Dam Day 2024
Dighe e serbatoi in Italia

POLITECNICO MILANO 1863

LABORATORIO FANTOLI
DICA Politecnico di Milano

ITCOLD OPEN DAY ON DAMS

Giornata di studio sulle dighe in esercizio

MODELLAZIONE FISICA DELLE OPERE DI SCARICO DELLE DIGHE: ESEMPI DI LABORATORIO

Marco Mancini, V. Herrera, G. Ravazzani, C. Corbari, A. Ceppi, S. Meucci, G. Lombardi, N.Paciolla A. Menzione, E. Gambini

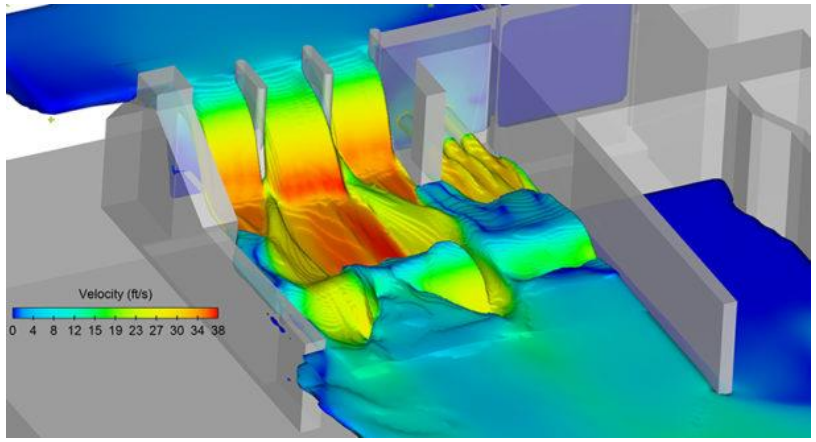


Maggio 29 2024

OBIETTIVO: RIPRODURRE I PROCESSI FISICI DI UN OPERA IDRAULICA A SUPPORTO DELLA SUA GESTIONE E PROGETTAZIONE

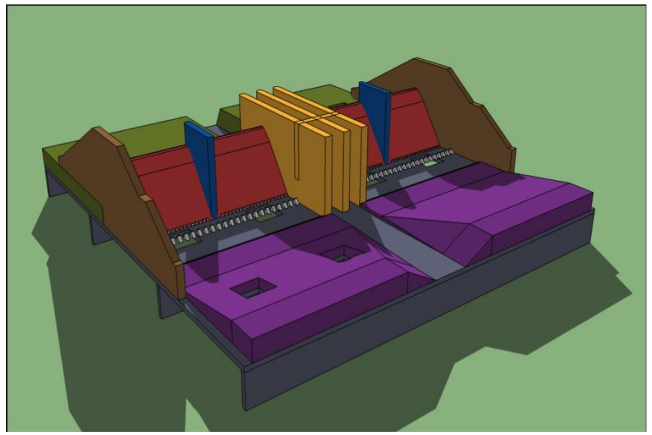
Modelli Matematici

Riproducono i processi idraulici risolvendo le equazione di ciascun processo **in una scala geometrica λ=1:1**



Modelli Fisici

Riproducono i processi Idraulici **in una scala geometrica λ=1:(10…50) ridotta rispetto all'originale** considerando la **similitudine geometrica, cinematica e meccanica**. Nell'Idraulica i modelli piu' usati sono quelli in **similitudine di Froude** e di **Reynolds**



Froude

$$F_r = \frac{u}{\sqrt{g.l}} = \sqrt{\frac{\rho.u^2.l^2}{\rho.g.l^3}} = \sqrt{\frac{forza\ d'inerzia}{forza\ di\ gravità}}$$

Reynolds

$$R_e = \frac{\rho.u.l}{\mu} = \frac{\rho.u^2.l^2}{\mu.u.l} = \frac{forza\ d'inerzia\ a}{forza\ viscosa}$$

PROGETTO DEL MODELLO FISICO: dal caso reale al Modello

Scala geometrica 1:15.5
Similitudine di Froude

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

Grandezze	Rapporto	λ (modello)	1/λ (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	$\lambda_t = \frac{\lambda_h}{\lambda_\lambda}$	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

Costruire un modello con la stessa dissipazione energetica tra modello fisico e opera in reale:

Scabrezze R= reale, M= modello

$$K_{S_R} = 65 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{s} \longrightarrow K_{S_M} = 103 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$$

Plexiglass (PMMA) $\longrightarrow$ $K_S = 120 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{s}$

I_m = pendenza fondo J_M = cadente piezometrica

$$i = J \qquad r_{i_f} = \frac{i_M}{i_R} \qquad r_J = \frac{J_M}{J_R}$$

Legge di resistenza: Similitudine di Froude:

$$J = \frac{V^2}{K_S^2 \cdot R^{\frac{4}{3}}} \qquad r_V = \sqrt{\lambda} \longrightarrow r_{i_f} = \frac{1}{r_{K_S}^2 \cdot \lambda^{\frac{1}{3}}} = 0.732$$

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

La Diga di Valtoggia

Dati caratteristici

Anno ultimazione lavori:
1932

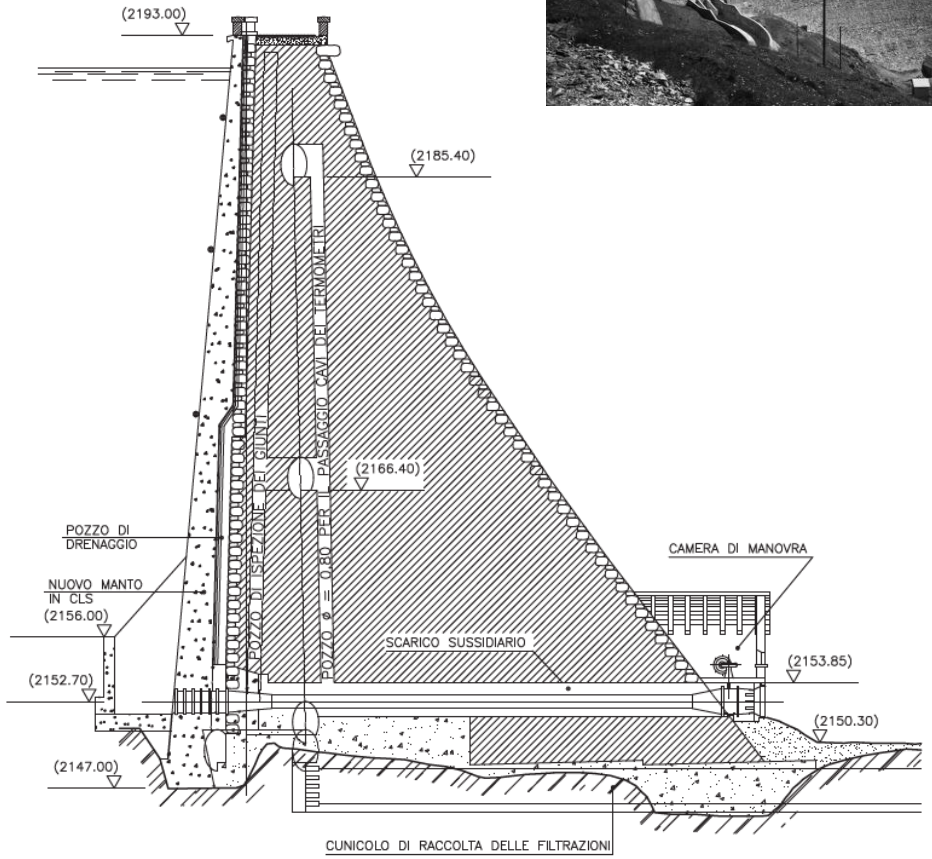
Tipologia Diga
(ai sensi D.M. 2014):
a.1.1 in pietrame e malta; a gravità; ordinaria

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

Volume di invaso
L.584/94):
15,49 Mm^3



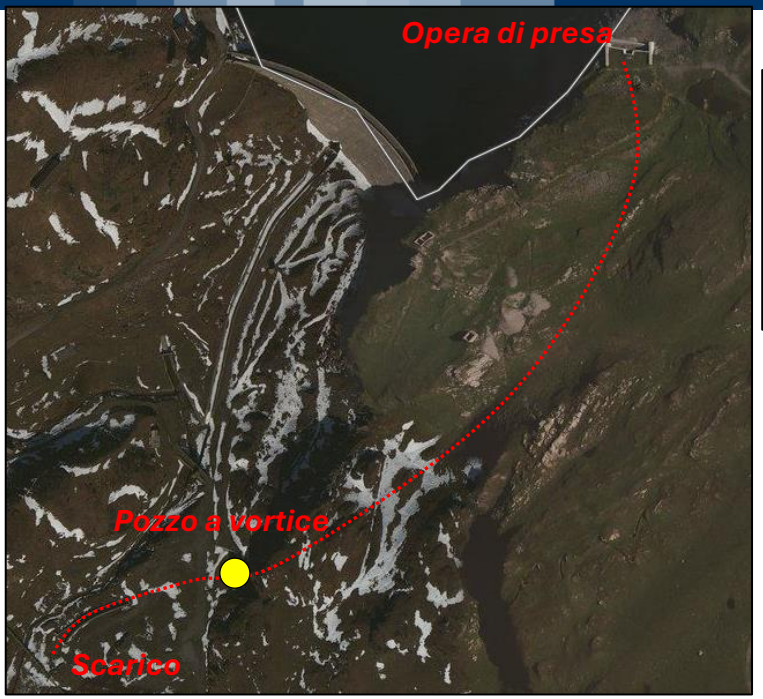


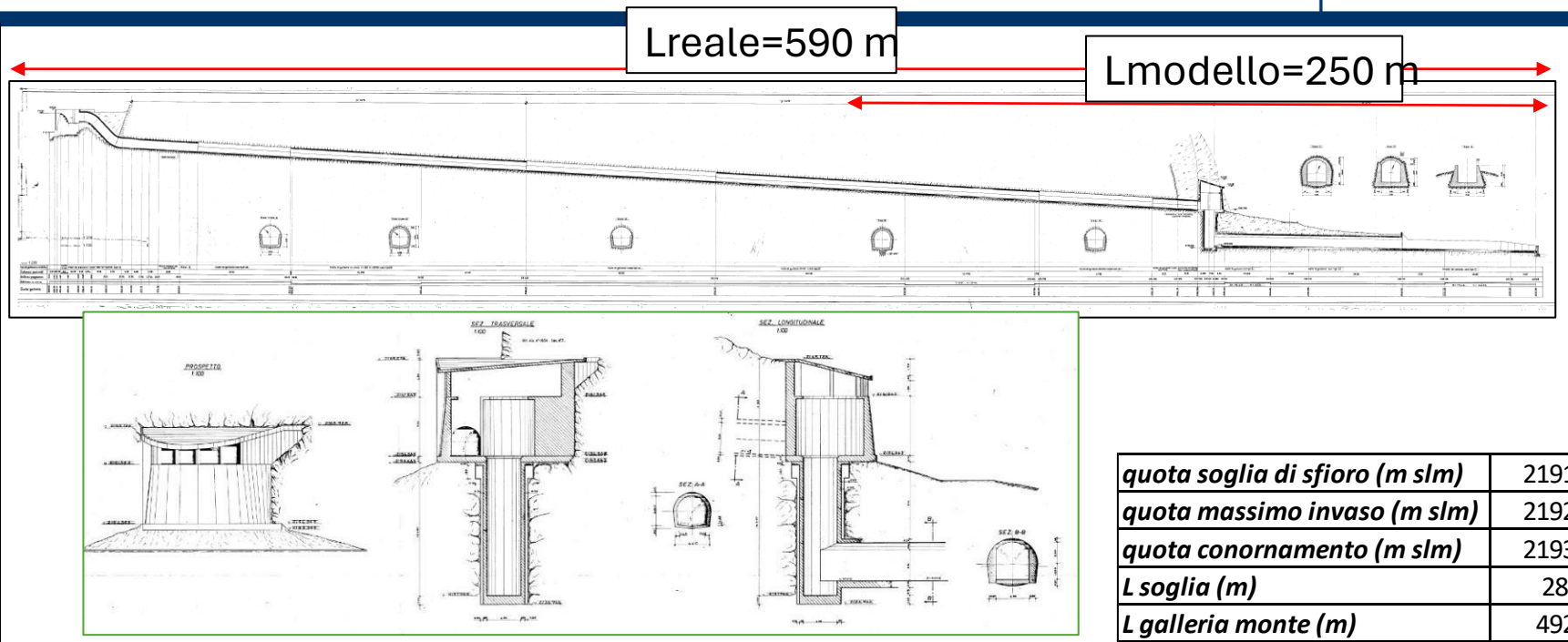




courtesy F. Plebani

LO SCARICO DI EMERGENZA DELLA DIGA DEL TOGGIA





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



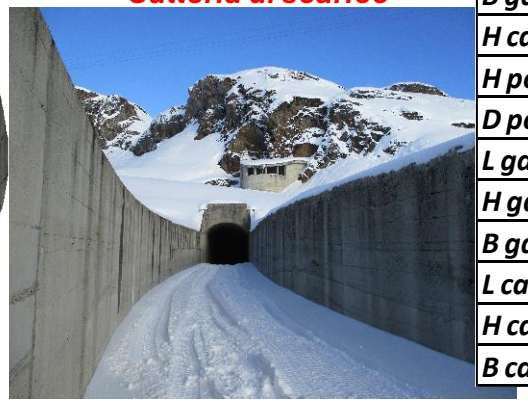
POZZO A VORTICE



POZZO A VORTICE



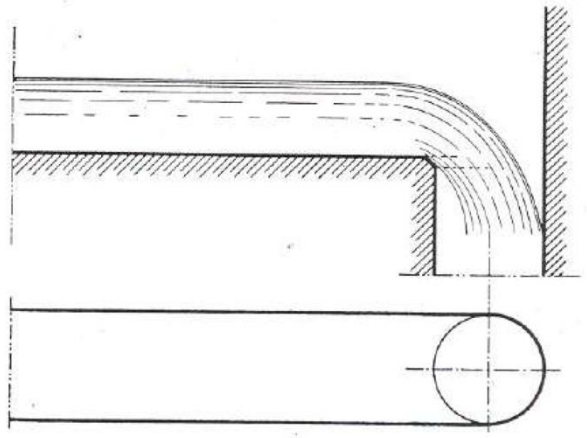
Galleria di scarico



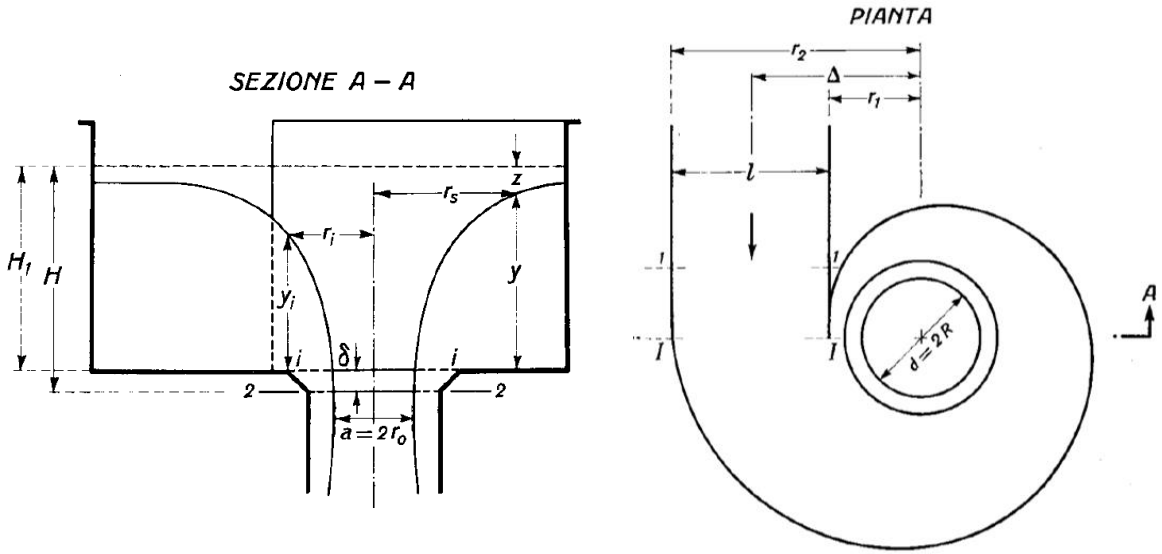
TIPOLOGIA DI POZZI DI CADUTA

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

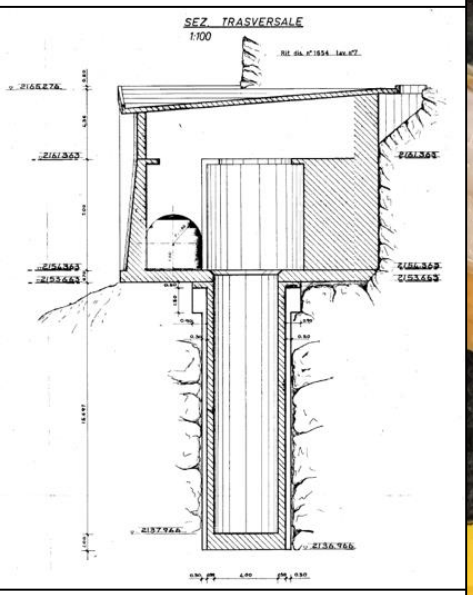


Le misure sperimentali anni 50 e 60 permettono di verificare le ipotesi:

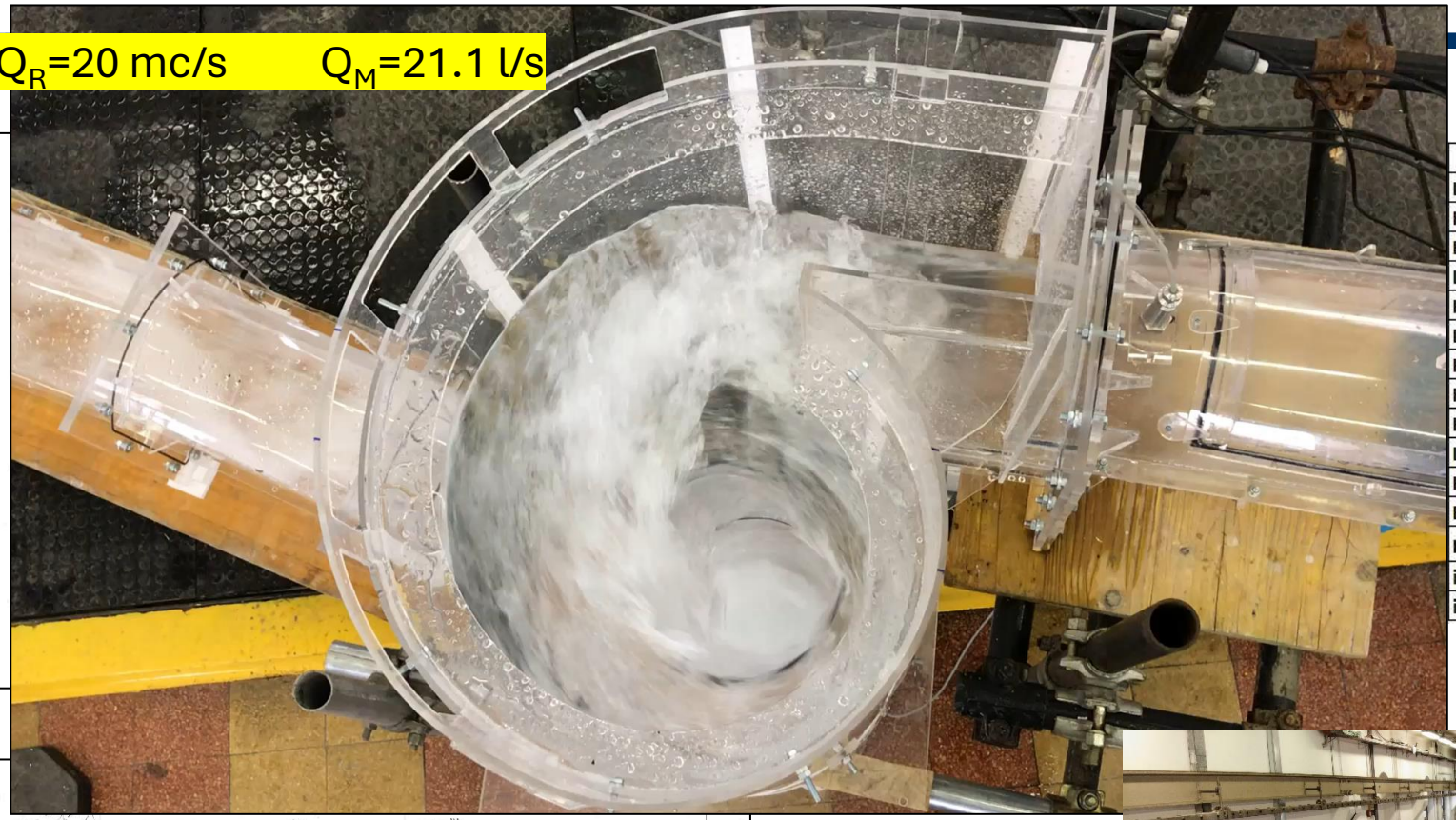
H_1= cost nella camera di alimentazione
P= P atm nella sezione di efflusso del pozzo

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

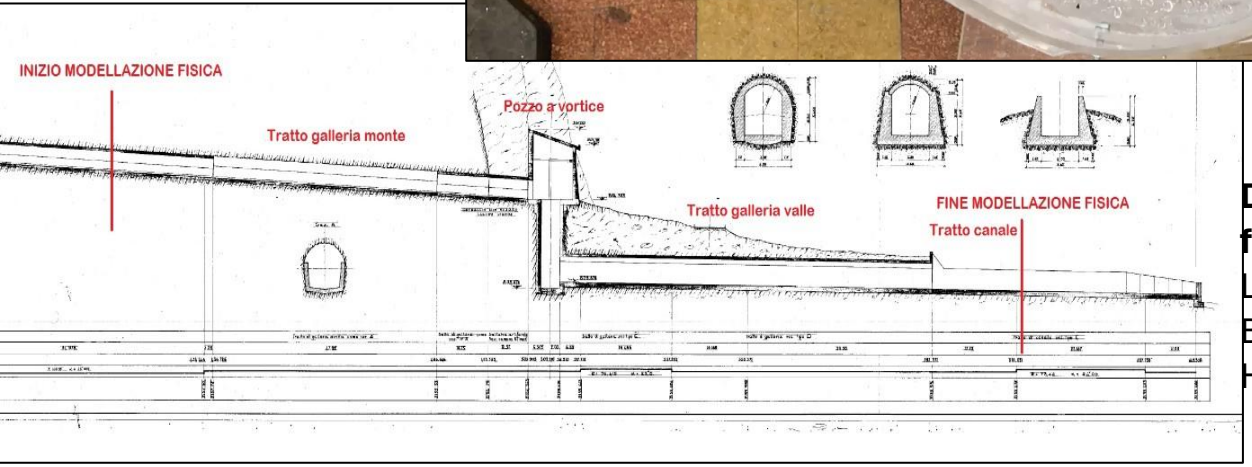
PROGETTO DEL MODELLO FISICO E SUO FUNZIONAMENTO



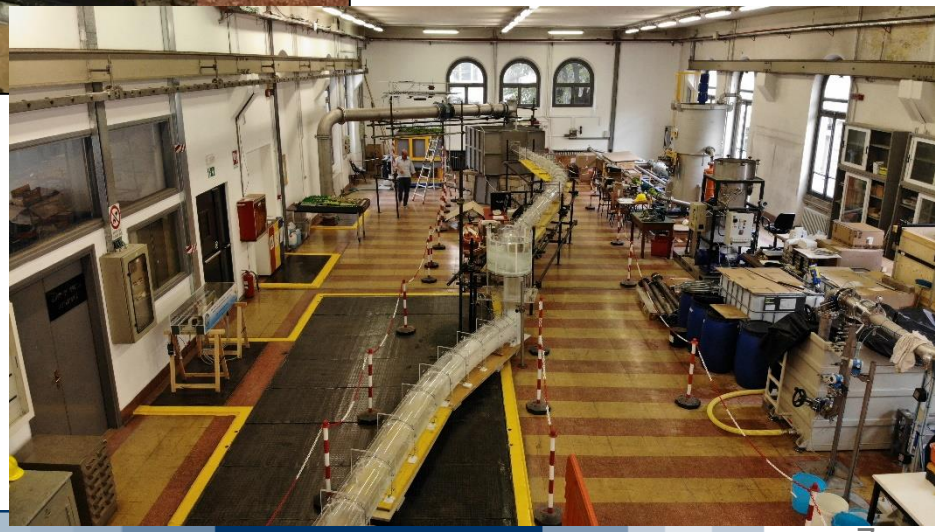
Q_R=20 mc/s Q_M=21.1 l/s



Grandezza	Modello fisico [cm]	Reale [
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



Dimensioni modello fisico:
L=17.6 m
B=3.0 m
H=1.7 m



Check and test of the vortex drop shaft

Vortex shaft

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

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

Upstream vortex shaft tunnel

Funzionamento a pelo libero, localizzazione risalto

8. Aerazione della corrente e sollecitazione della calotta



Downstream tunnel

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

PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE

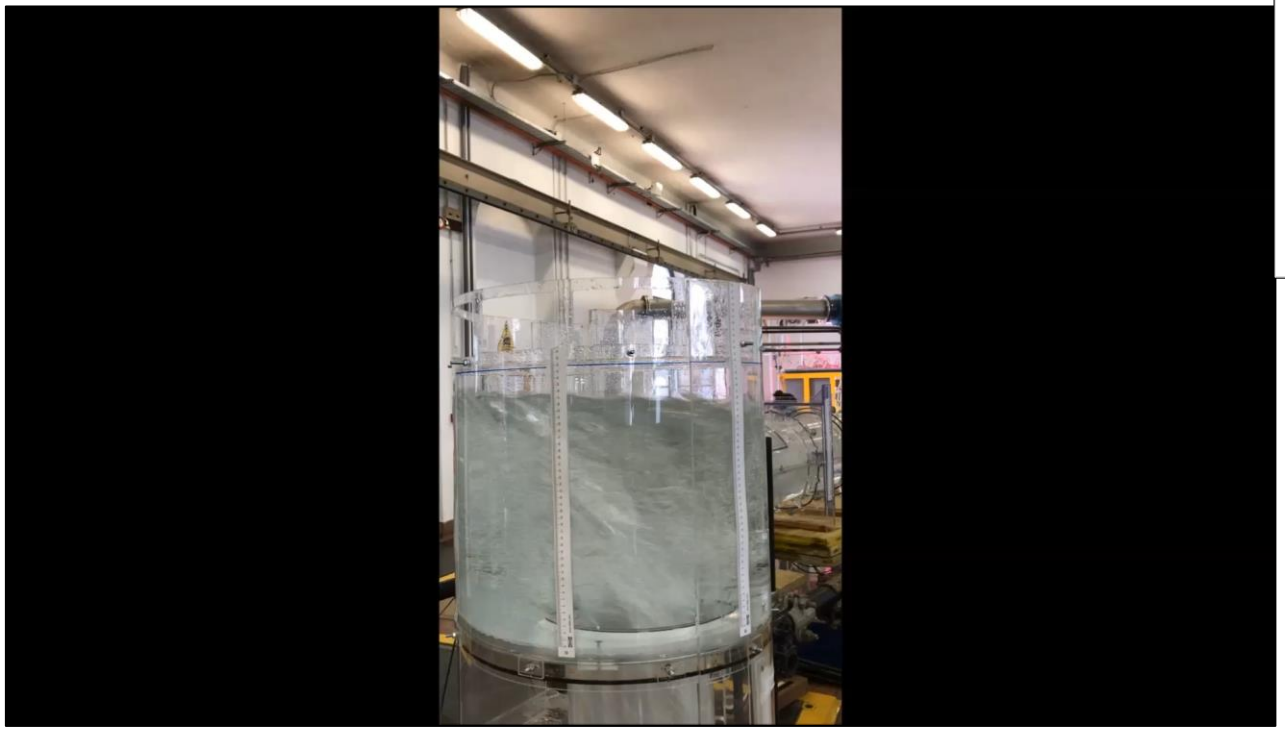
Livelli massimi nella camera di alimentazione

Prova	Q_R [m³/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

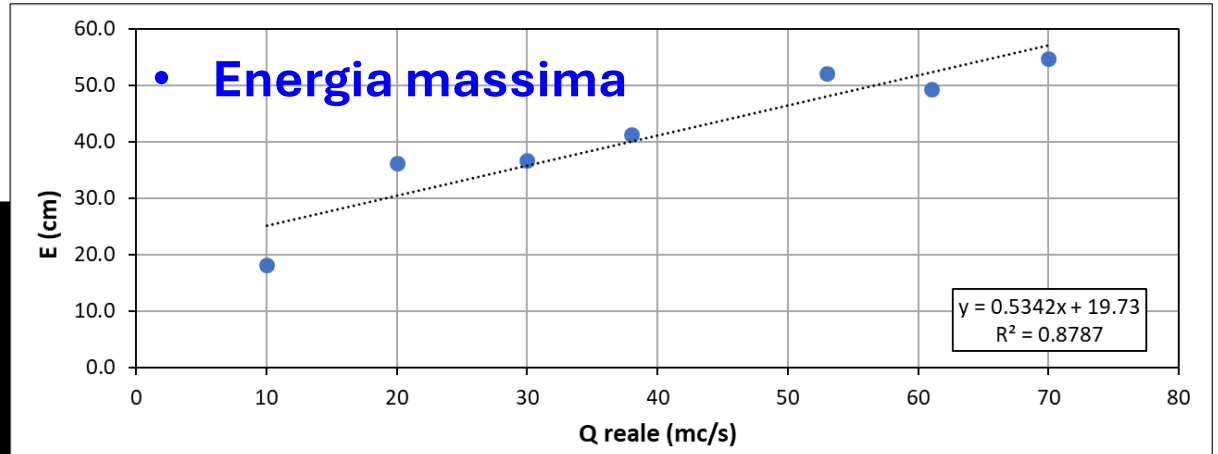
$h_{mensola}$ = 42 cm (6.50 m in reale)

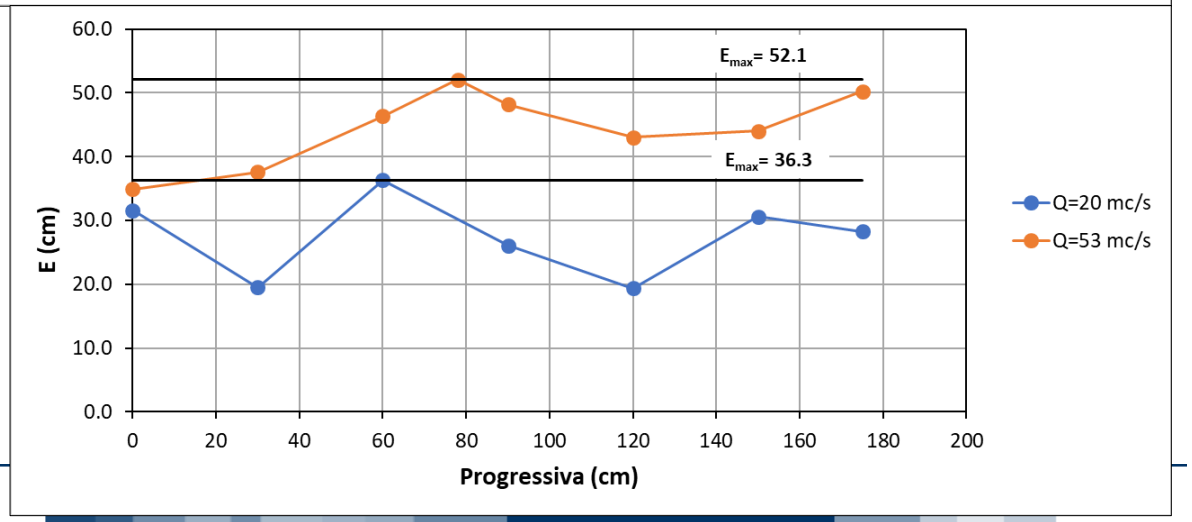
Per portate da Q=53 mc/s (56.0 l/s nel modello fisico) il tirante massimo arriva a interessare la mensola di contenimento dei livelli

Q_R=53 mc/s – Q_M=56.0 l/s



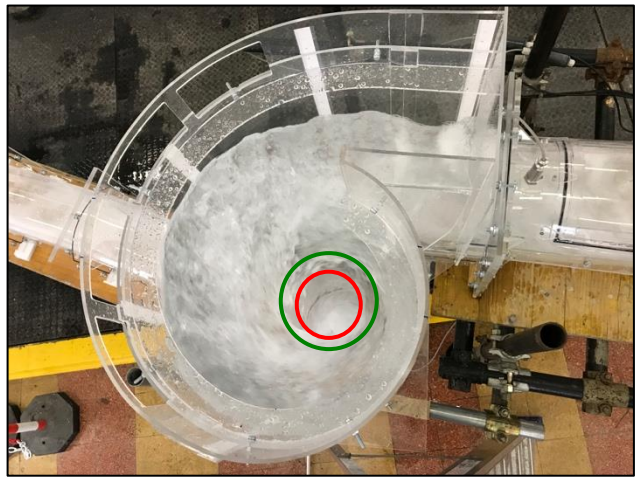
- **Energia massima**





PROVE SU MODELLO FISICO – POZZO A VORTICE
Air core (diametro di aerazione del pozzo verticale

Misura d_0 D

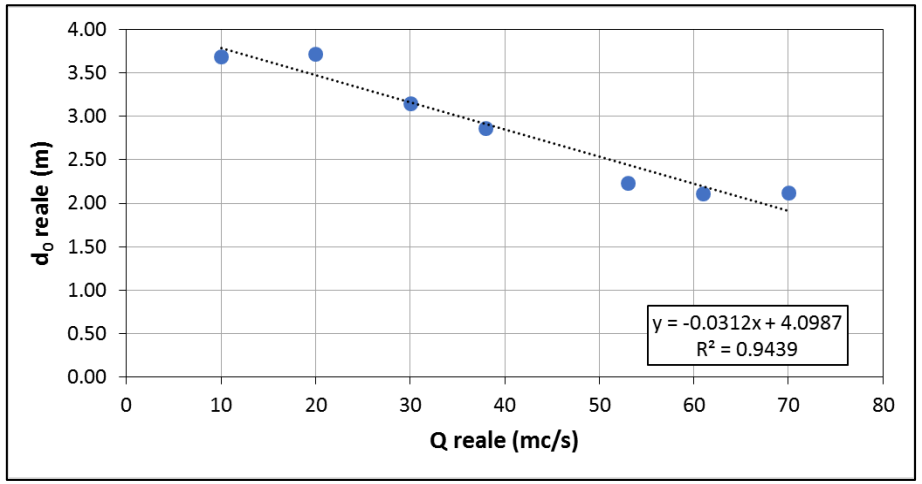


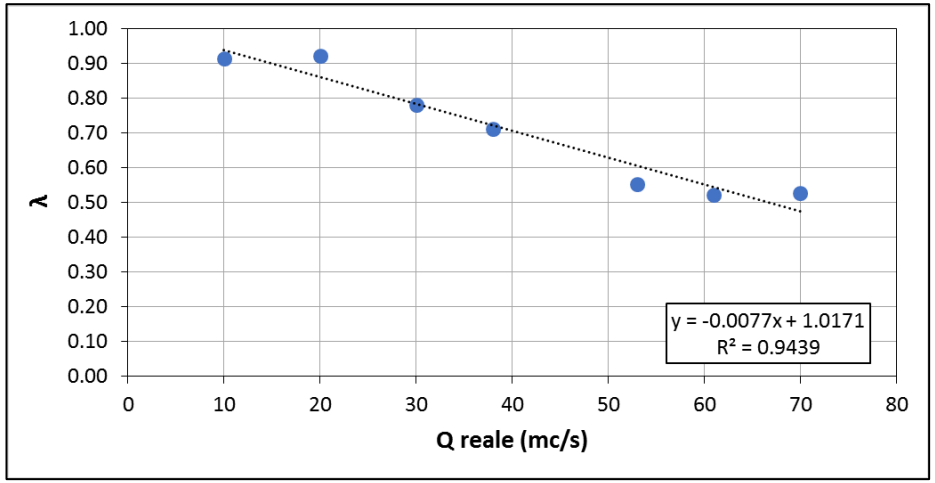
$$\lambda = \frac{d_0}{D}$$

Viparelli (1950)

$\lambda_\min = 0.5$

Prova	Q_R [m³/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





LA NUOVA GALLERIA DI SCARICO DEL LAGO D'IDRO



Laboratorio Fantoli @Polimi



L. Idro V regolazione = 70 Mmc



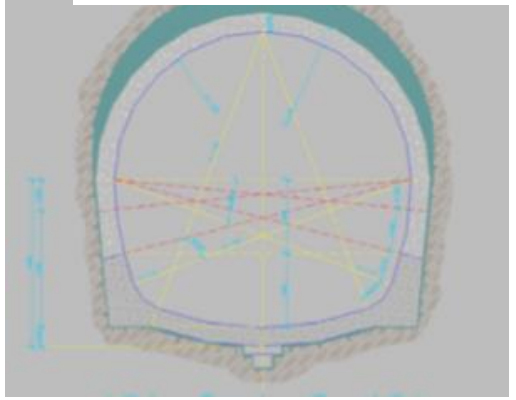
CARATTERISTICHE DEL MODELLO FISICO

Scala geometrica 1:30
Similitudine idraulica di Froude
Max Q = *67 l/s* ($Q_{T=1000\ anni}$)
Materiali: Plexiglass, PVC, legno & CLS
Lung. = 43.6 m, Larg = 9.3 m, lung. galleria = 32.2 m, sezione policentrica h= 23.2 cm, Qmax 67 l/s

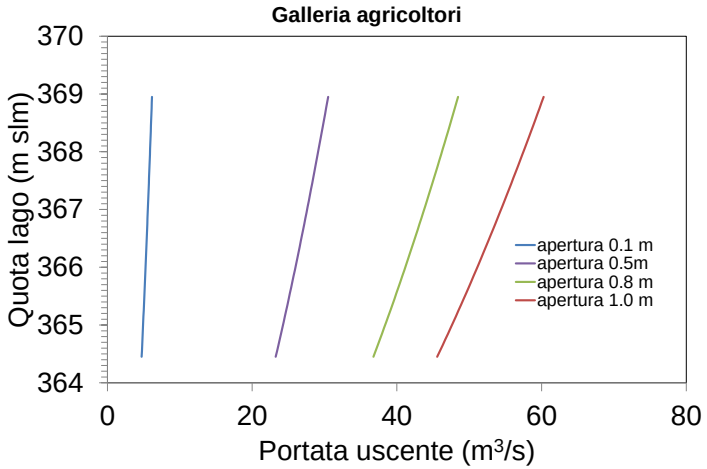
OPERE RIPRODOTTE

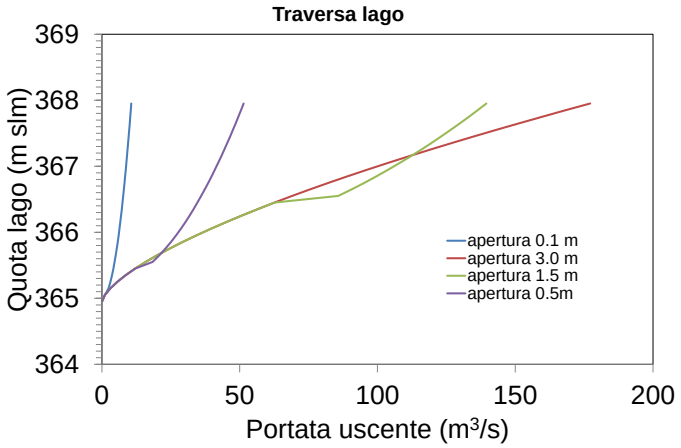
Opera di imbocco a lago
Camera delle paratoie
Galleria tratto convergente a geometria variabile
Galleria sezione corrente tratti curvilinei e rettilinei
Galleria tratto terminale a geometria variabile
Canale di restituzione e confluenza
Tratto di confluenza galleria-Chiese

SEZIONE POLICENTRICA



LE OPERE DI REGOLAZIONE: scalr di deflusso della galleria degli agricoltori e della traversa









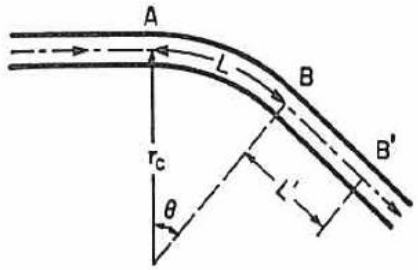




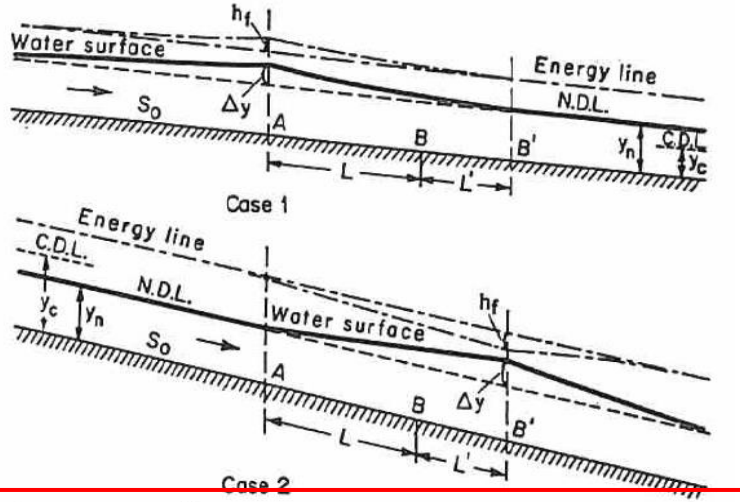


Correnti veloci in curva su sezione chiusa: effetto di rigurgito sezione terminale tratto rettilineo

Perdita di carico concentrata (h_f) nella direzione del moto medio



$$h_f = f_c \frac{V^2}{2g}$$

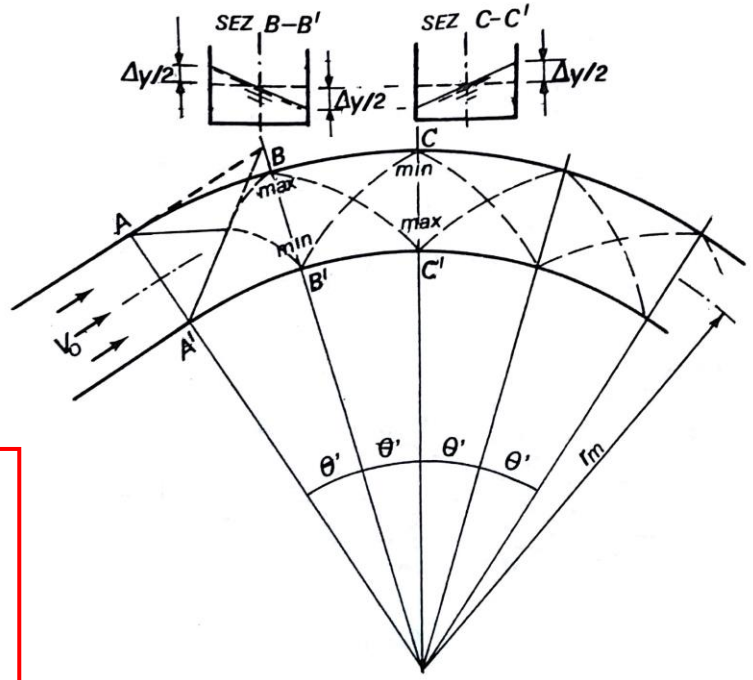


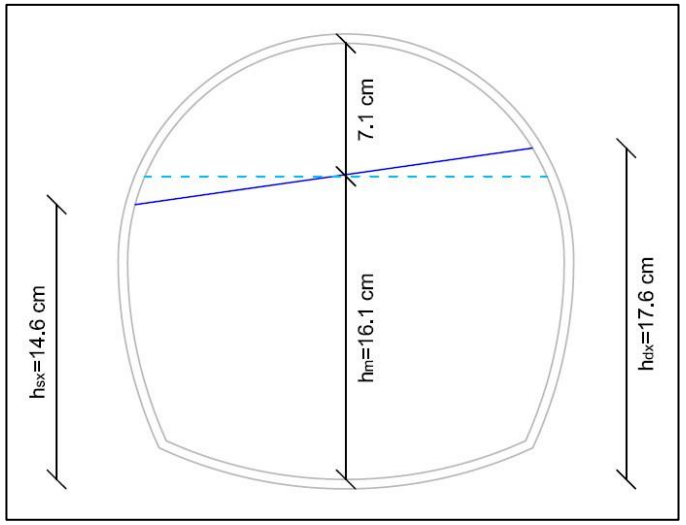
Subcritical Flow

Supercritical Flow

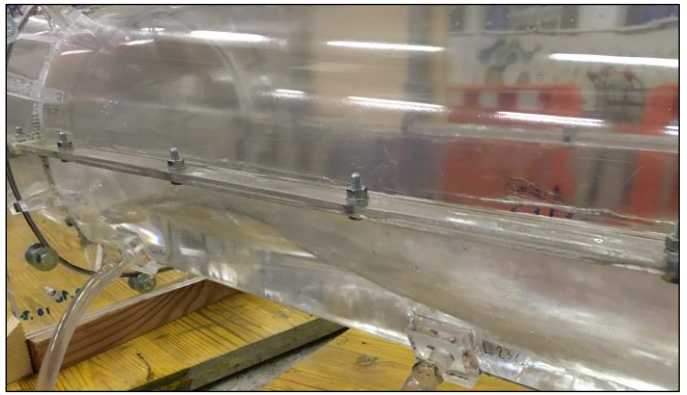
Causato dal sovralzo locale e dall'aumento di attrito (perimetro bagnato)

$$DH = 2\frac{V^2 B}{g\, r_m}$$



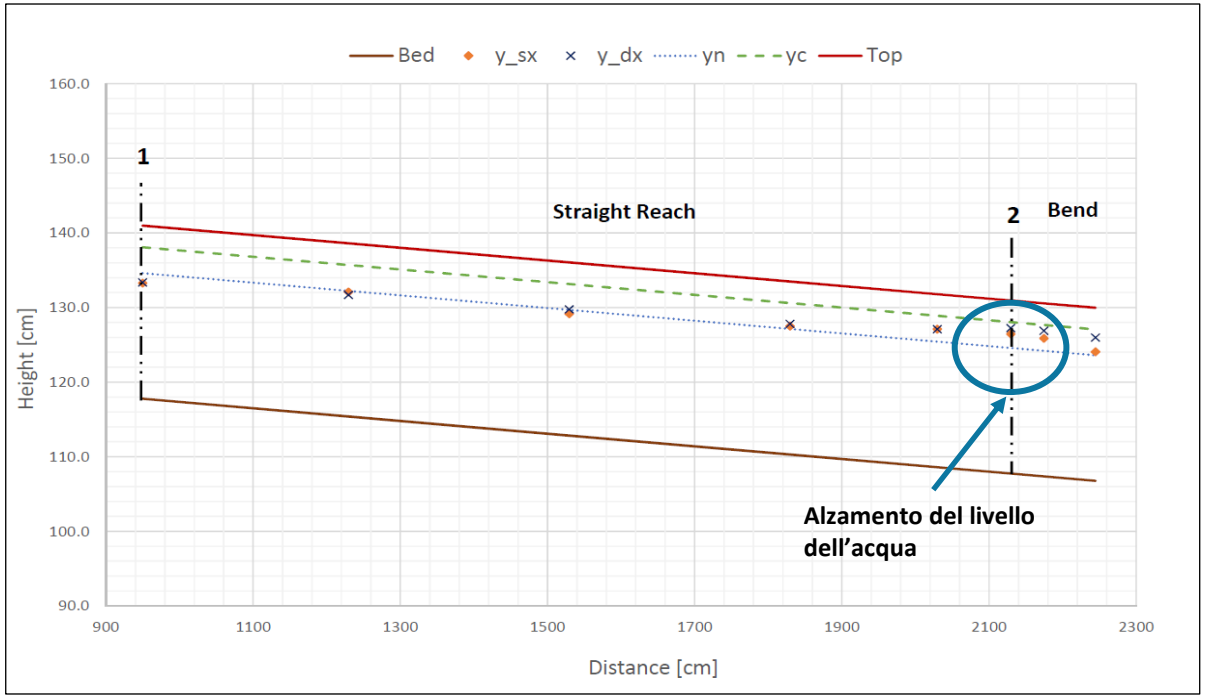


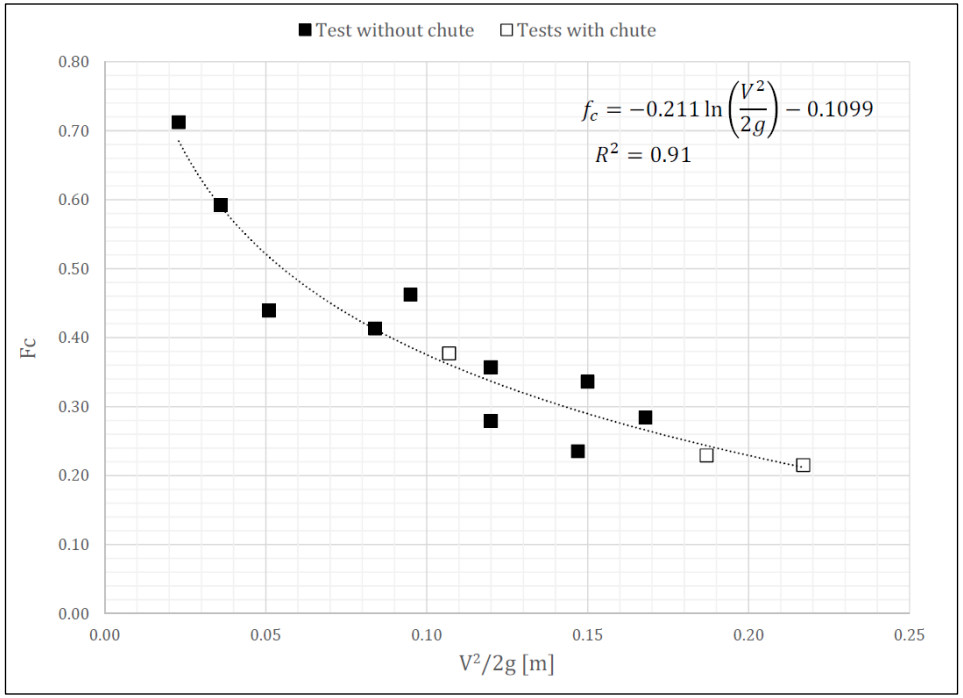
Sez. 21, prog. 2480 cm



Effetto di curvatura nelle perdite di carico

ESTIMA DEL COEFFICIENTE Fc

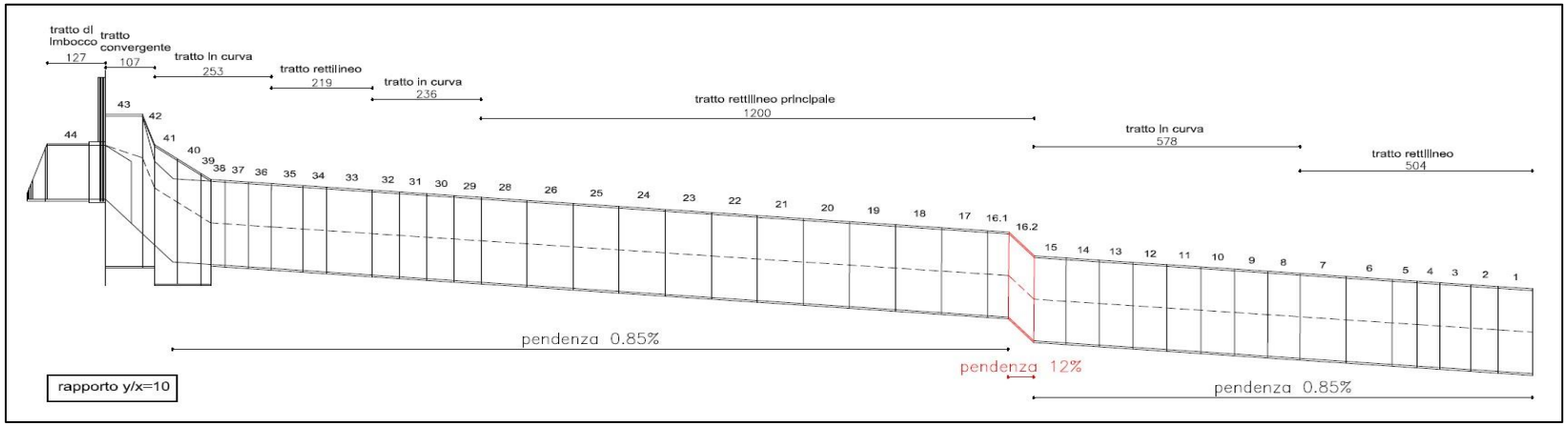




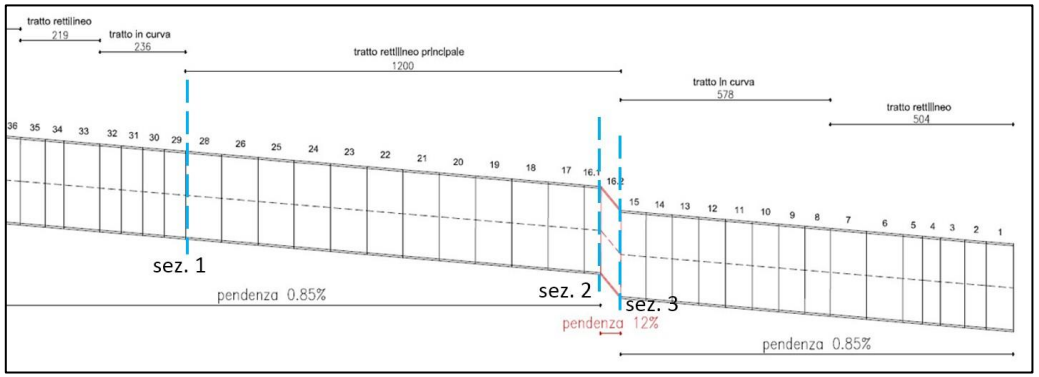
Il coefficiente Fc diminuisce con l'aumento del carico cinetico

Herrera Gómez, V., Ravazzani, G., Meucci, S., Mancini, M. (2024) Flow features of a horseshoe tunnel bend. Journal of Hydraulic Research (in press). https://doi.org/10.1080/00221686.2024.2342954

Valutazioni energetiche di differenti pendenze – Geometria 3



L'incremento di pendenza possibile è stato quello realizzabile lungo il tratto rettilineo principale ottenibile dalla riduzione del dislivello dello scivolo terminale della galleria



	i=12%
h_1 (cm)	15.6
Gr_1	67%
h_2 (cm)	16.1
Gr_2	69%
h_3 (cm)	16.3
Gr_3	70%

Scivolo 12% di pendenza prima della curva



BILANCIO DELL'ENERGIA metodo standard step

$$\Delta E = i\Delta s - J\Delta s - fc\frac{v^2}{2g} - \frac{0{,}5\Delta v^2}{2g}$$

$$h_f = f_c\frac{v^2}{2g}$$

f_c =0,3 da modello fisico

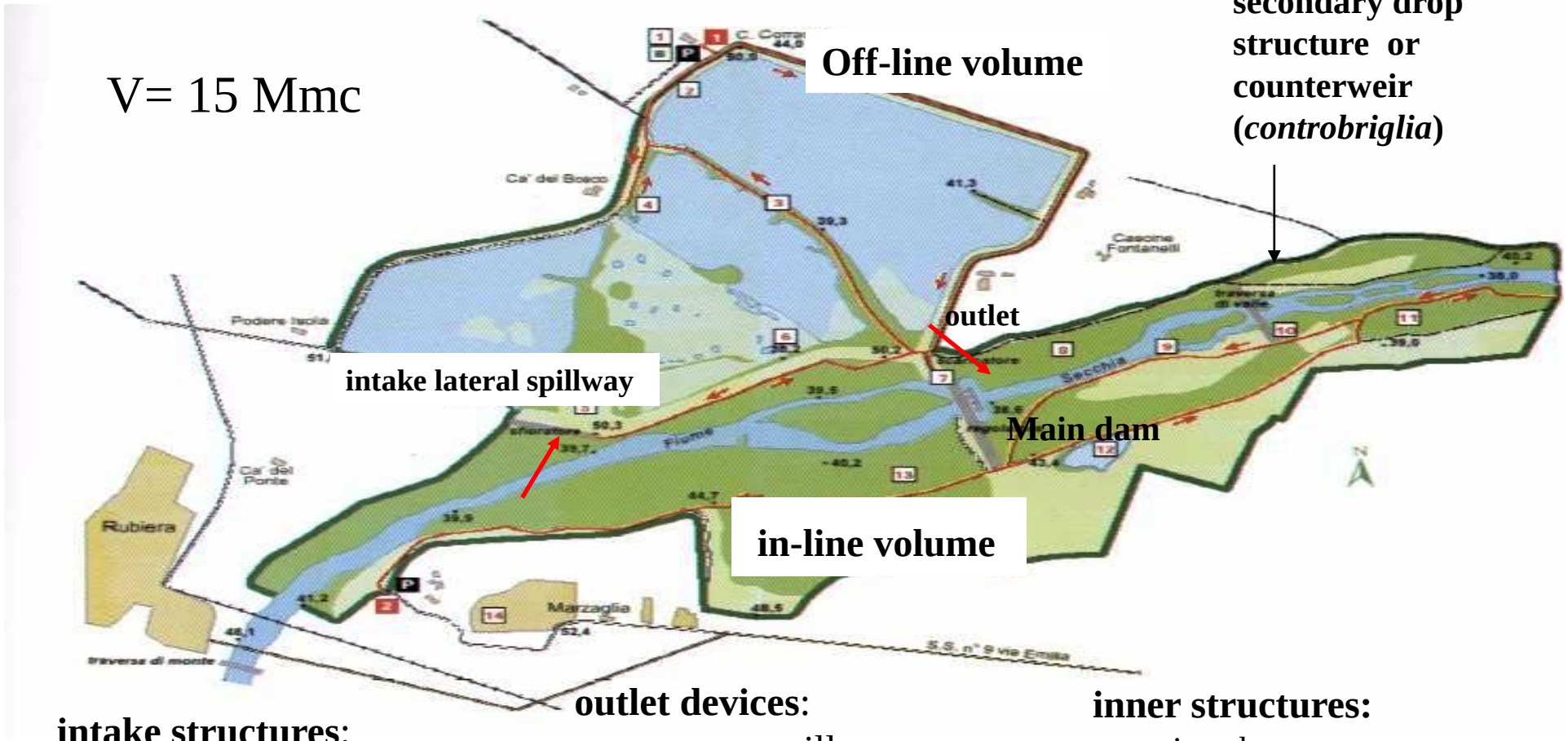
Modello Fisico DELLA GALLERIA : MOVIE



In-line detention basin: inlet and outlet devices are concentrated in the dam control structure

Plan of the Secchia flood storage area (mixed flood storage area)

V= 15 Mmc



intake structures:
- outlet orifices
- lateral sideweir
- control dam

outlet devices:
- emergency spillway
- submerged orifice
- extinguish throttle pipe or culvert
- stilling basin

inner structures:
- openings between sectors
- control of lateral creeks

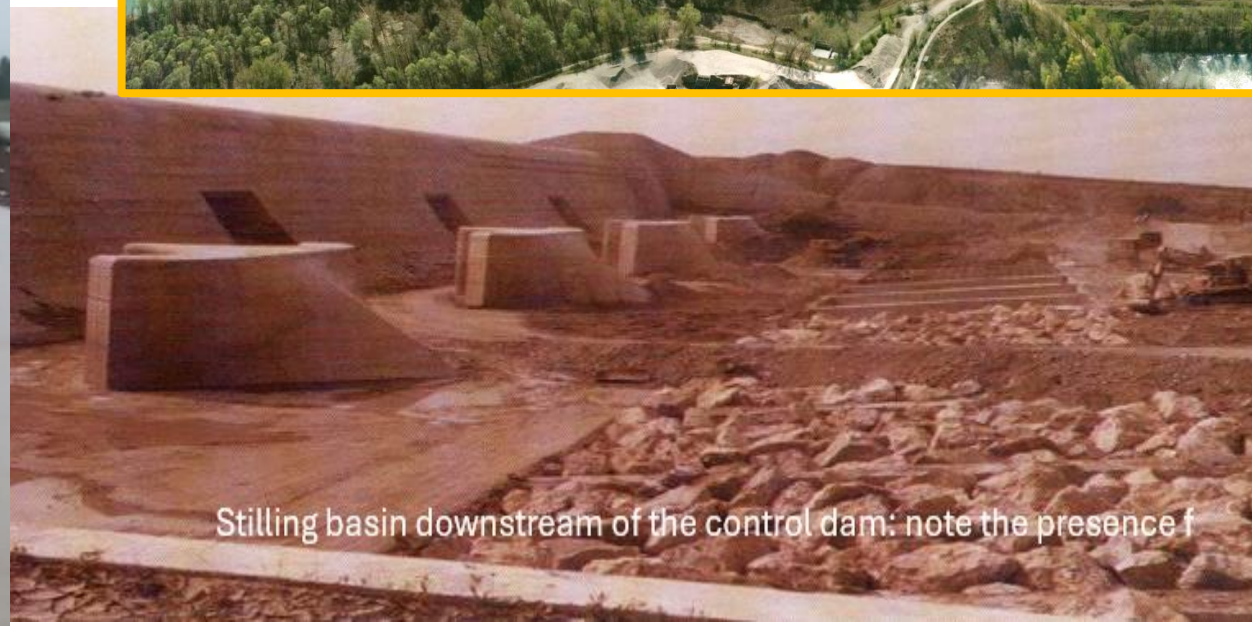
LE GRANDI VASCHE DI LAMINAZIONE : LA VASCA SUL F. SECCHIA

EVENTO May 2019 Flood



https://www.youtube.com/watch?v=meP7QeM1NQU

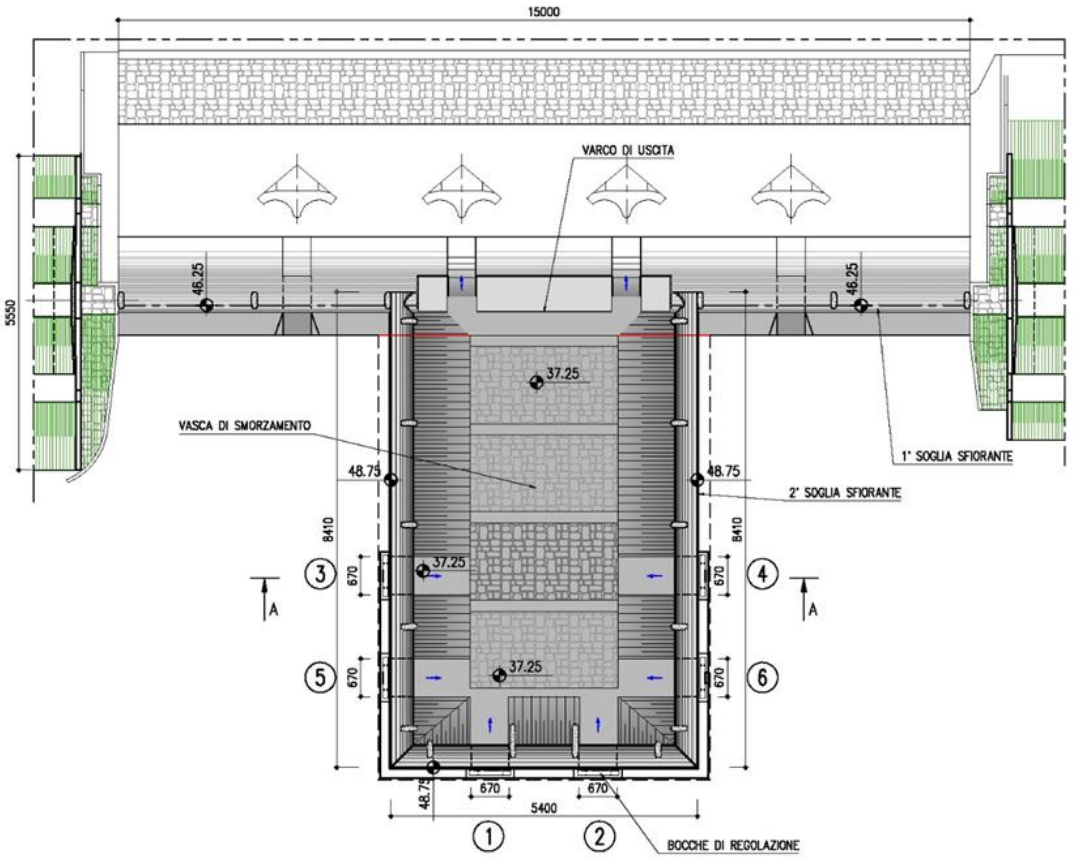




://www.reggionline.com/maltempo-la-piena-del-secchia-superato-quelle-del-2009-del-2017-video

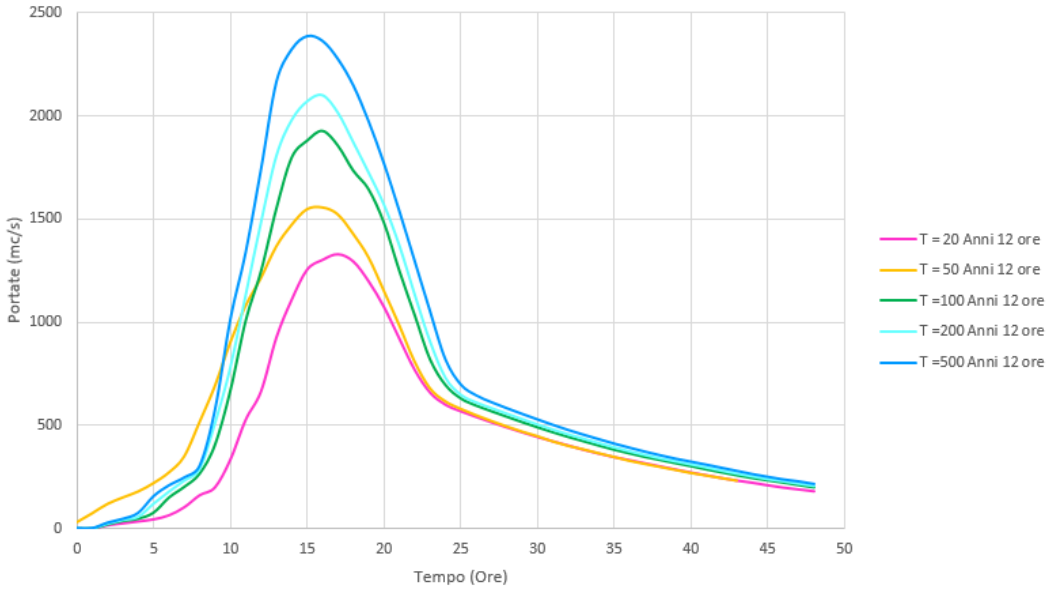
LE GRANDI VASCHE DI LAMINAZIONE : LA VASCA SUL F. SECCHIA

From Real to Model The Froude scale Model , scala geom= 1:40



ra

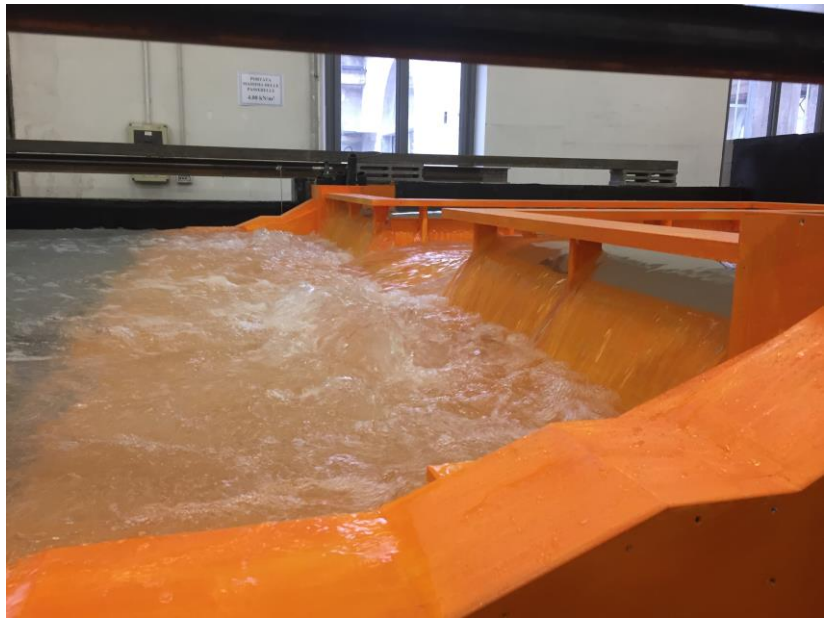
Corpo traversa esistente		
L (m)	96.0	2.40
H (m)	9.25	0.23
n. bocche (-)	2	2
bocche (m)	a=5.00 b=3.70	a=0.13 b=0.09
Corpo nuova traversa		
L (m)	222.2	5.56
H (m)	11.75	0.29
n. bocche (-)	6	6
bocche (m)	a=6.70 b=4.50	a=0.17 b=0.11

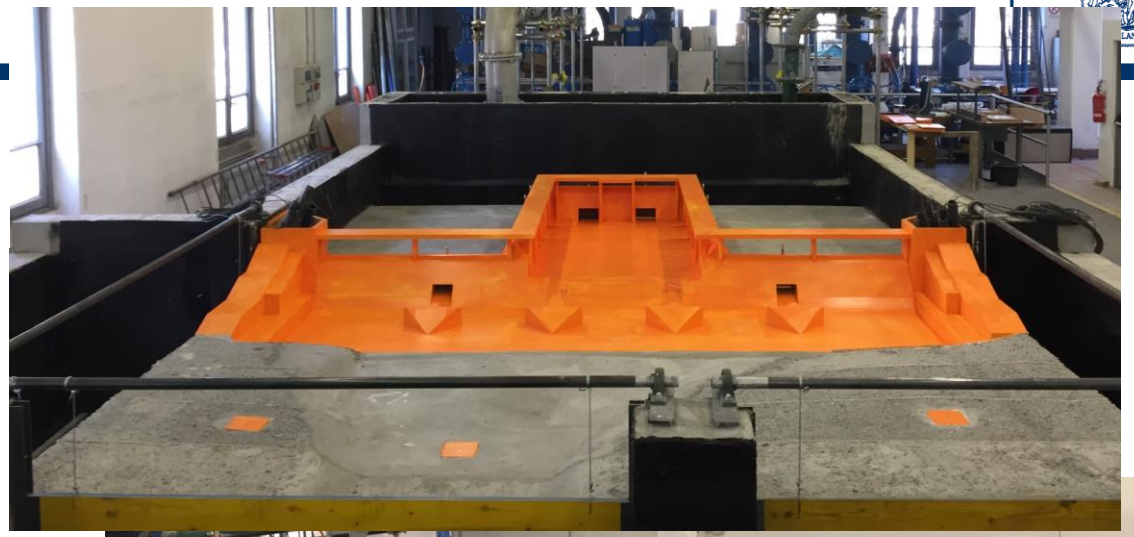


LE GRANDI VASCHE DI LAMINAZIONE : LA VASCA SUL F. SECCHIA

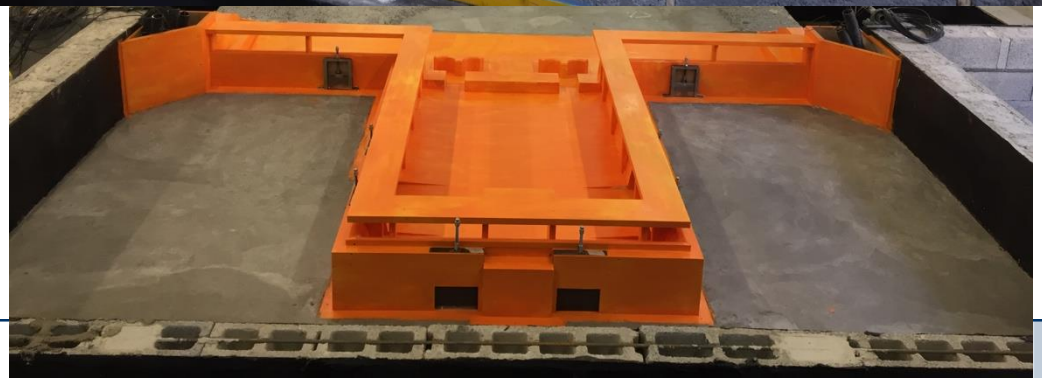
The new Secchia dam physical model at Polimi with regulated gates

geometric scale: 1:40
SIMILITUDINE : Froude
Q_m=270 l/sec ; Q_p=2700 mc/s









1. LA MODELLISTICA FISICA E' UNO STRUMENTO PROPEDEUDICO ALLA SICUREZZZA DELLA DIGA, I PER L' ANALISI DI FENOMENI LOCALIZZATI DELLE OPERE DI SCARICO DELLE GRANDI OPERE IDRAULICHE A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE E VERIFICA

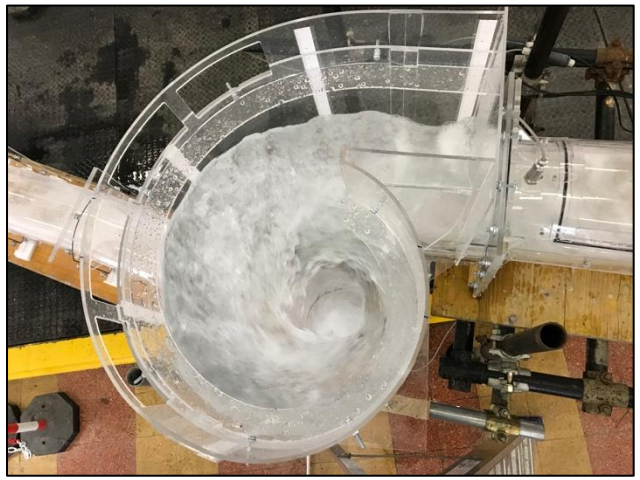
2. L'INGEGNERIA ITALIANA DELLE DIGHE CONSIGLIA DA SEMPRE LA REALIZZAZIONE DEI MODELLI FISICI

3. LA MODELLLISTICA FISICA DELLE GRANDI OPERE IDRAULICHE E' UNA SFIDA CHE I LABORATORI UNIVERSITARI SANNO RACOGLIERE ANCHE ALLA LUCE DELLE MODERNE TECNCHE DI MISURA

4. I COSTI DI UN MODELLO SONO GENERALMENTE 1/1000 DEL VALORE DELL'OPERA , TEMPI 1/100 DEL TEMPO DI ESERCIZIO

MODELLI FISICI: NON SOLO UN PRESEPE CON L'ACQUA MA …. UN PRESEPE CON TANTA CONOSCENZA





POLIMI & ITCOLD VI ASPETTANO!