0	11/2017	PRIMA EMISSIONE	DUTTO	BERTERO	CASSANI
Revisione	**Data**	**Oggetto revisione**	**Redatto**	**Verificato**	**Approvato**

REGIONE LIGURIA

#ItaliaSicura Presidenza del Consiglio dei Ministri

COMUNE DI GENOVA

PIANO STRALCIO PER LE AREE METROPOLITANE E LE AREE URBANE CON ALTO LIVELLO DI POPOLAZIONE ESPOSTA AL RISCHIO DI ALLUVIONI

Presidenza del Consiglio dei Ministri

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
COMMISSARIO STRAORDINARIO
delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii.
(ex art. 10 del D.L. n. 91 del 24.06.2014)

Commissario straordinario

Dott. Giovanni TOTI

PROGETTISTI

CAPOGRUPPO MANDATARIA:

ROCKSOIL S.p.A.
CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA
nel campo della GEOINGEGNERIA

MANDANTI:

art ambiente risorse territorio

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Mario CANGIANO

Ing. Paolo GALLO

Ing. Francesco DE SANCTIS

Dott.ssa Francesca GIOMI

RESPONSABILE STRUTTURA COMMISSARIALE: **Ing. Luca BERRUTI**

RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO: **Ing. Stefano PINASCO**

Progettista responsabile integrazioni prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico della mandataria.
Rocksoil S.p.A.
Ing. Giovanna Cassani
Ord. Ingg. Milano N° 20997

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. CASSANI GIOVANNA
Sez. A Settori:
a) civile e ambientale
b) industriale
c) dell'informazione
n° A 20997

Progettista/Progettisti responsabili elaborato
Hydrodata S.p.A.
Ing. Roberto Bertero
Ord. Ingg. Torino N° 7570L

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO
Dott. Ing. ROBERTO BERTERO
n. 7570 L

Intervento/Opera

SECONDO LOTTO DEI LAVORI RELATIVI ALLA REALIZZAZIONE DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA

PROGETTO ESECUTIVO

N° Progr. ----

Codice elaborato: BIS2E - H - SDB05 - RE01 - 0

Oggetto della tavola

STUDI DI BASE

MODELLO FISICO

Relazione di dimensionamento del modello

Scala

Data: NOVEMBRE 2017

Codice FILE: BIS2E-H-SDB05-RE01-0.DWG

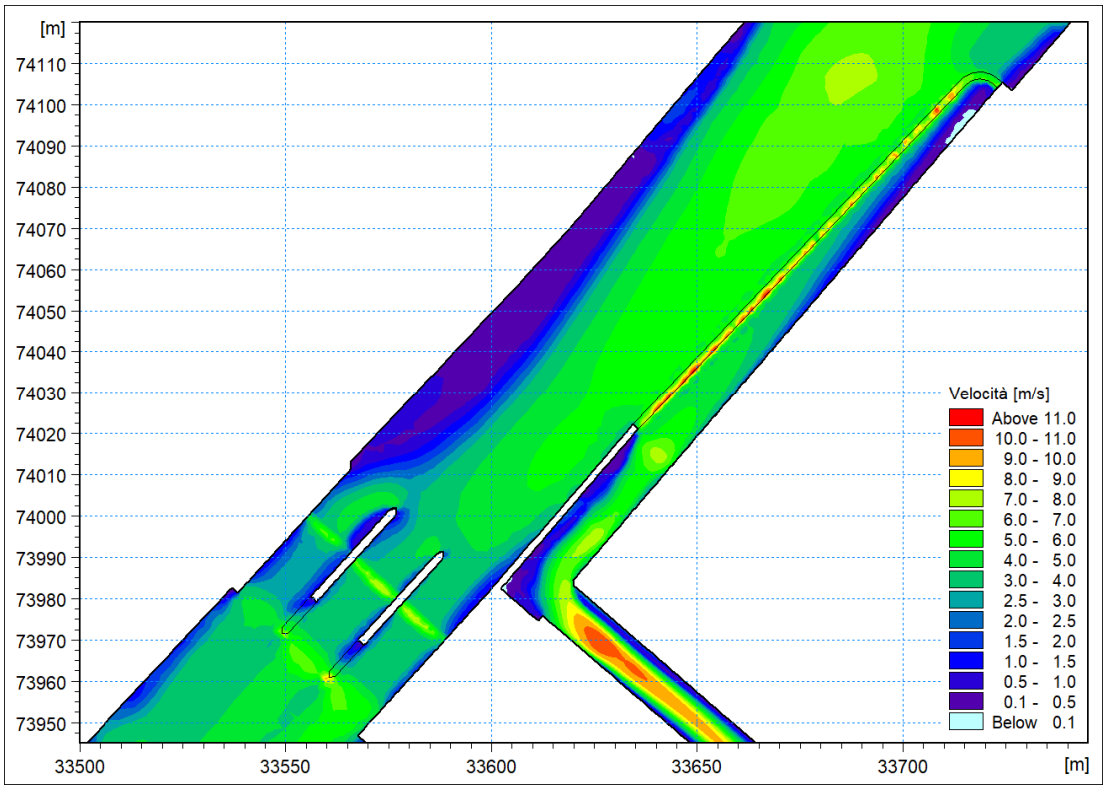
I DISEGNI E LE INFORMAZIONI IN ESSI CONTENUTE SONO PROPRIETA' ESCLUSIVA DELLA STRUTTURA COMMISSARIALE E NON POSSONO ESSERE MODIFICATI, RIPRODOTTI, RESI PUBBLICI O UTILIZZATI PER USI DIFFERENTI DA QUELLI PER CUI SONO STATI REDATTI, SALVO AUTORIZZAZIONE SCRITTA.

INDICE

1 ASPETTI GENERALI 2
2 Condizioni di similitudine idraulica 3
3 Caratteristiche dimensionali e costruttive del modello 6
4 PROVE IDRAULICHE 8

1 ASPETTI GENERALI

Il modello fisico rappresenterà le opere di imbocco dello scolmatore, costituite dallo sfioratore sul Bisagno con relativo canale collettore, dalla canalizzazione di imbocco verso la galleria a sezione policentrica e dal primo tratto della galleria stessa, come visualizzato nello schema che segue derivante da simulazioni idrodinamiche con modello numerico.



Schematizzazione del tratto di alveo del Bisagno interessato dall'opera di sbarramento, dallo sfioratore, dall'opera di imbocco e dal primo tratto di galleria a sezione policentrica, con rappresentazione del campo di velocità risultante dall'analisi numerica 2D.

Per le caratteristiche funzionali e dimensionali delle opere si rimanda agli specifici elaborati di progetto.

La portata massima di dimensionamento del sistema scolmatore è pari a 450 mc/s.

Il modello fisico ha la finalità di verificare il funzionamento idraulico generale del sistema in relazione alla capacità di smaltimento in sicurezza della portata di progetto e, più in dettaglio, di analizzare le distribuzioni di flusso all'interno dei manufatti e i fenomeni idrodinamici localizzati non rappresentabili adeguatamente con la sola analisi numerica.

Lo studio su modello fisico sarà appoggiato ai dati e agli elementi conoscitivi pregressi derivanti:

- dal precedente studio su modello fisico a fondo fisso e mobile che ha analizzato in dettaglio il comportamento idrodinamico del tratto di alveo del Bisagno in corrispondenza dello sfioratore e dell'opera di sbarramento (Provincia di Genova – Progetto definitivo dello scolmatore sul torrente Bisagno/Opera di presa sul torrente Bisagno/Relazione idraulica-Giugno 2007);
- dalle analisi numeriche con modello bidimensionale eseguiti e a supporto del presente progetto.

Tali elementi saranno utilizzati per l'attribuzione al modello delle condizioni al contorno di monte e di valle.

In particolare, per la condizione di monte in fase realizzativa saranno valutate le due alternative costituite dalla rappresentazione dell'intero sfioratore e dell'alveo adiacente fino all'opera di sbarramento oppure, in ragione degli studi approfonditi su modello fisico già eseguiti per questo manufatto, dalla realizzazione di un dispositivo di alimentazione in grado di immettere nel solo canale collettore a valle dello sfioratore, la portata di progetto con le distribuzioni di flusso risultanti dalle precedenti prove fisiche e modellazioni numeriche 2D.

A valle sarà imposta, ad una adeguata distanza dall'imbocco della galleria policentrica, la condizione di deflusso risultante dalle simulazioni numeriche.

Nei paragrafi che seguono vengono illustrate le caratteristiche dimensionali e costruttive del modello e le modalità delle prove idrauliche.

2 Condizioni di similitudine idraulica

Il modello fisico sarà realizzato a fondo fisso e scale geometriche indeformate.

L'analisi delle caratteristiche dimensionali delle opere e dei dati idraulici di progetto ha portato all'individuazione della **scala geometrica indeformata 1:40** come miglior compromesso tra le esigenze di rappresentatività e sensibilità delle misure (livelli e velocità), la significatività idraulica (conservazione del numero di Froude e funzionamento in campo pienamente turbolento) e la logistica di laboratorio.

La definizione delle corrispondenti scale dei parametri idraulici deriva dalla condizione di similitudine del comportamento idrodinamico tra modello e prototipo, descritta dalla legge di Newton:

$F_P = m_P a_P$

$F_M = m_M a_{M,}$

con:

P = prototipo;

M = modello;

a = $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ = accelerazione;

V = velocità;

T = tempo;

m = $\rho (L)^3$ = massa;

ρ = densità;

L = lunghezza unitaria.

I rapporti di scala risultano espressi come sotto indicato:

$L_R = \frac{L_M}{L_P}$ = scala geometrica;

$V_R = \frac{V_M}{V_P} = \frac{L_R}{T_R}$ = scala delle velocità;

$T_R = \frac{T_M}{T_P}$ = scala dei tempi;

$F_R = \frac{F_M}{F_P} = \rho_R (L_R)^3 \quad \frac{L_R}{T_R^2}$ = scala delle forze d'inerzia

Ne deriva:

$$F_R = \rho_R (L_R)^2 (V_R)^2,$$

con: ρ_R = scala delle densità;

$(LR_R)^2 = A_R$ = scala delle aree.

Risulta pertanto:

$$F_R = \rho_R A_R (V_R)^2.$$

Tra le diverse forze agenti sul fluido (inerzia, gravità, viscosità, capillarità, elasticità) giocano un ruolo predominante, nei fenomeni idraulici di interesse per la presente applicazione, le forze di gravità e viscosità.

In termini pratici, non è possibile rappresentare tutte le forze nel modello con lo stesso grado di significatività rispetto al reale in quanto risulta tecnicamente incompatibile la contemporanea applicazione di tutti i rapporti di scala.

Normalmente viene pertanto ricercata una soluzione di compromesso che consenta una adeguata rappresentazione perlomeno dei fenomeni maggiormente incidenti sul comportamento idraulico del sistema.

Nel caso specifico, assumendo di utilizzare per le prove sul modello lo stesso fluido presente nella realtà (acqua), la scala della densità risulta unitaria, per cui dalle espressioni precedenti deriva la dipendenza delle scale delle forze dalle due variabili indipendenti L_R (scala geometrica) e T_R (scala dei tempi).

I fenomeni simulati sono rappresentati da deflussi a pelo libero e in pressione con significativi effetti dissipativi localizzati: la forza dominante è pertanto quella di gravità e la condizione di similitudine prevalente è rappresentata dalla conservazione del numero di Froude, il quale rappresenta il rapporto tra le forze di gravità e di inerzia.

La scala delle forze di gravità viene espressa dal rapporto:

$$\frac{\gamma_M}{\gamma_P}\left(\frac{L_M}{L_P}\right)^3 = \gamma_R (L_R)^3 .$$

La conservazione del numero di Froude impone l'uguaglianza del rapporto delle forze di gravità e di inerzia tra modello e prototipo, e di conseguenza l'uguaglianza dei rispettivi rapporti di scala.

Risulta pertanto, in base alle espressioni precedentemente riportate:

$$\gamma_R (L_R)^3 = \frac{\gamma_R}{g_R}(L_R)^3 \frac{L_R}{T_R^2} .$$

Dall'espressione precedente e dall'analisi dimensionale dei parametri risultano i seguenti rapporti di scala per le grandezze di principale interesse idraulico.

Tempo = $T_R = (L_R)^{1/2} (g_R)^{-1/2}$;

Velocità = $V_R = (L_R)^{1/2} (g_R)^{1/2}$;

Portata = $Q_R = (L_R)^{5/2} (g_R)^{1/2}$;

Scabrezza (Strickler)	=	$C_R = (L_R)^{-1/6}$;
Massa	=	$(L_R)^3 \gamma_R (g_R)^{-1}$;
Densità	=	$\gamma_R (g_R)^{-1}$;
Peso	=	$(L_R)^3 \gamma_R$;
Pressione	=	$(L_R) \gamma_R$;
Energia	=	$(L_R)^4 \gamma_R$;
Potenza	=	$(L_R)^{3,5} \gamma_R (g_R)^{1/2}$;
Viscosità assoluta	=	$(L_R)^{1,5} \gamma_R (g_R)^{-1/2}$;
Tensione superficiale	=	$(L_R)^2 \gamma_R$.

Considerando come sia il prototipo che il modello operino sotto la stessa accelerazione di gravità, nei casi applicativi dei rapporti di scala sopra riportati si pone $g_R = 1$.

Assumendo per il modello in esame la scala geometrica:

$L_R = 1:40$

derivano per le principali grandezze di interesse i rapporti di scala sotto riportati.

Lunghezze	=	***LR***	***= 1/40***	***= 0,025.***
Tempi	=	***TR***	***= (1/40)1/2·1***	***= 0,1581.***
Velocità	=	***VR***	***= (1/40)1/2·1***	***= 0,1581.***
Portate	=	***QR***	***= (1/40)5/2·1***	***= 0,0000988 = 1:10121***
Scabrezza	=	***CR***	***= (1/40)-1/6***	***= 0,5407***

Ne deriva in particolare che la portata di progetto (450 mc/s nel prototipo) sarà rappresentata nel modello con la portata di 44,5 l/s.

Per verificare che, con le scale suddette, venga mantenuta la significatività idraulica anche rispetto ai fenomeni viscosi, occorre svolgere una verifica dei numeri di Reynolds (Re) del modello nel tratto soggetto a minori effetti dissipativi, rappresentato dalla galleria policentrica, in base alle grandezze idrauliche derivanti dalla trasposizione in scala dei dati di progetto.

Il valore di tale parametro, valutato in base all'espressione sotto riportata, dev'essere tale da garantire sia nel modello che nel prototipo l'appartenenza allo stesso regime di moto dei fenomeni idrodinamici interessati.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

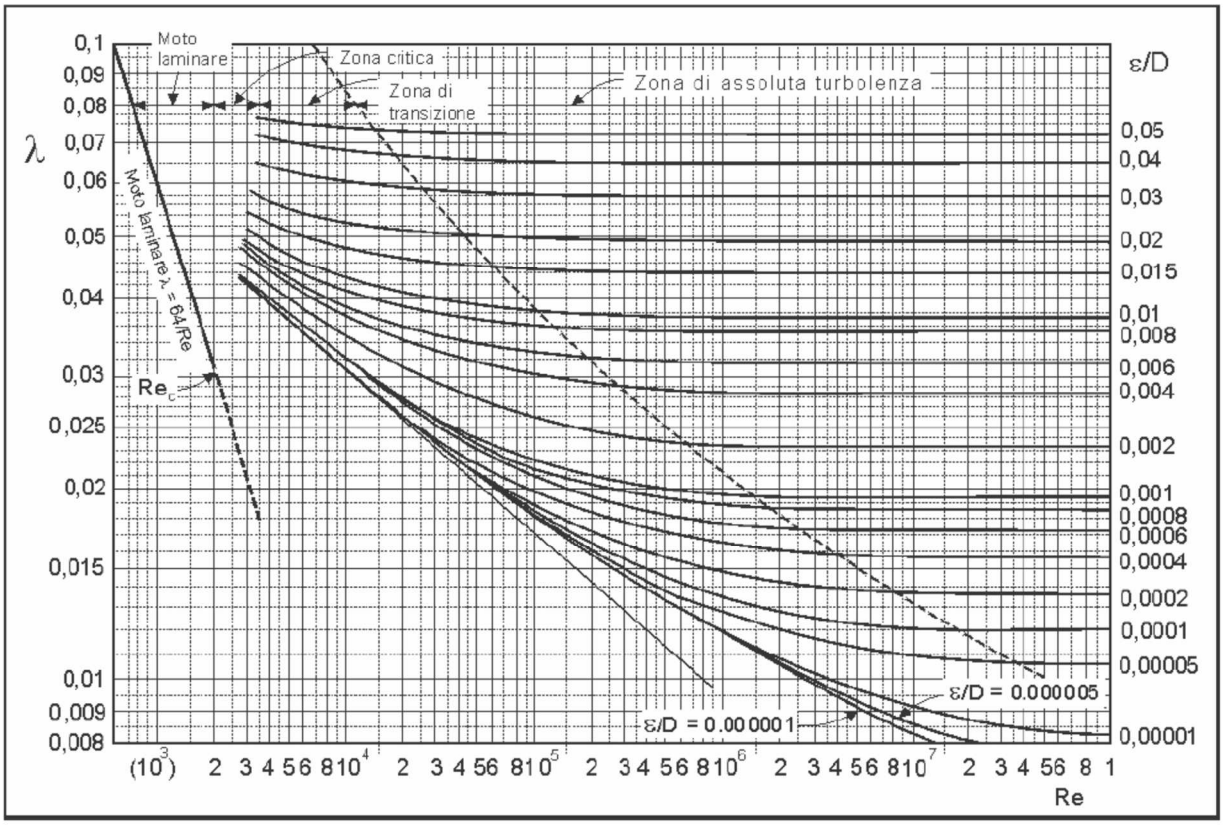
Con:
ρ = densità dell'acqua;
μ= viscosità dell'acqua;
V= velocità dell'acqua;
D= diametro o dimensione caratteristica.

Il valore medio del numero di Reynolds nel modello relativo al deflusso della portata di progetto (44,5 l/s) nella galleria policentrica risulta:
Re [-] ≈ 300.000.

Considerando il campo di valori di scabrezza relativa del modello, compresi tra 0,002 e 0,0004 (funzione anche della variabilità nei materiali e della presenza di giunzioni, per quanto ben raccordate), risultano dal noto diagramma di Moody sotto riportato punti di funzionamento (Re, scabrezza relativa) compresi nel campo di moto turbolento e di transizione, che consentono pertanto di escludere l'instaurarsi di idrodinamiche di tipo laminare

L'assunzione della scala geometrica 1:40 è pertanto significativa, in quanto in grado di fornire una corretta rappresentazione delle meccaniche dei fenomeni idraulici rappresentati.

In fase realizzativa la scala del modello sarà ulteriormente ottimizzata in funzione delle esigenze costruttive delle singole componenti.

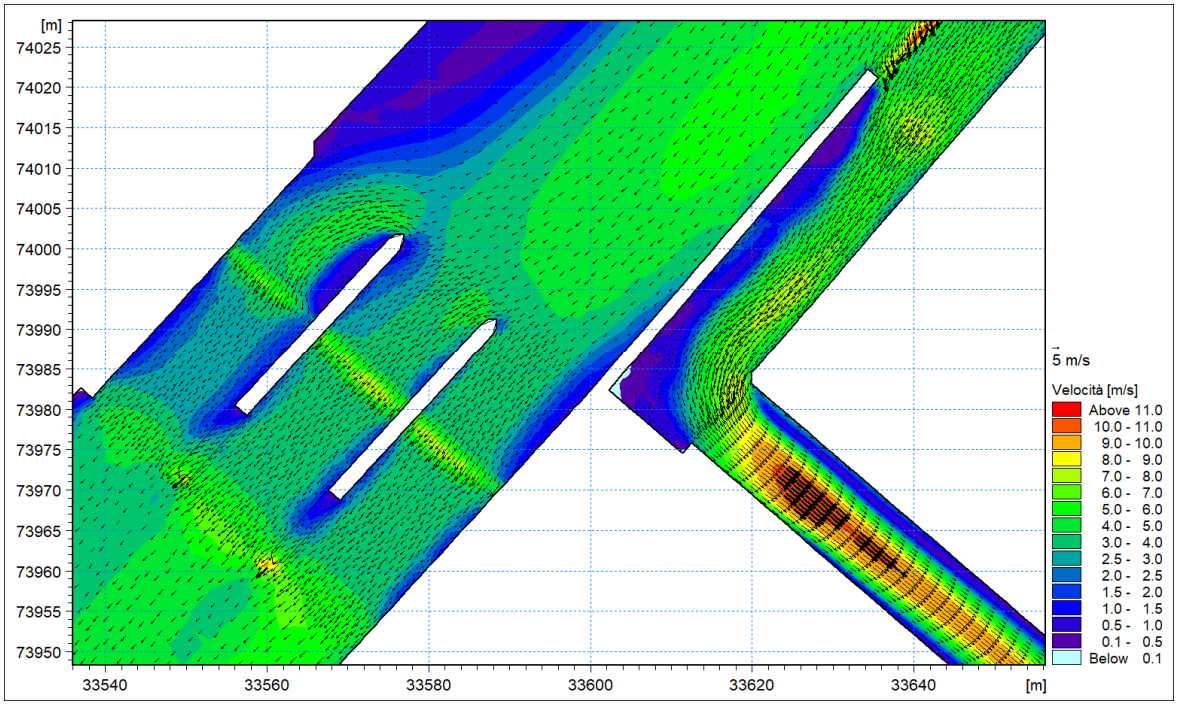


3 Caratteristiche dimensionali e costruttive del modello

Il modello sarà inserito in un circuito idraulico di prova alimentato da pompe a numero di giri variabile e dotato di serbatoio di stoccaggio dell'acqua di volume sufficiente a garantire la stabilità della portata defluente nel corso delle prove.

Le opere idrauliche da rappresentare nel modello presentano complessivamente uno sviluppo longitudinale (in asse al Bisagno) di circa 5 m e in senso trasversale (in asse alla galleria di scarico) di circa 6 m.

A monte del modello sarà predisposta una vasca di alimentazione idonea a dissipare e regolarizzare il flusso di alimentazione dall'impianto di pompaggio e provvista dei dispositivi di regolazione idonei a orientare il flusso in ingresso in base ai campi idrodinamici al contorno rispetto al settore di interesse simulati con il modello numerico 2D, come evidenziato nella figura che segue.



Particolare del campo di flusso nel tratto terminale del canale collettore e nella zona di imbocco della galleria policentrica, da simulazione numerica 2D.

In particolare il dispositivo di alimentazione consentirà di riprodurre nel tratto canalizzato tra la fine dello sfioratore e l'inizio della galleria una distribuzione di flussi equivalente a quella ottenuta dalla soluzione numerica. In alternativa, come già accennato, qualora questa impostazione della condizione di monte risultasse di complessa attuazione, si opterà per la rappresentazione dell'intero sfioratore laterale con relativo canale collettore (questa soluzione comporterà l'alimentazione del modello con l'intera portata di progetto defluente nel Bisagno).

La condizione di valle del modello sarà assegnata in una sezione di controllo terminale del tratto della galleria di scarico rappresentato nel modello, imponendo la corrispondenza con il livello di deflusso in questa sezione risultante dai calcoli idraulici.

Per consentire questa regolazione il tratto in galleria sarà opportunamente prolungato e collegato a una vasca terminale provvista di dispositivi (di sfioro e in pressione) idonei a riprodurre a monte della stessa le condizioni di livello richieste.

La stessa vasca consentirà lo scarico della portata nel circuito di prova del laboratorio.

Per la realizzazione del modello idraulico sarà costruita una struttura combinata in carpenteria metallica e componenti in plexiglass; tale soluzione è stata adottata al fine di unire le caratteristiche di robustezza proprie dei profilati metallici e delle lastre, adottati per rappresentare le parti a sezione aperta (alveo, sfioratore, canale collettore) alla buona lavorabilità e trasparenza del plexiglass, queste ultime necessarie per la rappresentazione in scala della galleria policentrica a sezione chiusa, in modo da consentire la visualizzazione dei fenomeni idrodinamici.

Il modello sarà equipaggiato con idonea strumentazione di misura della portata, dei livelli e delle velocità:

- misuratore di portata a induzione magnetica installato sul circuito in pressione di alimentazione del modello;
- misuratori di portata a stramazzo con asta micrometrica per la misura di eventuali flussi di ripartizione/scarico necessari per effettuare le regolazioni nel corso delle prove idrauliche a valle del misuratore generale del circuito;

- idrometri a scala graduata millimetrica applicati per visualizzare i livelli nei punti di interesse del modello (monte sfioratore, canale collettore, imbocco galleria);
- punte micrometriche con nonio per la mappatura delle quote idriche nelle aree e nelle sezioni di interesse del modello (tratto canalizzato tra il canale collettore dello sfioratore e l'imbocco della galleria, sezioni della galleria con accesso da apposite fenditure praticate nella calotta in plexiglass;
- micromulinelli per la misura delle velocità di flusso in punti caratteristici.

Saranno inoltre predisposte postazioni fisse per l'esecuzione di riprese foto e video nel corso delle prove.



Viste esemplificative del modello fisico di una galleria di scarico con vasca di dissipazione terminale, realizzato in plexiglass con tecniche simili a quelle previste per il modello in oggetto.

4 PROVE IDRAULICHE

Sul modello allestito con le modalità sopra descritte sarà svolto, dopo una fase di avvio e di test finalizzata a ottimizzare le regolazioni e le misurazioni, un programma di prove idrauliche costituito da una serie di simulazioni con portate gradualmente crescenti.

La procedura di ogni prova si baserà sulle seguenti fasi.

- Predisposizione del modello nello specifico assetto previsto per la prova, rilevamento degli zeri strumentali, alimentazione del modello, regolazione della portata sul valore di prova, stabilizzazione delle condizioni di deflusso.
- Osservazione generale delle condizioni di deflusso in tutte le componenti del modello.
- Predisposizione della documentazione fotografica e video da postazioni fisse riferite a tutte le componenti del modello.
- Rilievo e annotazione dei dati strumentali (livelli, portata di circolazione generale, eventuali portate parzializzate, velocità).
- Analisi preliminare dei dati strumentali per individuazione di eventuali anomalie e conseguente ripetizione delle misure.
- Chiusura della alimentazione.

Con i dati rilevati saranno eseguite rappresentazioni (mappe e profili) e saranno ricercate correlazioni con le portate defluenti (scale di deflusso) utili per estrapolazioni nelle condizioni di deflusso non simulate direttamente.

Sarà inoltre svolta una dettagliata analisi specialistica dei fenomeni idrodinamici visualizzati nel modello, per identificare eventuali criticità e ricercare interventi risolutivi/mitigativi.

In caso di significativa possibilità di attuare interventi migliorativi si procederà all'adattamento del modello e alla replicazione delle prove idrauliche nelle nuove condizioni.