



# IMPIANTO IDROELETTRICO DI BUDRIESSE

Comuni di Maccastorna e Castelnuovo Bocca d'Adda (LO)  
Comune di Crotta d'Adda (CR)

## RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

STRATEGIES FOR WATER



<b>File</b>	rel03idr23r1				
<b>Commessa</b>	1419				
<b>Note</b>					
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Preparato da</b>	<b>Controllato da</b>	<b>Approvato da</b>	<b>Data</b>
1	Revisione Edison	G. Frosio	F. Frosio	L. Papetti	16/12/2023

Questo documento non può essere riprodotto, né utilizzato altrove, né ceduto a terzi in tutto o in parte senza il consenso scritto degli autori

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Localizzazione del progetto</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Descrizione delle opere in progetto</b>	<b>6</b>
3.1	Sbarramento	6
3.2	Opera di presa	7
3.3	Passaggio per i pesci	8
3.4	Canali di carico	9
3.5	Centrale e restituzione	10
3.6	Linea elettrica	12
<b>4</b>	<b>Progettazione idraulica</b>	<b>13</b>
4.1	Sbarramento	13
4.1.1	Livelli idraulici di funzionamento	13
4.1.2	Gestione dello sbarramento e regolazione del livello a monte	13
4.2	Passaggio per i pesci	15
4.3	Opere di presa e vie d'acqua	16
<b>5</b>	<b>Valutazione di compatibilità idraulica</b>	<b>17</b>
5.1	Modellazione idraulica in piena	17
5.1.1	Dati di base	17
5.1.1.1	Geometria	17
5.1.1.2	Portate	17
5.1.1.3	Condizioni al contorno	18
5.1.2	Elaborazioni e risultati	18
5.2	Valutazione dei criteri di compatibilità	21
5.2.1	Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena	21
5.2.2	Riduzione della capacità di invaso dell'alveo	21
5.2.3	Interazioni con le opere di difesa idraulica esistenti	21
5.2.4	Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento	21
5.2.5	Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena	22
5.2.6	Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale	23
5.2.7	Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena	23
5.3	Conclusioni	23
<b>6</b>	<b>Compatibilità idromorfologica della traversa</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Valutazione del rigurgito e del volume d'invaso</b>	<b>25</b>
7.1	Dati di base	25

7.1.1	Geometria	25
7.1.2	Portate	25
7.1.3	Condizioni al contorno	26
7.2	Elaborazioni e risultati	27
7.3	Conclusioni	29
<b>8</b>	<b>Idrologia</b>	<b>30</b>
8.1	Dati di base	30
8.1.1	Programma di Tutela e Utilizzo delle Acque della Regione Lombardia	30
8.1.2	Misure di portata a Pizzighettone	31
8.2	Considerazioni e scelta dei dati di base	32
8.3	Deflusso Ecologico e rilasci	34
8.4	Portate derivate dall'impianto	34
<b>9</b>	<b>Salti</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>Potenza nominale di concessione</b>	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>Producibilità</b>	<b>36</b>
<b>12</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>37</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra le valutazioni idrologiche e idrauliche del progetto definitivo a corredo dell'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) presentata nell'ambito dell'istruttoria della domanda di concessione intesa a derivare l'acqua del fiume Adda a servizio dell'impianto idroelettrico denominato "Budriesse", da realizzarsi nell'omonima località in comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO).

## 2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto in esame riguarda l'utilizzazione idroelettrica delle portate del fiume Adda, poco a monte della sua confluenza nel fiume Po, dove funge da confine tra le Province di Lodi in sponda idrografica destra e Cremona in sponda sinistra. L'area interessata è situata sulla sponda destra (Iodigiana) in località Budriesse del comune di Castelnuovo Bocca d'Adda, immediatamente a valle dello scarico del Collettore Adda-Maccastorna, localmente detto anche "Chiavicone".

Le opere in alveo saranno realizzate su aree demaniali, mentre le opere nell'area goleonale in destra idrografica interessano aree per cui saranno definiti accordi bonari di acquisizione con i proprietari.

Poiché il fiume Adda è un affluente in sponda idrografica sinistra del Po, l'asta fluviale interessata dal progetto appartiene al bacino idrografico del fiume Po.



Figura 1 - Foto aerea del sito di progetto (Google Earth ®)

### 3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'impianto in progetto sarà realizzato in corrispondenza di una briglia di massi esistente sul fiume Adda; la sua conformazione compatta - caratteristica di un impianto *on-flow*, ovvero a cavallo di una traversa - fa sì che le varie componenti (opere di presa e sbarramento, canali di carico, edificio di centrale e canale di restituzione) illustrate separatamente nei paragrafi seguenti costituiscano in realtà un tutt'uno funzionale.

#### 3.1 SBARRAMENTO

Lo sbarramento in progetto sul fiume Adda, a valle dell'esistente corpo idrico (scarico a fiume di un impianto di pompaggio – sollevamento idraulico - del Consorzio di Bonifica della Muzza) denominato "Chiavicone", consiste in una traversa trascinabile costituita da una soglia fissa di calcestruzzo armato, situata a monte dell'esistente briglia di pietrame e avente la stessa quota (32,50 m s.l.m.) della briglia medesima. Su tale briglia esistente sarà ancorato un *gommone*, ovvero un elemento flessibile e completamente abbattibile, costituito da una struttura tubolare di tessuto gommato riempito d'aria e protetto a monte da scudi di acciaio, con quota massima di ritenuta pari a 35,50 m s.l.m.; tale elemento mobile, che si eleva di 2,95 m sopra la soglia fissa, è suddiviso in tre campate da 42,50 m, più una luce sghiaiatrice larga 5,00 m in destra idraulica, per una larghezza complessiva della traversa di circa 135 m.

In condizioni di normale esercizio, sopra lo scudo sarà mantenuta una lama d'acqua sfiorante di 5 cm, per mascherare a fini "scenici" la struttura dello sbarramento. La luce sghiaiatrice sopra citata sarà preceduta da un breve canale sommerso (avente la funzione di raccogliere e convogliare il materiale che si depositerebbe davanti alle luci di presa) e sarà mascherata da una paratoia piana alta 3,00 m, sormontata da ventolino abbattibile largo 4,00 e alto 1,00 m, che permetterà di far defluire il materiale spinto a valle dallo sgrigliatore. Sul ventolino sarà lasciata defluire una portata continua di circa 400 l/s, corrispondente a una lama d'acqua di 15 cm, al fine di attirare l'ittiofauna verso l'imbocco di valle della scala pesci.

In sponda sinistra, infine, sarà predisposto un approdo per le canoe sia a monte che a valle della traversa per consentire di superare lo sbarramento in entrambe le direzioni. La spalla sinistra della traversa sarà raccordata con la sponda dell'alveo mediante una scogliera di massi, analoga alle esistenti.

Di seguito si riporta uno stralcio di planimetria di progetto che mostra lo sbarramento sopra descritto.





- profondità dell'acqua, il cui valore minimo (appena a valle del setto separatore, quindi all'estremità di monte del bacino) è indicativamente  $h_{\min} = 0,50$  m;
- portata  $Q_{\text{pesci}}$ , che può variare da 140-150 l/s a molti  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Nel caso in esame sono previsti 24 bacini (25 setti); pertanto, il dislivello a cavallo di ogni setto sarà  $\Delta h = 5,00/25 = 0,20$  m, pari al valore limite sopra citato.

Le quote di fondo dei bacini sono state previste in modo tale da assicurare sempre una profondità d'acqua minima di 1,00 m. Nel caso in esame i battenti a valle e monte di ciascun setto sono rispettivamente  $h_v = h_{\min} = 1,00$  m e  $h_m = h_v + \Delta h = 1,20$  m.

I calcoli illustrati in maggiore dettaglio nella *Relazione idrologica e idraulica* del progetto consentono di definire la portata di alimentazione del passaggio  $Q_p = 927$  l/s e la potenza unitaria dissipata nei bacini  $P_v = 134$  W/ $\text{m}^3$ , inferiore anche al valore di 150  $\text{m}^3/\text{s}$  consigliato per le specie con minori capacità natatorie e quindi pienamente adeguata.

Per quanto riguarda il richiamo dell'ittiofauna all'imbocco di valle del passaggio, tale importante funzione sarà assolta primariamente dalla restituzione a fiume della portata turbinata, fino a 180  $\text{m}^3/\text{s}$ , in adiacenza al suddetto imbocco di valle.

Oltre a ciò, come già accennato, sarà rilasciata in continuo una lama d'acqua sfiorante di 15 cm sul ventolino, di larghezza  $b = 4,00$  m, per attenuare l'effetto di disorientamento della fauna ittica causato dallo sfioro diffuso dal ciglio dello sbarramento; in questo modo sarà sempre garantita una portata di richiamo pari a  $Q_{\text{ric}} = 396$  l/s.

Infine, per monitorare l'efficacia del manufatto, si prevede un alloggiamento dotato di oblò per l'osservazione diretta e di sistema d'acquisizione e trasmissione dei dati in un pozzetto da realizzarsi in corrispondenza del bacino più a monte, cioè l'ultimo che sarà attraversato dall'ittiofauna in risalita.

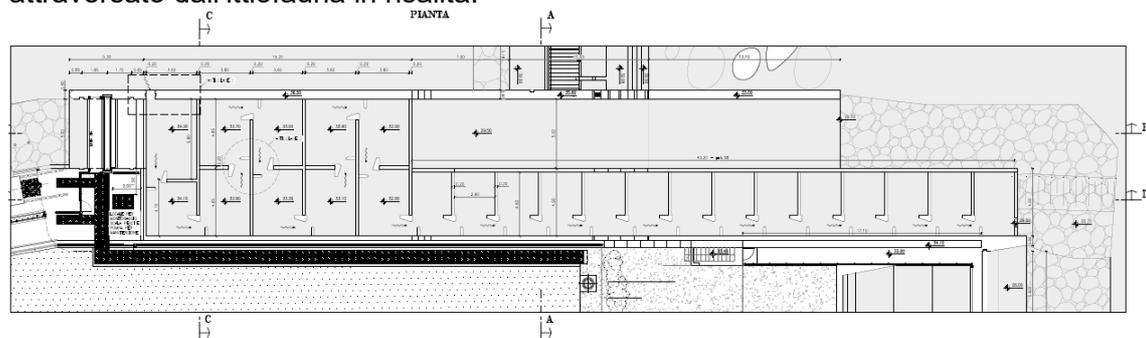


Figura 5 – Pianta del passaggio per pesci

### 3.4 CANALI DI CARICO

In destra idraulica della traversa, appena a valle dell'opera di presa, iniziano i tre canali di carico, che si è scelto di mantenere separati per consentire di intervenire in caso di necessità su un singolo gruppo idroelettrico. I canali sono larghi 12 m ed intervallati da pile da 40 cm, per una larghezza totale di circa 38 m. La canalizzazione è lunga all'incirca 55 m lungo l'asse centrale; il fondo è posto a quota 32,00 m s.l.m. per i primi 35 m - sempre lungo l'asse centrale - di lunghezza. Inizia quindi il tratto rettilineo che porta ai gruppi idroelettrici. A questo punto il fondo dei canali inizialmente resta a 32,00 m s.l.m., poi si approfondisce fino alla quota minima di 24,34 m s.l.m., tale geometria è dettata

principalmente dalle esigenze d'installazione delle turbine che in questa fase progettuale si è ipotizzato d'installare. Quindi, in fase di appalto dell'opera, quando il costruttore delle turbine fornirà i disegni costruttivi, tali quote potrebbero subire lievi variazioni, senza però che ciò modifichi l'ingombro complessivo e la sagoma fuori terra dell'impianto.

L'intera canalizzazione di carico sarà coperta con una soletta di calcestruzzo armato, posta a quota inferiore al piano di campagna, al fine di permettere la posa di terreno vegetale inerbito, che fungerà da mascheramento morfologico dell'opera. Tuttavia, sono state previste n.4 botole metalliche (a tenuta stagna) necessarie per eventuali manutenzioni. Pertanto, non sono necessarie altre griglie a valle di quelle poste a protezione della presa, proprio perché la camera è completamente tombata e quindi non v'è alcun rischio d'ingresso di materiale a valle delle griglie di presa.

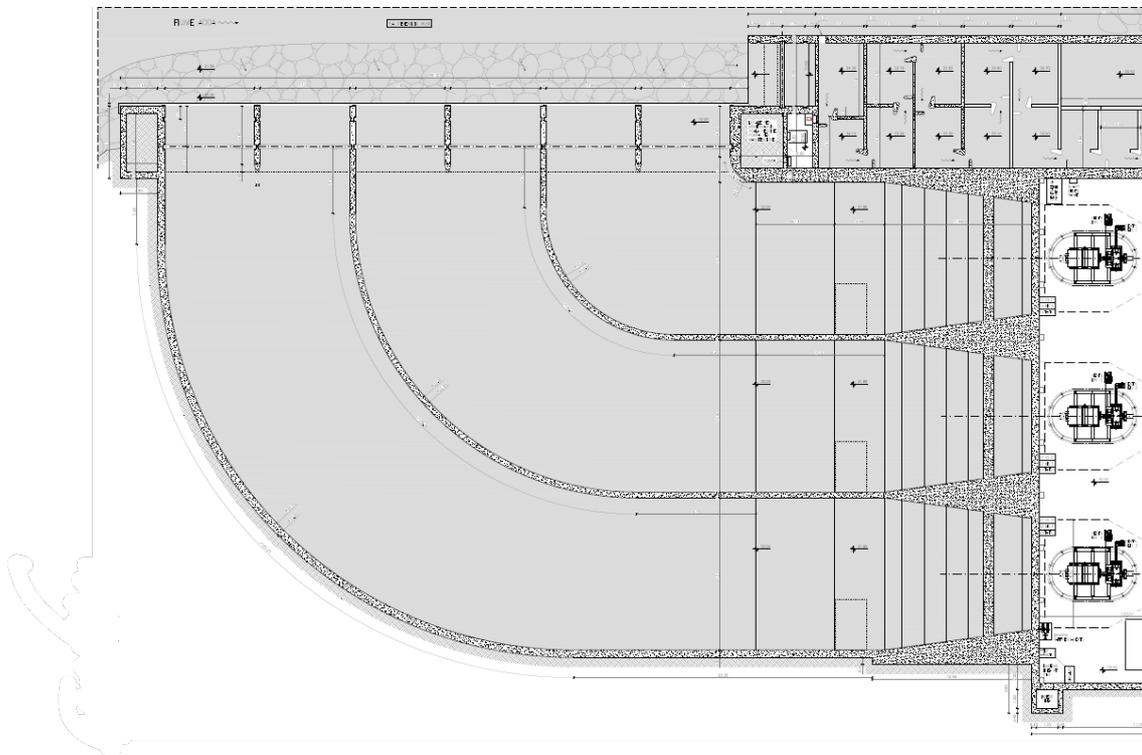


Figura 6 – Pianta dei canali di carico

### 3.5 CENTRALE E RESTITUZIONE

La centrale idroelettrica è ubicata in adiacenza all'opera di presa, in sponda destra idrografica del fiume Adda: l'accesso avviene tramite la strada sterrata arginale.

L'edificio di centrale ha dimensioni indicative di 20 x 41 m in pianta, è totalmente interrato e ospita i gruppi di produzione.

In questa fase progettuale si è ipotizzato di installare tre gruppi generatori, ciascuno costituito da una turbina Kaplan (biregolante) ad asse orizzontale accoppiata tramite moltiplicatore ad assi paralleli a un generatore sincrono trifase.

In fase di appalto e trattativa con i fornitori potranno essere scelte altre tipologie di gruppo adatte alle caratteristiche (salto e portata) e al layout dell'impianto, ma in ogni caso ciò non influenzerà l'ingombro della centrale né la sua configurazione visibile fuori terra.

In centrale saranno alloggiati i quadri di controllo e comando dei gruppi generatori e dell'intero impianto, i trasformatori e le centraline di comando. Sarà inoltre installato un carroponete indicativamente da 60 t per la movimentazione dei gruppi e degli accessori suddetti, che saranno calati in centrale tramite un'unica botola ricavata sulla copertura. L'accesso all'edificio della centrale è garantito attraverso un piccolo corpo superiore d'acciaio CORTEN, unica struttura sporgente dal piano campagna, costituito da una torretta profilata idraulicamente per offrire il minimo ostacolo al flusso delle piene, la quale integra anche i camini di ingresso ed espulsione dell'aria. Poiché l'intero impianto funzionerà automaticamente, controllato a distanza, non sono previsti locali per la permanenza continua del personale, riducendo al minimo la volumetria e l'impatto dell'edificio sul paesaggio, che in definitiva si limitano all'anzidetta torretta di accesso.

I deflussi derivati dall'impianto saranno restituiti al fiume Adda immediatamente a valle della traversa tramite un brevissimo canale di restituzione di calcestruzzo, lungo solo una decina di metri; il canale partirà dalla quota di circa 24,80 m s.l.m. al termine del diffusore della turbina e risalirà - con un allargamento planimetrico per compensare la riduzione della sezione bagnata - fino alla quota di fondo di 28,00 m s.l.m. allo sbocco. In corrispondenza dello sbocco del canale di restituzione sarà realizzata una scogliera di massi a secco, intasati con terreno vegetale e calcestruzzo in fondazione.

Sono previste scogliere di massi a secco in sponda destra, per prevenire l'erosione delle sponde. Saranno altresì realizzati rilevati di terra, con materiale di risulta proveniente dagli scavi, per il raccordo tra il terreno, la strada sterrata esistente e il piazzale di progetto. Infine, nel terreno circostante la centrale è previsto il rimboschimento mediante impianto di essenze autoctone miste arboree e arbustive.

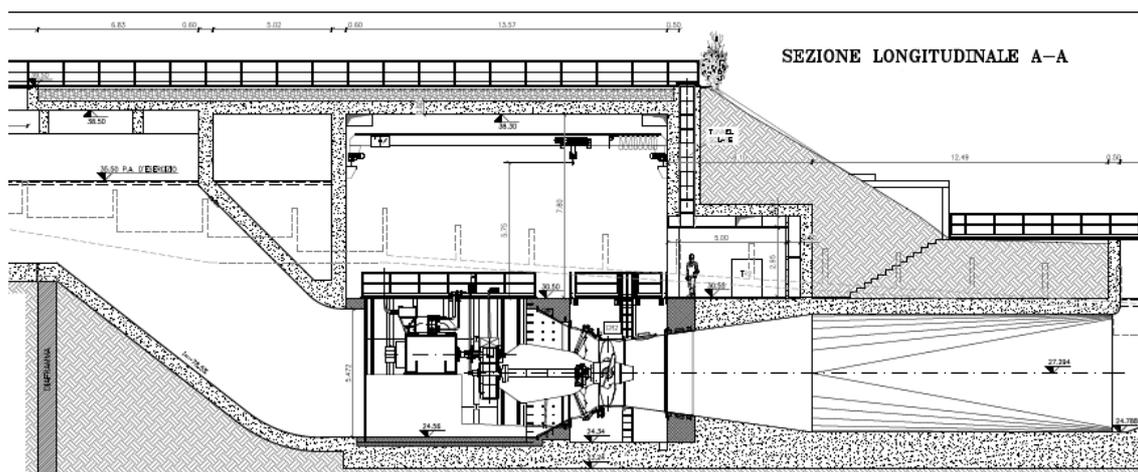


Figura 7 – Sezione longitudinale della centrale

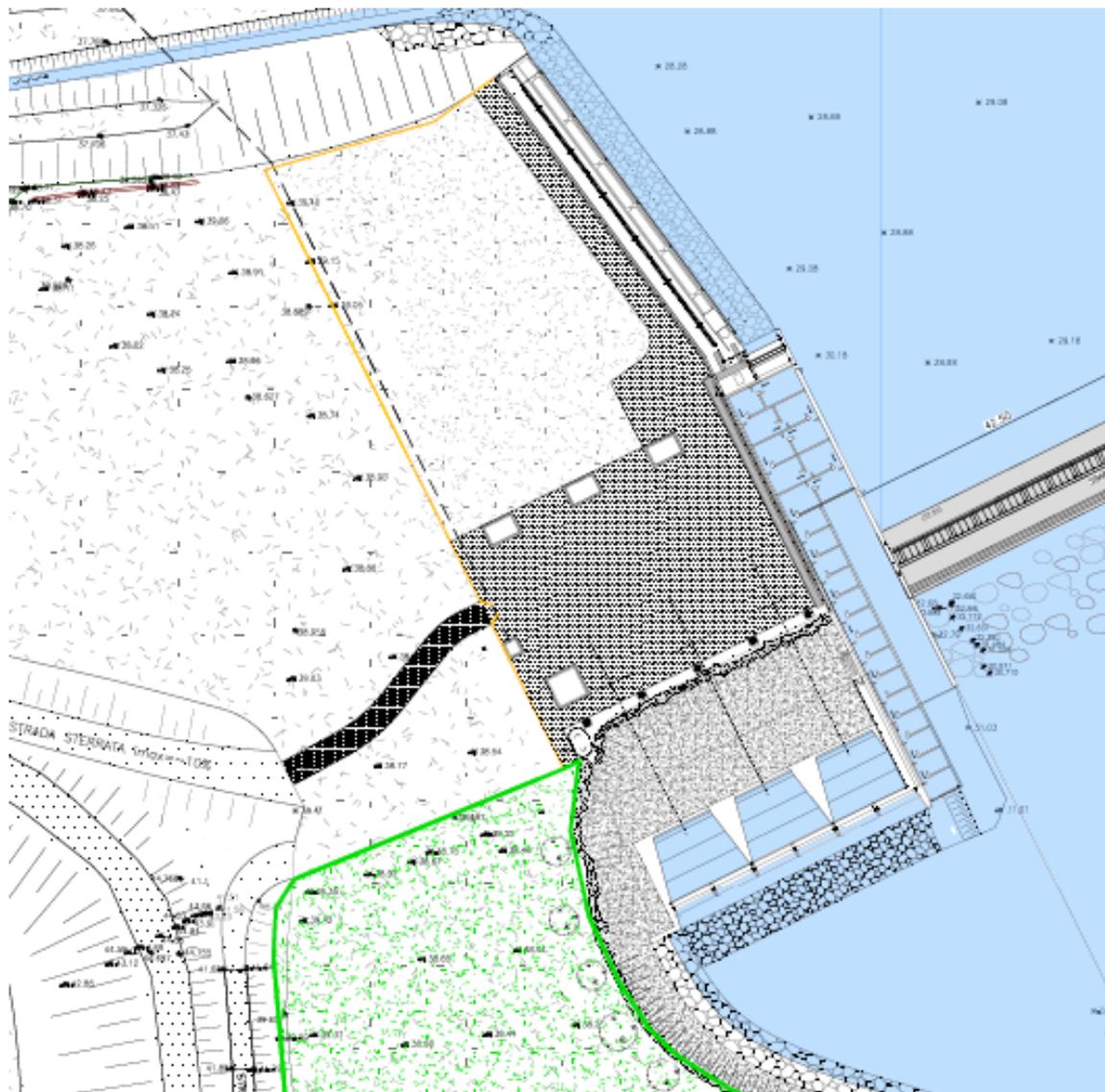


Figura 8 – Planimetria di progetto con la centrale interrata e l'area verde di mitigazione

### 3.6 LINEA ELETTRICA

L'energia prodotta sarà immessa nella rete di distribuzione a 15 kV, a cui la centrale sarà collegata tramite un cavidotto interrato.

La linea di collegamento con la rete di elettrica, lunga poco più di 2 km, uscirà da un pozzetto situato all'estremità nord-ovest della centrale, da cui avrà origine la tubazione interrata (costituita da un tubo corrugato di plastica di diametro 160 mm) che sottopasserà il "Chiavicone" e sovrappasserà l'argine; al fine di evitare il benché minimo scavo nel corpo arginale, sarà eseguito un rinfianco su entrambe le scarpate, sia lato fiume sia lato campagna, con il materiale di risulta degli scavi.

La tubazione passacavi sarà coperta con un rinterro compattato di spessore minimo di 1,0 m sulle scarpate dell'argine e con un tubo d'acciaio imballato nel calcestruzzo sulla sommità dell'argine, per consentire il transito anche di carichi pesanti senza danni al manufatto; proseguirà quindi fino all'area dove sarà realizzata la nuova cabina di consegna, in località Cascina Risi nel comune di Maccastorna.

## 4 PROGETTAZIONE IDRAULICA

### 4.1 SBARRAMENTO

Il sistema sopra descritto è a sicurezza intrinseca in quanto in mancanza del segnale di livello a monte o al superamento d'una soglia preimpostata o per mezzo del rilevamento della pressione esercitata dall'acqua sullo sbarramento, quest'ultimo, senza necessità d'energia elettrica, s'abbatte completamente, in ogni condizione, in un lasso di tempo pre-impostabile e progettato sulla base delle caratteristiche dell'asta a monte e valle della sezione di progetto. In poche parole, questo tipo di tecnologia garantisce, senza eccezioni, che in caso di qualsiasi stato di emergenza, idraulico, elettrico o meccanico, lo sbarramento possa abbattersi autonomamente e automaticamente permettendo così il deflusso di tutte le portate transitanti.

#### 4.1.1 LIVELLI IDRAULICI DI FUNZIONAMENTO

Si è scelto di impostare il *set-point* del livello idrico a monte dei gruppi, che sarà mantenuto costante durante il normale esercizio dell'impianto. Per quanto riguarda il livello di guardia, cioè il livello critico di monte superato il quale lo sbarramento s'abbatte in automatico facendo defluire le portate di piena, si è stabilito di fissare tale livello in funzione all'altezza delle sponde dell'alveo inciso, considerando un franco di sicurezza di 1 m.

In sintesi, i livelli caratteristici dell'impianto in progetto saranno:

- |  |                |
|--|----------------|
| ▪ Quota di testa spalla sinistra             | 39,50 m s.l.m. |
| ▪ Quota di testa spalla destra               | 39,50 m s.l.m. |
| ▪ Livello di monte di normale esercizio      | 35,50 m s.l.m. |
| ▪ Quota del ciglio di ritenuta della ventola | 35,45 m s.l.m. |

#### 4.1.2 GESTIONE DELLO SBARRAMENTO E REGOLAZIONE DEL LIVELLO A MONTE

Poiché l'impianto è di tipo on-flow, cioè con presa e restituzione a cavallo della traversa, non è soggetto al rilascio del Deflusso Ecologico in quanto non vi è sottensione d'alveo. Si prevede invece di lasciar sfiorare, a fini di mascheramento estetico dello sbarramento, una lama d'acqua di 5 cm sull'intera lunghezza di 127,50 m del ciglio, corrispondente a un rilascio di 2,526 m<sup>3</sup>/s in base alla seguente formula dell'idraulica monodimensionale che fornisce la portata scaricata da uno sfioratore libero (cioè non rigurgitato da valle) in funzione del battente a monte dello stesso.

$$Q = \mu \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

In tale formula, dove  $b = 127,50$  m rappresenta la lunghezza totale del ciglio sfiorante sulle tre campate e  $h = 0,05$  m il battente a monte, s'è cautelativamente trascurata la velocità della corrente in arrivo, mentre il coefficiente di deflusso  $\mu = 0,4$  è valido per uno stramazzo in parete sottile, quale in effetti è il ciglio dello sbarramento.

All'aumentare della portata, quindi in condizioni di morbida e di piena, entrano in gioco anche le pile intermedie dello sbarramento, larghe 60 cm e con ciglio a 35,60 m s.l.m., stessa quota del coronamento dei muri sfioranti in sponda destra e sinistra, lunghi rispettivamente 3,80 e 11,60 m. Infine v'è il ventolino, avente soglia a 34,50 m s.l.m. e largo 4

m, posto in sommità alla paratoia piana che maschera la luce sghiaiatrice; il contributo di quest'ultima al deflusso delle piene è considerato nullo, sia perché la paratoia piana non è a sicurezza intrinseca, sia perché essa viene aperta di norma in coda alle morbide, per evitare che tronchi o simili siano "risucchiati" dalla forte corrente di piena e si incastrino sotto la paratoia stessa.

In maggior dettaglio il funzionamento dello sbarramento, per le portate di morbida e di piena, sarà il seguente:

- inizialmente si abbassa la campata centrale, che potrà sfiorare circa 377 m<sup>3</sup>/s (con livello sempre a 35,50 m s.l.m.) quando è tutta abbattuta;
- a questo punto si abbassa completamente il ventolino, alto 1,00 m, sfiorando altri 7 m<sup>3</sup>/s e soprattutto scaricando a valle il materiale sgrigliato;
- in seguito, si abbassa la campata destra e infine anche quella sinistra;
- a partire da circa 1.137 m<sup>3</sup>/s (cioè 377 per le tre campate più 7 m<sup>3</sup>/s dal ventolino) non si regola più il livello a monte dello sbarramento, che è dato dall'altezza di sfioro sulle soglie sopra descritte.

In definitiva la modalità di gestione dello sbarramento all'aumentare della portata presente nel fiume è riassunta dalla seguente tabella.

<b>Q Adda</b>	<b>Q impianto</b>	<b>Q traversa</b>	<b>h impianto</b>
[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]
2.000	0	2.000	36,83
1.500	0	1.500	36,11
1.000	0	1.000	35,50
500	0	500	35,50
250	180	70	35,50
210	180	30	35,50
148	144	4	35,50
120	116	4	35,50
100	96	4	35,50
82	78	4	35,50
70	66	4	35,50
60	56	4	35,50
50	46	4	35,50

*Tabella 1 - Funzionamento idraulico dello sbarramento in funzione della portata in arrivo*

Al proposito si precisa che la portata defluente dalla traversa in condizioni di esercizio comprende lo sfioro di 2.526 l/s dal ciglio dello sbarramento, più le portate di alimentazione (927 l/s) e richiamo (396 l/s) della scala pesci, per un totale di ~4 m<sup>3</sup>/s (**3.849 l/s**). Giova infine ricordare che il funzionamento sopra descritto riguarda le piene dell'Adda con il livello del Po basso, cioè tale da non rigurgitare l'Adda stesso. Nella condizione con il fiume Po alto, invece, i livelli saranno essenzialmente determinati da quest'ultimo.

## 4.2 PASSAGGIO PER I PESCI

Per quanto riguarda il dimensionamento del passaggio, il dislivello idraulico di progetto è pari a 5,00 m, risultante dalla differenza tra il livello di normale ritenuta di 35,50 m s.l.m. a monte e il livello di magra di 30,50 m s.l.m. a valle; in questo modo si assicura che la potenza dissipata nei bacini sia adeguatamente bassa anche con il massimo dislivello tra il livello idrico di monte e valle.

Le grandezze da controllare ed i relativi criteri di buona progettazione per la tipologia di manufatto in esame sono di seguito riportate:

- velocità massima (torricelliana) nelle fessure,  $v_{\max} = \sqrt{2g \cdot \Delta h}$ , che non deve superare i 2 m/s; tale condizione si può esprimere anche imponendo che il dislivello  $\Delta h$  tra due bacini successivi sia minore di 20 cm;
- dissipazione energetica, espressa dalla potenza  $P_V$  dissipata per unità di volume idrico di un bacino, che deve essere sempre minore di 200 W/m<sup>3</sup> per garantire una limitazione adeguata della turbolenza;
- profondità dell'acqua, il cui valore minimo (appena a valle del setto separatore, quindi all'estremità di monte del bacino) è indicativamente  $h_{\min} = 0,50$  m;
- portata  $Q_{\text{pesci}}$ , che può variare da 140-150 l/s a molti m<sup>3</sup>/s.

Nel caso in esame sono previsti 24 bacini, quindi 25 setti, pertanto il dislivello a cavallo di ogni setto sarà  $\Delta h = 5,00 / 25 = 0,20$  m, pari al valore limite sopra citato.

I bacini avranno dimensioni planimetriche  $B \times L = 3,60 \times 4,75$  m nel tratto serpeggiante di monte e  $B \times L = 2,80 \times 4,85$  m nel tratto rettilineo di valle; le fessure nei setti avranno apertura  $s = 0,60$  m, adeguata a consentire il passaggio di pesci di grandi dimensioni.

Le quote del fondo sono state previste in modo tale da assicurare sempre una profondità d'acqua minima di 1,00 m. Nel caso in esame il battente a monte e valle di ciascun setto è rispettivamente  $h_v = h_{\min} = 1,00$  m e  $h_m = h_v + \Delta h = 1,20$  m.

La portata d'alimentazione del passaggio per i pesci è data dalla formula seguente, tratta dalle linee guida per gli interventi idraulici ittocompatibili (*Quaderni della Ricerca, n. 125 - gennaio 2011*) della Regione Lombardia

$$Q_{\text{slot}} = c_d \cdot s \cdot h_m \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} = 0,927 \text{ m}^3/\text{s}$$

in cui  $c_d = 0,65^1$  è il coefficiente di contrazione laterale,  $s = 0,60$  m la larghezza della fessura,  $h_m = 1,20$  m il battente a monte e  $\Delta h = 0,20$  m il dislivello a cavallo del setto.

La potenza dissipata per unità di volume idrico dei bacini, prendendo come riferimento quelli con l'area planimetrica minima, risulta

$$P_V = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot \Delta h}{h_{\text{med}} \cdot L \cdot B} = 134 \text{ W/m}^3,$$

dove  $\gamma = 9.806 \text{ N/m}^3$  è il peso di volume dell'acqua e  $h_{\text{med}} = (h_m + h_v)/2 = 1,10$  m indica l'altezza d'acqua media nei bacini.

<sup>1</sup> Per la precisione il valore del coefficiente  $c_d$  non è esplicitato nel *Quaderno* citato, ma è stato preso per analogia dalla omologhe linee guida della Regione Piemonte.

La potenza dissipata è inferiore al sopracitato limite di 200 m<sup>3</sup>/s e anche a quello consigliato di 150 m<sup>3</sup>/s per le specie con minori capacità natatorie, pertanto è adeguata.

Per quanto riguarda il richiamo dell'ittiofauna all'imbocco di valle del passaggio, tale importante funzione sarà assolta primariamente dalla restituzione a fiume della portata turbinata, fino a 180 m<sup>3</sup>/s, in adiacenza al suddetto imbocco di valle.

Oltre a ciò, come già accennato, sarà rilasciata in continuo una lama d'acqua sfiorante di 15 cm sul ventolino, di larghezza  $b = 4,00$  m, per attenuare l'effetto di disorientamento della fauna ittica causato dallo sfioro diffuso dal ciglio dello sbarramento; in questo modo sarà sempre garantita una portata di richiamo determinata con la formula dello stramazzo libero (non rigurgitato da valle) e pari a

$$Q_{ric} = \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot h_m^3} = 0,385 \cdot 4,00 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 0,15^3} = 0,396 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Infine, per monitorare l'efficacia del manufatto, si prevede un alloggiamento dotato di oblò per l'osservazione diretta e di sistema d'acquisizione e trasmissione dei dati in un pozzetto da realizzarsi in corrispondenza del bacino più a monte, cioè l'ultimo che sarà attraversato dall'ittiofauna in risalita.

### 4.3 OPERE DI PRESA E VIE D'ACQUA

Le opere di presa devono consentire di derivare le portate fino alla massima di concessione in modo efficiente, cioè mantenendo velocità moderate (1m/s o poco più<sup>2</sup>) e minimizzando l'ingresso di sedimenti trasportati dal fiume, che portano al progressivo insabbiamento delle vie d'acqua e potenzialmente a una maggiore usura delle turbine.

Nel caso in esame, le opere di presa sono vincolate

- planimetricamente dallo spazio disponibile tra lo sbocco del Chiavicone a monte e la briglia esistente a valle;
- altimetricamente dalle quote della briglia esistente e del fondo alveo a valle, che vanno tenute in conto per prevedere una luce di sghiaimento a quota inferiore alla presa, ma non così bassa da far accumulare immediatamente a ridosso della traversa il materiale per la pendenza troppo modesta del canale di sghiaimento.

In definitiva, tenendo conto dei vincoli sopra esposti, sono state previste sei luci larghe 7,00 m con soglia a 32,00 m s.l.m., protette da altrettante griglie a barre d'acciaio orizzontali e da altrettante paratoie piane di presa. In questo modo si riesce a limitare la velocità in ingresso a 1,2 m/s con la portata massima di 180 m<sup>3</sup>/s.

Nell'alveo davanti alle luci di presa è prevista la creazione di un piccolo canale d'invito con fondo a 31,50 m s.l.m., per convogliare i sedimenti verso la luce di sghiaimento, con soglia prevista alla medesima quota.

<sup>2</sup> In realtà va considerata anche la frequenza della portata massima: se è disponibile di frequente (cioè se la portata media derivabile è poco inferiore alla massima) è importante limitare la velocità massima in ingresso, se invece è raramente disponibile (cioè la portata media derivabile è molto inferiore alla massima) è accettabile una velocità massima più elevata, purché sia adeguatamente bassa la velocità d'ingresso della portata media.

## 5 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Per valutare la compatibilità idraulica del progetto è stata eseguita una modellazione idraulica, con il software del genio civile americano HEC-RAS, strumento di riferimento a livello internazionale nell'ambito della modellistica e specialmente dell'idraulica fluviale. Di seguito si espongono i dati utilizzati, le procedure seguite, i risultati ottenuti e le conclusioni che ne derivano.

### 5.1 MODELLAZIONE IDRAULICA IN PIENA

#### 5.1.1 DATI DI BASE

Di seguito si illustrano gli input forniti al codice di calcolo per la modellazione.

##### 5.1.1.1 GEOMETRIA

La geometria dell'alveo è caratterizzata tramite le sezioni trasversali ricavate da:

- geoportale di AIPO (rilievo Adda 2002)
- rilievo batimetrico con ecoscandaglio in prossimità della briglia esistente su cui sarà impostato lo sbarramento in progetto
- rilievo delle sezioni presso la briglia di Pizzighettone, fornito da Edison, proprietario e gestore anche dei due impianti idroelettrici ivi situati.

Le scabrezze inserite nelle sezioni sono ricavate dagli elaborati dello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda* (nel seguito nominato *Studio di fattibilità*) redatto dell'Autorità di Bacino del fiume Po e in seguito utilizzato come base per il *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGRA) che ha aggiornato il PAI ed è il riferimento normativo a oggi vigente.

Si precisa che, in condizioni di piena, la configurazione di progetto con lo sbarramento abbattuto coincide con quella dello stato di fatto; per quanto l'abbattimento degli scudi avvenga automaticamente e in sicurezza, grazie alla pressione dell'acqua a monte, si è modellata anche l'ipotetica condizione di malfunzionamento, con lo sbarramento alzato, pur rimarcando che si tratta di un evento con probabilità praticamente nulla.

##### 5.1.1.2 PORTATE

Per verificare la compatibilità idraulica dell'impianto in progetto sono state modellate le portate di piena, analizzando in particolare le due condizioni seguenti.

1. Piena duecentennale dell'Adda in assenza di rigurgito del Po.
2. Piena duecentennale del Po e piena ordinaria in Adda.

La portata di piena ordinaria è definita come la portata in una sezione di un corso d'acqua che, rispetto alla serie storica dei massimi livelli o delle massime portate annuali nella stessa sezione, è uguagliata o superata nel 75% dei casi (da Ministero LL.PP., Consiglio Superiore LL.PP., Servizio Idrografico, 1928). In particolare, in riferimento alla curva di durata delle portate, la portata di piena ordinaria corrisponde a quella che si verifica per un quarto della durata totale della curva. Pertanto, nel caso in esame, la portata di piena ordinaria del fiume Adda corrisponde alla  $Q_{91} = 219 \text{ m}^3/\text{s}$  tratta dalla curva di durata delle portate determinata nella *Relazione idrologica e idraulica*.

La portata di piena duecentennale dell'Adda è invece  $Q_{T200} = 1.940 \text{ m}^3/\text{s}$ , tratta dal PGRA e nello specifico dalla tabella 4.5 dell'allegato *Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale*. Dalla tabella 4.2 del medesimo allegato si ricavano anche i valori delle portate di piena duecentennale del Po, pari a  $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$  a Piacenza e  $14.300 \text{ m}^3/\text{s}$  a Cremona.

#### 5.1.1.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni imposte al contorno di valle per le condizioni sopra elencate sono:

1. l'altezza di moto uniforme - quindi con cadente energetica parallela al fondo - per la piena duecentennale dell'Adda;
2. l'altezza di piena duecentennale del Po (che si evince essere **43,60 m s.l.m.** incrociando i dati delle tabelle 5.2 e 5.11 del sopracitato allegato del PGRA) alla sezione d'immissione dell'Adda.

#### 5.1.2 ELABORAZIONI E RISULTATI

I risultati della modellazione sono riepilogati nelle tabelle e nei grafici seguenti.

Essi mostrano che:

- nelle condizioni di piena duecentennale dell'Adda il profilo idraulico è sempre ampiamente contenuto negli argini, anche in caso di ipotetico malfunzionamento con sbarramento alzato (che comunque crea un innalzamento di livello inferiore a 1 m rispetto allo stato di fatto e al regolare funzionamento di progetto)
- nelle condizioni di piena duecentennale del Po, il rigurgito da questo determinato è tale da determinare in Adda un profilo praticamente orizzontale, che non risente neanche dell'ipotetico malfunzionamento con sbarramento alzato
- anche in questo secondo caso, che comporta livelli molto maggiori del primo, il profilo idraulico è di norma contenuto entro gli argini maestri dell'Adda<sup>3</sup>, che del resto in questo tratto terminale sono dimensionati per contenere le piene del Po
- in alcuni tratti, in particolare a monte del ponte di Crotta d'Adda, il franco idraulico minimo in condizioni di piena duecentennale del Po (v. Figura 11) è inferiore a un metro, coerentemente con quanto segnalato dal già citato *Studio di fattibilità*, che classifica le opere esistenti in tali tratti come "inadeguate idraulicamente".

---

<sup>3</sup> I marcati abbassamenti localizzati dell'argine e le assenze dello stesso in alcuni tratti, visibili nei grafici in Figura 3 e Figura 4, sono presumibilmente dovute al fatto che alcune sezioni trasversali (scaricabili dal geoportale di AIPO) non sono estese fino all'argine maestro, verosimilmente per la notevole estensione dell'area golenale.

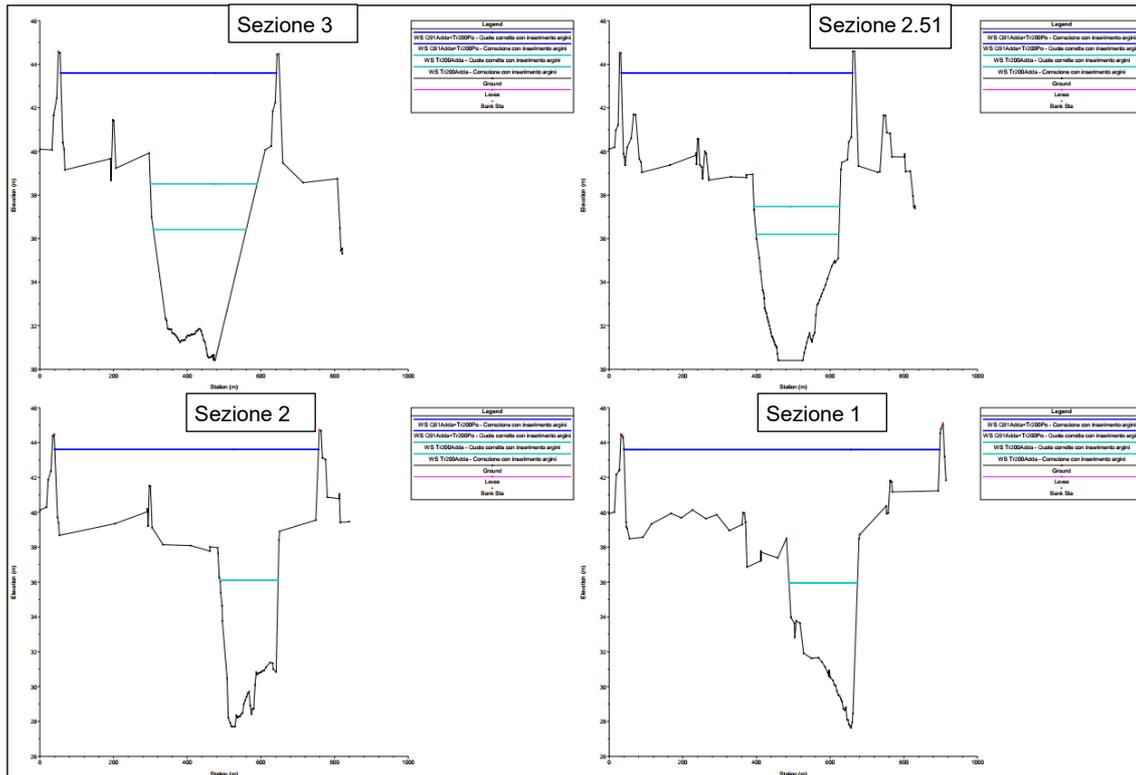


Figura 9 - Schermate degli output del software, con le prime sezioni del tratto modellato (1 e 2 a valle, 2.51 sbarramento, 3 a monte) ed i relativi livelli di piena (in blu la  $Q_{200}$  del Po, in azzurro la  $Q_{200}$  dell'Adda in condizioni normali e di malfunzionamento)

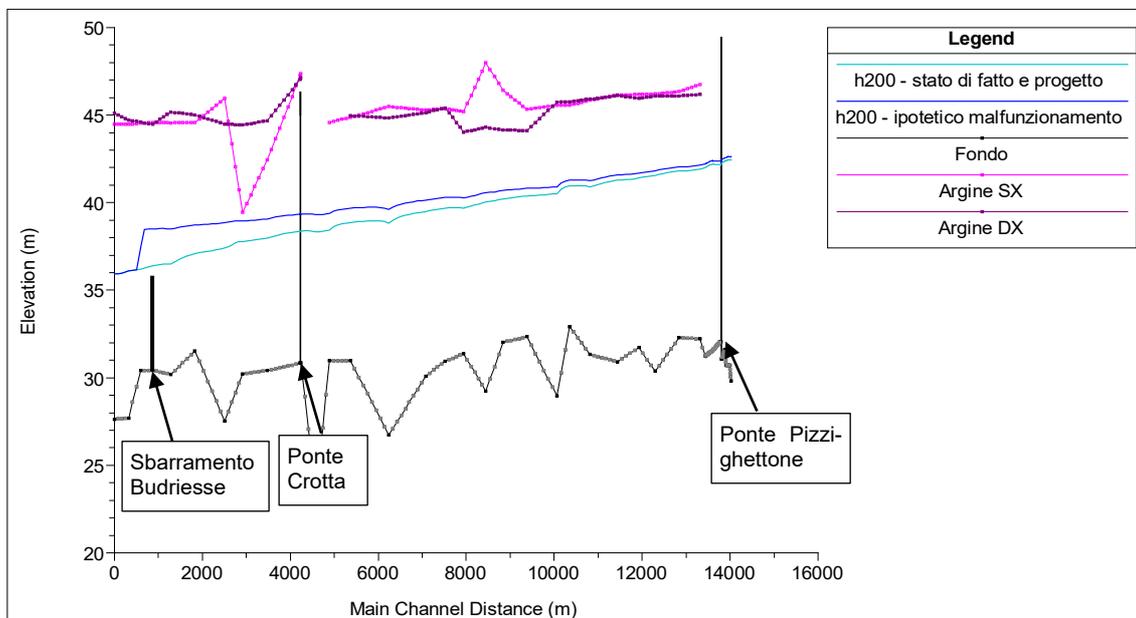


Figura 10 - Grafico, tratto direttamente dagli output del software, che rappresenta i profili idraulici in condizioni di piena duecentennale dell'Adda (senza rigurgito del Po)

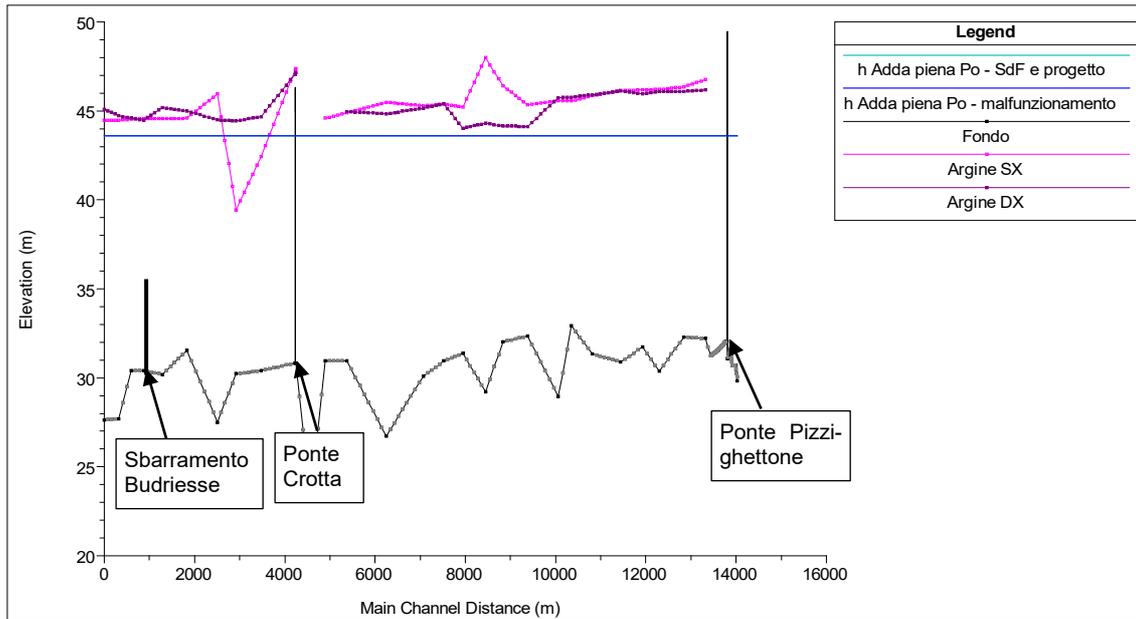


Figura 11 - Grafico, tratto direttamente dagli output del software, che rappresenta i profili idraulici in condizioni di piena duecentennale del Po (con piena ordinaria in Adda). I due profili (“regolare” vs malfunzionamento) sono del tutto identici e indistinguibili

Sezione	Progressiva	$h(Q_{200,Adda})$ normale	$F_{min}(Q_{200,Adda})$ normale	$h(Q_{200,Adda})$ malfunz.	$F_{min}(Q_{200,Adda})$ malfunz.	$h(Q_{200,Po})$	$F_{min}(Q_{200,Po})$
-	m	m s.l.m.	m	m s.l.m.	m	m s.l.m.	m
18	10.059	40,51	5,06	40,91	4,66	43,60	1,97
17	9.380	40,38	3,74	40,82	3,30	43,60	0,52
16	8.838	40,22	3,93	40,70	3,45	43,60	0,55
15	8.444	40,05	4,25	40,57	3,73	43,60	0,70
14	7.942	39,69	4,34	40,28	3,75	43,60	0,43
13	7.523	39,70	5,68	40,31	5,07	43,60	1,78
12	7.076	39,50	5,65	40,15	5,00	43,60	1,55
11	6.243	38,82	6,01	39,62	5,21	43,60	1,23
10	5.367	38,86	6,02	39,68	5,20	43,60	1,28
9	4.891	38,43	-	39,39	-	43,60	-
8	4.228	38,34	8,72	39,33	7,73	43,60	3,46
7	3.472	37,98	4,46	39,07	3,37	43,60	-1.16
6	2.512	37,42	7,07	38,85	5,64	43,60	0,89
5	1.831	37,10	7,49	38,73	5,86	43,60	0,99
4	1.287	36,49	8,07	38,49	6,07	43,60	0,96
3	870	36,41	8,07	38,51	5,97	43,60	0,88
2.51	594	36,20	8,33	37,47	7,06	43,60	0,93
2	320	36,09	8,38	36,09	8,38	43,60	0,87
1	0	35,95	8,53	35,95	8,53	43,60	0,88

Tabella 2 - Riepilogo dei livelli e relativi franchi di sicurezza (valori minimi tra le 2 sponde) nei primi 10 km a monte dello sbarramento nei diversi scenari modellati. Lo sbarramento corrisponde alla sezione 2.51, evidenziata in azzurro nella tabella

## 5.2 VALUTAZIONE DEI CRITERI DI COMPATIBILITÀ

Di seguito si illustra la valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto in ottemperanza alla Direttiva 4 dell’Autorità di Bacino del fiume Po «*Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce “A” e “B”*» approvata con DCI (Deliberazione del Comitato Istituzionale) n. 2 dell’11/5/1999 - aggiornata con DCI n. 10 del 5/4/2006 - e allo specifico Allegato alla DCI n. 8 del 21/12/2010 «*Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l’uso della risorsa idrica*».

In particolare, le compatibilità del progetto è valutata in riferimento ai 7 criteri enunciati nell’Allegato del 2010, detto anche “*Direttiva traverse*”.

### 5.2.1 MODIFICHE INDOTTE SUL PROFILO INVILUPPO DI PIENA

Come evidenziato al § 5.1.2 nel commentare i risultati nella modellazione idraulica, lo sbarramento in progetto, abbattibile in sicurezza grazie alla pressione dell’acqua a monte anche in assenza di alimentazione elettrica, non provoca modifiche apprezzabili dei livelli di piena.

### 5.2.2 RIDUZIONE DELLA CAPACITÀ DI INVASO DELL’ALVEO

L’assenza d’interferenze con il deflusso delle piene - trattata al precedente paragrafo § 5.2.2 - è stato uno dei principi che hanno informato tutta la progettazione dell’impianto; per soddisfare tale condizione si è optato per una configurazione totalmente interrata in golena destra, che assicura anche il mantenimento (in condizioni di piena, con lo sbarramento abbattuto) dell’attuale sezione di deflusso e conseguentemente della capacità d’invaso dell’alveo. L’unica variazione morfologica apprezzabile sarà una riduzione assai modesta dell’area golenale destra per realizzare lo scarico delle turbine, in favore quindi di un analogo ampliamento dell’alveo inciso, che consentirà nel complesso di non ridurre la sezione di deflusso.

### 5.2.3 INTERAZIONI CON LE OPERE DI DIFESA IDRAULICA ESISTENTI

L’impianto sarà realizzato nell’area golenale in sponda destra, mantenendo una distanza ampiamente superiore ai 10 metri dagli argini maestri, come richiesto dalla normativa.

I valori minimi del franco di sicurezza rispetto agli argini, riportati in Tabella 2, sono in alcuni casi prossimi o inferiori al valore richiesto di 1 m, ma solo nella condizione di piena eccezionale del fiume Po; va però detto che già lo *Studio di fattibilità* segnala in questo tratto la presenza di opere inadeguate idraulicamente, mentre la presenza dell’impianto non induce alcuna modifica nella condizione idrologica in argomento.

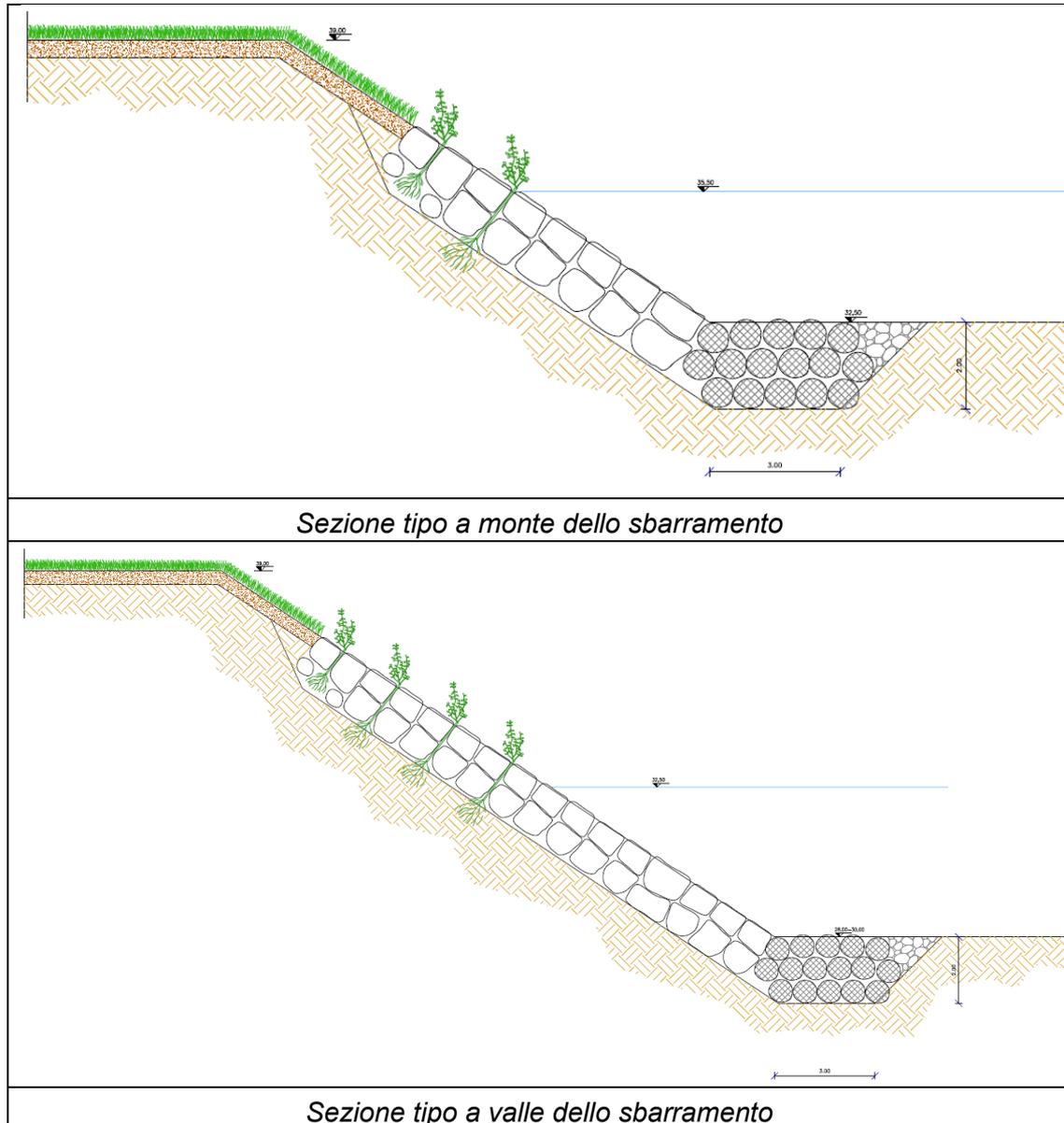
Nelle sezioni a monte di quelle riportate in tabella, in prossimità di Pizzighettone, i franchi assumono livelli maggiori e sempre superiori di 1 m.

### 5.2.4 OPERE IDRAULICHE IN PROGETTO NELL’AMBITO DELL’INTERVENTO

Oltre alle opere idrauliche dell’impianto in progetto, descritte al capitolo 3, nell’ambito dell’intervento è prevista la realizzazione di scogliere a protezione della restituzione in sponda destra e la sistemazione della scogliera esistente in sponda sinistra, attualmente soggetta a instabilità e franamenti. Le scogliere saranno realizzate con modalità consone

al contesto fluviale, secondo le indicazioni di AIPO, con uso di burghie e buzzoni al piede e mantellate in pezzatura idonea, adeguatamente rinverdite con tecniche di ingegneria naturalistica e con pendenze massime H/V = 3/2.

Gli stralci seguenti rappresentano le sezioni tipo delle opere di difesa spondale previste.



#### 5.2.5 MODIFICHE INDOTTE SULL'ASSETTO MORFOLOGICO PLANIMETRICO E ALTIMETRICO DELL'ALVEO INCISO E DI PIENA

Come appena illustrato al paragrafo 5.2.2, la configurazione interrata dell'impianto in progetto assicura il mantenimento dell'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e della golena, a meno di una lievissima riduzione dell'area golenale destra per realizzare lo scarico delle turbine, in favore quindi di un analogo ampliamento dell'alveo inciso, che consentirà nel complesso di non ridurre la sezione di deflusso.

### 5.2.6 MODIFICHE INDOTTE SULLE CARATTERISTICHE NATURALI E PAESAGGISTICHE DELLA REGIONE FLUVIALE

Come illustrato nella relazione tecnica del progetto, la centrale e le vie d'acqua saranno prevalentemente interrato (salvo la torretta di accesso alla centrale) e quindi non visibili; saranno visibili le parti non sommerse delle opere di presa (sistema di sgrigliatura) e lo sbarramento, che però si è previsto di mascherare con uno sfioro d'acqua continuo.

Sarà inoltre visibile l'innalzamento di livello a monte, che però non sarà permanente e corrisponderà a condizioni idrologiche di morbida che già ora si verificano, come illustrato in maggiore dettaglio al cap. 6; tale innalzamento di livello sarà quindi tale da non modificare in modo sostanziale le caratteristiche naturali e paesaggistiche dell'area.

Ai fini della verifica di compatibilità idraulica invece si evidenzia che non vengono introdotte modifiche rilevanti alle condizioni di piena.

### 5.2.7 CONDIZIONI DI SICUREZZA DELL'INTERVENTO RISPETTO ALLA PIENA

Le verifiche di stabilità e resistenza saranno condotte nella successiva fase di progettazione definitiva; ad ogni modo giova segnalare che, come è tipico per le traverse fluviali e ancor più per quelle abbattibili come nel caso in esame, le condizioni di piena non sono le più gravose per la stabilità, in quanto i livelli a monte e valle dello sbarramento sono pressoché uguale e quindi l'opera non è sottoposta a sollecitazioni (di slittamento, ribaltamento o sollevamento) particolarmente significative.

Dal punto di vista della sicurezza idraulica, oltre a quanto concluso al § 5.1.2 e al § 5.2.1 alla luce degli esiti della modellazione idraulica, si fa presente che si è previsto uno sbarramento abbattibile a sicurezza intrinseca. Infatti, in mancanza del segnale di livello a monte o al superamento di una soglia preimpostata o ancora per mezzo del rilevamento della pressione esercitata dall'acqua sullo sbarramento, quest'ultimo, senza necessità di energia elettrica, s'abbatte completamente, in ogni condizione, in un lasso di tempo pre-impostabile e definito sulla base delle caratteristiche dell'asta a monte e valle della sezione di progetto. In sostanza questo tipo di tecnologia garantisce, senza eccezioni, che in caso di qualsiasi stato di emergenza (idraulico, elettrico o meccanico) lo sbarramento si abbatta autonomamente e automaticamente, permettendo il deflusso di tutte le portate transitanti. Inoltre, in occasione delle piene, gli scudi d'acciaio proteggono i sottostanti gommoni, garantendo l'affidabilità e la sicurezza d'esercizio dello sbarramento. Per ulteriori dettagli - anche numerici - sullo sbarramento si rimanda al § 4.1.

## 5.3 CONCLUSIONI

L'intervento in progetto soddisfa i criteri stabiliti dalla "Direttiva traverse" dell'Autorità di Bacino del fiume Po; si può pertanto ritenere verificata la sua compatibilità idraulica.

## 6 COMPATIBILITÀ IDROMORFOLOGICA DELLA TRAVERSA

L'impianto in progetto, come visto, sarà realizzato a cavallo di una briglia esistente, che sarà innalzata con uno sbarramento mobile (a sicurezza intrinseca, in quanto ad abbattimento automatico per la pressione dell'acqua oltre un certo livello a monte) per consentire la produzione di energia in un ampio campo di portate e livelli del fiume Adda.

Gli interventi previsti, interni all'alveo inciso, non modificheranno il fondo alveo, dato che la soglia fissa di c.a. manterrà la quota del ciglio della briglia esistente, ma innalzeranno il livello idrico a monte. Al riguardo giova ricordare che:

- sostanzialmente verrà ripristinata la situazione antecedente alla costruzione della diga di Isola Serafini, quando l'alveo ed i livelli dell'Adda erano a quote superiori (infatti la briglia di massi in questione fu realizzata per fissare il fondo dell'Adda a monte, limitando così l'abbassamento che si è realizzato nel tratto a valle in seguito alla costruzione della diga)
- in termini di entità dell'innalzamento, la quota di normale ritenuta di 35,50 m s.l.m. corrisponde a una durata di circa 10 giorni - ovvero a una piena ordinaria, cioè a una condizione che si verifica normalmente già adesso - sulla base delle letture di livello effettuate negli ultimi 8 anni (v. Figura 12)
- in termini di durata, l'innalzamento di livello non sarà permanente, ma sarà più rilevante per le portate di magra e diminuirà all'aumentare della portata, fino a essere nullo in condizioni di morbida e piena ordinaria.

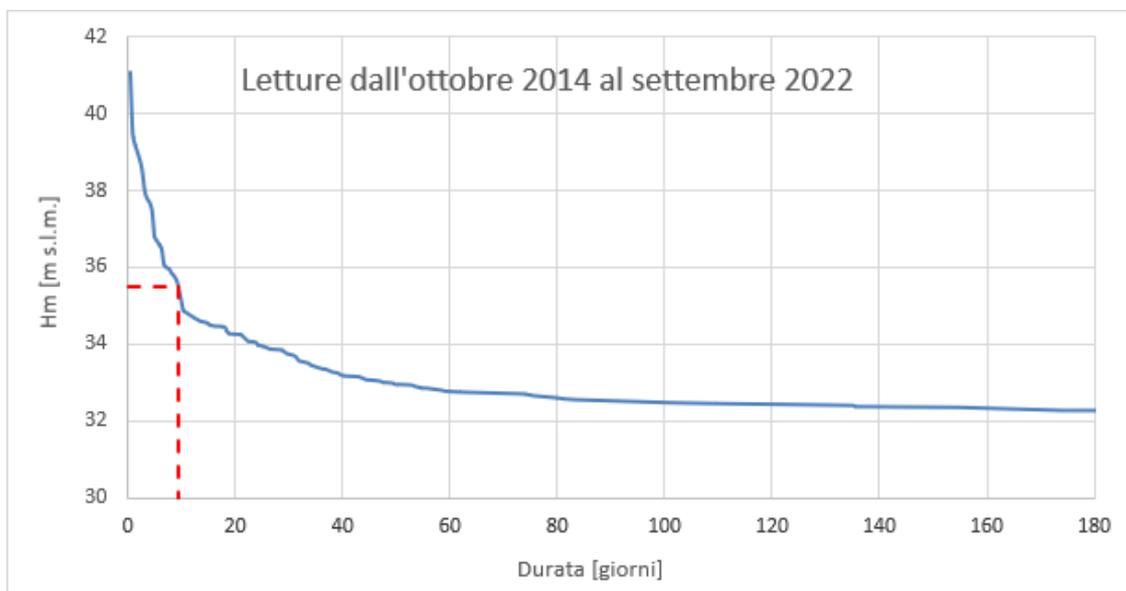


Figura 12 - Curva di durata dei livelli registrati a monte della briglia

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, si può quindi concludere che l'impianto e, in particolare, la briglia esistente e lo sbarramento in progetto sono compatibili con l'assetto idromorfologico del tratto di fiume in esame.

## 7 VALUTAZIONE DEL RIGURGITO E DEL VOLUME D'INVASO

Per valutare l'effetto di rigurgito (innalzamento dei livelli) a monte dello sbarramento e il conseguente volume d'invaso, è stata eseguita una modellazione idraulica, in condizioni idrologiche ordinarie, sempre con il software HEC-RAS. Di seguito si espongono i dati utilizzati, le procedure seguite, i risultati ottenuti e le conclusioni che ne derivano.

### 7.1 DATI DI BASE

Nei paragrafi seguenti si illustrano gli input forniti al codice di calcolo per la modellazione; alcuni di essi, chiaramente, sono gli stessi già descritti al § 5.1.1 per la modellazione idraulica in condizioni di piena.

#### 7.1.1 GEOMETRIA

La geometria dell'alveo è caratterizzata tramite le sezioni trasversali ricavate da:

- geoportale di AIPO (rilievo Adda 2002)
- rilievo batimetrico con ecoscandaglio in prossimità della briglia esistente su cui sarà impostato lo sbarramento in progetto
- rilievo delle sezioni presso la briglia di Pizzighettone, fornito da Edison, gestore anche dei due impianti idroelettrici ivi situati.

Le scabrezze inserite nelle sezioni sono ricavate dagli elaborati dello *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda* (nel seguito nominato *Studio di fattibilità*) redatto dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

#### 7.1.2 PORTATE

Al fine di indagare il rigurgito a monte dello sbarramento e il relativo volume d'invaso, interessano le portate dell'Adda in condizioni ordinarie.

In particolare, sono stati modellati i valori corrispondenti ad alcune durate significative della curva di durata delle portate ricavata dall'analisi idrologica descritta al cap. 8 e di seguito riportata in forma sia di tabella (con evidenziati i valori adottati nella modellazione idraulica) che di grafico.

<b>D</b>	giorni	10	30	45	60	91	100	135	150	182	230	274	300	335	355	365
<b>Q(D)</b>	m <sup>3</sup> /s	631	377	316	271	219	209	180	168	149	129	115	109	79	67	0

Tabella 3 - Curva di durata delle portate dell'Adda con evidenziazione dei valori modellati

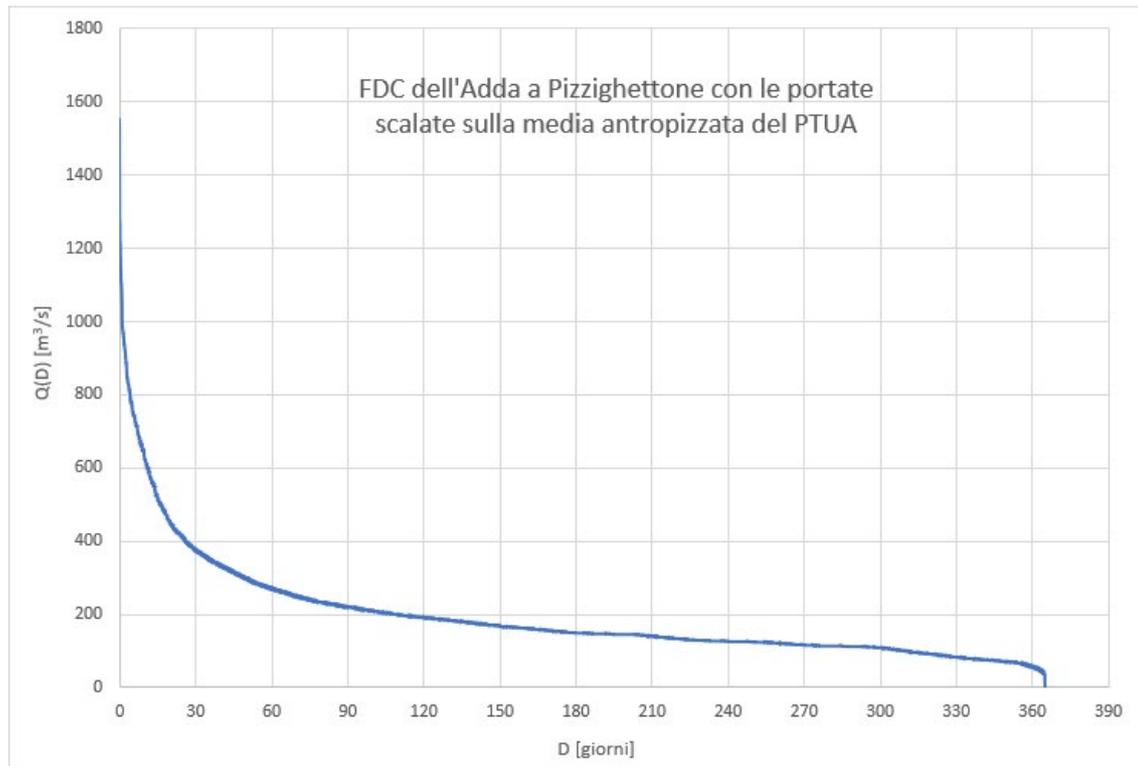


Figura 13 - Curva di durata delle portate dell'Adda (cfr. Figura 19) derivante dall'analisi idrologica riportata più avanti (cap. 8 e in particolare § 8.2)

### 7.1.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

Nel definire le condizioni al contorno del modello idraulico in esame, è opportuno tenere presente che la prossimità della confluenza in Po può determinare un rigurgito in grado di influenzare i livelli per un ampio tratto di Adda in alcune condizioni idrologiche.

Tuttavia, per lo scopo della presente modellazione, cioè definire il rigurgito e il volume d'invaso a monte dello sbarramento in progetto, interessano essenzialmente le condizioni in cui i livelli dell'Adda non sono influenzati da quelli del Po, poiché solo in queste condizioni ha senso parlare di rigurgito dello sbarramento rispetto al profilo *ante operam*. In definitiva sono state adottate le condizioni al contorno seguenti:

- allo stato di fatto, l'altezza di moto uniforme a valle del tratto modellato;
- in condizioni di progetto, l'altezza di ritenuta a monte dello sbarramento.

Non sono state imposte condizioni al contorno di monte, in quanto la pendenza media assai modesta (nell'ordine di  $10^{-4}$  m/m) del tratto indagato assicura che il moto avvenga sempre in corrente lenta e quindi sia influenzato dalle condizioni a valle.

## 7.2 ELABORAZIONI E RISULTATI

I risultati della modellazione sono riepilogati nei grafici e nella tabella seguenti.

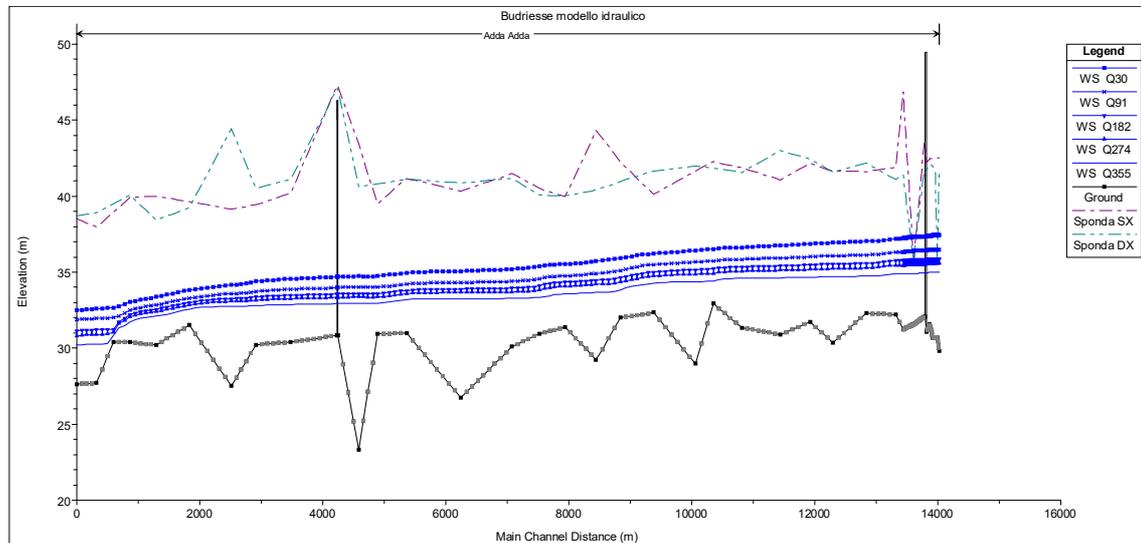


Figura 14 – Profili idraulici del fiume Adda nello stato di fatto per le portate associate alle durate evidenziate in Tabella 3

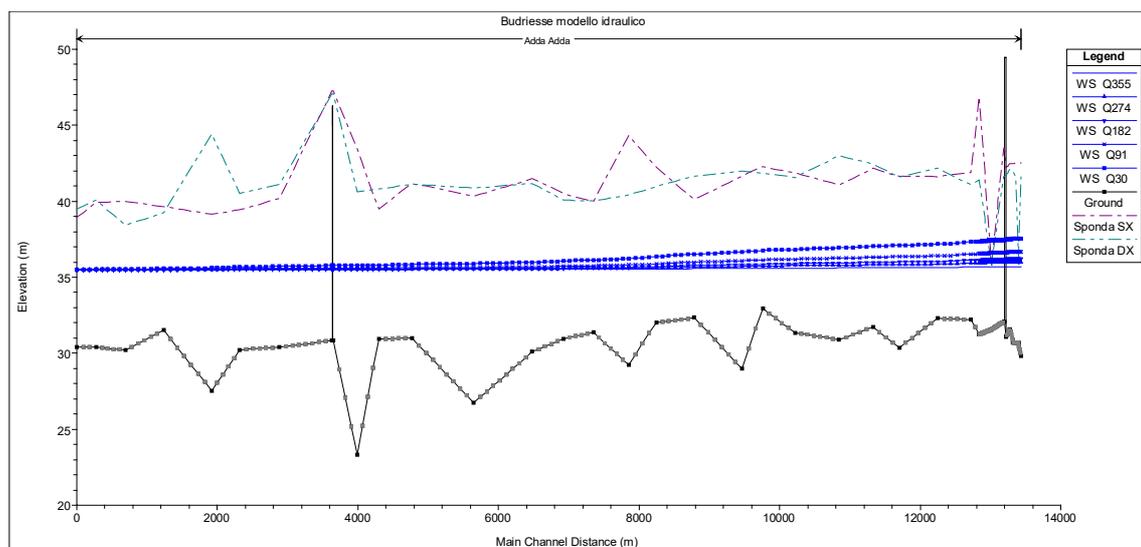


Figura 15 – Profili idraulici di progetto del fiume Adda per le portate in esame

Per mantenere la leggibilità e non appesantire eccessivamente la relazione, non è stato riportato in forma tabulare il dettaglio dei livelli per ogni sezione e ogni profilo di portata; la seguente Tabella 4 riporta semplicemente il rigurgito (differenza tra livello di progetto e dello stato di fatto) per le sezioni fluviali e le portate prese in esame.

<b>Δh [m]</b>	<b>67 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>115 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>149 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>219 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>377 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Sezione</b>	<b>Q<sub>355</sub></b>	<b>Q<sub>274</sub></b>	<b>Q<sub>182</sub></b>	<b>Q<sub>91</sub></b>	<b>Q<sub>30</sub></b>
34	0,72	0,44	0,32	0,19	0,10
33	0,72	0,44	0,32	0,19	0,10
32	0,72	0,44	0,32	0,19	0,10
31	0,72	0,44	0,33	0,19	0,10
30	0,72	0,43	0,32	0,19	0,10
29	0,73	0,44	0,33	0,20	0,11
28.5 M	0,74	0,45	0,34	0,19	0,11
28.5 V	0,75	0,46	0,34	0,20	0,11
28	0,75	0,46	0,35	0,20	0,11
27	0,76	0,46	0,34	0,21	0,11
26	0,78	0,48	0,36	0,22	0,12
25	0,78	0,49	0,37	0,22	0,12
24	0,90	0,58	0,44	0,26	0,14
23	0,93	0,62	0,46	0,28	0,15
22	0,95	0,63	0,49	0,29	0,16
21	0,98	0,67	0,52	0,32	0,17
20	1,01	0,69	0,55	0,34	0,20
19	1,18	0,81	0,63	0,39	0,22
18	1,20	0,84	0,66	0,41	0,24
17	1,28	0,93	0,75	0,49	0,29
16	1,71	1,27	1,05	0,76	0,41
15	1,86	1,39	1,17	0,89	0,52
14	1,97	1,50	1,28	0,98	0,60
13	2,18	1,72	1,49	1,15	0,69
12	2,25	1,85	1,63	1,28	0,77
11	2,26	1,88	1,67	1,34	0,85
10	2,32	1,97	1,76	1,42	0,91
9	2,55	2,17	1,95	1,58	1,04
8.01	2,55	2,17	1,95	1,59	1,05
8.001	2,57	2,19	1,98	1,62	1,08
8 M	2,58	2,20	1,97	1,62	1,07
8 V	2,58	2,20	1,98	1,62	1,08
7.99	2,58	2,20	1,97	1,63	1,07
7	2,64	2,26	2,05	1,70	1,15
6.01	2,71	2,36	2,16	1,81	1,27
6	2,75	2,44	2,26	1,95	1,45
5	2,92	2,67	2,51	2,23	1,75
4	3,38	3,08	2,92	2,65	2,15
3	3,77	3,43	3,29	3,00	2,48
2.51	4,64	4,45	4,24	3,50	2,85

Tabella 4 – Rigurgiti risultanti dalla modellazione per le varie sezioni e portate indagate

Dagli output del programma si ottengono anche i volumi d'acqua invasati per ogni profilo, espressi in migliaia di m<sup>3</sup>. Di conseguenza si possono ricavare per differenza tra il profilo *ante operam* e *post operam* i volumi di invaso relativi alle varie portate.

Ai fini della classificazione della traversa, in particolare, interessa il volume invasato in condizioni di magra, ovvero per il profilo Q<sub>355</sub>, corrispondente a una portata di 67 m<sup>3</sup>/s; i valori dei volumi invasati riportati nella tabella seguente.

Profilo e portata	V <sub>ante</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	V <sub>post</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	V <sub>invaso</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]
Q <sub>355</sub> = 67 m <sup>3</sup> /s	1.897	5.052	5.052 – 1.897 = 3.155

Tabella 5 – Determinazione dei volumi d'invaso per il profilo di magra

### 7.3 CONCLUSIONI

Dai risultati della modellazione idraulica di cui sopra si evince che:

- il rigurgito provocato dallo sbarramento in progetto si riduce progressivamente verso monte e si annulla alla briglia di Pizzighettone;
- la sua estensione è quindi pari a  $L_{rig} \approx 13$  km;
- il rigurgito è maggiore per le portate minori (a cui corrisponde un minore livello *ante operam*) e diminuisce all'aumentare della portata transitante nel fiume;
- il volume d'invaso dallo sbarramento, definito come il volume idrico compreso tra il profilo di magra naturale è di progetto, è pari a  $V_{inv} \approx 3.155.000$  m<sup>3</sup>.

Ulteriormente, si osserva che:

- la maggior parte delle sezioni usate, ricavate dal geoportale di AIPO, risalgono a un rilievo del 2002 e sono mediamente distanziate di qualche centinaio di metri;
- d'altra parte, vista l'estensione del tratto di fiume da indagare e le caratteristiche (larghezza, profondità e portata) dello stesso, non è ragionevolmente pensabile di eseguire appositamente un rilievo di dettaglio dell'alveo;
- dal punto di vista idrologico, la modellazione sopra illustrata rappresenta solo una faccia della realtà, ovvero le occasioni il fiume Adda non è rigurgitato dal Po;
- quando il livello del Po è sufficientemente alto da influenzare i livelli dell'Adda – tipicamente, anche se non necessariamente, in condizioni di piena e morbida – i livelli nel tratto terminale dell'Adda tendono ad “appiattirsi” (e ad essere in buona misura slegati dalla portata dell'Adda stesso) sicché non ha più senso parlare di rigurgito dello sbarramento in progetto;
- di conseguenza, nel lungo periodo, l'effetto di rigurgito sarà mediamente minore di quello sopra determinato, anche se non è possibile stabilire di quanto.

Alla luce delle eliminabili incertezze sopra esposte, si ritiene ragionevole considerare i risultati della modellazione come un'indicazione di massima, per poi valutare con prove sul campo (possibili grazie al fatto che gli impianti in cascata saranno gestiti dalla medesima società) se e quanto sarà effettivamente necessario variare il livello di ritenuta di Budriesse - abbassando dello sbarramento mobile - in funzione della portata in Adda per evitare di ridurre il salto motore degli impianti a cavallo della briglia di Pizzighettone.

## 8 IDROLOGIA

L'impianto utilizza le acque del fiume Adda, emissario del Lago di Como, derivate in comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO) in località Budriesse, appena a monte della confluenza dell'Adda nel Po.

Di conseguenza il bacino idrografico sotteso dall'opera è sostanzialmente coincidente con quello totale dell'Adda, pari a circa 8.000 km<sup>2</sup>.

### 8.1 DATI DI BASE

Per la caratterizzazione idrologica dell'impianto in esame, sono disponibili due fonti di dati, illustrate e analizzate nei paragrafi seguenti.

#### 8.1.1 PROGRAMMA DI TUTELA E UTILIZZO DELLE ACQUE DELLA REGIONE LOMBARDIA

L'Elaborato 5 - Bilancio Idrico Regionale del PTUA 2016 (aggiornato nel 2019) fornisce tutti i dati necessari per la caratterizzazione idrologica delle sezioni dei principali corsi d'acqua regionali e di molti loro affluenti.

A tal fine i corpi idrici sono suddivisi in tratti, codificati in accordo al *PdGPO 2015* (Piano di Gestione del bacino del Distretto idrografico del fiume Po) e caratterizzati in termini di precipitazioni medie annue, portate naturali e antropizzate, contributi di falda e colature nelle sezioni di chiusura di ciascun tratto.

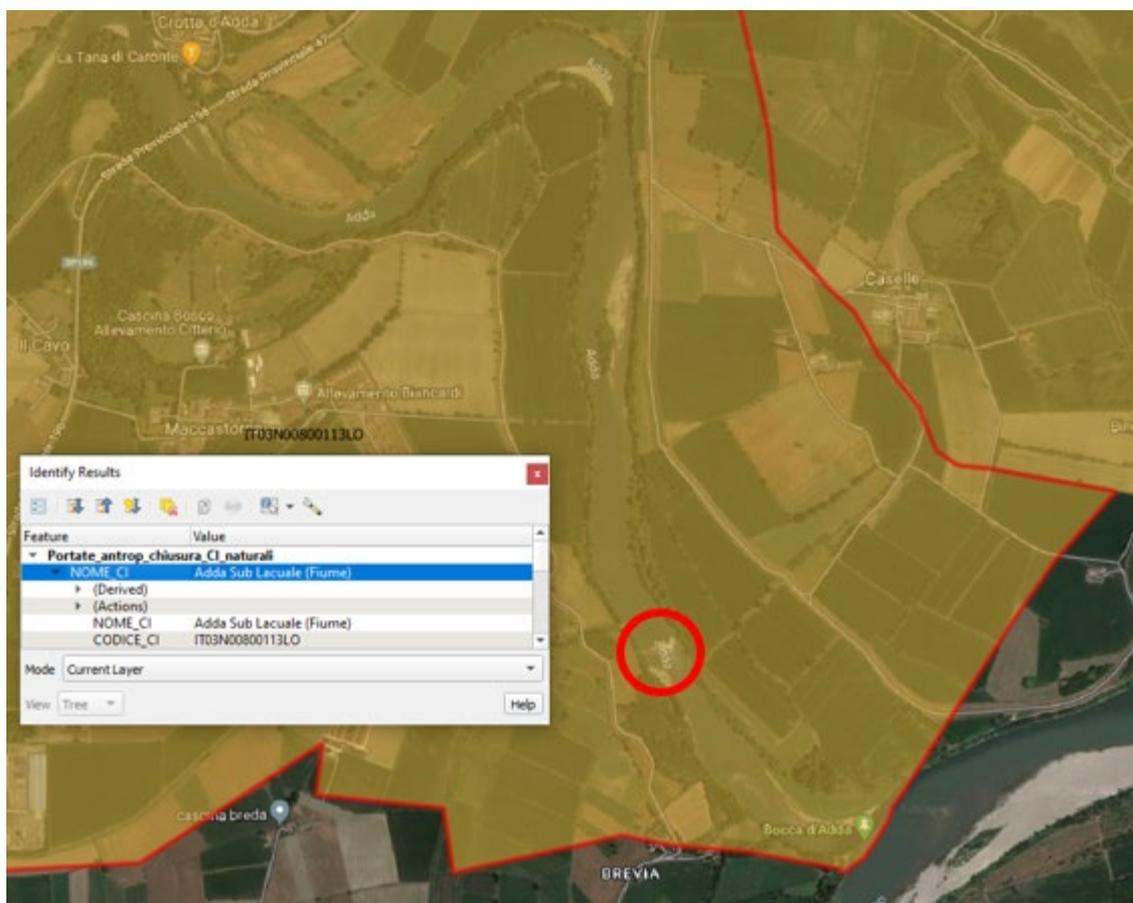


Figura 16 - Localizzazione dell'impianto in esame, appartenente al tratto N00800113LO

Poiché, come già segnalato, la sezione d'interesse è praticamente alla confluenza del fiume Adda nel Po, si possono ritenere del tutto validi per essa i parametri riportati sul citato Elaborato 5 del PTUA per la sezione di chiusura del tratto in cui ricade.

In particolare, come evidenziato nella Tabella 6, che riporta in modo più leggibile le portate antropizzate medie alla sezione di chiusura del tratto in questione (N00800113LO) tratte dall'Allegato 2 dell'Elaborato 5 riportata in Figura 17, la portata media annua antropizzata - cioè effettivamente disponibile allo stato attuale - è pari a  $Q_{m,a} = 195,55 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
181,05	182,34	178,97	194,05	286,05	188,68	145,51	143,16	155,99	189,27	295,55	206,48	<b>195,55</b>

Tabella 6 - Portata [m<sup>3</sup>/s] media mensile e annua alla sezione di chiusura dell'Adda

Corso d'acqua	Codice corpo idrico PuGPaPTUA	Coordinate sezione chiusura (EST; NORD)	Q media annua (m <sup>3</sup> /s)	Q media gennaio (m <sup>3</sup> /s)	Q media febbraio (m <sup>3</sup> /s)	Q media marzo (m <sup>3</sup> /s)	Q media aprile (m <sup>3</sup> /s)	Q media maggio (m <sup>3</sup> /s)	Q media giugno (m <sup>3</sup> /s)	Q media luglio (m <sup>3</sup> /s)	Q media agosto (m <sup>3</sup> /s)	Q media settembre (m <sup>3</sup> /s)	Q media ottobre (m <sup>3</sup> /s)	Q media novembre (m <sup>3</sup> /s)	Q media dicembre (m <sup>3</sup> /s)
Abbioccolo (Torrente)	IT03N008060004011LO	612256; 5065876	1.14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Acqualina (Torrente)	IT03N008001023011LO	571681; 5088604	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Acquanegra (Torrente)	IT03N0080980011LO	470888; 5074704	0.84	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080012LO	603728; 5140850	1.28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080013LO	604118; 5133756	1.41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080014ALO	592867; 5120343	6.47	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080014BLO	588438; 5117017	7.34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080015LO	565695; 5112283	63.62	46.45	43.40	34.57	43.89	82.91	99.71	93.25	70.18	68.29	63.80	69.08	46.91
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080016LO	549573; 5111530	80.31	53.63	48.63	39.43	55.95	107.38	124.32	119.28	93.87	91.20	81.85	90.04	56.48
Adda Sopra Lacuale (Fiume)	IT03N0080017LO	528953; 5110934	99.89	65.89	58.63	49.05	75.46	141.59	148.00	137.45	112.96	111.16	103.15	120.57	72.77
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N0080011LO	603924; 5148486	0.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N00800110LO	541890; 5048108	34.38	10.54	11.31	10.70	15.87	79.47	80.12	59.41	27.87	13.01	14.19	67.60	21.67
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N00800111LO	541186; 5043234	180.40	136.32	134.94	132.80	150.06	254.52	245.69	215.86	171.81	153.48	158.69	246.92	162.06
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N00800112LO	554444; 5011780	126.98	115.77	112.61	110.78	127.75	199.48	123.95	82.11	74.54	91.82	124.36	221.76	139.40
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N00800113LO	560427; 4998245	<b>195.55</b>	<b>181.05</b>	<b>182.34</b>	<b>178.97</b>	<b>194.05</b>	<b>286.05</b>	<b>188.68</b>	<b>145.51</b>	<b>143.16</b>	<b>155.99</b>	<b>189.27</b>	<b>295.55</b>	<b>206.48</b>
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N0080019LO	535251; 5059803	158.91	114.52	109.27	102.75	113.23	222.67	248.51	231.59	176.37	140.48	128.23	186.25	130.23
Adda Sub Lacuale (Fiume)	IT03N0080018LO	531016; 5076223	154.10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Figura 17 - Stralcio della tabella dell'Allegato 2 all'Elaborato 5 del PTUA vigente

### 8.1.2 MISURE DI PORTATA A PIZZIGHETTONE

La seconda fonte di dati consiste nelle misure giornaliere di portata del fiume Adda alla stazione idrometrica di Pizzighettone, attualmente gestita da ARPA Lombardia.

Va detto che tale fonte non è del tutto alternativa e indipendente rispetto alla prima, in quanto le elaborazioni idrologiche del PTUA sono basate anche sui dati di tale stazione di misura, benché solo per il periodo 2001-2015.

La sezione di misura è stata spostata più volte (passando da monte a valle dei ponti di Pizzighettone) nel corso degli anni, per cui vi sono alcune lacune nelle serie di misure, che comunque coprono un cinquantennio, dal 1971 al 2020.

Di seguito si riporta la curva di durata delle portate misurate nella sezione in argomento, la cui media di lungo periodo è pari a 251,38 m<sup>3</sup>/s.

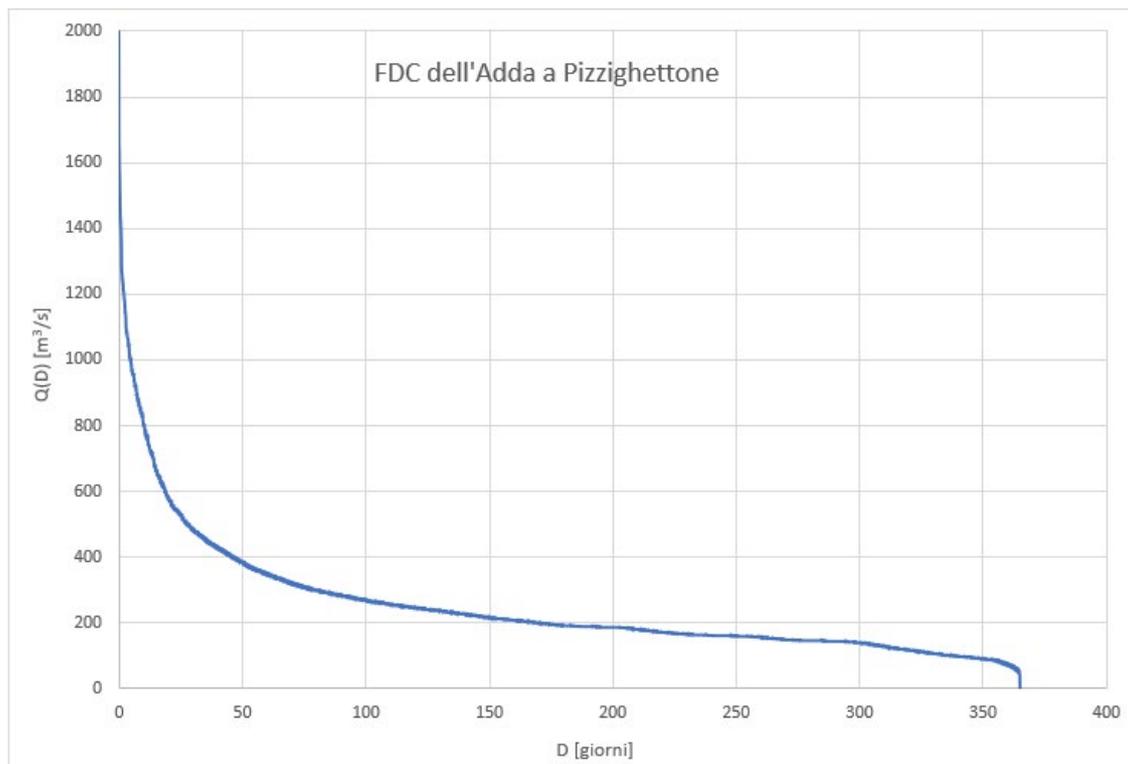


Figura 18 - Curva di durata delle portate dell'Adda a Pizzighettone dal 1971 al 2020

## 8.2 CONSIDERAZIONI E SCELTA DEI DATI DI BASE

I dati idrologici illustrati nei paragrafi precedenti forniscono portate medie annue abbastanza diverse tra di loro (~196 vs 251 m<sup>3</sup>/s).

Si ritiene dunque necessario effettuare una scelta sulla fonte di dati da adottare per la valutazione dei parametri di concessione e della producibilità dell'impianto.

A tal proposito si osserva quanto segue.

- La serie completa di misure della stazione di Pizzighettone copre un numero di anni maggiore, per cui dovrebbe essere più rappresentativa del regime idrologico di lungo periodo del fiume Adda.
- Le misure usate per il Bilancio Idrico Regionale del PTUA vigente sono invece riferite al quindicennio 2001-2015.
- Pur essendo più corta, quest'ultima serie di misure è assai recente. Ciò ha valore non tanto per un mutamento del regime idrologico (non vi sono ancora evidenze tali da poter affermare con certezza che il clima e quindi il regime idrologico del bacino padano siano radicalmente diversi da qualche decennio fa, al punto da rendere non più validi i dati storici) quanto per gli usi antropici delle acque, che con ogni probabilità sono diversi da quelli dei primi decenni (anni '70 e '80 dello scorso secolo) di funzionamento della stazione idrometrica.
- Il fatto stesso che il PTUA, pur essendo disponibili serie di dati più lunghe, abbia adottato quelle dell'ultimo quindicennio, pare suggerire considerazioni analoghe.
- Ulteriormente, si ritiene preferibile uniformare la portata media annua (antropizzata, cioè effettiva) a quella fornita da una fonte ufficiale come il PTUA.

In definitiva si adotta la portata antropizzata media annua da PTUA, pari a **195,55 m<sup>3</sup>/s**. Pertanto, al fine di mantenere l'informazione sulla distribuzione statistica dei deflussi, fondamentale per una corretta stima della producibilità, si scalano le portate della curva di durata di cui alla Figura 18 in ragione del rapporto 196 / 251 tra le portate annue testé valutate, ottenendo la curva di durata riportata in Figura 19 e utilizzata per le successive elaborazioni idrologiche.

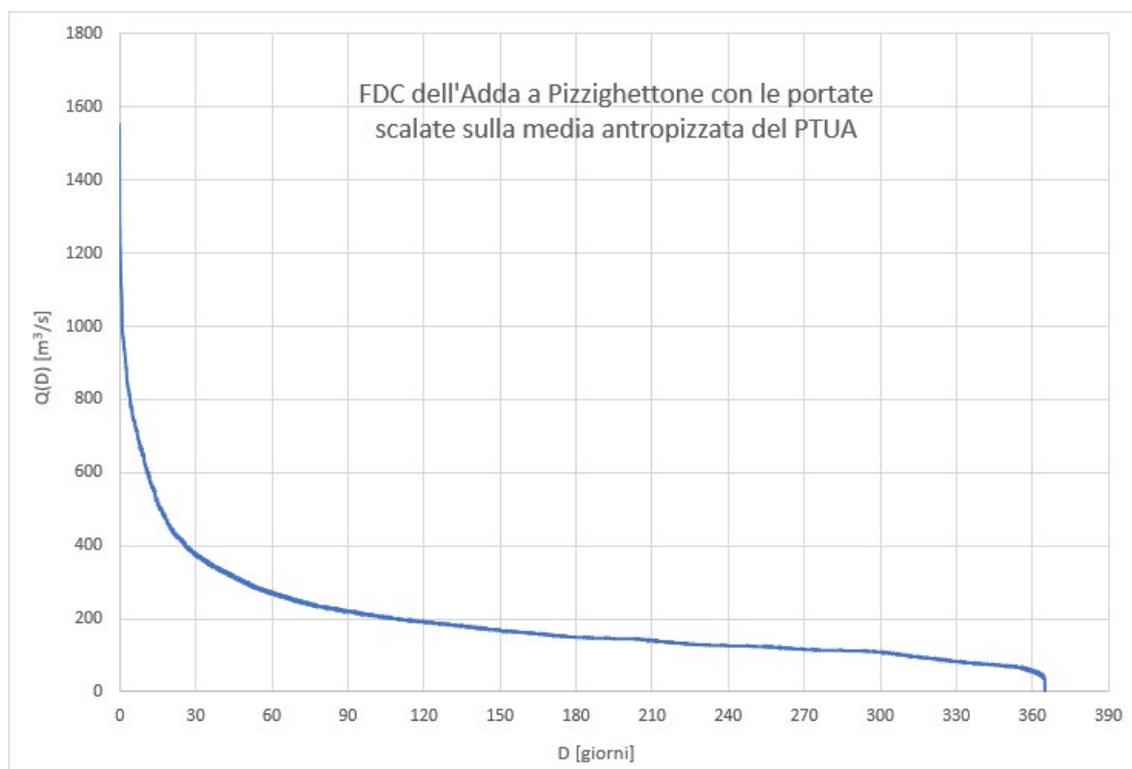


Figura 19 - Curva di durata delle portate del fiume Adda a Pizzighettone scalate in modo da fornire una portata media annua pari al valore di 195,55 m<sup>3</sup>/s fornito dal PTUA

### 8.3 DEFLUSSO ECOLOGICO E RILASCI

L'impianto in progetto, di tipo *on-flow*, sarà realizzato a cavallo di un salto di fondo creato da una soglia preesistente, con la presa e la restituzione praticamente nello stesso punto, sicché non varierà il regime idrologico nel tratto di corso d'acqua interessato, nel quale continuerà a transitare l'intera portata attualmente disponibile.

Di conseguenza non è applicabile all'impianto in esame il concetto Deflusso Ecologico, non essendovi la benché minima sottensione d'alveo.

Si prevede invece un rilascio costituito dai 3 contributi seguenti, il cui valore è illustrato in maggior dettaglio nella *Relazione idraulica* del progetto.

1. Alimentazione del passaggio per i pesci  $\rightarrow Q_p = 927 \text{ l/s}$
2. Rilascio dal ventolino  $\rightarrow Q_v = 396 \text{ l/s}$
3. Sfiore diffuso sopra il ciglio dello sbarramento  $\rightarrow Q_s = 2.526 \text{ l/s}$

Di conseguenza il rilascio totale, che avrà la precedenza sulla derivazione, è previsto pari a  $Q_{ril} = Q_p + Q_v + Q_s = 0,927 + 0,396 + 2,526 = \mathbf{3,849 \text{ m}^3/\text{s}}$ .

### 8.4 PORTATE DERIVATE DALL'IMPIANTO

Al fine di massimizzare la produzione di energia rinnovabile, restando nel campo di uno sfruttamento della risorsa ottimale dal punto di vista tecnico - economico, si adotta una portata massima derivabile dall'impianto pari a  $Q_{max} = \mathbf{180 \text{ m}^3/\text{s}}$ .

Le valutazioni preliminarmente effettuate hanno portato a individuare una soluzione di progetto con 3 gruppi di produzione da  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  ciascuno; per la tipologia di gruppo in questione (Kaplan biregolante) si può assumere una portata minima elaborabile pari al 10% della massima, quindi  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Con queste ipotesi di lavoro, tagliando la curva di durata delle portate disponibili (cioè al netto dei rilasci sopra definiti) superiormente alla massima derivabile e inferiormente alla minima elaborabile, si ottiene una portata media derivabile pari a  $Q_{med} = \mathbf{133,68 \text{ m}^3/\text{s}}$ , come rappresentato nella Tabella 7 riportata più avanti.

## 9 SALTII

Poiché lo sbarramento mobile manterrà costante, in un ampio intervallo di portate del fiume Adda, il livello di monte, la determinazione del salto disponibile si riduce sostanzialmente alla ricostruzione del livello del fiume a valle dell'impianto in progetto.

Questa valutazione, tuttavia, è assai difficoltosa, poiché i livelli di quest'ultimo tratto del fiume Adda sono determinati dai livelli del Po in cui s'immette; per complicare ulteriormente il quadro, si segala che l'Adda si immette presso il meandro del Po di Isola Serafini e precisamente nel ramo normalmente sotteso dal suddetto impianto, per cui di norma vi è solo il DMV, mentre in condizioni di piena o quando l'impianto è fuori servizio vi transita tutta la portata del Po.

Per ovviare a queste difficoltà il proponente ha intrapreso una campagna di rilievi diretti del livello a monte e valle della briglia esistente; tale campagna è proseguita dall'ottobre 2014 al settembre 2022, quindi ha permesso di avere una serie di letture giornaliere di 8 anni, seppure con alcune lacune, come rappresentato nel grafico seguente.

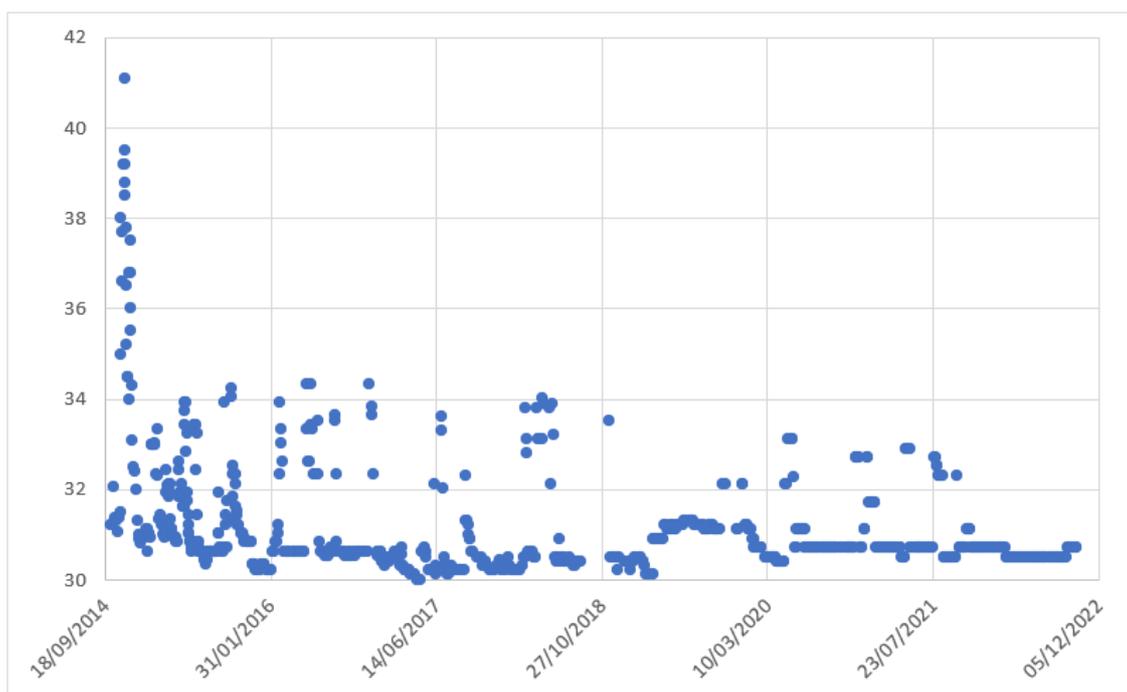


Figura 20 - Andamento cronologico dei livelli rilevati a valle della briglia esistente

Il livello di valle medio rilevato su questo periodo è 31,21 m s.l.m., che in riferimento al livello di ritenuta di progetto di 35,50 m s.l.m. a monte determina un salto nominale di concessione pari a  $H_{nom} = 4,29$  m.

## 10 POTENZA NOMINALE DI CONCESSIONE

Sulla base della portata media e del salto nominale, si determina la potenza nominale di concessione come  $P_{nom} = Q_{med} \times H_{nom} \times 1000 / 102 = 5.622,42$  kW.

## 11 PRODUCIBILITÀ

Sulla base delle portate e dei livelli idrici analizzati nei capitoli precedenti, si determina la producibilità media annua dell'impianto in progetto, tramite integrazione (discretizzata sulla curva di durata) della formula per il calcolo dell'energia

$$E = \sum_t \gamma \cdot Q(t) \cdot Hn(t) \cdot \eta(Q) \cdot \Delta t$$

dove, oltre al salto netto  $Hn$  e alla portata  $Q$ , compaiono il peso di volume dell'acqua  $\gamma = 9,8 \text{ kN/m}^3$  e il rendimento  $\eta(Q)$  valutato in funzione della portata turbinata sulla base dei valori derivanti da offerte richieste per l'impianto in esame e per altri simili.

Si ottengono così i risultati riepilogati in Tabella 7, con il seguente significato dei simboli:

- **Q Adda** [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] = portata in arrivo nel fiume (v. 8.2 e Figura 19)
- **Q der** [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] = portata derivata dall'impianto (v. § 8.4)
- **Hg** [m] = salto lordo, pari alla differenza tra il livello a monte e valle della traversa
- **Hn** [m] = salto motore netto, calcolato ipotizzando una perdita di carico totale del 5% nelle griglie e nelle vie d'acqua dell'impianto
- **Q tur** [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] = portata turbinata, dipendente anche dal salto motore disponibile e quindi dal livello di valle
- **P** [kW] = potenza media sull'intervallo di tempo  $\Delta t$  considerato nel calcolo
- **$\Delta E$**  [MWh] = energia prodotta nel  $\Delta t$  considerato
- **E cum** [MWh] = energia cumulata sulla curva di durata.

Durata	Q Adda	Q der	Hg	Hn	Q tur	P	$\Delta E$	E cum
giorni	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{s}$	m	m	$\text{m}^3/\text{s}$	kW	MWh	MWh
10	631,15	180,00	1,17	1,05	0,00	0	0	0
30	376,39	180,00	2,39	2,15	90,00	1.576	726	726
45	316,31	180,00	2,87	2,58	120,00	2.524	871	1.597
60	271,42	180,00	3,39	3,05	135,00	3.354	1.158	2.754
91	219,29	180,00	4,29	3,86	165,00	5.187	3.701	6.455
100	209,29	180,00	4,29	3,86	180,00	5.659	1.172	7.627
135	179,81	175,96	4,59	4,13	175,96	5.919	4.767	12.395
150	168,19	164,34	4,77	4,29	164,34	5.745	1.983	14.378
182	149,09	145,24	4,79	4,31	145,24	5.098	3.755	18.132
230	128,95	125,10	4,87	4,38	125,10	4.465	4.932	23.064
274	114,83	110,98	4,99	4,49	110,98	4.058	4.110	27.174
300	109,08	105,23	4,99	4,49	105,23	3.848	2.302	29.476
335	79,30	75,45	5,19	4,67	75,45	2.870	2.311	31.787
355	66,66	62,81	5,29	4,76	62,81	2.435	1.121	32.908
365	0,00	0,00	5,49	4,94	0,00	0	0	32.908
<b>ANNO</b>	<b>195,55</b>	<b>133,68</b>	<b>4,29</b>	<b>4,03</b>	<b>118,23</b>	<b>3.918</b>	<b>32.908</b>	

Tabella 7 - Valutazione della producibilità dell'impianto in progetto sulla base delle curve di durata ricavate dalle misure delle portate e dei livelli idrici

Nel calcolare le potenze riportate in Tabella 7, si è considerato il rendimento  $\eta(Q)$  del gruppo turbina - generatore, ricavato sulla base delle curve fornite dai costruttori (per la specifica fornitura in esame e per altre simili) in funzione del rapporto tra la portata di volta in volta elaborata e la massima di progetto del gruppo stesso.

Considerando ulteriormente un rendimento di 99% per i trasformatori elevatori e del 98% della trasmissione fino al punto di consegna, si ottiene un'energia media annua immessa in rete pari a **31.927 MWh**.

## 12 CONCLUSIONI

Di seguito si riepilogano i parametri di concessione e dati idrodinamici dell'impianto in progetto.

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| • Portata massima di concessione                               | 180 m <sup>3</sup> /s    |
| • Portata media di concessione                                 | 133,68 m <sup>3</sup> /s |
| • Salto nominale di concessione                                | 4,29 m                   |
| • Potenza nominale di concessione                              | 5.622,42 kW              |
| • Energia producibile (ai morsetti del generatore) media annua | 32.908 MWh               |
| • Energia immessa in rete media annua                          | 31.927 MWh               |



Tel: +39 030 3702371 – Mail: [info@frosionext.com](mailto:info@frosionext.com) - Sito: [www.frosionext.com](http://www.frosionext.com)  
Via Corfù 71 - Brescia (BS), CAP 25124  
P.Iva e Codice fiscale: 03228960179