



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione Generale per le Dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche
Ufficio tecnico per le dighe di Milano

Piazza R. Morandi, 1 – 20121 Milano MI
dighemi@pec.mit.gov.it
Tel. 02/880041 - Fax 02/88004308

Al Agenzia Interregionale per il Fiume Po
Corso Garibaldi, 75
43100 Parma
protocollo@cert.agenziapo.it

e, p.c. al
Ministero delle Infrastrutture e dei
Trasporti
Direzione Generale per le dighe, le
infrastrutture idriche ed elettriche
dg.digheidrel@pec.mit.gov.it

Oggetto: Diga di BAGANZA (Prov. di Parma) – Rif. SDI 1839
Parere ai sensi dell'art. 1 del d.P.R. 1363/59

In relazione al progetto preliminare per i “Lavori di realizzazione della cassa di espansione del Torrente Baganza nei comuni di Felino, Sala Bagnza, Collecchio e Parma”, trasmesso da Codesta Agenzia con nota n. 34991 del 30/11/15 (ns. prot n. 25192 del 10/12/15), si esprime parere favorevole ai sensi dell'art. 1 del d.P.R. 1363/59 nei limiti delle osservazioni e prescrizioni contenute nel paragrafo 7 dell'allegata relazione istruttoria.

Gli approfondimenti richiesti potranno avere aver luogo anche in sede di progettazione definitiva, a condizione che la medesima comprenda e aggiorni anche le richiamate valutazioni comparative proprie della fase preliminare, eccezion fatta per lo studio dell'onda di piena per manovre degli organi di scarico (Circ. Min. 1125/86) che dovrà essere inviato a quest'Ufficio entro mesi sei dalla data della presente.

Si allega alla presente nota, oltre la relazione istruttoria di quest'Ufficio, datata 29/01/16, anche il parere reso dall'Arpa Regione Emilia Romagna Area Idrologia e Idrografia con nota n. 1575 del 23/12/2015 circa il valore individuato della portata massima di piena.

Il Dirigente *ad interim*
(Dr. Ing. Henry DEL GRECO)



DIREZIONE GENERALE PER LE DIGHE E LE INFRASTRUTTURE
IDRICHE ED ELETTRICHE

UFFICIO TECNICO PER LE DIGHE DI MILANO

REALIZZAZIONE DI SERBATOIO DI LAMINAZIONE SUL T. BAGANZA

(PR - RIF. SDI 1839)

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE ISTRUTTORIA

1. PREMESSA

La cassa di espansione sul torrente Baganza ha la finalità di laminare:

- l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni a valori tali da garantire la sicurezza idraulica dell'abitato di Parma;
- l'evento di piena con tempo di ritorno 100 anni, garantendo una portata massima in uscita non superiore a 300 m³/s, indispensabile, assieme alla cassa sul torrente Parma, per la sicurezza idraulica dell'abitato di Colorno.

Il raggiungimento della sicurezza idraulica dell'abitato di Colorno richiede, rispetto al progetto preliminare del 2004, una notevole riduzione della portata massima in uscita dalla cassa del Baganza ed un significativo incremento (38%) del volume di laminazione di circa 1.3 milioni di m³ (da 3.4 a 4.7 milioni di m³).

Al fine di ridurre i costi di costruzione e aumentarne la flessibilità, il Gestore ha optato per una cassa di laminazione con un unico invaso óin lineaô: tale configurazione infatti consente di realizzare un solo manufatto, dotato di paratoie mobili, che possono consentire di mantenere la portata in uscita dal manufatto stesso pressoché costante, indipendentemente dal livello idrico nell'invase. Tale soluzione progettuale consente di aumentare significativamente l'efficienza di laminazione dell'opera, riducendo così il volume complessivo da invasare per raggiungere i prefissati obiettivi.

La localizzazione dell'area invasabile è sostanzialmente la medesima del progetto preliminare 2004, con uno spostamento verso valle di circa 500 m del manufatto di regolazione. Nella nuova configurazione non è più previsto l'invase 3 (fuori linea - valle), per cui, per occupare sostanzialmente la medesima zona, è stato necessario spostare a valle il manufatto di regolazione.

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La soluzione progettuale selezionata è costituita da un invaso in linea sul t. Baganza. Sulla base del volume complessivo necessario per la laminazione, è stata definita la geometria dell'invaso che consente di ricavare tale volume, rispettando sostanzialmente i vincoli territoriali e cercando altresì di limitare l'altezza delle arginature e del manufatto di regolazione rispetto al piano campagna. Per ottenere questi obiettivi parte del volume è stato ottenuto mediante scavo, riducendo la pendenza dell'alveo all'interno della cassa allo 0.2% e prevedendo un abbassamento significativo sia dell'alveo sia del fondo della cassa rispetto alla condizione attuale. Il collegamento fra l'invaso di laminazione e l'alveo del torrente a monte è ottenuto mediante la realizzazione di una serie di briglie. L'abbassamento dell'alveo in corrispondenza delle briglie consentirebbe anche il transito della prosecuzione della strada Pedemontana in modesta elevazione rispetto al piano campagna circostante, riducendone i costi e l'impatto paesaggistico ed ambientale.

Sulla base dei vincoli presenti e della capacità richiesta alla cassa di espansione è stato ubicato il manufatto di regolazione, nonché definita l'estensione planimetrica della cassa. Il tracciato planimetrico dell'arginatura presenta alcuni vincoli dovuti, in sponda destra, alla presenza della S.P. 56 e di una abitazione e a monte per la presenza dell'attraversamento di un metanodotto. La definizione dello sviluppo trasversale del manufatto regolatore dipende dal funzionamento idraulico dello scaricatore di superficie, il quale ha l'obiettivo di allontanare le portate di piena eccezionali, in modo che il livello nell'invaso non superi mai la quota di massima ritenuta, la quale si trova al di sotto del coronamento degli argini di una quantità pari al franco di sicurezza. Per tale motivo, in prima analisi, si è valutato lo sviluppo dello scaricatore di superficie necessario.

Al vincolo imposto dal regolamento dighe, circa la portata millenaria da smaltire completamente con gli scaricatori di superficie, stimata in $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, si è aggiunto quello imposto dal carico limite sullo stramazzo, che è stato definito pari a 2 m. Si ottiene così una lunghezza dello stramazzo di circa 250 metri. Il risultato evidenzia una forte differenza tra la lunghezza del ciglio sfiorante e la larghezza dell'alveo attuale, dell'ordine di 100-120 m. Il progettista ha ritenuto che una diga rettilinea di circa 250 m di lunghezza non fosse tecnicamente ed economicamente proponibile, comportando necessariamente anche la realizzazione di un impalcato da ponte soprastante ed una vasca di dissipazione al piede pressoché delle stesse dimensioni ed ha quindi optato per una soluzione alternativa, ponendo come vincoli uno sviluppo trasversale del manufatto entro i 120-130 m e, al contempo, il mantenimento di un carico sullo stramazzo pari a 2 m, per evitare arginature di eccessiva altezza ed impatto.

L'idea progettuale sviluppata per massimizzare lo sviluppo della soglia di sfioro ha preso spunto dalla configurazione del manufatto, già esistente, realizzato sulla cassa d'espansione del Torrente Parma. In particolare, si è ritenuto opportuno adottare sfioratori della tipologia a becco anatra, i quali attraverso un'opportuna conformazione geometrica, riescono a

garantire uno sviluppo del ciglio sfiorante dello stramazzo superficiale consono con quello di progetto, contenendo l'ingombro della struttura portante del manufatto entro i limiti prefissati; tali dispositivi presentano una sezione trasversale sagomata secondo un profilo Creager Scimemi.

L'adozione di tale forma ha permesso quindi di impostare una configurazione di progetto dello sbarramento di lunghezza pari a 129 m, senza tener conto dei muri d'ala atti all'immorsamento della diga nel rilevato arginale e, al contempo, garantendo una lunghezza di sfioro effettivo adeguata.

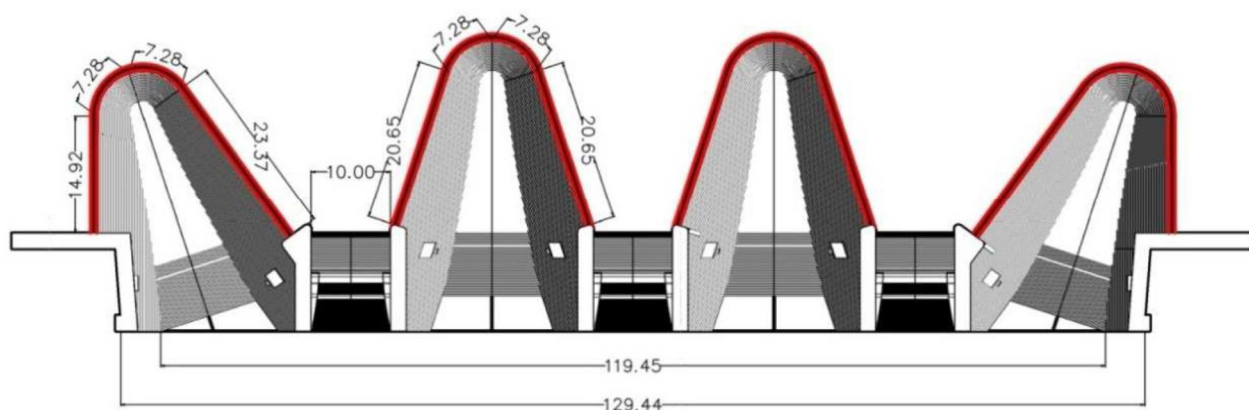


Fig. 1

Come si può notare dalla Figura 1 la configurazione di progetto del manufatto è costituita da quattro becchi d'anatra, di cui i due centrali ad asse rettilineo e quelli laterali inclinati. Tali becchi sono intercalati da tre tratti di sfioro rettilinei in corrispondenza delle luci di fondo, di larghezza pari a 10 m ciascuno.

Gli elementi caratteristici dell'invaso della cassa di espansione sono i seguenti:

- l'alveo sistemato del torrente Baganza ha una quota di monte di 133.5 m s.l.m. e una di valle, al piede dello sbarramento, di 131.0 m s.l.m., con una pendenza media dello 0.2% il collegamento fra l'invaso di laminazione e l'alveo del torrente a monte è ottenuto mediante la realizzazione di una serie di briglie;
- il fondo della cassa presenta una quota di monte di 135.0 m s.l.m. e una quota di valle di 134.0 m s.l.m.;
- due argini di modesta altezza separano l'alveo dalle zone di espansione; essi hanno una quota di monte di 136.5 m s.l.m. e una di valle di 135.0 m s.l.m.. Sugli stessi, in prossimità del manufatto, sono presenti due finestre, che portano la quota dell'argine da 135.0 a 134.0 m s.l.m. per una larghezza di 4 m e per garantire lo svuotamento totale della cassa;
- gli argini perimetrali hanno il coronamento a quota 145.5 m s.l.m. Essi si elevano al massimo rispetto al piano campagna a valle, posto a quota 131.5 m s.l.m., di circa 14

m; l'elevazione si riduce progressivamente verso monte, fino ad azzerarsi ove il piano campagna medesimo raggiunge la quota di 145.5 m s.l.m. Procedendo ulteriormente verso monte la cassa non è più arginata ed il volume a disposizione si ottiene solo mediante scavo;

- l'alveo del torrente Baganza all'interno dell'invaso avrà una pendenza costante del 2 per mille, contro una pendenza naturale attuale del 1.5%, partendo dalla quota di monte di 133.5 m e arrivando a valle, dopo aver percorso 1200 m, al piede dello sbarramento, alla quota di 131.0 m; la larghezza costante è pari a 100 m. Entrambe le scarpate arginali hanno una pendenza di 2:1 e terminano sulla sommità dell'arginello, in modo da assicurare un contenimento di almeno 3 m a monte, che si incrementa a 4 m a valle, in corrispondenza del manufatto. Ciò per garantire sia il contenimento in alveo della portata di 300 m³/s, nonostante l'effetto di rigurgito operato dal manufatto, che per garantire il riempimento della cassa da valle che è uno dei requisiti fondamentali per evitare eccessive velocità in fase di riempimento e garantire un buon funzionamento della cassa.
- La funzione degli arginelli è appunto quella di garantire che per portate modeste del torrente la cassa non venga invasata; solo quando la portata supera i 290 m³/s la cassa inizia ad invasarsi, in modo da non sprecare anticipatamente parte del volume disponibile;
- Le arginature perimetrali della cassa (di volume complessivo pari a ca. 545'000 m³) hanno una pendenza di 2:1 intervallata ogni 5 m di dislivello da banche della larghezza di 4.0 m (aventi lo scopo sia di interrompere il ruscellamento che di permettere di muoversi agevolmente sugli argini per ispezioni e manutenzioni). Il coronamento dell'argine, posto a quota di 145.5 m s.l.m., è largo anch'esso 5.0 m per consentire il transito di mezzi di servizio. Al fine di garantire la necessaria tenuta idraulica, in relazione al fatto che il corpo arginale sarà realizzato con materiale proveniente dagli scavi (con caratteristiche di impermeabilità non particolarmente elevate), si prevede la formazione di un diaframma impermeabile mediante colonne di jet-grouting compenstrate del diametro non inferiore a 80 cm. Gli argini terminano nella parte esterna dell'opera sul piano campagna, mentre all'interno alla quota di progetto, che è inferiore al piano campagna stesso. Le arginature presentano una lunghezza lineare di circa 2.200 m. L'opera comporta lo scavo di circa 3,2 milioni di m³ di materiale e un volume di riporto per la realizzazione delle arginature pari a circa 545'000 m³.

Di seguito vengono riassunti i principali dati della soluzione di progetto:

- Massimo volume di invasore (quota idrica 143 m s.l.m.): 6.2 milioni di metri cubi
- Massimo volume alla soglia di sfioro (quota idrica 141 m s.l.m.): 4.7 milioni di metri cubi
- Lunghezza del ciglio sfiorante: 250 metri
- Larghezza del manufatto di regolazione: 130 metri
- Volume complessivo di cls manufatto di regolazione: c.a. 60'000 metri cubi

- Superficie dello specchio d'acqua a massimo invaso: 74 ettari circa
- Altezza massima del manufatto regolatore (rispetto al piano di fondazione): 12 metri
- Altezza massima del manufatto regolatore (rispetto alla soglia delle luci di fondo) 10 metri
- Altezza massima delle arginature principali: 13 metri
- Lunghezza complessiva arginature principali: 2.200 metri
- Altezza massima delle arginature secondarie: 4 metri
- Portata uscente (evento duecentennale, scavo completo), con manovra paratoie: 430 metri cubi al secondo
- Portata uscente (evento duecentennale, scavo parziale), con manovra paratoie: 500 metri cubi al secondo
- Portata uscente (evento duecentennale, scavo completo), luci parzializzate a 2.10 m: 500 metri cubi al secondo
- Portata uscente (evento centennale, scavo completo), con manovra paratoie: 300 metri cubi al secondo

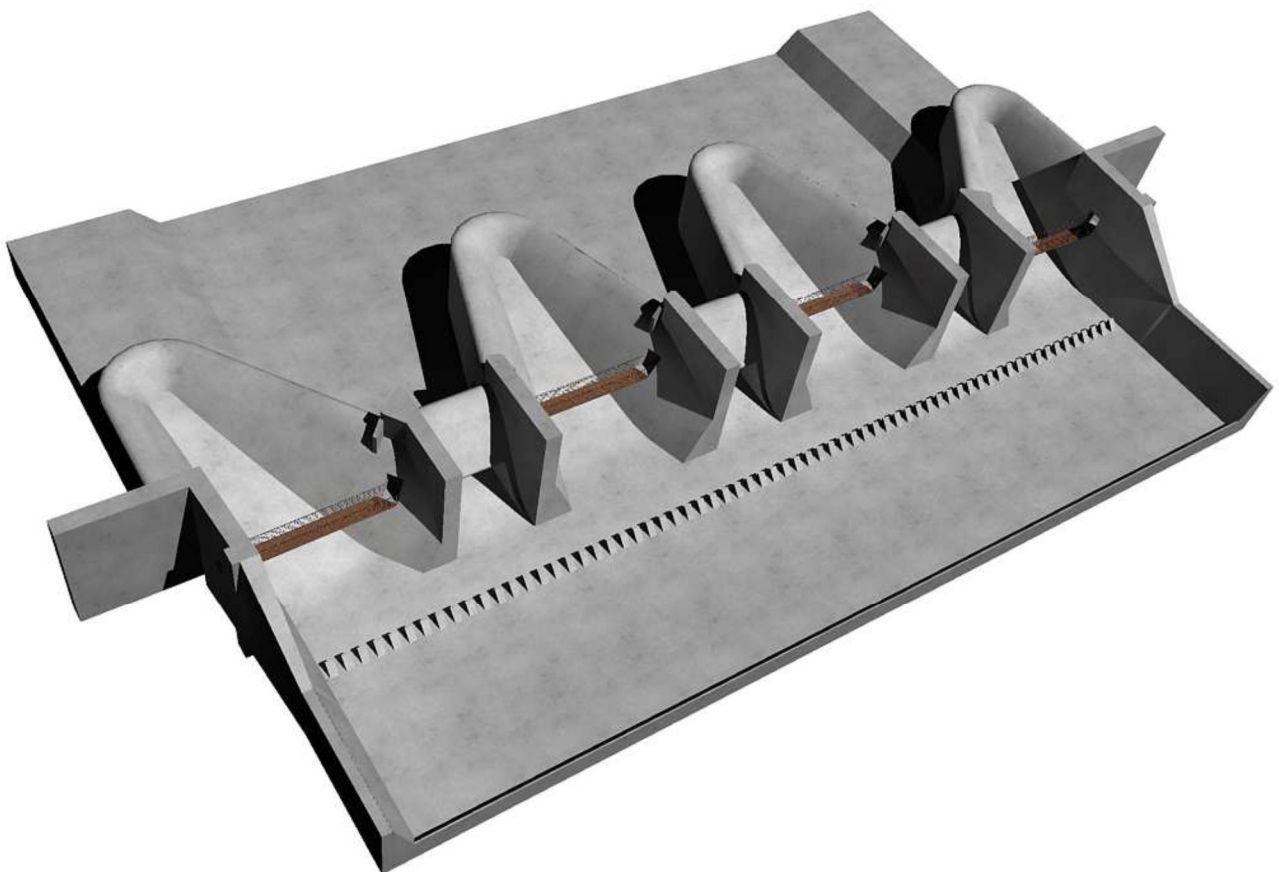


Fig. 2

Il manufatto di regolazione (Figura 2) si sviluppa per una larghezza di circa 130 m, presenta tre luci di fondo rettangolari situate alla medesima quota dell'alveo di monte (131 m s.l.m.), ciascuna delle quali larga 8 m e alta 3 m, e uno sfioratore composto da tre tratti rettilinei in corrispondenza delle bocche e quattro tratti curvilinei con la configurazione a "becco d'anatra".

Le luci di fondo soddisfano una doppia esigenza; la prima è quella di consentire quotidianamente l'allontanamento a pelo libero delle portate di magra e la seconda è quella di ostacolare le onde di piena in arrivo funzionando sotto battente in modo tale da limitare la portata e consentire così l'invaso della cassa. L'accesso alle luci è presidiato sul paramento di monte da paratoie mobili, necessarie sia durante la fase di collaudo, per le prove di invaso, sia in fase di esercizio, nel corso degli eventi di piena, per operare la regolazione dell'invaso nel modo più efficiente possibile. Quando il livello idrico all'interno dell'invaso supera il ciglio sfiorante, posto alla quota di 141 m s.l.m., la portata tracima dai becchi d'anatra e dei tratti rettilinei di sfioro posti sopra le bocche.

Vengono riassunte le misure degli elementi principali del manufatto limitatore:

- larghezza del corpo trasversale al torrente :130 m;
- tre luci di fondo dotate di paratoie mobili, di altezza 3 m e larghezza 8 m ciascuna;
- ciglio sfiorante composto da tre tratti rettilinei (3 x 10 m) e quattro scaricatori a "becco d'anatra" (217.42 m) per uno sviluppo complessivo di sfioro di 247.42 m;
- quota dell'alveo inciso a monte del manufatto e quota fondo luci: 131 m s.l.m.;
- quota della vasca di dissipazione a valle del manufatto: 129 m s.l.m.;
- quota massima di regolazione (quota ciglio sfiorante): 141 m s.l.m.;
- quota massima d'invaso: 143 m s.l.m.;
- quota di coronamento arginale: 145.5 m s.l.m.;
- franco: 2,50 m;
- altezza massima del manufatto: 16.50 m (tra la quota di coronamento arginale, 145.5, e la quota della vasca di dissipazione a valle, 129 m);
- volume approssimativo di calcestruzzo: ca. 40.000 mc, di cui 26.000 per la sola platea di fondazione;
- ponte di servizio, costituito da:
 - da 4 a 8 campate, in travi di c.a. precompresso;
 - parapetti di protezione;
 - passerella di servizio, per il collegamento del cunicolo superiore che attraversa i conci del manufatto all'interno del quale sono ricavate le luci di fondo.

La presenza delle paratoie di regolazione su ciascuna delle tre luci di fondo implica la necessità di realizzare un impianto per il quale si possono preliminarmente prevedere i seguenti componenti:

- paratoie piane in corrispondenza delle luci di fondo, con scudo in acciaio zincato a caldo e verniciato complete delle guide e battute, della struttura e dei meccanismi di

azionamento muniti di attuatore elettromeccanico (od oleodinamico, in funzione della progettazione di dettaglio che sarà eseguita nelle successive fasi progettuali), dotati di viti di manovra di tipo saliente; gargami in acciaio inox; tenuta su quattro lati in una sola direzione ed elementi di tenuta perimetrali in neoprene e cuneo di chiusura nella direzione di spinta;

- griglie di presidio delle luci di fondo, inclinate a salire nel verso della corrente, la cui funzione sarà quella di intercettare il materiale flottante in arrivo da monte durante gli eventi di piena e che tende ad accumularsi in corrispondenza delle paratoie che esercitano un effetto di richiamo, in modo tale da consentire il normale utilizzo degli organi di regolazione;
- impianto elettrico (e/o oleodinamico), con relativi cavidotti e quadri di comando di potenza e controllo collocati presso l'edificio servizi posto sul coronamento in destra idraulica; dovrà essere ovviamente predisposto un idoneo allaccio alla linea elettrica, con trasformatori di potenza locali, qualora necessari al funzionamento dell'impianto delle paratoie, nonché gruppo elettrogeno di idonea potenza al fine di garantire sia l'illuminazione notturna che l'azionamento degli organi mobili di regolazione in completa assenza di alimentazione elettrica da rete ENEL;
- impianto elettrico di illuminazione a servizio del coronamento del manufatto di regolazione (ed in particolare la zona a monte delle luci di fondo in cui sono installate le paratoie), nonché dei paramenti di monte e di valle e della vasca di dissipazione,

La vasca di dissipazione è posizionata ad una quota pari a 129 m s.l.m. e la sua dimensione trasversale corrisponde alla larghezza del manufatto, pari a circa 120 m. Per quanto concerne il pre-dimensionamento dello sviluppo longitudinale e dei blocchi dissipatori il progettista si è riferito alla letteratura corrente sottolineando nel contempo che le dimensioni della vasca di dissipazione, ed in particolare la distanza dei blocchi dalle luci, la loro conformazione ottimale e dimensione, dovranno essere perfezionate tramite prove su modello fisico ad adeguata scala.

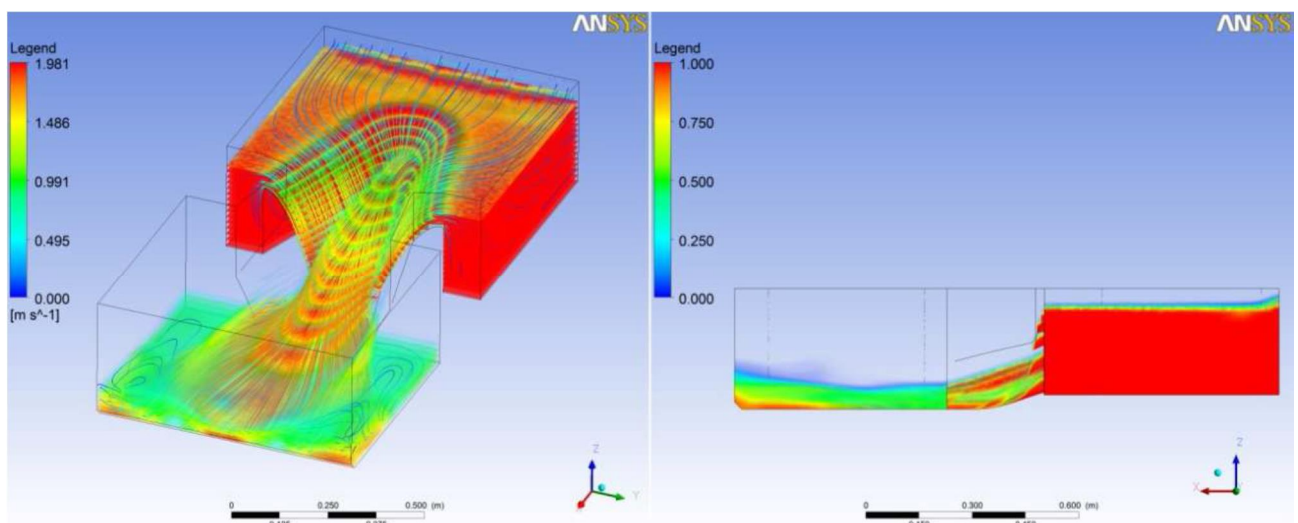


Fig. 3

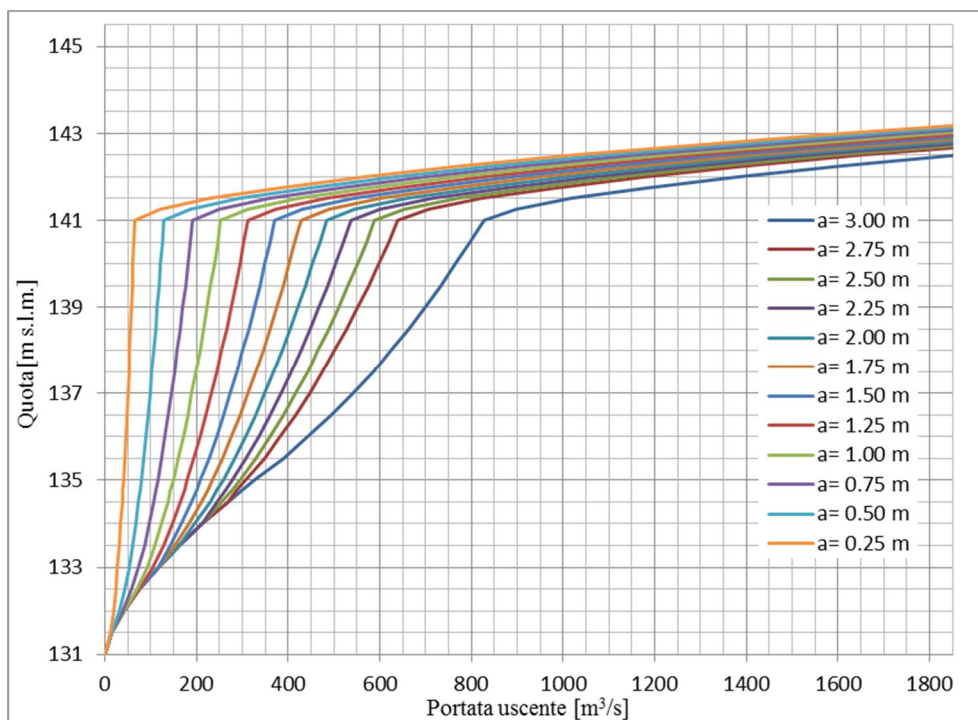
In fase di progetto preliminare, anche in base a considerazioni effettuate con modellazioni numeriche tridimensionali dell'efflusso dai becchi d'anatra (Fig. 3), si è assunta la lunghezza complessiva della vasca pari ad $L = 28$ m ed un'unica fila di denti di dissipatori posti a 6 m di distanza dal filo di valle delle luci. La vasca risulta depressa di 1.2 m al di sotto dell'alveo di valle, al quale si raccorda mediante una soglia rialzata.

L'efflusso dal manufatto di regolazione avviene seguendo differenti campi di funzionamento, in funzione del livello idrico a monte dello stesso.

- Funzionamento a pelo libero. Si realizza un efflusso di questo tipo fino a tiranti idrici all'interno dell'invaso inferiori a 1.4-1.5 volte l'altezza libera della luce. In queste condizioni la vena fluida riesce a imboccare la luce mantenendosi a pelo libero, grazie all'abbassamento locale dovuto all'acquisto di altezza cinetica.
- Funzionamento sotto battente. All'aumentare del tirante idrico, per valori compresi tra 1.4-1.5 volte l'altezza libera delle luci e la quota del ciglio sfiorante, si realizza un efflusso dagli organi di scarico sotto battente, condizione nella quale la corrente risente fortemente delle dimensioni della luce libera e nella quale si può iniziare a ipotizzare di manovrare le paratoie.
- Funzionamento sotto battente e a stramazzo. Al superamento della quota del ciglio sfiorante entra in funzione anche lo scaricatore di superficie e la portata effluente in condizioni di sfioro si somma a quella che già sta effluendo sotto battente attraverso le paratoie.

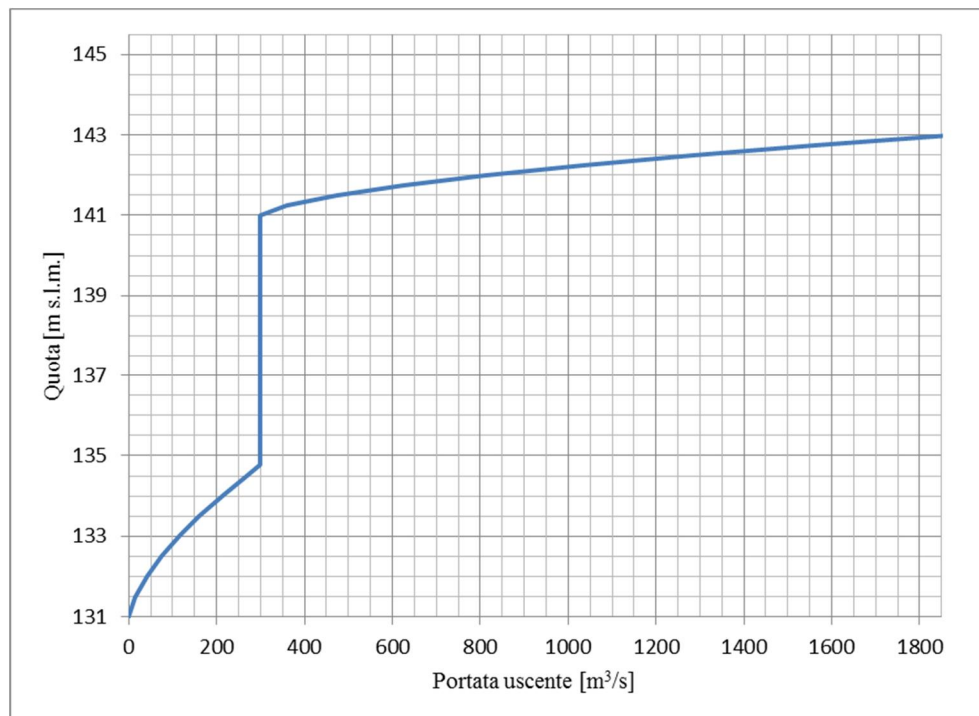
In Fig. 4 sono riportate le scale delle portate del manufatto regolatore, in funzione del grado di apertura delle paratoie. Ogni curva si riferisce a luci di fondo con apertura costante delle paratoie, la più esterna corrisponde a luci completamente sollevate.

Fig. 4



Nella Fig. 5 viene rappresentata una possibile regolazione in condizioni di piena che prevede la movimentazione delle paratoie in modo da ottimizzare l'uso del volume di invaso e limitare nel contempo la portata uscente. A titolo di esempio, fissato in $300 \text{ m}^3/\text{s}$ il massimo valore di portata che si vuole allontanare nell'alveo a valle, è prevista la manovra delle paratoie garantendo, in fase di funzionamento a battente, un efflusso costante e pari al valore desiderato.

Fig. 5



3. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

Il Progettista ha determinato la portata di massima piena procedendo in primo luogo ad acquisire i risultati dello studio svolto dal DICATeA dell'Università degli studi di Parma nel 2003 per conto del Servizio Provinciale Difesa del Suolo Risorse Idriche e Forestali della Regione Emilia - Romagna: *«Studio della messa in sicurezza del territorio parmense, con particolare riferimento alla realizzazione della cassa di espansione sul Torrente Baganza»*. Nello studio citato erano stati definiti gli idrogrammi sintetici in corrispondenza di diverse sezioni di interesse del sistema Parma ñ Baganza. In particolare, essendo disponibili le registrazioni delle onde di piena nel periodo 1975 ñ 2002 per la stazione di misura di Ponte Nuovo sul torrente Baganza, si era proceduto all'elaborazione statistica diretta degli idrogrammi di piena storici, determinati, a loro volta, dalla conversione delle altezze idriche registrate in idrogrammi di portata.

Le portate al colmo riportate nello studio citato sono state aggiornate con i dati raccolti nel periodo 2003-2013 alla stazione di Ponte Nuovo. I livelli idrometrici sono stati reperiti sul sito dell'ARPA Emilia-Romagna.

La Figura 6 riporta, sul piano di Gumbel, il campione di dati e le distribuzioni di probabilità di Gumbel, GEV e Log-normale.

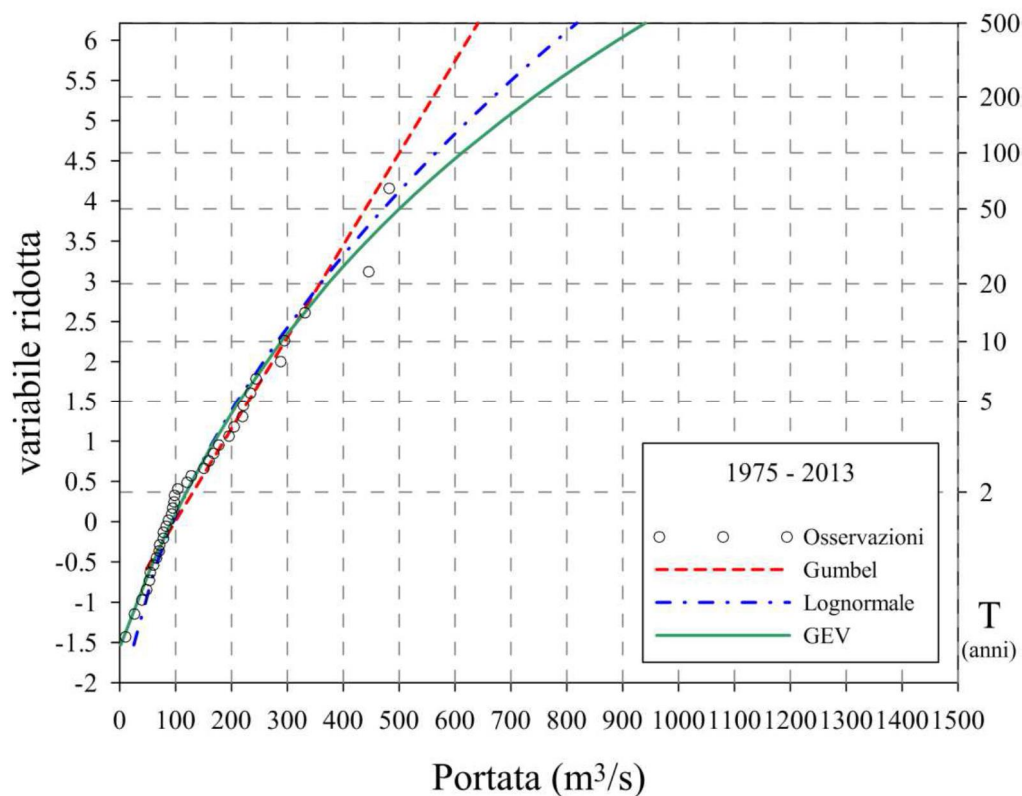


Fig. 6

I test statistici (Kolmogorov, Pearson), pur conducendo ad accettare tutte e tre le distribuzioni assumendo un livello di significatività del 5%, portano a scegliere la distribuzione GEV.

Nella Tabella 1 sono riportate le portate, per tempi di ritorno significativi (5-1000 anni), ottenute dalle elaborazioni statistiche. Si nota che, come di consueto, la distribuzione GEV fornisce, per tempi di ritorno elevati (>50 anni) valori significativamente maggiori della Lognormale e soprattutto, della distribuzione di Gumbel.

Tab. 1

	Portata (m ³ /s) Dati anni 1975 - 2013		
Tr (anni)	Gumbel	GEV	Lognormale
5	230	214	210
10	295	289	281
20	358	373	359
50	439	500	472
100	500	613	566
200	561	741	668
500	641	940	818
1000	702	1117	943

Il progettista ha rivalutato le analisi idrologiche alla luce dell'evento di piena del 13 ottobre 2014, che ha provocato l'erosione in città, sia in destra che in sinistra idraulica, nel tratto

compreso tra la tangenziale sud ed il Ponte Nuovo. Durante l'evento il ponte ciclopedonale della Navetta è stato demolito dalla corrente ed il Ponte Nuovo è stato sormontato ed in parte danneggiato. Il colmo di piena di tale evento è stato valutato in 722 m³/s.

Assumendo valida la distribuzione GEV ottenuta in precedenza tale evento assumerebbe un tempo di ritorno di circa 180 anni.

Qualora invece si introducesse il dato del 2014, stimato in 722 m³/s, nel campione delle portate al colmo a Ponte Nuovo, e si rivalutassero i parametri delle distribuzioni di probabilità, si otterrebbe i seguenti valori di portata di piena, per assegnati tempi di ritorno (tab. 2):

Tab. 2

Tr (anni)	Portata (m ³ /s) Dati anni 1975 - 2014		
	Gumbel	GEV	Lognormale
5	269	229	234
10	354	324	327
20	435	438	430
50	541	628	587
100	619	809	721
200	698	1032	871
500	802	1409	1095
1000	880	1771	1286

L'introduzione del valore della portata di piena del 2014 nella serie storica ha come conseguenza l'incremento del 30% del valore della portata di piena secondo la distribuzione GEV; inoltre l'evento del 13 ottobre 2014 assume un valore del tempo di ritorno compreso tra 50 e 100 anni.

Il progettista ritiene che, pur non potendo prescindere dal considerare l'evento del 13 ottobre 2014, la sua introduzione nella statistica dei colmi di piena a Ponte Nuovo, se non pesata opportunamente, porti ad una sovrastima complessiva delle portate di piena. Per la costruzione degli idrogrammi sintetici di assegnato tempo di ritorno il progettista ha adottato (Tab. 3) un valore che corrisponde alla media pesata (con pesi 2/3 ed 1/3) delle portate ottenute mediante la distribuzione GEV non considerando e considerando l'evento del 13 ottobre 2014.

Tab. 3

Tr (anni)	Q (m ³ /s)
5	227
10	306
20	397
50	542
100	676
200	835
500	1093
1000	1332

Il valore di 1332 m³/s è stato assunto per la costruzione dell'idrogramma sintetico per T=1000 anni. Per la progettazione della lunghezza del ciglio sfiorante il progettista ha invece assunto il più cautelativo valore di Q₁₀₀₀=1500 m³/s.

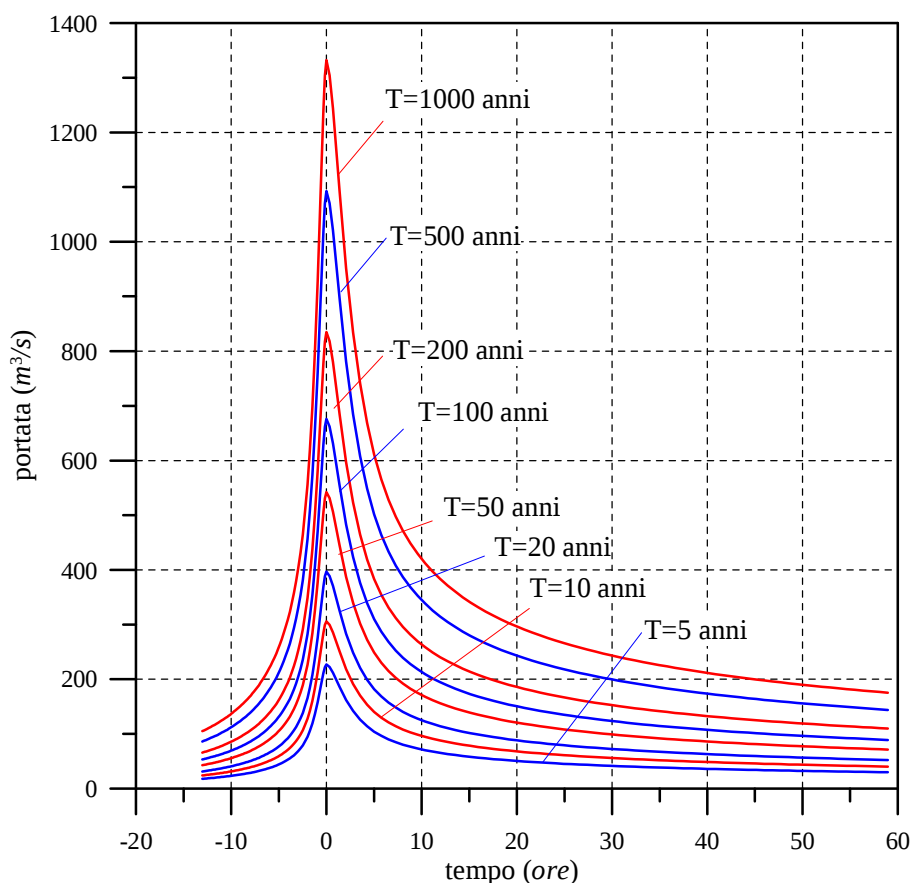


Fig. 7

Nella Fig. 7 sono riportate le onde di piena sintetiche per il t. Baganza a Ponte Nuovo assunte a base della progettazione.

Con nota n. 1575 del 23/12/2015 l'Arpa Regione Emilia-Romagna, Area Idrologia e Idrografia, Sede di Parma ha inviato il parere circa la stima della portata massima di piena.

4. ANALISI SISMICA

Per quanto attiene l'azione sismica di riferimento il progettista ha fatto riferimento alla macrozonazione sismica definita nel D.M. 14/01/2008, considerando che per l'opera in progetto, la vita nominale e la classe d'uso da considerare sono quelle relative alle opere strategiche rilevanti ai fini di un eventuale collasso. Nel dettaglio, i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base secondo le NTC08, in condizioni ideali di sito di riferimento, necessari per la definizione dello spettro di risposta elastico, sono riportati nella seguente tabella Tab. 3 in funzione dello specifico periodo di ritorno considerato per le verifiche SLV e SLD.

Tab. 3

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0,092	2,453	0,269
SLD	201	0,112	2,460	0,274
SLV	1898	0,237	2,501	0,298
SLC	2475	0,255	2,512	0,301

Dall'analisi di pericolosità sismica locale relativa al sito in esame il progettista ha ricavato, per determinati periodi di ritorno dell'azione sismica, l'accelerazione di picco orizzontale attesa al sito, i corrispondenti spettri isoprobabili e il contributo delle diverse coppie magnitudo-distanza alla pericolosità sismica del sito, espressa da un determinato parametro di scuotimento (i.e. l'accelerazione spettrale).

Per implementare l'analisi di risposta sismica locale, seguendo le indicazioni delle NTC08, sono stati adottati accelerogrammi naturali, ovvero registrazioni accelerometriche relative ad eventi sismici realmente avvenuti, reperibili nel database ITACA.

In accordo con la normativa, gli accelerogrammi sono stati selezionati tenendo conto della sismicità del sito in esame, tramite l'analisi di pericolosità sismica locale e in relazione alle caratteristiche sismo-genetiche della sorgente, alla magnitudo e alla distanza dalla sorgente, e scalati alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito. In particolare sono state considerate due condizioni di verifica: allo stato limite ultimo, considerando lo Stato Limite di Salvaguardia per la Vita (SLV) con un tempo di ritorno T_R pari a 1898 anni, e allo stato limite di esercizio, considerando lo Stato Limite di Danno (SLD) con un tempo di ritorno T_R pari a 201 anni.

Per le due condizioni sono stati selezionati 7 differenti accelerogrammi di input spettro compatibili: seguendo la normativa vigente (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5) la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie è stata quindi valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi. In particolare, le

accelerazioni attese in superficie allo SLV sono pari a circa 0,33g, allo SLD sono invece risultate pari a circa 0,17g.

Al fine di definire una ragionevole risposta sismica locale nel sito di interesse, la profondità del bedrock sismico di riferimento è stata inizialmente simulata in tre ipotesi, considerando i diversi accelerogrammi di input.

Dai risultati ottenuti, in generale si può assumere che il valore massimo di accelerazione in superficie è raggiunto nei casi di bedrock a 60 m e a 85 m di profondità dal p.c., con valori leggermente superiori, in tutti i casi analizzati, nella prima ipotesi. Risulta pertanto ragionevole supporre, nelle analisi di risposta sismica locale, un bedrock a profondità di 60 m dal p.c.. Per verificare la reale corrispondenza di tale valore con le condizioni effettivamente presenti nell'area in esame sono state eseguite opportune prove in sito, prova H/V, ricorrendo alle tecniche sismiche passive a stazione singola, comunemente denominata prova HVSR o prova di Nakamura. Tali prove non hanno fornito risultati particolarmente significativi da definire con ragionevole accuratezza una posizione del bedrock sismico. In assenza, dunque di chiare evidenze sperimentali, l'ipotesi di scegliere il bedrock sismico a 60 m di profondità rimane la più cautelativa.

5. GEOLOGIA, GEOTECNICA E PIEZOMETRIA

L'assetto geologico delle aree interessate dal Progetto Preliminare della Cassa di Espansione del Torrente Baganza è stato ricostruito derivando i dati generali da quanto riportato dalle Carte Geologiche regionali nonché, con un grado di maggior dettaglio, da quanto inserito nel Piano Strutturale Comunale del Comune di Sala Baganza del luglio 2010. Tali dati generali sono stati poi integrati con i risultati di due campagne di indagini svolte rispettivamente nel 2011, in cui sono stati realizzati 3 sondaggi geognostici, e nel 2012-2013, in cui sono stati eseguiti 16 sondaggi a carotaggio continuo, 9 a distruzione, pozzetti esplorativi, prove indirette di tipo penetrometrico e geofisico, prelievo di campioni per prove di laboratorio.

L'area di interesse è composta per la maggior parte da depositi quaternari alluvionali intravallivi terrazzati, appartenenti all'Alloformazione emiliano romagnola superiore (AES), unità alluvionale prevalentemente grossolana, di età Pleistocene medio - Olocene. In particolare sono presenti nell'area l'Allomembro di Ravenna (AES8) con spessore massimo di circa 20 metri e costituito da depositi prevalentemente ghiaiosi e da alluvioni sabbiose e limo-argillose solcate localmente da canali di ghiaie, e dall'Unità di Modena (AES8a), costituita da una successione prevalentemente ghiaiosa, con intercalazioni sabbiose, a giacitura suborizzontale e geometria lenticolare ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

Sulla base delle indagini geognostiche effettuate nel 2012 -2013 (tabella 4 e figura 8) e delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati, è stato ricostruito il modello stratigrafico del terreno di fondazione delle nuove opere, costituito da 10 orizzonti stratigrafici, di ciascuno dei

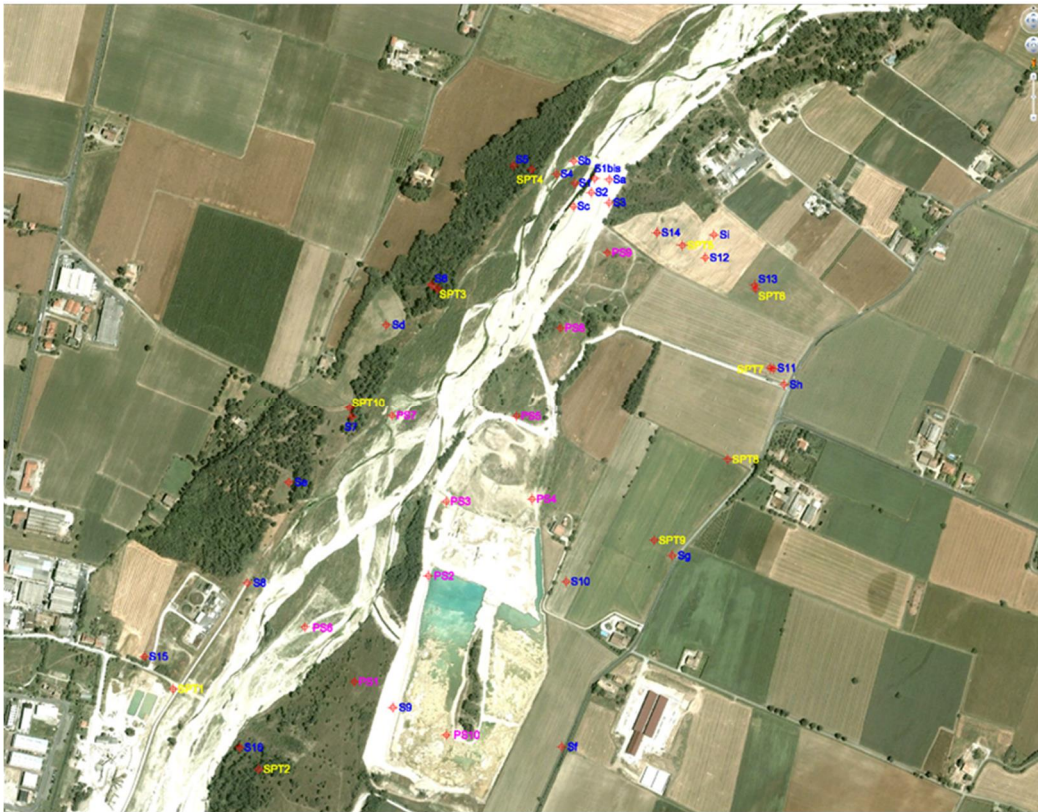
quali è stato stimato un intervallo di variazione dei parametri geotecnici utili ai fini della successiva fase di progettazione.

A grandi linee, l'area in cui è prevista la realizzazione della cassa di espansione è caratterizzata da due litotipi più superficiali grossolani: l'Orizzonte 1, di spessore di 2.5 m - 7 m, costituito prevalentemente da ghiaie sabbiose di colore grigio costituenti l'alveo del Torrente Baganza, e l'Orizzonte 2, di spessori variabili tra 7 m (nella zona di monte della cassa) e 23 m, caratterizzato da un materiale prevalentemente ghiaioso in matrice di fine da scarsa ad abbondante. Al di sotto di tali litotipi grossolani superficiali, ad una profondità compresa tra i 17 e i 32 m dal p.c., è posto un orizzonte di natura più coesiva ed impermeabile (Orizzonte 3), costituito da materiali fini (limi, argille e limi argillosi). Questo orizzonte ha spessori variabili dai 6 ai 16 m e passa in profondità nuovamente a materiali ghiaiosi.

Tab. 4

Tipologia di indagine	Numero	Nome	Dettagli
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	16	S1 ÷ S16	Profondità variabile da 30.0 a 60.0 m da p.c. Esecuzione di prove S.P.T. e prove di permeabilità di tipo LEFRANC a carico variabile. Prelievo di n. 25 campioni indisturbati di terreno. All'interno di 14 fori di sondaggio sono stati installati tubi piezometrici di tipo "NORTON" a tubo aperto, di diametro 3".
Perforazioni a distruzione di nucleo	9	Sa ÷ Si	Profondità variabile da 20.0 a 28.0 m da p.c.
Indagine geofisica <i>down-hole</i>	1	DHS2	Eseguita all'interno della perforazione S2 per una profondità di 50.0 m
Standard Penetration Test	84	-	-
Prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH	10	DPSH 1 ÷ DPSH 10*	
Pozzetti esplorativi	10	PS1 ÷ PS10	Profondità di 4.0 m

Figura 8



All'interno dell'Orizzonte grossolano 2 sono state inoltre individuate lenti più o meno estese di materiale prevalentemente fine che, in alcuni casi, come per l'Orizzonte 5 presente al di sotto la parte centrale e destra della sezione del futuro manufatto in calcestruzzo e per l'Orizzonte 9 evidenziato in corrispondenza del futuro argine sinistro della vasca, presentano elevata deformabilità. Nello studio geologico-geotecnico a base della progettazione, si suggerisce di porre particolare attenzione a tali materiali, al fine di evitare problemi di cedimenti differenziali sia del manufatto regolatore che dell'argine sinistro. In particolare per la lente nell'area interessata dal manufatto regolatore, nello studio si suggerisce di valutare procedure e fasi di costruzione tali da assoggettare la litologia deformabile a precarichi sufficienti ad indurre una consolidazione preliminare alla costruzione del manufatto.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica, a causa di problemi nel prelievo e conservazione di campioni indisturbati, della eterogeneità che caratterizza i litotipi attraversati dalle perforazioni e della forte presenza di ghiaia, le analisi in sito ed in laboratorio hanno condotto, nella maggioranza dei casi, ad una stima approssimativa dei parametri geotecnici, individuando range anche molto ampi di variazione dei parametri caratteristici di ciascun orizzonte.

Dal punto di vista idrogeologico, le analisi effettuate hanno permesso di evidenziare la presenza di due acquiferi sovrapposti: uno superficiale, contenuto nei litotipi grossolani degli Orizzonti 1 e 2, e uno profondo, in pressione, contenuto nei litotipi grossolani profondi presenti al di sotto dell'Orizzonte 3 poco permeabile.

In particolare è identificata la presenza, ai fini della realizzazione del modello idrogeologico, di tre livelli:

Strato 1 ñ Acquifero Superficiale: Ghiaie Prevalenti (Orizzonti 1 e 2)

Strato 2 ñ Acquitardo: Strato di argille e limi prevalenti (Orizzonte 3)

Strato 3 ñ Acquifero profondo: costituito dalla presenza prevalente di ghiaie in abbondante matrice limoso-sabbiosa. Lo Strato 3 è stato trascurato ai fini della realizzazione del modello idrogeologico.

L'acquifero superficiale presenta una soggiacenza di 2-5 metri dal piano campagna e risente significativamente del Torrente Baganza.

Al fine di separare idrogeologicamente l'area all'interno della cassa dalla pianura circostante, evitando fenomeni di filtrazione nei due sensi, si è ritenuto opportuno prevedere una diaframmatura impermeabile interna al corpo arginale e sotto il manufatto regolatore da attestare nell'acquitardo locale (Orizzonte 3). Per determinare la profondità ottimale dei diaframmi lungo il manufatto principale e lungo le arginature e per simulare la presenza dell'invaso e gli effetti sull'acquifero, è stato approntato un modello numerico della falda, tarato sulle misure eseguite sui piezometri installati nei fori geognostici e sui pozzi esistenti nella zona.

I risultati delle modellazioni dell'acquifero indicano che le diaframature atte a garantire le condizioni di sicurezza devono raggiungere l'orizzonte impermeabile 3 che rappresenta la base dell'acquifero e devono essere posizionate in corrispondenza del manufatto e lungo le arginature fino a dove le quote naturali del terreno rimangono al di sotto dei 145.5 m s.l.m.. Questo comporta una lunghezza complessiva delle diaframature di 2400 m. Tale condizione è comunque considerata molto cautelativa in quanto si è assunta una situazione di permanenza dei livelli all'interno dell'invaso, mentre durante il funzionamento normale il livello nella cassa si mantiene su valori elevati solo per poche ore. Situazioni di permanenza dei livelli alti possono però raggiungersi durante le prove di invasione o in caso di guasto delle paratoie. Al fine di garantire la necessaria tenuta idraulica, in relazione al fatto che il corpo arginale sarà realizzato con materiale proveniente dagli scavi (di caratteristiche quindi non del tutto idonee alla costituzione di un rilevato arginale), si è prevista la formazione del diaframma impermeabile mediante colonne di jet-grouting compenstrate del diametro non inferiore a 80 cm.

Nella relazione idrologico-idraulica si suggerisce comunque di aggiornare il modello concettuale ed il corrispondente modello numerico sulla base di nuove indagini quali sondaggi, prove di permeabilità e rilievi topografici. In particolare si suggerisce l'opportunità di effettuare alcuni carotaggi all'esterno dell'area in studio, per poter valutare con maggiore precisione la profondità della base dell'acquifero libero, ed un sondaggio nella zona di monte utile per individuare dove lo strato impermeabile affiora e conseguentemente si ha l'alimentazione dell'acquifero.

In relazione a quanto sopra sinteticamente riportato, al fine di approfondire gli aspetti stratigrafici, idrogeologici e geotecnici, a titolo cautelativo ed in relazione al fatto che alcune

delle prove eseguite sono state ritenute inattendibili a causa dell'inutilizzabilità dei campioni prelevati, i progettisti prevedono di eseguire ulteriori 2 sondaggi e prove geotecniche atte a confermare:

- localmente, la stratigrafia del terreno;
- i livelli piezometrici locali relativamente all'acquifero superficiale ed al primo acquifero confinato;
- la permeabilità in sito dei terreni;
- l'azione sismica locale;
- le proprietà chimico fisiche dell'acquifero;
- le caratteristiche meccaniche dei terreni del sottosuolo.

6. SOPRALLUOGO

In data 19/01/16 è stato eseguito da parte del personale dell'Ufficio Tecnico per le dighe di Milano apposito sopralluogo nel corso del quale è stata verificata la corrispondenza del progetto con la situazione topografica locale.



Fig. 9 Foto del sito

7. OSSERVAZIONI DELL'UFFICIO ISTRUTTORE

Nel corso della sua attività istruttoria questo Ufficio ha rilevato i seguenti aspetti meritevoli di approfondimento:

- Si rileva l'assenza dei necessari predimensionamenti/dimensionamenti dei manufatti di sbarramento, che dovranno essere quindi inclusi almeno nel progetto definitivo, con il relativo livello di approfondimento;
- Circa il tempo di ritorno dell'idrogramma di piena di riferimento, data la tipologia di opera e il contesto territoriale, si ritiene possa farsi riferimento a quello millenario valido per le dighe in calcestruzzo; data la presenza di un rilevato di sbarramento trasversale alla cassa di espansione di materiali sciolti, appare comunque opportuno acquisire anche una valutazione dell'entità del franco residuo, prendendo a riferimento la piena trimillenaria, secondo le Norme tecniche di cui al DM 26.06.2014. Lo scarico di superficie potrà comunque essere dimensionato con riferimento all'evento di piena con tempo di ritorno millenario;
- Circa il manufatto di sbarramento in calcestruzzo, stante l'assenza di specifici interventi di consolidamento dei terreni presenti al di sotto della platea e stante la posizione del diaframma di tenuta in fondazione, si riscontra la possibilità di cedimenti differenziali tra le diverse parti della struttura in relazione alla relativa differente rigidità e agli esigui spessori; detti cedimenti potrebbero risultare eccessivi per la corretta funzionalità del complesso corpo di sbarramento-manufatti di scarico di superficie e pertanto dovranno essere oggetto di specifica valutazione, prevedendo interventi atti a contenerne l'entità. A tale riguardo si raccomanda di prevedere lo sviluppo dello schermo di tenuta lungo tutto il perimetro del complesso manufatto-opere di scarico e quindi lungo il perimetro dei sbocchi d'antra degli sfioratori, anziché trasversalmente ad essi;
- Per quanto riguarda il complesso manufatto-vasca di dissipazione, si ravvisa la necessità di verificare il relativo comportamento nei confronti dei processi di filtrazione sottostanti con le correlate verifiche a sifonamento e galleggiamento. In ogni caso dovrà essere migliorata la geometria e le dimensioni della platea e della vasca di dissipazione, in particolare laddove viene prevista una brusca diminuzione del già esiguo spessore della platea stessa;
- Per quanto riguarda l'assenza di canne di drenaggio (ascendenti e discendenti) nel corpo di sbarramento si ritiene che la scelta progettuale adottata debba supportata dai correlati calcoli di verifica;
- Circa l'analisi sismica, il progetto definisce l'azione di riferimento tenendo conto della risposta sismica del sito in esame, valutata sulla base delle NTC (D.M. 14.01.2008); le relative verifiche dovranno essere condotte con riferimento allo Stato limite di collasso (SLC) e allo stato limite di danno (SLD);
- Circa i rilevati di sbarramento e arginali si rappresenta l'opportunità di una attenta valutazione del previsto intervento di jet grouting per assicurarne la tenuta in asse, illustrando le considerazioni svolte attraverso cui si è giunti alla determinazione della

soluzione progettuale ritenuta migliore, in rapporto alle alternative da esaminarsi (es. zonazione in elevazione dei rilevati). Tali operazioni, eseguite mediante iniezioni ad alta energia cinetica di miscele fluide, comportano la disgregazione della terra posta in opera (per il successivo loro riempimento ed impasto con miscele cementizie) e potrebbero ridurre l'efficacia del costipamento dei materiali del rilevato stesso con anche incertezze circa la continuità della tenuta in elevazione. Tale scelta progettuale dovrà pertanto essere approfondita. Per i rilevati arginali dovranno inoltre stimarsi in sede di progettazione definitiva i cedimenti attesi in relazione ai terreni di fondazione e alle relative modalità di posa in opera;

- Il volume della cassa di espansione viene, in parte, ricavato mediante scavo dei materiali in posto, riducendo la pendenza dell'alveo all'interno della cassa allo 0.2% (contro una pendenza naturale del 1.5%), e quindi conseguendo un abbassamento significativo dell'alveo. Il collegamento fra il fondo della cassa alla quota di progetto e l'alveo del torrente a monte è ottenuto mediante la realizzazione di una serie di briglie. Stante quanto sopra, il progettista dovrà stimare l'entità del trasposto solido da parte del torrente e programmare conseguentemente idonei interventi atti al mantenimento di detti volumi, da recepirsi nel progetto di gestione ai sensi dell'articolo 114 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152
- Dovrà essere approfondito lo studio della filtrazione nelle condizioni di cassa di espansione piena fino alla quota massima di regolazione (condizione che si instaura ad esempio nel corso degli invasi sperimentali), per verificarne l'influenza sul regime della falda circostante, sulla base di prove atte a verificare l'effettiva permeabilità (in grande) dei terreni interessati. Parimenti, in relazione anche al fatto che parte della cassa di espansione (specie in coda), viene realizzata in scavo, occorre studiare i fenomeni di filtrazione e subsidenza attivati dalla falda circostante naturale verso l'interno della cassa (a serbatoio vuoto), al fine di verificarne l'entità;
- L'opera comporta lo scavo di circa 3.2 milioni di m³ di materiale, particolarmente pronunciato in ingresso alla cassa, dove sono previste 3 briglie con un salto complessivo pari a 12 m. Al riguardo devono essere approfonditi gli aspetti progettuali ed esecutivi, specie dal punto di vista geotecnico, in relazione alle tecnologie da adottare per eseguire gli scavi sotto falda, alla profilatura delle scarpate da adottare e alla stabilità delle briglie stesse (ancorché non di competenza di questa Amministrazione);
- Il progetto prevede la realizzazione lungo l'asta torrentizia, all'interno della cassa di espansione, di arginelli di modesta altezza, la cui funzione risulta quella di garantire che per il transito di modeste portate del torrente intercettato la cassa di laminazione non venga invasata e quindi quella di non impegnare anticipatamente parte del volume disponibile; solo quando la portata del torrente dovesse superare i 290 m³/s la cassa inizierà pertanto ad invasarsi. Poiché a seguito di significativi eventi di piena che dovessero cimentare la cassa di espansione, tali arginelli si troverebbero nelle condizioni di essere completamente sommersi, il progettista dovrà valutare la loro stabilità anche in tali condizioni o prevedere periodici interventi di ripristino;

- Circa le paratoie di presidio delle luci di fondo della traversa, il progettista dovrà chiarire le relative modalità di movimentazione e lubrificazione della camera o piano di manovra (risultano presenti cunicoli superiori di attraversamento dei conci del manufatto all'interno del quale sono ricavate le luci di scarico e una passerella di servizio, per il loro collegamento). Dovranno inoltre adottarsi idonei accorgimenti costruttivi/progettuali atti ad offrire sufficienti garanzie di funzionalità e durabilità dei gargami in relazione all'interferenza con materiali flottanti. Circa invece la previsione di un singolo organo di intercettazione, a presidio delle bocche di efflusso, si ritiene la stessa ammissibile, in analogia con opere similari (non soggette a rilevanti battenti idrici); Per quanto riguarda le griglie poste a protezione delle luci di scarico profonde dovranno essere chiarite le modalità con le quali sia in fase di esercizio che nel corso degli eventi di piena vengono pulite dal materiale flottante che si riversa a ridosso;
- Circa la strumentazione di controllo degli argini perimetrali il progettista, sostanzialmente, prevede solo misure piezometriche; a completamento di dette misure è opportuno che sia contemplato, in particolare per i rilevati di spalla, un adeguato controllo degli spostamenti delle strutture, come previsto per il corpo principale murario;
- Per quanto riguarda il funzionamento idraulico del manufatto, esso, in sede di progettazione definitiva, dovrà essere provato su modello fisico di scala idoneo;
- Analogamente anche lo spessore delle piastre della vasca di dissipazione di valle, in sede di progettazione definitiva, dovrà essere dimensionato sulla base di apposito modello fisico;
- Si rileva la mancanza tra gli elaborati del progetto preliminare dello studio dell'onda di piena per manovre degli organi di scarico (Circ. Min. 1125/86); detto studio dovrà essere inviato a quest'Ufficio entro mesi sei dalla data della presente;
- Tra gli elaborati del progetto definitivo dovrà far parte necessariamente anche il piano di laminazione del serbatoio;
- In sede di progettazione definitiva dovrà essere adeguatamente studiato il contatto tra lo sbarramento in materiali sciolti e lo sbarramento in muratura;
- In sede di progettazione definitiva dovranno essere individuati i giunti di dilatazione tra i vari conci della struttura;
- Per quanto riguarda i previsti approfondimenti delle indagini geognostiche, date le forti incertezze sui parametri geotecnici dei terreni di fondazione estrapolati dalle indagini già eseguite, la presenza di lenti deformabili individuate in alcuni sondaggi e la necessità di altri dati per una migliore taratura del modello idrogeologico, si ritiene utile eseguire un numero maggiore di sondaggi rispetto ai 2 previsti;
- In riferimento alla presenza di lenti di materiale fine deformabile individuate nell'area del futuro manufatto regolatore ed in corrispondenza dell'argine sinistro della vasca, si ritiene utile che, nella successiva fase di progettazione sia valutata l'opportunità, anche sulla base dei risultati delle nuove indagini geognostiche, di assoggettare le litologie deformabili a precarichi sufficienti ad indurre una consolidazione preliminare alla costruzione del manufatto;

- Per quanto riguarda l'esecuzione del jet grouting si segnala l'opportunità in sede di progettazione definitiva/esecutiva e comunque prima della gara d'appalto, di eseguire un campo prove.

Milano, lì 29/01/16

I Funzionari

(Dr. Ing. Andrea DI STAZIO)



(Dr.ssa Manuela SCALCIONE)



Visto:

Il Dirigente *ad interim*

(Dr. Ing. Henry DEL GRECO)

