



[www.itcold.it](http://www.itcold.it)  
[itcold@iol.it](mailto:itcold@iol.it)



# OPEN DAY ON DAMS

## 2022

Tommaso Trentin  
[tommaso.trentin@unipd.it](mailto:tommaso.trentin@unipd.it)



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL  
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

1222-2022  
800 ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# I modelli fisici per le dighe: la diga del Furlo

## Le norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse) al capitolo C riportano:

*«A meno che non sia altrimenti giustificato, il corretto funzionamento dei dispositivi di scarico e dei relativi organi di dissipazione di energia alla restituzione di valle dovrà essere verificato con prove su modello fisico.»*

8-7-2014

GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA

Serie generale - n. 156

### MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

DECRETO 26 giugno 2014.

Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).

IL MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI

DI CONCERTO CON  
IL MINISTRO DELL'INTERNO

E

IL CAPO DEL DIPARTIMENTO  
DELLA PROTEZIONE CIVILE

Vista la legge 2 febbraio 1974, n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche ed in particolare l'art. 1, comma 3 lettera d) che prevede l'emanazione «di norme tecniche relative ai criteri generali e precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di opere speciali, quali ponti, dighe, serbatoi, tubazioni, torri, costruzioni prefabbricate in genere, acquedotti, fognature»;

Vista la legge 21 giugno 1986, n. 317, recante «Procedura di informazione nel settore delle norme e regolamentazioni tecniche delle regole relative ai servizi della società dell'informazione in attuazione della direttiva 98/34/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 giugno 1998, modificata dalla direttiva 98/48/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 luglio 1998»;

Visto il decreto legislativo 31 marzo 1998, n. 112, recante conferimento di funzioni e compiti amministrativi allo Stato, alle regioni e agli enti locali in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59;

Visto il decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;

Visto il decreto-legge 29 marzo 2004, n. 79, convertito con modificazioni dalla legge 28 maggio 2004, n. 139, ed in particolare l'art. 4 recante disposizioni in materia di rivalutazione delle condizioni di sicurezza delle grandi dighe;

Visto il decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186, ed in particolare l'art. 5, comma 1, che prevede la redazione, da parte del Consiglio superiore dei lavori pubblici, di concerto con il Dipartimento della protezione civile,

di normative tecniche, anche per la verifica sismica ed idraulica, relative alle costruzioni, nonché per la progettazione, la costruzione e l'adeguamento, anche sismico ed idraulico, delle dighe di ritenuta, dei ponti e delle opere di fondazione e sostegno dei terreni, per assicurare uniformi livelli di sicurezza;

Considerato che, ai sensi del comma 1 dell'art. 5 del predetto decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, «ai fini dell'emanazione delle norme tecniche per la progettazione, la costruzione e l'adeguamento, anche sismico ed idraulico, delle dighe di ritenuta, il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti acquisisce il parere tecnico del Registro Italiano Dighe», ora Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti;

Considerato che il comma 2 del predetto art. 5 prevede che le norme tecniche di cui al comma 1 siano emanate con le procedure di cui all'art. 52 del T.U. delle disposizioni legislative e regolamenti in materia di edilizia di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile;

Considerato che l'art. 52 del citato decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, dispone che in tutti i comuni della Repubblica le costruzioni sia pubbliche sia private debbono essere realizzate in osservanza delle norme tecniche riguardanti i vari elementi costruttivi fissate con decreti del Ministro per le infrastrutture e dei trasporti, di concerto con il Ministro dell'interno qualora le norme tecniche riguardino costruzioni in zone sismiche;

Visto l'art. 14-undevices del decreto-legge 30 giugno 2005, n. 115, convertito, con modificazioni, in legge 17 agosto 2005, n. 168, che inserisce il comma 2-bis all'art. 5 del citato decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186, il quale prevede che «al fine di avviare una fase sperimentale di applicazione delle norme tecniche di cui al comma 1, è consentita, per un periodo di diciotto mesi dalla data di entrata in vigore delle stesse, la possibilità di applicazione, in alternativa, della normativa precedente sulla medesima materia, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, e alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, e relative norme di attuazione, fatto salvo, comunque, quanto previsto dall'applicazione del regolamento di cui al decreto del Presidente della Repubblica 21 aprile 1993, n. 246»;

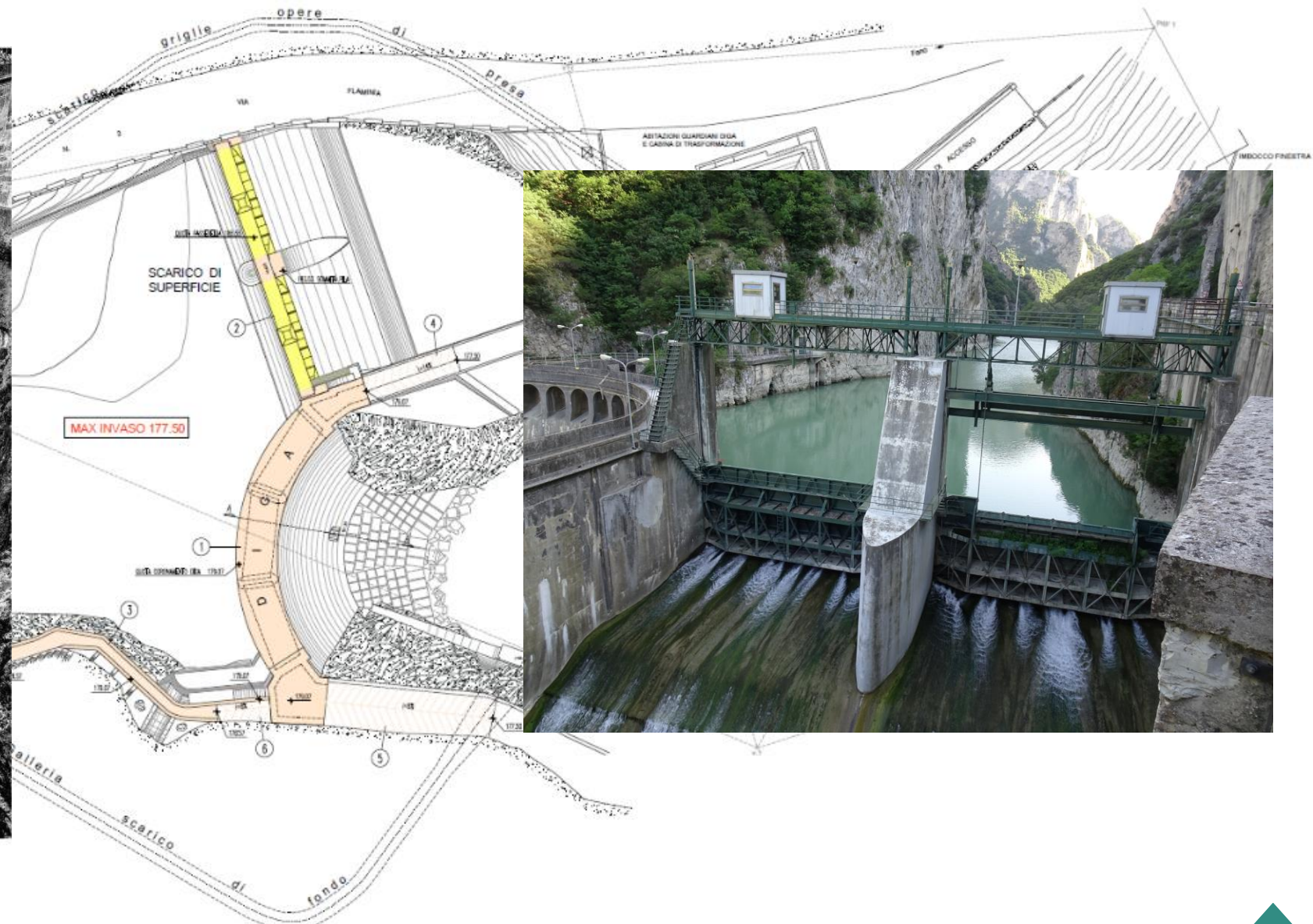
Visto il decreto 24 marzo 1982 del Ministro dei lavori pubblici «Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento»;

La buona riuscita di un modello fisico dipende da vari fattori:

1. Scelta opportuna del modello di similitudine e della scala di riduzione
2. Ridondanza delle misure
3. Ripetibilità delle prove



# La diga del Furlo



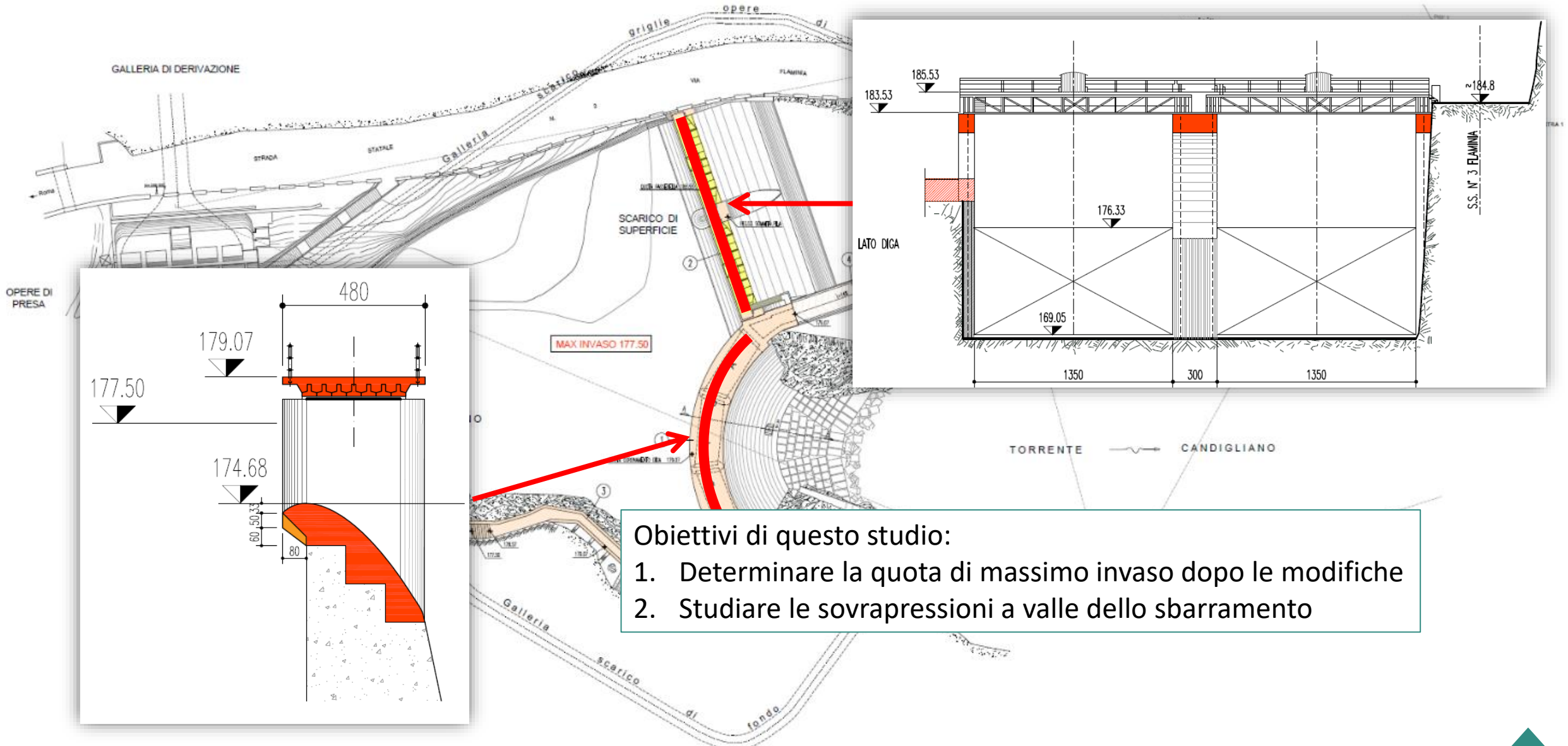


Diga ad arco sul fiume Candigliano

Realizzata nel 1922

Uso idroelettrico (13 MW di potenza installata)

altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.1982)		59.00 m
altezza della diga (ai sensi del D.L. 507/1994)		44.70 m
quota coronamento		177.50 m s.m.m.
franco (ai sensi del D.M. 24.03.1982)		1.82 m
franco netto (ai sensi del D.M. 24.03.1982)		1.27 m
sviluppo del coronamento		50.00 m
quota di massimo invaso		175.68 m s.m.m.
quota massima di regolazione		174.68 m s.m.m.
quota minima di regolazione		169.16 m s.m.m.
superficie dello specchio liquido:	alla quota di massimo invaso	0.265 km <sup>2</sup>
	alla quota massima di regolazione	0.250 km <sup>2</sup>
	alla quota minima di regolazione	0.020 km <sup>2</sup>
superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso		415 km <sup>2</sup>
volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.1982)		1.78×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume di invaso (ai sensi della L. 584/1994)		1.68×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume utile di regolazione		0.75×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume di laminazione		0.13×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
portata totale esitata con livello del serbatoio alla quota di massimo invaso		1027 m <sup>3</sup> /s
	scarico di superficie	910 m <sup>3</sup> /s
	sfioratore in fregio al coronamento	44 m <sup>3</sup> /s
	scarico di fondo	73 m <sup>3</sup> /s



Obiettivi di questo studio:

1. Determinare la quota di massimo invaso dopo le modifiche
2. Studiare le sovrappressioni a valle dello sbarramento

Il numero di Froude è il rapporto tra la forza d'inerzia e la forza peso:

$$F = \frac{\rho_w L^2 v^2}{\gamma_w L^3} = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

La similitudine di Froude è da applicare per i modelli fisici dove i processi di interesse sono dominati dalle forze gravitazionali (e.g. fenomeni a superficie libera).

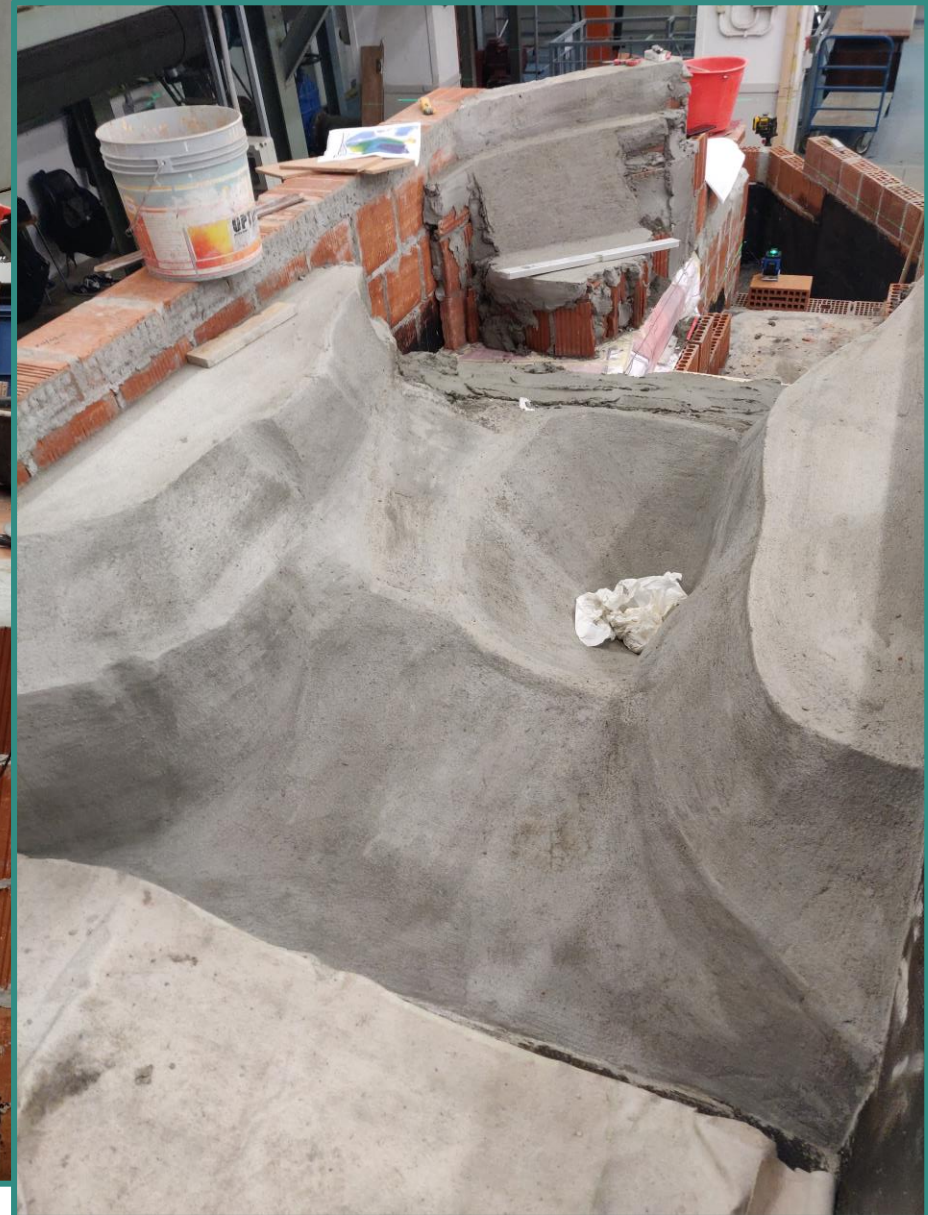
Le scale delle diverse grandezze sono ricavate imponendo che il numero di Froude nel prototipo sia medesimo a quello nel modello.

**Scala scelta 1:50**

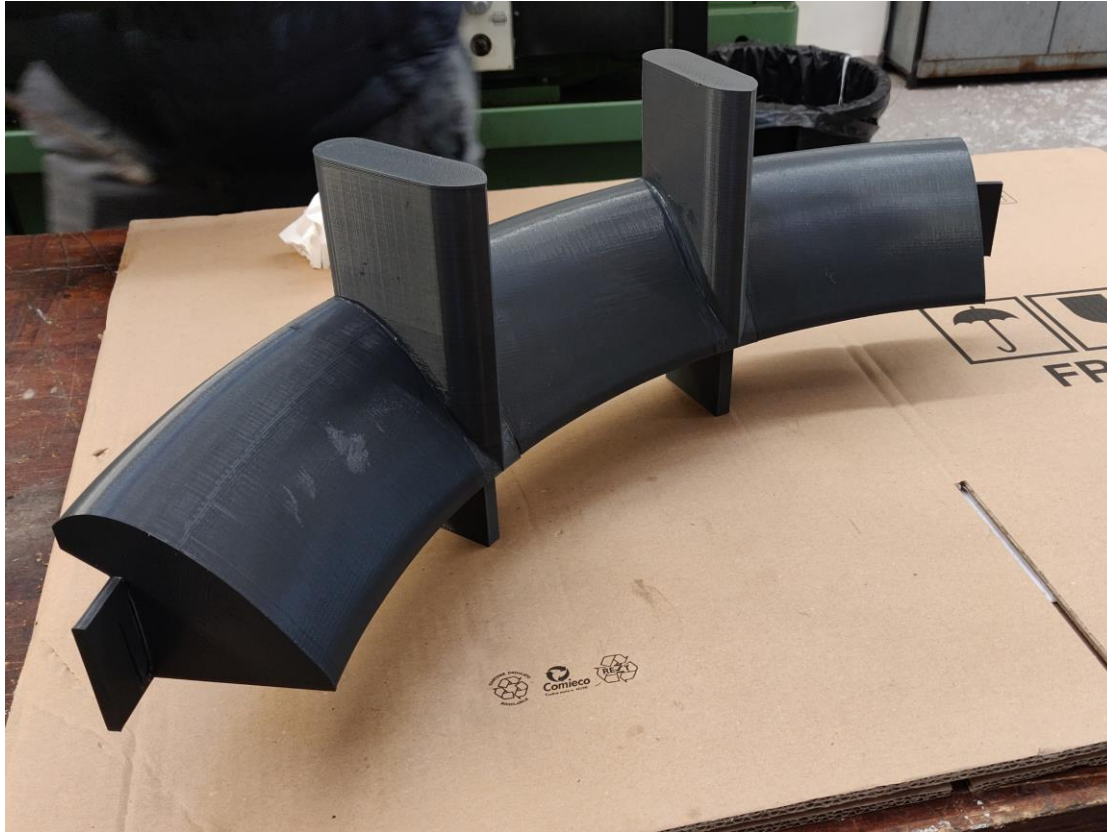
Grandezza	Simbolo	Scala
Distanze e dislivelli	$\lambda_L$	<b>1:50</b>
Velocità	$\lambda_v = \lambda_L^{1/2}$	1:7.071
Tempo	$\lambda_t = \lambda_L / \lambda_v$	1:7.071
Portate	$\lambda_Q = \lambda_L^2 * \lambda_v$	1:17678
Densità materiale immerso	$\lambda_\Delta$	1:5,5
<b>Modello a fondo fisso!</b>		
Diametro sedimenti	$\lambda_{ds} = \lambda_L / \lambda_\Delta^{3/2}$	1:3,10
Pressioni	$\lambda_p = \lambda_L$	1:50
Scabrezza $K_s$	$\lambda_{ds} = 1 / \lambda_L^{1/6}$	1:1.919







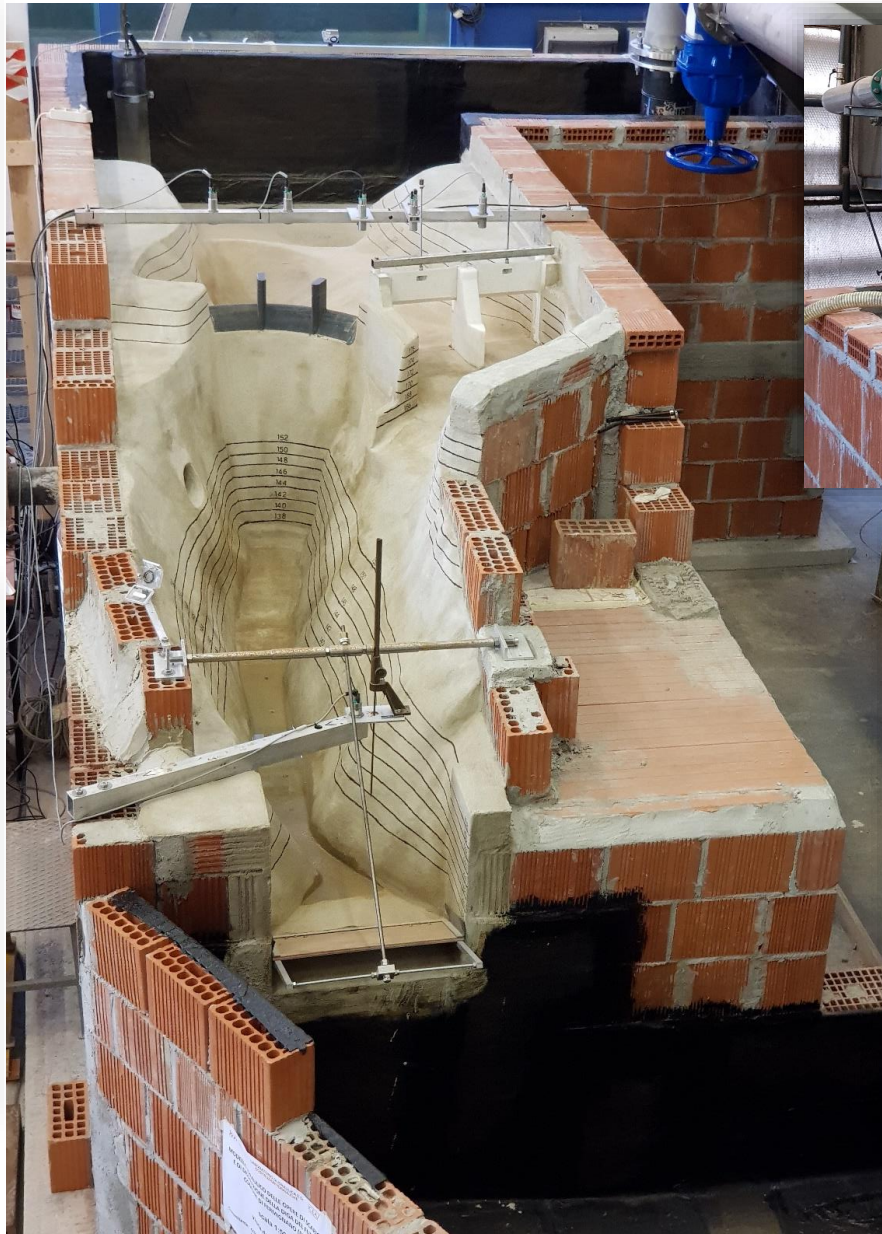
Sfioratore realizzato mediante stampa 3d



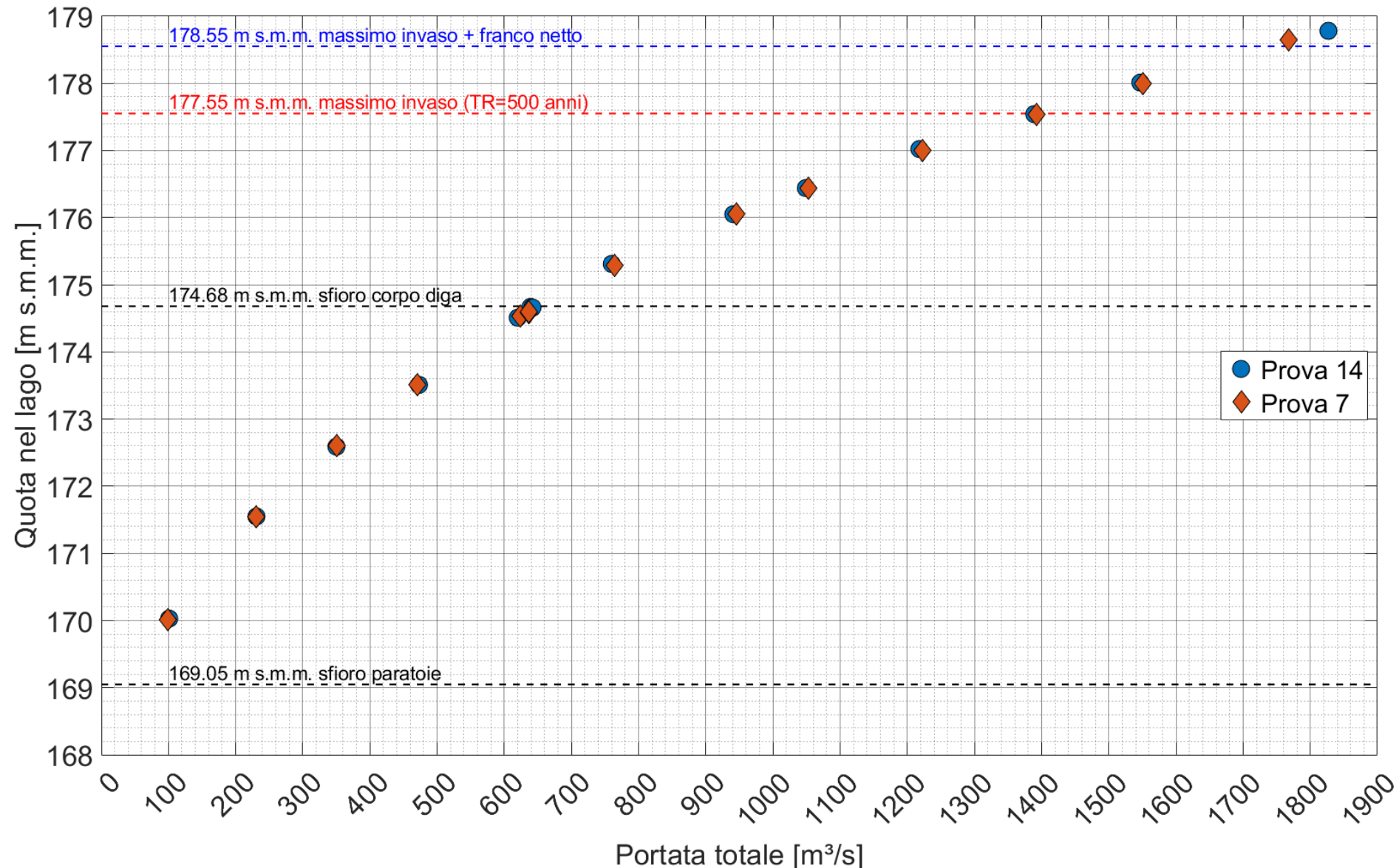
Posa dell'opera di scarico in sinistra idraulica,  
realizzata mediante fresatura in laboratorio



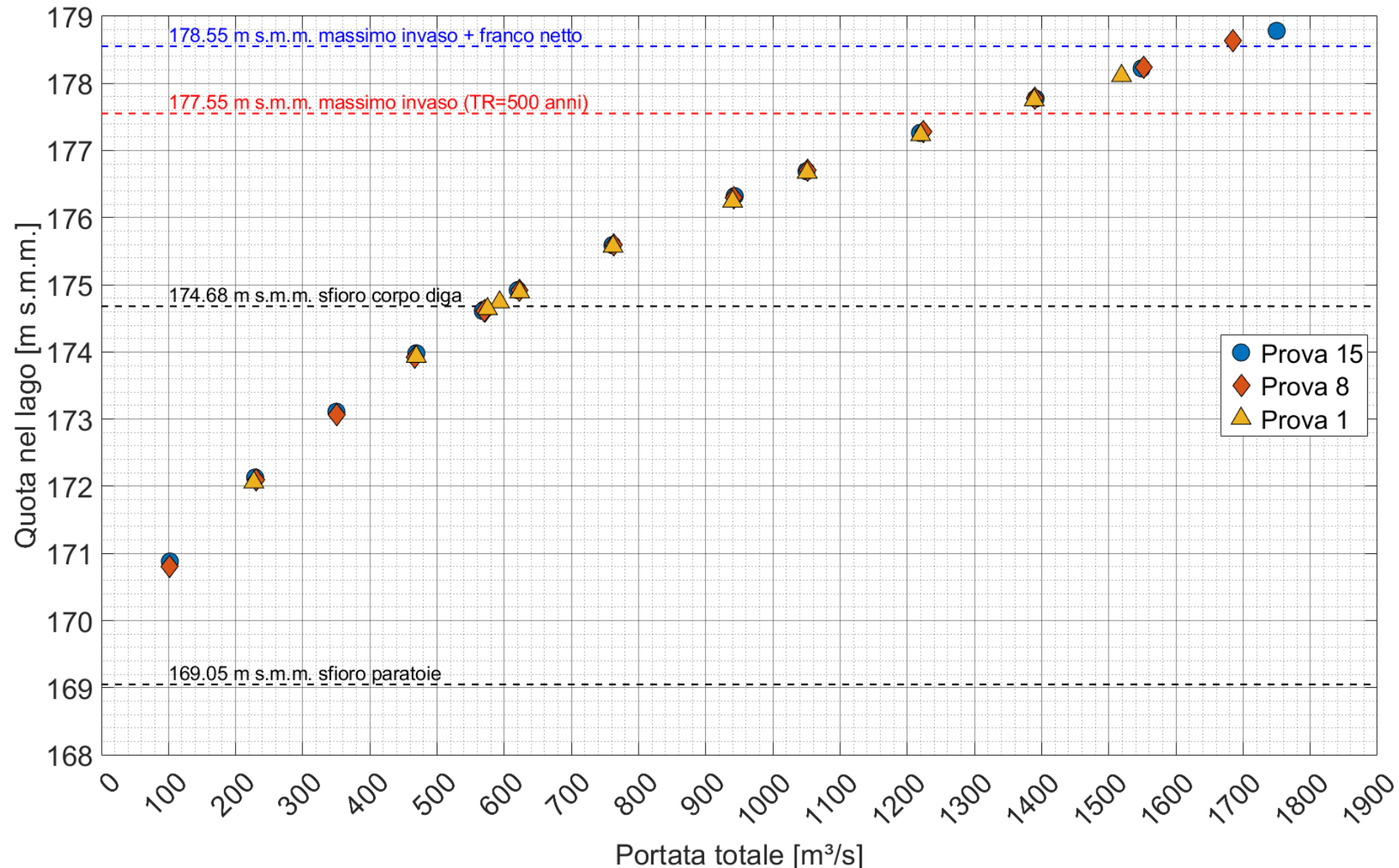


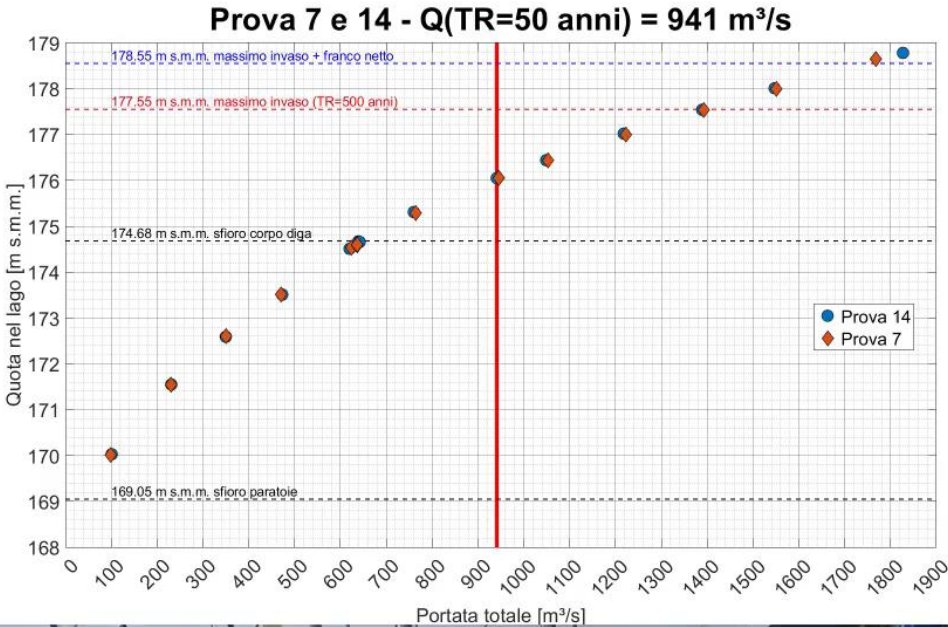


## PARATOIE ALZATE COMPLETAMENTE - SCARICO DI FONDO APERTO

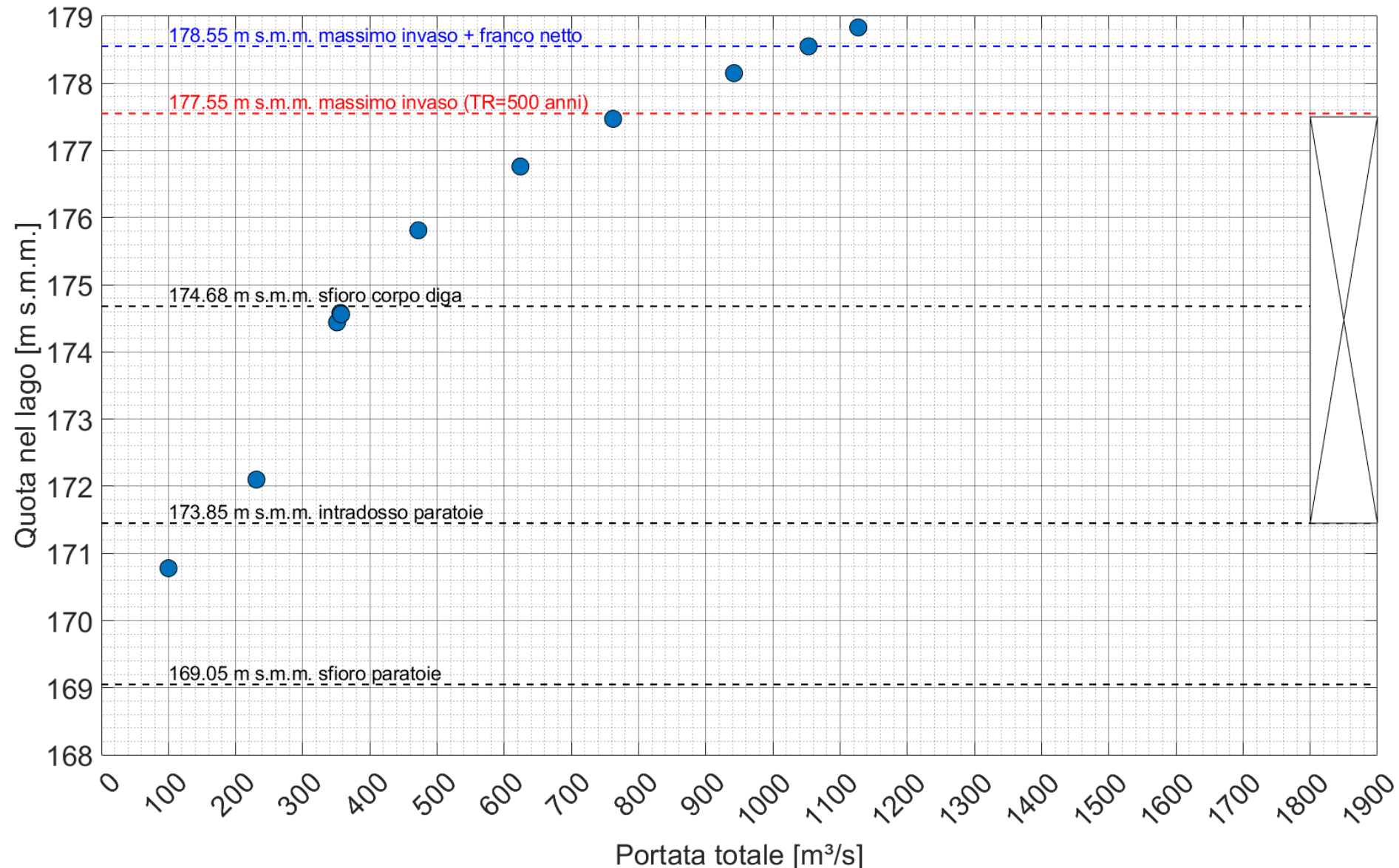


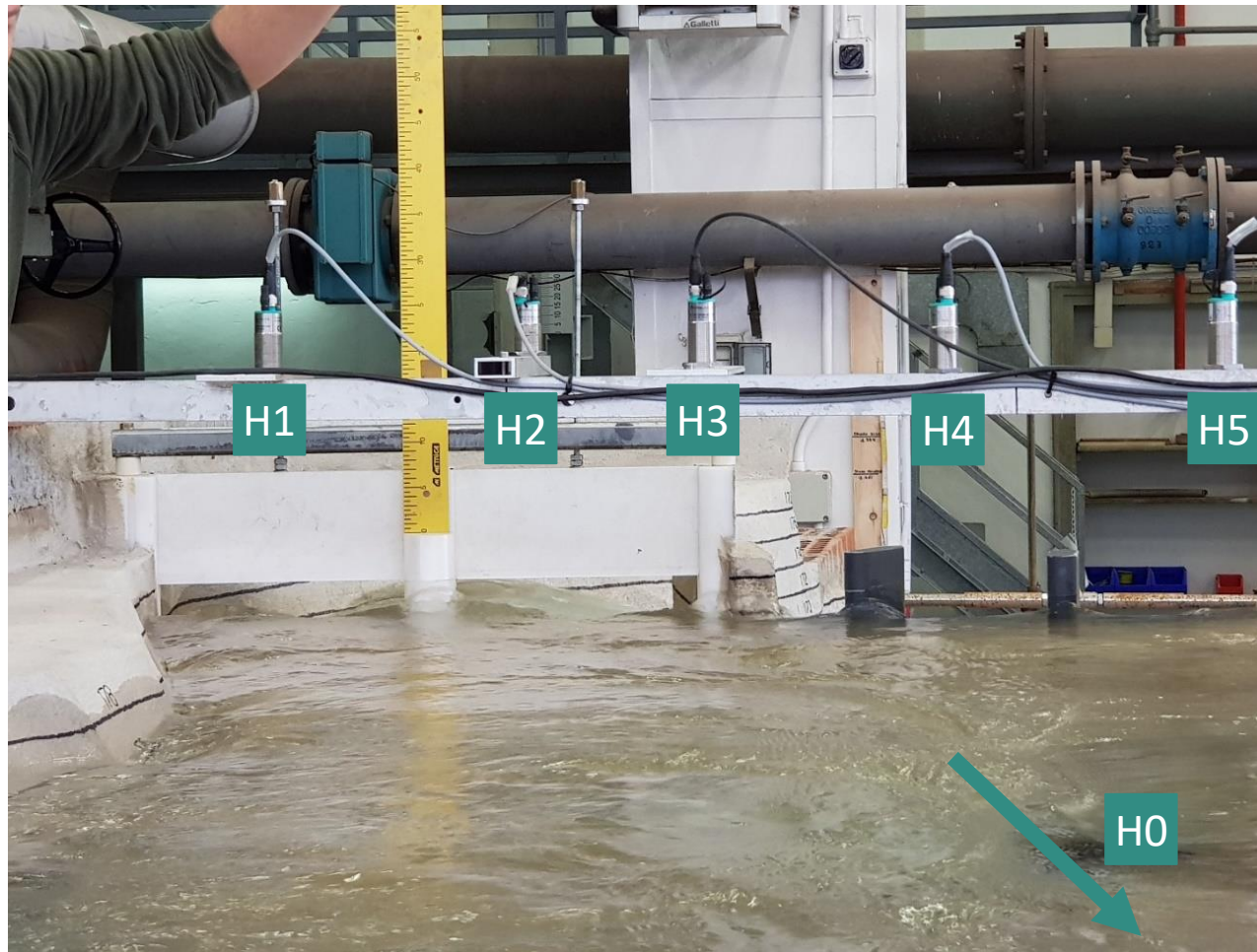
## PARATOIE ALZATE COMPLETAMENTE - SCARICO DI FONDO CHIUSO



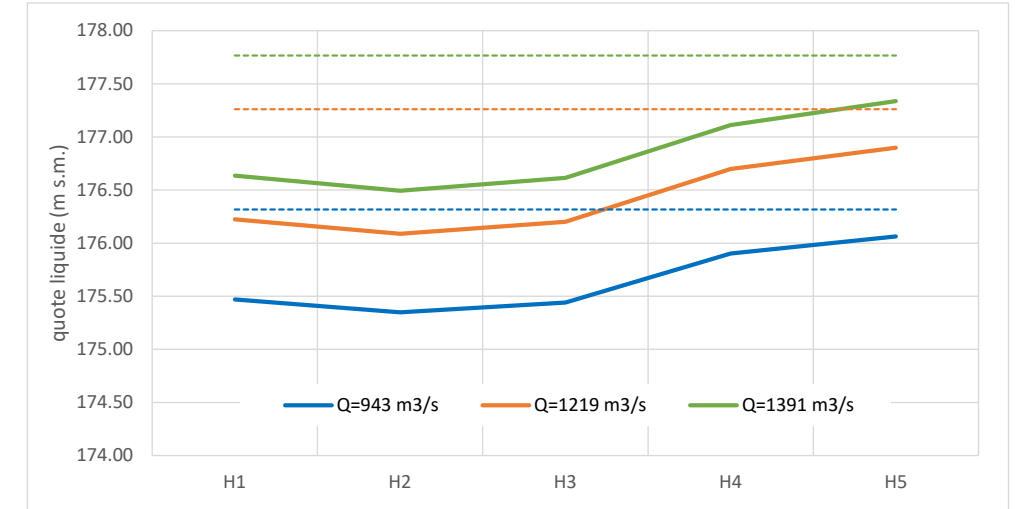


## PARATOIE SX E DX APERTE DI 2.4m - SCARICO DI FONDO CHIUSO

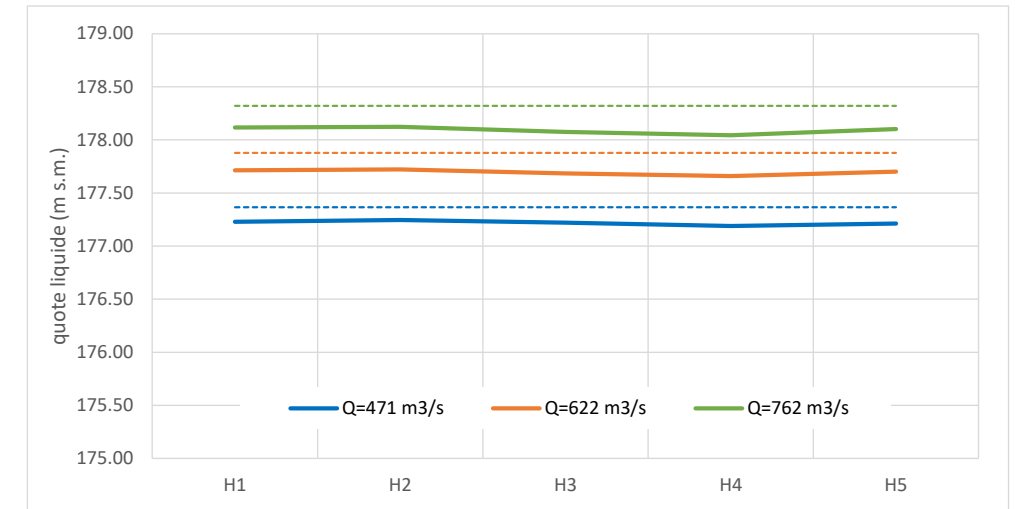




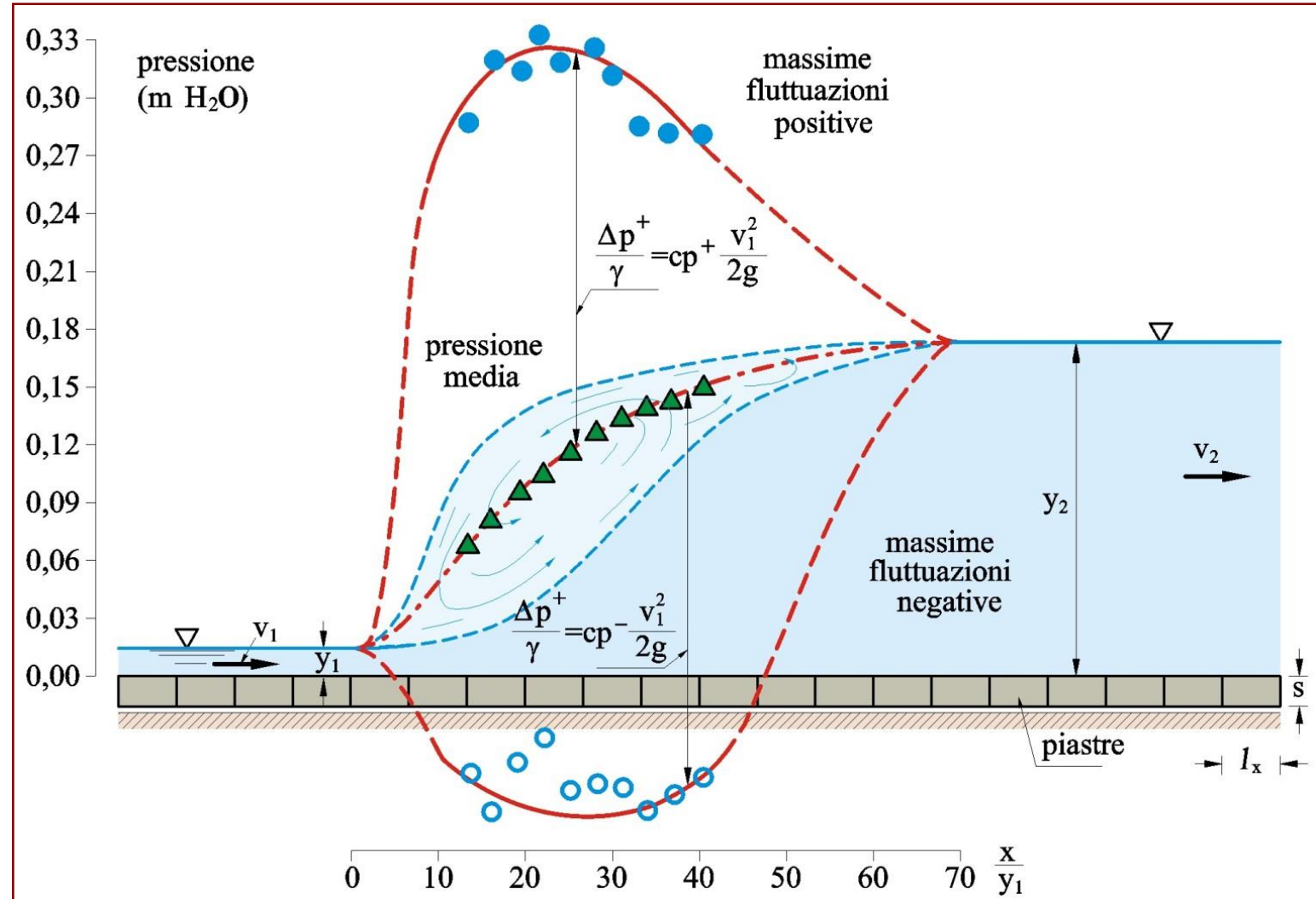
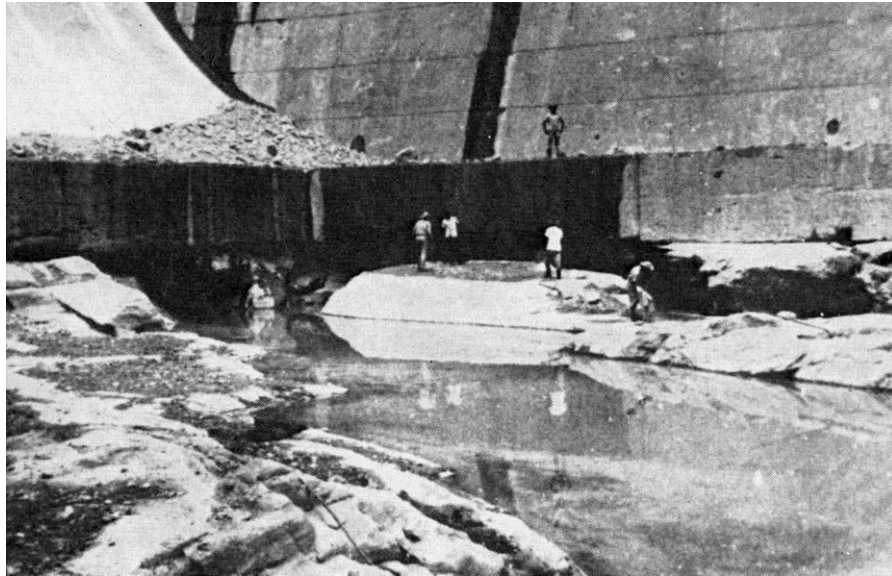
## Andamento dei livelli con paratoie completamente aperte



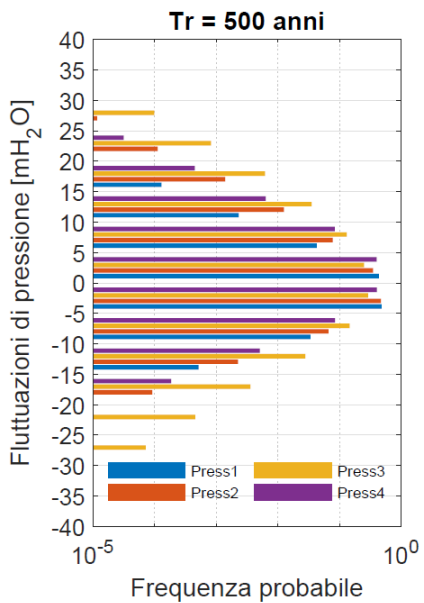
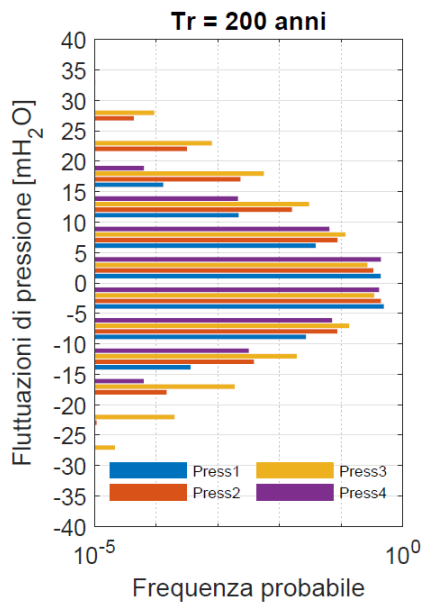
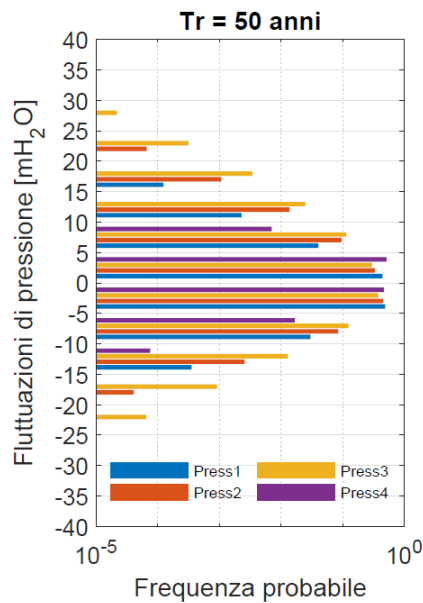
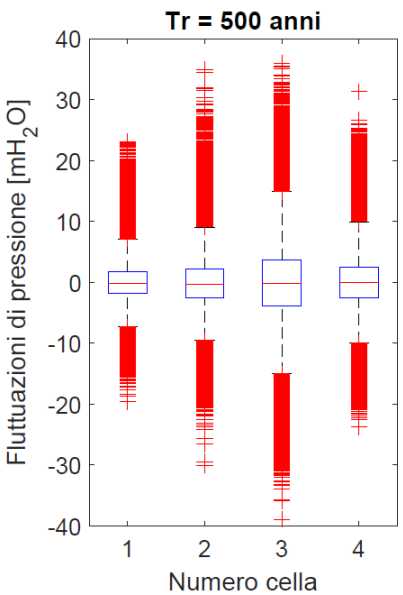
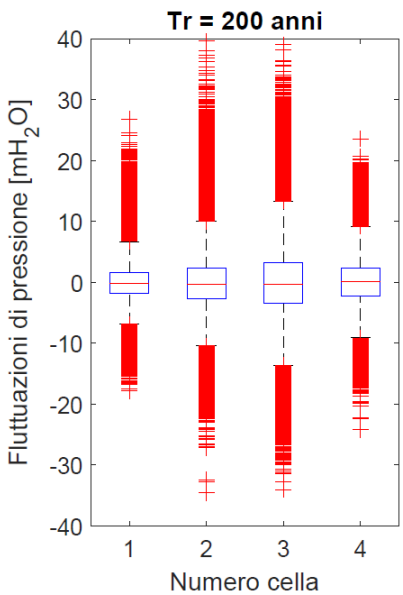
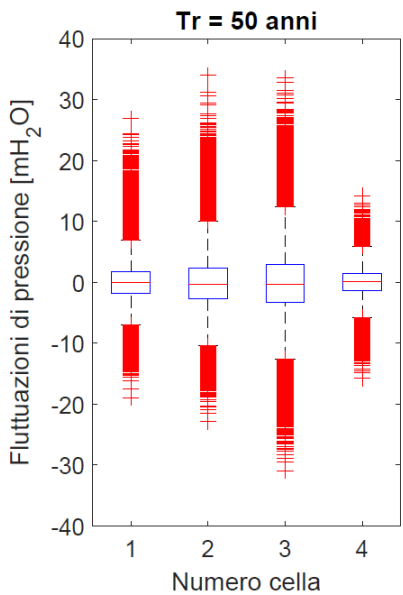
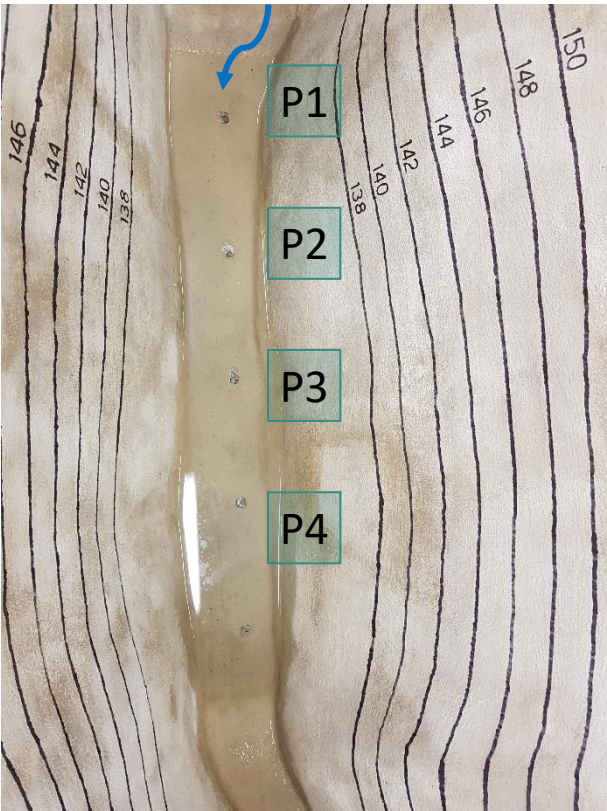
## Andamento dei livelli con paratoie completamente chiuse



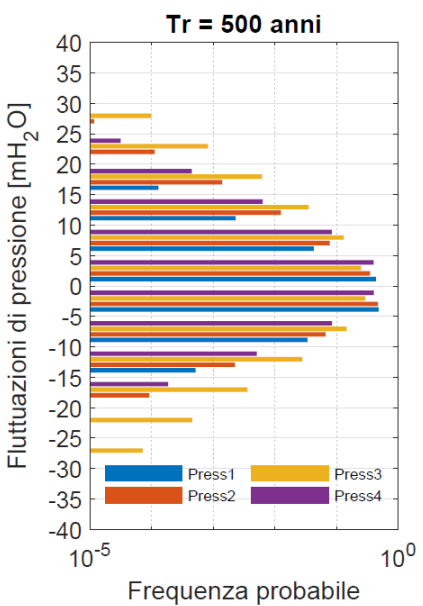
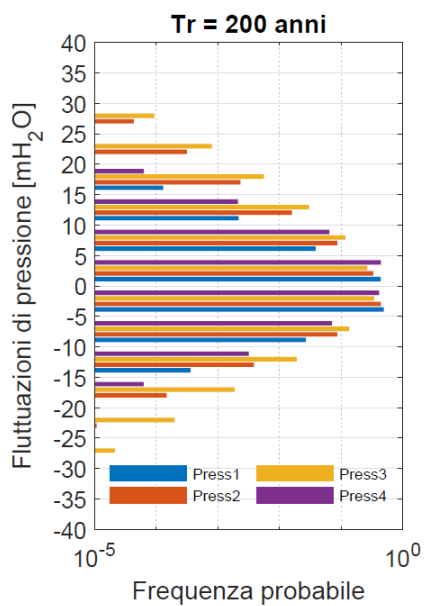
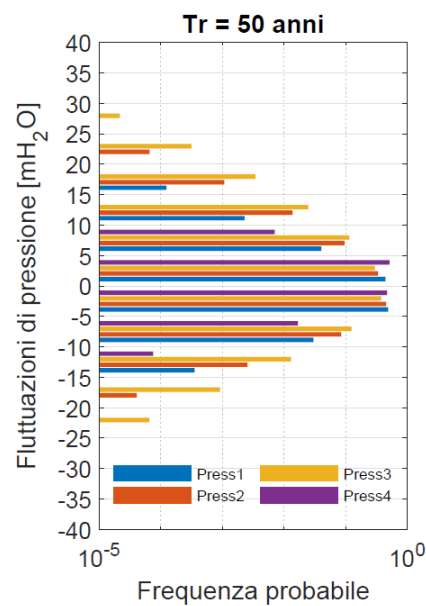
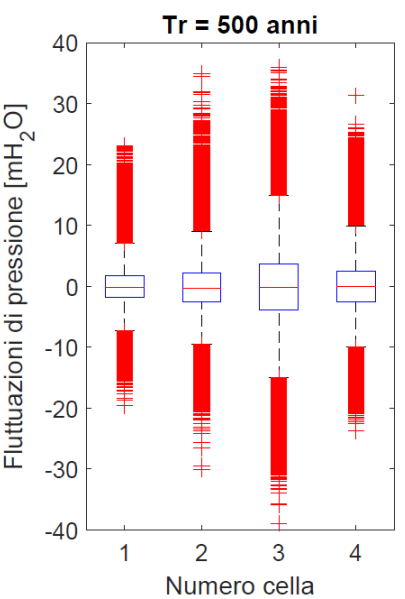
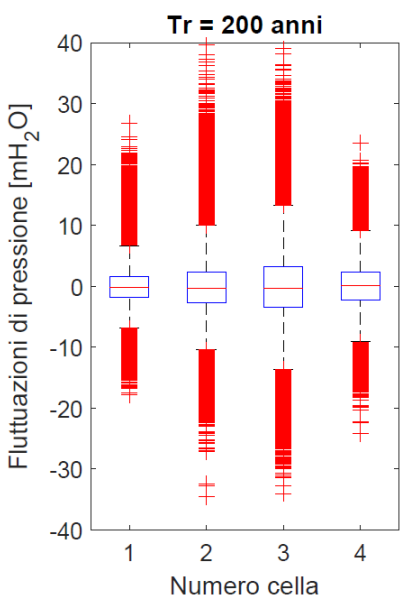
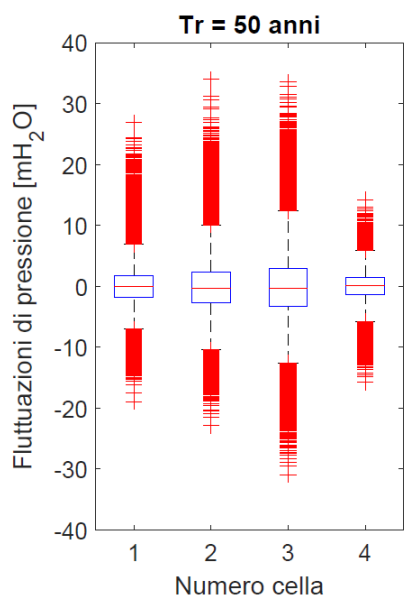
# Diga di Malpasso (Messico)



# Distribuzione delle sovrappressioni a valle della diga



# Distribuzione delle sovrappressioni a valle della diga





[www.itcold.it](http://www.itcold.it)  
[itcold@iol.it](mailto:itcold@iol.it)



# OPEN DAY ON DAMS

## 2022

Tommaso Trentin  
[tommaso.trentin@unipd.it](mailto:tommaso.trentin@unipd.it)



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
DEPARTMENT OF CIVIL, ENVIRONMENTAL  
AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

1222-2022  
800  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Grazie per l'attenzione!

## Domande?

Si ringraziano tutte le persone impegnate nella realizzazione del presente lavoro: ing. Enrica Belluco, ing. Luigi Bottegal, dott. Pietro Giaretta, p.i. Roberto Frizzerin, prof. ing. Paolo Salandin.