

POZZO A VORTICE DELLA GALLERIA DI SCARICO DIGA DEL TOGGIA

Modello Fisico



ENEL Green Power

Ing. F. Plebani, Ing. F. Fornari, Ing. R. Bonafè

Progettazione, Direzione Lavori, Misure:

Ing. D. Curti, Ing. V. Herrera Gomez, Ing. S. Meucci

Laboratorio Fantoli DICA:

Ing. G. Crotti, I. Colombo R. Cantù

Direttore: Prof. A. BIANCHI

Opere in Plexiglass: Animacrylica S.r.l.

Responsabile Scientifico: Prof. Ing. G. Ravazzani

Collaborazione di:

Dott. A. Ceppi, Ing. M. Feki, Ing. G. Lombardi, Prof. C. Corbari

COORDINAMENTO SCIENTIFICO: Prof. Ing. M. Mancini

Osservatorio ITCOL

Milano, 2019



Impianto di Ponte – Diga di Valtoggia



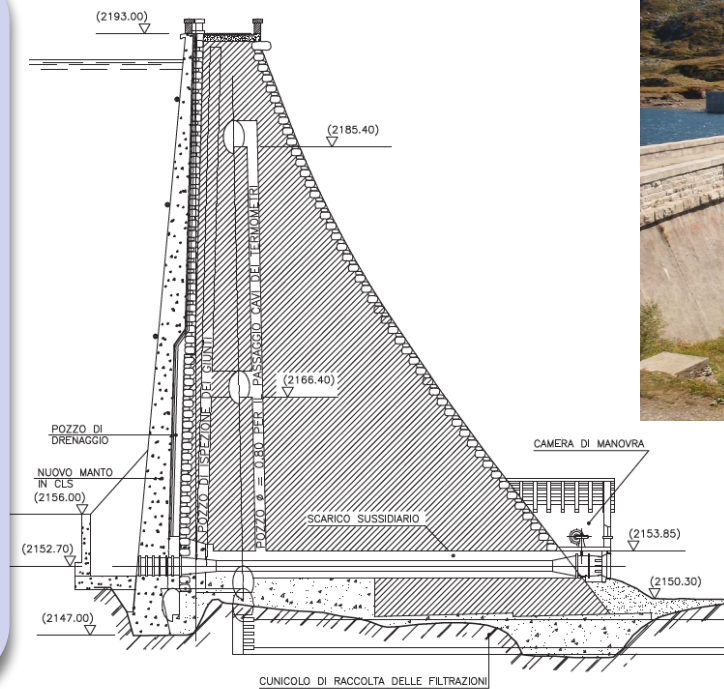
Dati caratteristici diga di Valtoggia

Anno ultimazione lavori:
1932

Tipologia Diga
(ai sensi D.M. 2014):
**a.1.1 in pietrame e malta;
a gravità; ordinaria**

Altezza Diga
(ai sensi L.584/94):
43,60 m

Volume di invaso
(ai sensi L.584/94):
15,49 Mm³

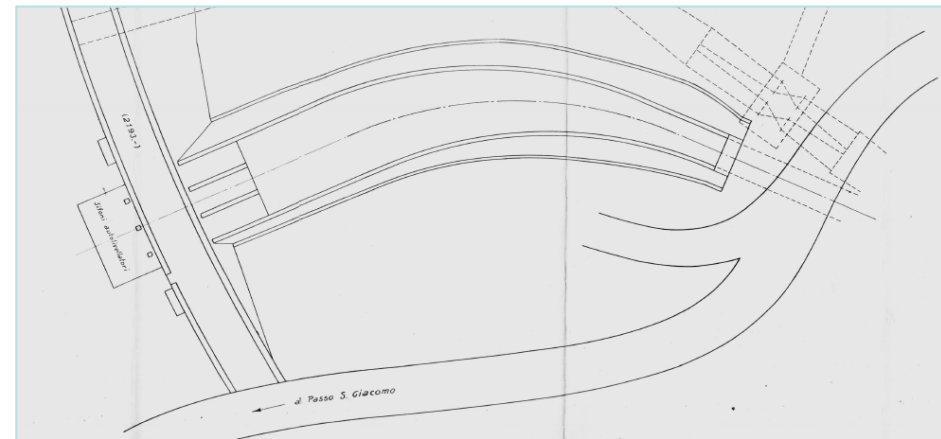
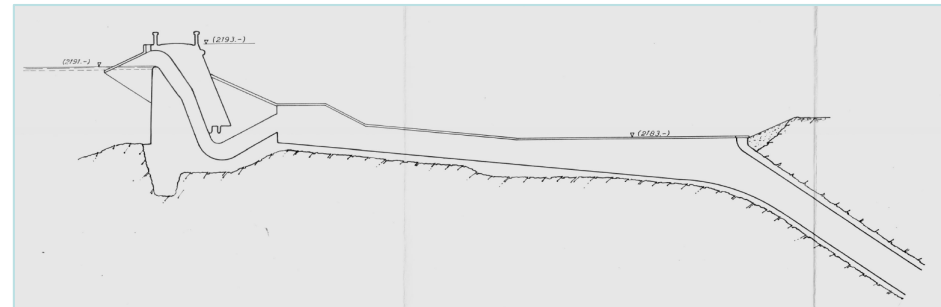


courtesy F. Plebani



Impianto di Ponte – Diga di Valtoggia

Vecchio scarico di superficie con 3 sifoni autolivellatori (1932)



courtesy F. Plebani



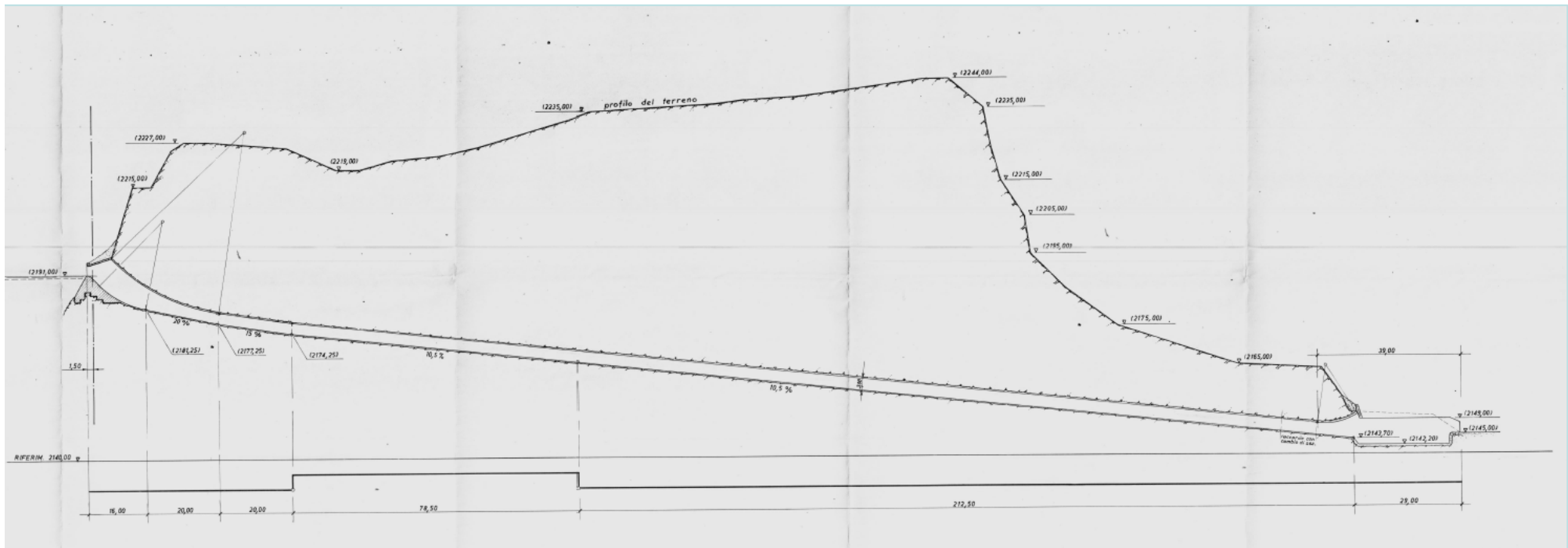
Impianto di Ponte – Diga di Valtoggia

Progetto del marzo 1973 di realizzazione del nuovo scarico di superficie
in sinistra orografica



courtesy F. Plebani

Progetto del marzo 1973 di realizzazione del nuovo scarico di superficie in sinistra orografica

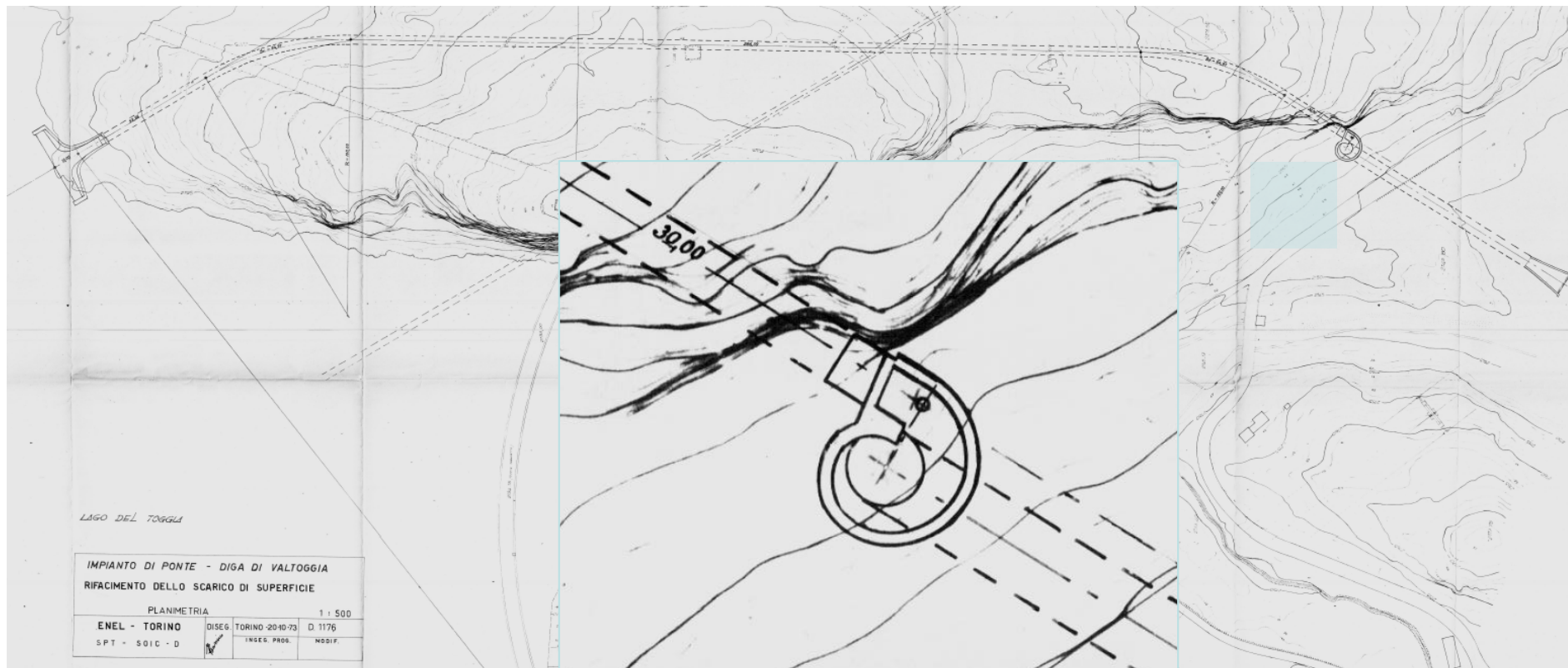


Progetto approvato con nota della IV sezione del Consiglio Superiore LL.PP. n. 534 in data 5 marzo 1974



Impianto di Ponte – Diga di Valtoggia

Ulteriore progetto dell'ottobre 1973 di realizzazione del nuovo scarico di superficie in sinistra orografica con pozzo dissipatore



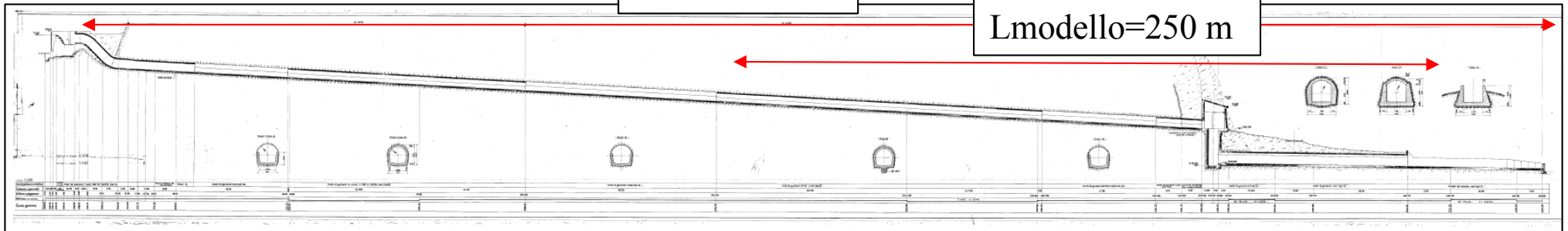
courtesy F. Plebani



L'OPERA DI SCARICO DELLA DIGA DEL TOGGIA

Lreale=590 m

Lmodello=250 m

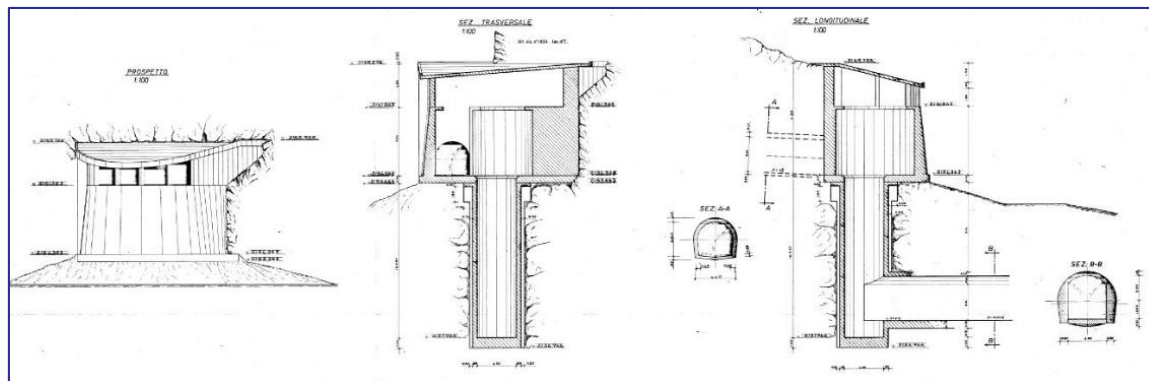


quota soglia di sfioro (m slm)	2191.00
quota massimo invaso (m slm)	2192.00
quota conornamento (m slm)	2193.00
L soglia (m)	28.0
L galleria monte (m)	492.0
H galleria monte (m)	3.60
B galleria monte (m)	3.60
H camera di alimentazione (m)	6.50
H pozzo verticale (m)	16.2
D pozzo verticale (m)	4.00
L galleria valle (m)	81.0
H galleria valle (m)	4.30
B galleria valle (m)	4.00
L canale valle (m)	57.0
H canale valle (m)	3.50
B canale valle (m)	4.00



scarico di superficie - diga Valtoggia

Situazione attuale



courtesy F. Plebani



L'OPERA DI SCARICO DELLA DIGA DEL TOGGIA

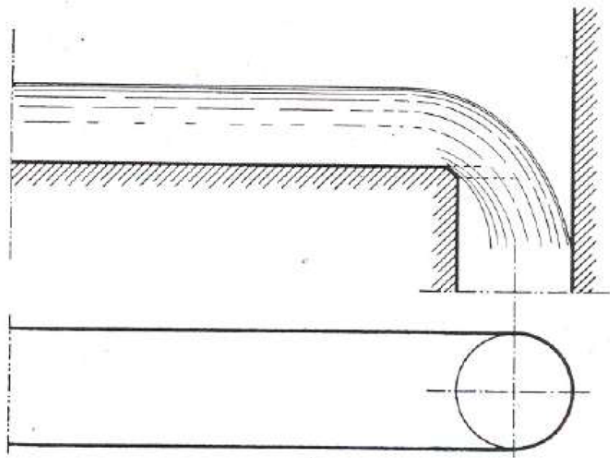




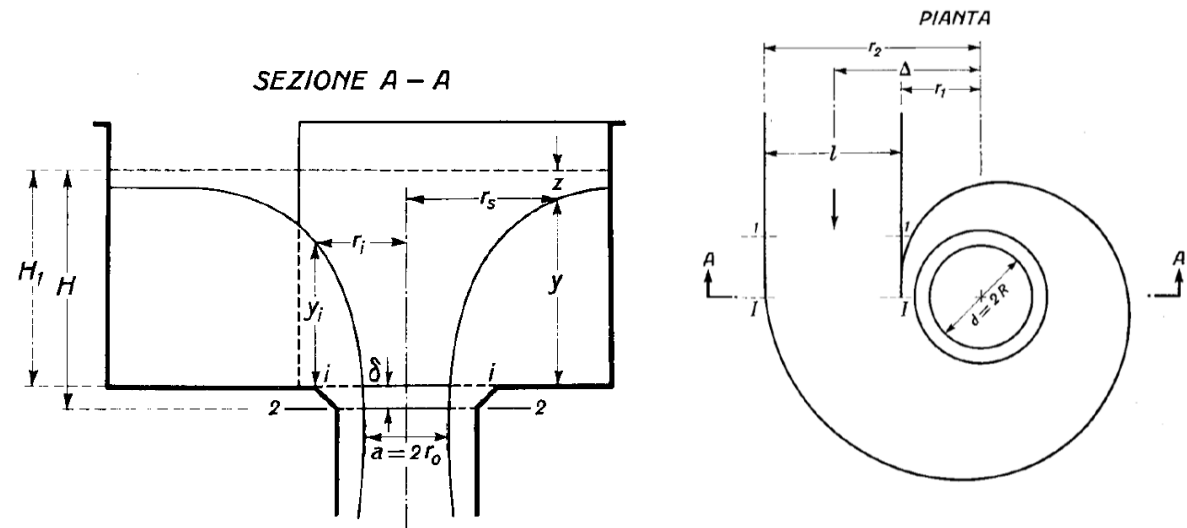
TIPOLOGIE DI POZZO A VORTICE

Il pozzo a vortice è un dispositivo che permette di immettere una corrente sub orizzontale in un condotto verticale. Ciò si ottiene con una camera di alimentazione, opportunamente sagomata, che permette di imprimere alla corrente in arrivo un moto di rotazione intorno alla luce di scarico. Il liquido quindi tende ad aderire alle pareti del pozzo lasciando al centro un foro attraverso cui passa l'aria. Si riducono i problemi di cavitazione, e pulsazioni delle cadute libere .

Pozzo a Caduta Libera



Pozzo a Vortice



Le misure sperimentali anni 50 e 60 permettono di verificare le ipotesi:

$H_1 = \text{cost}$ nella camera di alimentazione

$P = P_{\text{atm}}$ nella sezione di efflusso del pozzo



$$Q = C_\lambda \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2g(H_0 + \Delta)}$$



TIPOLOGIE DI POZZO A VORTICE

Ottobre 1947

L'ENERGIA ELETTRICA

447

610

L'ENERGIA ELETTRICA

Ottobre 1950

1947

DOTT. ING. CARLO DRIOLI
della Società Meridionale di Elettricità

Su un particolare tipo di imbocco per pozzi di scarico
(scaricatore idraulico a vortice)

1950

DOTT. ING. MICHELE VIPARELLI

Su un particolare tipo d'imbocco e sull'efflusso con vortice

1970

*Estratto dal fascicolo n. 4, Volume XLVII, 1970
della Rivista mensile «L'Energia Elettrica».*

MARCO PICA (*)

Scaricatori a vortice

2007

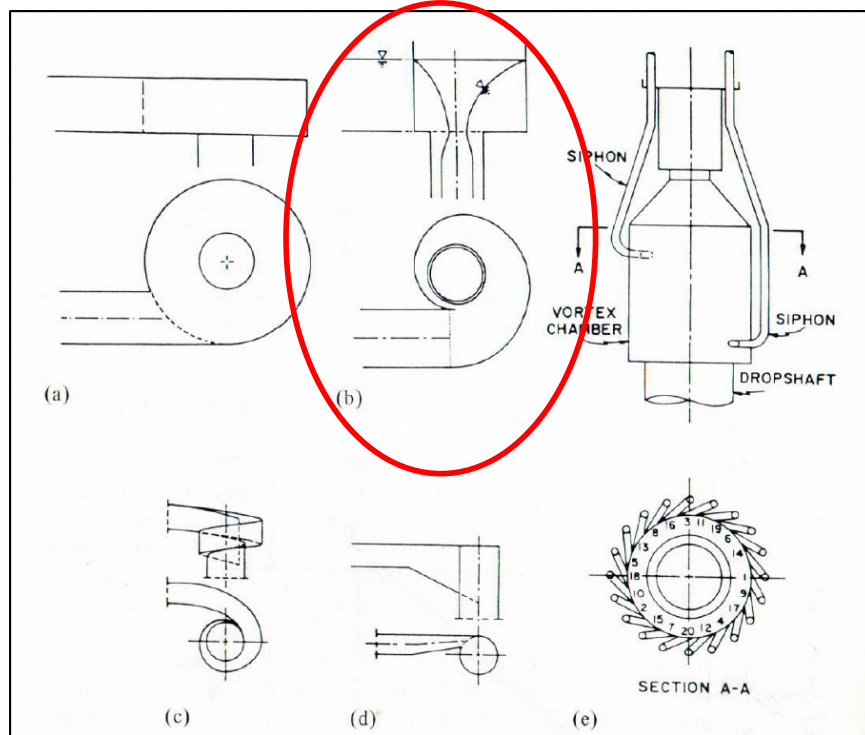
Design of a Scroll Vortex Inlet for Supercritical Approach Flow

Giuseppe Del Giudice, M.ASCE¹; Corrado Gisogni, F.ASCE²; and Giacomo Rasulo³



TIPOLOGIE DI POZZO A VORTICE

SCROLL INTAKE



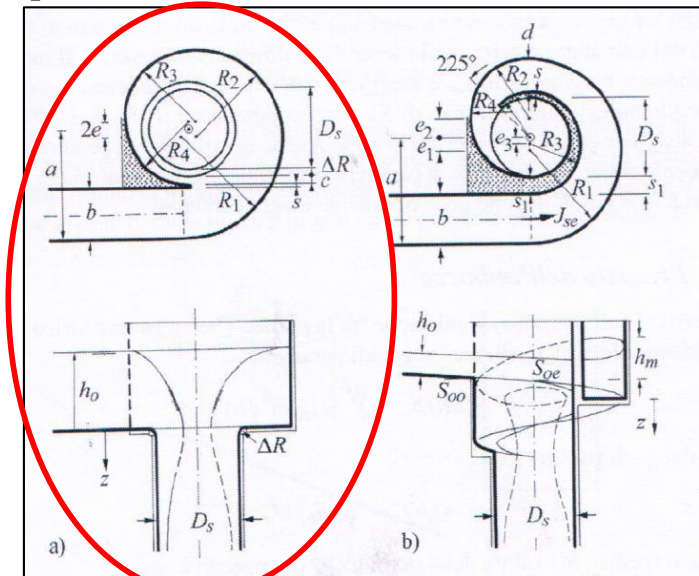
Tipologia «scroll»



o DRIOLI

Configurazione per corrente lenta

Configurazione per corrente veloce



Il Prof Carlo Drioli propone una camera con pareti il cui andamento planimetrico si svolge con una linea composta di archi di cerchio di raggio decrescenti

- Jain S. C., Ettema R. (1987). "Vortex-flow intakes." Swirling flow problems at intakes, IAHR hydraulic structures design manual, J. Knauss, ed., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 125–137.
- Knauss J. (1987). Swirling Flow Problems at Intakes. Hydraulic Structures Design Manual, 1AA, Balkema, Rotterdam.
- Pica M. (1970). "Scaricatori a vortice", L'Energia Elettrica, 47(4).
- Viparelli, M. (1950). Su un particolare tipo di imbocco e sull'efflusso con vortice. L'Energia Elettrica, 27(10), 610-624.
- Yu D. and Lee J.H.W. (2009). Hydraulics of tangential vortex intake for urban drainage. Journal of Hydraulic Engineering, 135(3): 164-174.
- Hager W.H. (1999). Wastewater Hydraulics - Theory and Practice. Springer-Verlag, Berlin.
- Del Giudice G., Gisonni C., Rasulo G. (2009). Vortex Drop Shaft for Supercritical Flow. Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Del Giudice G., Gisonni C., Rasulo G. (2010). Design of a scroll vortex inlet for supercritical approach flow. Journal of Hydraulic Engineering, 136(10), 837–841.
- Drioli C. (1947). Su un particolare tipo di imbocco per pozzi di scarico (scaricatore idraulico a vortice). L'Energia Elettrica, 24(10), 447-452.
- Drioli C. (1969). Esperienze su installazioni con pozzo di scarico a vortice. L'Energia Elettrica, 46 (6), 399-409, 1-18.
- Hager W.H. (1990). Vortex drop inlet for supercritical approaching flow. Journal of Hydraulic Engineering, 116(8), 1048–1054.



PROGETTO DEL MODELLO FISICO

Scala geometrica 1:15.5
Similitudine di Froude

$$\lambda = \frac{1}{15.5}$$

Scabrezze

Grandezze	Rapporto	λ (modello)	$1/\lambda$ (reale)
altezza	$\lambda_h = \frac{1}{15.5}$	0.065	15.5
lunghezza	$\lambda_l = \lambda_h$	0.065	15.5
area	$\lambda_A = \lambda_h \lambda_l$	0.00416	240.25
portata	$\lambda_Q = \lambda_h^{5/2}$	0.00106	945.87
velocità	$\lambda_V = \frac{\lambda_Q}{\lambda_A}$	0.254	3.94
scabrezza	$\lambda_{Ks} = \frac{\lambda_V}{\lambda_h^{2/3}}$	1.579	0.63
pressione	$\lambda_p = \lambda_h$	0.065	15.5
massa	$\lambda_m = \lambda_A \lambda_p$	0.000269	3723.88
tempo	$\lambda_t = \frac{\lambda_h}{\lambda_V}$	0.254	3.94
accelerazione	$\lambda_a = \frac{\lambda_h}{\lambda_t^2}$	1.00	1.00
forza	$\lambda_F = \lambda_m \lambda_a$	0.000269	3723.88

$$K_{SR} = 65 \frac{m^3}{s} \longrightarrow K_{SM} = 103 \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Plexiglass (PMMA)} \longrightarrow K_S = 120 \frac{m^3}{s}$$

Stessa dissipazione energetica tra
modello fisico e opera in reale:

$$i = J \quad r_{if} = \frac{i_M}{i_R} \quad r_J = \frac{J_M}{J_R}$$

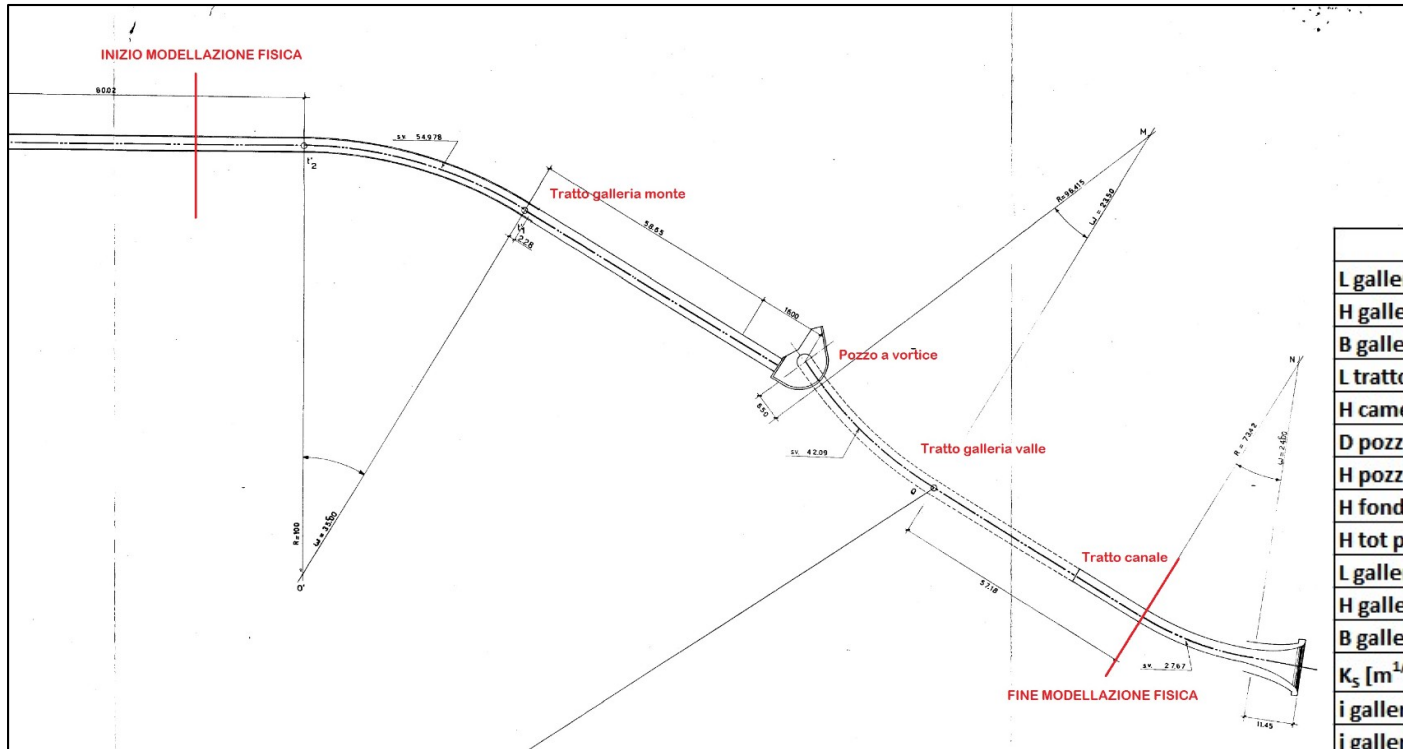
Legge di resistenza: Similitudine di Froude:

$$J = \frac{V^2}{K_S^2 \cdot R^3} \quad r_V = \sqrt{\lambda} \quad \longrightarrow \quad r_{if} = \frac{1}{r_{K_S}^2 \cdot \lambda^3} = 0.732$$

	reale	modello
i galleria monte (%)	4.5	3.3
i galleria valle (%)	0.3	0.2



PROGETTO DEL MODELLO FISICO



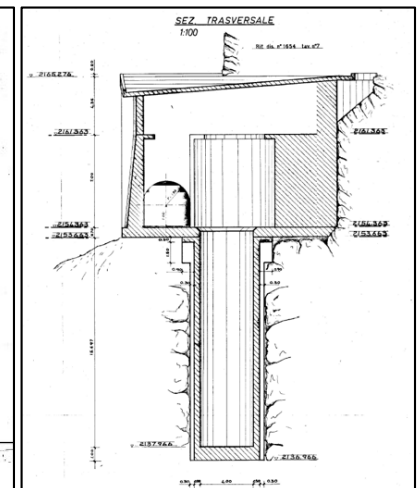
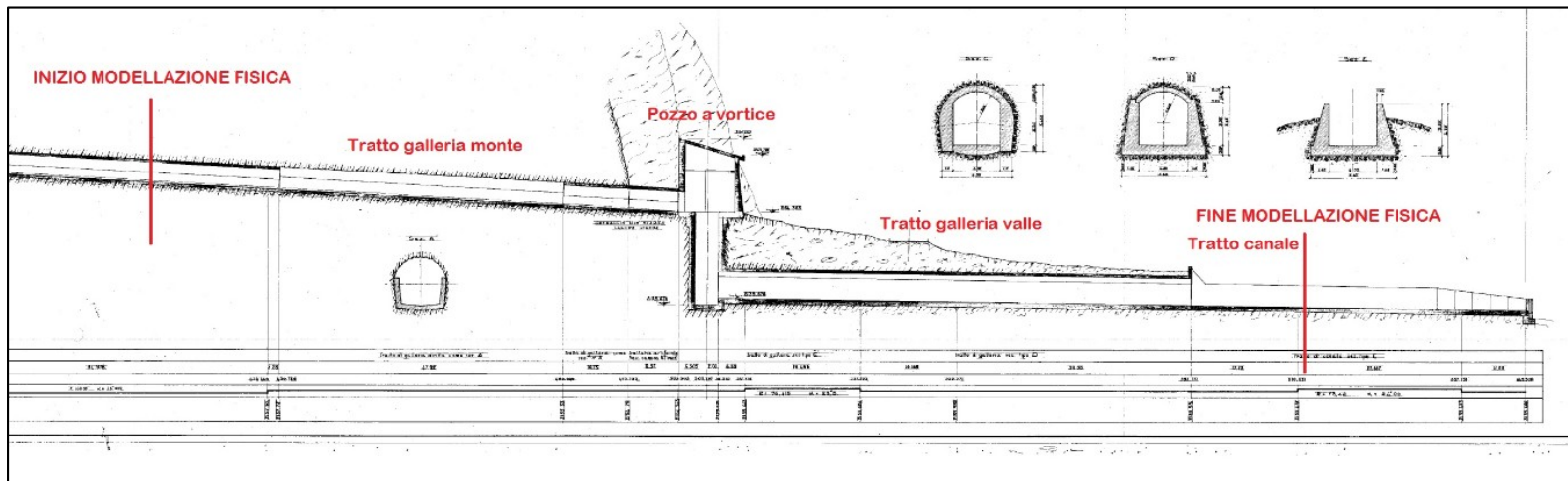
Dimensioni modello fisico:

L=17.6 m

B=3.0 m

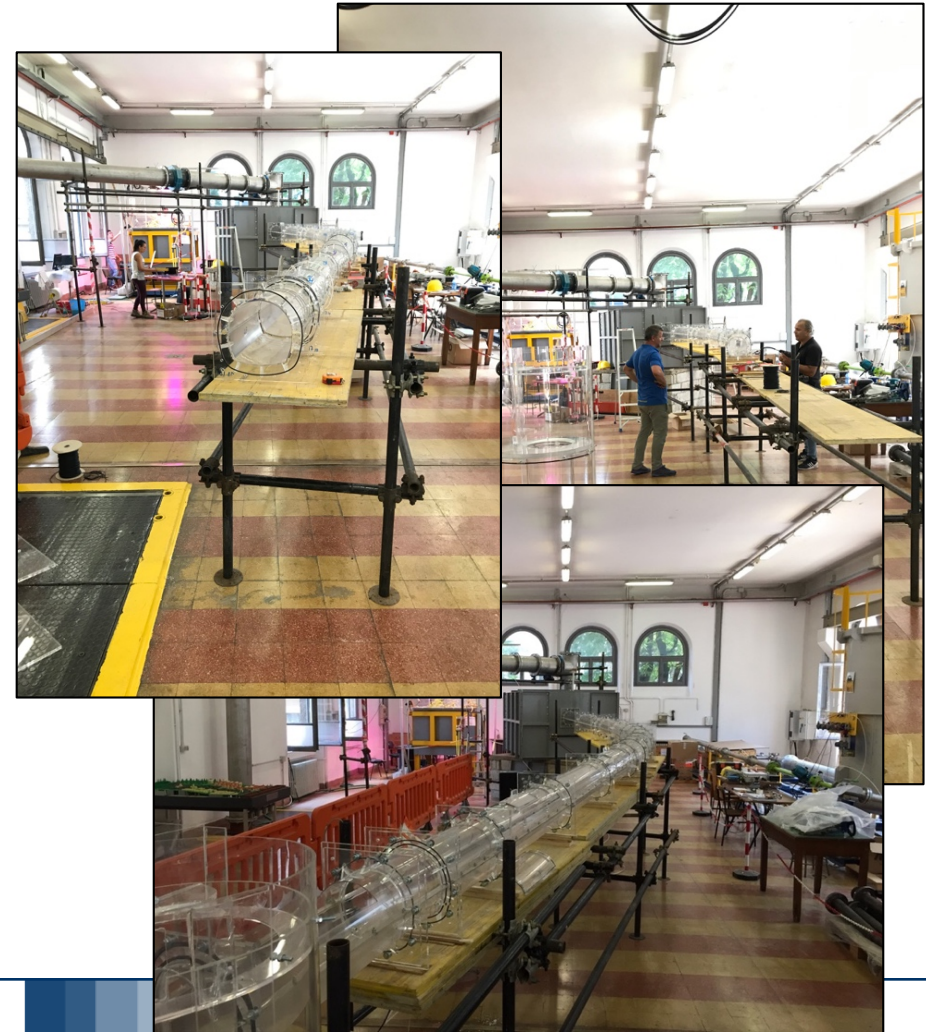
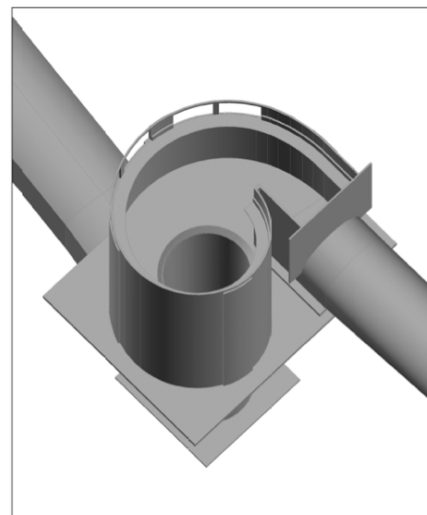
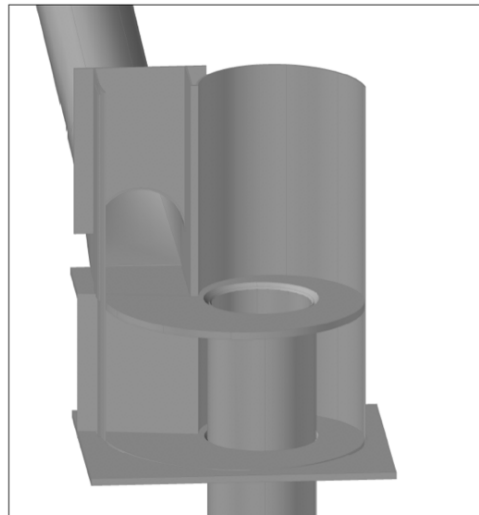
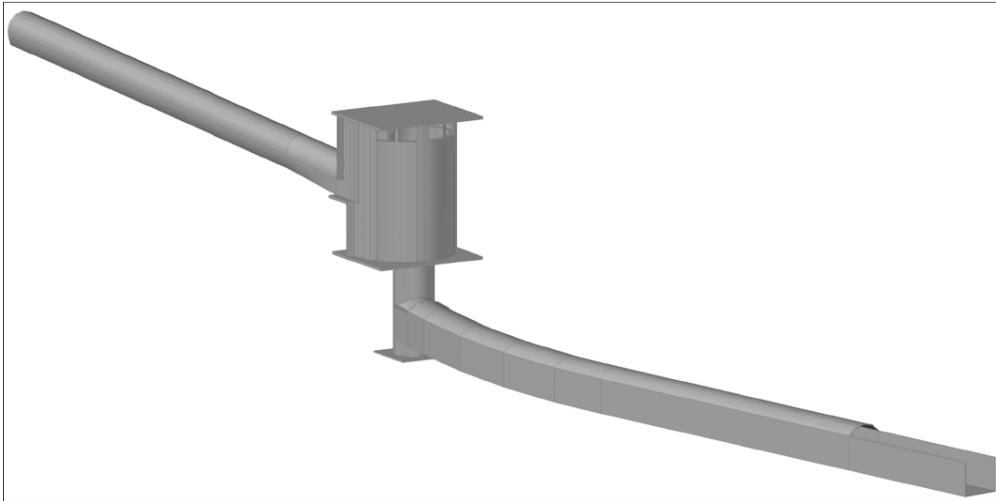
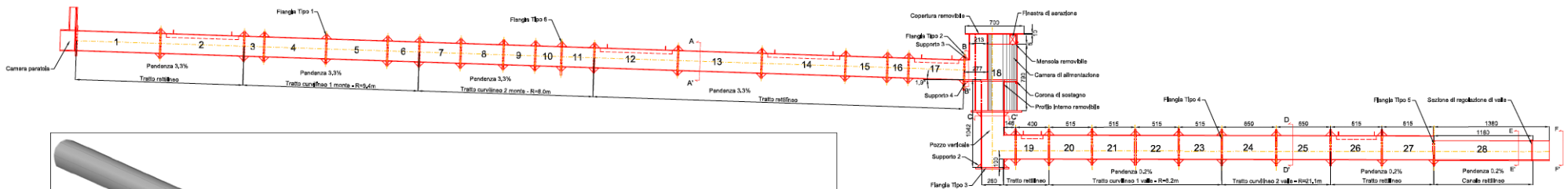
H=1.7 m

Grandezza	Modello fisico [cm]	Reale [m]
L galleria monte	1070	166
H galleria monte	23.2	3.6
B galleria monte	23.2	3.6
L tratto in transizione	66.7	9.5
H camera alimentazione	42	6.5
D pozzo verticale	26	4.0
H pozzo verticale	94.2	14.6
H fondo pozzo	10	1.5
H tot pozzo verticale	104.2	16.2
L galleria valle	513	80
H galleria valle	28	4.3
B galleria valle	26	4.0
$K_s [m^{1/3} s^{-1}]$	120	65
i galleria monte [%]	3.3	4.5
i galleria valle [%]	0.2	0.3





PROGETTO DEL MODELLO FISICO





Sistema di Misura

Misura di portata con misuratore magnetico su DN300



Misure di livello con aste graduate



Misure di pressione con trasduttori

	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

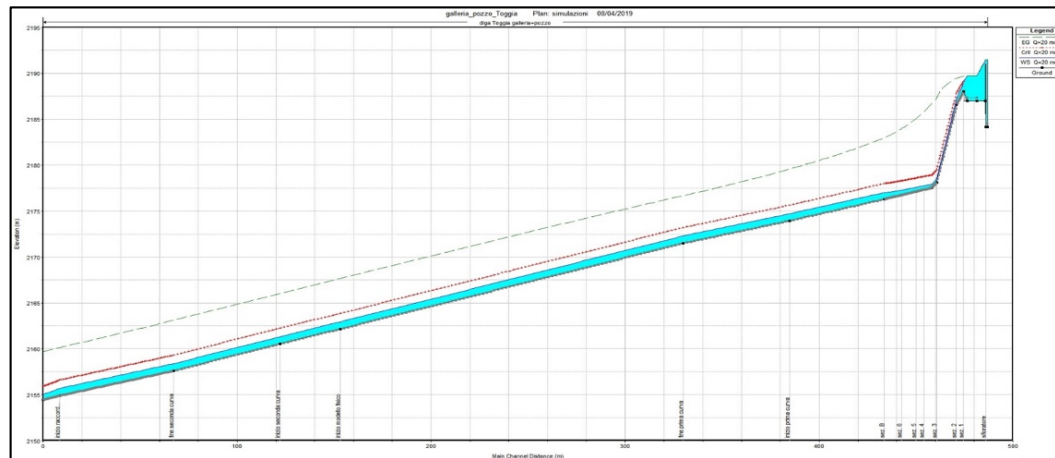




Condizioni al Contorno

MONTE

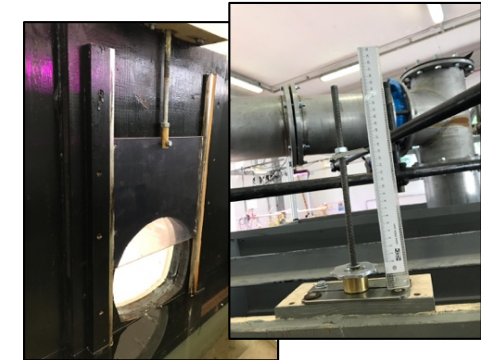
Modellazione monodimensionale in moto permanente (HEC-RAS)



corrente veloce



Regolazione con funzionamento a battente sotto paratoia



Sezione di controllo



VALLE

Efflusso libero in seguito alle prime osservazioni di funzionamento su modello fisico (corrente veloce)





POZZO A VORTICE

1. Portate smaltibili dal sistema pozzo-galleria
2. Livelli massimi
3. Nucleo d'aria (diametro di aerazione del pozzo verticale)
4. Coefficiente di efflusso
5. Aerazione della corrente
6. Efficienza di dissipazione energetica

GALLERIA MONTE

7. Funzionamento a pelo libero, localizzazione risalto
8. Aerazione della corrente e sollecitazione della calotta

GALLERIA VALLE

9. Funzionamento a pelo libero, localizzazione risalto
10. Aerazione della corrente e sollecitazione della calotta

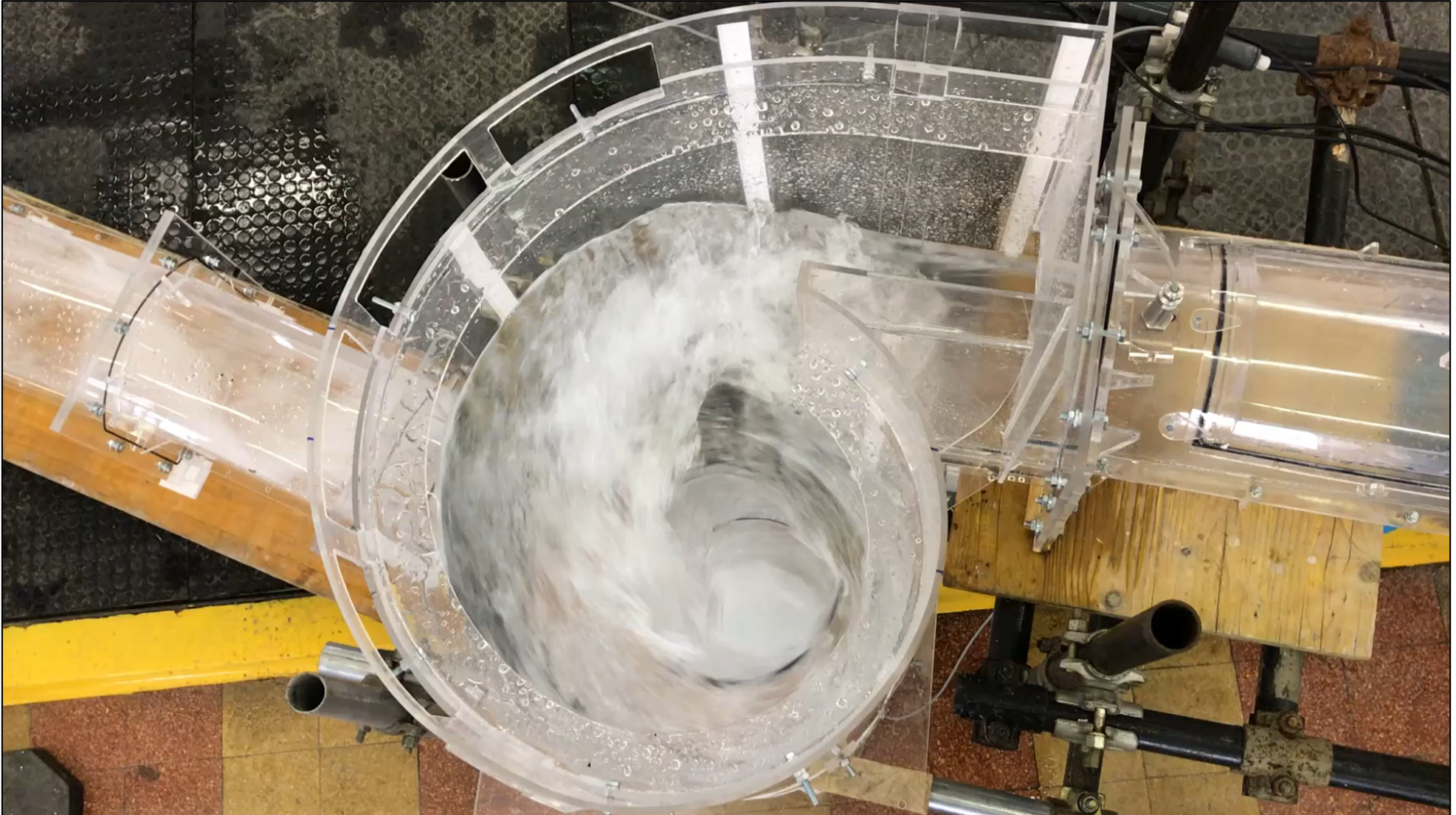
Prova	Q_R [mc/s]	Q_M [l/s]
1	10	10.6
2	20	21.1
3	30	31.7
4	38	40.2
5	53	56.0
6	61	64.5
7	70	74.0



PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE

- **Funzionamento**

$$Q_R=20 \text{ mc/s} \Rightarrow Q_M=21.1 \text{ l/s}$$



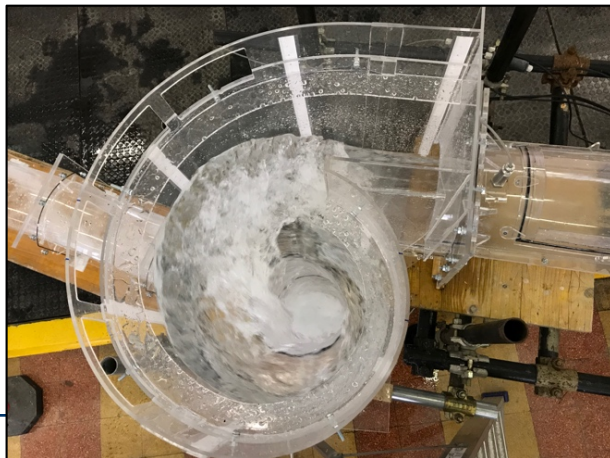


PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE

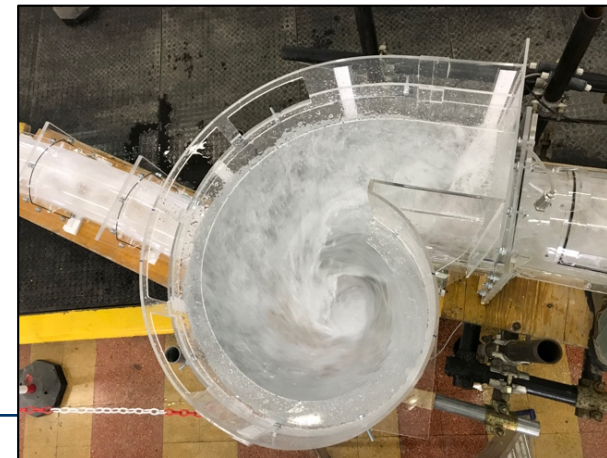
- 1) Portate smaltibili dal sistema pozzo-galleria

Prova	Q reale (mc/s)	Q modello (l/s)	Osservazioni
1	10	10.6	Smaltibile, risalto nella camera di alimentazione
2	20	21.1	Smaltibile, risalto nella camera di alimentazione
3	30	31.7	Smaltibile, risalto nell'ultimo tratto di galleria di monte
4	38	40.2	Massima portata smaltibile a pelo libero, risalto nell'ultimo tratto di galleria di monte
5	53	56.0	Smaltibile con funzionamento in pressione dell'ultimo tratto di galleria di monte
6	61	64.5	Smaltibile con funzionamento in pressione dell'ultimo tratto di galleria di monte
7	70	74	Smaltibile con fuoriuscita dalle finestre di aerazione per circa 8.7 l/s (8.2 mc/s in reale)

$Q_R=20 \text{ mc/s} - Q_M=21.1 \text{ l/s}$



$Q_R=53 \text{ mc/s} - Q_M=56.0 \text{ l/s}$





• 2) Livelli massimi nella camera di alimentazione

Prova	Q_R [m ³ /s]	Q_M [l/s]	h_{max} modello [cm]	h_{max} reale [m]	progressiva modello [cm]	progressiva reale [m]
1	10	10.6	16.8	2.60	55	8.5
2	20	21.1	24.5	3.80	60	9.3
3	30	31.7	29.5	4.57	86	13.3
4	38	40.2	34.0	5.27	79	12.2
5	53	56.0	42.0	6.50	78	12.1
6	61	64.5	42.0	6.50	60-110	9.3-17.1
7	70	74.0	47.0	7.29	18-86	2.8-13.3

$h_{\text{mensola}} = 42 \text{ cm (6.50 m in reale)}$

Per portate da $Q=53 \text{ mc/s}$ (56.0 l/s nel modello fisico) il tirante massimo arriva a interessare la mensola di contenimento dei livelli

$$Q_R=53 \text{ mc/s} - Q_M=56.0 \text{ l/s}$$

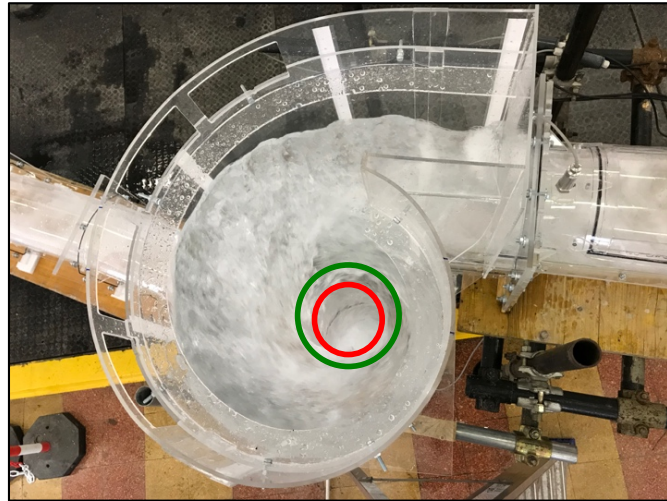




PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE

• 3) Air core (diametro di aerazione del pozzo verticale)

Misura d_0 D

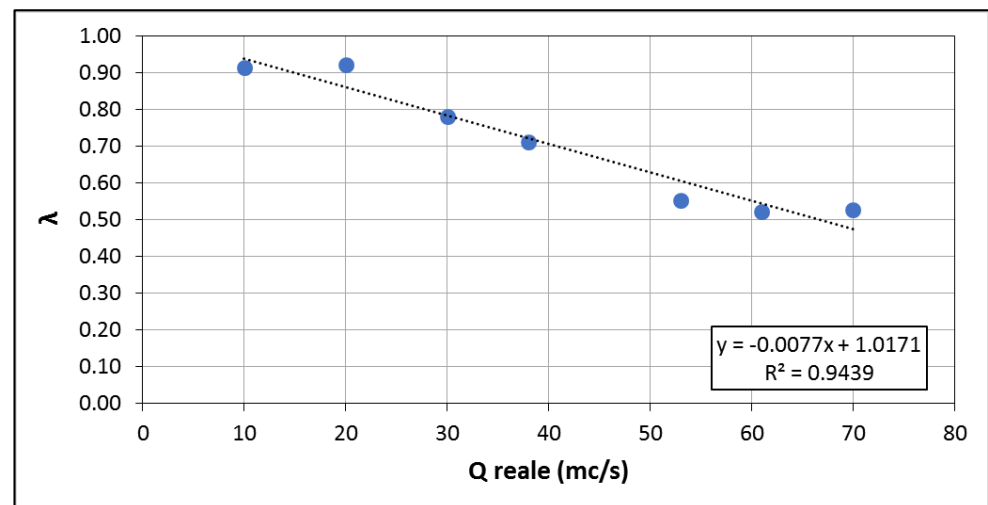
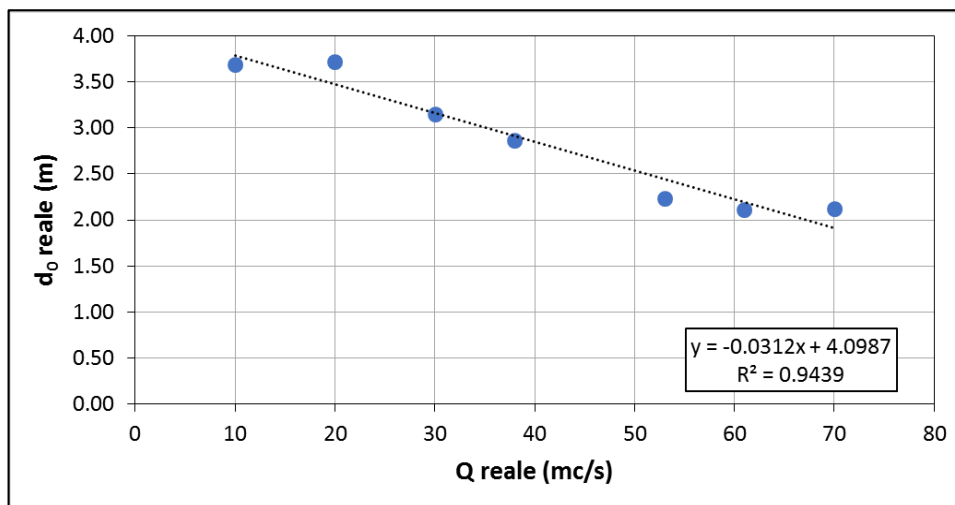


$$\lambda = \frac{d_0}{D}$$

Viparelli (1950)

$$\lambda_{\min} = 0.5$$

Prova	Q_R [m ³ /s]	Q_M [l/s]	d_0 modello [cm]	d_0 reale [m]	λ
1	10	10.6	23.8	3.69	0.92
2	20	21.1	24.0	3.72	0.92
3	30	31.7	20.3	3.15	0.78
4	38	40.2	18.5	2.87	0.71
5	53	56.0	14.4	2.23	0.55
6	61	64.5	13.6	2.11	0.52
7	70	74.0	13.7	2.12	0.53





PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE

• 4) Coefficiente di efflusso

Applicando l'equilibrio dei momenti delle quantità di moto rispetto all'asse del pozzo e il bilancio dell'energia tra la SEZ.0 e la SEZ.2:

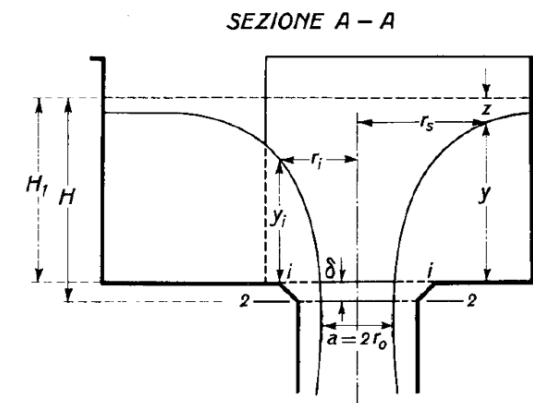
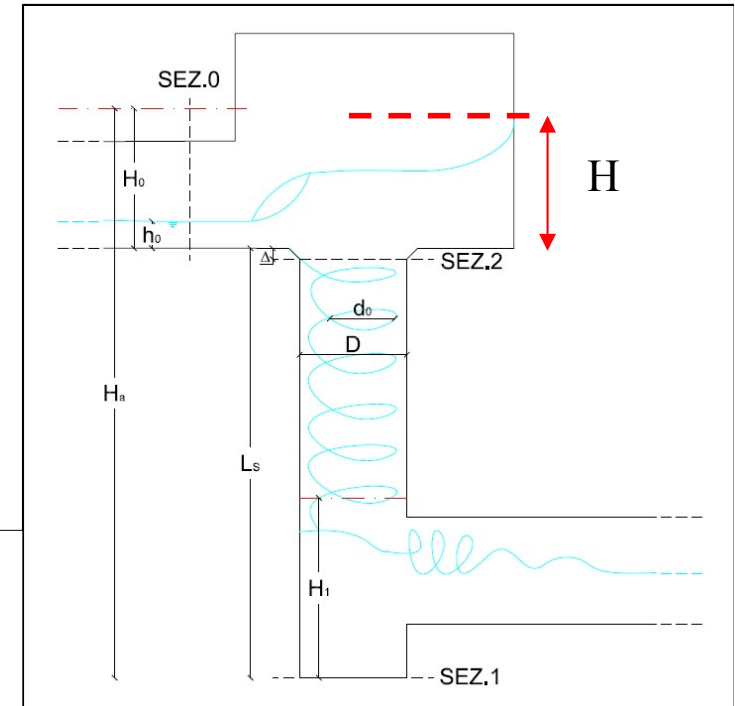
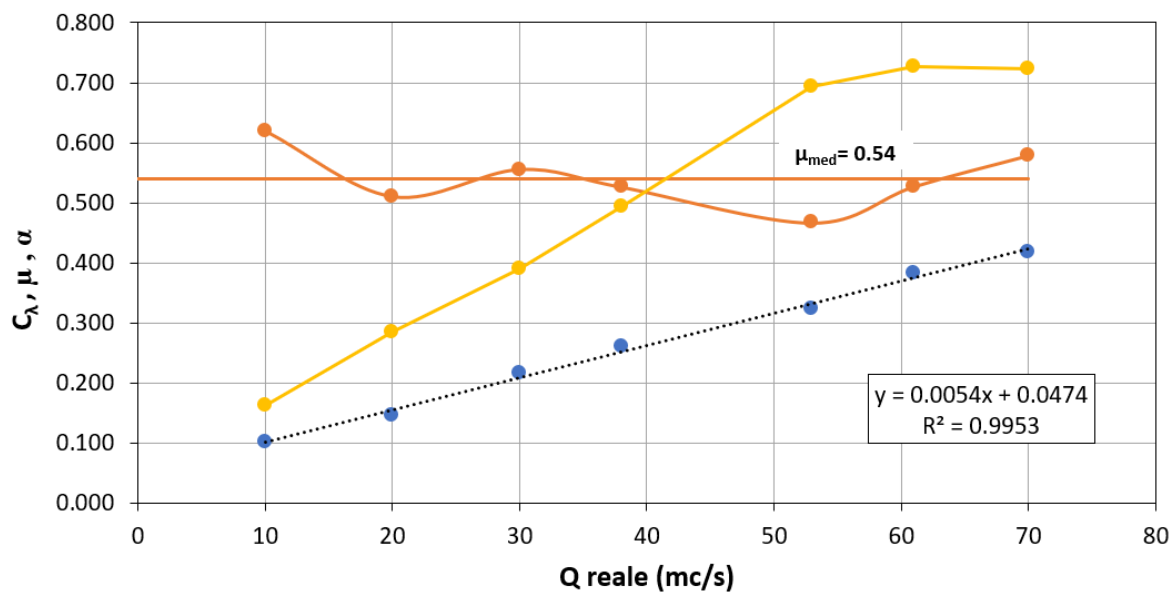
$$Q = C_\lambda \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2g(H + \Delta)} \longrightarrow C_\lambda = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2g(H + \Delta)}}$$

$$Q = \mu \frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2) \sqrt{2g(H + \Delta)} \longrightarrow \mu = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2) \sqrt{2g(H + \Delta)}}$$

Prova	Q _R [m ³ /s]	Q _M [l/s]	C _λ
1	10	10.6	0.100
2	20	21.1	0.145
3	30	31.7	0.217
4	38	40.2	0.260
5	53	56.0	0.324
6	61	64.5	0.383
7	70	74.0	0.418

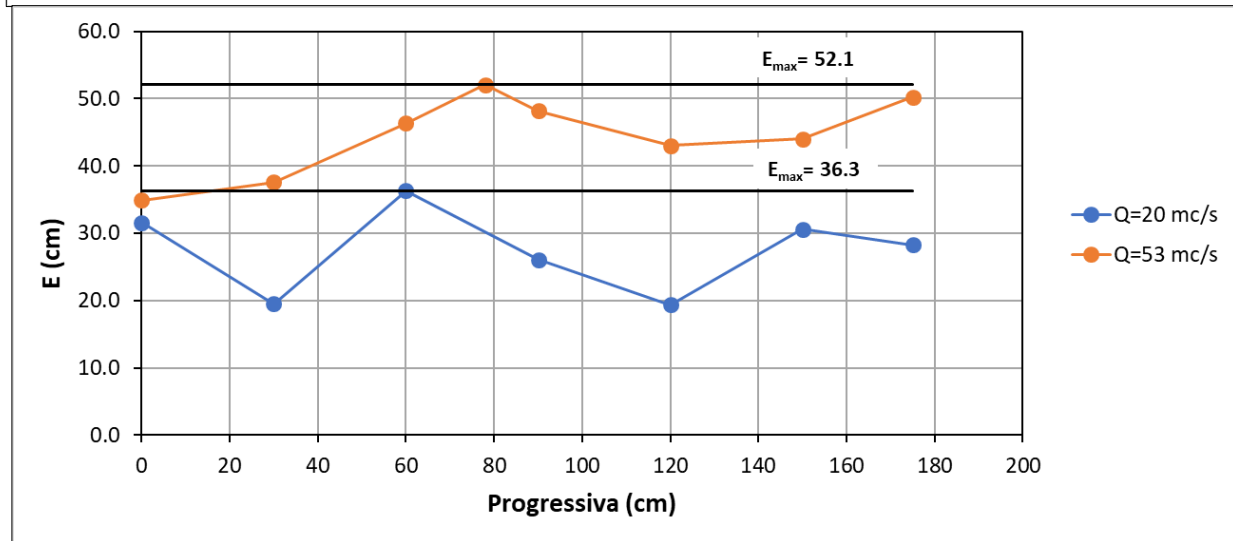
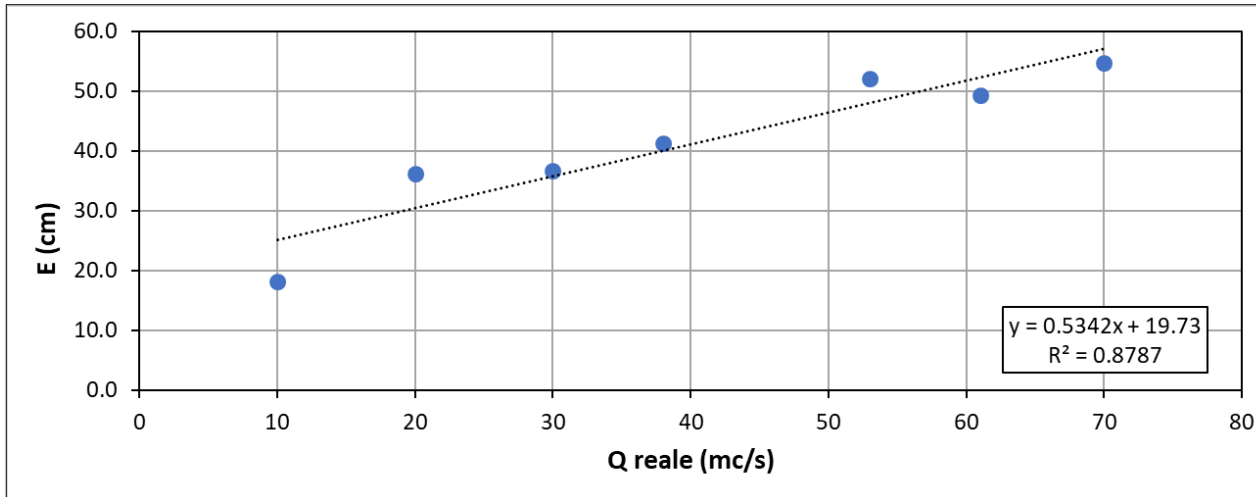
$$C_\lambda = \mu \times \alpha$$

$$\alpha = (D^2 - d^2)$$





• Energia massima





- 5) Aerazione della corrente

Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	P modello [cm H ₂ O]	P reale [cm H ₂ O]
1	10	10.6	-0.53	-8.18
2	20	21.1	-0.19	-2.93
3	30	31.7	-0.21	-3.18
4	38	40.2	-0.64	-9.88
5	53	56.0	-0.18	-2.85
6	61	64.5	-0.33	-5.19
7	70	74.0	-0.21	-3.29



Limitate pressioni negative osservate in sommità → Sufficiente aerazione della corrente



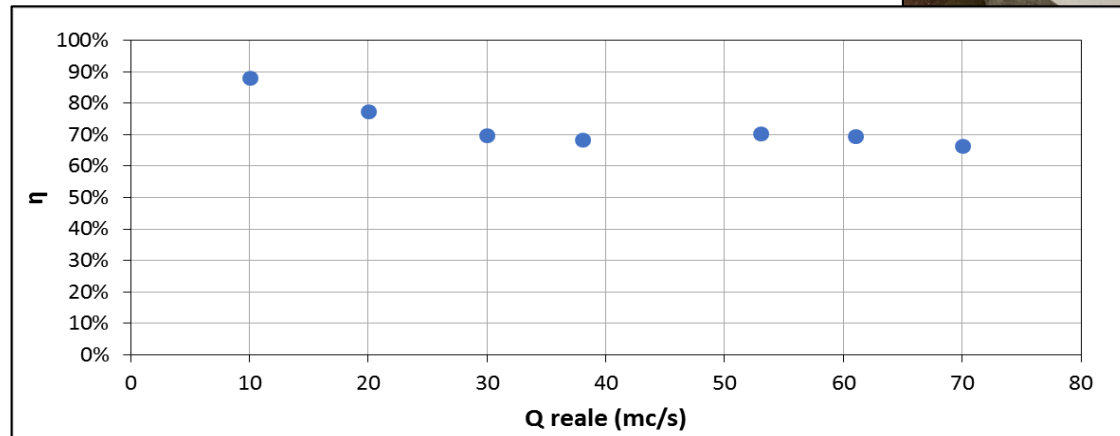
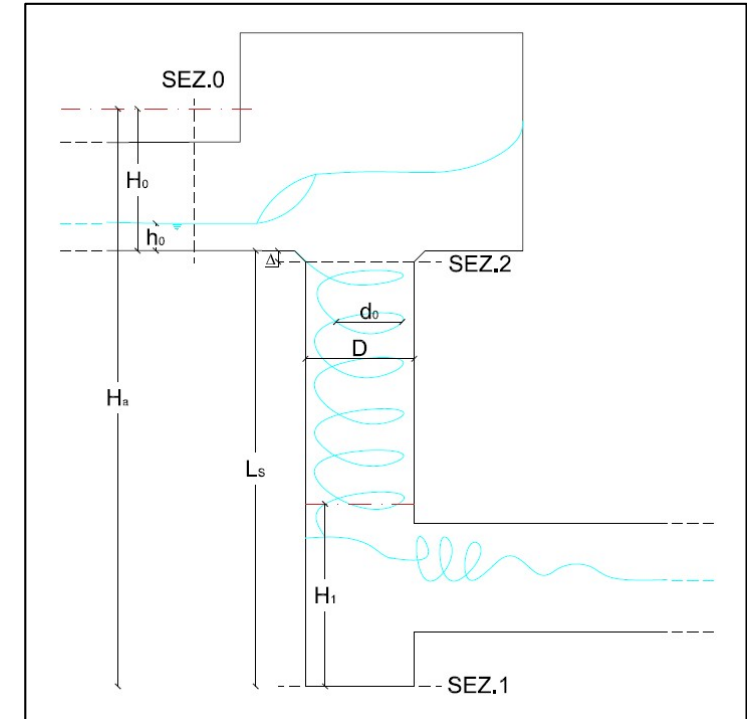
6) Efficienza di dissipazione energetica del pozzo

$H_1 \rightarrow$ misurato

Tra SEZ.0 e SEZ.1:

$$\eta = \frac{\Delta H}{H_a} \quad \Delta H = H_a - H_1 \quad H_a = H_0 + L_s$$

$$H_0 = h_0 + \frac{V_0^2}{2g} \quad \begin{cases} h_0 \rightarrow \text{misurato} \\ V_0 = \frac{Q}{A_0} \end{cases}$$



Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	h_0 [cm]	E_0 [cm]	H_0 [cm]	H_1 [cm]	ΔH [cm]	η
1	10	10.6	2.0	79.5	183.7	21.7	162.0	88%
2	20	21.1	4.4	46.7	150.9	33.9	117.0	78%
3	30	31.7	5.6	58.2	162.4	49.0	113.4	70%
4	38	40.2	6.8	60.2	164.4	52.1	112.3	68%
5	53	56.0	10.7	45.1	149.3	44.4	104.9	70%
6	61	64.5	11.4	50.9	155.1	47.1	108.0	70%
7	70	74.0	13.0	49.9	154.1	51.5	102.6	67%

$$\eta = 65 \div 90\%$$



• 7) Funzionamento a pelo libero, localizzazione risalto

Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	localizzazione	progressiva modello [cm]	progressiva reale [m]
1	10	10.6	camera di alimentazione	22	508.2
2	20	21.1	camera di alimentazione	15	507.1
3	30	31.7	galleria di monte	23	501.2
4	38	40.2	galleria di monte	44	498.0
5	53	56.0	galleria di monte	74	493.3
6	61	64.5	galleria di monte	180	476.9
7	70	74.0	galleria di monte	384	445.3

Il risalto si localizza all'interno della camera di alimentazione del pozzo a vortice fino alla portata $Q_M=27.5$ l/s ($Q_R=26$ mc/s).

Per la portata $Q_M=56.0$ l/s ($Q_R=53$ mc/s) si localizza negli ultimi 12 m della galleria di monte.

$$Q_{\max_pelo_libero} = 40.2 \text{ l/s (38 mc/s in reale)}$$

$$Q_R=38 \text{ mc/s} - Q_M=40.2 \text{ l/s}$$



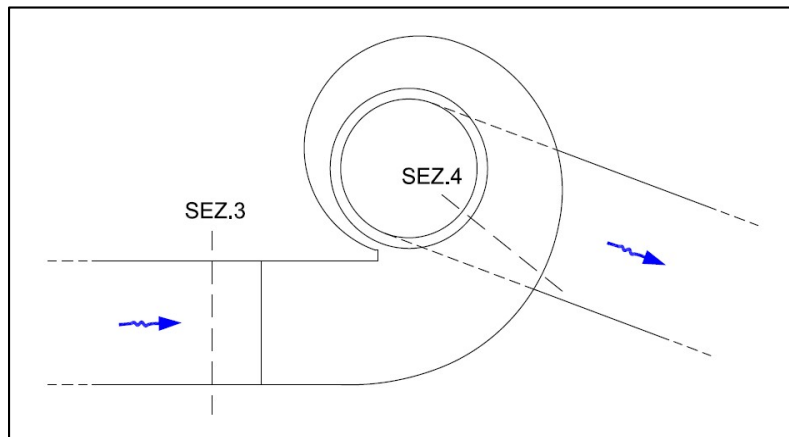
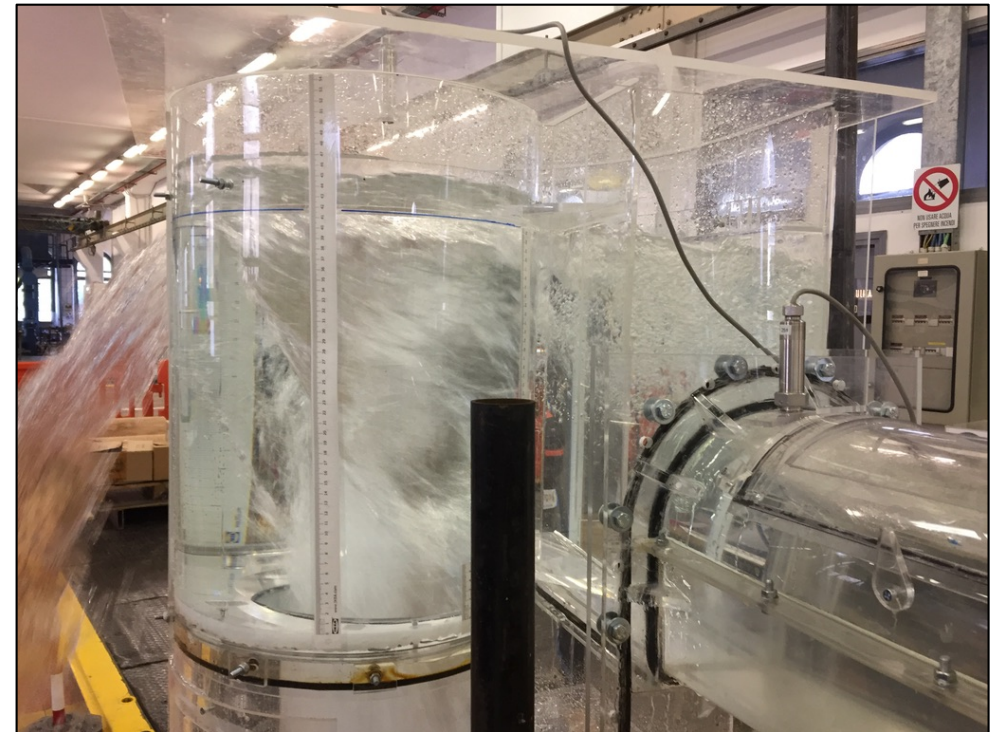
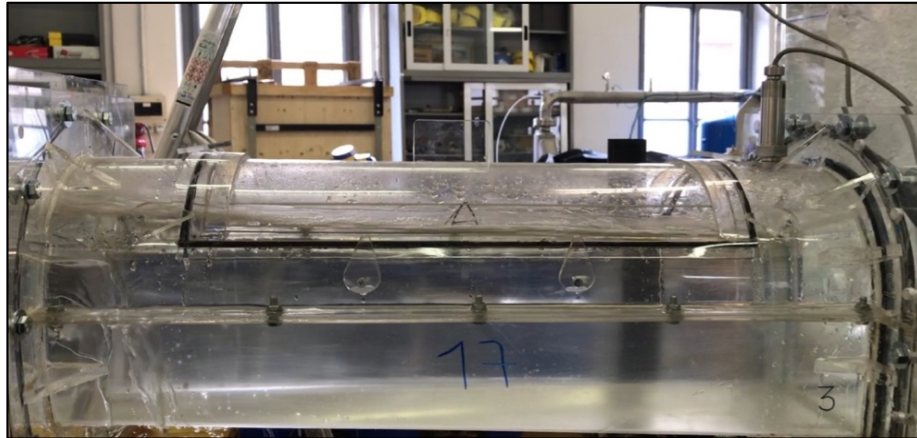
$$Q_R=53 \text{ mc/s} - Q_M=56.0 \text{ l/s}$$





PROVE SU MODELLO FISICO – GALLERIA MONTE

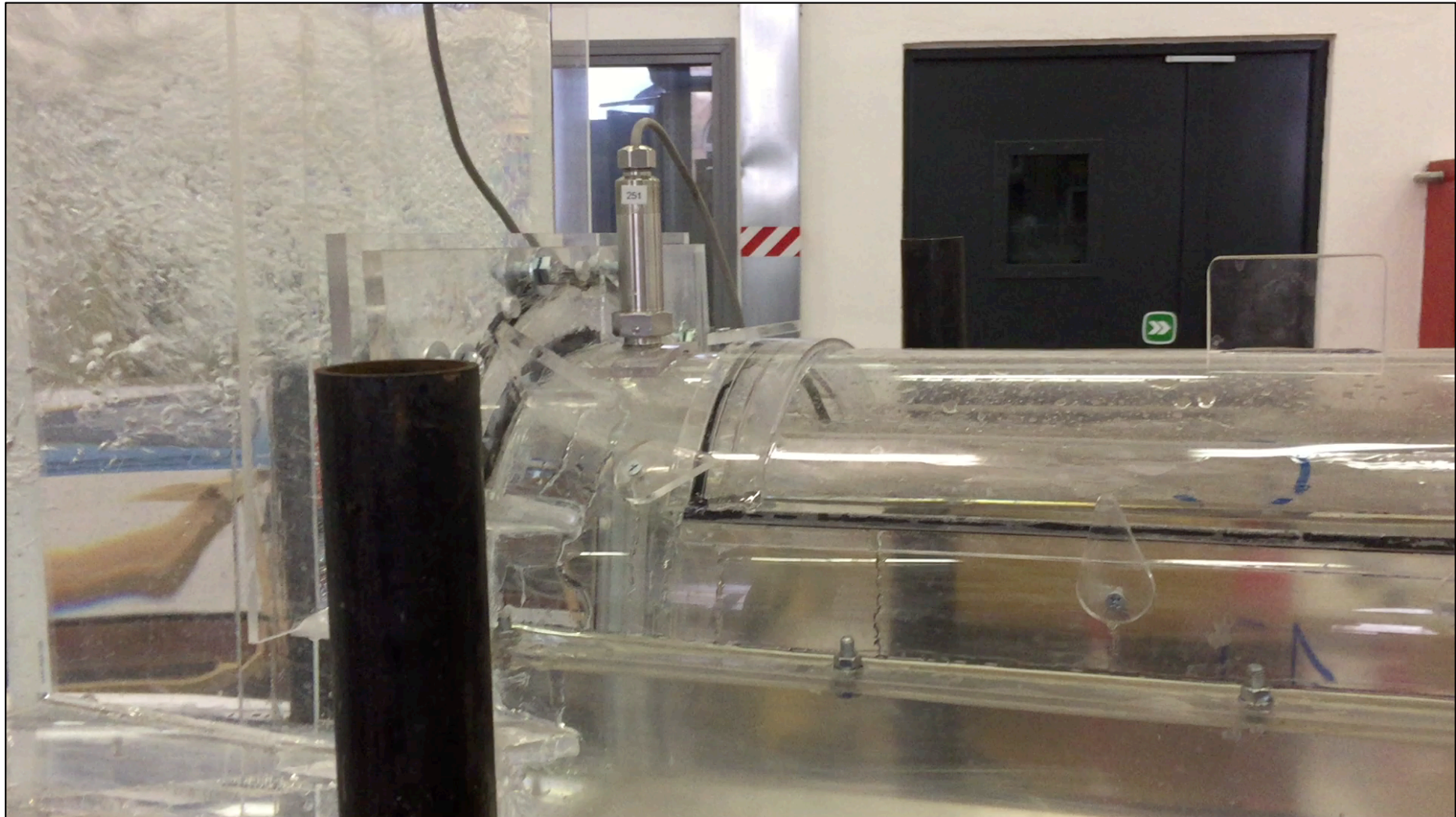
Transitorio con bolla d'aria in pressione per $Q=70$ mc/s



Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	h ₃ (cm)	V ₃ (m/s)	E ₃ (cm)	E ₄ (cm)
5	53	56.0	32.0	1.17	38.9	38.0
6	61	64.5	34.6	1.34	43.8	42.0
7	70	74.0	38.5	1.54	50.6	47.0

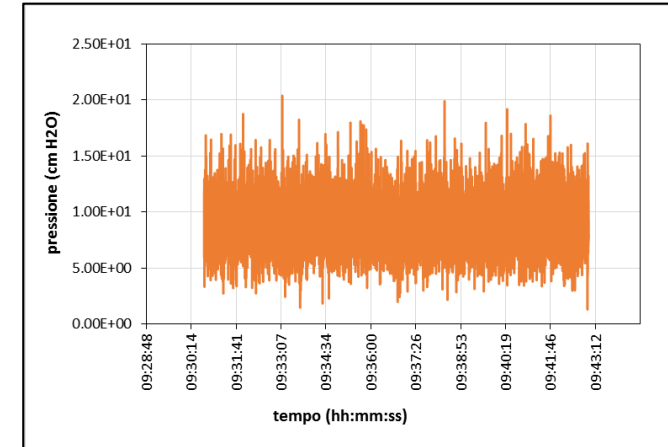


PROVE SU MODELLO FISICO – GALLERIA MONTE





• 8) Aerazione della corrente e sollecitazione della calotta



Pressioni prossime allo zero \longrightarrow Sufficiente aerazione della corrente

Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	P modello [cm H ₂ O]	P reale [cm H ₂ O]
1	10	10.6	0.05	0.73
2	20	21.1	-0.33	-5.04
3	30	31.7	-0.02	-0.37
4	38	40.2	0.71	11.00
5	53	56.0	8.82	136.72
6	61	64.5	11.36	176.09
7	70	74.0	15.31	237.27

Funzionamento in pressione per $Q_R=53$ mc/s ($Q_M=56.0$ l/s)

	modello (cm H ₂ O)	reale (cm H ₂ O)	reale (kPa)	reale (kg/m ²)
P min	0.7	10.5	1.0	104.5
P max	20.4	316.9	31.1	3166.6
P media	8.8	136.7	13.4	1366.4

Pressioni massime per $Q_R=70$ mc/s ($Q_M=74.0$ l/s)

	modello (cm H ₂ O)	reale (cm H ₂ O)	reale (kPa)	reale (kg/m ²)
P min	10.3	159.1	15.6	1589.9
P max	20.9	323.5	31.7	3233.3
P media	15.3	237.3	23.3	2371.2



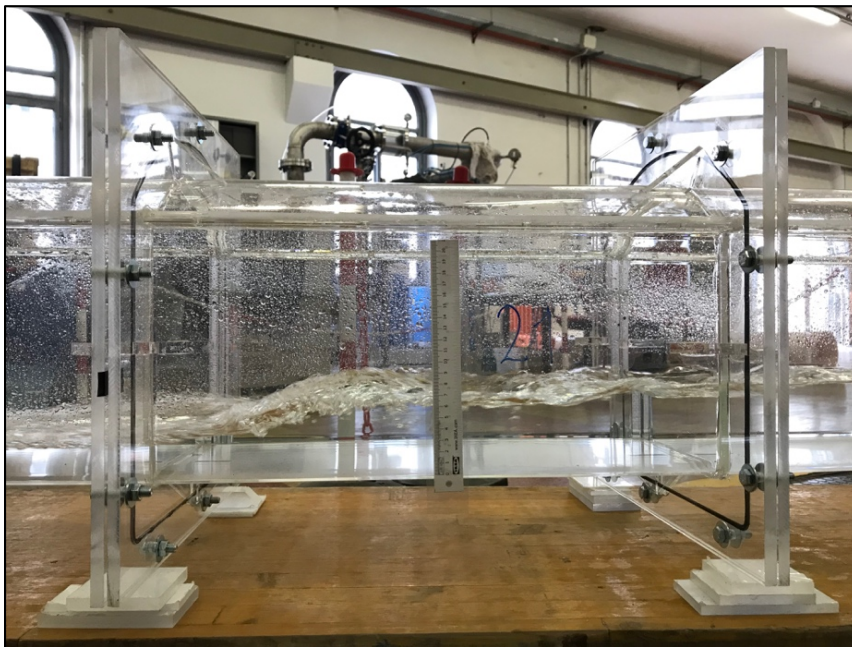
- 9) **Funzionamento a pelo libero, localizzazione risalto**

Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	<u>progressiva</u> modello [cm]	<u>progressiva</u> reale [m]
1	10	10.6	112	528.6
2	20	21.1	287	555.7

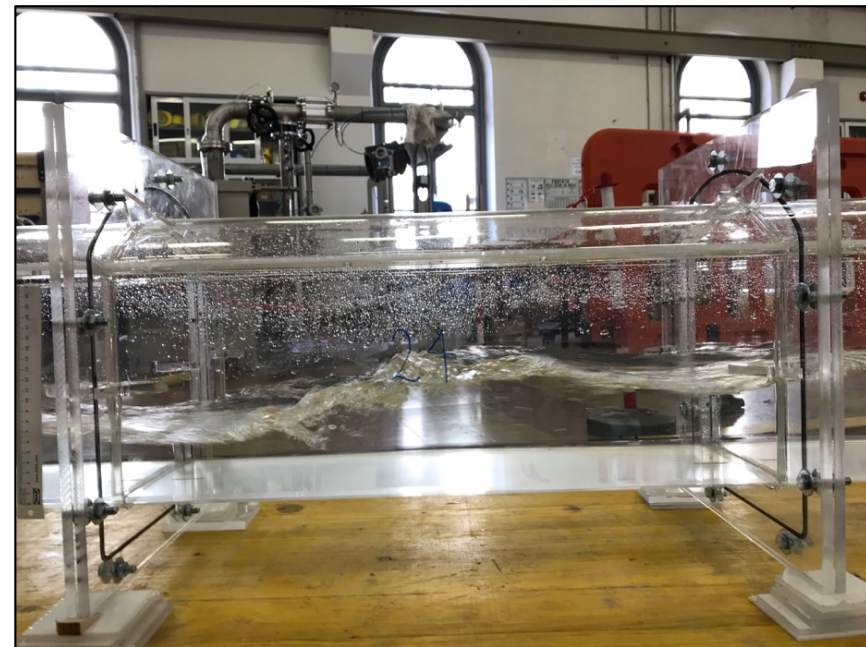
La galleria di valle ha sempre un funzionamento a pelo libero con iniziale moto in corrente veloce

Per le portate $Q=10$ mc/s e $Q=20$ mc/s si ha un passaggio in corrente lenta con conseguente risalto idraulico localizzato all'interno del tratto in galleria

$$Q_R=10 \text{ mc/s} - Q_M=10.6 \text{ l/s}$$

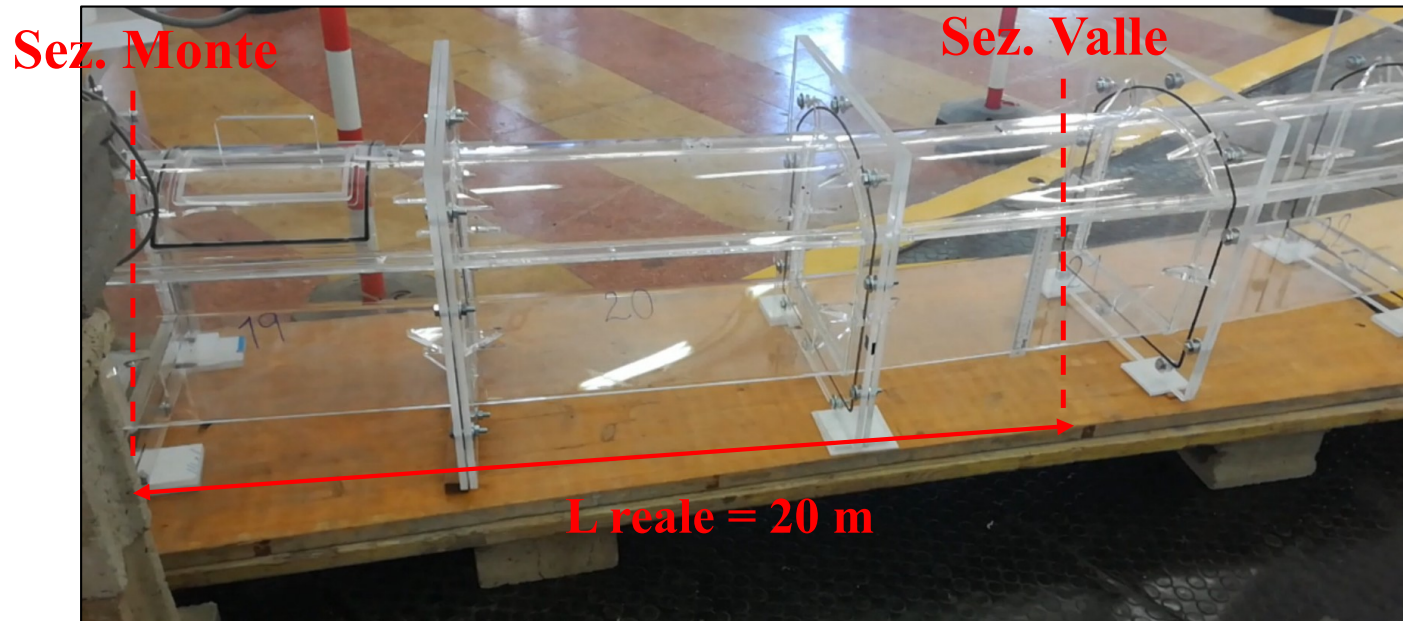


$$Q_R=20 \text{ mc/s} - Q_M=21.1 \text{ l/s}$$





- Energia della corrente



$$H_M = h_M + \frac{V_M^2}{2g} \longrightarrow \text{Misurata direttamente}$$

$$H_V = h_V + \frac{V_V^2}{2g} \longrightarrow \text{Determinata da misura di } h_V$$

$$\Delta H = H_M - H_V$$

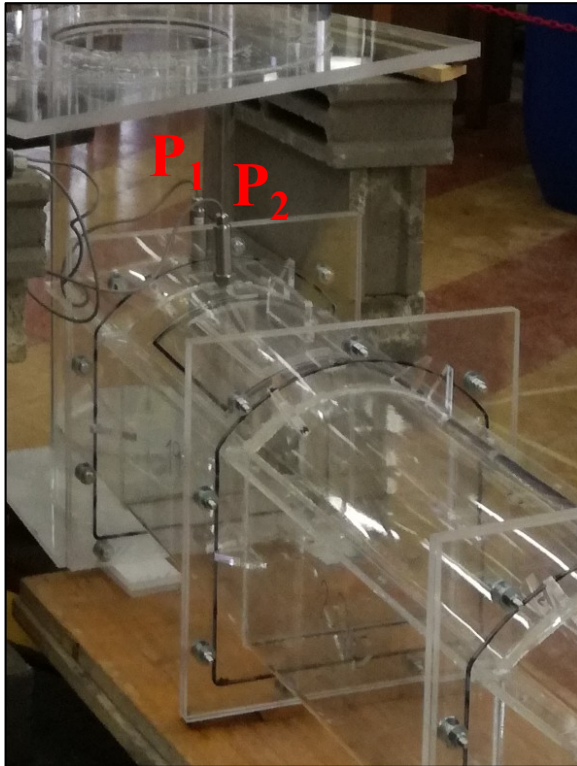
$$H_M > H_V$$

La galleria di valle ha un iniziale funzionamento in corrente veloce

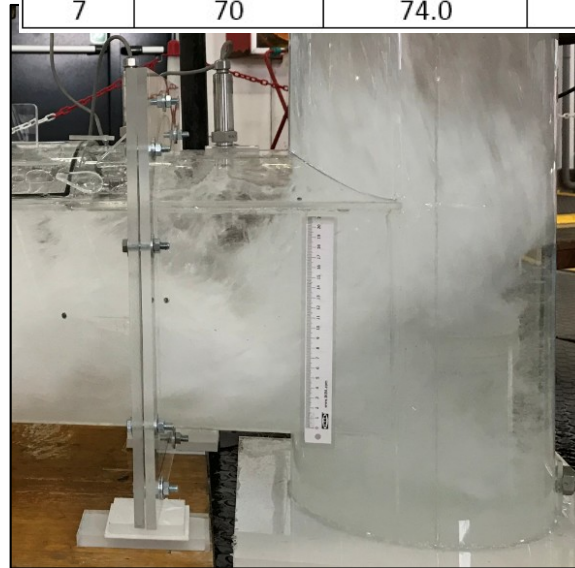
Prova	Q reale [mc/s]	Q modello [l/s]	H_M (cm)	h_V (cm)	H_V (cm)	ΔH (cm)
1	10	10.6	18.7	5.0	8.4	10.4
2	20	21.1	30.9	4.8	19.4	11.5
3	30	31.7	46.0	7.0	22.5	23.5
4	38	40.2	49.1	11.3	20.8	28.3
5	53	56.0	41.4	15.5	25.4	16.1



• 10) Aerazione della corrente e sollecitazione della calotta



Prova	Q reale [m ³ /s]	Q modello [l/s]	P1 modello [cm H ₂ O]	P1 reale [cm H ₂ O]	P2 modello [cm H ₂ O]	P2 reale [cm H ₂ O]
1	10	10.6	0.05	0.75	-0.02	-0.35
2	20	21.1	0.40	6.17	-0.07	-1.01
3	30	31.7	0.42	6.57	0.25	3.94
4	38	40.2	0.61	9.48	0.55	8.51
5	53	56.0	-0.54	-8.42	-0.28	-4.36
6	61	64.5	-0.40	-6.25	-0.31	-4.81
7	70	74.0	-0.43	-6.61	-0.30	-4.70



Nel primo tratto di galleria di valle esiste dissipazione energetica

Fino alla portata $Q_R=38$ mc/s ($Q_M=40.2$ l/s) non si sono evidenziati valori rilevanti di pressione/depressione

$$Q_R=70 \text{ mc/s} - Q_M=74.0 \text{ l/s}$$

	<u>modello (cm H₂O)</u>	<u>reale (cm H₂O)</u>	<u>reale (kPa)</u>	<u>reale (kg/m²)</u>		<u>modello (cm H₂O)</u>	<u>reale (cm H₂O)</u>	<u>reale (kPa)</u>	<u>reale (kg/m²)</u>
P1 min	-8.6	-132.9	-13.0	-1328.5	P2 min	-8.3	-128.7	-12.6	-1285.9
P1 max	6.5	100.4	9.8	1003.7	P2 max	8.6	133.7	13.1	1335.7
P1 media	-0.4	-6.6	-0.6	-66.1	P2 media	-0.3	-4.7	-0.5	-46.9



POZZO A VORTICE

- ✓ 1) Il manufatto è in grado di smaltire fino alla portata $Q_R=61$ mc/s ($Q_M=64.5$ l/s) Si è osservato risalto idraulico localizzato all'interno della camera di alimentazione fino alla portata $Q_R=26$ mc/s ($Q_M=27.5$ l/s)
- ✓ 2) Il coefficiente di efflusso C_λ varia pressochè linearmente al variare della portata, da un valore di 0.10 a 0.42
- ✓ 3) I livelli massimi sono sempre inferiori alla mensola di contenimento dei livelli, che viene interessata per portate da $Q_R=53$ mc/s ($Q_M=56.0$ l/s)
- ✓ 4) L'aerazione della corrente attraverso le finestrate è sempre sufficiente
- ✓ 5) Il diametro di aerazione del pozzo verticale (air core) rimane sempre sufficiente, con un valore minimo del parametro $\lambda=0.52$ per la portata massima $Q_R=61$ mc/s ($Q_M=64.5$ l/s)
- ✓ 6) L'efficienza di dissipazione energetica η è compresa tra il 65% e il 90%

GALLERIA MONTE

- ✓ 7) Fino alla portata $Q_R=38$ mc/s ($Q_M=40.2$ l/s) si ha un funzionamento a pelo libero, per portate superiori si ha funzionamento in pressione e risalto localizzato lungo la galleria di monte
- ✓ 8) L'aerazione della corrente è sempre sufficiente. Con funzionamento in pressione si ha una sollecitazione della calotta per 32 kPa (3250 kg/mq) in corrispondenza della portata massima $Q_R=70$ mc/s ($Q_M=74.0$ l/s)

GALLERIA VALLE

- ✓ 9) Si ha sempre un funzionamento a pelo libero, con fenomeni vorticosi di dissipazione energetica lungo il primo tratto di sviluppo della galleria. Il funzionamento iniziale è sempre in corrente veloce, con risalto spinto a valle ($H_M > H_V$) e localizzato all'interno della galleria per le portate $Q_R=10$ mc/s ($Q_M=10.6$ l/s) e $Q_R=20$ mc/s ($Q_M=21.1$ l/s)
- ✓ 10) Si ha interessamento della calotta con sollecitazioni comprese tra -15.7 kPa (-1600 kg/mq) e 16.0 kPa (1630 kg/mq)