l'aerazione della vena all'interno del pozzo sono:

$h<4$,
$q<5.7$,
$\mu<0.626$.

Fissata una larghezza del canale *b* pari a 4 m e un raggio del pozzo *R* pari a 2.9 m si è proceduto definendo il parametro *a* in modo che fosse soddisfatta anche la relazione che garantisce l'eccentricità del vortice rispetto l'asse del pozzo, ovvero

$$a - \frac{b}{2} > 1.3R .$$

Definito quindi *a* pari a 5.8 m, si sono ricavate le grandezze necessarie a disegnare le pareti del vortice. In particolare è risultato:

$e=0.60$,
$R_1=7.20$,
$R_2=6.00$,
$R_3=4.80$,
$R_4=4.20$.

Si è quindi calcolata l'altezza d'acqua che si instaurano nella camera del vortice per la portata duecentennale; tale altezza è risultata essere 4.74 m.

Il tracciamento dei profili idraulici, per le portate di dimensionamento, è stato ottenuto mediante l'integrazione da monte verso valle, per il tratto a monte dello sfioro (corrente veloce), e da valle verso monte per il tratto a valle (corrente lenta), con il metodo alle differenze finite dell'equazione che regola il moto permanente:

$$\frac{dE}{dx} = i - J \ ,$$

in cui E è l'energia della corrente, i la pendenza del fondo e J la cadente dei carichi totali.

Partendo a descrivere il comportamento idraulico della corrente bisogna subito mettere in evidenza che la presenza di un restringimento di sezione provoca nell'assetto idrometrico della corrente alcune modifiche da valutare.

Nel caso in esame la corrente in arrivo da monte è supercritica e, valutato il rapporto di restringimento tra le aree $r = A_v/A_m$, con energia insufficiente a superare lo sfioro. Per procurarsi tale energia la corrente deve diventare lenta; tale passaggio avviene a monte dello sfioro con la formazione di un risalto.

L'integrazione con il metodo alle differenze finite dell'equazione che regola il moto permanente non può essere utilizzata in prossimità dello sfioro e del conseguente salto di fondo della corrente nello scatolare di immissione al pozzo. Per determinare il regime di moto che si instaura in prossimità del salto si sono utilizzate le formule sperimentali che definiscono il profilo di corrente nel caso in cui il getto stramazzante provenga da una corrente lenta. In particolare sulla soglia sfiorante la corrente passerà dallo stato critico. Le caratteristiche principali della corrente sono state ottenute sulla base delle seguenti espressioni sperimentali:

$$\frac{y_1}{\Delta z} = 0.54\left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{1.275} \ ,$$

$$\frac{L_1}{\Delta z} = 4.30\left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.81} \ ,$$

$$\frac{y_2}{\Delta z} = 1.66\left(\frac{y_c}{\Delta z}\right)^{0.81} \ ,$$

$$L_r = 6(y_2 - y_1) \ ,$$

dove L_1 è la lunghezza della gittata d'acqua, y_1 è l'altezza della corrente veloce nel punto di impatto della vena liquida, y_2 è l'altezza coniugata al risalto rispetto y_1 e L_r è la lunghezza del risalto a valle del punto di tale impatto. Per la portata di dimensionamento l'altezza d'acqua y_1 nel punto di impatto, spostato di 8.64 m rispetto il salto è risultata esser pari a 1.29 m. Essendo in un canale a debole pen-

denza ed essendo y_2 inferiore all'altezza di moto uniforme dell'acqua che si instaura in prossimità del pozzo il risalto, che avviene per il passaggio da corrente veloce a corrente lenta, risulta annegato.

Il profilo idraulico è stato disegnato anche per portata inferiori alla duecentennale. Come si evidenzia dai risultati di questa analisi, riportati di seguito in forma tabellare e grafica, il risalto idraulico a valle del salto risulta annegato fino a una portata in arrivo da monte pari a 50 m^3/s. Al di sotto di tale valore si formerà un risalto idraulico contenuto nel canale di imbocco al vortice.
Si riportano di seguito in forma grafica e tabellare i risultati dell'analisi condotta secondo quanto illustrato.

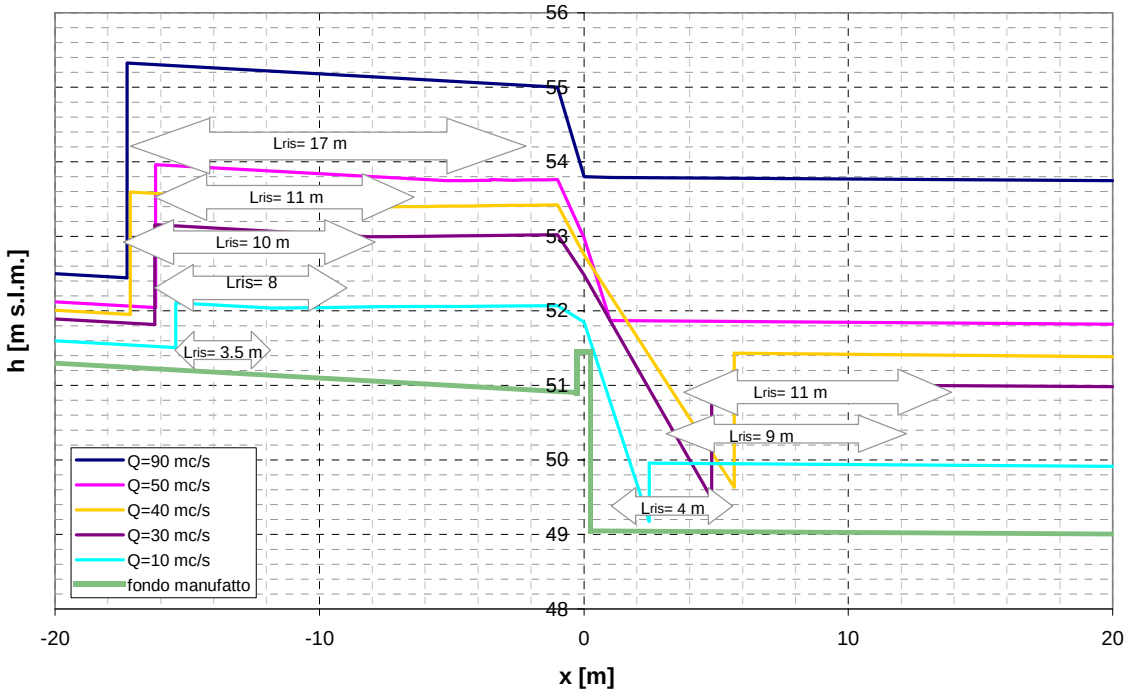


Fig. 4.1 - Profili idraulici della corrente all'interno del manufatto per le portate considerate

Tab. 4.1 - Profili idraulici della corrente all'interno del manufatto per le portate considerate

Qp=90 m³/s		**Qp=50 m³/s**		**Qp=40 m³/s**		**Qp=30 m³/s**		**Qp=10 m³/s**	
Qs=80 m³/s		**Qs=42 m³/s**		**Qs=33 m³/s**		**Qs=23 m³/s**		**Qs=6 m³/s**	
X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [ms.m.]
-25.00	52.60	-25.00	52.22	-25.00	52.11	-25.00	51.99	-25.00	51.70
-17.27	52.45	-16.19	52.04	-17.16	51.95	-16.22	51.81	-15.43	51.51
-17.27	55.33	-16.19	53.96	-17.16	53.59	-16.22	53.15	-15.43	52.11
-1.00	55.00	-5.19	53.74	-7.32	53.40	-8.18	52.99	-11.83	52.04
0.00	53.80	-4.78	53.75	-6.90	53.40	-7.36	53.00	-9.77	52.05
1.00	53.79	-4.36	53.75	-6.07	53.40	-6.11	53.00	-8.08	52.05
20.00	53.74	-3.95	53.75	-5.24	53.40	-4.84	53.01	-6.35	52.06
		-3.53	53.75	-4.40	53.41	-3.57	53.01	-4.59	52.06
		-3.53	53.76	-3.55	53.41	-2.29	53.02	-2.81	52.07
		-2.69	53.75	-2.71	53.41	-1.00	53.02	-1.00	52.07
		-2.27	53.76	-1.86	53.42	0.00	52.48	0.00	51.85
		-1.85	53.76	-1.00	53.42	4.84	49.48	2.48	49.17
		-1.42	53.76	0.00	52.75	4.84	51.02	2.48	49.95
		-1.00	53.76	5.69	49.63	20.00	50.98	20.00	49.91
		0.00	52.98	5.69	51.43				
		1.00	51.87	20.00	51.39				
		20.00	51.82						

= localizzazione del risalto

4.2.2. Camera di dissipazione

La geometria della camera di sbocco delle acque provenienti dal pozzo è stata pensata in modo tale che si formi al suo interno un cuscino d'acqua che permetta la dissipazione dell'energia della corrente in caduta dal pozzo, prima che questa entri nella galleria di collegamento allo scolmatore in progetto. Si è quindi previsto di realizzare un 'gradino' che permettesse di creare un cuscino d'acqua di una profondità almeno pari a 0.1 volte la profondità di caduta della corrente.

Come già illustrato al cap. 3, tale camera è stata progettata di lunghezza almeno pari a 4 volte il diametro del pozzo (Hager, 1985) e di forma pseudo-circolare, al fine di una sua più facile realizzazione; il diametro di tale camera è stato dimensionato in modo tale che la distanza tra il cielo della camera e il fondo della galleria di collegamento all'imbocco risultasse almeno pari a circa 2 volte il diametro del pozzo (Hager, 1985).

La camera di fondo ha assunto quindi una forma policentrica di diametro inizialmente pari 13.4 m e di lunghezza, fino al gradino, pari a 25 m..

Tale sezione adottata per la camera di sbocco delle acque è stata verificata con l'impiego del modello fisico.

Come si illustrerà in seguito, in fase progettuale, al fine di permettere l'accesso alla camera da parte degli addetti alla manutenzione si è deciso di ricavare sul cielo

della camera un camminamento; per tale ragione il diametro della camera è divenuto 15.80 m.

4.3. Il modello fisico

Al fine di verificare il comportamento idraulico del manufatto si è realizzato il modello fisico dell'opera di presa.

4.3.1. Caratteristiche geometriche del modello

Il modello dell'opera di presa del torrente Fereggiano è stato realizzato in similitudine di Froude, a scala di riduzione pari a 1/38.7.

Le scale derivate risultano pertanto:

- scala dei tempi e delle velocità $1/38.7^{1/2}$ (1/6.2)
- scala delle portate $1/38.7^{5/2}$ (1/9317)
- scala dei volumi $1/38.7^{3}$ (1/57961)

La portata di progetto, pari a 90 m^3/s, diviene perciò su modello pari a 9.7 l/s.

Si riporta di seguito la rappresentazione grafica del modello realizzato, le cui dimensioni principali sono risultate:

- lunghezza 3.50 m;
- larghezza 2.75 m;
- altezza 1.25 m, pari a 48 m sul prototipo tra il fondo della camera di dissipazione, posta al fondo del pozzo, e la copertura del tratto tombato a monte dell'opera di partizione.

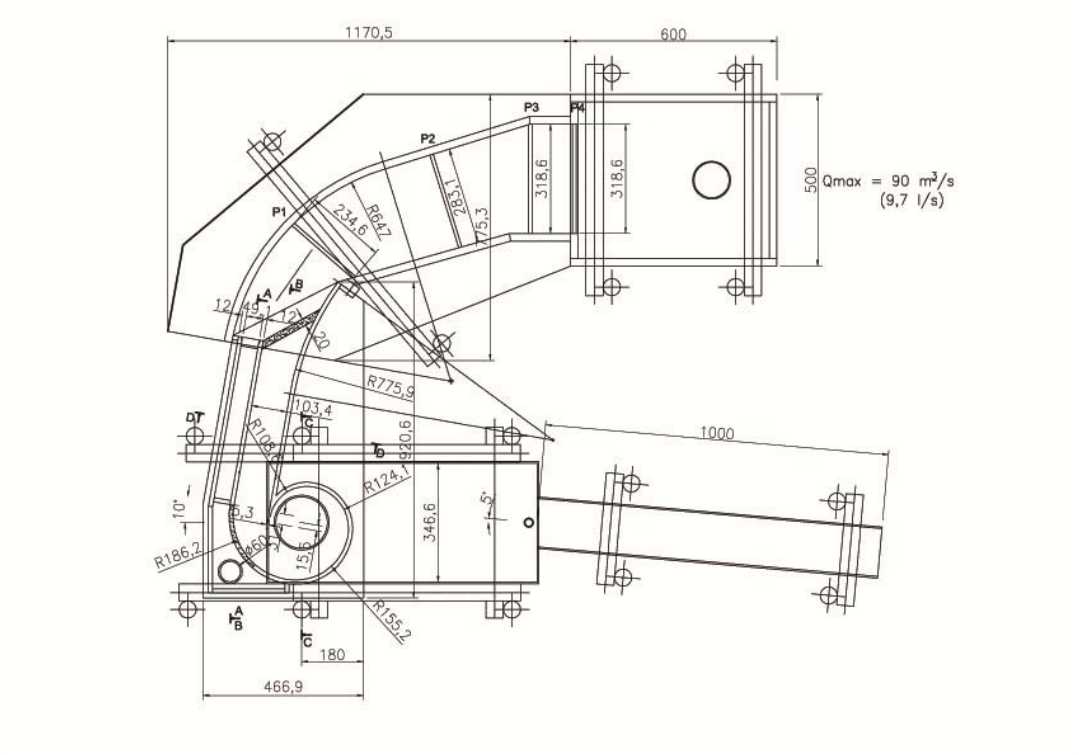


Fig. 4.2: Rappresentazione grafica del modello realizzato



Fig. 4.3: Il modello fisico del torrente Fereggiano

Le opere riprodotte su modello sono le seguenti:

- tratto a monte dell'opera inizialmente di lunghezza pari a circa 30 m e successivamente allungato a 70 m;

- sfioro di ingresso al canale di imbocco al pozzo a vortice;
- luce di controllo della portata che prosegue verso l'alveo di valle;
- canale di imbocco al pozzo a vortice;
- pozzo a vortice;
- camera di dissipazione posta al fondo del pozzo a vortice;
- tratto iniziale della galleria di collegamento (circa 38 m).

Le pareti del canale di imbocco al vortice, il pozzo, la camera di dissipazione ed il primo tratto di galleria di collegamento sono stati realizzati in materiale trasparente per permettere una visualizzazione diretta dei profili idrici che si instaurano. Il tratto di alveo a monte dell'opera di derivazione è stato realizzato in legno e rivestito in calcestruzzo per riprodurre la corretta scabrezza che caratterizza il tratto (par. 4.3.3.).
Per le misure di livello sono state posizionate aste graduate sulle pareti del modello a monte dello sfioro, nel canale di imbocco al vortice, nella camera di dissipazione e nella galleria di collegamento (par. 4.3.4).



Fig. 4.4: Il canale a monte della partizione della portata



Fig. 4.5: Opera di partizione della portata in arrivo



Fig. 4.6: Canale di imbocco al vortice e camera del vortice



Fig. 4.7: Camera di dissipazione sul fondo del pozzo



Fig. 4.8: Galleria di collegamento alla galleria principale

4.3.2. Finalità del modello fisico

Attraverso la realizzazione del modello fisico si è inteso verificare il corretto funzionamento idraulico dei principali elementi che costituiscono l'opera di presa.
In particolare si è voluto accertare:

a) Nel manufatto di partizione delle portate

- la corretta partizione della massima portata da recapitare nell'alveo di valle e nella galleria;

- la portata di inizio sfioro in galleria;
- il profilo della corrente.

b) Nel canale di imbocco al vortice e pozzo

- il profilo della corrente nella canale di imbocco al vortice al variare della portata;
- il corretto funzionamento del pozzo.

c) Nella camera di fondo e galleria di collegamento

- il fenomeno dissipativo che si genera nella camera di fondo;
- le modalità di imbocco della corrente nella galleria che collega l'opera di presa alla galleria principale.

Le grandezze che sono state misurate su modello sono le seguenti:

- portata in arrivo da monte;
- portata derivata verso il pozzo a vortice;
- altezza d'acqua nel canale di imbocco al vortice;
- altezza d'acqua nella camera di dissipazione;
- altezza d'acqua nella galleria di collegamento.

Sono state effettuate inoltre prove su modello con alimentazione di materiale flottante e sedimenti per verificare l'impatto di materiali trasportati dalla corrente sul funzionamento dell'opera.

4.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello

In merito alla riproduzione del moto nel tratto a monte dell'opera di partizione si sottolinea che, in tale tratto, il canale ha una larghezza variabile da 11 m a 7 m in prossimità dell'opera di derivazione delle portate; il fondo alveo in progetto è stato pensato rivestito con selciatone di pietrame.

Si è assunto perciò per il calcolo del moto uniforme un valore del coefficiente di Strickler pari a $ks = 55\ m^{1/3}\ s^{-1}$, corrispondente ad un valore di ε di circa 15 mm.

La scabrezza relativa (ε/4Ri) assume perciò valori intorno a 3.9×10^{-3} ed il numero di Reynolds della corrente (4 RiUν) si aggira intorno a 2.6×10^{7}, sicché la conduttanza C (stimata con coefficiente di forma f = 0,85) è pari a 16.4.

Il numero di Froude risulta pari a 1.94.

Come già detto su modello fisico tale tratto di alveo è stato riprodotto in legno e rivestito con malta cementizia, la cui scabrezza assoluta può essere stimata intorno a 0,4 mm; assumendo una profondità della corrente pari a 3,5 cm, si ottiene un-

numero di Froude pari a 1,98, e il numero di Reynolds pari a 1,2 x 10^5, valori cui corrisponde una conduttanza di 16,25, del tutto simile a quella reale.
Lasciando invariata nel modello rispetto al reale la pendenza del tratto di monte, si ritiene pertanto di aver riprodotto in maniera adeguata le resistenze nel canale di monte.

In merito invece al rispetto della similitudine di Froude della galleria di collegamento a valle della camera di sbocco, si osserva che l'obiettivo del modello non era quello di studiare il profilo della corrente che si instaura all'interno della galleria di collegamento ma solo l'imbocco iniziale. Ciò allo scopo di assumere una corretta condizione di valle per il fenomeno dissipativo che si genera nella camera di dissipazione, in corrispondenza delle portate testate.

A valle della camera di dissipazione, è stato realizzato quindi su modello fisico un tratto di galleria, in plexiglas, di lunghezza 1 m, che in scala di prototipo corrisponde a tratto di circa 38 m.
Nella realtà, nella galleria di collegamento, di sezione circolare di diametro pari a 5 m, pendenza 0.003, e con ks=75 $m^{1/3}$ s^{-1} , si instaura un profilo di corrente lenta, molto prossimo comunque allo stato critico (Fr=0.92).
Per tale valore del coefficiente di Strickler e per una portata pari a 80 m^3/s, l'altezza di moto uniforme è pari a 3.5 m (su modello 0.09 m) mentre l'altezza dello stato critico k è 3.1 m (sul modello 0.08 m).
Tracciando il profilo idrico da valle verso monte, a partire dall'altezza di stato critico nella sezione in cui nella realtà si ha il passaggio da corrente lenta a corrente veloce, si trova che la corrente ha già raggiunto l'altezza di moto uniforme circa 38 m prima della camera di dissipazione, cioè in prossimità della sezione terminale della galleria riprodotta sul modello. Tale altezza dovrebbe essere imposta come condizione di valle per ricostruire il moto della corrente nella galleria.
Essendo però la corrente prossima allo stato critico, come sopra illustrato, imporre come condizione di valle k piuttosto che l'altezza di moto uniforme è abbastanza equivalente alla scala del modello.
Inoltre, a causa della limitata estensione del tratto di galleria riprodotto nel modello, l'altezza idrica lungo tale tratto, non varia significativamente.
Tenendo conto inoltre che, alla scala adottata, il ks del plexiglas sul modello è leggermente inferiore rispetto a quella del calcestruzzo lisciato del prototipo, viene riprodotta, a favore di sicurezza, un'altezza d'acqua leggermente superiore rispetto a quello che si avrebbe con ks= 75 $m^{1/3}$ s^{-1}, che compensa il fatto di avere

adottato come condizione di valle un'altezza idrica leggermente più bassa rispetto a quella corretta.

Sul modello, per la portata di 80 m^3/s, si osserva infatti un'altezza d'acqua pari a 0.09 m nella sezione posta circa a metà del tratto modellato, riproducendo così un tirante idrico sul prototipo (0.09mx38.7=3.5 m) uguale a quello atteso.

Se fosse stato realizzato invece un tratto di galleria più lungo sarebbe stato più difficile riprodurre le condizioni a valle della camera di dissipazione e sarebbe risultato necessario variare la pendenza della galleria per compensare le maggiori perdite di carico per il maggiore attrito del plexiglas.

Nel caso in esame, senza imporre altezze d'acqua come vincoli di valle e senza modificare la pendenza della galleria, si riescono ad ottenere condizioni idrauliche verosimili, all'imbocco della galleria per tutte le portata testate, riuscendo a riprodurre così in modo adeguato il fenomeno dissipativo nella camera di sbocco.

4.3.4. Strumenti di misura

4.3.4.1 Posizionamento degli strumenti di misura

Nel modello sono stati installati diversi strumenti di misura come indicato nella planimetria allegata; trattasi di n. 18 aste graduate e 1 misuratore di portata .

Nella tabella al par. 4.3.4.2 sono sintetizzate le caratteristiche di tali strumenti quali, l'ubicazione, il campo di misura, la precisione e l'affidabilità della lettura.

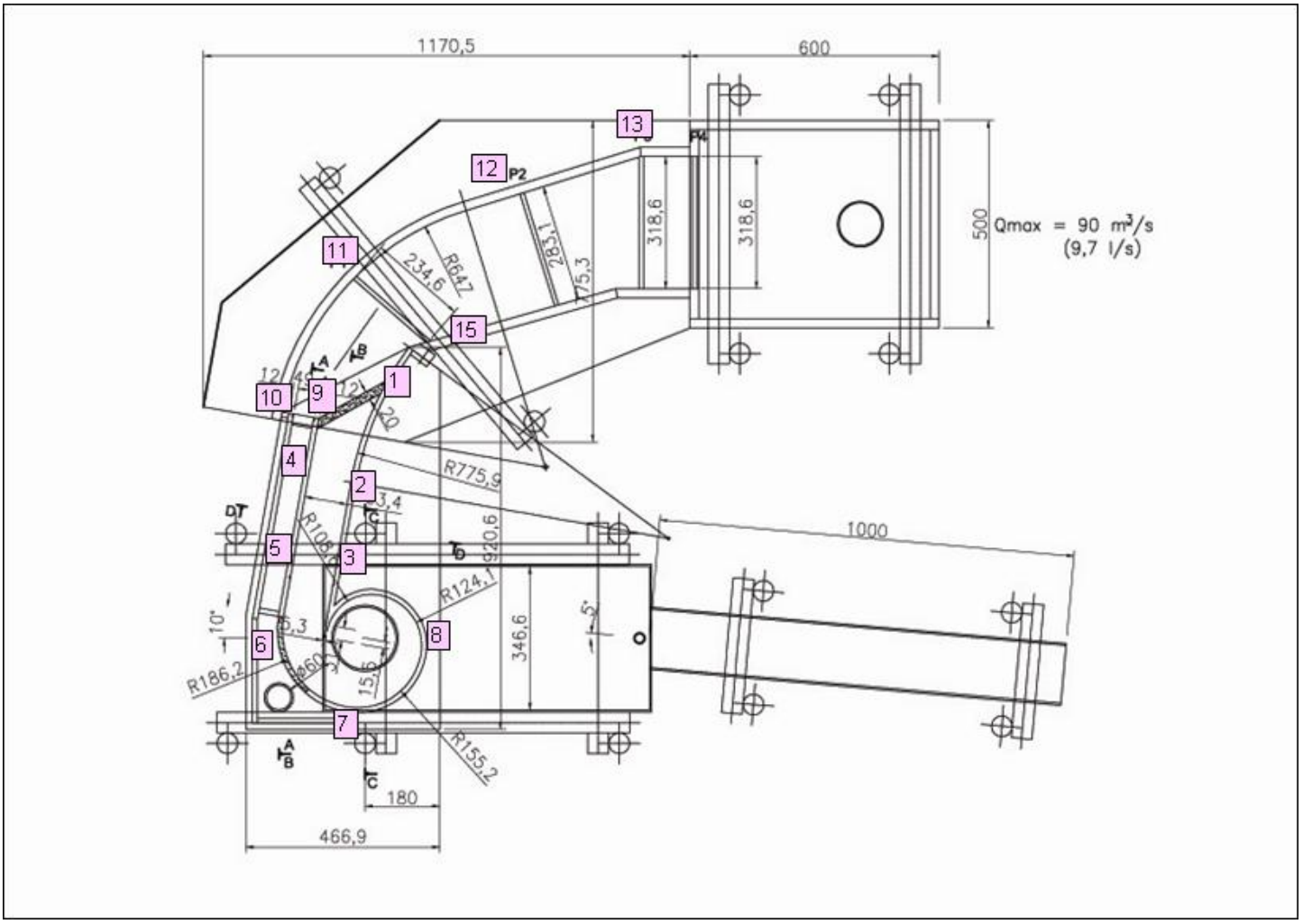


Fig. 4.9: Localizzazione strumenti di misura

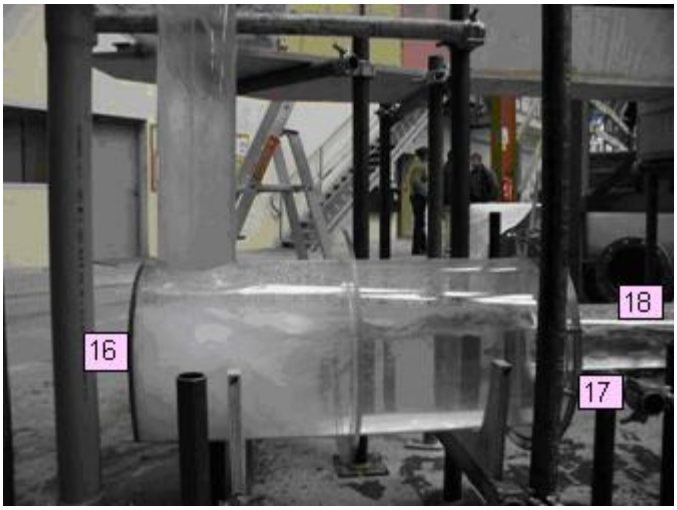


Fig. 4.10: Localizzazione strumenti di misura

4.3.4.2 Caratteristiche degli strumenti di misura

		TIPO DI STRUMENTO	CAMPO DI MISURA	PRECISIONE	AFFIDABILITà DELLA MISURA	LOCALIZZAZIONE			TIPO DI STRUMENTO	CAMPO DI MISURA	PRECISIONE	AFFIDABILITà DELLA MISURA	LOCALIZZAZIONE	
						destra/centro/sinistra	Progressiva X su prototipo						destra/centro/sinistra	Progressiva X su prototipo
			[mm]				[m]			[mm]				[m]
CANALE A MONTE	**Misuratore 13**	asta graduata	0-175	0.5mm	buona	destra	-36.17	**Misuratore 15**	asta graduata	0-175	0.5mm	buona	sinistra	-12.17
	Misuratore 12	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	-26.3	**Misuratore 1**	asta graduata	0-175	0.5mm	buona	sinistra	-4.06
	Misuratore 11	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	-11.8							
	Misuratore 10	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	0							
	Misuratore 9	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	centro	0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	**Misuratore 4**	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	0	**Misuratore 2**	asta graduata	0-175	0.5mm	buona	sinistra	5.80
	Misuratore 5	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	5.8	**Misuratore 3**	asta graduata	0-175	0.5mm	buona	sinistra	14.70
	Misuratore 6	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	14.7							
	Misuratore 7	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	23.99							
	Misuratore 8	asta graduata	0-175	0.5 mm	buona	destra	35.21							
CAMERA DISSIPAZIONE	**Misuratore 16**	asta graduata	0-345	0.5 mm	buona	centro								
	Misuratore 17	asta graduata	0-345	0.5 mm	buona	centro								
GALLERIA	**Misuratore 18**	asta graduata	0-345	0.5 mm	buona	centro								
PORTATA	**Misuratore monte**	misuratore portata		0.1l/s		monte								
	Misuratore valle	cronometro+ secchio 10l		5%		valle								
	Misuratore derivata	Non misurata				valle								

4.3.5. Configurazione di base

È stata condotta una serie di prove in moto permanente a fondo fisso.

Occorre osservare che nel primo set di prove l'alveo di monte è stato costruito con una livelletta di fondo senza alcun salto, cioè difforme dai disegni di progetto della fase 1.

4.3.5.1 Prova n. 1: Portata di monte pari a 5 m^3/s

La prova è stata volta alla verifica del valore di portata di inizio sfioro, definita nella fase di dimensionamento dell'opera pari a 5 m^3/s.

Con la soglia avente la geometria di progetto, la portata inizia a sfiorare nel canale di imbocco al vortice per un valore inferiore rispetto a quanto atteso, ovvero per una portata pari a 2.1 m^3/s.

4.3.5.2 Prova n. 2: Portata di monte pari a quella di progetto (90 m^3/s)

La prova è stata condotta al fine di verificare la corretta partizione della portata in corrispondenza di un evento duecentennale.

Dai risultati delle simulazioni condotte è emerso che il manufatto di presa funziona in modo corretto nel caso in cui in alveo transiti la portata di progetto (90 m^3/s). In questo caso, infatti, la portata di 10 m^3/s continua a transitare nell'alveo a valle dell'opera di presa, mentre i restanti 80 m^3/s sono avviati alla galleria attraverso il pozzo a vortice.

La posizione del risalto idraulico che si instaura a monte del manufatto di derivazione, è risultato spostato di circa 60 m più a monte rispetto alla posizione prevista nella fase 1 di progetto. Il tirante idrico subito a monte della soglia è risultato pari a quello calcolato in progetto (55.00 m s.l.m.).

Nel canale di imbocco al vortice si è osservato un profilo idraulico molto prossimo a quello previsto in progetto ed un corretto funzionamento del pozzo.

Nella camera di fondo è stata misurata un'altezza d'acqua pari a circa 10 m; il fenomeno dissipativo risulta adeguato.

Si è osservato invece un'ondulazione del pelo libero nei primi metri della galleria di collegamento fino a raggiungere un tirante idrico massimo pari a 4.15 m (grado di riempimento h/D pari a 0.83). La galleria non funziona mai in pressione e dopo pochi metri, in ogni caso, il profilo idrico si posiziona sostanzialmente parallelo al fondo della galleria; il tirante misurato è pari a quello previsto in progetto (3.5 m, h/D=0.72).

4.3.6. Variante n. 1

Al fine di riprodurre in modo più preciso le condizioni del moto nel tratto a monte dell'opera di presa, essendo la corrente in arrivo supercritica, il modello è stato e-

steso verso monte per uno sviluppo di circa 40 m (1 m sul modello fisico) ed è stato introdotto il salto di fondo, di altezza pari a 1 m, posto circa 55 m a monte della soglia e della luce di derivazione. L'assetto dell'alveo di monte ha osservato così l'omogeneità coi disegni di progetto di fase 1 della presente progettazione definitiva.

Inoltre, al fine di ricostruire il comportamento della corrente all'imbocco della galleria di collegamento alla galleria principale che nel primo tratto risulta a debole pendenza, tutte le prove sono state effettuate controllando che l'altezza idrica che si instaura nel tratto di galleria riprodotto fosse quella ottenuta tracciando da valle il profilo della corrette mediante l'integrazione alle differenze finite dell'equazione del moto; ciò a partire dall'altezza critica che si instaura in corrispondenza del passaggio da alveo a debole a forte pendenza (par. 4.3.3.).
Tale condizione è risultata sempre verificata per tutte le portata testate.

4.3.6.1 Prova n. 3: Portata di monte pari fino a 5 m^3/s

La prova è stata volta alla verifica del valore di portata di inizio sfioro.
Con la nuova geometria del canale di monte e la soglia avente la geometria di progetto, la portata inizia a sfiorare nel canale di imbocco al vortice per un valore superiore alla prova 1 ma leggermente inferiore rispetto a quanto atteso, ovvero per una portata pari a 3,35 m^3/s.
Tale comportamento del manufatto è ritenuto comunque accettabile in quanto la definizione di Q_i era stata dettata dalla necessità di ridurre il più possibile l'utilizzo della galleria, l'accesso nella galleria scolmatrice del materiale solido trasportato dalla corrente per portate ordinarie, e dal bisogno di garantire un deflusso minimo all'interno del corso d'acqua a valle della derivazione. Entrambe queste esigenze risultano soddisfatte anche per una portata di inizio sfioro superiore a 3 m^3/s.

4.3.6.2 Prova n. 4: Portata di monte pari a quella di progetto (90 m^3/s)

Con le modifiche apportate al modello, il risalto ora si posiziona circa 30 m più a monte di quello calcolato. Il livello idrico che si instaura a monte dell'opera di partizione si alza di circa 15 cm rispetto alla configurazione base ovvero rispetto ai calcoli analitici condotti nella fase 1 di dimensionamento delle opere, mantenendo comunque un franco idraulico di 1 m rispetto il punto più basso della copertura del Fereggiano in quel tratto (trave ribassata a quota 56.18 m s.l.m.).

La nuova posizione del risalto può essere considerata accettabile; in merito alle differenze riscontrate rispetto ai calcoli analitici di fase 1 si osserva che questi ultimi non hanno potuto tenere in considerazione l'influenza combinata del graduale e leggero restringimento della sezione dell'alveo e soprattutto dell'effetto della curvatura planimetrica dello stesso.
Inoltre è da sottolineare che, a causa della difficoltà di riprodurre le corrette condizioni di ingresso al modello, è stato osservato che la variazione di pochi mm dell'altezza della corrente veloce di monte sul modello, mantenendo comunque fissata la profondità della corrente lenta a valle, può far variare anche in modo significativo la posizione del risalto idraulico.
La partizione della portata e il funzionamento del pozzo risultano corretti.
Nella camera di fondo è stata misurata un'altezza d'acqua massima pari a 9.7 m; il fenomeno dissipativo risulta adeguato.
Si osserva ancora un moto ondoso nei primi metri della galleria di collegamento; dopo pochi metri, in ogni caso, il profilo idrico si posiziona parallelo al fondo della galleria; il tirante misurato è pari a quello previsto in progetto (3.50 m).

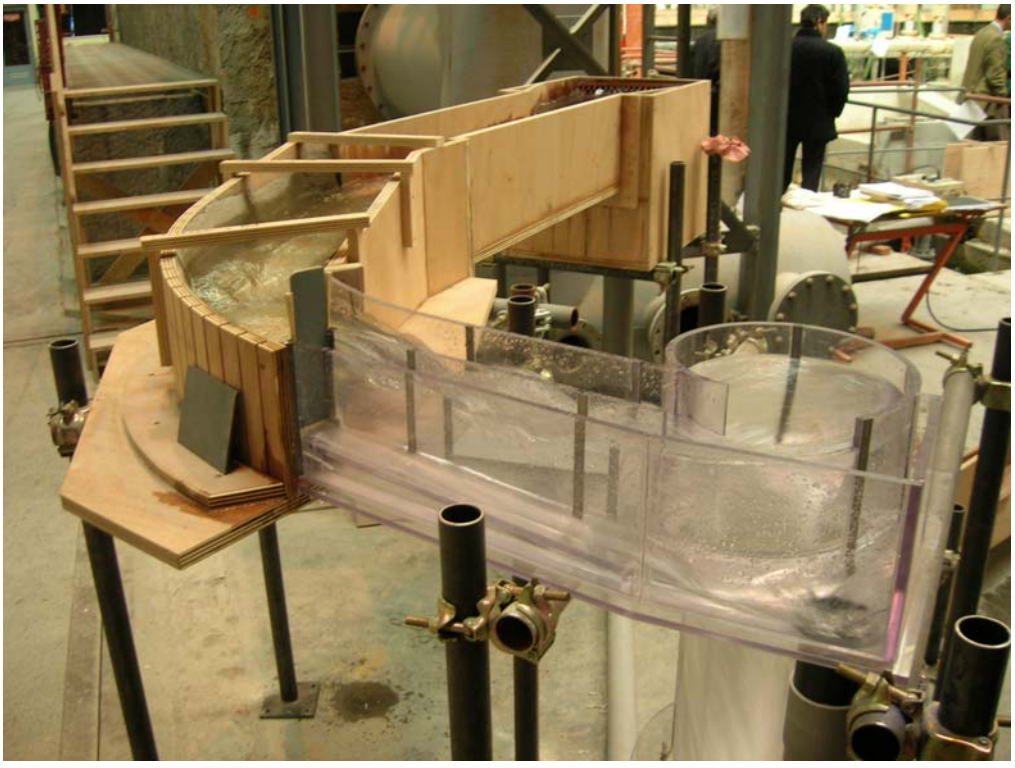


Fig. 4.11: Profilo della corrente nel manufatto di presa per Q = 90 mc/s

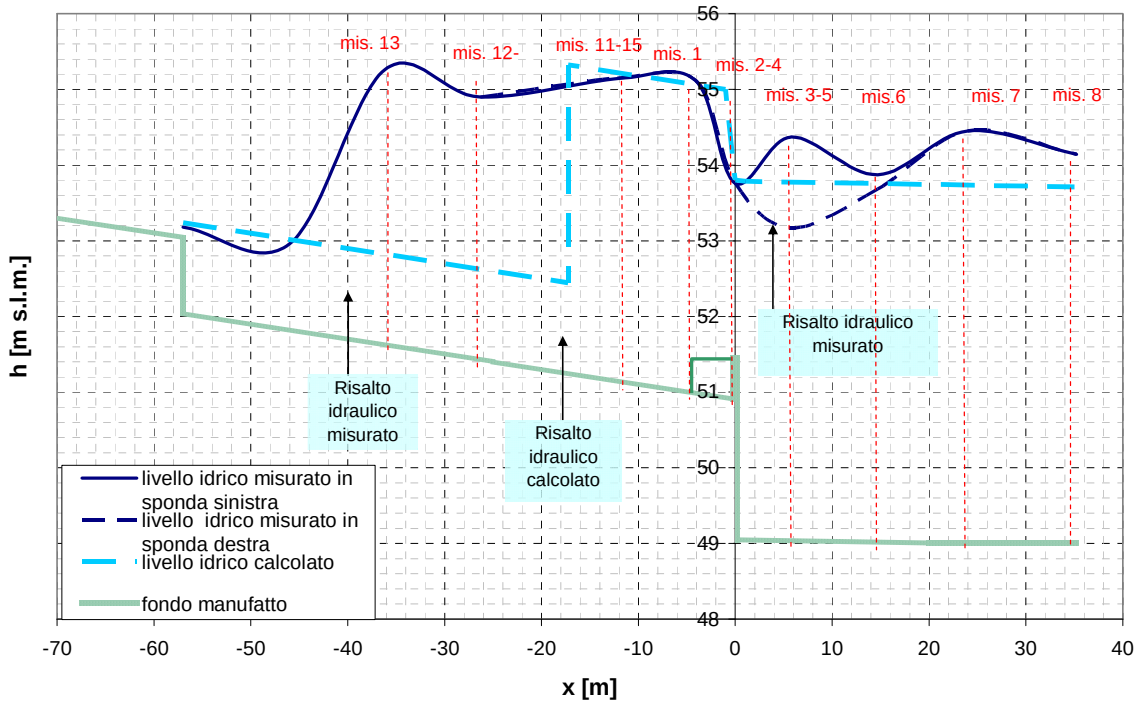


Fig. 4.12: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 90 mc/s

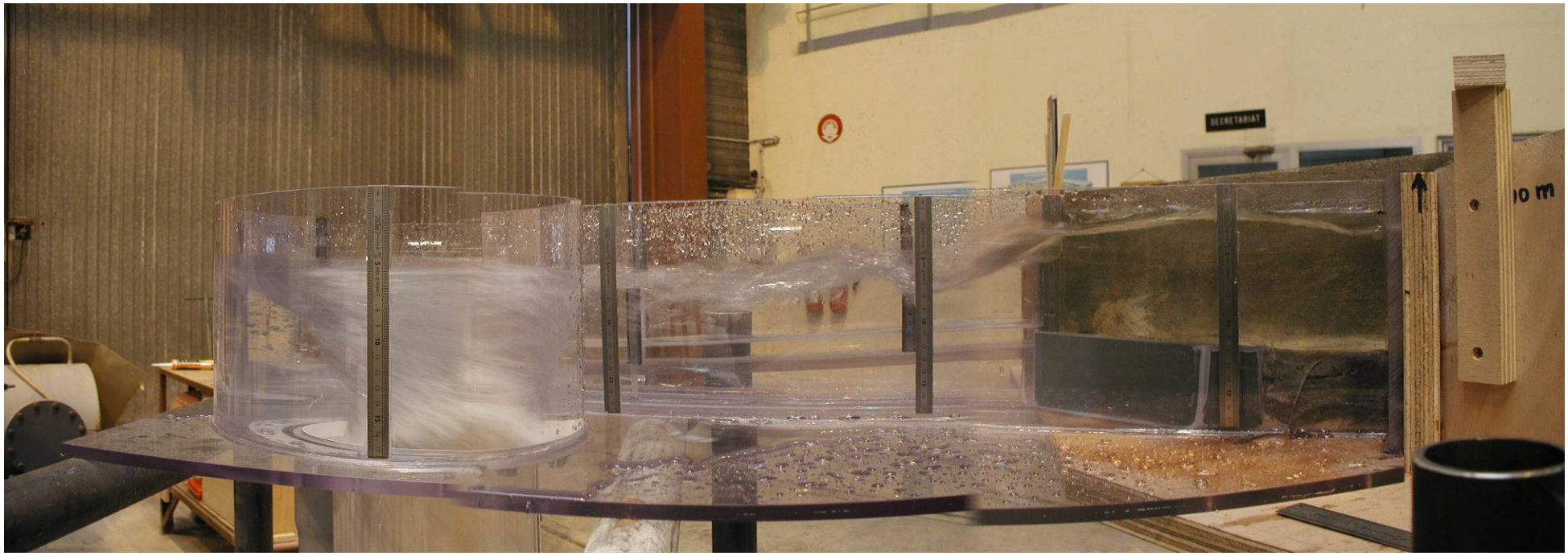


Fig. 4.13: Profilo della corrente nel canale di imbocco al vortice per Q = 90 mc/s

Tab. 4.2: Livelli misurati sul modello per Q=90 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo		Porta Q su mo-dello	Porta Q su proto-tipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					55.26	-36.17	Misuratore 15					55.15	-12.17
	Misuratore 12					54.9	-26.3	Misuratore 1					55.11	-4.06
	Misuratore 11					55.15	-11.8							
	Misuratore 10					51.74	0							
	Misuratore 9					51.55	0							
CANALE DI IM-BOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					53.76	0	Misuratore 2					53.17	5.80
	Misuratore 5					54.37	5.8	Misuratore 3					53.68	14.70
	Misuratore 6					53.87	14.7							
	Misuratore 7					54.45	23.99							
	Misuratore 8					54.14	35.21							
CAMERA DIS-SIPAZIONE	Misuratore 16			24	9.3									
	Misuratore 17			25	9.7									
GALLERIA	Misuratore 18			9	3.5									
PORTATA	Misuratore monte	9.7	90											
	Misuratore valle	1.2	11											
	Misuratore derivata	8.5	79											

4.3.6.3 Prove n. 5-6-7-8: Portata di monte inferiore a quella di progetto (50, 40, 30, 10 mc/s)

Sono quindi state condotte ulteriori prove volte a verificare il comportamento del manufatto nel caso in cui transitino in alveo portate diverse da quella di progetto.

In particolare è stato simulato il comportamento del manufatto per le portate analizzate nella prima fase della progettazione (50, 40, 30, 10 m^3/s).

Il comportamento idraulico del manufatto non risulta significativamente difforme da quanto ottenuto in fase di dimensionamento dell'opera.

Il profilo idrico è risultato conforme a quello calcolato mediante l'integrazione con il metodo alle differenze finite dell'equazione che regola il moto permanente, sebbene il pelo libero della corrente risenta dell'effetto della curva planimetrica che l'opera è costretta a disegnare a causa della difficoltà di ubicazione della stessa nel contesto urbano. Anche la partizione della portata ipotizzata è stata confermata.

Di seguito si riportano i risultati dei tests condotti in forma grafica e tabellare.

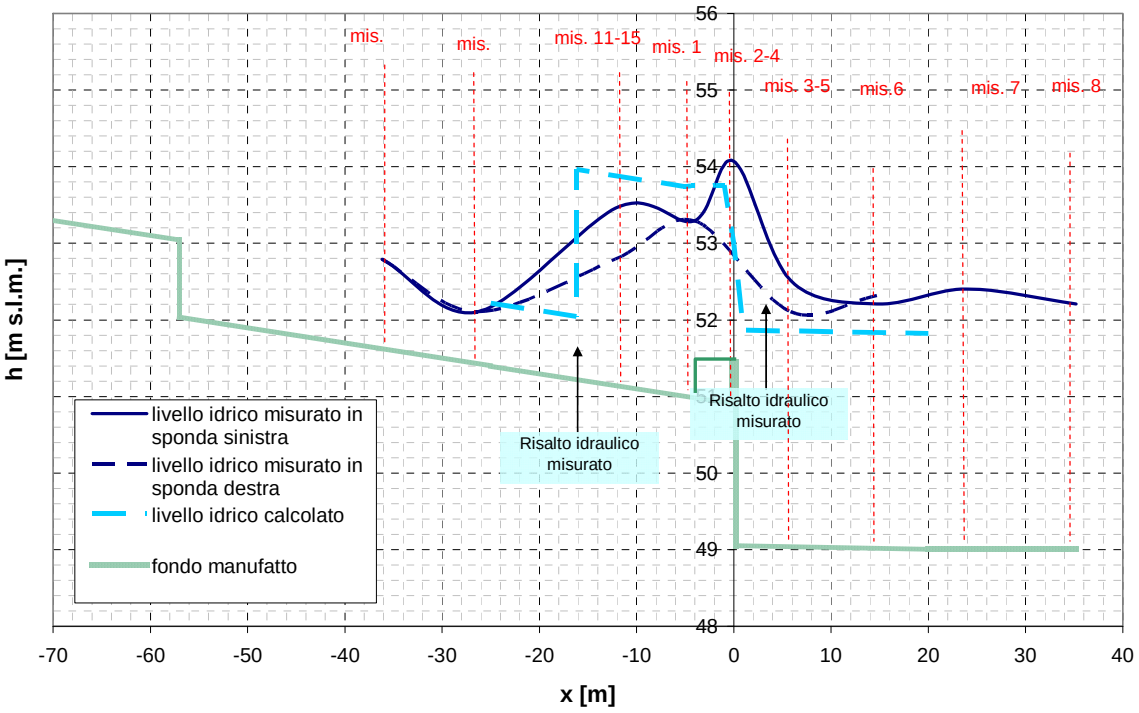


Fig. 4.14: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 50 mc/s

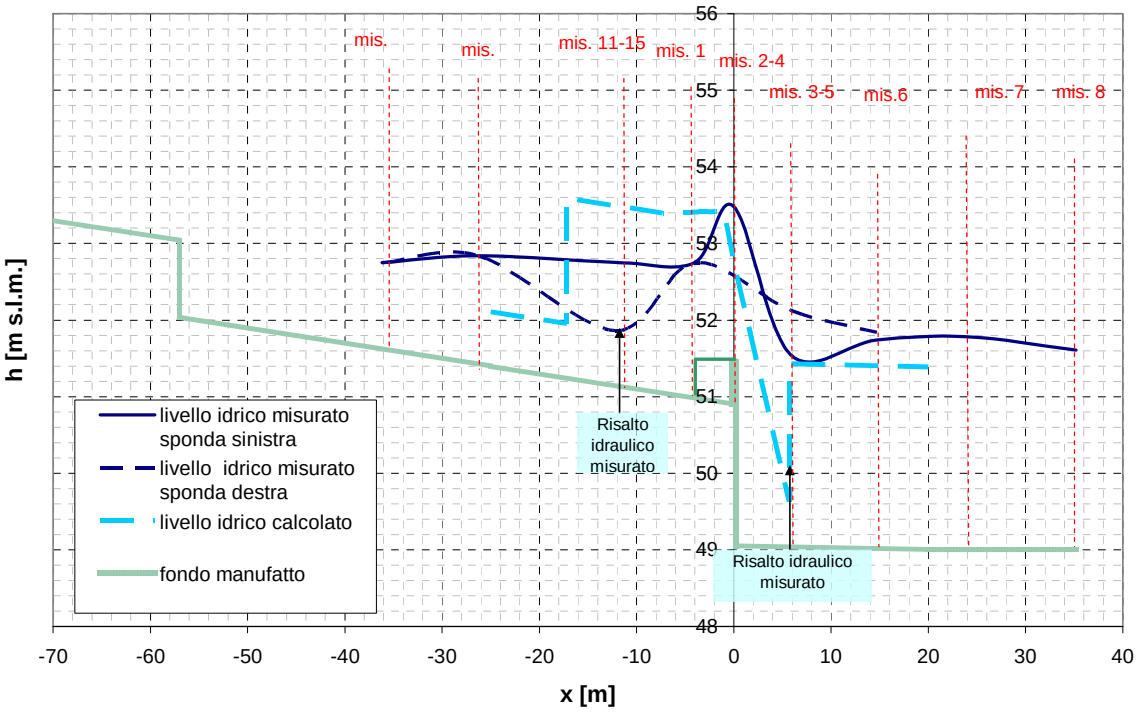


Fig. 4.15: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 40 mc/s

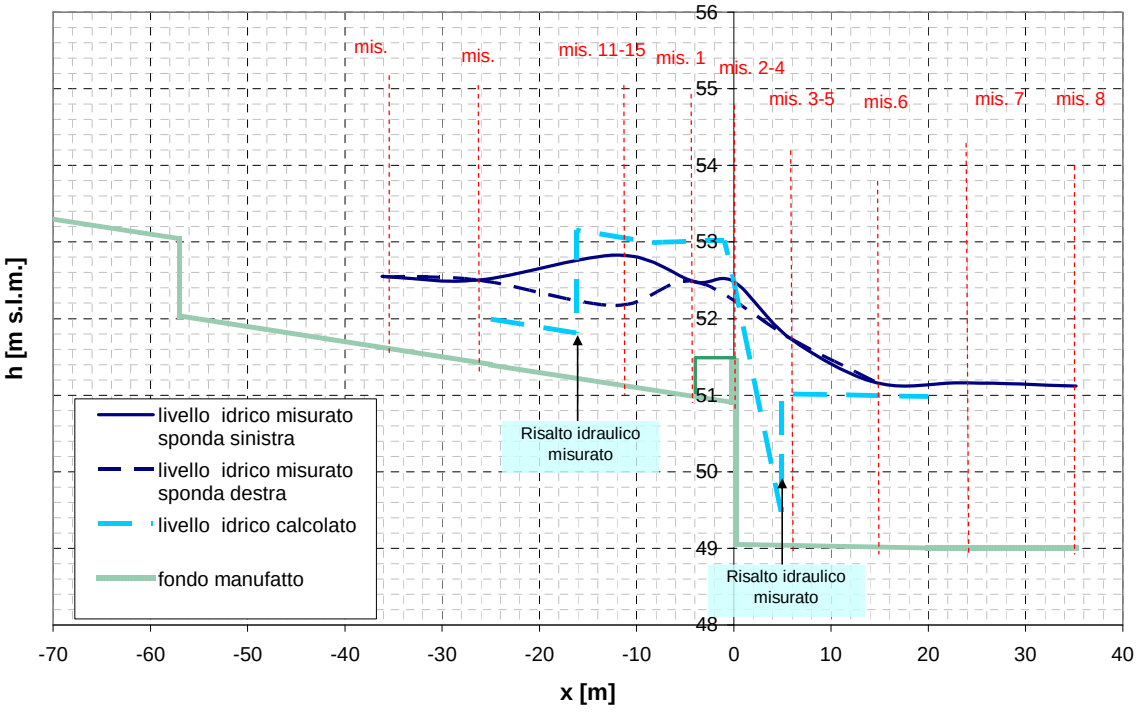


Fig. 4.16: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 30 mc/s

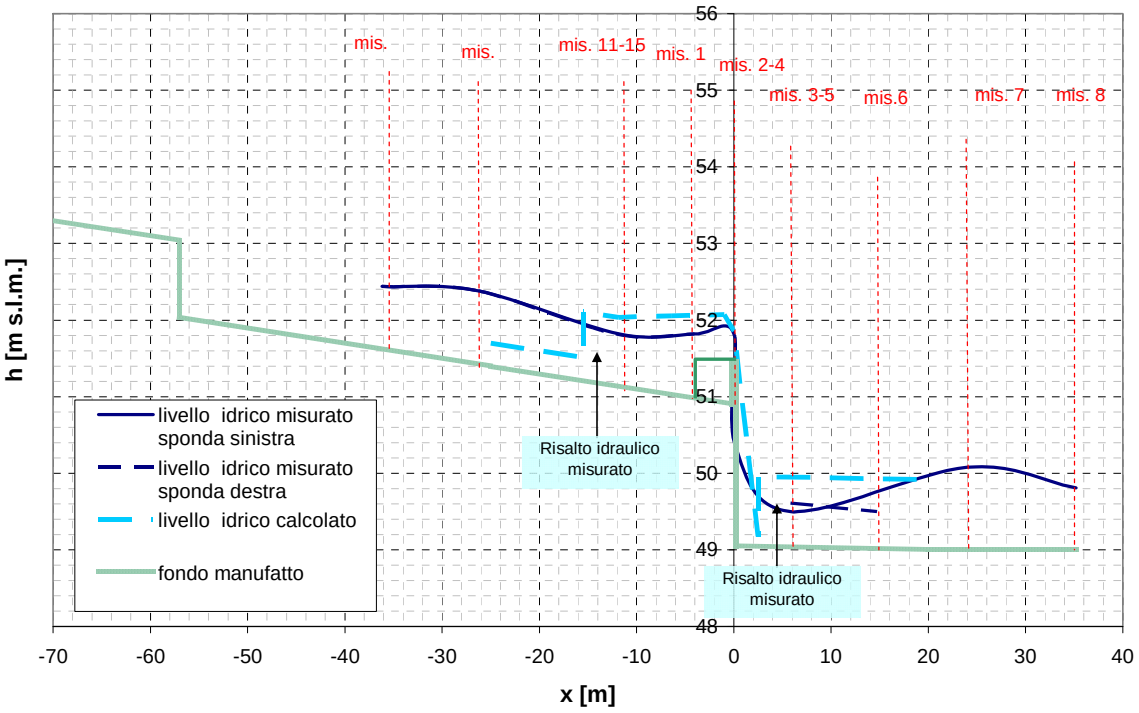


Fig. 4.17: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 10 mc/s

Tab. 4.3: Livelli misurati sul modello per Q=50 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo		Porta Q su mo-dello	Porta Q su pro-totipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					52.79	-36.17	Misuratore 15					52.79	-12.17
	Misuratore 12					52.11	-26.3	Misuratore 1					53.29	-4.06
	Misuratore 11					53.48	-11.8							
	Misuratore 10					51.74	0							
	Misuratore 9					51.67	0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					54.07	0	Misuratore 2					52.11	5.80
	Misuratore 5					52.52	5.8	Misuratore 3					52.32	14.70
	Misuratore 6					52.21	14.7							
	Misuratore 7					52.4	23.99							
	Misuratore 8					52.21	35.21							
CAMERA DIS-SIPAZIONE	Misuratore 16			17.5-19.5	6.8 -7.5									
	Misuratore 17			20.2-20.5	7.8 - 7.9									
GALLERIA	Misuratore 18			6.2	2.4									
PORTATA	Misuratore monte	5.4	50											
	Misuratore valle	0.9	8.1											
	Misuratore derivata	4.5	41.9											

Tab. 4.4: Livelli misurati sul modello per Q = 40 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo		Porta Q su mo-dello	Porta Q su pro-totipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					52.75	-36.17	Misuratore 15					51.86	-12.17
	Misuratore 12					52.84	-26.3	Misuratore 1					52.75	-4.06
	Misuratore 11					52.75	-11.8							
	Misuratore 10					51.74	0							
	Misuratore 9					51.47	0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					53.48	0	Misuratore 2					52.13	5.80
	Misuratore 5					51.55	5.8	Misuratore 3					51.84	14.70
	Misuratore 6					51.74	14.7							
	Misuratore 7					51.78	23.99							
	Misuratore 8					51.61	35.21							
CAMERA DIS-SIPAZIONE	Misuratore 16			16- 17.5	6.2 - 6.8									
	Misuratore 17			18.2- 19.4	7 - 7.5									
GALLERIA	Misuratore 18			5.4	2.1									
PORTATA	Misuratore monte	4.3	40											
	Misuratore valle	0.8	7.1											
	Misuratore derivata	3.5	32.9											

Tab. 4.5: Livelli misurati sul modello per Q = 30 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					52.55	-36.17	Misuratore 15					52.17	-12.17
	Misuratore 12					52.5	-26.3	Misuratore 1					52.48	-4.06
	Misuratore 11					52.83	-11.8							
	Misuratore 10					51.74								
	Misuratore 9					51.47								
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					52.48		Misuratore 2					51.74	5.80
	Misuratore 5					51.74	5.8	Misuratore 3					51.16	14.70
	Misuratore 6					51.16	14.7							
	Misuratore 7					51.16	23.99							
	Misuratore 8					51.12	35.21							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			16- 16.8	6.2 - 6.5									
	Misuratore 17			17.5 - 17.8	6.8 - 6.9									
GALLERIA	Misuratore 18			4.7	1.8									
PORTATA	Misuratore monte	3.2	30											
	Misuratore valle	0.7	6.5											
	Misuratore derivata	2.5	23.5											

Tab. 4.6: Livelli misurati sul modello per Q = 10 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					52.44	-36.17	Misuratore 15					51.82	-12.17
	Misuratore 12					52.38	-26.3	Misuratore 1					51.82	-4.06
	Misuratore 11					51.82	-11.8							
	Misuratore 10					52.01	0							
	Misuratore 9					51.47	0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					50.39	0	Misuratore 2					49.61	5.80
	Misuratore 5					49.5	5.8	Misuratore 3					49.5	14.70
	Misuratore 6						14.7							
	Misuratore 7					50.08	23.99							
	Misuratore 8					49.81	35.21							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			10.8- 11.5	4.2 - 4.45									
	Misuratore 17			14.3- 14.7	5.5 - 5.7									
GALLERIA	Misuratore 18			2.3	0.9									
PORTATA	Misuratore monte	1.1	10											
	Misuratore valle	0.4	4											
	Misuratore derivata	0.6	6											

4.3.6.4 Prove n. 9: Portata di monte superiore a quella di progetto (100 mc/s)

E' stato verificato il comportamento dell'opera per portate maggiori della portata duecentennale al fine di definire quella massima transitabile attraverso l'opera, ipotizzando anche la chiusura totale della luce di fondo per cause accidentali.

In proposito occorre ricordare, ancora una volta, che già nella fase 1 del progetto definitivo era stata introdotta una soglia di troppo pieno a valle del canale di accesso al vortice in modo tale da restituire in alveo l'eventuale eccesso di portata derivata.

Tale soglia è stata definita altimetricamente nel modello sagomandola secondo il profilo della corrente duecentennale; già nelle prove 2 e 4 si è osservato un andamento del pelo libero che in corrispondenza della soglia non è perfettamente orizzontale. Definita la geometria di tale sfioro sono state effettuate le prove con portate maggiori di quella di progetto. Tale soglia è stata inoltre ulteriormente allungata di circa 2 m verso valle al fine di aumentare la sua capacità di sfioro.

Dal test emerge che per un livello idrico a monte dell'opera di partizione di 56.50 m s.l.m. la portata pari a 100 mc/s, corrispondente ad un tempo di ritorno pari a circa 300 anni, transita senza alcun problema nel manufatto di captazione.

A monte dell'opera di partizione il risalto idraulico si sviluppa subito a valle del salto di fondo, mentre a valle della soglia di derivazione si ha un risalto annegato.

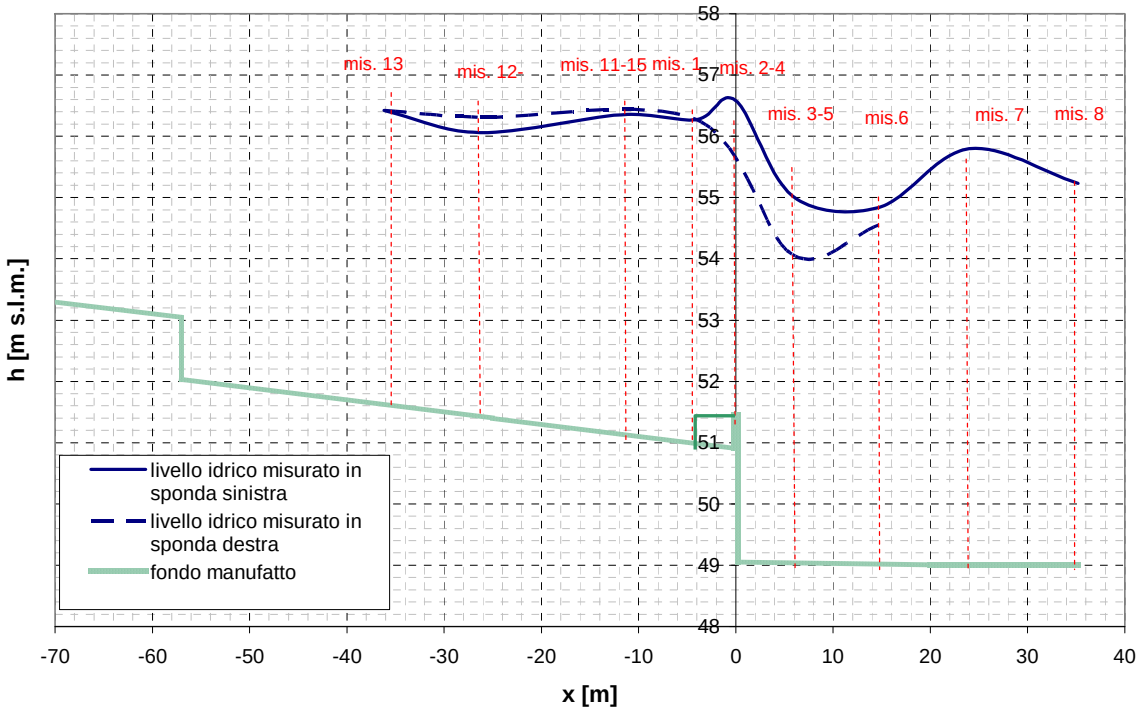


Fig. 4.18: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 100 mc/s



Fig. 4.19: Profilo della corrente a monte dell'opera di partizione (Q = 100 mc/s)



Fig. 4.20: Profilo della corrente nel canale di imbocco al vortice (Q=100 mc/s)

Tab. 4.7: Livelli misurati sul modello per Q =100 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					56.42	-36.17	Misuratore 15					56.31	-12.17
	Misuratore 12					56.06	-26.3	Misuratore 1					56.27	-4.06
	Misuratore 11					56.35	-11.8							
	Misuratore 10					0	0							
	Misuratore 9					0	0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					56.58	0	Misuratore 2					54.07	5.80
	Misuratore 5					55.03	5.8	Misuratore 3					54.55	14.70
	Misuratore 6					54.84	14.7							
	Misuratore 7					55.8	23.99							
	Misuratore 8					55.23	35.21							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			25 - 28	9.7-10.8									
	Misuratore 17			25 - 26.5	9.7-10.25									
GALLERIA	Misuratore 18				3.75									
PORTATA	Misuratore monte	10.7	100											
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata													

4.3.6.5 Prova n. 10: Portata di monte superiore a quella di progetto (110 mc/s)

È stata in seguito alzata la portata in arrivo da monte a 110 mc/s e allungata la soglia emergenza di 10 m verso monte, seguendo il profilo della corrente relativo alla portata duecentennale.

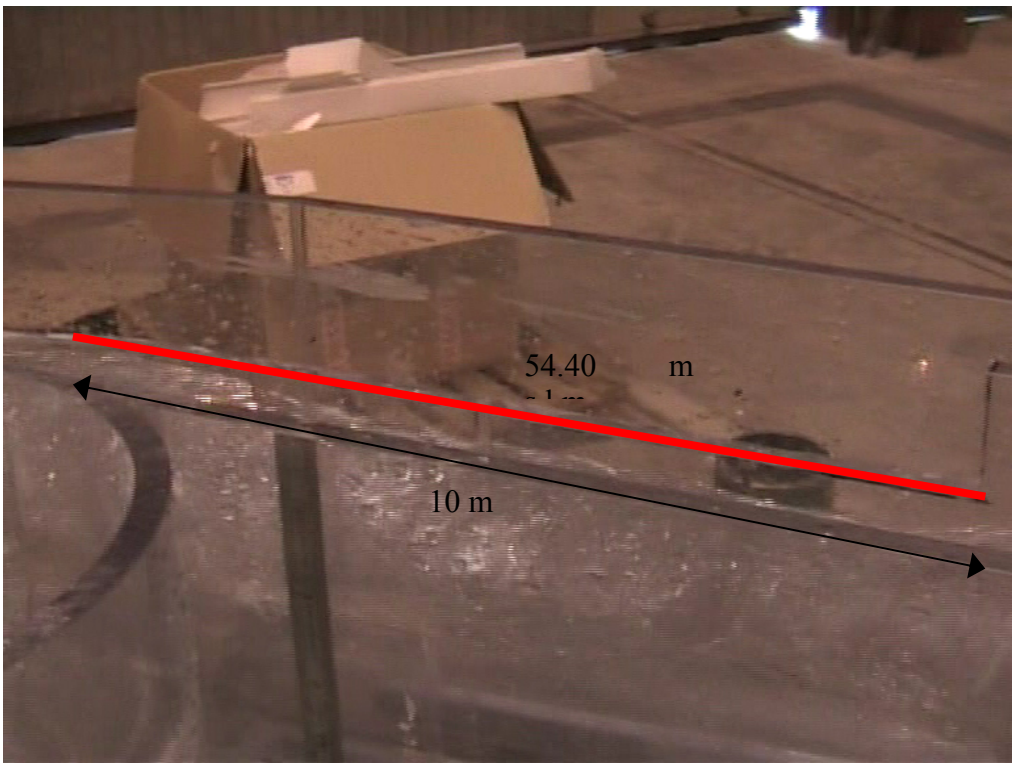


Fig. 4.21: Nuova geometria della soglia di emergenza

Dal test emerge che la portata pari a 110 mc/s, corrispondente ad un tempo di ritorno pari a circa 500 anni, transita nel manufatto di captazione con un livello idrico massimo, pochi metri a monte dell'opera di partizione, di 57.35 m s.l.m.
In questo caso, alzando la parete su cui è impostata la paratoia e il muro in destra idraulica a tale quota, l'opera funziona comunque correttamente; il vortice risulta centrato e la vena d'acqua all'interno del pozzo non si chiude mai.
Tuttavia la corrente a monte del manufatto di partizione raggiunge le ultime travi posizionate sulla copertura del corso d'acqua bagnandole seppur per pochi cm. L'intradosso di tale copertura è posto infatti a quota 57.50 m s.l.m. ma le travi raggiungono quota 57.07 m s.l.m. (e la trave più bassa quota 56.18 m s.l.m.).
Questo funzionamento risulta accettabile se si tiene conto della straordinarietà dell'evento considerato e del fatto che a favore di sicurezza la paratoia che permette il passaggio della corrente nell'alveo è stata chiusa per simulare la completa ostruzione della stessa.

In fase di progettazione è stato previsto comunque di alzare i muri a monte della partizione, in modo tale da garantire la sicurezza idraulica delle abitazioni localizzate in sponda destra, in prossimità dell'opera in progetto.

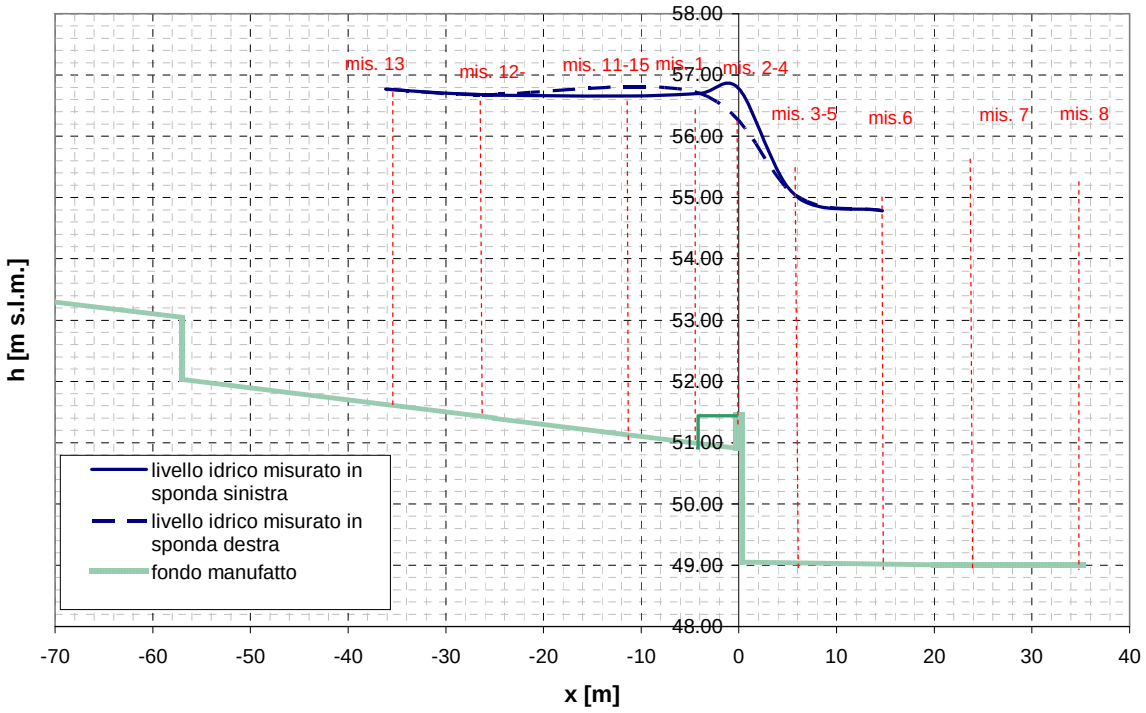


Fig. 4.22: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 110 mc/s



Fig. 4.23: canale di accesso al vortice con soglia di emergenza in funzione per Q = 110 mc/s



Fig. 4.24: Profilo della corrente a monte dell'opera di partizione (Q = 110 mc/s)

Tab. 4.8: Livelli misurati sul modello per Q=110 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo		Porta Q su mo-dello	Porta Q su pro-totipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su proto-tipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 13					56.77	-36.17	Misuratore 15						-12.17
	Misuratore 12					56.68	-26.3	Misuratore 1					56.7	-4.06
	Misuratore 11					56.66	-11.8							
	Misuratore 10						0							
	Misuratore 9						0							
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 4					56.77	0	Misuratore 2					54.07	5.80
	Misuratore 5					55.03	5.8	Misuratore 3					54.45	14.70
	Misuratore 6					54.79	14.7							
	Misuratore 7						23.99							
	Misuratore 8						35.21							
CAMERA DIS-SIPAZIONE	Misuratore 16													
	Misuratore 17													
GALLERIA	Misuratore 18													
PORTATA	Misuratore monte	11.8	110											
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata													

4.3.6.6 Prove con materiale solido in alveo

Dalle considerazioni emerse durante la visita al laboratorio con il Committente e i relativi Consulenti dell'Università di Genova, avvenuta in data 3-4 Aprile 2006, è emersa la necessità di studiare il comportamento dell'opera in presenza di sedimenti e materiale flottanti in alveo.

A tal proposito in occasione dell'incontro con i tecnici della Provincia di Genova presso i laboratori di Sogreah, è stata valutata anche la possibilità di realizzare opere di trattenuta del materiale solido a monte dell'opera di captazione.

Dallo studio sul trasporto solido redatto in fase 1, è emerso che il torrente Fereggiano è in grado di trasportare a valle materiale avente dimensioni massime che possono arrivare a 90 - 100 mm; risulta tuttavia poco probabile che il corso d'acqua possa giungere a saturazione perché le zone di apporto non sembrano ben sviluppate.

Supponendo comunque possibili fenomeni di dissesto locali lungo il corso d'acqua, a monte dell'opera di presa, si sono realizzate prove aggiuntive sul modello fisico, che hanno permesso di indagare il comportamento dell'opera sia in presenza di materiale sciolto che in presenza di materiale di grosse dimensioni (automobile, lavatrice) in alveo.

4.3.6.6.1 Prova n. 11-12: Materiale di grosse dimensioni in alveo (Q=90 mc/s)

Sono quindi state condotte una serie di prove per valutare l'effetto di materiali di grosse dimensioni recapitati accidentalmente in alveo.

In particolare è stato simulato il comportamento della corrente nella quale è stata posizionata un'automobile (in scala 1/53) e una lavatrice (nella scala del modello).



Fig. 4.25: Automobile in scala 1/53



Fig. 4.26: Lavatrice (dimensioni reali 0.5x0.6x0.8m)

In corrispondenza dell'evento duecentennale, l'automobile si ferma nel canale a monte dell'opera di partizione, prima della curva planimetrica che descrive l'alveo.

Con una piccola perturbazione, o una piccola spinta, l'auto cade nel canale di imbocco al vortice, quindi nel pozzo e si arresta sul fondo della camera di dissipazione anche con il manufatto in funzione.

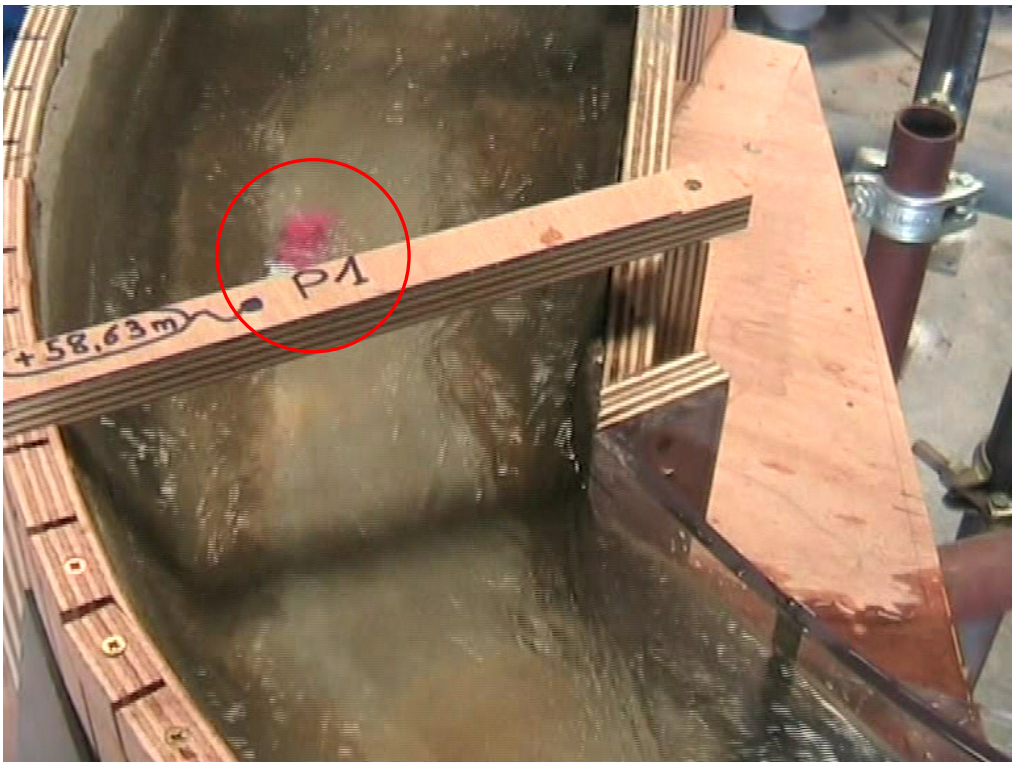


Fig. 4.27: Posizione in cui l'autovettura si ferma in corrispondenza di una Q = 90 mc/s

Eseguita un'ulteriore prova posizionando in alveo la lavatrice, anch'essa viene recapitata nel canale di imbocco al vortice trascinata dalla corrente che sfiora sulla soglia di derivazione, cade nel pozzo e quindi si ferma sul fondo della camera di dissipazione.

In entrambi i casi il vortice rimane centrato rispetto l'asse del pozzo e ben areato.

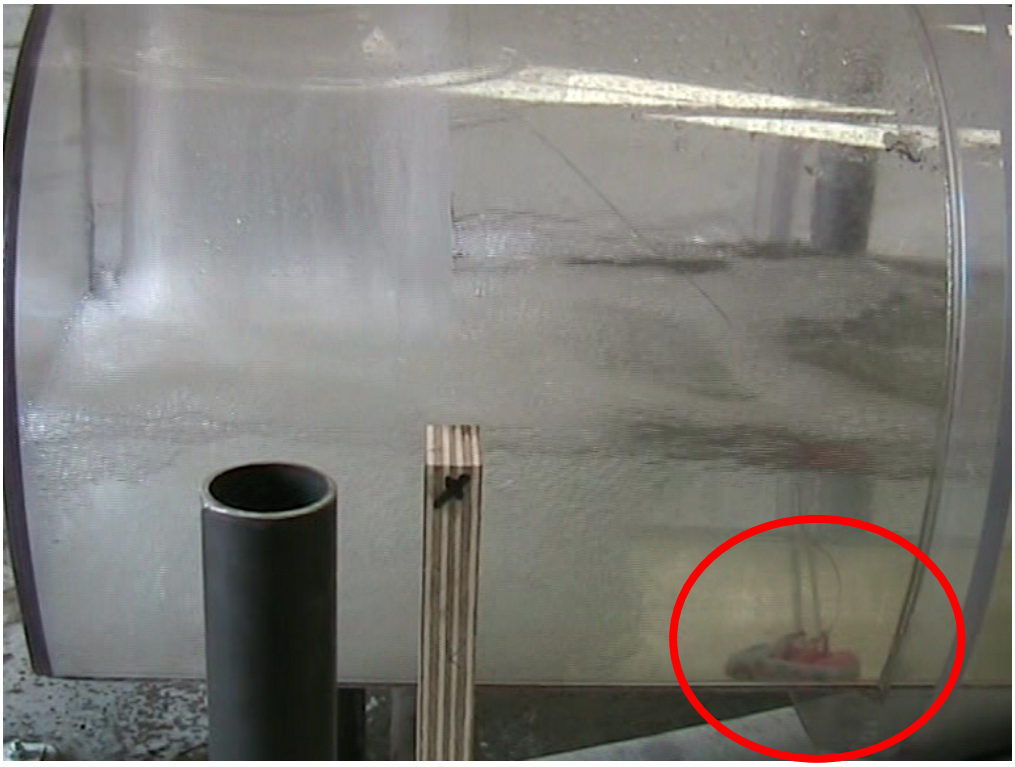


Fig. 4.28: Gli oggetti si fermano a valle del moto vorticoso nella camera di dissipazione

4.3.6.6.2 Prova n. 13-14: Materiale di grosse dimensioni in alveo (Q = 40 mc/s)

Le prove precedenti sono state ripetute in corrispondenza di una portata in arrivo da monte pari a 40 mc/s.

Sia l'automobile che la lavatrice cadono nel canale di imbocco al vortice, nel pozzo e si fermano sul fondo della camera di dissipazione.
In entrambi i casi il moto vorticoso della corrente nella camera del vortice e nel pozzo non subisce variazioni.

4.3.6.6.3 Prova n. 15: Trasporto solido in alveo (Q=90 mc/s)

È stata effettuata una prova con alimentazione di sedimenti per verificare l'impatto di una pur limitata presenza di materiali trasportati dalla corrente sul funzionamento dell'opera di scolmo, sebbene si ritenga che il trasporto solido del Fereggiano non sia determinato dalla capacità di trasporto della corrente, a causa della riduzione degli afflussi dovuta alla intensa edificazione dei versanti adiacenti il corso d'acqua.

La prova è stata alimentata con materiale avente la curva granulometrica di seguito riportata e definita nello studio dedicato, condotto nella prima fase della progettazione definitiva (d_{50}=40mm, d_{85}=90mm).



Fig. 4.29: Materiale solido utilizzato nelle simulazioni

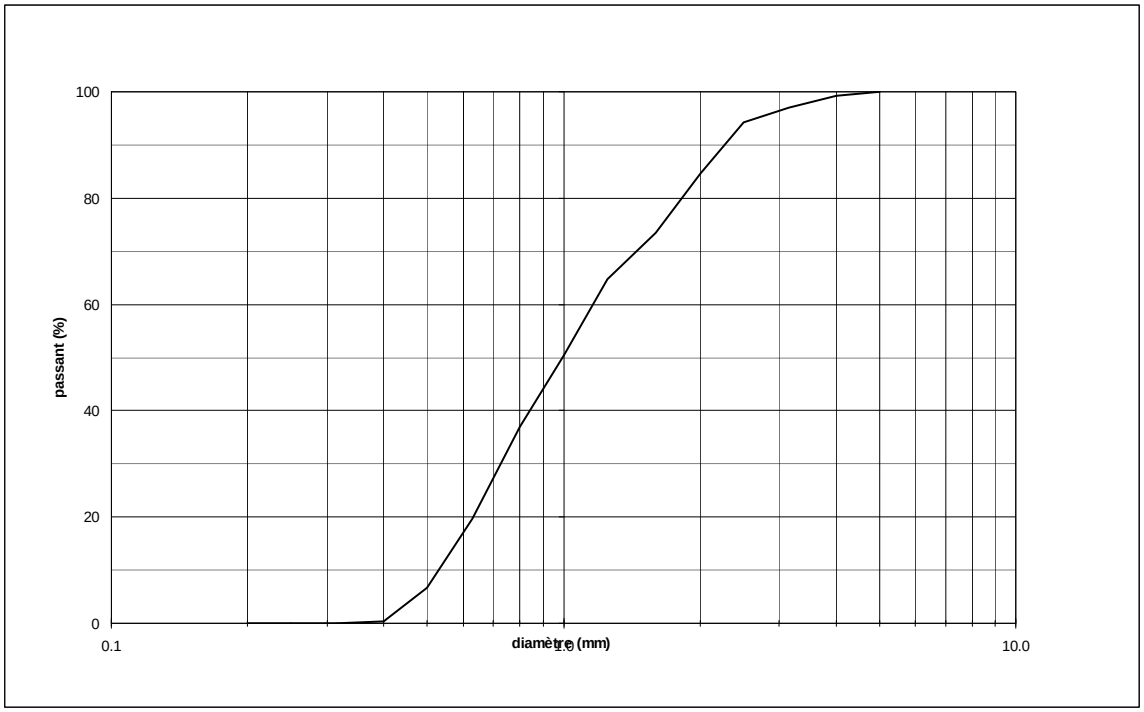


Fig. 4.30: Curva granulometrica utilizzata nelle simulazioni

Dalla prova sul modello fisico è emerso che in corrispondenza della portata duecentennale parte del materiale solido si ferma in sponda sinistra a monte dell'opera di partizione; la maggior parte del materiale arriva in prossimità della soglia, senza però interrarla in modo significativo e successivamente, movimentato dalla corrente, raggiunge il canale di imbocco al vortice e quindi la camera di dissipazione al piede del pozzo.



Fig. 4.31: In corrispondenza di Q=90 mc/s la soglia non è interrata

Nella camera di dissipazione una parte del materiale si ferma sul fondo della camera a valle della zona di turbolenza, mentre la restante parte raggiunge il piano alla quota di imbocco della galleria.

Nell'alveo, a valle dell'opera di presa, non si osserva un significativo apporto di materiale solido.

Il funzionamento del vortice non è influenzato dalla presenza dei sedimenti, così come il funzionamento generale del manufatto non risulta turbato significativamente dal materiale solido.

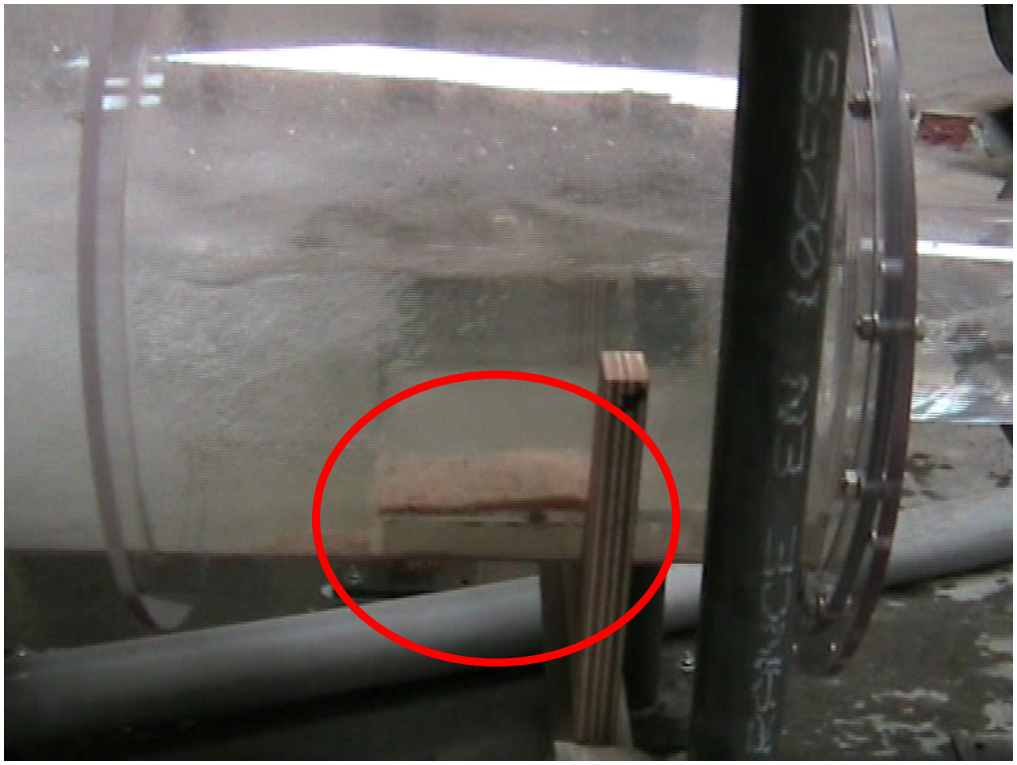


Fig. 4.32: Nella camera di dissipazione una parte del materiale raggiunge il piano alla quota di imbocco della galleria (Q = 90 mc/s).

4.3.6.6.4 Prova n. 16: Trasporto solido in alveo (Q=40 mc/s)

La prova è stata ripetuta in corrispondenza di una portata pari a 40 mc/s.

Si è osservato sul modello fisico che il materiale trasportato si ferma in sinistra idraulica, immediatamente a monte delle soglia di sfioro.

Interrata la soglia per uno sviluppo trasversale di 1 m circa alla scala di prototipo, il materiale raggiunge il canale di imbocco al vortice del canale.

La maggior in parte dei sedimenti, in sospensione, raggiunge il vortice e cade nel pozzo.

Nella camera di dissipazione il materiale si localizza sul fondo, in prossimità della metà della camera, dove si esaurisce la turbolenza della corrente.

Il funzionamento del vortice non è influenzato dalla presenza dei sedimenti.

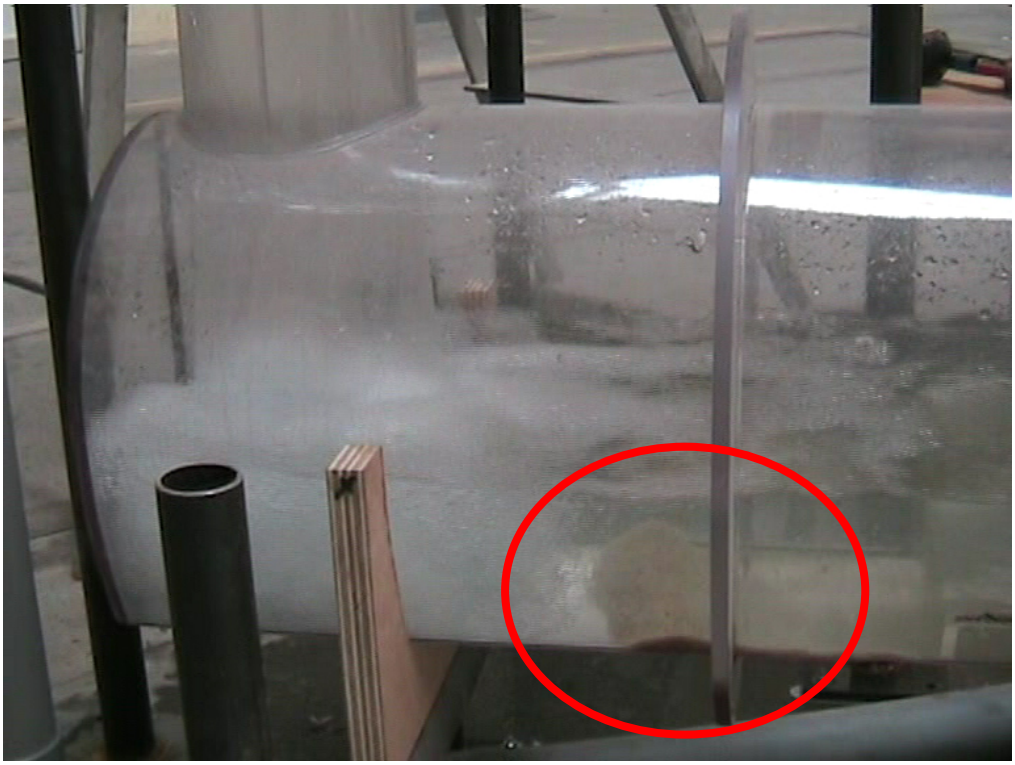


Fig. 4.33 Nella camera di dissipazione il materiale si ferma a valle del moto vorticoso (Q = 40 mc/s)

4.3.6.6.5 Prova n. 17-18: Trasporto solido in alveo (Q=5-10 mc/s)

La prova con alimentazione di sedimenti è stata ripetuta infine con portate più frequenti (5-10 mc/s).

Si è osservato sul modello fisico che il materiale trasportato in corrispondenza di una portata pari a 5 mc/s, si ferma sul fondo dell'alveo a monte dell'opera di presa.

Dopo circa 10 minuti, il materiale inizia a passare attraverso la luce di derivazione e viene recapitato completamente in alveo a valle dell'opera di presa.

Se si alza la portata ad un valore pari a 10 mc/s, corrispondente ad un tempo di ritorno di 2 anni, la soglia di derivazione si interrisce lungo tutta lo sviluppo dello sfioro; parte della portata viene recapitata in alveo, ma la maggior parte dei sedimenti raggiunge il canale di imbocco al vortice, dove si ferma prima di raggiungere il vortice.

È ovvio che al passaggio di un evento di piena con portata maggiore, il materiale trasportato dalla corrente verrà tracimato nel canale di imbocco al vortice e quindi nel pozzo, sino a raggiungere condizioni simili a quelle ottenute nelle prove n. 15 e 16



Fig. 4.34: Il materiale solido si ferma temporaneamente a monte della soglia prima di passare attraverso la luce di derivazione (Q=5 mc/s)



Fig. 4.35 I sedimenti si fermano nel canale prima di raggiungere il vortice (Q=10 mc/s)

4.4. Conclusioni

A seguito delle risultanze delle prove è emerso una sostanziale rispondenza tra quanto ipotizzato in fase di dimensionamento preliminare e il comportamento idraulico del manufatto osservato sul modello fisico.

In particolare è stata verificata la corretta partizione tra le portate da derivare in galleria e quella da far proseguire in alveo in corrispondenza dell'evento di progetto.

Per portate ordinarie, inferiori alla portata di inizio sfioro, in cui tutta la portata è recapitata in alveo, a valle dell'opera di presa, così come il materiale solido che raggiunge l'opera di partizione della portata transita verso valle.

Al crescere della portata inizia lo sfioro delle acque in galleria, il profilo della corrente che si instaura nel canale di imbocco al vortice non è significativamente diverso da quello calcolato, ed il vortice che si crea nella camera del vortice è sempre ben centrato ed areato, anche in presenza di materiale solido e flottante.
Per tali portate, il materiale solido che, per portate ordinarie si ferma a monte dell'opera di presa, viene movimentato dalla corrente e recapitato nel pozzo a vortice.

Dalle risultanze delle prove condotte si osserva quindi che l'eventuale presenza di materiale solido in alveo, anche nel caso in cui raggiunga il pozzo, non compromette il funzionamento dell'opera in progetto. Pare pertanto di ritenere non indispensabile realizzare immediatamente opere di trattenuta del materiale a monte dell'opera di captazione.
Viceversa il controllo dell'erosione del bacino e gli interventi di stabilizzazione di quelle aree ritenute potenzialmente a rischio appare comunque un'attività consigliabile.
In corrispondenza della portata di progetto il risalto idraulico a monte dell'opera di presa è risultato arretrato rispetto la posizione calcolata.

Dai test condotti sul modello fisico è emerso inoltre come per la portata di progetto la camera di dissipazione ai piedi del pozzo dissipa in modo soddisfacente ed è piena al 70%.

Dal punto di vista progettuale, come già anticipato nella fase 1 di progettazione, al fine di permettere l'accesso alla camera da parte degli addetti alla manutenzione si è deciso di ricavare sul cielo della camera un camminamento; per tale ragione il diametro della camera è divenuto 15.80 m.
Per ragioni analoghe, la galleria di collegamento ha assunto una sezione policentrica di diametro 3.2 m; sebbene dai tests effettuati la galleria risultasse infatti idraulicamente sufficiente, il suo diametro è stato aumentato al fine di permettere una carrabilità migliore della stessa da parte dei mezzi che effettueranno la manutenzione delle opere in progetto.

Dalle prove eseguite è emerso inoltre che per portate superiori alla portata duecentennale, fino a 110 mc/s, affinando la geometria della soglia di emergenza già prevista nella fase 1 ed allungandola, l'opera funziona in maniera soddisfacente; il manufatto funziona a pelo libero e il pozzo continua da essere areato e ben centrato.
In tale condizione di funzionamento non è tuttavia possibile al momento valutare quale sia il reale funzionamento del pozzo e soprattutto la portata rilasciata a valle del manufatto allorquando la portata in aumento arriva fino a 138 mc/s; a tal fine sarà di prossima realizzazione un nuovo modello fisico volto proprio ad affinare tali valutazioni.

5. OPERA DI PRESA SUL RIO ROVARE

5.1. Descrizione dell'opera

In accordo con quanto previsto nel progetto preliminare l'opera di presa è stata posizionata a monte di Via Donghi, in corrispondenza della curva e del piazzale ove inizia Via Berghini. L'area attualmente destinata in parte a parcheggio ed in parte utilizzata per capolinea di autobus ha infatti una estensione tale da consentire la realizzazione del pozzo di presa permettendo il mantenimento della viabilità locale e degli accessi carrai.

Come già anticipato al cap. 2, l'opera di presa in progetto è stata pensata in modo che la quasi totalità della portata di progetto defluisca nel canale di alimentazione del pozzo. L'opera di derivazione è stata verificata sia per la portata di progetto (Q_p=26 m^3/s), che per portate minori.

L'approfondimento della topografia dei luoghi e un rilievo planoaltimetrico più dettagliato del tratto tombato dell'alveo in oggetto hanno comportato un revisione del manufatto di presa proposto nell'agosto 2004.
In particolare la pendenza del tratto tombato al di sotto di Via Berno Erpidio (pari al 30%) ha reso necessaria la realizzazione di un manufatto che permettesse di dissipare l'energia della corrente veloce in arrivo, prima di collegarsi nel canale di accesso al vortice in corrente lenta.

Poiché il Rovare nella zona in cui dovrà essere intercettato (lungo la via Berno Erpidio) corre al di sotto di edifici e parcheggi, si è reso necessario sostituire un tratto del corso d'acqua in oggetto con uno scatolare, posizionato al centro della strada, che in primo momento aveva dimensioni analoghe all'esistente (sez. rettangolare 2 x 2 m, i = 17.5%).
Come si illustrerà in seguito la geometria di questo canale è stata modificata a seguito dei risultati della modellazione fisica. Il canale, dopo un salto iniziale di 1 m, adotterà una sezione rettangolare 2x3 m per un primo tratto di lunghezza pari a 12 m. Seguiranno quindi due salti di 1.95 m con sviluppo orizzontale pari a 5 m ciascuno.

Il tratto di corso d'acqua esistente che verrà abbandonato, in parte verrà demolito ed in parte intasato con calcestruzzo.

Per quanto riguarda il funzionamento idraulico del manufatto in esame, la portata ordinaria, assunta pari a circa 0.30 m^3/s, defluirà attraverso una luce praticata sul fondo, opportunamente dimensionata. Per valori di portata inferiori alla Q_i (=0.07 m^3/s) tutta la corrente cadrà liberamente nel canale sottostante, attraverso la luce di fondo, e quindi in una tubazione di diametro pari a 500 mm che troverà recapito immediatamente a valle nel Rovare tombato.
Per valori maggiori di Q_i l'eccesso di portata proseguirà oltre la luce di fondo e, cadendo in un pozzo di raggio interno pari a 3 m, supererà un dislivello di circa 5 m. Essendo il fondo del suddetto pozzo a una quota pari a –1 m, ed in seguito abbassato a -4 m, rispetto il fondo del canale in uscita si creerà un cuscino di acqua in grado di dissipare buona parte dell'energia della corrente proveniente da monte. È previsto, inoltre, il rivestimento in acciaio della parete del pozzo sulla quale batterà la corrente veloce in arrivo da monte, al fine di evitare l'ammaloramento della stessa. Dal suddetto pozzo partiranno rispettivamente il nuovo canale, di dimensioni 2x2 m che troverà recapito nel Rovare esistente e il canale di imbocco al vortice.

All'ingresso di entrambi i canali è stato previsto il posizionamento di un dispositivo di intercettazione: in fase di manutenzione dell'opera in progetto verrà chiuso l'accesso al vortice e la corrente sarà convogliata nel corso d'acqua tombato. Viceversa attraverso la chiusura della paratoia sul Rovare e dell'ulteriore paratoia prevista sulla tubazione ϕ 500, che convoglia le acque nere nel Rovare, sarà possibile convogliare tutta la corrente in galleria.

In condizioni di funzionamento ordinario invece, la portata sarà convogliata nel canale di imbocco al vortice e sarà impedito l'accesso al Rovare delle acque eccedenti Q_i/Q_v. Il canale di accesso al vortice è costituito da una struttura scatolare in c.a. lunga 30 m, di dimensioni pari a 2.70 x 5.30 m e pendenza 0.001, in grado di convogliare la portata duecentennale garantendo un franco minimo di 1 m. In corrispondenza della portata di dimensionamento, all'interno di tale canale si instaureranno le condizioni ottimali per il funzionamento dell'opera di presa.

Il pozzo, di diametro pari a 2.90 m, è ubicato in sinistra idraulica rispetto al canale a debole pendenza, e scarica in una camera di fondo a valle della quale parte la galleria di collegamento allo scolmatore principale. Il pozzo permetterà alla corrente derivata di superare un dislivello di 38 m circa. La camera di fondo ha la

funzione di dissipare l'energia della corrente incidente ed è dotata di un pozzo di ventilazione per il rilascio dell'aria trascinata dalla corrente.

Tale camera ha assunto inizialmente forma cilindrica di diametro pari a 10 m e una lunghezza di 15 m con il fondo a – 4 m rispetto la quota di partenza della galleria ϕ 2800. In tal modo si garantisce la formazione di un cuscino d'acqua necessario per dissipare l'energia della corrente sul fondo della camera stessa ed evitare fenomeni di erosione.
Nella fase conclusiva della progettazione definitiva, per ragioni realizzative ed idrauliche si è ritenuto necessario variare la geometria della camera di dissipazione; la sezione della camera è divenuta policentrica, con un diametro maggiore e pari a 13.40 m; la lunghezza della camera è rimasta invariata.
La galleria di collegamento ha assunto anch'essa sezione policentrica, di diametro 3.2 m.

5.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1)

5.2.1. Manufatto di presa e pozzo

Il manufatto di presa è stato dimensionato per la portata duecentennale pari a 26 m^3/s. Come già anticipato la partizione delle portate da scolmare e quelle da far proseguire nel corso d'acqua, avviene per mezzo di una luce praticata sul fondo del canale (scaricatore a salto allineato).

Finché tutta la portata in arrivo è al più pari a Q_i, tutta la portata cadrà liberamente nel canale sottostante. Per portate maggiori in arrivo, solo un'aliquota di queste verrà intercettata dalla luce mentre la maggior parte oltrepasserà la luce, procedendo verso il pozzo di salto.

I manufatti di questo tipo sfruttano il principio che per portate maggiori di Q_i la velocità è più elevata di quella di magra, e quindi le traiettorie inferiori dei filetti fluidi sono più tese e tendono perciò a saltare l'orifizio. Utilizzando gli abachi sperimentali forniti in letteratura è risultato che per una portata pari a 0.07 m^3/s la luce sul fondo dovrebbe avere dimensioni 2 x 0.1 m.
Le dimensioni stimate della luce sono state verificate mediante la realizzazione del modello fisico. Dai risultati del modello è emerso che la luce così dimensionata non è in grado di derivare la portata Qv a causa delle forti velocità della corrente in arrivo da monte. La luce sul fondo ha assunto quindi dimensione 2 x 0.3 m.

Lo scaricatore, seppure fisso e privo di organi mobili durante l'esercizio, è provvisto di una piastra in acciaio inox rimovibile (dimensioni 2.0 x 0.6 m) che permetterà le operazioni di manutenzione ed eventualmente di variare le dimensioni della luce di fondo nel caso in cui si volessero modificare la regolazione della derivazione. Utilizzando le relazioni illustrate nel cap. 3 si sono definiti quindi i parametri che regolano il funzionamento dei pozzi a vortice.

Fissata una larghezza del canale *b* pari a 2.7 m e un raggio del pozzo *R* pari a 1.45 m si è proceduto definendo il parametro *a* in modo che fosse soddisfatta anche la relazione che garantisce l'eccentricità del vortice rispetto l'asse del pozzo e la sua aerazione.

Quindi, definito *a* pari a 3.9 m, si sono ricavate le grandezze necessarie a disegnare le pareti del vortice. In particolare è risultato:

$e=0.41$,
$R_1=4.79$,
$R_2=3.96$,
$R_3=3.13$,
$R_4=2.71$.

Il tracciamento dei profili idraulici, per le portate di dimensionamento, è stato ottenuto mediante l'integrazione con il metodo alle differenze finite dell'equazione che regola il moto permanente

$$\frac{dE}{dx} = i - J \ ,$$

in cui E è l'energia della corrente, i la pendenza del fondo e J la cadente dei carichi totali. Essendo il canale di imbocco al pozzo a vortice a debole pendenza, l'altezza della corrente, a partire dal vortice e fino al pozzo di salto, sarà prossima all'altezza di moto uniforme.

Il tracciamento dei profili di corrente sono stati definiti anche per portate inferiori a quelle di progetto (Q_p= 14, 10, 4, 2 m^3/s).

Si riportano di seguito, in forma grafica e tabulare, i risultati del tracciamento dei possibili profili calcolati.

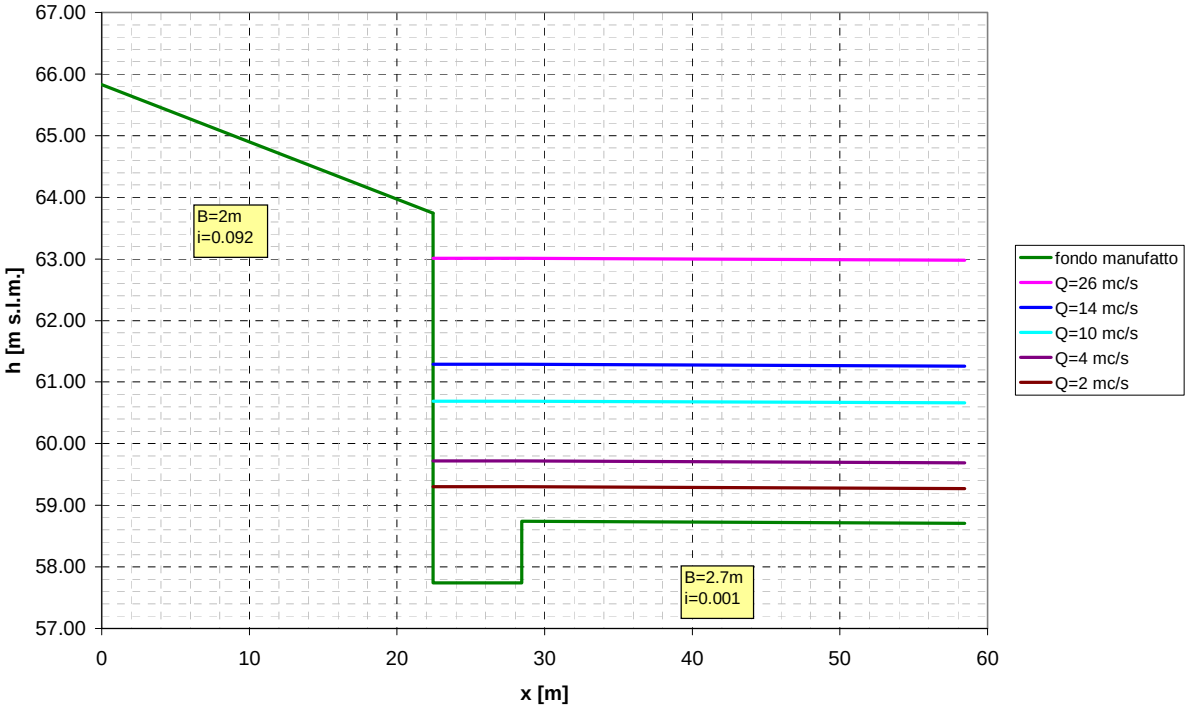


Fig. 5.1: Profili idraulici calcolati della corrente all'interno del canale di imbocco al pozzo per le portate considerate (Q_p=26, 14, 10, 4, 2 m^3/s)

Tab. 5.1 - Profili idraulici calcolati della corrente all'interno del manufatto per le portate considerate (Q_p=26, 14, 10, 4, 2 m^3/s)

Q=26 m^3/s		**Q=14 m^3/s**		**Q=10 m^3/s**		**Q=4 mc m^3/s**		**Q=2 m^3/s**	
X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]
0		0		0		0		0	
22.45		22.45		22.45		22.45		22.45	
22.45	63.01	22.45	61.29	22.45	60.69	22.45	59.72	22.45	59.3
28.45	63.01	28.45	61.29	28.45	60.69	28.45	59.72	28.45	59.3
28.45	63.01	28.45	61.29	28.45	60.69	28.45	59.72	28.45	59.3
58.45	62.98	58.45	61.26	58.45	60.66	58.45	59.69	58.45	59.27

5.2.2. Camera di dissipazione

La camera di dissipazione ha assunto inizialmente forma cilindrica di diametro pari a 10 m e una lunghezza di 15 m con il fondo a – 4 m rispetto la quota di partenza della galleria ϕ 2800. In tal modo si garantisce la formazione di un cuscino d'acqua, di una profondità almeno pari a 0.1 volte la profondità di caduta della corrente, necessario per dissipare l'energia della corrente sul fondo della camera stessa ed evitare fenomeni di erosione.

In fase di progettazione definitiva, per ragioni realizzative ed idrauliche si è ritenuto necessario variare la geometria di tale camera; la sezione della camera è divenuta policentrica, con un diametro maggiore e pari a 13.40 m; la lunghezza della camera è rimasta invariata.
La galleria di collegamento ha assunto anch'essa sezione policentrica, di diametro 3.2 m.

5.3. Il modello fisico

5.3.1. Caratteristiche geometriche del modello

Il modello dell'opera di presa sul Rio Rovare è stato realizzato in similitudine di Froude, a scala di riduzione pari a 1/25.2.

Pertanto le scale derivate risultano:

- scala dei tempi e delle velocità $1/25.2^{1/2}$ (1/5.02)
- scala delle portate $1/25.2^{5/2}$ (1/3188)
- scala dei volumi $1/25.2^{3}$ (1/16003)

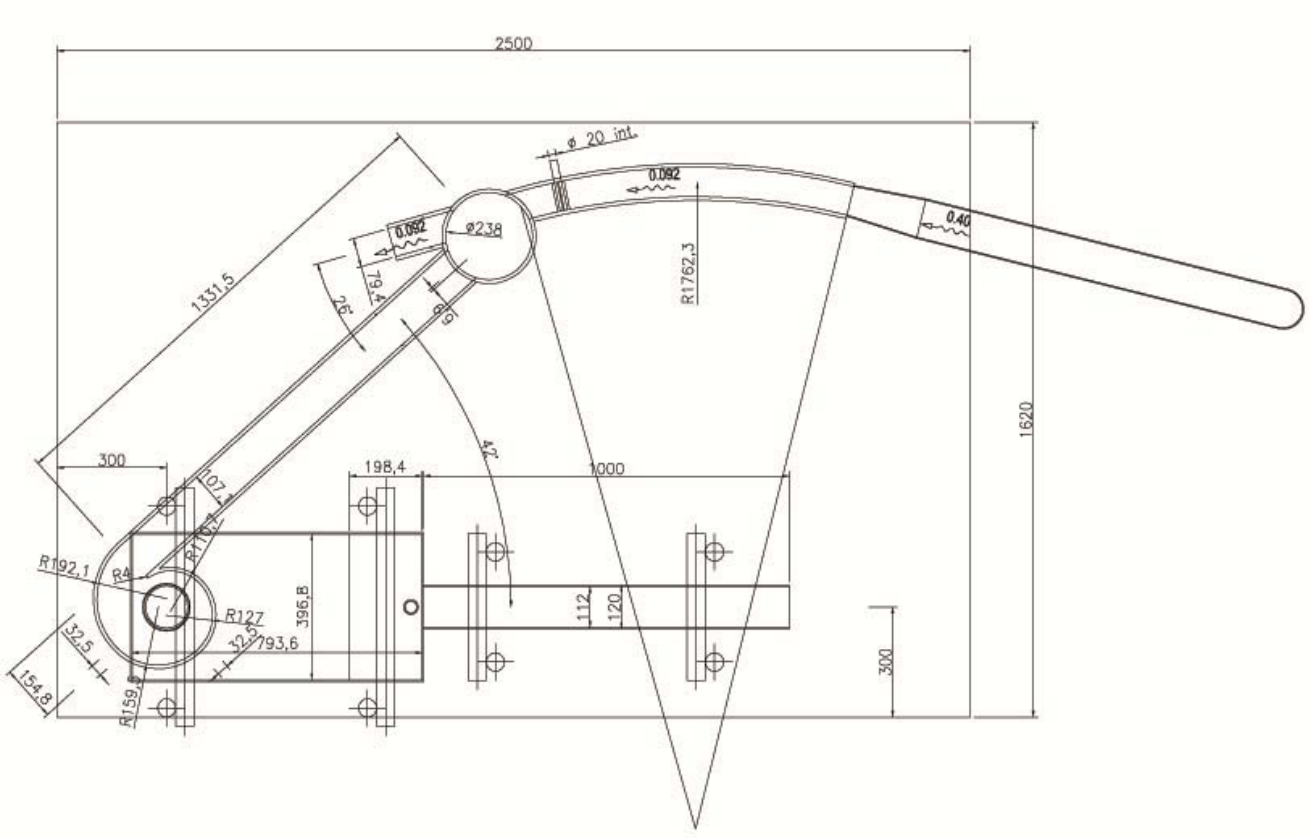


Fig. 5.2: Rappresentazione grafica del modello realizzato

La portata di progetto, pari a 26 m^3/s, diviene perciò su modello pari a 8.2 l/s.
La geometria del manufatto di presa sul Rio Rovare che è stata inizialmente rappresentata in scala 1/25.2 è quella proposta nel maggio 2005.
L'unica variazione che si è ritenuto opportuno fare nel modello rispetto i disegni di fase 1 è consistita nella correzione della curvatura planimetrica del canale di imbocco al pozzo di dissipazione, adottando un unico raggio di curvatura.

Le opere riprodotte su modello sono le seguenti:

- tratto di corso d'acqua esistente a monte (circa 10 m);
- canale di imbocco al pozzo di dissipazione;
- scaricatore a fondo allineato;
- pozzo di dissipazione;
- canale di imbocco al vortice;
- pozzo a vortice;
- camera di dissipazione posta al fondo del pozzo a vortice;
- tratto iniziale della galleria di collegamento (circa 20 m).

Tutta l'opera è stata realizzata in materiale trasparente per permettere una visualizzazione diretta dei profili idrici che si instaurano.

Per le misure di livello sono state posizionate aste graduate alle pareti del modello nel canale di imbocco al vortice, nella camera di dissipazione e sulla galleria di collegamento (Par 5.3.4.1).
Il modello è stato anche attrezzato con misuratori di portata a monte dell'opera e sulla luce di fondo per la derivazione della portata ordinaria.

5.3.2. Finalità del modello fisico

Attraverso la realizzazione del modello fisico dell'opera di presa si è inteso verificare il corretto funzionamento idraulico dei principali elementi che costituiscono l'opera di presa. In particolare si è voluto accertare:

a) Nel manufatto di partizione delle portate

- la corretta partizione della massima portata da recapitare nell'alveo di valle e nella galleria.

b) Nel pozzo di dissipazione

- il fenomeno dissipativo che si genera.

c) Nel canale di imbocco al vortice e pozzo

- il profilo della corrente nella canale di imbocco al vortice al variare della portata;
- il corretto funzionamento del pozzo.

c) Nella camera di fondo e galleria di collegamento

- il fenomeno dissipativo che si genera nella camera di fondo;
- le modalità di imbocco della corrente nella galleria che collega l'opera di presa alla galleria principale.

Le grandezze che sono state misurate su modello sono le seguenti:

- portata in arrivo da monte;
- la portata da recapitare in alveo a valle dell'opera di presa;
- altezza d'acqua nel canale di imbocco al vortice;
- altezza d'acqua nella camera di dissipazione;
- altezza d'acqua nella galleria di collegamento.

5.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello

Per quanto riguarda la riproduzione delle scabrezze sul modello fisico si osserva che la scabrezza del plexiglas in scala del modello (scala 1:25.2) è molto simile alla scabrezza propria del calcestruzzo lisciato del manufatto per il quale è stato ipotizzato un ks=75 $m^{1/3}$ s^{-1}

Per quanto riguarda invece la riproduzione del moto nella galleria di collegamento alla galleria principale essendo la corrente supercritica e quindi governata da monte si ritiene di aver riprodotto in maniera adeguata l'imbocco della corrente in galleria e di conseguenza il fenomeno dissipativo nella camera di sbocco del pozzo.

5.3.4. Strumenti di misura

5.3.4.1 Posizionamento degli strumenti di misura

Nel modello sono stati installati alcuni strumenti di misura come indicato nella planimetria allegata; trattasi di n. 18 aste graduate e 2 misuratore di portata .

In tabella sono sintetizzate le caratteristiche di tali strumenti quali, l'ubicazione, il campo di misura, la precisione e l'affidabilità della lettura.

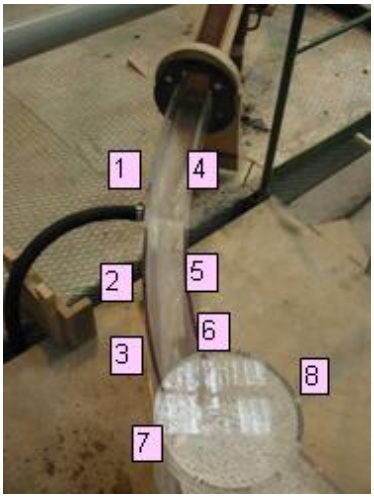


Fig. 5.3 : Localizzazione strumenti di misura

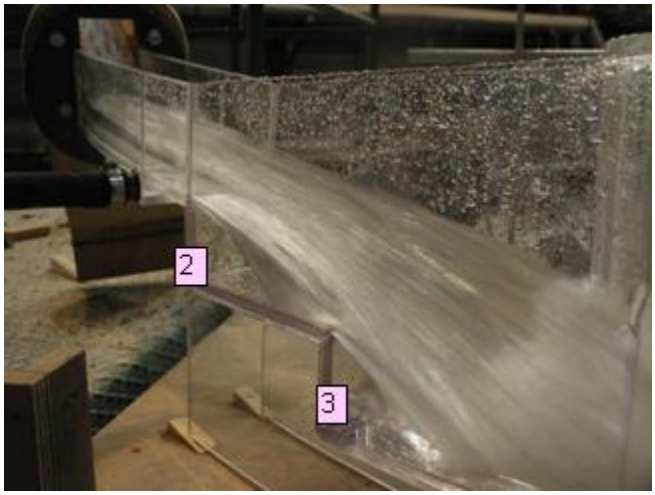


Fig. 5.4 : Localizzazione strumenti di misura

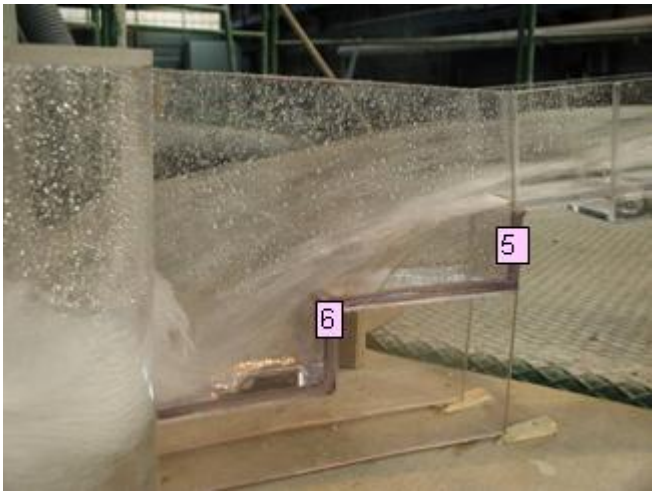


Fig. 5.5 : Localizzazione strumenti di misura

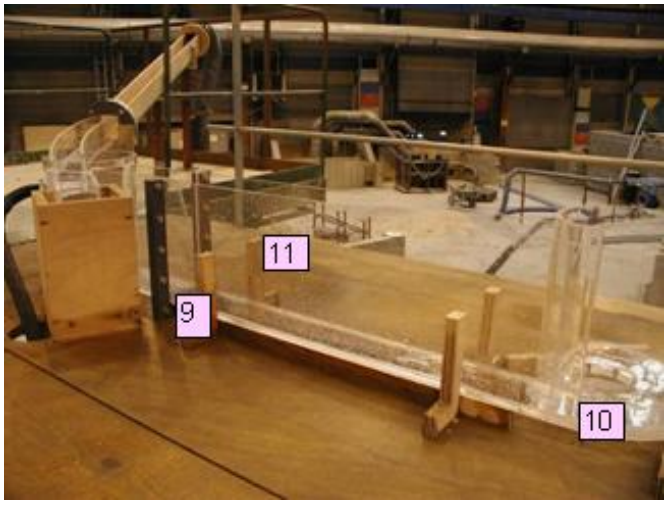


Fig. 5.6 : Localizzazione strumenti di misura

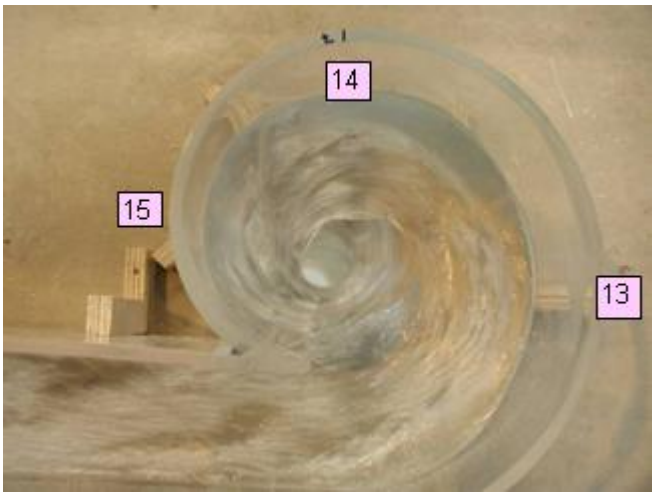


Fig. 5.7 : Localizzazione strumenti di misura



Fig. 5.8 : Localizzazione strumenti di misura

5.3.4.2 Caratteristiche degli strumenti di misura

		TIPO DI STRUMENTO	CAMPO DI MISURA	PRECISIONE	AFFIDABILITà DELLA MISURA	LOCALIZZAZIONE			TIPO DI STRUMENTO	CAMPO DI MISURA	PRECISIONE	AFFIDABILITà DELLA MISURA	LOCALIZZAZIONE	
						destra/centro/sinistra	Progressiva X su prototipo						destra/centro/sinistra	Progressiva X su prototipo
			[mm]				[m]			[mm]				[m]
CANALE A MONTE	**Misuratore 1**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	3.5	**Misuratore 4**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	sinistra	3.5
	Misuratore 2	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	10.33	**Misuratore 5**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	sinistra	10.33
	Misuratore 3	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	17.64	**Misuratore 6**	asta graduata	0.2	0.5 mm	buona	sinistra	17.64
POZZO DI DISSIPAZIONE	**Misuratore 7**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	25.45	**Misuratore 8**	asta graduata	0.2	0.5 mm	buona	sinistra	25.45
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	**Misuratore 9**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	34.78	**Misuratore 11**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	sinistra	34.78
	Misuratore 10	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	58.97							
	Misuratore 13	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	66.38							
	Misuratore 14	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	73.33							
	Misuratore 15	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra	78.57							
CAMERA DISSIPAZIONE	**Misuratore 16**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	centro								
	Misuratore 17	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	centro								
GALLERIA	**Misuratore 18**	asta graduata	0-0.2	0.5 mm	buona	destra/sinistra								
PORTATA	**Misuratore monte**	misuratore di portata		0.1 l/s	buona	monte								
	Misuratore valle	misuratore di portata		0.0001l/s	buona	valle								
	Misuratore derivata	non misurata				valle								

5.3.5. Configurazione di base

È stata condotta una sola prova in moto permanente a fondo fisso.

5.3.5.1 Prova n. 1: Portata di monte pari a quella di progetto (26 m^3/s)

Nel canale di imbocco al pozzo di dissipazione si osserva un eccessivo sovralzo della corrente in sponda destra dovuta alla curva planimetrica che descrive il canale.

Il funzionamento del pozzo di dissipazione non è del tutto soddisfacente: il getto d'acqua in arrivo da monte raggiunge infatti la parete del pozzo in prossimità dell'imbocco del canale che trova recapito nel Rovare, generando un moto vorticoso in prossimità della copertura del pozzo (Fig. 5.9).

Tuttavia nel canale di imbocco al vortice si stabilisce dopo pochi metri il profilo di corrente atteso posizionandosi parallelamente al fondo del canale ad una quota prossima a 63.00 m s.l.m.

Il vortice si sviluppa in maniera corretta, ben centrato rispetto l'asse del pozzo e areato (Fig. 5.10).

La camera di sbocco dissipa in modo soddisfacente, sebbene risulti piena al 90%.

La galleria di collegamento ha un grado di riempimento prossimo a 0.7.

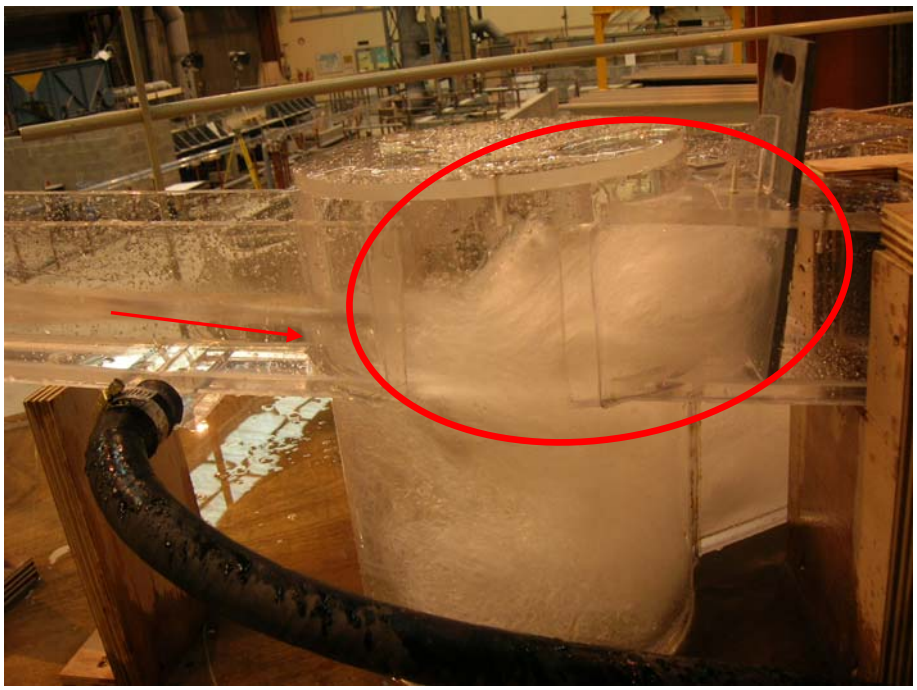


Fig. 5.9 : Pozzo di dissipazione: moto vorticoso in prossimità della copertura del pozzo

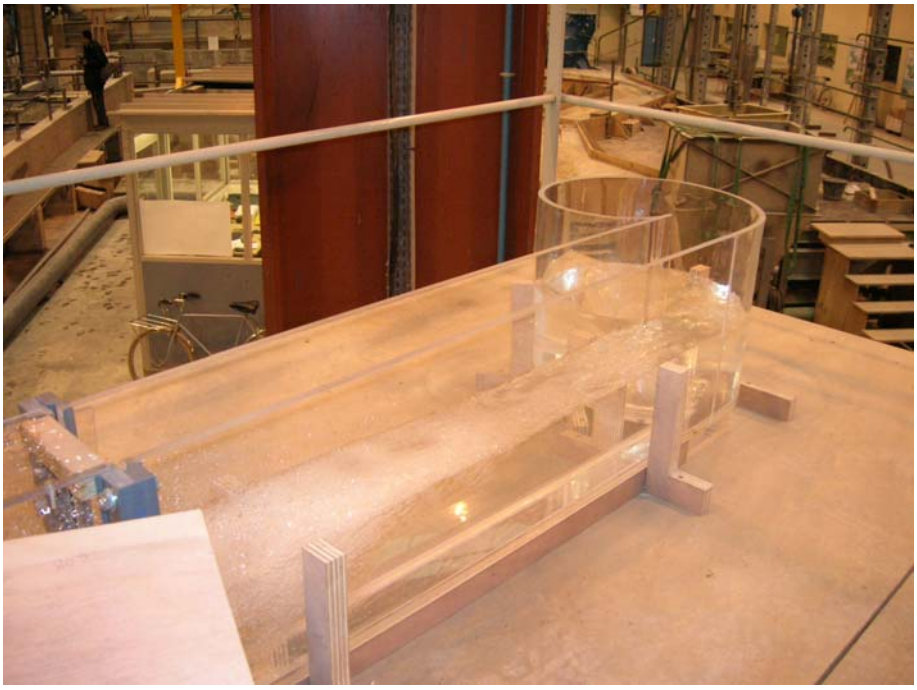


Fig. 5.10: Canale di imbocco al vortice e camera del vortice

5.3.6. Variante n. 1

Per migliorare le condizioni di dissipazione del pozzo localizzato a monte del canale di imbocco al vortice, sono state previste alcune modifiche dello stesso e del canale a monte.

In particolare è stato previsto di abbassare il fondo del pozzo di dissipazione di 3 m e di realizzare due salti di 2 m circa nel canale di monte (di lunghezza pari a 5 m ciascuno) al fine di recapitare il getto della corrente ad una profondità del pozzo maggiore rispetto alla configurazione originaria, direttamente nel cuscino d'acqua che si verrà a formare (Fig. 5.11). Inoltre è stato abbassato il fondo del canale di immissione al pozzo di dissipazione, realizzando un salto di circa 1 m all'inizio del tratto, al fine di garantire un franco idraulico di 1 m, anche in corrispondenza del sovralzo idraulico che si genera in sponda destra per l'andamento curvilineo del canale.

Il comportamento del manufatto nel tratto di canale in variante è stato studiato applicando le leggi che regolano 'il moto di un proiettile'.

Si riportano di seguito la geometria della nuova configurazione del canale di monte e i profili ipotizzati per alcune delle portate considerate in fase 1.

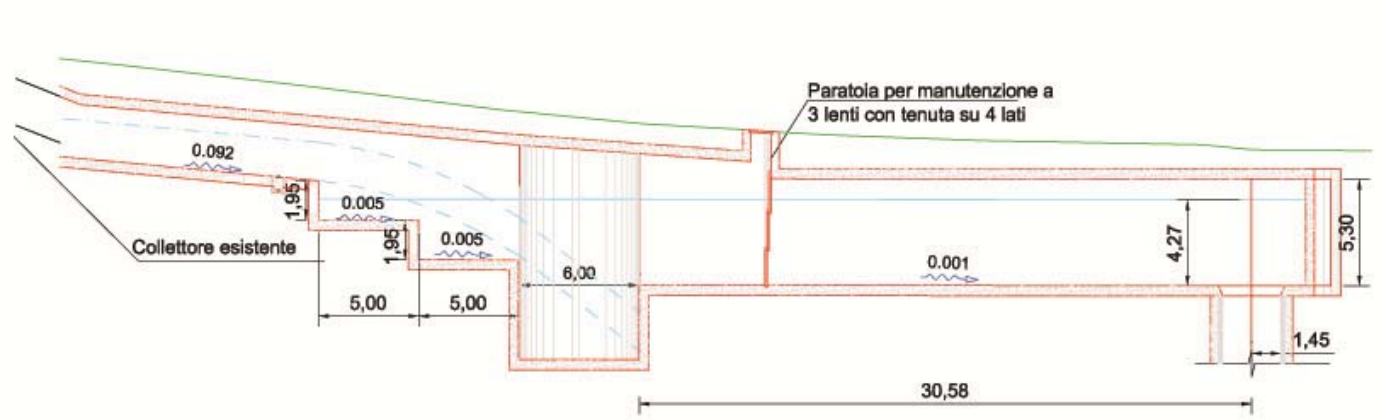


Fig. 5.11: Nuova configurazione dell'opera. Sezione longitudinale

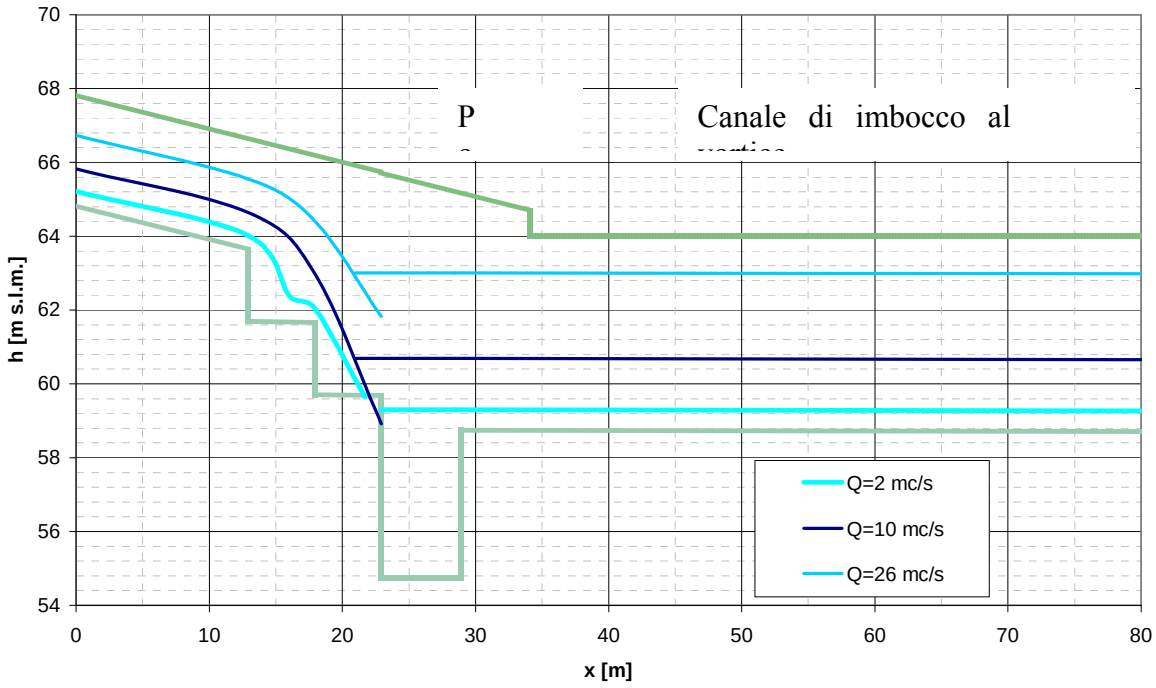


Fig. 5.12: Profili idrici calcolati per la nuova configurazione dell'opera (Q = 26, 10, 2 mc/s)



Fig. 5.13: Nuova configurazione dell'opera. Canale di monte

5.3.6.1 Prova n. 2: Portata di monte pari a quella di progetto (26 m^3/s)

È stata riprodotta la nuova geometria del canale di immissione nel pozzo di dissipazione.

La nuova configurazione dell'opera permette di dissipare in modo adeguato l'energia della corrente in arrivo da monte.

Il particolare si nota come il getto in arrivo da monte 'salti' i due gradini cadendo direttamente nel pozzo di dissipazione (Fig. 5.15), così come previsto con i calcoli effettuati.

Si osserva ancora nel tratto a monte del pozzo dissipazione, un sovralzo del profilo di corrente dovuto alla curva planimetrica del manufatto in sponda destra; tuttavia il franco idraulico di 1 m in tale tratto e nel canale di imbocco al vortice è sempre garantito.

Nella camera di imbocco al vortice si istaura un profilo di corrente parallelo al fondo a quota 63 m s.l.m.

La camera di dissipazione sebbene dissipi in modo soddisfacente risulta piena al 90%.

L'altezza idrica della corrente nella galleria di collegamento è pari a 1.7 m (grado di riempimento pari a 0.60).

Il comportamento del manufatto non è difforme da quanto ipotizzato in fase di dimensionamento idraulico, eccezione fatta per il funzionamento della luce di fondo che dovrebbe derivare la portata ordinaria (0.3 mc/s) da recapitare in alveo a valle dell'opera di presa.

Tale luce infatti, a causa delle forti velocità che caratterizzano la corrente nel tratto di monte non riesce a captare la portata Qv, ma riesce a captarne solo una minima parte (Tab. 5.2).

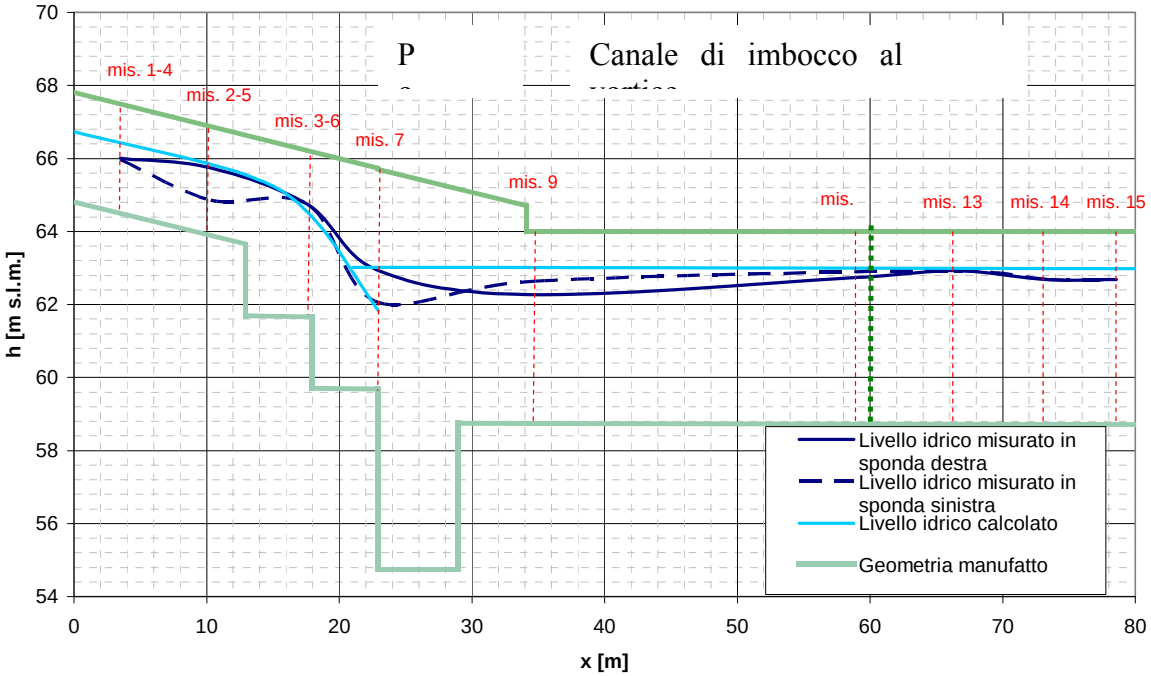


Fig. 5.14: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 26 mc/s

Tab. 5.2: : Livelli misurati sul modello per Q=26 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 1					66.01	3.5	Misuratore 4					65.96	3.5
	Misuratore 2					65.74	10.33	Misuratore 5					64.86	10.33
	Misuratore 3					64.74	17.64	Misuratore 6					62.48	17.64
POZZO DI DISSIPAZIONE	Misuratore 7					62.93	22.93	Misuratore 8					62.05	22.93
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 9					62.26	34.78	Misuratore 11					62.64	34.78
	Misuratore 10					62.74	58.97	Misuratore 12						
	Misuratore 13					62.93	66.38							
	Misuratore 14					62.68	73.33							
	Misuratore 15					62.68	78.57							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			34.5 - 35.5	8.7 - 8.9									
	Misuratore 17			32 - 33	8.0 - 8.3									
GALLERIA	Misuratore 18				1.7									
PORTATA	Misuratore monte	8.2												
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata luce di fondo	0.0075	0.0239											

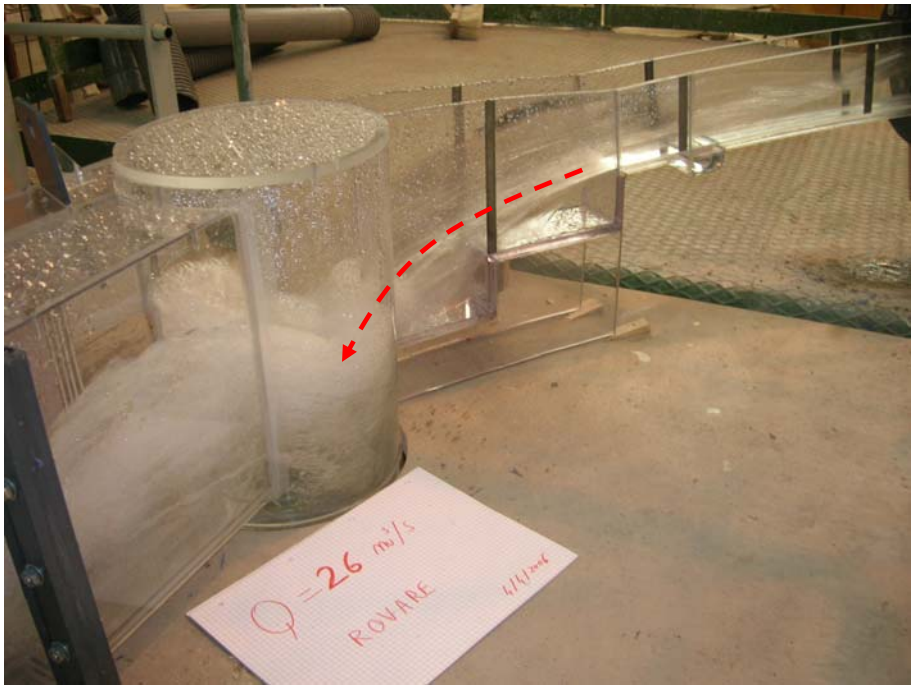


Fig. 5.15: Immissione della corrente veloce in arrivo da monte nel pozzo di dissipazione per Q = 26 mc/s

5.3.6.2 Prove n. 3-4: Portata inferiori a quella di progetto (10, 2 m^3/s)

È stato verificato il comportamento del manufatto nel caso in cui transitino in alveo portate inferiori a quella di progetto.

In particolare si è simulato il comportamento del manufatto per alcune delle portate considerate nella fase di dimensionamento dell'opera (10, 2 m^3/s).

In entrambi i casi il profilo idrico del manufatto osservato su modello non è difforme da quanto ipotizzato in fase di dimensionamento idraulico, come si evince dalla Fig. 5.16 e Fig. 5.17.

La corrente in arrivo da monte cade sul primo e sul secondo gradino per poi finire nel pozzo di dissipazione; nel canale di imbocco al vortice, a debole pendenza, la corrente raggiungerà un'altezza idrica prossima all'altezza di moto uniforme (60.50 m s.l.m.).

La camera di dissipazione al piede del pozzo funziona in modo soddisfacente, dissipando l'energia della corrente in caduta dal pozzo.

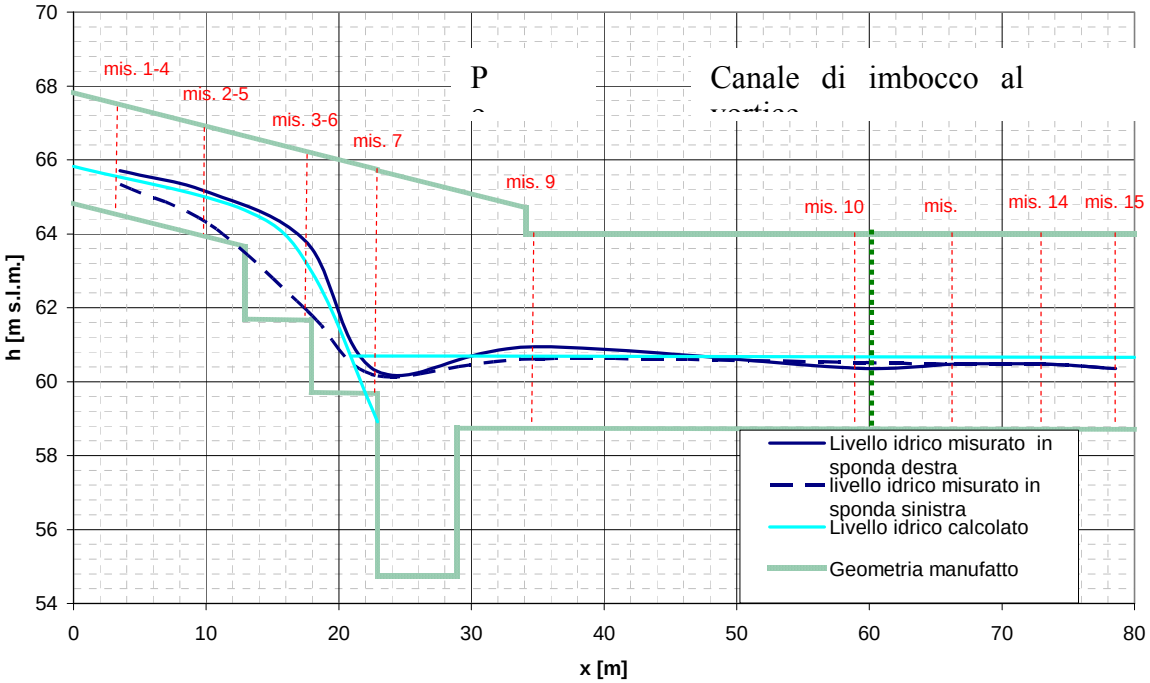


Fig. 5.16: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 10 mc/s

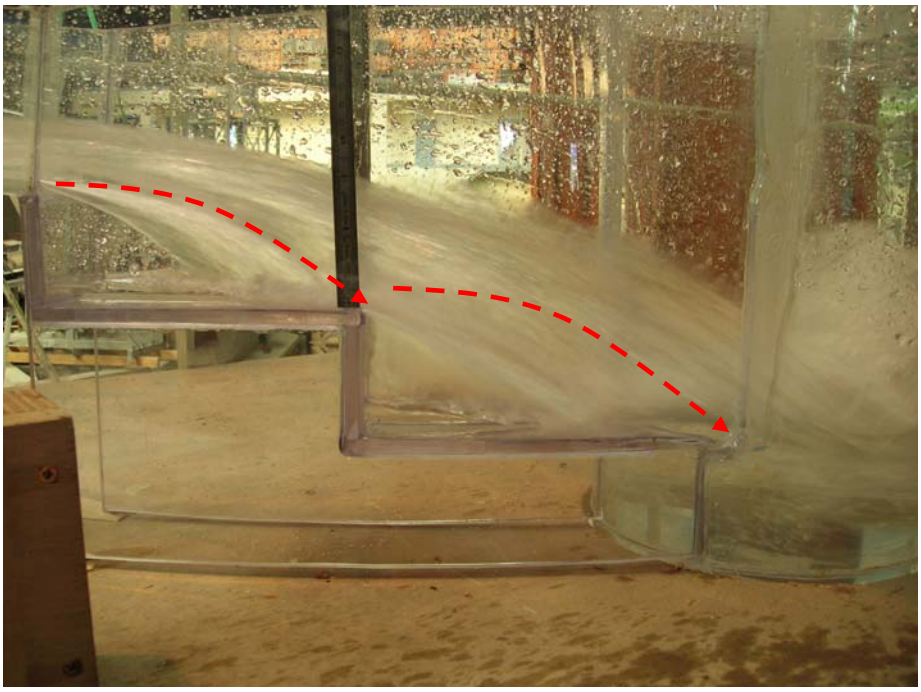


Fig. 5.17: Profilo della corrente in prossimità dei salti per Q = 10 mc/s

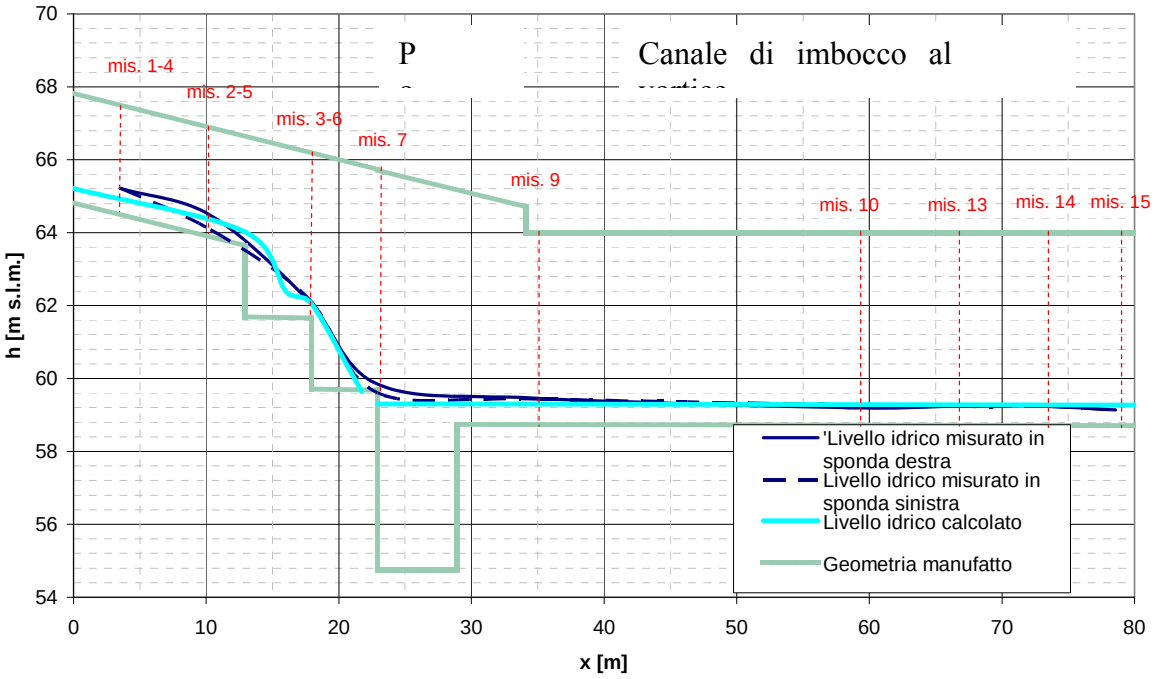


Fig. 5.18 Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 2 mc/s

Tab. 5.3: Livelli misurati sul modello per Q = 10 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 1					65.71	3.5	Misuratore 4					65.33	3.5
	Misuratore 2					65.11	10.33	Misuratore 5					64.23	10.33
	Misuratore 3					63.74	17.64	Misuratore 6					61.91	17.64
POZZO DI DISSIPAZIONE	Misuratore 7					60.28	22.93	Misuratore 8					60.16	25.45
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 9					60.94	34.78	Misuratore 11					60.62	34.78
	Misuratore 10					60.37	58.97	Misuratore 12						
	Misuratore 13					60.47	66.38							
	Misuratore 14					60.47	73.33							
	Misuratore 15					60.35	78.57							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			24 - 25.5	6 - 6.4									
	Misuratore 17			23.5 - 24	5.9 - 6									
GALLERIA	Misuratore 18					1.1								
PORTATA	Misuratore monte	3.1												
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata luce di fondo	0.003	0.0099											

Tab. 5.4: Livelli misurati sul modello per Q = 2 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 1					65.21	3.5	Misuratore 4					65.21	3.5
	Misuratore 2					64.48	10.33	Misuratore 5					64.08	10.33
	Misuratore 3					62.17	17.64	Misuratore 6					62.22	17.64
POZZO DI DISSIPAZIONE	Misuratore 7					59.84	22.93	Misuratore 8					59.6	25.45
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 9					59.46	34.78	Misuratore 11					59.44	34.78
	Misuratore 10					59.19	58.97	Misuratore 12						
	Misuratore 13					59.24	66.38							
	Misuratore 14					59.24	73.33							
	Misuratore 15					59.14	78.57							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			18.5 - 19	4.7 -4.8									
	Misuratore 17			18.8 - 19.2	4..7-4.8									
GALLERIA	Misuratore 18				0.4									
PORTATA	Misuratore monte	0.6	2											
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata luce di fondo	0.002	0.0065											

5.3.6.3 Prove n. 5: Portata limite (Q=31.6 m^3/s)

È stato verificato infine la portata massima che può transitare nel manufatto. Tale portata è risultata pari a 31.6 mc/s, portata per cui nella camera del vortice si raggiunge il tirante massimo ammissibile.

Il vortice risulta comunque anche per questa portata areato e ben centrato rispetto il pozzo. La camera di dissipazione al piede del pozzo risulta riempita quasi totalmente, mentre la galleria ha un grado di riempimento massimo di 0.72.

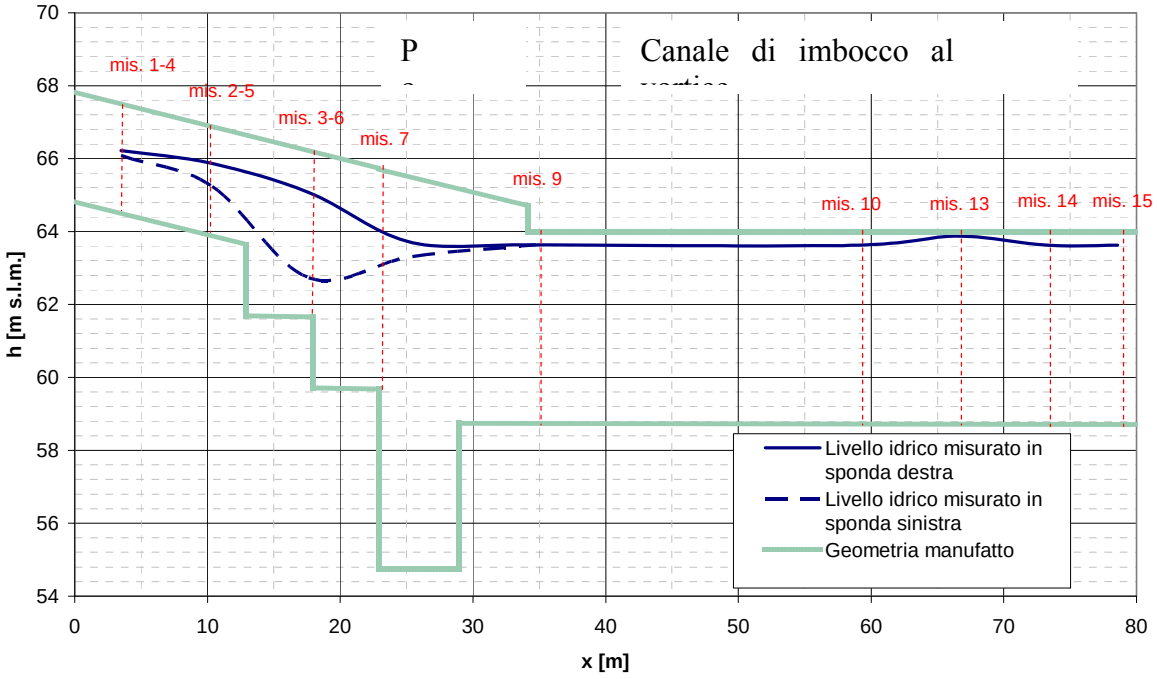


Fig. 5.19: Profilo idrico misurato per Q = 31.6 mc/s

Tab. 5.5: Livelli misurati sul modello per Q = 31.6 mc/s

		Portata Q su modello	Portata Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo		Porta Q su modello	Porta Q su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]		[l/s]	[mc/s]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE A MONTE	Misuratore 1					66.22	3.5	Misuratore 4					66.09	3.5
	Misuratore 2					65.87	10.33	Misuratore 5					65.24	10.33
	Misuratore 3					65.07	17.64	Misuratore 6					62.73	17.64
POZZO DI DISSIPAZIONE	Misuratore 7					63.69	25.45	Misuratore 8					63.31	25.45
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 9					63.64	34.78	Misuratore 11					63.64	34.78
	Misuratore 10					63.62	58.97	Misuratore 12						
	Misuratore 13					63.88	66.38							
	Misuratore 14					63.62	73.33							
	Misuratore 15					63.62	78.57							
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 16			37	9.3									
	Misuratore 17			39.7	10									
GALLERIA	Misuratore 18				1.7- 2.0									
PORTATA	Misuratore monte	9.9	31.6											
	Misuratore valle													
	Misuratore derivata luce di fondo	0.01	0.0324											

5.4. Conclusioni

Le prove eseguite sul modello fisico hanno consentito di definire una nuova geometria del canale di monte (Variante n.1).
Tale configurazione ha permesso di ottenere un'adeguata dissipazione dell'energia della corrente veloce in arrivo da monte nel pozzo localizzato a monte del canale di imbocco al vortice; tale fenomeno è stato favorito inoltre aumentando la profondità del pozzo di dissipazione, abbassandone il fondo da -1 m a -4 m rispetto il fondo del canale di imbocco al vortice.

Per quanto riguarda la captazione della portata ordinaria da far proseguire a valle dell'opera di presa, ottenuta mediante uno scaricatore di fondo allineato, è risultato che questo non è in grado di derivare tutta la portata desiderata. Si è quindi deciso di ad aumentare le dimensioni della luce di fondo da 2x0.1 a 2x0.3 m.
Il vortice che si forma in prossimità del pozzo è risultato per tutte le portate, anche per quelle maggiori della portata duecentennale, centrato rispetto all'asse del pozzo e non si è mai verificata la chiusura della zona areata all'interno del pozzo.

Dai test condotti sul modello fisico per la portata di progetto è emerso come la camera di dissipazione ai piedi del pozzo, benché dissipi in modo soddisfacente, risulti piena al 90%.
Nel completamento della progettazione definitiva si è ritenuto quindi consigliabile aumentarne le dimensioni, adottando anche per ragioni realizzative una sezione policentrica di raggio 13.40 m.
Per ragioni analoghe, per la galleria di collegamento è stata adottata una sezione policentrica di diametro 3.2 m. Sebbene dai tests effettuati la galleria risultasse idraulicamente sufficiente, la sua dimensione è stata aumentata al fine di permettere una carrabilità migliore della stessa da parte dei mezzi che effettueranno la manutenzione delle opere in progetto.

Dalle prove eseguite è emerso inoltre che per portate superiori alla portata duecentennale, fino a circa 32 mc/s, l'opera funziona in maniera ottimale; il manufatto funziona a pelo libero e il pozzo continua da essere areato e ben centrato

6. OPERA DI PRESA SUL RIO NOCE

6.1. Descrizione dell'opera

Colloqui con i tecnici del Comune di Genova hanno confermato che il punto migliore per la derivazione delle portate del Rio Noce rimane quello in corrispondenza del pozzo Carena. Tale soluzione si sposa con il progetto del by pass che termina appunto nel pozzo.

L'opera di derivazione è stata verificata sia per la portata di progetto (Q_p= 23 m^3/s) che per portate minori.

La tipologia del manufatto di derivazione è analoga a quelle precedentemente descritte.

L'opera di presa in progetto, come già illustrato, era stata pensata in modo che la quasi totalità della portata di progetto defluisse nel canale di alimentazione del pozzo a vortice.
Nella fase preliminare di progettazione era stato previsto infatti che la portata ordinaria, assunta pari a circa 0.300 m³/s, sarebbe defluita a valle dell'opera di presa attraverso una luce di fondo opportunamente dimensionata mediante una sagomatura del fondo dello scatolare in progetto. Quando la portata Qi (=0.100 m/s) fosse superata, l'eccesso di portata sarebbe stato convogliato nel canale di alimentazione del pozzo a vortice. La portata transitata attraverso la luce di fondo veniva quindi convogliata in una tubazione di diametro pari a ϕ500 mm, fino a ricondursi, a valle del manufatto di presa, nel canale esistente e opportunamente ricollocato all'interno del pozzo Carena.
Durante successivi incontri, il Comune di Genova ha chiesto invece che l'opera di captazione in progetto non sia dotata della luce di fondo per la derivazione della portata ordinaria in quanto tale portata sarà recapitata nell'alveo esistente a monte dell'opera in oggetto.
Inoltre è stato deciso che il tratto di canale di imbocco al vortice, fino all'ingresso del pozzo Carena sarà realizzato insieme con le opere di by pass previste nel progetto definitivo di 'Sistemazione idraulica del rio noce nel tratto compreso tra la scuola d'infanzia "Delia Repetto" in salita superiore noce ed il pozzo "Carena" all'incrocio tra via Benedetto XV e Corso Europa', redatto per conto del Comune di Genova, e quindi rientrerà in tale appalto.

Lo scatolare in progetto, realizzato sulla traccia del microtunnel previsto nella progettazione citata, ha dimensioni pari a 2.2 x 4.3 m. La sezione di tale scatolare permette il convogliamento della portata massima di progetto garantendo un franco idraulico di 1 m. Il primo tratto di tale scatolare, che si estende per 15 m, sarà a forte pendenza (pendenza pari a 0.015), mentre il secondo tratto, di lunghezza pari a 20 m, e che costituisce il canale di imbocco al vortice, avrà una debole pendenza pari a 0.0027.

Per le portate di dimensionamento, il risalto che permette alla corrente veloce in arrivo da monte di divenire lenta, e di rimanere tale nel canale di imbocco alla camera del vortice, avviene nel tratto a forte pendenza.

Il pozzo a vortice, di diametro interno pari a 3.4 m, è ubicato in sinistra idraulica e scarica in una camera di fondo a valle della quale parte la galleria di collegamento con la galleria principale. Il pozzo permetterà alla corrente derivata di superare un dislivello di 14.90 m.
Per la camera di fondo inizialmente è stata pensata una forma circolare di diametro pari a 8.5 m, una lunghezza di 15 m e il fondo a – 2.5 m rispetto la quota di partenza della galleria di collegamento alla galleria principale. In tal modo si permette la formazione di un cuscino d'acqua al fine di evitare fenomeni di erosione sul fondo della camera stessa.
In analogia a quanto deciso per le altre due opere di captazione sui rii minori, a seguito di successive considerazioni riguardanti le tecniche realizzative ed ai risultati delle prove su modello, la camera di fondo ha assunto una sezione policentrica di diametro pari a 12 m.

La galleria di collegamento allo scolmatore del Bisagno è stata pensata inizialmente di diametro pari a 2.8 m, una pendenza pari a 0.025 e uno sviluppo complessivo di 345 m circa.
La galleria assumerà una sezione policentrica di diametro 3.2 m, in conformità alla galleria di collegamento dell'opera di presa sul rio Rovare alla galleria principale.

6.2. Dimensionamento idraulico preliminare (Fase 1)

6.2.1. Manufatto di presa e pozzo

Utilizzando le relazioni illustrate nel cap. 3 si sono definiti i parametri che regolano il funzionamento dei pozzi a vortice. Le condizioni di moto sufficienti a garantire l'aerazione della vena all'interno del pozzo sono:

$h<4$,
$q<5.7$,
$\mu<0.626$.

Fissata una larghezza del canale b pari a 2.2 m e un raggio R del pozzo pari a 1.7 m si è definito il parametro a in modo che fosse soddisfatta anche la relazione che garantisce l'eccentricità del vortice rispetto l'asse del pozzo, ovvero

$$a - \frac{b}{2} > 1.3R .$$

Si è infine tenuto conto che il rapporto ottimale $\frac{a}{R}$ deve essere prossimo a 0.4-0.5. Definito quindi a pari a 3.65 m, si sono ricavate le grandezze necessarie a disegnare le pareti del vortice. In particolare è risultato:

$e=0.34$,
$R_1=4.41$,
$R_2=3.72$,
$R_3=3.04$,
$R_4=2.2.69$.

Si sono quindi calcolate le altezze d'acqua che si instaurano nella camera del vortice per la portata duecentennale (= 23 m^3/s) .
Il tracciamento dei profili idraulici, per le portate di dimensionamento, è stato ottenuto mediante l'integrazione da monte verso valle, per il tratto di monte (corrente veloce), e da valle verso monte per il tratto di valle (corrente lenta), con il metodo alle differenze finite dell'equazione che regola il moto permanente

$$\frac{dE}{dx} = i - J ,$$

in cui, come già ricordato, E è l'energia della corrente, i la pendenza del fondo e J la cadente dei carichi totali. Operando come sopra esposto, nel caso di una portata

di progetto pari a 23 m^3/s si verifica un risalto di lunghezza pari a 8 m, nel primo tratto dello scatolare a forte pendenza.

Per una portata pari a 16 m^3/s il risalto avviene invece subito prima del cambio di pendenza dello scatolare. Il risalto, di lunghezza pari a 7 m, si propagherà parzialmente perciò nel tratto a debole pendenza.

Il tracciamento dei profili di corrente e la localizzazione del risalto che avviene per il passaggio da corrente veloce a lenta sono stati definiti anche per portate inferiori a quelle di progetto (Q_p = 16, 14, 8, 4, 2, 1 m^3/s). Si riporta di seguito un grafico in cui vengono rappresentati i risultati del tracciamento dei possibili profili.

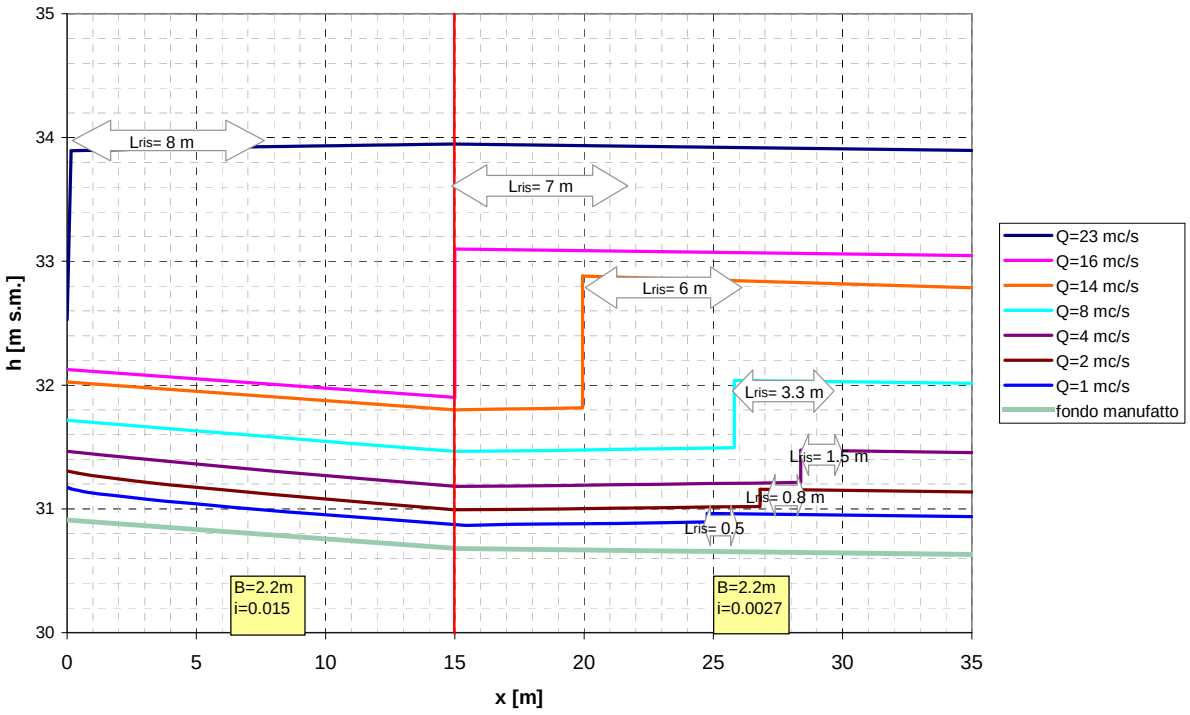


Fig. 6.1 - Profili idraulici della corrente all'interno del manufatto per le portate considerate (Q_p = 23, 16, 14, 8, 4, 2, 1 m^3/s)

Si riportano di seguito gli stessi risultati in forma tabulare.

Tab. 6.1 - Profili idraulici della corrente all'interno del manufatto per le portate considerate (Q_p=23, 16, 8, 4, 2, 1 m^3/s)

Q_p=23 m^3/s		Q_p=16 m^3/s		Q_p=14 m^3/s		Q_p=8 m^3/s		Q_p=4 m^3/s		Q_p=2 m^3/s		Q_p=1 m^3/s	
h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]	h [m s.m.]	X [m]
32,53	0,00	32,13	0,00	32,03	0,00	31,72	0,00	31,47	0,00	31,31	0,00	31,17	0,01
33,89	0,16	33,10	15,00	31,80	15,00	31,68	2,27	31,43	1,49	31,29	0,40	31,17	0,06
33,90	0,66	31,90	15,00	31,81	16,66	31,63	4,76	31,40	3,29	31,27	0,95	31,16	0,14
33,90	1,16	33,05	35,00	31,81	18,31	31,59	7,50	31,35	5,45	31,25	1,68	31,16	0,26
33,90	1,67			31,82	19,94	31,54	10,53	31,30	8,11	31,23	2,65	31,15	0,43
33,90	2,18			32,88	19,94	31,48	13,92	31,24	11,43	31,20	3,92	31,14	0,65
33,90	2,69			32,79	35,00	31,46	15,01	31,18	15,04	31,16	5,62	31,13	0,92
33,91	3,20					31,47	16,88	31,18	17,05	31,12	7,94	31,12	1,27
33,91	3,72					31,47	18,72	31,19	19,06	31,06	11,23	31,11	1,71
33,91	4,24					31,48	20,54	31,19	21,03	30,99	14,96	31,10	2,26
33,91	4,76					31,48	22,33	31,20	22,95	31,00	17,14	31,08	2,95
33,92	5,28					31,49	24,09	31,20	24,81	31,00	19,23	31,06	3,82
33,92	6,33					31,49	25,81	31,21	26,62	31,01	21,25	31,04	4,94
33,92	7,39					31,50	25,81	31,21	28,37	31,01	23,19	31,01	6,42
33,93	8,46					32,04	25,81	31,47	28,37	31,01	25,05	30,98	8,48
33,93	9,53					32,02	35,00	31,46	35,00	31,02	26,81	30,93	11,56
33,94	10,61									31,16	26,81	30,86	15,44
33,94	11,70									31,14	35,00	30,87	17,15
33,94	12,79											30,88	19,23
33,95	13,89											30,88	21,21
33,95	15,00											30,89	23,07
33,90	35,00											30,89	24,76
												30,96	24,76
												30,94	35,00

= Localizzazione del risalto

Anche nel manufatto di presa in esame il risalto si esaurisce metri prima dell'ingresso della corrente nella camera del vortice.

6.2.2. Camera di dissipazione

La geometria della camera di sbocco delle acque provenienti dal pozzo è stata pensata in modo tale che si formi al suo interno un cuscino d'acqua che permetta la dissipazione dell'energia della corrente in caduta dal pozzo, prima che questa entri nella galleria di collegamento allo scolmatore in progetto. Come già illustrato al cap. 3, tale camera è stata progettata di lunghezza almeno pari a 4 volte il diametro del pozzo (Hager, 1985) e di forma pseudo-circolare, al fine di una sua più facile realizzazione; il diametro di tale camera è stato dimensionato in modo tale che la distanza tra il cielo della camera e il fondo della galleria di collegamento all'imbocco risultasse almeno pari a circa 2 volte il diametro del pozzo ((Hager, 1985). Si è quindi previsto di realizzare un gradino che permettesse di creare un

cuscino d'acqua di una profondità almeno pari a 0.1 volte la profondità di caduta della corrente (2.5 m).

La camera di fondo ha assunto quindi una forma circolare di diametro inizialmente pari 8.5 m e di lunghezza pari a 15 m, fino al gradino .

Tale sezione adottata per la camera di sbocco delle acque è stata verificata con l'impiego del modello fisico.

Come si illustrerà in seguito, già nel PD 2007, al fine di permettere l'accesso alla camera da parte degli addetti alla manutenzione si è deciso di ricavare sul cielo della camera un camminamento; per tale ragione il diametro della camera è divenuto 12.00 m.

Per ragioni analoghe, la galleria di collegamento che nella fase 1 aveva diametro 2.8 m ha assunto una sezione policentrica di diametro 3.2 m; sebbene dai tests effettuati la galleria risultasse infatti idraulicamente sufficiente, il suo diametro è stato aumentato al fine di permettere una carrabilità migliore della stessa da parte dei mezzi che effettueranno la manutenzione delle opere in progetto.

6.3. Il modello fisico

6.3.1. Caratteristiche geometriche del modello

Il modello dell'opera di presa del Rio Noce è stato realizzato in similitudine di Froude, a scala di riduzione pari a 1/20.

Pertanto le scale derivate risultano:

- scala dei tempi e delle velocità $1/20^{1/2}$ (1/4.472)
- scala delle portate $1/20^{5/2}$ (1/1789)
- scala dei volumi $1/20^{3}$ (1/8000)

La portata di progetto, pari a 23 m^3/s, diviene perciò su modello pari a 12.9 l/s.

Si riporta di seguito la rappresentazione grafica del modello realizzato, le cui dimensioni principali sono risultate:

- lunghezza 4.9 m;
- larghezza 1 m;
- altezza 1.55 m, dal fondo della camera di dissipazione alla copertura dello scatolare.

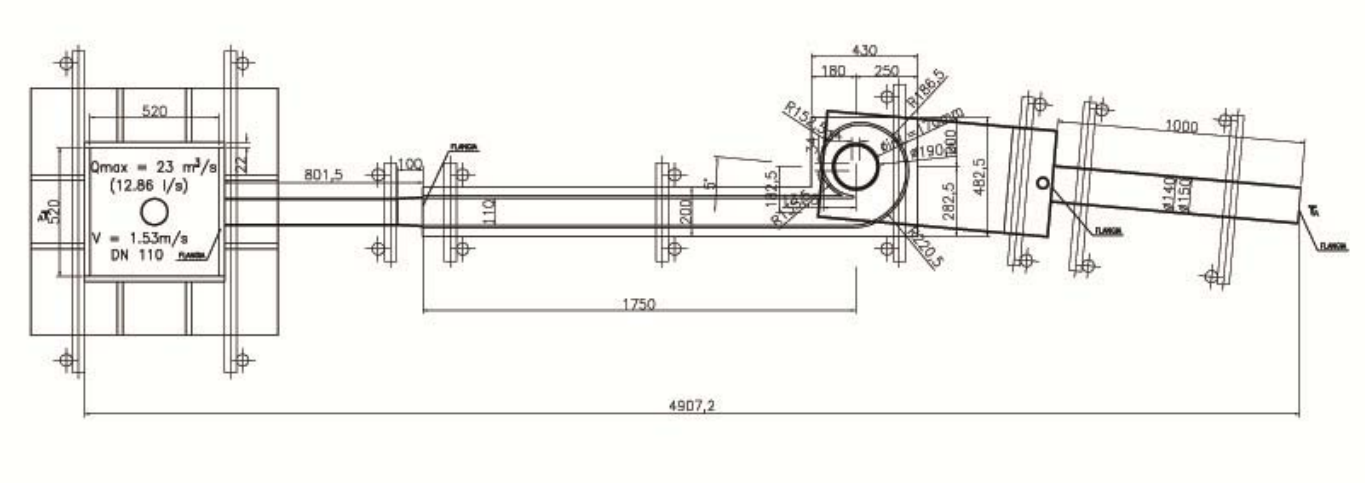


Fig. 6.2: Rappresentazione grafica del modello realizzato



Fig. 6.3: Modello fisico del Rio Noce

Le opere riprodotte su modello sono le seguenti:

- tratto (15 m) di sezione circolare del by-pass di monte previsto in altro progetto;
- canale di imbocco al pozzo a vortice;
- pozzo a vortice;
- camera di dissipazione posta al fondo del pozzo a vortice;

- tratto iniziale della galleria di collegamento (20 m).

L'ultimo tratto del canale costituente il by pass previsto in altro progetto, il canale di imbocco al vortice, il pozzo, la camera di dissipazione e il primo tratto di galleria di collegamento sono stati realizzati in materiale trasparente per permettere una visualizzazione diretta dei profili idrici che si instaurano.

Per le misure di livello sono state posizionate aste graduate alle pareti del modello (nel canale di imbocco al vortice e nella camera di dissipazione).



Fig. 6.4: Modello fisico del Rio Noce



Fig. 6.5: Camera di alimentazione, by-pass e canale di imbocco al vortice



Fig. 6.6: Parte terminale del canale di imbocco al pozzo a vortice e pozzo a vortice

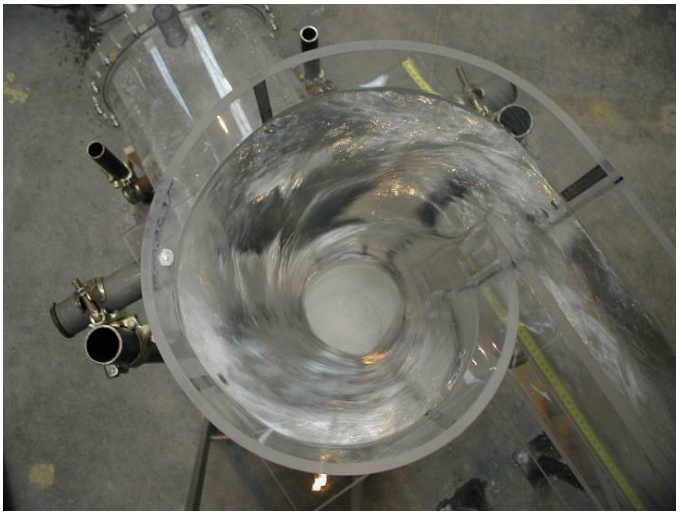


Fig. 6.7: Camera del vortice

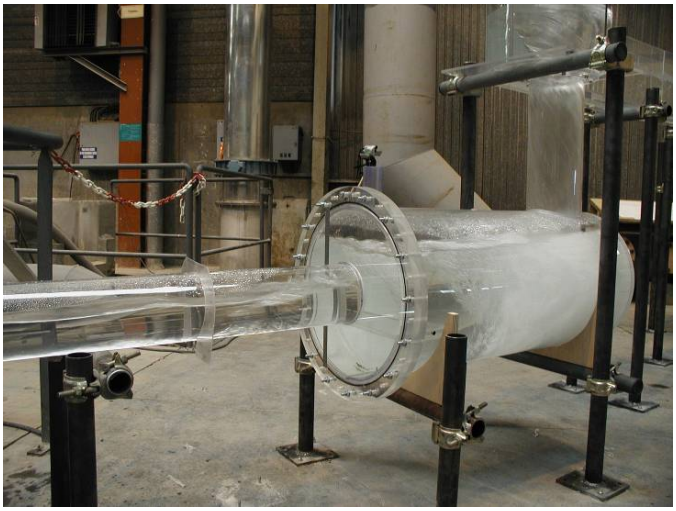


Fig. 6.8: Camera di dissipazione e galleria di collegamento

6.3.2. Finalità del modello fisico

Attraverso la realizzazione del modello fisico dell'opera di presa si è inteso verificare il corretto funzionamento idraulico dei principali elementi che costituiscono l'opera di presa. In particolare si è voluto accertare:

a) Nel canale di imbocco al vortice e pozzo

- il profilo della corrente nella canale di imbocco al vortice al variare della portata;
- il corretto funzionamento del pozzo.

b) Nella camera di fondo e galleria di collegamento

- il fenomeno dissipativo che si genera nella camera di fondo;
- le modalità di imbocco della corrente nella galleria che collega l'opera di presa alla galleria principale.

Le grandezze che sono state misurate su modello sono le seguenti:

- portata in arrivo da monte;
- altezza d'acqua nel canale di imbocco al vortice;
- altezza d'acqua nella camera di dissipazione;
- altezza d'acqua nella galleria di collegamento,
- pressioni medie sulle pareti del pozzo;
- pressioni medie sul fondo della camera di dissipazione.

6.3.3. Riproduzione delle resistenze e delle condizioni al contorno sul modello

Per quanto riguarda la riproduzione delle scabrezze sul modello fisico si osserva che la scabrezza del plexiglas in scala del modello (scala 1:20) è molto simile alla scabrezza propria del calcestruzzo lisciato del manufatto per il quale è stato ipotizzato un ks=75 $m^{1/3}$ s^{-1}

Per quanto riguarda invece la riproduzione del moto nella galleria di collegamento alla galleria principale essendo la corrente supercritica e quindi governata da monte si ritiene di aver riprodotto in maniera adeguata l'imbocco della corrente in galleria e di conseguenza il fenomeno dissipativo nella camera di sbocco del pozzo.

6.3.4. Strumenti di misura

6.3.4.1 Posizionamento degli strumenti

Nel modello sono stati installati alcuni strumenti di misura come indicato nella planimetria allegata; trattasi di n. 11 aste graduate, 1 misuratore di portata e 6 misuratori di pressione statica.
In tabella sono sintetizzate le caratteristiche di tali strumenti quali, l'ubicazione, il campo di misura, la precisione e l'affidabilità della lettura.

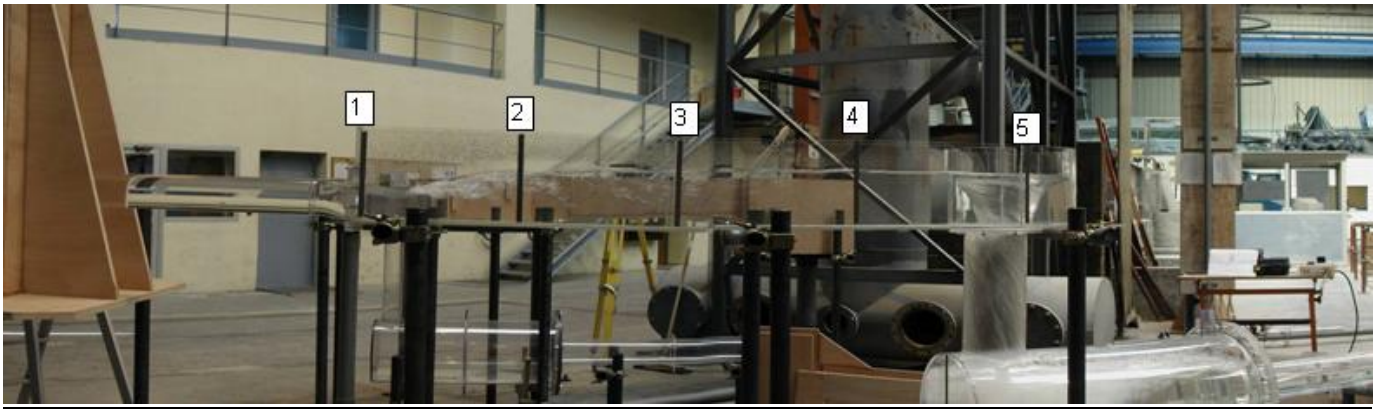


Fig. 6.9: Localizzazione strumenti di misura

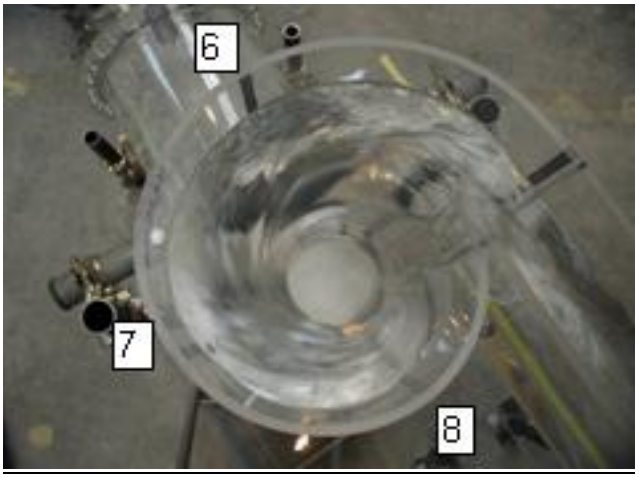


Fig. 6.10: Localizzazione strumenti di misura

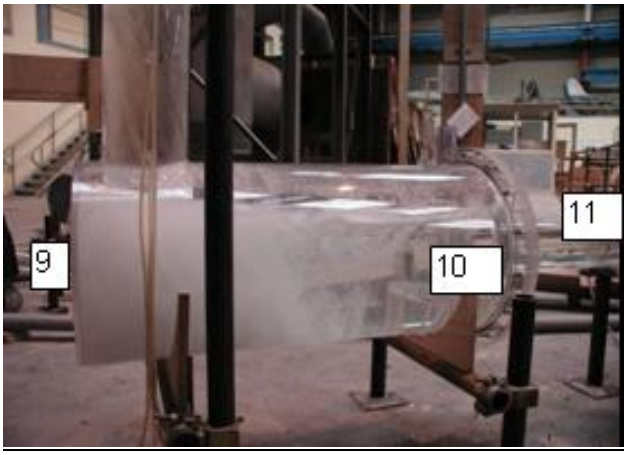


Fig. 6.11: Localizzazione strumenti di misura

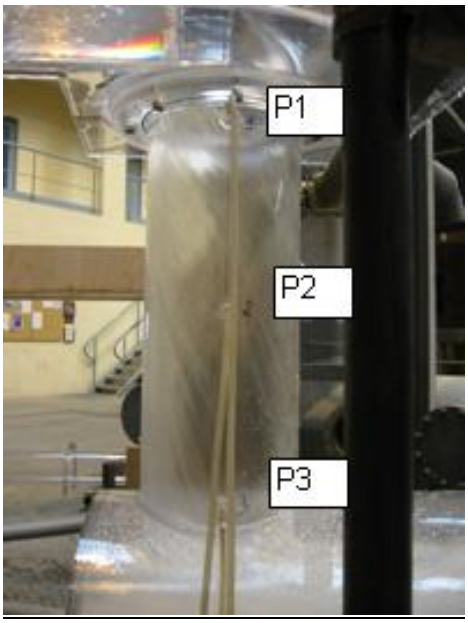


Fig. 6.12: Localizzazione strumenti di misura

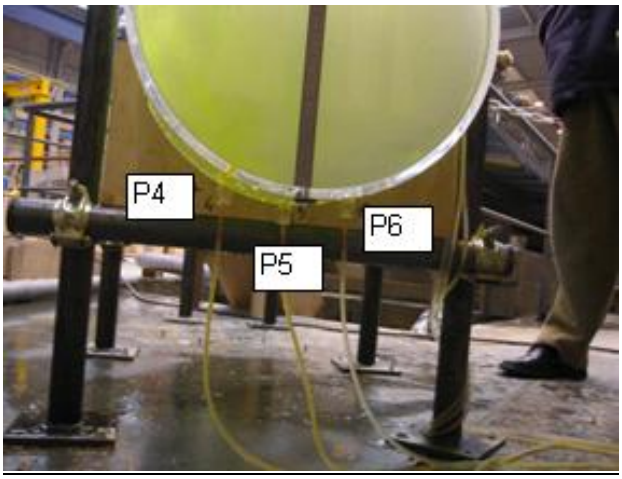


Fig. 6.13: Localizzazione strumenti di misura

6.3.4.2 Caratteristiche degli strumenti

		TIPO DI STRUMENTO	CAMPO DI MISURA	PRECISIONE	AFFIDABILITà DELLA MISURA	LOCALIZZAZIONE	
						destra/centro/sinistra	Progressiva X su prototipo
			[mm]				[m]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	**Misuratore 1**	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	0.00
	Misuratore 2	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	7.40
	Misuratore 3	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	14.80
	Misuratore 4	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	24.40
	Misuratore 5	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	34.00
	Misuratore 6	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	41.60
	Misuratore 7	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	48.00
	Misuratore 8	asta graduata	0-200	0.5 mm	buona	destra	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	**Misuratore 9**	asta graduata	0-425	0.5 mm	buona	centro	
	Misuratore 10	asta graduata	0-425	0.5 mm	buona	centro	
GALLERIA	**Misuratore 11**	asta graduata	0-425	0.5 mm	buona	centro	
POZZO	**P1**	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	centro	
	P2	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	centro	
	P3	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	centro	
CAMERA DISSIPAZIONE	**P4**	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	sinistra	
	P5	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	centro	
	P6	misuratore di pressione statica	0-2000	0.5 mm	buona	destra	
PORTATA	**Misuratore monte**	misuratore portata		0.1l/s		monte	

6.3.5. Configurazione di base

È stata condotta una prova in moto permanente a fondo fisso.

6.3.5.1 Prova n. 1: Portata di monte pari a quella di progetto (23 m^3/s)

Il profilo che si instaura nel canale di imbocco al vortice è quello atteso.

Il risalto che permette il passaggio da corrente veloce a corrente lenta si localizza nel primo tratto di canale ed ha una sviluppo pari a quello calcolato (8 m).

Il tirante idrico in prossimità del vortice è risultato pari 3.3 m (circa 34.00 m s.l.m.), come previsto in fase di dimensionamento dell'opera.

Il vortice funziona correttamente, risulta ben areato e centrato rispetto l'asse del pozzo.

La camera di sbocco dissipa in modo soddisfacente. Il livello che si instaura in tale camera è superiore rispetto il cielo della galleria di collegamento; l'imbocco di tale galleria risulta perciò sommerso. Tuttavia la galleria di collegamento funziona a pelo libero con grado di riempimento pari a circa 70%.

6.3.6. Variante n. 1

Allo scopo di abbassare il livello dell'acqua nella camera di dissipazione e favorire l'ingresso della corrente in galleria, in corrispondenza della portata duecentennale, si è provato ad arrotondare l'imbocco della galleria.

Inoltre per misurare le sollecitazioni medie esercitate dalla corrente sulle pareti del pozzo e sul fondo della camera di dissipazione sono state posizionate delle celle di pressione (P1, P2, P3, P4, P5, P6).

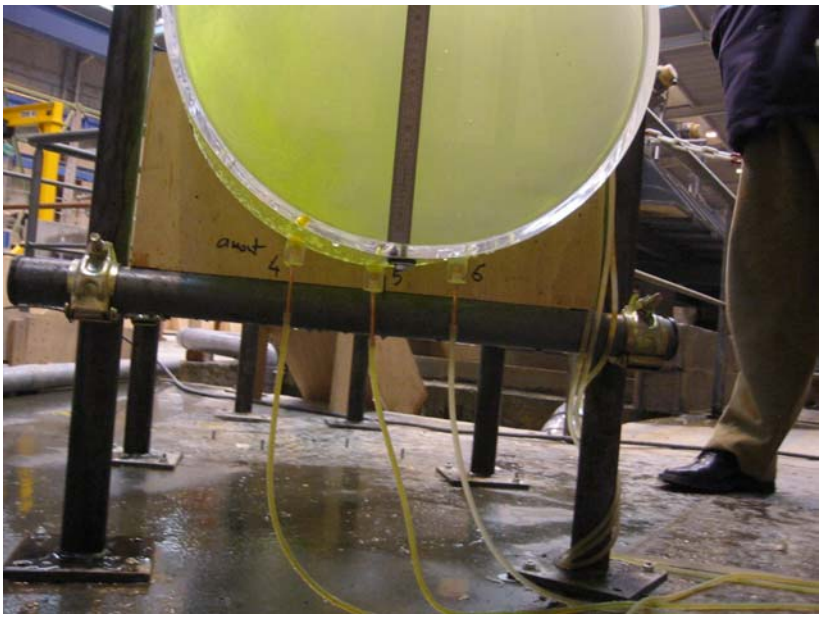


Fig. 6.14 Celle di pressione posizionate sul fondo della camera di dissipazione



Fig. 6.15: Celle di pressione posizionate sulle pareti del pozzo



Fig. 6.16: Celle di pressione posizionate sul fondo della camera di dissipazione e sulle pareti del pozzo

6.3.6.1 Prova n. 2: Portata di monte pari a quella progetto (23 m^3/s)

Con l'arrotondamento dell'imbocco della corrente, con un raggio di curvatura R pari a 0.4 m, calcolato ipotizzando un rapporto tra R e il diametro della tubazione D maggiore o uguale a 0.15 (da letteratura), il livello d'acqua nella camera di dissipazione si abbassa di circa 0.6 m, rimanendo comunque più alto del cielo della galleria.

Il raccordo realizzato fa si che la vena d'acqua tenda però ad attaccarsi alle pareti della galleria e il livello nel primo tratto di galleria si alza in corrispondenza della portata duecentennale (Fig. 6.19)

Si è ritenuto perciò che tale modifica non sia migliorativa del funzionamento idraulico del manufatto di sbocco in quanto a fronte di una modesta riduzione del

pelo libero nella camera, si genera una consistente complicazione costruttiva ed un deflusso in galleria non soddisfacente.

Si è deciso invece di dotare tutti i manufatti di una canna di areazione in prossimità dell'imbocco della galleria, al fine di ottimizzare il profilo della corrente nel primo tratto e favorire l'efflusso della corrente in galleria.

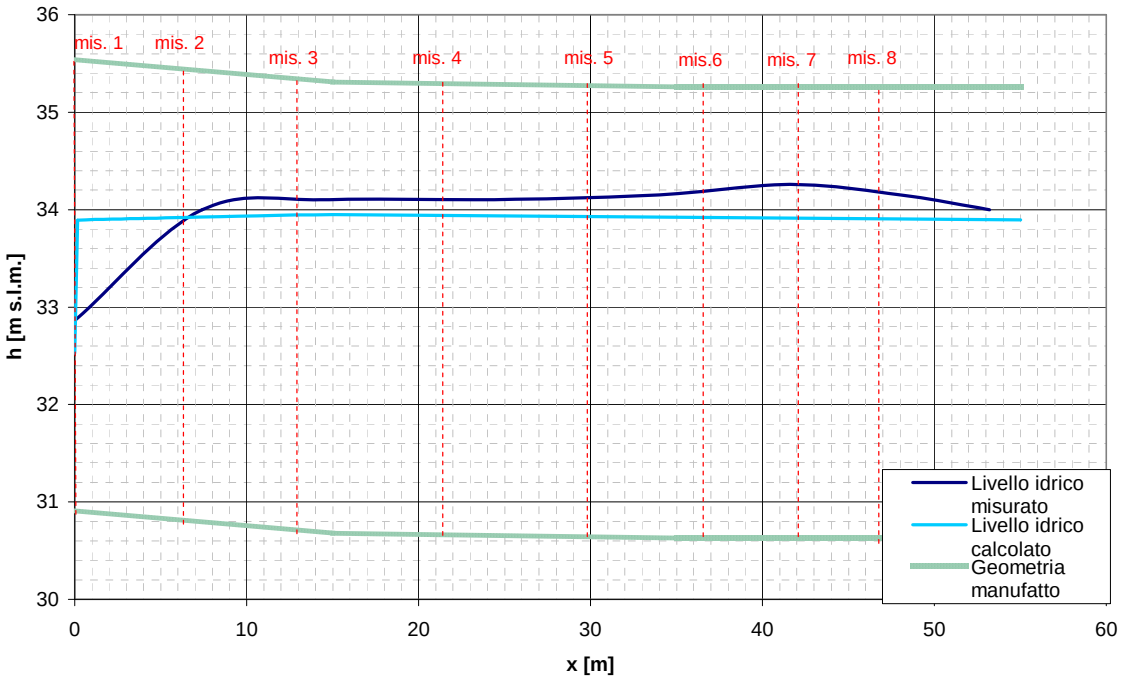


Fig. 6.17: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q=23 mc/s

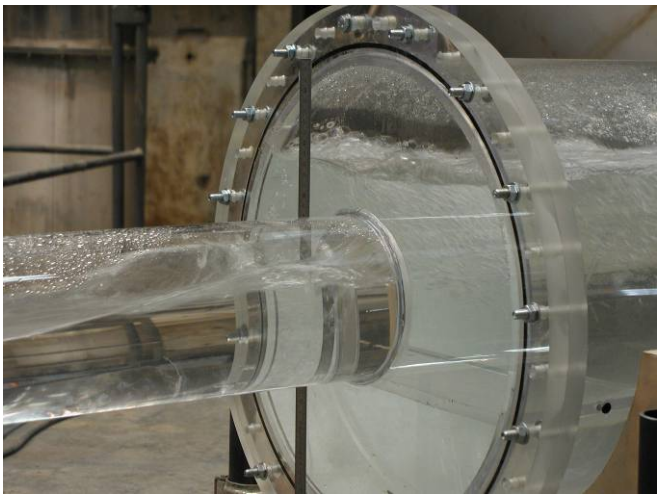


Fig. 6.18: Imbocco della corrente in galleria a spigolo vivo

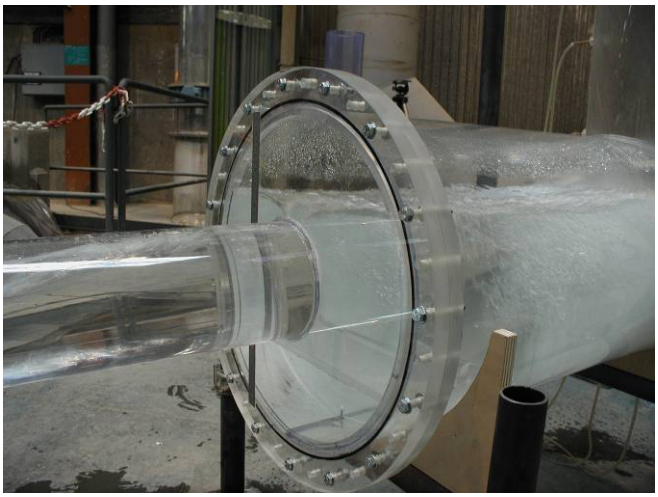


Fig. 6.19: Imbocco della corrente in galleria a spigolo arrotondato (Variante n. 1)

Tab. 6.2: Profilo idrico misurato sul modello per Q=23 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					32.86	0.00
	Misuratore 2					34	7.40
	Misuratore 3					34.1	14.80
	Misuratore 4					34.1	24.40
	Misuratore 5					34.15	34.00
	Misuratore 6					34.26	41.60
	Misuratore 7					34.15	48.00
	Misuratore 8					34	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			34-37	6.8-7.4		
	Misuratore 10			36-37	6.2-6.4		
GALLERIA	Misuratore 11			8.5	1.7		
POZZO	P1	ND					
	P2	0.1					
	P3	ND					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	29					
	P5	30.3					
	P6	27.95					

6.3.6.2 Prova n. 3: Portata di monte pari a 16 m^3/s

Il profilo che si instaura nel canale di imbocco al vortice è quello atteso. Il risalto che permette il passaggio da corrente veloce a corrente lenta si localizza nel canale di imbocco al vortice e si sviluppa 6 m più a monte di quanto calcolato.

Il tirante idrico in prossimità del vortice è risultato pari 2.6 m (circa 33.15 m s.l.m.), 15 cm in più rispetto a quanto previsto in fase di dimensionamento dell'opera.

Il vortice funziona correttamente, risulta ben areato e centrato rispetto l'asse del pozzo.

La camera di sbocco dissipa in modo soddisfacente. La galleria di collegamento ha un grado di riempimento inferiore al 50%.

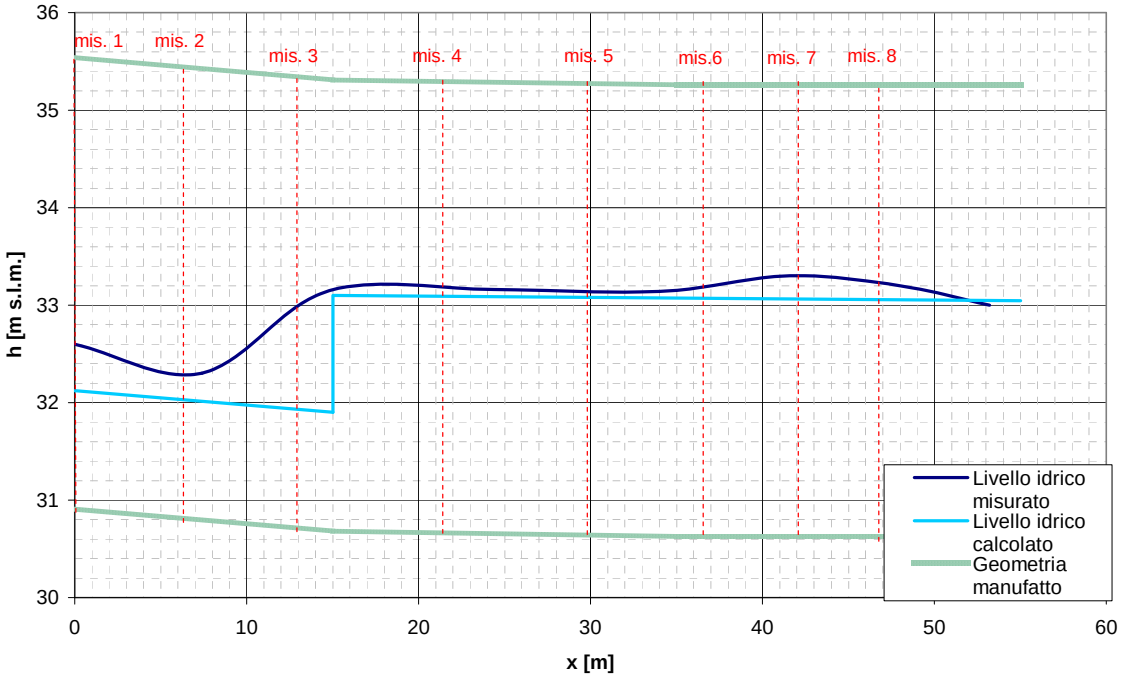


Fig. 6.20: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 16 mc/s

Tab. 6.3: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 16 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					32.60	0.00
	Misuratore 2					32.30	7.40
	Misuratore 3					33.15	14.80
	Misuratore 4					33.16	24.40
	Misuratore 5					33.14	34.00
	Misuratore 6					33.30	41.60
	Misuratore 7					33.20	48.00
	Misuratore 8					33.00	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			35-36	6-6.2		
	Misuratore 10			28	5.6		
GALLERIA	Misuratore 11			7	1.4		
POZZO	P1	0.3					
	P2	0.2					
	P3	0					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	24.6					
	P5	25.9					
	P6	24.3					

6.3.6.3 Prova n. 4-5-6-7: Portata di monte inferiori alla portata di progetto (8, 4, 2, 1 m^3/s)

Sono state quindi svolte in laboratorio prove atte a verificare il comportamento del manufatto nel caso in cui transitino in alveo portate inferiori a quella di progetto.
In particolare è stato simulato il comportamento del manufatto per le portate analizzate in fase 1 (8, 4, 2, 1 m^3/s).
Come si evince dal confronto tra i profili calcolati e quelli osservati sul modello fisico, al variare della portata, i tiranti non risultano dissimili e la posizione del risalto idraulico è confermata.

Per ciascuna delle prove condotte sono state inoltre lette le misure di pressione misurate sul fondo della camera di dissipazione e sulle pareti del pozzo (da Tab. 6.3 a Tab. 6.7).
Per quanto riguarda le misure di pressione effettuate sul fondo della camera di dissipazione si evidenzia che queste risultano leggermente inferiori rispetto ai livelli idrici misurati nella camera di dissipazione.
In realtà questo è dovuto al fatto che i livelli misurati nella camera sono da intendersi come i livelli massimi osservati, causati dall'agitazione e dalla turbolenza che si verifica al piede del pozzo.
Si sottolinea inoltre, ancora una volta, che gli strumenti posizionati hanno misurato pressioni statiche e non dinamiche.
Le misure effettuate sulle pareti del pozzo verticale non hanno invece registrato valori significativi di pressione.
Tali sollecitazioni sono state pertanto trascurate nel dimensionamento strutturale del manufatto.

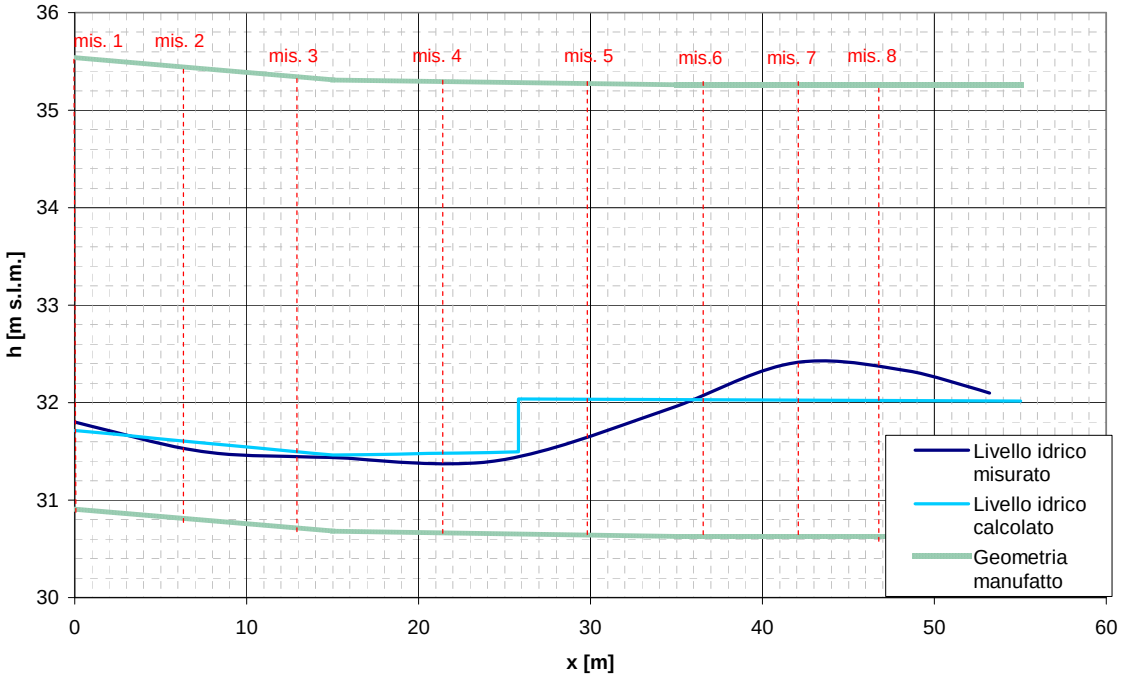


Fig. 6.21: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 8 mc/s

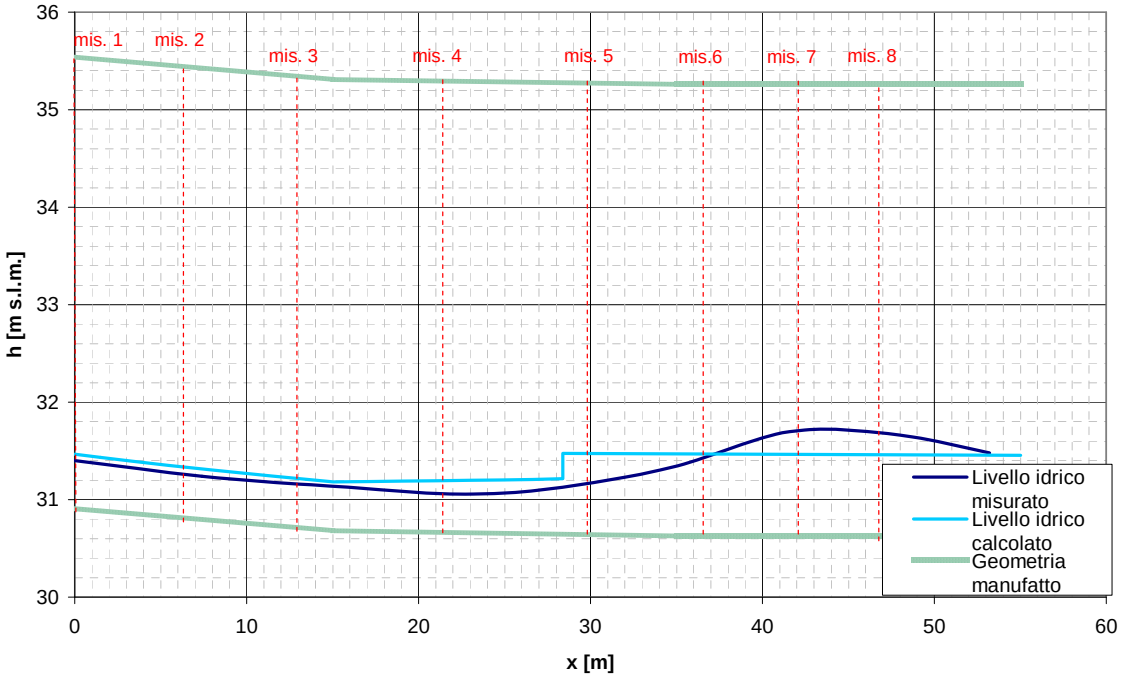


Fig. 6.22: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 4 mc/s

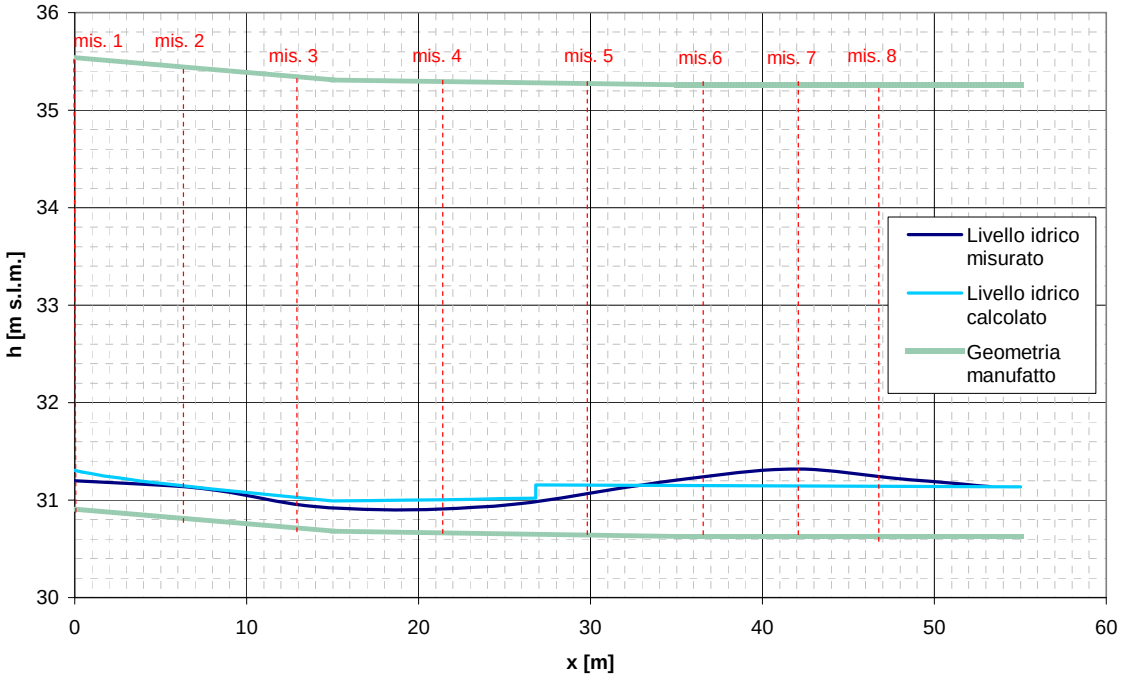


Fig. 6.23: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 2 mc/s

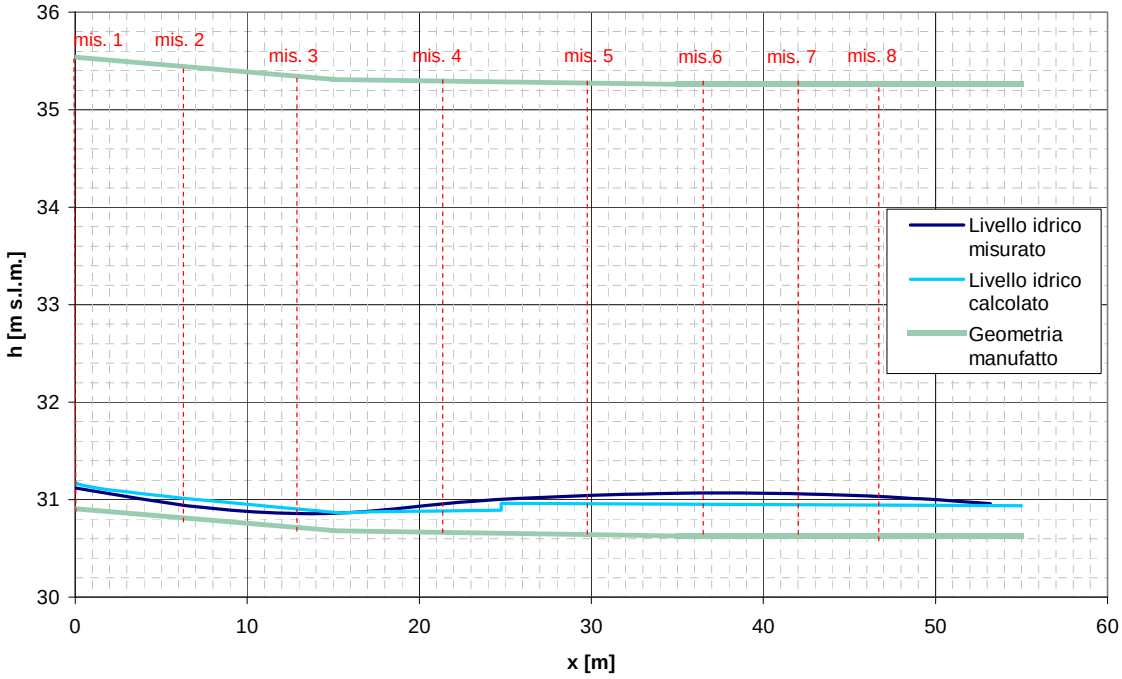


Fig. 6.24: Confronto tra il profilo idrico calcolato e misurato sul modello per Q = 1 mc/s

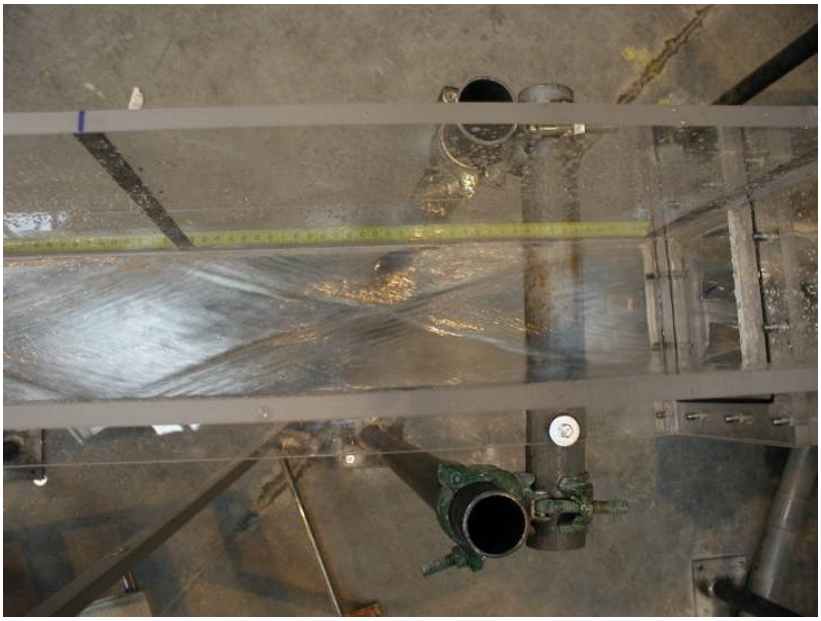


Fig. 6.25: Profilo di corrente veloce a monte del risalto per Q = 1 mc/s

Tab. 6.4: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 8 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					31.8	0.00
	Misuratore 2					31.5	7.40
	Misuratore 3					31.44	14.80
	Misuratore 4					31.4	24.40
	Misuratore 5					31.9	34.00
	Misuratore 6					32.4	41.60
	Misuratore 7					32.34	48.00
	Misuratore 8					32.1	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			23 - 25	4.6 - 5		
	Misuratore 10			23.5 - 24	4.7 - 4.8		
GALLERIA	Misuratore 11			4.5	0.9		
POZZO	P1	0.2					
	P2	0.2					
	P3	0.1					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	20.7					
	P5	21.8					
	P6	20.75					

Tab. 6.5: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 4 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					31.4	0.00
	Misuratore 2					31.24	7.40
	Misuratore 3					31.14	14.80
	Misuratore 4					31.06	24.40
	Misuratore 5					31.3	34.00
	Misuratore 6					31.7	41.60
	Misuratore 7					31.66	48.00
	Misuratore 8					31.48	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			21 - 22	4.1 -4.5		
	Misuratore 10			20.6 - 21	4 - 4.5		
GALLERIA	Misuratore 11			3	0.60		
POZZO	P1	0.00					
	P2	0.10					
	P3	0.00					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	18.00					
	P5	19.60					
	P6	18.00					

Tab. 6.6: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 2 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					31.2	0.00
	Misuratore 2					31.12	7.40
	Misuratore 3					30.92	14.80
	Misuratore 4					30.94	24.40
	Misuratore 5					31.18	34.00
	Misuratore 6					31.32	41.60
	Misuratore 7					31.22	48.00
	Misuratore 8					31.14	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			19	3.8		
	Misuratore 10			19	3.8		
GALLERIA	Misuratore 11				0.4		
POZZO	P1	0.2					
	P2	0.2					

	P3	0.1					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	16.5					
	P5	18.1					
	P6	16.5					

Tab. 6.7: Profilo idrico misurato sul modello per Q = 1 mc/s

		Pressione su modello	Pressione su prototipo	Tirante idrico H modello	Tirante idrico H prototipo	Quota idrica H	Progressiva X su prototipo
		[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
CANALE DI IMBOCCO AL VORTICE E CAMERA DEL VORTICE	Misuratore 1					31.12	0.00
	Misuratore 2					30.92	7.40
	Misuratore 3					30.86	14.80
	Misuratore 4					31.00	24.40
	Misuratore 5					31.06	34.00
	Misuratore 6					31.06	41.60
	Misuratore 7					31.02	48.00
	Misuratore 8					30.96	53.20
CAMERA DISSIPAZIONE	Misuratore 9			17.7	3.5		
	Misuratore 10			18.2	3.6		
GALLERIA	Misuratore 11			1	0.20		
POZZO	P1	0					
	P2	0.1					
	P3	0					
CAMERA DISSIPAZIONE	P4	15.3					
	P5	16.6					
	P6	15.3					

6.3.6.4 Prova n. 8: Portata limite (Q=26 mc/s)

È stata svolta infine una prova su modello volta alla determinazione della massima portata che possa transitare nell'opera, tale prova ha fornito un valore di portata pari a circa 26 m^3/s.

Anche in corrispondenza della portata massima ammissibile nel manufatto, il pozzo è risultato centrato rispetto all'asse del pozzo e ben areato.

La camera di dissipazione è risultata piena per il 90%, mentre nella galleria di collegamento si istaura dopo pochi metri un profilo indisturbato di altezza pari a 1.8 m (grado di riempimento 0.72).

6.4. Conclusioni

A seguito delle risultanze delle prove è emerso una buona rispondenza tra quanto ipotizzato in fase di dimensionamento preliminare e il comportamento idraulico del manufatto osservato sul modello fisico.
Il vortice che si forma in prossimità del pozzo è risultato per tutte le portate, anche per quelle maggiori della portata duecentennale, centrato rispetto all'asse del pozzo e non si è mai verificata la chiusura della zona areata all'interno del pozzo.
Per la portata duecentennale, la camera di dissipazione al piede del pozzo risulta tuttavia piena con un grado di riempimento pari a circa l' 85%.
Nel proseguo della progettazione definitiva si è quindi deciso di aumentare la dimensione della sezione di tale camera e della galleria di collegamento al fine di avere franchi idraulici maggiori.
In particolare la camera di dissipazione ha assunto sezione policentrica di diametro 12 mentre la galleria, per ragioni legate anche alla carrabilità della stessa, ha assunto anch'essa sezione policentrica di diametro pari a 3.2 m.

Dalle prove eseguite è emerso inoltre che per portate superiori alla portata duecentennale, fino a 26 mc/s, l'opera funziona in maniera ottimale; il manufatto funziona a pelo libero e il pozzo continua da essere areato e ben centrato.

7. APPENDICE: INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA (Lettera Prot. 48(170851) del 15.12.2006)

7.1. Impatto della cantierizzazione sul rischio di inondazione

Come descritto nell'elaborato PD1 CL 01 del progetto definitivo le fasi realizzative delle opere di presa sono state suddivise in quattro attività principali.
L'attività *A* comprende tutte quelle lavorazioni che non sono vincolate dalla realizzazione delle gallerie minori. In particolare comprendono le attività di realizzazione delle opere di presa fino alla esecuzione dei pozzi verticali.
L'attività *B* comprende le lavorazioni necessarie alla realizzazione delle camere di dissipazione. Tale attività ha inizio al compimento delle rispettive gallerie secondarie.
Al termine della realizzazione della camera di dissipazione e delle opere di superficie, possono essere realizzati i pozzi verticali (attività *C*).
Infine con l'attività *D* si terminano le opere rimaste incomplete, come ad es. la copertura della camera del vortice e la cameretta di accesso alla camera di dissipazione.
Si riportano di seguito le durate delle fasi sopra citate per ciascuna delle opere di presa:

Rio Fereggiano	**Rio Rovare**	**Rio Noce**
Fase A= 240 giorni	Fase A= 250giorni	Fase A= 120 giorni
Fase B= 120 giorni	Fase B= 125 giorni	Fase B= 120 giorni
Fase C= 160 giorni	Fase C= 120 giorni	Fase C= 120 giorni
Fase D= 80 giorni	Fase D= 85 giorni	Fase D= 85 giorni

Relativamente alla fase A seguirà per ciascun manufatto una breve descrizione delle modifiche alle condizioni di rischio durante i lavori.
Relativamente all'attività B essa non è esposta ad alcun rischio di esondazione non essendo ancora effettuata la continuità con i corsi d'acqua (attività C).
L'attività C è ancora non esposta ad aggravio di rischio in relazione al fatto che prima della sua esecuzione, nell'attività A, vengono poste in opera tutte le opere di intercettazione (provvisorie/definitive) che consentono di evitare l'ingresso di acqua nel pozzo in corso di costruzione. Ciò con riferimento ad eventi di piena con tempo di ritorno di almeno 5 anni che garantisce, durante la fase di cantiere, almeno lo stesso livello di rischio per il quale viene dimensionata l'opera definitiva con T=200 anni nella sua vita attesa di 50 anni.
Infine l'attività D riguarda attività complementari quasi esclusivamente poste al di fuori degli alvei.

Si descrivono ora brevemente le attività previste nella attività A di ciascun manufatto al fine di definire le eventuali modifiche alle condizioni di rischio idraulico.
In merito al manufatto di presa sul Rio Fereggiano, ad inizio dei lavori, nella fase 1 dell'attività A è stata prevista la posa di una tubazione di diametro interno pari a 1000 mm per la deviazione delle acque del rio in arrivo da monte, in modo tale da assicurare che tutte le lavorazioni si svolgano in piena sicurezza, possibilmente all'asciutto. Particolare attenzione andrà posta durante gli eventi piovosi, in occasione dei quali vi può essere il forte rischio di un innalzamento più o meno celere dei livelli idrici del torrente.
Le prime fasi dell'attività A prevedono infatti lavorazioni in alveo; si precisa che, a tutela delle maestranze, in fase esecutiva dei lavori dovrà essere definita una procedura di monitoraggio dei livelli che in caso di piogge intense o in caso di preallarme meteo prevederà l'interruzione dei lavori e l'evacuazione dell'area.
Si evidenzia tuttavia che durante tali operazioni non si parzializza quasi mai la sezione idraulica dell'alveo in modo significativo e quindi non si aggrava il rischio idraulico a cui sono sottoposte le abitazioni situate in destra idraulica.
Solo durante la fase n. 7 (completamento setto centrale e inserimento degli organi di manovra provvisionali), in concomitanza di un evento di piena, si possano verificare leggeri incrementi del livello idrico in alveo; tuttavia tale operazione è preceduta dalla fase 6 in cui si realizza l'innalzamento del muro in destra garantendo comunque la sicurezza delle abitazioni adiacenti.
Per quanto riguarda poi la realizzazione dell'opera di presa sul Rio Rovare (rappresentate nella tav. PD DS 510) si sottolinea che durante le attività A, (ma anche B e C) viene mantenuto in funzione l'alveo attuale del corso d'acqua.
Solo durante la fase 6 dell'attività D si demolisce parzialmente l'alveo esistente e si realizza il collegamento idraulico (di valle e di monte) dell'opera all'alveo esistente.
In tale fase però la corrente in arrivo da monte potrà essere recapitata nella galleria di collegamento e quindi nella galleria scolmatrice in quanto sia la camera di dissipazione che il pozzo verticale che la galleria fino a mare sono stati realizzati nelle fasi precedenti.
Per quanto riguarda infine la realizzazione dell'opera di presa sul Rio Noce, durante la fase 1 dell'attività A (come descritto nell'elaborato PD1 CL 01 e nella tav. PD1 DS 507) verranno allontanate le acque in arrivo da monte prima mediante la posa di una tubazione provvisionale e, dopo aver realizzato le armature degli scavi per la realizzazione del pozzo, di deviarle in modo definitivo.

In tal modo tutte le fasi di lavorazione seguenti potranno essere realizzate assicurando la continuità idraulica del corso d'acqua nelle medesime condizioni di rischio attuali.
Solo al termine delle lavorazioni, demolendo parte della parete del pozzo Carena, si potrà attivare il collegamento idraulico e mettere in funzione l'opera realizzata

7.2. Opportunità di realizzare opere di trattenuta del materiale solido

Come riportato nelle risultanze dell'analisi sedimentologica nessuno dei tre rii minori sembra avere la possibilità di giungere a saturazione in quanto i depositi a monte sono del tutto insufficienti.
Il rio Noce presenta un bacino idrografico molto piccolo, con apporti di sedimenti molto limitati in quantità, e con diametri che probabilmente non sono superiori a 60 mm; essendo inoltre l'alveo per lunghi tratti canalizzato, il trasporto solido che si potrà sviluppare su tale corso d'acqua è molto modesto.
Medesima situazione è stata riscontrata per il rio Rovare, dato che anch'esso viene canalizzato molto presto e le zone di apporto appaiono molto modeste.
Dalle indagini condotte, è emerso infine che il torrente Fereggiano è in grado di trasportare a valle materiale avente dimensioni massime che possono arrivare a 90 - 100 mm, ed è comunque poco probabile che possa giungere a saturazione perché, come già ricordato, le zone di apporto non sembrano ben sviluppate, anche a causa dell'intensa edificazione dei versanti adiacenti il corso d'acqua.
Tuttavia, come si ricorda nella relazione dedicata (PD1 RI 02), in seguito a considerazioni emerse durante incontri con il Committente e i propri Consulenti dell'Università di Genova, è stato studiato, in via del tutto cautelativa, il comportamento qualitativo dell'opera in presenza di sedimenti e materiale flottanti in alveo ed è stata valutata anche la possibilità di realizzare opere di trattenuta del materiale solido a monte dell'opera di captazione.
In sostanza, sebbene si sia ritenuto poco probabile un apporto significativo di materiale solido in corrispondenza dell'opera di presa, supponendo comunque possibili fenomeni di dissesto locali lungo il corso d'acqua, a monte dell'opera di presa, si sono realizzate prove aggiuntive sul modello fisico, che hanno permesso di indagare il comportamento dell'opera sia in presenza di materiale sciolto che in presenza di materiale di grosse dimensioni (automobile, lavatrice) in alveo.
Si rimanda alla relazione PD1 RI 02 per la descrizione dettagliata delle prove condotte sul modello fisico, atte a valutare l'impatto qualitativo del materiale solido trasportato dalla corrente sul funzionamento dell'opera.

Si evidenzia tuttavia in questa sede che dalle risultanze delle prove condotte si è capito che l'eventuale presenza di materiale solido in alveo, anche nel caso in cui raggiunga il pozzo, non compromette il funzionamento dell'opera in progetto.
È parso pertanto di ritenere non indispensabile la realizzazione di opere di trattenuta del materiale a monte dell'opera di captazione.
Viceversa il controllo dell'erosione del bacino e gli interventi di stabilizzazione di quelle aree ritenute potenzialmente a rischio è apparsa comunque un'attività consigliabile.

7.3. Interferenza con servizi e sottoservizi

Nelle tavole PD1 DS 400, PD1 DS 450 e PD1 DS 500, è stata riportata la planimetria dei sottoservizi presenti nelle aree interessate dalle aree di lavoro. In particolare è rappresentata la rete dell'acquedotto, della fognatura bianca e nera e del gas.
Per quanto riguarda l'opera sul Fereggiano si evidenzia l'interferenza con la fognatura nera, localizzata in alveo e per la quale il progetto prevede lo spostamento ed il suo completo riposizionamento, nonché quella con l'acquedotto su via Ginestrato.
L'opera in progetto sul Rovare è ubicata in un'area fortemente urbanizzata e potrà interferire con la fognatura nera e il gas lungo via Berno e con il gas in prossimità della piazza. Il posizionamento più preciso di tali reti, ed i vari spostamenti provvisori/definitivi, dovranno essere studiati nella successiva fase di progettazione esecutiva.
Per quanto riguarda infine l'opera di presa sul Noce è prevista l'interferenza con l'acquedotto appeso alla copertura del pozzo Carena e con la rete del gas per i quali sarà previsto lo spostamento provvisorio in fase di esecuzione dei lavori.

8. APPENDICE: ULTERIORI INTEGRAZIONI AL SIA RICHIESTE DALL'UFFICIO VIA DELLA REGIONE LIGURIA

8.1. Impatto della cantierizzazione sul rischio di inondazione

In merito alla cantierizzazione durante la realizzazione dell'opera di presa sul Rio Fereggiano, si precisa che il posizionamento della tubazione di diametro interno pari a 1000 mm nella fase 1 dell'attività A è da intendersi esclusivamente come presidio per consentire le lavorazioni in asciutto in condizioni di magra dell'alveo e non in corrispondenza degli eventi di piena. Tale tubazione, in condizioni di massimo riempimento riesce infatti a smaltire una portata di circa 5 mc/s, corrispondente ad un tempo di ritorno pari a quasi 2 anni.

Durante gli eventi di piena con tempi di ritorno dell'ordine di 5 anni (la durata delle lavorazioni in alveo è di circa 360 giorni), che garantiscono, durante la fase di cantiere lo stesso livello di rischio che avrebbe l'opera definitiva con T=200 anni considerando una vita attesa dell'opera di 50 anni, la sicurezza idraulica delle aree limitrofe e del cantiere stesso è connessa strettamente alle modalità esecutive ipotizzate.

Come infatti già illustrato nel progetto e nelle note precedenti, durante tali operazioni non si parzializzerà mai la sezione idraulica dell'alveo in modo significativo e quindi non si aggraverà mai il rischio idraulico a cui sono sottoposte le abitazioni situate in destra idraulica anche in corrispondenza di eventi con tempo di ritorno superiore a 2 anni.

Inoltre resta comunque inteso che, a tutela delle maestranze e dei mezzi, in fase esecutiva dei lavori dovrà essere definita una procedura di monitoraggio dei livelli che in caso di piogge intense o in caso di preallarme meteo prevederà l'interruzione dei lavori e all'evacuazione delle aree di lavoro.

8.2. Zone di apporto di materiale solido nel bacino

In merito alla necessità di realizzare opere di trattenuta del materiale solido sul Rio Fereggiano connessa alla presenza di un ex cava all'interno del bacino idrografico del corso d'acqua stesso, si precisa che le due piccole aree di deposito di materiali derivanti dagli scarti di lavorazione del complesso estrattivo si trovano presso la testata del bacino, e quindi molto distanti dall'opera di presa in progetto. Risulta quindi molto difficile immaginare una mobilitazione di tale materiale in grado di svilupparsi fino all'opera in progetto.

Si richiama inoltre come lo studio sedimentologico, realizzato in fase preliminare alla progettazione, abbia evidenziato per il T. Fereggiano zone di apporto del materiale non ben sviluppate, con conseguenza impossibilità da parte del corso d'acqua di raggiungere la saturazione con gli apporti dei sedimenti di monte.

Occorre inoltre precisare che per le suddette piccole aree R3 (classe di rischio molto alto) il Piano di Bacino non prevede interventi specifici di stabilizzazione del suolo, ma solo *"interventi di manutenzione e pulizia generale dell'alveo con eliminazione di tutti i manufatti precari, i depositi di materiale e quant'altro possa interferire con il regime idraulico del rio Fereggiano"* da realizzare a breve termine.

In proposito sono stati effettuati sopralluoghi specifici, con particolare riferimento alle briglie di trattenuta del materiale poste lungo l'asta del torrente Finocchiara, affluente del Fereggiano sul cui bacino insiste la ex cava in questione.

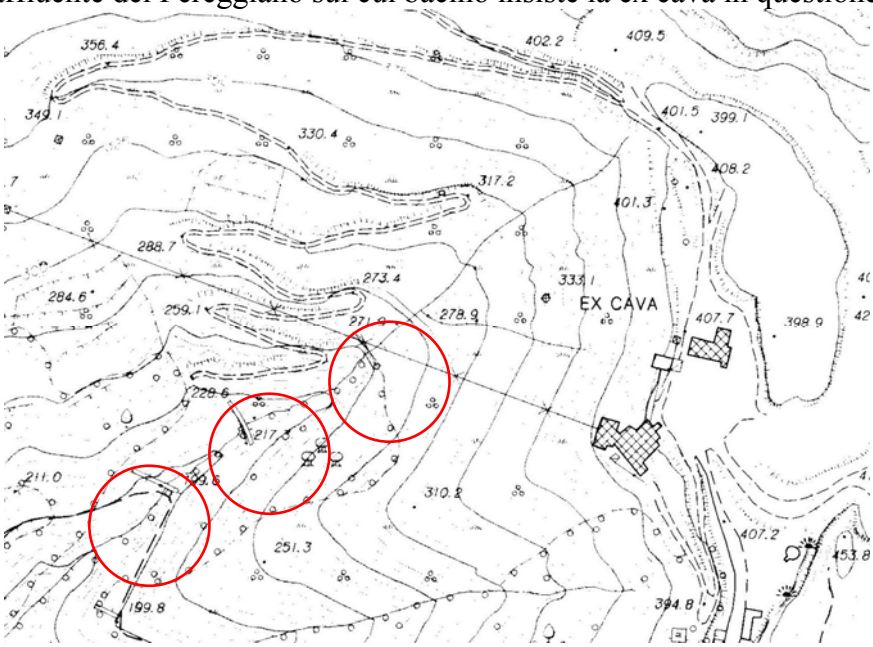


Fig. 1 – C.T.R. del tratto sommitale del Rio Finocchiara. Evidenziate in rosso le opere di trattenuta.

Come osservabile dall'estratto della Carta Tecnica Regionale (Fig. 1), le opere in questione sono tre: quella posta a quota più bassa è un ponte di attraversamento realizzato a servizio del Poligono di Tiro, mentre le due opere di trattenuta, più a monte, sono state probabilmente realizzate da Italcementi nell'ambito dello sfruttamento della cava di Forte Ratti.

Nessuno dei tre manufatti costituisce opera di III° categoria.

Entrambe le opere di trattenuta risultano generalmente in buono stato di conservazione; quella posta a monte è realizzata in gabbionate (fig. 2) e presenta lievi sbrecciature dell'ultima fila di gabbioni in corrispondenza della spalla in sponda destra (fig. 3); la briglia di valle (figg.4 e 4bis), realizzata in muratura, non presenta alcun segno di debolezza; entrambe risultano colme del materiale di smarino (Fig. 5).

A tale riguardo si ritiene utile proporre la previsione di riadattare la viabilità di cantiere ai fini manutentivi e di prevederne lo svuotamento.

La crescita della vegetazione su tutti i versanti (figg. 6) conferma la complessiva stabilizzazione dl materiale detritico.

In conclusione si ritiene di poter confermare la soluzione di progetto proposta relativamente al manufatto di presa del T. Fereggiano, evidenziando la necessità di provvedere periodicamente allo svuotamento delle briglie di monte, al monitoraggio delle stesse e, aspetto di primaria importanza per qualsiasi corso d'acqua, alla manutenzione di tutto il tracciato dell'asta torrentizia ora e nel tempo. Peraltro, qualora emergesse la necessità di interventi di manutenzione/svuotamento delle briglie di monte da realizzarsi con cadenza temporale troppo frequente, si potrà valutare l'opportunità di intervenire nella parte di monte con ulteriori dispositivi di trattenuta.



Fig. 2 : opera di trattenuta di monte, realizzata in gabbioni



Fig. 3: sbrecciatura dell'ultima fila di gabbionate in corrispondenza della sponda destra.





Figg. 4 e 4 bis: briglia di valle, realizzata in muratura.



Fig. 5: stato di riempimento della briglia di monte e ricrescita della vegetazione.



Fig. 6: la vegetazione ha complessivamente colonizzato tutta la testata di valle del Rio Finocchiara