



AIPO – Agenzia Interregionale
per il Fiume Po



Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente,
del Territorio ed Architettura
DICATeA - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

PROVE SU MODELLO FISICO DEL MANUFATTO REGOLATORE DELLA CASSA DI ESPANSIONE SUL TORRENTE PARMA



Responsabilità scientifica:

Prof. Ing. Paolo Mignosa (DICATeA)

Dott. Fabrizio Giuffredi, Ing. Domenico Danese, Ing. Monica La Rocca (AIPO)

Gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Sandro Longo (DICATeA)

Ing. Luca Chiapponi, Ing. Marco D'Oria, Ing. Andrea Zanini (DICATeA)

Boretto (RE), Luglio 2008

1	INTRODUZIONE	1
2	INSTALLAZIONE SPERIMENTALE.....	3
2.1	IL MODELLO FISICO	3
2.2	STRUMENTAZIONE.....	4
2.3	CALIBRAZIONE DEL SISTEMA DI MISURA DELLE FORZE	8
2.4	RISPOSTA DINAMICA DELLE PIASTRE.....	10
3	PROVE SU MODELLO ED ELABORAZIONI	11
3.1	CARATTERISTICHE DELLE PROVE SU MODELLO	11
3.2	ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI.....	13
3.3	ANALISI DEI RISULTATI E VERIFICHE DI STABILITÀ	15
4	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	27
	Appendice A - Similitudine di Froude -	29
	A.1 SIMILITUDINE DI FROUDE.....	30
	Appendice B - Progettazione e costruzione del modello fisico -	31
	B.1 POSIZIONAMENTO E SCELTA DELLA SCALA GEOMETRICA	32
	B.2 MANUFATTO REGOLATORE.....	33
	B.3 VASCA DI DISSIPAZIONE	34
	B.4 OPERE MURARIE	36
	B.5 CIRCUITO IDRAULICO	39
	Appendice C - Strumentazione -	42
	C.1 MISURA DELLA PORTATA	43
	C.2 MISURA DEI LIVELLI IDRICI.....	44
	C.3 MISURA DELLE PRESSIONI.....	45
	C.4 MISURA DELLE FORZE	47
	C.5 MISURA DELLA RISPOSTA DINAMICA DELLE PIASTRE	48
	Appendice D - Scala delle portate sezione terminale della vasca di dissipazione -	50
	D.1 SCALA DELLE PORTATE SEZIONE TERMINALE DELLA VASCA DI DISSIPAZIONE.....	51

Appendice E - Quadro riassuntivo prove su modello -	52
E.1 QUADRO RIASSUNTIVO PROVE SU MODELLO	53
Appendice F - Documentazione fotografica -	102
BIBLIOGRAFIA	111

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito della convenzione quadro *“Studio delle interazioni tra grandi opere di sbarramento fluviale e sistema acquifero sotterraneo, in riferimento anche alle pressioni interstiziali che si propagano alle fondazioni delle opere di sbarramento: sviluppo di un modello concettuale di comportamento su base fisico-matematica e sperimentazioni sulla cassa di espansione del torrente Parma nei comuni di Parma e Basilicanova”*, l'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPo) ha affidato al Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio ed Architettura (DICATeA) dell'Università degli Studi di Parma l'incarico di eseguire uno studio “per la realizzazione del modello fisico del manufatto regolatore della cassa di espansione sul torrente Parma”.

Le prove su modello fisico hanno lo scopo principale di fornire indicazioni, attraverso un idoneo apparato sperimentale, sulle sollecitazioni pulsanti che possono verificarsi sul fondo della vasca di dissipazione del manufatto regolatore della cassa di espansione sul torrente Parma.

Il manufatto principale è composto da uno sbarramento tracimabile nel quale sono aperte tre luci di fondo dotate di paratoie regolabili, da uno sfioratore di superficie rettilineo sagomato secondo un profilo Creager e da due sfioratori sagomati a becco d'anatra posti agli estremi dello sfioratore rettilineo. Le luci di fondo hanno lo scopo di garantire la continuità del corso d'acqua e di controllare le portate in uscita in condizioni di piene ordinarie; lo scaricatore di superficie entra in funzione per eventi con tempo di ritorno superiore a quelli che sono in grado di riempire completamente la cassa. Gli sfioratori a becco d'anatra hanno lo scopo di allungare lo sviluppo del ciglio sfiorante, garantendo l'allontanamento della portata massima di progetto con tiranti limitati.

A valle del manufatto è posta una vasca avente lo scopo di dissipare l'energia della corrente in uscita dalle luci di fondo ed anche di dissipare l'energia delle portate tracimanti dallo sfioratore di superficie, qualora esso sia in funzione. La vasca è composta da una platea depressa di 0.80 m rispetto all'alveo di valle, di lunghezza 38 m e di larghezza all'incirca pari allo sviluppo del ciglio sfiorante rettilineo (104 m). La platea è realizzata mediante piastre in calcestruzzo di spessore 2 m e dimensioni planimetriche differenti. Di fronte a ciascuna delle tre luci di fondo è collocato un blocco, opportunamente sagomato, avente lo scopo di intercettare i getti in uscita e di contribuire alla dissipazione dell'energia cinetica, garantendo così che la corrente in uscita dalla vasca sia tale da non provocare sensibili erosioni all'alveo di valle.

Durante le prime prove di invaso, effettuate nella primavera e nell'autunno del 2006, si sono riscontrate significative sottopressioni in corrispondenza di alcuni piezometri ubicati nella vasca di dissipazione. Tali sottopressioni, estrapolate alla quota di massimo invaso, darebbero luogo ad un insufficiente coefficiente di sicurezza nei confronti del sollevamento delle piastre costituenti la

vasca di dissipazione. In occasione di piena, sia con portata uscente dalle sole luci di fondo, sia nel caso di funzionamento dello scaricatore di superficie, le fluttuazioni di pressione che si verificano nella vasca di dissipazione possono destare qualche preoccupazione circa la stabilità delle piastre che la costituiscono.

La modellazione fisica si rende, quindi, necessaria al fine di individuare l'entità delle sollecitazioni pulsanti che agiscono al fondo della vasca.

La presente relazione è organizzata nel modo seguente:

- nel Capitolo 2 vengono descritte le principali caratteristiche del modello fisico e della strumentazione messa in opera al fine di acquisire le grandezze fisiche di interesse (livelli, portate, pressioni e forze);
- nel Capitolo 3 si riportano le principali caratteristiche delle prove effettuate, le elaborazioni dei dati e l'analisi dei risultati;
- nel Capitolo 4 si riportano sinteticamente le conclusioni più significative della sperimentazione effettuata;
- nelle appendici, a cui si rimanda per maggiori approfondimenti, sono riportati: il criterio di similitudine adottato nel modello (Appendice A); la progettazione e le fasi di costruzione del modello fisico (Appendice B); i dettagli della strumentazione adottata (Appendice C); le condizioni al contorno di valle adottate durante le prove (Appendice D); il quadro completo delle prove su modello (Appendice E); la documentazione fotografica (Appendice F).

2 INSTALLAZIONE SPERIMENTALE

2.1 IL MODELLO FISICO

Il modello fisico (Figura 2.1) è stato realizzato presso il laboratorio di idraulica N.1 di proprietà dell'AIPo (Agenzia Interregionale per il Fiume Po) sito nel comune di Boretto (RE).

Il modello riproduce:

- 1) il manufatto principale, composto da uno sbarramento tracimabile nel quale sono aperte tre luci di fondo dotate di paratoie regolabili, da uno sfioratore di superficie rettilineo sagomato secondo un profilo Creager e da due sfioratori sagomati a becco d'anatra posti agli estremi dello sfioratore rettilineo;
- 2) la vasca di dissipazione, costituita da una platea depressa rispetto all'alveo di valle, nella quale sono collocati tre blocchi di dissipazione in asse con le tre luci di fondo;
- 3) un breve tratto dell'alveo a valle della vasca di dissipazione;
- 4) una porzione del serbatoio che costituisce la cassa di espansione a monte del manufatto, comprensivo dell'arginatura.



Figura 2.1 – Modello fisico visto da valle.

La realizzazione è stata eseguita seguendo il criterio di similitudine di Froude (Appendice A). Sulla base dello spazio disponibile si è adottata la scala geometrica, indistorta, pari a 1:50.

Il manufatto principale e i blocchi di dissipazione sono stati lavorati per fresatura su macchina a controllo numerico a partire da blocchi di resina ureica.

L'arginatura (in muratura) è stata modellata per un'estensione limitata ma sufficiente a garantire la corretta riproduzione del campo di moto in prossimità dell'intersezione tra argine e ciglio sfiorante.

Il serbatoio a monte del corpo diga, pur non rappresentando l'intera superficie della cassa, presenta dimensioni sufficienti a consentire alle portate che alimentano il modello di dissipare la propria energia cinetica residua, evitando distorsioni tra prototipo e riproduzione in scala.

La vasca di dissipazione è stata realizzata in muratura e ospita, in destra idraulica, una struttura metallica a traliccio in cui sono alloggiate le piastre e la relativa strumentazione.

A valle della vasca di dissipazione, dopo un breve tratto in cui l'alveo si mantiene cilindrico, è stato realizzato uno scivolo (con restringimento della sezione) al cui termine si trova una paratoia che permette la regolazione del livello idrico.

Per una descrizione più dettagliata dei materiali, delle fasi e delle tecniche che hanno caratterizzato la costruzione del modello si rimanda all'Appendice B.

2.2 STRUMENTAZIONE

Sono state misurate le seguenti grandezze fisiche:

- 1) portata transitante;
- 2) livello idrico all'interno della cassa di espansione;
- 3) livello idrico nella sezione d'alveo immediatamente a valle della vasca di dissipazione;
- 4) pressione del fluido a monte di un blocco di dissipazione e nella piastra sottostante uno dei becchi d'anatra;
- 5) risultante delle forze agenti sulle piastre che costituiscono la pavimentazione della platea e relativo punto di applicazione nel caso che i giunti tra piastra e piastra siano aperti oppure sigillati.

Sono state strumentate quattro piastre rappresentative dell'opera nel suo complesso. Si è ritenuto di poter escludere le piastre simmetriche rispetto a quelle già sede di misura e le piastre che ospitano i blocchi di dissipazione in quanto ancorate a diaframmi profondi che ne garantiscono la stabilità in maniera largamente indipendente dalle sollecitazioni della corrente idrica.

La Figura 2.2 mostra la collocazione della strumentazione nel traliccio che riproduce parte della platea di valle.

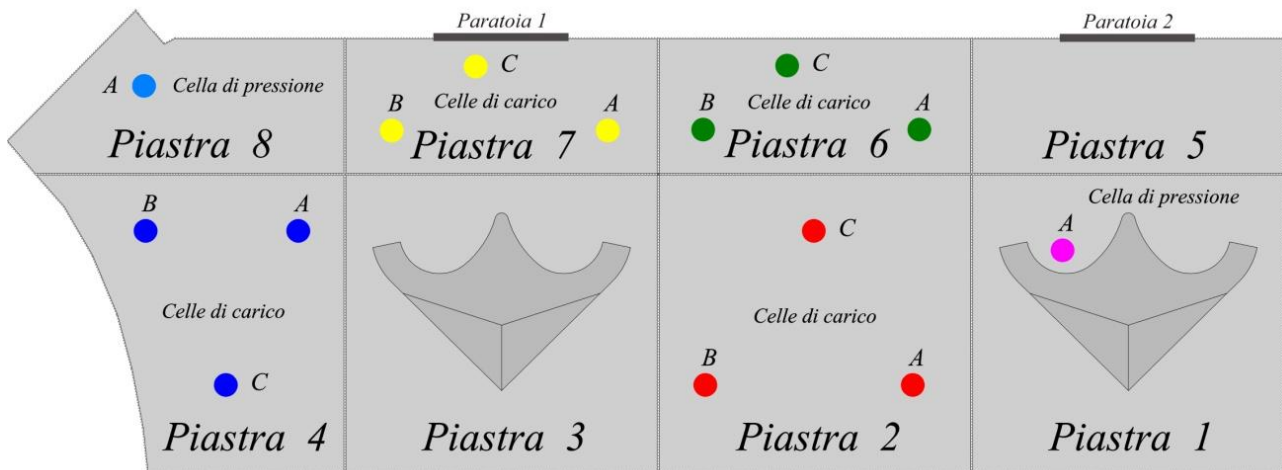


Figura 2.2 – Posizione e numerazione delle piastre strumentate.

La portata è stata misurata nella condotta di alimentazione (Figura 2.3), a monte della valvola che ne consente la regolazione, mediante un misuratore elettromagnetico (Figura 2.4) con accuratezza pari allo 0.5 % della lettura per portate superiori a 34.35 l/s e a 0.17 l/s per portate inferiori.

La misura dei livelli idrici è stata effettuata mediante trasduttori di posizione ad ultrasuoni (Figura 2.5) caratterizzati da un'accuratezza pari a ± 0.2 mm. Il primo trasduttore è installato su un traliccio all'interno del serbatoio a monte del manufatto; il secondo è in un pozzetto di calma realizzato esternamente rispetto al muretto che delimita l'alveo di valle, collegato all'alveo stesso mediante un tubicino predisposto durante la fase di costruzione.



Figura 2.3 – Condotta di alimentazione del modello fisico.



Figura 2.4 – Misuratore magnetico di portata.



Figura 2.5 –Trasduttore di livello di monte e di valle.

La misura della pressione è stata effettuata mediante due celle con accuratezza pari a ± 1 mbar.

La misura della forza agente sulle piastre costituenti la platea della vasca di dissipazione ha richiesto un apparato più complesso. La Figura 2.6 riporta una sezione del traliccio in acciaio inox contenente la strumentazione in cui sono visibili: le celle di carico (vincolate ad un tubolare in acciaio sufficientemente rigido da poter essere considerato pressoché indeformabile), la vasca in acciaio inox che le contiene, la piastra sollecitata in alluminio alveolare (e il relativo sistema di vincolo alle celle) e la piastra rigida (sempre in acciaio) da 8 mm che chiude la scatola. Tra quest'ultima piastra e quella di misura è prevista un'intercapedine di 2 mm che, oltre a permettere la deformazione delle celle di carico indispensabile per la misura (0.4 mm a fondo scala), garantisce, nel caso di prove a giunti aperti, la formazione del sottile film d'acqua essenziale alla propagazione delle fluttuazioni di pressione.

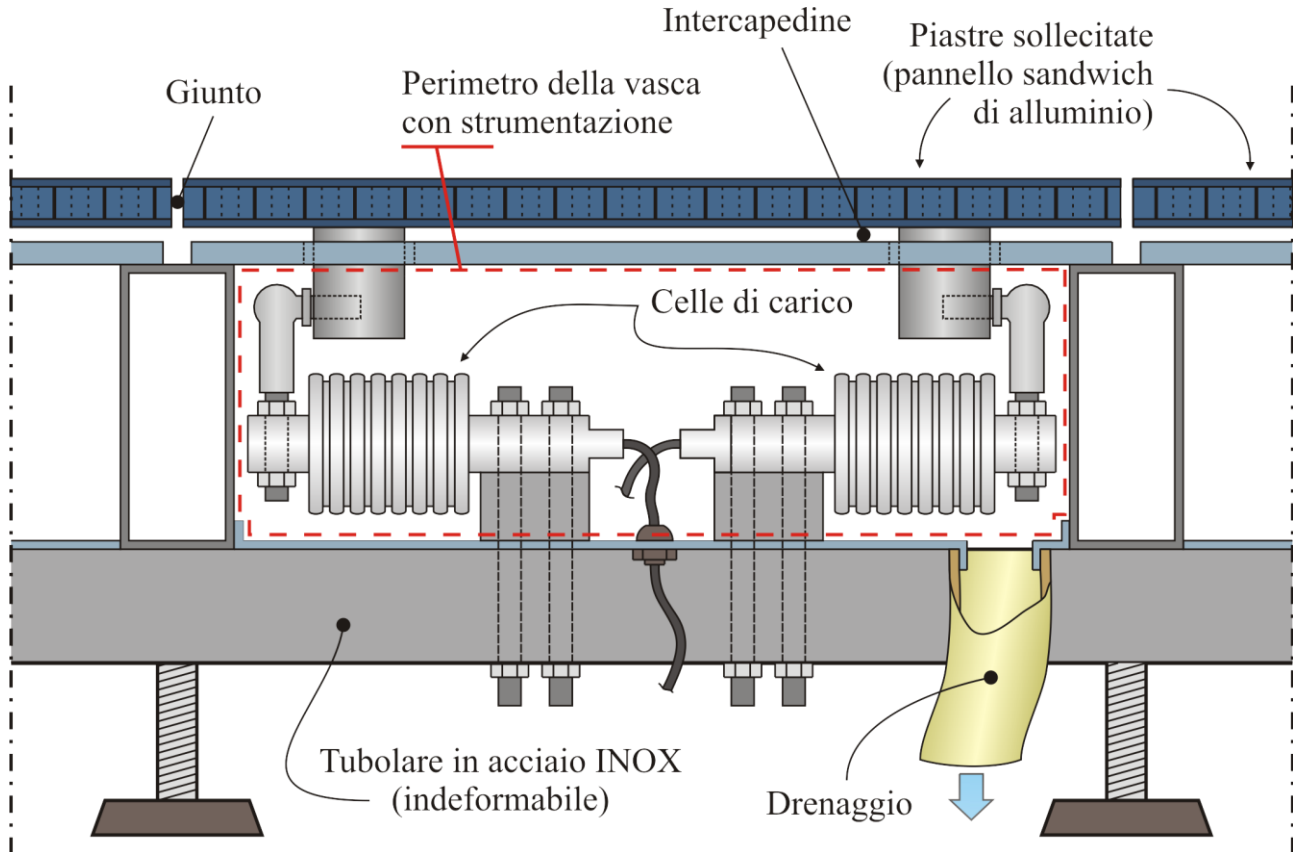


Figura 2.6 – Sezione del traliccio in acciaio inox contenente la strumentazione.

Ciascuna piastra è stata collegata a tre trasduttori di forza. Lo schema di vincolo adottato permette, oltre alla stima del modulo, anche la stima del punto di applicazione della componente normale della sollecitazione.

Con riferimento allo schema di Figura 2.7, è possibile scrivere l'equazione di equilibrio alla traslazione verticale:

$$P = R_A + R_B + R_C \quad (2.1)$$

e le due equazioni di equilibrio alla rotazione:

$$Px_0 - R_A x_A - R_B x_B - R_C x_C = 0 \quad (2.2)$$

$$Py_0 - R_A y_A - R_B y_B - R_C y_C = 0 \quad (2.3)$$

dove:

- P è la risultante verticale delle sollecitazioni dinamiche dovute al fluido;
- R_i è la reazione vincolare verticale dell' i -esima cella di carico, pari alla forza misurata dallo strumento;
- x_0 e y_0 sono le coordinate del punto di applicazione di P ;
- x_i e y_i sono le coordinate dei punti in cui la piastra è vincolata alle celle di carico.

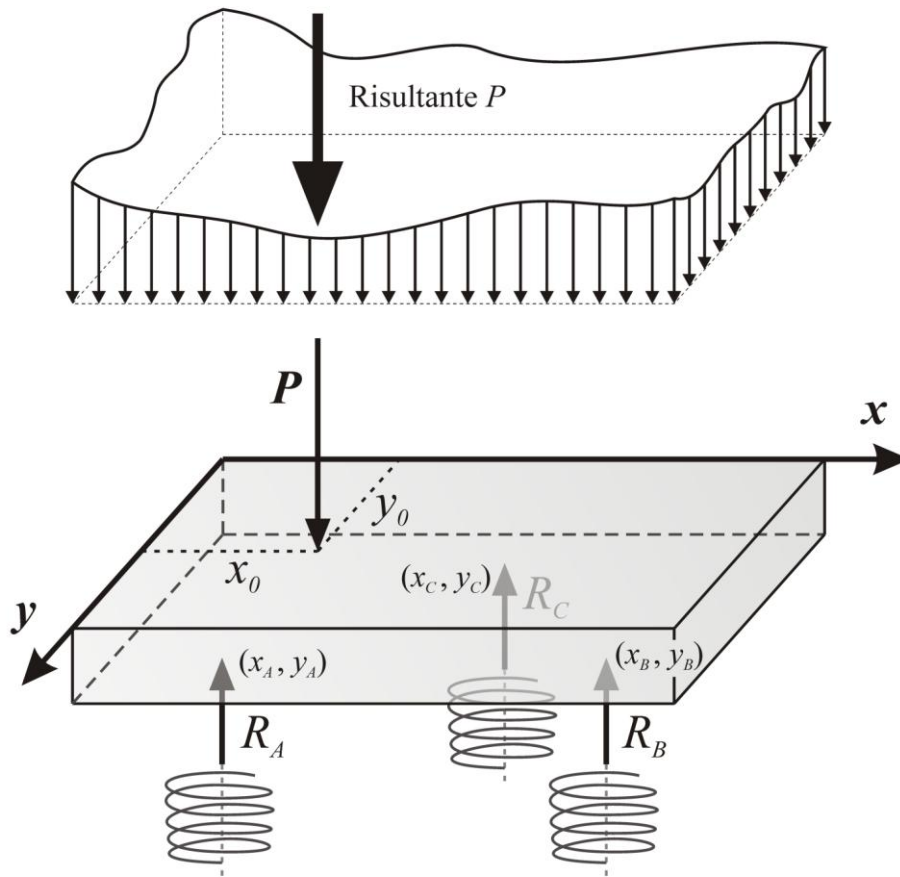


Figura 2.7 – Sollecitazione agente sulla piastra e ripartizione sulle tre celle di carico.

Note (x_A, y_A) , (x_B, y_B) e (x_C, y_C) , la misura delle forze R_A , R_B e R_C consente, attraverso le (2.1)-(2.3), la determinazione delle tre grandezze incognite P , x_0 e y_0 .

Preliminarmente si è resa necessaria un'accurata calibrazione del sistema di misura.

2.3 CALIBRAZIONE DEL SISTEMA DI MISURA DELLE FORZE

Ciascuna piastra rappresenta un sistema di misura, come tale schematizzabile con un ingresso (la sollecitazione dovuta al fluido e variabile nel tempo), e un'uscita vettoriale (tre segnali in tensione: le differenze di potenziale ΔV relative a ciascuna cella e variabili tra 0 e 10 V).

La calibrazione è il processo che permette di associare ad un valore della variabile in ingresso un valore (vettoriale) della variabile in uscita.

Ogni cella di carico è caratterizzata da una caratteristica lineare del tipo:

$$R_i = \Delta V_i \beta_i \quad (2.4)$$

dove R_i è la forza (espressa in Newton) agente sull' i -esima cella, ΔV_i è il valore dell'uscita in tensione misurata (in Volt) e β_i è il guadagno dello strumento (N/V).

Sostituendo la (2.4) nelle relazioni (2.1), (2.2) e (2.3), si ottengono le funzioni di calibrazione dell'intera piastra:

$$P = \Delta V_A \beta_A + \Delta V_B \beta_B + \Delta V_C \beta_C \quad (2.5)$$

$$Px_0 = \Delta V_A \beta_A x_A + \Delta V_B \beta_B x_B + \Delta V_C \beta_C x_C \quad (2.6)$$

$$Py_0 = \Delta V_A \beta_A y_A + \Delta V_B \beta_B y_B + \Delta V_C \beta_C y_C \quad (2.7)$$

dove i simboli hanno il significato attribuito loro in precedenza.

Caricando la piastra in un punto di coordinate note con una forza nota, si possono scrivere tre equazioni nelle nove incognite β_i , x_i e y_i (parametri di calibrazione). Per raggiungere il numero minimo di equazioni necessario a risolvere il problema occorre caricare la piastra in almeno tre punti non allineati. Aumentando il numero di punti il sistema è sovra condizionato e si rende necessario effettuare una stima ai minimi quadrati dei parametri, che permette anche la valutazione delle incertezze.

Per eseguire la calibrazione è stata realizzata una struttura che permette di sollecitare la piastra con un carico puntuale di entità nota, riducendo al minimo le interferenze e gli effetti spuri. Tale struttura (Figura 2.8) è costituita da due tralicci sui quali poggia un traverso orizzontale; sul traverso scorre un carrello che porta un'asta metallica capace di traslare verticalmente mediante un sistema di cuscinetti. Questo accorgimento permette di minimizzare gli attriti che potrebbero modificare la componente verticale del carico.

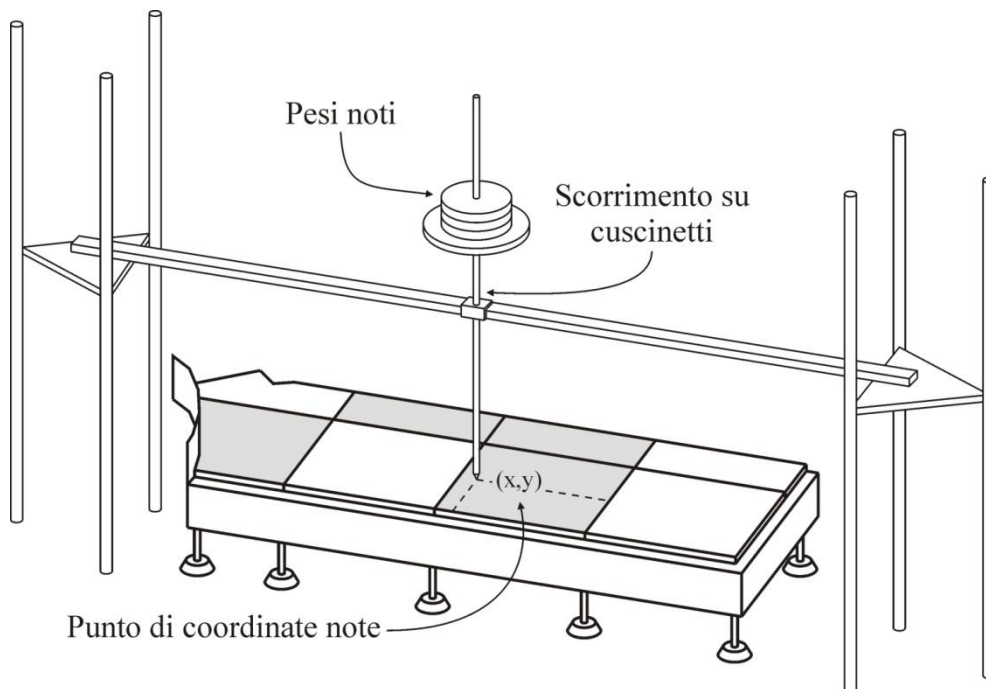


Figura 2.8 – Struttura utilizzata per la calibrazione del sistema.

La parte superiore dell'asta regge un piatto sul quale possono essere posati i pesi calibrati con una bilancia accurata al decimo di grammo. L'estremità inferiore dell'asta va a contatto con la piastra da calibrare sulla quale è stato applicato un adesivo millimetrato che riproduce il sistema di coordinate preso a riferimento per l'esecuzione della calibrazione e delle prove. Si rimanda all'Appendice C per una descrizione dettagliata degli strumenti impiegati nella modellazione.

2.4 RISPOSTA DINAMICA DELLE PIASTRE

Prima di installare le celle di carico, si è analizzata in laboratorio la loro risposta in frequenza. I trasduttori di forza presentano una frequenza di taglio di circa 350 Hz.

È stata inoltre misurata la risposta in frequenza di una piastra (la piastra N. 2), sollecitandola, sia in aria che immersa in acqua, con un segnale a rumore bianco, per mezzo di uno shaker elettromagnetico.

Si vedano in Appendice C i risultati di tali prove.

3 PROVE SU MODELLO ED ELABORAZIONI

3.1 CARATTERISTICHE DELLE PROVE SU MODELLO

Secondo quanto stabilito in convenzione, sono state realizzate due serie di prove in condizioni di moto mediamente permanente. In una prima serie i giunti tra piastra e piastra sono stati mantenuti aperti, consentendo alle sollecitazioni pulsanti di propagarsi al di sotto attraverso il sottile film idrico che si crea tra piastra di misura e piastra fissa sottostante. In una seconda serie i giunti sono stati sigillati.

Per entrambe le configurazioni (giunti “aperti” e giunti “chiusi”) sono state effettuate diverse prove variando il valore della portata transitante attraverso il modello e l’apertura delle paratoie. Il livello idrico di monte, una volta raggiunta la situazione di regime mediamente stazionario, conseguiva direttamente dall’assunzione delle prime due grandezze, mentre il livello di valle veniva imposto mediante la regolazione della paratoia posta alla fine dello scivolo del canale collettore. Il valore del livello imposto deriva da una scala di deflusso della sezione immediatamente a valle della vasca di dissipazione, risultato di una modellazione matematica del torrente Parma effettuata in passato dal DICATeA (Appendice D).

Le portate, i livelli, le posizioni delle paratoie e le condizioni dei giunti sono riassunti nelle Tabelle 3.1 e 3.2 che rappresentano, rispettivamente, il riferimento per ciascuna prova su modello e su prototipo in similitudine di Froude.

GRANDEZZE SUL MODELLO (in similitudine di Froude)							
N. prova	Portata (l/s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m)	Livello valle (m s.l.m)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
1	22.63	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Aperti
2	32.81	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Completamente aperte (5.0 cm)	Aperti
3	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti
4	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Aperti
5	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (5.0 cm)	Aperti
6	22.63	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Chiusi
7	32.81	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Completamente aperte (5.0 cm)	Chiusi
8	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Chiusi
9	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Chiusi
10	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (5.0 cm)	Chiusi

Tabella 3.1 – Dati caratteristici delle prove da 1 a 10: valori sul modello (similitudine di Froude).

GRANDEZZE CORRISPONDENTI NEL PROTOTIPO							
N. prova	Portata (m ³ /s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m)	Livello valle (m s.l.m)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
1	400	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (1.7 m)	Aperti
2	580	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Completamente aperte (2.5 m)	Aperti
3	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti
4	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (1.7 m)	Aperti
5	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (2.5 m)	Aperti
6	400	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (1.7 m)	Chiusi
7	580	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Aperte	Chiusi
8	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Chiusi
9	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (1.7 m)	Chiusi
10	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (2.5 m)	Chiusi

Tabella 3.2 – Dati caratteristici delle prove da 1 a 10: valori sul prototipo.

Allo scopo di valutare l'influenza sulle sollecitazioni pulsanti dell'allineamento tra le piastre e la base del manufatto regolatore, sono state eseguite ulteriori cinque prove a giunti aperti realizzando volutamente su modello il dislocamento di due piastre. In particolare si è prodotto su modello un gradino positivo dell'ordine di 1-2 mm (5-10 cm nel reale) tra le piastre numero 6 e 7 (Figura 2.2) ed il manufatto regolatore, in modo che la corrente uscente dalle luci o tracimante dal manufatto potesse colpire le suddette piastre parzialmente sul bordo rialzato (Figura 3.1). Nelle Tabelle 3.3 e 3.4 si riportano le caratteristiche delle sopraccitate prove.

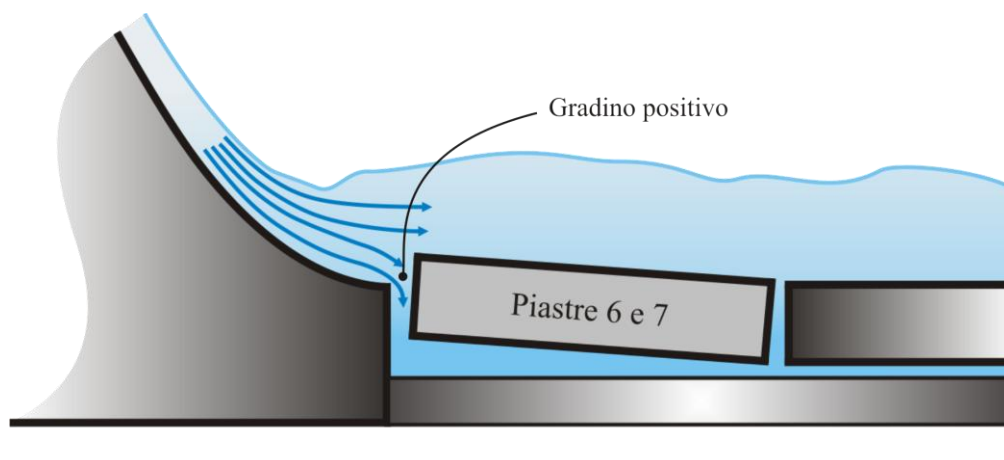


Figura 3.1 – Dislocazione delle piastre 6 e 7 per le prove da 11 a 15.

GRANDEZZE SUL MODELLO (in similitudine di Froude)							
N. prova	Portata (l/s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m)	Livello valle (m s.l.m)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
11	22.63	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Aperti
12	32.81	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Completamente aperte (5.0 cm)	Aperti
13	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti
14	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (3.4 cm)	Aperti
15	108.05	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (5.0 cm)	Aperti

Tabella 3.3 – Dati caratteristici delle prove con gradino: valori sul modello (similitudine di Froude).

GRANDEZZE CORRISPONDENTI NEL PROTOTIPO							
N. prova	Portata (m ³ /s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m)	Livello valle (m s.l.m)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
11	400	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.15	Massimo invaso	Parzialmente aperte (1.7 m)	Aperti
12	580	Portata evacuata dalle luci al massimo invaso	105.60	92.35	Massimo invaso	Completamente aperte (2.5 m)	Aperti
13	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.97	94.20	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti
14	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.59	94.20	Tracimazione manufatto	Parzialmente aperte (1.7 m)	Aperti
15	1910	Portata con tempo di ritorno T=1000 anni	107.48	94.20	Tracimazione manufatto	Completamente aperte (2.5 m)	Aperti

Tabella 3.4 – Dati caratteristici delle prove con gradino: valori sul prototipo.

Allo scopo di individuare le massime sollecitazioni, dovute alla componente fluttuante delle pressioni al fondo, la durata delle prove è stata stabilita tra le 10 e le 20 ore.

3.2 ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Le sollecitazioni idrodinamiche agenti sulle singole piastre e di conseguenza sulle singole celle di carico si presentano come una fluttuazione irregolare che può assumere valori positivi o negativi (compressione o trazione) (Figura 3.2).

Per stimare i valori massimi e minimi istantanei delle forze agenti sulle piastre, i segnali acquisiti (ad una frequenza di campionamento di 1000 Hz) sono stati elaborati facendo uso di un'analisi di tipo “*Level Crossing*” (Bendat & Piersol, 2000). Tale analisi consente di individuare, in funzione di una soglia prefissata (nel caso in esame è stato scelto il valor medio della sollecitazione sull'intera durata della prova), il numero di onde presenti nel segnale acquisito.

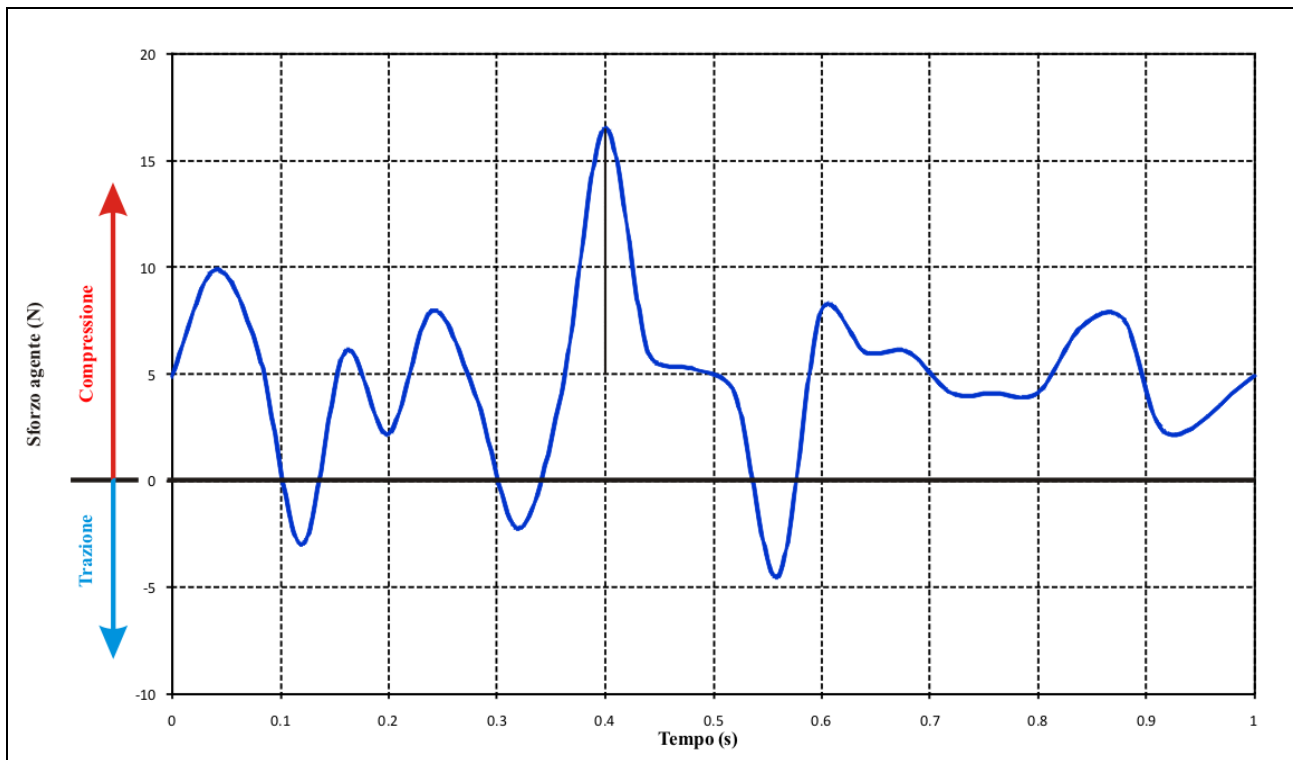


Figura 3.2 – Esempio di una serie temporale della forza agente su una piastra.

In ciascuna onda si individua una semionda positiva (cresta) ed una semionda negativa (cavo). L'ampiezza della semionda positiva sommata algebricamente alla media del campione corrisponde alla massima sollecitazione agente; l'ampiezza della semionda negativa sommata algebricamente alla media del campione, corrisponde alla minima sollecitazione agente (Figura 3.3).

Per condurre l'analisi di stazionarietà dei valori massimi e minimi di sollecitazione ricavati, si è suddiviso il campione completo in N sottoinsiemi di durata minore di quella totale. Tali sottoinsiemi corrispondono a finestre temporali adiacenti e consecutive della durata rispettivamente di 30 minuti, 60 minuti, 120 minuti, 300 minuti, 600 minuti e 1200 minuti (quest'ultimo valore solo per le prove di 20 ore). Tale elaborazione ha permesso di visualizzare e di rappresentare graficamente i valori medi, i massimi superiori e i massimi inferiori delle ampiezze delle onde (creste e cavi) in funzione della durata di ogni sottoinsieme. Ciò permette di stimare gli estremi delle sollecitazioni agenti sulle piastre del bacino di dissipazione che si potrebbero verificare per durate delle onde di piena, nella scala del prototipo, proporzionali alle durate dei sottoinsiemi analizzati (nella similitudine di Froude e con la scala geometrica adottata nel modello in esame, i tempi sono ridotti secondo la radice della scala geometrica, ovvero di poco più di sette volte rispetto a quelli reali).

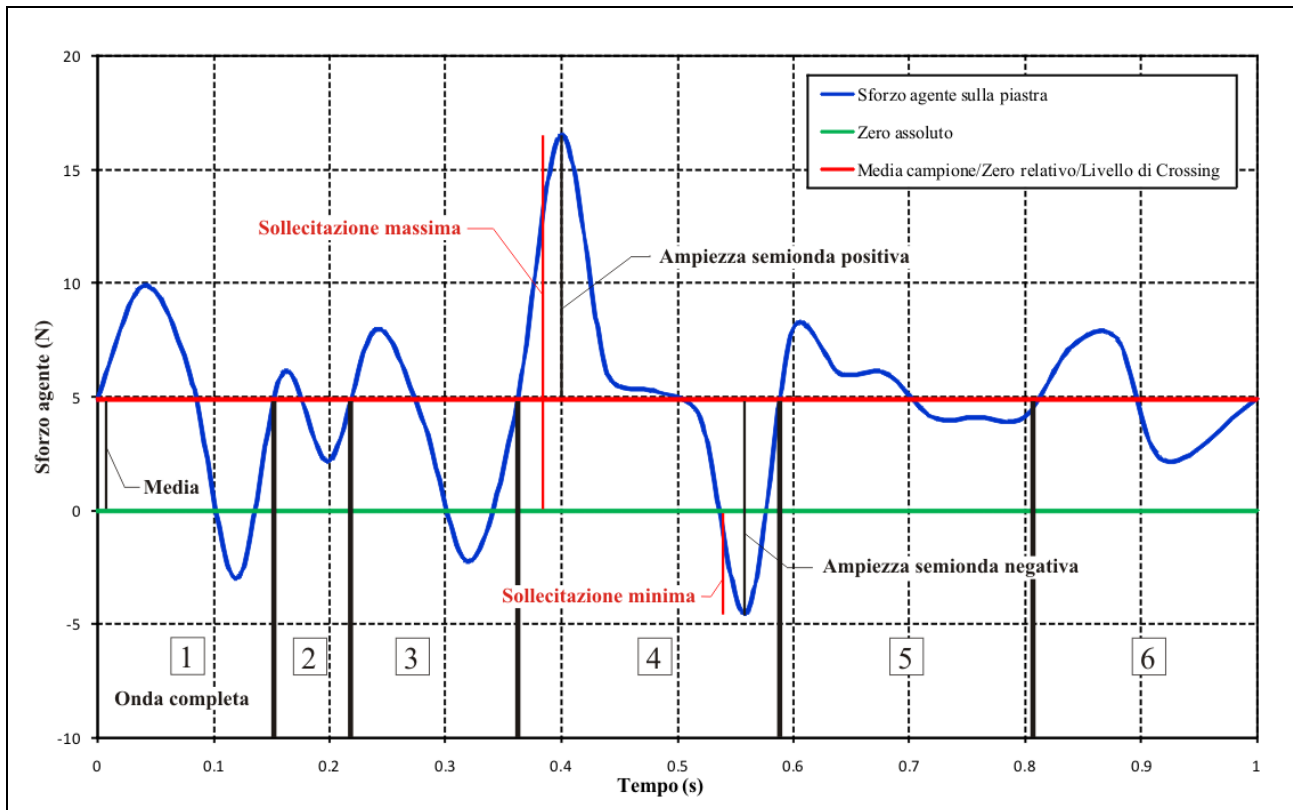


Figura 3.3 – Esempio di analisi di Level Crossing.

La stessa analisi è stata condotta anche per le due celle di pressione posizionate in corrispondenza della piastra 1 e 8.

In Appendice E si riporta un quadro riassuntivo delle elaborazioni sopra descritte assieme alle caratteristiche di ogni prova in scala modello.

3.3 ANALISI DEI RISULTATI E VERIFICHE DI STABILITÀ

Con l'analisi descritta nei paragrafi precedenti, sono stati raggiunti gli obiettivi prefissati per la modellazione fisica: la determinazione dei valori minimi di sollecitazione N_{MIN} (in un riferimento positivo verso il basso) per ciascuna delle prove effettuate. In particolare, N_{MIN} coincide con il modulo del massimo valore di trazione (sollecitazione verso l'alto) nel caso di prove con giunti aperti e con il modulo del minimo valore di compressione (sollecitazione verso il basso) nel caso di prove con giunti chiusi, nelle quali la sollecitazione (sempre positiva) è uno scostamento dal valore medio dovuto al battente idrico nella vasca di dissipazione.

Limitatamente alle prove con giunti aperti è stato poi calcolato il coefficiente di stabilità al sollevamento C_s , definito come rapporto tra le forze stabilizzanti (date dal solo peso proprio della

piastra) e le forze destabilizzanti (pari alla somma della spinta di galleggiamento e della sollecitazione massima di trazione).

Sempre nel caso di giunti aperti si è valutato il momento massimo M_{MAX} , rispetto ad un asse parallelo al manufatto regolatore e passante per lo spigolo di valle di ciascuna delle piastre considerate, in grado di generare una rotazione della piastra che evidenziasse un gradino positivo (come in Figura 3.1) nel verso della corrente (Figura 3.4). Si è poi calcolato il coefficiente di stabilità al ribaltamento C_R , definito come rapporto tra momento stabilizzante (dato dal prodotto del peso proprio della piastra per la distanza del baricentro dall'asse di rotazione ipotizzato) e momento destabilizzante (pari alla somma del momento generato dalla spinta di galleggiamento e del momento massimo dovuto alla sollecitazione dinamica).

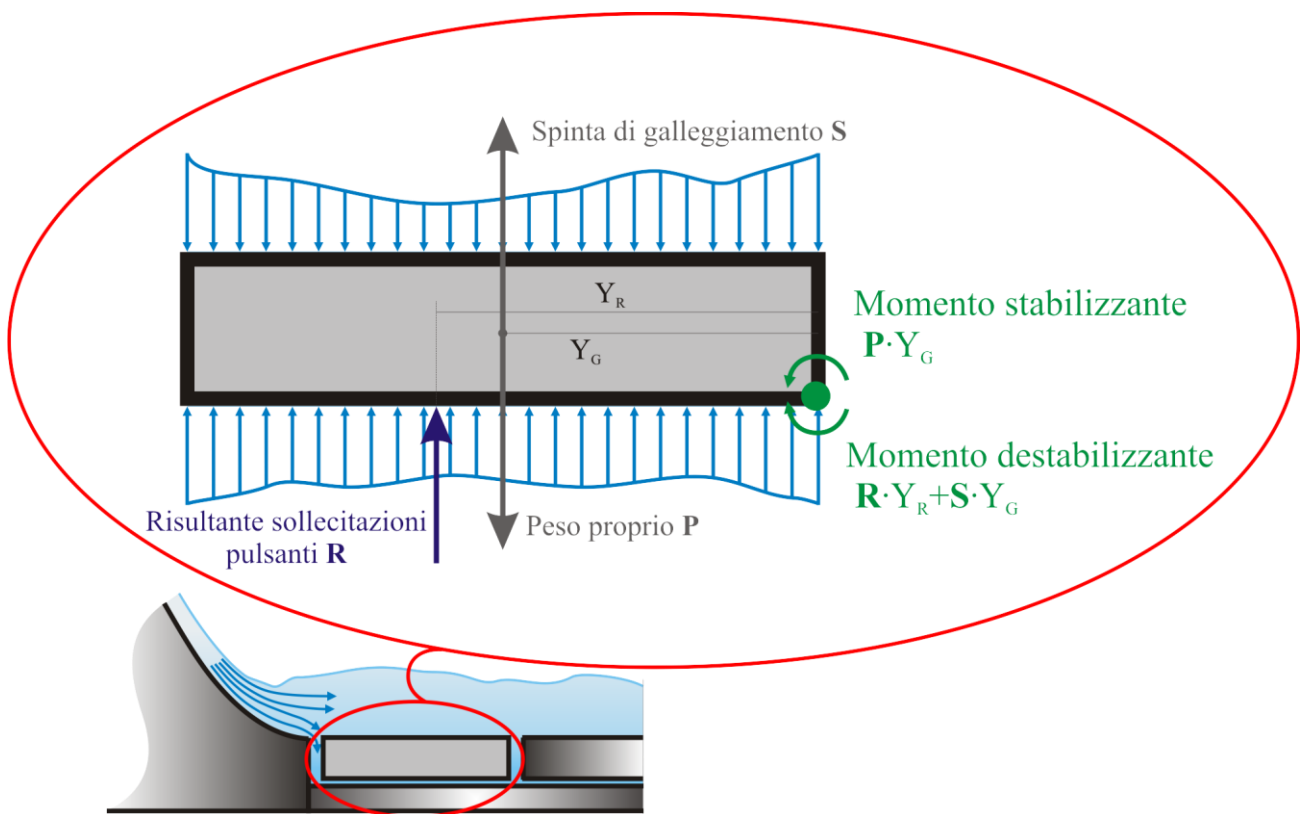


Figura 3.4 – Momenti stabilizzanti e destabilizzanti nel caso di giunti aperti.

Per l'analisi di stabilità nelle prove a giunti chiusi, nelle quali le fluttuazioni di pressione nella vasca non si propagano sotto le piastre, si è invece valutato il carico piezometrico H_{MAX} (m s.l.m.) necessario al piano di fondazione delle piastre (87.20 m s.l.m.), affinché il coefficiente di stabilità al sollevamento risulti pari all'unità (condizione limite di equilibrio) o pari a 1.3 (livello di attenzione) (Figura 3.5). Il coefficiente di stabilità è calcolato sempre come rapporto tra le forze stabilizzanti (in questo caso date dalla somma del valore minimo della sollecitazione pulsante verso il basso e del peso proprio della piastra) e destabilizzanti (pari alla massima sottospinta ammissibile affinché si ottenga il prefissato coefficiente).

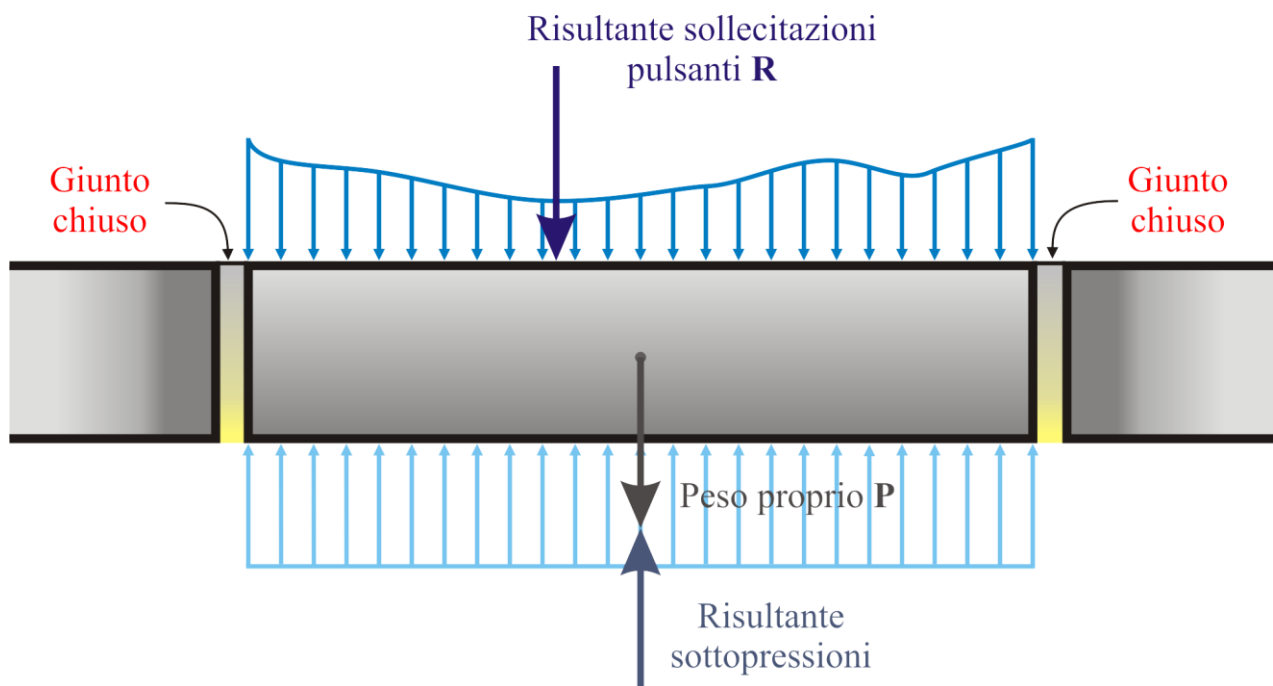


Figura 3.5 Sollecitazioni agenti sulla piastre nel caso di giunti chiusi.

Le Tabelle 3.5 ÷ 3.16 riportano le caratteristiche di ciascuna prova ed i coefficienti di stabilità calcolati come sopra per ciascuna delle piastre strumentate. Le grandezze, per maggiore comodità di lettura, sono state già riportate alla scala del prototipo.

Piastra 2		Peso proprio 13037 kN		Spinta galleg. 5215 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
1	105.60	400	1.70	2278	1.74	18481	1.73
2	105.60	580	2.50	2113	1.78	18361	1.73
3	107.97	1910	Chiuse	2685	1.65	26094	1.54
4	107.59	1910	1.70	2068	1.79	20452	1.68
5	107.48	1910	2.50	2209	1.76	21241	1.65

Tabella 3.5 – Risultati prove piastra 2 giunti aperti: valori sul prototipo.

Piastra 4		Peso proprio 9824 kN		Spinta galleg. 3930 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
1	105.60	400	1.70	1809	1.71	15520	1.71
2	105.60	580	2.50	2199	1.60	20623	1.55
3	107.97	1910	Chiuse	3791	1.27	30093	1.32
4	107.59	1910	1.70	3701	1.29	31670	1.29
5	107.48	1910	2.50	3938	1.25	33217	1.26

Tabella 3.6 – Risultati prove piastra 4 giunti aperti: valori sul prototipo.

Piastra 6		Peso proprio 5947 kN		Spinta galleg. 2379 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
1	105.60	400	1.70	850	1.84	2766	1.89
2	105.60	580	2.50	914	1.81	2538	1.93
3	107.97	1910	Chiuse	2537	1.21	10284	1.14
4	107.59	1910	1.70	1935	1.38	8052	1.29
5	107.48	1910	2.50	1996	1.36	8176	1.29

Tabella 3.7 – Risultati prove piastra 6 giunti aperti: valori sul prototipo.

Piastra 7		Peso proprio 5947 kN		Spinta galleg. 2379 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
1	105.60	400	1.70	2107	1.33	7658	1.33
2	105.60	580	2.50	1673	1.47	5474	1.53
3	107.97	1910	Chiuse	2746	1.16	10592	1.12
4	107.59	1910	1.70	3284	1.05	13717	0.97
5	107.48	1910	2.50	2762	1.16	11200	1.79

Tabella 3.8 – Risultati prove piastra 7 giunti aperti: valori sul prototipo.

Piastra 2		Peso proprio 13037 kN				
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	H_{MAX} ($C_S=1.0$) (m s.l.m.)	H_{MAX} ($C_S=1.3$) (m s.l.m.)
6	105.60	400	1.70	4394	93.88	92.34
7	105.60	580	2.50	4754	94.02	92.45
8	107.97	1910	Chiuse	11675	96.68	94.49
9	107.59	1910	1.70	10784	96.33	94.23
10	107.48	1910	2.50	10714	96.31	94.21

Tabella 3.9 – Risultati prove piastra 2 giunti chiusi: valori sul prototipo.

Piastra 4		Peso proprio 9824 kN				
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	H_{MAX} ($C_S=1.0$) (m s.l.m.)	H_{MAX} ($C_S=1.3$) (m s.l.m.)
6	105.60	400	1.70	3465	93.96	92.40
7	105.60	580	2.50	3652	94.06	92.48
8	107.97	1910	Chiuse	3711	94.09	92.50
9	107.59	1910	1.70	3758	94.11	92.52
10	107.48	1910	2.50	3482	93.97	92.41

Tabella 3.10 – Risultati prove piastra 4 giunti chiusi: valori sul prototipo.

Piastra 6		Peso proprio 5947 kN				
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	H_{MAX} ($C_S=1.0$) (m s.l.m.)	H_{MAX} ($C_S=1.3$) (m s.l.m.)
6	105.60	400	1.70	2131	93.99	92.43
7	105.60	580	2.50	2068	93.94	92.39
8	107.97	1910	Chiuse	4272	95.79	93.81
9	107.59	1910	1.70	4195	95.73	93.76
10	107.48	1910	2.50	4230	95.76	93.78

Tabella 3.11 – Risultati prove piastra 6 giunti chiusi: valori sul prototipo.

Piastra 7		Peso proprio 5947 kN				
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	H_{MAX} ($C_S=1.0$) (m s.l.m.)	H_{MAX} ($C_S=1.3$) (m s.l.m.)
6	105.60	400	1.70	1776	93.69	92.20
7	105.60	580	2.50	2194	94.04	92.47
8	107.97	1910	Chiuse	3359	95.02	93.22
9	107.59	1910	1.70	3266	94.95	93.16
10	107.48	1910	2.50	3293	94.97	93.18

Tabella 3.12 – Risultati prove piastra 7 giunti chiusi: valori sul prototipo.

Piastra 2		Peso proprio 13037 kN		Spinta galleg. 5215 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
11	105.60	400	1.70	2525	1.68	20315	1.68
12	105.60	580	2.50	2570	1.67	20287	1.68
13	107.97	1910	Chiuse	2967	1.59	30574	1.44
14	107.59	1910	1.70	2630	1.66	26425	1.52
15	107.48	1910	2.50	2569	1.67	25609	1.55

Tabella 3.13 – Risultati prove piastra 2 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 4		Peso proprio 9824 kN		Spinta galleg. 3930 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
11	105.60	400	1.70	1579	1.78	13941	1.77
12	105.60	580	2.50	2218	1.60	18563	1.61
13	107.97	1910	Chiuse	3863	1.26	31967	1.28
14	107.59	1910	1.70	4122	1.22	35611	1.21
15	107.48	1910	2.50	3694	1.29	32573	1.27

Tabella 3.14 – Risultati prove piastra 4 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 6		Peso proprio 5947 kN		Spinta galleg. 2379 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
11	105.60	400	1.70	800	1.87	2760	1.90
12	105.60	580	2.50	845	1.84	2760	1.90
13	107.97	1910	Chiuse	4801	0.83	21362	0.72
14	107.59	1910	1.70	3708	0.98	16761	0.85
15	107.48	1910	2.50	3503	1.01	16243	0.87

Tabella 3.15 – Risultati prove piastra 6 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 7		Peso proprio 5947 kN		Spinta galleg. 2379 kN			
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
11	105.60	400	1.70	2288	1.27	7323	1.35
12	105.60	580	2.50	1697	1.46	5630	1.51
13	107.97	1910	Chiuse	3752	0.97	14312	0.94
14	107.59	1910	1.70	3918	0.94	15684	0.89
15	107.48	1910	2.50	3929	0.94	15074	0.91

Tabella 3.16 – Risultati prove piastra 7 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

L'analisi delle prove a giunti aperti, nei casi in cui le piastre risultano complanari (non dislocate) al manufatto regolatore (prove da 1 a 5), porta a coefficienti di stabilità al sollevamento C_s in tutti casi superiori all'unità. Il coefficiente di stabilità al sollevamento si mantiene superiore al livello di attenzione 1.3 per tutte le piastre nei casi in cui non si abbia tracimazione dal manufatto (prove 1 e 2). Con le portate più elevate ($T = 1000$ anni), in cui si ha tracimazione, i valori di C_s più bassi si ottengono per le piastre 4, 6 e 7. In particolare, la piastra 4, investita dal getto proveniente dai becchi d'anatra, presenta coefficienti di stabilità al sollevamento sempre superiori ad 1.2. Per quanto riguarda la piastra 6, la situazione più critica è relativa alla prova 3 a paratoie chiuse in cui tutta la portata viene evacuata dallo sfioro. Anche in questo caso il coefficiente C_s risulta di poco superiore a 1.2. La piastra 7 presenta, invece, un coefficiente di stabilità al sollevamento di poco superiore all'unità ($C_s = 1.05$) nella prova 4; in questo caso la piastra, oltre ad essere investita dalla portata tracimante, viene anche sollecitata dalla corrente idrica in uscita dalla luce ad essa allineata. Per quanto riguarda i coefficienti di stabilità alla rotazione, essi presentano valori in linea con i coefficienti di stabilità al sollevamento; a valori bassi di C_s corrispondono valori bassi di C_r e viceversa: ciò è dovuto al fatto che i momenti massimi sono dovuti a forze elevate in modulo e poco eccentriche rispetto al baricentro. Anche in questo caso i coefficienti C_r risultano tutti superiori all'unità tranne che per la piastra 7 nella prova 4, in cui si registra un valore poco inferiore a 1 (pari a 0.97). A tal proposito si fa presente che le situazioni simulate presuppongono che i giunti tra le piastre siano completamente aperti e le piastre stesse possano ruotare liberamente attorno all'asse passante per il loro spigolo di valle. Nella realtà nei giunti, di spessore pari a circa 5 cm, sono stati inseriti in fase di costruzione pannelli di polistirolo che, pur degradati, sono un significativo impedimento alla trasmissione delle sollecitazioni pulsanti nella parte sottostante la piastra. Inoltre, le piastre sono posate su un magrone di fondo, che riduce ulteriormente la propagazione delle perturbazioni di pressione. Le situazioni simulate su modello a giunti aperti portano a risultati, quindi, fortemente a favore di sicurezza.

A completamento delle elaborazioni sopra riportate, che considerano esclusivamente i valori massimi, è stata effettuata un'analisi di frequenza congiunta tra il modulo della sollecitazione e la distanza del suo punto di applicazione dal baricentro della piastra. L'analisi riguarda solo le sollecitazioni al di sotto del valore medio (derivanti dall'applicazione del metodo di “*Level Crossing*”) corrispondenti, quindi, a forze che tendono a sollevare la piastra.

Nelle Figure 3.6 ÷ 3.10 sono riportate le distribuzioni di frequenza assoluta per le prove da 1 a 5 (scala del prototipo).

Dall'analisi dei grafici si evince che le sollecitazioni più elevate sono anche debolmente eccentriche, a tutto beneficio della stabilità.

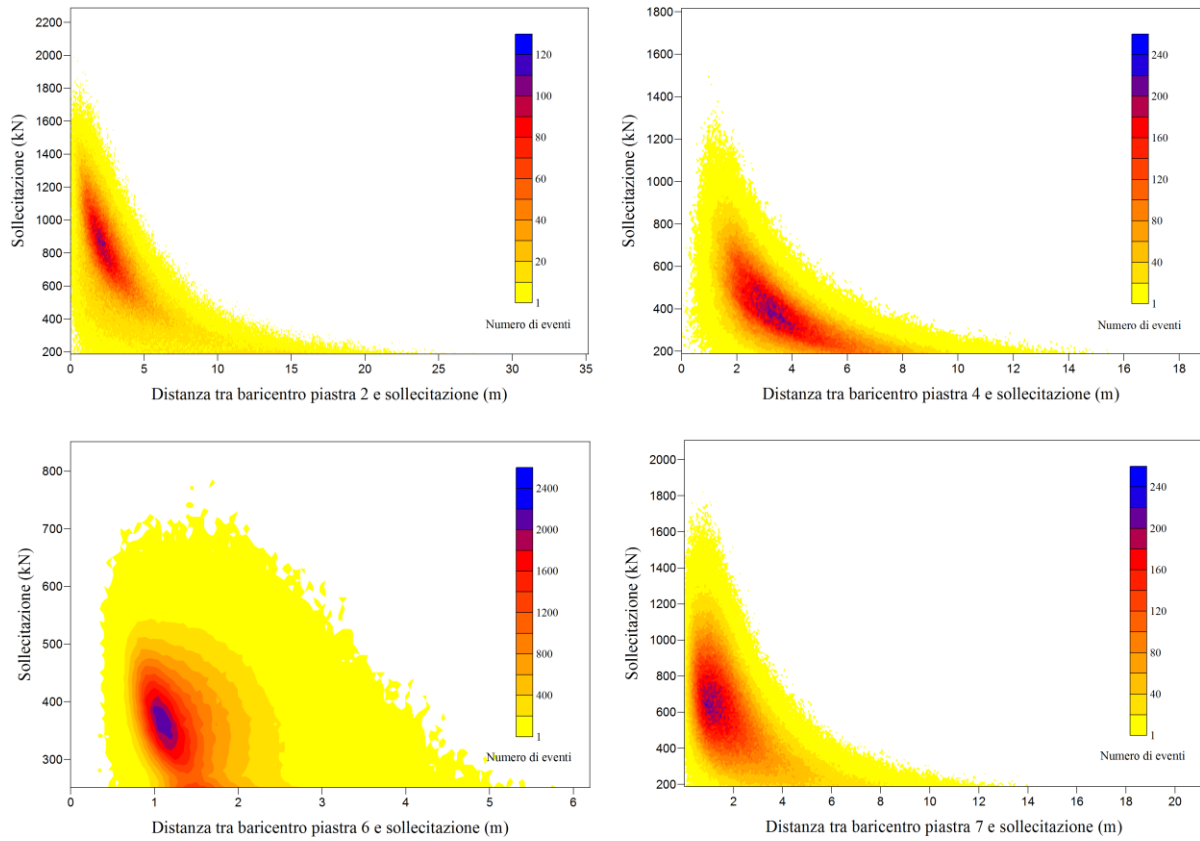


Figura 3.6 – Prova 1 - Numero di eventi in funzione della distanza della sollecitazione dal baricentro della piastra e del modulo della sollecitazione.

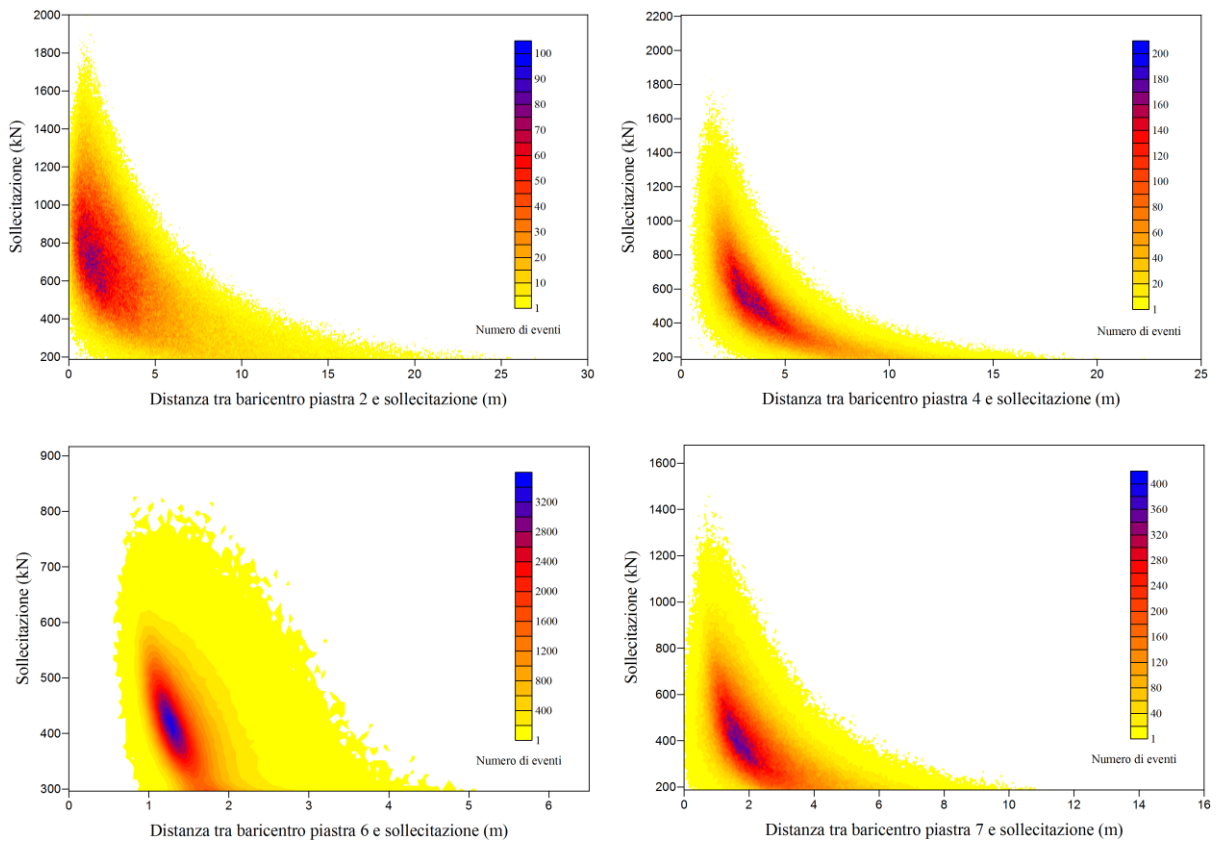


Figura 3.7 – Prova 2 - Numero di eventi in funzione della distanza della sollecitazione dal baricentro della piastra e del modulo della sollecitazione.

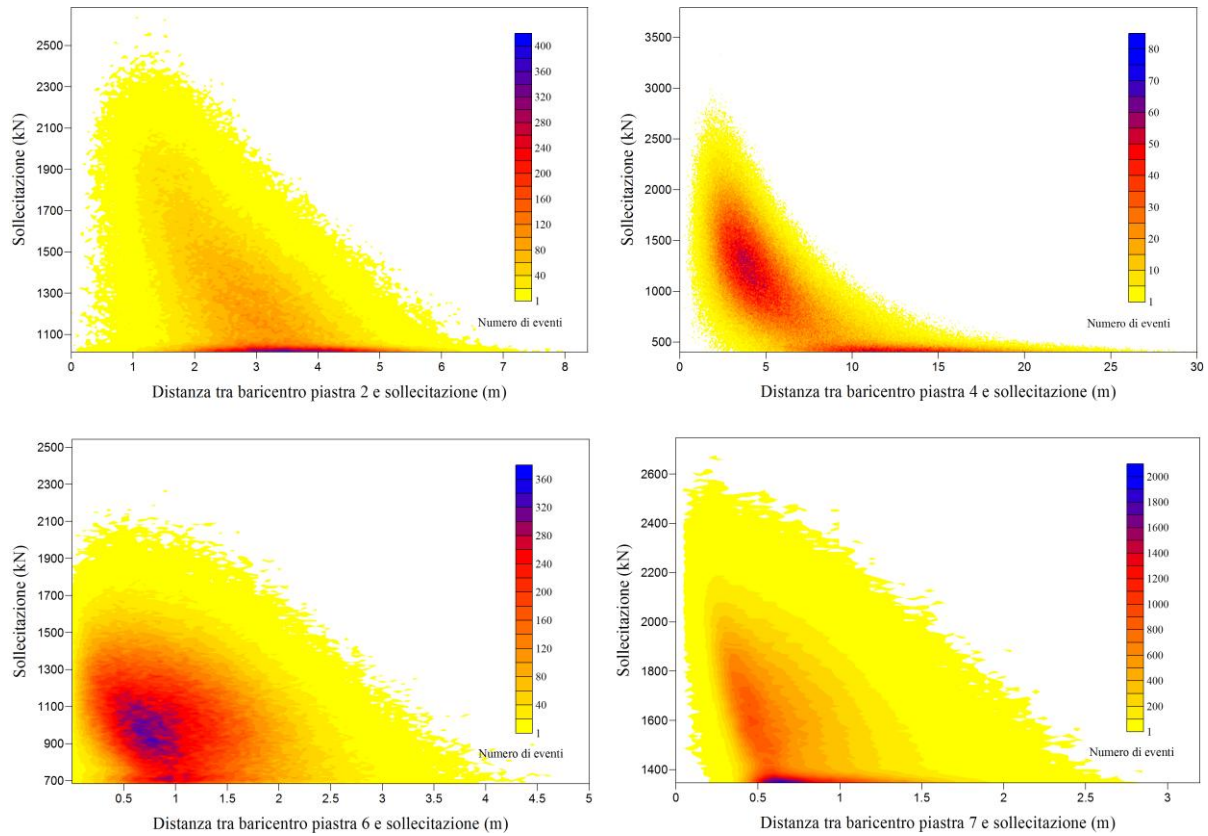


Figura 3.8 – Prova 3 - Numero di eventi in funzione della distanza della sollecitazione dal baricentro della piastra e del modulo della sollecitazione.

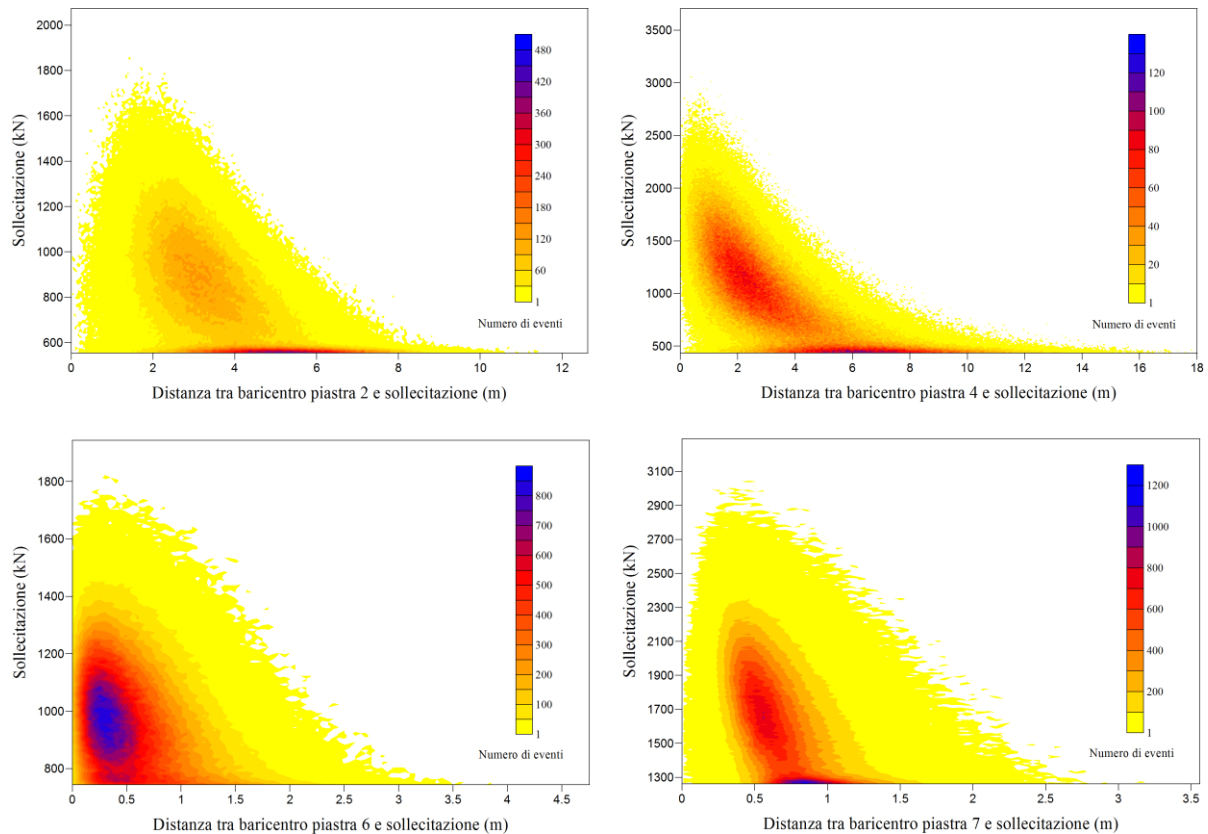


Figura 3.9 – Prova 4 - Numero di eventi in funzione della distanza della sollecitazione dal baricentro della piastra e del modulo della sollecitazione.

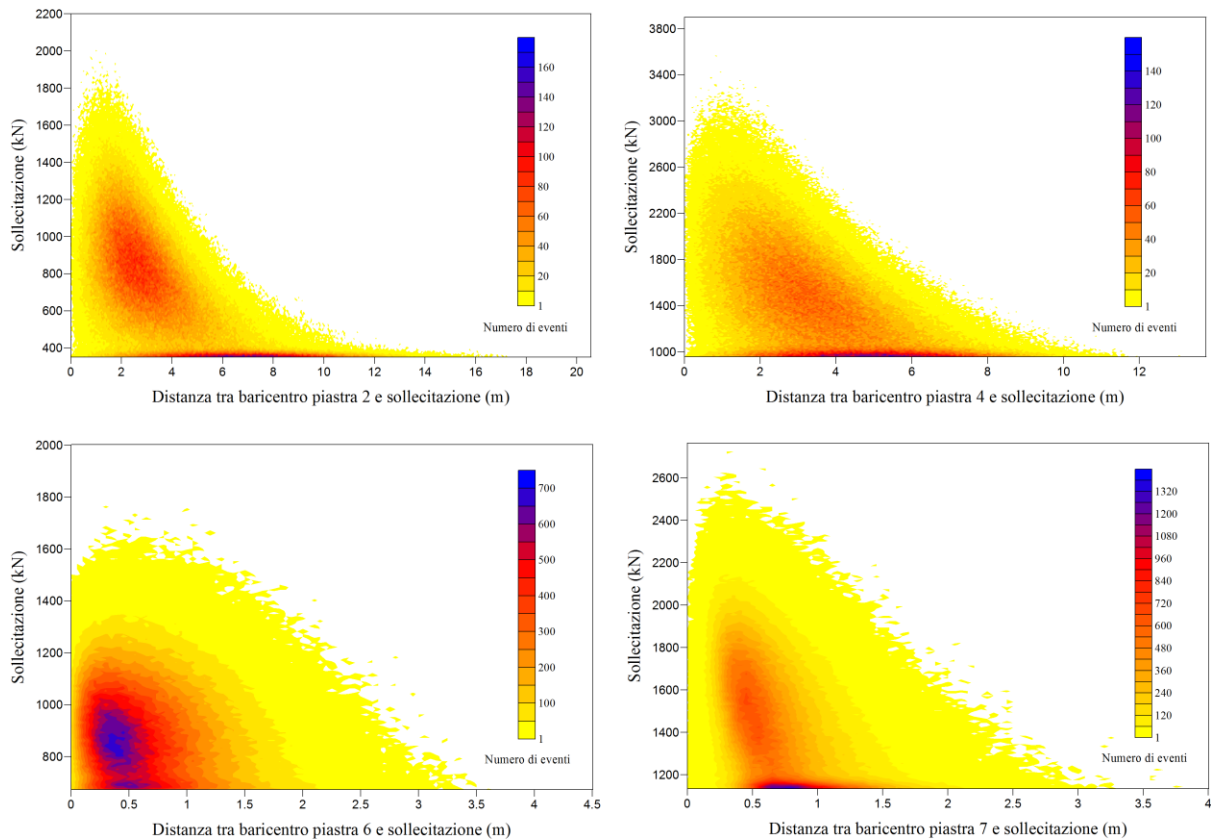


Figura 3.10 – Prova 5 - Numero di eventi in funzione della distanza della sollecitazione dal baricentro della piastra e del modulo della sollecitazione.

L'analisi dei risultati ottenuti a giunti chiusi (prove da 6 a 10) mette in evidenza che per tutte le piastre la situazione più critica (minimo coefficiente di sicurezza) corrisponde ai minori battenti idrici nella vasca di dissipazione. Ciò era prevedibile in quanto le sollecitazioni sulle piastre, pur fluttuando significativamente attorno al valore medio, si mantengono sempre positive (dirette verso il basso) e contribuiscono, quindi, alla stabilità della piastra. Per completezza, si riportano nelle Tabelle 3.17 e 3.18 i valori della quota piezometrica massima H_{MAX} (m s.l.m.) ammissibile al piano di fondazione delle piastre (87.20 m s.l.m.), affinché il coefficiente di stabilità al sollevamento (definito come sopra) risulti pari a 1.0 e 1.3 per due situazioni particolarmente critiche. La prima riguarda il caso di bacino di dissipazione con acqua in quiete alla quota del piano dei massi ciclopici a valle della vasca stessa (90.00 m s.l.m.): questa situazione può verificarsi, ad esempio, in occasione di prove di invaso con paratoie completamente chiuse; la seconda si riferisce al caso di vasca di dissipazione completamente vuota, perché, ad esempio, artificialmente svuotata (fondo vasca a quota 89.20 m s.l.m.) (Tabella 3.18).

Vasca di dissipazione con acqua a quota 90.00 m s.l.m.	$H_{MAX} (C_S=1.0)$ (m s.l.m.)	$H_{MAX} (C_S=1.3)$ (m s.l.m.)
	93.00	91.66

Tabella 3.17 – Quota piezometrica ammissibile al piano di fondazione delle piastre a vasca piena.

Vasca di dissipazione vuota 89.20 m s.l.m.	$H_{MAX} (C_S=1.0)$ (m s.l.m.)	$H_{MAX} (C_S=1.3)$ (m s.l.m.)
	92.20	91.05

Tabella 3.18 – Quota piezometrica ammissibile al piano di fondazione delle piastre a vasca vuota.

La stabilità delle piastre peggiora sensibilmente nelle prove a giunti aperti in cui sono state dislocate le due piastre 6 e 7 (prove da 11 a 15, Tabelle 3.13 ÷ 3.16). Si confrontino, in particolare, i risultati di tali prove con quelli ottenuti nelle prove omologhe con piastre complanari al manufatto (prove da 1 a 5, Tabelle 3.5 ÷ 3.8).

Per quanto riguarda le piastre 6 e 7, i coefficienti di stabilità C_S e C_R non subiscono variazioni significative per le prove 11 e 12, in cui l'intera portata fuoriesce dalle sole luci di fondo. I coefficienti diminuiscono invece drasticamente, attestandosi su valori inferiori all'unità, nel caso in cui parte o tutta la portata trascimi al di sopra del manufatto; i valori più bassi dei coefficienti di sicurezza si raggiungono per la piastra 6 nella situazione a paratoie chiuse (prova 13, $C_S = 0.83$ e $C_R = 0.72$) con l'intera portata trascimante al di sopra del manufatto. Tale comportamento è attribuibile all'impatto della vena stramazzone contro le piastre dislocate che induce una modifica del campo di pressioni sulla piastra peggiorativo per la stabilità della stessa.

I coefficienti di stabilità alla traslazione verticale C_S subiscono una diminuzione anche per la piastra 2 (posta immediatamente a valle della piastra 6, ora dislocata) in tutte le situazioni di prova; i valori di C_S rimangono comunque superiori a 1.5. I coefficienti di stabilità della piastra 4 si mantengono invece sostanzialmente invariati.

È appena il caso di sottolineare che le prove 13 ÷ 15 si riferiscono a condizioni di sollecitazioni invero eccezionali ed altamente improbabili: piastre dislocate nel prototipo di 5-10 cm e portata millenaria perdurante per lungo tempo. Si è pertanto ritenuto opportuno effettuare un'ulteriore prova con riferimento ad una portata transitante più modesta, corrispondente alla portata al colmo in ingresso alla cassa con tempo di ritorno pari a 200 anni. Il valore di tale portata ($1042 \text{ m}^3/\text{s}$) è stato dedotto da uno studio condotto dal DICATeA nel 2003 per conto della Regione Emilia Romagna. Nelle Tabelle 3.19 ÷ 3.24 si riportano le caratteristiche di tale prova e i risultati per ciascuna delle piastre strumentate.

I coefficienti di stabilità al sollevamento e alla rotazione si mantengono superiori all'unità, eccetto che per la piastra 6 in cui il coefficiente di stabilità alla rotazione risulta pari all'unità.

GRANDEZZE SUL MODELLO (in similitudine di Froude)							
N. prova	Portata (l/s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m.)	Livello valle (m s.l.m.)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
16	58.94	Portata con tempo di ritorno T=200 anni	107.18	93.27	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti

Tabella 3.19 – Dati caratteristici della prova 16: valori sul modello (similitudine di Froude).

GRANDEZZE CORRISPONDENTI NEL PROTOTIPO							
N. prova	Portata (m ³ /s)	Commento portata	Livello monte (m s.l.m.)	Livello valle (m s.l.m.)	Caratteristiche pelo libero	Paratoie del manufatto	Giunti
16	1042	Portata con tempo di ritorno T=200 anni	107.18	93.27	Tracimazione manufatto	Chiuse	Aperti

Tabella 3.20 – Dati caratteristici della prova 16: valori sul prototipo.

Piastra 2		Peso proprio 13037 kN			Spinta galleg. 5215 kN		
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
16	107.18	1042	Chiuse	1702	1.88	16479	1.79

Tabella 3.21 – Risultati prova 16, piastra 2 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 4		Peso proprio 9824 kN			Spinta galleg. 3930 kN		
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
16	107.18	1042	Chiuse	3684	1.29	32342	1.27

Tabella 3.22 – Risultati prova 16, piastra 4 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 6		Peso proprio 5947 kN			Spinta galleg. 2379 kN		
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
16	107.18	1042	Chiuse	2913	1.12	12950	1.00

Tabella 3.23 – Risultati prova 16, piastra 6 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

Piastra 7		Peso proprio 5947 kN			Spinta galleg. 2379 kN		
Numero prova	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	N_{MIN} (kN)	C_S	M_{MAX} (kN·m)	C_R
16	107.18	1042	Chiuse	2475	1.23	9845	1.17

Tabella 3.24 – Risultati prova 16, piastra 7 giunti aperti (piastre dislocate): valori sul prototipo.

4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nella Tabella 4.1 è riportata una sintesi delle condizioni di prova ed i risultati principali in termini di coefficienti di sicurezza al sollevamento ed al ribaltamento per le situazioni a giunti aperti, con piastre dislocate e non. Le prove che danno luogo a coefficienti di sicurezza inferiori all'unità si riferiscono a condizioni di sollecitazioni invero eccezionali ed altamente improbabili: portata millenaria perdurante per lungo tempo e piastre dislocate nel prototipo di 5-10 cm (a parte il caso della piastra 7 nella prova N.4). Assumendo una portata al colmo duecentennale (Prova 16) i coefficienti di sicurezza ritornano ad essere superiori all'unità, anche in presenza di giunti aperti e piastre dislocate.

Prova N.	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	Stato dei giunti ⁽¹⁾	Piastra 2		Piastra 4		Piastra 6		Piastra 7	
					C _S	C _R	C _S	C _R	C _S	C _R	C _S	C _R
1	105.60	400	1.70	A	1.74	1.73	1.71	1.71	1.84	1.89	1.33	1.33
2	105.60	580	2.50	A	1.78	1.73	1.60	1.55	1.81	1.93	1.47	1.53
3	107.97	1910 ⁽²⁾	Chiuse	A	1.65	1.54	1.27	1.32	1.21	1.14	1.16	1.12
4	107.59	1910 ⁽²⁾	1.70	A	1.79	1.68	1.29	1.29	1.38	1.29	1.05	0.97
5	107.48	1910 ⁽²⁾	2.50	A	1.76	1.65	1.25	1.26	1.36	1.29	1.16	1.77
11	105.60	400	1.70	AD	1.68	1.68	1.78	1.77	1.87	1.90	1.27	1.35
12	105.60	580	2.50	AD	1.67	1.68	1.60	1.61	1.84	1.90	1.46	1.51
13	107.97	1910 ⁽²⁾	Chiuse	AD	1.59	1.44	1.26	1.28	0.83	0.72	0.97	0.94
14	107.59	1910 ⁽²⁾	1.70	AD	1.66	1.52	1.22	1.21	0.98	0.85	0.94	0.89
15	107.48	1910 ⁽²⁾	2.50	AD	1.67	1.55	1.29	1.27	1.01	0.87	0.94	0.91
16	107.18	1042 ⁽³⁾	Chiuse	AD	1.88	1.79	1.29	1.27	1.12	1.00	1.23	1.17

(1) A = Aperti; AD = Aperti e Dislocati

(2) Portata al colmo per il dimensionamento dello sfioratore di superficie (millenaria)

(3) Portata al colmo di tempo di ritorno T=200 anni

Tabella 4.1 – Risultati riassuntivi delle prove a giunti aperti.

Dall'analisi completa delle prove a giunti aperti si evince comunque che la dislocazione tra le piastre e il manufatto è esiziale per la stabilità delle piastre stesse. Infatti, la formazione di un gradino tra piastre e manufatto regolatore (tale che la corrente uscente dalle luci o tracimante dal manufatto possa colpire le suddette piastre parzialmente sul bordo rialzato) favorisce la propagazione delle sollecitazioni pulsanti attraverso i giunti generando sollecitazioni verso l'alto più elevate.

Poiché è difficile garantire la perfetta complanarità delle piastre ed il suo mantenimento nel tempo (ad esempio, per piccoli cedimenti differenziali), si consiglia di porre particolare attenzione al giunto tra il manufatto e le piastre ad esso prossime, eventualmente prevedendone una sigillatura che possa durare nel tempo.

Nella Tabella 4.2 è riportata una sintesi delle condizioni di prova per le situazioni a giunti chiusi. In questa situazione la stabilità delle piastre è condizionata dallo stato piezometrico del corpo filtrante, vista l'ipotizzata sconnessione idraulica tra lo stato del fluido sovrastante la piastra (funzione delle caratteristiche dell'evento che le sollecita) ed il corpo filtrante sottostante. In Tabella 4.2 sono pertanto indicati i valori delle quote piezometriche (espressi alla scala del prototipo in m s.l.m.) nel corpo filtrante alla base delle piastre da non superare per garantire coefficienti di sicurezza pari a 1.0 e 1.3.

Prova N.	Livello monte (m s.l.m.)	Portata (m ³ /s)	Apertura paratoie (m)	Stato dei giunti ⁽¹⁾	Quota piezometrica max ammissibile (m s.l.m.) per garantire il coefficiente di sicurezza C_s pari a:							
					1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3	1.0	1.3
					Piastra 2		Piastra 4		Piastra 6		Piastra 7	
6	105.60	400	1.70	C	93.88	92.34	93.96	92.40	93.99	92.43	93.69	92.20
7	105.60	580	2.50	C	94.02	92.45	94.06	92.48	93.94	92.39	94.04	92.47
8	107.97	1910 ⁽²⁾	Chiusa	C	96.68	94.49	94.09	92.50	95.79	93.81	95.02	93.22
9	107.59	1910 ⁽²⁾	1.70	C	96.33	94.23	94.11	92.52	95.73	93.76	94.95	93.16
10	107.48	1910 ⁽²⁾	2.50	C	96.31	94.21	93.97	92.41	95.76	93.78	94.97	93.18

(1) C = Chiusi

(2) Portata al colmo per il dimensionamento dello sfioratore di superficie (millenaria)

Tabella 4.2 – Risultati riassuntivi delle prove a giunti chiusi.

Poiché in questa situazione il cuscino d'acqua sovrastante, nonostante le fluttuazioni, è comunque stabilizzante, si sono calcolati teoricamente (Tabella 4.3) i valori delle quote piezometriche massime ammissibili nel corpo filtrante alla base delle piastre che garantiscono coefficienti di sicurezza pari a 1.0 e 1.3 nel caso di vasca con acqua in quiete alla quota del piano di massi ciclopici a valle della vasca stessa e di vasca vuota.

Livello nella vasca (m s.l.m.)	Apertura paratoie (m)	Stato dei giunti ⁽¹⁾	Quota piezometrica max ammissibile (m s.l.m.) per garantire il coefficiente di sicurezza C_s pari a:	
			1.0	1.3
90.00	Chiusa	C	93.00	91.66
89.20 (vuota)	Chiusa	C	92.20	91.05

(1) C = Chiusi

Tabella 4.3 – Quota piezometrica ammissibile al piano di fondazione delle piastre.

I valori risultanti, superiori di oltre un metro a quelli ottenuti durante le recenti prove di invaso, fanno ritenere che, anche nell'ipotesi di totale sigillatura dei giunti, la stabilità delle piastre sia garantita.

In ogni caso le piastre più lontane dal manufatto (piastre 2 e 4) non presentano particolari problemi di stabilità neppure a giunti aperti. Si ritiene, quindi, non opportuno sigillarne i giunti, così da consentire alle eventuali sottopressioni esistenti al piano di fondazione di sfogarsi attraverso essi.

Appendice A

Similitudine di Froude

Si riportano in questa sezione, i principi salienti della teoria della similitudine di Froude nonché una tabella con i rapporti di scala utili per la comprensione dei dati sopra riportati. Per maggiori dettagli si rimanda ad Adami, 1994.

A.1 SIMILITUDINE DI FROUDE

La similitudine di Froude riguarda il caso del moto di un fluido reale a pelo libero e quindi soggetto alla azione della gravità. Utilizzando lo stesso fluido nel modello e nel prototipo, trascurando gli effetti della tensione superficiale e assumendo che il moto sia turbolento pienamente sviluppato, le condizioni di similitudine che devono essere rispettate sono:

$$r_t = \frac{\lambda}{r_v} \quad r_{\Delta p} = r_v^2 \quad r_v = \lambda^{1/2}$$

in cui r_i rappresentano i rapporti di scala, v è la velocità della corrente, t è il tempo, Δp è la differenza di pressione e λ è il rapporto geometrico di scala.

Una volta fissato il valore di λ , tutti gli altri rapporti discendono di conseguenza.

Per il modello della cassa di espansione sul torrente Parma è stato scelto un rapporto di scala $\lambda = 1/50$ e pertanto le altre grandezze fisiche presentano i seguenti rapporti di scala:

Grandezza	Rapporto di scala
Portata	$r_Q = \lambda^{5/2} = 17678$
Velocità	$r_v = \lambda^{1/2} = 7.07$
Tempo	$r_t = \lambda^{1/2} = 7.07$
Pressione	$r_p = \lambda = 50$
Forza	$r_F = \lambda^3 = 125\,000$
Coppia	$r_M = \lambda^4 = 6\,250\,000$

Appendice B

Progettazione e costruzione del modello fisico

B.1 POSIZIONAMENTO E SCELTA DELLA SCALA GEOMETRICA

Il modello fisico è stato realizzato all'interno del Laboratorio di Idraulica N°1, di proprietà dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPo) e sito nel comune di Boretto (RE).

La zona di studio comprende, oltre al manufatto principale (avente uno sviluppo trasversale pari a circa 220 m), la vasca di dissipazione, un breve tratto di valle del torrente Parma e una porzione ristretta dell'invaso e delle arginature, Figura B.1.



Figura B.1 – Foto aerea con in evidenza l'area di studio.

La scala di realizzazione del modello è stata scelta in base allo spazio disponibile all'interno dell'edificio ed in funzione del costo dei materiali per la produzione del manufatto. La limitata disponibilità di spazio è dipesa anche dalla presenza di un preesistente modello idraulico¹, tuttora funzionante, che occupa gran parte del fabbricato e che non poteva essere spostato o smantellato. Il massimo rapporto di scala (minimo denominatore) che permettesse l'inserimento del nuovo modello nel laboratorio è risultato essere pari a 1:40 (scala geometrica). Successivamente, la valutazione dei costi di realizzazione dell'opera ha condotto alla scelta di un rapporto di scala inferiore, ma che consentisse la perfetta riproduzione dei fenomeni idraulici oggetto di studio. Il rapporto di scala scelto è $\lambda = 1:50$. La similitudine adottata è quella di Froude in quanto più idonea

¹ Il laboratorio ospita il modello della cassa di espansione a monte della confluenza tra i torrenti Chisola e Rio Torto, frutto di una precedente convenzione tra AIPo e DICATeA.

allo studio di fluidi reali in moto anche non permanente, a pelo libero e soggetti all'azione della forza di gravità.

B.2 MANUFATTO REGOLATORE

La realizzazione del modello fisico ha previsto la costruzione di un manufatto che rispettasse fedelmente le caratteristiche geometriche del prototipo. L'incarico è stato affidato alla ditta "AMS Tulton" di Chieti. La lavorazione ha previsto l'impiego di una resina poliuretanica, nota con il nome commerciale di "Ureol", le cui principali caratteristiche sono riportate in Tabella B.1. La tecnica è stata quella della fresatura su macchina a controllo numerico. I tre elementi principali (corpo centrale e becchi d'anatra) sono stati realizzati mediante l'esecuzione di più conci elementari sagomati e successivamente assemblati tra loro; viceversa, ciascun blocco di dissipazione è stato realizzato in un pezzo unico.

Proprietà fisiche e meccaniche dell'Ureol		
Densità (massa/volume)	kg/m ³	0.7
Porosità (volume vuoti/volume totale)	-	0
Durezza di Shore (ISO868:2003)	-	63
Resistenza alla flessione (ISO178:2001)	MPa	34
Modulo elastico a flessione (ISO178:2001)	MPa	1000
Resistenza alla compressione (ISO604:2002)	MPa	28
Resistenza agli urti (ISO179-1:2000)	kJ/m ²	11
Temperatura di transizione vetrosa (ISO11359-2:1999)	°C	85
Coefficiente di dilatazione termica (ISO11359-2:1999)	k ⁻¹	75×10 ⁻⁶

Tabella B.1 – Proprietà dell' Ureol.

Il manufatto riproduce anche le sedi dei gargami entro i quali scorrono le paratoie, che sono state realizzate separatamente con elementi di PMMA.

B.3 VASCA DI DISSIPAZIONE

La vasca di dissipazione a valle del manufatto regolatore rappresenta il principale oggetto di studio. Come precisato nell'introduzione, lo scopo della modellazione è quello di produrre una stima delle sollecitazioni dinamiche che l'acqua genera sulla platea. Si è deciso di strumentare quattro piastre che fossero rappresentative dell'opera nel suo complesso (Figura 2.2 della Relazione). La strumentazione è collocata in un traliccio di acciaio inox costituito da otto vasche, visibile in Figura B.2.



Figura B.2 – Traliccio in acciaio inox contenete la strumentazione.

Ciascuna vasca è in grado di ospitare tre trasduttori di forza ed è dotata di uno scarico per poter essere svuotata dall'acqua eventualmente presente. Il fondo delle vasche (impermeabile) è stato realizzato con una lamiera di acciaio inox dello spessore di 3 mm, ma al di sotto di esse è collocato un traliccio di tubolari in acciaio inox di dimensioni HxB 10 cm x 5 cm in modo da garantire una sufficiente rigidità al sistema. La parte superiore delle vasche è stata chiusa con lastre sagomate di acciaio inox dello spessore di 8 mm, opportunamente forate per consentire la connessione meccanica tra le celle di carico e le piastre sovrastanti (Figura B.3).

Le piastre che riproducono la pavimentazione della platea sono state realizzate mediante lavorazione con taglio ad acqua di un materiale multistrato, denominato “pannello sandwich ALU-ALU”. Questo prodotto è formato da un rivestimento esterno di alluminio (pelle) avente uno spessore pari a 2 mm e da un anima di alluminio alveolare a celle esagonali per uno spessore di 13 mm. Lo spessore totale è pari a 17 mm. Le caratteristiche tecniche del pannello sono riportate in Tabella B.2.

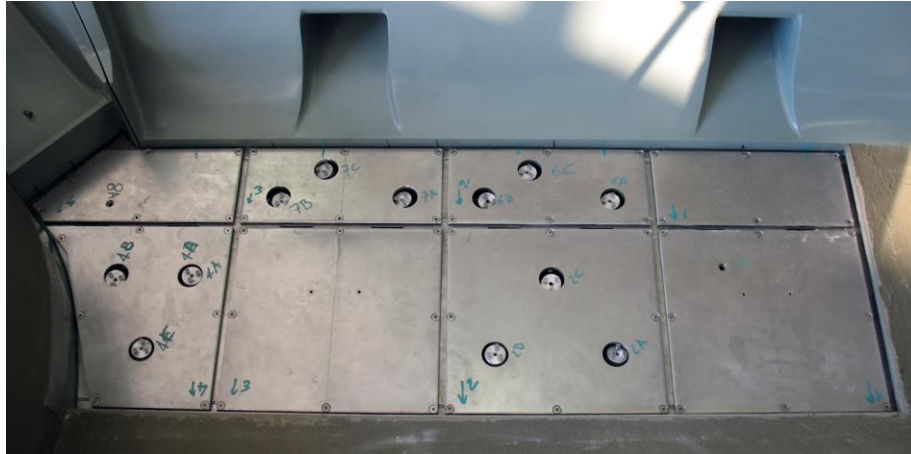


Figura B.3 – Connessioni piastre - strumentazione.

La scelta di questo materiale deriva dalla necessità di poter disporre di una struttura rigida e leggera al tempo stesso; infatti, per apprezzare sollecitazioni dinamiche ad elevata frequenza è necessario che le piastre siano rigide ed è necessario minimizzare l'inerzia dell'intero sistema di misura, riducendone la massa.

Pannello ALU-ALU CEL Components S.r.l.	
Composizione	Alluminio lega 3003
Diametro alveoli (mm)	9
Densità alveolare (kg/cm³)	40
Compressione stabilizzata (MPa)	1.6

Tabella B.2 – Proprietà pannello ALU-ALU.

Le piastre sono state vincolate alle celle di carico tramite giunti sferici (Figura B.4) il cui scopo è quello di rendere isostatica la struttura rispetto alle sollecitazioni dominanti; in questo modo le reazioni vincolari, trasdotte dalle celle, sono essenzialmente verticali.

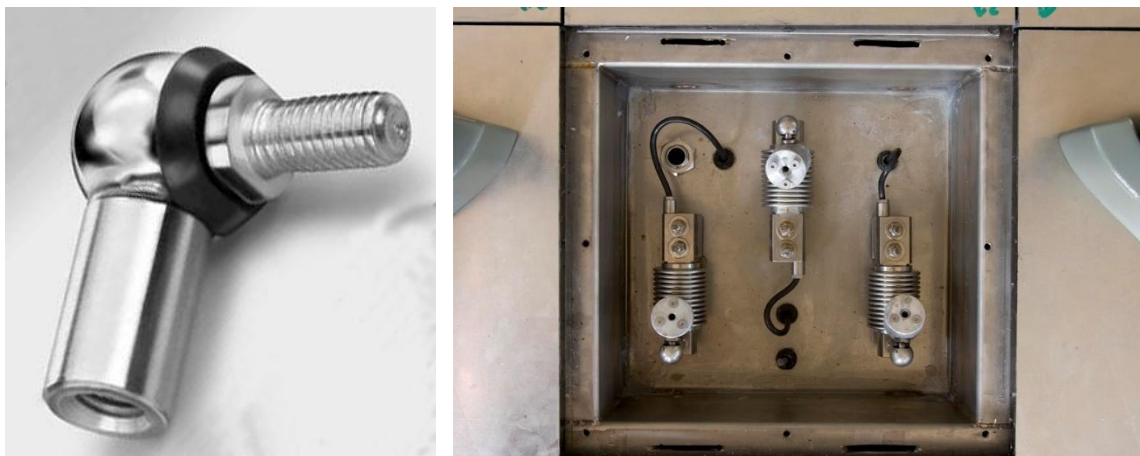


Figura B.4 – Giunti sferici e celle di carico posizionate in una vasca.

Tra le piastre in alluminio (pavimentazione) e le lastre in acciaio (piano di fondazione) è stato lasciata un'intercapedine di 2 mm per consentire la propagazione delle sottopressioni. La stessa intercapedine è presente in corrispondenza delle facce laterali di ciascuna piastra.

L'intero traliccio poggia su piedini in acciaio che permettono la regolazione in quota. Il dispositivo, posto in opera, occupa una zona che si estende dalla sponda destra alla piastra di fronte alla luce centrale, per una dimensione totale di $127.5 \times 44.7 \times 20$ cm (Figura B.2).

B.4 OPERE MURARIE

Il manufatto è stato inserito in una struttura in cemento armato ed elementi prefabbricati.

Inizialmente è stata realizzata la parte del modello che rappresenta una modesta porzione dell'invaso a monte del corpo diga. Tale area è stata delimitata definendo il relativo perimetro mediante la posa in opera di muretti, posizionati direttamente sul pavimento del laboratorio e realizzati con la sovrapposizione di quattro file di elementi in calcestruzzo ad H ($50 \times 25 \times 30$ cm), Figura B.5. La muratura è stata debolmente armata con l'aggiunta di tondini di acciaio. I tondini sono stati fissati a pavimento tramite l'iniezione di resina (Figura B.5).

Il fondo di questa porzione di modello è stato posto in opera con una elevazione di 20 cm rispetto al pavimento del laboratorio. Tale scelta si deve alla necessità di poter disporre di un'intercapedine al di sotto della vasca di dissipazione (a valle del manufatto principale): in tale intercapedine saranno alloggiati i cavi della strumentazione e i vari tubi di drenaggio.

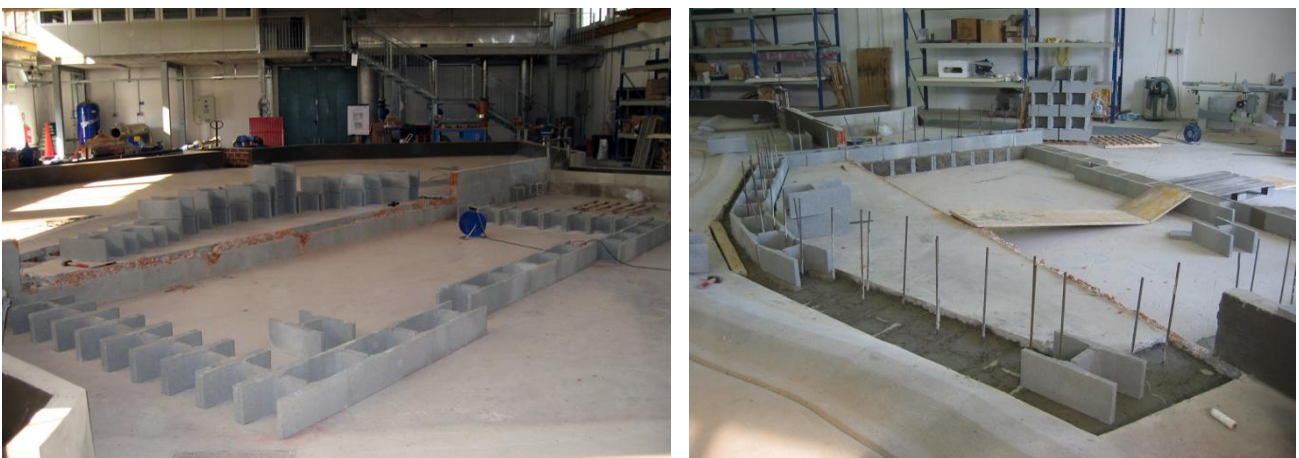


Figura B.5 – Realizzazione delle murature.

Il fondo della vasca deve essere in grado di sopportare le sollecitazioni indotte dal peso del fluido che si accumula sopra di essa. La tecnica adottata per la realizzazione ha previsto l'impiego di

elementi auto-bloccanti cavi in PVC, denominati “igloo” (Figura B.6); sopra di essi è stata posizionata una rete elettro-saldata affogata in una gettata di malta cementizia (Figura B.6).



Figura B.6 – Posizionamento degli “igloo” e gettata finale.

In prossimità dell’estremo di valle è stata posata una lastra liscia in pietra serena dello spessore di 30 mm. Tale superficie, perfettamente orizzontale, è destinata ad accogliere il modello in Ureol. La fase successiva ha richiesto l’assemblaggio, la posa ed il livellamento del manufatto che è stato ancorato alla base in pietra mediante appositi tasselli (Figura B.7).



Figura B.7 – Posizionamento del manufatto sulla lastra in pietra serena.

La geometria degli argini, dove si intestano i becchi d’anatra, è stata riprodotta per un’estensione limitata, Figura B.8.



Figura B.8 – Realizzazione degli argini.

Per realizzare questo particolare sono state sagomate delle centine in legno che riproducessero il profilo di alcune sezioni dell'argine. Le centine sono state messe in posizione e fissate con una gettata di malta. Gli argini sono raccordati verso valle con la muratura che delimita l'invaso.

Successivamente è stato fissato il traliccio che ospita la strumentazione per la misura delle sollecitazioni dinamiche sulla pavimentazione della vasca di dissipazione. La struttura, realizzata in acciaio inossidabile, ha un'estensione inferiore a quella dell'intera platea, occupando lo spazio compreso tra la sponda in destra idraulica e la piastra di fronte alla bocca centrale. La parte sinistra della platea è stata realizzata in muratura.

La costruzione dell'alveo fluviale a valle del bacino di dissipazione è stata effettuata analogamente alla zona di accumulo, delimitando il perimetro relativo con dei muretti realizzati tramite la sovrapposizione di tre file di elementi ad H. Il fondo è stato realizzato con "igloo" ricoperti da malta.

L'alveo a valle della platea si mantiene cilindrico per meno di un metro, quindi si raccorda a uno scivolo convergente e inclinato. In questo modo si crea una sconnessione idraulica ed il profilo nella vasca di dissipazione risulta indipendente da ciò che avviene a valle. Per imporre un determinato livello idrico a valle del manufatto è stata inserita una paratoia alla fine dello scivolo in grado di forzare la transizione a corrente lenta, Figura B.9. Regolando opportunamente l'apertura della paratoia è possibile riprodurre le condizioni di funzionamento che corrispondono a differenti portate in uscita dalla cassa.

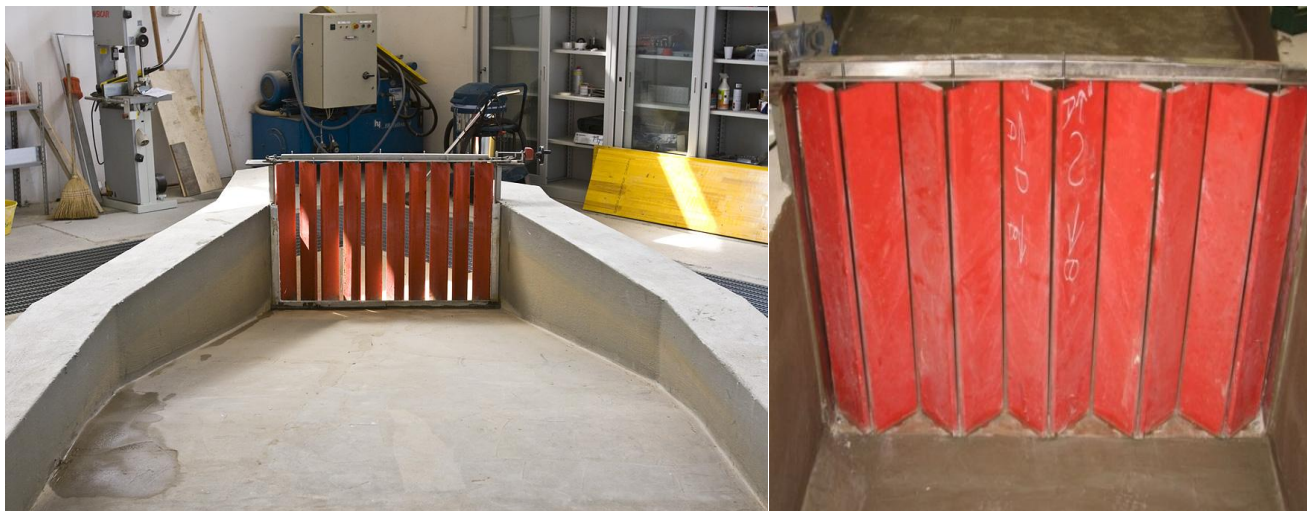


Figura B.9 – Alveo di valle e paratoia di regolazione.

B.5 CIRCUITO IDRAULICO

Il modello fisico è stato inserito in un circuito idraulico appositamente realizzato in grado di convogliare una portata superiore a 108.05 l/s, corrispondente alla portata millenaria nel prototipo (1910 m³/s).

Per allacciarsi all'impianto idraulico del laboratorio è stata utilizzata la condotta di diametro nominale 400 mm derivante dalla tubazione omnibus. A questa, mediante una riduzione flangiata, è stata connessa un condotta di PVC arancione di diametro nominale pari a 250 mm. La Figura B.10 mostra l'allaccio all'impianto idraulico presente all'interno del laboratorio.

Per addurre la portata richiesta alla vasca di alimentazione del modello la condotta in PVC è stata prolungata opportunamente, introducendo, circa a metà, una curva a 45°. Su questa condotta sono stati inseriti un misuratore di portata elettromagnetico e una saracinesca a cuneo gommato PFA25 in ghisa sferoidale e corpo ovale (Figura B.10). Agendo sulla saracinesca è possibile modulare la portata transitante nel circuito.

La condotta, realizzata in elevazione rispetto alla pavimentazione del laboratorio, termina nella vasca di alimentazione con una curva a gomito rivolta verso il basso (Figura B.11). Per ridurre la turbolenza, all'interno della vasca, è stata posizionata una fila di mattoni doppio UNI, con giacitura dei fori orizzontale, in modo da smorzare i vortici (Figura B.11). Per ridurre ulteriormente le ondulazioni del pelo libero, nella vasca di calma compresa tra l'arrivo della tubazione ed il muro in mattoni forati sono stati posti, durante le prove, tre pannelli in legno galleggianti ricoprenti quasi completamente la superficie libera della vasca.



Figura B.10 – Allaccio del circuito idraulico del modello a quello del laboratorio e saracinesca di regolazione.



Figura B.11 – Curva di ingresso al modello e muro in mattoni con fori orizzontali.

L'acqua, una volta transitata all'interno del modello, raggiunge il canale di ricircolo del laboratorio attraverso le griglie carrabili zincate che ne realizzano la copertura.

In corrispondenza della sezione terminale della vasca di dissipazione (a valle del manufatto), in prossimità della sponda sinistra, è stato realizzato un pozzetto di calma per eseguire le misure di livello. Il pozzetto è connesso al corpo idrico attraverso una condotta di presa orizzontale e a 90° rispetto alla direzione della corrente per non rilevarne la componente cinetica. Il pozzetto, realizzato

con una tubazione trasparente, consente una lettura agevole e priva di oscillazioni del livello di valle (Figura B.12).



Figura B.12 – Pozzetto di calma per la lettura del livello a valle della vasca di dissipazione.

Appendice C

Strumentazione

C.1 MISURA DELLA PORTATA

La misura della portata permette una corretta riproduzione in scala di eventi caratterizzati da un prefissato tempo di ritorno. Lo strumento utilizzato è un misuratore elettromagnetico prodotto dalla ditta “ABB” (alias “Elsag Bailey, Fisher & Porter”), modello “COPA-XE DE 43 F” (Figura C.1). L’installazione nel circuito idraulico è avvenuta avendo cura di seguire le prescrizioni della ditta costruttrice. Infatti, questo tipo di strumento, per non essere soggetto a disturbi o interferenze, deve essere preceduto da un tratto rettilineo di lunghezza almeno pari a dieci diametri nominali e seguito da un tratto rettilineo pari ad almeno cinque diametri nominali. Il misuratore ha un diametro nominale pari a 250 mm; quindi, il tratto rettilineo a monte e quello a valle devono avere un’estensione minima rispettivamente pari a 2500 mm e 1250 mm.

Il flussometro ha un'accuratezza pari a $\pm 0.5\%$ della lettura per valori di portata superiori a 34.35 l/s e pari a ± 0.17 l/s per valori inferiori a tale soglia. Il dispositivo è dotato di un display sul quale sono visualizzati il valore istantaneo di portata ed il volume totale transitato.

L’elettronica del misuratore deve essere opportunamente riscaldata prima dell’utilizzo: il tempo, definito dalla casa costruttrice, per poter entrare in condizioni di misura ottimali, è di circa 30 minuti (tempo di riscaldamento). La Tabella C.1 riporta le specifiche tecniche del flussometro.

Misuratore di portata “ABB” (Elsag, Bailey, Fisher & Porter) COPA-XE DE43F		
Tipo sensore	elettromagnetico	
DN	250 mm	
PN	16 bar	
Alimentazione	220 V	
Uscita	0/4-20 mA	
Condizione di installazione	In ingresso > 10×DN (tubo dritto) In uscita > 5×DN (tubo dritto)	
Tempo di riscaldamento	30 minuti	
Accuratezza	$Q > 0.07 Q_{\max \text{ DN}}$	$\pm 0.5\%$ del valore
	$Q < 0.07 Q_{\max \text{ DN}}$	$\pm 0.00035 Q_{\max \text{ DN}}$
Portata massima ($Q_{\max \text{ DN}}$)	490.6 l/s a 10 m/s	
Dimensioni (Figura C.1)	D=405 mm, L=450 mm, E=339 mm, F=401 mm	

Tabella C.1 – Specifiche tecniche del flussometro magnetico.

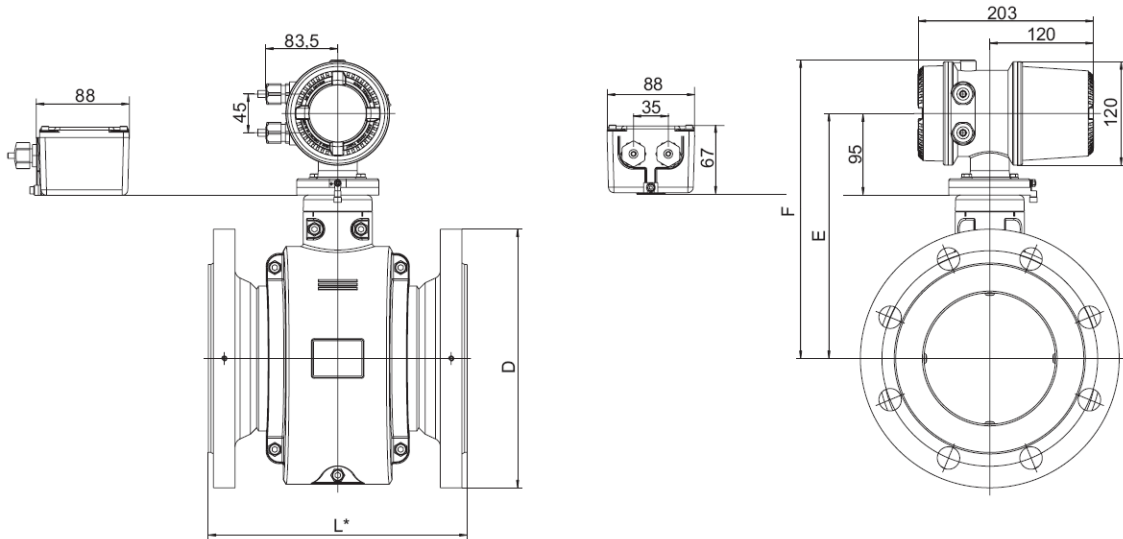


Figura C.1 – Flussometro magnetico.

C.2 MISURA DEI LIVELLI IDRICI

L'acquisizione dei livelli idrici è stata effettuata mediante sensori ad ultrasuoni, modello Q45UR, prodotti dalla Banner.

Lo strumento (Figura C.2) è settato per fornire un'uscita analogica in tensione tra 0 e 10 Volt ed ha un range di misura compreso tra 50 e 250 mm dal sensore, con caratteristica quasi lineare e tempo di risposta regolabile tra 10 e 320 ms. La risoluzione della sonda ad ultrasuoni è di 0.2 mm, con ulteriori limitazioni dovute alla scheda di acquisizione. La scheda utilizzata, a 16 bit, campiona 4096 punti su un range di ± 10 V. Quindi:

$$\frac{20}{4096} \approx 4,88 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{punto}}$$

Poiché il range utile di misura è di 200 mm, la risoluzione spaziale della sonda di livello dovuta alla risoluzione della scheda di acquisizione può essere espressa nel modo seguente:

$$\frac{200}{10} \left(\frac{\text{mm}}{\text{V}} \right) \cdot 4,88 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{V}}{\text{punto}} \right) = 0,0976 \frac{\text{mm}}{\text{punto}}$$

Complessivamente, l'accuratezza che può essere attribuita al sistema di acquisizione dei livelli è pari a ± 0.3 mm; gli effetti dovuti alla non linearità possono essere trascurati grazie alla calibrazione per segmenti che è stata eseguita nella fase preliminare del lavoro.

Le caratteristiche tecniche del trasduttore ad ultrasuoni sono riportate nella Tabella C.2.

Nel modello sono state utilizzate due sonde ad ultrasuoni: la prima, installata su di un apposito supporto, si trova all'interno del bacino di accumulo; la seconda misura il livello nel pozzetto di calma a valle descritto in precedenza.

Misuratore di distanza “Banner” U-GAGE Q45UR	
Tipo sensore	piezoelettrico
Alimentazione	15-24 V dc
Uscita	0-10 V dc
Tempo di risposta	10-320 ms (settabile)
Risoluzione	0.2 mm
Ripetibilità	0.2% del valore misurato
Isteresi	0.5 mm
Intervallo di misura	50-250 mm
Temperatura di esercizio	da -25 a 70 °C

Tabella C.2 – Specifiche tecniche trasduttore di livello ad ultrasuoni.

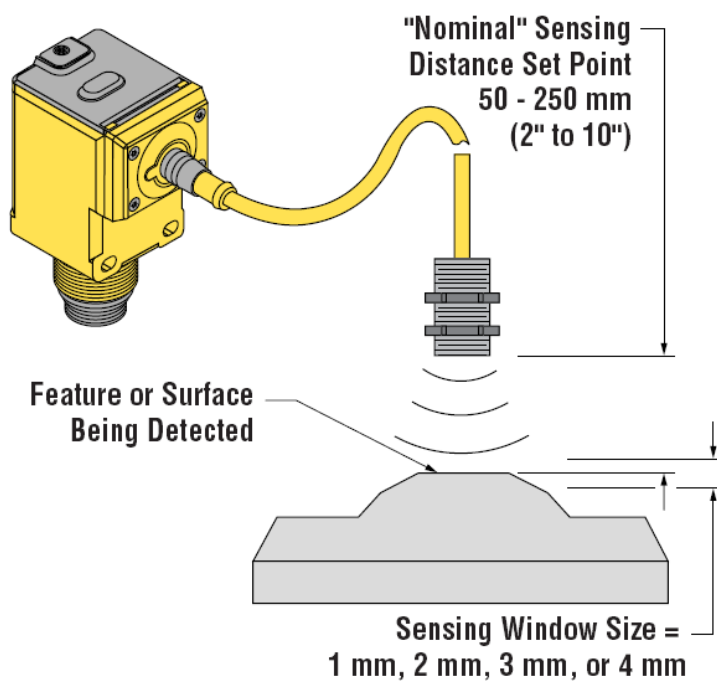


Figura C.2 – Trasduttore di livello ad ultrasuoni.

C.3 MISURA DELLE PRESSIONI

La strumentazione impiegata per eseguire queste misure è costituita da due manometri differenziali, prodotti dalla ditta “AEP transducers” e appartenenti alla serie TP14 (Figura C.3).



Figura C.3 – Trasduttore di pressione.

Questi trasduttori si distinguono per l'elevata precisione e affidabilità e per la stabilità a lungo termine delle caratteristiche metrologiche. La parte sensibile dello strumento è realizzata in acciaio inox 17-4PH, un metallo sottoposto a trattamenti termici ad alto vuoto resistente alla corrosione. Questi trattamenti consentono di conferire allo strumento la capacità di effettuare misure precise anche in presenza di sollecitazioni dinamiche. L'uscita è un segnale in tensione compreso tra 0 e 10 V. Lo strumento è caratterizzato da un errore di linearità, dichiarato dalla ditta costruttrice, pari a $\pm 0.1\%$; la frequenza di risposta dichiarata arriva a 5 kHz, anche se alcune prove preliminari condotte nel laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Parma hanno rivelato una frequenza di taglio non superiore a circa 500 Hz. Nel modello fisico sono stati utilizzati trasduttori caratterizzati da una pressione nominale pari a 1 bar e un'accuratezza pari a ± 1 mbar. Le caratteristiche tecniche di questo strumento sono riportate nella Tabella C.3.

Misuratore di pressione "AEP" TP14	
Tipo sensore	ponte estensimetrico completo
Alimentazione	15-24 V dc
Uscita	0-10 V dc
Frequenza di risposta	5 kHz
Linearità ed isteresi	$< \pm 0.1\%$
Intervallo di misura	0-1 bar
Temperatura di esercizio	da -10 a 70 °C

Tabella C.3 – Specifiche tecniche trasduttore di pressione.

C.4 MISURA DELLE FORZE

Le forze agenti sulla pavimentazione della vasca di dissipazione sono state misurate in corrispondenza di quattro vasche all'interno del traliccio di acciaio inossidabile. Ognuna di queste vasche ospita tre celle di carico sensibili alla flessione prodotte dalla “AEP transducers” modello F1 (Figura C.4).



Figura C.4 – Trasduttore di forza.

L'apparato di misura, contenuto all'interno della cella, è un ponte estensimetrico completo, alimentabile in corrente continua con tensioni fino a 15 V DC. L'uscita del sistema è un segnale in tensione.

Il fondo-scala è di 20 kg per le celle impiegate nelle piastre 2 e 4 (“grandi”), mentre è pari a 10 kg nel caso delle celle che compongono il sistema di misura delle piastre 6 e 7 (“piccole”). L'errore combinato, inferiore allo 0.026 % della lettura, consente misure estremamente accurate. Una caratteristica importante, soprattutto nel caso applicativo in esame, è la freccia massima al carico nominale (deformazione massima a flessione dello strumento, quando questo è sollecitato dal carico nominale) pari a circa 0.4 mm. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella Tabella C.4.

Misuratore di forza “AEP” F1	
Tipo sensore	ponte estensimetrico completo
Alimentazione	1-15 V dc
Uscita	segnale in tensione
Frequenza di risposta	1 kHz
Errore combinato	$\leq \pm 0.026\%$ del valore misurato
Ritorno a zero dopo 30 min.	$\leq \pm 0.025\%$ del valore misurato
Freccia MAX al carico nominale	0.4 mm
Carico nominale	10/20 kg
Temperatura di esercizio	da -10 a 40 °C

Tabella C.4 – Specifiche tecniche trasduttore di forza.

C.5 MISURA DELLA RISPOSTA DINAMICA DELLE PIASTRE

Le celle di carico e le piastre strumentate sono state sottoposte ad analisi dinamica per individuare la risposta in frequenza. Si riporta in Figura C.5 lo spettro (PSD Power Spectral Density) del segnale proveniente da una cella di carico sollecitata con un segnale a rumore bianco. Si noti che la frequenza di taglio è di circa 350 Hz, sufficiente per le applicazioni del presente modello ma molto minore della frequenza di taglio dichiarata dal costruttore.

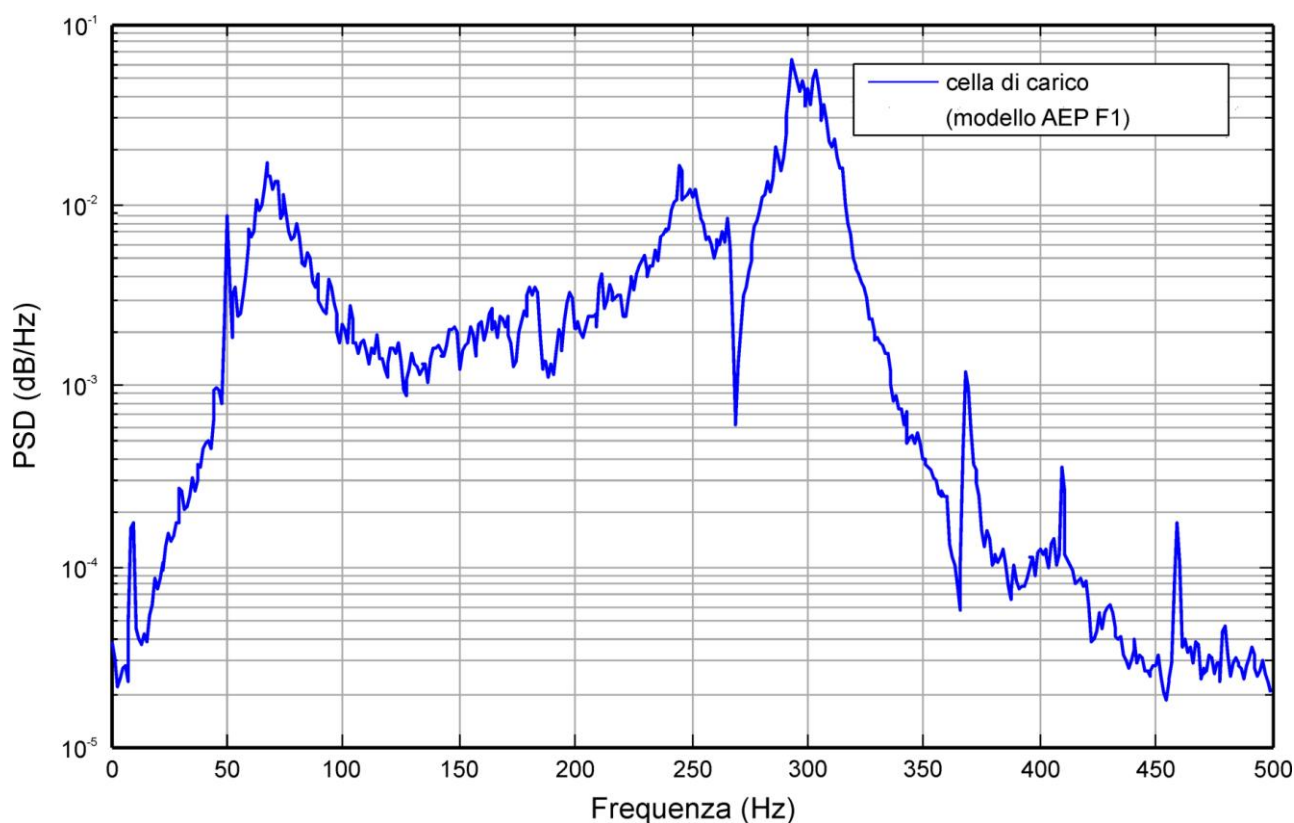


Figura C.5 – Spettro del singolo trasduttore di forza.

È stata, inoltre, misurata la risposta in frequenza dell'intero sistema, formato dalle 3 celle di carico, dal sistema di vincolo alla piastra sollecitata e dalla piastra in Alluminio alveolare, nella configurazione della piastra di misura N.2.

La piastra, nella configurazione e nella posizione finale nel modello fisico, è stata sollecitata con un segnale a rumore bianco attraverso uno shaker elettromagnetico, sia in aria (configurazione asciutta) che con un battente idrico di circa 2 mm (configurazione bagnata).

Si riporta in Figura C.6 lo spettro di risposta per la piastra 2 nelle due configurazioni.

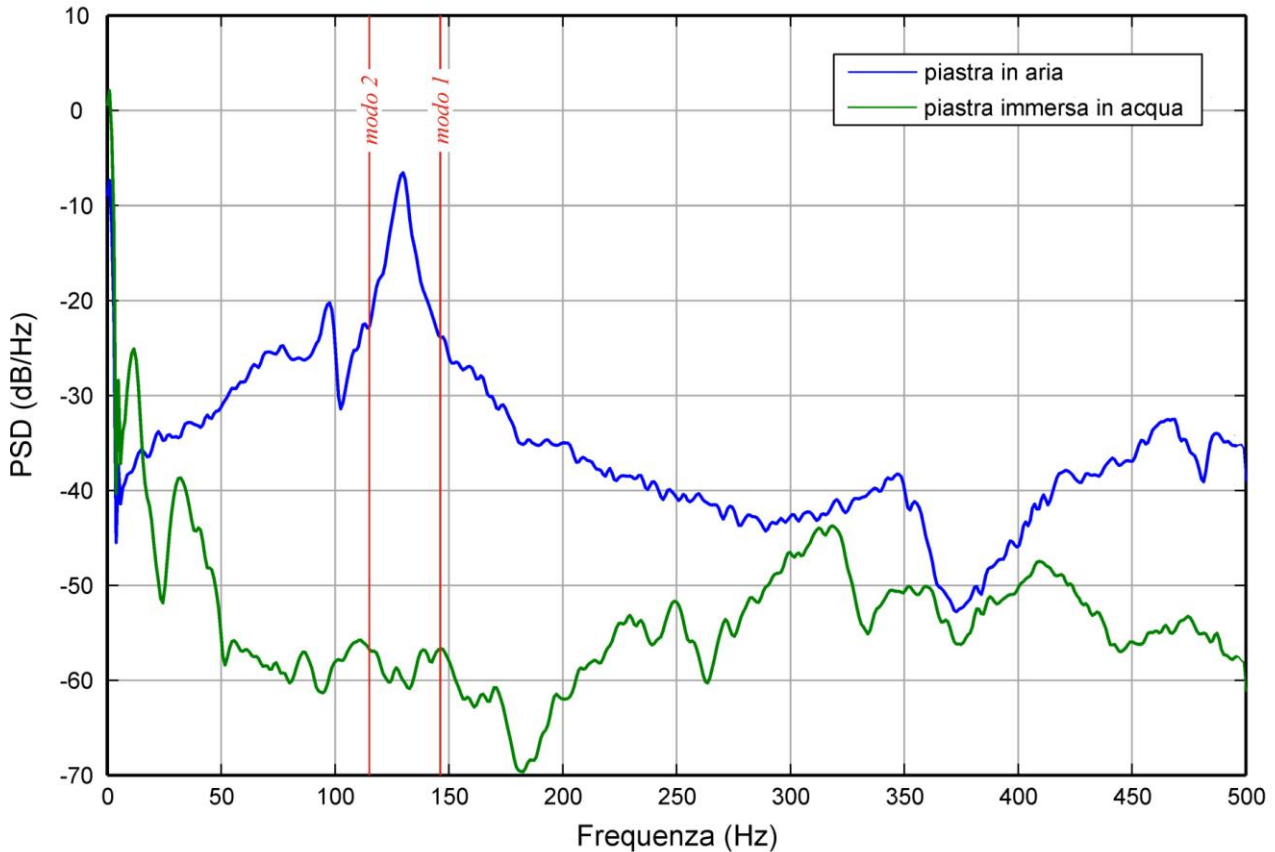


Figura C.6 – Spettro di risposta al rumore bianco della piastra 2.

Lo spettro nella configurazione asciutta presenta un picco intorno ai 95 Hz e un altro in corrispondenza di 130 Hz. Tali picchi sono prossimi a due modi propri del sistema calcolati attraverso un'analisi teorica relativa al sistema equivalente a parametri concentrati (modo 1 e 2 in Figura C.6). Esiste un terzo modo di vibrare che presenta frequenza elevata (1400 Hz), qui non riportato.

L'analisi delle misure eseguite nella configurazione bagnata mostra una sensibile riduzione delle frequenze proprie di risonanza del sistema. Tale cambiamento, dovuto alla massa aggiunta dell'acqua, fa sì che si abbia un picco di densità di potenza spettrale del sistema intorno ai 10 Hz e uno intorno ai 35 Hz.

Appendice D

Scala delle portate sezione terminale della vasca di dissipazione

D.1 SCALA DELLE PORTATE SEZIONE TERMINALE DELLA VASCA DI DISSIPAZIONE

Allo scopo di riprodurre nel modello le condizioni reali di tirante idrico a valle del manufatto, si sono utilizzati i risultati di un modello matematico del torrente Parma precedentemente allestito presso il DICATeA. Tale modello faceva uso delle sezioni dell'asta fluviale rilevate nell'anno 2000 dal Dipartimento stesso, in convenzione con l'Amministrazione Provinciale di Parma.

Mediante una serie di simulazioni in moto permanente è stata ricostruita la scala di deflusso in corrispondenza della sezione terminale della vasca di dissipazione, riportato in Figura D.1. L'andamento della scala delle portate è restituito con riferimento al prototipo.

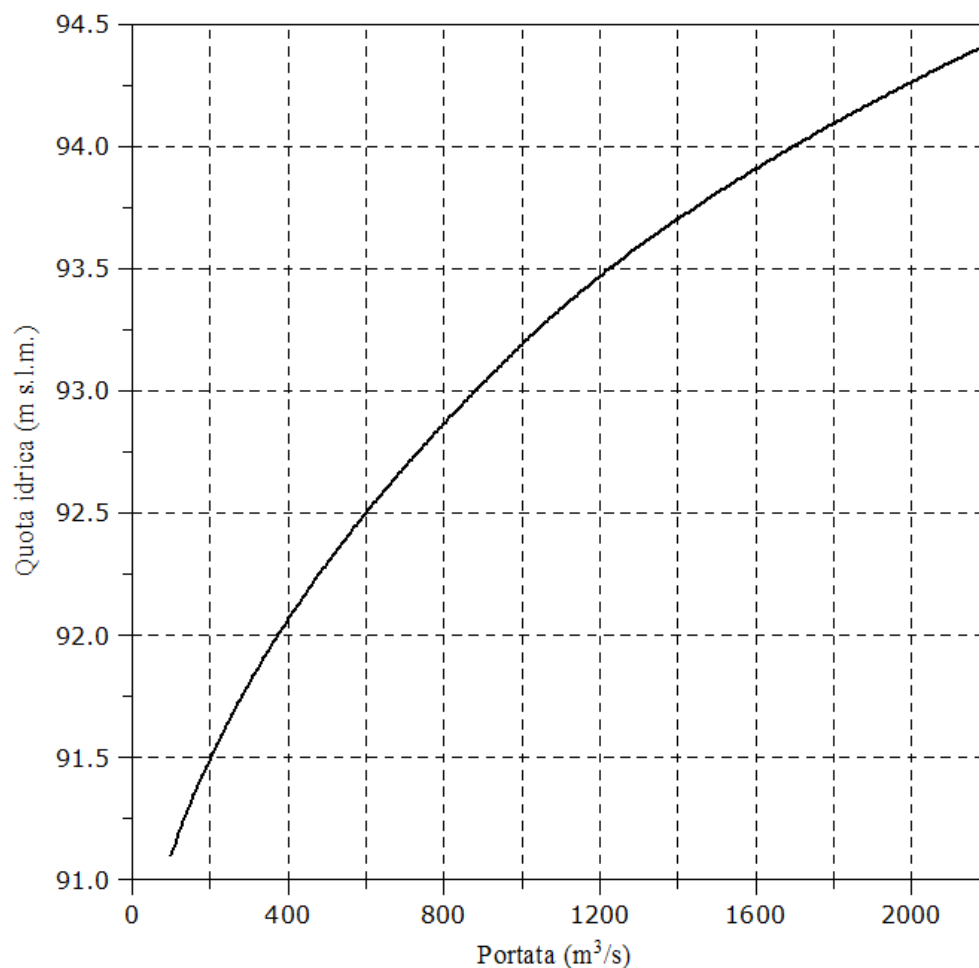


Figura D.1 – Scala delle portate relativa alla sezione terminale della vasca di dissipazione.

Appendice E

Quadro riassuntivo prove su modello

E.1 QUADRO RIASSUNTIVO PROVE SU MODELLO

Si riporta di seguito un quadro riassuntivo delle elaborazioni descritte nel Cap. 3 assieme alle caratteristiche di ogni prova in scala modello.

In particolare, per ciascuna delle piastre strumentate si riporta il valore medio della grandezza misurata insieme al valore massimo e minimo al variare della durata dei sottocampioni considerati. I risultati sono riassunti in forma di tabella e in un grafico per ciascun set di prove. I valori sono in scala modello.

PIASTRA 2

Prova 1	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3		
Deviazione standard [N]	1.92	1.96	2.04	1.78				
Massimo rilevato [N]	13.4	14.1	14.7	15.5	19.6			
Minimo rilevato [N]	-15.8	-16.4	-17.0	-17.9	-18.2			

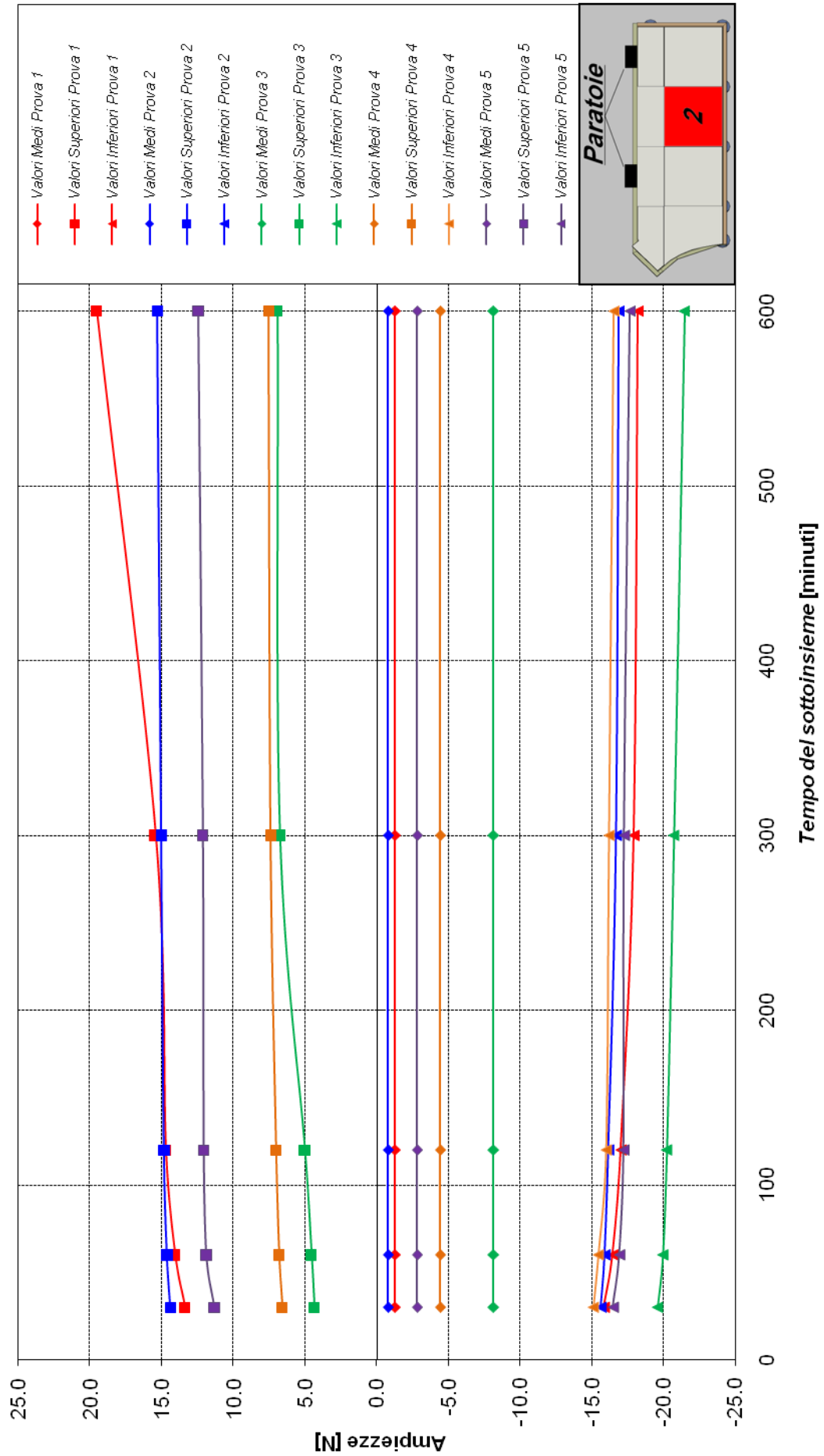
Prova 2	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8		
Deviazione standard [N]	0.20	0.20	0.21	0.10				
Massimo rilevato [N]	14.4	14.7	14.9	15.0	15.3			
Minimo rilevato [N]	-15.6	-15.9	-16.2	-16.7	-16.9			

Prova 3	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1		
Deviazione standard [N]	1.99	2.04	2.16	2.06				
Massimo rilevato [N]	4.4	4.6	5.0	6.8	6.9			
Minimo rilevato [N]	-19.6	-20.0	-20.2	-20.7	-21.5			

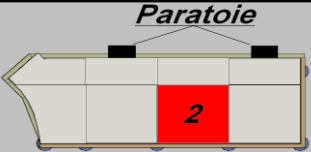
Prova 4	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-4.4	-4.4	-4.4	-4.4	-4.4		
Deviazione standard [N]	0.04	0.03	0.02	0.02				
Massimo rilevato [N]	6.6	6.8	7.0	7.4	7.5			
Minimo rilevato [N]	-15.1	-15.4	-16.0	-16.2	-16.5			

Prova 5	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8	-2.8		
Deviazione standard [N]	0.02	0.02	0.02	0.01				
Massimo rilevato [N]	11.3	11.9	12.1	12.1	12.5			
Minimo rilevato [N]	-16.5	-16.9	-17.2	-17.3	-17.7			

Piastra 2 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo



PIASTRA 2

Prova 6	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	49.4	49.4	49.4	49.4	49.4		
Deviazione standard [N]	0.43	0.36	0.26	0.24				
Massimo rilevato [N]	68.8	69.7	70.2	70.6	71.4			
Minimo rilevato [N]	37.8	37.3	37.0	35.9	35.2			

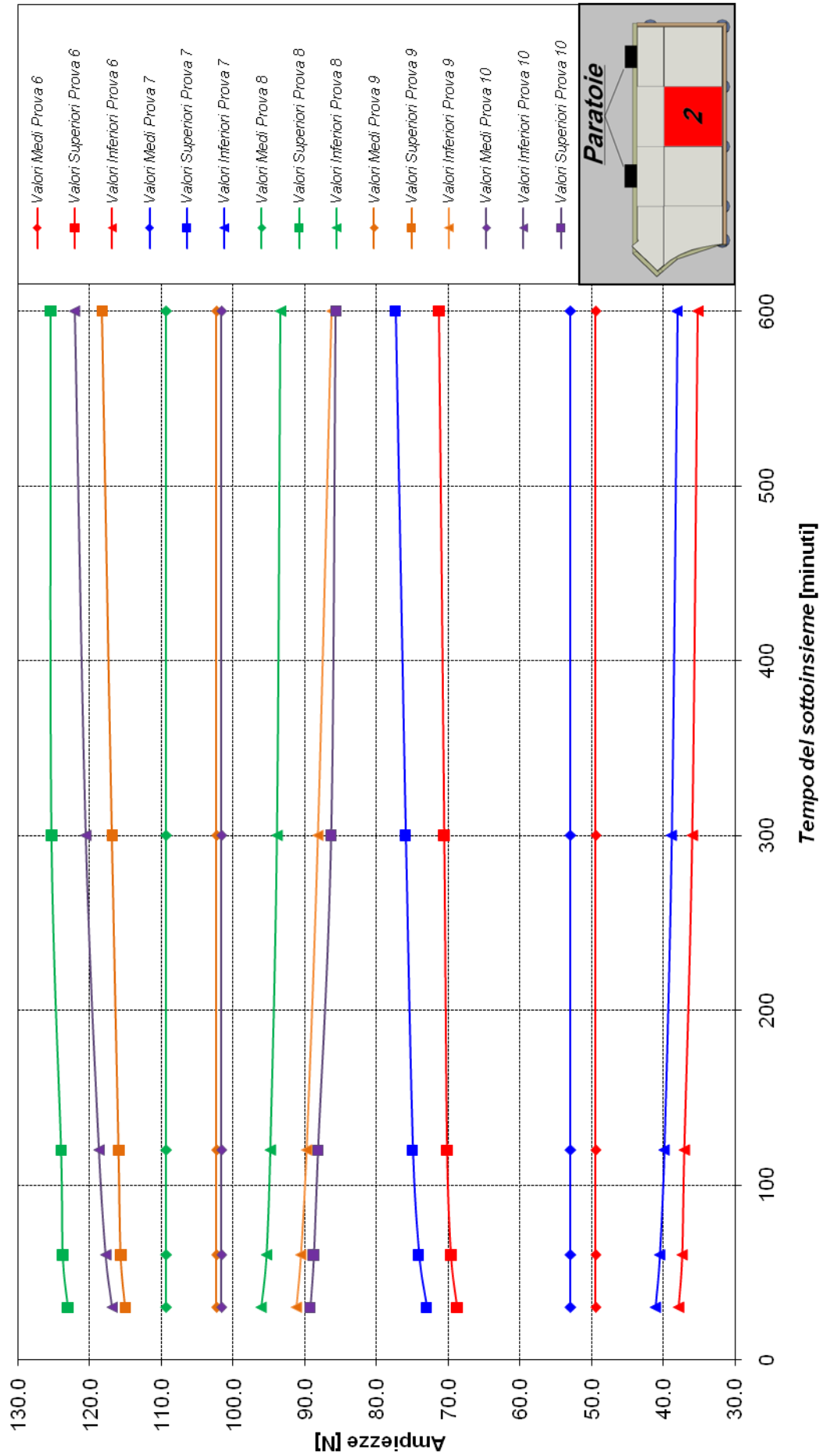
Prova 7	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0		
Deviazione standard [N]	1.26	1.24	1.16	0.98				
Massimo rilevato [N]	73.1	74.1	75.0	76.0	77.4			
Minimo rilevato [N]	41.0	40.5	39.8	38.8	38.0			

Prova 8	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Chiusi						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	109.4	109.4	109.4	109.4	109.4		
Deviazione standard [N]	0.52	0.51	0.52	0.26				
Massimo rilevato [N]	123.1	123.8	124.1	125.4	125.5			
Minimo rilevato [N]	96.1	95.4	94.8	93.9	93.4			

Prova 9	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	102.4	102.4	102.4	102.4	102.4		
Deviazione standard [N]	0.14	0.12	0.08	0.07				
Massimo rilevato [N]	115.1	115.7	116.0	116.9	118.3			
Minimo rilevato [N]	91.2	90.6	89.8	88.2	86.3			

Prova 10	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	101.7	101.7	101.7	101.7	101.7		
Deviazione standard [N]	1.93	1.89	1.91	1.59				
Massimo rilevato [N]	116.9	117.8	118.8	120.6	122.2			
Minimo rilevato [N]	89.3	88.8	88.2	86.3	85.7			


Piastra 2 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo




PIASTRA 2

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	
Deviazione standard [N]	0.83	0.82	0.83	0.81	0.65			
Massimo rilevato [N]	17.2	17.8	18.5	19.3	20.5	21.8		
Minimo rilevato [N]	-18.0	-18.4	-18.8	-19.6	-20.0	-20.2		

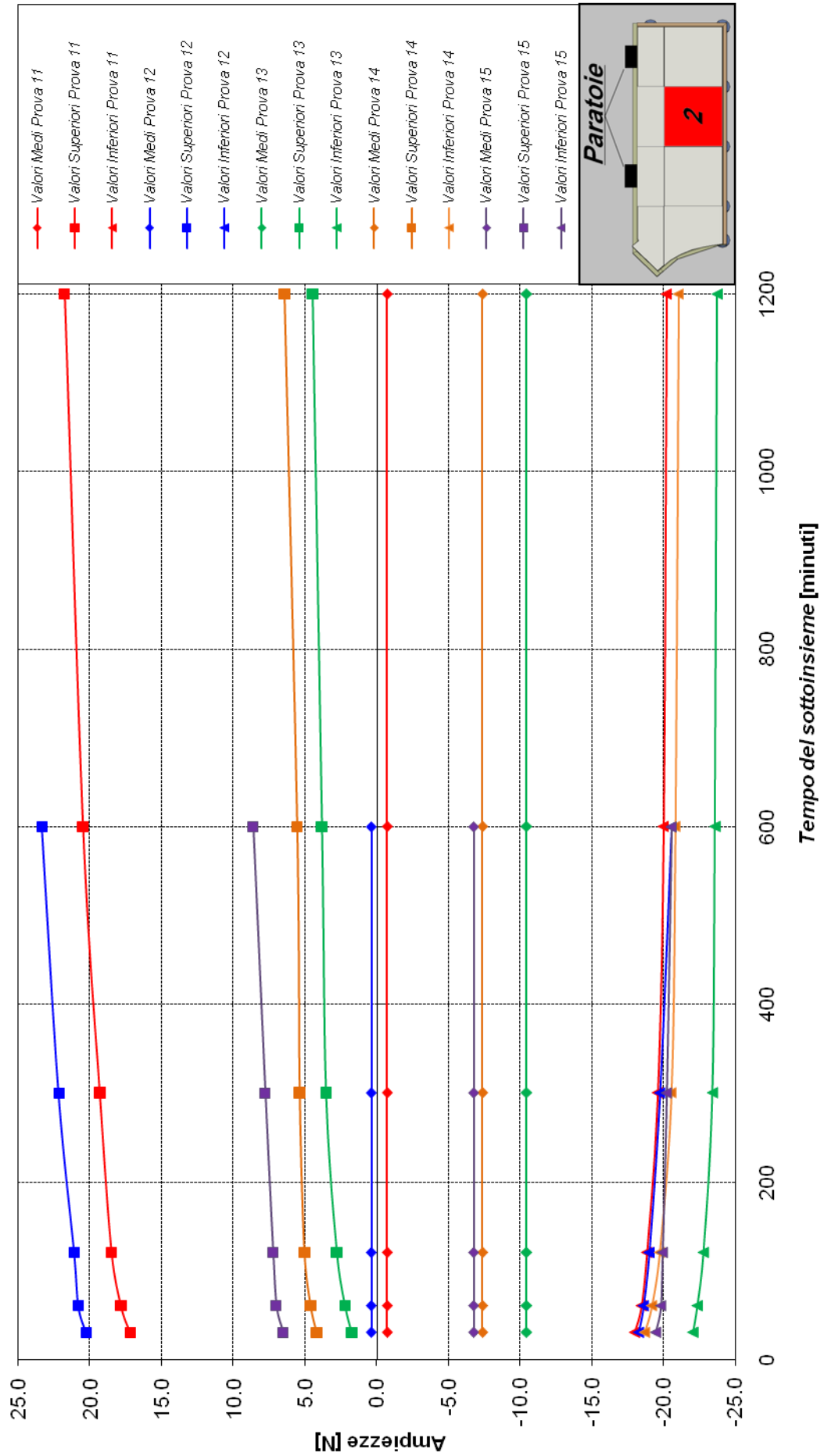
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
Deviazione standard [N]	0.68	0.68	0.72	0.79				
Massimo rilevato [N]	20.3	20.8	21.1	22.2	23.4			
Minimo rilevato [N]	-18.3	-18.6	-19.0	-19.7	-20.6			

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-10.4	-10.4	-10.4	-10.4	-10.4	-10.4	
Deviazione standard [N]	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09			
Massimo rilevato [N]	1.7	2.2	2.8	3.5	3.8	4.5		
Minimo rilevato [N]	-22.0	-22.3	-22.8	-23.4	-23.6	-23.7		

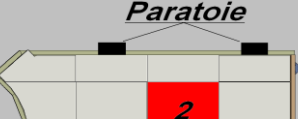
Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-7.4	-7.4	-7.4	-7.4	-7.4	-7.4	
Deviazione standard [N]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05			
Massimo rilevato [N]	4.2	4.6	5.1	5.4	5.6	6.4		
Minimo rilevato [N]	-18.7	-19.2	-19.7	-20.5	-20.8	-21.0		

Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-6.8	-6.8	-6.8	-6.8	-6.8		
Deviazione standard [N]	0.07	0.07	0.07	0.07				
Massimo rilevato [N]	6.5	7.0	7.2	7.8	8.6			
Minimo rilevato [N]	-19.5	-19.8	-19.9	-20.2	-20.6			

Piastra 2 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo

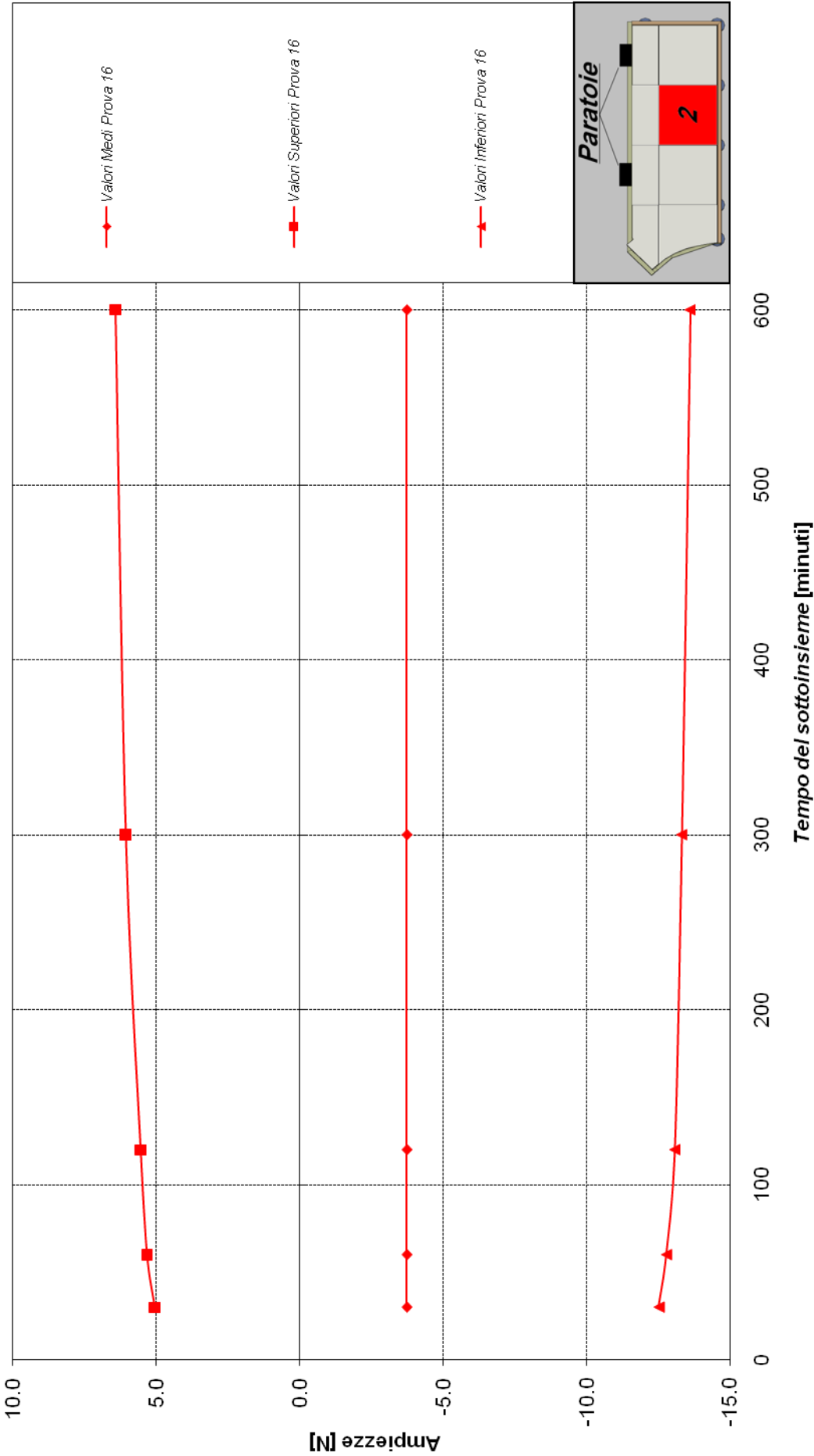


PIASTRA 2

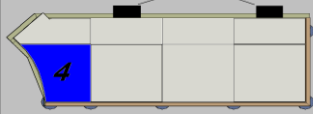
Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		58.94					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.18					
	Livello di valle [m s.l.m.]		93.27					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-3.7	-3.7	-3.7	-3.7	-3.7	
Deviazione standard [N]		0.14	0.14	0.14	0.10			
Massimo rilevato [N]		5.1	5.3	5.6	6.1	6.4		
Minimo rilevato [N]		-12.5	-12.8	-13.1	-13.3	-13.6		

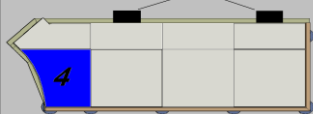
Piastra 2 – Giunti aperti – Piastre dislocate


Piastra 2 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo





PIASTRA 4

Prova 1	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2		
Deviazione standard [N]	0.05	0.05	0.05	0.04				
Massimo rilevato [N]	11.5	12.3	12.5	12.9	13.7			
Minimo rilevato [N]	-12.0	-12.5	-13.0	-13.9	-14.5			

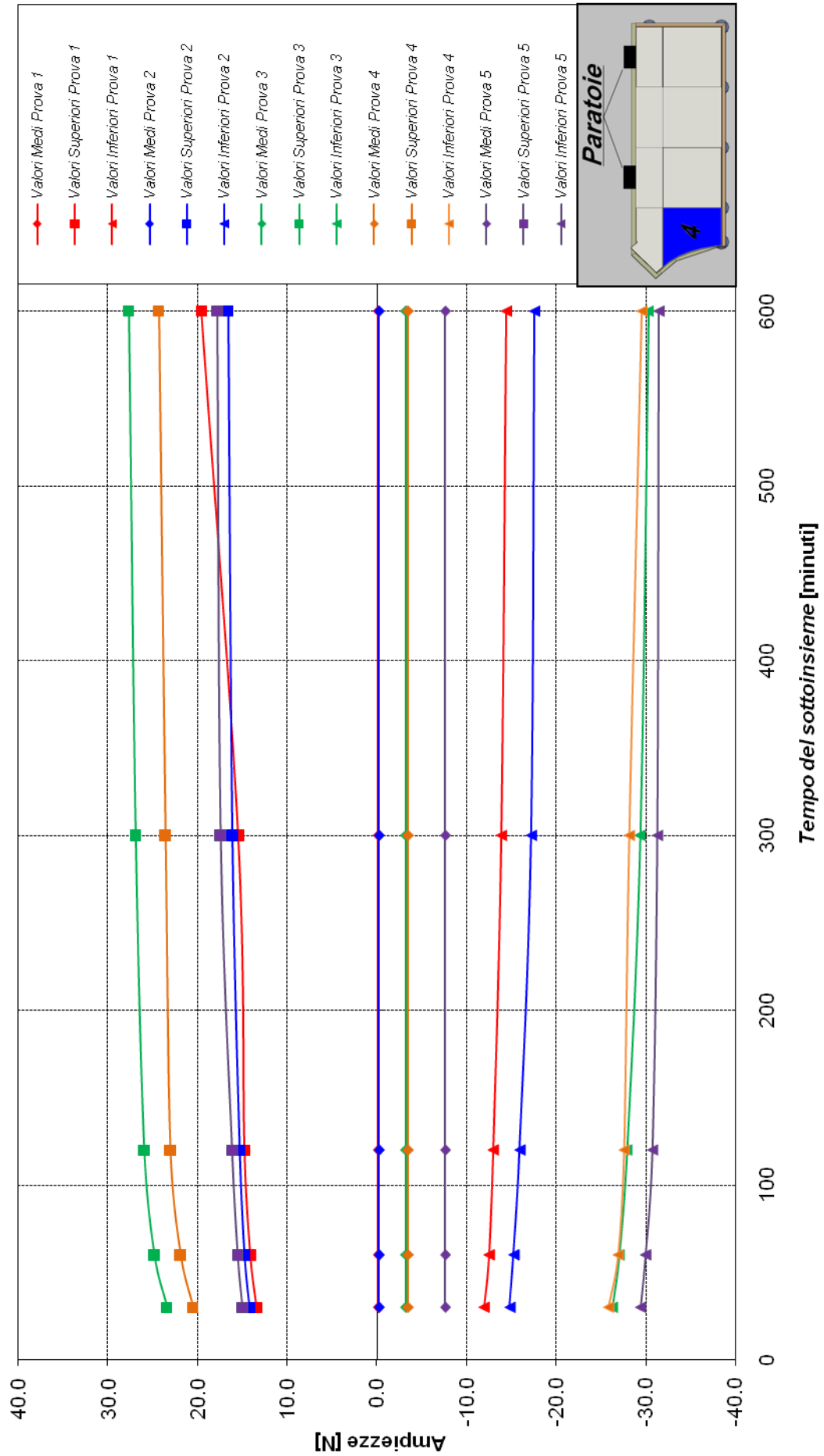
Prova 2	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3		
Deviazione standard [N]	0.07	0.07	0.07	0.06				
Massimo rilevato [N]	14.2	14.7	15.3	16.1	16.6			
Minimo rilevato [N]	-14.8	-15.3	-15.9	-17.2	-17.6			

Prova 3	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2	-3.2		
Deviazione standard [N]	0.11	0.10	0.09	0.08				
Massimo rilevato [N]	23.5	24.9	26.0	26.9	27.7			
Minimo rilevato [N]	-26.3	-27.1	-27.9	-29.4	-30.3			

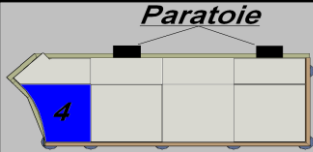
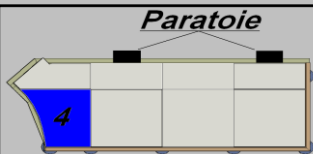
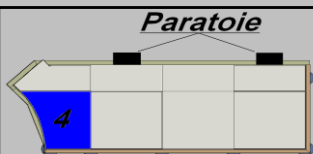
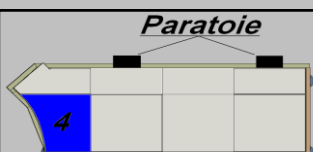
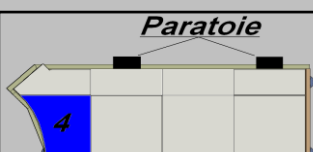
Prova 4	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5	-3.5		
Deviazione standard [N]	0.06	0.03	0.02	0.01				
Massimo rilevato [N]	20.5	21.9	23.0	23.6	24.3			
Minimo rilevato [N]	-25.9	-27.0	-27.6	-28.2	-29.6			

Prova 5	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-7.7	-7.7	-7.7	-7.7	-7.7		
Deviazione standard [N]	0.08	0.06	0.04	0.05				
Massimo rilevato [N]	15.0	15.6	16.2	17.5	17.9			
Minimo rilevato [N]	-29.4	-30.0	-30.8	-31.3	-31.5			

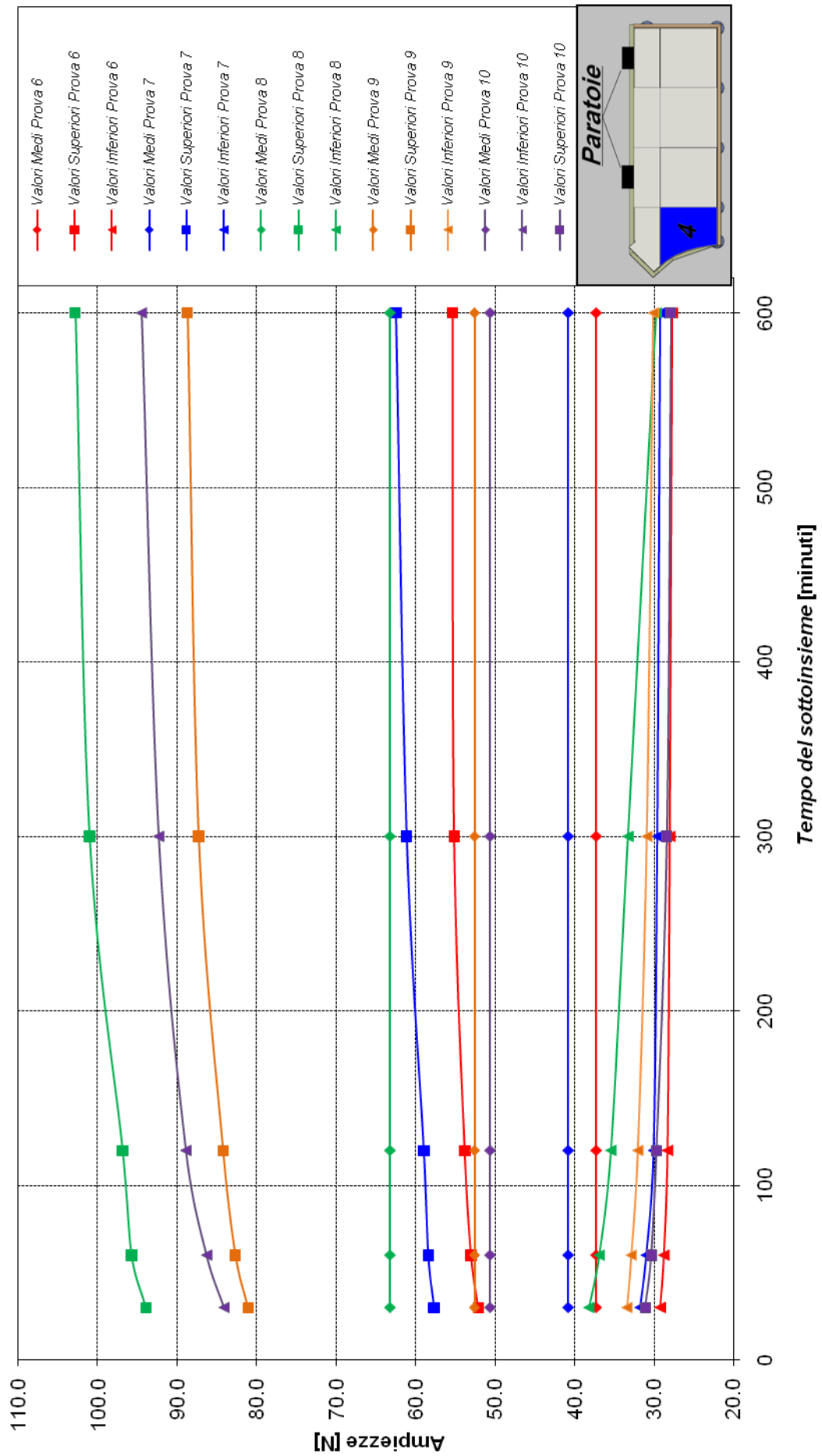
Piastra 4 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo



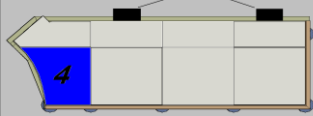
PIASTRA 4

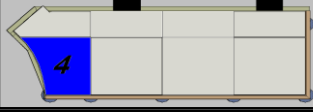
Prova 6	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3		
Deviazione standard [N]	0.40	0.35	0.36	0.27				
Massimo rilevato [N]	52.1	53.0	53.8	55.1	55.3			
Minimo rilevato [N]	29.2	28.8	28.3	28.0	27.7			
Prova 7	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8		
Deviazione standard [N]	1.01	0.99	0.91	0.75				
Massimo rilevato [N]	57.7	58.4	59.0	61.2	62.5			
Minimo rilevato [N]	31.8	31.0	30.1	29.6	29.2			
Prova 8	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2		
Deviazione standard [N]	0.98	0.98	1.02	0.62				
Massimo rilevato [N]	94.0	95.8	96.9	101.1	102.8			
Minimo rilevato [N]	38.2	36.9	35.4	33.3	29.7			
Prova 9	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6		
Deviazione standard [N]	0.13	0.13	0.12	0.07				
Massimo rilevato [N]	81.1	82.7	84.3	87.4	88.8			
Minimo rilevato [N]	33.4	32.9	32.0	30.9	30.1			
Prova 10	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7		
Deviazione standard [N]	0.12	0.11	0.11	0.11				
Massimo rilevato [N]	84.1	86.3	88.9	92.4	94.5			
Minimo rilevato [N]	31.0	30.3	29.7	28.4	27.9			


Piastra 4 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo





PIASTRA 4

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		22.63					
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.15					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]		20.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
	Deviazione standard [N]		0.05	0.05	0.03	0.01	0.01	
	Massimo rilevato [N]		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8
	Minimo rilevato [N]		-10.5	-11.1	-11.4	-12.0	-12.3	-12.6

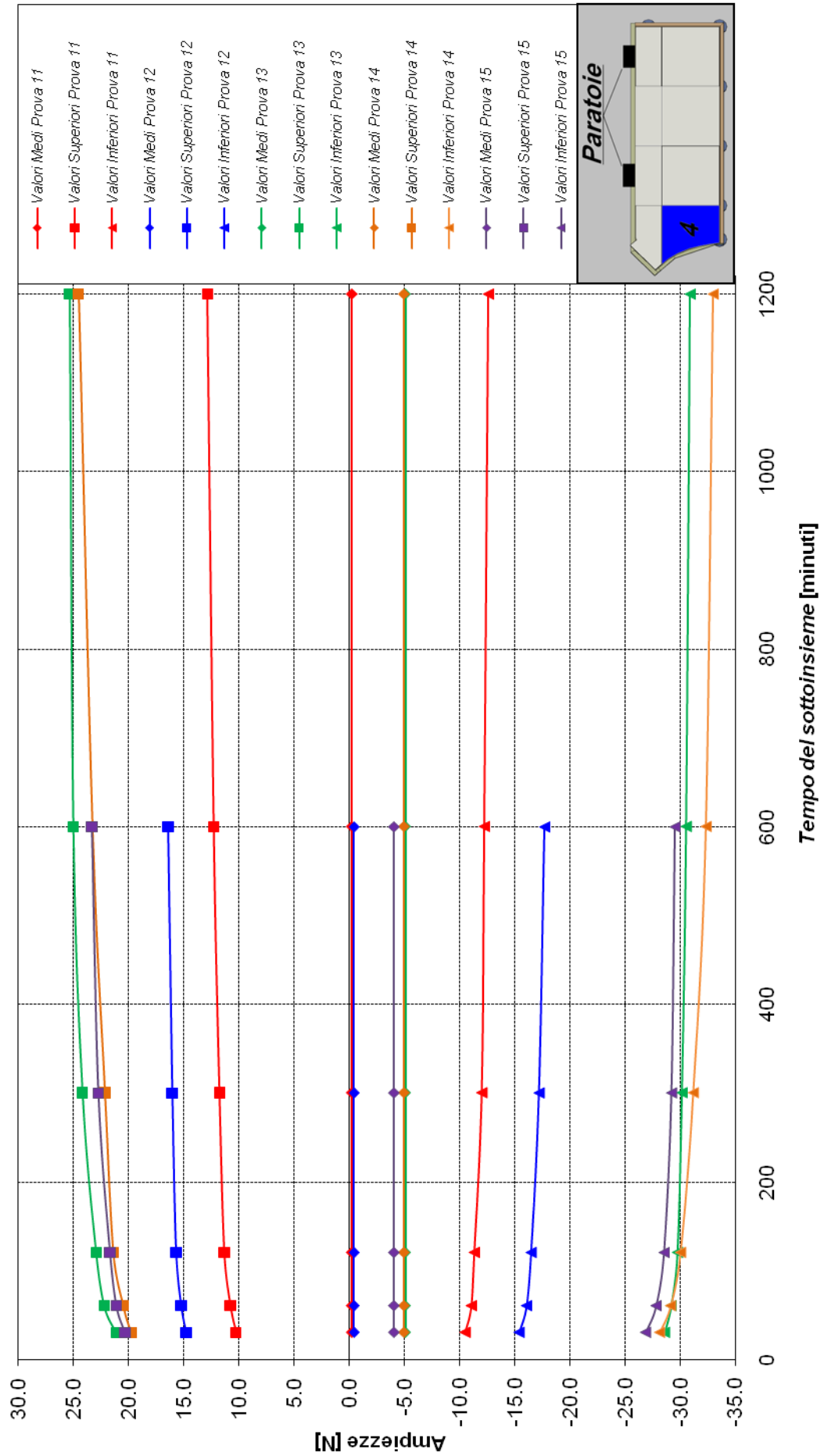
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		32.81					
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.35					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	
	Deviazione standard [N]		0.02	0.02	0.02	0.02		
	Massimo rilevato [N]		14.8	15.3	15.7	16.1	16.5	
	Minimo rilevato [N]		-15.4	-16.1	-16.5	-17.2	-17.7	

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.97					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		20.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-5.1	-5.1	-5.1	-5.1	-5.1	-5.1
	Deviazione standard [N]		0.11	0.09	0.09	0.08	0.09	
	Massimo rilevato [N]		21.1	22.2	23.0	24.2	25.0	25.4
	Minimo rilevato [N]		-28.6	-29.2	-29.8	-30.2	-30.5	-30.9

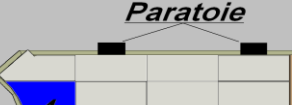
Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.59					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]		20.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-4.9	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9
	Deviazione standard [N]		0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	
	Massimo rilevato [N]		19.8	20.5	21.4	22.2	23.3	24.6
	Minimo rilevato [N]		-28.1	-29.1	-30.0	-31.2	-32.3	-33.0

Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.48					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	
	Deviazione standard [N]		0.11	0.10	0.09	0.09		
	Massimo rilevato [N]		20.4	21.1	21.7	22.8	23.4	
	Minimo rilevato [N]		-26.9	-27.8	-28.5	-29.2	-29.6	

Piastra 4 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo

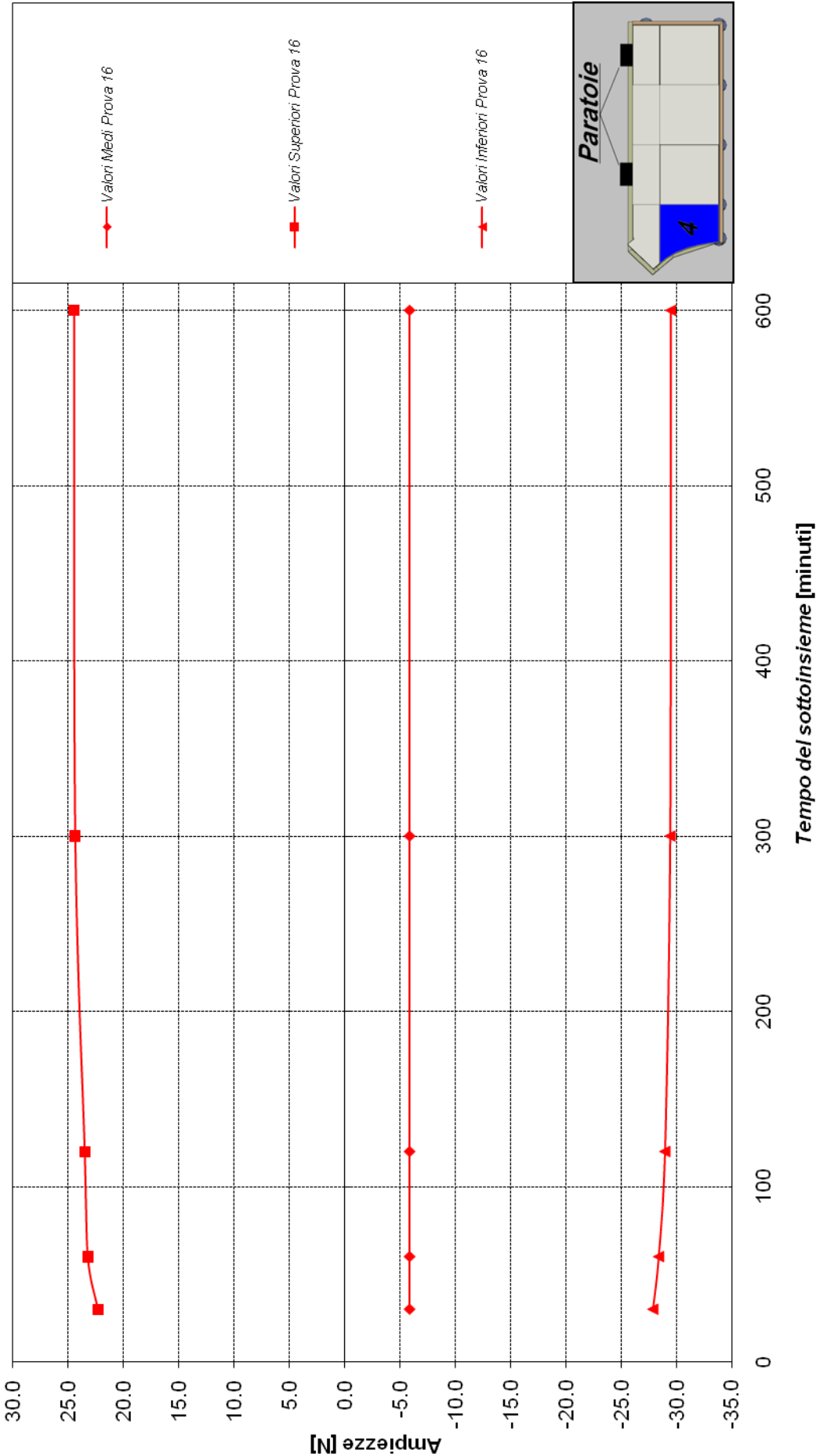


PIASTRA 4

Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		58.94					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.18					
	Livello di valle [m s.l.m.]		93.27					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-5.9	-5.9	-5.9	-5.9	-5.9	
Deviazione standard [N]		0.42	0.42	0.40	0.22			
Massimo rilevato [N]		22.3	23.2	23.5	24.4	24.5		
Minimo rilevato [N]		-27.9	-28.4	-29.0	-29.4	-29.5		

Piastra 4 – Giunti aperti – Piastre dislocate

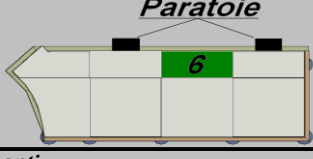
Piastra 4 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo

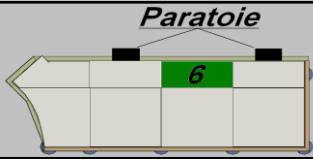


PIASTRA 6

Prova 1	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0		
	Deviazione standard [N]	0.03	0.03	0.03	0.03			
	Massimo rilevato [N]	2.1	2.2	2.4	2.6	2.6		
	Minimo rilevato [N]	-6.1	-6.3	-6.4	-6.6	-6.8		

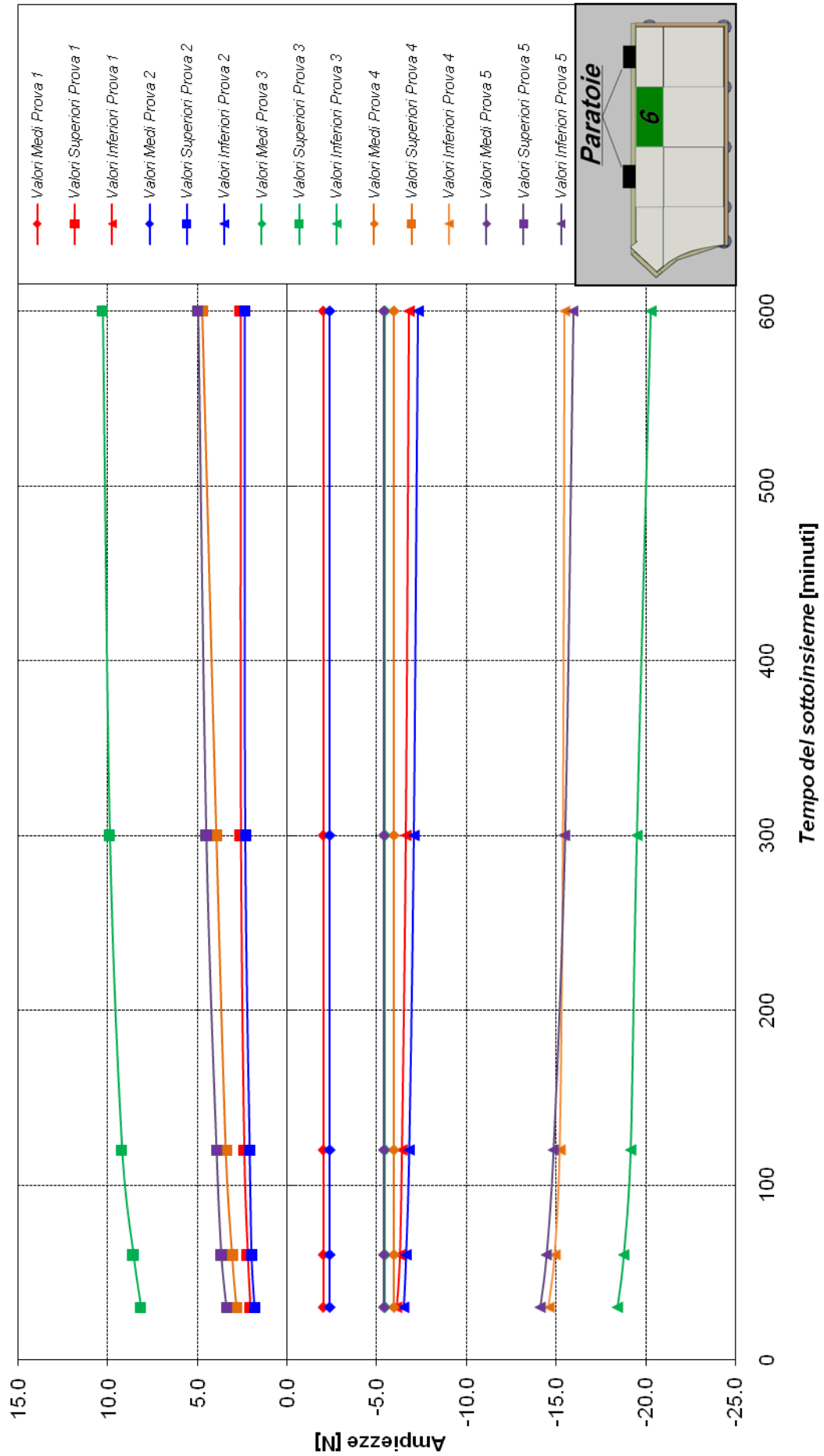
Prova 2	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4		
	Deviazione standard [N]	0.13	0.14	0.14	0.08			
	Massimo rilevato [N]	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4		
	Minimo rilevato [N]	-6.5	-6.6	-6.8	-7.1	-7.3		

Prova 3	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5		
	Deviazione standard [N]	0.07	0.07	0.07	0.07			
	Massimo rilevato [N]	8.2	8.6	9.2	9.9	10.3		
	Minimo rilevato [N]	-18.4	-18.8	-19.2	-19.5	-20.3		

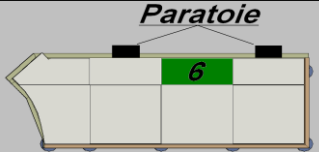
Prova 4	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-5.9	-5.9	-5.9	-5.9	-5.9		
	Deviazione standard [N]	0.01	0.01	0.01	0.01			
	Massimo rilevato [N]	2.8	3.1	3.4	3.9	4.7		
	Minimo rilevato [N]	-14.6	-14.9	-15.2	-15.4	-15.5		


Prova 5	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-5.4	-5.4	-5.4	-5.4	-5.4		
	Deviazione standard [N]	0.02	0.02	0.02	0.02			
	Massimo rilevato [N]	3.4	3.7	3.9	4.5	5.0		
	Minimo rilevato [N]	-14.1	-14.5	-14.9	-15.5	-16.0		

Piastra 6 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo



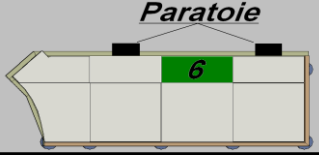
PIASTRA 6

Prova 6	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8		
Deviazione standard [N]	0.10	0.09	0.09	0.02				
Massimo rilevato [N]	25.0	25.1	25.3	25.7	25.7			
Minimo rilevato [N]	17.5	17.4	17.2	17.1	17.0			

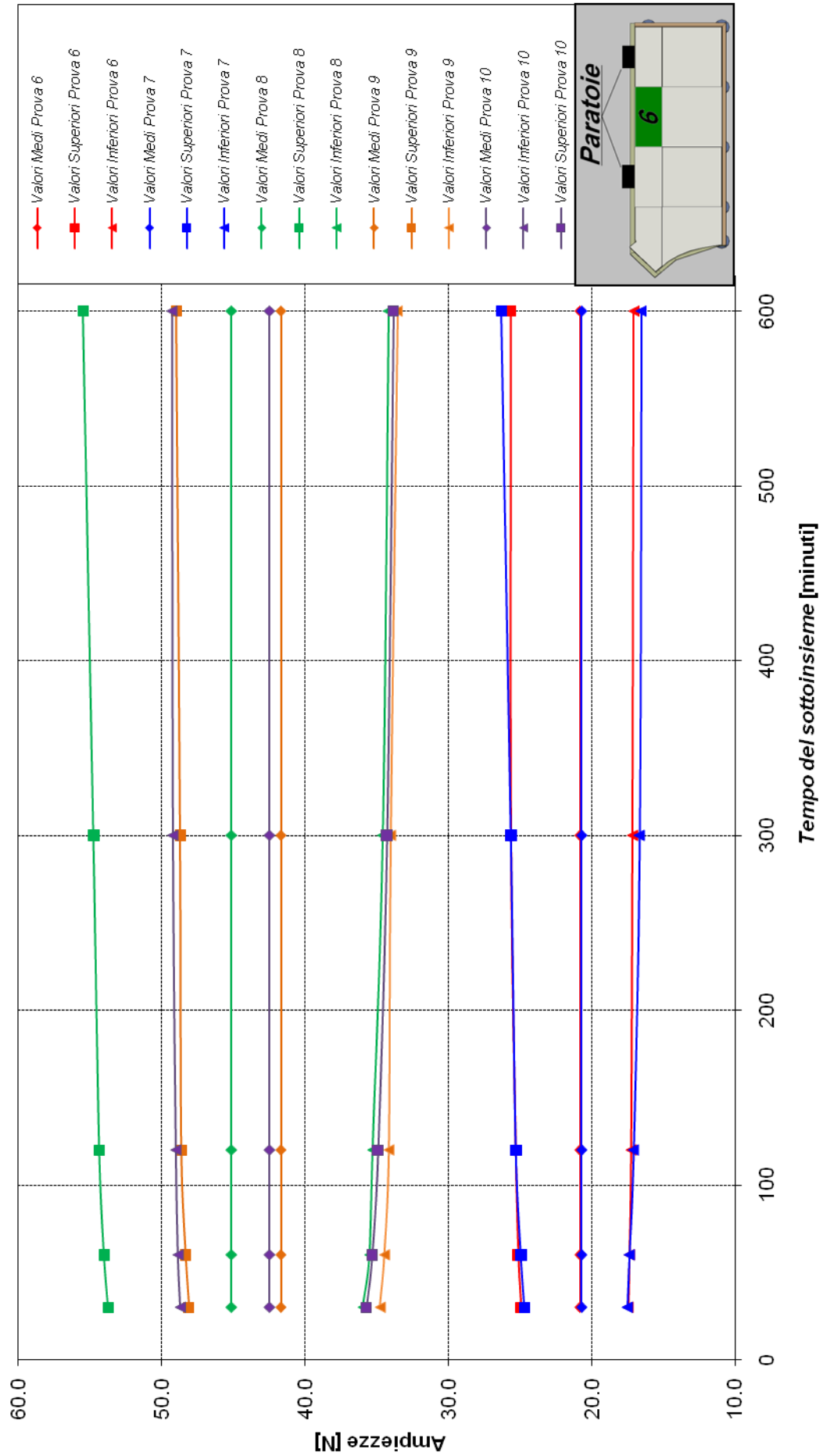
Prova 7	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7		
Deviazione standard [N]	0.49	0.49	0.47	0.39				
Massimo rilevato [N]	24.7	24.9	25.3	25.6	26.3			
Minimo rilevato [N]	17.5	17.4	17.1	16.7	16.5			

Prova 8	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	45.2	45.2	45.2	45.2	45.2		
Deviazione standard [N]	0.57	0.57	0.59	0.32				
Massimo rilevato [N]	53.8	54.0	54.4	54.8	55.5			
Minimo rilevato [N]	36.0	35.5	35.3	34.6	34.2			

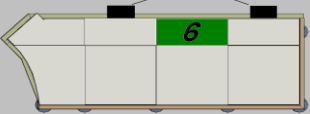
Prova 9	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7		
Deviazione standard [N]	0.11	0.11	0.09	0.07				
Massimo rilevato [N]	48.1	48.4	48.6	48.7	49.0			
Minimo rilevato [N]	34.8	34.5	34.2	34.0	33.6			

Prova 10	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5		
Deviazione standard [N]	0.08	0.06	0.05	0.04				
Massimo rilevato [N]	48.7	48.9	49.0	49.2	49.3			
Minimo rilevato [N]	35.7	35.3	34.9	34.3	33.8			


Piastra 6 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo




PIASTRA 6

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	
Deviazione standard [N]	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01			
Massimo rilevato [N]	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7		
Minimo rilevato [N]	-5.7	-5.9	-6.0	-6.3	-6.4	-6.4		

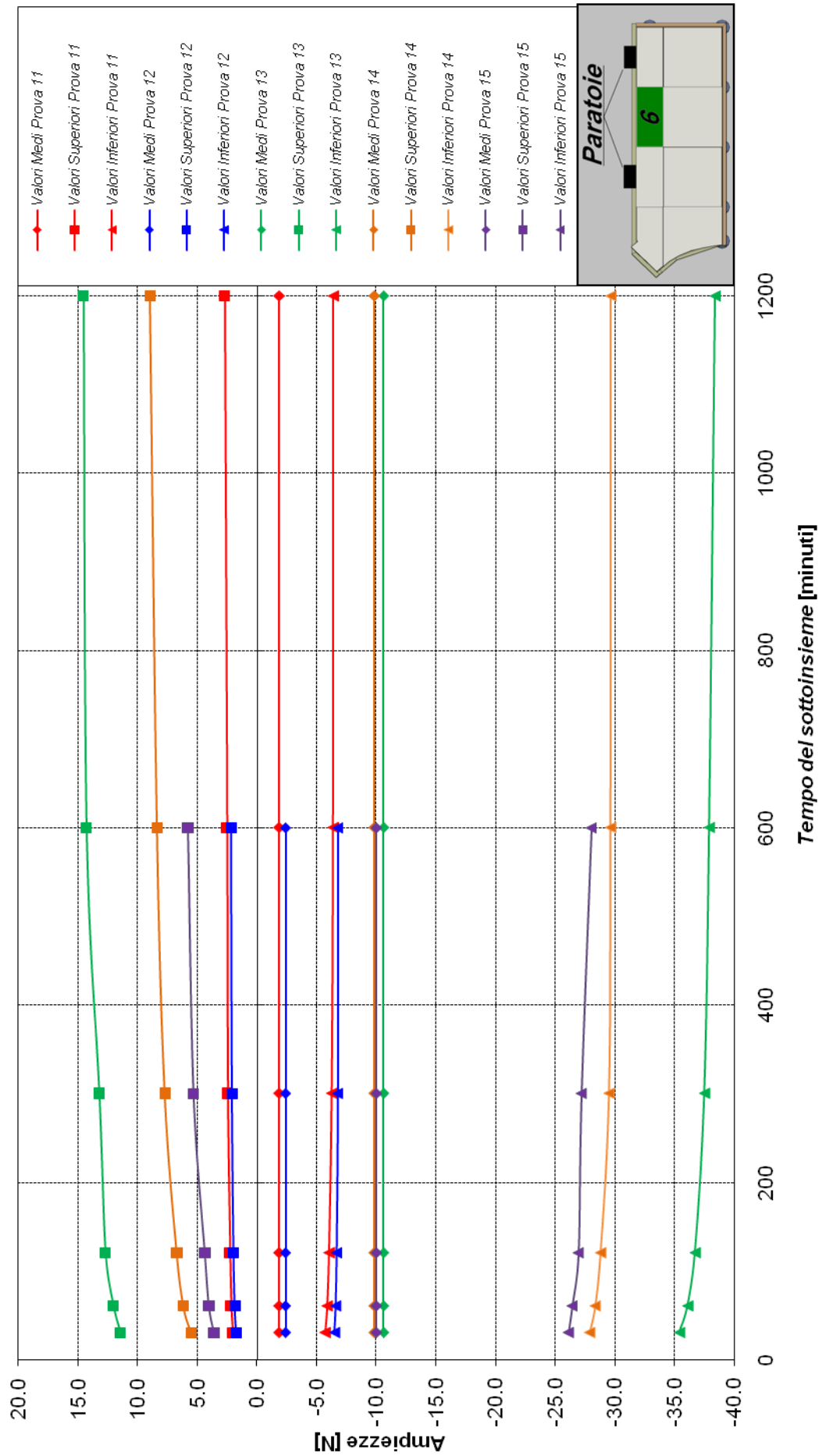
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4	-2.4		
Deviazione standard [N]	0.03	0.03	0.03	0.03				
Massimo rilevato [N]	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2			
Minimo rilevato [N]	-6.5	-6.6	-6.7	-6.7	-6.8			

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	
Deviazione standard [N]	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01			
Massimo rilevato [N]	11.5	12.0	12.7	13.2	14.3	14.6		
Minimo rilevato [N]	-35.4	-36.1	-36.7	-37.5	-37.9	-38.4		

Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	-9.8	
Deviazione standard [N]	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01			
Massimo rilevato [N]	5.5	6.2	6.7	7.7	8.4	9.0		
Minimo rilevato [N]	-27.9	-28.4	-28.8	-29.5	-29.6	-29.7		

Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0		
Deviazione standard [N]	0.03	0.03	0.03	0.02				
Massimo rilevato [N]	3.6	4.0	4.4	5.3	5.8			
Minimo rilevato [N]	-26.1	-26.4	-26.9	-27.2	-28.0			

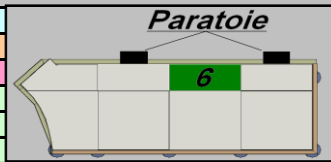
Piastra 6 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo



PIASTRA 6

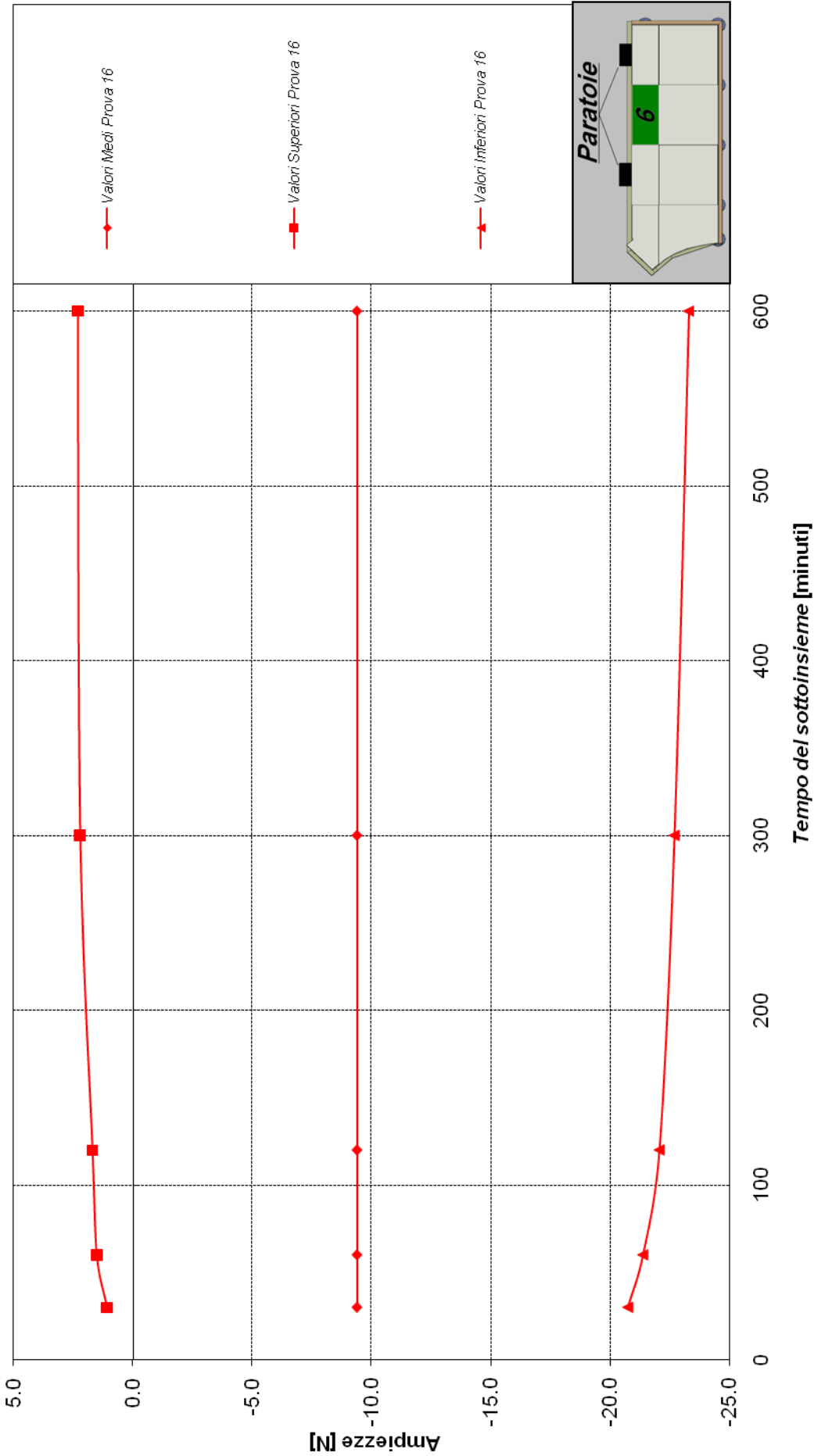
Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		58.94					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.18					
	Livello di valle [m s.l.m.]		93.27					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-9.4	-9.4	-9.4	-9.4	-9.4	
Deviazione standard [N]		0.10	0.10	0.09	0.01			
Massimo rilevato [N]		1.1	1.5	1.7	2.2	2.3		
Minimo rilevato [N]		-20.7	-21.4	-22.1	-22.7	-23.3		

Paratoie





Piastra 6 – Giunti aperti – Piastre dislocate


Piastra 6 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo





PIASTRA 7

Prova 1	Caratteristiche della prova							<div>Paratoie</div> 	
	Portata [l/s]		22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.15						
	Giunti		Aperti						
	Paratoie		Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]		10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti								
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600		1200
	Media sottoinsieme [N]		-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6		
Deviazione standard [N]		0.07	0.06	0.06	0.04				
Massimo rilevato [N]		12.4	12.7	13.0	13.6	14.4			
Minimo rilevato [N]		-14.9	-15.3	-15.4	-16.1	-16.9			

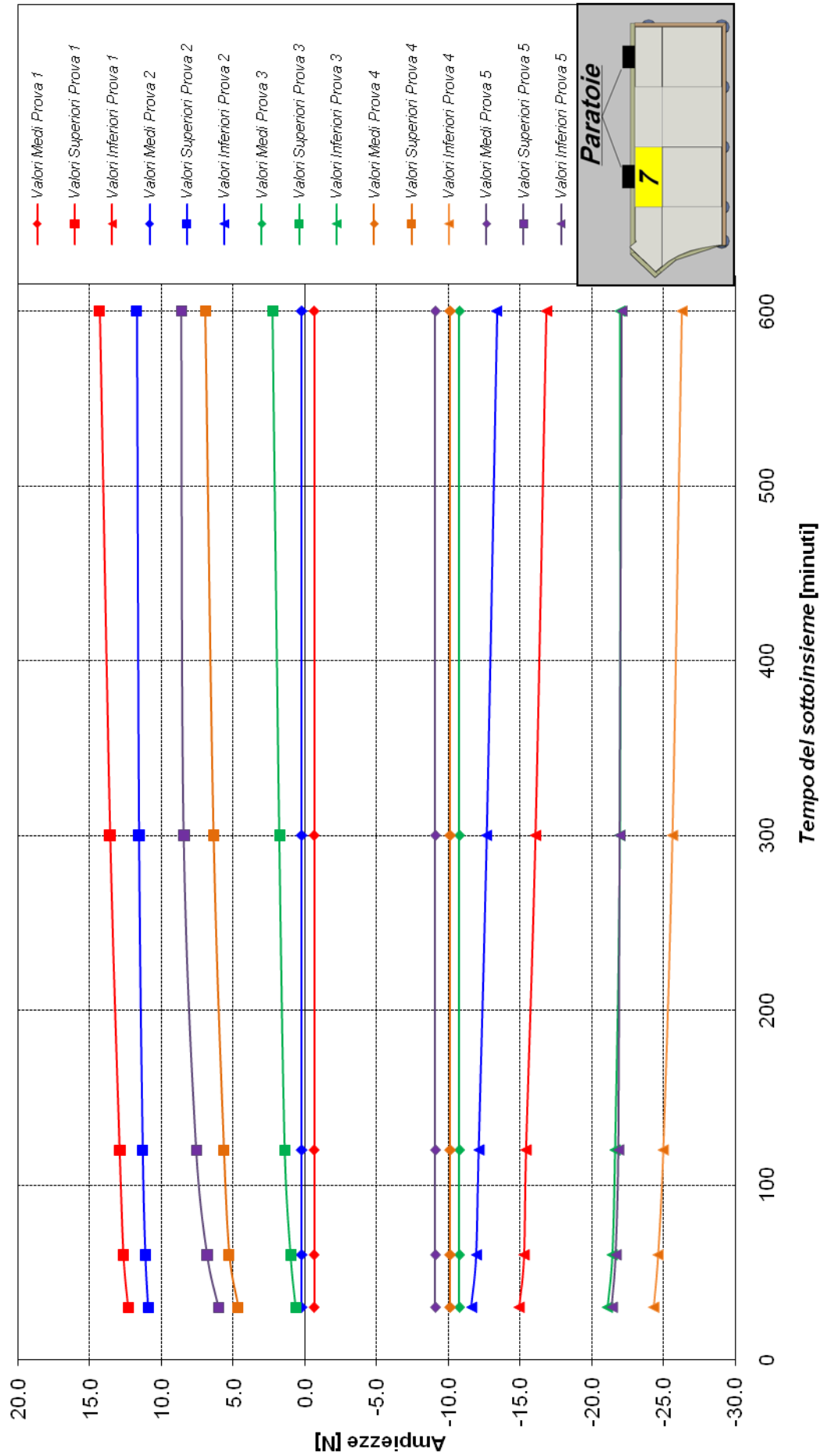
Prova 2	Caratteristiche della prova							<div>Paratoie</div> 	
	Portata [l/s]		32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.35						
	Giunti		Aperti						
	Paratoie		Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]		10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti								
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600		1200
	Media sottoinsieme [N]		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
Deviazione standard [N]		0.08	0.08	0.09	0.05				
Massimo rilevato [N]		10.9	11.1	11.3	11.6	11.7			
Minimo rilevato [N]		-11.6	-11.9	-12.1	-12.7	-13.4			

Prova 3	Caratteristiche della prova							<div>Paratoie</div> 	
	Portata [l/s]		108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20						
	Giunti		Aperti						
	Paratoie		Chiuse						
	Durata della prova [ore]		10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti								
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600		1200
	Media sottoinsieme [N]		-10.8	-10.8	-10.8	-10.8	-10.8		
Deviazione standard [N]		0.24	0.24	0.25	0.26				
Massimo rilevato [N]		0.7	1.0	1.4	1.8	2.3			
Minimo rilevato [N]		-21.1	-21.4	-21.6	-22.0	-22.0			


Prova 4	Caratteristiche della prova							<div>Paratoie</div> 	
	Portata [l/s]		108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20						
	Giunti		Aperti						
	Paratoie		Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]		10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti								
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600		1200
	Media sottoinsieme [N]		-10.1	-10.1	-10.1	-10.1	-10.1		
Deviazione standard [N]		0.05	0.05	0.05	0.05				
Massimo rilevato [N]		4.7	5.3	5.7	6.4	6.9			
Minimo rilevato [N]		-24.3	-24.6	-25.0	-25.6	-26.3			


Prova 5	Caratteristiche della prova							<div>Paratoie</div> 	
	Portata [l/s]		108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20						
	Giunti		Aperti						
	Paratoie		Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]		10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti								
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600		1200
	Media sottoinsieme [N]		-9.1	-9.1	-9.1	-9.1	-9.1		
Deviazione standard [N]		0.03	0.03	0.03	0.03				
Massimo rilevato [N]		6.1	6.8	7.6	8.5	8.6			
Minimo rilevato [N]		-21.4	-21.7	-21.9	-22.0	-22.1			


Piastra 7 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo





PIASTRA 7

Prova 6	Caratteristiche della prova							 Paratoie
	Portata [l/s]		22.63					
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.15					
	Giunti		Chiusi					
	Paratoie		Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	
Deviazione standard [N]		0.22	0.21	0.20	0.12			
Massimo rilevato [N]		27.6	28.0	28.6	29.0	29.0		
Minimo rilevato [N]		15.3	15.1	14.8	14.5	14.2		

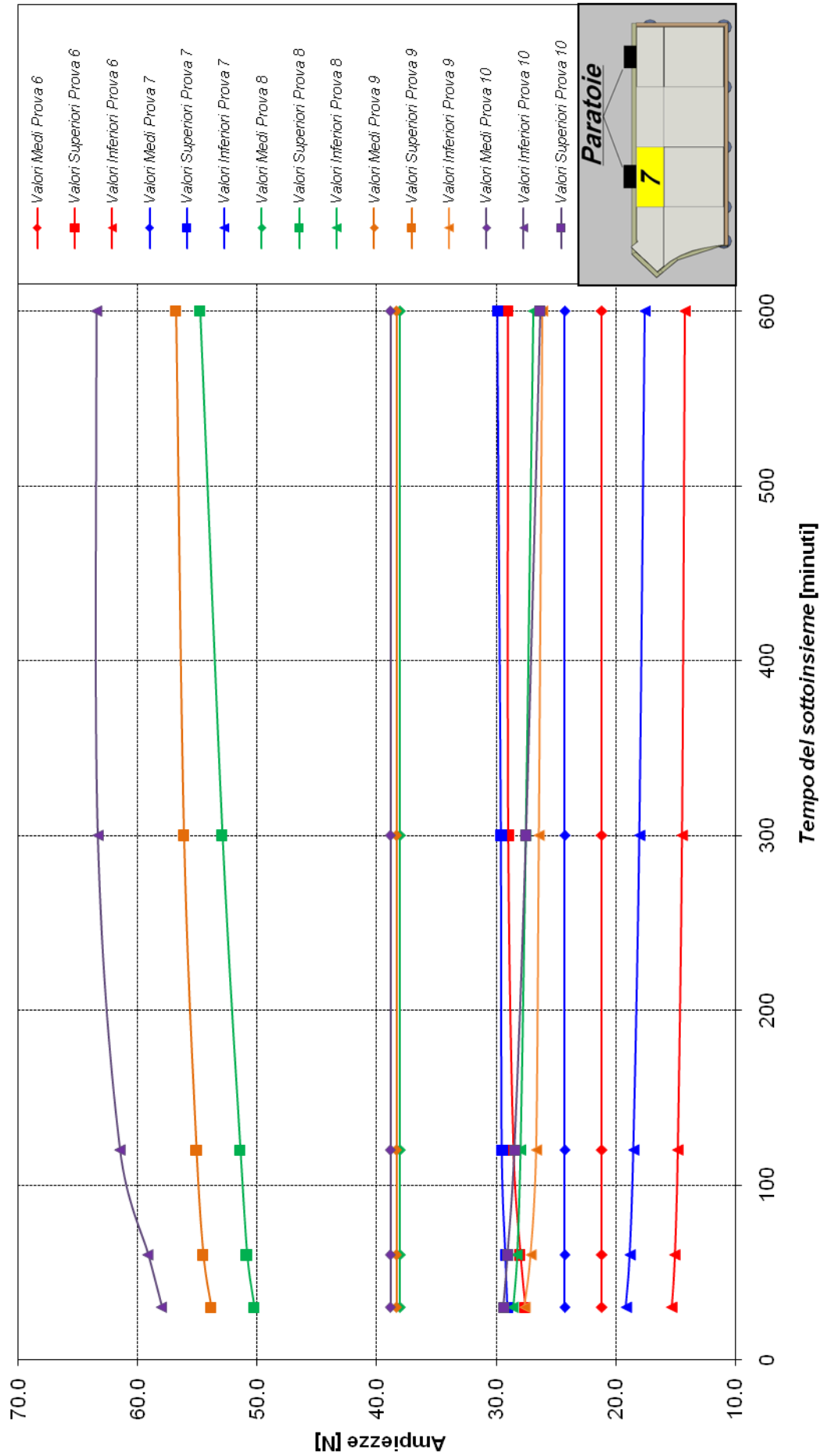
Prova 7	Caratteristiche della prova							 Paratoie
	Portata [l/s]		32.81					
	Livello di monte [m s.l.m.]		105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]		92.35					
	Giunti		Chiusi					
	Paratoie		Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	
Deviazione standard [N]		0.48	0.47	0.44	0.36			
Massimo rilevato [N]		29.1	29.2	29.5	29.6	29.9		
Minimo rilevato [N]		19.1	18.8	18.5	18.0	17.6		

Prova 8	Caratteristiche della prova							 Paratoie
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.97					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Chiusi					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	
Deviazione standard [N]		0.54	0.55	0.57	0.56			
Massimo rilevato [N]		50.3	50.9	51.4	52.9	54.8		
Minimo rilevato [N]		28.6	28.3	28.0	27.5	26.9		

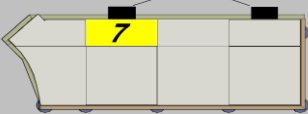
Prova 9	Caratteristiche della prova							 Paratoie
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.59					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Chiusi					
	Paratoie		Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	
Deviazione standard [N]		0.09	0.08	0.07	0.07			
Massimo rilevato [N]		53.9	54.6	55.1	56.2	56.8		
Minimo rilevato [N]		27.6	27.1	26.7	26.4	26.1		


Prova 10	Caratteristiche della prova							 Paratoie
	Portata [l/s]		108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.48					
	Livello di valle [m s.l.m.]		94.20					
	Giunti		Chiusi					
	Paratoie		Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		38.9	38.9	38.9	38.9	38.9	
Deviazione standard [N]		0.10	0.10	0.10	0.10			
Massimo rilevato [N]		58.0	59.2	61.5	63.4	63.5		
Minimo rilevato [N]		29.4	29.0	28.5	27.5	26.3		


Piastra 7 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo

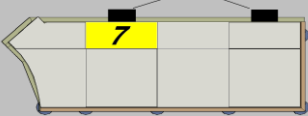



PIASTRA 7

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	
Deviazione standard [N]	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03			
Massimo rilevato [N]	12.5	12.8	13.1	13.6	13.7	13.8		
Minimo rilevato [N]	-15.5	-16.0	-16.4	-16.9	-17.5	-18.3		

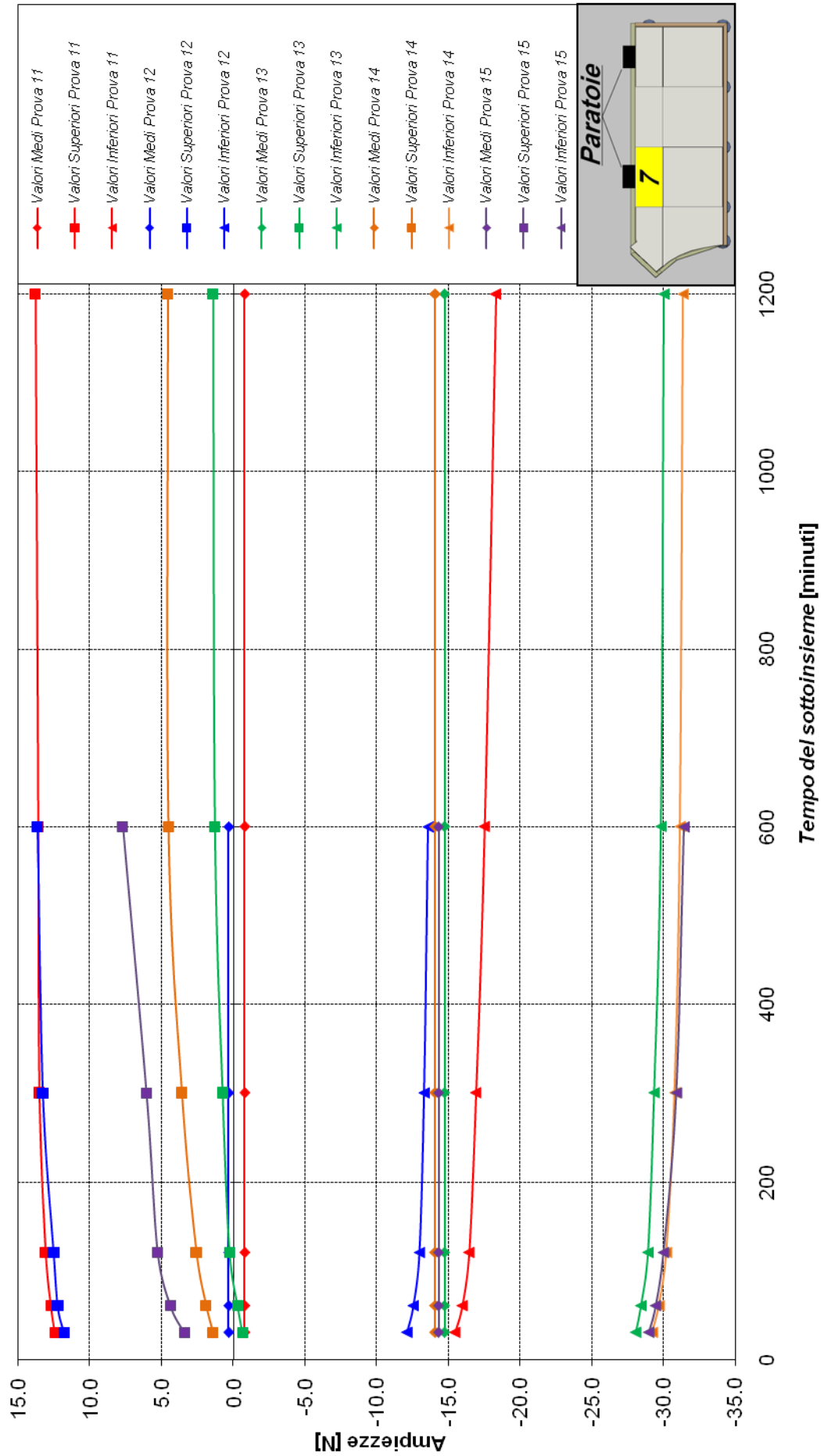
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
Deviazione standard [N]	0.08	0.08	0.09	0.10				
Massimo rilevato [N]	11.8	12.3	12.5	13.3	13.7			
Minimo rilevato [N]	-12.1	-12.5	-13.0	-13.3	-13.6			

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	-14.7	
Deviazione standard [N]	0.15	0.14	0.14	0.13	0.09			
Massimo rilevato [N]	-0.6	-0.3	0.3	0.8	1.3	1.4		
Minimo rilevato [N]	-28.1	-28.4	-28.9	-29.3	-29.8	-30.0		

Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1	
Deviazione standard [N]	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05			
Massimo rilevato [N]	1.4	1.9	2.6	3.6	4.5	4.6		
Minimo rilevato [N]	-29.2	-29.7	-30.2	-30.8	-31.1	-31.3		

Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [N]	-14.3	-14.3	-14.3	-14.3	-14.3		
Deviazione standard [N]	0.05	0.05	0.05	0.06				
Massimo rilevato [N]	3.4	4.4	5.3	6.1	7.7			
Minimo rilevato [N]	-29.0	-29.5	-30.0	-30.9	-31.4			

Piastra 7 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo

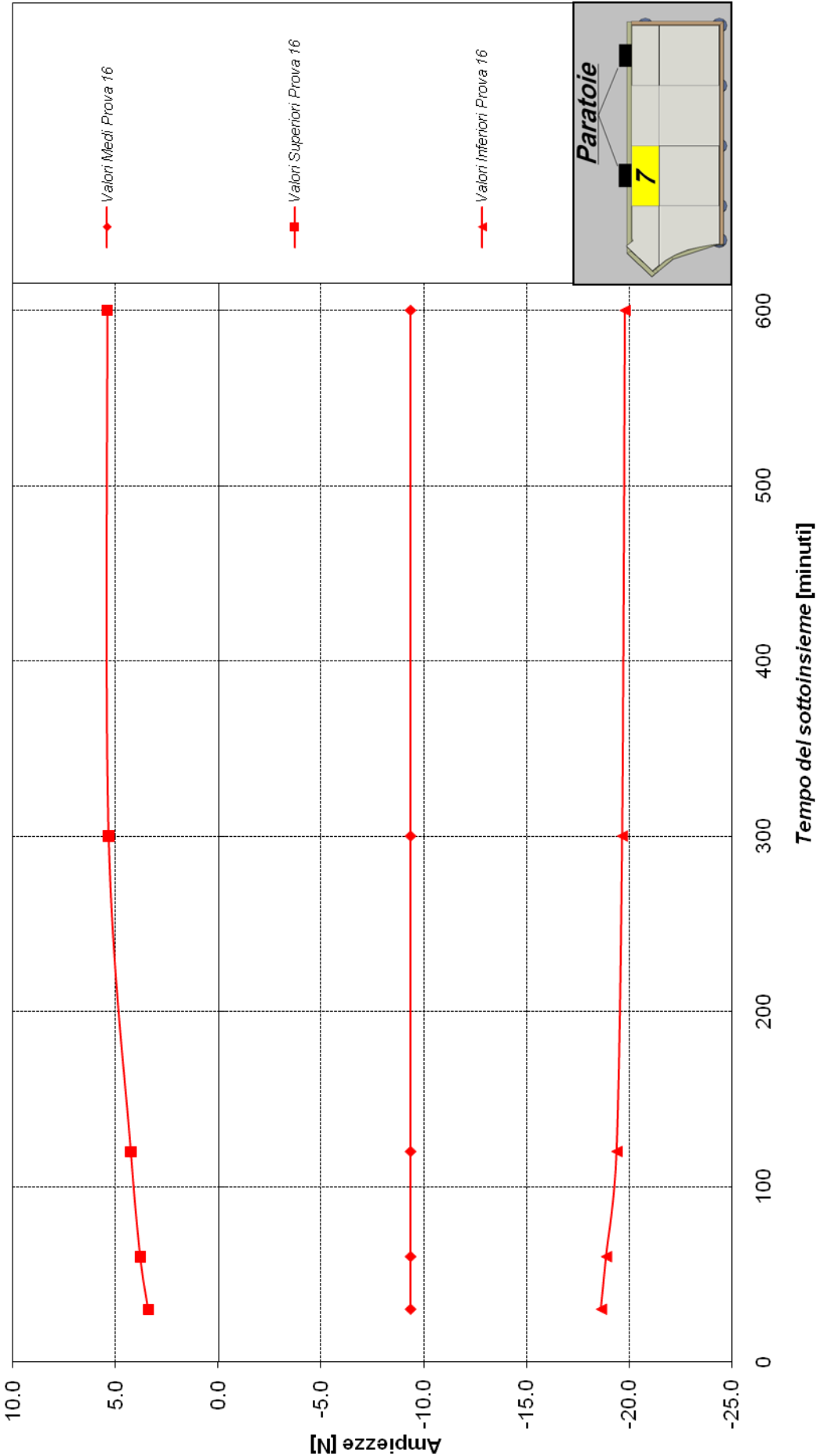


PIASTRA 7

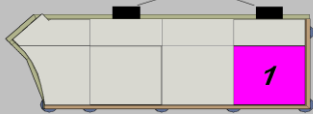
Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]				58.94			Note:
	Livello di monte [m s.l.m.]				107.18			
	Livello di valle [m s.l.m.]				93.27			
	Giunti				Aperti			
	Paratoie				Chiuse			
	Durata della prova [ore]				10.00			
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [N]		-9.4	-9.4	-9.4	-9.4	-9.4	
	Deviazione standard [N]		0.05	0.05	0.05	0.04		
	Massimo rilevato [N]		3.4	3.8	4.3	5.4	5.4	
	Minimo rilevato [N]		-18.6	-18.9	-19.4	-19.7	-19.8	

Piastra 7 – Giunti aperti – Piastre dislocate

Piastra 7 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo



CELLA 1

Prova 1	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.024	0.025	0.025	0.027	0.029			
Minimo rilevato [bar]	0.001	0.000	0.000	-0.002	-0.003			

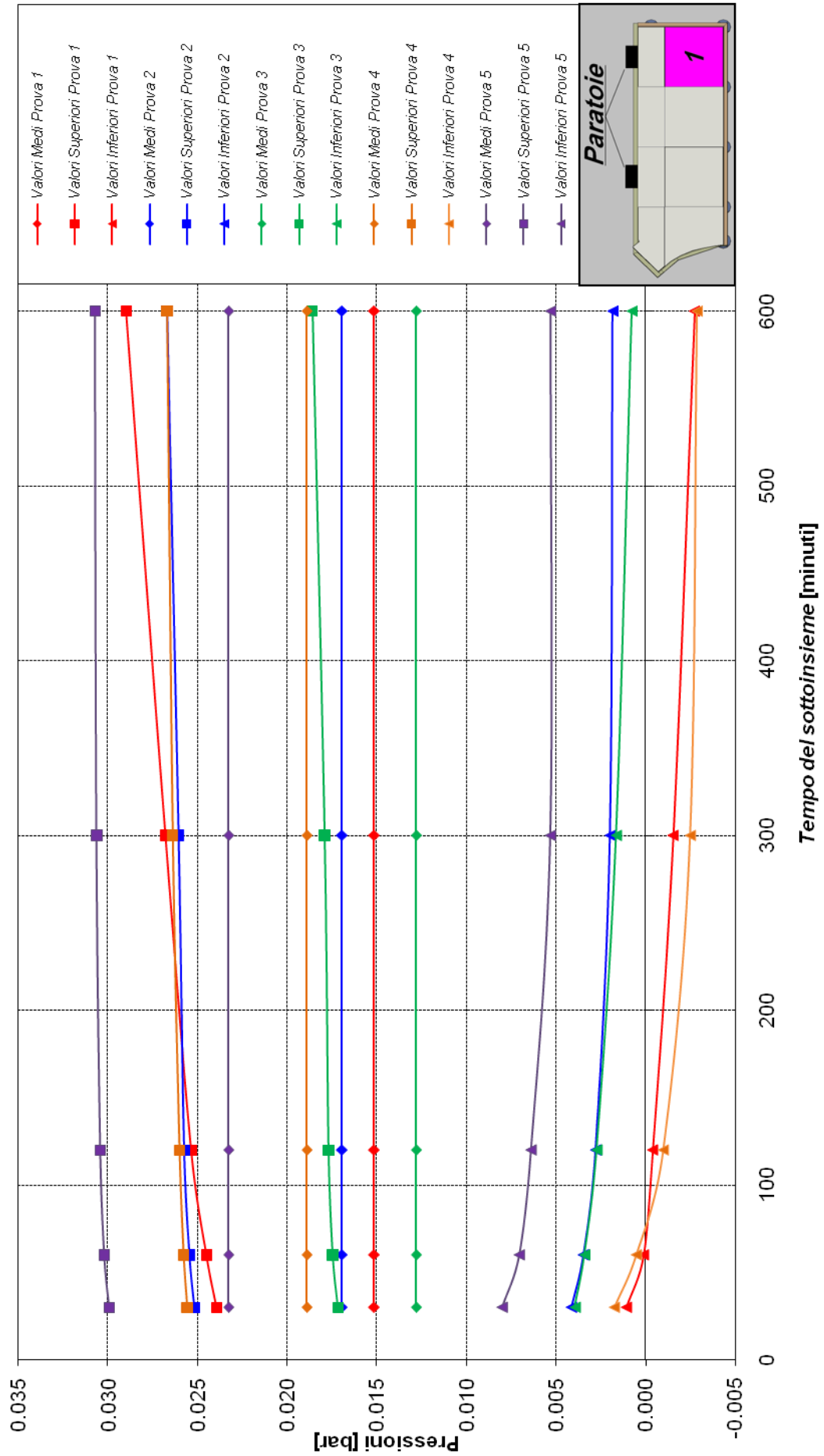
Prova 2	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.025	0.025	0.026	0.026	0.027			
Minimo rilevato [bar]	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002			

Prova 3	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019			
Minimo rilevato [bar]	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001			

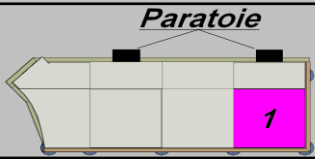
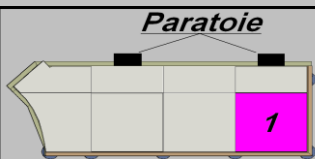
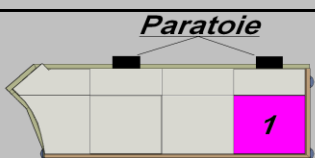
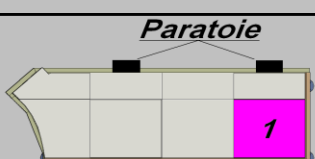
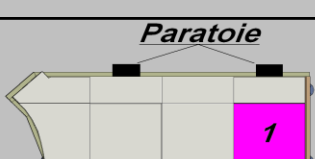
Prova 4	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.026	0.026	0.026	0.026	0.027			
Minimo rilevato [bar]	0.002	0.001	-0.001	-0.002	-0.003			

Prova 5	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.030	0.030	0.030	0.031	0.031			
Minimo rilevato [bar]	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005			

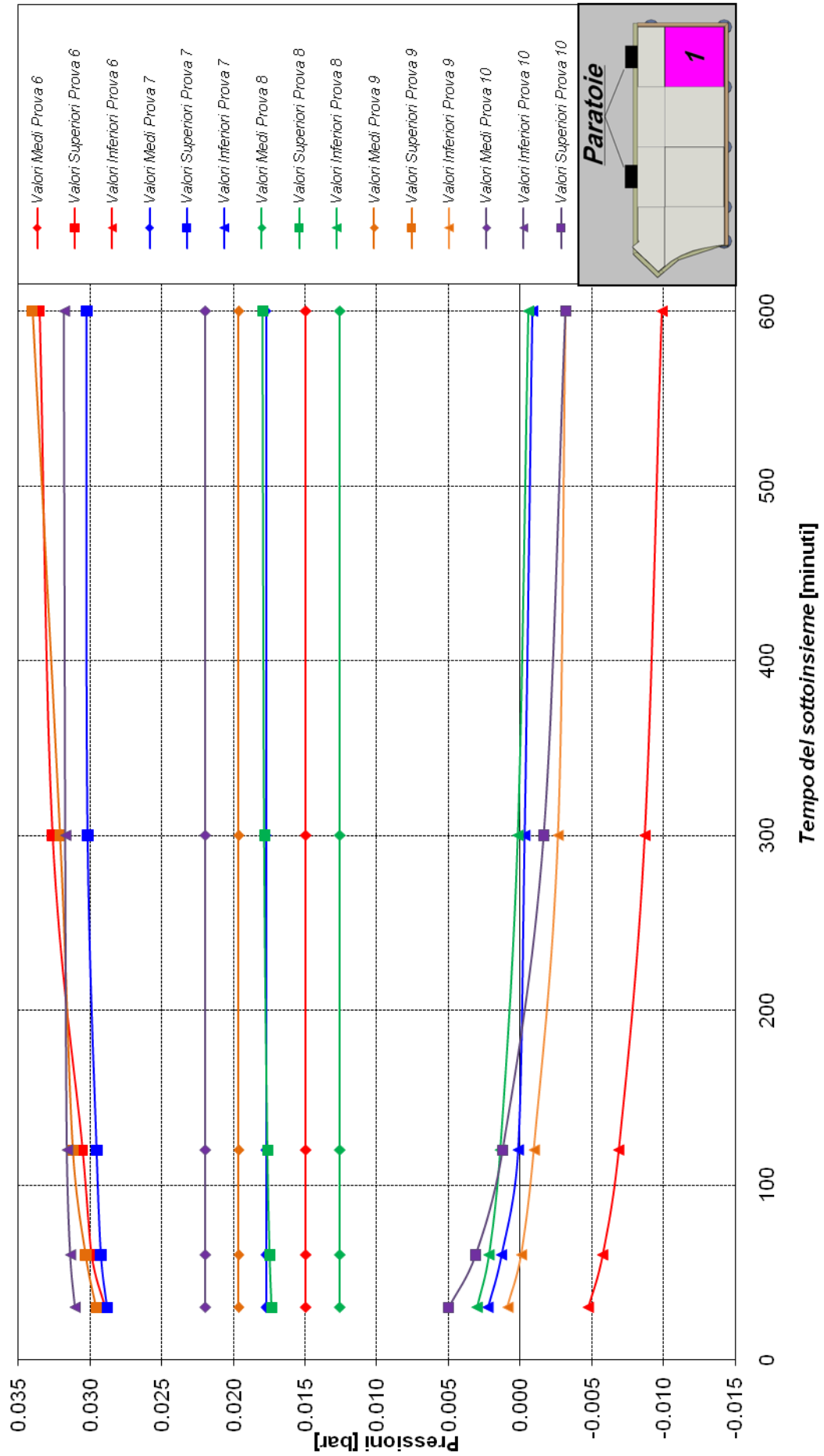
Cella 1 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo



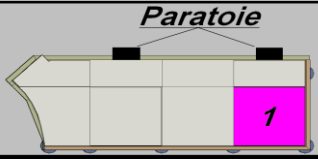
CELLA 1

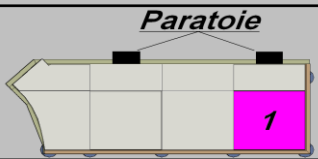
Prova 6	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.029	0.030	0.031	0.033	0.034			
Minimo rilevato [bar]	-0.005	-0.006	-0.007	-0.009	-0.010			
Prova 7	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.029	0.029	0.030	0.030	0.030			
Minimo rilevato [bar]	0.002	0.001	0.000	0.000	-0.001			
Prova 8	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.017	0.017	0.018	0.018	0.018			
Minimo rilevato [bar]	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.001			
Prova 9	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.030	0.030	0.031	0.032	0.034			
Minimo rilevato [bar]	0.001	0.000	-0.001	-0.003	-0.003			
Prova 10	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Chiusi						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022		
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000				
Massimo rilevato [bar]	0.031	0.031	0.032	0.032	0.032			
Minimo rilevato [bar]	0.005	0.003	0.001	-0.002	-0.003			

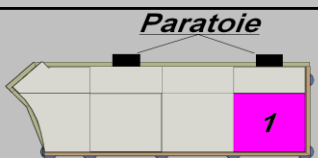
Cella 1 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo

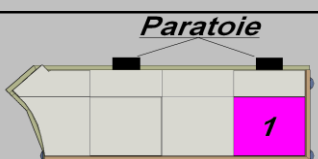


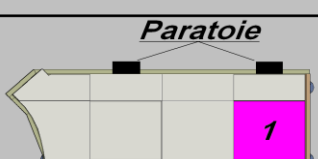
CELLA 1

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.026	0.026	0.027	0.028	0.029	0.029	
	Minimo rilevato [bar]	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005	-0.006	

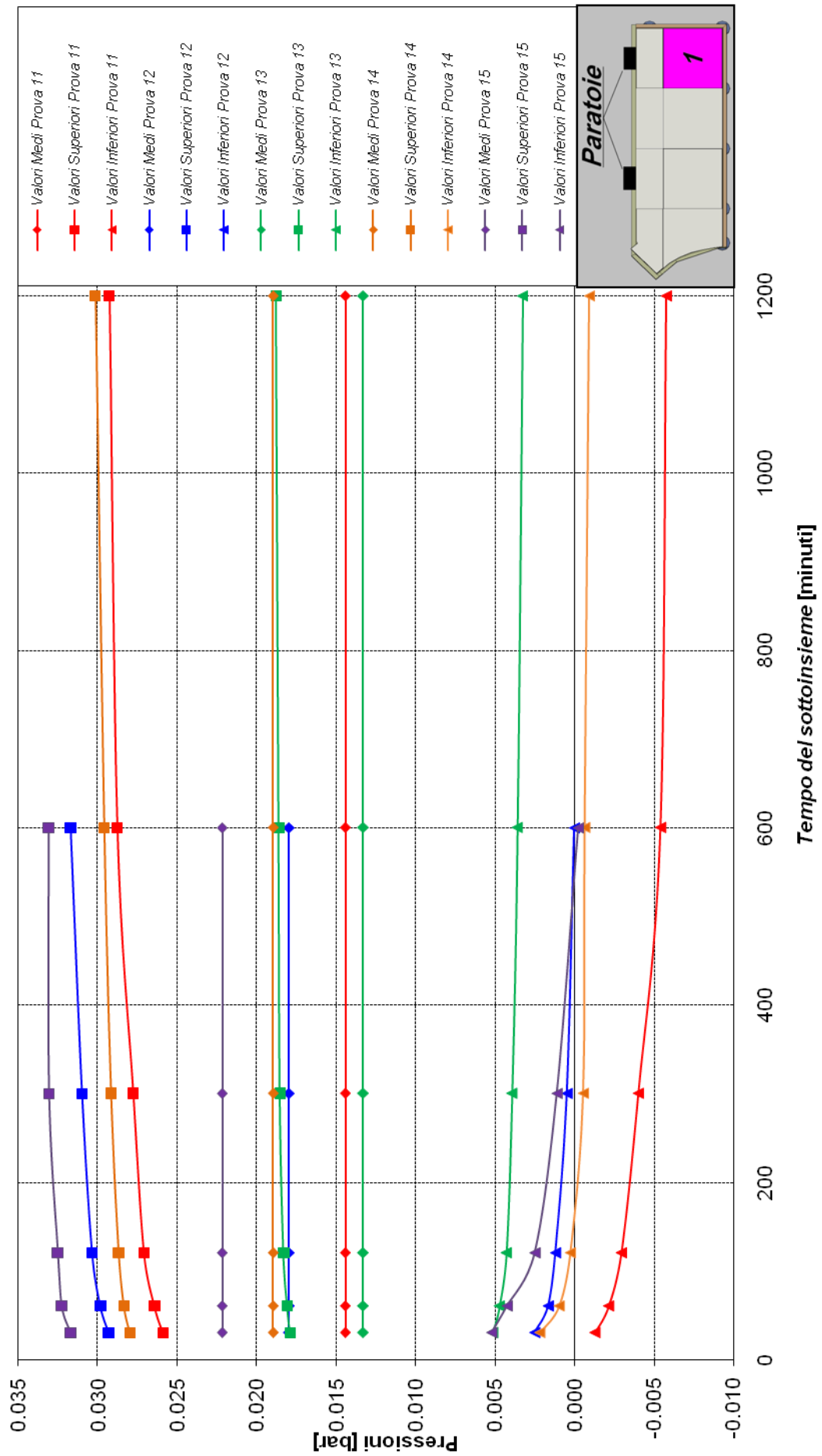
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.029	0.030	0.030	0.031	0.032		
	Minimo rilevato [bar]	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000		

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.018	0.018	0.018	0.019	0.019	0.019	
	Minimo rilevato [bar]	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	

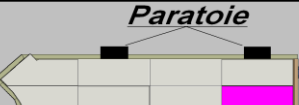
Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.028	0.028	0.029	0.029	0.030	0.030	
	Minimo rilevato [bar]	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	

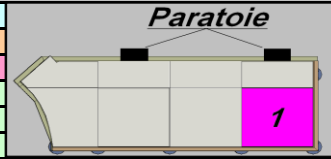
Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.032	0.032	0.033	0.033	0.033		
	Minimo rilevato [bar]	0.005	0.004	0.003	0.001	0.000		

Cella 1 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo



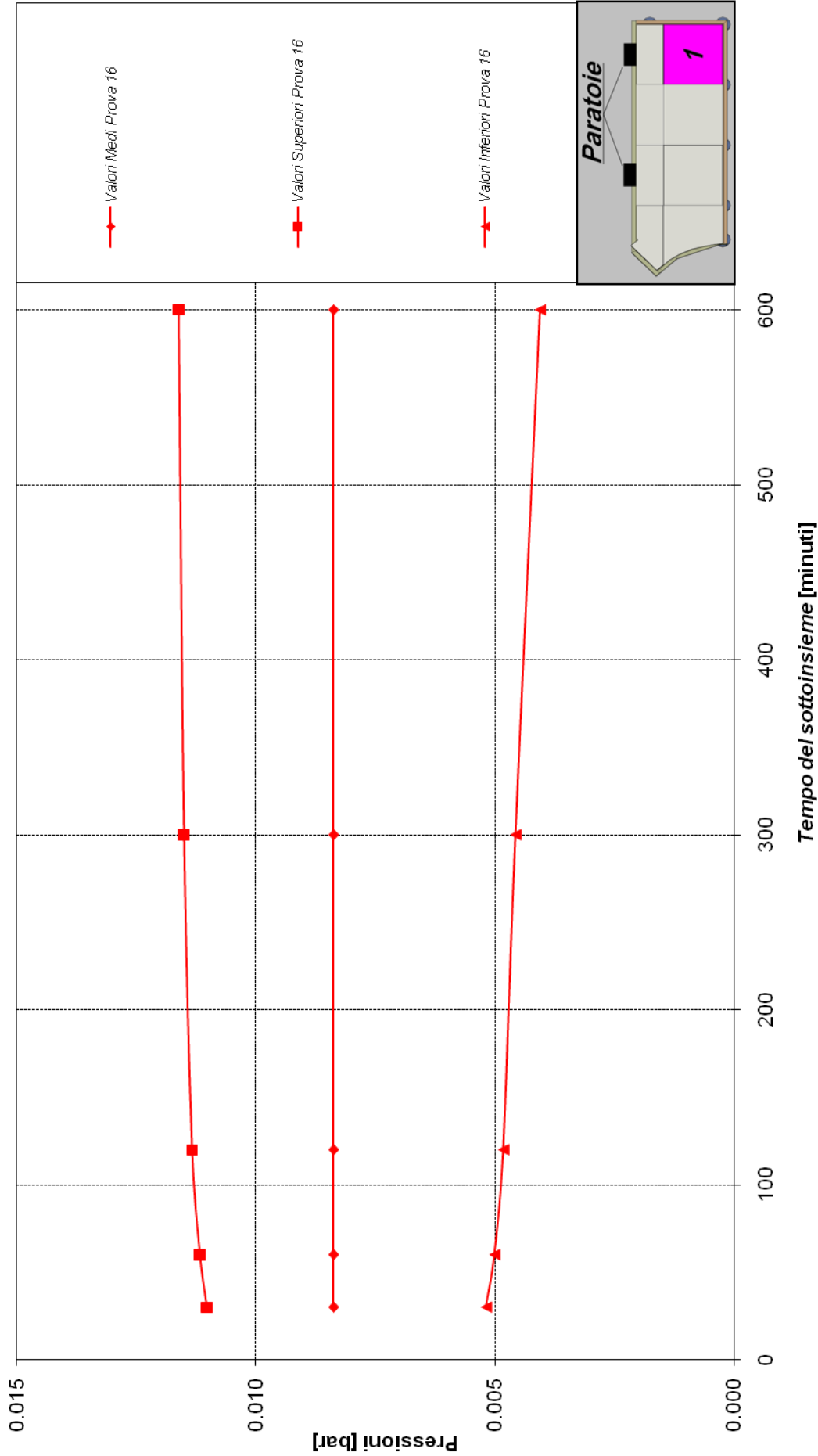
CELLA 1

Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		58.94					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.18					
	Livello di valle [m s.l.m.]		93.27					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]		0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	
Deviazione standard [bar]		0.000	0.000	0.000	0.000			
Massimo rilevato [bar]		0.011	0.011	0.011	0.012	0.012		
Minimo rilevato [bar]		0.005	0.005	0.005	0.005	0.004		




Cella 1 – Giunti aperti – Piastre dislocate


Cella 1 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo





CELLA 8

Prova 1	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011		
	Minimo rilevato [bar]	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008		

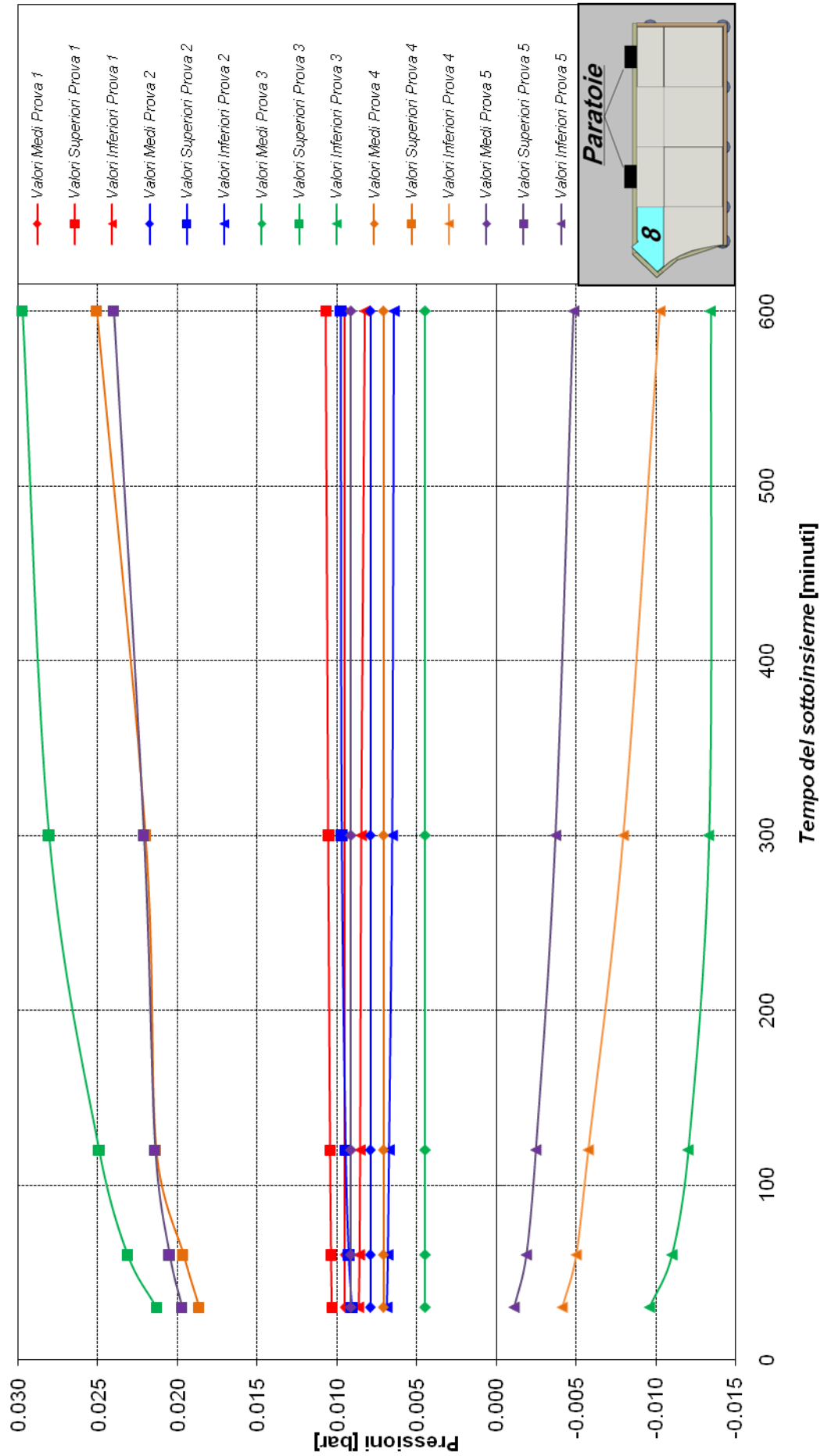
Prova 2	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010		
	Minimo rilevato [bar]	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006		

Prova 3	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.021	0.023	0.025	0.028	0.030		
	Minimo rilevato [bar]	-0.010	-0.011	-0.012	-0.013	-0.013		

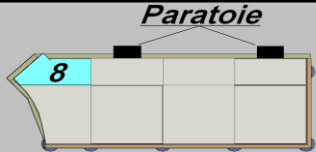
Prova 4	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.019	0.020	0.021	0.022	0.025		
	Minimo rilevato [bar]	-0.004	-0.005	-0.006	-0.008	-0.010		

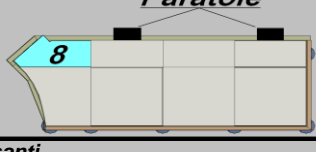
Prova 5	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.020	0.021	0.021	0.022	0.024		
	Minimo rilevato [bar]	-0.001	-0.002	-0.003	-0.004	-0.005		

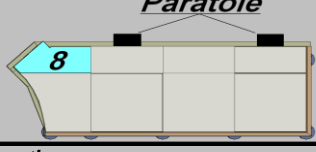
Cella 8 - Giunti Aperti - Grafico riassuntivo

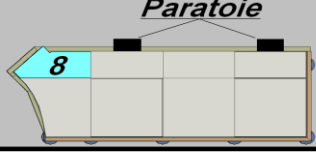


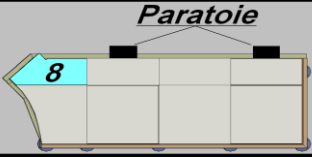
CELLA 8

Prova 6	Caratteristiche della prova						
	Portata [l/s]	22.63					
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15					
	Giunti	Chiusi					
	Paratoie	Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]	10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti						
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
Massimo rilevato [bar]	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008		
Minimo rilevato [bar]	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005		

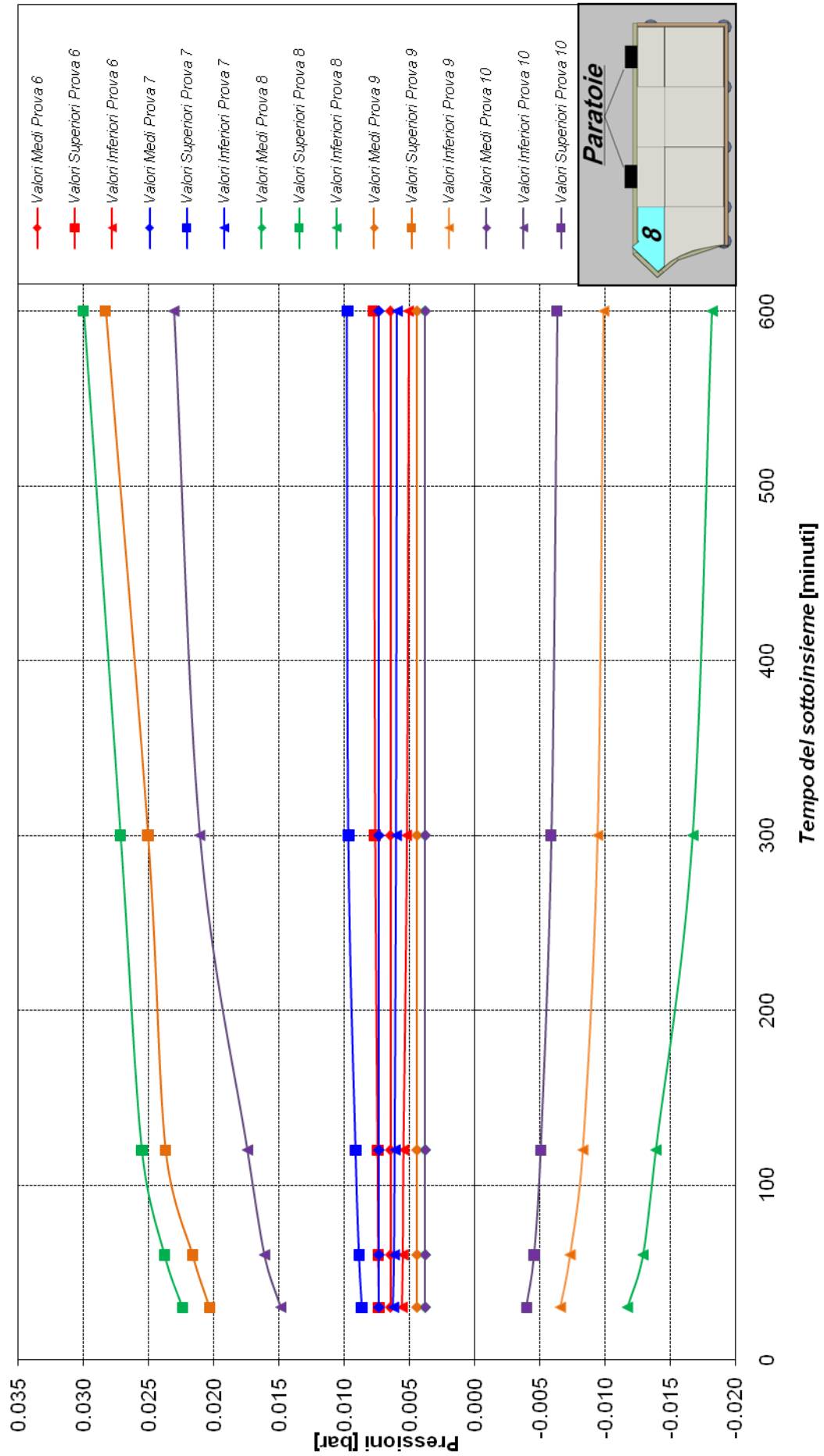
Prova 7	Caratteristiche della prova						
	Portata [l/s]	32.81					
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60					
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35					
	Giunti	Chiusi					
	Paratoie	Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]	10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti						
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	
	Minimo rilevato [bar]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	

Prova 8	Caratteristiche della prova						
	Portata [l/s]	108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97					
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20					
	Giunti	Chiusi					
	Paratoie	Chiusi					
	Durata della prova [ore]	10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti						
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.022	0.024	0.026	0.027	0.030	
	Minimo rilevato [bar]	-0.012	-0.013	-0.014	-0.017	-0.018	

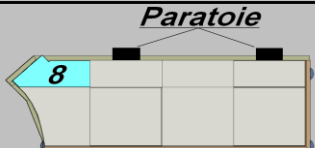
Prova 9	Caratteristiche della prova						
	Portata [l/s]	108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59					
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20					
	Giunti	Chiusi					
	Paratoie	Aperte 1.7 m					
	Durata della prova [ore]	10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti						
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.020	0.022	0.024	0.025	0.028	
	Minimo rilevato [bar]	-0.007	-0.007	-0.008	-0.009	-0.010	

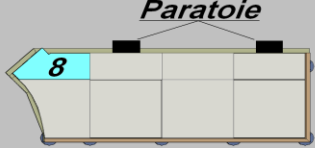
Prova 10	Caratteristiche della prova						
	Portata [l/s]	108.05					
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48					
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20					
	Giunti	Chiusi					
	Paratoie	Aperte 2.5 m					
	Durata della prova [ore]	10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti						
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.015	0.016	0.017	0.021	0.023	
	Minimo rilevato [bar]	-0.004	-0.005	-0.005	-0.006	-0.006	

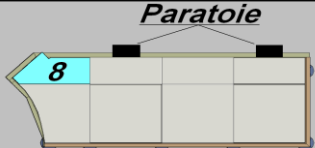
Cella 8 - Giunti Chiusi - Grafico riassuntivo

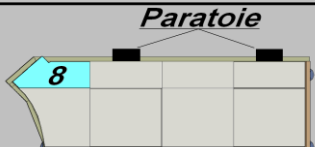


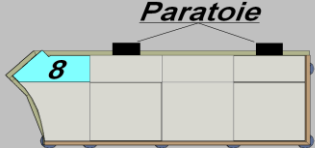
CELLA 8

Prova 11	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	22.63						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.15						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	Massimo rilevato [bar]	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	
	Minimo rilevato [bar]	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.006	

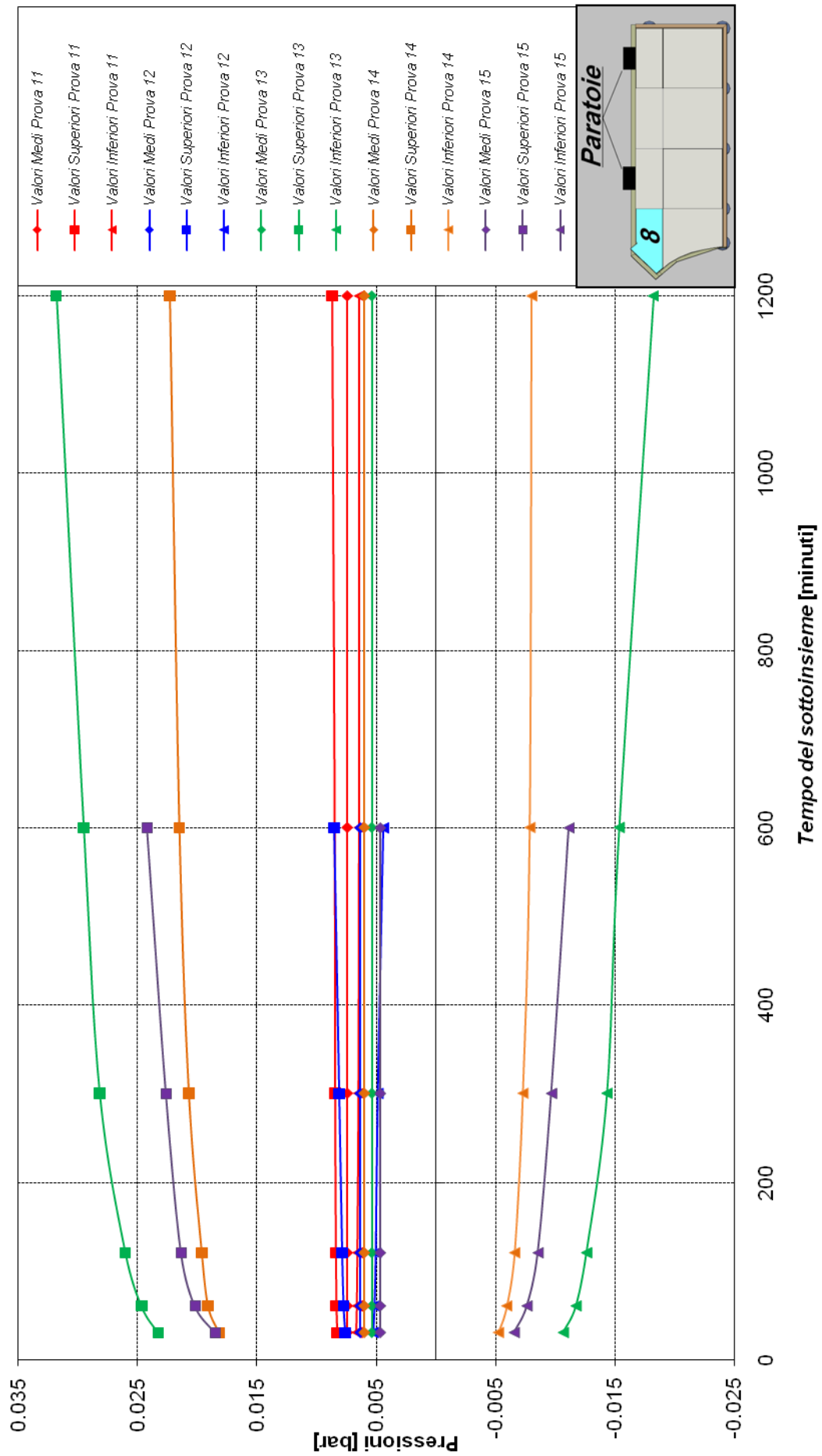
Prova 12	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	32.81						
	Livello di monte [m s.l.m.]	105.60						
	Livello di valle [m s.l.m.]	92.35						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009		
	Minimo rilevato [bar]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004		

Prova 13	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.97						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Chiuse						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.023	0.025	0.026	0.028	0.030	0.032	
	Minimo rilevato [bar]	-0.011	-0.012	-0.013	-0.014	-0.015	-0.018	

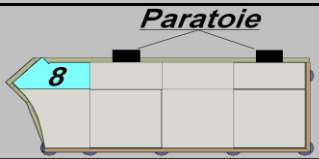
Prova 14	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.59						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 1.7 m						
	Durata della prova [ore]	20.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]	0.018	0.019	0.020	0.021	0.022	0.022	
	Minimo rilevato [bar]	-0.005	-0.006	-0.007	-0.007	-0.008	-0.008	

Prova 15	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]	108.05						
	Livello di monte [m s.l.m.]	107.48						
	Livello di valle [m s.l.m.]	94.20						
	Giunti	Aperti						
	Paratoie	Aperte 2.5 m						
	Durata della prova [ore]	10.00						
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]	30	60	120	300	600	1200	
	Media sottoinsieme [bar]	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005		
	Deviazione standard [bar]	0.000	0.000	0.000	0.000			
	Massimo rilevato [bar]	0.019	0.020	0.021	0.023	0.024		
	Minimo rilevato [bar]	-0.007	-0.008	-0.009	-0.010	-0.011		

Cella 8 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo

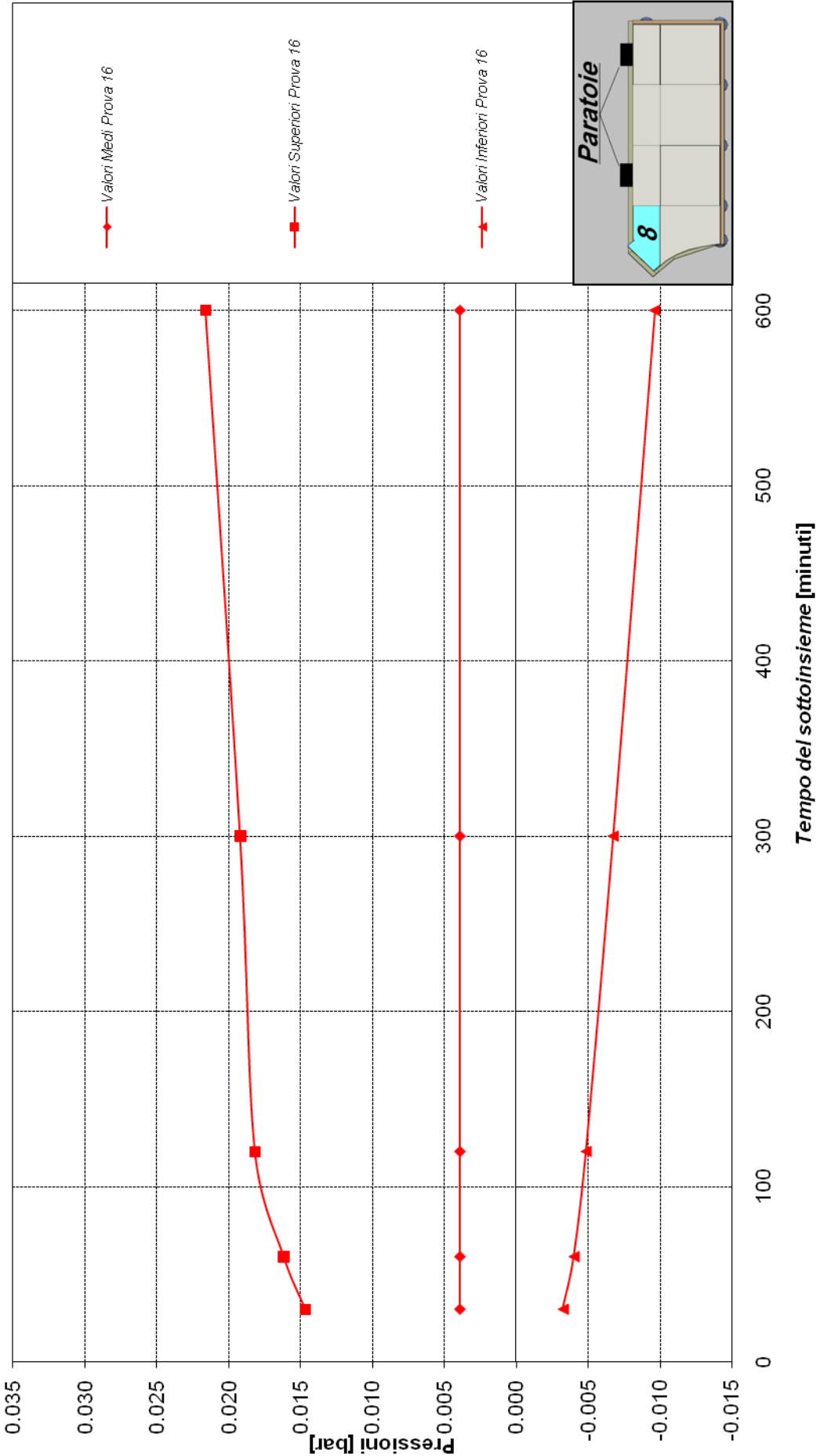


CELLA 8

Prova 16	Caratteristiche della prova							
	Portata [l/s]		58.94					
	Livello di monte [m s.l.m.]		107.18					
	Livello di valle [m s.l.m.]		93.27					
	Giunti		Aperti					
	Paratoie		Chiuse					
	Durata della prova [ore]		10.00					
	Caratteristiche delle sollecitazioni pulsanti							
	Tempo sottoinsieme [min]		30	60	120	300	600	1200
	Media sottoinsieme [bar]		0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
	Deviazione standard [bar]		0.000	0.000	0.000	0.000		
	Massimo rilevato [bar]		0.015	0.016	0.018	0.019	0.022	
	Minimo rilevato [bar]		-0.003	-0.004	-0.005	-0.007	-0.010	

Cella 8 – Giunti aperti – Piastre dislocate

Cella 8 - Giunti Aperti - Gradino - Grafico riassuntivo



Appendice F

Documentazione fotografica



Figura F.1 – Posizionamento modello fisico all'interno del laboratorio di Idraulica n.1.



Figura F.2 – Modello fisico visto da valle.



Figura F.3 – Modello fisico visto da monte.



Figura F.4 – Vista laterale del modello fisico.



Figura F.5 – Particolare becco d’anatra visto da valle e bocca di uscita vista da monte.



Figura F.6 – Zona di misura della vasca di dissipazione vista da valle.

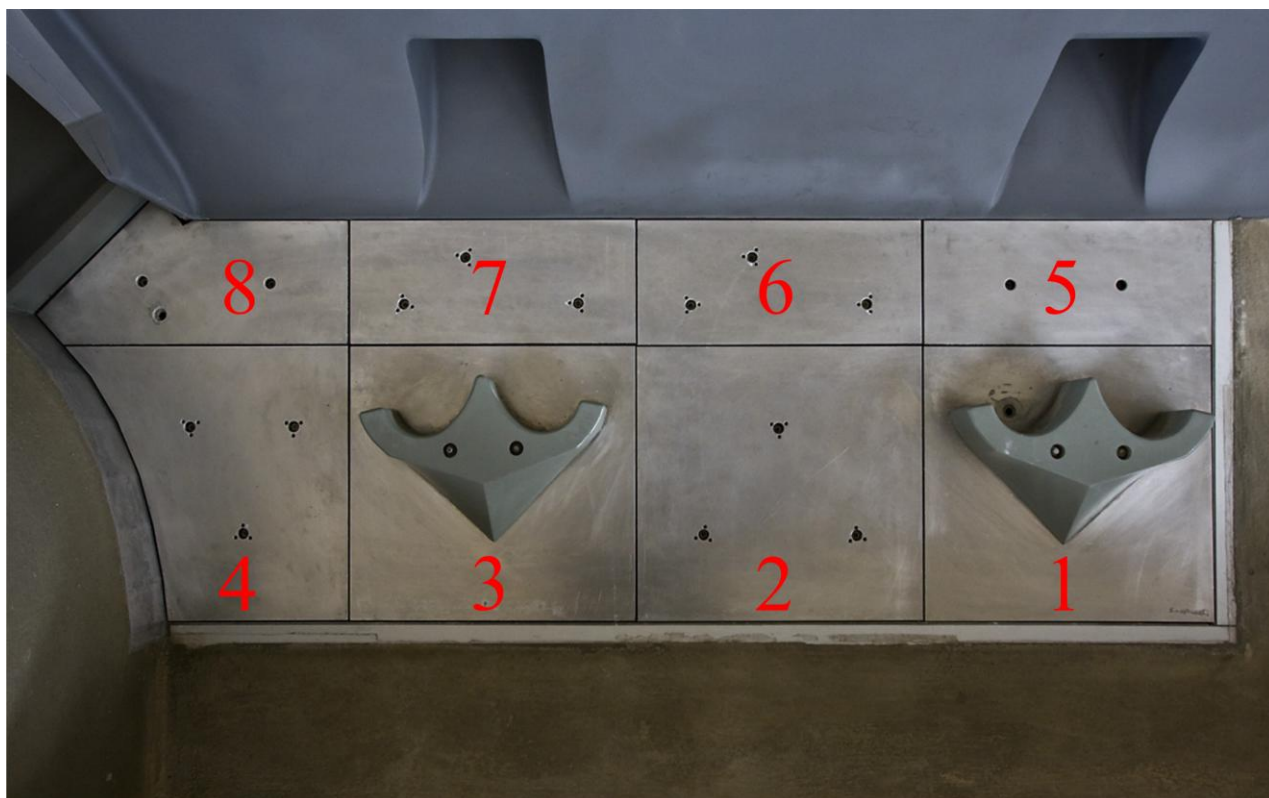


Figura F.7 – Zona di misura della platea di valle con numerazione delle piastre viste dall'alto.



Figura F.8 – Particolare presa celle di pressione piastre 1 e 8.



Figura F.9 – Elettronica di condizionamento dei segnali acquisiti.



Figura F.10 – Modello visto da valle con portata uscente dalle luci di fondo.



Figura F.11 – Modello visto lateralmente con portata uscente dalla sola luce centrale.



Figura F.12 – Portata uscente dalla luce centrale vista dall'alto.



Figura F.13 – Portata millenaria evacuata tutta dallo sfioratore di superficie.



Figura F.14 – Portata millenaria evacuata dalle luci di fondo e dallo sfioratore di superficie.



Figura F.15 – Particolare becco d’anatra in sponda sx con portata millenaria.

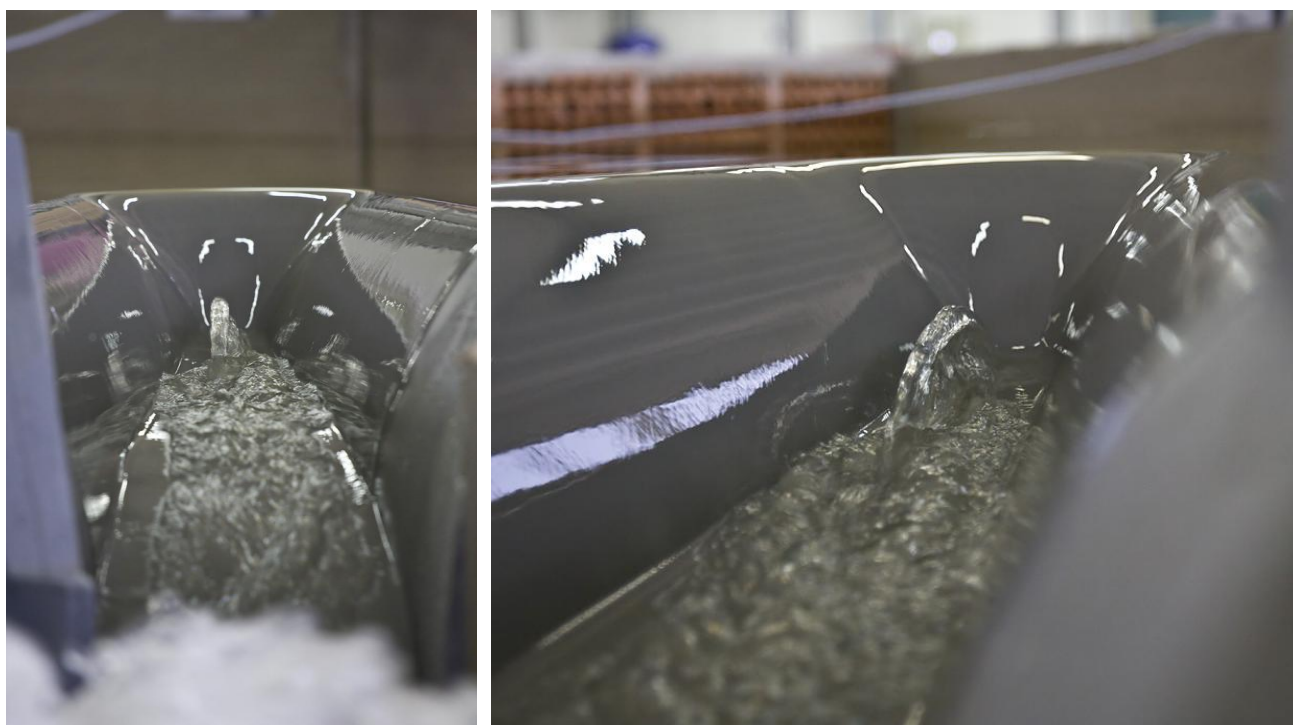


Figura F.16 – Funzionamento becco d’anatra per piccoli tiranti sullo sfioratore.

BIBLIOGRAFIA

Adami, A., *I modelli fisici nell'idraulica*, CLEUP, Milano, 1994.

Arganis, M. L. e Domínguez, R., Hydropower System Management Considering the Minimum Outflow, *American Journal of Environmental Sciences*, 4(3), 2008, pp. 164-170.

Asianics Agro-Dev. International (Pvt) Ltd. 2000, Tarbela Dam and related aspects of the Indus River Basin, Pakistan, *A WCD case study prepared as an input to the World Commission on Dams*, Cape Town, www.dams.org.

Bellin, A. e Fiorotto, V., Direct dynamic force measurement on slabs in spillway stilling basins, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 121 N°10, October 1995, pp. 686-693.

Bendat, J.S. e Piersol, A.G., *Random data: analysis and measurement processes*, Third edition, Wiley & Sons, New York, 2000.

Bowers, C. E. e Toso, J., Karnafuli project, model studies of spillway damage, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.114, N°5, May 1988, pp. 469-483.

DICATeA – Regione Emilia Romagna, *Studio della messa in sicurezza del territorio parmense, con particolare riferimento alla realizzazione della cassa di espansione del torrente Baganza – Relazione Idrologica*, Università degli Studi di Parma, Parma, marzo 2003.

Longo, S. e Petti, M., *Misure e controlli idraulici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.