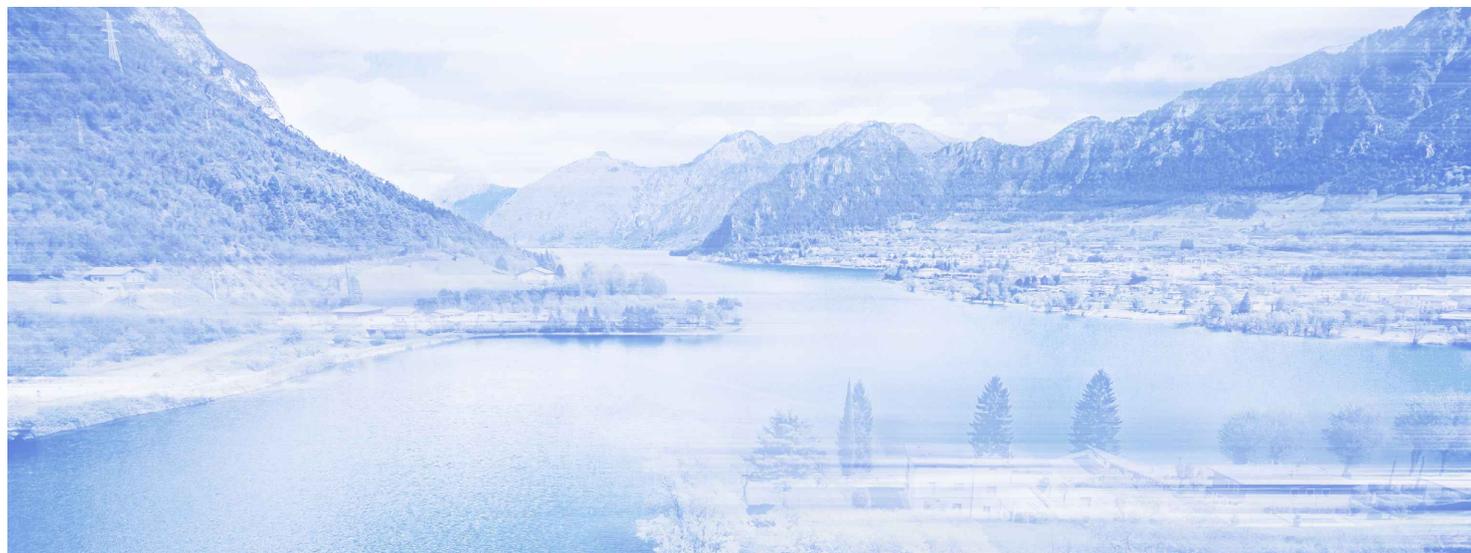


# NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI



## PROGETTO ESECUTIVO

### GENERALE

### IDROLOGIA - IDRAULICA

### Relazioni tecniche delle modellazioni fisiche

Fase PE	Ambito 000	Opera IDR	Argomento ID	Progressivo 002	Tipo elaborato RT	Revisione A
Redatto N. M. Colombo		Controllato N. M. Colombo		Approvato S. Croci		Scala - Data 30/09/22

 Agenzia Interregionale per il fiume Po	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  Ing. M. Vergnani	
	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ALPINA S.p.A.  Ing. Paola Erba	PROGETTAZIONE ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.  Ing. Stefano Croci

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	30/09/2022	Prima emissione	N. M. Colombo	N. M. Colombo	S. Croci
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-



## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	RELAZIONI TECNICHE DELLE MODELLAZIONI FISICHE .....	4

## 1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato, che costituisce parte integrante della progettazione esecutiva delle “Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago d’Idro” è costituito dalle relazioni tecniche del modello fisico realizzato nell’ambito della prima versione del progetto esecutivo, redatto nel 2018 dal raggruppamento temporaneo costituito da SINA S.p.A., S.E.P.I. s.r.l. e Ing. Yos Zorzi per conto dell’impresa appaltatrice ITINERA S.p.A..

In particolare, il modello fisico è stato progettato, realizzato e condotto dal Prof. Marco Mancini del Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e dalla società d’ingegneria MMI s.r.l..

L’attività di modellazione fisica è stata seguita anche dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche, che nel corso delle attività di modellazione ha formalizzato alcune osservazioni e richieste di studio di soluzioni progettuali alternative, recepite mediante modifiche del modello ed esecuzione di nuove prove, che hanno portato alla variazione di alcune caratteristiche dimensionali della galleria e del manufatto di sbocco rispetto a quanto previsto nel progetto definitivo approvato.

Le relazioni di seguito riportate descrivono le attività condotte, le modifiche apportate e i risultati ottenuti.

Nell’ambito della presente progettazione esecutiva, tenuto conto anche del fatto che il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche ha condiviso le risultanze finali della modellazione effettuata dal Prof. M Mancini e della società MMI s.r.l., non sono state condotte ulteriori prove su modello fisico (oltretutto il modello realizzato nel 2018 non è più disponibile).

Si è ritenuto che tutto quello che era emerso dalla precedente attività modellistica fosse sufficiente a consentire di redigere l’aggiornamento del progetto esecutivo delle “nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del Lago d’Idro”.

## 2 RELAZIONI TECNICHE DELLE MODELLAZIONI FISICHE



# REGIONE LOMBARDIA



INFRASTRUTTURE LOMBARDE SpA

Via Pola, 12/14 - 20124 Milano

## NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO PROGETTO ESECUTIVO

APPALTATORE



ITINERA S.p.A.  
Via M. Balustrata, 15  
15057 Tortona (AL)



A.T.I. PROGETTAZIONE



SINA S.p.A.  
Viale Isonzo, 14/1  
20135 Milano

PROGETTISTI:

Ing. Fabrizio Colla  
Ordine degli Ingegneri di Milano al n. A 20355

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE  
DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Fabrizio Colla  
Ordine degli Ingegneri di Milano al n. A 20355



S.E.P.I. S.r.l.  
Via F.lli Perini, 93  
38122 Trento

Ing. Marco Meneguzzer  
Ordine degli Ingegneri di Trento al n. 1483, Sez. A

COORDINATORE PER LA SICUREZZA  
IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Marco Meneguzzer  
Ordine degli Ingegneri di Trento al n. 1483, Sez. A



Ing. Yos Zorzi  
Via Medicine, 183/f  
41057 Spilamberto (MO)

Ing. Lorenzo Belicchi  
Ordine degli Ingegneri di Parma al n. 1685, Sez. A

Ing. Yos Zorzi  
Ordine degli Ingegneri di Modena al n. 2127, Sez. A

TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI  
IDROLOGIA - IDRAULICA  
Idraulica  
Relazioni tecniche delle modellazioni fisiche

PROGETTISTA

CODICE ELABORATO

progetto fase lotto zona opera tratto ambito tipo progressivo rev.

E 0 0 6 0 9 A E - X 0 0 R I 0 0 0 0 I R R I 0 2 1 0

DATA

31.10.2018

SCALA

NOME FILE

E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IR\_RI\_021\_0

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	31/10/2018	Prima emissione	Curti	Meucci	Mancini

INFRASTRUTTURE LOMBARDE S.p.A.



# REGIONE LOMBARDIA



INFRASTRUTTURE LOMBARDE SpA

Via Pola, 12/14 - 20124 Milano

## NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO PROGETTO ESECUTIVO

### APPALTATORE



ITINERA S.p.A.  
Via M. Balustra, 15  
15057 Tortona (AL)

### A.T.I. PROGETTAZIONE



SINA S.p.A.  
Viale Isonzo, 14/1  
20135 Milano



S.E.P.I. S.r.l.  
Via F.lli Perini, 93  
38122 Trento

Ing. Yos Zorzi  
Mandante

Ing. Yos Zorzi  
Via Medicine, 183/f  
41057 Spilamberto (MO)

### PROGETTISTI:

Ing. Fabrizio Colla  
Ordine degli Ingegneri di Milano al n. A 20355

Ing. Marco Meneguzzer  
Ordine degli Ingegneri di Trento al n. 1483, Sez. A

Ing. Lorenzo Belicchi  
Ordine degli Ingegneri di Parma al n. 1685, Sez. A

Ing. Yos Zorzi  
Ordine degli Ingegneri di Modena al n. 2127, Sez. A

### RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Fabrizio Colla  
Ordine degli Ingegneri di Milano al n. A 20355

### COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Marco Meneguzzer  
Ordine degli Ingegneri di Trento al n. 1483, Sez. A

### TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI  
IDROLOGIA - IDRAULICA  
Modello fisico  
Relazione tecnica modello fisico

### TIMBRO E FIRMA

Progettazione modello fisico:



Via Arliberto n° 1, 20123 Milano  
P.IVA n° 04198500961  
[info@mmidro.it](mailto:info@mmidro.it), [www.mmidro.it](http://www.mmidro.it)  
cont. +39-0258113831

DIRETTORE TECNICO  
Ing. Stefania Meucci



### CODICE ELABORATO

progetto fase lotto zona opera tratto ambito tipo progressivo rev.

E 0 0 6 0 9 A E - X 0 0 R I 0 0 0 0 I R R T 0 2 4 1

### DATA

febbraio 2018

### SCALA

-

### NOME FILE

E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IR\_RT\_024\_1

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	14/09/2017	Prima emissione	D.Curti	S.Meucci	M.Mancini
1	07/02/2018	Seconda emissione con prove su modello	D.Curti	S.Meucci	M.Mancini

INFRASTRUTTURE LOMBARDE S.p.A.



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE**  
 PROF. ING. MARCO MANCINI  
 EMAIL [marco.mancini@polimi.it](mailto:marco.mancini@polimi.it)



**MMI s.r.l.**  
 Via Ariberto 1, 20123 Milano  
 Tel. e Fax (+39) 02-58113831  
 e-mail: [info@mmidro.it](mailto:info@mmidro.it)



**A cura di**

 <p>Infrastrutture Lombarde</p>	<p>RUP: Arch. C. Nava          DIREZIONE LAVORI: Ing. G. Fariello</p>
 <p>ITINERA</p>	<p>RESPONSABILE: Ing. E. Castellet, Ing. M. Deamici          PROGETTISTI: Ing. Y. Zorzi, Ing. A. Bolognesi          SINA S.p.a.: Ing. F. Colla, Ing. G. Massone</p>
 <p>Modellistica e Monitoraggio Idrologico</p>	<p>PROGETTAZIONE MODELLO E MISURE:          Ing. D. Curti, Dott. V. Herrera Gomez, Ing. S. Meucci</p>
<p>OCE S.p.a.</p>	<p>OPERE MURARIE: Ing. A. Bettini</p>
<p>Zocco S.n.c.</p>	<p>OPERE IN PLEXIGLASS: C. Zocco</p>
 <p><b>POLITECNICO MILANO 1863</b></p>  <p>Fondazione Politecnico di Milano</p>	<p>LABORATORIO FANTOLI, DICA - Politecnico di Milano          OPERE IN PVC E IN LEGNO: R. Cantù, I. Colombo          OPERE MECCANICHE: G. Milleo          COORDINAMENTO: Ing. G. Crotti          DIRETTORE: Prof. S. Malavasi          Scienza e Ingegneria dell'Acqua (SIA), DICA - Politecnico di Milano          COLLABORAZIONE ALLE MISURE: Dott. A. Ceppi, Ing. M. Feki, Ing. G. Lombardi, A. Panzeri, Prof. G. Ravazzani, Prof. C. Corbari          COORDINAMENTO SCIENTIFICO: Prof. Ing. Marco Mancini</p>



## INDICE

<b>1</b>	<b>CONSIDERAZIONI DI SINTESI</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>PROGETTO E REALIZZAZIONE DEL MODELLO</b> .....	<b>7</b>
2.1	LA PRESA DAL LAGO E IL TRATTO INIZIALE DI GALLERIA (TRATTO A-B, DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29) 10	
2.2	TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE DI GALLERIA (TRATTO B-C, DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16) 15	
2.3	TRATTO TERMINALE DI GALLERIA (TRATTO C-D, DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1) .....	17
2.4	IL CANALE DI RESTITUZIONE IN CHIESE (TRATTO D-E, DA PROG. 3220 A PROG. 3570 CM) .....	19
2.5	CONFLUENZA: CANALE DI RESTITUZIONE - FIUME CHIESE .....	20
2.6	MATERIALI DI COSTRUZIONE E SCABREZZE IDRAULICHE .....	21
2.6.1	<i>La galleria</i> .....	21
2.6.2	<i>Il canale di restituzione</i> .....	22
2.6.3	<i>Il tratto di confluenza</i> .....	23
2.7	IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE .....	23
2.8	LE CONDIZIONI AL CONTORNO .....	24
<b>3</b>	<b>IL SISTEMA DI MISURA</b> .....	<b>27</b>
3.1	MISURE DI PORTATA.....	27
3.2	MISURE DI LIVELLO.....	28
3.3	MISURE DI PRESSIONE IN CALOTTA .....	29
3.4	MISURE DI VELOCITÀ IN GALLERIA .....	29
3.5	MISURE DI VELOCITÀ LUNGO IL TRATTO DI CONFLUENZA .....	31
<b>4</b>	<b>LE PROVE</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>PROVE DI TIPO A: PORTATA ASSEGNATA E PARATOIE APERTE</b> .....	<b>33</b>
5.1	IMBOCCO E GALLERIA TRATTO INIZIALE (DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29).....	34
5.1.1	<i>Livelli</i> .....	34
5.1.2	<i>Velocità</i> .....	38
5.1.3	<i>Pressioni in calotta</i> .....	39
5.2	GALLERIA TRATTO RETTILINEO (DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16).....	40
5.2.1	<i>Livelli</i> .....	40
5.2.2	<i>Velocità</i> .....	45
5.2.3	<i>Pressioni in calotta</i> .....	46
5.3	GALLERIA TRATTO TERMINALE (DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1).....	46
5.3.1	<i>Livelli</i> .....	46
5.3.2	<i>Velocità</i> .....	52
5.4	CANALE DI RESTITUZIONE (DA PROG. 3220 CM A PROG. 3570 CM) .....	53
5.4.1	<i>Livelli</i> .....	53
5.4.2	<i>Velocità</i> .....	55
5.4.3	<i>Pressioni in calotta</i> .....	56
5.5	CONFLUENZA .....	57
5.5.1	<i>Livelli</i> .....	57
5.5.2	<i>Velocità</i> .....	57
<b>6</b>	<b>ULTERIORI PROVE DI TIPO A</b> .....	<b>58</b>
6.1	GALLERIA CON PENDENZA 9% DELLO SCIVOLO TERMINALE .....	58
6.1.1	<i>Galleria tratto terminale e canale di restituzione</i> .....	58
6.1.2	<i>Confluenza</i> .....	60
6.2	PORTATA MASSIMA SMALTIBILE A PELO LIBERO .....	61
6.3	PORTATA MASSIMA SMALTIBILE IN PRESSIONE PER LIVELLO DI MASSIMO INVASO.....	61



6.3.1	Pressioni in calotta.....	62
6.4	PROFILI DEI LIVELLI LUNGO LO SVILUPPO DEL MODELLO .....	63
<b>7</b>	<b>PROVE DI TIPO B: FUNZIONAMENTO PER DIVERSI GRADI DI APERTURA DELLE PARATOIE .....</b>	<b>67</b>
7.1	SCALE DI DEFLUSSO .....	67
7.2	IMBOCCO E GALLERIA TRATTO INIZIALE (DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29).....	70
7.2.1	Livelli .....	70
7.2.2	Velocità .....	81
7.2.3	Pressioni in calotta.....	82
7.3	GALLERIA TRATTO RETTILINEO (DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16).....	84
7.3.1	Livelli .....	84
7.3.2	Velocità .....	95
7.3.3	Pressioni in calotta.....	96
7.4	GALLERIA TRATTO TERMINALE (DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1).....	98
7.4.1	Livelli .....	98
7.4.2	Velocità .....	109
<b>8</b>	<b>ULTERIORI PROVE DI TIPO B .....</b>	<b>110</b>
8.1	FUNZIONAMENTO PER LIVELLO DI MASSIMO INVASO E PORTATA DI PROGETTO .....	110
8.1.1	Imbocco e galleria tratto iniziale (da prog. 0 a prog. 940 cm, conci 44-29).....	110
8.1.2	Galleria tratto rettilineo (da prog. 940 cm a prog. 2140 cm, conci 28-16).....	112
8.1.3	Galleria tratto terminale (da prog. 2140 cm a prog. 3220 cm, conci 15-1).....	116
8.1.4	Canale di restituzione (da prog. 3220 cm a prog. 3570 cm).....	119
8.1.5	Confluenza .....	120
<b>9</b>	<b>PROVE DI TIPO C: INTERAZIONE TRA GALLERIA E FIUME CHIESE .....</b>	<b>121</b>
9.1	GALLERIA TRATTO TERMINALE E CANALE DI RESTITUZIONE.....	121
9.1.1	Livelli .....	121
9.1.2	Velocità .....	124
9.1.3	Pressioni in calotta.....	125
9.2	CONFLUENZA.....	126
9.2.1	Livelli .....	126
9.2.2	Velocità .....	127
<b>10</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>127</b>
	<b>APPENDICE A: DOCUMENTAZIONE VIDEO .....</b>	<b>132</b>
	<b>APPENDICE B: CALIBRAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA.....</b>	<b>133</b>



## 1 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

La presente relazione descrive la progettazione, la realizzazione e i risultati delle prove di funzionamento del modello fisico della nuova galleria di scarico del Lago d'Idro a supporto della progettazione definitiva.

Il modello fisico della galleria di scarico del lago d'Idro è stato realizzato presso il Laboratorio Fantoli del Politecnico di Milano, in particolare, la sua realizzazione è stata commissionata dalla società ITINERA S.p.a. a Fondazione Politecnico di Milano, mentre la progettazione del modello e le relative misure sono state condotte dalla società Modellistica e Monitoraggio Idrologico (MMI S.r.l.) sotto la direzione scientifica del Prof. Ing. Marco Mancini, professore di Sistemazione di Bacini Idrografici ordinario di costruzioni idrauliche presso il Politecnico di Milano.

La realizzazione del modello ha seguito quanto riportato nel capitolato d'onere aggiungendo a quanto previsto la possibilità di realizzare un modello unico, grazie alle dimensioni del Laboratorio Fantoli, a fronte di due modelli, uno per l'imbocco e uno per lo sbocco, previsti. In tal modo il modello fisico realizzato in unica soluzione ha assicurato una rappresentazione del processo di moto lungo l'intera opera evitando le incertezze di rappresentazioni al contorno interne dello schema a due modelli.

Il modello fisico, realizzato in scala geometrica 1:30 e in similitudine di Froude, lungo complessivamente 43.6 m di cui 32.2 m di sviluppo di galleria, è stato composto dalle seguenti parti:

- opera di presa dal lago
- galleria a sezione rettangolare (15.0 x 15.0 cm) con funzionamento in pressione e a pelo libero
- sezione di controllo con paratoie di chiusura e regolazione
- galleria tratto convergente tra camera paratoie e sezione policentrica (h=23.2 cm, L=23.2 cm)
- galleria tratto curvilineo a sezione policentrica
- galleria tratto rettilineo principale a sezione policentrica
- galleria tratto curvilineo a sezione policentrica
- galleria tratto rettilineo terminale con transizione a sezione fondo piano (h=23.2 cm, L=23.2 cm)
- canale di restituzione in Chiese (due canne h=16.8 cm, L=30 cm)
- tratto del fiume Chiese interessato dalla confluenza della galleria (Larg=2.2 m, Lung=9.3 m)

**I materiali usati per la costruzione del modello** sono stati: i) plexiglass per la galleria nella sua interezza; ii) PVC e fondo in legno verniciato per il canale di restituzione; iii) cls alleggerito per il tratto di confluenza.



**Le portate di funzionamento** del modello sono state una serie di combinazioni tra quelle smaltite dal Fiume Chiese e quelle smaltite dalla galleria, indicate nel capitolato d'oneri, la cui somma al nodo di confluenza non è mai maggiore rispetto alla portata millenaria in uscita dal Lago d'idro pari a 332 mc/s.

I risultati della modellazione fisica hanno permesso di identificare la geometria più idonea nei tratti a geometria variabile tra quelle da analizzare, oltre a una serie di osservazioni e considerazioni sul funzionamento.

**La configurazione geometrica del modello** nelle sue parti a geometria variabile è stata individuata per affinamenti successivi, a seguito di diverse prove di funzionamento, nella seguente configurazione:

- tratto convergente di monte con scivolo al 12%
- scivolo terminale al 9%
- soglie di fondo del canale di restituzione con altezza 2 cm

**Il funzionamento del modello** è stato testato per assegnata geometria per diverse portate e grado di apertura delle paratoie. Le considerazioni principali sono di seguito descritte a supporto degli eventuali sviluppi della progettazione.

La portata di progetto (67 l/s) è smaltibile senza che la galleria vada in pressione nei seguenti casi:

**Caso 1** – con paratoie completamente aperte, con un livello di invaso circa 1.5 m inferiore rispetto alla quota di massimo invaso di 371.23 m slm

**Caso 2** – con paratoie aperte per l'87% con la quota di massimo invaso (371.23 m slm)

Nel *Caso 1* la sezione policentrica alla fine del tratto rettilineo (sezione 15.06, prog. 2130 cm) presenta un grado di riempimento medio dell'82% con in destra un valore locale massimo dell'84%. La sezione del tratto terminale della galleria appena a monte della transizione tra sezione policentrica e sezione a fondo piano (sezione 24, prog. 2996 cm) presenta un grado di riempimento medio della sezione dell'81%.

Nel *Caso 2* la parzializzazione delle paratoie corrispondente a un grado di apertura dell'87% ( $h_{luce}=13.0$  cm su 15.0 cm di completa apertura) permette lo smaltimento della portata con un grado di riempimento medio dell'80% e con un valore massimo in destra dell'82%. I livelli idrici sono inferiori al *Caso 1* perché nello specifico scenario di corrente veloce ritardata, la parzializzazione della luce induce una maggiore energia specifica alla corrente determinata dalla maggiore componente cinetica.



La sezione del tratto terminale della galleria appena a monte della transizione tra sezione policentrica e sezione a fondo piano (sezione 24, prog. 2996 cm) presenta in questo caso un grado di riempimento medio del 78%.

**Si evidenzia la “delicatezza idraulica” di questi specifici tratti della galleria** che presentano un livello energetico che è al di sopra del cielo della galleria, aspetto che unitamente alla forma della sezione chiusa, al tipo di corrente veloce ritardata, alla limitata differenza tra energia di monte e energia critica e relativi tiranti idrici, fa sì che piccole variazioni dalla condizione di esecuzione del progetto e di esercizio della galleria potrebbero mandare in pressione il tronco di galleria nelle progressive della parte terminale del tratto rettilineo e a monte della sezione a fondo piano del tratto terminale per portata millenaria ( $Q=67$  l/s).

**La portata massima smaltibile a pelo libero in galleria** a paratoie completamente aperte è,  $Q_{\max PL}=70.4$  l/s (347 mc/s nel prototipo). Il livello che si instaura nel serbatoio di monte corrisponde a circa 370.0 m slm che è inferiore al massimo invaso. Essa è stata individuata prima che la galleria vada in pressione nella sezione 15.06 alla progressiva 2140 cm.

**La portata massima smaltibile con funzionamento in pressione con livello di massimo invaso** (371.23 m slm) è  $Q_{\max P}=77.3$  l/s (381 mc/s nel prototipo) a paratoie completamente aperte. In questo scenario la galleria va in pressione nel tratto rettilineo principale di galleria e nel tratto terminale a monte della transizione tra sezione policentrica e sezione a fondo piano.

**La massima velocità della corrente in galleria** associata alla portata di progetto  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (*Caso 2*, apertura paratoie 87%) è di circa 2.43 m/s (13.30 m/s nel prototipo).

**La velocità della corrente alla confluenza con il fiume Chiese** del canale di restituzione con  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (*Caso 2*, apertura paratoie 87%) è di 1.42 m/s (7.78 m/s prototipo) nel punto di misura V8, mentre con livello di funzionamento a paratoie completamente aperte (*Caso 1*) è di 1.22 m/s (6.70 m/s nel prototipo).

**Il canale di restituzione** nel *Caso 2* (grado di apertura paratoie 87%) riduce la velocità di circa 1.53 m/s (circa 8.36 m/s nel prototipo), calcolata tra la sezione di monte del canale (a valle dello scivolo, inizio tratto divergente) e quella subito a valle delle soglie sporgenti, tramite la scabrezza complessiva del canale costituito dal fondo relativamente liscio e dalle soglie di altezza 2 cm. Nel *Caso 1* (paratoie completamente aperte), invece, per le stesse sezioni, la riduzione di velocità è di circa 1.16 m/s (6.36 m/s nel prototipo).

**Le velocità della corrente** nell'alveo del Chiese, a valle della confluenza (punto di misura V9) sono:



Tabella I. Velocità in Chiese a valle della confluenza

Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
67	0	0.63	3.45
45	0	0.85	4.68
22	0	0.82	4.49
45	22	0.51	2.80
22	45	0.56	3.07
22	22	0.34	1.84

**Gli aerofori**, posizionati sia nella camera delle paratoie che nel tratto divergente del canale di restituzione, sono sufficienti in quanto non si osservano pressioni negative significative nella parte di sezione areata della galleria. Valori indicativi delle massime pressioni negative in calotta sono dell'ordine dei 4-6 cm di colonna d'acqua per la portata di progetto di 67 l/s.

**Il setto di separazione nella mezzeria del tratto convergente** aiuta a contenere le oscillazioni del pelo libero. Per la portata di progetto  $Q=67$  l/s viene leggermente tracimato dalle oscillazioni del livello idrico e presenta fenomeni di scia con cavitazione anche per le portate inferiori.

**Il raccordo tra le pareti della galleria e l'inizio delle pareti del canale di restituzione** mostra, soprattutto per le portate di 67 l/s e 45 l/s, un fenomeno di scia.

**Il setto strutturale del canale di restituzione** produce un innalzamento localizzato della corrente (baffo di prua) che impatta sulla copertura del canale.

Sono allegate alla presente relazione le riprese video delle condizioni di funzionamento più rappresentative.

## 2 PROGETTO E REALIZZAZIONE DEL MODELLO

Il modello è stato realizzato in unica soluzione secondo la similitudine di Froude in scala geometrica 1:30, permettendo di riprodurre, osservare e misurare i processi di moto all'imbocco, nel tratto corrente della galleria e allo sbocco, permettendo inoltre di valutare i processi di dissipazione sia all'imbocco che allo sbocco nell'alveo del Chiese.

I modelli fisici vengono comunemente distinti in modelli simili, modelli distorti e modelli analogici<sup>1</sup>. I modelli simili rispettano la cosiddetta similitudine meccanica. In questi il rapporto, o scala di riduzione, è unico per tutte le grandezze che abbiano le stesse dimensioni. Il rapporto  $\lambda$  tra le lunghezze nel modello e le corrispondenti lunghezze nel prototipo è la scala geometrica del modello. Come ben noto nei modelli idraulici la similitudine non è mai completa e si opta per similitudini

<sup>1</sup> Longo Sandro, *Analisi Dimensionale e Modellistica Fisica*, Springer, 2010



parziali, aspetto che porta in genere a trascurare alcune particolarità del moto rispetto a quelle che si vogliono riprodurre. Le più utilizzate sono la similitudine di Froude, la similitudine di Reynolds e la similitudine di Eulero. La similitudine di Froude, in particolare, riguarda moti a superficie libera, nei quali si possa rinunciare a rappresentare gli effetti della viscosità.

Per comodità di lettura si riportano di seguito i rapporti di scala tra le grandezze per le grandezze di interesse della modellazione fisica sono.

Tabella II. Rapporti di scala per le diverse grandezze fisiche in similitudine di Froude, scala 1:30

Grandezze	Rapporto	$\lambda$ (modello)	$1/\lambda$ (prototipo)
altezze	$\lambda_h = \frac{1}{30}$	0.0333	30
lunghezze	$\lambda_l = \lambda_h$	0.0333	30
aree	$\lambda_A = \lambda_h \lambda_l$	0.0011	900
portate	$\lambda_Q = \lambda_h^{5/2}$	0.00020	4929.50
velocità	$\lambda_V = \frac{\lambda_Q}{\lambda_A}$	1.76	0.57
scabrezze	$\lambda_{Ks} = \frac{\lambda_V}{\lambda_h^{2/3}}$	0.1826	5.48
pressioni	$\lambda_p = \lambda_h$	0.0333	30
masse	$\lambda_m = \lambda_A \lambda_p$	0.000037	27000
tempi	$\lambda_t = \frac{\lambda_h}{\lambda_l}$	0.1826	5.48
accelerazioni	$\lambda_a = \frac{\lambda_h}{\lambda_t^2}$	1	1
forze	$\lambda_F = \lambda_m \lambda_a$	0.000037	27000

La realizzazione di un unico modello è migliorativa rispetto alle possibilità di due modelli separati, poiché all'ipotesi che il livello di valle in galleria sia indipendente dal livello di monte tanto da ipotizzare due modelli, aggiunge la continuità idraulica. In tal modo il modello fisico in unica soluzione assicura una rappresentazione del processo lungo l'intera opera senza le incertezze tipiche che la realizzazione in due tronchi comporterebbe nell'assegnazione di condizioni al contorno interne. In particolare, la soluzione di modello unico:

- permette di osservare i processi di moto dall'imbocco allo sbocco della galleria in continuità idraulica senza l'introduzione di condizioni al contorno interne
- evita la ricostruzione di condizioni al contorno interne difficilmente controllabili che possono essere instabili sia in ingresso che in uscita dai due eventuali tronchi di modello
- garantisce per continuità, in ciascuna prova, un'unica misura identica delle portate in ingresso all'imbocco e in uscita dallo sbocco



- permette la riproduzione del processo di moto in contemporanea su tutti i tratti significativi del modello (imbocco, sbocco, sezione corrente), garantendo maggiore accuratezza nella riproduzione dell'intero processo di moto. Condizione quest'ultima che ha permesso di cogliere la “delicatezza idraulica” della sezione terminale del tratto centrale di galleria per effetto della curva a valle
- permette una più agevole e rapida riproducibilità delle prove di funzionamento per le diverse geometrie dell'imbocco e dello sbocco in contemporanea

La realizzazione del modello ha riprodotto in scala 1:30 tutte le geometrie previste nel progetto, ad eccezione del tratto rettilineo principale di galleria a sezione corrente di 740 m nel prototipo, di cui sono stati riprodotti solo 360 m, corrispondenti in scala a 12.0 m. Tale valore è stato definito, oltre che dallo spazio utile disponibile in laboratorio, dall'analisi numerica del profilo idraulico del prototipo le cui condizioni vengono raggiunte dal modello in scala per una lunghezza di 11.2 m (335 m nel prototipo), ossia inferiore ai 12 m riprodotti in laboratorio.

Il modello fisico, con una lunghezza di 43.6 m e una larghezza di 9.3 m, è stato realizzato al piano terreno del laboratorio Fantoli del Politecnico (Tavola “Planimetria del laboratorio con ubicazione del modello fisico”) ed è stato concepito secondo i seguenti tronchi di galleria (da monte verso valle) realizzati prevalentemente in plexiglass:

- Il tratto A-B dall'opera di imbocco sino all'inizio del tratto rettilineo principale, per 9.4 m corrispondenti a 282 m del prototipo
- Il tratto B-C rettilineo principale di 12.0 m (360 m nel prototipo) a sezione corrente che si estende fino all'inizio dell'ultimo tratto curvilineo
- Il tratto C-D di 10.8 m (324 m nel prototipo), comprensivo del tratto a sezione corrente ad asse curvilineo e del tratto rettilineo terminale di galleria a monte del canale di restituzione nel Fiume Chiese
- Il tratto di confluenza tra la galleria e il Fiume Chiese, realizzato mediante una piattaforma in cls e laterizio di 11.2 m per 4.4 m

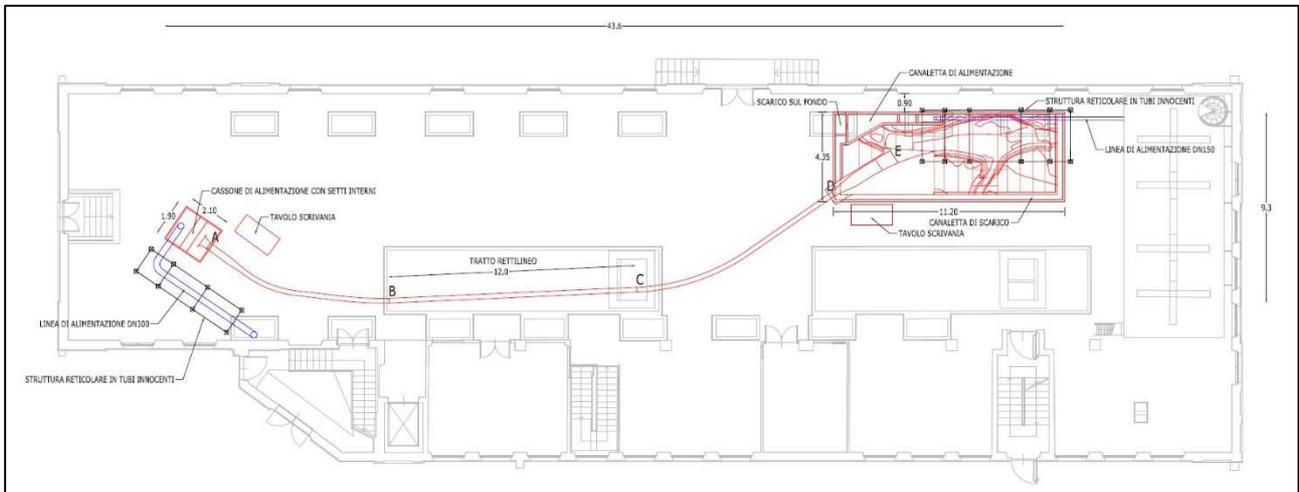


Figura 1. Planimetria del modello fisico all'interno del laboratorio Fantoli

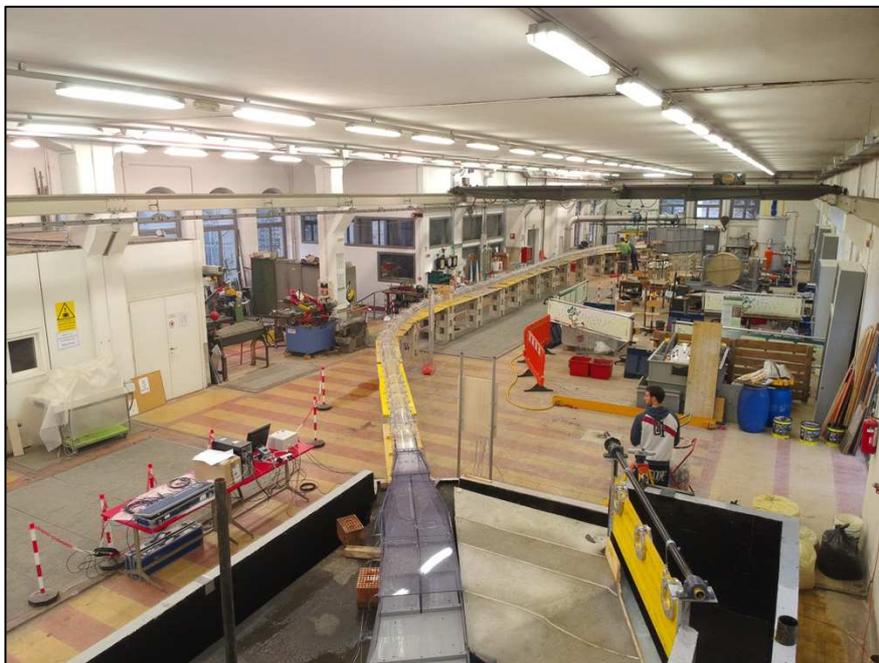


Figura 2. Il modello fisico visto da valle all'interno del laboratorio Fantoli: in primo piano il canale di restituzione, quindi la galleria e in fondo il cassone di carico

## 2.1 LA PRESA DAL LAGO E IL TRATTO INIZIALE DI GALLERIA (TRATTO A-B, DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29)

La presa dal lago e il tratto iniziale di galleria sono stati realizzati:

- per il tratto sotto battente dalla presa nel lago alla camera delle paratoie in plexiglass e PVC
- per il tratto convergente, che prosegue dalla camera delle paratoie alla progressiva con sezione corrente e il successivo tratto ad asse curvilineo in plexiglass. Lungo questo tratto, in particolare, il modello è stato configurato in modo tale da poter valutare tre pendenze pari a 8%, 10% e 12%, nonché il funzionamento del setto divisorio longitudinale che separa le progressive iniziali di tale tratto



**Il tratto orizzontale tra la presa e la camera delle paratoie** è stato realizzato in plexiglass, composto da due canne a sezione rettangolare di altezza 15.0 cm (4.5 m nel prototipo) per un funzionamento in pressione. Tale tratto sbocca, attraverso la camera delle paratoie, nel tronco convergente con sezione iniziale di altezza  $H=23.2$  cm e larghezza di base  $L=33.3$  cm.

**La camera delle paratoie** è stata realizzata in PVC con paratoie in ottone ed è stata flangiata sia al tratto di monte che a quello di valle. La parete di valle della camera delle paratoie è stata dotata di aerofori.

**Il tratto convergente** collega la camera delle paratoie alla sezione corrente della galleria. La larghezza della sezione subito a valle della camera delle paratoie si raccorda alla sezione della galleria di larghezza 23.2 cm (6.95 m nel prototipo), mentre l'altezza della sezione inizialmente aumenta per diminuzione della quota di fondo, che varia per le tre differenti pendenze previste, successivamente si raccorda all'altezza della sezione corrente pari a 23.2 cm (6.95 m nel prototipo).

**Il tratto di raccordo tra l'uscita delle paratoie e la sezione policentrica corrente della galleria** ad asse curvilineo è stato realizzato con differenti pendenze del fondo. In particolare, al fine di verificare le diverse soluzioni progettuali con apprezzabili differenze nei fenomeni che si instaurano lungo il tratto subito a valle delle paratoie, sono state indagate tre differenti pendenze: 8%, 10% e 12%. Oltre alle differenti pendenze, è stato valutato anche l'effetto del setto centrale, considerando, oltre all'assenza completa di tale setto, due differenti lunghezze: 56 cm (16.8 m nel prototipo) e 28 cm (8.4 m nel prototipo). Questo tratto, inoltre, è interessato dalla presenza degli aerofori che permettono l'areazione della corrente nel passaggio dal funzionamento in pressione a quello a pelo libero.



Figura 3. Tratto a geometria variabile a valle delle paratoie con setto centrale. In fondo i fori che simulano gli aerofori

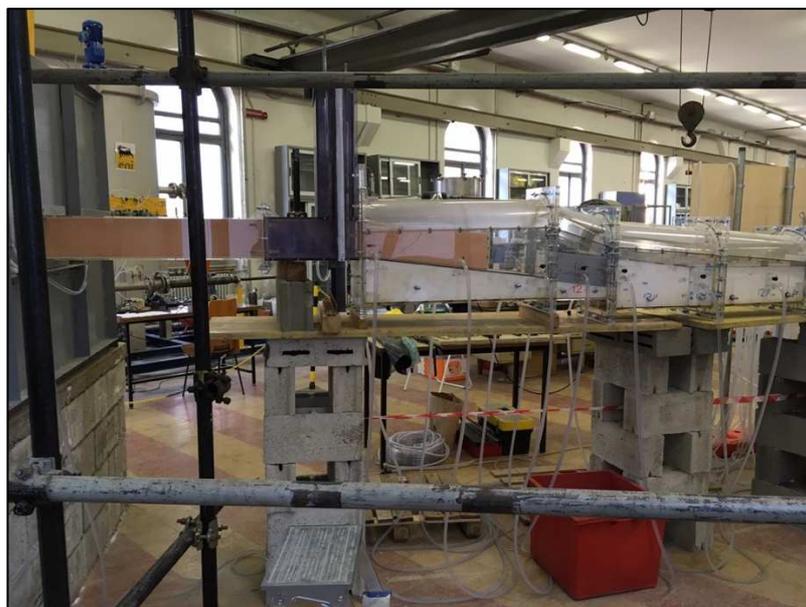


Figura 4. Tratto iniziale del modello della galleria, da sinistra si osserva: tratto in pressione, camera delle paratoie, tratto convergente curvilineo

**Il tratto curvilineo** a valle del tratto convergente è caratterizzato da una sezione idraulica policentrica di altezza e larghezza pari a 23.2 cm (6.95 m nel prototipo) che costituisce la sezione corrente della galleria ed è stato realizzato in tronchi di plexiglass.



Figura 5. Tratto iniziale del modello: opera di presa, camera delle paratoie e tratto a sezione variabile

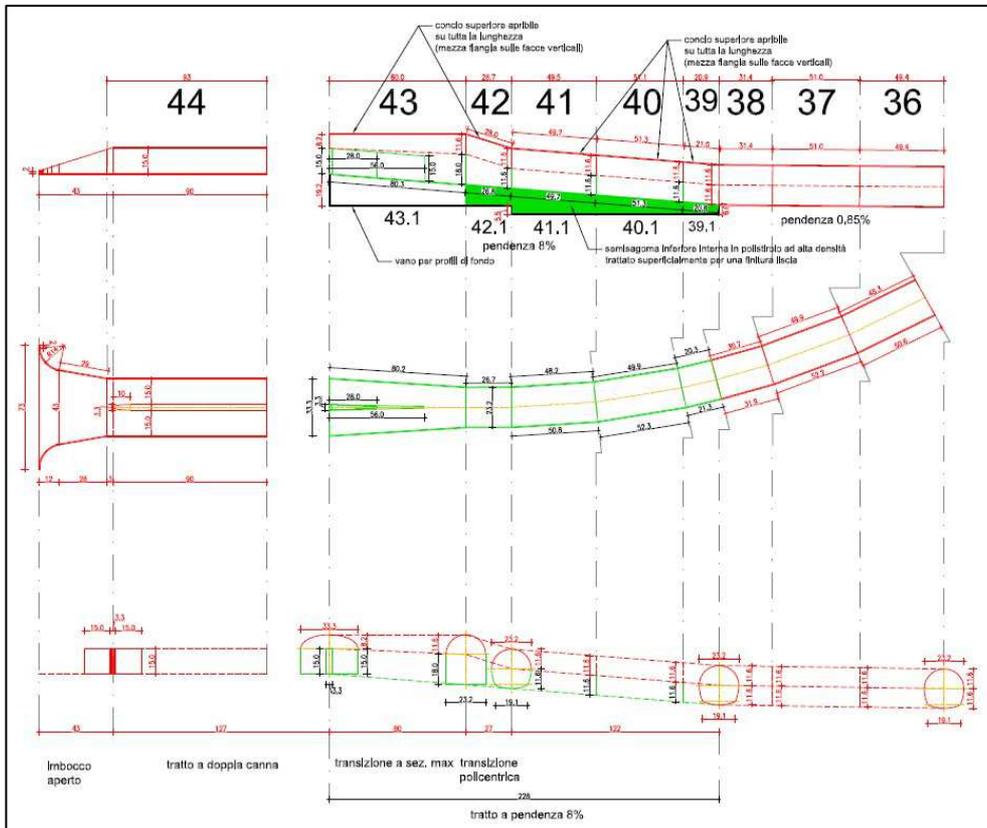


Figura 6. Tratto a geometria variabile con pendenza 8%

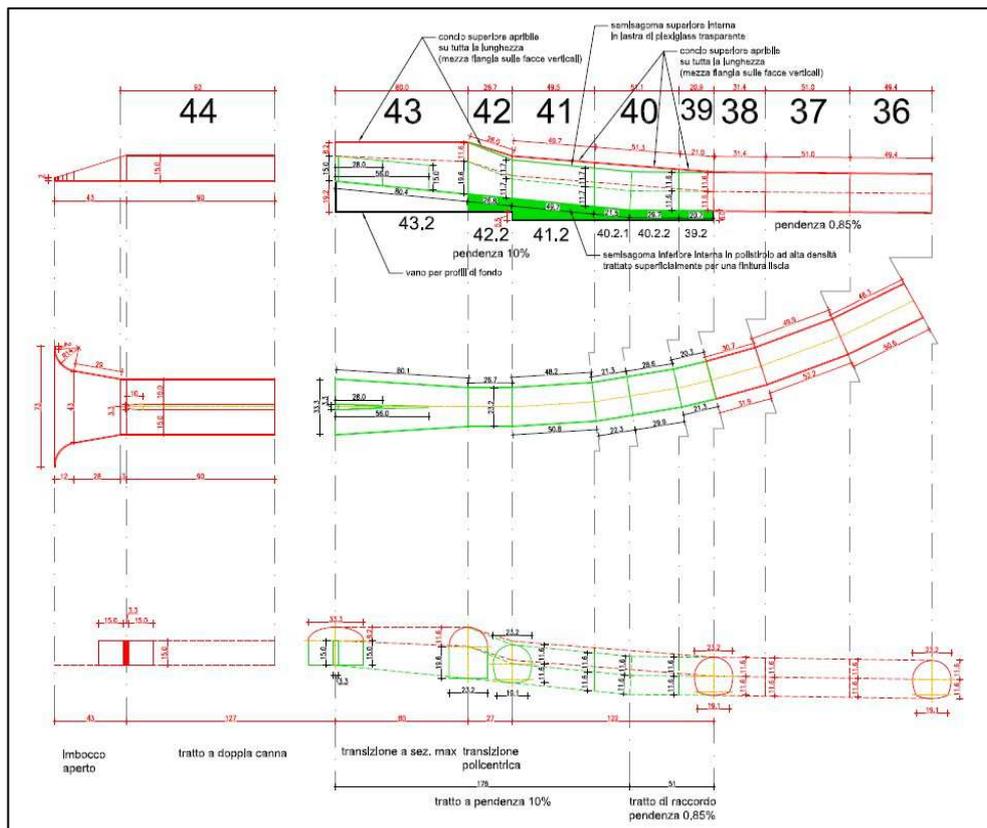


Figura 7. Tratto a geometria variabile con pendenza 10%

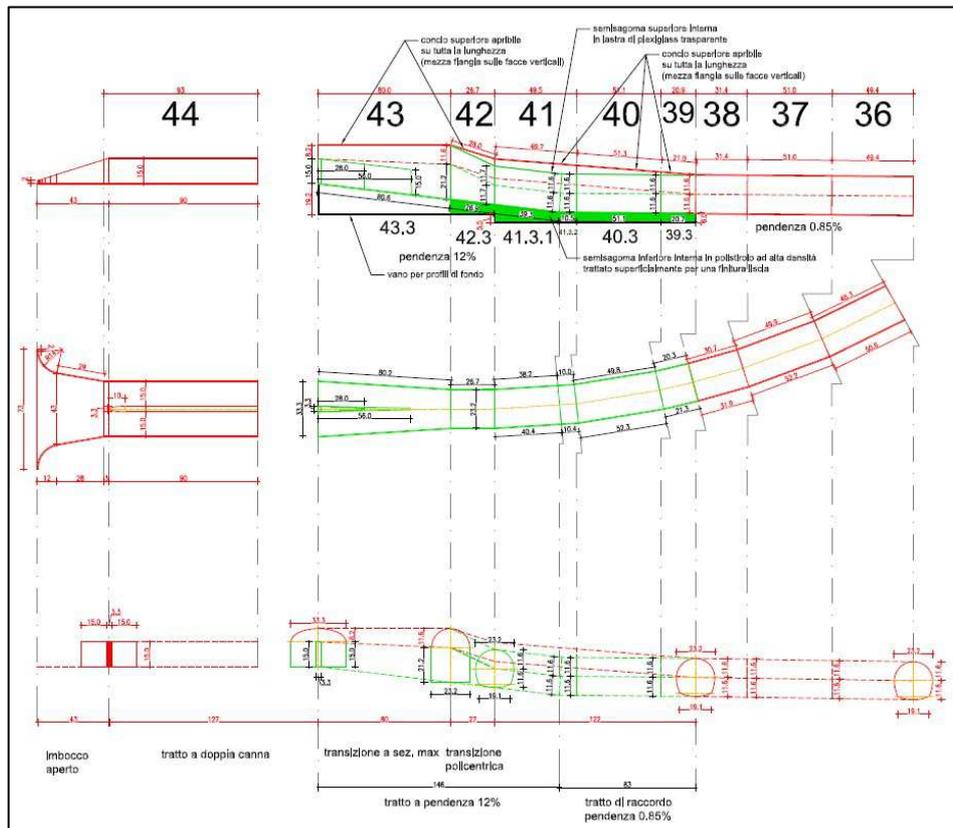


Figura 8. Tratto a geometria variabile con pendenza 12%

Lungo tutto questo iniziale tratto, in particolare, è stato possibile osservare le diverse perdite di energia dovute ai fenomeni di dissipazione continua e concentrata, quali quelli riportati nella figura seguente che riporta in modo schematico le variazioni della linea dell'energia rispetto ai fenomeni dissipativi considerati.  $\Delta E_4$  e  $\Delta E_5$ , in particolare, indicano le perdite energetiche dovute al complesso fenomeno ondoso che si verifica per correnti veloci in presenza di restringimenti e di curvatura, aspetti entrambi presenti nel tratto di raccordo tra lo sbocco delle paratoie e la sezione corrente della galleria<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Marchi, Rubatta, "Meccanica dei Fluidi", UTET, 1972.  
 Ven Te Chow, "Open Channel Hydraulic", Mc-Graw Hill, 1959.



Figura 9. Manufatto di presa dal lago (sx) e particolare della paratoia con luce parzializzata (dx)

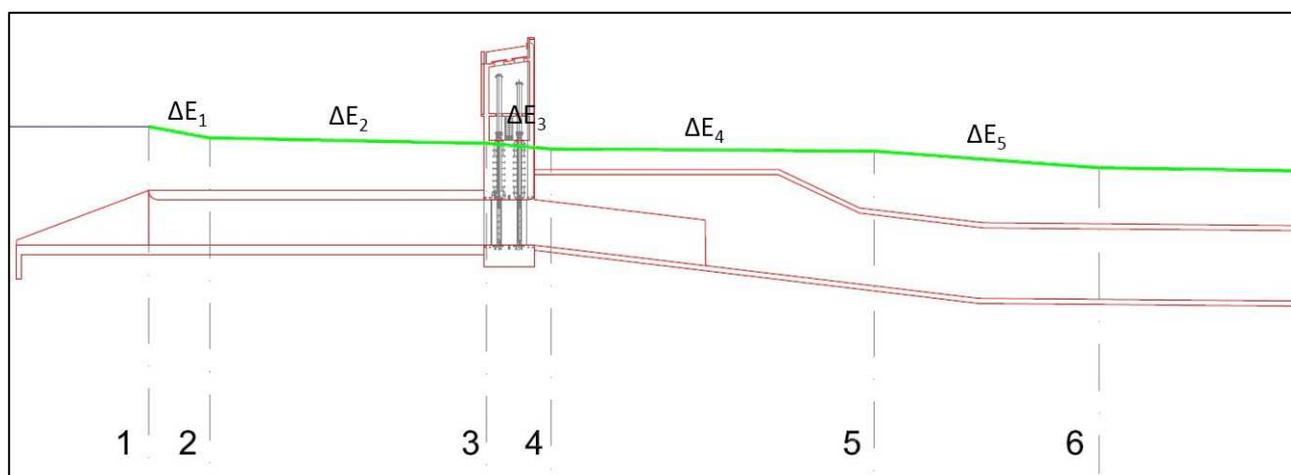


Figura 10. Tratto di imbocco in pressione e tratto iniziale di galleria a pendenza 12% del modello fisico con riportate le principali perdite di energia per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s

Tabella III. Perdite di carico osservate su modello fisico per la prova con livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s

perdita energetica	tipo	stima (cm)
$\Delta E_1$	concentrata all'imbocco	3.7
$\Delta E_2$	distribuita lungo il tratto in pressione	1.8
$\Delta E_3$	concentrata per efflusso da paratoie	1.9
$\Delta E_4$	distribuita lungo il tratto convergente	0.6
$\Delta E_5$	distribuita lungo il tratto con cambiamento di pendenza e curvatura planimetrica	5.4

## 2.2 TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE DI GALLERIA (TRATTO B-C, DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16)

Questo tratto a sezione policentrica con i suoi 12.0 m di lunghezza permette di riprodurre 360 m dei 740 m di tratto rettilineo principale del prototipo.

In particolare, la lunghezza del tratto rettilineo B-C è stata la massima lunghezza realizzabile in laboratorio per la costruzione di un modello fisico in soluzione unica nella scala geometrica 1:30. La lunghezza del tratto rettilineo nel modello è stata assunta inizialmente come l'incognita da determinare che, a parità di tutte le altre geometrie, permettesse la massima lunghezza del modello

negli spazi disponibili in laboratorio; inoltre è stata verificata essere una lunghezza sufficiente ad ottenere la stessa condizione di deflusso osservabile che nel prototipo si manifesta al termine del tratto rettilineo e che, nel modello fisico, la corrente raggiunge già per una lunghezza di 11.2 m (335 m nel prototipo). Tale lunghezza garantisce di fatto l'invarianza delle condizioni al contorno di monte per il tratto successivo. Infatti, da un'analisi numerica del profilo di corrente in moto permanente del prototipo nel caso più sfavorevole (pendenza all'imbocco 12%;  $Q=332$  mc/s), si osserva che il profilo di moto è di corrente veloce ritardata e la corrente tende asintoticamente all'altezza di moto uniforme, raggiungendo un tirante idrico al termine del tratto rettilineo pari a 4.77 m, raggiungendo un tirante idrico di 4.70 m alla progressiva 360 m di tale tratto (corrispondente ai 12.0 m rettilinei nel modello), quindi con una differenza di 7 cm in reale, pari ad un errore del 1.5%. Tale valore è compreso nelle tolleranze osservabili dei fenomeni nel modello fisico. Infatti, se si impone un'accuratezza del modello fisico del 1.5% sull'intera altezza della sezione (3.5 mm sull'altezza della sezione di 232 mm), il profilo di moto uniforme si ottiene già con 11.2 m (335 m nel prototipo) di tratto rettilineo, a fronte dei 12.0 m (360 m nel prototipo) rappresentati dal modello fisico. L'analisi di moto permanente è stata anche condotta sulla geometria del modello fisico ed anche in questo caso è stata verificata la similitudine della condizione di deflusso per lunghezze del tratto rettilineo inferiori ai 12.0 m.

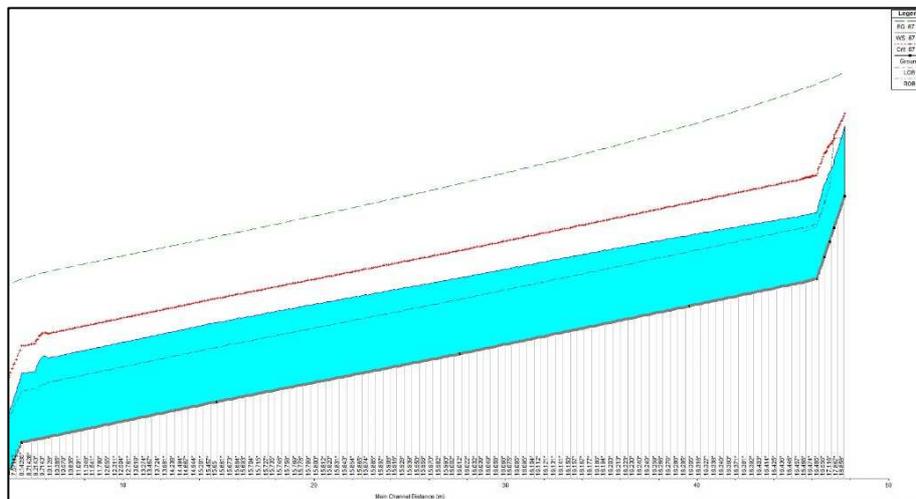


Figura 11. Profilo di corrente in moto permanente del tratto rettilineo del modello fisico con pendenza all'imbocco pari al 12% e portata  $Q=67$  l/s (332 mc/s nel prototipo)

Il raggiungimento della stessa condizione di deflusso con profilo di corrente veloce ritardato osservabile nel modello fisico ha permesso:

- di assicurare al tratto successivo E-F la condizione al contorno di monte in termini di tirante e velocità in ingresso anche con una lunghezza del tratto rettilineo riprodotta pari a circa la metà rispetto a quella del prototipo

- di visualizzare anche quei processi di moto, come onde stazionarie e relativa instabilità della superficie libera, che possono propagarsi dal tratto di monte B-C o avvenire lungo tale tratto

Inoltre, la continuità idraulica di tale collegamento ha permesso di garantire prove con i vantaggi descritti precedentemente.

### 2.3 TRATTO TERMINALE DI GALLERIA (TRATTO C-D, DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1)

Il tratto in oggetto è comprensivo dell'ultimo tratto di galleria a sezione corrente, del cambio di sezione a monte del canale di restituzione e dello scivolo terminale. In particolare, lo scivolo terminale è stata realizzata per poter analizzare 3 diverse soluzioni relative alla pendenza di fondo di collegamento tra il tratto a pendenza 0.85% e il canale di restituzione in Chiese a pendenza 0.3%, nello specifico: 9%, 10% e 11%.

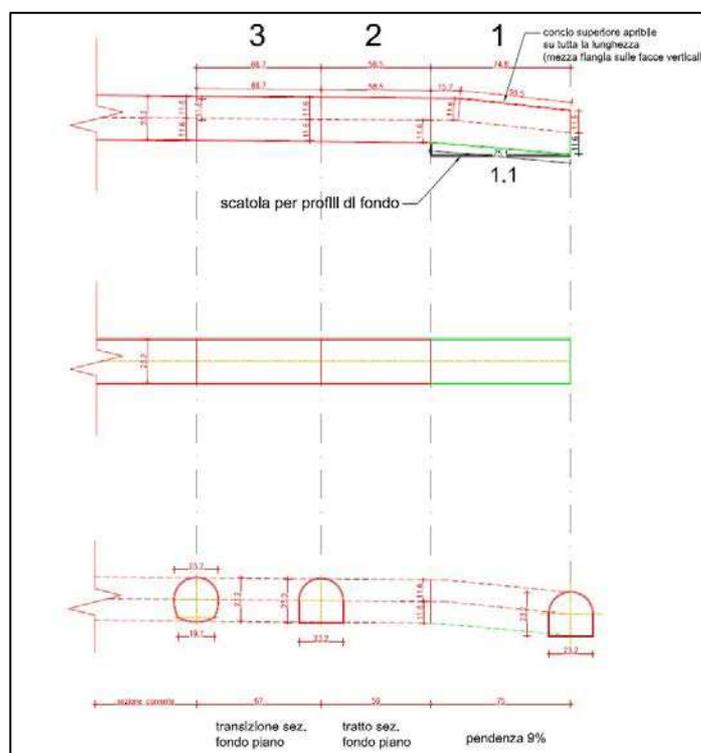


Figura 12. Tratto terminale della galleria a pendenza variabile (9%) con cambio di sezione, da sezione corrente a sezione con fondo piano

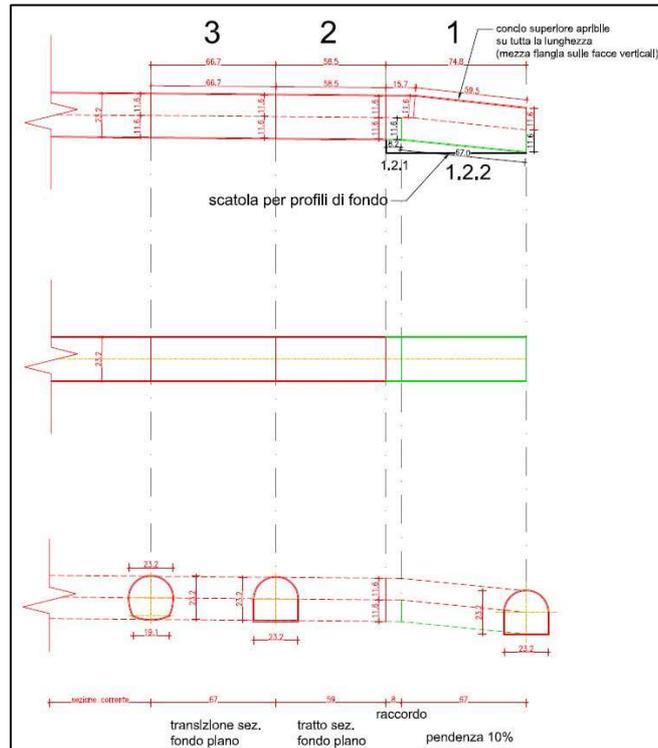


Figura 13. Tratto terminale della galleria a pendenza variabile (10%) con cambio di sezione, da sezione corrente a sezione con fondo piano

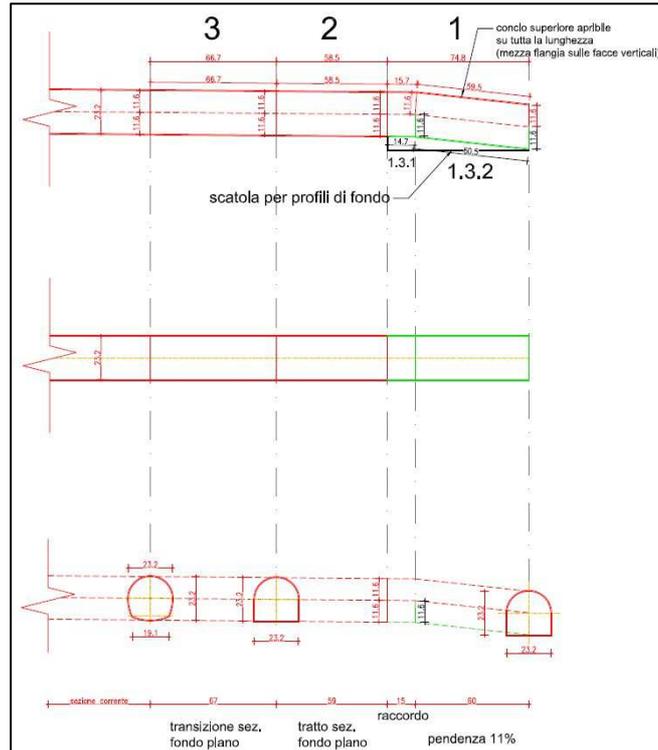


Figura 14. Tratto terminale della galleria a pendenza variabile (11%) con cambio di sezione, da sezione corrente a sezione con fondo piano

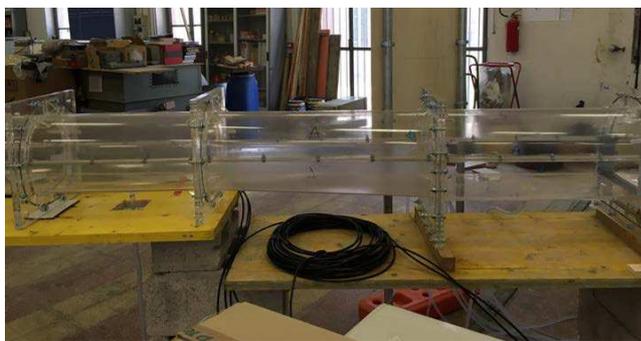


Figura 15. Tratto di transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano (sx) e scivolo terminale della galleria (dx)

#### 2.4 IL CANALE DI RESTITUZIONE IN CHIESE (TRATTO D-E, DA PROG. 3220 A PROG. 3570 CM)

Tale tratto è stato realizzato con fondo ad elementi removibili in legno verniciato e pareti in PVC trasparente al fine di rendere visibili i fenomeni dissipativi e supportare la progettazione a meglio definire gli elementi di dissipazione previsti sul fondo.

La scelta del progetto di riferimento da riprodurre sul modello fisico indica un mantenimento del profilo di corrente veloce (senza quindi il passaggio a corrente lenta) controllata attraverso l'introduzione di una scabrezza equivalente di Manning  $n=0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ , ossia  $K_{Sp}=22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , realizzata con una platea di massi intervallata con delle soglie di fondo sporgenti. Nel modello fisico il valore di tale scabrezza rapportato in scala risulta essere pari a  $K_{Sm}=39 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Al fine di ottenere un adeguato effetto dissipativo rispetto agli obiettivi progettuali (evitare l'attaccamento della vena liquida sulla copertura del canale ed avere velocità di corrente alla confluenza compatibili con quelle ammesse in Chiese) tramite un'opportuna scabrezza di fondo, è stata considerata la soluzione che ha previsto un'equivalente finitura liscia della platea di fondo mediante legno verniciato e, per l'effetto principale di dissipazione dell'energia, delle soglie trasversali sporgenti.

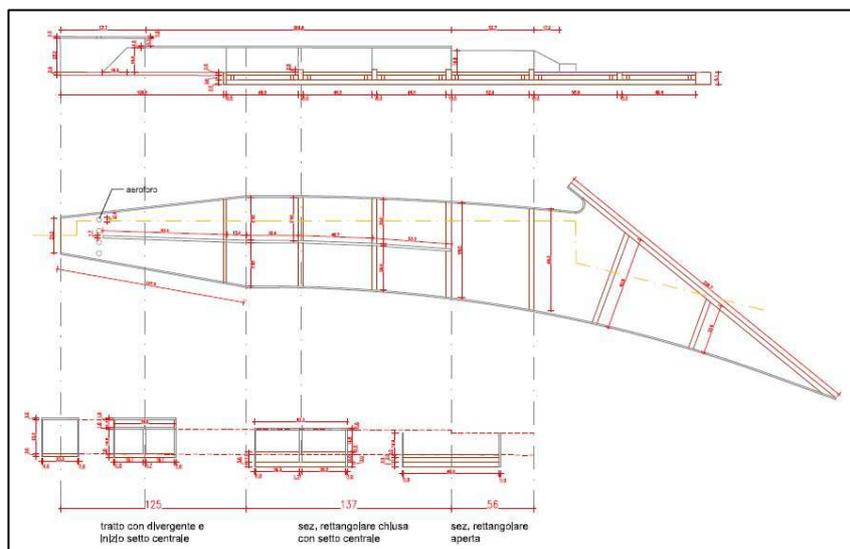


Figura 16. Canale di restituzione in Chiese realizzato con fondo ad elementi removibili in legno verniciato e soglie sporgenti perpendicolari al moto



Figura 17. Canale di restituzione: sono visibili le soglie di fondo perpendicolari al moto

## 2.5 CONFLUENZA: CANALE DI RESTITUZIONE - FIUME CHIESE

La confluenza tra il canale di restituzione della galleria e il Fiume Chiese è stata realizzata a fondo fisso, con una piattaforma in muratura sagomata superficialmente e alimentata sia dalla galleria che, attraverso una canaletta, dalla linea di alimentazione utilizzata per simulare le portate provenienti dal Chiese a monte. Ciò ha permesso quindi la modellazione della confluenza per diverse combinazioni di portate tra galleria e Fiume Chiese.

La piattaforma in muratura è stata realizzata in modo tale che fosse completamente allagabile e dotata di scarico a sfioro su tre dei quattro lati perimetrali, posta a circa 0.8 m dal piano di calpestio del laboratorio al fine di renderne accessibili le zone di misura per l'installazione della strumentazione di monitoraggio e l'esecuzione delle misure.

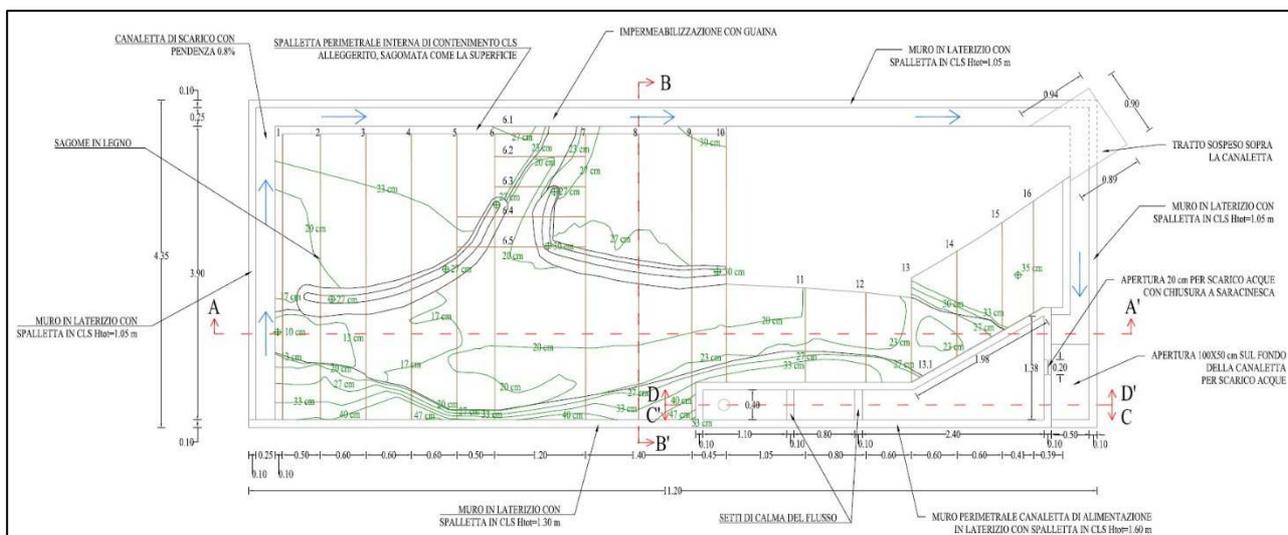


Figura 18. Planimetria della confluenza galleria – Fiume Chiese: piattaforma in laterizio e cls alleggerito con canaletta di alimentazione e scarico perimetrale a sfioro



Figura 19. Tratto di confluenza realizzato in cls e laterizio (sx) e particolare del canale di restituzione (dx)

## 2.6 MATERIALI DI COSTRUZIONE E SCABREZZE IDRAULICHE

### 2.6.1 La galleria

Per la riproduzione del moto in scala di fenomeni idraulici in cui la resistenza di parete riveste un ruolo rilevante, così come il moto a pelo libero all'interno della galleria, occorre che sia rispettata la condizione di uguaglianza della cadente tra modello e prototipo. Ciò comporta, ammettendo il moto assolutamente turbolento anche nel modello, che il rapporto tra i coefficienti di scabrezza di Strickler sia pari al rapporto di scala geometrico elevato alla potenza  $1/6$  ovvero, nel caso in esame, pari a 1.76. Questo rapporto implica che il valore di riferimento per il rivestimento interno della galleria  $K_s=70$   $m^{1/3}/s$  venga scalato ad un valore di  $125$   $m^{1/3}/s$ . Sulla base di questo valore, la galleria policentrica è

stata realizzata in plexiglass (PMMA), materiale tra i più lisci disponibili in commercio e che presenta valori del coefficiente di scabrezza  $K_s$  compresi tra 120 e 140  $m^{1/3}/s$ .

Al fine di meglio quantificare la scabrezza di Strickler associata al plexiglass è stata eseguita una preliminare valutazione sulle resistenze al moto, assimilando la sezione policentrica di progetto ad una sezione circolare con  $D=23.2$  cm e assumendo un valore delle asperità di superficie del plexiglass  $\varepsilon=0.02$  mm. Dal rapporto  $\frac{\varepsilon}{D}$ , utilizzando l'abaco di Moody, si perviene ad un valore di  $\lambda=0.0116$ .

La cadente piezometrica  $J$  è stata valutata considerando il grado di riempimento della sezione dato dalla portata millenaria  $Q=67$  l/s (332 mc/s nel prototipo) secondo l'espressione:

$$J = \frac{\lambda}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

Il valore di  $J$  così ottenuto è stato utilizzato per ricavare il corrispondente valore di  $K_s$ , invertendo la relazione generale:

$$J = \frac{V^2}{K_s^2 R^{4/3}}$$

Si è pervenuti così ad un valore di  $K_s$  associato al plexiglass pari a 128  $m^{1/3}/s$ , valore che può essere considerato sostanzialmente equivalente a quello richiesto di 125  $m^{1/3}/s$ .

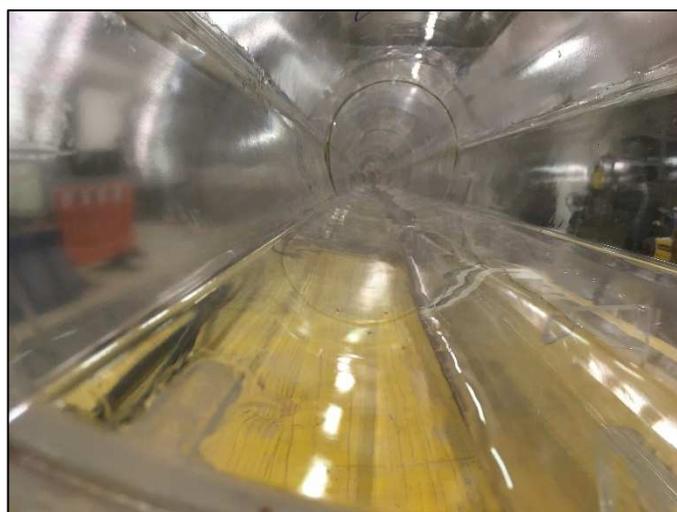


Figura 20. Particolare del profilo interno della galleria corrente realizzata in plexiglass

### 2.6.2 Il canale di restituzione

Il canale di restituzione, nella sua configurazione di funzionamento, è stato realizzato con fondo in legno verniciato corrispondente ad una scabrezza di Strickler di circa 90  $m^{1/3}/s$  (50  $m^{1/3}/s$  nel prototipo) e con soglie sporgenti di altezza 2 cm (60 cm nel prototipo), mentre le pareti sono state realizzate in PVC trasparente, con una scabrezza di circa 120  $m^{1/3}/s$  (70  $m^{1/3}/s$  nel prototipo).



### 2.6.3 Il tratto di confluenza

Il tratto di alveo del Fiume Chiese interessato dalla confluenza è stato ricreato attraverso il posizionamento di sagome trasversali in legno intasate con cls alleggerito con argilla ed eseguendo una finitura superficiale in sabbia e cemento tale da ricreare una scabrezza di circa  $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  nel prototipo, media dei due scenari considerati con  $K_{S1}=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  e  $K_{S2}=40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ).



Figura 21. Realizzazione del tratto di confluenza con sagomatura dell'alveo del Fiume Chiese e finitura superficiale in sabbia e cemento

### 2.7 IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

Il modello è stato alimentato tramite 2 linee in pressione derivate dal circuito idraulico del laboratorio. In particolare, è stata utilizzata una linea DN300 dotata di valvola di regolazione e misuratore magnetico di portata per l'alimentazione della galleria attraverso l'opera di imbocco, tramite un cassone opportunamente posizionato in quota e strutturato in modo tale da calmare il flusso in uscita dalla tubazione in pressione e ricreare un livello di quiete in corrispondenza dell'opera di imbocco.



Figura 22. Predisposizione della linea DN300 con il misuratore magnetico di portata e del cassone di alimentazione della galleria.

Una seconda linea DN150, dotata anch'essa di valvola di regolazione e misuratore magnetico di portata, è stata invece utilizzata per alimentare il Fiume Chiese nel tratto di confluenza, tramite una canaletta in muratura con setti di calma e paratoia di regolazione a monte della confluenza con il canale di restituzione.



Figura 23. Linea DN150 con misuratore magnetico di portata, canaletta in muratura e paratoia di regolazione per l'alimentazione del Fiume Chiese a monte della confluenza con il canale di restituzione

## 2.8 LE CONDIZIONI AL CONTORNO

Il sistema di alimentazione, costituito dalle due linee in pressione derivate dal circuito idraulico del laboratorio, ha permesso di fornire al modello le portate di interesse relativamente alla galleria e al Fiume Chiese. In particolare, la galleria è stata alimentata con 3 differenti portate di riferimento, pari a 67 l/s, 45 l/s e 22 l/s; mentre il Fiume Chiese ha considerato le portate pari a 45 l/s e 22 l/s. Tali portate, nelle varie prove, sono state opportunamente combinate fra loro in modo che la somma totale

tra portata in galleria e portata in Chiese non fosse mai superiore alla massima portata smaltibile di 67 l/s.

Tabella IV. Portate di riferimento e loro combinazione considerate nelle prove su modello fisico

	$Q$ galleria prototipo (mc/s)	$Q$ galleria modello (l/s)	$Q$ Chiese prototipo (mc/s)	$Q$ Chiese modello (l/s)
combinazione 1	332	67	0	0
combinazione 2	221	45	0	0
combinazione 3	111	22	0	0
combinazione 4	221	45	111	22
combinazione 5	111	22	221	45
combinazione 6	111	22	111	22

Le portate di deflusso in galleria sono state garantite tramite un cassone di alimentazione opportunamente strutturato con 2 setti interni e 2 grigliati orizzontali al fine di smorzare il flusso in pressione in uscita dalla linea DN300 e ricreare una condizione di calma sufficiente subito a monte dell'opera di presa.

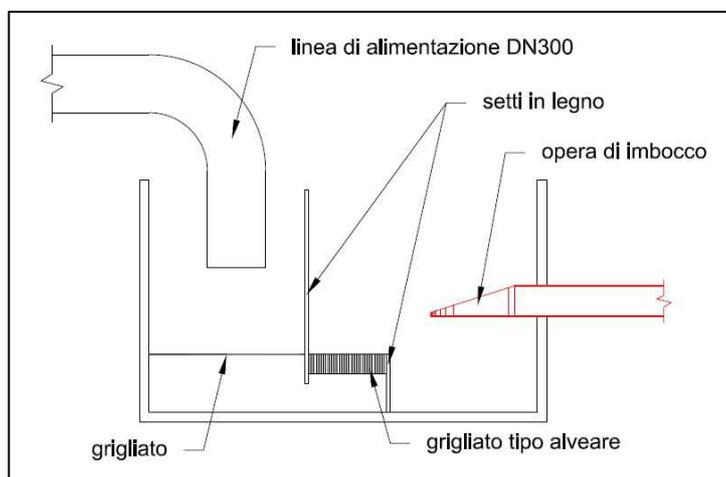


Figura 24. Sezione del cassone di alimentazione della galleria con setti e grigliati di calma del flusso

L'alimentazione del Fiume Chiese a monte della sezione di confluenza con il canale di restituzione è stata invece realizzata attraverso la linea DN150 in ingresso ad una canaletta di calma strutturata con 2 setti in muratura, al termine della quale è stata posizionata una paratoia di regolazione. La paratoia ha permesso di alimentare la sezione di monte del Fiume Chiese, caratterizzato da moto in corrente veloce, con adeguati tiranti idrici e velocità, così come dai risultati delle simulazioni bidimensionali opportunamente resi disponibili per le 2 portate di riferimento (45 l/s e 22 l/s). Infatti, è stato condotto un confronto tra i risultati delle simulazioni bidimensionali del Fiume Chiese nel caso reale in termini di velocità e tiranti e le misure eseguite su modello fisico per la stessa sezione di controllo al fine di ricercare, per entrambe le portate di riferimento, l'apertura della paratoia di regolazione che verificasse la corretta riproduzione della condizione al contorno di monte. In

particolare, è stata verificata un'altezza di 4.0 cm per la portata di 45 l/s (221 mc/s nel prototipo) e 3.5 cm per la portata di 22 l/s (111 mc/s nel prototipo).

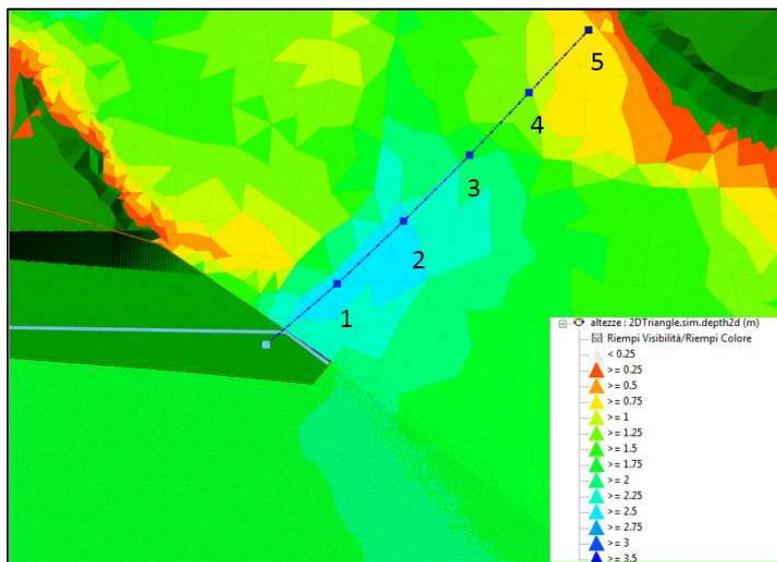


Figura 25. Risultati planimetrici in termini di tiranti idrici della simulazione bidimensionale eseguita sul prototipo con  $Q$  Chiese=221 mc/s e sezione del Chiese a monte della confluenza con punti di verifica per il modello

Tabella V. Velocità e tiranti nei punti della sezione di monte del Chiese per  $Q=45$  l/s e  $h_{paratoia}=4.0$  cm

punto sezione	V prototipo (m/s)	V modello (m/s)	V misura modello (m/s)	$\Delta V$ (m/s)	h prototipo (m)	h modello (cm)	h misura modello (cm)	$\Delta h$ (cm)
1	3.25	0.59	0.61	0.02	2.61	8.7	8.5	-0.2
2	4.48	0.82	0.78	-0.04	2.53	8.4	8.0	-0.4
3	5.49	1.00	0.87	-0.13	1.77	5.9	6.0	0.1
4	5.39	0.98	0.99	0.01	1.27	4.2	5.5	1.3
5	4.53	0.83	0.79	-0.04	0.76	2.5	2.5	0.0

Tabella VI. Velocità e tiranti nei punti della sezione di monte del Chiese per  $Q=22$  l/s e  $h_{paratoia}=3.5$  cm

punto sezione	V prototipo (m/s)	V modello (m/s)	V misura modello (m/s)	$\Delta V$ (m/s)	h prototipo (m)	h modello (cm)	h misura modello (cm)	$\Delta h$ (cm)
1	2.91	0.53	0.57	0.04	1.70	5.7	5.5	-0.2
2	3.7	0.68	0.68	0.00	1.70	5.7	5.0	-0.7
3	4.01	0.73	0.70	-0.03	1.38	4.6	4.5	-0.1
4	4.35	0.79	0.66	-0.13	0.62	2.1	4.0	1.9
5	3.21	0.59	0.52	-0.07	0.33	1.1	1.5	0.4

Per la condizione al contorno di valle sul tratto di Fiume Chiese rappresentato nel modello fisico, in considerazione del moto in corrente veloce, si è optato per uno sbocco libero con salto nella canaletta



di raccolta perimetrale delle acque; mentre l'affluente secondario in Chiese, il torrente Abbioccolo, avendo un contributo trascurabile, è stato ricreato solo nella sua morfologia, sbarrando la sua sezione di monte in modo tale da ricreare l'effetto di rigurgito del Fiume Chiese ed evitare che potesse costituire una seconda sezione di uscita delle portate dal modello.



Figura 26. Sagomatura morfologica del torrente Abbioccolo con sbarramento della sezione di monte

### 3 IL SISTEMA DI MISURA

Il modello fisico, al fine di poter eseguire le misure necessarie alle verifiche di funzionamento delle opere nelle varie prove, è stato equipaggiato con una serie di strumenti sia classici (analogici) che digitali. In particolare, la scelta è stata quella di impiegare metodi classici e più diretti principalmente per le misure di livello, mentre la sensoristica più avanzata è stata utilizzata per le misure di pressione, portata e velocità. Nel complesso, si sono impiegati 56 piezometri a tubo aperto, 3 aste idrometriche, 5 trasduttori di pressione, 1 mulinello, 1 micro mulinello, 3 velocimetri tipo “vectrino” e 2 misuratori magnetici di portata. Per una visione panoramica del sistema di misura nel suo complesso si rimanda alla relativa Tavola “Planimetria e dettagli del sistema di misura”.

#### 3.1 MISURE DI PORTATA

Le portate in ingresso al modello fisico sono state misurate tramite 2 misuratori magnetici, il primo sulla linea di alimentazione DN300 a servizio della galleria, il secondo dedicato alle portate in ingresso al Chiese sulla linea DN150.

Il misuratore funziona in base alla legge di Faraday sull'induzione elettromagnetica. Viene generato nel fluido che lo attraversa un campo magnetico alternato mediante il passaggio di corrente attraverso bobine di cavo in rame. La corrente viene controllata in modo che l'intensità del campo magnetico generato sia costante. Essendo costante anche la lunghezza del conduttore (ovvero la parte di liquido compresa fra gli elettrodi di misura), risulta che l'unica grandezza variabile è la velocità di deflusso del liquido trasportato. La tensione generata è linearmente proporzionale alla velocità.



Caratteristiche tecniche: Modello: Promag 30 F (Endress + Hauser)	
Misura elettromagnetica della portata secondo la legge di Faraday (generazione di tensione per induzione all'interno di un campo magnetico)	
Diametro Nominale (DN)	300 mm
Fondo scala	176.7 l/s

Figura 27. Misuratore magnetico sulla linea DN300 di alimentazione della galleria e caratteristiche tecniche

### 3.2 MISURE DI LIVELLO

Le misure di livello hanno interessato l'intero sviluppo della galleria, comprensivo dell'opera di imbocco e del canale di restituzione, oltre che il tratto di Chiese interessato dalla confluenza. Le misure sono state eseguite principalmente attraverso i 56 piezometri a tubo aperto collegati al modello e riportati su pannelli di misura millimetrati, inoltre sono state impiegate 2 aste idrometriche mobili appositamente realizzate per il posizionamento e fissaggio lungo la galleria, oltre ad un'ulteriore asta idrometrica impiegata per le misure lungo il tratto di confluenza. In particolare, l'asta utilizzata alla confluenza è stata un'asta dotata di nonio in grado di misurare lunghezze con approssimazioni anche inferiori al millimetro. Tale asta è stata posizionata su travi porta-asta a loro volta poggiate su una struttura realizzata con tubi innocenti che hanno definito un piano orizzontale al di sopra del modello fisico; questo ha permesso di disporre di un piano di riferimento per la misura dei livelli nei punti di interesse.

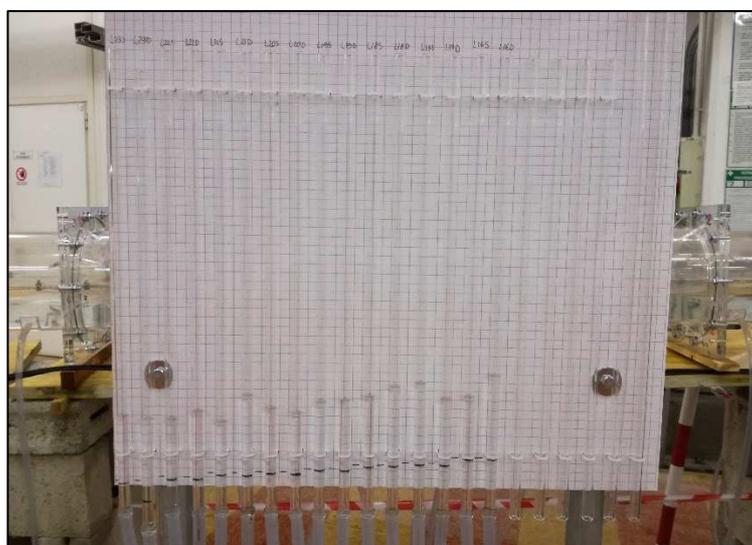


Figura 28. Piezometri a tubo aperto su pannello millimetrato (1 di 3) utilizzati per le misure di livello



Figura 29. Asta idrometrica appositamente realizzata per le misure lungo la galleria

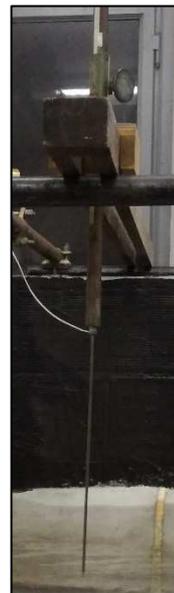


Figura 30. Asta idrometrica utilizzata per le misure lungo il tratto di confluenza

### 3.3 MISURE DI PRESSIONE IN CALOTTA

Le pressioni in calotta sono state misurate in frequenza (100 Hz) tramite 5 trasduttori di pressione che, grazie alle loro dimensioni compatte, è stato possibile inserire all'interno di appositi fori filettati realizzati nella parte di sommità delle sezioni di interesse. Questo ha permesso di monitorare in frequenza le pressioni in calotta con lo scopo di verificare l'eventuale presenza di depressioni indice di un'insufficiente areazione della corrente. Le acquisizioni sono state realizzate tramite lo specifico software dedicato.



Figura 31. Trasduttore di pressione installato sul canale di restituzione e caratteristiche tecniche

Caratteristiche tecniche	
Fondo scala	1 bar ( ~10 m d' acqua)
Risoluzione	0.015 mbar (0.02 cm d' acqua)
Accuratezza	0.05 % F.S. (0.5 cm d' acqua)
Campo di compensazione temperatura	Da +10° C a +40° C

### 3.4 MISURE DI VELOCITÀ IN GALLERIA

Lungo la galleria le misure di velocità sono state eseguite mediante l'utilizzo di un mulinello e, in alternativa nel caso di tiranti idrici inferiori a circa 5 cm, un micro mulinello. Il mulinello, modello C2 Small Current Meter, è progettato per il conteggio dell'impulso della corrente d'acqua durante

preselezionabili periodi di misurazione. Un sistema elettronico viene utilizzato per il conteggio del numero di rivoluzioni dell'elica; il cronometraccio è controllato da un orologio al quarzo che consente di preselezionare i periodi di misurazione. Il meccanismo di conteggio, l'orologio al quarzo, le batterie, così come gli elementi di comando, controllo e collegamento sono incorporati in un alloggiamento di plastica. Dato il rapporto fra il numero di rivoluzioni dell' elica e il tempo  $n = \frac{r}{t}$ , la velocità è determinata tramite l'equazione:  $V = 0.2556 \cdot n + 0.009$ .

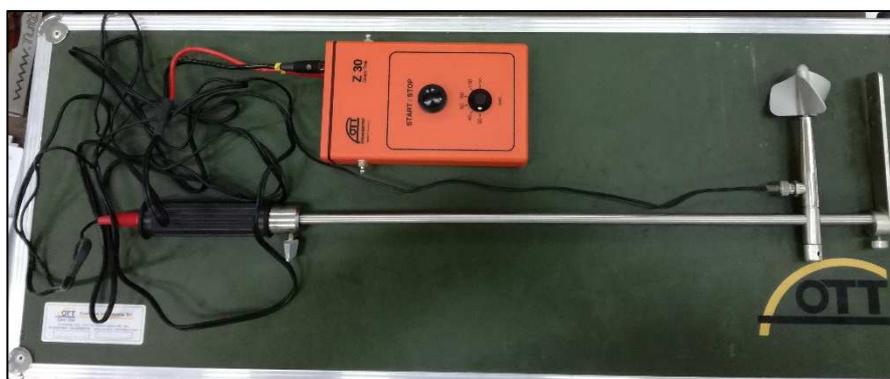


Figura 32. Mulinello modello C2 Small Current Meter utilizzato per le misure di velocità in galleria

Il micro mulinello, modello Streamflo 403, è dotato di una testa di misura che consiste in un rotore a 5 pale montato su un fuso rigido in acciaio inossidabile contenente un filo d'oro isolato distanziato 0.1 mm dal rotore e collegato a un'unità di misurazione elettronica tramite un cavo coassiale. Quando il rotore è immerso in un fluido in movimento, il passaggio delle pale del rotore oltre la punta del filo d'oro varia leggermente l'impedenza misurabile tra la punta e il tubo. Nell'indicatore digitale l'impulso viene contato su un periodo di tempo noto per ottenere una lettura digitale della frequenza. Ciascun sensore è fornito di grafico di calibrazione che associa la frequenza alla velocità del fluido.



Figura 33. Micro mulinello modello Streamflo 403 utilizzato per le misure di velocità in galleria

### 3.5 MISURE DI VELOCITÀ LUNGO IL TRATTO DI CONFLUENZA

Lungo il tratto di confluenza, per le misure di velocità sono stati impiegati 3 velocimetri tipo “vectrino”, posizionati su una struttura realizzata con tubi innocenti che ha definito un piano orizzontale al di sopra del modello fisico; questo ha permesso di disporre di un piano di riferimento per la misura di velocità nei punti di interesse. Gli strumenti utilizzati sono stati gli A.D.V. (Acoustic Doppler Velocimeter) Vectrino. I misuratori di velocità Vectrino appartengono ad una classe speciale di strumenti 3D ad alta risoluzione utilizzati per studiare le fluttuazioni di velocità, la turbolenza e la velocità 3D in canali e modelli fisici. Il Vectrino misura la velocità dell'acqua usando l'effetto Doppler. A differenza degli strumenti Doppler standard, il Vectrino è un sonar bistatico. Questo significa che usa 2 onde separate di trasmissione e ricezione: trasmette tramite un'onda centrale e riceve attraverso 4 onde disposte sui lati; le onde si intersecano l'una all'altra a 50 mm dal trasmettitore. Il volume di misurazione è calcolato da questa intersezione e dalla risoluzione spaziale nel tempo. Il trasduttore di trasmissione emette un breve impulso che copre 3-15 mm verticalmente (selezionabile dall'utente), e i ricevitori captano l'eco che corrisponde a questo volume. Il diametro del volume è di 6 mm. Il vectrino usa 4 ricevitori, tutti incentrati sullo stesso volume per ottenere le 3 componenti di velocità (x, y, z).



Figura 34. Vectrino installato alla sezione di confluenza nel punto di misura V7 e caratteristiche tecniche

Caratteristiche tecniche	
Range	±0.01, ±0.1, ±0.3, ±1, ±2, ±4 m/s
Accuratezza	±0.5% del valore misurato ±1mm/s
Rate di campionamento	1-25 Hz, 1-200 Hz
Volume di Campionamento	
Distanza dalla sonda	5 cm
Diametro	6 mm
Altezza (selezionabile dall'utente)	3-15 mm
Sonda di temperatura (termistore incorporato nella sonda)	
Range	Da -4° C a 40° C
Precisione	1° C
Risoluzione	0.1° C

Nei casi in cui il livello idrico nei punti di misura lungo il tratto di confluenza non fosse stato sufficiente per l'impiego di tali strumenti (almeno 6-7 cm), oppure qualora i parametri di affidabilità delle misure non fossero stati soddisfacenti (correlazione > 75% e SNR>5 dB), si è utilizzato il micro mulinello.



## 4 LE PROVE

Le prove di funzionamento in moto permanente sono state definite dal disciplinare alla base del presente studio. Per maggior chiarezza e sintesi sono presentate nel seguito suddivise in:

- Prove di tipo A, ossia misure con diversi valori di portate defluenti dalla galleria e con Chiese a portata nulla
- Prove di tipo B, ossia misure con diversi gradi di apertura delle paratoie a livello di alimentazione fissato
- Prove di tipo C, ossia misure relative alla confluenza Chiese-galleria con differenti combinazioni di portate tali che la somma non sia mai superiore alla portata millenaria smaltibile di progetto (67 l/s nel modello corrispondenti a 332 mc/s nel prototipo)

Tabella VII. Elenco Prove eseguite su modello fisico

<i>prova</i>	<i>tipo</i>	<i>obiettivo</i>	<i>condizione</i>
1	A	L1 lago	Q1galleria=67 l/s
2		L2 lago	Q2galleria=45 l/s
3		L3 lago	Q3galleria=22 l/s
4	B	scala deflusso	L1; apertura paratoie 80%
5		scala deflusso	L1; apertura paratoie 60%
6		scala deflusso	L1; apertura paratoie 40%
7		scala deflusso	L1; apertura paratoie 20%
8		scala deflusso	L2; apertura paratoie 80%
9		scala deflusso	L2; apertura paratoie 60%
10		scala deflusso	L2; apertura paratoie 40%
11		scala deflusso	L2; apertura paratoie 20%
12		scala deflusso	L3; apertura paratoie 80%
13		scala deflusso	L3; apertura paratoie 60%
14		scala deflusso	L3; apertura paratoie 40%
15		scala deflusso	L3; apertura paratoie 20%
16	A	funzionalità opera restituzione	Q1galleria=67 l/s
17		funzionalità opera restituzione	Q2galleria=45 l/s
18		funzionalità opera restituzione	Q3galleria=22 l/s
19	C	funzionalità opera restituzione	Q2galleria=45 l/s; Q3Chiese=22 l/s
20		funzionalità opera restituzione	Q3galleria=22 l/s; Q2Chiese=45 l/s
21		funzionalità opera restituzione	Q3galleria=22 l/s; Q3Chiese=22 l/s
scivolo_9%	ulteriore prova tipo A	funzionalità opera restituzione	Q1galleria=67 l/s; pendenza scivolo terminale 9%
Qmax	ulteriore prova tipo A	massima portata in galleria	funzionamento a pelo libero
Qmax_invaso	ulteriore prova tipo A	portata associata al livello di massimo vaso	livello di massimo vaso
Q1000_max_invaso	ulteriore prova tipo B	apertura paratoie e funzionamento galleria	L1, Q1galleria=67 l/s



Le prove sono state condotte per una fissata geometria dell'opera, in particolare secondo la configurazione che ha previsto una pendenza del tratto di imbocco a valle delle paratoie pari al 12%, una lunghezza del setto centrale a valle delle paratoie pari a 56 cm (16.8 m nel prototipo), una pendenza dello scivolo terminale (concio 1) pari al 11%, una finitura superficiale del canale di restituzione corrispondente ad una scabrezza di Stickler pari a circa  $90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  nel prototipo) con soglie sporgenti di altezza 2 cm (60 cm nel prototipo).

Le prove per geometria del tratto di imbocco con pendenza 8% sono state interrotte perché hanno mostrato immediatamente, per apertura totale delle paratoie e portata massima di progetto pari a 67 l/s, un funzionamento in pressione della galleria che si è sviluppato dalla fine del tratto rettilineo (concio 16) verso monte.

Oltre alle 21 prove di base, si sono aggiunte **ulteriori prove** ritenute esplicative del funzionamento del sistema galleria, anche per diversa geometria. Tra queste, in particolare, avendo osservato per la portata massima di progetto pari a 67 l/s ( $332 \text{ mc/s}$  nel prototipo) un livello inferiore rispetto a quello di massimo invaso, sono state effettuate le seguenti ulteriori prove:

- **portata massima smaltibile in galleria con funzionamento a pelo libero** (Capitolo 6.2 “Portata massima smaltibile a pelo libero”, ulteriore prova di tipo A). Anche questa prova ha portato ad osservare un livello inferiore rispetto a quello di massimo invaso.
- **portata massima smaltibile con funzionamento in pressione con livello di massimo invaso** che ha visto la ricerca della massima portata con funzionamento in pressione con livello non superiore al massimo invaso (Capitolo 6.3 “Portata massima smaltibile in pressione per livello di massimo invaso”, ulteriore prova di tipo A).
- **portata di progetto con livello di massimo invaso** ottenuta parzializzando la luce con le paratoie di regolazione (Capitolo 8.1 “Funzionamento per livello di massimo invaso e portata di progetto”, ulteriore prova di tipo B).

## 5 PROVE DI TIPO A: PORTATA ASSEGNATA E PARATOIE APERTE

Questa tipologia di prove ha considerato il funzionamento della galleria nel suo complesso e del tratto di Chiese interessato dalla confluenza per assegnate portate in galleria, pari a  $Q_1=67 \text{ l/s}$ ,  $Q_2=45 \text{ l/s}$  e  $Q_3=22 \text{ l/s}$ , mentre il Fiume Chiese è stato mantenuto a portata nulla. Questo gruppo di prove comprende le prove 1, 2 e 3 relative al funzionamento dell'opera di imbocco e della galleria e le prove 16, 17 e 18 relative al funzionamento del canale di restituzione e del tratto di confluenza.



Tabella VIII. Prove di tipo A

prova	Q modello (l/s)	Q prototipo (mc/s)	tratto analizzato
1	67	332	imbocco e galleria
2	45	221	imbocco e galleria
3	22	111	imbocco e galleria
16	67	332	sbocco e confluenza
17	45	221	sbocco e confluenza
18	22	111	sbocco e confluenza

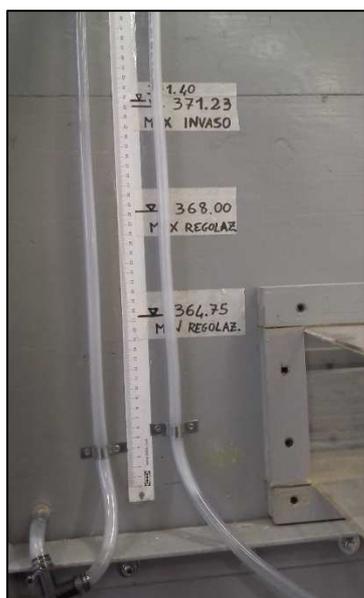
Per ciascuna prova sono state condotte misure di livello, velocità e pressione in differenti sezioni significative. Nel seguito vengono riportati i risultati ottenuti in ciascuna prova organizzati, per maggior chiarezza, in cinque tratti di interesse:

- imbocco e tratto iniziale di galleria (da progressiva 0 in corrispondenza dell'inizio del tratto di canale coperto a doppia canna fino alla progressiva 940 cm, conci 44-29);
- tratto rettilineo di galleria (da progressiva 940 cm a 2140 cm, conci 28-16),
- tratto terminale di galleria (da progressiva 2140 cm a 3220 cm, conci 15-1);
- canale di restituzione (da progressiva 3220 cm a 3570 cm);
- tratto del Fiume Chiese interessato dalla confluenza.

## 5.1 IMBOCCO E GALLERIA TRATTO INIZIALE (DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29)

### 5.1.1 Livelli

Per ciascuna delle 3 portate assegnate (Q1, Q2 e Q3) sono stati rilevati i corrispondenti livelli nel cassone di alimentazione (L1, L2 e L3), cioè di carico insistente sull'opera di imbocco a paratoie completamente aperte, avendo scelto come quota  $z=0$  di riferimento il piano di scorrimento del canale di imbocco a doppia canna.



Q (l/s)	L cassone (cm)	L lago (m slm)
67	34.0	369.70
45	22.5	366.25
22	14.4	363.82

Figura 35. Piezometro P0 di misura del livello nel cassone di alimentazione (sx) e relativi livelli misurati con corrispondente quota lago per le 3 portate di riferimento (dx)

Lungo lo sviluppo del tratto iniziale di galleria a valle delle paratoie si è evidenziato, per le 3 portate, un moto ondoso stazionario, dovuto sia agli effetti del convergente che alle due curve dello sviluppo planimetrico della galleria. Il moto ondoso si è manifestato con differenze di livello osservate fino ad un massimo di circa 5 cm tra destra e sinistra della galleria per una stessa sezione idraulica, smorzandosi progressivamente procedendo verso valle. In generale, come ci si aspettava, il livello idrico in destra (lato esterno della curva) si è mantenuto superiore rispetto a quello in sinistra a causa delle curvature planimetriche.

I livelli massimi lungo questo tratto si sono osservati a valle del convergente in prossimità del cambio di pendenza, tra la progressiva 235 cm e la progressiva 280 cm, così come riportato nella seguente tabella.

Tabella IX. Livelli massimi lungo il tratto iniziale di galleria per le portate di riferimento

Q (l/s)	sezione	progressiva (cm)	h <sub>sx</sub> modello (cm)	h <sub>dx</sub> modello (cm)	h <sub>sx</sub> prototipo (m)	h <sub>dx</sub> prototipo (m)	riempimento (%)
67	8	275	16.1	17.1	4.83	5.13	72
45	7	238	11.7	13.4	3.51	4.02	54
22	7	238	7.3	8.3	2.19	2.49	33

Nel seguito vengono riportati i livelli misurati in corrispondenza delle tre portate lungo lo sviluppo dell'imbocco dell'opera e del tratto iniziale di galleria fino all'inizio del tratto rettilineo principale.

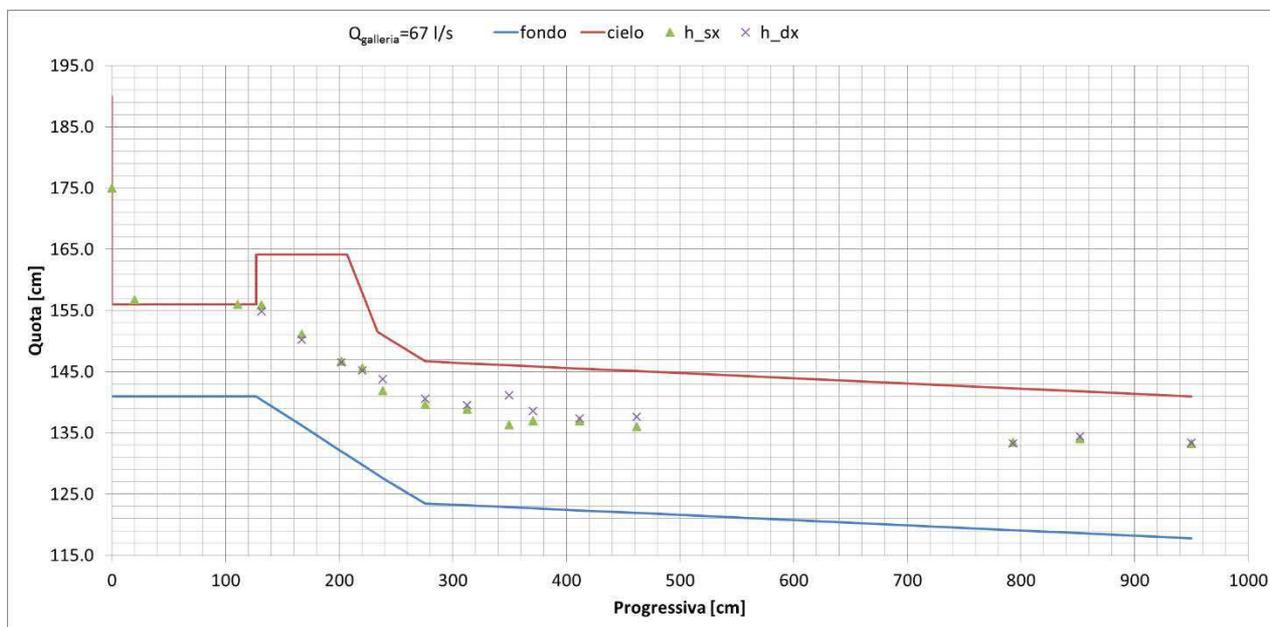


Figura 36. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=67$  l/s

Tabella X. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=67$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
0	0	34.0	-	10.20	-	-
1	20	15.8	-	4.74	-	-
2	111	15.0	-	4.50	-	-
3	132	15.5	14.5	4.65	4.35	63
4	167	15.0	14.0	4.50	4.20	52
5	202	14.7	14.5	4.41	4.35	45
6	220	15.8	15.4	4.74	4.62	56
7	238	14.3	16.2	4.29	4.86	65
8	275	16.1	17.1	4.83	5.13	72
9	312	15.7	16.4	4.71	4.92	69
10	349	13.5	18.3	4.05	5.49	69
11	370	14.3	15.9	4.29	4.77	65
12	411	14.6	15.0	4.38	4.50	64
13	462	14.1	15.7	4.23	4.71	64
14	793	14.4	14.2	4.32	4.26	62
15	852	15.5	15.8	4.65	4.74	67
15.01	950	15.5	15.6	4.65	4.68	67

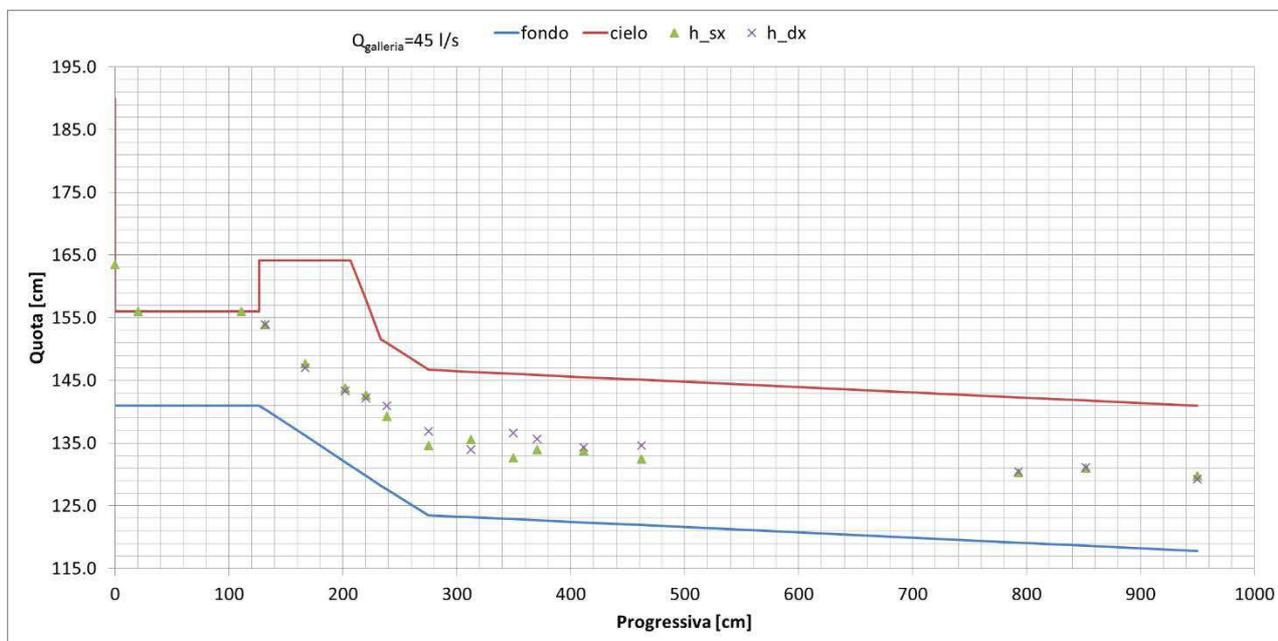


Figura 37. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=45$  l/s

Tabella XI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
0	0	22.5	-	6.75	-	-
1	20	15.0	-	4.50	-	-
2	111	15.0	-	4.50	-	-
3	132	13.5	13.5	4.05	4.05	57
4	167	11.5	10.8	3.45	3.24	40
5	202	11.8	11.3	3.54	3.39	36
6	220	12.9	12.4	3.87	3.72	45
7	238	11.7	13.4	3.51	4.02	54
8	275	11.1	13.4	3.33	4.02	53
9	312	12.4	10.8	3.72	3.24	50
10	349	9.8	13.7	2.94	4.11	51
11	370	11.3	13.0	3.39	3.90	52
12	411	11.4	12.0	3.42	3.60	50
13	462	10.5	12.7	3.15	3.81	50
14	793	11.2	11.4	3.36	3.42	49
15	852	12.4	12.5	3.72	3.75	54
15.01	950	12.0	11.5	3.60	3.45	51

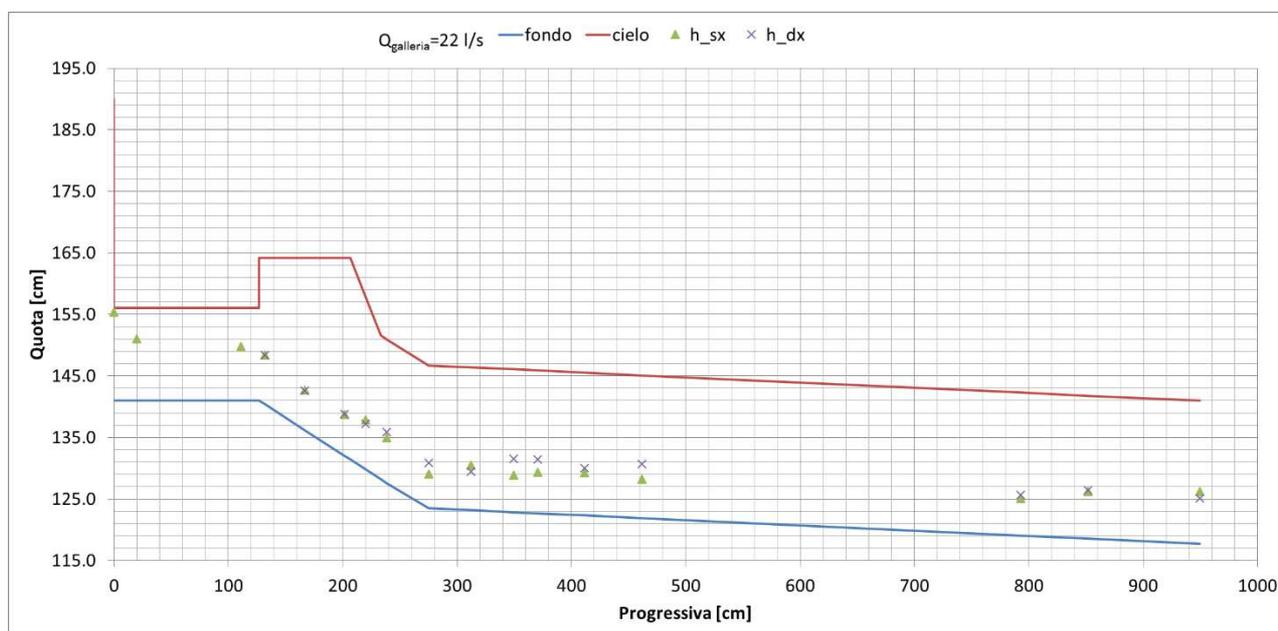


Figura 38. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=22$  l/s

Tabella XII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=22$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
0	0	14.4	-	4.32	-	-
1	20	10.0	-	3.00	-	-
2	111	8.8	-	2.64	-	-
3	132	8.0	8.0	2.40	2.40	34
4	167	6.5	6.4	1.95	1.92	23
5	202	6.7	6.8	2.01	2.04	21
6	220	8.1	7.4	2.43	2.22	28
7	238	7.3	8.3	2.19	2.49	33
8	275	5.6	7.4	1.68	2.22	28
9	312	7.3	6.3	2.19	1.89	29
10	349	6.0	8.7	1.80	2.61	32
11	370	6.7	8.8	2.01	2.64	33
12	411	6.9	7.7	2.07	2.31	31
13	462	6.3	8.8	1.89	2.64	33
14	793	6.0	6.6	1.80	1.98	27
15	852	7.6	7.8	2.28	2.34	33
15.01	950	8.5	7.3	2.55	2.19	34

### 5.1.2 Velocità

La velocità  $V_1$  è stata ricavata in corrispondenza dell'uscita dalle paratoie (sezione 3, progressiva 130 cm) in modo indiretto, nota la portata defluente e il tirante idrico.



Tabella XIII. Velocità determinate all'uscita delle paratoie per le portate di riferimento

Q (l/s)	V1 modello (m/s)	V1 prototipo (m/s)
67	1.51	8.27
45	1.13	6.17
22	0.93	5.09

### 5.1.3 Pressioni in calotta

Le misure di pressione hanno interessato la sommità di due sezioni significative a valle delle paratoie, al fine di verificare l'eventuale presenza di pressioni negative (depressioni) e relativi processi di cavitazione particolarmente gravose per l'opera. In particolare, è stata considerata la sezione di mezzzeria del tratto, a valle del convergente planimetrico, di transizione a sezione policentrica (P1, progressiva 218 cm, concio 42) e una sezione più a valle, in corrispondenza del tratto terminale a geometria variabile (P2, progressiva 343 cm, concio 39). Nelle tabelle seguenti vengono riportati, per ognuna delle 3 portate di riferimento, i valori massimi, minimi e medi di pressione registrati durante ciascuna prova.

Tabella XIV. Pressioni in calotta lungo in tratto iniziale di galleria per Q=67 l/s

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	2.4	3.1
min	-0.1	-0.1	-2.3	-2.5
media	0.0	0.0	-0.3	-0.2

Tabella XV. Pressioni in calotta lungo in tratto iniziale di galleria per Q=45 l/s

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.3	0.4	9.7	11.9
min	-0.1	0.0	-1.5	-1.3
media	0.1	0.1	3.3	4.3

Tabella XVI. Pressioni in calotta lungo in tratto iniziale di galleria per Q=22 l/s

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	2.7	2.4
min	0.0	0.0	-1.1	-1.0
media	0.0	0.0	0.5	0.6

Le pressioni negative più rilevanti, seppur con valori non significativi, si sono registrate in corrispondenza di P2 per portata pari a 67 l/s. In generale, le pressioni osservate si sono attestate su valori contenuti, nell'ordine di qualche cm di colonna d'acqua alla scala del prototipo, tali da non

evidenziare una particolare insufficienza nell'aerazione della galleria che avviene tramite gli aerofori posti all'imbocco.

## 5.2 GALLERIA TRATTO RETTILINEO (DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16)

### 5.2.1 Livelli

Lungo il tratto rettilineo principale si è osservato un profilo di corrente veloce ritardata perturbato dalla presenza della curva di valle, tale da causare un rigonfiamento del pelo libero nella parte terminale di questo tratto.

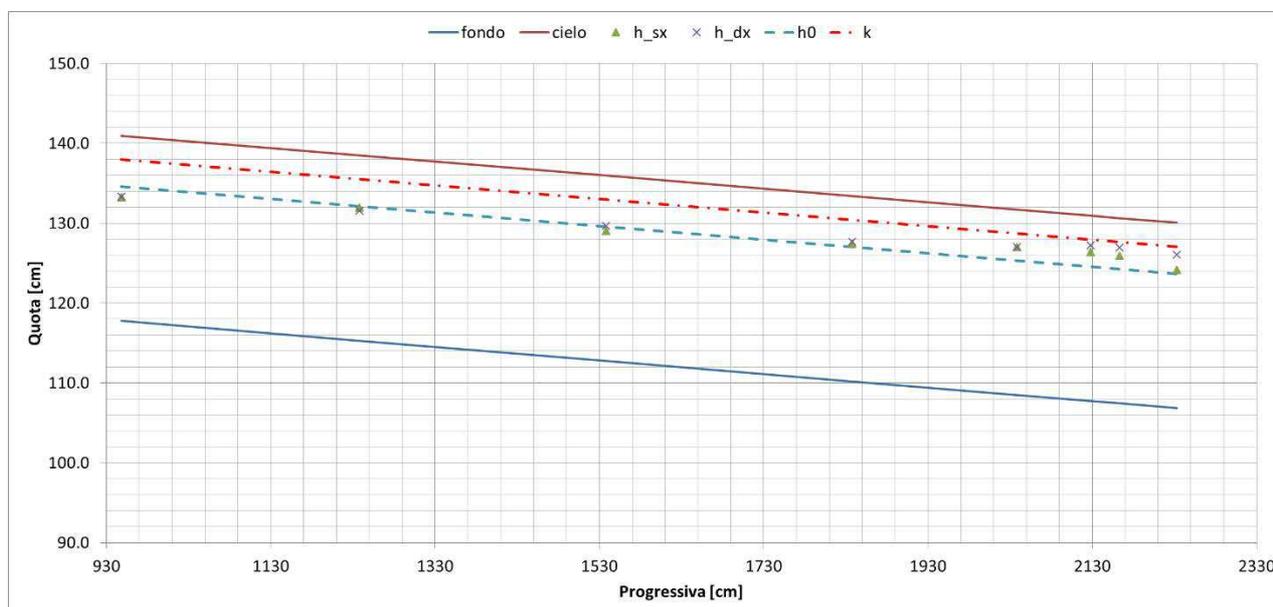


Figura 39. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=67$  l/s

Tabella XVII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=67$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.01	950	15.5	15.6	4.65	4.68	67
15.02	1230	16.7	16.3	5.01	4.89	71
15.03	1530	16.3	16.9	4.89	5.07	72
15.04	1830	17.2	17.5	5.16	5.25	75
15.05	2030	18.5	18.5	5.55	5.55	80
15.06	2130	18.7	19.5	5.61	5.85	82
15.07	2175	18.5	19.5	5.55	5.85	82
15.08	2245	17.3	19.2	5.19	5.76	79

L'effetto di rigonfiamento nella parte terminale del tratto rettilineo è stato osservato per ognuna delle tre portate di riferimento, evidenziando un grado di riempimento medio dell'82% nella sezione più critica per la portata massima pari a  $Q=67$  l/s, con in destra un valore locale massimo dell'84%.

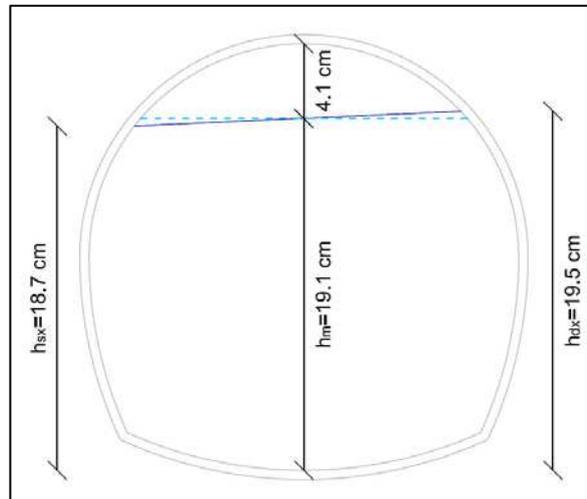


Figura 40. Sezione 15.06 (termine tratto rettilineo principale) con livelli misurati in destra e in sinistra per  $Q=67$  l/s

Tale grado di riempimento evidenzia una limitata capacità residua di smaltimento delle portate a pelo libero, interessando la porzione di sommità della sezione policentrica che, come noto, è caratterizzata da una curvatura in calotta che limita l'area residua disponibile e risulta sensibile anche a piccole variazioni di portata.

Tale innalzamento di livello al di sopra dell'altezza di moto uniforme è dovuto agli effetti localizzati della perdita di carico  $h_f = f_c \frac{V^2}{2g}$  (Chow, 1959; Ippen, 1944) indotta dalla curva, in corrente veloce che caratterizza il tratto di valle. Come noto, la curva produce un'oscillazione trasversale del pelo libero tra i due lati, interno ed esterno della curva, dando luogo a un'onda stazionaria trasversale, involuppo di una serie di oscillazioni del pelo libero, che causa la perdita di carico.

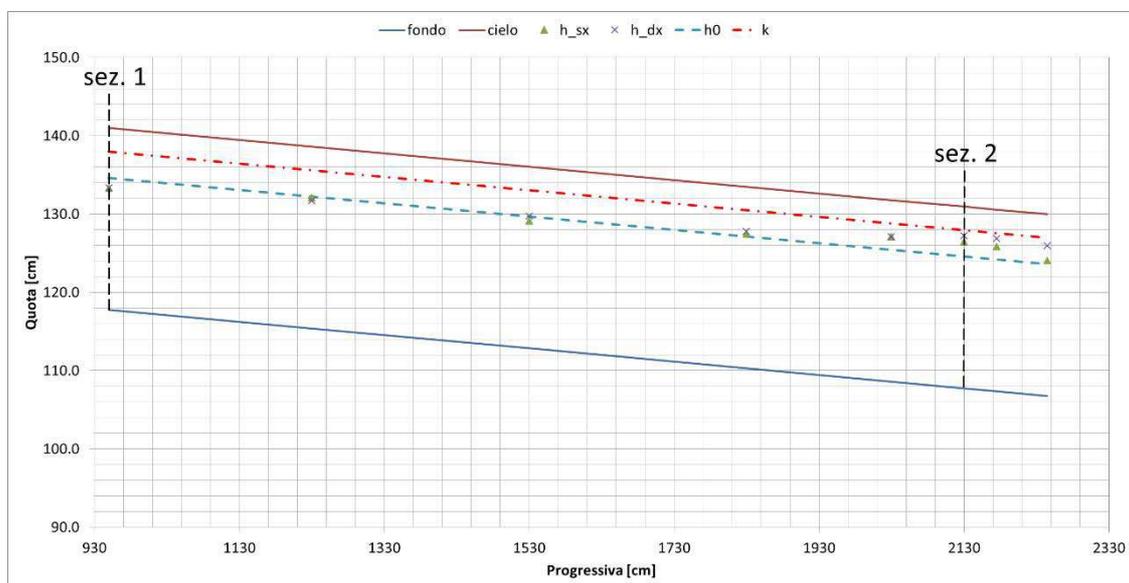


Figura 41. Sezione di monte (sez. 1) e di valle (sez. 2) del tratto rettilineo principale di galleria con relativi livelli misurati per  $Q=67$  l/s



Facendo riferimento al profilo riportato in figura, si ricava per la sezione di monte del tratto rettilineo (sez. 1) il livello di energia:

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.375 \text{ m}$$

ottenuto dalla misura di livello e dall'immediato calcolo della velocità essendo assegnata la portata. Come noto, il passaggio della corrente nella sezione a monte della curva (sez. 2) avviene allorché:

$$E_2 \geq E_c + f_c \frac{V^2}{2g}$$

dove:  $h_f = f_c \frac{V^2}{2g}$  è la perdita di carico globale dovuto al processo di sovrizzo che si genera nella curva;  $E_c$  rappresenta l'energia critica.

Nel caso specifico, il livello energetico valutato su modello in corrispondenza della sezione di valle (sez. 2) è:

$$E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = 0.338 \text{ m}$$

che risulta, nell'ambito dell'approssimazione del modello, pari alla minima energia necessaria, ossia quella critica:

$$E_c = K + \frac{V_c^2}{2g} = 0.335 \text{ m}$$

quest'ultima calcolata come minimo della funzione dell'energia specifica  $E(h)$  per la sezione policentrica in oggetto.

Nell'ipotesi che la perdita di carico distribuita  $\Delta J = J \cdot L$  sia pressoché bilanciata dalla perdita geodetica  $\Delta z = i \cdot L$  (siamo in corrente veloce ritardata), l'energia nella sezione 1 è circa uguale a quella nella sezione 2, pertanto la perdita di carico dovuta alla curva  $h_f$  risulta:

$$h_f = \Delta E = E_1 - E_2 = 0.034 \text{ m}$$

da cui si ricava un valore di  $f_c = 0.245$ , valore anche riscontrabile nei valori di letteratura.

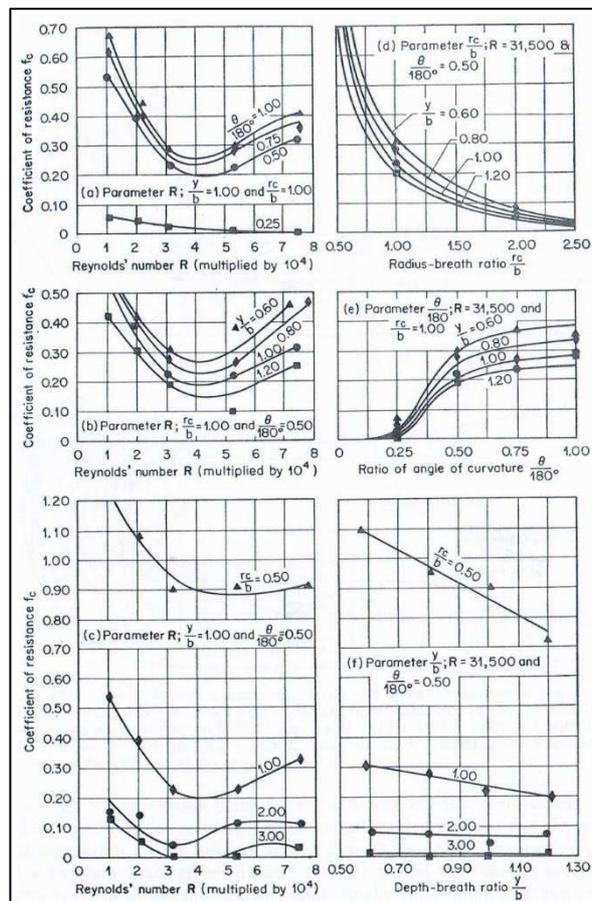


Figura 42. Funzioni parametriche sperimentali per la determinazione del valore di  $f_c$  (Chow, 1959)

Il valore dell'energia nella Sezione 2 permette il passaggio della corrente al limite dello stato critico con un livello  $h_2$  inferiore di appena di 1 cm rispetto a quello dello stato critico.

L'elevato grado di riempimento nella sezione 2 (valle tratto rettilineo, prog. 2130 cm) unito al il tipo di corrente veloce, alla sua condizione energetica e alla forma di sezione chiusa, evidenziano che il funzionamento a pelo libero della galleria è sicuramente una condizione "idraulicamente delicata". Infatti tale sezione presenta un livello energetico che è al di sopra del cielo della galleria, aspetto che unitamente alla forma della sezione chiusa, al tipo di corrente veloce ritardata, alla limitata differenza tra energia di monte e energia critica e relativi tiranti idrici, fa sì che piccole variazioni dalla condizione di esecuzione del progetto e di esercizio della galleria potrebbero mandare in pressione il tronco di galleria nelle progressive della parte terminale del tratto rettilineo e a monte del della sezione a fondo piano del tratto terminale per portata millenaria ( $Q=67$  l/s, pari a 332 mc/s nel prototipo).

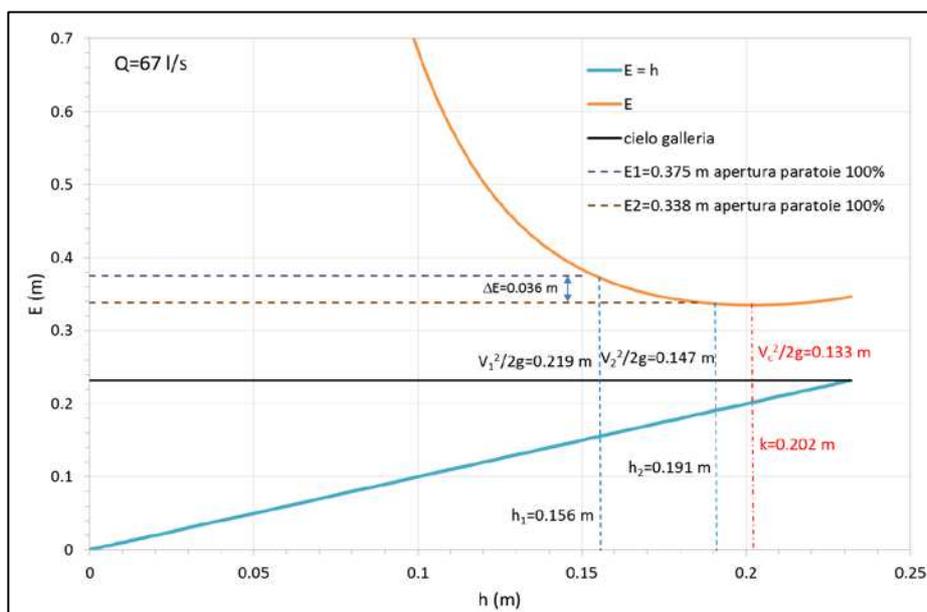


Figura 43. Energia alla sezione di monte (1) e di valle (2) del tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=67$  l/s

Nel seguito si riportano i profili e i livelli misurati relativi alle portate smaltite in galleria pari a 45 l/s e 22 l/s, per le quali valgono considerazioni analoghe a quelle sopra esposte per  $Q=67$  l/s.

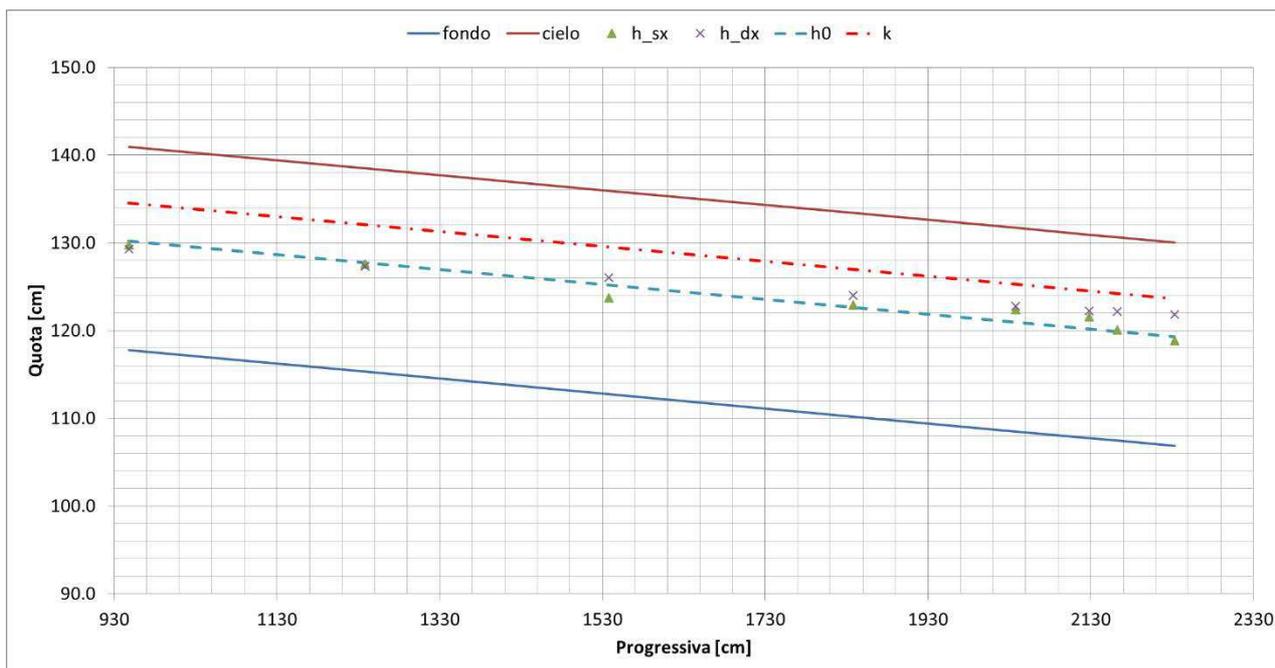


Figura 44. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=45$  l/s

Tabella XVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.01	950	12.0	11.5	3.6	3.45	51
15.02	1230	12.3	12.0	3.69	3.6	52



Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.03	1530	11.0	13.3	3.3	3.99	52
15.04	1830	12.7	13.8	3.81	4.14	57
15.05	2030	13.9	14.3	4.17	4.29	61
15.06	2130	13.8	14.5	4.14	4.35	61
15.07	2175	12.6	14.7	3.78	4.41	59
15.08	2245	12.0	15.0	3.6	4.5	58

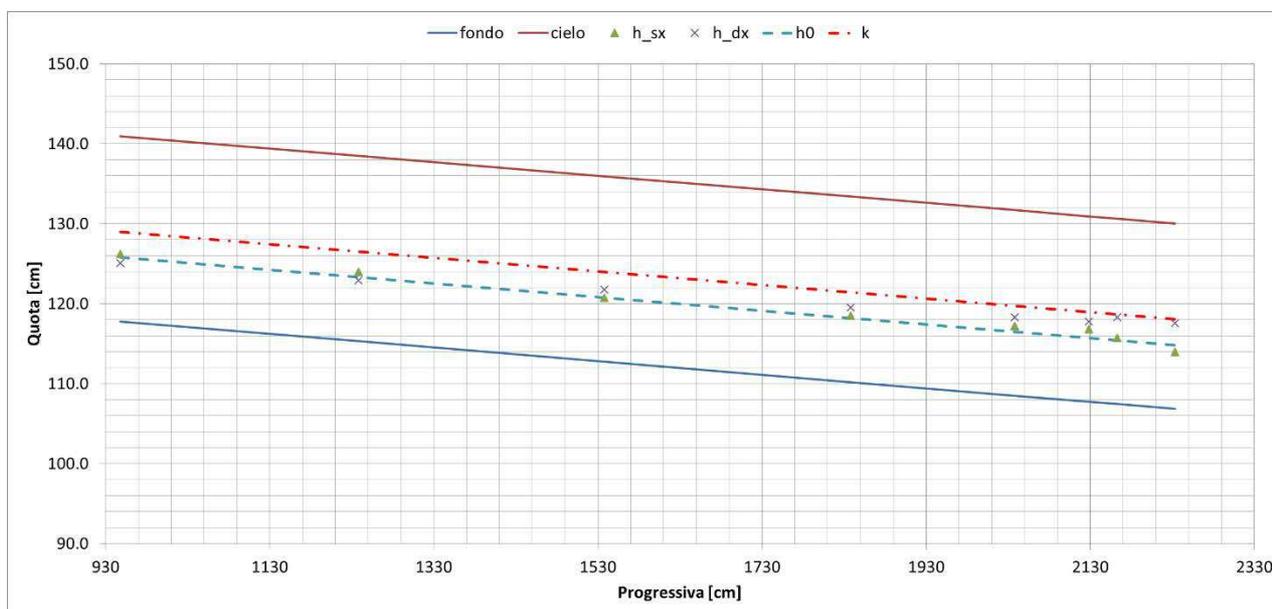


Figura 45. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per Q=22 l/s

Tabella XIX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per Q=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.01	950	8.5	7.3	2.55	2.19	34
15.02	1230	8.7	7.6	2.61	2.28	35
15.03	1530	8.0	9.0	2.4	2.7	37
15.04	1830	8.3	9.3	2.49	2.79	38
15.05	2030	8.7	9.8	2.61	2.94	40
15.06	2130	9.1	10.0	2.73	3	41
15.07	2175	8.3	10.9	2.49	3.27	41
15.08	2245	7.1	10.7	2.13	3.21	38

### 5.2.2 Velocità

Le velocità sono state rilevate lungo il tratto rettilineo principale tramite l'utilizzo del misuratore a mulinello, in particolare in due sezioni significative: ad inizio del tratto rettilineo (V2, progressiva 950 cm, concio 28) e al termine di tale tratto (V3, progressiva 2130 cm, concio 16).



Tabella XX. Velocità misurate con mulinello nelle sezioni di monte e di valle del tratto rettilineo principale per le 3 portate di riferimento

Q (l/s)	V2 modello (m/s)	V3 modello (m/s)	V2 prototipo (m/s)	V3 prototipo (m/s)
67	2.31	1.70*	12.65	9.33
45	2.16	1.83	11.81	10.02
22	1.97	1.57	10.78	8.62

\*valore calcolato medio sulla sezione in quanto non è stato possibile eseguire la misura con mulinello a causa dell'elevato grado di riempimento

### 5.2.3 Pressioni in calotta

Lungo il tratto rettilineo la pressione in calotta è stata monitorata in mezzeria (P3, progressiva 1540, concio 22), al fine di verificare la presenza di eventuali pressioni negative. Per ciascuna delle 3 portate di riferimento vengono riportati nelle seguenti tabelle i valori massimi, minimi e medi osservati.

Tabella XXI. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale per Q=67 l/s

	P3 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P3 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	3.2
min	-0.1	-2.1
media	0.0	0.1

Tabella XXII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale per Q=45 l/s

	P3 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P3 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.3	9.8
min	-0.1	-1.5
media	0.1	3.4

Tabella XXIII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale per Q=22 l/s

	P3 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P3 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	1.7
min	0.0	-1.3
media	0.0	0.1

Le pressioni osservate non sono risultate essere tali da evidenziare particolari carenze nell'areazione della corrente con conseguente sviluppo di rilevanti depressioni, il valore massimo di pressione negativa si è verificato in corrispondenza della portata massima di 67 l/s, pur rimanendo, come per le altre portate, nell'ordine di pochi centimetri di colonna d'acqua alla scala del prototipo.

## 5.3 GALLERIA TRATTO TERMINALE (DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1)

### 5.3.1 Livelli

Le misure di livello hanno interessato la curva di valle e l'ultimo tratto di galleria fino allo scivolo terminale a monte del canale di restituzione. Lungo questo tratto si è osservato, analogamente al tratto iniziale di galleria, un moto ondoso stazionario con sviluppo di onde trasversali che si riflettono in modo ciclico sulle pareti interna ed esterna, con tendenza ad attenuarsi proseguendo nel successivo tratto rettilineo a valle della curva. Ciò per la curvatura planimetrica e per il moto in corrente veloce. Questo fenomeno si è manifestato con livelli idrici in destra maggiori rispetto a quelli in sinistra, fino ad una differenza massima di 3 cm in corrispondenza della portata pari a 67 l/s.

Lungo il tratto rettilineo compreso tra la curva e lo scivolo terminale si è potuto osservare lo sviluppo di un profilo di corrente veloce ritardata, con un tirante massimo di 18.7 cm (5.61 m nel prototipo) nella sezione subito più a monte del tratto di transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano (sezione 24, prog. 2996 cm), con un corrispondente grado di riempimento pari all'81%. Successivamente, proseguendo verso valle, il livello tende a decrescere potendo contare sulla maggior area utile della sezione con fondo piano e sulla presenza dello scivolo terminale.

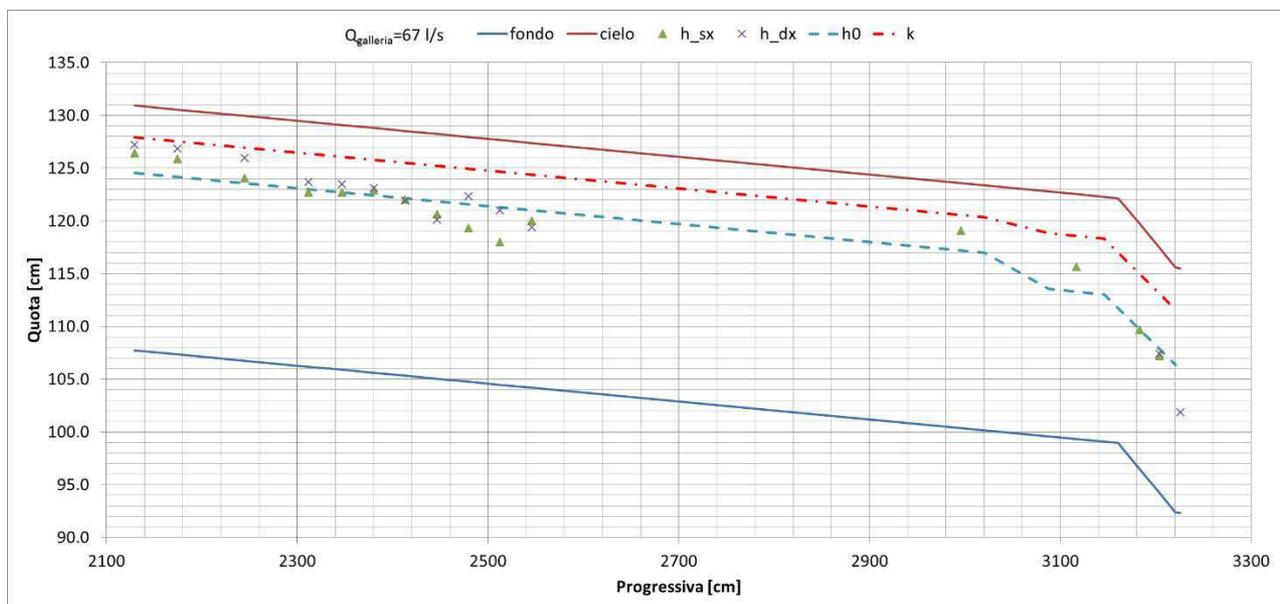


Figura 46. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=67$  l/s

Tabella XXIV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=67$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.06	2130	18.7	19.5	5.61	5.85	82
15.07	2175	18.5	19.5	5.55	5.85	82
15.08	2245	17.3	19.2	5.19	5.76	79
16	2312	16.5	17.5	4.95	5.25	73
17	2347	16.8	17.6	5.04	5.28	74

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
18	2380	17.3	17.5	5.19	5.25	75
19	2413	16.7	16.6	5.01	4.98	72
20	2446	15.6	15.1	4.68	4.53	66
21	2480	14.6	17.6	4.38	5.28	69
22	2513	13.5	16.5	4.05	4.95	65
23	2546	15.8	15.2	4.74	4.56	67
24	2996	18.7	-	5.61	-	81
25	3117	16.3	-	4.89	-	70
26	3183	13.2	-	3.96	-	57
26.01	3204	13.0	13.2	3.90	3.96	56
27	3226	-	9.5	-	2.85	41

Lungo il tratto interessato dalla curva, in particolare, è stato possibile osservare differenze tra i livelli misurati in sinistra e quelli misurati in destra, dovute proprio all'effetto della curvatura, con un dislivello massimo di 3 cm alla sezione 21.

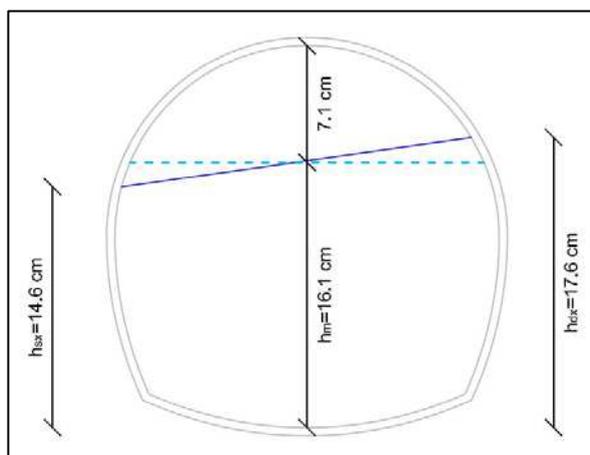


Figura 47. Sezione 21 del tratto in curva con livelli misurati in destra e in sinistra per  $Q=67$  l/s

Analogamente a quanto osservato lungo il tratto rettilineo principale, la transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano provoca una perdita di carico che si manifesta con un aumento di livello oltre l'altezza di moto uniforme nella sezioni subito più a monte di tale transizione.

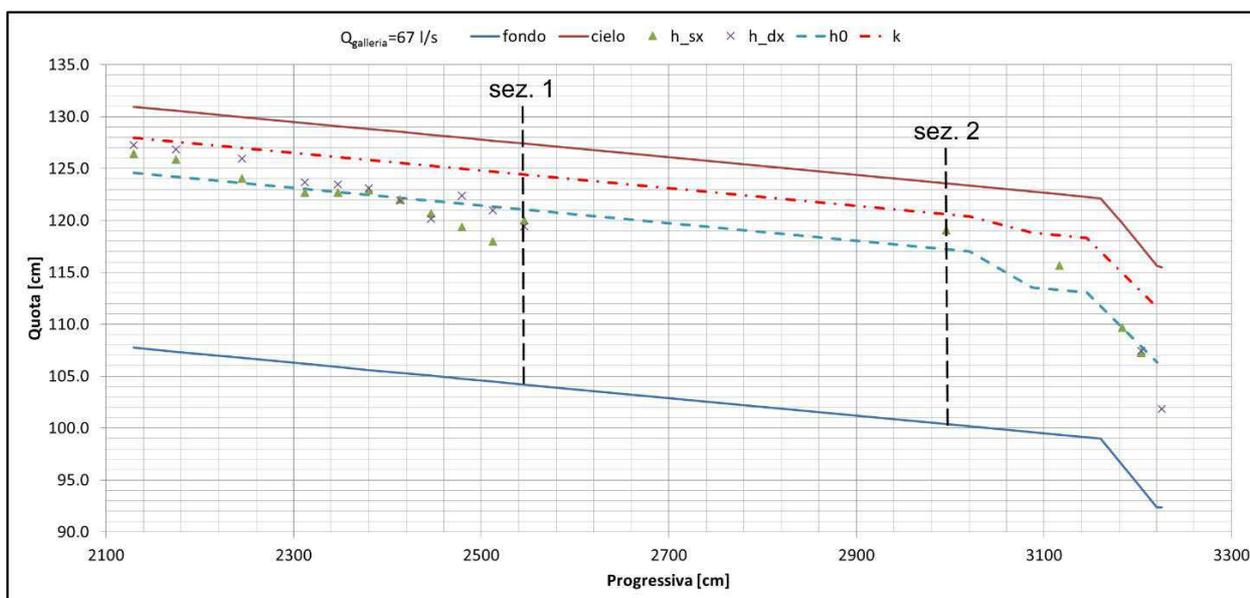


Figura 48. Sezione di monte (sez. 1) e di valle (sez. 2) del tratto terminale di galleria con relativi livelli misurati per  $Q=67$  l/s

Facendo riferimento al profilo riportato in figura, si ricava per la sezione di monte di tale tratto (sez. 1) il livello di energia:

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.376 \text{ m}$$

ottenuto dalla misura di livello e dall'immediato calcolo della velocità essendo assegnata la portata. Come noto, il passaggio della corrente nella sezione a monte della transizione (sez. 2) avviene allorché:

$$E_2 \geq E_c + f_t \frac{V^2}{2g}$$

dove  $h_t = f_t \frac{V^2}{2g}$  è la perdita di carico globale dovuto al processo di transizione della forma di sezione.

Nel caso specifico, il livello energetico valutato su modello in corrispondenza della sezione di valle (sez. 2) è:

$$E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = 0.340 \text{ m}$$

che risulta di poco superiore alla minima energia necessaria, ossia quella critica:

$$E_c = K + \frac{V_c^2}{2g} = 0.335 \text{ m}$$

Nell'ipotesi che la perdita di carico distribuita  $\Delta J = J \cdot L$  sia pressochè bilanciata dalla perdita geodetica  $\Delta z = i \cdot L$  (siamo in corrente veloce ritardata), l'energia nella sezione 1 è circa uguale a quella nella sezione 2, pertanto la perdita di carico dovuta alla transizione  $h_t$  risulta:

$$h_t = \Delta E = E_1 - E_2 = 0.036 \text{ m}$$

da cui si ricava un valore di  $f_t = 0.232$ .

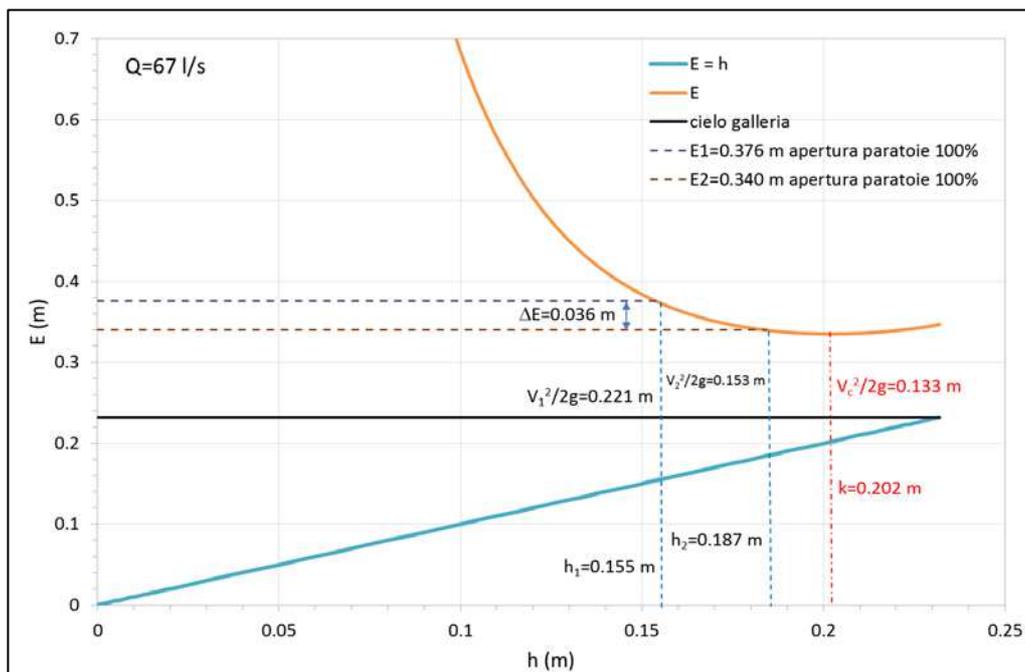


Figura 49. Livelli energetici associati alla sezione di monte (1) e di valle (2) del tratto terminale di galleria a monte della transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano per  $Q=67 \text{ l/s}$

Analogamente al tratto rettilineo principale, l'elevato grado di riempimento nella sezione 2 (monte del tratto di transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano, prog. 2996 cm) unito al il tipo di corrente veloce, alla sua condizione energetica e alla forma di sezione chiusa, evidenziano che il funzionamento a pelo libero della galleria ammette bassa tolleranza sia rispetto alle condizioni di progetto che di esecuzione, aspetti che potrebbero quindi mandare in pressione la galleria anche lungo questo tratto per la portata  $Q=67 \text{ l/s}$  (332 mc/s nel prototipo).

Nel seguito si riportano i profili e i livelli misurati relativi alle portate smaltite in galleria pari a 45 l/s e 22 l/s, per le quali valgono considerazioni analoghe a quelle sopra esposte per  $Q=67 \text{ l/s}$ .

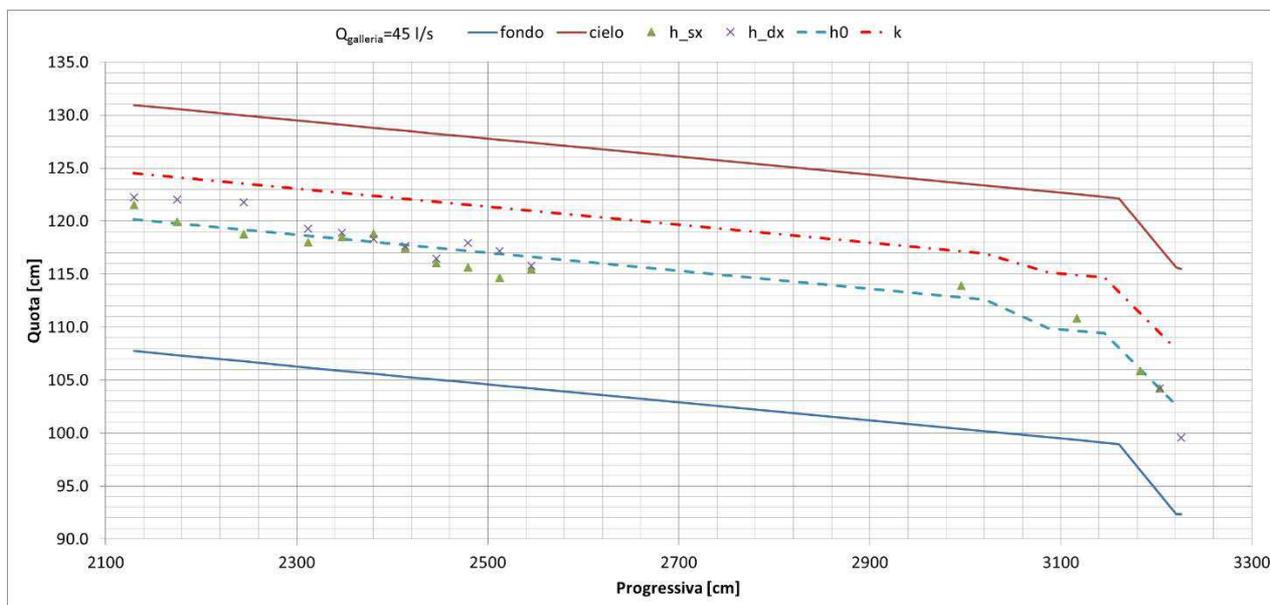


Figura 50. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=45$  l/s

Tabella XXV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.06	2130	13.8	14.5	4.14	4.35	61
15.07	2175	12.6	14.7	3.78	4.41	59
15.08	2245	12.0	15.0	3.60	4.50	58
16	2312	11.8	13.1	3.54	3.93	54
17	2347	12.6	13.0	3.78	3.90	55
18	2380	13.2	12.7	3.96	3.81	56
19	2413	12.1	12.3	3.63	3.69	53
20	2446	11.0	11.4	3.30	3.42	48
21	2480	10.9	13.2	3.27	3.96	52
22	2513	10.2	12.7	3.06	3.81	49
23	2546	11.3	11.6	3.39	3.48	49
24	2996	13.5	-	4.05	-	58
25	3117	11.5	-	3.45	-	50
26	3183	9.4	-	2.82	-	40
26.01	3204	10.0	10.0	3.00	3.00	43
27	3226	-	7.2	-	2.16	31

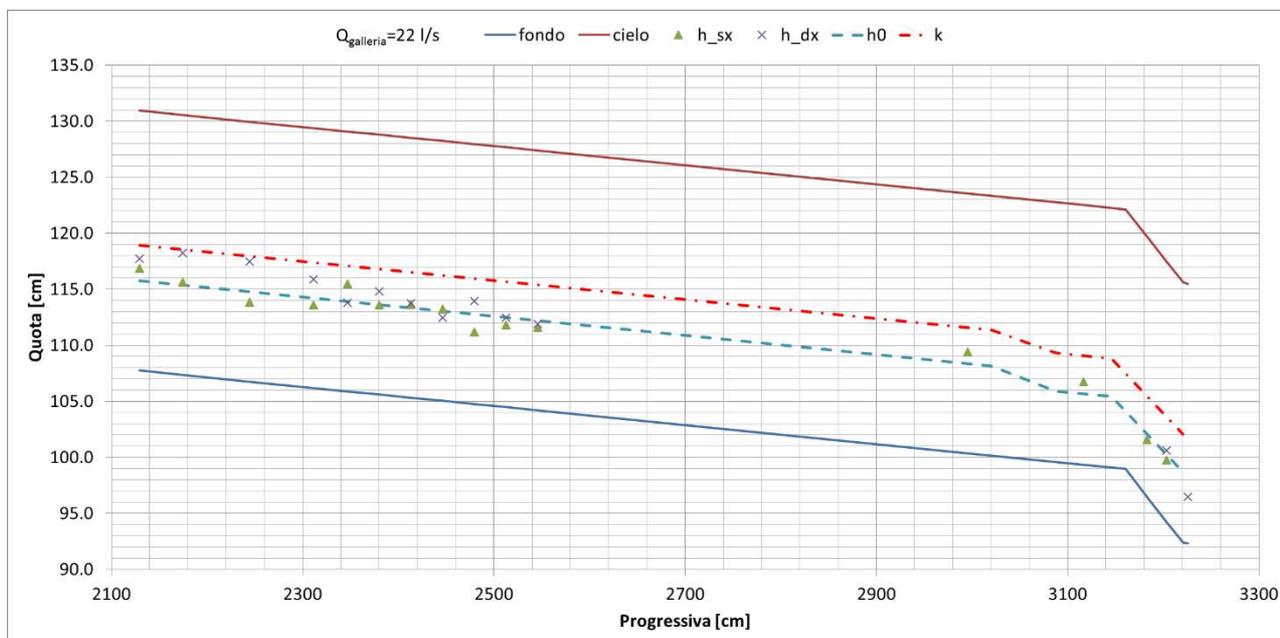


Figura 51. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=22$  l/s

Tabella XXVI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per  $Q=22$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.06	2130	9.1	10.0	2.73	3.00	41
15.07	2175	8.3	10.9	2.49	3.27	41
15.08	2245	7.1	10.7	2.13	3.21	38
16	2312	7.4	9.7	2.22	2.91	37
17	2347	9.6	7.9	2.88	2.37	38
18	2380	8.0	9.2	2.40	2.76	37
19	2413	8.3	8.4	2.49	2.52	36
20	2446	8.2	7.4	2.46	2.22	34
21	2480	6.4	9.2	1.92	2.76	34
22	2513	7.3	8.0	2.19	2.40	33
23	2546	7.4	7.7	2.22	2.31	33
24	2996	9.0	-	2.70	-	39
25	3117	7.4	-	2.22	-	32
26	3183	5.1	-	1.53	-	22
26.01	3204	5.5	6.4	1.65	1.92	26
27	3226	-	4.1	-	1.23	18

### 5.3.2 Velocità

La velocità  $V_4$  è stata rilevata con misuratore a mulinello posizionato in prossimità della sezione di valle dello scivolo terminale, alla progressiva 3215 cm.



Tabella XXVII. Velocità misurate con mulinello nella sezione di valle dello scivolo terminale per le 3 portate di riferimento

Q (l/s)	V4 modello (m/s)	V4 prototipo (m/s)
67	2.32	12.71
45	2.25	12.32
22	2.00	10.97

## 5.4 CANALE DI RESTITUZIONE (DA PROG. 3220 CM A PROG. 3570 CM)

### 5.4.1 Livelli

Lungo il canale di restituzione si è potuto osservare un andamento del pelo libero caratterizzato da un moto ondoso stazionario con livelli in cresta progressivamente crescenti procedendo verso valle. Questo fenomeno risulta causato dalla presenza delle soglie sporgenti ( $h_{soglie}=2$  cm), che, dissipando energia cinetica, provocano un aumento progressivo del tirante.

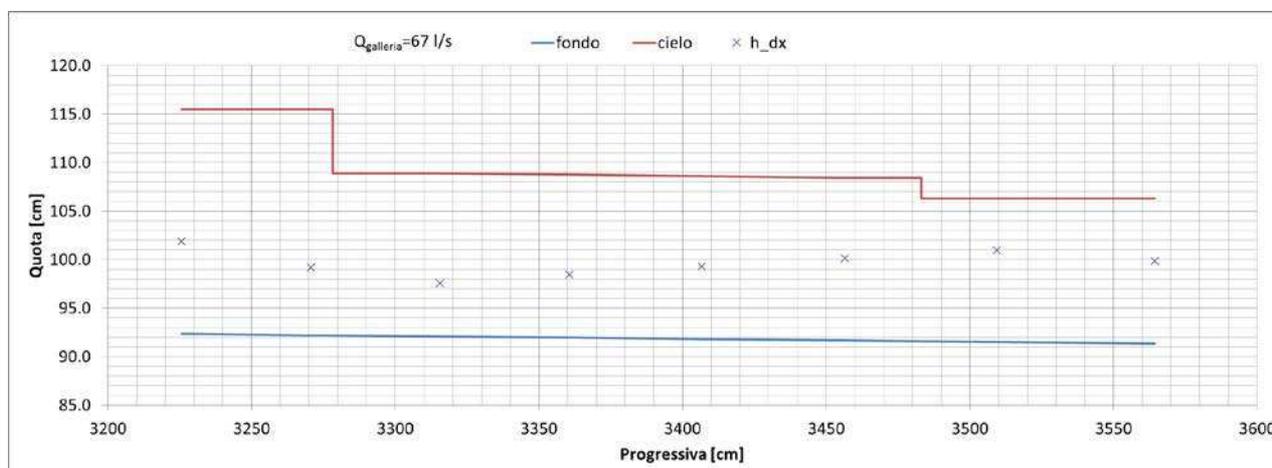


Figura 52. Profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s

Tabella XXVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	9.5	-	2.85	41
28	3271	-	7.0	-	2.10	30
29	3316	-	5.5	-	1.65	33
30	3361	-	6.5	-	1.95	39
31	3407	-	7.5	-	2.25	45
32	3457	-	8.5	-	2.55	51
33	3509	-	9.5	-	2.85	64
34	3564	-	8.5	-	2.55	57

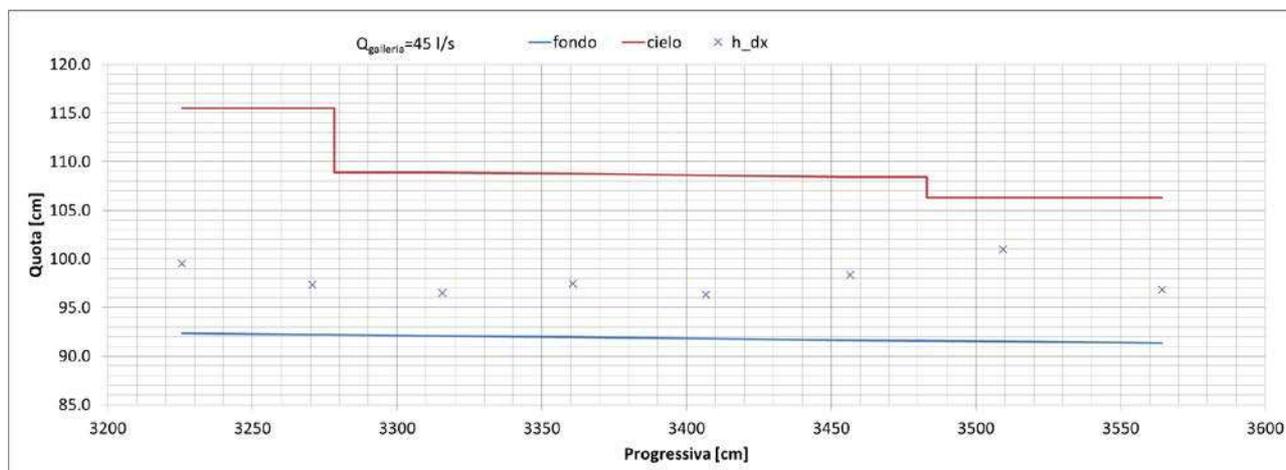


Figura 53. Profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q=45$  l/s

Tabella XXIX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	7.2	-	2.16	31
28	3271	-	5.1	-	1.53	22
29	3316	-	4.4	-	1.32	26
30	3361	-	5.5	-	1.65	33
31	3407	-	4.5	-	1.35	27
32	3457	-	6.7	-	2.01	40
33	3509	-	9.5	-	2.85	64
34	3564	-	5.5	-	1.65	37

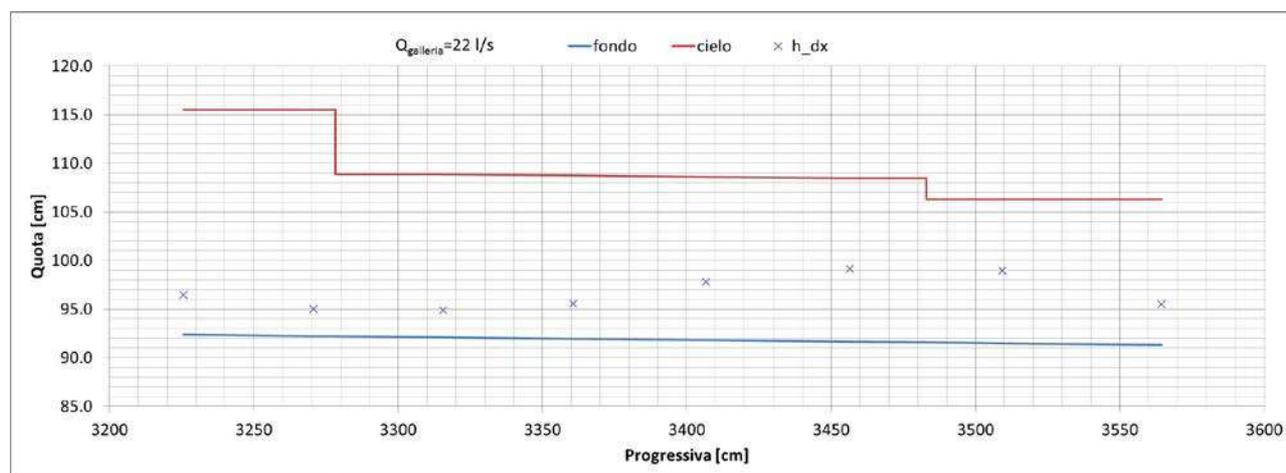


Figura 54. Profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q=22$  l/s

Tabella XXX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q=22$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	4.1	-	1.23	18



Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
28	3271	-	2.8	-	0.84	12
29	3316	-	2.8	-	0.84	17
30	3361	-	3.6	-	1.08	21
31	3407	-	6.0	-	1.80	36
32	3457	-	7.5	-	2.25	45
33	3509	-	7.5	-	2.25	51
34	3564	-	4.2	-	1.26	28

#### 5.4.2 Velocità

Lungo il canale di restituzione le velocità nelle varie sezioni sono state misurate in modo indiretto, nota la portata, la geometria ed il livello.

Tabella XXXI. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q=67 l/s

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.86	15.64
28	3271	2.64	14.46
29	3316	2.46	13.48
30	3361	1.77	9.69
31	3407	1.52	8.35
32	3457	1.31	7.16
33	3509	1.08	5.89
34	3564	1.12	6.11

Tabella XXXII. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q=45 l/s

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.53	13.86
28	3271	2.43	13.33
29	3316	2.07	11.32
30	3361	1.40	7.67
31	3407	1.71	9.35
32	3457	1.11	6.10
33	3509	0.72	3.95
34	3564	1.16	6.34

Tabella XXXIII. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q=22 l/s

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.17	11.90
28	3271	2.17	11.87
29	3316	1.59	8.69
30	3361	1.05	5.73
31	3407	0.63	3.43
32	3457	0.49	2.67
33	3509	0.45	2.45
34	3564	0.74	4.06



È stato inoltre possibile valutare la riduzione di velocità indotta lungo l'opera come differenza tra la velocità nella sezione di monte (sezione 27 a valle dello scivolo terminale) e la sezione di valle (sezione 34 a valle dell'ultima soglia sporgente).

Tabella XXXIV. Riduzioni di velocità indotte lungo il canale di restituzione per le 3 portate di riferimento

Q (l/s)	$\Delta V$ modello (m/s)	$\Delta V$ prototipo (m/s)
67	1.74	9.53
45	1.37	7.50
22	1.43	7.83

### 5.4.3 Pressioni in calotta

Le misure di pressione in calotta hanno interessato il tratto di canale coperto a valle degli aerofori posti ad inizio del divergente. In particolare, si sono monitorate le pressioni in 2 punti significativi di misura, il primo (P4) poco più a valle degli aerofori, mentre il secondo (P5) nel canale di destra circa in mezzera tra le due sezioni di areazione della corrente costituite dagli aerofori a monte e dal canale a cielo aperto a valle.

Tabella XXXV. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q=67 l/s

	P4 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P5 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P4 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P5 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	2.8	2.8
min	-0.1	-0.1	-2.0	-2.4
media	0.0	0.0	-0.1	-0.1

Tabella XXXVI. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q=45 l/s

	P4 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P5 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P4 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P5 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.4	0.4	11.4	12.7
min	0.0	0.0	-1.2	-0.2
media	0.1	0.2	4.2	5.4

Tabella XXXVII. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q=22 l/s

	P4 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P5 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P4 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P5 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	2.7	2.8
min	0.0	0.0	-0.6	-0.6
media	0.0	0.0	0.9	0.8

In generale, non si sono osservate pressioni negative rilevanti tali da evidenziare un'insufficienza nell'areazione della corrente; i valori negativi massimi, infatti, si sono attestati sui 2 cm circa di colonna d'acqua rapportati alla scala del prototipo.

## 5.5 CONFLUENZA

I livelli idrici e le velocità nel piano xy sono stati campionati lungo il tratto di confluenza in alcuni punti significativi relativi al tratto scoperto di canale a valle delle soglie sporgenti (V5), alla sezione di monte della confluenza (V6), alla sezione in corrispondenza della confluenza (V7 e V8) ed infine ad una sezione di valle della confluenza (V9).

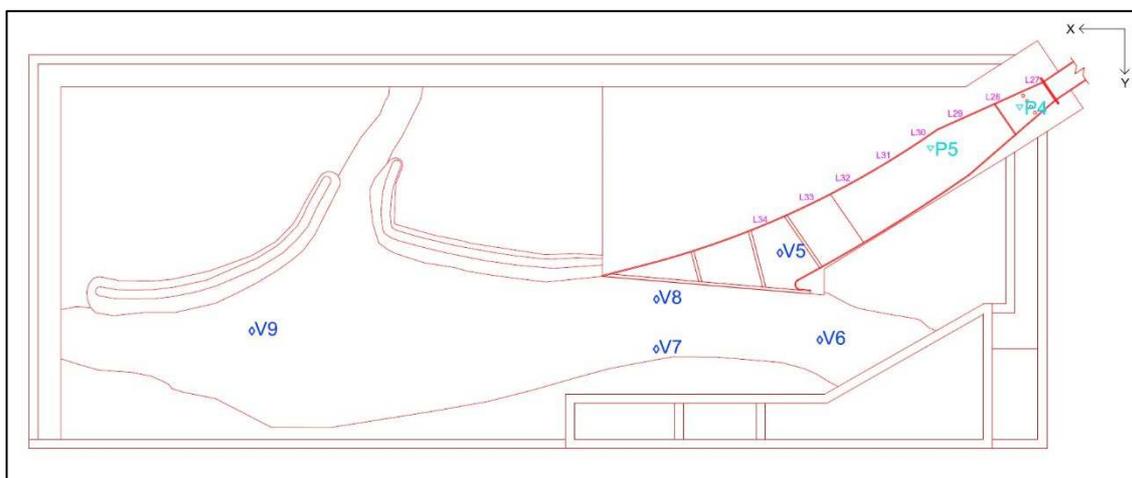


Figura 55. Punti di misura dei livelli e delle velocità (in blu) lungo il tratto di confluenza

### 5.5.1 Livelli

I livelli osservati lungo il tratto di confluenza sono risultati essere contenuti all'interno dell'alveo del Chiese nello scenario di progetto. I livelli massimi si sono osservati nel tratto terminale, in corrispondenza del restringimento di sezione naturale del Chiese.

Tabella XXXVIII. Tiranti idrici misurati lungo il tratto di confluenza per le 3 portate di riferimento con Fiume Chiese a portata nulla

Q (l/s)	Modello					Prototipo				
	h(V5) (cm)	h(V6) (cm)	h(V7) (cm)	h(V8) (cm)	h(V9) (cm)	h(V5) (m)	h(V6) (m)	h(V7) (m)	h(V8) (m)	h(V9) (m)
67	7.3	4.3	6.9	3.9	11.8	2.19	1.29	2.07	1.17	3.54
45	6.1	3.4	5.8	2.1	8.4	1.83	1.02	1.74	0.63	2.52
22	3.5	2.3	3.5	2.2	3.5	1.05	0.69	1.05	0.66	1.05

### 5.5.2 Velocità

Le velocità massime si sono osservate alla sezione di confluenza nel punto V8, con un valore massimo di 1.4 m/s (7.7 m/s nel prototipo) in corrispondenza della portata massima di 67 l/s. In generale, si è osservata un'accelerazione della corrente lungo il tratto terminale di canale scoperto subito più a valle delle soglie sporgenti, che porta ai valori massimi in corrispondenza della confluenza.



Tabella XXXIX. Velocità lungo il tratto di confluenza per Q=67 l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.98	5.37	0.43	2.36	1.07	5.86
V6	-0.22	-1.20	-0.23	-1.26	0.32	1.74
V7	0.98	5.37	0.26	1.42	1.01	5.55
V8	1.31	7.18	0.52	2.85	1.41	7.72
V9	0.62	3.39	0.11	0.61	0.63	3.45

Tabella XL. Velocità lungo il tratto di confluenza per Q=45 l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.83	4.55	0.35	1.92	0.90	4.93
V6	-0.24	-1.31	-0.21	-1.15	0.32	1.75
V7	0.81	4.44	0.49	2.68	0.95	5.19
V8	1.23	6.74	0.49	2.68	1.32	7.25
V9	0.80	4.38	0.30	1.64	0.85	4.68

Tabella XLI. Velocità lungo il tratto di confluenza per Q=22 l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.68	3.72	0.41	2.25	0.79	4.35
V6	-0.1	-0.55	0.1	0.55	0.14	0.77
V7	0.68	3.72	0.23	1.26	0.72	3.93
V8	0.95	5.20	0.45	2.46	1.05	5.76
V9	0.78	4.27	0.25	1.37	0.82	4.49

## 6 ULTERIORI PROVE DI TIPO A

### 6.1 GALLERIA CON PENDENZA 9% DELLO SCIVOLO TERMINALE

A seguito delle prove condotte con pendenza dello scivolo terminale pari all'11% e delle relative osservazioni sul funzionamento sia del canale di restituzione che del tratto di Chiese interessato dalla confluenza, è stata indagata un'ulteriore prova, riferita allo scenario più critico con portata pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo), al fine di valutare un possibile miglioramento nell'abbattimento delle velocità che avviene nel canale di dissipazione attraverso le soglie sporgenti. Infatti, la pendenza del 9%, fornendo minor energia cinetica alla corrente, richiede un minor abbattimento delle velocità rispetto alla pendenza dell'11%, a fronte di analoghi valori di velocità alla sezione di confluenza.

#### 6.1.1 Galleria tratto terminale e canale di restituzione

Lungo il tratto terminale di galleria si sono osservati livelli sostanzialmente analoghi rispetto a quelli misurati con pendenza dello scivolo pari all'11%, mentre lungo il canale di dissipazione i tiranti sono stati maggiori mediamente di circa 0.6 cm rispetto all'analogha prova con scivolo a maggior pendenza.

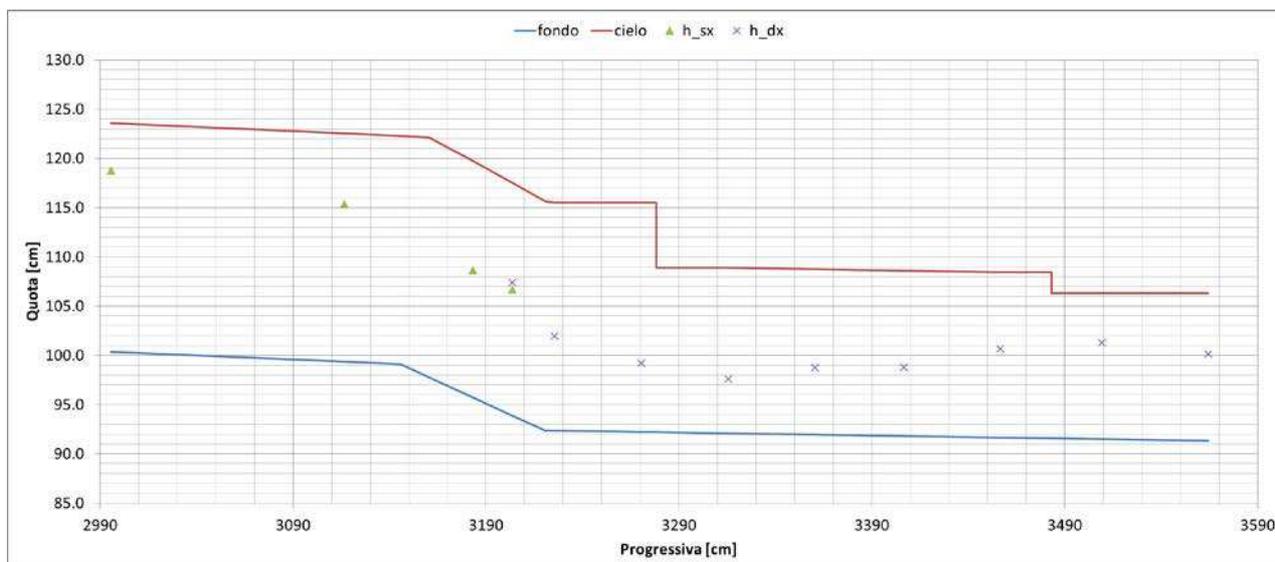


Figura 56. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

Tabella XLII. Misure di livello e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
24	2996	18.4	-	5.52	-	79
25	3117	16.0	-	4.80	-	69
26	3183	12.9	-	3.87	-	54
26.01	3204	12.8	13.5	3.84	4.05	56
27	3226	-	9.6	-	2.88	56
28	3271	-	7.0	-	2.10	30
29	3316	-	5.5	-	1.65	33
30	3361	-	6.8	-	2.04	40
31	3407	-	7.0	-	2.10	42
32	3457	-	9.0	-	2.70	54
33	3509	-	9.8	-	2.94	66
34	3564	-	8.8	-	2.64	59

Le velocità sono state misurate in modo indiretto lungo il canale di restituzione noto il livello, la geometria e la portata. In particolare, la differenza di velocità tra la sezione di monte (sezione 27 a valle dello scivolo terminale) e la sezione di valle (sezione 34 a valle dell'ultima soglia sporgente) è risultata pari a 1.75 m/s (9.77 m/s nel prototipo).

Tabella XLIII. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.83	15.58
28	3271	2.64	14.46
29	3316	2.46	13.48



sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
30	3361	1.69	9.27
31	3407	1.63	8.95
32	3457	1.23	6.76
33	3509	1.04	5.71
34	3564	1.08	5.90

Le pressioni in calotta che si sono osservate nel tratto di canale coperto compreso tra gli aerofori e la sezione a cielo aperto sono state paragonabili a quelle rilevate con pendenza dello scivolo pari all'11%, seppur con valori negativi maggiori, ma non tali da evidenziare un'insufficienza nell'areazione della corrente.

Tabella XLIV. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

	P4 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P5 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P4 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P5 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.0	1.6	1.1
min	-0.2	-0.2	-5.6	-6.6
media	-0.1	-0.1	-2.2	-2.8

### 6.1.2 Confluenza

Lungo il tratto di confluenza si sono osservati livelli in generale maggiori, seppur non significativamente, rispetto all'analogha prova con scivolo a pendenza 11%.

Tabella XLV. Tiranti idrici misurati lungo il tratto di confluenza per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

punto di misura	h modello (cm)	h prototipo (m)
V5	8.0	2.40
V6	4.8	1.44
V7	7.1	2.13
V8	3.8	1.14
V9	11.3	3.39

In accordo con le misure di livello, le velocità che si sono osservate alla confluenza sono state generalmente inferiori rispetto a quelle rilevate nella prova con pari portata e pendenza dello scivolo pari all'11%. Il valore massimo pari a 1.2 m/s (6.7 m/s nel prototipo), misurato in centro alveo alla sezione di confluenza (V8), è risultato inferiore rispetto all'analogha misura effettuata con pendenza dello scivolo pari all'11% (1.4 m/s nel modello, 7.7 m/s nel prototipo).

Tabella XLVI. Velocità lungo il tratto di confluenza per  $Q=67$  l/s con pendenza dello scivolo terminale pari al 9%

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	1.06	5.81	0.32	1.75	1.11	6.06
V6	-0.21	-1.15	-0.20	-1.10	0.29	1.59



punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V7	0.98	5.37	0.26	1.42	1.01	5.55
V8	1.17	6.41	0.36	1.97	1.22	6.70
V9	0.57	3.11	0.09	0.48	0.57	3.15

## 6.2 PORTATA MASSIMA SMALTIBILE A PELO LIBERO

La prova ricerca la portata massima esitabile in galleria con funzionamento a pelo libero e paratoie tutte aperte. Infatti avendo osservato un livello di monte nel cassone di alimentazione inferiore al massimo vaso (34 cm per  $Q=67$  l/s a fronte dei 39.1 cm relativi alla quota di massimo vaso pari a 371.2 m slm, quindi con una differenza di circa 5 cm nel modello corrispondenti a 1.5 m nel prototipo) e potendo contare su una residua capacità di deflusso della galleria prima del funzionamento in pressione, condizionato dalla sezione più critica a valle del tratto rettilineo.

La prova è stata effettuata facendo variare la portata arrivando al valore limite di 70.4 l/s, corrispondenti a 347 mc/s nel prototipo, a cui è associato il livello nel cassone di alimentazione pari a 35.1 cm corrispondenti ad una quota di 370.0 m slm nel prototipo, pertanto ancora inferiore rispetto al livello di massimo vaso.

Questa prova è stata condotta con pendenza dello scivolo di monte pari al 12%, quella dello scivolo terminale pari all' 11% e invariata la configurazione delle soglie del canale di restituzione ( $H=2$  cm).

## 6.3 PORTATA MASSIMA SMALTIBILE IN PRESSIONE PER LIVELLO DI MASSIMO INVASO

La prova ricerca la portata associata al livello di massimo vaso (39.1 cm nel modello, corrispondenti alla quota 370.23 m slm nel prototipo) che si istaura in galleria con paratoie completamente aperte.

La prova è stata condotta per incrementi di portata fino al raggiungimento del livello ricercato, giungendo a 77.3 l/s corrispondenti a 381 mc/s nel prototipo. Per questa portata si è potuto osservare un funzionamento in pressione della galleria lungo il tratto comprensivo dei conci 16-17-18-19-20-21-22 (circa metà della lunghezza del tratto rettilineo principale) e il tratto comprensivo dei conci 4-5 (valle tratto rettilineo a monte dello scivolo terminale, prima del cambio di sezione); tratti le cui sezioni di valle sono già state evidenziate come critiche per portate inferiori. La sezione di passaggio da moto a pelo libero a moto in pressione non ha una progressiva definita poiché il passaggio in pressione avviene in modo oscillante con trasporto di bolle d'aria nel solo tratto compreso tra i conci 16-22 in particolare lungo il tratto rettilineo principale.

Per questa prova sono state campionate le pressioni nei 5 punti di misura posti in galleria e nel canale di restituzione, oltre che i livelli e le velocità alla confluenza.

Questa prova è stata condotta mantenendo la pendenza dello scivolo di monte pari al 12% e quella dello terminale pari al 9%, e invariata la configurazione del canale di restituzione.

### 6.3.1 Pressioni in calotta

Le pressioni che si sono osservate in galleria per questa prova hanno risentito del funzionamento in pressione della corrente, mostrando picchi di pressioni negative sia nel tratto iniziale di galleria che in mezzeria del tratto rettilineo, inoltre, in quest'ultimo punto di misura, si è osservato un picco di pressione positiva dovuto proprio al funzionamento in pressione di questa sezione. Lungo il canale di restituzione, invece, non si sono osservati valori di pressione particolarmente significativi.

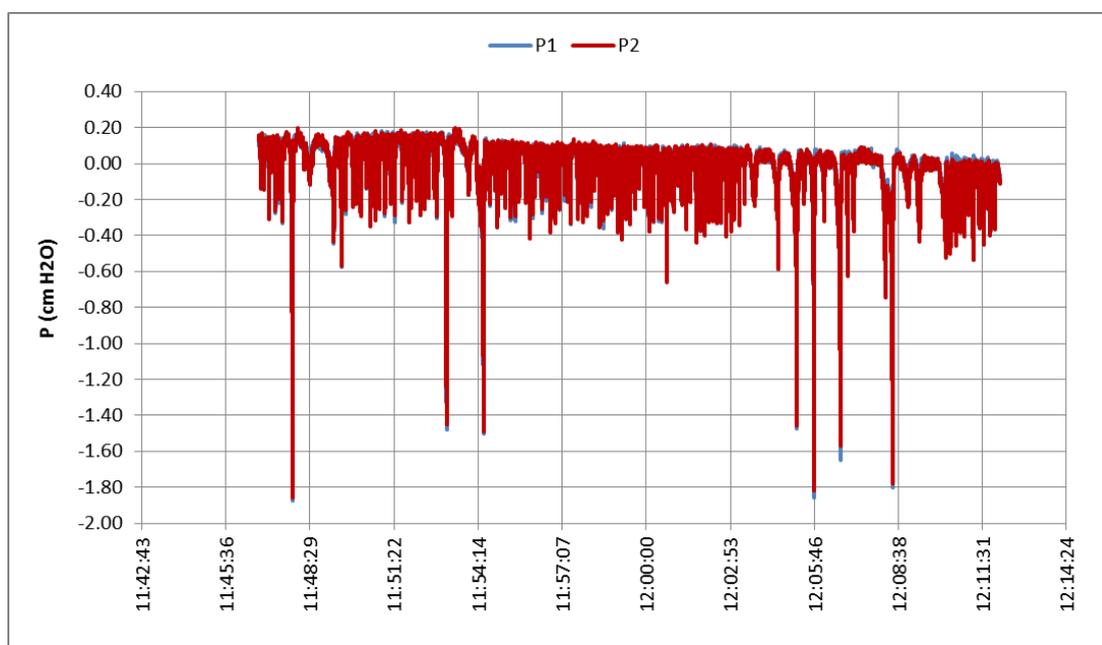


Figura 57. Misure di pressione lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=77.3$  l/s

Tabella XLVII. Pressioni massime, minime e medie lungo il tratto iniziale di galleria per  $Q=77.3$  l/s

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.2	0.2	5.4	5.9
min	-1.9	-1.9	-56.3	-55.8
media	0.0	0.0	0.1	0.0

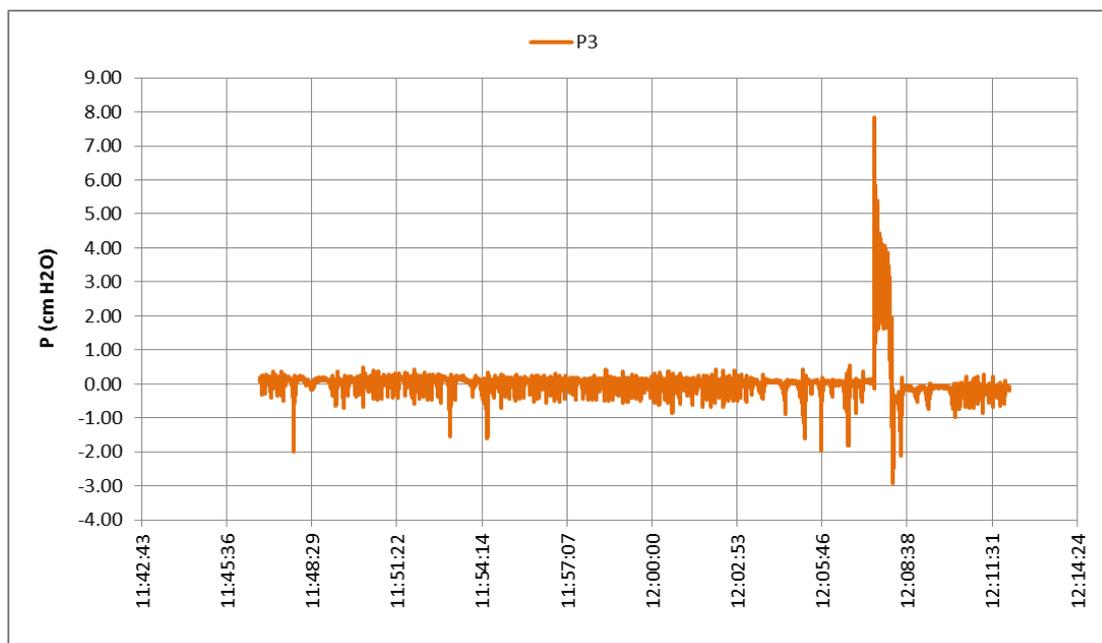


Figura 58. Misure di pressione lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=77.3$  l/s

Tabella XLVIII. Pressioni massime, minime e medie lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q=77.3$  l/s

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	7.8	235.0
min	-2.9	-87.3
media	0.0	1.4

Tabella XLIX. Pressioni massime, minime e medie lungo il canale di restituzione per  $Q=77.3$  l/s

	<b>P4 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P4 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.0	1.6	0.9
min	-0.2	-0.2	-5.2	-5.8
media	-0.1	-0.1	-1.6	-2.1

#### 6.4 PROFILI DEI LIVELLI LUNGO LO SVILUPPO DEL MODELLO

Al fine di meglio apprezzare lo sviluppo dei tiranti idrici lungo l'intero profilo della galleria a modello, comprensivo dell'opera di imbocco e del canale di restituzione, nel seguito vengono riportati i profili complessivi per ciascuna delle 3 portate di riferimento. Come evidenziato precedentemente, le sezioni critiche con il maggior grado di riempimento sono rappresentate dalla sezione di valle del tratto rettilineo principale e dalla sezione di valle del tratto rettilineo a monte dello scivolo terminale.

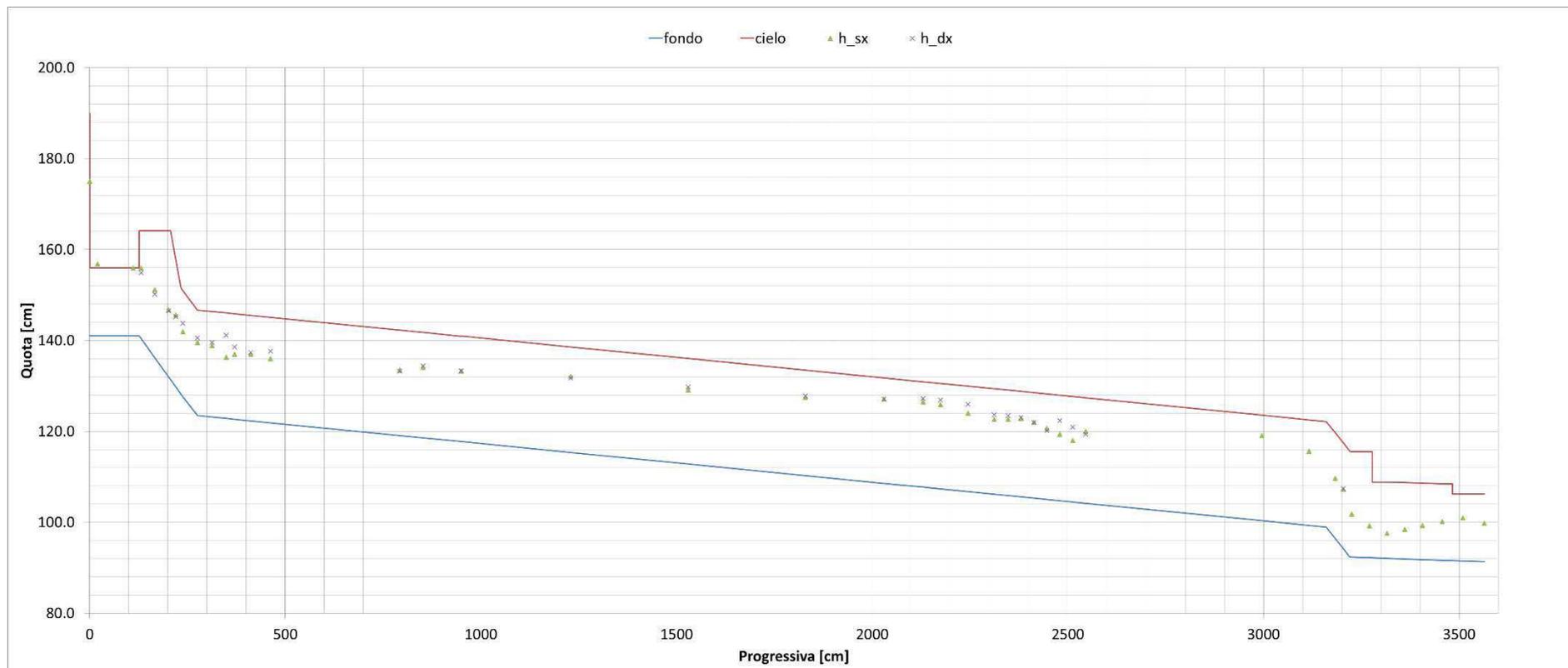


Figura 59. Profilo dei livelli idrici lungo l'intero sviluppo della galleria a modello per  $Q=67$  l/s

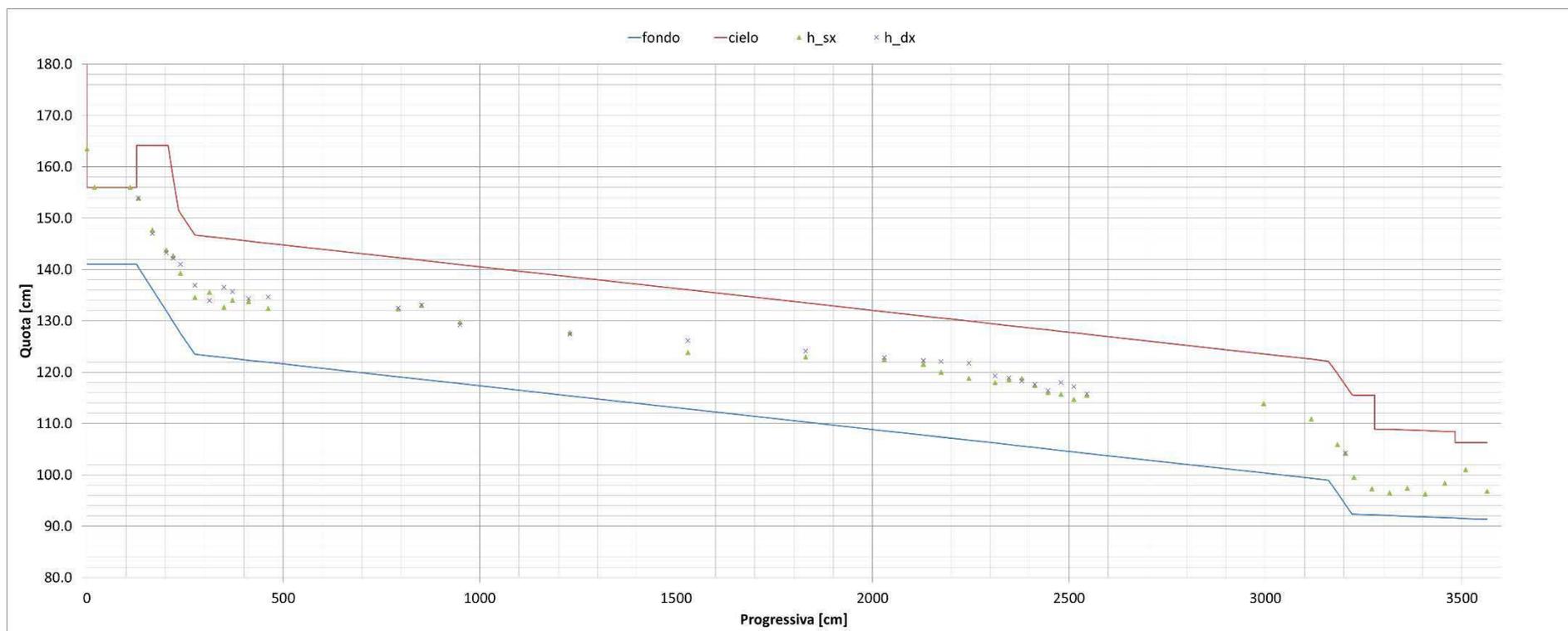


Figura 60. Profilo dei livelli idrici lungo l'intero sviluppo della galleria a modello per  $Q=45$  l/s

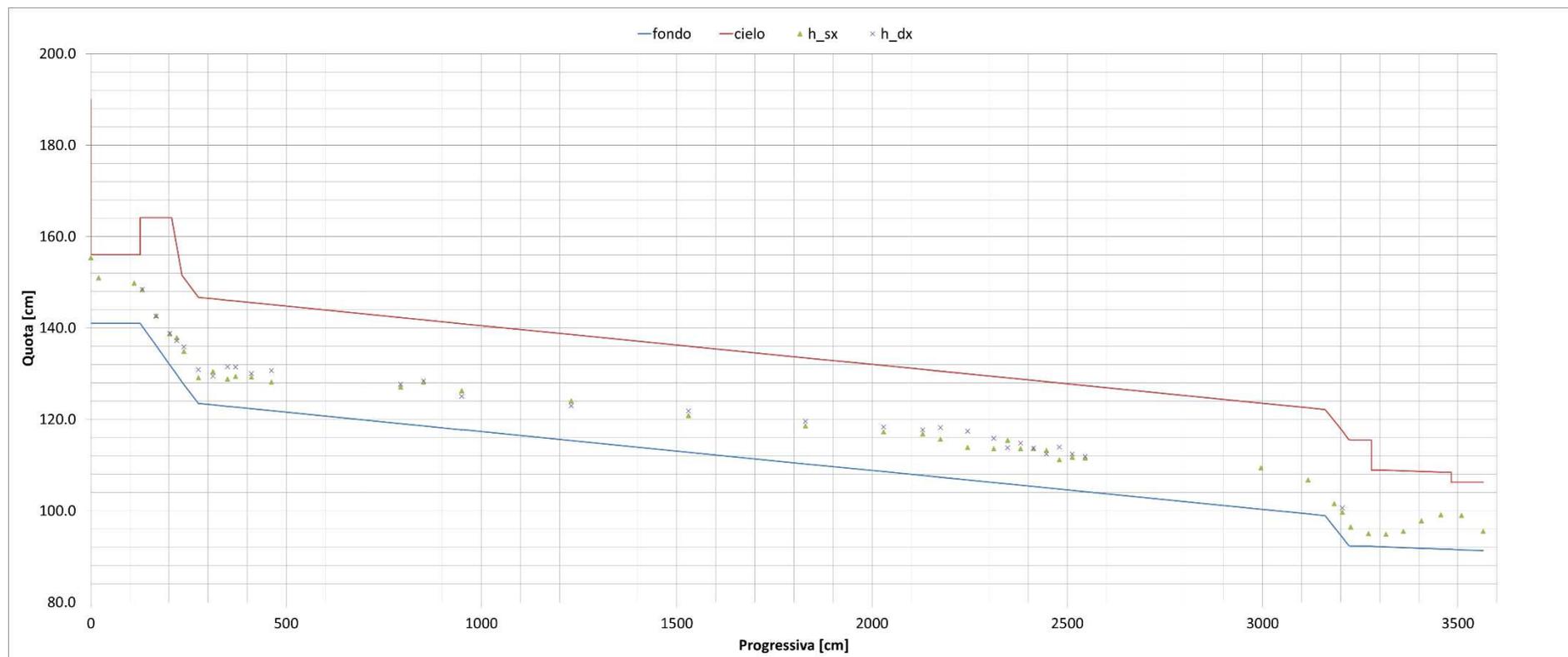


Figura 61. Profilo dei livelli idrici lungo l'intero sviluppo della galleria a modello per  $Q=22$  l/s



## 7 PROVE DI TIPO B: FUNZIONAMENTO PER DIVERSI GRADI DI APERTURA DELLE PARATOIE

Questa tipologia di prove ha interessato differenti gradi di apertura delle paratoie, così come riportato nella tabella seguente, al fine di ricostruire la scala di deflusso associata a ciascuna apertura e valutare il funzionamento della galleria nel suo complesso.

Tabella L. Gradi di apertura e relativa altezza delle paratoie di regolazione

grado di apertura (%)	h paratoie (cm)
80	12
60	9
40	6
20	3

In particolare, si sono stimate le scale di deflusso associate a ciascuna apertura procedendo per step di portata e osservando i relativi livelli nel cassone di alimentazione, mentre il funzionamento della galleria, per ciascun grado di apertura, è stato valutato per ognuno dei 3 livelli nel cassone di alimentazione associati alle 3 portate di riferimento per funzionamento con paratoie completamente aperte, così come determinati nelle precedenti prove (Figura 35).

Tabella LI. Prove di tipo B

prova	grado di apertura (%)	h cassone (cm)	Q modello (l/s)	Q prototipo (mc/s)
4	80	34	57.5	283
5	60	34	41.7	206
6	40	34	26.5	131
7	20	34	11.9	59
8	80	22.5	40.0	197
9	60	22.5	29.8	147
10	40	22.5	19.5	96
11	20	22.5	8.7	43
12	80	14.4	22.0	111
13	60	14.4	22.0	111
14	40	14.4	13.5	67
15	20	14.4	6.0	29

### 7.1 SCALE DI DEFLUSSO

La ricostruzione delle scale di deflusso per ciascun grado di apertura è avvenuta per step di portata, osservando in alcuni casi un funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna a monte delle paratoie.



Tabella LII. Step di portata e relativo livello per differenti gradi di apertura delle paratoie

Q modello (l/s)	Q prototipo (mc/s)	apertura 100%		apertura 80%		apertura 60%		apertura 40%		apertura 20%	
		h cassone (cm)	h lago (m slm)	h cassone (cm)	h lago (m slm)	h cassone (cm)	h lago (m slm)	h cassone (cm)	h lago (m slm)	h cassone (cm)	h lago (m slm)
80	394	41.6	372.0	60.2	377.6	-	-	-	-	-	-
70	345	36.2	370.4	51.0	374.8	-	-	-	-	-	-
60	296	29.1	368.2	37.5	370.8	62.5	378.3	-	-	-	-
50	246	24.6	366.9	30.6	368.7	49.0	374.2	-	-	-	-
40	197	20.5	365.7	23.1	366.4	34.2	369.8	65.2	379.1	-	-
30	148	17.0*	364.6*	17.0*	364.6*	23.0	366.4	42.2	372.2	-	-
20	99	13.5*	363.6*	13.5*	363.6*	15.1*	364.0*	24.9	367.0	-	-
15	74	-	-	-	-	-	-	-	-	50.5	374.65
12.5	62	-	-	-	-	-	-	-	-	35.5	370.15
10	49	9.0*	362.2*	9.0*	362.2*	9.0*	362.2*	9.9*	362.5*	24.5	366.85

\*funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna con effetto di richiamo allo sbocco

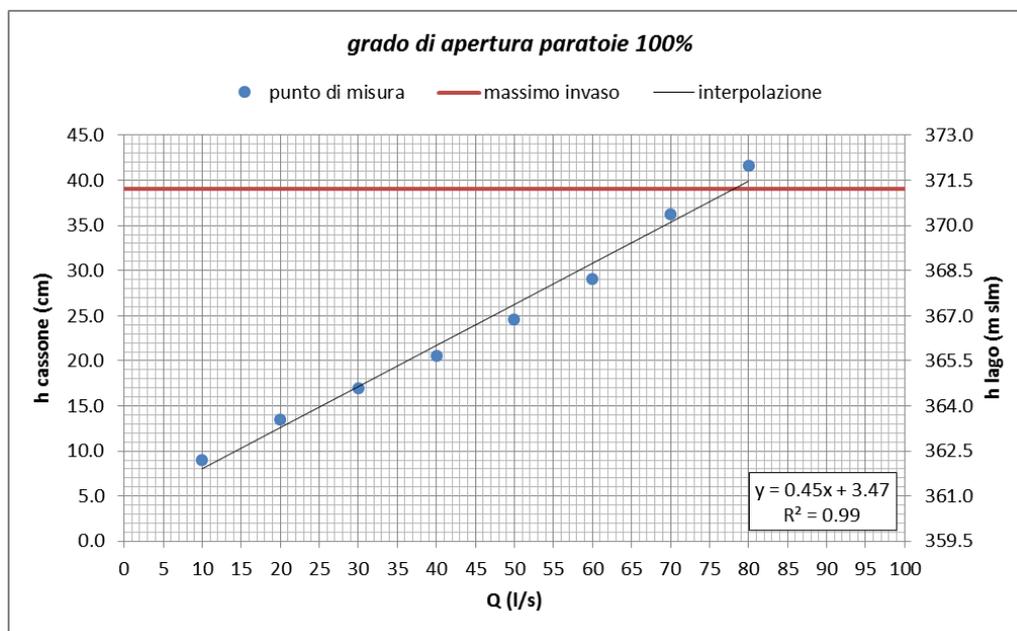


Figura 62. Punti campionati e scala di deflusso per apertura delle paratoie al 100%

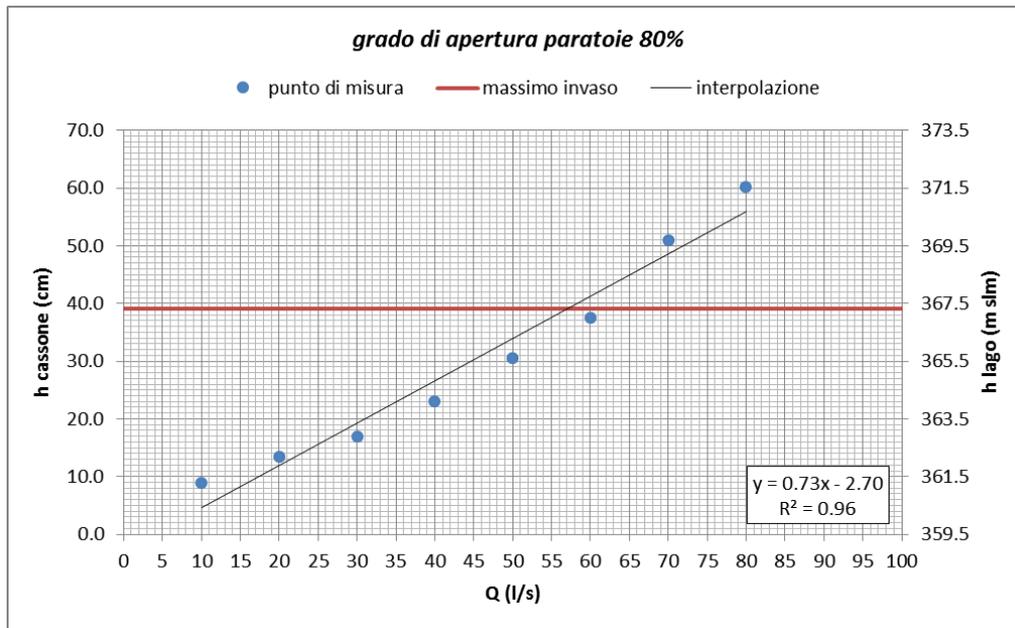


Figura 63. Punti campionati e scala di deflusso per apertura delle paratoie all'80%

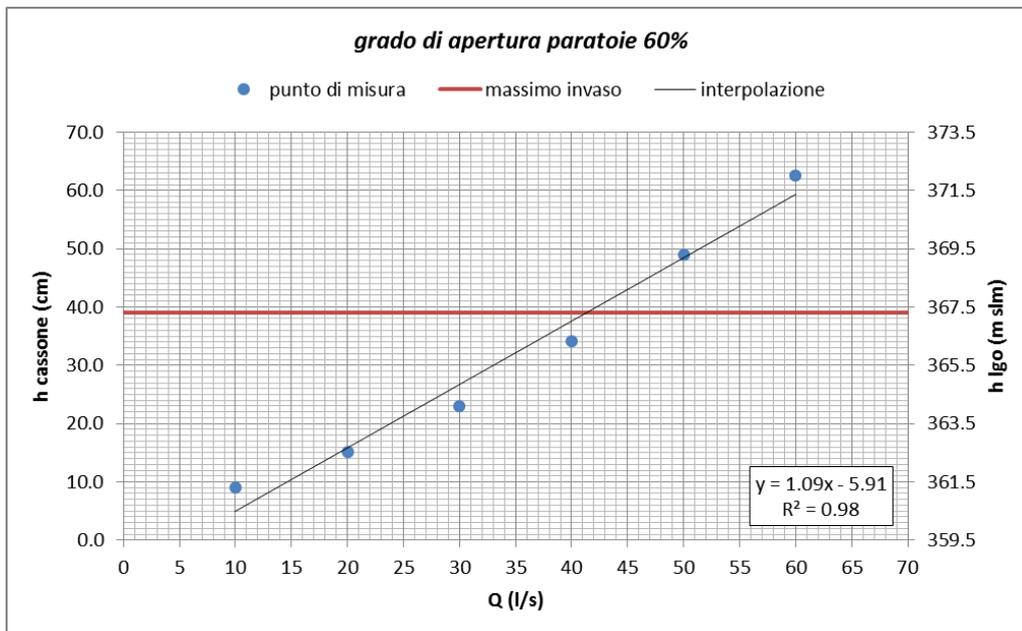


Figura 64. Punti campionati e scala di deflusso per apertura delle paratoie al 60%

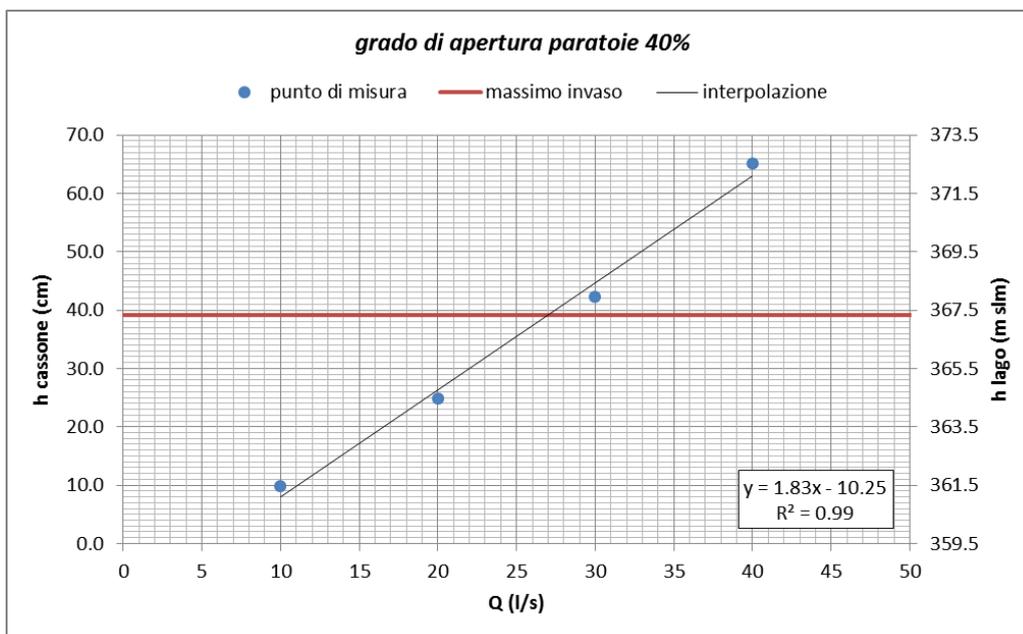


Figura 65. Punti campionati e scala di deflusso per apertura delle paratoie al 40%

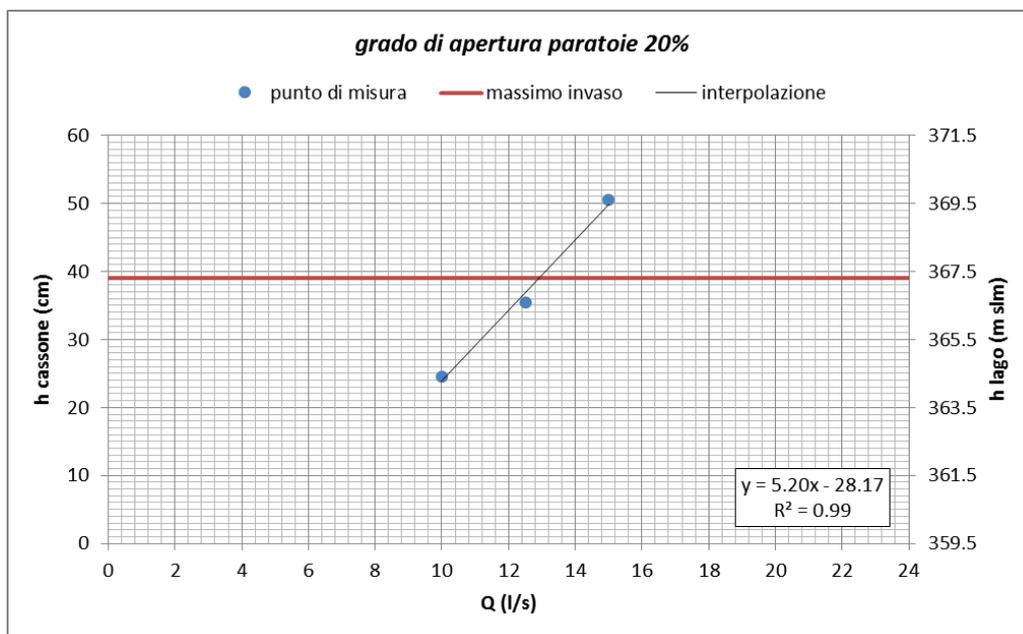


Figura 66. Punti campionati e scala di deflusso per apertura delle paratoie al 20%

## 7.2 IMBOCCO E GALLERIA TRATTO INIZIALE (DA PROG. 0 A PROG. 940 CM, CONCI 44-29)

### 7.2.1 Livelli

Nel seguito vengono riportati i livelli misurati nelle differenti prove ed i relativi gradi di riempimento. Lungo il tratto iniziale di galleria è stato possibile osservare, analogamente alle precedenti prove, un moto ondoso stazionario dovuto sia alle variazioni geometriche della sezione idraulica (tratto convergente), sia, soprattutto, all'effetto di sovrizzo generato dall'asse curvilineo di sviluppo della galleria.

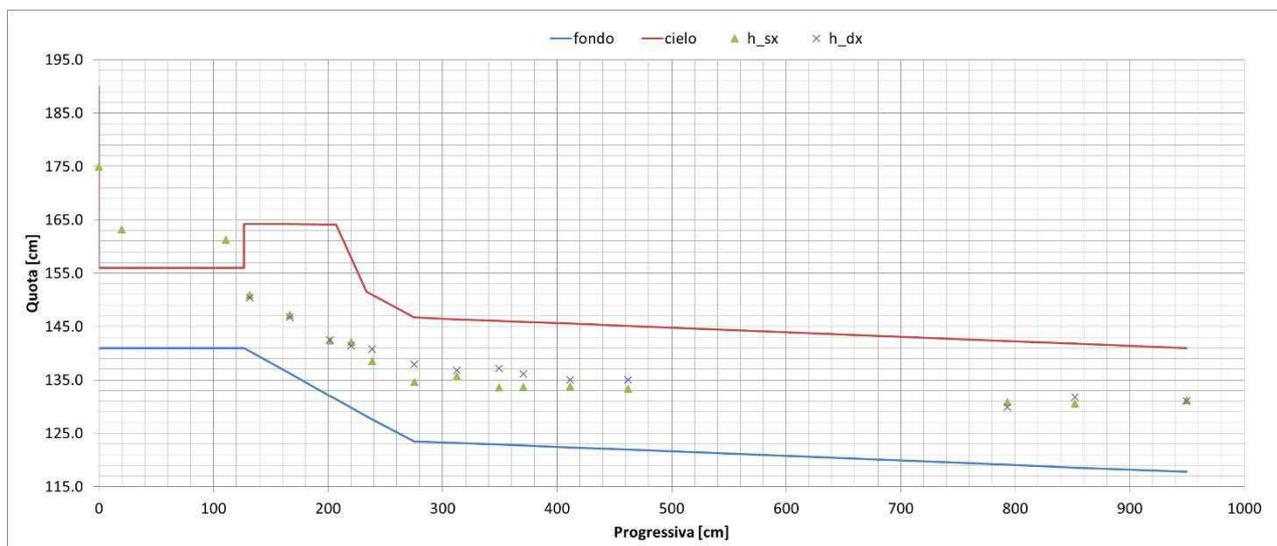


Figura 67. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Tabella LIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P0	0	34.0	-	10.20	-	-
P1	20	22.2	-	6.66	-	-
P2	111	20.3	-	6.09	-	-
P3	132	10.5	10.0	3.15	3.00	43
P4	167	11.0	10.5	3.30	3.15	38
P5	202	10.4	10.5	3.12	3.15	33
P6	220	12.3	11.6	3.69	3.48	43
P7	238	10.9	13.2	3.27	3.96	52
P8	275	11.1	14.4	3.33	4.32	55
P9	312	12.5	13.6	3.75	4.08	56
P10	349	10.7	14.3	3.21	4.29	54
P11	370	11.0	13.4	3.30	4.02	53
P12	411	11.4	12.7	3.42	3.81	52
P13	462	11.4	13.1	3.42	3.93	53
P14	793	11.7	10.8	3.51	3.24	48
P15	852	12.0	13.2	3.60	3.96	54
P15.01	950	13.5	13.3	4.05	3.99	58

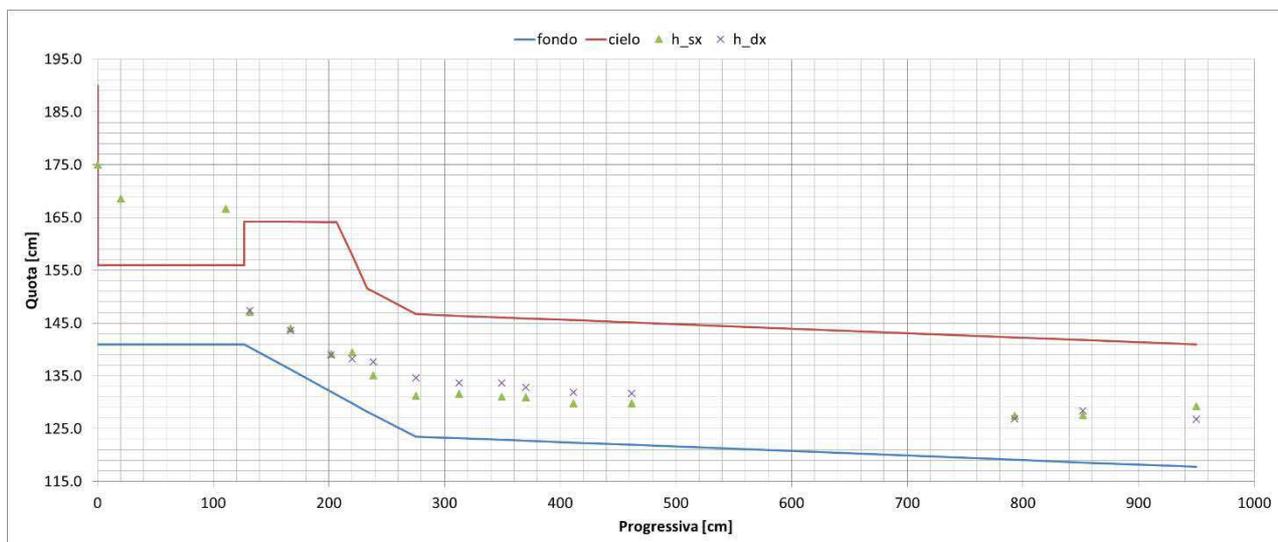


Figura 68. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Tabella LIV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	34.0	-	10.20	-	-
P1	20	27.6	-	8.28	-	-
P2	111	25.7	-	7.71	-	-
P3	132	6.7	7.0	2.01	2.10	29
P4	167	7.8	7.4	2.34	2.22	27
P5	202	7.2	7.0	2.16	2.10	22
P6	220	9.6	8.4	2.88	2.52	32
P7	238	7.5	10.0	2.25	3.00	37
P8	275	7.7	11.1	2.31	3.33	41
P9	312	8.4	10.5	2.52	3.15	41
P10	349	8.2	10.8	2.46	3.24	41
P11	370	8.2	10.1	2.46	3.03	39
P12	411	7.5	9.5	2.25	2.85	37
P13	462	7.9	9.8	2.37	2.94	38
P14	793	8.3	7.8	2.49	2.34	35
P15	852	8.9	9.8	2.67	2.94	40
P15.01	950	11.5	9.0	3.45	2.70	44

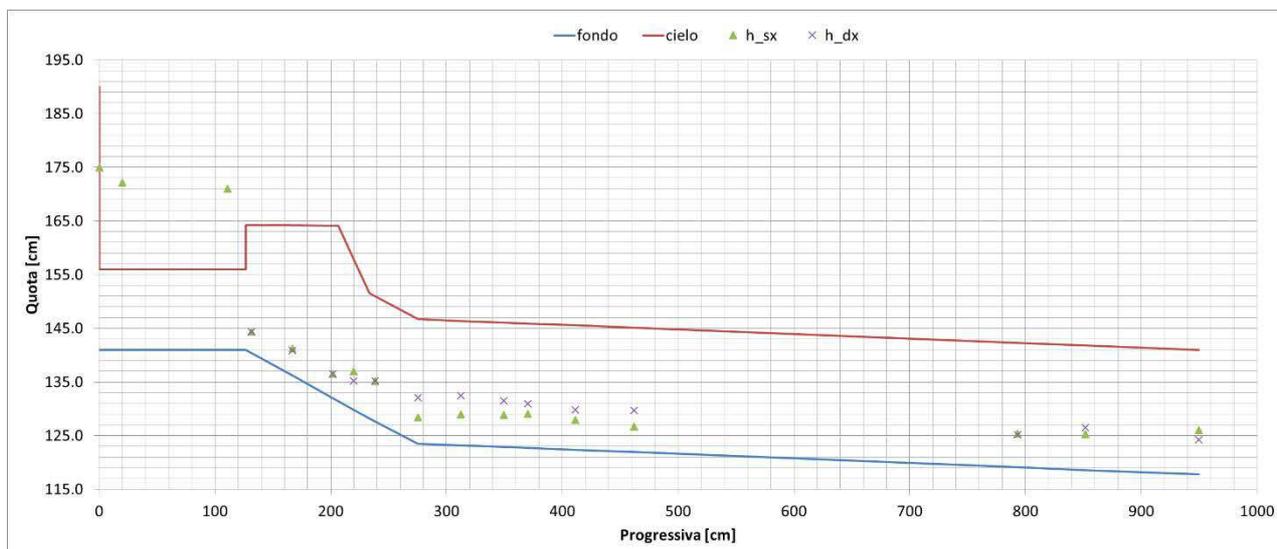


Figura 69. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Tabella LV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	34.0	-	10.20	-	-
P1	20	31.1	-	9.33	-	-
P2	111	30.0	-	9.00	-	-
P3	132	4.0	4.0	1.20	1.20	17
P4	167	5.0	4.7	1.50	1.41	17
P5	202	4.5	4.5	1.35	1.35	14
P6	220	7.2	5.4	2.16	1.62	22
P7	238	7.6	7.6	2.28	2.28	33
P8	275	4.9	8.6	1.47	2.58	29
P9	312	5.8	9.3	1.74	2.79	33
P10	349	6.0	8.6	1.80	2.58	31
P11	370	6.4	8.2	1.92	2.46	31
P12	411	5.6	7.5	1.68	2.25	28
P13	462	4.8	7.8	1.44	2.34	27
P14	793	6.3	6.1	1.89	1.83	27
P15	852	6.7	7.9	2.01	2.37	31
P15.01	950	8.3	6.5	2.49	1.95	32

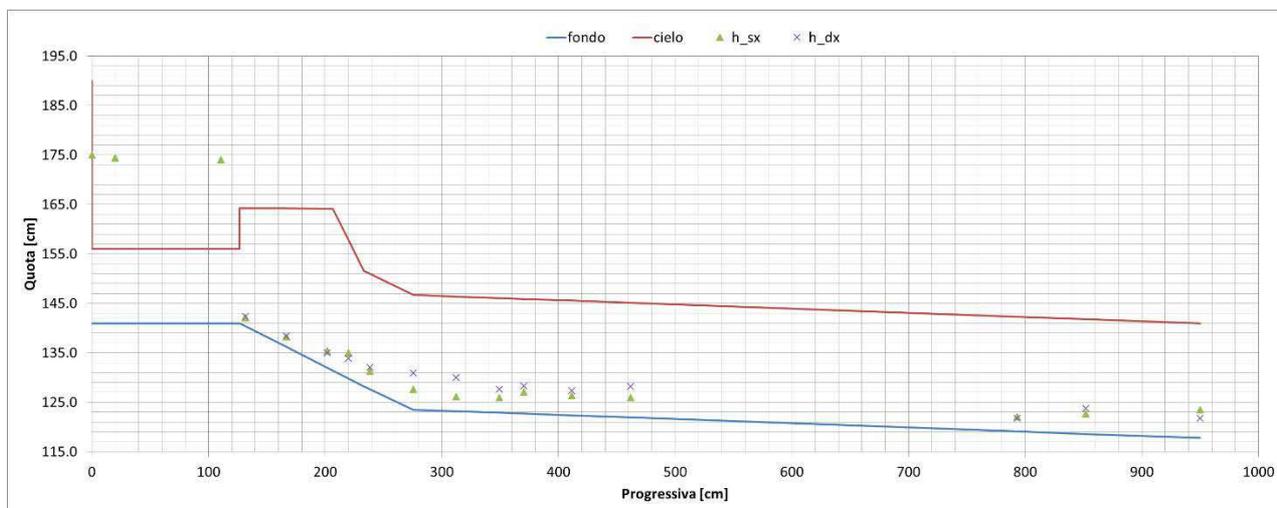


Figura 70. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Tabella LVI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	34.0	-	10.20	-	-
P1	20	33.4	-	10.02	-	-
P2	111	33.0	-	9.90	-	-
P3	132	1.7	2.0	0.51	0.60	8
P4	167	2.0	2.2	0.60	0.66	8
P5	202	3.4	3.0	1.02	0.90	10
P6	220	5.2	4.1	1.56	1.23	17
P7	238	3.7	4.5	1.12	1.35	18
P8	275	4.1	7.4	1.24	2.22	25
P9	312	3.0	6.8	0.89	2.04	21
P10	349	3.1	4.8	0.93	1.44	17
P11	370	4.4	5.6	1.32	1.68	22
P12	411	4.0	5.0	1.20	1.50	19
P13	462	4.0	6.3	1.20	1.89	22
P14	793	3.0	2.7	0.90	0.81	12
P15	852	4.0	5.2	1.20	1.56	20
P15.01	950	5.7	4.0	1.71	1.20	21

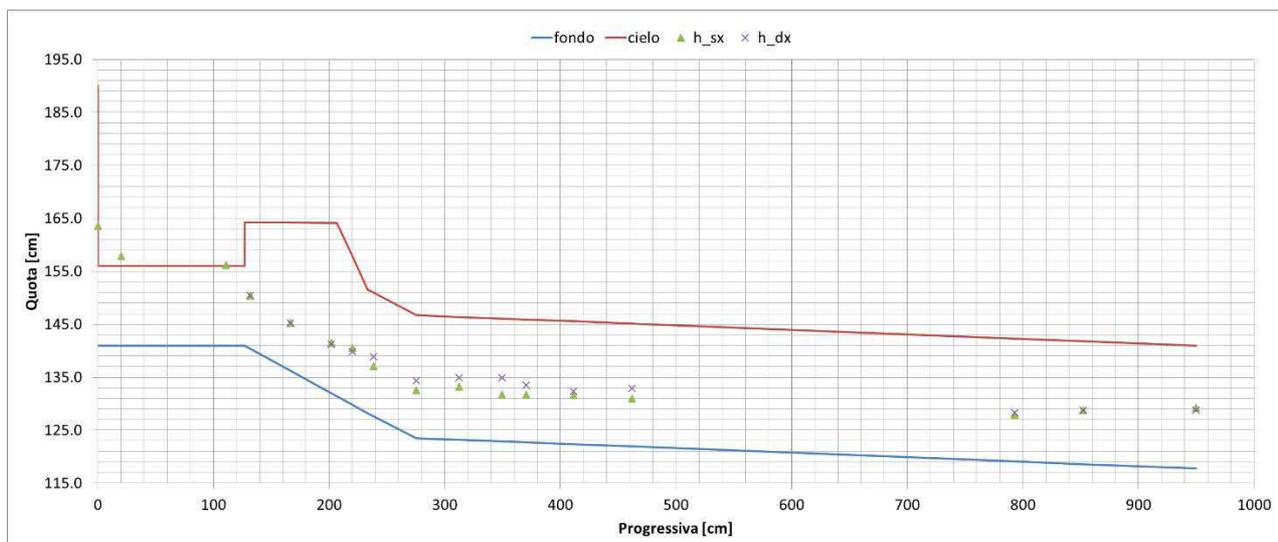


Figura 71. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Tabella LVII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	22.5	-	6.75	-	-
P1	20	16.9	-	5.07	-	-
P2	111	15.2	-	4.56	-	-
P3	132	10.0	10.0	3.00	3.00	42
P4	167	9.0	9.0	2.70	2.70	32
P5	202	9.5	9.2	2.85	2.76	29
P6	220	10.7	10.0	3.21	3.00	37
P7	238	9.5	11.3	2.85	3.39	45
P8	275	9.0	10.8	2.7	3.24	43
P9	312	10.0	11.7	3.00	3.51	47
P10	349	8.8	12.0	2.64	3.60	45
P11	370	9.0	10.8	2.70	3.24	43
P12	411	9.3	10.0	2.79	3.00	42
P13	462	9.0	11.0	2.70	3.30	43
P14	793	8.8	9.2	2.64	2.76	39
P15	852	10.2	10.2	3.06	3.06	44
P15.01	950	11.5	11.0	3.45	3.30	48

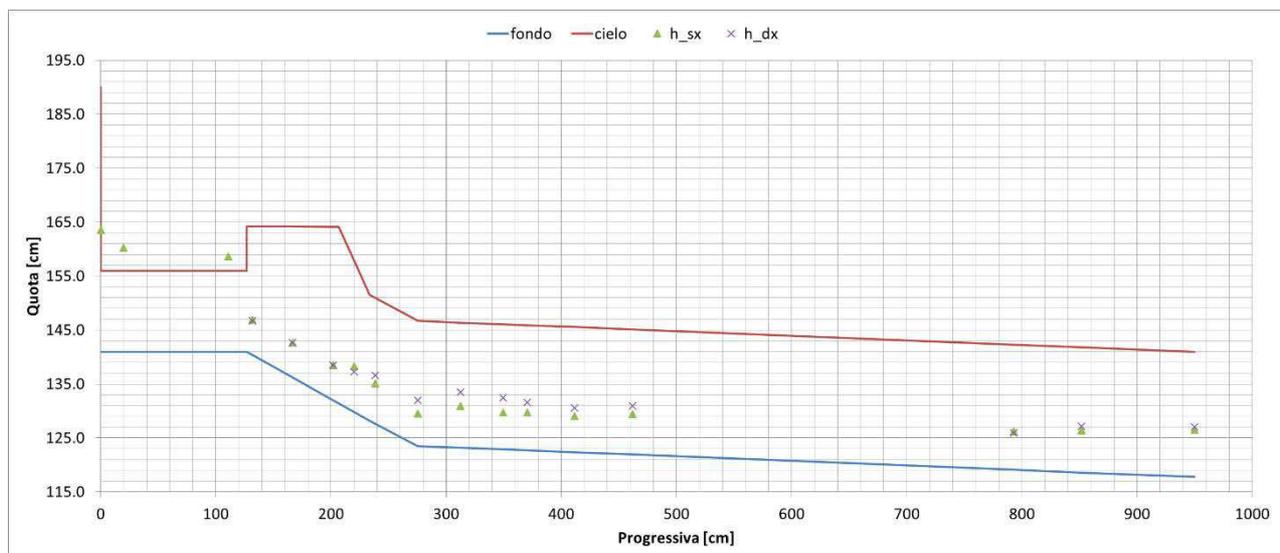


Figura 72. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Tabella LVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P0	0	22.5	-	6.75	-	-
P1	20	19.2	-	5.76	-	-
P2	111	17.6	-	5.28	-	-
P3	132	6.5	6.3	1.95	1.89	27
P4	167	6.5	6.5	1.95	1.95	23
P5	202	6.5	6.5	1.95	1.95	20
P6	220	8.5	7.5	2.55	2.25	29
P7	238	7.5	9.0	2.25	2.70	35
P8	275	6.0	8.5	1.80	2.55	31
P9	312	7.8	10.3	2.34	3.09	39
P10	349	6.8	9.6	2.04	2.88	35
P11	370	7.0	8.9	2.10	2.67	34
P12	411	6.7	8.2	2.01	2.46	32
P13	462	7.5	9.0	2.25	2.70	36
P14	793	7.1	6.8	2.13	2.04	30
P15	852	7.8	8.6	2.34	2.58	35
P15.01	950	8.7	9.3	2.61	2.79	39

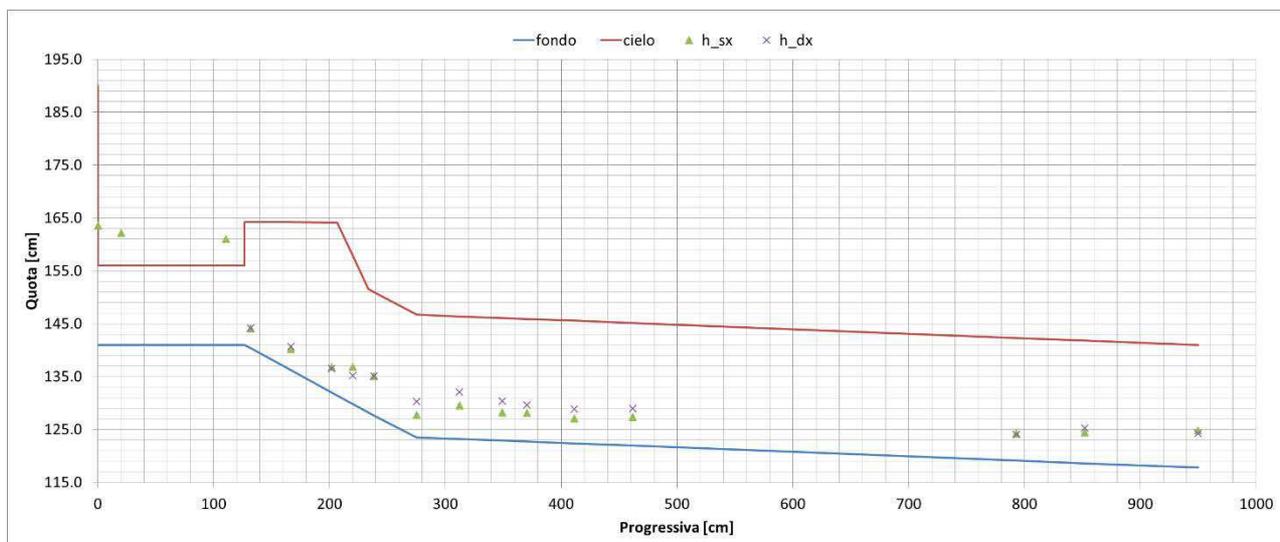


Figura 73. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Tabella LIX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	22.5	-	6.75	-	-
P1	20	21.1	-	6.33	-	-
P2	111	20.0	-	6.00	-	-
P3	132	3.7	3.8	1.11	1.14	16
P4	167	4.0	4.5	1.20	1.35	15
P5	202	4.8	4.5	1.44	1.35	14
P6	220	7.0	5.4	2.10	1.62	22
P7	238	7.5	7.5	2.25	2.25	32
P8	275	4.2	6.8	1.26	2.04	24
P9	312	6.3	8.9	1.89	2.67	33
P10	349	5.3	7.5	1.59	2.25	28
P11	370	5.4	6.9	1.62	2.07	27
P12	411	4.7	6.5	1.41	1.95	24
P13	462	5.4	7.0	1.62	2.10	27
P14	793	5.1	4.9	1.53	1.47	22
P15	852	5.8	6.7	1.74	2.01	27
P15.01	950	7.0	6.5	2.10	1.95	29

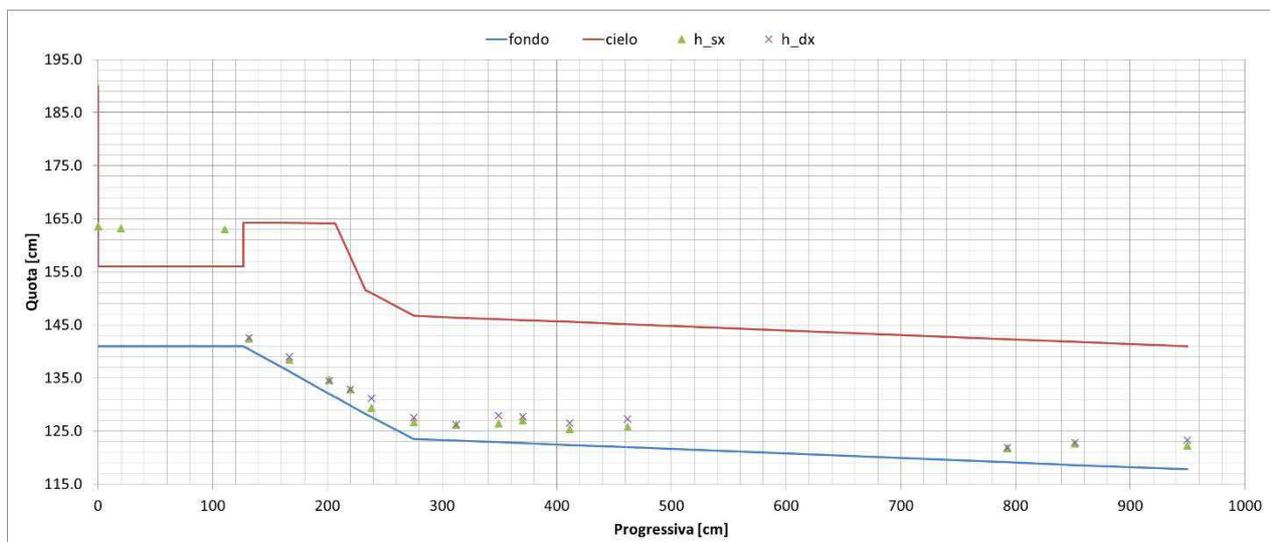


Figura 74. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Tabella LX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	22.5	-	6.75	-	-
P1	20	22.2	-	6.66	-	-
P2	111	22.0	-	6.60	-	-
P3	132	2.0	2.2	0.60	0.66	9
P4	167	2.2	2.8	0.66	0.84	9
P5	202	2.6	2.4	0.78	0.72	8
P6	220	3.0	3.0	0.90	0.90	11
P7	238	1.7	3.5	0.52	1.05	11
P8	275	3.1	4.0	0.94	1.20	15
P9	312	3.0	3.0	0.89	0.90	13
P10	349	3.5	5.0	1.05	1.50	18
P11	370	4.3	5.0	1.29	1.50	20
P12	411	3.0	4.2	0.90	1.26	16
P13	462	3.8	5.3	1.14	1.59	20
P14	793	2.7	2.8	0.81	0.84	12
P15	852	4.0	4.2	1.20	1.26	18
P15.01	950	4.5	5.5	1.35	1.65	22

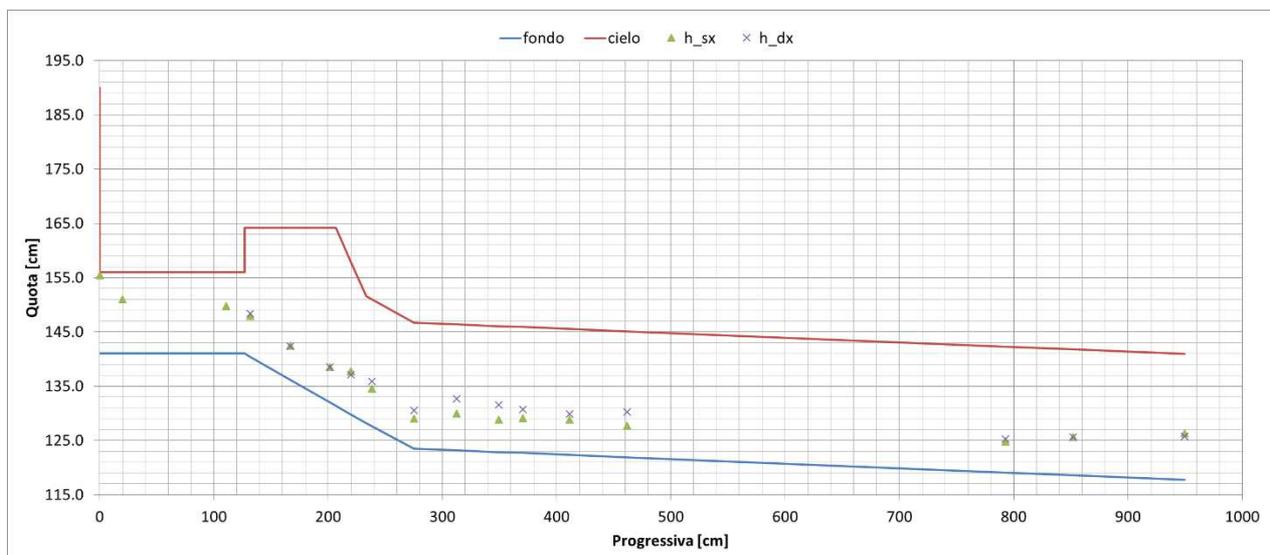


Figura 75. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Tabella LXI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	14.4	-	4.32	-	-
P1	20	10.0	-	3.00	-	-
P2	111	8.8	-	2.64	-	-
P3	132	7.5	8.0	2.25	2.40	33
P4	167	6.3	6.2	1.89	1.86	22
P5	202	6.5	6.5	1.95	1.95	20
P6	220	8.0	7.3	2.40	2.19	27
P7	238	7.0	8.3	2.10	2.49	33
P8	275	5.5	7.0	1.65	2.10	27
P9	312	6.8	9.5	2.04	2.85	35
P10	349	6.0	8.7	1.80	2.61	32
P11	370	6.4	8.0	1.92	2.40	31
P12	411	6.5	7.5	1.95	2.25	30
P13	462	5.8	8.3	1.74	2.49	30
P14	793	5.7	6.2	1.71	1.86	26
P15	852	7.0	7.0	2.10	2.10	30
P15.01	950	8.5	8.0	2.55	2.40	36

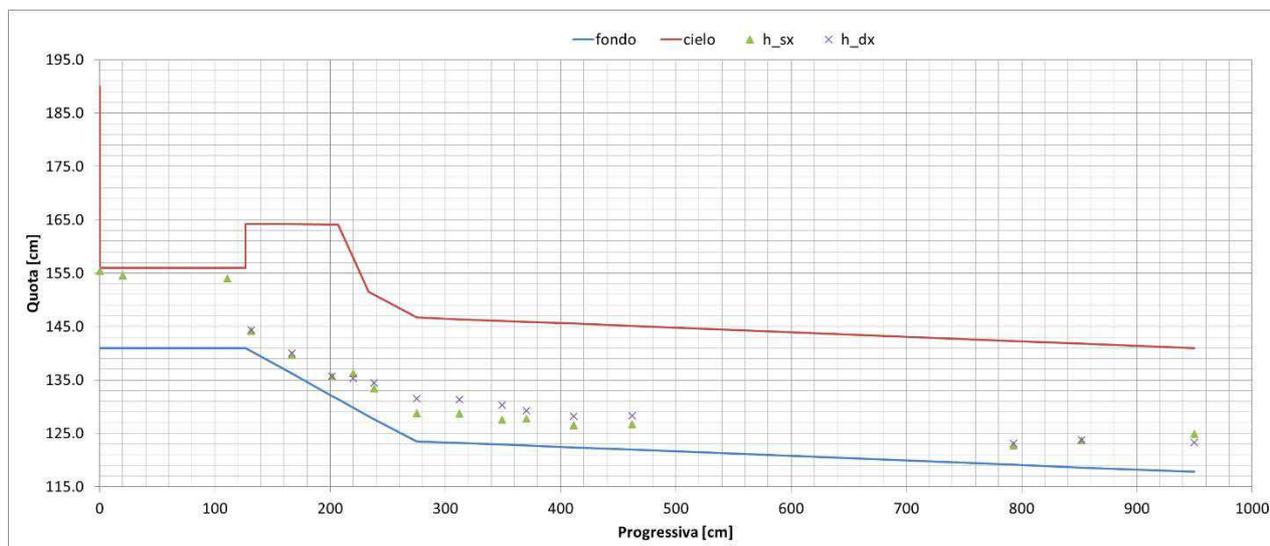


Figura 76. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna)

Tabella LXII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	14.4	-	4.32	-	-
P1	20	13.6	-	4.08	-	-
P2	111	13.0	-	3.90	-	-
P3	132	3.8	4.0	1.14	1.20	16
P4	167	3.4	3.8	1.02	1.14	13
P5	202	3.7	3.7	1.11	1.11	12
P6	220	6.4	5.5	1.92	1.65	21
P7	238	5.8	6.8	1.74	2.04	27
P8	275	5.3	8.0	1.59	2.40	29
P9	312	5.5	8.1	1.65	2.43	29
P10	349	4.7	7.4	1.41	2.22	26
P11	370	5.0	6.5	1.50	1.95	25
P12	411	4.2	5.9	1.26	1.77	22
P13	462	4.8	6.4	1.44	1.92	24
P14	793	3.6	4.0	1.08	1.20	16
P15	852	5.1	5.2	1.53	1.56	22
P15.01	950	7.1	5.5	2.13	1.65	27

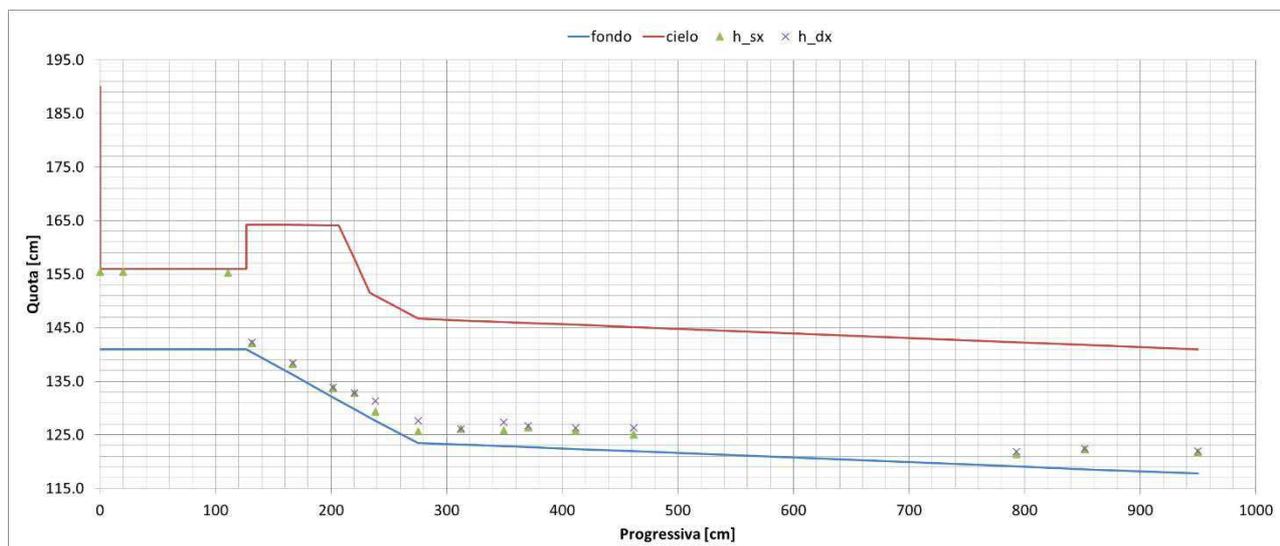


Figura 77. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna)

Tabella LXIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P0	0	14.4	-	4.32	-	-
P1	20	14.4	-	4.32	-	-
P2	111	14.2	-	4.26	-	-
P3	132	1.7	1.9	0.51	0.57	8
P4	167	2.0	2.2	0.60	0.66	8
P5	202	1.8	1.9	0.54	0.57	6
P6	220	3.0	3.0	0.90	0.90	11
P7	238	1.7	3.7	0.52	1.11	12
P8	275	2.1	4.1	0.64	1.23	13
P9	312	3.0	3.0	0.89	0.89	13
P10	349	3.0	4.5	0.90	1.35	16
P11	370	3.7	4.0	1.11	1.20	17
P12	411	3.4	4.0	1.02	1.20	16
P13	462	3.2	4.4	0.96	1.32	16
P14	793	2.3	2.8	0.69	0.84	11
P15	852	3.7	3.8	1.11	1.14	16
P15.01	950	4.0	4.2	1.20	1.26	18

### 7.2.2 Velocità

La velocità  $V1$  è stata misurata in corrispondenza dell'uscita dalle paratoie (sezione 3, progressiva 130 cm) in modo indiretto, nota la portata defluente e il tirante idrico.



Tabella LXIV. Velocità determinate all'uscita delle paratoie per livello nel cassone e grado di apertura delle paratoie fissati

h cassone (cm)	apertura paratoie	Q (l/s)	V1 modello (m/s)	V1 prototipo (m/s)
34.0	80%	57.5	1.90	10.38
34.0	60%	41.7	2.06	11.27
34.0	40%	26.5	2.24	12.28
34.0	20%	11.9	2.18	11.92
22.5	80%	40.0	1.35	7.40
22.5	60%	29.8	1.57	8.62
22.5	40%	19.5	1.76	9.62
22.5	20%	8.7	1.39	7.63
14.4	80%	22.4	0.98	5.36
14.4	60%	22.4	0.98	5.36
14.4	40%	13.5	1.17	6.43
14.4	20%	6.0	1.12	6.12

### 7.2.3 Pressioni in calotta

Le pressioni osservate nel tratto iniziale di galleria a valle delle paratoie, in generale, non hanno portato ad evidenziare valori significativamente negativi, tali da giustificare un'insufficienza nell'areazione della corrente. I valori negativi massimi sono stati dell'ordine dei 6-7 cm di colonna d'acqua.

Tabella LXV. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	1.2	0.8
min	-0.2	-0.2	-5.5	-6.1
media	-0.1	-0.1	-2.8	-3.2

Tabella LXVI. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.6	0.1
min	-0.2	-0.2	-6.3	-6.1
media	-0.1	-0.1	-3.6	-3.0



Tabella LXVII. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.0	0.5	1.0
min	-0.2	-0.2	-6.9	-5.0
media	-0.1	-0.1	-3.1	-1.8

Tabella LXVIII. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	2.0	2.6
min	-0.2	-0.2	-6.7	-6.4
media	-0.1	-0.1	-2.8	-2.5

Tabella LXIX. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.2	0.3	6.8	8.3
min	0.0	0.0	-1.1	-0.9
media	0.1	0.1	3.1	3.8

Tabella LXX. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	2.0	1.7
min	-0.2	-0.2	-7.0	-6.9
media	0.0	-0.1	-1.5	-1.6

Tabella LXXI. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	1.7	1.7
min	-0.1	-0.1	-4.1	-3.4
media	0.0	0.0	-0.5	-0.3



Tabella LXXII. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.0	1.4	1.1
min	-0.2	-0.2	-6.3	-6.9
media	-0.1	-0.1	-2.5	-2.9

Tabella LXXIII. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 80%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	1.5	1.9
min	-0.1	-0.1	-2.9	-2.4
media	0.0	0.0	-0.8	-0.3

Tabella LXXIV. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 60%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	3.9	4.1
min	-0.1	-0.1	-4.2	-4.1
media	0.0	0.0	-0.2	-0.1

Tabella LXXV. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	0.1	2.6	3.2
min	0.0	0.0	-1.1	-0.9
media	0.0	0.0	0.9	1.4

Tabella LXXVI. Pressioni in calotta lungo il tratto iniziale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P1 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P1 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P2 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.0	0.9	1.2
min	-0.2	-0.2	-6.9	-6.8
media	-0.1	-0.1	-2.5	-2.1

## 7.3 GALLERIA TRATTO RETTILINEO (DA PROG. 940 CM A PROG. 2140 CM, CONCI 28-16)

### 7.3.1 Livelli

Analogamente alle precedenti prove, lungo il tratto rettilineo principale di galleria è stato possibile osservare un profilo di corrente veloce ritardata con un effetto di rigonfiamento nella parte terminale dovuto alla presenza della curva subito più a valle.

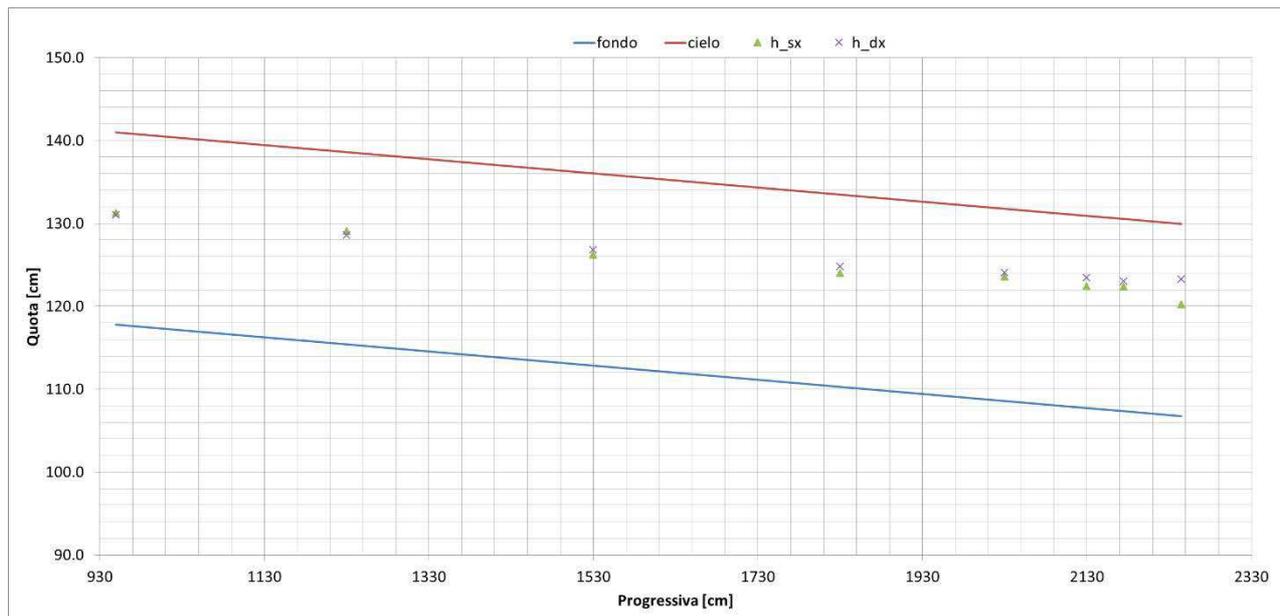


Figura 78. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Tabella LXXVII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.01	950	13.5	13.3	4.05	3.99	58
P15.02	1230	13.7	13.2	4.11	3.96	58
P15.03	1530	13.4	14.0	4.02	4.20	59
P15.04	1830	13.7	14.5	4.11	4.35	61
P15.05	2030	15.0	15.5	4.50	4.65	66
P15.06	2130	14.7	15.7	4.41	4.71	66
P15.07	2175	15.0	15.7	4.50	4.71	66
P15.08	2245	13.5	16.5	4.05	4.95	65

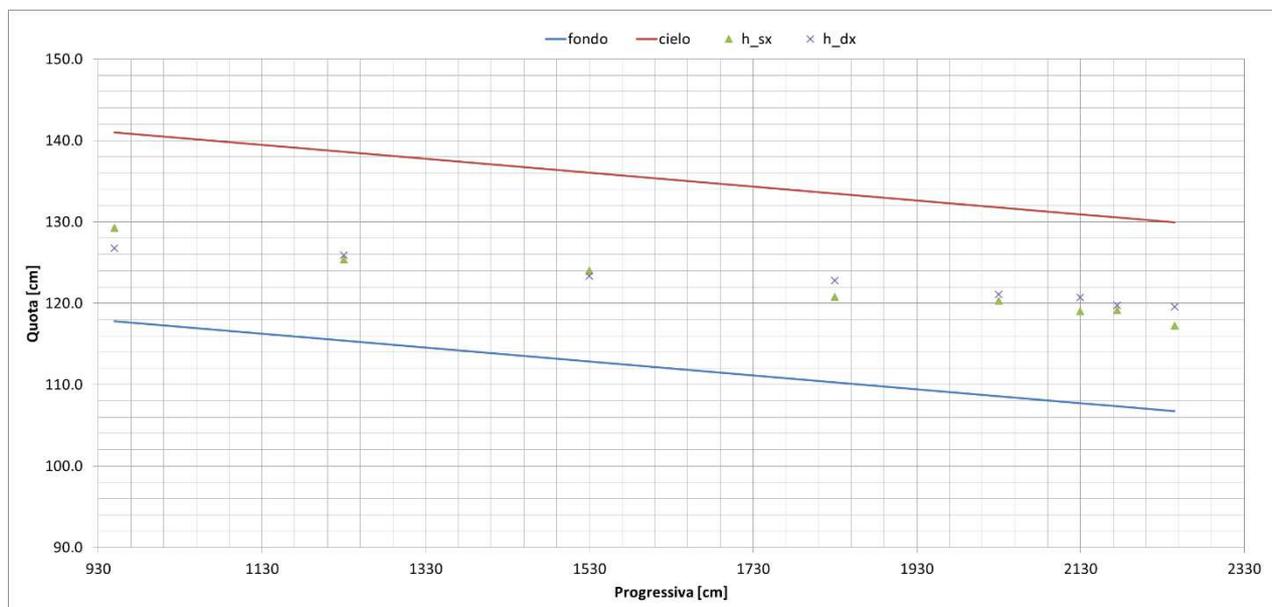


Figura 79. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Tabella LXXVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.01	950	11.5	9.0	3.45	2.70	44
P15.02	1230	10.0	10.5	3.00	3.15	44
P15.03	1530	11.2	10.5	3.36	3.15	47
P15.04	1830	10.5	12.5	3.15	3.75	50
P15.05	2030	11.7	12.5	3.51	3.75	52
P15.06	2130	11.3	13.0	3.39	3.90	52
P15.07	2175	11.8	12.4	3.54	3.72	52
P15.08	2245	10.5	12.8	3.15	3.84	50

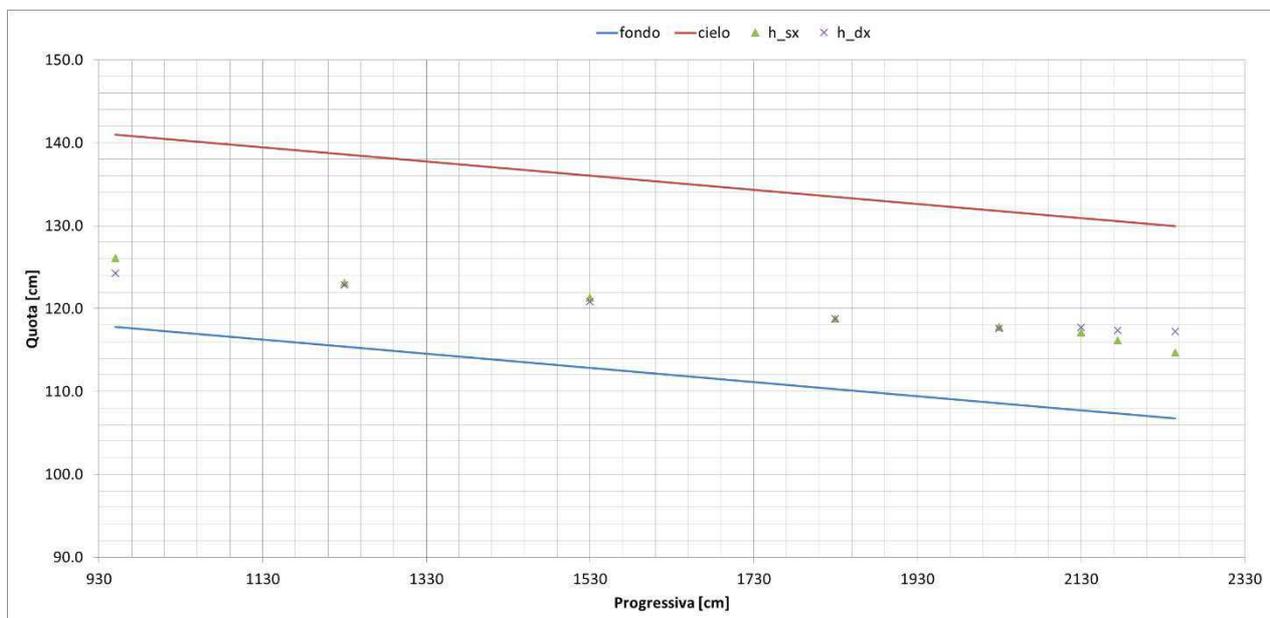


Figura 80. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Tabella LXXIX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	8.3	6.5	2.49	1.95	32
P15.02	1230	7.7	7.5	2.31	2.25	33
P15.03	1530	8.5	8.0	2.55	2.40	36
P15.04	1830	8.5	8.5	2.55	2.55	37
P15.05	2030	9.2	9.0	2.76	2.70	39
P15.06	2130	9.4	10.0	2.82	3.00	42
P15.07	2175	8.8	10.0	2.64	3.00	41
P15.08	2245	7.9	10.5	2.37	3.15	40

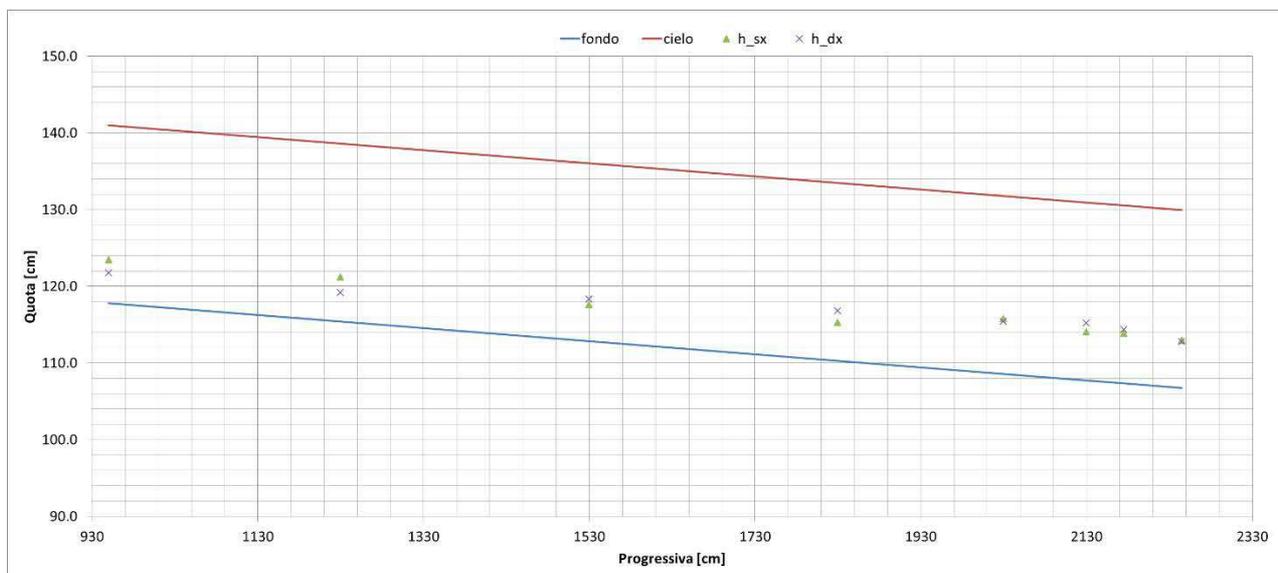


Figura 81. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Tabella LXXX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.01	950	5.7	4.0	1.71	1.20	21
P15.02	1230	5.8	3.8	1.74	1.14	21
P15.03	1530	4.8	5.5	1.44	1.65	22
P15.04	1830	5.0	6.5	1.50	1.95	25
P15.05	2030	7.2	6.8	2.16	2.04	30
P15.06	2130	6.3	7.5	1.89	2.25	30
P15.07	2175	6.5	7.0	1.95	2.10	29
P15.08	2245	6.2	6.0	1.86	1.80	26

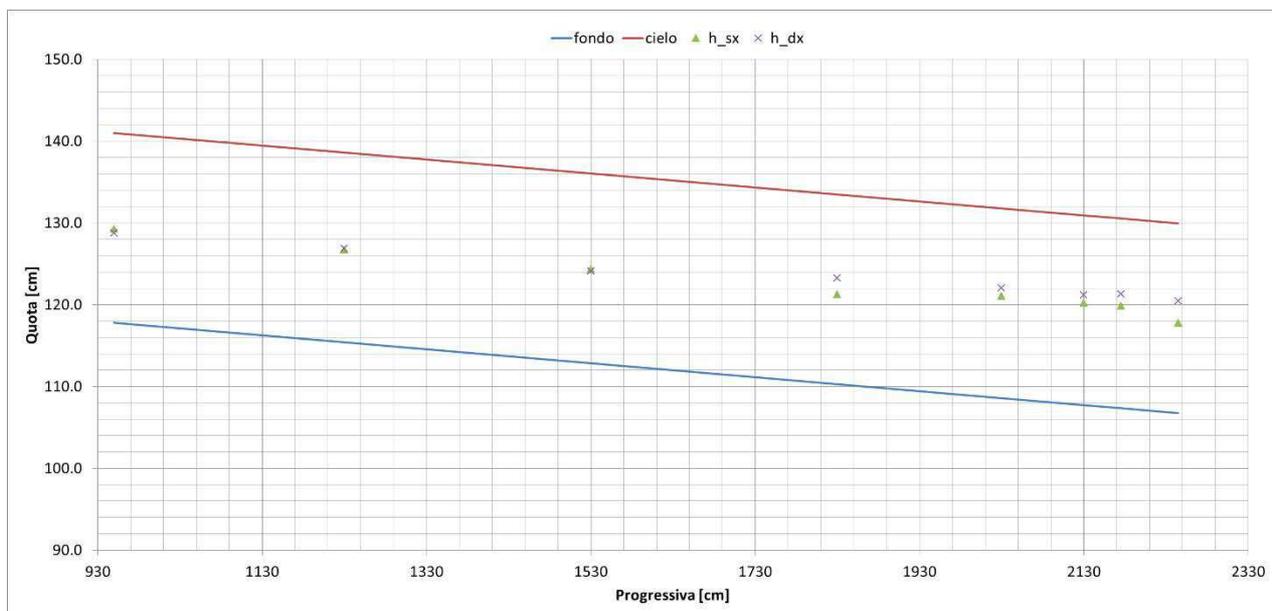


Figura 82. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Tabella LXXXI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.01	950	11.5	11.0	3.45	3.30	48
P15.02	1230	11.3	11.5	3.39	3.45	49
P15.03	1530	11.5	11.3	3.45	3.39	49
P15.04	1830	11.0	13.0	3.30	3.90	52
P15.05	2030	12.5	13.5	3.75	4.05	56
P15.06	2130	12.5	13.5	3.75	4.05	56
P15.07	2175	12.5	14.0	3.75	4.20	57
P15.08	2245	11.0	13.7	3.30	4.11	53

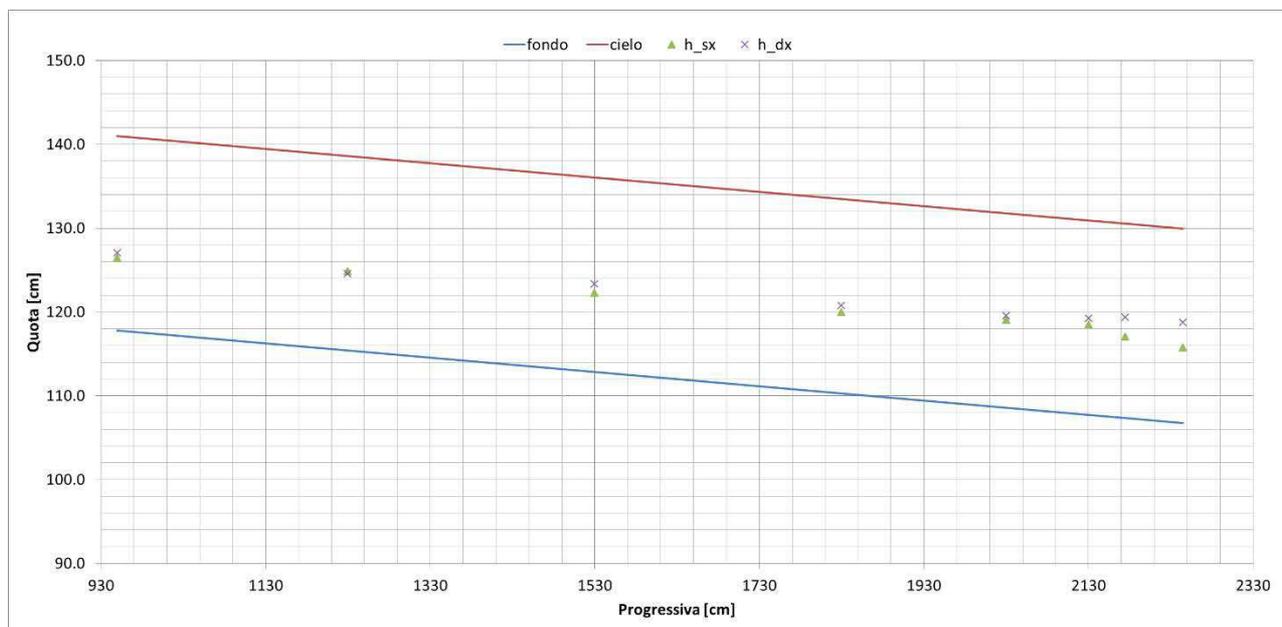


Figura 83. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Tabella LXXXII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	8.7	9.3	2.61	2.79	39
P15.02	1230	9.5	9.2	2.85	2.76	40
P15.03	1530	9.5	10.5	2.85	3.15	43
P15.04	1830	9.7	10.5	2.91	3.15	44
P15.05	2030	10.5	11.0	3.15	3.30	46
P15.06	2130	10.8	11.5	3.24	3.45	48
P15.07	2175	9.7	12.0	2.91	3.60	47
P15.08	2245	9.0	12.0	2.70	3.60	45

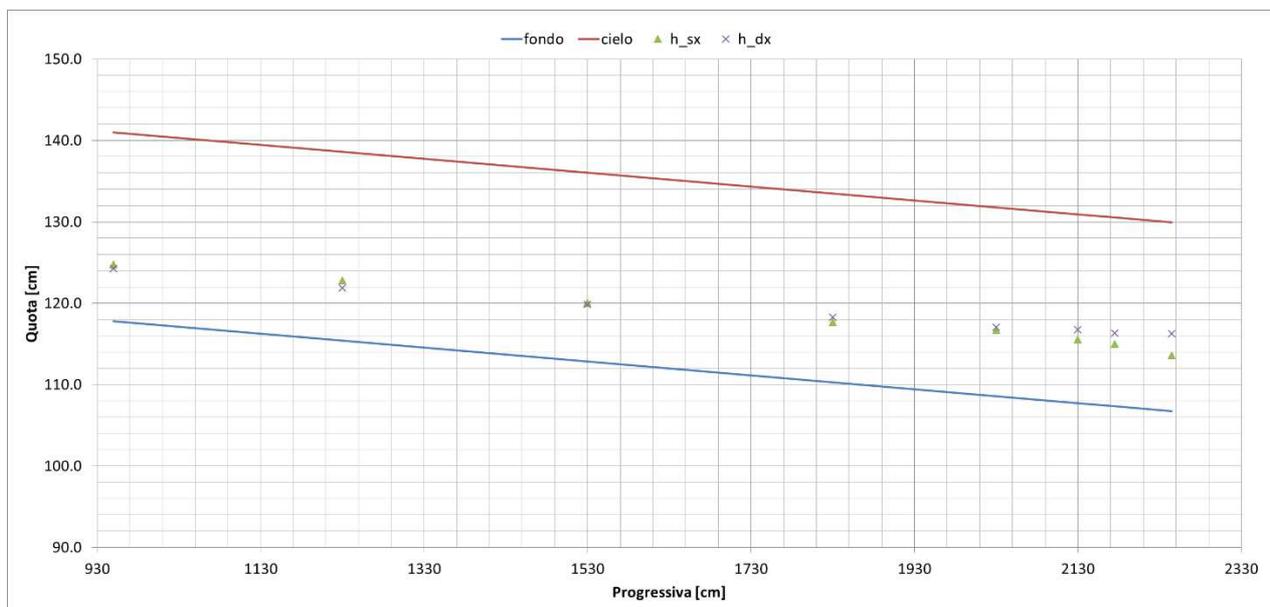


Figura 84. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Tabella LXXXIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	7.0	6.5	2.10	1.95	29
P15.02	1230	7.4	6.5	2.22	1.95	30
P15.03	1530	7.2	7.0	2.16	2.10	31
P15.04	1830	7.4	8.0	2.22	2.40	33
P15.05	2030	8.1	8.5	2.43	2.55	36
P15.06	2130	7.8	9.0	2.34	2.70	36
P15.07	2175	7.6	9.0	2.28	2.70	36
P15.08	2245	6.8	9.5	2.04	2.85	35

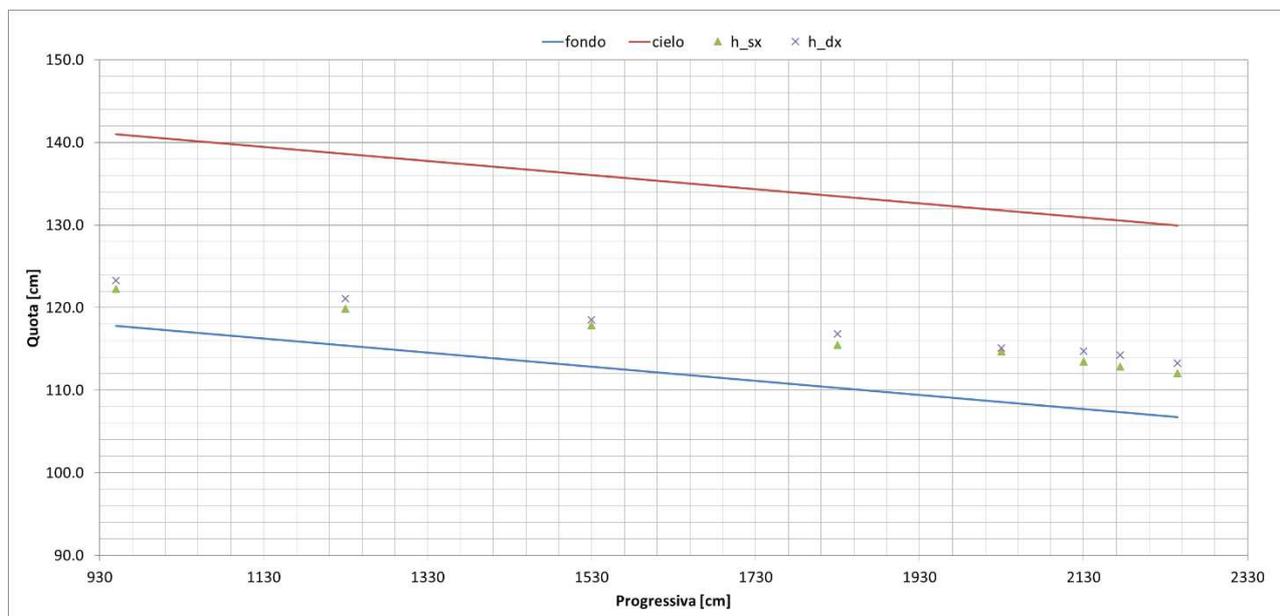


Figura 85. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Tabella LXXXIV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	4.5	5.5	1.35	1.65	22
P15.02	1230	4.5	5.7	1.35	1.71	22
P15.03	1530	5.0	5.7	1.50	1.71	23
P15.04	1830	5.2	6.5	1.56	1.95	25
P15.05	2030	6.1	6.5	1.83	1.95	27
P15.06	2130	5.7	7.0	1.71	2.10	27
P15.07	2175	5.5	6.9	1.65	2.07	27
P15.08	2245	5.3	6.5	1.59	1.95	25

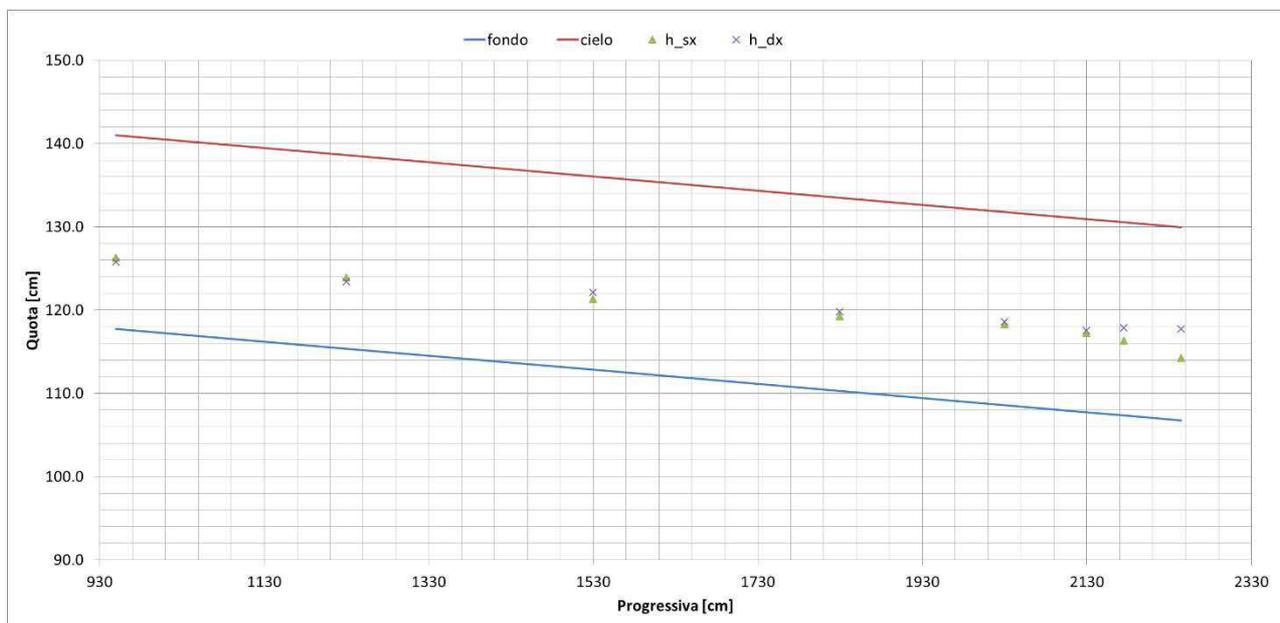


Figura 86. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Tabella LXXXV.

Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	8.5	8.0	2.55	2.40	36
P15.02	1230	8.5	8.0	2.55	2.40	36
P15.03	1530	8.5	9.3	2.55	2.79	38
P15.04	1830	9.0	9.5	2.70	2.85	40
P15.05	2030	9.7	10.0	2.91	3.00	42
P15.06	2130	9.5	9.8	2.85	2.94	42
P15.07	2175	9.0	10.5	2.70	3.15	42
P15.08	2245	7.5	11.0	2.25	3.30	40

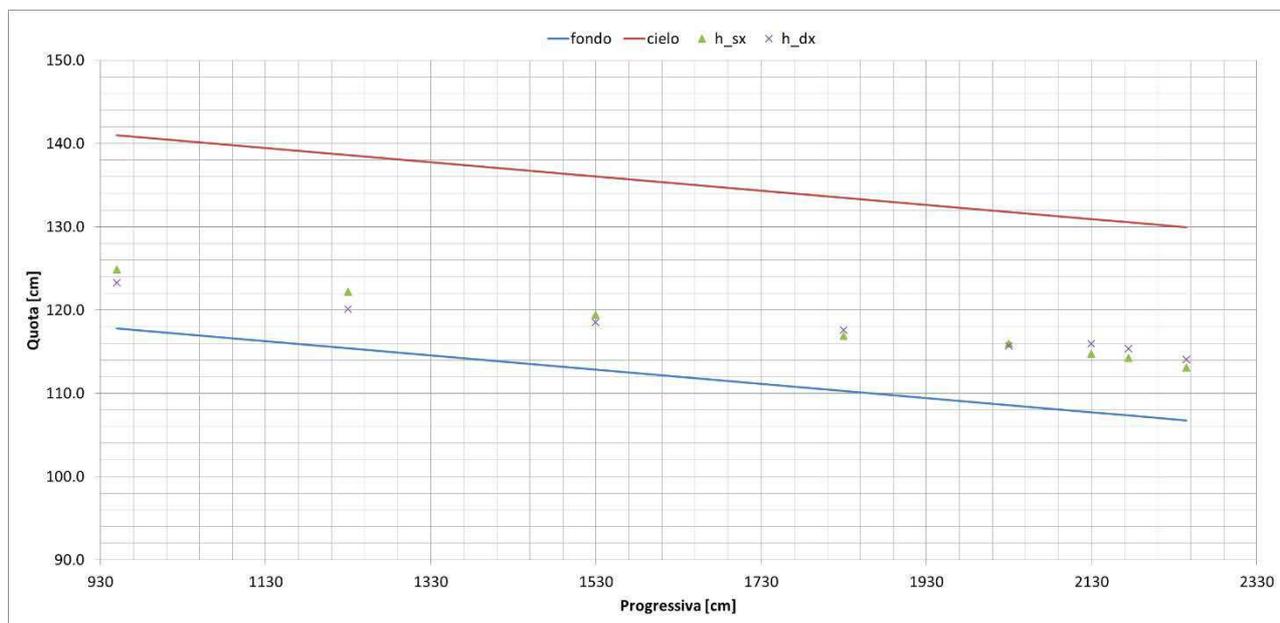


Figura 87. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

Tabella LXXXVI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	7.1	5.5	2.13	1.65	27
P15.02	1230	6.8	4.7	2.04	1.41	25
P15.03	1530	6.6	5.7	1.98	1.71	27
P15.04	1830	6.6	7.3	1.98	2.19	30
P15.05	2030	7.4	7.1	2.22	2.13	31
P15.06	2130	7.0	8.2	2.10	2.46	33
P15.07	2175	6.9	8.0	2.07	2.40	32
P15.08	2245	6.3	7.3	1.89	2.19	29

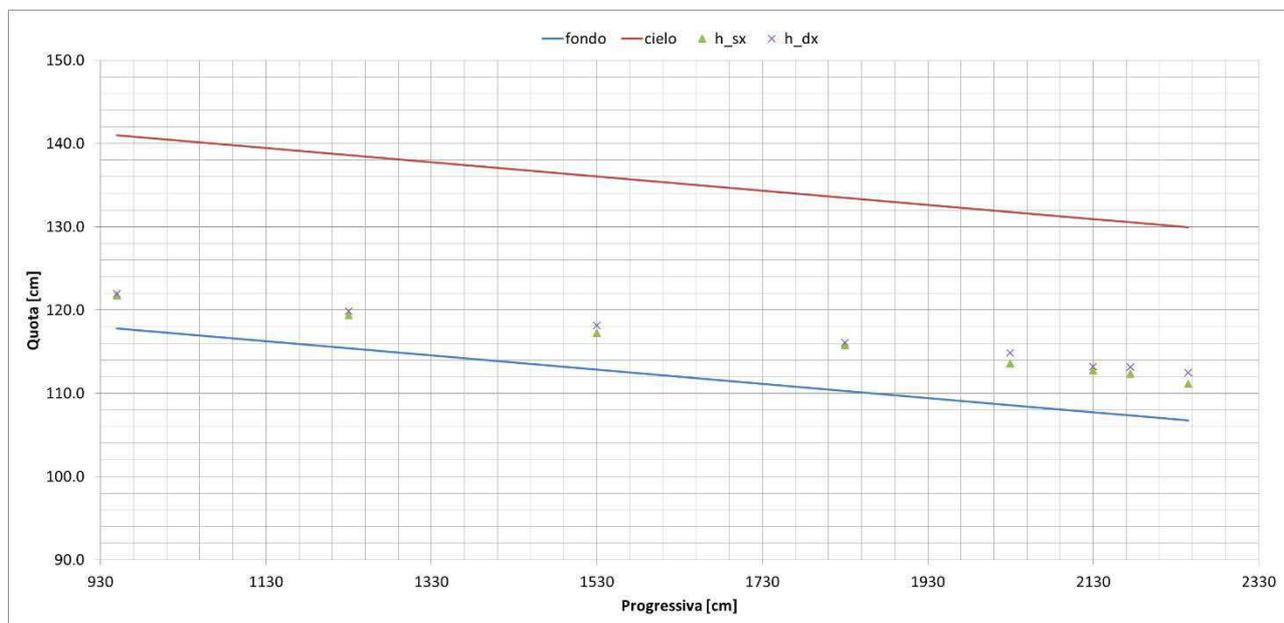


Figura 88. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

Tabella LXXXVII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
P15.01	950	4.0	4.2	1.20	1.26	18
P15.02	1230	4.0	4.5	1.20	1.35	18
P15.03	1530	4.4	5.3	1.32	1.59	21
P15.04	1830	5.5	5.8	1.65	1.74	24
P15.05	2030	5.0	6.3	1.50	1.89	24
P15.06	2130	5.0	5.5	1.50	1.65	23
P15.07	2175	5.0	5.8	1.50	1.74	23
P15.08	2245	4.4	5.7	1.32	1.71	22

### 7.3.2 Velocità

Le velocità sono state misurate nella sezione di monte e di valle del tratto rettilineo mediante l'utilizzo del mulinello e, nel caso di tiranti idrici inferiori ai 5-6 cm, del micro mulinello.

Tabella LXXXVIII. Velocità misurate con mulinello e micro mulinello (\*) nelle sezioni di monte e di valle del tratto rettilineo principale per le 3 portate di riferimento

h cassone (cm)	apertura paratoie	Q (l/s)	V2 modello (m/s)	V3 modello (m/s)	V2 prototipo (m/s)	V3 prototipo (m/s)
34.0	80%	57.5	2.42	1.99	13.27	10.89
34.0	60%	41.7	2.42	1.95	13.26	10.69
34.0	40%	26.5	2.32	1.75	12.68	9.57
34.0	20%	11.9	1.80*	1.51*	9.86	8.27



22.5	80%	40.0	2.20	1.79	12.03	9.82
22.5	60%	29.8	2.14	1.70	11.73	9.34
22.5	40%	19.5	2.02	1.53	11.05	8.37
22.5	20%	8.7	1.61*	1.28*	8.82	7.01
14.4	80% e 60%	22.4	1.89	1.54	10.38	8.42
14.4	40%	13.5	1.80	1.34	9.85	7.36
14.4	20%	6.0	1.45*	1.11*	7.94	6.08

### 7.3.3 Pressioni in calotta

Lungo il tratto rettilineo le pressioni in calotta sono state misura circa in mezzeria. Nelle varie prove con paratoie parzializzate non si sono osservate depressioni significative tali da evidenziare un' insufficienza nell' areazione della corrente, i valori negativi massimi sono stati dell' ordine dei 6-7 cm di colonna d' acqua.

Tabella LXXXIX. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.5
min	-0.2	-6.0
media	-0.1	-3.3

Tabella XC. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.7
min	-0.2	-5.7
media	-0.1	-3.2

Tabella XCI. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.4
min	-0.2	-7.0
media	-0.1	-3.2



Tabella XCII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	2.6
min	-0.2	-7.1
media	-0.1	-2.3

Tabella XCIII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.2	7.1
min	0.0	-0.6
media	0.1	3.5

Tabella XCIV. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	1.6
min	-0.3	-7.6
media	-0.1	-1.5

Tabella XCV. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	1.3
min	-0.2	-4.8
media	0.0	-0.7

Tabella XCVI. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.9
min	-0.2	-7.3
media	-0.1	-2.6



Tabella XCVII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 80%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.9
min	-0.1	-3.8
media	0.0	-1.4

Tabella XCVIII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 60%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	3.0
min	-0.2	-4.6
media	0.0	-0.8

Tabella XCIX. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.1	3.8
min	0.0	-0.1
media	0.1	2.1

Tabella C. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

	<b>P3 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P3 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.0	0.9
min	-0.2	-6.7
media	-0.1	-2.3

## 7.4 GALLERIA TRATTO TERMINALE (DA PROG. 2140 CM A PROG. 3220 CM, CONCI 15-1)

### 7.4.1 Livelli

Lungo il tratto terminale, analogamente alle precedenti prove, si è osservato un profilo di corrente veloce ritardata caratterizzato da un rigonfiamento del pelo libero a monte della transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano.

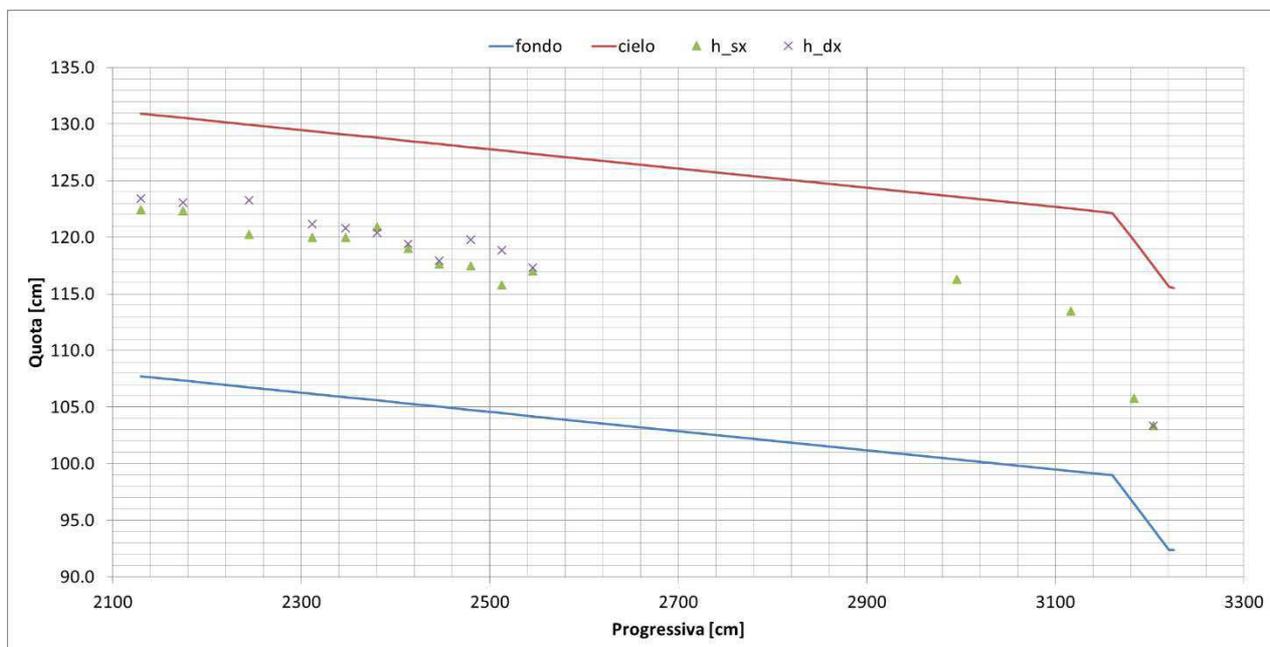


Figura 89. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Tabella CI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	14.7	15.7	4.41	4.71	66
P15.07	2145	15.0	15.7	4.50	4.71	66
P15.08	2158	13.5	16.5	4.05	4.95	65
P16	2312	13.8	15.0	4.14	4.50	62
P17	2347	14.1	14.9	4.23	4.47	63
P18	2380	15.3	14.8	4.59	4.44	65
P19	2413	13.7	14.1	4.11	4.23	60
P20	2446	12.6	12.9	3.78	3.87	55
P21	2480	12.7	15.0	3.81	4.50	60
P22	2513	11.3	14.4	3.39	4.32	55
P23	2546	12.8	13.1	3.84	3.93	56
P24	2996	15.9	-	4.77	-	69
P25	3117	14.1	-	4.23	-	61
P26	3183	9.3	-	2.79	-	40
P26.1	3204	11.0	11.0	3.30	3.30	47

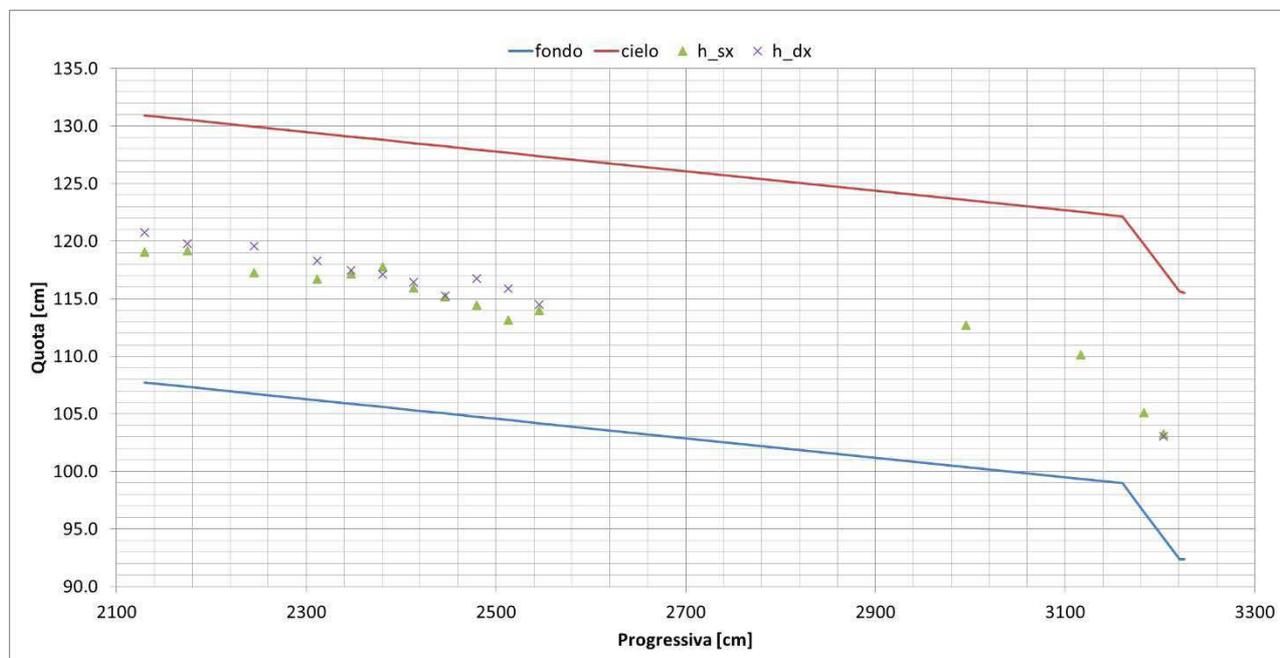


Figura 90. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Tabella CII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	11.3	13.0	3.39	3.90	52
P15.07	2175	11.8	12.4	3.54	3.72	52
P15.08	2245	10.5	12.8	3.15	3.84	50
P16	2312	10.5	12.1	3.15	3.63	49
P17	2347	11.3	11.6	3.39	3.48	49
P18	2380	12.2	11.5	3.66	3.45	51
P19	2413	10.6	11.1	3.18	3.33	47
P20	2446	10.1	10.2	3.03	3.06	44
P21	2480	9.7	12.0	2.91	3.60	47
P22	2513	8.7	11.4	2.61	3.42	43
P23	2546	9.8	10.3	2.94	3.09	43
P24	2996	12.3	-	3.69	-	53
P25	3117	10.8	-	3.24	-	47
P26	3183	8.6	-	2.58	-	37
P26.1	3204	9.0	8.8	2.70	2.64	38

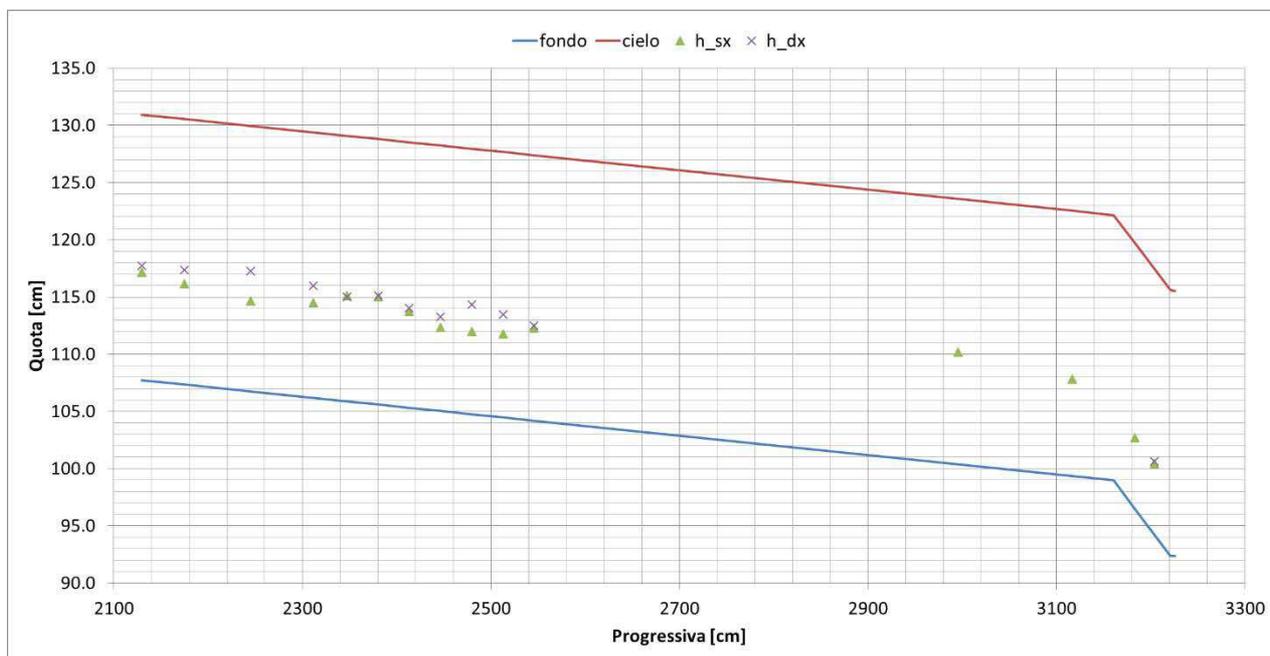


Figura 91. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Tabella CIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	9.4	10.0	2.82	3	42
P15.07	2175	8.8	10.0	2.64	3	41
P15.08	2245	7.9	10.5	2.37	3.15	40
P16	2312	8.3	9.8	2.49	2.94	39
P17	2347	9.2	9.1	2.76	2.73	39
P18	2380	9.4	9.5	2.82	2.85	41
P19	2413	8.4	8.7	2.52	2.61	37
P20	2446	7.3	8.2	2.19	2.46	33
P21	2480	7.2	9.6	2.16	2.88	36
P22	2513	7.3	9.0	2.19	2.7	35
P23	2546	8.1	8.3	2.43	2.49	35
P24	2996	9.8	-	2.94	-	42
P25	3117	8.5	-	2.55	-	37
P26	3183	6.2	-	1.86	-	27
P26.1	3204	6.2	6.4	1.86	1.92	27

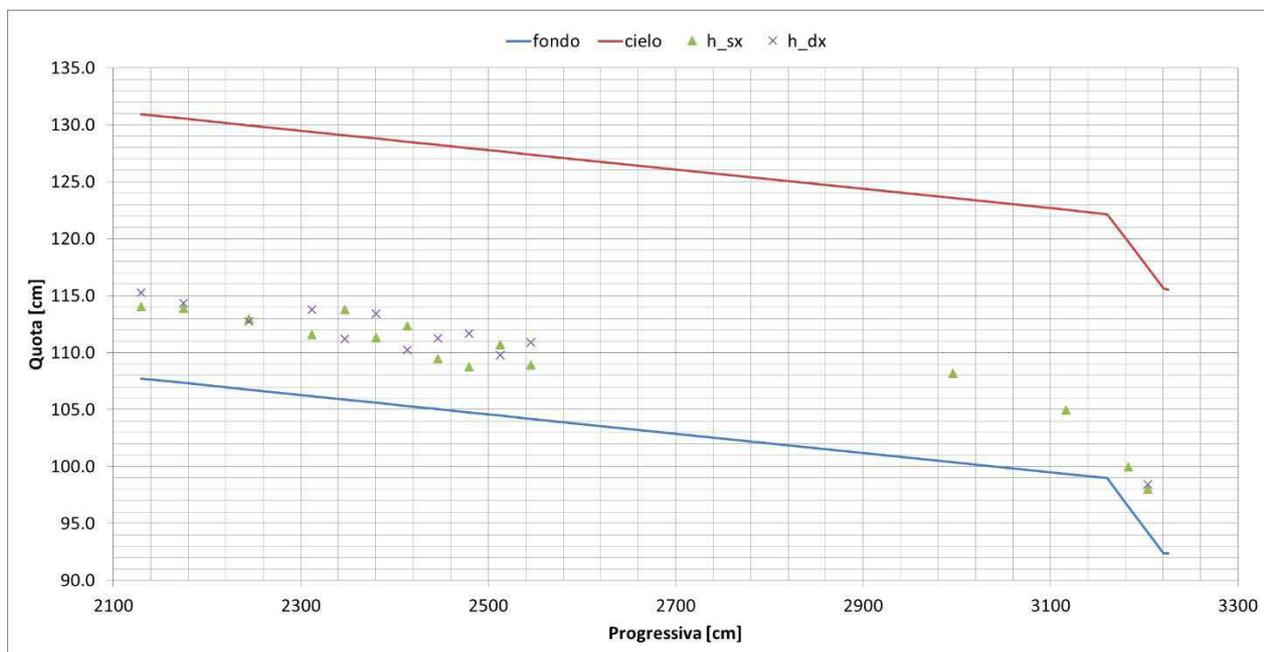


Figura 92. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Tabella CIV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 34.0 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	6.3	7.5	1.89	2.25	30
P15.07	2175	6.5	7.0	1.95	2.10	29
P15.08	2245	6.2	6.0	1.86	1.80	26
P16	2312	5.4	7.6	1.62	2.28	28
P17	2347	7.9	5.3	2.37	1.59	28
P18	2380	5.7	7.8	1.71	2.34	29
P19	2413	7.0	4.9	2.10	1.47	26
P20	2446	4.4	6.2	1.32	1.86	23
P21	2480	4.0	6.9	1.20	2.07	23
P22	2513	6.2	5.3	1.86	1.59	25
P23	2546	4.7	6.7	1.41	2.01	25
P24	2996	7.8	-	2.34	-	34
P25	3117	5.6	-	1.68	-	24
P26	3183	3.5	-	1.05	-	15
P26.1	3204	3.8	4.2	1.14	1.26	17

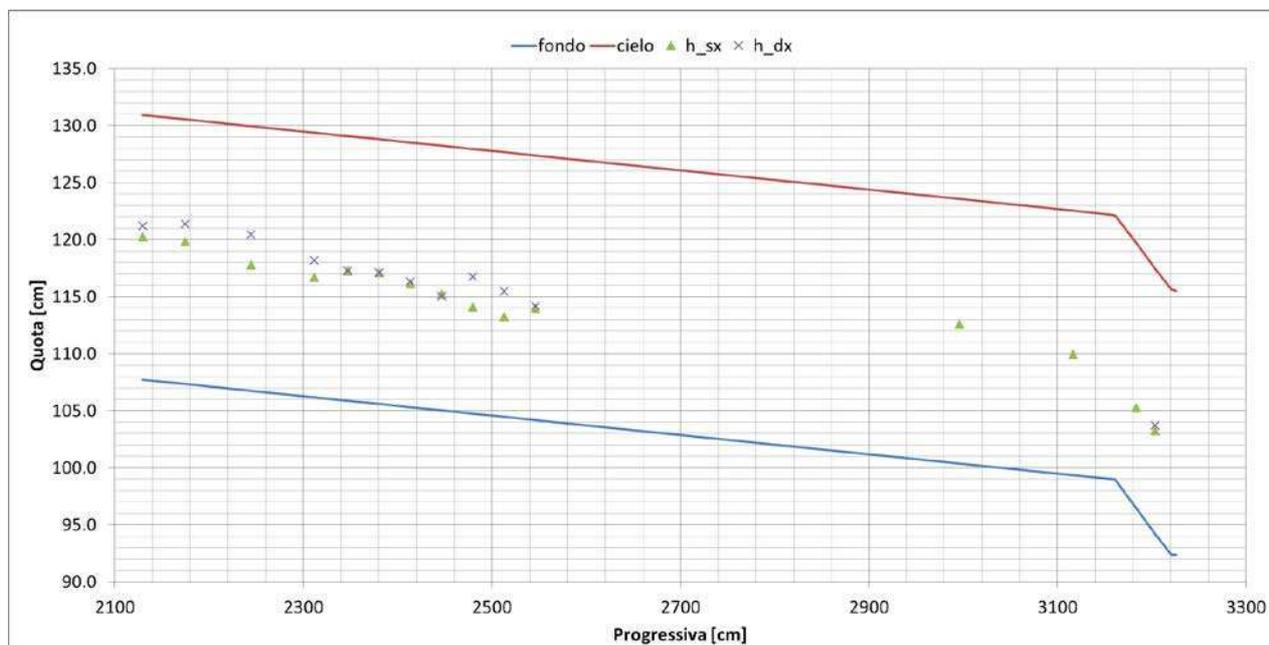


Figura 93. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Tabella CV. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 80%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	12.5	13.5	3.75	4.05	56
P15.07	2175	12.5	14.0	3.75	4.20	57
P15.08	2245	11.0	13.7	3.30	4.11	53
P16	2312	10.5	12.0	3.15	3.60	48
P17	2347	11.4	11.4	3.42	3.42	49
P18	2380	11.5	11.5	3.45	3.45	50
P19	2413	10.8	11.0	3.24	3.30	47
P20	2446	10.2	10.0	3.06	3.00	44
P21	2480	9.3	12.0	2.79	3.60	46
P22	2513	8.8	11.0	2.64	3.30	43
P23	2546	9.8	10.0	2.94	3.00	43
P24	2996	12.2	-	3.66	-	53
P25	3117	10.6	-	3.18	-	46
P26	3183	8.8	-	2.64	-	38
P26.1	3204	9.0	9.5	2.70	2.85	40

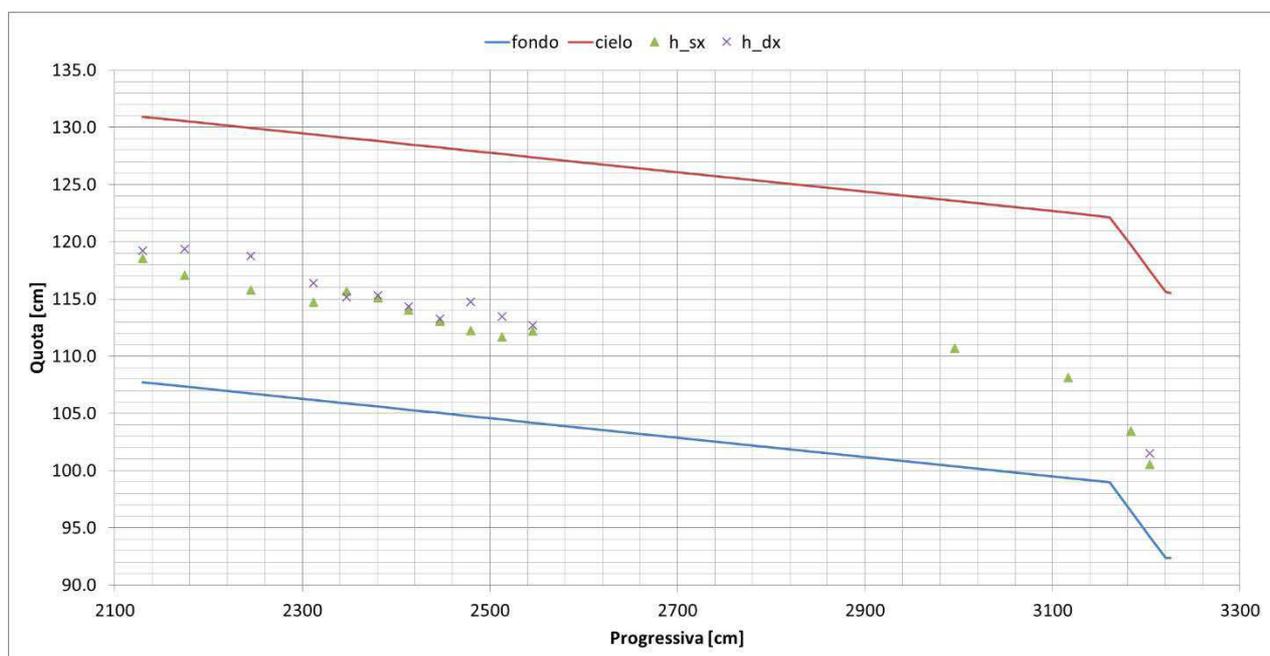


Figura 94. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Tabella CVI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 60%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	10.8	11.5	3.24	3.45	48
P15.07	2175	9.7	12.0	2.91	3.60	47
P15.08	2245	9.0	12.0	2.70	3.60	45
P16	2312	8.5	10.2	2.55	3.06	40
P17	2347	9.8	9.3	2.94	2.79	41
P18	2380	9.5	9.7	2.85	2.91	41
P19	2413	8.7	9.0	2.61	2.70	38
P20	2446	8.0	8.2	2.40	2.46	35
P21	2480	7.5	10.0	2.25	3.00	38
P22	2513	7.2	9.0	2.16	2.70	35
P23	2546	8.0	8.5	2.40	2.55	36
P24	2996	10.3	-	3.09	-	44
P25	3117	8.8	-	2.64	-	38
P26	3183	7.0	-	2.10	-	30
P26.1	3204	6.3	7.3	1.89	2.19	29

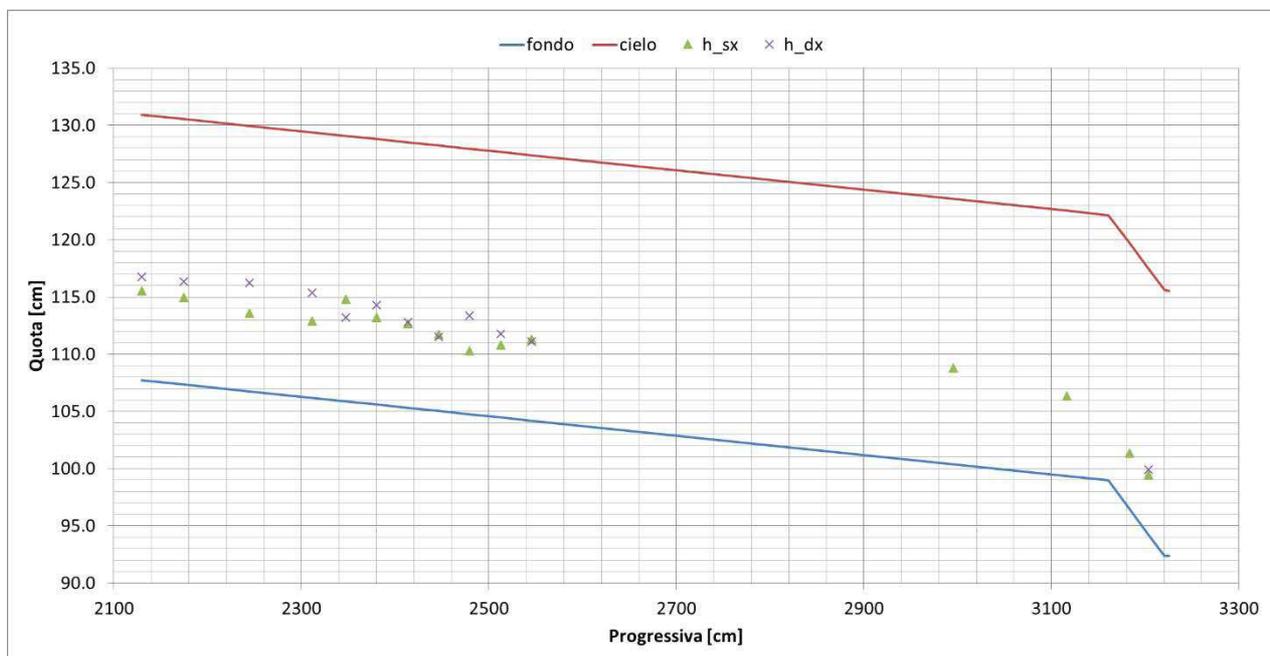


Figura 95. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Tabella CVII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	7.8	9.0	2.34	2.70	36
P15.07	2175	7.6	9.0	2.28	2.70	36
P15.08	2245	6.8	9.5	2.04	2.85	35
P16	2312	6.7	9.2	2.01	2.76	34
P17	2347	8.9	7.3	2.67	2.19	35
P18	2380	7.6	8.7	2.28	2.61	35
P19	2413	7.3	7.5	2.19	2.25	32
P20	2446	6.7	6.5	2.01	1.95	28
P21	2480	5.5	8.6	1.65	2.58	30
P22	2513	6.3	7.3	1.89	2.19	29
P23	2546	7.1	6.9	2.13	2.07	30
P24	2996	8.4	-	2.52	-	36
P25	3117	7.0	-	2.10	-	30
P26	3183	4.9	-	1.47	-	21
P26.1	3204	5.2	5.7	1.56	1.71	23

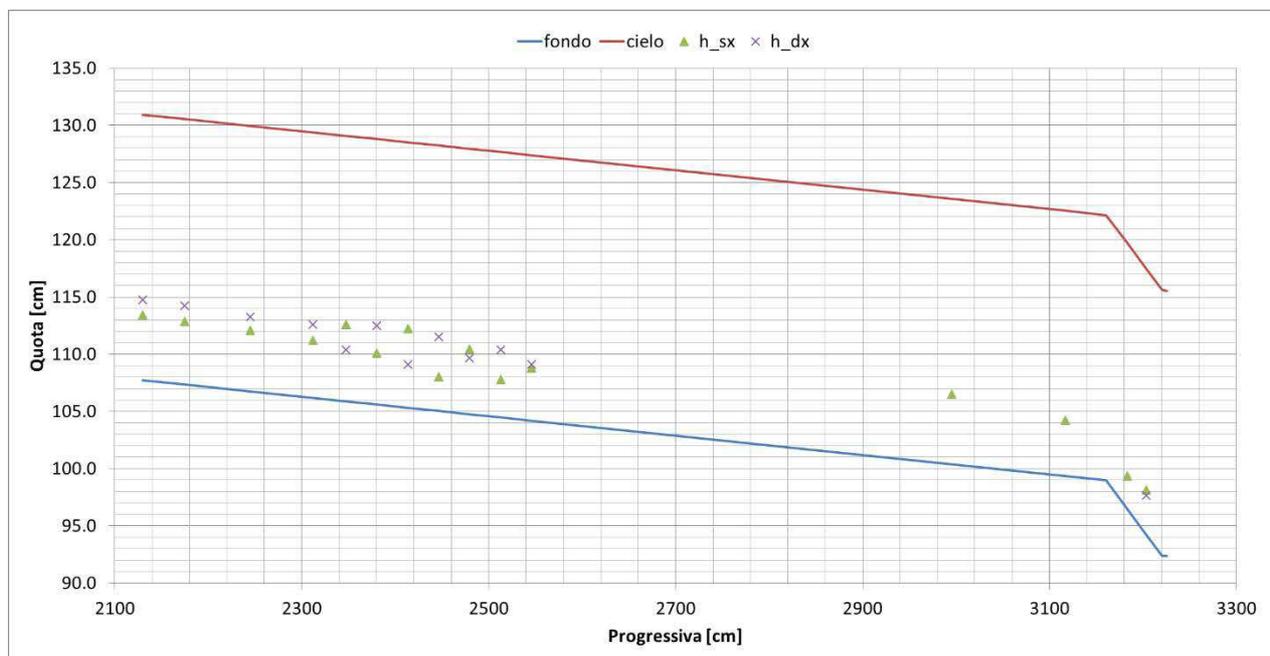


Figura 96. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Tabella CVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 22.5 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	5.7	7.0	1.71	2.10	27
P15.07	2175	5.5	6.9	1.65	2.07	27
P15.08	2245	5.3	6.5	1.59	1.95	25
P16	2312	5.0	6.4	1.50	1.92	25
P17	2347	6.7	4.5	2.01	1.35	24
P18	2380	4.5	6.9	1.35	2.07	25
P19	2413	6.9	3.8	2.07	1.14	23
P20	2446	3.0	6.5	0.90	1.95	20
P21	2480	5.7	4.9	1.71	1.47	23
P22	2513	3.3	5.9	0.99	1.77	20
P23	2546	4.6	4.9	1.38	1.47	20
P24	2996	6.1	-	1.83	-	26
P25	3117	4.9	-	1.47	-	21
P26	3183	2.9	-	0.87	-	12
P26.1	3204	3.9	3.4	1.17	1.02	16

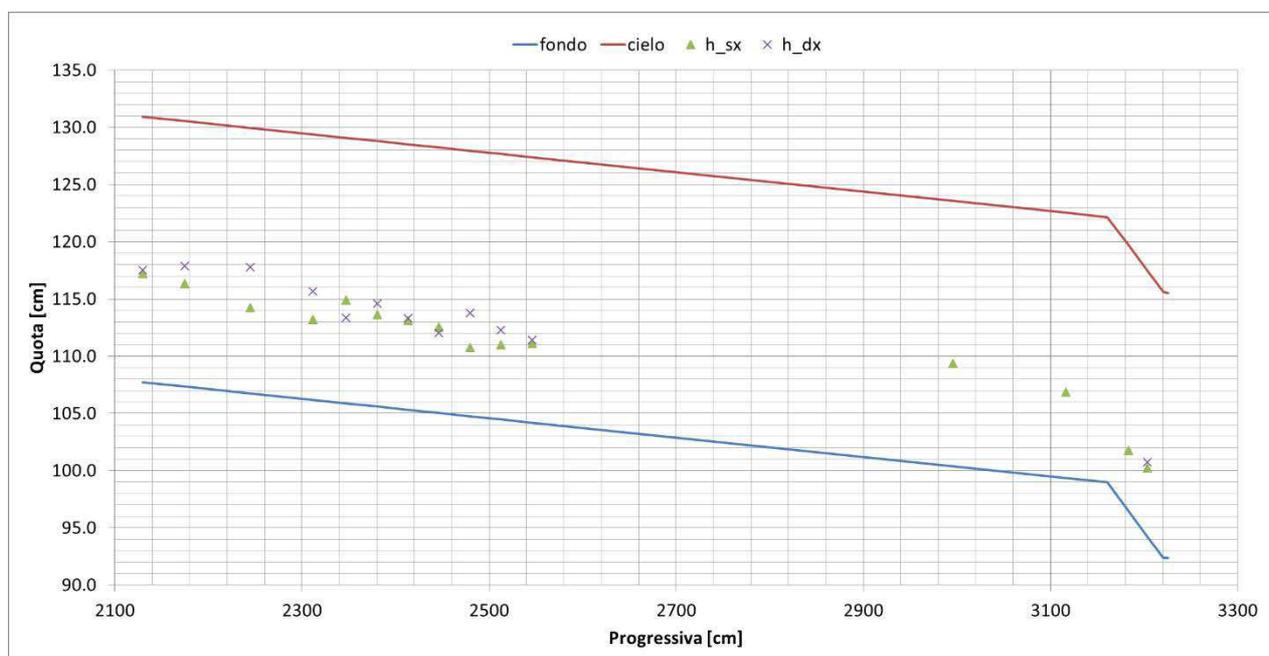


Figura 97. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Tabella CIX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie sia 80% che 60% (funzionamento a pelo libero del tratto di imbocco a doppia canna senza influenza delle paratoie)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	9.5	9.8	2.85	2.94	42
P15.07	2175	9.0	10.5	2.70	3.15	42
P15.08	2245	7.5	11.0	2.25	3.30	40
P16	2312	7.0	9.5	2.10	2.85	36
P17	2347	9.0	7.5	2.70	2.25	36
P18	2380	8.0	9.0	2.40	2.70	37
P19	2413	7.8	8.0	2.34	2.40	34
P20	2446	7.5	7.0	2.25	2.10	31
P21	2480	6.0	9.0	1.80	2.70	32
P22	2513	6.5	7.8	1.95	2.34	31
P23	2546	6.9	7.2	2.07	2.16	30
P24	2996	9.0	-	2.70	-	39
P25	3117	7.5	-	2.25	-	32
P26	3183	5.3	-	1.59	-	23
P26.1	3204	6.0	6.5	1.80	1.95	27

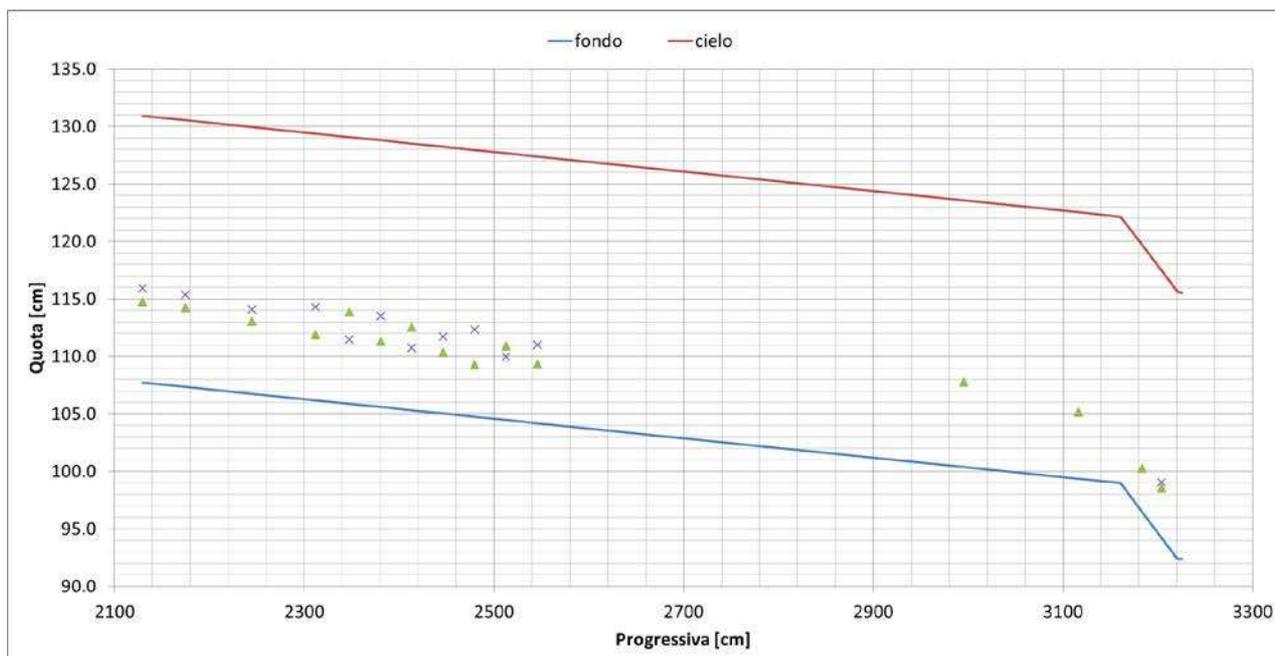


Figura 98. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

Tabella CX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 40%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	7.0	8.2	2.10	2.46	33
P15.07	2175	6.9	8.0	2.07	2.40	32
P15.08	2245	6.3	7.3	1.89	2.19	29
P16	2312	5.7	8.1	1.71	2.43	30
P17	2347	8.0	5.6	2.40	1.68	29
P18	2380	5.7	7.9	1.71	2.37	29
P19	2413	7.2	5.4	2.16	1.62	27
P20	2446	5.3	6.7	1.59	2.01	26
P21	2480	4.5	7.6	1.35	2.28	26
P22	2513	6.4	5.5	1.92	1.65	26
P23	2546	5.1	6.8	1.53	2.04	26
P24	2996	7.4	-	2.22	-	32
P25	3117	5.8	-	1.74	-	25
P26	3183	3.8	-	1.14	-	16
P26.1	3204	4.3	4.8	1.29	1.44	20

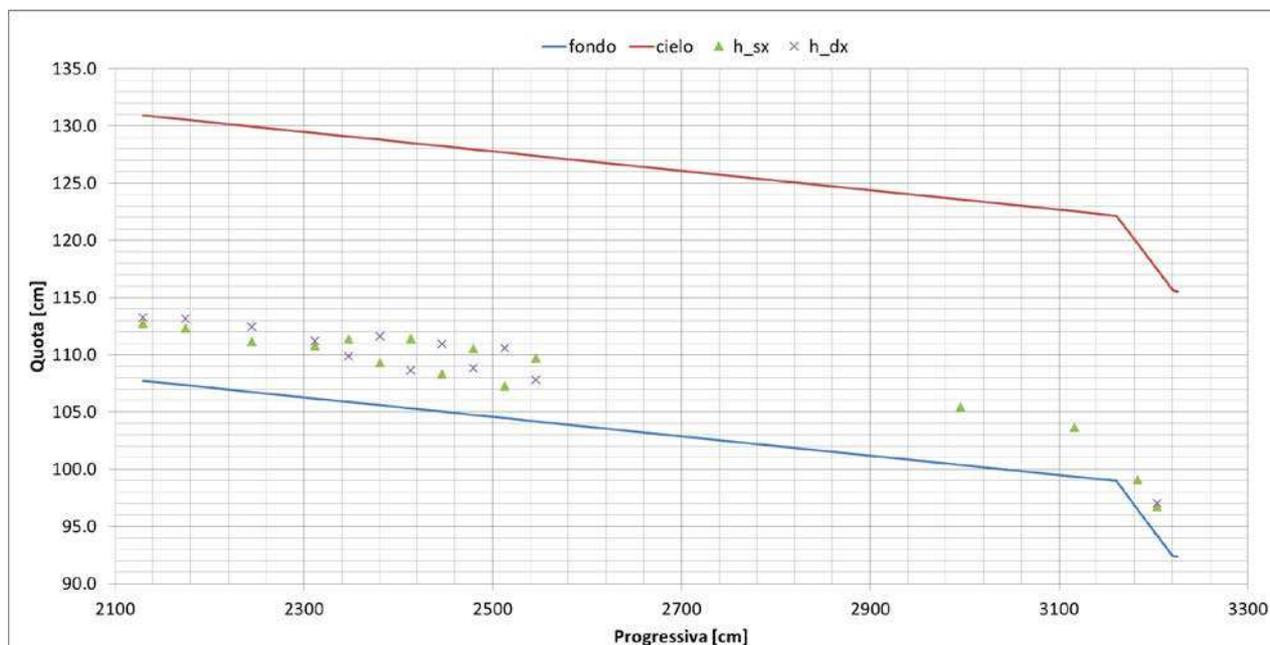


Figura 99. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

Tabella CXI. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello nel cassone pari a 14.4 cm e apertura paratoie 20%

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P15.06	2130	5.0	5.5	1.50	1.65	23
P15.07	2175	5.0	5.8	1.50	1.74	23
P15.08	2245	4.4	5.7	1.32	1.71	22
P16	2312	4.6	5.0	1.38	1.50	21
P17	2347	5.5	4.0	1.65	1.20	20
P18	2380	3.7	6.0	1.11	1.80	21
P19	2413	6.1	3.3	1.83	0.99	20
P20	2446	3.3	5.9	0.99	1.77	20
P21	2480	5.8	4.1	1.74	1.23	21
P22	2513	2.8	6.1	0.84	1.83	19
P23	2546	5.5	3.6	1.65	1.08	20
P24	2996	5.1	-	1.53	-	22
P25	3117	4.3	-	1.29	-	19
P26	3183	2.6	-	0.78	-	11
P26.1	3204	2.5	2.8	0.75	0.84	11

### 7.4.2 Velocità

Le velocità sono state misurate in prossimità della sezione di valle della rampa terminale con l'utilizzo del mulinello o, nel caso di livelli idrici inferiori ai 5-6 cm, del micro mulinello.



Tabella CXII. Velocità misurate con mulinello nella sezione di valle dello scivolo terminale per le 3 portate di riferimento

h cassone (cm)	apertura paratoie	Q (l/s)	V4 modello (m/s)	V4 prototipo (m/s)
34.0	80%	57.5	2.33	12.74
34.0	60%	41.7	2.24	12.26
34.0	40%	26.5	2.05	11.25
34.0	20%	11.9	1.83*	10.02
22.5	80%	40.0	2.16	11.81
22.5	60%	29.8	2.10	11.53
22.5	40%	19.5	1.95	10.69
22.5	20%	8.7	1.71*	9.37
14.4	80%	22.4	1.98	10.83
14.4	60%	22.4	1.98	10.83
14.4	40%	13.5	1.82*	9.97
14.4	20%	6.0	1.61*	8.82

## 8 ULTERIORI PROVE DI TIPO B

### 8.1 FUNZIONAMENTO PER LIVELLO DI MASSIMO INVASO E PORTATA DI PROGETTO

A seguito delle osservazioni condotte sulle precedenti prove, in cui si è evidenziata una capacità dell'opera di smaltire la portata di progetto pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) con un carico di monte, cioè un livello nel cassone di alimentazione, inferiore rispetto a quello atteso, pari al livello di massimo invaso, di circa 5 cm (1.5 m nel prototipo), è stata condotta una prova al fine di verificare il funzionamento dell'opera per fissato livello coincidente con quello di massimo invaso e fissata portata coincidente con la portata di progetto, agendo pertanto sull'apertura delle paratoie di regolazione. L'altezza di apertura delle paratoie associata a tale combinazione livello-portata è risultata essere pari a 13 cm, corrispondente quindi ad un grado di apertura di circa l'87%.

La configurazione geometrica del modello è stata mantenuta invariata rispetto all'analogha prova con paratoie completamente aperte, in particolare si è considerata una pendenza del 9% relativamente allo scivolo terminale.

#### 8.1.1 Imbocco e galleria tratto iniziale (da prog. 0 a prog. 940 cm, conci 44-29)

Potendo contare su una apertura parziale delle paratoie di regolazione, i livelli lungo il tratto iniziale della galleria sono stati in generale più contenuti, a fronte di una maggior energia cinetica; mediamente si sono osservati livelli inferiori di circa 2 cm rispetto alla prova con paratoie completamente aperte. Il massimo grado di riempimento è stato di circa il 64% in corrispondenza della progressiva 275 cm. Anche per questa prova si è evidenziato lungo il tratto iniziale di galleria

un moto ondoso stazionario dovuto alla presenza del convergente in corrente veloce e delle 2 curve planimetriche, osservando, in generale, livelli in sponda destra maggiori rispetto a quelli in sinistra fino ad una differenza massima di 2.7 cm.

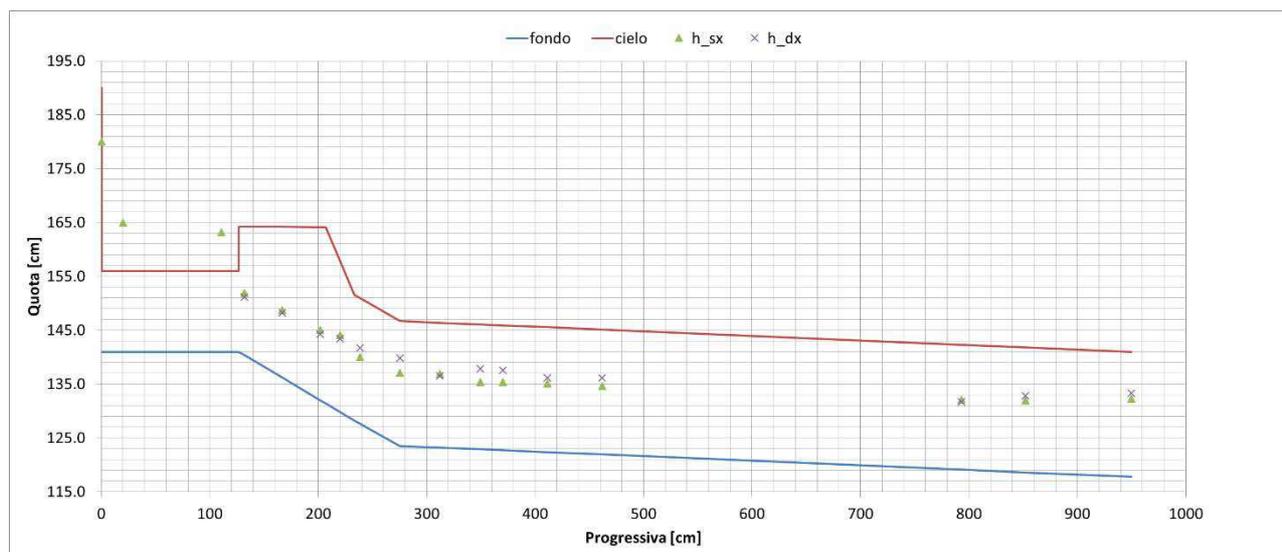


Figura 100. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto iniziale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Tabella CXIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto iniziale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
0	0	39.0	-	11.70	-	-
1	20	24.0	-	7.20	-	-
2	111	22.2	-	6.66	-	-
3	132	11.5	10.8	3.45	3.24	47
4	167	12.5	12.0	3.75	3.60	44
5	202	13.0	12.3	3.90	3.69	39
6	220	14.3	13.6	4.29	4.08	50
7	238	12.4	14.1	3.72	4.23	57
8	275	13.6	16.3	4.08	4.89	64
9	312	13.7	13.3	4.11	3.99	58
10	349	12.5	15.0	3.75	4.50	59
11	370	12.7	14.9	3.81	4.47	59
12	411	12.8	13.8	3.84	4.14	57
13	462	12.7	14.2	3.81	4.26	58
14	793	13.0	12.6	3.90	3.78	55
15	852	13.4	14.2	4.02	4.26	59
15.01	950	14.5	15.5	4.35	4.65	65



La velocità è stata misurata indirettamente nella sezione subito più a valle delle paratoie, in corrispondenza della progressiva 132 cm, noto il tirante idrico e la portata defluente.

Tabella CXIV. Velocità determinata all'uscita delle paratoie per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Q (l/s)	V1 modello (m/s)	V1 prototipo (m/s)
67	2.03	11.12

Le pressioni in calotta rilevate lungo il tratto iniziale di galleria non hanno evidenziato valori negativi particolarmente gravosi tali da giustificare un'insufficienza nell'areazione della corrente, così come si può osservare nella seguente tabella in cui sono riportati, per ciascun punto di campionamento, i valori massimi, minimi e medi.

Tabella CXV. Pressioni in calotta lungo in tratto iniziale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

	P1 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P2 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P1 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P2 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	2.3	1.9
min	-0.1	-0.1	-3.9	-4.2
media	0.0	0.0	-0.9	-1.1

### 8.1.2 Galleria tratto rettilineo (da prog. 940 cm a prog. 2140 cm, conci 28-16)

L'effetto di chiusura parziale delle paratoie si è risentito, seppur in modo meno evidente rispetto al tratto iniziale di galleria, anche lungo il tratto rettilineo principale, giungendo a livelli massimi nelle sezioni di valle (perturbati dall'effetto di rigonfiamento dovuto alla perdita energetica della curva subito più a valle) di poco inferiori rispetto a quelli osservati a parità di portata con paratoie completamente aperte. Mediamente, lungo questo tratto, le differenze rispetto alla prova con paratoie completamente aperte sono state di circa 0.6 cm.

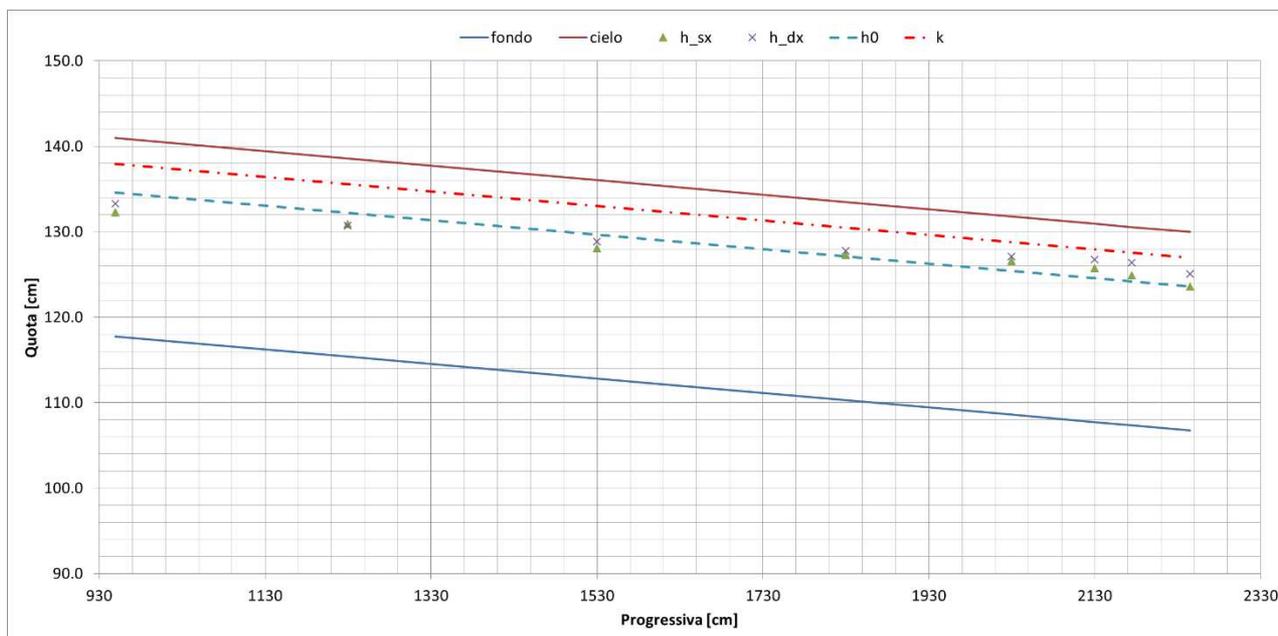


Figura 101. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Figura 102. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.01	950	14.5	15.5	4.35	4.65	65
15.02	1230	15.5	15.3	4.65	4.59	66
15.03	1530	15.2	16.0	4.56	4.80	67
15.04	1830	17.0	17.5	5.10	5.25	74
15.05	2030	18.0	18.5	5.40	5.55	79
15.06	2130	18.0	19.0	5.40	5.70	80
15.07	2175	17.5	19.0	5.25	5.70	79
15.08	2245	16.8	18.3	5.04	5.49	76

L'effetto di rigonfiamento nella parte terminale del tratto rettilineo è stato osservato anche per questa prova, evidenziando un grado di riempimento medio dell'80% nella sezione più critica (15.06), con in destra un valore locale massimo dell'82%.

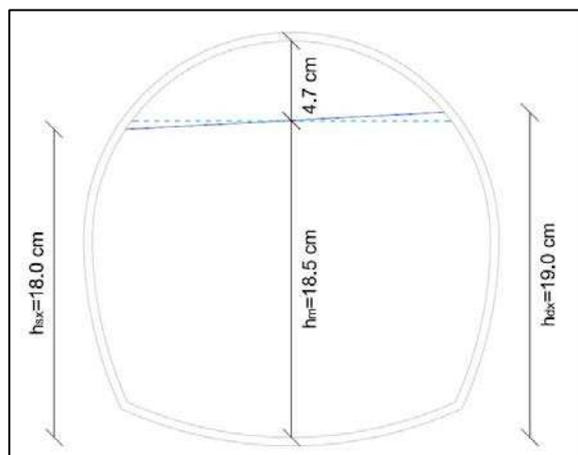


Figura 103. (sx) Sezione 15.06 (termine tratto rettilineo principale) con livelli misurati in destra e in sinistra per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm). (dx) vista della corrente in corrispondenza dell'apertura in calotta al termine del tratto rettilineo, resa possibile dal livello corrispondente al contenuto energetico indotto dalla parzializzazione delle paratoie

Anche in questa prova si evidenzia, al termine del tratto rettilineo, l'effetto di sovrzalzo del tirante idrico oltre l'altezza di moto uniforme, dovuto agli effetti localizzati della perdita di carico  $h_f = f_c \frac{v^2}{2g}$  (Chow, 1959) indotta dalla curva in corrente veloce che caratterizza il tratto a valle e che, come noto, produce un'oscillazione trasversale del pelo libero tra i due lati, interno ed esterno della curva, dando luogo a un'onda stazionaria trasversale, involuppo di una serie di oscillazioni del pelo libero, che causa la perdita di carico.

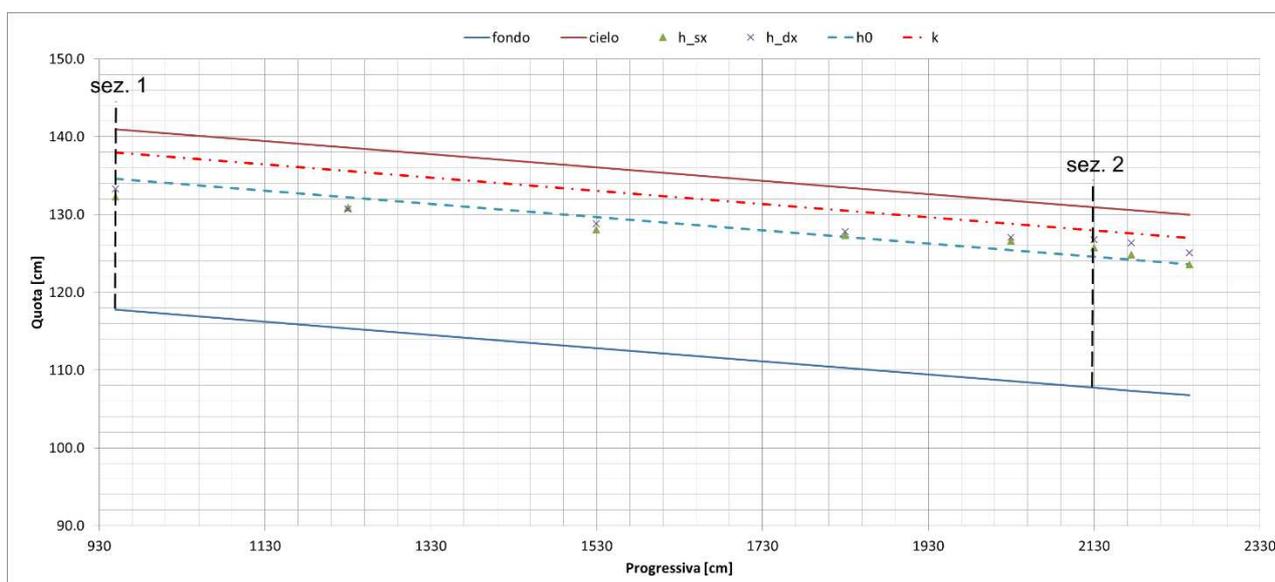


Figura 104. Sezione di monte (sez. 1) e di valle (sez. 2) del tratto rettilineo principale di galleria con relativi livelli misurati per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Rispetto alla prova in condizioni di paratoie completamente aperte, la parzializzazione delle paratoie induce un livello energetico superiore, sia relativamente alla sezione di monte (sez. 1) che a quella di valle (sez. 2). Infatti risulta:

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.386 \text{ m}$$

$$E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = 0.341 \text{ m}$$

Sempre nell'ipotesi che la perdita di carico distribuita  $\Delta J = J \cdot L$  sia pressochè bilanciata dalla perdita geodetica  $\Delta z = i \cdot L$ , è possibile determinare la perdita di carico dovuta alla curva:

$$h_f = f_c \frac{V_2^2}{2g} = \Delta E = E_1 - E_2 = 0.045 \text{ m}$$

da cui si ricava un valore di  $f_c = 0.285$ .

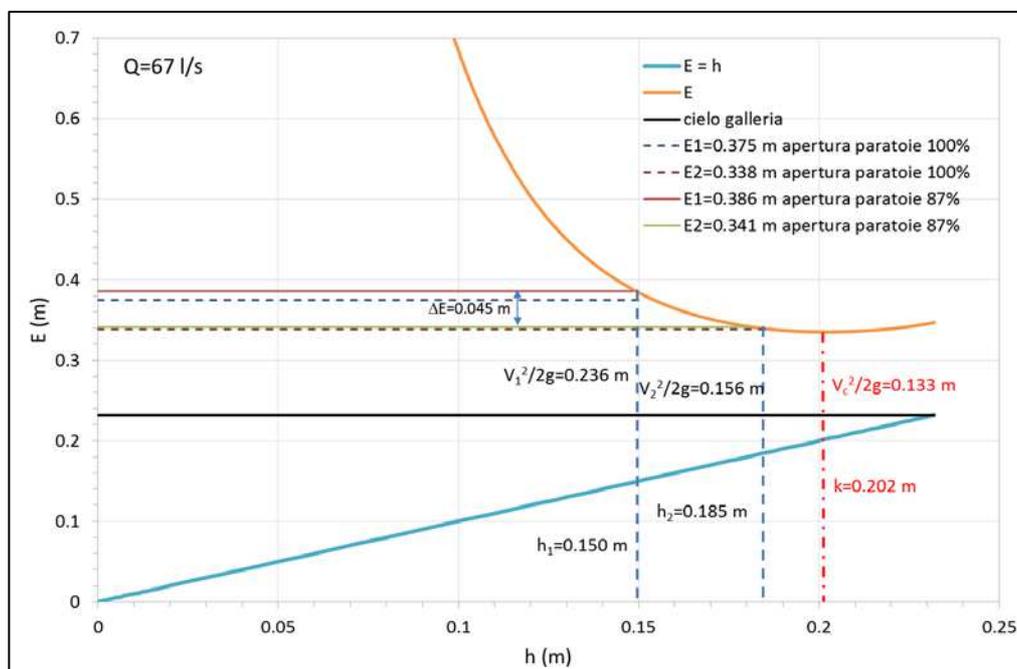


Figura 105. Livelli energetici associati alla sezione di monte (1) e di valle (2) del tratto rettilineo principale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67 \text{ l/s}$  (apertura paratoie 13 cm) a confronto con quelli relativi alla prova con paratoie completamente aperte

Le velocità sono state misurate mediante mulinello nella sezione di monte e di valle del tratto rettilineo principale, osservando valori maggiori rispetto alla prova con paratoie completamente aperte a parità di portata.

Tabella CXVI. Velocità misurate con mulinello nelle sezioni di monte e di valle del tratto rettilineo principale per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Q (l/s)	V2 modello (m/s)	V3 modello (m/s)	V2 prototipo (m/s)	V3 prototipo (m/s)
67	2.43	2.03	13.30	11.09

Le pressioni in calotta sono state rilevate in mezzeria del tratto rettilineo e, analogamente al tratto iniziale di galleria, non hanno mostrato depressioni significative.

Tabella CXVII. Pressioni in calotta in mezzeria del tratto rettilineo principale per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

	P3 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P3 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	2.3
min	-0.1	-3.3
media	0.0	-0.6

### 8.1.3 Galleria tratto terminale (da prog. 2140 cm a prog. 3220 cm, conci 15-1)

Lungo il tratto terminale di galleria con scivolo a pendenza 9%, analogamente al tratto iniziale di galleria, si è osservato un moto ondoso stazionario dovuto alla curva planimetrica, che ha comportato, in generale, livelli in destra maggiori rispetto a quelli in sinistra fino ad una differenza massima di 3.1 cm (sezione 22, prog. 2513 cm). Il livello massimo di 18.0 cm (5.40 m nel prototipo) si è osservato nella sezione subito più a monte del tratto di transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano (sezione 24, prog. 2996 cm), con un corrispondente grado di riempimento pari al 78%.

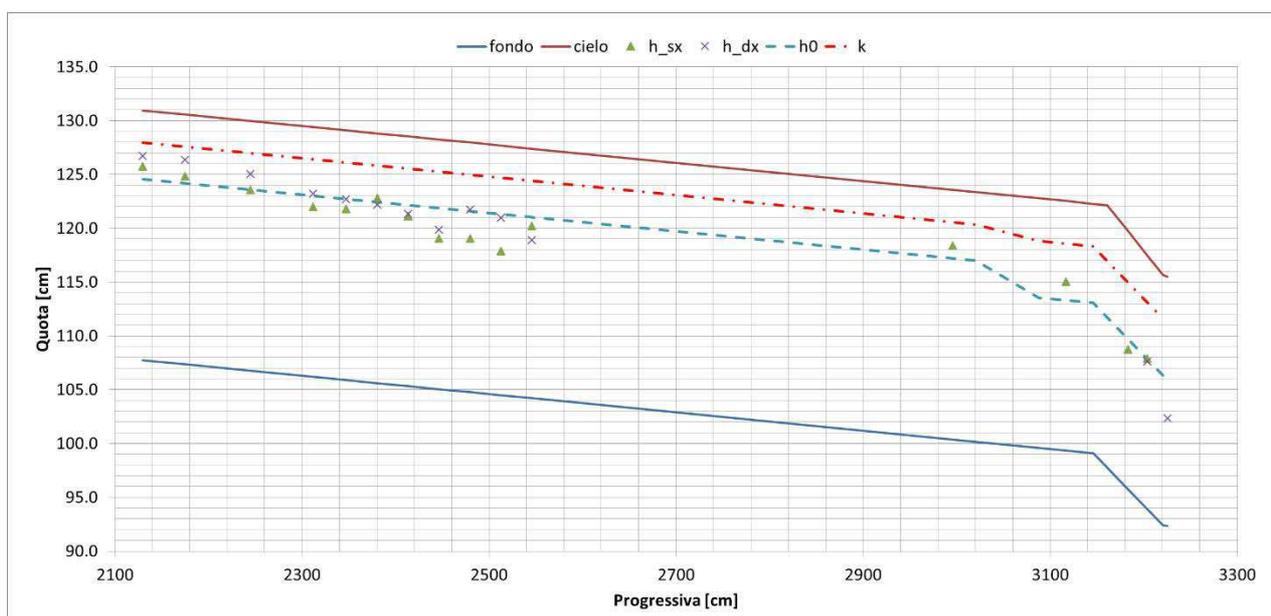


Figura 106. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Tabella CXVIII. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.06	2130	18.0	19.0	5.40	5.70	80
15.07	2175	17.5	19.0	5.25	5.70	79
15.08	2245	16.8	18.3	5.04	5.49	76
16	2312	15.8	17.0	4.74	5.10	71
17	2347	15.9	16.8	4.77	5.04	70
18	2380	17.2	16.6	5.16	4.98	73
19	2413	15.8	16.0	4.74	4.80	69
20	2446	14.0	14.8	4.20	4.44	62
21	2480	14.3	17.0	4.29	5.10	67
22	2513	13.4	16.5	4.02	4.95	64
23	2546	16.0	14.7	4.80	4.41	66
24	2996	18.0	-	5.40	-	78
25	3117	15.7	-	4.71	-	68
26	3183	13.0	-	3.90	-	54
26.01	3204	14.0	13.7	4.20	4.11	59
27	3226	-	10.0	-	3.00	43

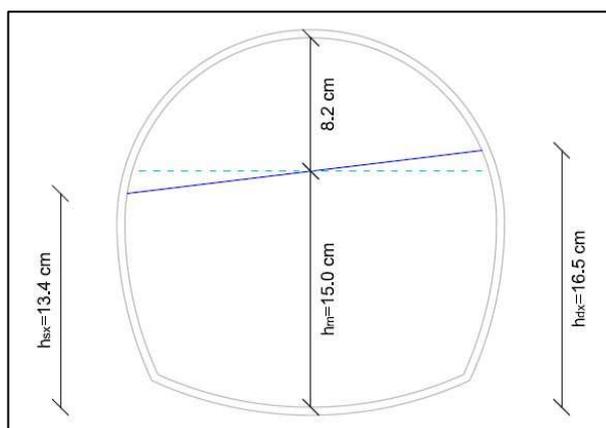


Figura 107. Sezione 22 del tratto in curva con livelli misurati in destra e in sinistra per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Analogamente a quanto osservato lungo il tratto rettilineo principale e similmente alla prova con paratoie completamente aperte, anche lungo il tratto terminale di galleria si è osservato un innalzamento del livello oltre l'altezza di moto uniforme dovuto alla perdita di energia causata dalla transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano.

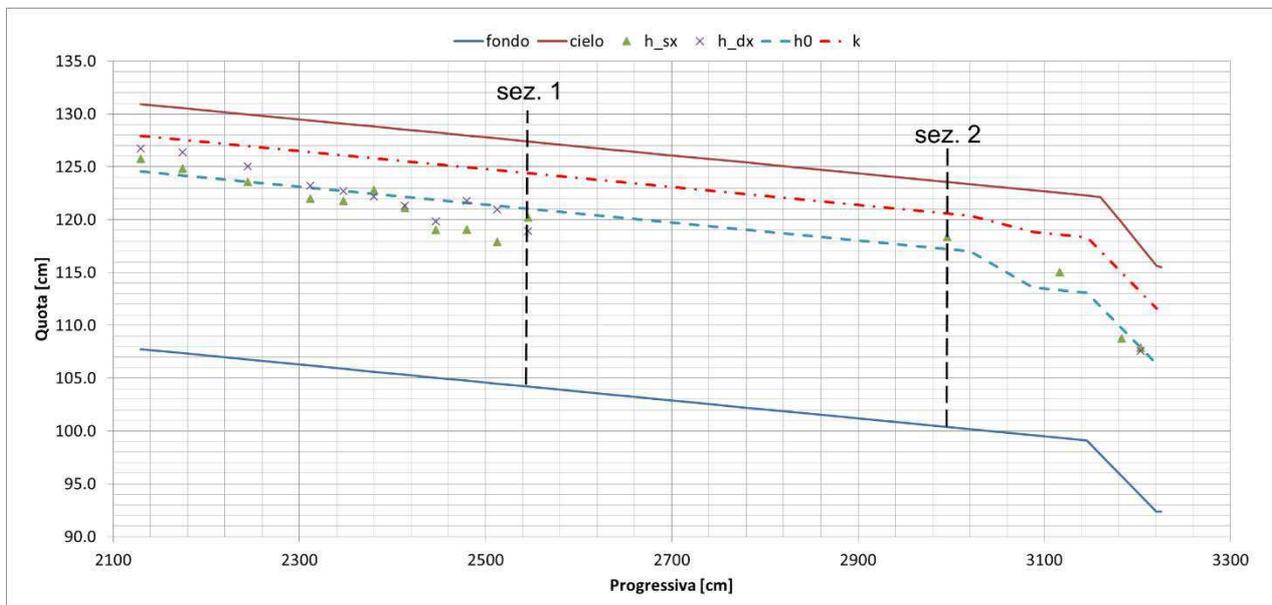


Figura 108. Sezione di monte (sez. 1) e di valle (sez. 2) del tratto terminale di galleria con relativi livelli misurati per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

In analogia al tratto rettilineo principale, rispetto alla prova in condizioni di paratoie completamente aperte, la parzializzazione delle paratoie induce un livello energetico di poco superiore, sia relativamente alla sezione di monte (sez. 1) che a quella di valle (sez. 2). Infatti risulta:

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0.378 \text{ m}$$

$$E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = 0.344 \text{ m}$$

Sempre nell'ipotesi che la perdita di carico distribuita  $\Delta J = J \cdot L$  sia pressochè bilanciata dalla perdita geodetica  $\Delta z = i \cdot L$ , è possibile determinare la perdita di carico dovuta alla transizione:

$$h_t = f_t \frac{V_2^2}{2g} = \Delta E = E_1 - E_2 = 0.034 \text{ m}$$

da cui si ricava un valore di  $f_t = 0.205$ .

La velocità nella sezione di valle dello scivolo terminale è stata rilevata con l'utilizzo del mulinello, portando ad osservare valori prossimi a quelli di monte del tratto rettilineo.

Tabella CXIX. Velocità misurata con mulinello nella sezione di valle dello scivolo terminale per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Q (l/s)	V4 modello (m/s)	V4 prototipo (m/s)
67	2.39	13.07

### 8.1.4 Canale di restituzione (da prog. 3220 cm a prog. 3570 cm)

Lungo il canale di restituzione è stato possibile osservare l'effetto di dissipazione energetica dovuto alle soglie sporgenti che si è manifestato con un profilo di moto ondoso progressivamente crescente verso valle.

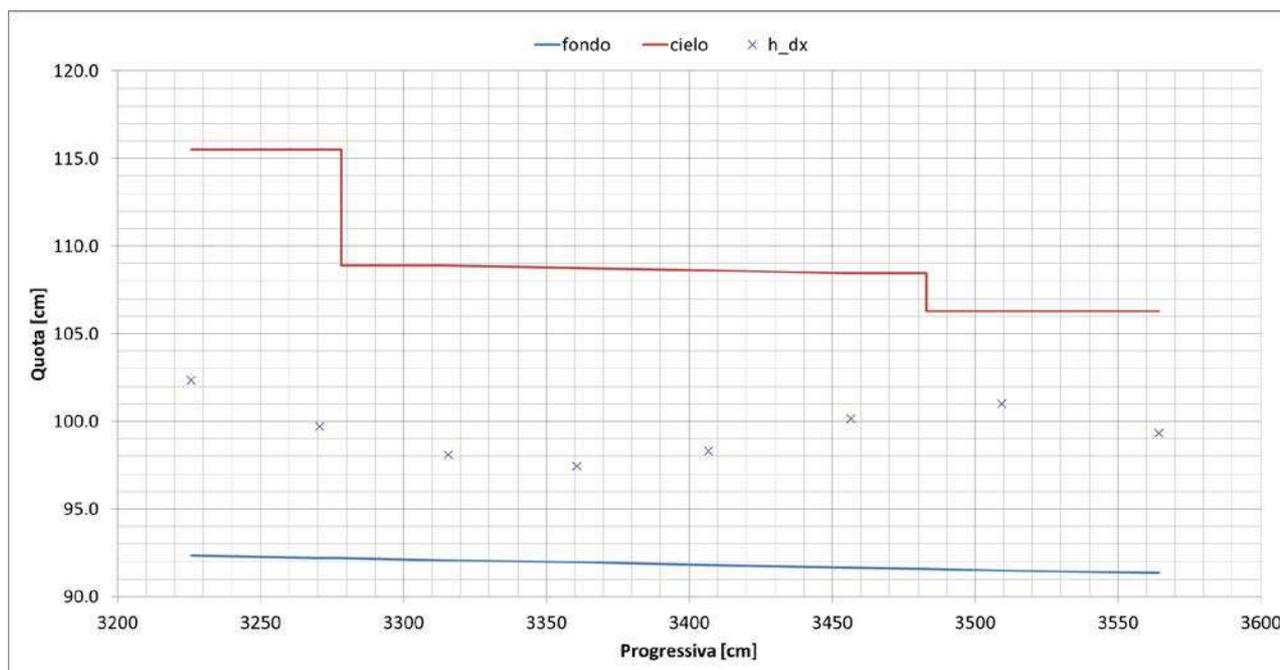


Figura 109. Profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Tabella CXX. Livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	10.0	-	3.00	43
28	3271	-	7.5	-	2.25	32
29	3316	-	6.0	-	1.80	36
30	3361	-	5.5	-	1.65	33
31	3407	-	6.5	-	1.95	39
32	3457	-	8.5	-	2.55	51
33	3509	-	9.5	-	2.85	64
34	3564	-	8.0	-	2.40	53

Le velocità lungo il canale di restituzione sono state valutate nota la portata e il livello, è stato pertanto possibile valutare l'abbattimento di velocità indotto dall'opera come differenza fra la velocità nella sezione di monte (sezione 27 a valle dello scivolo terminale) e quella nella sezione di valle (sezione



34 a valle dell'ultima soglia sporgente); tale differenza è risultata pari a 1.53 m/s (8.36 m/s nel prototipo).

Tabella CXXI. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.71	14.86
28	3271	2.46	13.49
29	3316	2.26	12.36
30	3361	2.09	11.43
31	3407	1.76	9.63
32	3457	1.31	7.16
33	3509	1.08	5.89
34	3564	1.19	6.49

Le pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione non hanno evidenziato depressioni rilevanti tali da evidenziare un'insufficienza nell'areazione della corrente. I valori negativi massimi, riportati alla scala del prototipo, sono stati di circa 5 cm di colonna d'acqua.

Tabella CXXII. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm)

	P4 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P5 modello (cm H <sub>2</sub> O)	P4 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)	P5 prototipo (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	1.6	1.6
min	-0.1	-0.1	-4.4	-4.3
media	0.0	0.0	-1.2	-1.3

### 8.1.5 Confluenza

Lungo il tratto di confluenza si sono osservati tiranti idrici inferiori di circa 0.7 cm nel tratto di canale a cielo aperto (V5), a monte della confluenza (V6) e in centro alveo alla sezione di confluenza (V8) rispetto a quelli dell'analogia prova con paratoie completamente aperte e stessa pendenza dello scivolo terminale (pari al 9%), mentre in sponda sinistra alla sezione di confluenza (V7) e a valle della confluenza (V9) i livelli sono risultati sostanzialmente simili.

Tabella CXXIII. Tiranti idrici misurati lungo il tratto di confluenza per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm); Fiume Chiese a portata nulla

Q (l/s)	Modello					Prototipo				
	h(V5) (cm)	h(V6) (cm)	h(V7) (cm)	h(V8) (cm)	h(V9) (cm)	h(V5) (m)	h(V6) (m)	h(V7) (m)	h(V8) (m)	h(V9) (m)
67	7.3	4.1	6.3	3.9	1.17	2.19	1.23	1.89	11.9	3.57

Le velocità osservate lungo il tratto di confluenza, in accordo con le similitudini fra le misure di livello, sono state maggiori, seppur con differenze contenute, nel tratto di canale a cielo aperto (V5), a monte della confluenza (V6) e in centro alveo alla sezione di confluenza (V8) rispetto all'analogia



prova con paratoie completamente aperte, mentre in sponda sinistra alla sezione di confluenza (V7) e a valle della confluenza (V9) le velocità sono risultate sostanzialmente invariate.

Tabella CXXIV. Velocità lungo il tratto di confluenza per livello di massimo invaso e  $Q=67$  l/s (apertura paratoie 13 cm); Fiume Chiese a portata nulla

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	1.15	6.30	0.35	1.92	1.20	6.58
V6	-0.26	-1.42	-0.27	-1.48	0.37	2.05
V7	0.97	5.31	0.3	1.64	1.02	5.56
V8	1.35	7.39	0.44	2.41	1.42	7.78
V9	0.56	3.06	0.07	0.37	0.56	3.09

## 9 PROVE DI TIPO C: INTERAZIONE TRA GALLERIA E FIUME CHIESE

Questa tipologia di prove ha interessato il funzionamento della galleria, in particolare del tratto terminale e del canale di restituzione, combinato a quello del Fiume Chiese lungo il tratto di confluenza. Le portate esitate dalla galleria e dal Fiume Chiese sono state tali che la loro somma non fosse mai superiore alla portata millenaria di riferimento pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo). Nella tabella seguente vengono riportate le prove eseguite e le rispettive portate.

Tabella CXXV. Prove di tipo C

prova	Modello		Prototipo	
	Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	Q galleria (mc/s)	Q Chiese (mc/s)
19	45	22	221	111
20	22	45	111	221
21	22	22	111	111

### 9.1 GALLERIA TRATTO TERMINALE E CANALE DI RESTITUZIONE

Lungo il tratto terminale della galleria ed in particolare nel canale di restituzione è stato possibile valutare l'effetto dovuto ad una portata non nulla nel Fiume Chiese combinato alle differenti portate smaltite in galleria. In generale, si sono osservati livelli mediamente maggiori, fino a 1 cm per la prova 20, nel canale di restituzione rispetto alle analoghe prove con pari portata in galleria e portata nulla in Chiese, a fronte di velocità mediamente inferiori, fino a 0.06 m/s nelle prove 19 e 20.

#### 9.1.1 Livelli

Le differenti portate smaltite nel Fiume Chiese hanno avuto effetto apprezzabile lungo il canale di restituzione a valle del convergente, oltre la prima soglia sporgente, dalla progressiva 3360 cm circa. Le differenze massime sui livelli, rispetto alle analoghe prove con pari portate smaltite in galleria e

portata nulla in Chiese, si sono osservate nell'ultima sezione di misura del canale di restituzione (sezione 34, progressiva 3564 cm), a valle dell'ultima soglia sporgente.

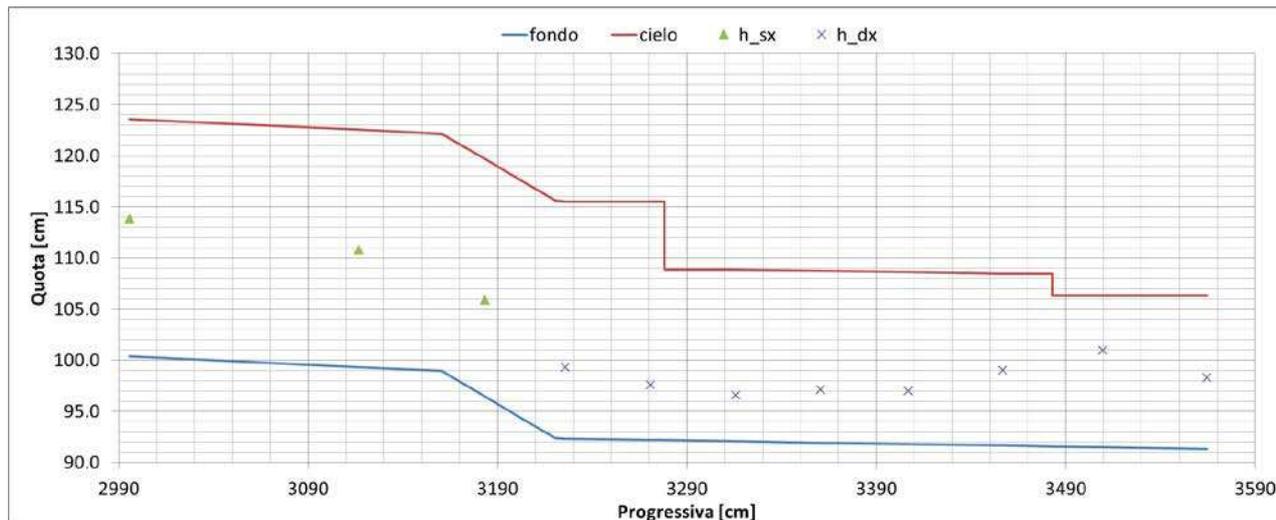


Figura 110. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{\text{galleria}}=45 \text{ l/s}$  e  $Q_{\text{Chiese}}=22 \text{ l/s}$

Tabella CXXVI. Misure di livello e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{\text{galleria}}=45 \text{ l/s}$  e  $Q_{\text{Chiese}}=22 \text{ l/s}$

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
P24	2996	13.5	-	4.05	-	58
P25	3117	11.5	-	3.45	-	50
P26	3183	9.4	-	2.82	-	40
P27	3226	-	7.0	-	2.10	30
P28	3271	-	5.4	-	1.62	23
P29	3316	-	4.5	-	1.35	27
P30	3361	-	5.2	-	1.56	31
P31	3407	-	5.2	-	1.56	31
P32	3457	-	7.4	-	2.22	44
P33	3509	-	9.5	-	2.85	64
P34	3564	-	7.0	-	2.10	47

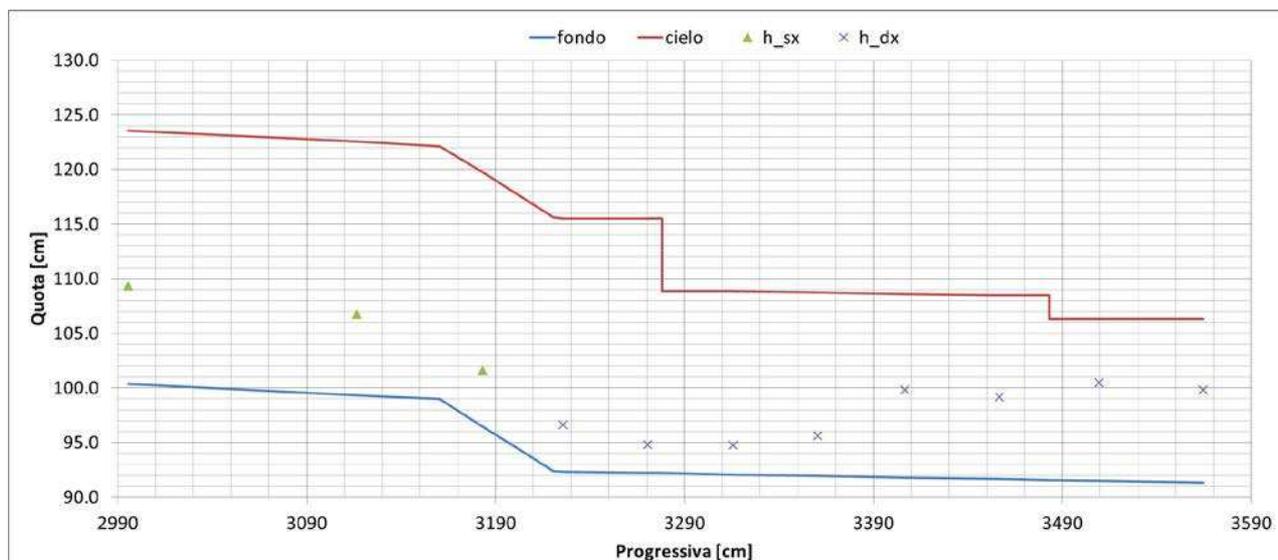


Figura 111. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=22$  l/s e  $Q_{Chiese}=45$  l/s

Tabella CXXXVII. Misure di livello e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=22$  l/s e  $Q_{Chiese}=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
24	2996	9.0	-	2.70	-	39
25	3117	7.4	-	2.22	-	32
26	3183	5.1	-	1.53	-	22
27	3226	-	4.3	-	1.29	19
28	3271	-	2.6	-	0.78	11
29	3316	-	2.7	-	0.81	16
30	3361	-	3.7	-	1.11	22
31	3407	-	8.0	-	2.40	48
32	3457	-	7.5	-	2.25	45
33	3509	-	9.0	-	2.70	61
34	3564	-	8.5	-	2.55	57

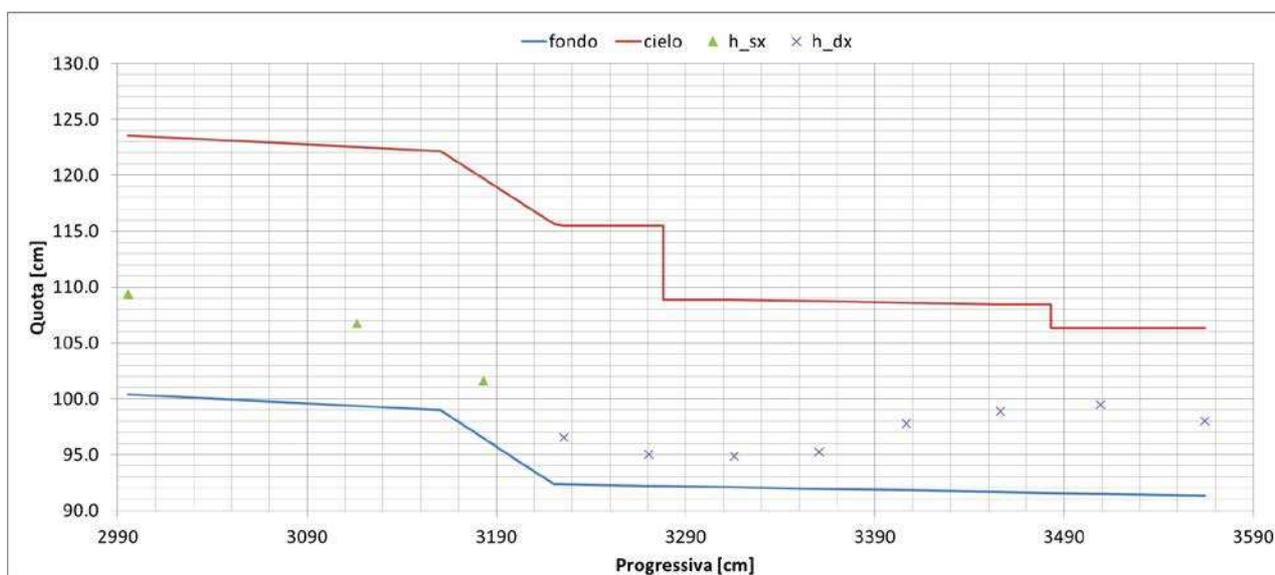


Figura 112. Profilo dei livelli misurati lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{\text{galleria}}=22 \text{ l/s}$  e  $Q_{\text{Chiese}}=22 \text{ l/s}$

Tabella CXXVIII. Misure di livello e relativo grado di riempimento lungo il tratto terminale di galleria e il canale di restituzione per  $Q_{\text{galleria}}=22 \text{ l/s}$  e  $Q_{\text{Chiese}}=22 \text{ l/s}$

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
24	2996	9.0	-	2.70	-	39
25	3117	7.4	-	2.22	-	32
26	3183	5.1	-	1.53	-	22
27	3226	-	4.2	-	1.26	18
28	3271	-	2.8	-	0.84	12
29	3316	-	2.8	-	0.84	17
30	3361	-	3.3	-	0.99	20
31	3407	-	6.0	-	1.80	36
32	3457	-	7.2	-	2.16	43
33	3509	-	8.0	-	2.40	54
34	3564	-	6.7	-	2.01	45

### 9.1.2 Velocità

Le velocità misurate in modo indiretto nelle sezioni lungo il canale di restituzione hanno portato ad osservare, in generale, valori inferiori rispetto alle analoghe prove con Chiese a portata nulla, in particolare alla sezione 34, progressiva 3564 cm, a valle dell'ultima soglia sporgente.

Tabella CXXIX. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q_{\text{galleria}}=45 \text{ l/s}$  e  $Q_{\text{Chiese}}=22 \text{ l/s}$

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.60	14.26
28	3271	2.30	12.59
29	3316	2.02	11.07
30	3361	1.48	8.12
31	3407	1.48	8.09



sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
32	3457	1.01	5.53
33	3509	0.72	3.95
34	3564	0.91	4.98

Tabella CXXX. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.07	11.35
28	3271	2.33	12.78
29	3316	1.65	9.02
30	3361	1.02	5.58
31	3407	0.47	2.57
32	3457	0.49	2.67
33	3509	0.37	2.04
34	3564	0.37	2.01

Tabella CXXXI. Valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=22 l/s

sezione	progressiva (cm)	V modello (m/s)	V prototipo (m/s)
27	3226	2.12	11.62
28	3271	2.17	11.87
29	3316	1.59	8.69
30	3361	1.14	6.25
31	3407	0.63	3.43
32	3457	0.51	2.78
33	3509	0.42	2.30
34	3564	0.46	2.55

Relativamente all'abbattimento di velocità indotto lungo il canale di restituzione, in particolare dalle soglie sporgenti oltre che dalla presenza di una portata non nulla in Chiese, si sono osservate differenze di velocità, tra la sezione di monte (sezione 27 a valle dello scivolo terminale e inizio tratto divergente) e quella nella sezione di valle (sezione 34 a valle dell'ultima soglia sporgente), pari a circa 1.7 m/s (9.3 m/s nel prototipo).

Tabella CXXXII. Riduzioni di velocità indotte lungo il canale di restituzione per le 3 differenti combinazioni di portate

Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	$\Delta V$ modello (m/s)	$\Delta V$ prototipo (m/s)
45	22	1.69	9.27
22	45	1.71	9.34
22	22	1.66	9.07

### 9.1.3 Pressioni in calotta

Le pressioni osservate lungo il canale di restituzione, in particolare quelle negative, si sono mantenute su valori contenuti nell'ordine di alcuni cm di colonna d'acqua, tali da non evidenziare un'insufficienza nell'areazione della corrente. Le pressioni negative massime sono state di circa 17 cm di colonna d'acqua in occasione della portata smaltita sia in galleria che in Chiese pari a 22 l/s.



Tabella CXXXIII. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

	<b>P4 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P4 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.5	0.5	14.1	14.7
min	-0.3	-0.2	-8.0	-7.2
media	0.0	0.1	0.8	1.6

Tabella CXXXIV. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

	<b>P4 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P4 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	0.2	0.3	7.2	7.8
min	0.1	0.1	2.8	2.2
media	0.2	0.2	4.7	4.8

Tabella CXXXV. Pressioni in calotta lungo il tratto coperto del canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=22 l/s

	<b>P4 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 modello (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P4 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>P5 prototipo (cm H<sub>2</sub>O)</b>
max	-0.2	-0.2	-6.7	-5.0
min	-0.6	-0.5	-17.0	-15.7
media	-0.4	-0.3	-11.5	-9.9

## 9.2 CONFLUENZA

Lungo il tratto di confluenza l'effetto del Fiume Chiese a portata non nulla ha portato ad osservare livelli mediamente più alti rispetto alle analoghe prove con pari portata totale (considerando la somma tra la portata smaltita in galleria e quella smaltita in Chiese), in particolare in corrispondenza della sezione di monte in Chiese (punto di misura V6) e di immissione del canale di restituzione (punti di misura V7 e V8).

Coerentemente con le misure di livello, le velocità misurate lungo il tratto di confluenza sono state mediamente inferiori rispetto a quelle osservate nelle analoghe prove a parità di portata totale, in particolare in corrispondenza della sezione di confluenza (punti di misura V7 e V8).

### 9.2.1 Livelli

I livelli massimi si sono osservati, così come per le prove a portata smaltita solo tramite galleria, a valle della confluenza, nel punto di misura V9.

Tabella CXXXVI. Tiranti idrici misurati lungo il tratto di confluenza per le 3 differenti combinazioni di portate smaltite in galleria e in Fiume Chiese

Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	Modello					Prototipo				
		h(V5) (cm)	h(V6) (cm)	h(V7) (cm)	h(V8) (cm)	h(V9) (cm)	h(V5) (m)	h(V6) (m)	h(V7) (m)	h(V8) (m)	h(V9) (m)
45	22	6.1	7.4	6.5	6.6	11.4	1.83	2.22	1.95	1.98	3.42
22	45	9.6	8.2	6.3	7.5	11.8	2.88	2.46	1.89	2.25	3.54
22	22	6.5	6.2	4.5	5.2	8.6	1.95	1.86	1.35	1.56	2.58



## 9.2.2 Velocità

L'effetto benefico di portate non nulle nel Chiese è stato osservato soprattutto in termini di minori velocità alla confluenza, così come riportato nelle seguenti tabelle. Il valore massimo pari a circa 1.0 m/s (5.6 m/s nel prototipo) è stato osservato in corrispondenza della sezione di confluenza nel punto di misura V8 per  $Q_{\text{galleria}}=45$  l/s e  $Q_{\text{Chiese}}=22$  l/s.

Tabella CXXXVII. Velocità lungo il tratto di confluenza per  $Q_{\text{galleria}}=45$  l/s e  $Q_{\text{Chiese}}=22$  l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.83	4.55	0.41	2.25	0.93	5.07
V6	0.27	1.48	-0.09	-0.49	0.28	1.56
V7	0.54	2.93	0.10	0.55	0.55	2.99
V8	1.00	5.48	0.24	1.31	1.03	5.63
V9	0.51	2.79	-0.03	-0.14	0.51	2.80

Tabella CXXXVIII. Velocità lungo il tratto di confluenza per  $Q_{\text{galleria}}=22$  l/s e  $Q_{\text{Chiese}}=45$  l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.36	1.97	0.21	1.15	0.42	2.28
V6	0.53	2.89	-0.21	-1.15	0.57	3.11
V7	0.76	4.14	0.12	0.63	0.76	4.19
V8	0.82	4.49	0.31	1.70	0.88	4.80
V9	0.56	3.07	0.01	0.07	0.56	3.07

Tabella CXXXIX. Velocità lungo il tratto di confluenza per  $Q_{\text{galleria}}=22$  l/s e  $Q_{\text{Chiese}}=22$  l/s

punto di misura	componente x modello (m/s)	componente x prototipo (m/s)	componente y modello (m/s)	componente y prototipo (m/s)	risultante xy modello (m/s)	risultante xy prototipo (m/s)
V5	0.44	2.41	0.27	1.48	0.52	2.83
V6	0.35	1.89	-0.12	-0.68	0.37	2.01
V7	0.66	3.61	0.23	1.26	0.70	3.83
V8	0.76	4.16	0.28	1.53	0.81	4.44
V9	0.30	1.64	0.15	0.83	0.34	1.84

## 10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Di seguito si riportano le considerazioni conclusive in base alle osservazioni sul funzionamento del modello fisico.

**La configurazione geometrica del modello** nelle sue parti a geometria variabile è stata individuata, per affinamenti successivi a seguito di diverse prove di funzionamento, nella seguente configurazione:

- tratto convergente di monte con scivolo al 12%
- scivolo di valle al 9%
- soglie di fondo del canale di restituzione con altezza 2 cm



La pendenza 8% del tratto convergente di monte a valle delle paratoie con paratoie completamente aperte non ha permesso alla corrente veloce ritardata di avere energia sufficiente rispetto a quella minima necessaria a superare la perdita di carico della curva, se non andando in pressione nella sezione terminale del tratto rettilineo (sezione 15.06, prog. 2130 cm).



Figura 113. Passaggio da moto a pelo libero a moto in pressione al concio 17 per  $Q=67$  l/s e pendenza 8% del tratto convergente di monte

**La pendenza 12% del tratto convergente di monte** a valle delle paratoie ha permesso invece il funzionamento a pelo libero per portata  $Q=67$  l/s, fornendo l'energia necessaria al superamento della perdita di carico della curva.

**La pendenza dello scivolo terminale** nella configurazione di funzionamento è risultata essere pari al 9%, ciò dopo aver osservato il funzionamento con la pendenza all'11%. La minor pendenza del 9% contribuisce a ridurre il sovrizzo del pelo libero e il suo impatto sul cielo del canale di restituzione dovuto all'interazione della corrente con le soglie di fondo, senza di fatto permettere la formazione di un risalto nel canale di restituzione.

**Le soglie di fondo del canale di restituzione** sono state ridotte a 2 cm (60 cm nel prototipo) dal valore iniziale di 3 cm (90 cm prototipo), al fine di evitare che il livello idrico impattasse sul cielo del canale di restituzione, pur garantendo l'effetto di riduzione di velocità della corrente.



Figura 114. Profilo di corrente lungo il canale di sbocco con effetto di dissipazione delle soglie sporgenti di altezza 2 cm per  $Q=67$  l/s

Si evidenzia la “delicatezza idraulica” del tratto rettilineo principale e del tratto rettilineo terminale a monte della transizione da sezione policentrica a sezione con fondo piano, i quali presentano un livello energetico al di sopra del cielo della galleria, aspetto che, unitamente alla forma della sezione chiusa, al tipo di corrente veloce ritardata, alla limitata differenza tra energia di monte e energia critica e relativi tiranti idrici, comporta che piccole variazioni dalla condizione di esecuzione del progetto e di esercizio della galleria potrebbero mandare in pressione tali tronchi per portata millenaria ( $Q=67$  l/s).

La portata massima smaltibile a pelo libero in galleria a paratoie completamente aperte è,  $Q_{\text{MaxPL}}=70.4$  l/s ( $Q=347$  mc/s nel prototipo) con un livello di circa 370.0 m slm che è inferiore al massimo invaso. Essa è stata determinata prima che la galleria vada in pressione nella sezione 15.06 alla progressiva 2130 cm.

La portata massima smaltibile con livello di massimo invaso e funzionamento in pressione è  $Q_{\text{maxP}}=77.3$  l/s ( $Q=381$  mc/s nel prototipo). La galleria va in pressione nel tratto rettilineo principale di galleria e nel tratto terminale a monte della transizione tra sezione policentrica e sezione con fondo piano.

La massima velocità della corrente in galleria associata alla portata di progetto  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (grado di apertura paratoie 87%) è di circa 2.43 m/s (13.30 m/s nel prototipo).

La velocità massima della corrente alla confluenza del canale di restituzione con il Fiume Chiese per  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (grado di apertura paratoie 87%) è di 1.42 m/s (7.78 m/s prototipo), mentre con livello di funzionamento a paratoie completamente aperte è di 1.22 m/s (6.70 m/s nel prototipo).

Il canale di restituzione per  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (grado di apertura paratoie 87%) riduce la velocità di 1.53 m/s (circa 8.36 m/s nel prototipo), calcolata tra la sezione di monte del canale (a valle dello scivolo, inizio tratto divergente) e quella subito a valle delle soglie sporgenti,



tramite la scabrezza complessiva del canale costituito dal fondo relativamente liscio e dalle soglie di altezza 2 cm. Con livello di funzionamento a paratoie completamente aperte, invece, per le stesse sezioni, la riduzione di velocità è di 1.16 m/s (6.36 m/s nel prototipo).

**La velocità massima della corrente in Chiese a valle della confluenza** è stata di 0.91 m/s (5.01 m/s nel prototipo) per  $Q=67$  l/s e livello di massimo invaso (grado di apertura paratoie 87%).

**Gli aerofori**, posizionati sia nella camera delle paratoie che nel tratto divergente del canale di restituzione, sono sufficienti, in quanto non si sono osservate pressioni negative significative nella parte di sezione areata della galleria. Valori indicativi delle massime pressioni negative in calotta sono dell'ordine dei 4-6 cm di colonna d'acqua per la portata di progetto di 67 l/s.

**Il setto di separazione nella mezzeria del tratto convergente** aiuta a contenere le oscillazioni del pelo libero. Per la portata di progetto  $Q=67$  l/s tale setto viene leggermente tracimato dal livello idrico e presenta fenomeni di scia con cavitazione, effetti visibili anche per portate inferiori.



Figura 115. Effetto di scia con cavitazione subito più a valle del setto di mezzeria del tratto convergente per  $Q=67$  l/s

**Il raccordo tra le pareti della galleria a sezione policentrica e le pareti del canale di restituzione** ha mostrato, soprattutto per le portate di 67 l/s e 45 l/s, un fenomeno di scia.



Figura 116. Effetto di scia in parete in corrispondenza del raccordo tra la galleria a sezione policentrica e le pareti del canale di restituzione per  $Q=67$  l/s

**Il setto strutturale del canale di restituzione** produce un innalzamento localizzato della corrente (baffo di prua) che impatta sulla copertura del canale.



Figura 117. Effetto di risalita (baffo di prua) localizzato lungo il setto centrale del canale di restituzione per  $Q=67$  l/s



## APPENDICE A: DOCUMENTAZIONE VIDEO

Nel seguito viene riportato l'elenco dei filmati video forniti contestualmente alla presente relazione.

nome file	riferimento prova	configurazione imbocco	configurazione tratto terminale e canale restituzione	Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)
presentazione_generale_modello_fisico	-	-	-	-	-
prova_1-16_galleria_canale-restituzione	1; 16	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	67	0
prova_19_canale-restituzione	19	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	45	22
prova_19_confluenza-valle	19	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	45	22
prova_20_canale-restituzione	20	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	22	45
prova_20_confluenza-valle	20	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	22	45
prova_21_canale-restituzione	21	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	22	22
prova_21_confluenza-valle	21	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	22	22
Q67_max-invaso_paratoie=87%	Q1000_max_invaso	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 87%	pendenza scivolo: 9% altezza soglie: 2 cm	67	0
Q67_scivolo-imbocco=8%_paratoie=100%	-	pendenza scivolo: 8% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	67	0
Q67_scivolo-terminale=11%_soglie=3cm	-	pendenza scivolo: 8% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 3 cm	67	0
Qmax_max-invaso_paratoie=100%	Qmax_invaso	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 9% altezza soglie: 2 cm	77.3	0
setto_canale-restituzione	-	pendenza scivolo: 12% lunghezza setto: 56 cm apertura paratoie: 100%	pendenza scivolo: 11% altezza soglie: 2 cm	67	0



## APPENDICE B: CALIBRAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA

### Allegato 1 - Certificato di taratura misuratore magnetico di portata DN150

 <b>POLITECNICO MILANO 1863</b> Servizio Qualità di Ateneo P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO Telefono 02.2399.9253 Fax 02.2399.9248 E-mail taratura@polimi.it Web www.waqualita.polimi.it	<b>Centro di Taratura LAT N° 104</b> <i>Calibration Centre</i> <b>Laboratorio Accreditato di Taratura</b>	 <b>ACCREDIA</b> <small>UNIVERSITÀ DI ACCREDITAMENTO</small> LAT N° 104 Membro degli Accordi di Mutuo Riconoscimento EA, IAF e ILAC Signatory of EA, IAF and ILAC Mutual Recognition Agreements
Pagina 1 di 3 Page 1 of 3		
<b>CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 215/2017</b> <i>Certificate of Calibration 215/2017</i>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- data di emissione date of issue</li> <li>- cliente customer</li> <li>- destinatario receiver</li> <li>- richiesta application</li> <li>- in data date</li> <li>- <u>Si riferisce a</u> Referring to</li> <li>- oggetto item</li> <li>- costruttore manufacturer</li> <li>- modello model</li> <li>- matricola serial number</li> <li>- data di ricevimento oggetto date of receipt of item</li> <li>- data delle misure date of measurements</li> <li>- registro di laboratorio laboratory reference</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2017/02/14</li> <li>Settore Portate - LAT 104 Politecnico di Milano Piazza L. da Vinci, 32 20133 Milano (MI)</li> <li>Settore Portate - LAT 104 Politecnico di Milano Piazza L. da Vinci, 32 20133 Milano (MI)</li> <li>Campione interno</li> <li>Misuratore di portata elettromagnetico (metodo con lettura istantanea)</li> <li>ENDRESS+HAUSER</li> <li>PROMAG W, DN 150, PN 16</li> <li>S/N 4C02D191000</li> <li>Campione interno</li> <li>2017/02/13-14</li> <li>017/CTP PO/295</li> </ul>	<p>Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento LAT N° 104 rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT). ACCREDIA attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI). Questo certificato non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Centro.</p> <p><i>This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation LAT N° 104 granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System. ACCREDIA attests the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Centre.</i></p>
<p>I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.</p> <p><i>The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.</i></p>		
<p>Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla Guida ISO/IEC 98 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura <i>k</i> corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore <i>k</i> vale 2.</p> <p><i>The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor <i>k</i> corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor <i>k</i> is 2.</i></p>		
Il Responsabile di Settore <i>Head of the Sector</i> Prof. Enrico Orsi 	Il Responsabile del Centro <i>Head of the Centre</i> Ing. Stefano Menegozzi 	



**POLITECNICO  
MILANO 1863**

Servizio Qualità di Ateneo  
 P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO  
 Telefono 02.2399.8253 Fax 02.2399.9248  
 E-mail [taratura@polimi.it](mailto:taratura@polimi.it)  
 Web [www.qualita.polimi.it](http://www.qualita.polimi.it)

**Centro di Taratura LAT N° 104**  
 Calibration Centre  
**Laboratorio Accreditato di  
 Taratura**



LAT N° 104  
 Membro degli Accordi di Mutuo  
 Riconoscimento  
 EA, IAF e ILAC  
 Signatory of EA, IAF and ILAC  
 Mutual Recognition Agreements

Pagina 2 di 3  
 Page 2 of 3

**CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 215/2017**  
 Certificate of Calibration 215/2017

Di seguito vengono riportate le seguenti informazioni:  
 In the following, information is reported about:

- la descrizione dell'oggetto in taratura (se necessaria);  
description of the item to be calibrated (if necessary)
- l'identificazione delle procedure in base alle quali sono state eseguite le tarature;  
technical procedures used for calibration performed
- gli strumenti/campioni che garantiscono la catena della riferibilità del Centro;  
instruments or measurement standards which guarantee the traceability chain of the Centre
- gli estremi dei certificati di taratura di tali campioni e l'Ente che li ha emessi;  
relevant calibration certificates of those standards with the issuing Body
- il luogo di taratura (se effettuata fuori dal Laboratorio);  
site of calibration (if different from the Laboratory)
- le condizioni ambientali e di taratura;  
calibration and environmental conditions
- i risultati delle tarature e la loro incertezza estesa;  
calibration results and their expanded uncertainty

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando la procedura operativa N. SQuA/PO/POP.05.003  
 agg. 3 del 2015/03/27.  
 The measurement results reported in this Certificate were obtained following procedures No. CTP SQuA/PO/POP.05.003 agg. 3 -  
 2015/03/27.

La catena di riferibilità ha inizio dai campioni di prima linea:  
 Traceability is through first line standards No.

- Serbatoio Campione CTP.PO.ST.00.01
- Vasca Campione CTP.PO.ST.00.02
- Asta idrometrica CTP.PO.MI.00.03
- Cronometro CTP.PO.MI.00.14
- Termometro CTP.PO.MI.00.10

numeri di certificati validi di taratura rispettivamente  
 validated by certificates of calibration No.

- Serbatoio Campione CTP.PO.ST.00.01, certificato di taratura LAT n° 108 060/12 del 2012/05/03
- Vasca Campione CTP.PO.ST.00.02, rapporto di Taratura n. SCP/104/2016 del 2016/05/20
- Asta idrometrica CTP.PO.MI.00.03, certificato di taratura LAT 006/2012/028 del 2012/01/25
- Cronometro CTP.PO.MI.00.14, certificato di taratura LAT 101 G901\_2014\_ACCR del 2014/06/13
- Termometro CTP.PO.MI.00.10, certificato di taratura LAT 104 n° 330/2016 del 2016/04/20



**POLITECNICO**  
**MILANO 1863**

Servizio Qualità di Ateneo  
 P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO  
 Telefono 02.2399.9253 Fax 02.2399.9248  
 E-mail [taratura@polimi.it](mailto:taratura@polimi.it)  
 Web [www.qualita.polimi.it](http://www.qualita.polimi.it)

**Centro di Taratura LAT N° 104**  
*Calibration Centre*  
**Laboratorio Accreditato di**  
**Taratura**



LAT N° 104  
 Membro degli Accordi di Mutuo  
 Riconoscimento  
 EA, IAF e ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC  
 Mutual Recognition Agreements

Pagina 3 di 3  
 Page 3 of 3

**CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 215/2017**  
*Certificate of Calibration 215/2017*

**CONDIZIONI AMBIENTALI**

Temperatura dell'acqua:  $(15,5 \text{ °C} + 16,5 \text{ °C}) \pm 1 \text{ °C}$   
 Temperatura media dell'ambiente:  $18,0 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$

**TARATURA**

*I punti di taratura e le relative incertezze, sono riportati nella tabella sottostante:*

N° del punto di taratura	Portata misurata $Q_M$ [l/s]	Portata campione $Q$ [l/s]	Correzione $C = Q - Q_M$ [l/s]	Correzione relativa $C/Q_M$ [-]	Incertezza estesa $U(C)$ [l/s]	Incertezza relativa $U(C)/Q_M$ [-]
1	3,13	3,07	-0,06	-1,92%	0,01	0,32%
2	6,13	6,02	-0,11	-1,79%	0,03	0,49%
3	9,06	8,95	-0,11	-1,21%	0,05	0,55%
4	12,07	12,01	-0,06	-0,50%	0,05	0,41%
5	15,10	15,06	-0,04	-0,26%	0,05	0,33%
6	20,11	20,01	-0,10	-0,50%	0,08	0,40%
7	30,20	30,16	-0,04	-0,13%	0,09	0,30%
8	40,06	39,94	-0,12	-0,30%	0,13	0,32%
9	50,10	50,00	-0,10	-0,20%	0,17	0,34%
10	64,99	64,80	-0,19	-0,29%	0,25	0,38%

Nella precedente tabella  $Q_M$  rappresenta la portata letta con lo strumento in taratura,  $C$  rappresenta la correzione da applicare a tale portata, mentre  $Q$  è la portata calcolata tramite la vasca tarata. I valori della correzione  $C$  sono stati ricavati sulla base di 9 letture istantanee del valore di portata indicato dallo strumento in taratura, letture eseguite ad intervalli di tempo appropriati durante ogni singola misura della portata campione generata dall'impianto. Per ognuna delle portate di taratura è stata eseguita una singola prova, ad eccezione dei valori di portata di 15,06 l/s e 64,80 l/s, per i quali sono stati eseguiti 3 serie di prove.



Allegato 2 - Certificato di taratura misuratore magnetico di portata DN300



**Servizio Qualità di Ateneo**  
 P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO  
 Telefono 02.2399.9253 Fax 02.2399.9248  
 E-mail [taratura@polimi.it](mailto:taratura@polimi.it)  
 Web [www.qualita.polimi.it](http://www.qualita.polimi.it)

**Centro di Taratura LAT N° 104**  
*Calibration Centre*  
**Laboratorio Accreditato di**  
**Taratura**



LAT N° 104  
 Membro degli Accordi di Mutuo  
 Riconoscimento  
 EA, IAF e ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC  
 Mutual Recognition Agreements

Pagina 1 di 3  
 Page 1 of 3

**CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 908/2017**  
*Certificate of Calibration 908/2017*

- data di emissione <i>date of issue</i>	2017/09/25
- cliente <i>customer</i>	Settore Portate - LAT 104 Politecnico di Milano Piazza L. da Vinci, 32 20133 Milano (MI)
- destinatario <i>receiver</i>	Settore Portate - LAT 104 Politecnico di Milano Piazza L. da Vinci, 32 20133 Milano (MI)
- richiesta <i>application</i>	Campione interno
- in data <i>date</i>	
<u>Si riferisce a</u> <i>Referring to</i>	Misuratore di portata elettromagnetico (metodo con lettura istantanea)
- oggetto <i>item</i>	
- costruttore <i>manufacturer</i>	ENDRESS+HAUSER
- modello <i>model</i>	PROMAG 30, DN 300
- matricola <i>serial number</i>	S.N. 53 649925
- data di ricevimento oggetto <i>date of receipt of item</i>	Campione interno
- data delle misure <i>date of measurements</i>	2017/09/01
- registro di laboratorio <i>laboratory reference</i>	017/CTP_PQ/327

Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento LAT N° 104 rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT). ACCREDIA attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI). Questo certificato non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Centro.

*This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation LAT N° 104 granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System. ACCREDIA attests the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Centre.*

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.

*The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.*

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla Guida ISO/IEC 98 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura  $k$  corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore  $k$  vale 2.  
*The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor  $k$  corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor  $k$  is 2.*

Il Responsabile di Settore  
*Head of the Sector*  
 Prof. Enrico Orsi

Il Responsabile del Centro  
*Head of the Centre*  
 Ing. Stefano Menegozzi

Documento firmato digitalmente ai sensi del D. Lgs. 82/2005 e norme collegate



POLITECNICO  
MILANO 1863

Servizio Qualità di Aeneo  
P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO  
Telefono 02.2399.9253 Fax 02.2399.9248  
E-mail [taratura@polimi.it](mailto:taratura@polimi.it)  
Web [www.qualita.polimi.it](http://www.qualita.polimi.it)

Centro di Taratura LAT N° 104  
Calibration Centre  
Laboratorio Accreditato di  
Taratura



LAT N° 104  
Membro degli Accordi di Mutuo  
Riconoscimento  
EA, IAF e ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC  
Mutual Recognition Agreements

Pagina 2 di 3  
Page 2 of 3

CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 908/2017  
Certificate of Calibration 908/2017

Di seguito vengono riportate le seguenti informazioni:  
In the following, information is reported about:

- la descrizione dell'oggetto in taratura (se necessaria);  
description of the item to be calibrated (if necessary)
- l'identificazione delle procedure in base alle quali sono state eseguite le tarature;  
technical procedures used for calibration performed
- gli strumenti/campioni che garantiscono la catena della riferibilità del Centro;  
instruments or measurement standards which guarantee the traceability chain of the Centre
- gli estremi dei certificati di taratura di tali campioni e l'Ente che li ha emessi;  
relevant calibration certificates of those standards with the issuing Body
- il luogo di taratura (se effettuata fuori dal Laboratorio);  
site of calibration (if different from the Laboratory)
- le condizioni ambientali e di taratura;  
calibration and environmental conditions
- i risultati delle tarature e la loro incertezza estesa.  
calibration results and their expanded uncertainty

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando la procedura operativa N. SQUA/PO/POP.05.003  
agg. 3 del 2015/03/27.  
The measurement results reported in this Certificate were obtained following procedures No. CTP SQUA/PO/POP.05.003 agg. 3 -  
2015/03/27.

La catena di riferibilità ha inizio dai campioni di prima linea:  
Traceability is through first line standards No.

- Serbatoio Campione CTP.PO.ST.00.01
- Vasca Campione CTP.PO.ST.00.02
- Asta idrometrica CTP.PO.MI.00.03
- Cronometro CTP.PO.MI.00.14
- Termometro CTP.PO.MI.00.10

muniti di certificati validi di taratura rispettivamente  
validated by certificates of calibration No.

- Serbatoio Campione CTP.PO.ST.00.01, certificato di taratura LAT n° 108 060/12 del 2012/05/03
- Vasca Campione CTP.PO.ST.00.02, rapporto di Taratura n. SQP/104/2016 del 2016/05/20
- Asta idrometrica CTP.PO.MI.00.03, certificato di taratura LAT 006/2012/028 del 2012/01/26
- Cronometro CTP.PO.MI.00.14, certificato di taratura LAT 101 G901\_2014 ACCR del 2014/06/13
- Termometro CTP.PO.MI.00.10, certificato di taratura LAT 104 n° 042/2017 del 2017/04/11

Documento firmato digitalmente ai sensi del D. Lgs. 82/2005 e norme collegate



**POLITECNICO**  
**MILANO 1863**

Servizio Qualità di Ateneo  
 P.zza L. Da Vinci, 32 - 20133 MILANO  
 Telefono 02.2399.9253 Fax: 02.2399.9248  
 E-mail [taratura@polimi.it](mailto:taratura@polimi.it)  
 Web [www.qualita.polimi.it](http://www.qualita.polimi.it)

**Centro di Taratura LAT N° 104**  
**Calibration Centre**  
**Laboratorio Accreditato di**  
**Taratura**



LAT N° 104  
 Membro degli Accordi di Mutuo  
 Riconoscimento  
 EA, IAF e ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC  
 Mutual Recognition Agreements

Pagina 3 di 3  
 Page 3 of 3

**CERTIFICATO DI TARATURA LAT 104 908/2017**  
*Certificate of Calibration 908/2017*

**CONDIZIONI AMBIENTALI**

Temperatura dell'acqua: (23,0 °C - 24,0 °C) ± 1 °C  
 Temperatura media dell'ambiente: 26,5 °C ± 1 °C

**TARATURA**

*I punti di taratura e le relative incertezze, sono riportati nella tabella sottostante:*

N° del punto di taratura	Portata misurata $Q_M$ [Vs]	Portata campione $Q$ [Vs]	Correzione $C = Q - Q_M$ [Vs]	Correzione relativa $C/Q_M$ [-]	Incertezza estesa $U(C)$ [Vs]	Incertezza estesa relativa $U(C)/Q_M$ [-]
1	19,91	17,78	-2,13	-10,70%	0,71	3,57%
2	43,17	42,99	-0,18	-0,42%	0,20	0,46%
3	59,77	60,41	0,64	1,07%	0,23	0,38%
4	69,92	68,02	-1,90	-2,72%	0,30	0,43%
5	79,27	78,74	-0,53	-0,67%	0,41	0,52%

Nella precedente tabella  $Q_M$  rappresenta la portata letta con lo strumento in taratura,  $C$  rappresenta la correzione da applicare a tale portata, mentre  $Q$  è la portata calcolata tramite la vasca tarata. I valori della correzione  $C$  sono stati ricavati sulla base di 9 letture istantanee del valore di portata indicato dallo strumento in taratura, letture eseguite ad intervalli di tempo appropriati durante ogni singola misura della portata campione generata dall'impianto. Per ognuna delle portate di taratura è stata eseguita una singola prova, ad eccezione del valore di portata di 78,74 Vs, per il quale sono state eseguite 3 serie di prove.

Documento firmato digitalmente ai sensi del D. Lgs. 82/2005 e norme collegate



Allegato 3 - Certificati di calibrazione vectrini

**Final test checklist – Vectrino**

Order number  
**P22071-3**

Head ID **VCN 7693**

Hardware ID **VNO 0526**

Firmware version **1.29**

NORTEK AS  
 Vaagstovøien 2  
 NO-1351 Rust  
 Norway  
 Tel: +47 0717 4500  
 Fax: +47 0713 0770  
 info@nortek-as.com  
 www.nortek.no

Probe type

<input checked="" type="checkbox"/> 3D down looking	<input checked="" type="checkbox"/> Fixed	<input checked="" type="checkbox"/> Lab
<input type="checkbox"/> 2D/3D side looking	<input type="checkbox"/> Cable	<input type="checkbox"/> Field

Comments

Temperature

OK

Distance

OK

Label checked

OK

Beam check

	Correct order	Noise floor	Probe check peak	Velocity direction
Beam 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> X
Beam 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Y
Beam 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Z <sub>1</sub>
Beam 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Z <sub>2</sub>

Head file

Head file checked

Saved as read only

Analog output

OK

Synchronization

OK

day

**24**

month

**11**

year

**2008**

*Teija B Dahl*

signature

NQM 03-120-02



**Final test checklist – Vectrino**

Order number <b>P22071-1</b>	Head ID <b>VCN 7695</b>
	Hardware ID <b>VNO 0581</b>
	Firmware version <b>1.29+</b>



Probe type

<input checked="" type="checkbox"/> 3D down looking	<input checked="" type="checkbox"/> Fixed	<input checked="" type="checkbox"/> Lab
<input type="checkbox"/> 2D/3D side looking	<input type="checkbox"/> Cable	<input type="checkbox"/> Field

Comments

Temperature <input checked="" type="checkbox"/> OK	Distance <input checked="" type="checkbox"/> OK	Label checked <input checked="" type="checkbox"/> OK
---	--	---

Beam check	Correct order	Noise floor	Probe check peak	Velocity direction
Beam 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> X
Beam 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Y
Beam 3	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Z <sub>1</sub>
Beam 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>~10</b>	<b>&gt;170</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Z <sub>2</sub>

Head file <input checked="" type="checkbox"/> Head file checked <input checked="" type="checkbox"/> Saved as read only	Analog output <input checked="" type="checkbox"/> OK	Synchronization <input checked="" type="checkbox"/> OK
--	---	---

day <b>24</b>	month <b>11</b>	year <b>2008</b>	<b>Verica B Dahl</b> signature
------------------	--------------------	---------------------	-----------------------------------

NGM 03-120-02



Allegato 4 - Certificato di calibrazione mulinello



## FAT Zählgerät Z 30

Zählgerät Z 30  
Counter Z 30

Abnahmeprüfzeugnis 3.1, Factory Acceptance Test 3.1  
DIN EN 10204:2004

Artikel-Nr.  
Manufacturer's no.: 12.010.001.2.0  
 Bearbeiter, Agent: Schweizer  
 Datum, Date: 02  
 Unterschrift, Signature: [Signature]

---

Serien-Nr. Serial no. 218053

Zeitvorwahl: 30,40,50,60,100 s Presetting of time: 30,40,50,60,100 s

Leiterplatte Z 30 Circuit board Z 30 12.010.100.3.2 014 V1

---

**Messgenauigkeit, Accuracy of measurement**

Zeitintervall, Time interval [sek.,sec]	Taktfrequenz, Pulse frequency [Hz,hz]	Sollwert, Desired value		Istwert, Current value
		min	max	
30	8	239	241	Impulse <u>240</u>
100	8	798	802	Impulse <u>802</u>

**Stromaufnahme, Power consumption**

	Sollwert, Desired value		Istwert, Current value
	min	max	
Ruhe, Sleep mode	0,2	1,0	[µA] <u>0,5</u>
Aktiv [Flügelkontakt offen], Activ [current meter contact open]	1,4	3,0	[mA] <u>2,0</u>
Aktiv [Flügelkontakt geschlossen], Activ [current meter closed]	11,0	20,0	[mA] <u>12,9</u>

**Funktionstest mit Batterien [4 x 1,5 V]**      **Test with batteries [4 x 1,5 V]**     

Zähler,LED,Start-,Stoptaste      Counter,LED,start-,stopbutton

**Sichtkontrolle**      **Visual control**     

Mechanik,Serien-Nr.      Mechanics,serial-no.

**Zubehör**      **Accessory**     

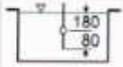
Tragriemen      Carrying strap     

Batteriesatz [4 x 1,5 V]      Battery set [4 x 1,5 V]     

---

<b>HydroService</b>	<b>Telefon, Phone</b>	<b>Fax</b>	<b>E - Mail</b>
Reparatur, Repair	+49(0)831 5617 430	+49(0)831 5617 289	HydroService@ott-hydrometry.de
Vertrieb, Sales	+49(0)831 5617 433	+49(0)831 5617 439	Repair@ott-hydrometry.de
	+49(0)831 5617 0	+49(0)831 5617 209	Sales@ott-hydrometry.de



C. meter: C2 '10.150'	No.: 205207
Make: OTT	Contact: 1
Fixing: 9 mm diameter rod	
CAL method: BARGO	

Propeller: 3	Ø [mm]: 50	Equations: $n \leq 0.71 \quad v = 0.2330 \cdot n + 0.025$ $0.71 \leq n \leq 9.75 \quad v = 0.2556 \cdot n + 0.009$
No.: 216299	Pitch [m]: 0.250	
	Material: Al	

For the calibration **BARGO** the current meter is fastened to an electronically controlled rating car and towed through the still water of the tank over the whole measuring range at 8 or more different speeds. The calculated coherence between the number of propeller revolutions counted and the speed of the rating car can be indicated in the form of one or several equations ( $v = k \cdot n + a$ ). In these equations, **k** and **a** are constants depending on the current meter and its support.

**v** = velocity in m/s  
**k** = hydraulic pitch of propeller in m  
**n** = number of propeller revolutions in 1/s  
**a** = constant in m/s

It is herewith certified that the a. m. OTT-instruments were calibrated in the OTT rating tank in accordance with ISO-Norm 3455!

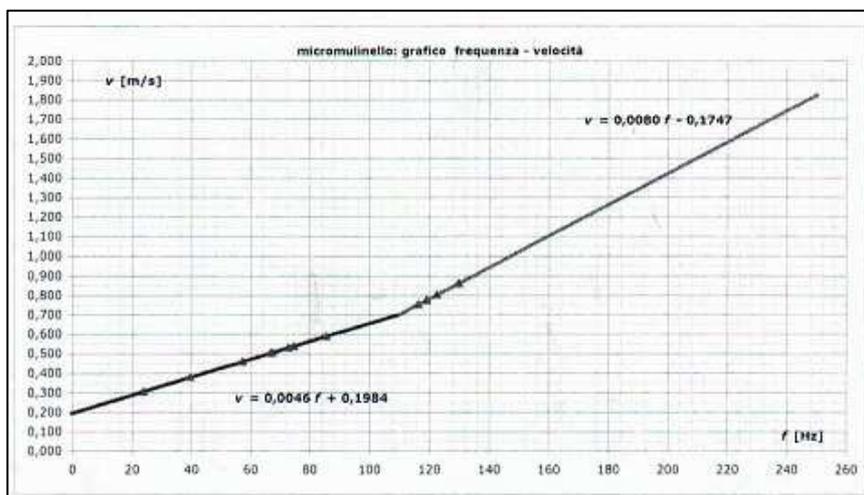
Kempton, 21.12.2006



### Allegato 5 - Specifiche tecniche micro mulinello

SPECIFICATIONS	
All probes 403, 404, 413, 423	
Size of head to be submerged.	Width 15mm Length 25mm Depth 15mm
Connector	UNC Co-axial socket
Stem Material	316 stainless Steel
Cage Material	Nickel plated bronze
Bearings	1.0 mm Vee Jewel
Bearing Housing	316 stainless steel
Rotor	Delrin
Spindle	316 stainless steel
Conductor Tip	Gold alloy
Grommet	Perspex
Fairings	Brass
<u>403 Low Speed Probe</u>	
Range	5-150 cm/sec
Accuracy	+/- 2% of true velocity
Immersion Length Max	420 mm
<u>404 High Speed Probe</u>	
range:	60-300 cm/sec
Accuracy:	+/- 2% of true velocity
Immersion length max	420 mm
<u>423 Angled Probe</u>	
Range:	5 - 150 cm/sec
Accuracy:	+/- 2% of true velocity
Immersion Length Max	420 mm
Vertical Measuring Head	
Distance from CL of Stem	40 mm
Operation	Vertical flow upwards or downwards

### Allegato 6 - Calibrazione micro mulinello





Allegato 7 - Certificato di calibrazione traduttore di pressione SN 160113

**Prüfprotokoll**  
 Calibration certificate / Fiche de calibration

---

**Typ :** PA-35X/3bar/80797.6  
 Type / Type:

**Seriennummer :** 160113  
 Serial no./ No. de serie :

**Produkt Nummer :** 233505.0672  
 Product no./ No. de produit :

**Messbereich :** 0 ... 3 bar  
 Measurement range / Etendue de mesure :

**Komp. Temp. Bereich :** 10 ... 40 °C  
 Comp. temp. range/Gamme de temp. comp. :

**Speisung :** 8 ... 28 V DC  
 Supply / Alimentation :

**Ausgangssignal :** 4 ... 20 mA  
 Output signal / Signal de sortie :

**Anschluss :** 0 ... 3 bar  
 Connector / Connecteur :

**Kabel-Cable**  
 WH : OUT/GND YE ; RS 485B  
 RD : n.c.  
 BK : +Vcc  
 BU : RS 485A

**Bemerkung :**  
 Remark / Remarque :

**Abweichung Messbereich (digital)**  
 Deviation measurement range / Déviation étendue de mesure

**Abweichung analoges Ausgangssignal**  
 Deviation analog output signal / Déviation signal de sortie

**Linearitätsfehler:** -0.001 ... -0.001 %FS(Lbfs) @ 25 °C  
 Linearity error / Erreur de linéarité :

**Totales Fehlerband :** -0.003 ... 0.005 %FS -0.011 ... 0.003 %FS @ 10 ... 40 °C  
 Accuracy(TEB)/Erreur total :

**PrüferIn :** RMC  
 Test person / Contrôle par :

**Datum :** 27.06.2013  
 Date / Date :

www.keller-druck.com



Allegato 8 - Certificato di calibrazione traduttore di pressione SN 160122

**Prüfprotokoll**  
 Calibration certificate / Fiche de calibration

---

**Typ :** PA-35X/3bar/80797.6  
 Type / Type:

**Seriennummer :** 160122  
 Serial no./ No. de serie:

**Produkt Nummer :** 233505.0672  
 Product no./ No. de produit :

**Messbereich :** 0 ... 3 bar  
 Measurement range / Etendue de mesure :

**Komp. Temp. Bereich :** 10 ... 40 °C  
 Comp. temp. range/Gamme de temp. comp.:

**Speisung :** 8 ... 28 V DC  
 Supply / Alimentation :

**Ausgangssignal :** 4 ... 20 mA  
 Output signal / Signal de sortie :

**Anschluss :** 0 ... 3 bar  
 Connector / Connecteur :

**Kabel-Cable**

WH :	OUT/GND	YE :	RS 485B
RD :	n.c.		
BK :	+Vcc		
BU :	RS 485A		

**Bemerkung :**  
 Remark / Remarque :

**Abweichung Messbereich (digital)**  
 Deviation measurement range / Deviation étendue de mesure

**Abweichung analoges Ausgangssignal**  
 Deviation analog output signal / Deviation signal de sortie

**Linearitätsfehler:** -0.002 ... -0.004 %FS(Lbfs) @ 25 °C  
 Linearity error / Erreur de linéarité:

**Totales Fehlerband :** -0.002 ... 0.010 %FS @ 10 ... 40 °C  
 Accuracy(TEB)/Erreur total :

**PrüferIn :** RMC  
 Test person / Contrôle par:

**Datum :** 27.06.2013  
 Date / Date :

[www.keller-druck.com](http://www.keller-druck.com)



Allegato 9 - Certificato di calibrazione traduttore di pressione SN 160138

Prüfprotokoll			
Calibration certificate / Fiche de calibration			
<b>Typ :</b> Type / Type:	PA-35X/3bar/80797.6		
<b>Seriennummer :</b> Serial no./ No. de serie :	160138		
<b>Messbereich :</b> Measurement range / Etendue de mesure :	0 ... 3 bar		
<b>Komp. Temp. Bereich :</b> Comp. temp. range/Gamme de temp. comp.	10 ... 40 °C		
<b>Speisung :</b> Supply / Alimentation :	8 ... 28 V DC		
<b>Ausgangssignal :</b> Output signal / Signal de sortie :	4 ... 20 mA		
<b>Anschluss :</b> Connector / Connecteur :	0 ... 3 bar		
	Kabel-Cable		
	WH : OUT/GND YE : RS 485B		
	RD : n.c.		
	BK : +Vcc		
	BU : RS 485A		
<b>Bemerkung :</b> Remark / Remarque :			
<b>Abweichung Messbereich (digital)</b> Deviation measurement range / Deviation étendue de mesure	<b>Abweichung analoges Ausgangssignal</b> Deviation analog output signal / Deviation signal de sortie		
<b>Linearitätsfehler:</b> Linearity error / Erreur de linéarité:	-0.001	-0.002	%FS(Lbfsl) @ 25 °C
<b>Totales Fehlerband :</b> Accuracy(TEB)/Etureur total :	0.003 ... 0.011 %FS	-0.002 ... 0.009 %FS	@ 10 ... 40 °C
<b>PrüferIn :</b> Test person / Contrôlé par:	RMC	<b>Datum :</b> Date / Date :	27.06.2013
<a href="http://www.keller-druck.com">www.keller-druck.com</a>			



Allegato 10 - Certificato di calibrazione traduttore di pressione SN 160140

**Prüfprotokoll**  
 Calibration certificate / Fiche de calibration

---

**Typ :** PA-35X/3bar/80797.6  
 Type / Type:

**Seriennummer :** 160140  
 Serial no. / No. de serie:

**Produkt Nummer :** 233505.0672  
 Product no. / No. de produit :

**Messbereich :** 0 ... 3 bar  
 Measurement range / Etendue de mesure :

**Komp. Temp. Bereich :** 10 ... 40 °C  
 Comp. temp. range/Gamme de temp. comp.

**Speisung :** 8 ... 28 V DC  
 Supply / Alimentation :

**Ausgangssignal :** 4 ... 20 mA  
 Output signal / Signal de sortie :

**Anschluss :** 0 ... 3 bar  
 Connector / Connecteur:

**Kabel-Cable**  
 WH : OUT/GND YE : RS 485B  
 RD : n.c.  
 BK : +Vcc  
 BU : RS 485A

**Bemerkung :**  
 Remark / Remarque :

**Abweichung Messbereich (digital)**  
 Deviation measurement range / Deviation étendue de mesure

**Abweichung analoges Ausgangssignal**  
 Deviation analog output signal / Deviation signal de sortie

**Linearitätsfehler:** -0.001 ... -0.001 %FS(Lbfs) @ 25 °C  
 Linearity error / Erreur de linéarité:

**Totales Fehlerband :** 0.001 ... 0.014 %FS -0.002 ... 0.014 %FS @ 10 ... 40 °C  
 Accuracy (TEB) Erreur total :

**PrüferIn :** RMC  
 Test person / Contrôlé par:

**Datum :** 27.06.2013  
 Date / Date :

www.keller-druck.com



Allegato 11 - Certificato di calibrazione traduttore di pressione SN 160147

**Prüfprotokoll**  
 Calibration certificate / Fiche de calibration

---

**Typ :** PA-35X/3bar/80797.6  
 Type / Type:

**Seriennummer :** 160147  
 Serial no./ No. de serie:

**Produkt Nummer :** 233505.0672  
 Product no./ No. de produit :

**Messbereich :** 0 ... 3 bar  
 Measurement range / Etendue de mesure :

**Komp. Temp. Bereich :** 10 ... 40 °C  
 Comp. temp. range/Gamme de temp. comp.:

**Speisung :** 8 ... 28 V DC  
 Supply / Alimentation :

**Ausgangssignal :** 4 ... 20 mA  
 Output signal / Signal de sortie :

**Anschluss :** 0 ... 3 bar  
 Connector / Connecteur:

**Kabel-Cable**

WH :	OUT/GND	YE :	RS 485B
RD :	n.c.		
BK :	+Vcc		
BU :	RS 485A		

**Bemerkung :**  
 Remark / Remarque :

**Abweichung Messbereich (digital)**  
 Deviation measurement range / Déviation étendue de mesure

**Abweichung analoges Ausgangssignal**  
 Deviation analog output signal / Déviation signal de sortie

**Linearitätsfehler:** -0.001                      -0.003                      %FS(Lbfs) @ 25 °C  
 Linearity error / Erreur de linéarité:

**Totales Fehlerband :** -0.002 ... 0.005 %FS    -0.013 ... -0.001 %FS @ 10 ... 40 °C  
 Accuracy (TEB)/Erreur total :

**PrüferIn :** RMC  
 Test person / Contrôle par:

**Datum :** 27.06.2013  
 Date / Date :

[www.keller-druck.com](http://www.keller-druck.com)



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE**  
*PROF. ING. MARCO MANCINI*  
*EMAIL [marco.mancini@polimi.it](mailto:marco.mancini@polimi.it)*



**MMI s.r.l.**  
Via Ariberto 1, 20123 Milano  
Tel. e Fax (+39) 02-58113831  
e-mail: [info@mmidro.it](mailto:info@mmidro.it)

# **RELAZIONE DI PROVA: ANALISI NUMERICHE DI FUNZIONAMENTO DELLA GALLERIA CON CONFIGURAZIONI GEOMETRICHE DIFFERENTI DA QUELLA DEL MODELLO FISICO SPERIMENTATO**

**Valutazioni numeriche per differenti pendenze della galleria**

**12 Aprile 2018**

Relazione di prova: analisi numeriche di funzionamento della galleria con configurazioni geometriche differenti da quella del modello fisico sperimentato - valutazioni numeriche per differenti pendenze della galleria



## INDICE

<b>1</b>	<b>CONSIDERAZIONI INIZIALI .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>POSSIBILI CONFIGURAZIONI DELLA GALLERIA A DIFFERENTE PENDENZA.....</b>	<b>4</b>
2.1	CASO 1 – INCREMENTO DI PENDENZA DA INIZIO DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE AL CANALE DI RESTITUZIONE .	6
2.2	CASO 2 – INCREMENTO DI PENDENZA LUNGO IL SOLO TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE.....	8
2.3	CASO 3 – INCREMENTO DI PENDENZA LOCALIZZATA AL TERMINE DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE.....	10
<b>3</b>	<b>MODELLAZIONE NUMERICA DELLE DIFFERENTI CONFIGURAZIONI DI PENDENZA.....</b>	<b>12</b>
3.1	VALUTAZIONE DELLA SCABREZZA EFFETTIVA SU MODELLO FISICO .....	13
3.2	CASO 1 – INCREMENTO DI PENDENZA DA INIZIO DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE AL CANALE DI RESTITUZIONE	13
3.3	CASO 2 – INCREMENTO DI PENDENZA LUNGO IL SOLO TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE.....	15
3.4	CASO 3 – INCREMENTO DI PENDENZA LOCALIZZATO AL TERMINE DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE .....	16
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONE DEL POSSIBILE EFFETTO DI RISALTO IN GALLERIA PER I 3 CASI A DIFFERENTE PENDENZA</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>22</b>



## 1 CONSIDERAZIONI INIZIALI

A seguito delle analisi sulle prove effettuate su modello fisico della galleria di scarico del Lago d'Idro presso il laboratorio Fantoli del Politecnico di Milano e riportate nell'elaborato E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IR\_RT\_024\_1 “Relazione tecnica modello fisico”, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche ha trasmesso con comunicato ufficiale del 09/02/2018 alcune osservazioni in merito a tale attività, recepite poi con OdS n. 9/RUP del 08/03/2018 “Osservazioni sul modello fisico della galleria di by pass - avvio dei termini di completamento della progettazione esecutiva”.

Al fine di rispondere ad una prima parte delle richieste di nuove prove e valutazioni differenti rispetto alle risultanze della modellazione fisica effettuata, la presente relazione riporta i risultati dell'analisi numerica eseguita per valutare il comportamento idraulico della galleria a seguito dell'incremento della pendenza di fondo della galleria, con particolare attenzione al grado di riempimento osservato su modello fisico pari all'82% per portata di progetto  $Q=67$  l/s (332 mc/s nel prototipo).

L'elevato grado di riempimento della galleria si è potuto osservare grazie alla realizzazione di un modello fisico unico dell'opera di scarico, il quale ha permesso di valutare non solo l'effetto della curvatura sul profilo di pelo libero, ma anche come questo influenzasse il profilo di corrente veloce ritardata che caratterizza il moto in galleria.

Lo schema numerico utilizzato è stato calibrato sulle precedenti prove eseguite su modello fisico a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti in merito (“Relazione tecnica modello fisico” elaborato E00609A\_E\_X00\_RI000\_0\_IR\_RT\_024\_1).

L'incremento di pendenza possibile è stato quello realizzabile lungo lo sviluppo della galleria dall'inizio del tratto rettilineo principale fino al canale di restituzione, ottenibile dalla riduzione del dislivello (quindi della lunghezza) dello scivolo terminale della galleria a monte del canale di restituzione. Questo incremento di pendenza è stato analizzato per tre differenti configurazioni:

- Caso 1 – incremento di pendenza da inizio del tratto rettilineo principale al canale di restituzione
- Caso 2 – incremento di pendenza lungo il tratto rettilineo principale
- Caso 3 – incremento di pendenza localizzato al termine del tratto rettilineo principale

In particolare, per ognuno dei tre casi analizzati, si è considerato l'incremento di pendenza ottenibile sia impiegando l'intero dislivello disponibile ( $\Delta h_1=6.7$  cm, corrispondenti a 2.0 m nel prototipo), sia metà di tale dislivello ( $\Delta h_2=3.4$  cm, corrispondenti a 1.0 m nel prototipo).



Il Caso 0 di riferimento è stato quello relativo alla prova eseguita su modello fisico per  $Q=67$  l/s e pendenza costante pari a 0.85% della galleria.

I risultati ottenuti hanno evidenziato una variazione del grado di riempimento massimo nella sezione più critica relativamente al Caso 3, che implica l'utilizzo dell'intero dislivello disponibile al fine di ottenere uno scivolo con pendenza del 12% al termine del tratto rettilineo principale. Infatti, si è ottenuto un grado di riempimento del 70% rispetto all'82% osservato su modello fisico, mentre per gli altri casi il grado di riempimento è risultato compreso tra il 75 e l'80%.

È stata inoltre verificata l'assenza di un risalto idraulico all'interno della galleria generato dal rigurgito del F. Chiese all'interno dell'opera, avendo variato l'assetto della stessa prevedendo l'annullamento o il dimezzamento dell'altezza dello scivolo di valle con funzione anche di disconnessione idraulica tra galleria e F. Chiese. Lo scenario più sfavorevole per la verifica ha considerato, per ognuno dei tre casi analizzati, l'impiego di tutto il dislivello disponibile per l'incremento di pendenza e portata pari a 22 l/s (111 mc/s nel prototipo).

## **2 POSSIBILI CONFIGURAZIONI DELLA GALLERIA A DIFFERENTE PENDENZA**

Le osservazioni condotte sulle prove eseguite su modello fisico hanno portato ad evidenziare un alto grado di riempimento alla fine del tratto rettilineo principale, subito più a monte della curva di valle che immette sul tratto terminale di galleria e, successivamente, nel canale di restituzione.

In particolare, nello scenario con paratoie completamente aperte e portata di progetto pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) si è osservato un grado di riempimento medio in corrispondenza della sezione terminale del tratto rettilineo pari all'82%, con un valore locale massimo dell'84%. Analogamente, nello scenario di apertura delle paratoie all'87% tale per cui con la portata di progetto pari a 67 l/s si instaura un livello di monte nel cassone di alimentazione coincidente a quello di massimo invaso (371.23 m slm nel prototipo), si è osservato un grado di riempimento medio al termine del tratto rettilineo pari all'80%, con un valore locale massimo dell'82%.

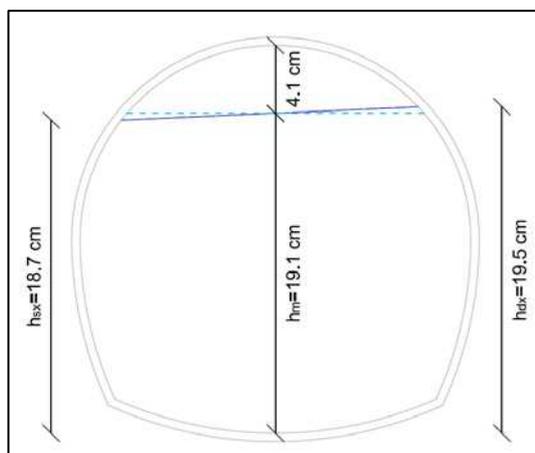


Figura 1 - Sezione 15.06 (termine del tratto rettilineo principale) con livelli misurati in destra e in sinistra e livello medio per  $Q=67$  l/s e paratoie completamente aperte

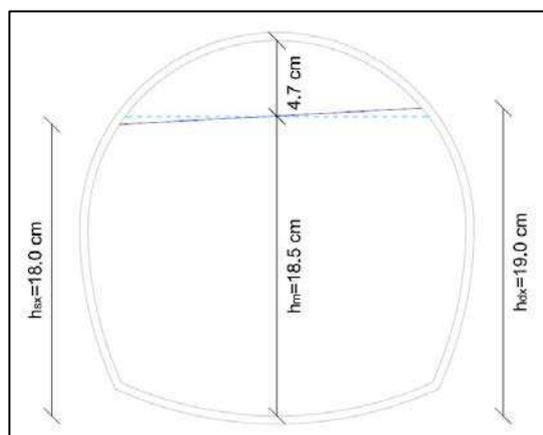


Figura 2 - Sezione 15.06 (termine del tratto rettilineo principale) con livelli misurati in destra e in sinistra e livello medio per  $Q=67$  l/s e paratoie aperte all' 87%

Tale grado di riempimento nella sezione finale del tratto rettilineo principale è conseguenza sia del profilo di corrente veloce ritardata che porta progressivamente ad un aumento del tirante idrico lungo le progressive di sviluppo della galleria, sia degli effetti localizzati della perdita di carico indotta dalla presenza della curva in corrente veloce che caratterizza il tratto di valle, valutabile come  $h_f = f_c \frac{v^2}{2g}$  (Chow, 1959; Ippen, 1944).

Le prove eseguite su modello fisico hanno portato a stimare differenti valori del coefficiente  $f_c$  per differenti valori di portata, con un valore massimo pari a 0.32 in corrispondenza della portata di 45 l/s; questo valore è stato pertanto adottato nella successiva modellazione numerica di funzionamento della galleria a differenti pendenze.

Tabella I. Valori del coefficiente  $f_c$  stimati dalle prove su modello fisico

Q (l/s)	$f_c$
67	<b>0.25</b>
67 (paratoie 87%)	<b>0.29</b>



Q (l/s)	$f_c$
45	<b>0.32</b>
22	<b>0.31</b>

Al fine di valutare gli effetti idraulici di differenti soluzioni rispetto a quella sperimentata (Caso 0), si sono considerati tre differenti assetti della pendenza di sviluppo della galleria, agendo sulla possibile riduzione di pendenza dello scivolo terminale posto subito più a monte del canale di restituzione, che presenta una differenza di quote di fondo tra monte e valle pari a  $\Delta h=6.7$  cm (2.0 m nel prototipo). In particolare, sono stati valutati incrementi della pendenza di sviluppo della galleria in considerazione di un aumento dell'energia, in particolare cinetica, con un conseguente minor tirante idrico atteso; ciò, in generale, implica però un aumento di velocità che si ripercuote maggiormente sull'effetto di sovrizzo indotto dalla curva. L'effetto combinato di questi due fenomeni è responsabile del livello idrico che si instaura nella sezione più critica della galleria, al termine del tratto rettilineo principale.

## 2.1 CASO 1 – INCREMENTO DI PENDENZA DA INIZIO DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE AL CANALE DI RESTITUZIONE

Il primo assetto analizzato ha considerato l'incremento di pendenza della galleria da inizio del tratto rettilineo principale fino al canale di restituzione, ottenuto dalla completa riduzione della pendenza dello scivolo terminale. Considerando il dislivello disponibile  $\Delta h=6.7$  cm e lo sviluppo del tratto rettilineo principale nella sua interezza (in scala geometrica 1:30 pari a 24.7 m), oltre alla lunghezza del tratto di valle fino al canale di restituzione (pari a 8.8 m), per una lunghezza totale  $L_1=35.5$  m, si è ottenuta una pendenza dell'1.02% a fronte dello 0.85%.

Impiegando invece metà del dislivello disponibile, quindi circa 3.4 cm, la pendenza risultate è stata di 0.94%.

A monte del tratto rettilineo, così come lungo il canale di restituzione, la pendenza è rimasta invariata, pari, rispettivamente, allo 0.85% e allo 0.3%.

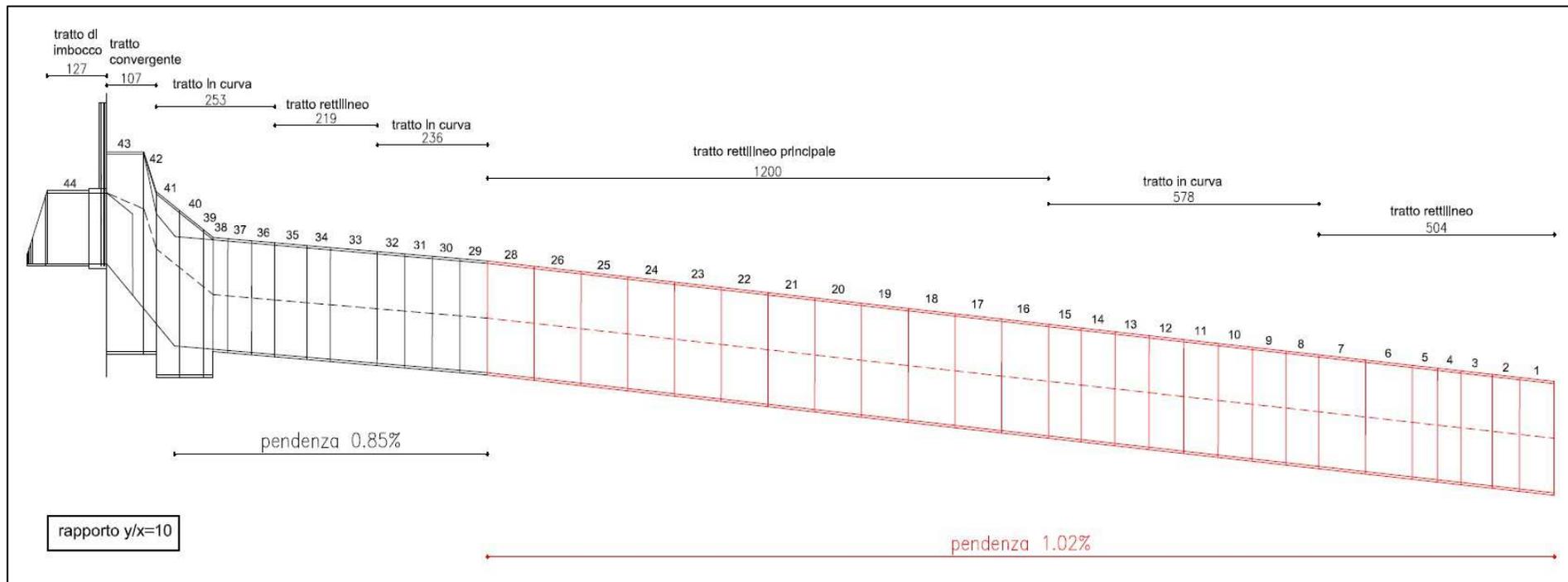


Figura 3 – Profilo della galleria con assetto della pendenza pari al 1.02% da inizio del tratto rettilineo principale al canale di restituzione (Caso 1, in rosso il tratto interessato dalla modifica della pendenza).



## 2.2 CASO 2 – INCREMENTO DI PENDENZA LUNGO IL SOLO TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE

Una seconda configurazione ha considerato l'incremento di pendenza ottenuto impiegando il dislivello disponibile di 6.7 cm (2.0 m nel prototipo) solo lungo il tratto rettilineo principale, di lunghezza complessiva pari a  $L_2=24.7$  m (740 m nel prototipo), ottenendo una pendenza pari al 1.10%.

Considerando invece metà del dislivello, cioè circa 3.4 cm, si è ottenuta una pendenza lungo il tratto rettilineo pari allo 0.97%.

Sia a monte che a valle del tratto rettilineo la pendenza è rimasta invariata, pari allo 0.85%.

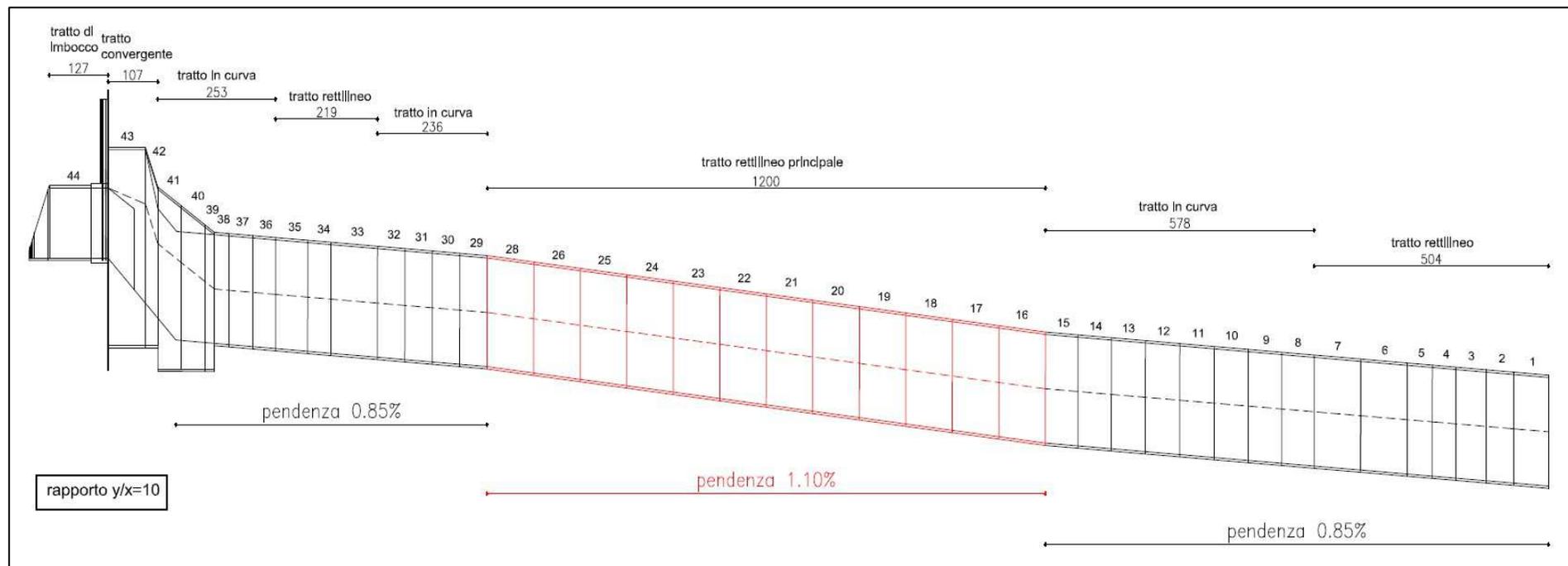


Figura 4 – Profilo della galleria con assetto della pendenza pari al 1.10% lungo il tratto rettilineo principale (Caso 2, in rosso il tratto interessato dalla modifica della pendenza)



### 2.3 CASO 3 – INCREMENTO DI PENDENZA LOCALIZZATA AL TERMINE DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE

La terza configurazione ha considerato uno scivolo con pendenza pari al 12% localizzato al termine del tratto rettilineo principale e di lunghezza tale da esaurire il dislivello disponibile di 6.7 cm, cioè pari a  $L_3=55$  cm. Questa soluzione, a valle del buon funzionamento dello scivolo di monte verificato con le prove su modello fisico, ne ha riproposto la stessa pendenza di fondo.

Inoltre è stato valutato l'incremento di pendenza localizzato sempre al termine del tratto rettilineo per una lunghezza fissata  $L_3=55$  cm e considerando metà del dislivello disponibile, cioè circa 3.4 cm. La pendenza dello scivolo così ottenuto è risultata pari al 5.51%.

A monte e a valle dello scivolo posto al termine del tratto rettilineo principale la pendenza è rimasta invariata pari allo 0.85%.

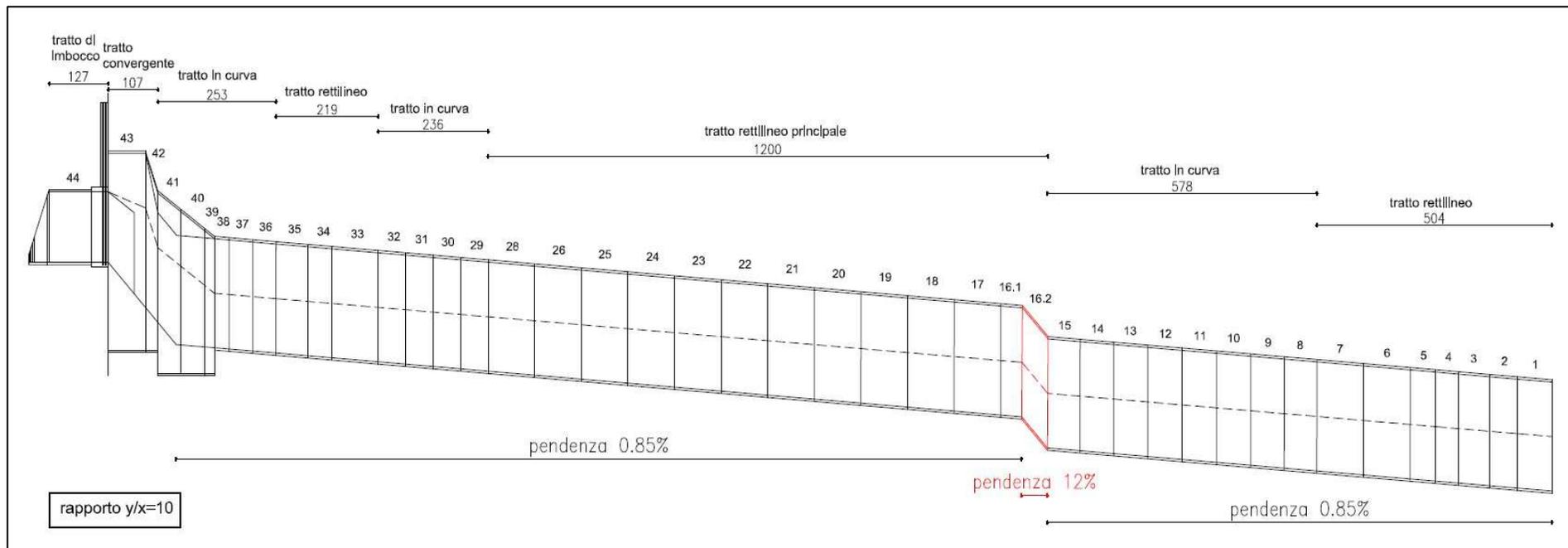


Figura 5 – Profilo della galleria con assetto della pendenza pari al 12% al termine del tratto rettilineo principale (Caso 3, in rosso il tratto interessato dalla modifica della pendenza)



### 3 MODELLAZIONE NUMERICA DELLE DIFFERENTI CONFIGURAZIONI DI PENDENZA

Il funzionamento idraulico delle differenti configurazioni di pendenza è stato valutato numericamente mediante l'applicazione dell'equazione di bilancio dell'energia con metodo di calcolo standard step al fine di determinare il valore di tirante idrico nella sezione più critica, tenendo in considerazione la perdita di energia localizzata in corrispondenza della curva di valle osservata e stimata nelle prove eseguite su modello fisico. In particolare, l'equazione di bilancio dell'energia è stata valutata come:

$$\Delta E = i\Delta s - J\Delta s - \sum_i \Delta H_{C_i}$$

In cui:  $\Delta E = E_2 - E_1$  è la differenza tra l'energia specifica di valle  $E_2$  e quella di monte  $E_1$ ;  $i$  è la pendenza di fondo;  $\Delta s$  è il passo spaziale considerato;  $J$  è la cadente piezometrica;  $\Delta H_{C_i}$  è la  $i$ -esima perdita di carico concentrata.

In particolare, Si sono considerate le seguenti perdite di carico concentrate:

- Perdita di carico  $\Delta H_{C_c}$  dovuta alla curva planimetrica
- Perdita di carico  $\Delta H_{C_s}$  dovuta al cambio di sezione
- Perdita di carico  $\Delta H_{C_p}$  dovuta al brusco cambio di pendenza di fondo

La perdita di carico dovuta alla curva planimetrica è stata espressa come:

$$\Delta H_{C_c} = f_c \frac{V^2}{2g}$$

In cui:  $f_c$  è il coefficiente di perdita energetica dovuta alla curva, pari a 0.32.

Mentre la perdita di carico dovuta al cambio di sezione così come la perdita di carico per brusco cambio di pendenza sono state espresse analogamente secondo l'equazione:

$$\Delta H_{C_s} = \Delta H_{C_p} = 0.5 \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g}$$

In cui:  $V_2$  è la velocità nella sezione di valle;  $V_1$  è la velocità nella sezione di monte.

Per ognuno dei casi considerati si è imposta la portata pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) e la stessa condizione al contorno di monte (in corrispondenza della sezione 15.01 del modello fisico, inizio tratto rettilineo principale) derivante dalle osservazioni sull'analogica prova eseguita su modello fisico, in particolare si è fissato  $h_1=15.6$  cm.

La cadente piezometrica  $J$  è stata valutata secondo l'equazione di Chezy, come:

$$J = \frac{V_m^2}{K_S^2 \cdot R_m^{4/3}}$$



In cui:  $K_S$  è la scabrezza secondo Strickler;  $V_m$  è la velocità media tra quella della sezione di monte e di valle;  $R_m$  è il raggio idraulico medio tra quello della sezione di monte e di valle.

L'equazione di bilancio dell'energia è risultata pertanto implicita nella sola incognita  $h_2$  che è stata ricavata per tentativi fino alla verifica dell'uguaglianza con sufficiente approssimazione, mediante l'applicazione del metodo GRG non lineare alle derivate future con errore sulla convergenza inferiore a 0.1 mm.

### 3.1 VALUTAZIONE DELLA SCABREZZA EFFETTIVA SU MODELLO FISICO

Preliminarmente all'analisi delle configurazioni a differente pendenza, è stata valutata l'effettiva scabrezza  $K_S$  della galleria nel modello fisico applicando l'equazione di bilancio energetico alla prova con  $Q=67$  l/s eseguita su modello fisico, effettuando pertanto una calibrazione di tale parametro sulla base dell'equazione di bilancio dell'energia e delle osservazioni effettuate su modello fisico.

In particolare, noto il tirante e la velocità sia nella sezione di monte (sez. 15.01 del modello fisico, inizio tratto rettilineo principale) che di valle (sez. 15.06 del modello fisico, fine tratto rettilineo principale) derivanti dalle osservazioni su modello fisico, si è imposta la scabrezza  $K_S$  come unica incognita dell'equazione di bilancio energetico, dalla quale è risultato un valore pari a  $125 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , ben in linea con quanto ipotizzato per il plexiglass utilizzato per la realizzazione della galleria.

Tabella II. Calibrazione della scabrezza  $K_S$  sulla prova del modello fisico con  $Q=67$  l/s

<b>h monte (cm)</b> <i>modello</i>	<b>h monte (cm)</b> <i>calcolo</i>	<b>h valle (cm)</b> <i>modello</i>	<b>h valle (cm)</b> <i>calcolo</i>	<b><math>K_S</math> (<math>\text{m}^{1/3}/\text{s}</math>)</b>
15.6	15.6	19.1	19.1	125

### 3.2 CASO 1 – INCREMENTO DI PENDENZA DA INIZIO DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE AL CANALE DI RESTITUZIONE

La determinazione del tirante idrico che si instaura nella sezione più critica al termine del tratto rettilineo principale è stata eseguita risolvendo l'equazione di bilancio energetico applicata tra la sezione di monte (sez. 1, inizio tratto rettilineo principale) e la sezione di valle (sez. 2, termine tratto rettilineo principale), espressa nella forma:

$$\Delta E = i\Delta s - J\Delta s - f_c \frac{V_2^2}{2g}$$

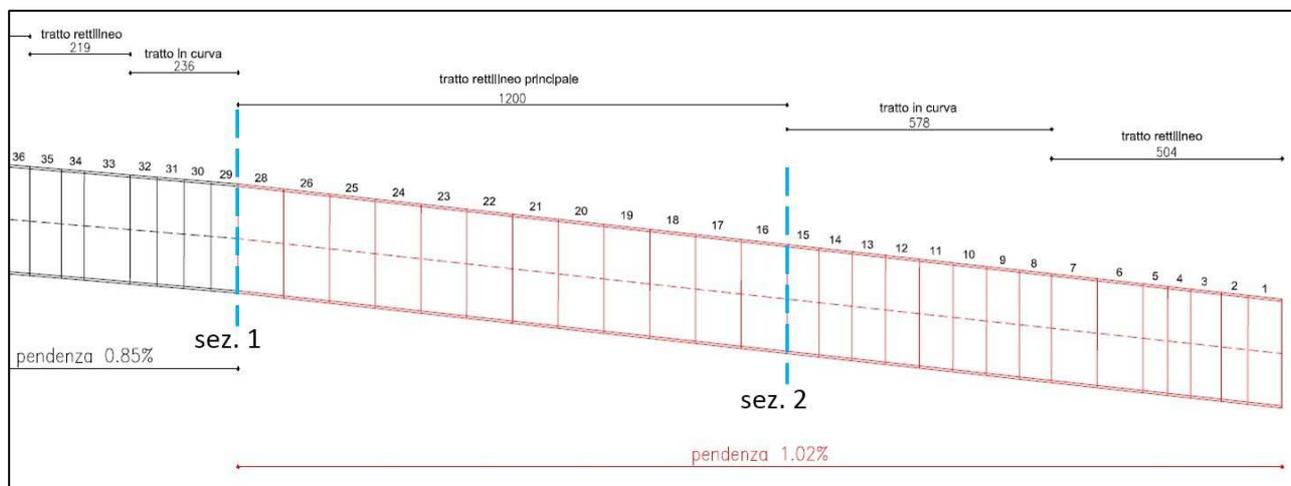


Figura 6 – Sezioni di calcolo per la determinazione del tirante idrico al termine del tratto rettilineo principale (Caso 1 con pendenza 1.02% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)

Si è valutato l'effetto dovuto all'incremento di pendenza generato sia dall'intero dislivello disponibile che da metà di esso; nella tabella seguente vengono riportati i risultati ottenuti.

Tabella III. Tiranti idrici e gradi di riempimento ottenuti per il Caso 1 con  $Q=67$  l/s

	$i=1.02\%$	$i=0.94\%$
<b>h monte (cm)</b>	15.6	15.6
<b>Gr monte</b>	67%	67%
<b>h valle (cm)</b>	17.8	18.4
<b>Gr valle</b>	77%	79%

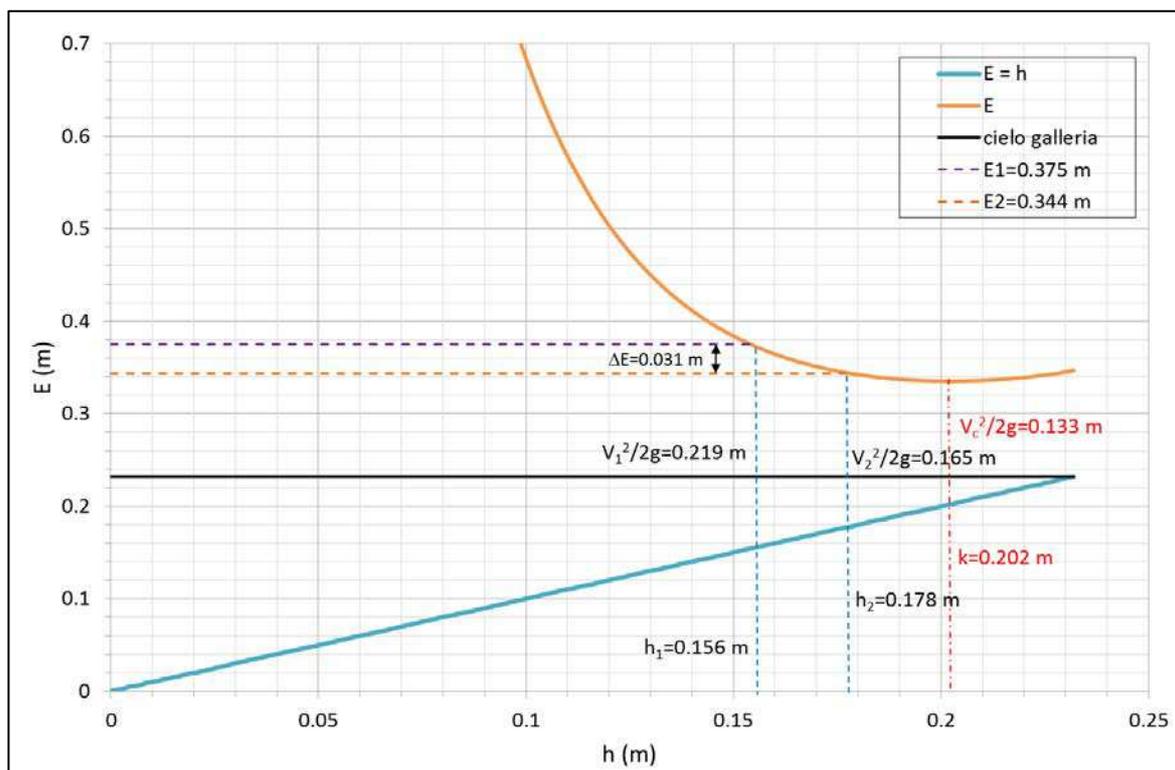


Figura 7 – Energia associata alla sezione di inizio (sez. 1) e terminale (sez. 2) del tratto rettilineo principale (Caso 1 con pendenza 1.02% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)

### 3.3 CASO 2 – INCREMENTO DI PENDENZA LUNGO IL SOLO TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE

Analogamente al Caso 1, la determinazione del tirante idrico che si instaura nella sezione più critica al termine del tratto rettilineo principale è stata eseguita risolvendo l'equazione di bilancio energetico applicata tra la sezione di monte (sez. 1, inizio tratto rettilineo principale) e la sezione di valle (sez. 2, termine tratto rettilineo principale), espressa nella forma:

$$\Delta E = i\Delta s - J\Delta s - f_c \frac{V_2^2}{2g}$$

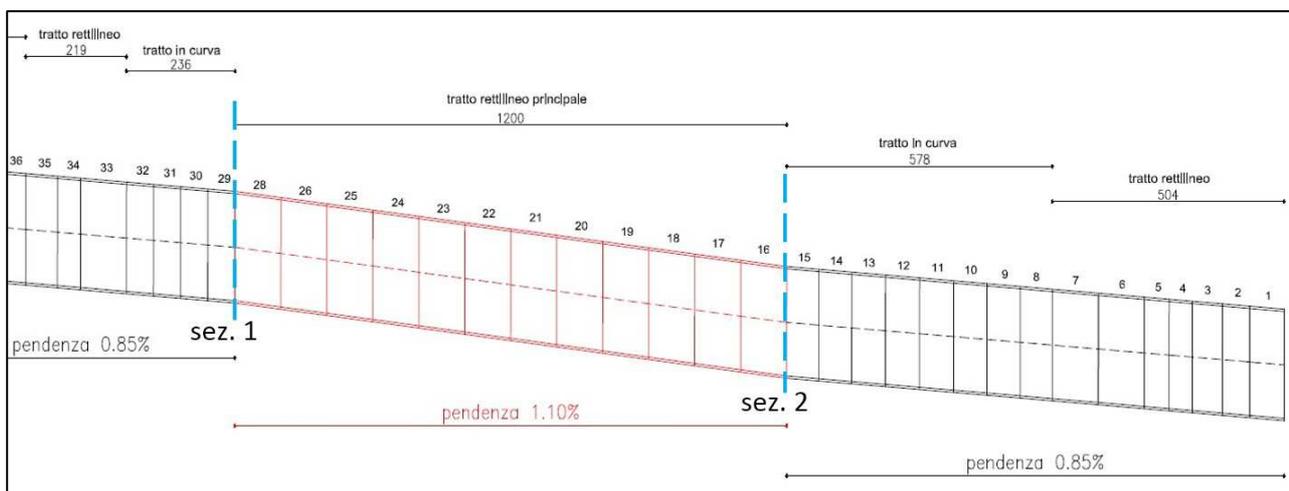


Figura 8 – Sezioni di calcolo per la determinazione del tirante idrico al termine del tratto rettilineo principale (Caso 2 con pendenza 1.10% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)

Si è valutato l'effetto dovuto all'incremento di pendenza generato sia dall'intero dislivello disponibile che da metà di esso; nella tabella seguente vengono riportati i risultati ottenuti.

Tabella IV. Tiranti idrici e gradi di riempimento ottenuti per il Caso 2 con  $Q=67$  l/s

	<b>i=1.10%</b>	<b>i=0.97%</b>
<b>h monte (cm)</b>	15.6	15.6
<b>Gr monte</b>	67%	67%
<b>h valle (cm)</b>	17.4	18.1
<b>Gr valle</b>	75%	77%

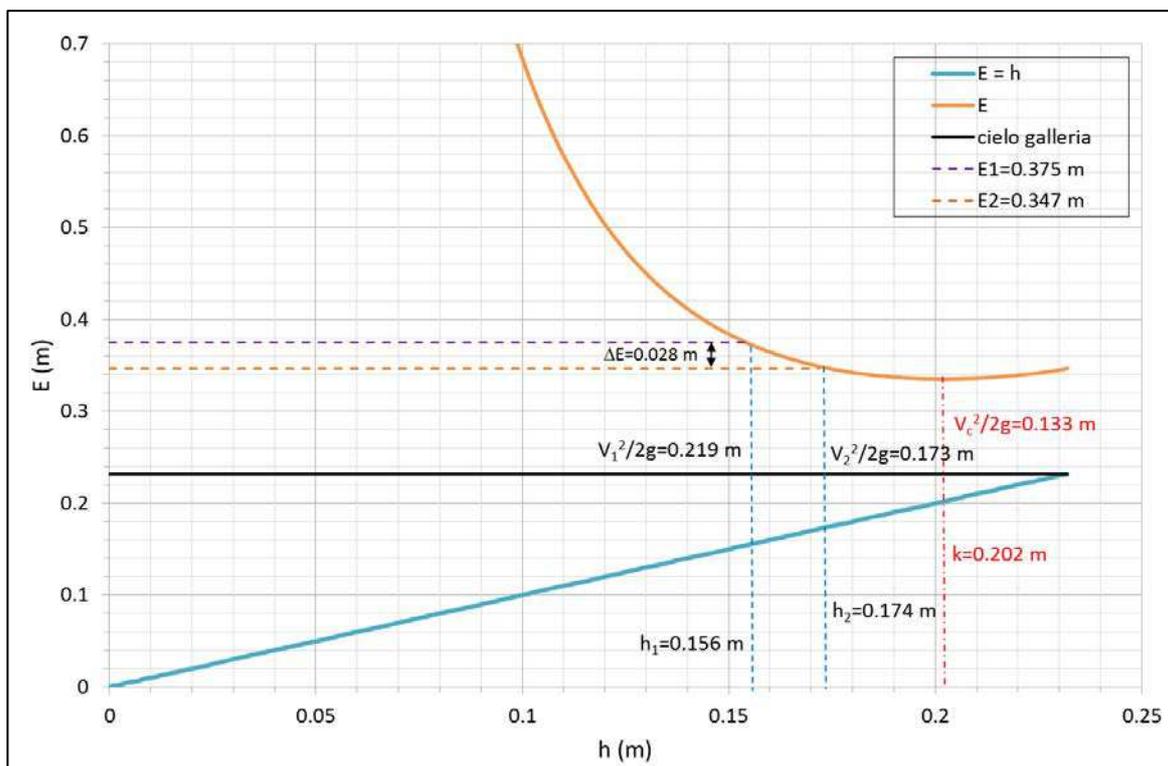


Figura 9 – Energia associata alla sezione di inizio (sez. 1) e terminale (sez. 2) del tratto rettilineo principale (Caso 2 con pendenza 1.10% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)

### 3.4 CASO 3 – INCREMENTO DI PENDENZA LOCALIZZATO AL TERMINE DEL TRATTO RETTILINEO PRINCIPALE

La presenza dello scivolo al termine del tratto rettilineo principale ha comportato la suddivisione in due tronchi di applicazione dell'equazione di bilancio energetico: il primo compreso tra la sezione iniziale del tratto rettilineo principale (sez. 1) e la sezione di monte dello scivolo (sez. 2), mentre il secondo compreso tra la sezione di monte e di valle (sez. 3) dello scivolo.

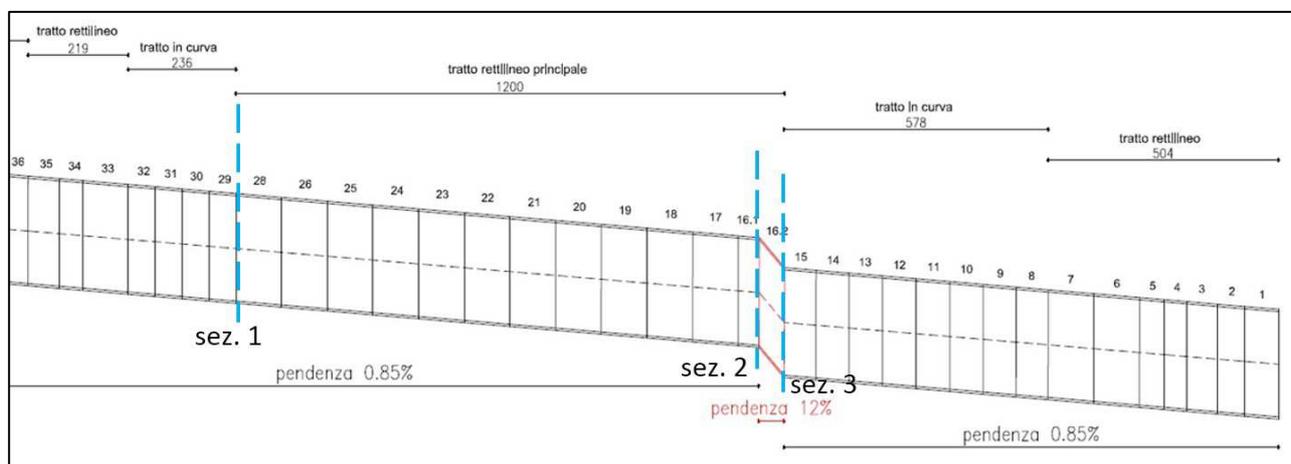


Figura 10 – Sezioni di calcolo per la determinazione del tirante idrico al termine del tratto rettilineo principale (Caso 3 con pendenza dello scivolo 12% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)



Sul primo tronco l'equazione di bilancio è stata applicata senza considerare perdite di carico localizzate, scrivendola pertanto nella forma:

$$\Delta E_1 = i_1 \Delta s_1 - J_1 \Delta s_1$$

Mentre il secondo tronco ha considerato sia la perdita di carico concentrata dovuta alla curva planimetrica che quella dovuta al brusco cambio di pendenza:

$$\Delta E_2 = i_2 \Delta s_2 - J_2 \Delta s_2 - f_c \frac{V_3^2}{2g} - 0.5 \frac{(V_3 - V_2)^2}{2g}$$

Si è valutato l'effetto dovuto all'incremento localizzato di pendenza dello scivolo generato sia dall'intero dislivello disponibile che da metà di esso. Nella tabella seguente vengono riportati i risultati ottenuti.

Tabella V. Tiranti idrici e gradi di riempimento ottenuti per il Caso 3 con  $Q=67$  l/s

	<b>i=12%</b>	<b>i=5.51%</b>
<b>h<sub>1</sub> (cm)</b>	15.6	15.6
<b>Gr<sub>1</sub></b>	67%	67%
<b>h<sub>2</sub> (cm)</b>	16.1	16.1
<b>Gr<sub>2</sub></b>	69%	69%
<b>h<sub>3</sub> (cm)</b>	16.3	18.7
<b>Gr<sub>3</sub></b>	70%	80%

La modifica apportata localmente alla pendenza della galleria fornisce alla corrente una maggior energia specifica, in particolare nella sua componente cinetica, rispetto ai casi precedenti. Ciò comporta un minor tirante idrico e quindi un minor grado di riempimento, che si attesta al 70% in presenza dello scivolo con pendenza 12%.

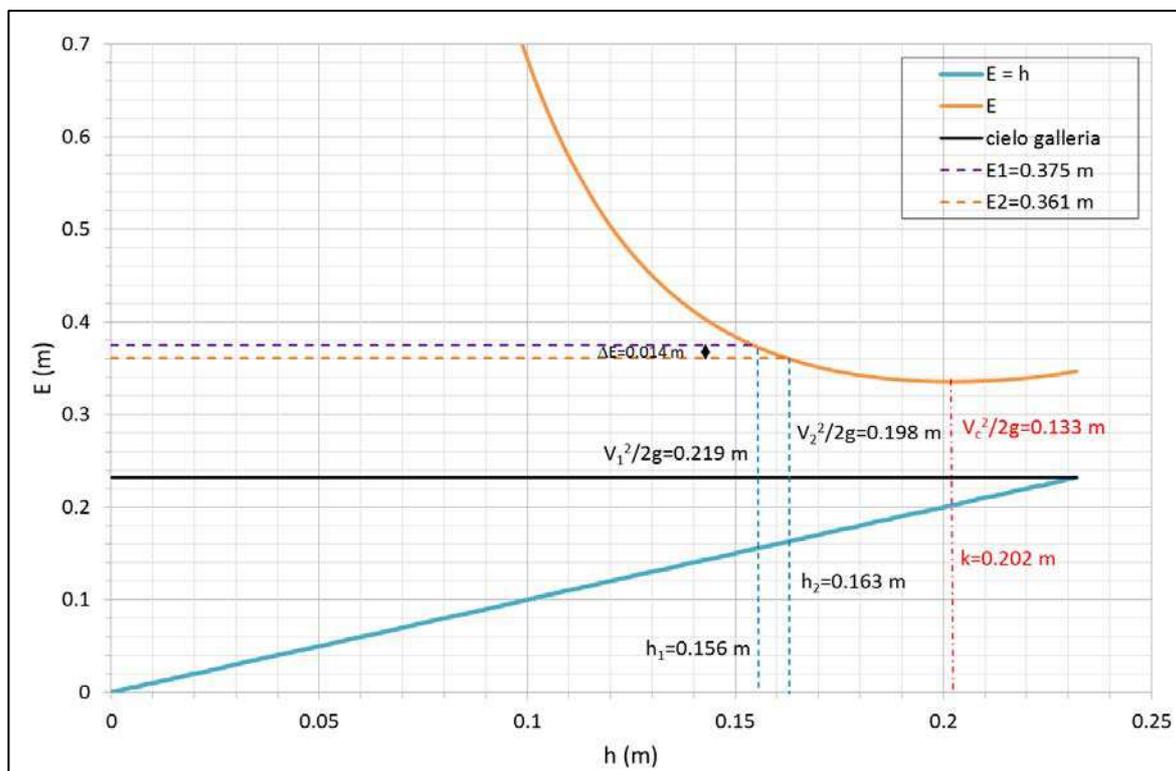


Figura 11 – Energia associata alla sezione di inizio (sez. 1) e terminale (sez. 2) del tratto rettilineo principale (Caso 3 con pendenza dello scivolo 12% ottenuta dall'impiego dell'intero dislivello disponibile)

#### 4 VALUTAZIONE DEL POSSIBILE EFFETTO DI RISALTO IN GALLERIA PER I 3 CASI A DIFFERENTE PENDENZA

Le variazioni di pendenza analizzate, se da un lato forniscono maggiore energia cinetica alla corrente, elidono in modo completo o parziale lo scivolo al termine della galleria, a monte del canale di restituzione, per i tre casi considerati. Ciò implica che i tiranti idrici del F. Chiese, soprattutto in caso di portate basse o trascurabili in galleria, si propagano all'interno del tratto terminale di galleria, aspetto che potrebbe generare un risalto all'interno della stessa. Al fine di valutare l'eventuale presenza di risalti in galleria si è valutata la spinta globale della corrente confrontandola con quella (solo idrostatica) generata dai livelli del F. Chiese rigurgitati all'interno dell'opera. In particolare, per i tre casi a differente pendenza considerati, è stato indagato lo scenario più sfavorevole, consistente nella completa assenza dello scivolo al termine della galleria e portata pari a 22 l/s (111 mc/s nel prototipo).

L'ultima sezione della galleria a monte del canale di restituzione è stata presa come sezione di verifica delle spinte (sezione a fondo piano); analogamente alla verifica di funzionamento idraulico delle tre configurazioni a differente pendenza, è stato pertanto propagato il profilo di corrente per  $Q=22$  l/s da inizio del tratto rettilineo principale fino all'ultima sezione di verifica.

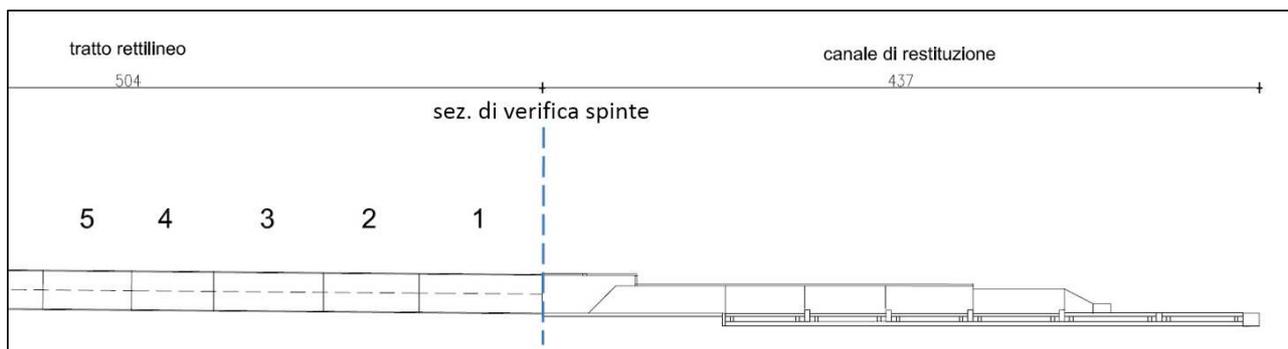


Figura 12 – Sezione di verifica delle spinte in corrispondenza dell'ultima sezione di galleria a monte del canale di restituzione (sezione a fondo piano)

I Casi 1 e 2 hanno considerato la suddivisione dell'intero tratto in 3 tronchi omogenei di calcolo in cui è stata applicata l'equazione di bilancio energetico: il primo tronco compreso tra la sezione di inizio (sez. 1) e di fine (sez. 2) del tratto rettilineo principale, il secondo compreso tra la sezione di fine del tratto rettilineo principale e l'ultima sezione policentrica (sez. 3), mentre il terzo compreso tra l'ultima sezione policentrica e l'ultima sezione di galleria a monte del canale di restituzione (sez. 4). L'ultimo tronco è comprensivo della transizione di sezione da policentrica a fondo piano.

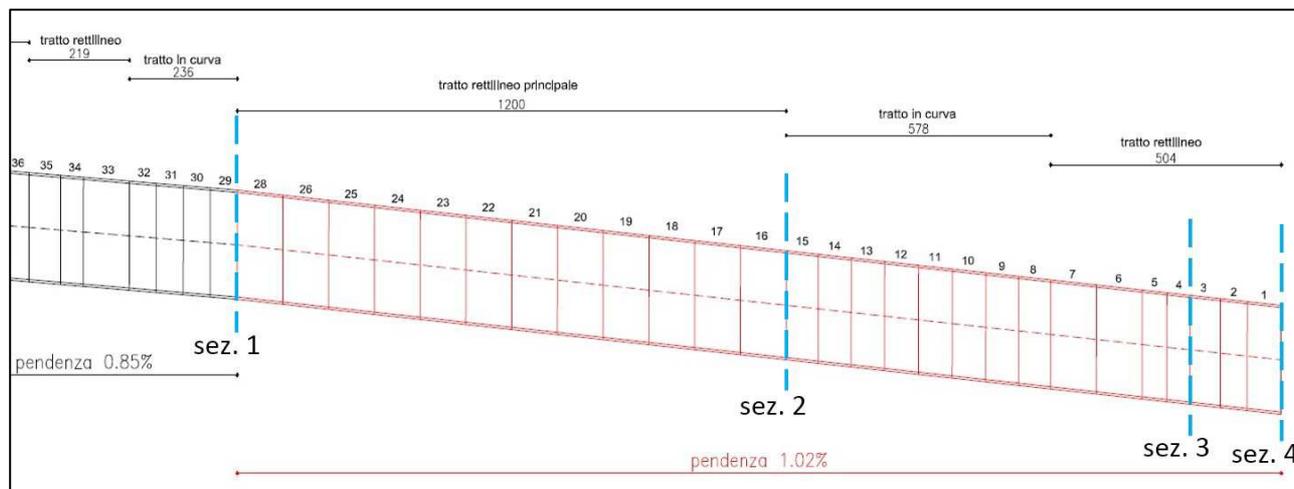


Figura 13 – Suddivisione in tronchi omogenei relativamente al Caso 1

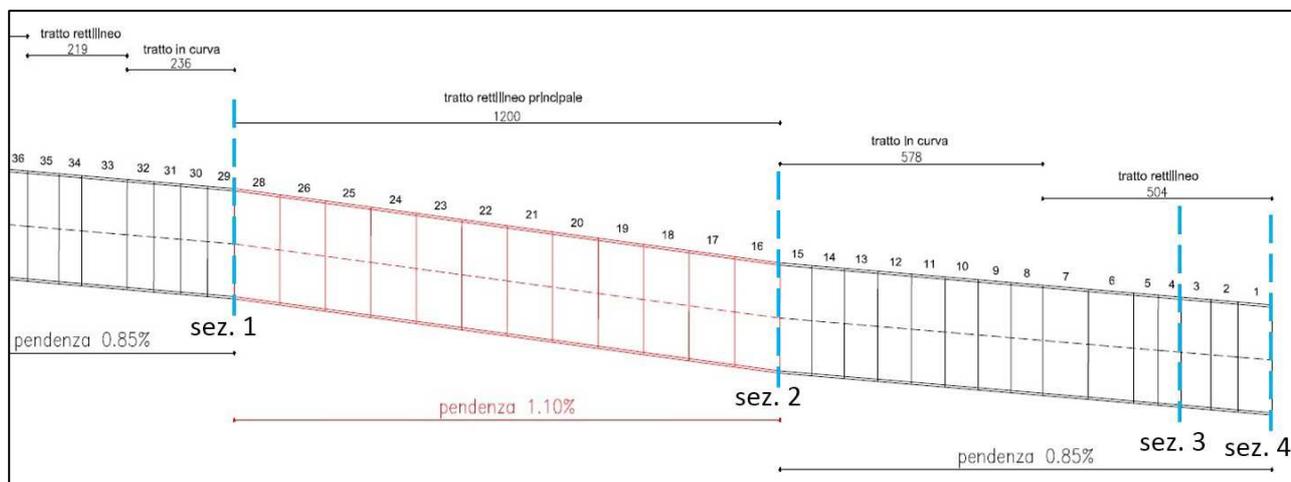


Figura 14 – Suddivisione in tronchi omogenei relativamente al Caso 2

Analogamente, il Caso 3 ha considerato la suddivisione del tratto in 4 tronchi: il primo compreso tra la sezione di inizio del tratto rettilineo principale (sez. 1) alla sezione di monte dello scivolo (sez. 2), il secondo compreso tra la sezione di monte e di valle (sez. 3) dello scivolo, il terzo compreso tra la sezione di valle dello scivolo e l'ultima sezione policentrica (sez. 4), il quarto, infine, compreso tra l'ultima sezione policentrica e l'ultima sezione di galleria a monte del canale di restituzione (sez. 5).

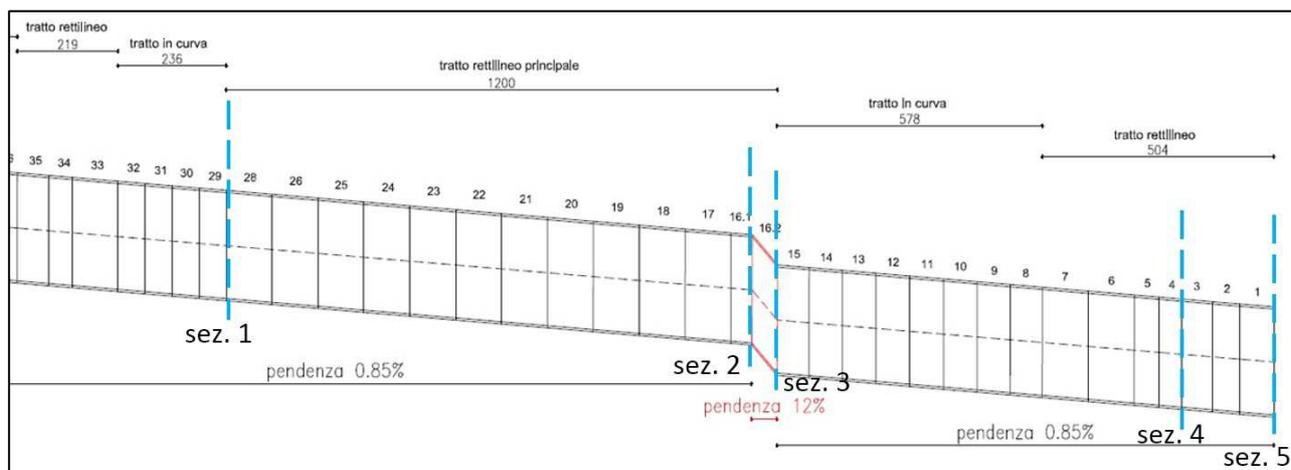


Figura 15 – Suddivisione in tronchi omogenei relativamente al Caso 3

L'equazione di bilancio energetico è stata applicata a ciascun tronco di suddivisione considerando le eventuali perdite di carico localizzate presenti, in riferimento al Caso 1 e 2:

- Tronco 1: da sez. 1 a sez. 2  $\Delta E_1 = i_1 \Delta s_1 - J_1 \Delta s_1$
- Tronco 2: da sez. 2 a sez. 3  $\Delta E_2 = i_2 \Delta s_2 - J_2 \Delta s_2 - f_c \frac{V_3^2}{2g}$
- Tronco 3: da sez. 3 a sez. 4  $\Delta E_3 = i_3 \Delta s_3 - J_3 \Delta s_3 - 0.5 \frac{(V_4 - V_3)^2}{2g}$

In riferimento al Caso 3, invece, le equazioni applicate su ciascun tronco sono state:



- Tronco 1: da sez. 1 a sez. 2  $\Delta E_1 = i_1 \Delta s_1 - J_1 \Delta s_1$
- Tronco 2: da sez. 2 a sez. 3  $\Delta E_2 = i_2 \Delta s_2 - J_2 \Delta s_2 - f_c \frac{V_3^2}{2g} - 0.5 \frac{(V_3 - V_2)^2}{2g}$
- Tronco 3: da sez. 3 a sez. 4  $\Delta E_3 = i_3 \Delta s_3 - J_3 \Delta s_3$
- Tronco 4: da sez. 4 a sez. 5  $\Delta E_4 = i_4 \Delta s_4 - J_4 \Delta s_4 - 0.5 \frac{(V_5 - V_4)^2}{2g}$

Per ciascun caso si è considerata la stessa condizione al contorno di monte (sez. 1) relativamente alla portata  $Q=22$  l/s, fissando il livello idrico così come osservato su modello fisico nell'analogia prova; in particolare si è considerato un livello in galleria pari a  $h_1=7.9$  cm.

Le equazioni di bilancio energetico sono state risolte in successione ricercando per ognuna l'altezza idrica di valle procedendo per tentativi fino alla verifica dell'uguaglianza con sufficiente approssimazione mediante l'applicazione del metodo GRG non lineare alle derivate future con tolleranza sulla convergenza pari a 0.1 mm.

Tabella VI. Tiranti idrici e gradi di riempimento nelle sezioni di calcolo relative al Caso 1 per  $Q=22$  l/s

<b>h<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>1</sub></b>	<b>h<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>2</sub></b>	<b>h<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>3</sub></b>	<b>h<sub>4</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>4</sub></b>
7.9	34%	10.5	45%	11.0	48%	9.3	40%

Tabella VII. Tiranti idrici e gradi di riempimento nelle sezioni di calcolo relative al Caso 2 per  $Q=22$  l/s

<b>h<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>1</sub></b>	<b>h<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>2</sub></b>	<b>h<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>3</sub></b>	<b>h<sub>4</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>4</sub></b>
7.9	34%	10.4	45%	11.3	49%	9.5	41%

Tabella VIII. Tiranti idrici e gradi di riempimento nelle sezioni di calcolo relative al Caso 3 per  $Q=22$  l/s

<b>h<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>1</sub></b>	<b>h<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>2</sub></b>	<b>h<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>3</sub></b>	<b>h<sub>4</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>4</sub></b>	<b>h<sub>5</sub> (cm)</b>	<b>Gr<sub>5</sub></b>
7.9	34%	9.8	42%	10.3	44%	11.2	48%	9.5	41%

La spinta idraulica  $S$  in galleria è stata valutata considerando sia la componente statica che dinamica, secondo la nota equazione:

$$S = \frac{1}{2} \gamma h^2 B + \rho QV$$

In cui:  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua, pari a  $10'000$  N/m<sup>3</sup>;  $B$  è la larghezza bagnata;  $\rho$  è la densità dell'acqua, pari a  $1'000$  kg/m<sup>3</sup>.

Per ognuno dei casi indagati la spinta è stata valutata in corrispondenza dell'ultima sezione della galleria a fondo piano, a monte del canale di restituzione; nella seguente tabella vengono riportati i risultati ottenuti.



Tabella IX. Spinte idriche in corrispondenza dell'ultima sezione di galleria per i tre casi indagati

	CASO 1	CASO 2	CASO 3
<i>h (cm)</i>	9.3	9.5	9.5
<i>V (m/s)</i>	2.09	2.03	2.05
<i>S (N)</i>	104.2	102.0	102.5

Tali valori di spinta, paragonati con la spinta idrostatica dovuta al rigurgito del F. Chiese all'interno dell'opera, richiederebbero, per essere controbilanciati, un tirante idrico di circa 30 cm (9.0 m nel prototipo), livello che ben si discosta da quelli che si possono instaurare nel F. Chiese almeno fino alla portata millenaria di 332 mc/s. Pertanto, con la portata minima indagata di 22 l/s (111 mc/s nel prototipo), si esclude la presenza di un risalto idraulico all'interno della galleria per ognuno dei tre casi considerati.

## 5 CONCLUSIONI

Il grado di riempimento osservato durante le prove eseguite su modello fisico per portata  $Q=67$  l/s (332 mc/s nel prototipo) in corrispondenza della sezione terminale del tratto rettilineo principale (sezione 15.06 del modello fisico) ha portato il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche e conseguentemente Infrastrutture Lombarde S.p.A. a richiedere lo studio di soluzioni progettuali alternative a quella sperimentata, in particolare agendo sull'incremento di pendenza della galleria a discapito della pendenza dello scivolo terminale a monte del canale di restituzione.

In particolare, sono state valutate tre differenti configurazioni, che si sono distinte tra loro relativamente al tratto interessato dall'incremento di pendenza:

- Caso 1 – incremento di pendenza da inizio del tratto rettilineo principale al canale di restituzione
- Caso 2 – incremento di pendenza lungo il tratto rettilineo principale
- Caso 3 – incremento di pendenza localizzata al termine del tratto rettilineo principale

Ogni configurazione ha considerato l'incremento di pendenza ottenibile sia impiegando l'intero dislivello disponibile, sia metà di tale dislivello. La configurazione che ha fornito il minor grado di riempimento in corrispondenza della sezione più critica è stata quella relativa al Caso 3, che prevede un aumento localizzato della pendenza al termine del tratto rettilineo mediante uno scivolo con pendenza 12% (analoga alla pendenza del tratto convergente iniziale).

Il minimo grado di riempimento tra i massimi ottenuti in ciascuna configurazione è stato del 70% relativamente al Caso 3, mentre tutte le altre configurazioni hanno mostrato gradi di riempimento compresi tra il 75 e l'80%.



È stata inoltre valutata l'eventuale presenza di risalto idraulico all'interno della galleria, non essendo più presente o avendo dimezzato l'altezza dello scivolo a monte del canale di restituzione con funzione anche di disconnessione idraulica tra galleria e F. Chiese.

Lo scenario più sfavorevole che è stato analizzato ha previsto, per ognuno dei casi considerati, l'impiego dell'intero dislivello disponibile a discapito dello scivolo di valle per l'incremento di pendenza e la portata di 22 l/s (111 mc/s nel prototipo). I valori di spinte idrauliche ottenuti in corrispondenza dell'ultima sezione della galleria a monte del canale di restituzione implicherebbero, per essere controbilanciati, un livello idrico di circa 30 cm (9.0 m nel prototipo) relativo alla spinta del F. Chiese. Tale livello si discosta significativamente dai livelli che si possono instaurare nel F. Chiese anche per portata millenaria, pertanto è stato possibile escludere la presenza di risalto idraulico all'interno della galleria per ciascuno dei tre casi considerati.

Il Responsabile Scientifico  
Prof. Ing. Marco Mancini

L'amministratore  
Dott. Ing. Stefania Meucci

L'amministratore  
Stefania Meucci



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE**  
*PROF. ING. MARCO MANCINI*  
*EMAIL [marco.mancini@polimi.it](mailto:marco.mancini@polimi.it)*



**MMI s.r.l.**  
Via Ariberto 1, 20123 Milano  
Tel. e Fax (+39) 02-58113831  
e-mail: [info@mmidro.it](mailto:info@mmidro.it)

# **RELAZIONE DI PROVA SU MODELLO FISICO: VERIFICA IDRAULICA DELLA GALLERIA LAGO D'IDRO CON MODIFICHE GEOMETRICHE**

**Risultati delle prove effettuate su modello fisico a seguito della nota del  
MIT del 7/06/2018**

**Ottobre 2018**



## INDICE

<b>1</b>	<b>CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MODIFICHE GEOMETRICHE APPORTATE SU MODELLO FISICO.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>PROVE EFFETTUATE SU MODELLO FISICO.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>MISURE DI LIVELLO .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>MISURE DI PRESSIONE IN CALOTTA.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>MISURE DI VELOCITÀ.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>33</b>

**ALLEGATI: 1) SISTEMA DI MISURA DEL MODELLO FISICO**



## 1 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

A seguito dell'analisi numerica in merito alle configurazioni geometriche migliorative su modello fisico della galleria di scarico del lago d'Idro riportata nell'elaborato "Relazione di prova: analisi numeriche di funzionamento della galleria con configurazioni geometriche differenti da quella del modello fisico sperimentato", il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) - Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche ed elettriche ha trasmesso, con comunicato ufficiale del 07/06/2018, alcune osservazioni in merito a tale attività, recepite dal RUP, dal Committente ITINERA S.p.A. e dal Progettista ing. Yos Zorzi, che hanno portato a modificare la geometria del modello fisico secondo quanto previsto nel "caso 3" preliminarmente valutato numericamente e ritenuto migliorativo in merito al grado di riempimento ottenibile in galleria. Inoltre, sempre su indicazione del MIT, su modello fisico sono state ripristinate le soglie di fondo trasversali poste a monte della restituzione in alveo e si è individuata una geometria idrodinamicamente ottimale relativamente alla forma della testa del setto longitudinale presente nel canale di restituzione.

La presente relazione riporta i risultati delle ulteriori prove effettuate su modello fisico a seguito delle modifiche geometriche apportate. Sono state condotte in totale 8 prove, caratterizzate da differenti portate esitate dalla galleria e dal Fiume Chiese, che hanno portato a valutare il comportamento idraulico delle modifiche geometriche apportate. La strumentazione impiegata per la misura di livelli, velocità e pressioni è stata identica a quella utilizzata nelle precedenti prove; in particolare, le misure hanno interessato la galleria dal tratto rettilineo principale, il canale di restituzione e la confluenza nel Fiume Chiese, secondo il sistema di misura riportato nella tavola allegata alla presente relazione. Le ulteriori prove effettuate sulle modifiche geometriche apportate su modello fisico hanno mostrato:

- un miglioramento (diminuzione) del grado di riempimento al termine del tratto rettilineo e comunque del massimo grado di riempimento osservato in galleria
- una maggior stabilità del profilo di moto dalla curva immediatamente a valle del tratto rettilineo principale fino al canale di restituzione
- un miglioramento dell'idrodinamica del setto longitudinale presente nel canale di restituzione, evitando sovralti localizzati che impattassero sulla copertura e comportando una riduzione delle perturbazioni ondose lungo il canale stesso

## 2 MODIFICHE GEOMETRICHE APPORTATE SU MODELLO FISICO

Le modifiche all'opera in progetto che sono state apportate e verificate su modello fisico hanno interessato la pendenza di fondo del tratto rettilineo principale a discapito dello scivolo presente



subito più a monte del canale di restituzione, insieme alla forma della testa del setto longitudinale e all'assetto del sistema di dissipazione energetica presenti nel canale di restituzione.

In particolare, la pendenza del tratto rettilineo principale di galleria è stata modificata riproducendo quanto previsto nel “caso 3”, valutato numericamente come soluzione alternativa migliorativa in termini di grado di riempimento. Tale configurazione ha comportato l'aumento locale della pendenza al termine del tratto rettilineo per una lunghezza di circa 55 cm (16.5 m nel prototipo) passando da 0.85% al 12%.



Figura 1 – Scivolo con pendenza 12% al termine del tratto rettilineo principale

Sul canale di restituzione, le modifiche apportate hanno interessato la forma della testa del setto divisorio (mantenendo le stesse dimensioni dell'originale), che è stata sagomata secondo una conformazione più acuminata in grado di separare più incisivamente la corrente; inoltre sono state ripristinate le soglie trasversali funzionali alla dissipazione energetica in termini di velocità in sostituzione dei blocchi di dissipazione tipo USBR che, pur producendo una dissipazione più graduale, hanno mostrato meno efficacia nella riduzione delle velocità di restituzione.

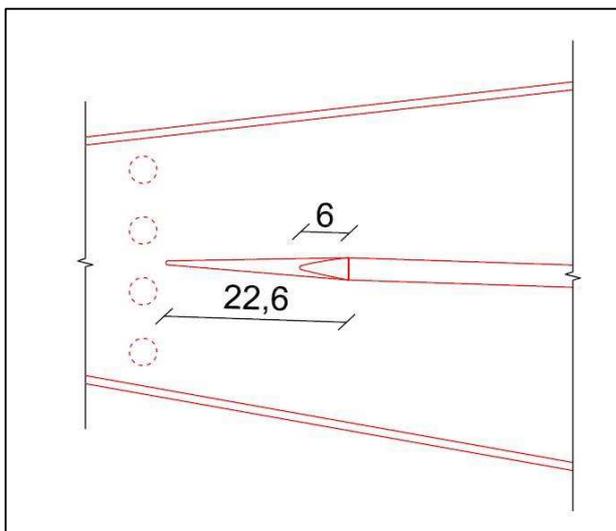


Figura 3 – Pianta della testa del setto divisorio con nuova conformazione (misure espresse in cm)

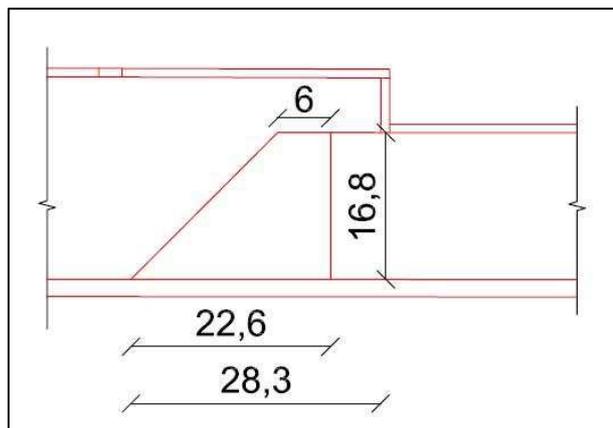


Figura 2 – Profilo della testa del setto divisorio con nuova conformazione (misure espresse in cm)



Figura 4 – Testa del setto con nuova conformazione apportata su modello fisico

Le 3 soglie trasversali nel tratto di canale coperto sono state ripristinate con un'altezza di 2 cm (60 cm nel prototipo), mentre la soglia posta più a valle nel tratto a cielo aperto è stata portata ad un'altezza di 3 cm (90 cm nel prototipo).



Figura 5 – Soglie trasversali lungo il canale di dissipazione

### 3 PROVE EFFETTUATE SU MODELLO FISICO

Per valutare il comportamento idraulico delle modifiche apportate su modello fisico sono state effettuate un totale di 8 prove, caratterizzate da differenti portate esitate dalla galleria e dal Fiume Chiese, così come riportato nella seguente tabella.

Tabella I. Portata utilizzate per le differenti prove effettuate su modello fisico

prova	Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)
1	67	0
2	45	0
3	22	0
4	22	45
5	45	22
6	22	22
7	67 (livello massimo invaso)	0
8	Qmax	0

In particolare, le prove dalla n. 1 alla n. 6 hanno interessato diverse combinazioni di portate ripartite tra galleria e Fiume Chiese, la prova n. 7 è stata eseguita con portata massima di progetto esitata dalla galleria (332 mc/s nel prototipo) e livello nel lago corrispondente al livello di massimo invaso (371.23 m slm nel prototipo), regolando pertanto le paratoie all'imbocco ad un'altezza di 13 cm (3.9 m nel prototipo), mentre la prova n. 8 ha considerato la massima portata smaltibile a pelo libero in galleria, ricercata per tentativi con step di portata e determinata pari a 80 l/s (394 mc/s nel prototipo).

Le misure di livello, velocità e pressione sono state eseguite secondo lo schema riportato nella tavola allegata alla presente relazione.



## 4 MISURE DI LIVELLO

Le misure di livello sono state effettuate lungo il tratto rettilineo principale, la curva di valle e il tratto rettilineo terminale della galleria, lungo il canale di restituzione e al nodo di confluenza con il Fiume Chiese.

In particolare, rispetto alle prove eseguite sulla precedente configurazione geometrica a pendenza costante pari allo 0.85% si è osservato un miglioramento del grado di riempimento al termine del tratto rettilineo principale, subito più a monte dello scivolo con pendenza 12%; il grado di riempimento massimo osservato in galleria per portata di progetto pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) è stato del 78% in corrispondenza della sezione 15.03 alla progressiva 1530 cm.

In generale, in galleria si sono osservati gradi di riempimento inferiori all'80%, ad eccezione della prova 8 che, per ovvie ragioni, dovendo ricercare la massima portata di funzionamento a pelo libero, ha portato ad osservare un grado di riempimento massimo pari al 96% sempre in corrispondenza della sezione 15.03 alla progressiva 1530 cm.

Lungo la curva subito più a valle del tratto rettilineo principale si è osservato un moto ondoso stazionario che si è manifestato con livelli idrici differenti tra destra e sinistra idraulica di una stessa sezione. In particolare, nella prova 1 con portata pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) il massimo sovrizzo ondoso che si è osservato è stato di 2.9 cm (0.87 m nel prototipo) in corrispondenza della sezione 15.09 alla progressiva 2245 cm, mentre il massimo sovrizzo assoluto osservato nel complesso delle prove è stato di 3.5 cm (1.05 m nel prototipo) in corrispondenza della sezione 20 alla progressiva 2446 cm per la prova 7 con portata in galleria di 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) e livello nel serbatoio di alimentazione corrispondente al livello di massimo invaso del lago (271.23 m s.l.m.), ottenuto parzializzando le paratoie ad un'apertura dell'87% (13.0 cm nel modello pari a 3.90 m nel prototipo). Lungo il canale di restituzione, la nuova forma della testa del setto separatore ha determinato una maggior regolarità del flusso subito più a valle, escludendo la possibilità di sovrizzi localizzati che potessero interessare la copertura del canale stesso e perturbare il moto a valle. L'effetto di dissipazione delle soglie trasversali ha portato ad osservare un livello massimo pari a 11.5 cm (3.45 m nel prototipo) con un conseguente grado di riempimento del 78% in corrispondenza della sezione 33 alla progressiva 3509 cm per la prova 2 con portata pari a 45 l/s (221 mc/s nel prototipo).

A differenza di quanto inizialmente ipotizzabile, il livello massimo non si è osservato nella prova 1 con portata di 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) o nella prova 8 con 80 l/s (394 mc/s nel prototipo), poiché, a differenza di queste portate, nella prova 2 con portata di 45 l/s (221 mc/s nel prototipo) l'effetto della quarta soglia trasversale di altezza 3 cm (90 cm nel prototipo) ha comportato a monte un effetto di rigurgito con conseguente innalzamento del tirante idrico in corrente lenta e formazione

di risalto idraulico localizzato tra la sezione 32 alla progressiva 3457 e la terza soglia trasversale alla progressiva 3480 cm.



Figura 6 – Effetto di sovrizzo dovuto alla quarta soglia trasversale e conseguente risalto idraulico localizzato tra la sezione 32 e la terza soglia trasversale per  $Q$  galleria=45 l/s (prova 2)

L'effetto di rigurgito e conseguente risalto idraulico causato dalla presenza della quarta soglia trasversale di altezza maggiorata è stato riscontrato, oltre che nella prova 2, anche nelle prova 4 e 5, con coppie di portate pari a 22 l/s (111 mc/s nel prototipo) in galleria e 45 l/s (221 mc/s nel prototipo) in Chiese per la prova 4, mentre 45 l/s (221 mc/s nel prototipo) in galleria e 22 l/s (111 l/s nel prototipo) in Chiese per la prova 5.

Per la prova 5 il risalto idraulico è stato localizzato, come per la prova 2, tra la sezione 32 alla progressiva 3457 e la terza soglia trasversale alla progressiva 3480 cm, mentre per la prova 4 è stato localizzato, seppur in modo meno evidente e tale da presentarsi più simile ad un risalto ondulato, tra la sezione 30 alla progressiva 3361 cm e la prima soglia trasversale alla progressiva 3381 cm.



Figura 7 – Effetto di sovrizzo dovuto alla quarta soglia trasversale e conseguente risalto idraulico localizzato tra la sezione 30 e la prima soglia trasversale per  $Q$  galleria=22 l/s e  $Q$  Chiese=45 l/s (prova 4)

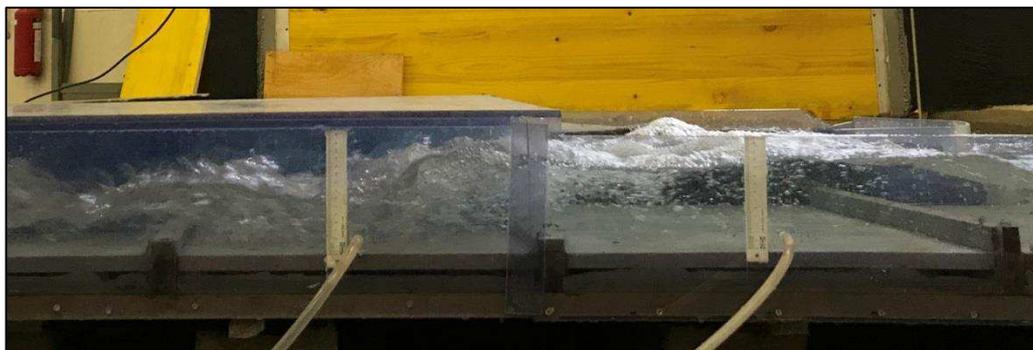


Figura 8 – Effetto di sovralzo dovuto alla quarta soglia trasversale e conseguente risalto idraulico localizzato tra la sezione 32 e la terza soglia trasversale per  $Q_{galleria}=45 \text{ l/s}$  e  $Q_{Chiese}=22 \text{ l/s}$  (prova 5)

Nonostante gli effetti di rigurgito che si sono osservati, i livelli idrici si sono mantenuti inferiori all'altezza utile di ciascuna sezione, senza comportare pertanto interessamento della copertura del canale o fenomeni di esondazione nel tratto scoperto.

Nel seguito vengono riportati i profili e le tabelle relativi ai livelli idrici acquisiti durante le prove effettuate su modello fisico.

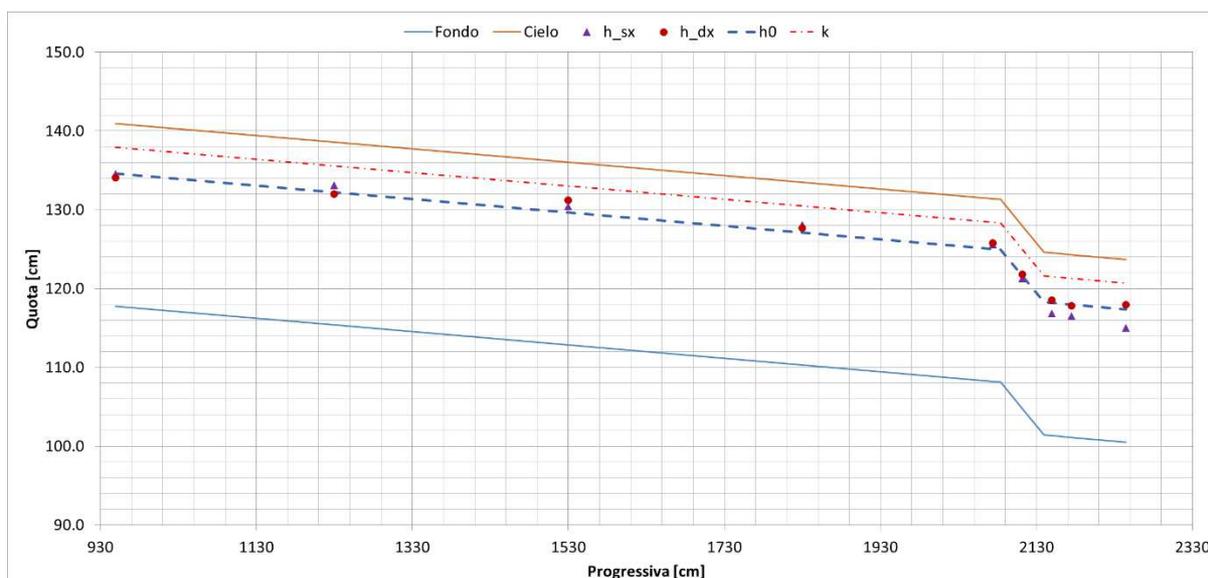


Figura 9 – PROVA 1: profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q_{galleria}=67 \text{ l/s}$

Tabella II. PROVA 1: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale di galleria per  $Q_{galleria}=67 \text{ l/s}$

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.01	950	16.8	16.3	5.04	4.89	71
15.02	1230	17.7	16.6	5.31	4.98	74
15.03	1530	17.6	18.4	5.28	5.52	78
15.04	1830	17.8	17.4	5.34	5.22	76



15.05	2074	17.4	17.6	5.22	5.28	75
15.06	2112	16.5	17.0	4.95	5.1	72
15.07	2150	15.5	17.2	4.65	5.16	70
15.08	2175	15.4	16.7	4.62	5.01	69
15.09	2245	14.5	17.4	4.35	5.22	69

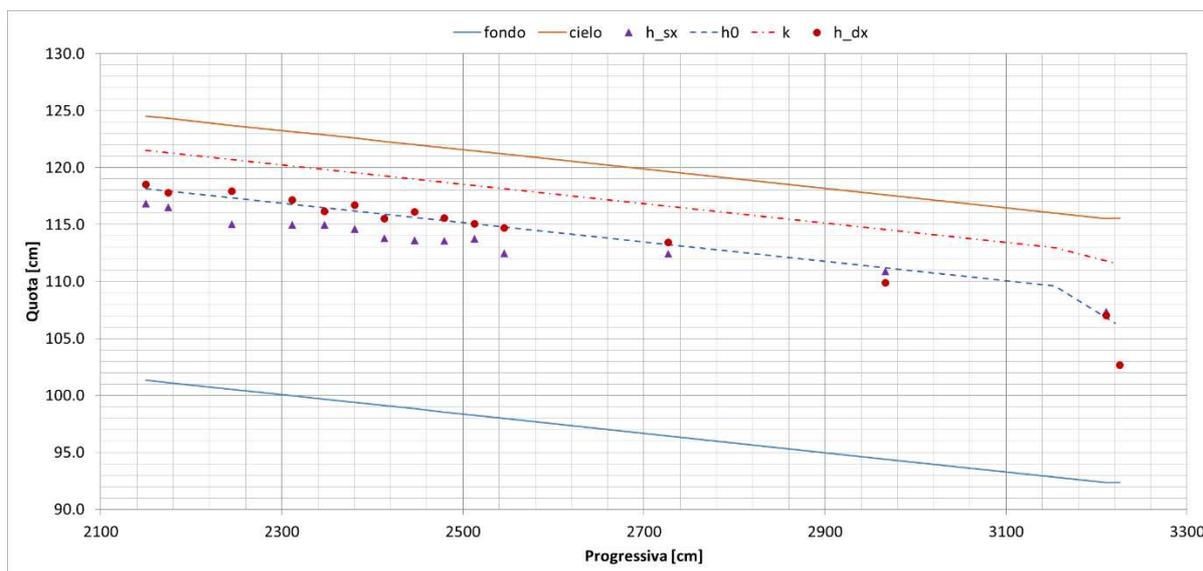


Figura 10 – PROVA 1: profilo dei livelli misurati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q_{galleria}=67 \text{ l/s}$

Tabella III. PROVA 1: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q_{galleria}=67 \text{ l/s}$

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.07	2150	15.5	17.2	4.65	5.16	70
15.08	2175	15.4	16.7	4.62	5.01	69
15.09	2245	14.5	17.4	4.35	5.22	69
16	2312	15.0	17.2	4.50	5.16	69
17	2347	15.3	16.5	4.59	4.95	69
18	2380	15.2	17.3	4.56	5.19	70
19	2413	14.7	16.4	4.41	4.92	67
20	2446	14.8	17.3	4.44	5.19	69
21	2480	15.0	17.0	4.50	5.1	69
22	2513	15.5	16.8	4.65	5.04	70
23	2546	14.5	16.7	4.35	5.01	67
23.01	2727	16.0	17.0	4.80	5.1	71
23.02	2967	16.5	15.5	4.95	4.65	69
24.01	3211	15.0	14.7	4.50	4.41	64
27	3226	-	10.3	-	3.09	44

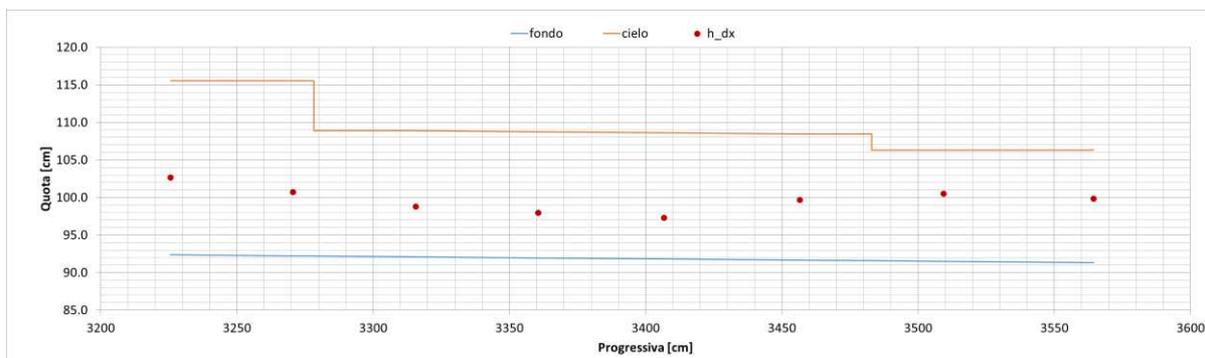


Figura 11 – PROVA 1: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=67$  l/s

Tabella IV. PROVA 1: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=67$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	10.3	-	3.09	44
28	3271	-	8.5	-	2.55	36
29	3316	-	6.7	-	2.01	40
30	3361	-	6.0	-	1.80	36
31	3407	-	5.5	-	1.65	33
32	3457	-	8.0	-	2.40	48
33	3509	-	9.0	-	2.70	61
34	3564	-	8.5	-	2.55	57

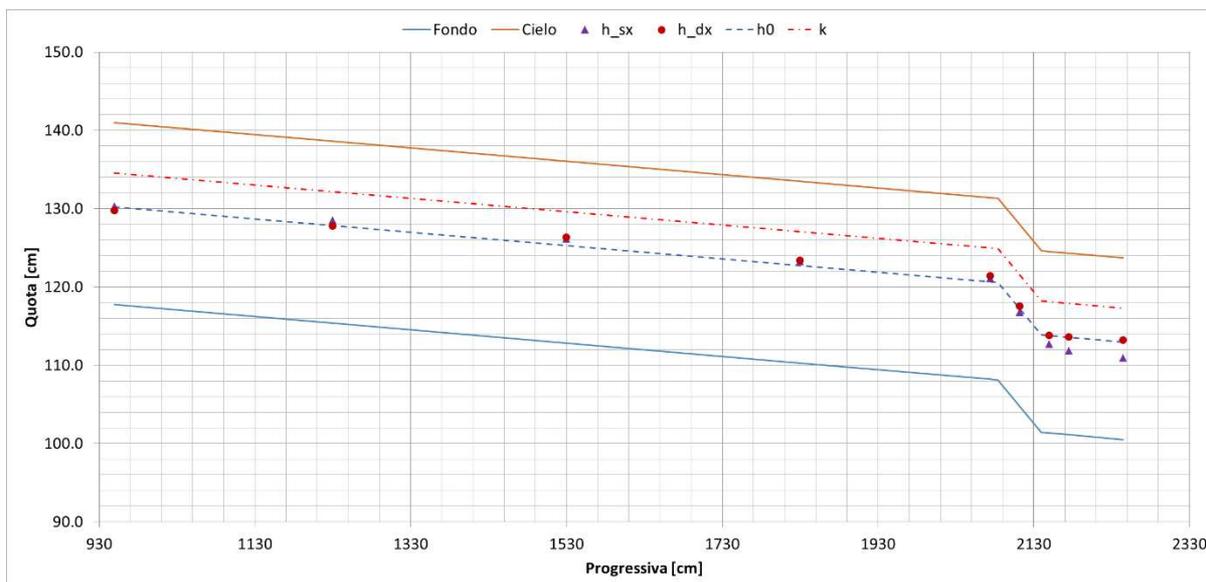


Figura 12 – PROVA 2: profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Tabella V. PROVA 2: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	



15.01	950	12.5	12.0	3.75	3.6	53
15.02	1230	13.1	12.4	3.93	3.72	55
15.03	1530	13.3	13.5	3.99	4.05	58
15.04	1830	13.0	13.1	3.9	3.93	56
15.05	2074	12.9	13.2	3.87	3.96	56
15.06	2112	12.0	12.8	3.6	3.84	53
15.07	2150	11.4	12.5	3.42	3.75	52
15.08	2175	10.7	12.5	3.21	3.75	50
15.09	2245	10.4	12.7	3.12	3.81	50

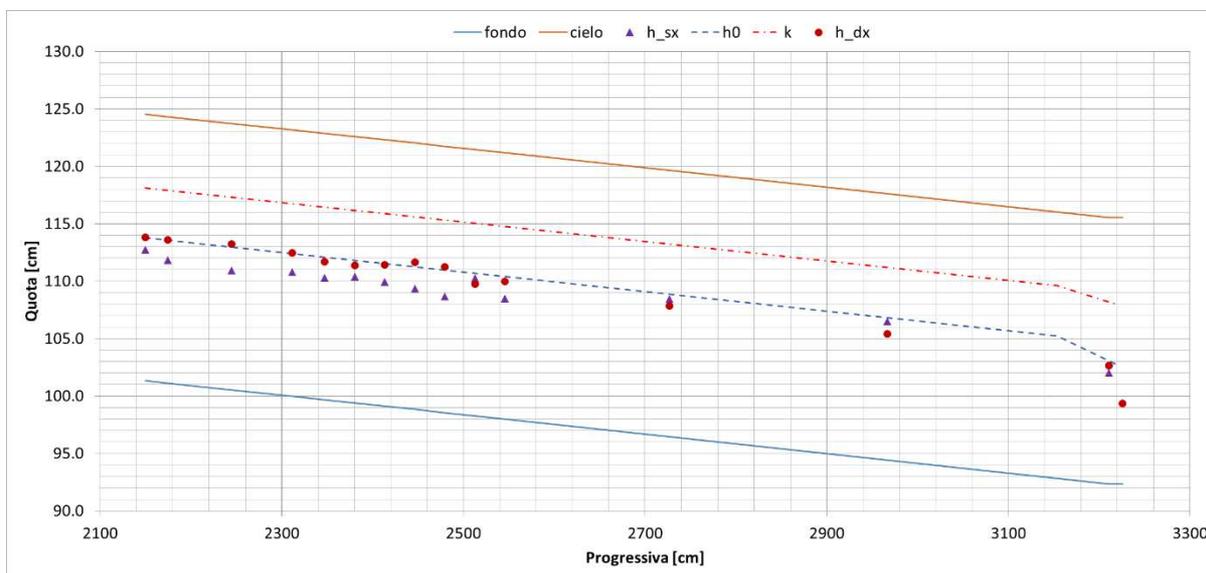


Figura 13 – PROVA 2: profilo dei livelli misurati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Tabella VI. PROVA 2: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
15.07	2150	11.4	12.5	3.42	3.75	52
15.08	2175	10.7	12.5	3.21	3.75	50
15.09	2245	10.4	12.7	3.12	3.81	50
16	2312	10.8	12.5	3.24	3.75	50
17	2347	10.6	12.0	3.18	3.6	49
18	2380	11.0	12.0	3.30	3.6	50
19	2413	10.8	12.3	3.24	3.69	50
20	2446	10.5	12.8	3.15	3.84	50
21	2480	10.1	12.7	3.03	3.81	49
22	2513	12.0	11.5	3.60	3.45	51
23	2546	10.5	12.0	3.15	3.6	48
23.01	2727	12.0	11.4	3.60	3.42	50
23.02	2967	12.1	11.0	3.63	3.3	50



24.01	3211	9.7	10.3	2.91	3.09	43
27	3226	-	7.0	-	2.1	30

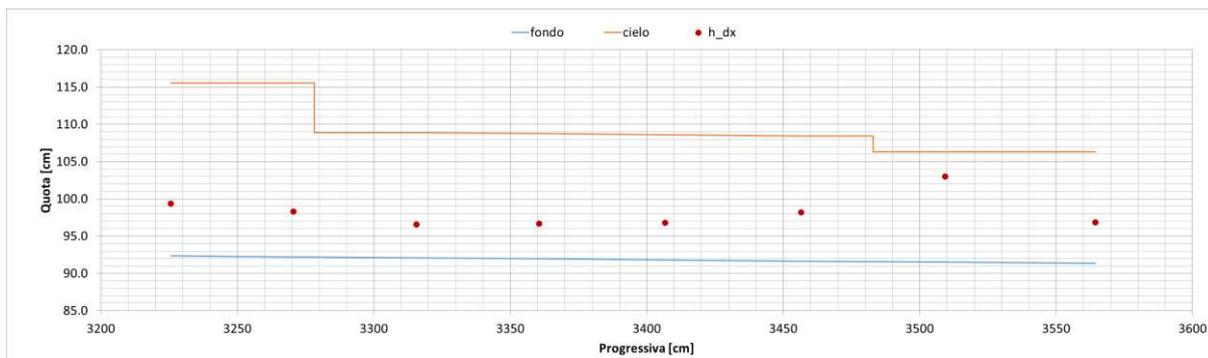


Figura 14 – PROVA 2: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Tabella VII. PROVA 2: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=45$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	7.0	-	2.10	30
28	3271	-	6.1	-	1.83	26
29	3316	-	4.5	-	1.35	27
30	3361	-	4.7	-	1.41	28
31	3407	-	5.0	-	1.50	30
32	3457	-	6.5	-	1.95	39
33	3509	-	11.5	-	3.45	78
34	3564	-	5.5	-	1.65	37

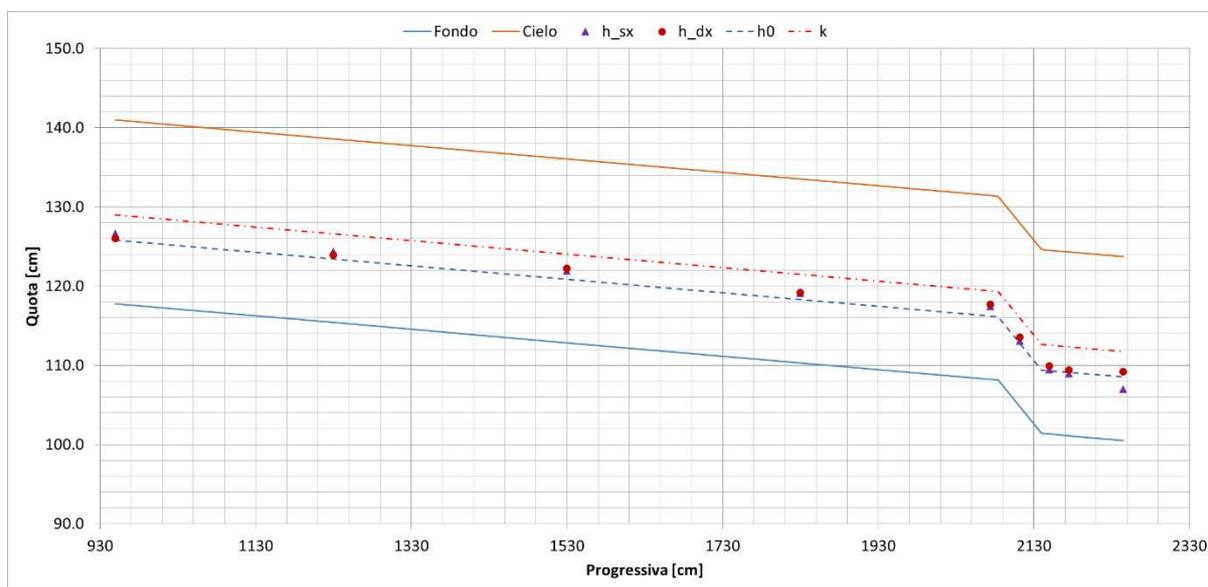


Figura 15 – PROVA 3: profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale per  $Q_{galleria}=22$  l/s



Tabella VIII. PROVA 3: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale per Q galleria=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.01	950	8.9	8.2	2.67	2.46	37
15.02	1230	9.0	8.5	2.7	2.55	38
15.03	1530	9.1	9.4	2.73	2.82	40
15.04	1830	8.8	8.9	2.64	2.67	38
15.05	2074	9.2	9.5	2.76	2.85	40
15.06	2112	8.3	8.8	2.49	2.64	37
15.07	2150	8.1	8.6	2.43	2.58	36
15.08	2175	7.8	8.3	2.34	2.49	35
15.09	2245	6.5	8.7	1.95	2.61	33

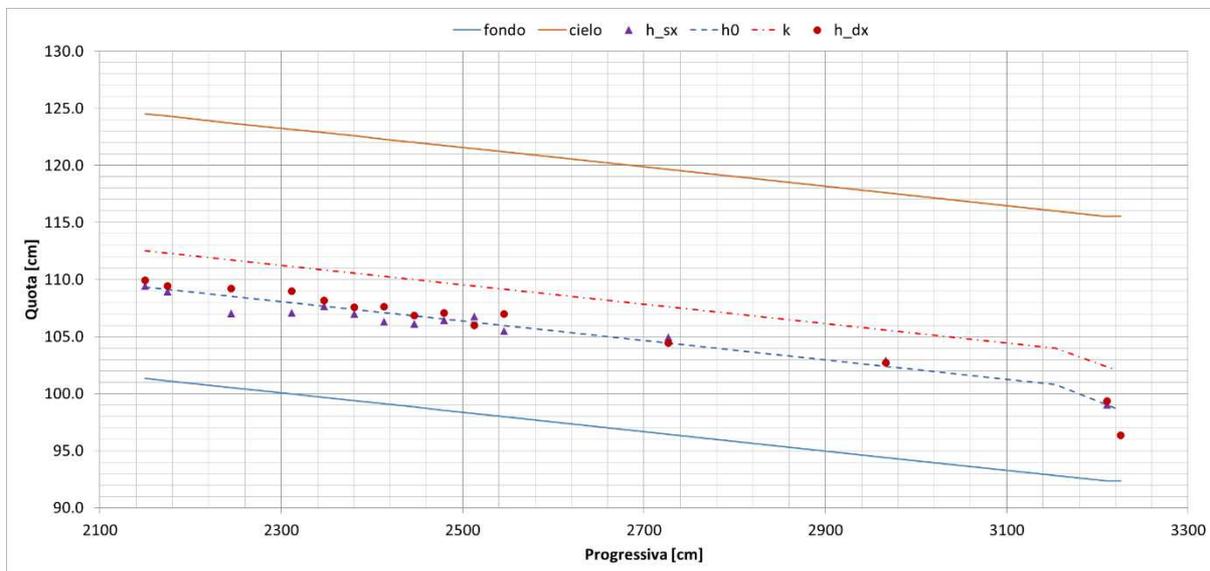


Figura 16 – PROVA 3: profilo dei livelli misurati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=22 l/s

Tabella IX. PROVA 3: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.07	2150	8.1	8.6	2.43	2.58	36
15.08	2175	7.8	8.3	2.34	2.49	35
15.09	2245	6.5	8.7	1.95	2.61	33
16	2312	7.1	9.0	2.13	2.7	35
17	2347	8.0	8.5	2.40	2.55	36
18	2380	7.6	8.2	2.28	2.46	34
19	2413	7.2	8.5	2.16	2.55	34
20	2446	7.3	8.0	2.19	2.4	33



21	2480	7.9	8.5	2.37	2.55	35
22	2513	8.5	7.7	2.55	2.31	35
23	2546	7.5	9.0	2.25	2.7	36
23.01	2727	8.5	8.0	2.55	2.4	36
23.02	2967	8.5	8.3	2.55	2.49	36
24.01	3211	6.7	7.0	2.01	2.1	30
27	3226	-	4.0	-	1.2	17

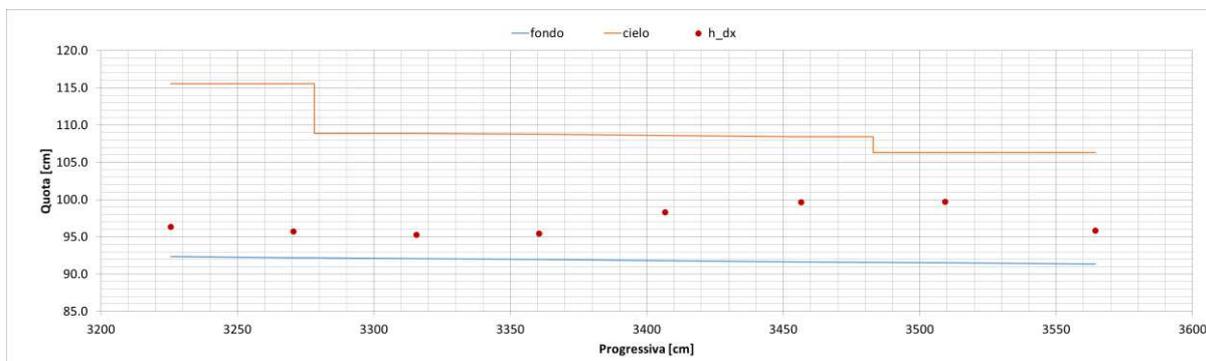


Figura 17 – PRVA 3: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=22$  l/s

Tabella X. PROVA 3: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=22$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	4.0	-	1.20	17
28	3271	-	3.5	-	1.05	15
29	3316	-	3.2	-	0.96	19
30	3361	-	3.5	-	1.05	21
31	3407	-	6.5	-	1.95	39
32	3457	-	8.0	-	2.40	48
33	3509	-	8.2	-	2.46	55
34	3564	-	4.5	-	1.35	30

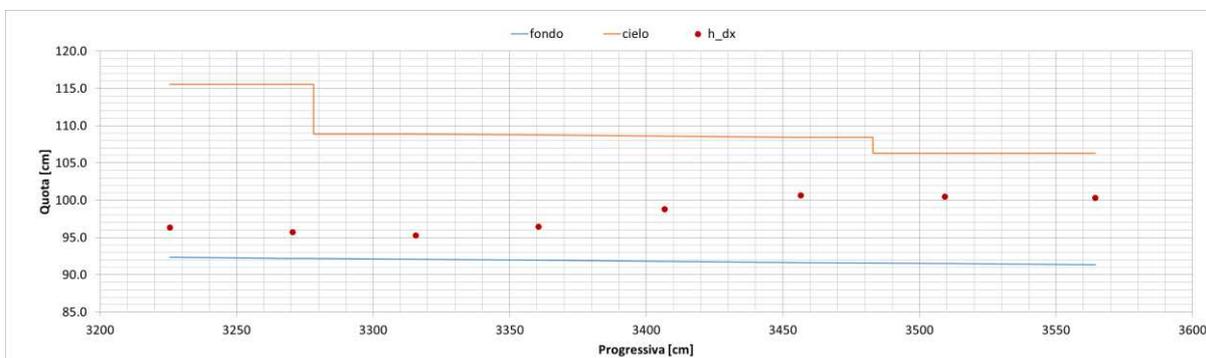


Figura 18 – PROVA 4: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=22$  l/s e  $Q_{Chiese}=45$  l/s



Tabella XI. PROVA 4: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
27	3226	-	4.0	-	1.20	17
28	3271	-	3.5	-	1.05	15
29	3316	-	3.2	-	0.96	19
30	3361	-	4.5	-	1.35	27
31	3407	-	7.0	-	2.10	42
32	3457	-	9.0	-	2.70	54
33	3509	-	9.0	-	2.70	61
34	3564	-	9.0	-	2.70	60

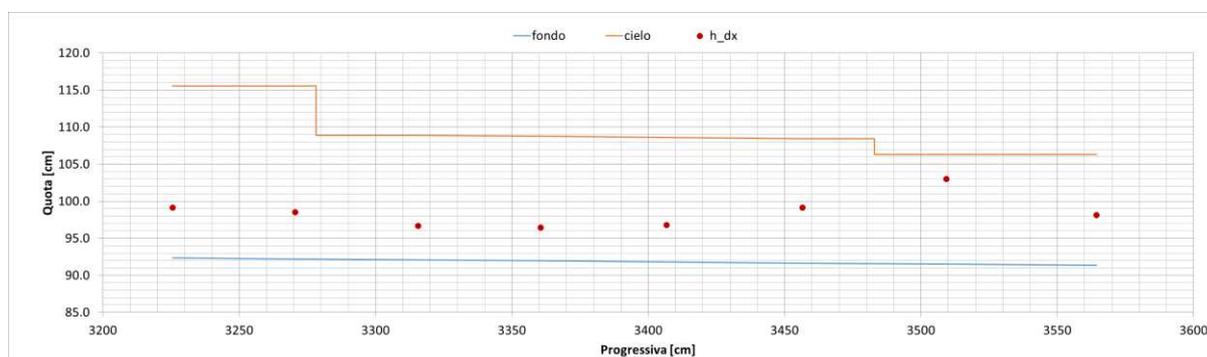


Figura 19 – PROVA 5: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

Tabella XII. PROVA 5: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
27	3226	-	6.8	-	2.04	29
28	3271	-	6.3	-	1.89	27
29	3316	-	4.6	-	1.38	27
30	3361	-	4.5	-	1.35	27
31	3407	-	5.0	-	1.50	30
32	3457	-	7.5	-	2.25	45
33	3509	-	11.5	-	3.45	78
34	3564	-	6.8	-	2.04	45

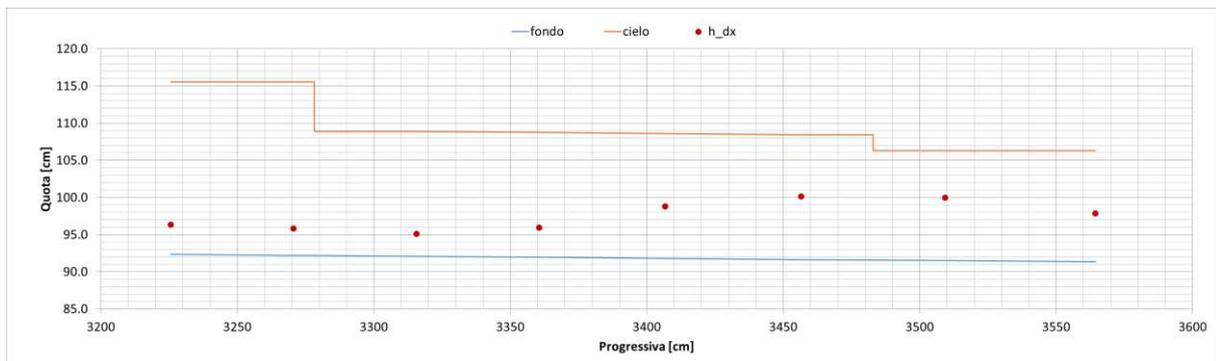


Figura 20 – PROVA 6: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=22$  l/s e  $Q_{Chiese}=22$  l/s

Tabella XIII. PROVA 6: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q_{galleria}=22$  l/s e  $Q_{Chiese}=22$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	4.0	-	1.20	17
28	3271	-	3.6	-	1.08	15
29	3316	-	3.0	-	0.90	18
30	3361	-	4.0	-	1.20	24
31	3407	-	7.0	-	2.10	42
32	3457	-	8.5	-	2.55	51
33	3509	-	8.5	-	2.55	57
34	3564	-	6.5	-	1.95	43

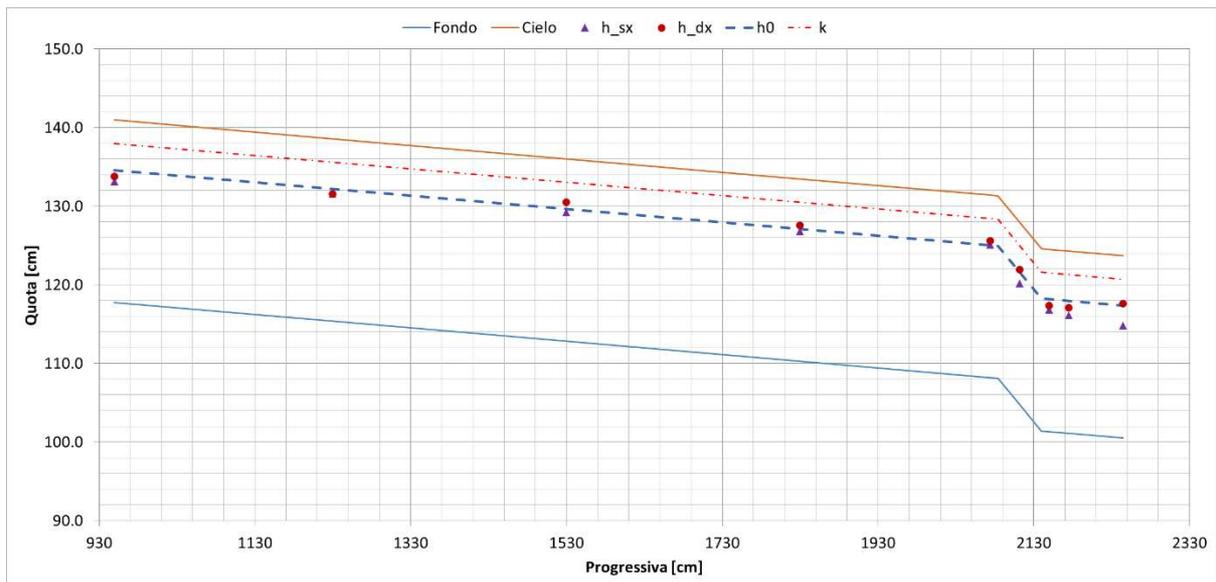


Figura 21 – PROVA 7: profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale per  $Q_{galleria}=67$  l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Tabella XIV. PROVA 7: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale per  $Q_{galleria}=67$  l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello	Prototipo	
---------	------------------	---------	-----------	--



		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	Grado Riempimento [%]
15.01	950	15.4	16.0	4.62	4.8	68
15.02	1230	16.2	16.2	4.86	4.86	70
15.03	1530	16.4	17.7	4.92	5.31	73
15.04	1830	16.5	17.3	4.95	5.19	73
15.05	2074	16.9	17.4	5.07	5.22	74
15.06	2112	15.4	17.2	4.62	5.16	70
15.07	2150	15.5	16.0	4.65	4.8	68
15.08	2175	15.0	16.0	4.5	4.8	67
15.09	2245	14.3	17.1	4.29	5.13	68

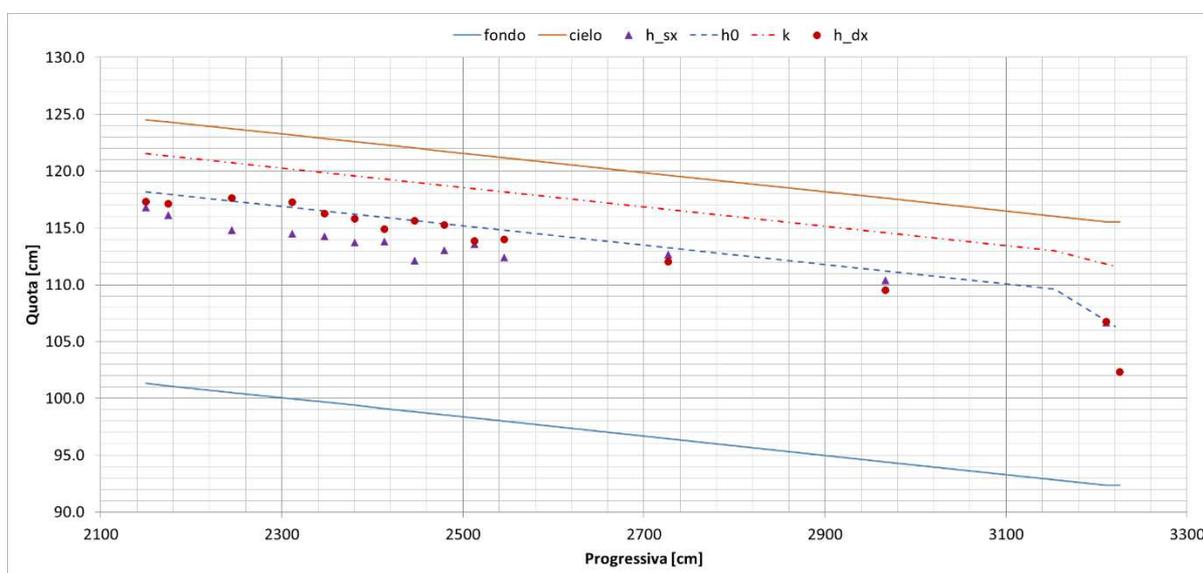


Figura 22 – PROVA 7: profilo dei livelli misurati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Tabella XV. PROVA 7: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.07	2150	15.5	16.0	4.65	4.8	68
15.08	2175	15.0	16.0	4.50	4.8	67
15.09	2245	14.3	17.1	4.29	5.13	68
16	2312	14.5	17.3	4.35	5.19	69
17	2347	14.6	16.6	4.38	4.98	67
18	2380	14.3	16.4	4.29	4.92	66
19	2413	14.7	15.8	4.41	4.74	66
20	2446	13.3	16.8	3.99	5.04	65
21	2480	14.5	16.7	4.35	5.01	67
22	2513	15.3	15.6	4.59	4.68	67
23	2546	14.4	16.0	4.32	4.8	66



23.01	2727	16.2	15.6	4.86	4.68	69
23.02	2967	16.0	15.1	4.80	4.53	67
24.01	3211	14.3	14.4	4.29	4.32	62
27	3226	-	10.0	-	3	43

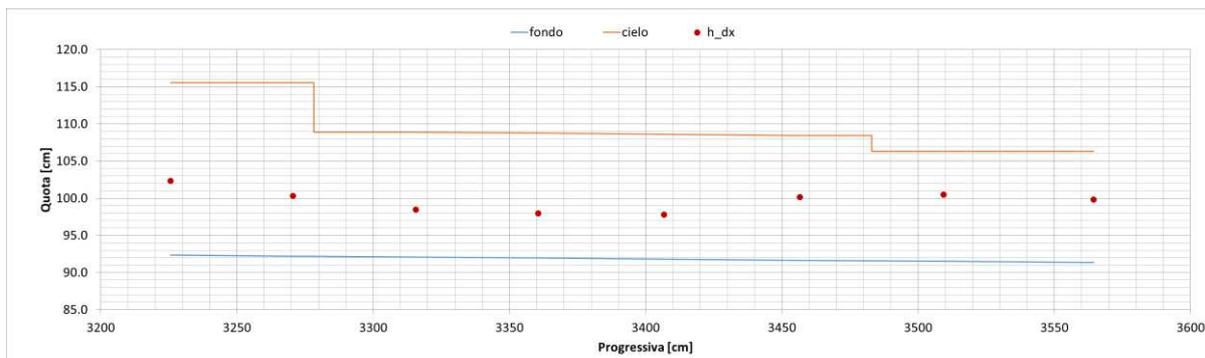


Figura 23 – PROVA 7: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Tabella XVI. PROVA 7: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	10.0	-	3.00	43
28	3271	-	8.1	-	2.43	35
29	3316	-	6.4	-	1.92	38
30	3361	-	6.0	-	1.80	36
31	3407	-	6.0	-	1.80	36
32	3457	-	8.5	-	2.55	51
33	3509	-	9.0	-	2.70	61
34	3564	-	8.5	-	2.55	57

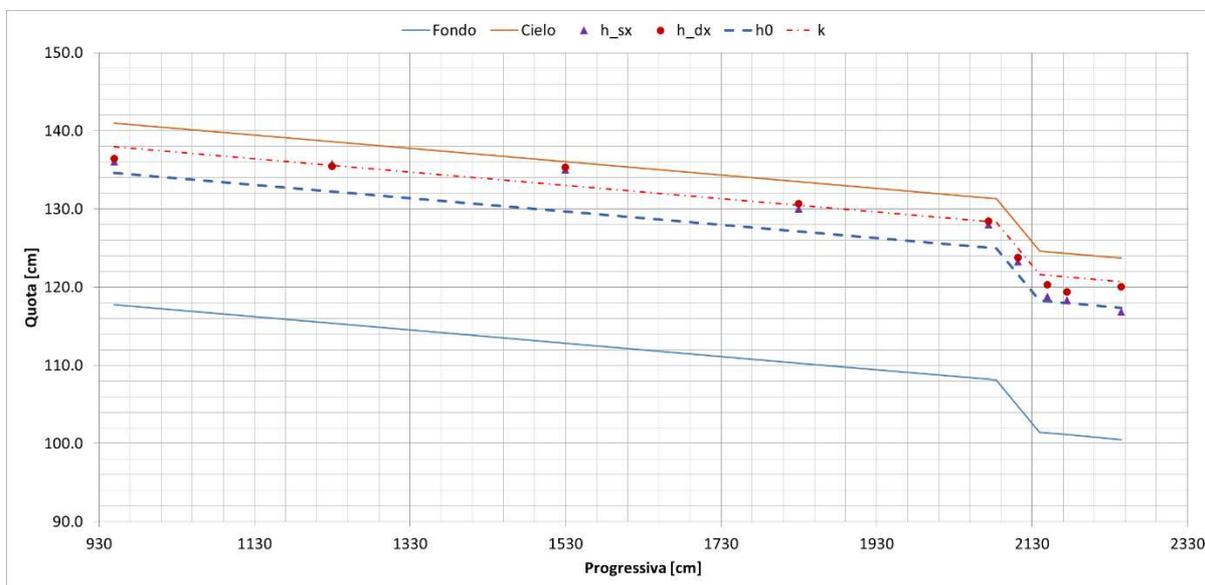


Figura 24 – PROVA 8: profilo dei livelli misurati lungo il tratto rettilineo principale per Q galleria=80 l/s

Tabella XVII. PROVA 8: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il tratto rettilineo principale per Q galleria=80 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.01	950	18.3	18.7	5.49	5.61	80
15.02	1230	20.4	20.1	6.12	6.03	87
15.03	1530	22.2	22.5	6.66	6.75	96
15.04	1830	19.7	20.4	5.91	6.12	86
15.05	2074	19.8	20.2	5.94	6.06	86
15.06	2112	18.5	19.0	5.55	5.7	81
15.07	2150	17.5	19.0	5.25	5.7	79
15.08	2175	17.2	18.3	5.16	5.49	77
15.09	2245	16.3	19.5	4.89	5.85	77

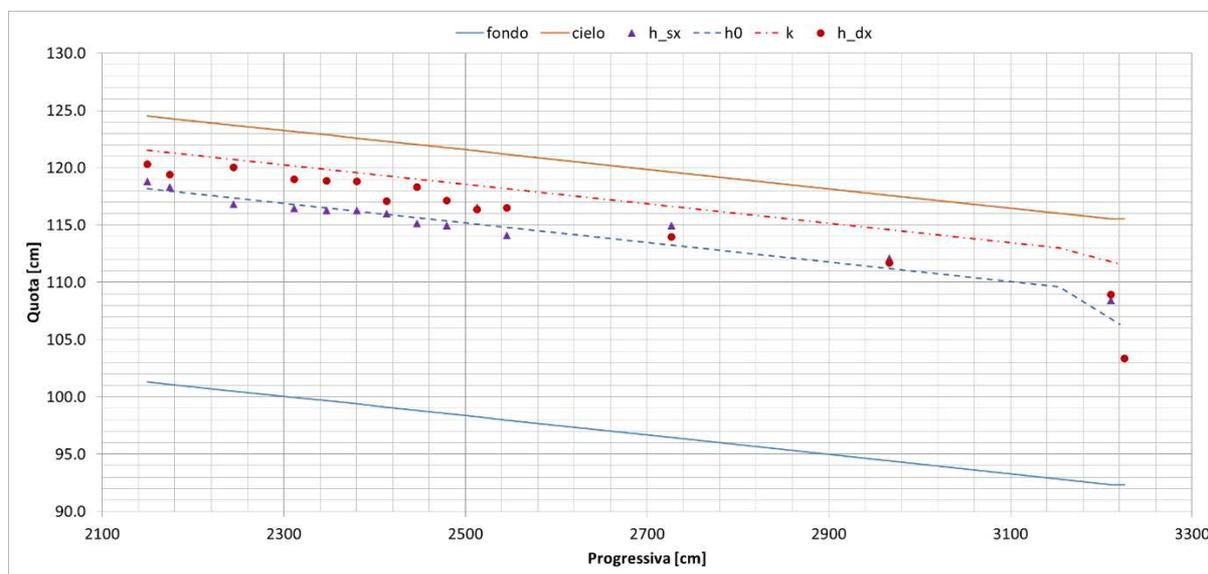


Figura 25 – PROVA 8: profilo dei livelli misurati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=80 l/s

Tabella XVIII. PROVA 8: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=80 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		h <sub>sx</sub> [cm]	h <sub>dx</sub> [cm]	h <sub>sx</sub> [m]	h <sub>dx</sub> [m]	
15.07	2150	17.5	19.0	5.25	5.7	79
15.08	2175	17.2	18.3	5.16	5.49	77
15.09	2245	16.3	19.5	4.89	5.85	77
16	2312	16.5	19.0	4.95	5.7	77
17	2347	16.6	19.2	4.98	5.76	77
18	2380	16.9	19.4	5.07	5.82	78
19	2413	16.9	18.0	5.07	5.4	75



20	2446	16.3	19.5	4.89	5.85	77
21	2480	16.4	18.6	4.92	5.58	75
22	2513	18.3	18.1	5.49	5.43	78
23	2546	16.1	18.5	4.83	5.55	75
23.01	2727	18.5	17.5	5.55	5.25	78
23.02	2967	17.7	17.3	5.31	5.19	75
24.01	3211	16.1	16.6	4.83	4.98	70
27	3226	-	11.0	-	3.3	47

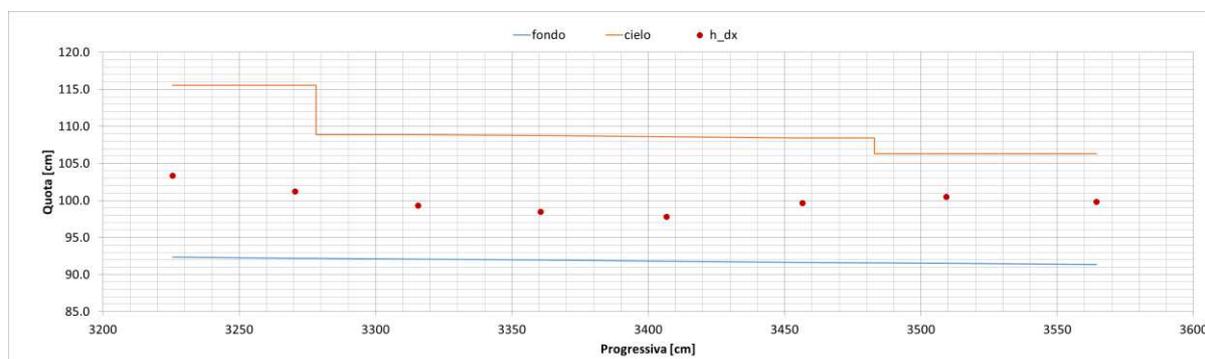


Figura 26 – PROVA 8: profilo dei livelli misurati lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=80$  l/s

Tabella XIX. PROVA 8: livelli misurati e relativo grado di riempimento lungo il canale di restitutione per  $Q_{galleria}=80$  l/s

Sezione	Progressiva [cm]	Modello		Prototipo		Grado Riempimento [%]
		$h_{sx}$ [cm]	$h_{dx}$ [cm]	$h_{sx}$ [m]	$h_{dx}$ [m]	
27	3226	-	11.0	-	3.30	47
28	3271	-	9.0	-	2.70	39
29	3316	-	7.2	-	2.16	43
30	3361	-	6.5	-	1.95	39
31	3407	-	6.0	-	1.80	36
32	3457	-	8.0	-	2.40	48
33	3509	-	9.0	-	2.70	61
34	3564	-	8.5	-	2.55	57

Lungo il nodo di confluenza i livelli sono stati misurati, come mostrato nella tavola allegata alla presente relazione, nel tratto terminale scoperto del canale di restitutione (V5), sul Chiese a monte della confluenza (V6), in corrispondenza della confluenza (V7 e V8) e a valle (V9). In generale, si sono osservati tiranti idrici contenuti all'interno delle sezioni di progetto. I livelli minimi si sono osservati in corrispondenza della confluenza nel punto di misura V8, mentre i livelli massimi si sono osservati a valle della confluenza nel punto di misura V9.



Tabella XX. Livelli misurati in ciascuna prova lungo il nodo di confluenza tra galleria e Fiume Chiese

prova	Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	Modello					Prototipo				
			h(V5) (cm)	h(V6) (cm)	h(V7) (cm)	h(V8) (cm)	h(V9) (cm)	h(V5) (m)	h(V6) (m)	h(V7) (m)	h(V8) (m)	h(V9) (m)
1	67	0	8.0	4.4	7.9	3.3	9.6	2.40	1.32	2.37	0.99	2.88
2	45	0	5.3	3.2	5.8	2.9	8.5	1.59	0.96	1.74	0.87	2.55
3	22	0	3.1	2.2	3.0	2.3	3.5	0.93	0.66	0.90	0.69	1.05
4	22	45	9.0	8.3	6.3	7.8	11.7	2.70	2.49	1.89	2.34	3.51
5	45	22	5.6	7.8	6.6	7.0	11.4	1.68	2.34	1.98	2.10	3.42
6	22	22	6.0	6.3	4.7	5.5	9.2	1.80	1.89	1.41	1.65	2.76
7	67	0	8.0	4.4	7.7	3.6	10.3	2.40	1.32	2.31	1.08	3.09
8	80	0	8.2	4.5	9.0	3.8	10.8	2.46	1.35	2.70	1.14	3.24

## 5 MISURE DI PRESSIONE IN CALOTTA

L'effetto della differente configurazione geometrica della galleria e del canale di restituzione è stato valutato anche nei confronti dell'aerazione della corrente, in particolare misurando le pressioni in calotta in 3 punti significativi (P3, P4 e P5 come riportato nella tavola allegata) posti in mezzeria del tratto rettilineo principale, subito più a valle degli aerofori presenti nel divergente del canale di restituzione e nel semicanale di destra subito più a monte della prima soglia trasversale.

Le pressioni negative maggiori si sono osservate nella prova 1 con portata in galleria pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo), pur attestandosi su valori di circa -25 cm di colonna d'acqua alla scala del prototipo, tali da non evidenziare una particolare insufficienza nell'aerazione della corrente lungo il tratto rettilineo principale o lungo il canale di restituzione.

Tabella XXI. PROVA 1: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=67 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	-0.2	-0.2	-0.3	-7.1	-6.7	-8.0
min	-0.9	-0.7	-0.8	-26.0	-22.1	-23.8
media	-0.5	-0.5	-0.5	-16.4	-14.1	-15.2

Tabella XXII. PROVA 2: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=45 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.3
min	-0.3	-0.3	-0.3	-7.7	-7.7	-8.0



	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
media	-0.1	-0.1	-0.1	-3.8	-3.6	-4.0

Tabella XXIII. PROVA 3: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.1
min	-0.2	-0.2	-0.3	-5.5	-7.4	-7.6
media	-0.1	-0.1	-0.2	-2.6	-3.9	-4.6

Tabella XXIV. PROVA 4: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.1	0.1	0.1	3.8	2.7	2.9
min	0.0	-0.1	-0.1	-0.5	-1.8	-2.5
media	0.1	0.0	0.0	1.8	0.9	1.0

Tabella XXV. PROVA 5: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.1
min	-0.2	-0.2	-0.2	-6.6	-6.1	-5.6
media	-0.1	-0.1	-0.1	-3.3	-2.7	-2.2

Tabella XXVI. PROVA 6: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=22 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	0.6
min	-0.2	-0.2	-0.2	-5.2	-5.4	-5.4
media	-0.1	-0.1	-0.1	-3.0	-2.7	-3.1



Tabella XXVII. PROVA 7: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.5	0.5
min	-0.1	-0.1	-0.1	-4.0	-2.6	-2.8
media	-0.1	0.0	0.0	-1.8	-1.0	-1.1

Tabella XXVIII. PROVA 8: pressioni in calotta lungo il tratto rettilineo principale e lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=80 l/s

	Modello			Prototipo		
	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)	P3 (cm H <sub>2</sub> O)	P4 (cm H <sub>2</sub> O)	P5 (cm H <sub>2</sub> O)
max	0.0	0.0	0.0	-0.3	-0.1	1.0
min	-0.6	-0.5	-0.5	-17.6	-15.2	-14.3
media	-0.3	-0.2	-0.2	-9.0	-7.4	-6.5

## 6 MISURE DI VELOCITÀ

Le velocità in galleria e lungo il canale di restituzione sono state misurate indirettamente come velocità medie sulla sezione, nota la portata, il tirante e la geometria dell'opera.

Le velocità massime in galleria si sono osservate a valle dello scivolo con pendenza 12% posto al termine del tratto rettilineo principale (sezioni 15.07, 15.08 e 15.09), con valori compresi tra 2.0 e 2.2 m/s (11.0-12.0 m/s nel prototipo) in particolare nelle prove 1, 7 e 8 con portate di 67 l/s e 80 l/s (332 mc/s e 394 mc/s nel prototipo).

Lungo il canale di restituzione le velocità massime si sono osservate in corrispondenza della sezione di monte del tratto divergente (sezione 27 alla progressiva 3226 cm), con valori di circa 2.6-2.7 m/s (14.3-14.7 m/s nel prototipo) nelle prove 1, 2, 5 e 7 con portate di 67 l/s e 45 l/s (332 mc/s e 221 mc/s nel prototipo), mentre si è osservato un valore massimo di 2.9 m/s (16.0 m/s nel prototipo) nella prova 8 con portata di 80 l/s (394 mc/s nel prototipo).

Tabella XXIX. PROVA 1: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per  $Q$  galleria=67 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.94	10.60
15.02	1230	1.86	10.20
15.03	1530	1.77	9.68
15.04	1830	1.81	9.92
15.05	2074	1.82	9.98
15.06	2112	1.91	10.47
15.07	2150	1.96	10.74



15.08	2175	2.00	10.96
15.09	2245	2.01	11.04

Tabella XXX. PROVA 1: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q$  galleria=67 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.96	10.74
15.08	2175	2.00	10.96
15.09	2245	2.01	11.04
16	2312	1.99	10.92
17	2347	2.02	11.07
18	2380	1.97	10.82
19	2413	2.07	11.35
20	2446	2.00	10.96
21	2480	2.01	11.00
22	2513	1.99	10.89
23	2546	2.06	11.31
23.01	2727	1.94	10.64
23.02	2967	2.01	11.00
24.01	3211	1.95	10.71
27	3226	2.63	14.42

Tabella XXXI. PROVA 1: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=67 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.63	14.42
28	3271	2.17	11.91
29	3316	2.02	11.07
30	3361	1.92	10.50
31	3407	2.08	11.39
32	3457	1.39	7.61
33	3509	1.13	6.22
34	3564	1.12	6.11

Tabella XXXII. PROVA 2: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per  $Q$  galleria=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.81	9.91
15.02	1230	1.73	9.48
15.03	1530	1.64	8.97
15.04	1830	1.69	9.24
15.05	2074	1.69	9.24
15.06	2112	1.78	9.77



15.07	2150	1.86	10.19
15.08	2175	1.92	10.53
15.09	2245	1.93	10.58

Tabella XXXIII. PROVA 2: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q$  galleria=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.86	10.19
15.08	2175	1.65	9.06
15.09	2245	1.66	9.09
16	2312	1.65	9.02
17	2347	1.69	9.28
18	2380	1.67	9.13
19	2413	1.66	9.09
20	2446	1.65	9.02
21	2480	1.68	9.20
22	2513	1.63	8.95
23	2546	1.70	9.32
23.01	2727	1.64	8.99
23.02	2967	1.66	9.09
24.01	3211	1.90	10.38
27	3226	2.60	14.26

Tabella XXXIV. PROVA 2: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.60	14.26
28	3271	2.03	11.14
29	3316	2.02	11.07
30	3361	1.64	9.00
31	3407	1.54	8.41
32	3457	1.15	6.29
33	3509	0.60	3.27
34	3564	1.16	6.34

Tabella XXXV. PROVA 3: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per  $Q$  galleria=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.33	7.30
15.02	1230	1.30	7.11
15.03	1530	1.22	6.66
15.04	1830	1.28	7.01
15.05	2074	1.20	6.58



15.06	2112	1.33	7.30
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.43	7.84
15.09	2245	1.53	8.40

Tabella XXXVI. PROVA 3: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q$  galleria=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.13	6.18
15.09	2245	1.19	6.51
16	2312	1.13	6.18
17	2347	1.10	6.05
18	2380	1.15	6.29
19	2413	1.15	6.32
20	2446	1.18	6.47
21	2480	1.11	6.08
22	2513	1.12	6.15
23	2546	1.10	6.05
23.01	2727	1.10	6.05
23.02	2967	1.09	5.95
24.01	3211	1.30	7.13
27	3226	2.23	12.20

Tabella XXXVII. PROVA 3: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.23	12.20
28	3271	1.73	9.49
29	3316	1.39	7.61
30	3361	1.08	5.91
31	3407	0.58	3.16
32	3457	0.46	2.50
33	3509	0.41	2.24
34	3564	0.69	3.79

Tabella XXXVIII. PROVA 4: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per  $Q$  galleria=22 l/s e  $Q$  Chiese=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.33	7.30
15.02	1230	1.30	7.11
15.03	1530	1.22	6.66



15.04	1830	1.28	7.01
15.05	2074	1.20	6.58
15.06	2112	1.33	7.30
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.43	7.84
15.09	2245	1.53	8.40

Tabella XXXIX. PROVA 4: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.13	6.18
15.09	2245	1.19	6.51
16	2312	1.13	6.18
17	2347	1.10	6.05
18	2380	1.15	6.29
19	2413	1.15	6.32
20	2446	1.18	6.47
21	2480	1.11	6.08
22	2513	1.12	6.15
23	2546	1.10	6.05
23.01	2727	1.19	6.51
23.02	2967	1.16	6.36
24.01	3211	1.35	7.37
27	3226	2.23	12.20

Tabella XL. PROVA 4: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.23	12.20
28	3271	1.73	9.49
29	3316	1.39	7.61
30	3361	0.84	4.60
31	3407	0.54	2.94
32	3457	0.41	2.22
33	3509	0.37	2.04
34	3564	0.35	1.90

Tabella XLI. PROVA 5: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.81	9.91



15.02	1230	1.73	9.48
15.03	1530	1.64	8.97
15.04	1830	1.69	9.24
15.05	2074	1.69	9.24
15.06	2112	1.78	9.77
15.07	2150	1.86	10.19
15.08	2175	1.92	10.53
15.09	2245	1.93	10.58

Tabella XLII. PROVA 5: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q$  galleria=45 l/s e  $Q$  Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.86	10.19
15.08	2175	1.65	9.06
15.09	2245	1.66	9.09
16	2312	1.65	9.02
17	2347	1.69	9.28
18	2380	1.67	9.13
19	2413	1.66	9.09
20	2446	1.65	9.02
21	2480	1.68	9.20
22	2513	1.63	8.95
23	2546	1.70	9.32
23.01	2727	1.62	8.88
23.02	2967	1.64	8.99
24.01	3211	1.84	10.06
27	3226	2.68	14.67

Tabella XLIII. PROVA 5: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=45 l/s e  $Q$  Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.68	14.67
28	3271	1.97	10.79
29	3316	1.98	10.82
30	3361	1.72	9.40
31	3407	1.54	8.41
32	3457	1.00	5.45
33	3509	0.60	3.27
34	3564	0.94	5.13



Tabella XLIV. PROVA 6: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per  $Q$  galleria=22 l/s e  $Q$  Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	1.33	7.30
15.02	1230	1.30	7.11
15.03	1530	1.22	6.66
15.04	1830	1.28	7.01
15.05	2074	1.20	6.58
15.06	2112	1.33	7.30
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.43	7.84
15.09	2245	1.53	8.40

Tabella XLV. PROVA 6: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per  $Q$  galleria=22 l/s e  $Q$  Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	1.37	7.51
15.08	2175	1.13	6.18
15.09	2245	1.19	6.51
16	2312	1.13	6.18
17	2347	1.10	6.05
18	2380	1.15	6.29
19	2413	1.15	6.32
20	2446	1.18	6.47
21	2480	1.11	6.08
22	2513	1.12	6.15
23	2546	1.10	6.05
23.01	2727	1.14	6.25
23.02	2967	1.12	6.11
24.01	3211	1.34	7.32
27	3226	2.23	12.20

Tabella XLVI. PROVA 6: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per  $Q$  galleria=22 l/s e  $Q$  Chiese=22 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.23	12.20
28	3271	1.69	9.23
29	3316	1.48	8.11
30	3361	0.94	5.17
31	3407	0.54	2.94
32	3457	0.43	2.35
33	3509	0.39	2.16



34	3564	0.48	2.62
----	------	------	------

Tabella XLVII. PROVA 7: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	2.05	11.23
15.02	1230	1.98	10.85
15.03	1530	1.87	10.27
15.04	1830	1.89	10.37
15.05	2074	1.86	10.20
15.06	2112	1.97	10.78
15.07	2150	2.04	11.19
15.08	2175	2.08	11.38
15.09	2245	2.05	11.23

Tabella XLVIII. PROVA 7: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	2.04	11.19
15.08	2175	1.88	10.28
15.09	2245	1.85	10.16
16	2312	1.83	10.04
17	2347	1.87	10.22
18	2380	1.89	10.38
19	2413	1.91	10.44
20	2446	1.93	10.57
21	2480	1.87	10.22
22	2513	1.88	10.31
23	2546	1.91	10.47
23.01	2727	1.83	10.04
23.02	2967	1.87	10.25
24.01	3211	2.02	11.06
27	3226	2.71	14.86

Tabella XLIX. PROVA 7: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.71	14.86
28	3271	2.28	12.49
29	3316	2.11	11.58
30	3361	1.92	10.50



31	3407	1.91	10.44
32	3457	1.31	7.16
33	3509	1.13	6.22
34	3564	1.12	6.11

Tabella L. PROVA 8: valori di velocità determinati lungo il tratto rettilineo per Q galleria=80 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.01	950	2.05	11.23
15.02	1230	1.86	10.19
15.03	1530	1.68	9.18
15.04	1830	1.88	10.30
15.05	2074	1.89	10.33
15.06	2112	2.02	11.07
15.07	2150	2.08	11.39
15.08	2175	2.14	11.74
15.09	2245	2.12	11.63

Tabella LI. PROVA 8: valori di velocità determinati lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria per Q galleria=80 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
15.07	2150	2.08	11.39
15.08	2175	1.97	10.80
15.09	2245	1.96	10.71
16	2312	1.97	10.80
17	2347	1.96	10.71
18	2380	1.93	10.57
19	2413	2.00	10.98
20	2446	1.96	10.71
21	2480	2.00	10.95
22	2513	1.93	10.54
23	2546	2.02	11.07
23.01	2727	1.95	10.66
23.02	2967	2.00	10.95
24.01	3211	2.13	11.67
27	3226	2.94	16.13

Tabella LII. PROVA 8: valori di velocità determinati lungo il canale di restituzione per Q galleria=80 l/s

Sezione	Progressiva [cm]	V modello [m/s]	V prototipo [m/s]
27	3226	2.94	16.13
28	3271	2.45	13.43
29	3316	2.24	12.29



30	3361	2.11	11.57
31	3407	2.28	12.46
32	3457	1.66	9.09
33	3509	1.36	7.42
34	3564	1.33	7.30

È stato inoltre possibile valutare la riduzione di velocità indotta dalle soglie trasversali lungo il canale di restituzione come differenza tra la velocità nella sezione di monte (sezione 27 all'inizio del tratto divergente) e a valle dell'ultima soglia di dissipazione (punto di misura V5).

Tabella LIII. Riduzioni di velocità indotte lungo il canale di restituzione

prova	Q galleria (l/s)	Q Chiese (l/s)	$\Delta V$ modello (m/s)	$\Delta V$ prototipo (m/s)
1	67	0	1.71	9.39
2	45	0	1.57	8.61
3	22	0	1.22	6.66
4	22	45	1.75	9.57
5	45	22	1.74	9.53
6	22	22	1.57	8.58
7	67	0	1.80	9.87
8	80	0	2.00	10.98

L'abbattimento di velocità è risultato significativo in tutte le prove eseguite, con differenze tra monte e valle da 1.2 m/s a 2 m/s (6.7 m/s e 11.0 m/s nel prototipo). In particolare, la configurazione con 4 soglie trasversali sporgenti di cui quella posta più a valle con altezza maggiorata (3 cm a fronte dei 2 cm delle soglie più a monte), è risultata efficace nella dissipazione energetica della componente cinetica, determinando valori di velocità più che dimezzati rispetto a quelli di monte.

Lungo il nodo di confluenza le velocità sono state misurate mediante l'utilizzo dei velocimetri tipo "vectrino" e, nei casi in cui il livello idrico non fosse stato sufficiente per poter impiegare tali strumenti (almeno 6-7 cm) oppure qualora i parametri di affidabilità non fossero stati soddisfacenti (correlazione  $\geq 70\%$  e SNR  $\geq 5$  dB), con micro mulinello.

Le velocità alla confluenza sono state rilevate nei punti di misura e secondo le due componenti x e y riportati nella tavola allegata alla presente relazione, in modo da poter fornire un utile riferimento della direzione e del verso di flusso oltre che del loro modulo.

Le velocità massime si sono osservate in corrispondenza della confluenza nel punto di misura V8, in particolare si sono rilevati valori di 1.1 m/s (6.0 m/s nel prototipo) nelle prove 1 e 2 rispettivamente con 67 l/s e 45 l/s (332 mc/s e 221 mc/s nel prototipo) esitati dalla sola galleria, mentre una velocità massima di 1.2 m/s (6.4 m/s nel prototipo) è stata misurata nella prova 7 con 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) sempre rilasciati tramite la galleria e livello di massimo invaso ottenuto regolando le



paratoie con un grado di apertura dell'87% (13 cm nel modello pari a 3.9 m nel prototipo). La prova 8 con 80 l/s (394 mc/s nel prototipo) ha portato ad osservare, per lo stesso punto di misura, una velocità massima di 1.4 m/s (7.7 m/s nel prototipo).

Tabella LIV. PROVA 1: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=67 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
V5	0.85	0.36	0.92	4.65	1.94	5.04
V6	-0.25	-0.30	0.39	-1.36	-1.62	2.11
V7	0.91	0.26	0.95	5.00	1.41	5.20
V8	1.04	0.37	1.11	5.70	2.04	6.06
V9	0.79	0.08	0.79	4.30	0.43	4.32

Tabella LV. PROVA 2: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=45 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
V5	0.95	0.41	1.03	5.18	2.25	5.64
V6	-0.29	-0.26	0.39	-1.57	-1.44	2.13
V7	0.71	0.28	0.76	3.86	1.54	4.16
V8	1.04	0.35	1.10	5.70	1.90	6.01
V9	0.42	0.25	0.49	2.29	1.36	2.67

Tabella LVI. PROVA 3: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=22 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
V5	0.91	0.44	1.01	5.00	2.42	5.56
V6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V7	0.67	0.25	0.71	3.66	1.36	3.90
V8	0.96	0.34	1.02	5.26	1.84	5.58
V9	0.81	0.40	0.90	4.43	2.17	4.93

Tabella LVII. PROVA 4: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=22 l/s e Q Chiese=45 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
V5	0.42	0.24	0.48	2.29	1.29	2.63
V6	0.60	-0.22	0.64	3.29	-1.23	3.51
V7	0.52	-0.05	0.52	2.84	-0.30	2.85
V8	0.72	0.24	0.76	3.95	1.31	4.16
V9	0.51	0.28	0.58	2.80	1.54	3.19

Tabella LVIII. PROVA 5: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=45 l/s e Q Chiese=22 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
V5	0.87	0.36	0.94	4.78	1.94	5.16
V6	0.29	-0.09	0.30	1.58	-0.49	1.66
V7	0.59	0.03	0.59	3.24	0.15	3.25



punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
<b>V8</b>	0.83	0.31	0.89	4.56	1.71	4.87
<b>V9</b>	0.47	0.26	0.53	2.55	1.41	2.91

Tabella LIX. PROVA 6: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=22 l/s Q Chiese=22 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
<b>V5</b>	0.60	0.27	0.66	3.30	1.49	3.62
<b>V6</b>	0.35	-0.19	0.39	1.90	-1.02	2.15
<b>V7</b>	0.66	0.22	0.70	3.63	1.21	3.83
<b>V8</b>	0.69	0.27	0.74	3.78	1.49	4.07
<b>V9</b>	0.40	0.27	0.48	2.17	1.46	2.62

Tabella LX. PROVA 7: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=67 l/s e livello di massimo invaso (apertura paratoie 87%)

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
<b>V5</b>	0.81	0.41	0.91	4.43	2.25	4.97
<b>V6</b>	-0.26	-0.24	0.35	-1.41	-1.31	1.93
<b>V7</b>	0.92	0.29	0.96	5.04	1.57	5.28
<b>V8</b>	1.07	0.47	1.17	5.88	2.55	6.41
<b>V9</b>	0.78	0.07	0.78	4.26	0.37	4.28

Tabella LXI. PROVA 8: velocità misurate lungo il nodo di confluenza per Q galleria=80 l/s

punto di misura	Modello			Prototipo		
	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	V (m/s)
<b>V5</b>	0.85	0.40	0.94	4.66	2.19	5.15
<b>V6</b>	-0.27	-0.26	0.37	-1.48	-1.42	2.05
<b>V7</b>	0.81	0.27	0.85	4.44	1.48	4.68
<b>V8</b>	1.32	0.47	1.40	7.23	2.57	7.67
<b>V9</b>	0.80	0.06	0.80	4.38	0.33	4.39

## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le modifiche apportate su modello fisico sono state valutate secondo la loro funzionalità idraulica a seguito di 8 prove caratterizzate da differenti portate ripartite tra galleria e Fiume Chiese. In particolare, le prove si sono concentrate lungo il tratto rettilineo principale, la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria, lungo il canale di restituzione e al nodo di confluenza tra galleria e Fiume Chiese.

Lo scivolo a pendenza 12% posto al termine del tratto rettilineo principale di galleria ha comportato un generale miglioramento del grado di riempimento rispetto alla soluzione originaria a pendenza



costante dello 0.85%; per la portata di 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) si è osservato un grado di riempimento massimo pari al 78% in corrispondenza della sezione 15.03 alla progressiva 1530 cm.

Le prove effettuate hanno portato inoltre ad osservare, in generale, una maggior stabilità del profilo idrico lungo la curva di valle e il tratto rettilineo terminale di galleria. In particolare, nella prova 1 con portata pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) il massimo sovrizzo ondoso che si è osservato è stato di 2.9 cm (0.87 m nel prototipo), mentre il massimo sovrizzo assoluto osservato nel complesso delle prove è stato di 3.5 cm (1.05 m nel prototipo) per la prova 7 con portata in galleria di 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) e livello nel serbatoio di alimentazione corrispondente al livello di massimo invaso del lago (271.23 m slm), ottenuto parzializzando le paratoie ad un'apertura dell'87% (13.0 cm nel modello pari a 3.90 m nel prototipo).

Le velocità massime in galleria si sono osservate a valle dello scivolo con pendenza 12% posto al termine del tratto rettilineo principale, con valori compresi tra 2.0 e 2.2 m/s (11.0-12.0 m/s nel prototipo) in particolare nelle prove 1, 7 e 8 con portate di 67 l/s e 80 l/s (332 mc/s e 394 mc/s nel prototipo); mentre nel canale di restituzione le velocità massime si sono osservate in corrispondenza della sezione di monte del tratto divergente, con valori di 2.6-2.7 m/s (14.3-14.7 m/s nel prototipo) nelle prove 1, 2, 5 e 7 con portate di 67 l/s e 45 l/s (332 mc/s e 221 mc/s nel prototipo), nella prova 8 con portata di 80 l/s (394 mc/s nel prototipo) il valore massimo è stato di 2.9 m/s (16.0 m/s nel prototipo).

La nuova forma della testa del setto longitudinale del canale di restituzione ha determinato un miglioramento dell'idrodinamica rispetto alle differenti configurazioni testate nelle precedenti prove, evitando sovrizzi localizzati che impattassero sulla copertura e comportando una riduzione delle perturbazioni ondose lungo il canale stesso.

Le 4 soglie trasversali lungo il canale di restituzione di cui quella posta più a valle con altezza maggiorata (3 cm corrispondenti a 90 cm nel prototipo a fronte dei 2 cm corrispondenti a 60 cm nel prototipo per le soglie più a monte) hanno comportato mediamente livelli più alti dovuti anche ad effetti di rigurgito con formazione di risalti idraulici in particolare per portata esitata dalla galleria pari a 45 l/s (221 mc/s nel prototipo) sia con portata nulla in Chiese che con portata di 22 l/s (111 mc/s nel prototipo) e per la ripartizione di portate tra galleria e Fiume Chiese rispettivamente di 22 l/s e 45 l/s (111 mc/s e 221 mc/s nel prototipo). Ciò non ha comunque comportato né tiranti idrici critici né insufficienze di aerazione della corrente lungo il canale di restituzione, a fronte di un miglioramento nell'abbattimento delle velocità rispetto alla soluzione originaria con 4 soglie di pari altezza (2 cm corrispondenti a 60 cm nel prototipo).



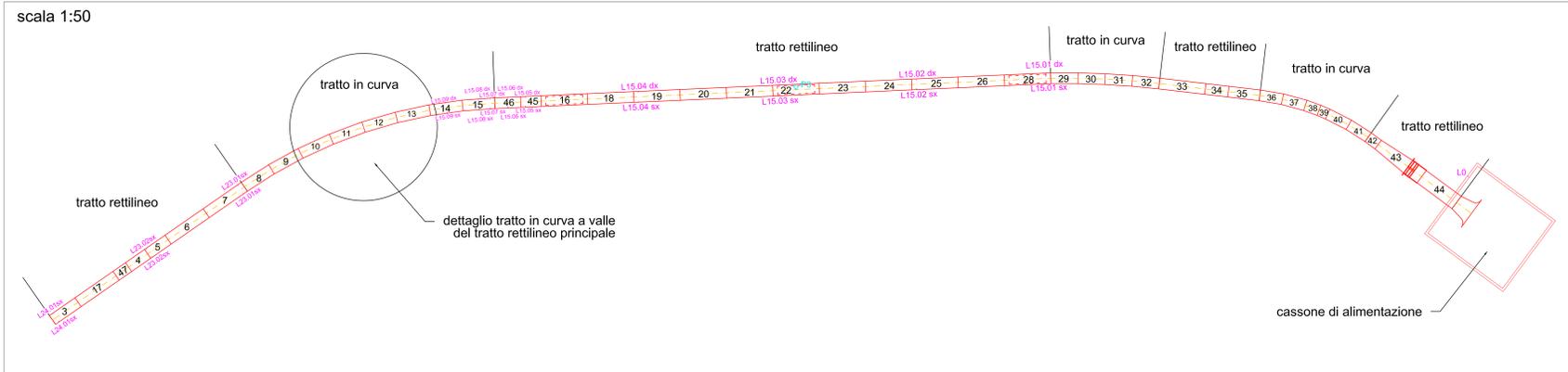
Relativamente al nodo di confluenza, le velocità massime che si sono osservate in corrispondenza della sezione di confluenza sono state di 1.1 m/s (6.0 m/s nel prototipo) nelle prove 1 e 2 rispettivamente con 67 l/s e 45 l/s (332 mc/s e 221 mc/s nel prototipo) esitati dalla sola galleria, mentre una velocità massima di 1.2 m/s (6.4 m/s nel prototipo) è stata misurata nella prova 7 con portata in galleria pari a 67 l/s (332 mc/s nel prototipo) e livello di massimo invaso ottenuto regolando le paratoie con un grado di apertura dell'87%; la prova 8 con 80 l/s (394 mc/s nel prototipo) ha portato ad osservare, per lo stesso punto di misura, una velocità massima di 1.4 m/s (7.7 m/s nel prototipo).

Il Responsabile Scientifico  
Prof. Ing. Marco Mancini

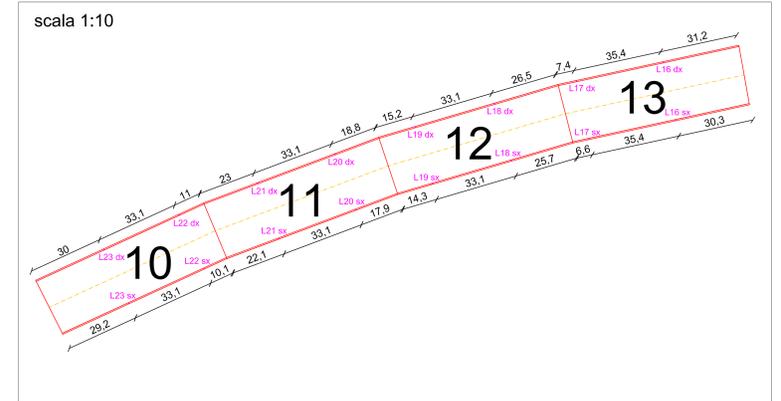
L'amministratore  
Dott. Ing. Stefania Meucci

Modellistica e Monitoraggio Idrologico s.r.l.  
L'amministratore  
Stefania Meucci

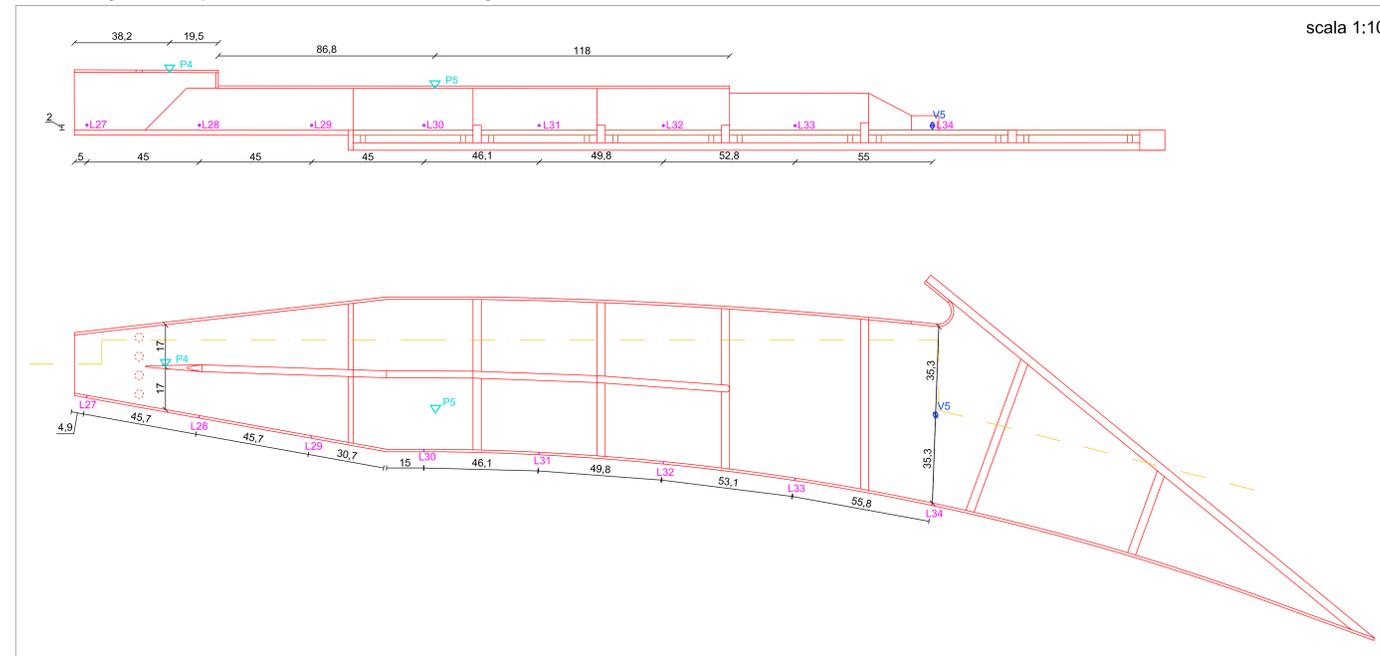
Planimetria del sistema di misura lungo la galleria



Dettaglio planimetrico del sistema di misura lungo la curva a valle del tratto rettilineo principale



Sezione longitudinale e planimetria del sistema di misura lungo il canale di restituzione

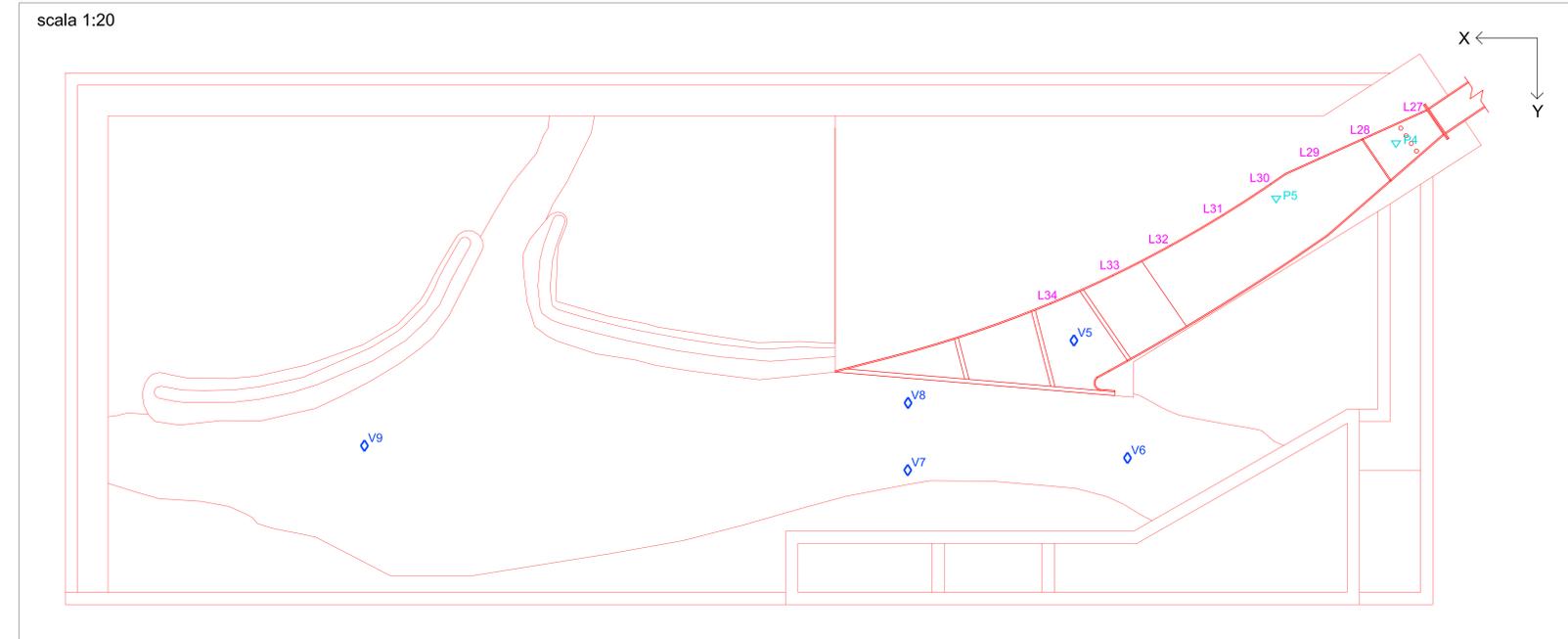


**LEGENDA**

- 3 numero concio
- +L3 misura di livello
- ▽P2 misura di pressione
- ◇V1 misura di velocità

nota: misure espresse in cm

Planimetria del sistema di misura al nodo di confluenza



D		
C		
B		
A		
0	Ottobre 2018	prima emissione
REF.	DATA	MOTIVO DELLE MODIFICHE

NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO

ALLEGATO ALLA RELAZIONE DI PROVA SU MODELLO FISICO: VERIFICA IDRAULICA DELLA GALLERIA LAGO D'IDRO CON MODIFICHE GEOMETRICHE

**MODELLO FISICO**

COMMITTENTE

**ITINERA**  
S.p.A. S.S. 10 per Alessandria 6/A, 15057 Tortona (AL)

ESECUTORE

**Modellistica e Modellaggio Idraulico**  
Ing. Sc. L. 10, Alberto T., 20123 Milano (MI)  
Tel. 02-58115631 email: info@modellistica.it

**SISTEMA DI MISURA DEL MODELLO FISICO**

TAVOLA n.	Riferim.:	SCALA	VARIE
—	Prodotto da: Ing. Curti Diego	DATA	Ottobre 2018
	Verificato da: Ing. Meucci Stefania	ELABORATO N°	
	Validato da: Ing. Meucci Stefania		A-01-00