ALPEN 2.0

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO “CIAVANETTE” IN COMUNE DI BALME

PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE

Relazione idraulica

PROGETTISTA

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Luca Fresia

CODICE DOCUMENTO	ELABORATO
3881-A05-00201.DOCX	**A.06**

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE
00	AGO.25	M.SIMBOLA	L..DUTTO	L.FRESIA	
00	SETT. 24	M.CARGNELUTTI	L..DUTTO	L.FRESIA	

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1. PREMESSA 2

2. SCENARI DI SIMULAZIONE 2

3. ANALISI IDRAULICA IN CONDIZIONI DI PIENA 3
   - 3.1 Dati idrologici 3
   - 3.2 Caratteristiche del modello idrodinamico 4
   - 3.3 Schematizzazione del modello geometrico del corso d'acqua 5
   - 3.4 Condizioni al contorno 8
   - 3.5 Coefficienti di scabrezza 8
   - 3.6 Risultati dello Scenario 1 8
   - 3.7 Risultati dello Scenario 2 12

4. ANALISI IDRAULICA IN CONDIZIONI ORDINARIE 15
   - 4.1 Dati idrologici 15
   - 4.2 Condizioni al contorno 17
   - 4.3 Risultati dello Scenario 3 17
   - 4.4 Risultati dello Scenario 4 20

5. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO 23
   - 5.1 Dispositivo di limitazione della portata derivata 23
     - 5.1.1 Descrizione e schema di funzionamento del manufatto 23
     - 5.1.2 Verifica della minima sommergenza 24
     - 5.1.3 Verifica del dispositivo di limitazione della portata derivata 25
   - 5.2 Dispositivo di rilascio del Deflusso Ecologico 27
     - 5.2.1 Descrizione delle alternative progettuali 27
     - 5.2.2 Descrizione e dimensionamento della soluzione di progetto 28
     - 5.2.3 Descrizione e dimensionamento della soluzione alternativa 31
   - 5.3 Canale di scarico 32

1. PREMESSA

La presente relazione descrive le analisi idrauliche svolte nell'ambito del progetto dell'impianto idroelettrico con opera di presa e centrale di produzione sul torrente Stura di Ala, in comune di Balme.

Le attività idrologiche e di modellistica idraulica sono state eseguite in ottemperanza a quanto previsto dal recente Regolamento D.P.G.R. 9 marzo 2015, n.2R. In particolare, tale Regolamento[1] nella Parte II della Sezione I dell'Allegato A riporta: *"Devono essere debitamente illustrate le variazioni del profilo della corrente prodotte dall'inserimento di manufatti in alveo, sia in condizioni di portata media che di massima piena con tempo di ritorno di 200 anni."*
Inoltre viene prescritto che: *"Ove il progetto preveda la realizzazione di sbarramenti fissi in alveo diversi da semplici soglie di fondo andrà disegnato il profilo longitudinale del corso d'acqua (fondo alveo e sponde) da cui si vuole derivare, nel tratto a monte dell'opera di presa fino al punto in cui giunge il rigurgito prodotto dalle opere in progetto nello stato di massima piena, nonché il profilo della corrente relativo agli stati di magra, ordinario e di massima piena.*
(…) Sulle medesime sezioni dovranno essere rappresentate, debitamente quotati, i livelli di magra, di acque ordinarie e di massima piena, nonché le opere progettate."

Lo schema sintetico delle opere costituenti l'impianto è il seguente:

- opera di presa con dispositivo di captazione a trappola, situata a valle del ponte stradale Ciavanette, con doppio canale sghiaiatore/dissabbiatore e carico condotta;
- condotta forzata di lunghezza circa 1,7 km dislocata sul sedime della pista preesistente (o prossima ad essa, in tratti di limitata estensione);
- centrale di produzione;
- opera di restituzione.

Sono quindi descritte nel seguito le analisi idrauliche effettuate per esaminare gli effetti indotti dall'opera di derivazione in progetto, in condizioni di piena e in condizioni ordinarie di deflusso.

Inoltre, sono presentati i dimensionamenti idraulici dei dispositivi di rilascio del Deflusso Ecologico e di limitazione della portata derivata.

2. SCENARI DI SIMULAZIONE

Il corso d'acqua in oggetto (Stura di Ala) è un ramo montano del torrente Stura di Lanzo.

Le analisi modellistiche eseguite hanno determinato il comportamento idrodinamico dello Stura d'Ala in un tratto d'asta significativo per le finalità prescritte dal sopraccitato Regolamento; in particolare il tratto in analisi è esteso da valle del ponte in località Ciavanette fino in prossimità dell'abitato di Balme (il modello termina circa 65 m a valle del canale di restituzione della centrale in progetto). L'estensione complessiva del tratto è pari a circa 1.900 m.

[1] Pubblicato sul Bollettino della Regione Piemonte BU10S1 del 12/03/2015, http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2015/10/attach/re201502_ambiente.pdf

Nel tratto oggetto di analisi modellistica si è tenuto conto dell'incremento del bacino idrografico tra la sezione di presa e quella di restituzione della portata turbinata.

Sulla base di quanto detto in premessa l'analisi idraulica ha esaminato i seguenti scenari idrodinamici:

- condizioni di piena per tempo di ritorno 200 anni
    - Scenario 1: stato attuale nell'intero tratto sotteso dal futuro impianto idroelettrico (valle ponte Ciavanette-abitato di Balme);
    - Scenario 2: stato di progetto nell'intero tratto sotteso dall'impianto idroelettrico, una volta realizzato, con rappresentazione della struttura di derivazione e annessa opera di presa a trappola, prevista circa 25 m a valle del ponte di Ciavanette;

- condizioni di esercizio dell'impianto
    - Scenario 3: stato attuale, caratterizzato dalla stessa geometria dello Scenario 1, con la portata media annua defluente nell'intero tratto sotteso al futuro impianto;
    - Scenario 4: stato di progetto caratterizzato dalla stessa geometria dello Scenario 2; la portata naturale media annua all'opera di presa è stata diminuita di quella media annua derivata dall'impianto in progetto.

Non è stato simulato idrodinamicamente lo scenario di magra ($Q_{mediana}$), in quanto la portata naturale defluente ha un valore in termini di portata confrontabile con quello dello Scenario 4, mentre l'impianto (che è attivo per 161 giorni all'anno) risulta fermo.

3. ANALISI IDRAULICA IN CONDIZIONI DI PIENA

3.1 Dati idrologici

La portata di piena di riferimento, utilizzata nelle verifiche idrauliche, è quella determinata all'interno della relazione idrologica allegata al presente progetto (Elab. A.03), a cui si rimanda per ogni dettaglio.

Come già anticipato nella stessa relazione idrologica, i valori di portata adottati derivano dalle analisi cautelative ed esaustive effettuate durante le precedenti fasi di sviluppo del progetto, condotte prima che fossero mappate le fasce fluviali per il tratto di alveo considerato. Ritenendole maggiormente di dettaglio nonché più cautelative, sono state mantenute anche nella presente progettazione.

Il calcolo idrologico di piena è stato eseguito attraverso l'applicazione del metodo razionale (cinematico) proposto dall'Autorità di Bacino del fiume Po, per i corsi d'acqua non fasciati cioè per i quali non vengono fornite le portate di assegnato tempo di ritorno nella "*Direttiva sulla piena di progetto*".

I valori di portata al colmo ottenuti sono:

- **122,66 m³/s** (TR=100 anni);
- **133,63 m³/s** (TR=200 anni).

Nelle simulazioni idrauliche effettuate si è fatto riferimento alla portata duecentennale. L'incremento di portata, determinato dall'aumento del bacino idrografico per effetto degli affluenti laterali presenti, è stato calcolato in 5

successive sezioni di chiusura nel tratto compreso da valle ponte Ciavanette fino all'abitato di Balme ed è di seguito riportato.

Sezione idrografica	Sezioni modello distribuzione portata	Portata riferimento Tr200	Incremento portata sottobacino
-	-	m^3/s	m^3/s
monte presa	Da S1 a S5	**133,63**	-
bacino 1	Da S6 a S11	**142,55**	8,9
bacino 2	Da S12 a S15	**148,35**	5,8
bacino 3	Da S16 a S25	**159,65**	11,3
bacino 4	Da S26 a S31	**168,14**	8,5
bacino 5	Da S32 a S41	**186,11**	18,0

Tabella 1 - Portate duecentennali distribuite uniformemente lungo l'asta fluviale della Stura d'Ala.

3.2 Caratteristiche del modello idrodinamico

Lo studio idraulico è stato eseguito mediante l'applicazione del codice di calcolo MIKE 11 del DHI Water Environment Health, descritto in ALLEGATO 1.

Il modello idrodinamico simula il deflusso in moto stazionario e non, secondo schematizzazione monodimensionale o quasi 2D, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, descrivibile attraverso i diversi approcci dell'"onda cinematica", dell'"onda diffusiva" e dell'"onda dinamica" e con la messa in conto principalmente delle seguenti condizioni:

- portate laterali,
- flusso libero o rigurgitato,
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi,
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate,
- aree d'espansione,
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico).

Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e H alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico H, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La soluzione del sistema di equazioni di De Saint Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte verso valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini di versante.

Nel tratto in analisi, date le caratteristiche torrentizie del corso d'acqua, che escludono fenomeni di laminazione dell'onda di piena, si è scelta la rappresentazione in moto stazionario, con condizioni al contorno invarianti nel tempo.

L'opera idraulica trasversale di presa in progetto è stata schematizzata con una struttura di tipo "weir", capace di simulare idrodinamicamente il deflusso attraverso una qualsivoglia tipologia di stramazzo se a soglia fissa, oppure come luce sottobattente nell'ipotesi di operazioni di regolazione tramite paratoie.

In corrispondenza della struttura di presa in progetto, la sezione di rilievo che le rappresenta è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

3.3 Schematizzazione del modello geometrico del corso d'acqua

La descrizione geometrica del tratto sotteso dall'impianto in progetto, pari a circa 1.900 m, esteso da valle del ponte di Ciavanette fino a valle del canale di restituzione della centrale in progetto, in prossimità dell'abitato di Balme, è stata costruita in base a rilievi speditivi appoggiati ad una base DEM 5x5 km; pertanto le sezioni trasversali rappresentano geometricamente in modo completo il corso d'acqua nell'intero tratto, sia in termini di discontinuità naturali sia di opere presenti in alveo.

Sono state schematizzate 41 sezioni trasversali che coprono un'estensione d'asta fluviale pari a 1.890,72 m.

Nella Figura 1 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua simulato (asse di colore azzurro) con l'ubicazione delle sezioni trasversali utilizzate (colore rosso).

Di seguito (Tabella 2) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale del tratto di corso d'acqua simulato in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo minimo (thalweg).

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
	1	0,00	1736,68
monte futura presa	2	25,23	1734,82
valle futura presa	3	28,33	1734,58
	4	50,00	1731,70
	5	100,00	1721,60
	6	150,00	1702,21
	7	200,00	1689,46
	8	250,00	1680,68
	9	300,00	1670,81
	10	350,00	1661,16
	11	400,00	1654,36
	12	450,00	1647,46
	13	500,00	1642,35
	14	550,00	1633,90
	15	600,00	1628,31
	16	650,00	1622,27
	17	700,00	1618,78

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
	18	750,00	1611,61
	19	800,00	1606,62
	20	850,00	1599,13
	21	900,00	1591,03
	22	950,00	1582,54
	23	1000,00	1574,86
	24	1050,00	1567,50
	25	1100,00	1562,09
	26	1150,00	1554,77
	27	1200,00	1544,12
	28	1250,00	1534,79
	29	1300,00	1526,60
	30	1350,00	1520,01
	31	1400,00	1514,57
	32	1450,00	1507,94
	33	1500,00	1503,41
	34	1550,00	1497,40
	35	1600,00	1491,83
	36	1650,00	1486,26
	37	1700,00	1482,36
	38	1750,00	1480,19
	39	1800,00	1474,84
	40	1850,00	1471,01
	41	1890,72	1468,90

Tabella 2 - Profilo longitudinale del modello di stato attuale.

Il modello di progetto differisce da quello di stato attuale per la presenza dell'edificio di presa nelle sezioni 2 e 3. In particolare, la sezione di presa di progetto è stata creata in modo da non modificare le condizioni di deflusso del corso d'acqua rispetto allo stato attuale, sia in termini di geometria trasversale che di quote altimetriche del fondo. Infatti la quota di fondo della sezione 2 di monte dell'opera di derivazione è pari a 1.735,20 m s.m. risultando 0,38 m più elevata di quella di stato attuale; la sezione 3 di valle ha quota di fondo pari a 1.734,70 m s.m. risultando 0,12 m più elevata di quella di stato attuale.

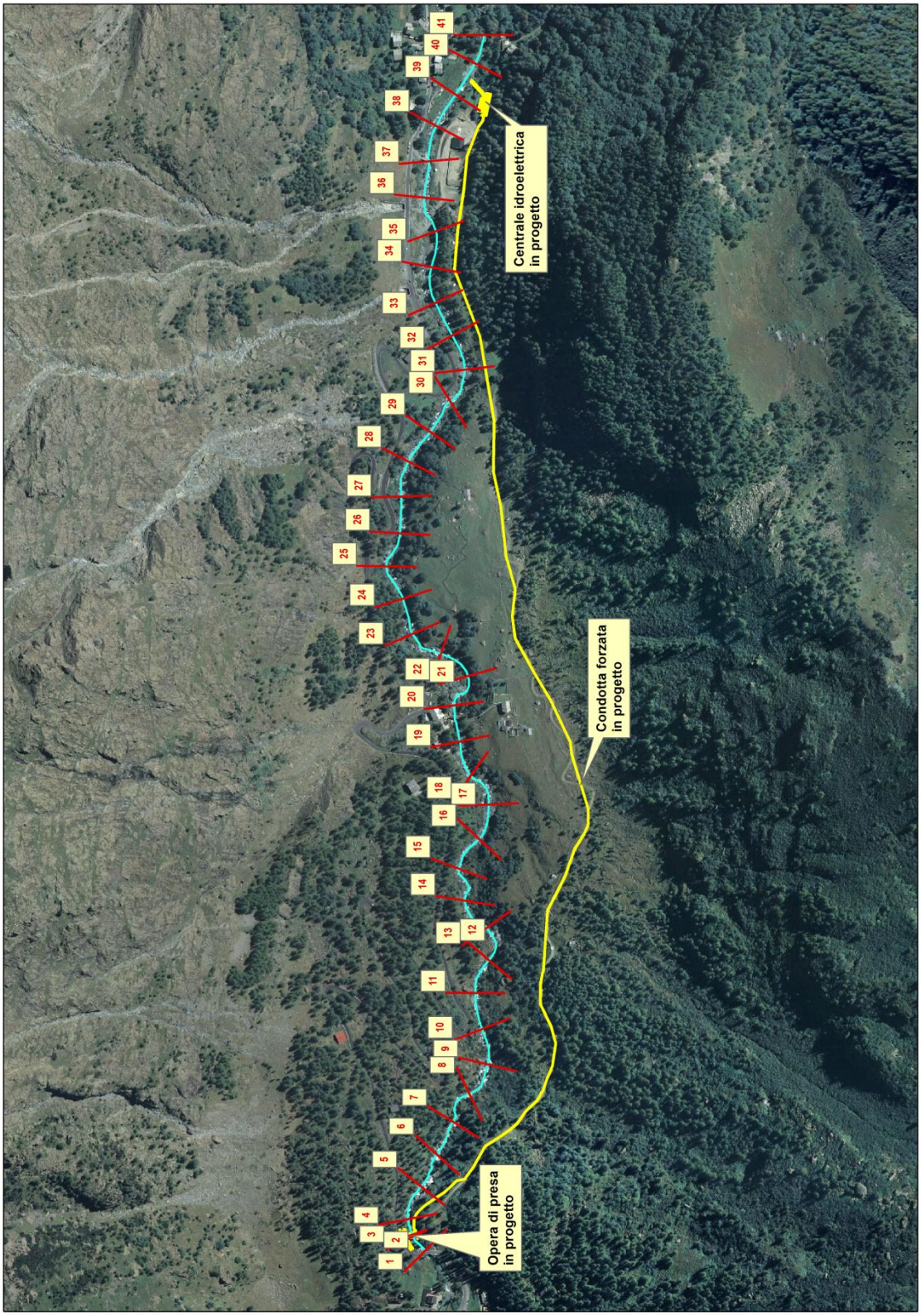


Figura 1 - Stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua simulato con ubicazione delle sezioni trasversali.

3.4 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello per gli scenari simulati in condizioni di piena TR200 anni (Scenari 1 e 2) sono le seguenti:

- portata al colmo costante a tempo di ritorno 200 anni pari a 133,63 m^3/s, in entrata a monte nella sezione 1 (progressiva 0,00 m);
- incrementi di portata assegnati calcolando il contributo specifico degli affluenti, nei tratti da sezione 6 a sezione 41 secondo le quantità riportate nella colonna denominata "Incremento portata sottobacino" nella tabella seguente;

Sezioni modello distribuzione portata	Portata riferimento Tr200	Incremento portata sottobacino
-	m^3/s	m^3/s
Da S1 a S5	**133,63**	
Da S6 a S11	**142,55**	8,9
Da S12 a S15	**148,35**	5,8
Da S16 a S25	**159,65**	11,3
Da S26 a S31	**168,14**	8,5
Da S32 a S41	**186,11**	18,0

- scala di deflusso in moto uniforme nella sezione 41 di valle (progressiva 1890,72 m).

3.5 Coefficienti di scabrezza

La valutazione dei coefficienti di scabrezza inseriti nel modello è stata eseguita sulla base di uno specifico sopralluogo nel corso del quale si sono valutati la destinazione d'uso delle aree esterne all'alveo inciso, le caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo e quelle morfologiche (brusche variazioni di geometria della sezione). In particolare si sono inseriti nel modello valori di resistenza distribuita al moto corrispondenti a macro scabrezza, per i tratti d'asta caratterizzati dalla presenza di massi di dimensioni metriche e superiori.

Le indicazioni acquisite nelle ricognizioni in campo sono state quindi riferite alla metodologia prescritta nella Deliberazione 11 maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po – aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 Aprile 2006 "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" e degli altri riferimenti normativi in essa citati.

Sono quindi stati assunti coefficienti di Strickler variabili da valori di 10-20 $m^{1/3}/s$ per l'alveo inciso e di 8-10 $m^{1/3}/s$ per le aree di piano campagna esterne al corso d'acqua ricoperte da vegetazione arborea o arbustiva.

3.6 Risultati dello Scenario 1

Lo Scenario 1 rappresenta il corso d'acqua nelle condizioni di stato attuale al transito della portata a tempo di ritorno 200 anni.
Il corso d'acqua è caratterizzato da pendenze di fondo molto elevate In particolare, dal ponte in loc. Ciavanette fino alla sez.2 ubicata a monte della futura opera di derivazione in progetto la pendenza di fondo è quantificabile in un valore circa pari al 7%. Procedendo verso valle, nel tratto compreso tra le sez.3 e 16, vi è un aumento

significativo della pendenza che oscilla in un intervallo di valori compreso fra 8% e 39%; mentre nel tratto finale (sez.17 - 41) la pendenza risulta ancora molto elevata, variando tra valori di 4 e 20%. L'ampiezza dell'alveo inciso misurata tra i cigli di sponda varia tra 10 e 15 m.

La piena bicentenaria è generalmente contenuta tra le sponde del corso d'acqua che risulta spesso molto incassato tra i versanti che lo limitano; le abitazioni sparse presenti nell'intorno del corso d'acqua sono risultate pertanto in sicurezza rispetto all'evento di riferimento.

Nel tratto considerato il deflusso avviene con velocità comprese tra 4,0 e 7,0 m/s secondo un moto che avviene generalmente in corrente veloce; soltanto nel tratto terminale analizzato (sez.37 - 41) il moto diventa prossimo allo stato critico.

Di seguito si allegano i risultati della simulazione di stato attuale in forma tabulare (Tabella 3) e grafica (profilo idrometrico di Figura 2).

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-
	1	0,00	1736,68	3,18	1739,86	1741,01	133,63	4,74	28,17	14,04	1,07
monte futura presa	2	25,23	1734,82	2,41	1737,23	1738,16	133,63	4,28	31,23	17,68	1,03
valle futura presa	3	28,33	1734,58	2,35	1736,93	1737,99	133,63	4,57	29,26	17,62	1,13
	4	50,00	1731,70	2,66	1734,36	1736,30	133,63	6,17	21,65	12,73	1,51
	5	100,00	1721,60	1,92	1723,52	1726,03	133,63	7,01	19,06	14,74	1,97
	6	150,00	1702,21	2,60	1704,81	1706,73	134,52	6,15	21,89	15,08	1,63
	7	200,00	1689,46	2,81	1692,27	1694,00	136,31	5,83	23,37	13,81	1,43
	8	250,00	1680,68	2,02	1682,70	1683,91	138,09	4,87	28,36	23,89	1,43
	9	300,00	1670,81	1,97	1672,78	1674,09	139,87	5,06	27,62	19,94	1,37
	10	350,00	1661,16	2,92	1664,08	1665,44	141,66	5,17	27,38	15,30	1,24
	11	400,00	1654,36	2,82	1657,18	1658,38	142,55	4,86	29,33	18,05	1,22
	12	450,00	1647,46	3,09	1650,55	1651,40	143,52	4,08	35,16	26,34	1,13
	13	500,00	1642,35	2,21	1644,56	1645,71	145,46	4,74	30,68	21,47	1,27
	14	550,00	1633,90	3,35	1637,25	1638,47	147,39	4,89	30,15	16,39	1,15
	15	600,00	1628,31	3,02	1631,33	1632,32	148,36	4,41	33,65	22,38	1,15
	16	650,00	1622,27	3,05	1625,32	1626,11	148,99	3,93	37,87	23,87	1,00
	17	700,00	1618,78	2,09	1620,87	1621,74	150,24	4,14	36,33	27,90	1,16
	18	750,00	1611,61	3,01	1614,62	1615,72	151,50	4,65	32,55	18,00	1,10
	19	800,00	1606,62	2,63	1609,25	1610,75	152,75	5,43	28,15	17,55	1,37
	20	850,00	1599,13	1,69	1600,82	1601,63	154,01	3,98	38,65	34,10	1,20
	21	900,00	1591,03	2,95	1593,98	1595,36	155,26	5,21	29,79	25,71	1,55
	22	950,00	1582,54	3,27	1585,81	1587,31	156,51	5,42	28,89	17,41	1,34
	23	1000,00	1574,86	2,75	1577,61	1578,61	157,77	4,42	35,70	28,46	1,26
	24	1050,00	1567,50	2,58	1570,08	1571,10	159,02	4,47	35,58	20,58	1,09
	25	1100,00	1562,09	2,87	1564,96	1566,45	159,65	5,40	29,55	17,10	1,31
	26	1150,00	1554,77	2,51	1557,28	1559,10	160,50	5,98	26,83	17,35	1,54

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-
	27	1200,00	1544,12	2,43	1546,55	1548,20	162,20	5,69	28,52	18,10	1,45
	28	1250,00	1534,79	2,32	1537,11	1538,42	163,90	5,08	32,29	20,71	1,30
	29	1300,00	1526,60	2,98	1529,58	1531,04	165,59	5,35	30,94	16,93	1,26
	30	1350,00	1520,01	2,53	1522,54	1523,49	167,29	4,32	38,70	23,53	1,08
	31	1400,00	1514,57	2,92	1517,49	1518,72	168,14	4,92	34,19	20,47	1,22
	32	1450,00	1507,94	3,03	1510,97	1512,13	169,26	4,77	35,48	18,81	1,11
	33	1500,00	1503,41	2,27	1505,68	1506,32	171,51	3,54	48,51	46,12	1,10
	34	1550,00	1497,40	2,28	1499,68	1500,55	173,76	4,13	42,05	28,12	1,08
	35	1600,00	1491,83	2,70	1494,53	1495,37	176,00	4,05	43,46	26,25	1,00
	36	1650,00	1486,26	3,92	1490,18	1491,24	178,25	4,55	39,15	18,42	1,00
	37	1700,00	1482,36	3,57	1485,93	1486,71	180,49	3,91	46,17	23,07	0,88
	38	1750,00	1480,19	2,55	1482,74	1483,68	182,74	4,30	42,47	24,57	1,04
	39	1800,00	1474,84	3,25	1478,09	1478,92	184,99	4,04	45,83	22,60	0,91
	40	1850,00	1471,01	3,68	1474,69	1475,43	186,11	3,81	48,86	21,22	0,80
	41	1890,72	1468,90	3,65	1472,55	1473,29	186,11	3,80	48,96	21,95	0,82

Tabella 3 - Simulazione di stato attuale per portata TR 200 anni.

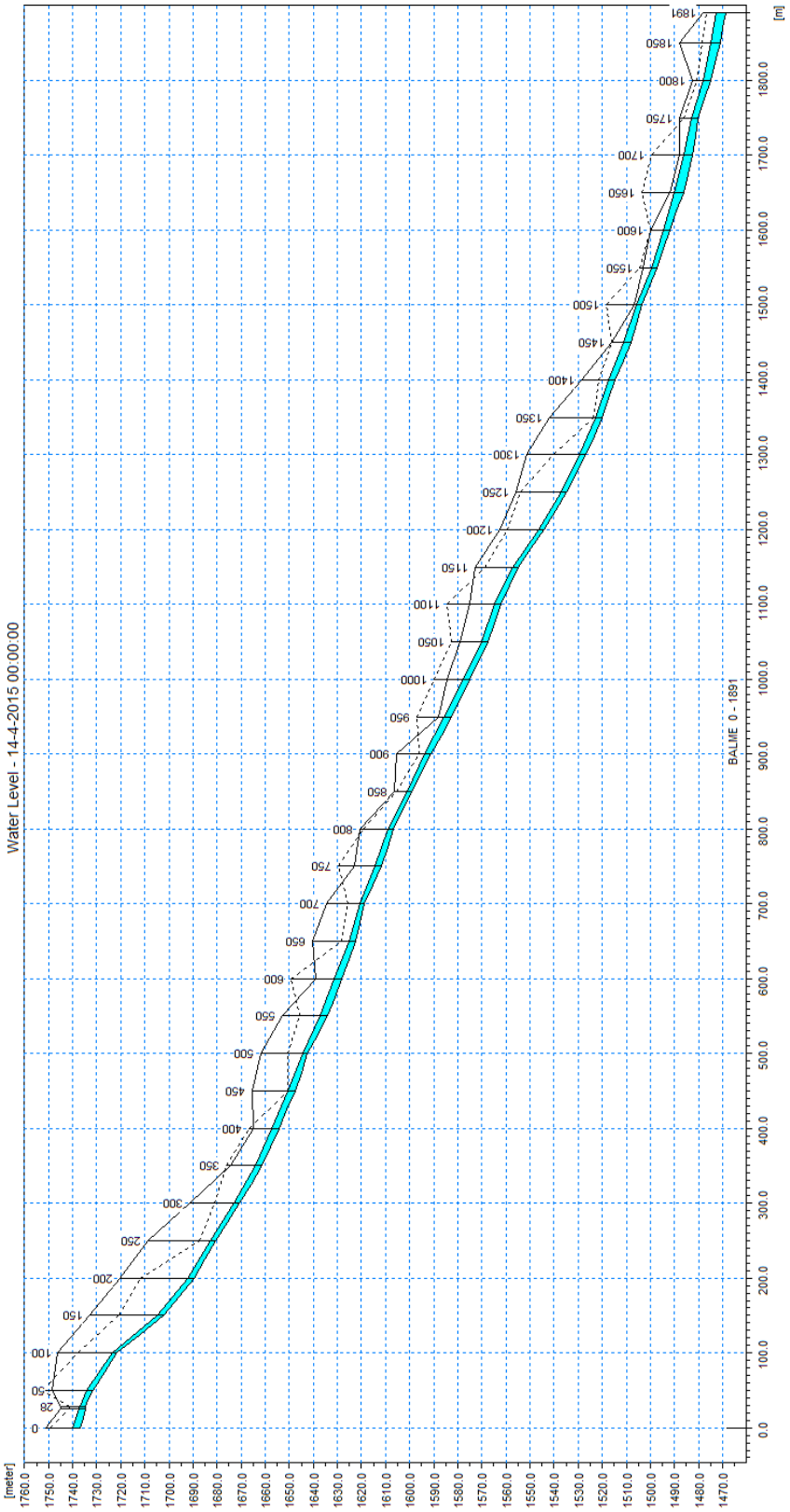


Figura 2 - Profilo idrometrico di stato attuale per portata TR 200 anni.

3.7 Risultati dello Scenario 2

Lo Scenario 2 rappresenta il corso d'acqua nello stato di progetto, con l'opera di presa realizzata tra le sezioni 2 (progressiva 25,23 m) e 3 (progressiva 28,33 m). La combinazione delle portate di riferimento è equivalente a quella descritta per lo Scenario 1.

L'opera di presa ha ciglio sfiorante di larghezza complessiva pari a 11,0 m con quote di fondo monte/valle equivalenti a quelle di stato attuale. L'opera pertanto, come mostrato dalle simulazioni, **non produce perturbazioni apprezzabili sul deflusso di piena** e quindi il profilo idraulico bicentenario è analogo a quello di stato attuale, in particolare si registra un innalzamento di livello di 0,01 m rispetto allo stato attuale nella sezione di monte (sez.2) dell'edificio di presa ed un abbassamento di 0,09 m in quella di valle (sez.3), così come mostrato nella colonna denominata "Differenza con attuale".

I risultati della simulazione sono riportati sia in forma tabulare (Tabella 4) che grafica (profilo idrometrico di Figura 3).

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude	Differenza con attuale
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-	m
	1	0,00	1736,68	3,18	1739,86	1741,01	133,63	4,74	28,17	14,04	1,07	0,00
monte presa in progetto	2	25,23	1735,20	2,04	1737,24	1738,76	133,63	5,45	24,50	14,10	1,32	0,01
valle presa in progetto	3	28,33	1734,70	2,14	1736,84	1738,36	133,63	5,46	24,47	13,70	1,30	-0,09
	4	50,00	1731,70	2,66	1734,36	1736,30	133,63	6,17	21,65	12,73	1,51	0,00
	5	100,00	1721,60	1,92	1723,52	1726,03	133,63	7,01	19,06	14,74	1,97	0,00
	6	150,00	1702,21	2,60	1704,81	1706,73	134,52	6,15	21,89	15,08	1,63	0,00
	7	200,00	1689,46	2,81	1692,27	1694,00	136,31	5,83	23,37	13,81	1,43	0,00
	8	250,00	1680,68	2,02	1682,70	1683,91	138,09	4,87	28,36	23,89	1,43	0,00
	9	300,00	1670,81	1,97	1672,78	1674,09	139,87	5,06	27,62	19,94	1,37	0,00
	10	350,00	1661,16	2,92	1664,08	1665,44	141,66	5,17	27,38	15,30	1,24	0,00
	11	400,00	1654,36	2,82	1657,18	1658,38	142,55	4,86	29,33	18,05	1,22	0,00
	12	450,00	1647,46	3,09	1650,55	1651,40	143,52	4,08	35,16	26,34	1,13	0,00
	13	500,00	1642,35	2,21	1644,56	1645,71	145,46	4,74	30,68	21,47	1,27	0,00
	14	550,00	1633,90	3,35	1637,25	1638,47	147,39	4,89	30,15	16,39	1,15	0,00
	15	600,00	1628,31	3,02	1631,33	1632,32	148,36	4,41	33,65	22,38	1,15	0,00
	16	650,00	1622,27	3,05	1625,32	1626,11	148,99	3,93	37,87	23,87	1,00	0,00
	17	700,00	1618,78	2,09	1620,87	1621,74	150,24	4,14	36,33	27,90	1,16	0,00
	18	750,00	1611,61	3,01	1614,62	1615,72	151,50	4,65	32,55	18,00	1,10	0,00
	19	800,00	1606,62	2,63	1609,25	1610,75	152,75	5,43	28,15	17,55	1,37	0,00
	20	850,00	1599,13	1,69	1600,82	1601,63	154,01	3,98	38,65	34,10	1,20	0,00
	21	900,00	1591,03	2,95	1593,98	1595,36	155,26	5,21	29,79	25,71	1,55	0,00
	22	950,00	1582,54	3,27	1585,81	1587,31	156,51	5,42	28,89	17,41	1,34	0,00
	23	1000,00	1574,86	2,75	1577,61	1578,61	157,77	4,42	35,70	28,46	1,26	0,00
	24	1050,00	1567,50	2,58	1570,08	1571,10	159,02	4,47	35,58	20,58	1,09	0,00
	25	1100,00	1562,09	2,87	1564,96	1566,45	159,65	5,40	29,55	17,10	1,31	0,00

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude	Differenza con attuale
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-	m
	26	1150,00	1554,77	2,51	1557,28	1559,10	160,50	5,98	26,83	17,35	1,54	0,00
	27	1200,00	1544,12	2,43	1546,55	1548,20	162,20	5,69	28,52	18,10	1,45	0,00
	28	1250,00	1534,79	2,32	1537,11	1538,42	163,90	5,08	32,29	20,71	1,30	0,00
	29	1300,00	1526,60	2,98	1529,58	1531,04	165,59	5,35	30,94	16,93	1,26	0,00
	30	1350,00	1520,01	2,53	1522,54	1523,49	167,29	4,32	38,70	23,53	1,08	0,00
	31	1400,00	1514,57	2,92	1517,49	1518,72	168,14	4,92	34,19	20,47	1,22	0,00
	32	1450,00	1507,94	3,03	1510,97	1512,13	169,26	4,77	35,48	18,81	1,11	0,00
	33	1500,00	1503,41	2,27	1505,68	1506,32	171,51	3,54	48,51	46,12	1,10	0,00
	34	1550,00	1497,40	2,28	1499,68	1500,55	173,76	4,13	42,05	28,12	1,08	0,00
	35	1600,00	1491,83	2,70	1494,53	1495,37	176,00	4,05	43,46	26,25	1,00	0,00
	36	1650,00	1486,26	3,92	1490,18	1491,24	178,25	4,55	39,15	18,42	1,00	0,00
	37	1700,00	1482,36	3,57	1485,93	1486,71	180,49	3,91	46,17	23,07	0,88	0,00
	38	1750,00	1480,19	2,55	1482,74	1483,68	182,74	4,30	42,47	24,57	1,04	0,00
	39	1800,00	1474,84	3,25	1478,09	1478,92	184,99	4,04	45,83	22,60	0,91	0,00
	40	1850,00	1471,01	3,68	1474,69	1475,43	186,11	3,81	48,86	21,22	0,80	0,00
	41	1890,72	1468,90	3,65	1472,55	1473,29	186,11	3,80	48,96	21,95	0,82	0,00

Tabella 4 - Simulazione di progetto per portata TR 200 anni.

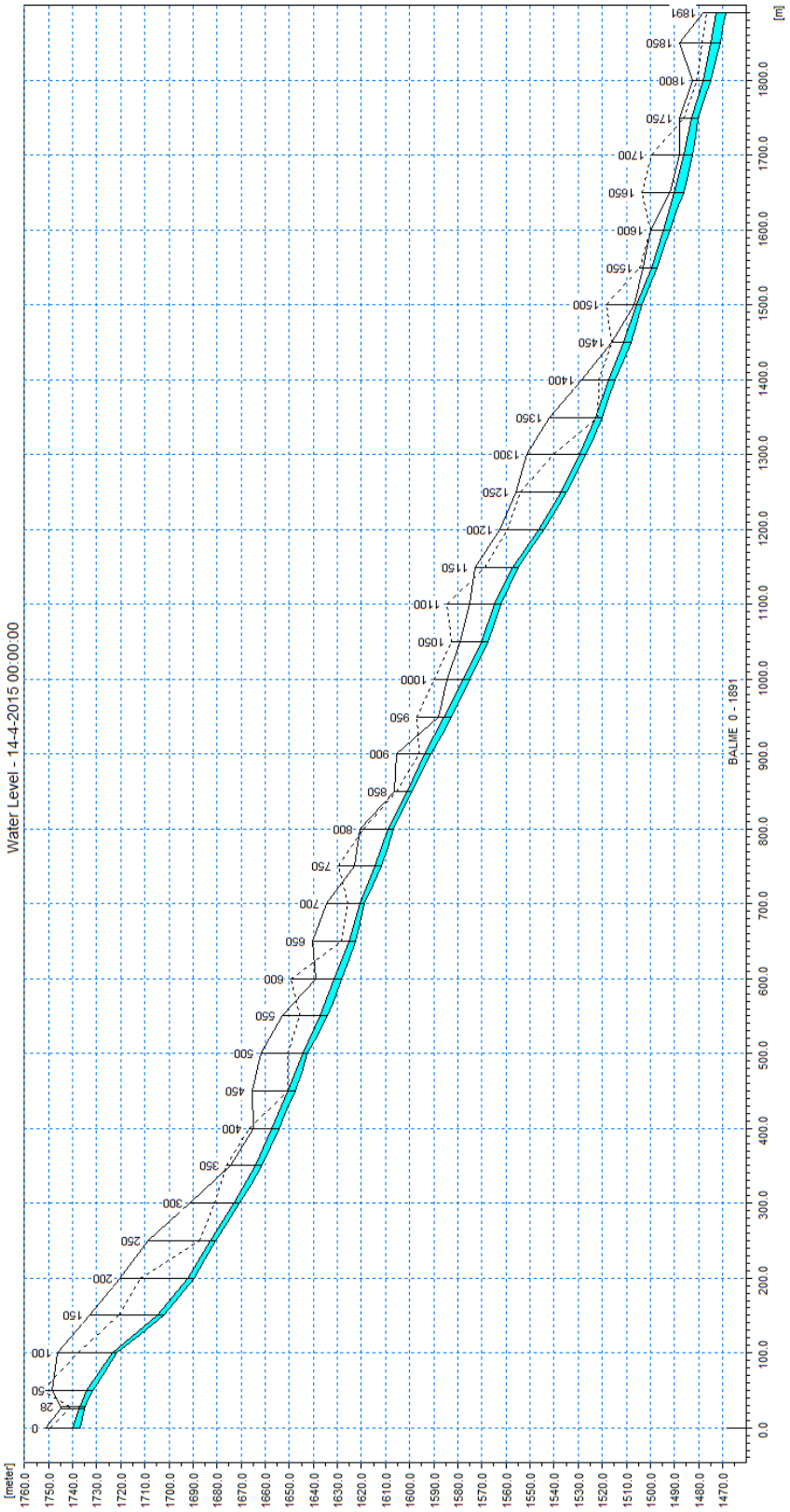


Figura 3 - Profilo idrometrico di progetto per portata TR 200 anni.

4. ANALISI IDRAULICA IN CONDIZIONI ORDINARIE

4.1 Dati idrologici

Le condizioni idrologiche nel tratto sotteso dall'impianto in progetto cui fare riferimento per definire i profili della corrente relativi agli stati di magra e ordinario derivano dall'analisi della disponibilità idrica naturale e del prelievo previsto a scopo idroelettrico (cfr. Elab. A.03).

Sono stati definiti, alla sezione di presa (superficie bacino sotteso 31,9 km^2) e lungo il tratto sotteso fino alla sezione dello scarico della centrale (superficie bacino sotteso 35,8 km^2), i valori della portata media annua, di riferimento per le condizioni di deflusso in regime ordinario, e della portata $Q_{mediana}$ di riferimento per lo stato di magra.

Dall'analisi dei valori di disponibilità naturale alla sezione di presa, si osserva come la portata $Q_{mediana}$ sia confrontabile con la portata media nella situazione di progetto.

Lungo il tratto sotteso dall'impianto, esteso circa 1,7 km, afferisce pertanto un bacino residuo pari a circa 4 km^2 (cfr. Figura 4), piuttosto significativo dal punto di vista del contributo di portata naturale sul tratto in quanto caratterizzato dalla presenza di numerosi apporti, soprattutto nel versante ubicato in sponda sinistra.

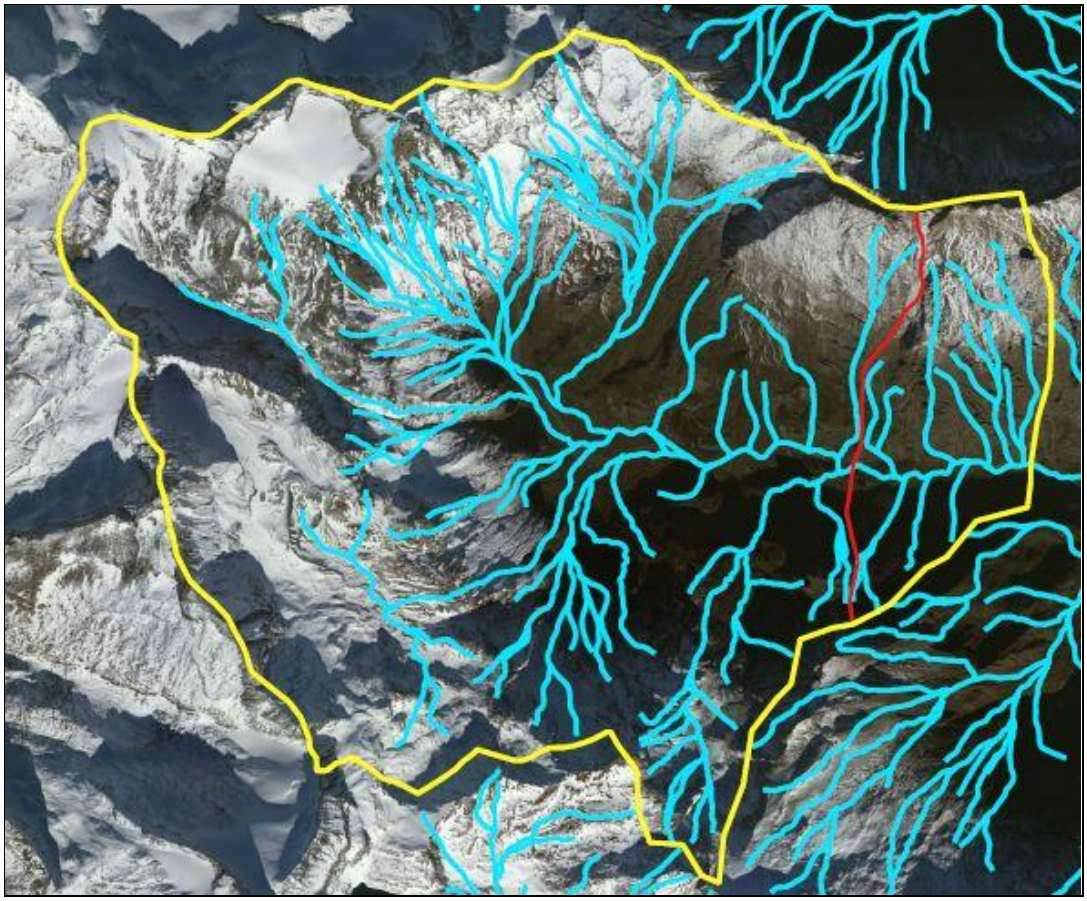


Figura 4 - Bacini idrografici sottesi alla presa (rosso) e alla centrale in progetto (giallo).

I valori di portata di riferimento sono stati stimati in condizioni attuali naturali e nelle condizioni di progetto, ovvero a impianto idroelettrico in esercizio, considerando i seguenti valori di derivazione idrica: portata massima 1,9 m^3/s, DE modulato su base mensile, con valor medio di 0,16 m^3/s, portata media annua di concessione 0,556 m^3/s.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di tali portate caratteristiche.

Sezione idrografica	Sezioni modello distribuzione portata	Situazione Attuale Portata media annua	Incremento portata sottobacino
-	-	m^3/s	m^3/s
monte presa	Da S1 a S5	**0,861**	-
bacino 1	Da S6 a S11	**0,908**	0,047
bacino 2	Da S12 a S15	**0,933**	0,025
bacino 3	Da S16 a S25	**0,986**	0,053
bacino 4	Da S26 a S31	**1,016**	0,030
bacino 5	Da S32 a S41	**1,098**	0,082

Tabella 5 - Situazione attuale: portate naturali medie annue distribuite uniformemente lungo l'asta fluviale della Stura d'Ala.

Sezione idrografica	Sezioni modello distribuzione portata	Situazione Progetto Portata media annua	Incremento portata sottobacino
-	-	m^3/s	m^3/s
valle presa	Da S2 a S5	**0,261**	-
bacino 1	Da S6 a S11	**0,308**	0,047
bacino 2	Da S12 a S15	**0,333**	0,025
bacino 3	Da S16 a S25	**0,386**	0,053
bacino 4	Da S26 a S31	**0,416**	0,030
bacino 5	Da S32 a S41	**0,498**	0,082

Tabella 6 - Situazione di progetto: portate di progetto medie annue distribuite uniformemente lungo l'asta fluviale della Stura d'Ala.

Sezione idrografica	Sezioni modello distribuzione portata	Situazione Attuale Portata di magra (Qmediana)	Incremento portata sottobacino
-	-	m^3/s	m^3/s
valle presa	Da S2 a S5	**0,200**	-
bacino 1	Da S6 a S11	**0,247**	0,047
bacino 2	Da S12 a S15	**0,272**	0,025
bacino 3	Da S16 a S25	**0,325**	0,053
bacino 4	Da S26 a S31	**0,355**	0,030
bacino 5	Da S32 a S41	**0,437**	0,082

Tabella 7 - Situazione naturale: portate naturali di magra distribuite uniformemente lungo l'asta fluviale della Stura d'Ala.

4.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello per gli scenari simulati sono le seguenti:

- Condizioni di deflusso ordinario Scenario 3 (stato attuale con portata media annua)
  - portata costante di valore pari a 0,861 m3/s, in entrata a monte nella sezione 1 (progressiva 0,00 m);
  - incrementi di deflusso distribuiti lungo l'asta fluviale secondo lo schema idrologico riportato in Tabella 5 ;
  - scala di deflusso in moto uniforme nella sezione 41 di valle (progressiva 1.890,72 m).

- Condizioni di deflusso ordinario Scenario 4 (stato di progetto con portata media annua diminuita di quella media annua derivata dall'impianto in progetto)
  - portata costante di valore pari a 0,861 m^3/s, in entrata a monte nella sezione 1 (progressiva 0,00 m);
  - portata costante di valore pari a 0,261 m^3/s, in corrispondenza delle sez.2-5 in considerazione della portata derivata dall'edificio di presa;
  - incrementi di deflusso distribuiti lungo l'asta fluviale secondo lo schema idrologico riportato in Tabella 6;
  - scala di deflusso in moto uniforme nella sezione 41 di valle (progressiva 1.890,72 m).

4.3 Risultati dello Scenario 3

Lo Scenario 3 rappresenta idrodinamicamente lo Stura d'Ala nelle condizioni di stato attuale in occasione del transito della portata media annua, secondo lo schema idrologico esposto in Tabella 5. Lo schema geometrico del modello idraulico è equivalente a quello dello Scenario 1.

La portata transita nel tratto simulato in corrente lenta, caratterizzata da tiranti idrici in alveo compresi tra 0,14 e 0,55 m e velocità variabili tra valori di 0,50 e 1,45 m/s.

I risultati della simulazione sono riportati sia in forma tabulare (Tabella 8) che grafica (profilo idrometrico di Figura 5).

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-
	1	0,00	1736,68	0,33	1737,01	1737,05	0,861	0,92	0,94	4,74	0,66
monte futura presa	2	25,23	1734,82	0,22	1735,04	1735,05	0,861	0,51	1,68	10,46	0,41
valle futura presa	3	28,33	1734,58	0,32	1734,90	1734,95	0,861	1,01	0,85	5,03	0,78
	4	50,00	1731,70	0,30	1732,00	1732,08	0,861	1,25	0,69	3,24	0,86
	5	100,00	1721,60	0,14	1721,74	1721,82	0,861	1,25	0,69	2,04	0,69
	6	150,00	1702,21	0,30	1702,51	1702,61	0,866	1,37	0,63	1,99	0,78
	7	200,00	1689,46	0,29	1689,75	1689,82	0,875	1,20	0,73	2,11	0,65
	8	250,00	1680,68	0,14	1680,82	1680,87	0,885	0,94	0,94	2,31	0,47

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-
	9	300,00	1670,81	0,14	1670,95	1670,99	0,894	0,88	1,02	3,73	0,53
	10	350,00	1661,16	0,37	1661,53	1661,60	0,903	1,17	0,77	3,69	0,83
	11	400,00	1654,36	0,40	1654,76	1654,84	0,908	1,24	0,73	3,35	0,85
	12	450,00	1647,46	0,42	1647,88	1647,94	0,912	1,13	0,81	3,52	0,76
	13	500,00	1642,35	0,19	1642,54	1642,59	0,921	0,95	0,97	3,88	0,61
	14	550,00	1633,90	0,49	1634,39	1634,47	0,929	1,27	0,73	2,66	0,78
	15	600,00	1628,31	0,27	1628,58	1628,64	0,933	1,10	0,85	2,82	0,64
	16	650,00	1622,27	0,42	1622,69	1622,73	0,936	0,94	1,00	4,27	0,62
	17	700,00	1618,78	0,35	1619,13	1619,18	0,942	1,01	0,93	5,77	0,81
	18	750,00	1611,61	0,34	1611,95	1612,00	0,948	1,02	0,93	4,69	0,73
	19	800,00	1606,62	0,35	1606,97	1607,05	0,954	1,22	0,78	3,92	0,88
	20	850,00	1599,13	0,19	1599,32	1599,38	0,960	1,04	0,92	6,53	0,89
	21	900,00	1591,03	0,43	1591,46	1591,56	0,965	1,42	0,68	2,83	0,93
	22	950,00	1582,54	0,46	1583,00	1583,10	0,971	1,43	0,68	2,64	0,90
	23	1000,00	1574,86	0,43	1575,29	1575,38	0,977	1,34	0,73	3,05	0,88
	24	1050,00	1567,50	0,23	1567,73	1567,77	0,983	0,94	1,05	4,93	0,65
	25	1100,00	1562,09	0,33	1562,42	1562,49	0,986	1,19	0,83	3,36	0,77
	26	1150,00	1554,77	0,22	1554,99	1555,07	0,989	1,24	0,80	3,46	0,82
	27	1200,00	1544,12	0,17	1544,29	1544,35	0,995	1,09	0,91	3,11	0,65
	28	1250,00	1534,79	0,25	1535,04	1535,09	1,001	1,00	1,00	4,74	0,70
	29	1300,00	1526,60	0,34	1526,94	1527,01	1,007	1,14	0,88	3,27	0,71
	30	1350,00	1520,01	0,26	1520,27	1520,30	1,013	0,80	1,26	5,93	0,56
	31	1400,00	1514,57	0,38	1514,95	1515,02	1,016	1,18	0,86	4,04	0,82
	32	1450,00	1507,94	0,39	1508,33	1508,39	1,021	1,05	0,97	4,44	0,72
	33	1500,00	1503,41	0,37	1503,78	1503,83	1,031	0,96	1,07	6,11	0,74
	34	1550,00	1497,40	0,31	1497,71	1497,76	1,042	0,98	1,06	6,50	0,78
	35	1600,00	1491,83	0,32	1492,15	1492,20	1,052	0,96	1,10	6,74	0,76
	36	1650,00	1486,26	0,55	1486,81	1486,88	1,062	1,14	0,93	3,08	0,67
	37	1700,00	1482,36	0,45	1482,81	1482,84	1,072	0,81	1,32	5,00	0,50
	38	1750,00	1480,19	0,32	1480,51	1480,55	1,083	0,90	1,20	8,27	0,75
	39	1800,00	1474,84	0,27	1475,11	1475,15	1,093	0,83	1,31	7,35	0,64
	40	1850,00	1471,01	0,43	1471,44	1471,48	1,098	0,88	1,25	5,05	0,56
	41	1890,72	1468,90	0,18	1469,08	1469,12	1,103	0,88	1,25	6,11	0,62

Tabella 8 - Simulazione in condizioni di stato attuale per portata media annua.

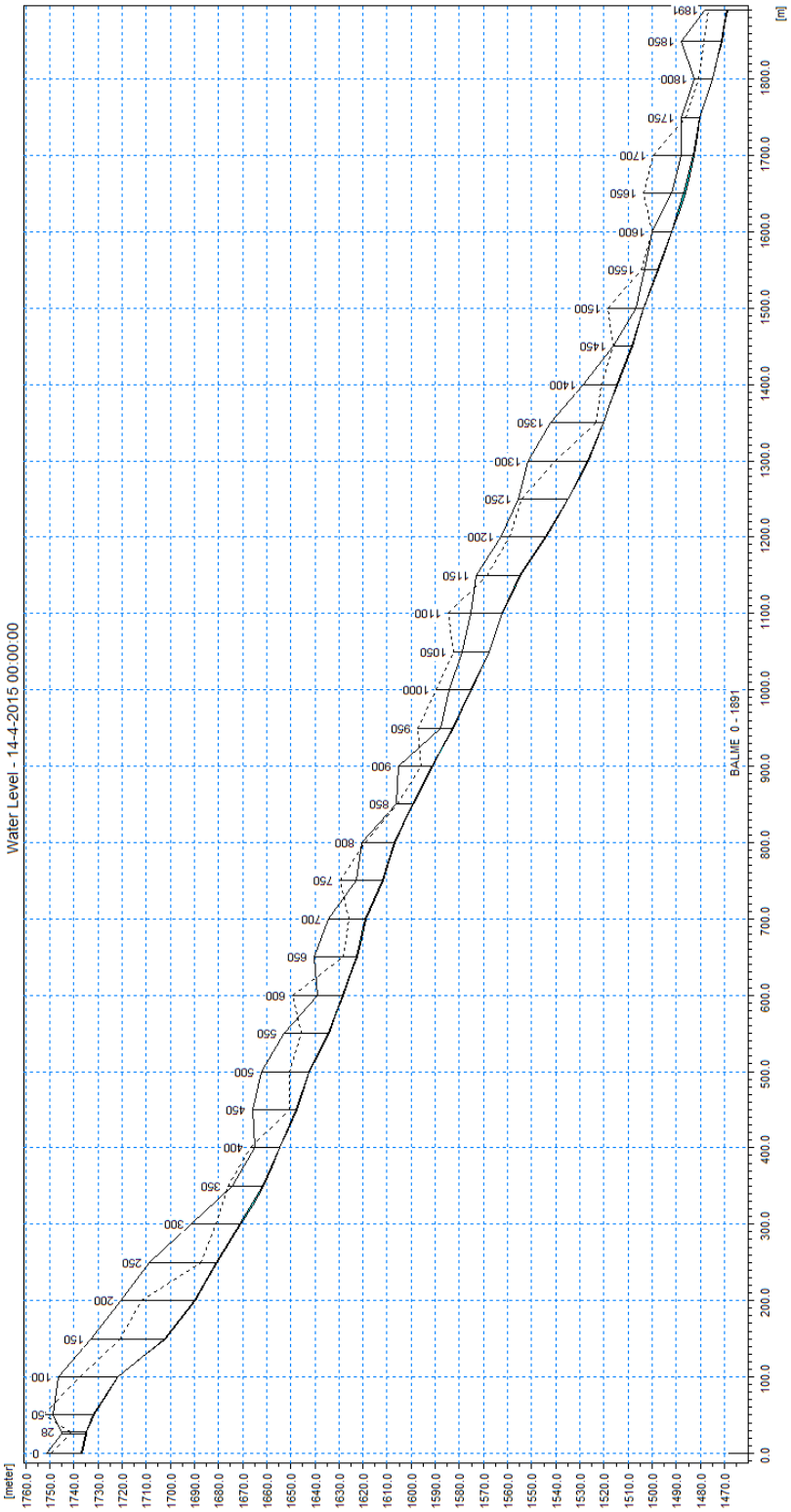


Figura 5 - Profilo idrometrico in condizioni di stato attuale per portata media annua.

4.4 Risultati dello Scenario 4

Lo Scenario 4 rappresenta idrodinamicamente lo Stura d'Ala in condizioni di progetto in condizioni di deflusso di portata media annua, con geometria equivalente allo Scenario 2; il modello schematizza l'opera di presa realizzata tra le sezioni 2 (progressiva 25,23 m) e 3 (progressiva 28,33 m). La combinazione delle portate lungo l'asta fluviale, tiene conto della portata media annua derivata dall'impianto di valore pari a 0,55 m^3/s, ed è quella riportata in Tabella 6.

Anche per questo scenario la portata transita nel tratto simulato in corrente lenta, caratterizzata da tiranti idrici compresi tra 0,05 e 0,41 m e velocità variabili tra valori di 0,25 e 1,15 m/s. Le caratteristiche del deflusso sono quindi confrontabili con quelle di stato attuale (Scenario 3) e pertanto si può evincere come l'opera di derivazione non alteri nella sostanza la struttura idromorfologica (e il correlato livello di qualità ambientale) del tratto di corso d'acqua sotteso dall'impianto idroelettrico in progetto.

La colonna denominata "Differenza con attuale" mostra come nel tratto di corso d'acqua da valle dell'opera di derivazione in progetto vi siano differenze di tiranti in alveo comprese tra valori di 0,06 e 0,17 m; in corrispondenza dell'opera di derivazione le differenze sono comprese tra 0,16 e 0,26 m per effetto della sistemazione idraulica di progetto dell'alveo.

I risultati della simulazione sono riportati sia in forma tabulare (Tabella 9) che grafica (profilo idrometrico di Figura 6).

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude	Differenza con attuale
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-	m
	1	0,00	1736,68	0,33	1737,01	1737,05	0,861	0,92	0,94	4,74	0,66	0,00
monte presa in progetto	2	25,23	1735,20	0,06	1735,26	1735,26	0,261	0,24	1,10	5,27	0,17	-0,16
valle presa in progetto	3	28,33	1734,70	0,06	1734,76	1734,76	0,261	0,24	1,10	4,99	0,16	-0,26
	4	50,00	1731,70	0,15	1731,85	1731,88	0,261	0,77	0,34	1,59	0,53	-0,15
	5	100,00	1721,60	0,05	1721,65	1721,66	0,261	0,52	0,50	1,42	0,28	-0,09
	6	150,00	1702,21	0,15	1702,36	1702,40	0,266	0,86	0,31	0,98	0,49	-0,15
	7	200,00	1689,46	0,14	1689,60	1689,63	0,275	0,76	0,36	1,06	0,41	-0,15
	8	250,00	1680,68	0,06	1680,74	1680,75	0,285	0,42	0,68	1,61	0,21	-0,08
	9	300,00	1670,81	0,06	1670,87	1670,88	0,294	0,40	0,73	2,60	0,24	-0,08
	10	350,00	1661,16	0,23	1661,39	1661,43	0,303	0,87	0,35	2,30	0,71	-0,14
	11	400,00	1654,36	0,27	1654,63	1654,68	0,308	0,96	0,32	2,27	0,81	-0,13
	12	450,00	1647,46	0,25	1647,71	1647,74	0,312	0,80	0,39	2,12	0,59	-0,17
	13	500,00	1642,35	0,09	1642,44	1642,46	0,321	0,62	0,52	2,08	0,39	-0,10
	14	550,00	1633,90	0,33	1634,23	1634,28	0,329	0,97	0,34	1,75	0,71	-0,16
	15	600,00	1628,31	0,14	1628,45	1628,48	0,333	0,72	0,46	1,52	0,43	-0,13
	16	650,00	1622,27	0,26	1622,53	1622,55	0,336	0,67	0,50	2,73	0,51	-0,16
	17	700,00	1618,78	0,23	1619,01	1619,04	0,342	0,78	0,44	3,54	0,70	-0,12
	18	750,00	1611,61	0,19	1611,80	1611,82	0,348	0,68	0,51	2,58	0,49	-0,15

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude	Differenza con attuale
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m3/s	m/s	m2	m	-	m
	19	800,00	1606,62	0,24	1606,86	1606,90	0,354	0,93	0,38	2,68	0,79	-0,11
	20	850,00	1599,13	0,11	1599,24	1599,27	0,360	0,73	0,49	4,70	0,73	-0,08
	21	900,00	1591,03	0,31	1591,34	1591,41	0,365	1,14	0,32	2,02	0,92	-0,12
	22	950,00	1582,54	0,32	1582,86	1582,92	0,371	1,12	0,33	1,90	0,87	-0,14
	23	1000,00	1574,86	0,31	1575,17	1575,23	0,377	1,08	0,35	2,22	0,87	-0,12
	24	1050,00	1567,50	0,13	1567,63	1567,65	0,383	0,65	0,59	2,79	0,45	-0,10
	25	1100,00	1562,09	0,19	1562,28	1562,31	0,386	0,82	0,47	1,92	0,53	-0,14
	26	1150,00	1554,77	0,13	1554,90	1554,94	0,389	0,85	0,46	1,97	0,57	-0,09
	27	1200,00	1544,12	0,09	1544,21	1544,24	0,395	0,73	0,54	1,83	0,43	-0,08
	28	1250,00	1534,79	0,15	1534,94	1534,96	0,401	0,69	0,58	2,73	0,48	-0,10
	29	1300,00	1526,60	0,20	1526,80	1526,83	0,407	0,80	0,51	1,90	0,49	-0,14
	30	1350,00	1520,01	0,15	1520,16	1520,18	0,413	0,56	0,74	3,47	0,39	-0,11
	31	1400,00	1514,57	0,28	1514,85	1514,90	0,416	0,97	0,43	2,99	0,82	-0,10
	32	1450,00	1507,94	0,28	1508,22	1508,25	0,421	0,83	0,51	3,26	0,66	-0,11
	33	1500,00	1503,41	0,31	1503,72	1503,75	0,431	0,77	0,56	5,12	0,75	-0,06
	34	1550,00	1497,40	0,21	1497,61	1497,64	0,442	0,80	0,55	4,18	0,71	-0,10
	35	1600,00	1491,83	0,22	1492,05	1492,08	0,452	0,75	0,60	4,76	0,68	-0,10
	36	1650,00	1486,26	0,41	1486,67	1486,71	0,462	0,92	0,50	2,23	0,63	-0,14
	37	1700,00	1482,36	0,35	1482,71	1482,73	0,472	0,66	0,71	4,03	0,51	-0,10
	38	1750,00	1480,19	0,22	1480,41	1480,44	0,483	0,73	0,66	5,63	0,69	-0,10
	39	1800,00	1474,84	0,20	1475,04	1475,06	0,493	0,62	0,79	6,75	0,59	-0,07
	40	1850,00	1471,01	0,32	1471,33	1471,36	0,498	0,72	0,69	3,90	0,55	-0,11
	41	1890,72	1468,90	0,11	1469,01	1469,03	0,503	0,64	0,78	5,79	0,56	-0,07

Tabella 9 - Simulazione in condizioni di progetto per portata media annua.

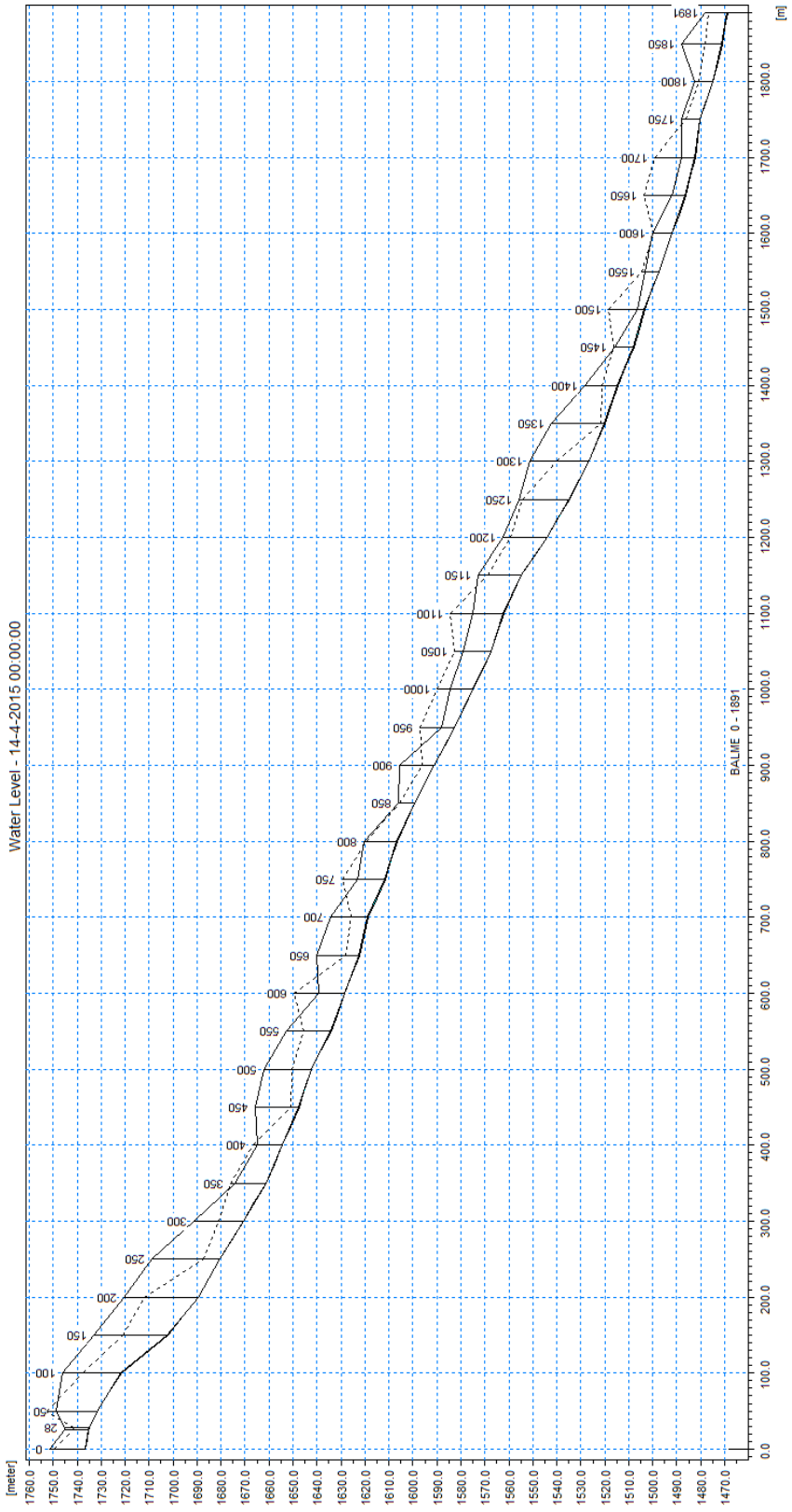


Figura 6 - Profilo idrometrico in condizioni di progetto per portata media annua.

5. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

Sono stati dimensionati il dispositivo per il rilascio definitivo del DE in corrispondenza dell'opera di presa in esame e il dispositivo di limitazione della portata derivata.

Viene inoltre riportato il dimensionamento del canale di restituzione in alveo della portata turbinata.

5.1 Dispositivo di limitazione della portata derivata

5.1.1 Descrizione e schema di funzionamento del manufatto

La limitazione della portata derivata sarà garantita dalla presenza di tre luci di sfioro ubicate nella camera posta sotto la griglia di presa. La soglia di sfioro sarà posta a quota 1.733,95 m s.l.m.

La portata derivata (Q_{max} = 1,9 m^3/s) per "caduta" dalla presa a trappola defluirà nella camera sottostante e verrà convogliata verso la sponda destra, da cui avrà origine il dissabbiatore e la condotta di derivazione in pressione.

La camera sarà chiusa a valle da un setto trasversale (stramazzo di derivazione), avente sia funzione di intercettazione dei sedimenti più grossolani, sia di disconnessione idraulica dalla regolazione di valle, per consentire l'effettivo funzionamento della limitazione di portata derivabile da parte delle luci di sfioro.

Immediatamente a monte del setto sarà ubicata la paratoia sghiaiatrice (bxh = 1m x 1m), attraverso la quale verrà anche effettuato il rilascio di una quota parte del gradino massimo di DE (cfr. capitolo 5.2).

Tra gli sfioratori e lo stramazzo di derivazione un setto trasversale realizzerà un ribassamento della soletta di copertura del canale; tale setto, in relazione ai livelli di regolazione, risulterà sempre immerso, così da intercettare il materiale flottante evitandone l'ingresso nella camera di carico.

Il setto dello stramazzo di derivazione sarà di altezza pari a 1,75 m (quota di soglia di 1.733,20 m s.l.m.) e separerà la camera di raccolta dal successivo dissabbiatore, di larghezza 2,60 m, al termine del quale ha origine la condotta forzata.

Le regolazioni operate dal macchinario di centrale saranno tali da garantire in questa camera un carico idraulico minimo all'imbocco della tubazione (pari a circa 1,59 m sulla generatrice superiore del manufatto, corrispondente ad una quota di regolazione di 1.733,78 m s.l.m.) in modo da evitare l'ingresso di aria nella condotta forzata. Il setto di derivazione funzionerà quindi come uno stramazzo rigurgitato, essendo il livello di regolazione superiore alla quota di soglia.

Lo schema dei manufatti descritti è riportato in Figura 7.

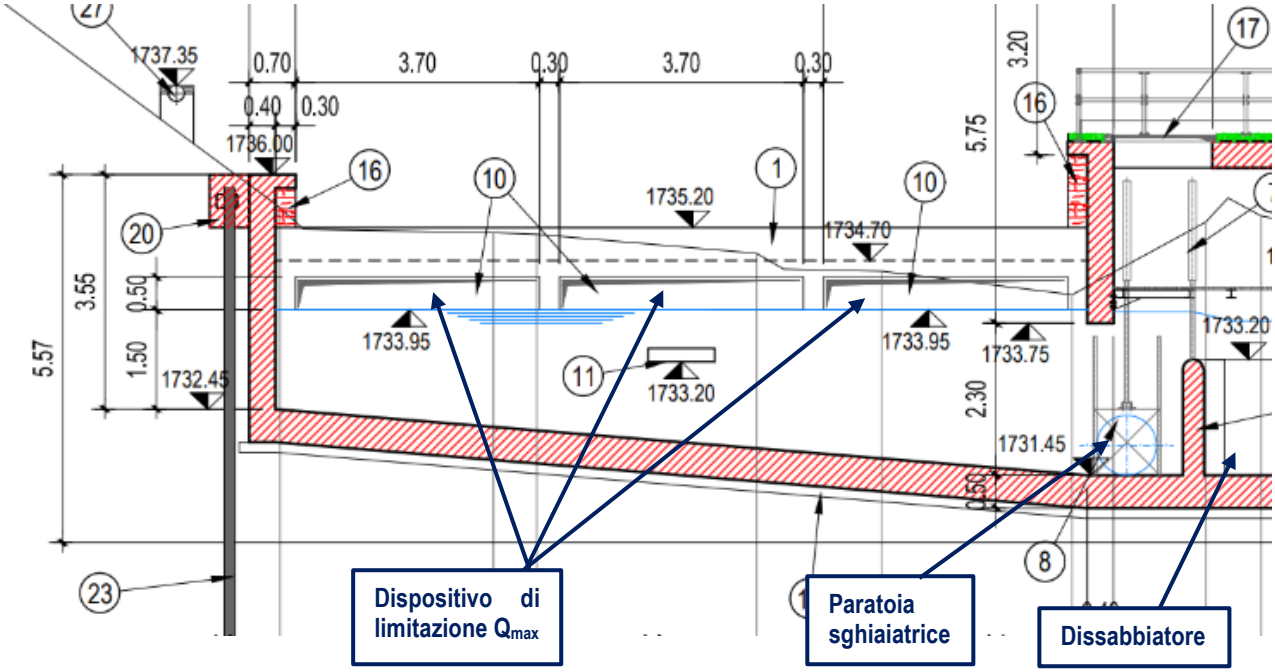


Figura 7 - Schema dell'opera di presa (vista da monte verso valle).

5.1.2 Verifica della minima sommergenza

Come descritto nella Generale (elaborato A.01), è prevista la realizzazione di una condotta forzata di diametro 1.000 mm.

Le regolazioni operate dal macchinario di centrale saranno tali da garantire all'imbocco del dissabbiatore un pelo libero posto alla quota di regolazione di 1.733,78 m s.l.m., a cui corrisponde un livello minimo in uscita al dissabbiatore di 1.733,55 m s.l.m.

La sommergenza all'imbocco è dunque pari a:

$$S = Y - D \qquad [1]$$

dove Y è il carico nella camera a monte della condotta forzata [m] e D è il diametro della condotta stessa all'imbocco [m]. I risultati sono riportati in Tabella 10.

Quota P.L. a monte imbocco condotta	**[m s.l.m.]**	**1.733,55**
Quota fondo condotta	[m s.l.m.]	1.731,00
Y	[m]	2,55
D	[m]	1
S	**[m]**	**1,55**
S/D	**[-]**	**1,55**

Tabella 10 – Calcolo della sommergenza.

Come evidenziato in Tabella 10, la sommergenza risulta pari a 1,55 volte il diametro della condotta forzata. Il carico idraulico presente a monte dell'imbocco è dunque sufficiente ad impedire l'ingresso di aria in condotta.

5.1.3 Verifica del dispositivo di limitazione della portata derivata

Come descritto in precedenza la quota di *regolazione alla presa*, corrispondente al livello in ingresso al dissabbiatore, a valle del dispositivo di limitazione della portata è pari a 1.733,78 m s.l.m.

Si precisa si d'ora che ai soli fini produttivi, la quota di regolazione effettivamente praticata sarà di 1.733,55 m s.l.m, valore derivante dalla trasposizione a valle dei due ulteriori setti sfioranti presenti nel dissabbiatore, della quota di *regolazione della presa*.

L'introduzione del dissabbiatore con setti sfioranti successivi porta, pertanto, alla definizione di questi due parametri di quota, da ritenersi tuttavia del tutto complementari l'uno all'altro.

Infatti, dal punto di vista dei sistemi di rilascio e limitazione della portata, nulla è variato rispetto alle precedenti soluzioni progettuali senza dissabbiatore, facendo sempre riferimento alla quota di *regolazione alla presa* di 1.733,78 m s.l.m.

Nel seguito si fornisce il dettaglio del dimensionamento del sistema di limitazione delle portate e della definizione delle due quote di riferimento sopra introdotte.

Il dissabbiatore sarà separato dalla camera di raccolta della portata derivata tramite uno stramazzo di derivazione di altezza pari a 1,75 m (quota di soglia di 1.733,20 m s.l.m.), avente sia funzione di intercettazione dei sedimenti grossolani, sia di disconnessione idraulica dalla regolazione di valle, per consentire l'effettivo funzionamento della limitazione di portata derivabile da parte delle luci di sfioro.

Il setto di derivazione funzionerà quindi come uno stramazzo rigurgitato, essendo il livello di regolazione superiore alla quota di soglia. La portata Q defluente attraverso una soglia rigurgitata di larghezza b è calcolabile applicando la formulazione [2]:

$$Q = b \cdot \left(\mu_1 h_2 \sqrt{2gh_1} + \frac{2}{3} \mu_2 h_1 \sqrt{2gh_1} \right), \qquad [2]$$

dove:
h_1 è la differenza tra il pelo libero di monte (h_m) e quello di valle (h_v);
h_2 è la differenza di quota tra il pelo libero di valle e la soglia sfiorante;
μ_1, μ_2 sono dei coefficienti di deflusso che per il caso in esame possono essere assunti pari a μ_1= 0,65; μ_2=0,60.
La portata di riferimento è la massima derivabile (1,9 m^3/s).

Invertendo la formula [2] è possibile determinare il carico di monte h_m sul setto (Tabella 11).

Quota P.L. a valle del setto	**[m s.l.m.]**	**1.733,78**
Quota sommità del setto	[m s.l.m.]	1.733,20
h_v	[m]	0,58
Q_{max}	[m^3/s]	1,90

h_m	**[m]**	**0,72**
Quota P.L. a monte del setto	**[m s.l.m.]**	**1.733,92**

Tabella 11 – Quota del pelo libero a monte del setto di derivazione.

La quota del pelo libero a monte del setto di derivazione è dunque pari a 1.733,92 m s.l.m. e costituisce uno dei parametri di dimensionamento del dispositivo di rilascio del DE (cfr. paragrafo 5.2).

Tra gli sfioratori e lo stramazzo di derivazione un setto trasversale realizzerà un ribassamento della soletta di copertura del canale; tale setto, in relazione ai livelli di regolazione, risulterà sempre immerso, così da intercettare il materiale flottante evitandone l'ingresso nella camera di carico.

L'abbassamento della soletta determinerà un restringimento localizzato della sezione di deflusso, provocando una perdita di carico concentrata valutabile tramite applicazione della formula [3]. Cautelativamente il calcolo è stato effettuato in riferimento al tubo di flusso che si genera tra la soletta ribassata e lo stramazzo di derivazione.

$$\Delta H = \frac{K}{2 \cdot g} \cdot U^2 \qquad [3]$$

dove *g* [m/s^2] è l'accelerazione di gravità, K è un coefficiente empirico funzione del rapporto tra le aree e U è la velocità del fluido [m/s] nella sezione ristretta.

La larghezza della sezione B rimane invariata e pari a 2,60 m. I risultati sono riportati in Tabella 12.

Quota della sommità del restringimento	**[m s.l.m.]**	**1.733,75**
Quota della base del restringimento	**[m s.l.m.]**	**1.733,20**
Y	[m]	0,55
Q	[m^3/s]	1,90
ΔH	**[m]**	**0,03**
Quota P.L. a monte del setto di intercettazione del materiale flottante	**[m s.l.m.]**	**1.733,95**

Tabella 12 – Perdita di carico dovuta al restringimento di sezione.

In condizioni di derivazione della massima portata derivabile la quota del pelo libero a monte del setto di intercettazione del materiale flottante è pari a 1.733,95 m s.l.m., corrispondente alla quota di soglia delle tre luci di sfioro ubicate nella camera posta sotto la griglia di presa (cfr. paragrafo 5.1.1).

Al superamento della portata massima derivabile, dunque, avverrà l'immediata l'attivazione del dispositivo di sfioro. Il manufatto risulta quindi idoneo alla limitazione della portata derivata.

All'interno del dissabbiatore saranno disposti due ulteriori setti sfioranti, aventi soglia rispettivamente a quota 1.733,00 m s.l.m. e 1.732,85 m s.l.m. e caratteristiche analoghe al dispositivo di limitazione della portata.

Applicando dunque la medesima formulazione per il calcolo della portata defluente in caso di sfioratore rigurgitato [2], considerando un livello in ingresso allo sfioratore intermedio pari alla quota di regolazione della presa di 1.733,78 m s.l.m. è stato valutato un livello effettivo in uscita al dissabbiatore, all'imbocco della condotta

forzata di 1.733,55 m s.l.m., corrispondente al livello di regolazione effettivo delle macchine, cui fanno riferimento le valutazioni relative alla produzione.

5.2 Dispositivo di rilascio del Deflusso Ecologico

5.2.1 Descrizione delle alternative progettuali

Il rilascio verrà attuato con riferimento al valore di DE modulato calcolato in accordo con quanto indicato dal vigente regolamento regionale 14/R/2021, la cui determinazione è presentata in dettaglio nella relazione idrologica (Elab. A.03). Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle portate da rilasciare, sintetizzate come valori medi mensili.

Mesi	*DE* (l/s)
GENNAIO	182
FEBBRAIO	182
MARZO	260
APRILE	260
MAGGIO	468
GIUGNO	468
LUGLIO	260
AGOSTO	260
SETTEMBRE	260
OTTOBRE	260
NOVEMBRE	260
DICEMBRE	182

Tabella 13 - Valori del DE modulato.

Come descritto nella Relazione Generale (elaborato A.01), la modalità di rilascio del DE è proposta con riferimento a due configurazioni alternative:

a. (ipotesi di progetto): rilascio mediante una luce ribassata realizzata nella parete di valle della camera di raccolta al di sotto della presa a trappola, con integrazione per il solo gradino massimo di DE mediante parziale apertura della paratoia sghiaiatrice;
b. (ipotesi alternativa): rilascio mediante differenti aperture della paratoia sghiaiatrice.

La soluzione *a.* comporta:

- la realizzazione di una luce sotto allo sfioratore di limitazione delle portate derivate, posta circa al centro dell'alveo in posizione sufficientemente elevata (quota di soglia pari a 1.733,20 m s.l.m.) da poter alimentare l'alveo immediatamente a valle della traversa;
- l'apertura parziale della paratoia sghiaiatrice per incrementare, nei soli mesi a gradino massimo di DE (maggio-giugno), l'entità del rilascio;
- l'inserimento di un sensore idrometrico di tipo piezoresistivo all'interno della camera di raccolta che misuri in continuo il livello, e consenta quindi di monitorare e visualizzare su un display il DE rilasciato istantaneamente (determinato in funzione di una scala di deflusso tarata sperimentalmente). Il display verrà posizionato in un'area visibile al pubblico, affiancato da un cartellone esplicativo in linguaggio non tecnico.

Essa, come di seguito descritto in maggiore dettaglio, presenta il vantaggio di poter effettuare il rilascio immediatamente a valle della presa, senza che rimanga alcun tratto di corso d'acqua, per quanto di ridotta estensione, sprovvisto di deflusso. L'assunzione della soluzione progettuale consente inoltre di incrementare – al crescere del livello in vasca di carico rispetto alla minima derivazione – l'entità della portata rilasciata, generando pertanto una (contenuta) modulazione istantanea del deflusso.

Per contro, il dispositivo di rilascio (soglia fissa) è posto ad una quota pari a quella dello stramazzo di derivazione, e manca quindi di "sicurezza intrinseca": la correttezza del rilascio dipende dalla quota di regolazione fissa mantenuta dal macchinario. La presenza di un display di visualizzazione del rilascio consente di superare questa potenziale criticità permettendo un controllo del rilascio effettivo istantaneo, anche da parte di terzi.

La soluzione alternativa *b.* è stata invece ipotizzata per garantire tale "sicurezza intrinseca", rilasciando il DE dalla paratoia sghiaiatrice posta al piede del setto di derivazione: in questo modo non è in alcun modo possibile la derivazione da parte dell'impianto senza che venga effettuato il rilascio del DE.

Il vantaggio principale di questa soluzione alternativa è proprio la garanzia intrinseca del rilascio in ogni condizione. Lo svantaggio consiste nell'impossibilità, in ragione delle quote e dell'andamento del profilo di fondo del corso d'acqua, di effettuare il rilascio immediatamente a valle della presa: partendo dal piede del setto di derivazione la portata sarà veicolata mediante una tubazione fino a "intercettare" a valle una quota compatibile con il rilascio; si creerebbe pertanto un tratto di una decina di metri a valle della presa non interessato da deflusso.

5.2.2 Descrizione e dimensionamento della soluzione di progetto

Nella soluzione proposta il dispositivo principale utilizzato per il rilascio è costituito da una **luce sottobattente** realizzata nella sezione centrale della vasca dissabbiatrice, sotto allo sfioratore di limitazione della massima portata derivata.

Il manufatto sarà ubicato in una sezione caratterizzata dalla presenza di un carico idraulico a monte variabile tra la quota minima prevista in caso di derivazione della minima portata (quota P.L.: 1.733,78 m s.l.m) e la quota massima in condizioni di portata massima derivata (1.733,95 m s.l.m., cfr. paragrafo 5.1).

Al superamento di quest'ultima quota si attiveranno anche gli sfioratori di limitazione della portata derivata.

Il manufatto funzionerà, tra la quota di soglia – corrispondente alla quota di soglia del setto di derivazione – di 1.733,20 m s.m. e la sommità (posta a 1.733,40 m s.m.) come una luce in parete grossa non rigurgitata, la cui entità del deflusso è valutabile con la formulazione [4].

$$Q = 0{,}385 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2} \qquad [4]$$

dove g [m/s^2] è l'accelerazione di gravità e H [m] il carico a monte dello sfioro. La larghezza dello stramazzo b [m] è stata corretta come nella relazione [5] per tener conto della contrazione laterale della vena dove è presente la scanalatura:

$$b = b - \xi \cdot \frac{\mathrm{H}}{10} \qquad [5]$$

dove ξ è pari a 2 (contrazione della vena da entrambi i lati della luce).

La derivazione vera e propria avrà tuttavia avvio solo al raggiungimento della condizione limite di funzionamento, ovvero di minima portata derivata (quota P.L.: 1.733,78 m s.l.m.); a tale quota è previsto il rilascio del generico gradino di DE e in tali condizioni il dispositivo funzionerà come una luce sottobattente:

$$Q = \mu \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \qquad [6]$$

con μ [-] pari al coefficiente di deflusso, b [m] alla larghezza, a [m] all'altezza e H [m] pari al carico idraulico calcolato rispetto al centro del foro.

In particolare, si prevede la realizzazione di una luce sottobattente rettangolare di altezza pari a 20 cm e larghezza pari a 1,00 m; il restringimento alla larghezza necessaria per rilasciare il generico gradino di DE verrà realizzata con delle flange metalliche, che consentiranno anche l'affinamento delle dimensioni della luce in fase di taratura.

Come sopradescritto, i gradini di DE di competenza sono pari a 182 l/s, 260 l/s e 468 l/s. Per il rilascio del primo e del secondo gradino si procederà dunque applicando nei relativi mesi una flangia tarata che consenta, alla quota di minima regolazione, il rilascio del DE di competenza. Per i mesi di maggio e giugno, corrispondenti al gradino superiore, verrà invece mantenuta fissa la flangia del gradino intermedio e contestualmente si aprirà parzialmente la paratoia sghiaiatrice per integrare la quota parte di portata mancante.

Per ogni dimensione, il *range* di funzionamento del dispositivo è tra la quota corrispondente alla condizione di minima (1.733,78 m s.l.m.) e di massima portata derivata (1quota P.L.: 1.733,95 m s.l.m.). I conti teorici corrispondenti sono riportati nelle tabelle che seguono.

Dati	U.M.	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Quota pelo libero	m s.l.m.	1733,78	1733,95
Quota soglia	m s.l.m.	1733,20	
Altezza a	m	0,20	
Carico H	m	0,48	0,65
b	m	**0,50**	
$Q_{rilasciata}$	**m^3/s**	**0,180**	**0,209**

Tabella 14 – Gradino minimo di DE (dicembre-febbraio): verifica dei rilasci nelle condizioni limite di funzionamento.

Dati	U.M.	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Quota pelo libero	m s.l.m.	1733,78	1733,95
Quota soglia	m s.l.m.	1733,20	
Altezza a	m	0,20	
Carico H	m	0,48	0,65
b	m	**0,72**	
$Q_{rilasciata}$	**m^3/s**	**0,262**	**0,305**

Tabella 15 – Gradino intermedio di DE (marzo-aprile e luglio-novembre): verifica dei rilasci nelle condizioni limite di funzionamento.

Come anticipato, per la gestione del gradino massimo (maggio-giugno, 468 l/s) di DE verrà mantenuta la medesima flangia del gradino intermedio e si integrerà la quota parte di portata mancante mediante parziale apertura della paratoia sghiaiatrice.

Nel dettaglio, il dispositivo di rilascio in esame è una paratoia piana, la cui legge di efflusso, sulla base delle formule classiche dell'idraulica è la medesima descritta dall'equazione [6] nella quale "a" è l'apertura [m] della paratoia e il coefficiente di deflusso μ è desumibile dalla letteratura in funzione del rapporto tra H e "a" (Marchi, cfr. tabella sottostante).

H/a	μ
2	0,536
3	0,552
5	0,571
7	0,581
10	0,589
17-> inf.	0,611

Tabella 16 – Coefficiente di deflusso della paratoia piana.

La quota di soglia è posta a 1.731,45 m s.m.; la tabella che segue riassume le valutazioni relative alla modalità di rilascio del gradino massimo di DE corrispondente.

Dispositivo	Dati	U.M.	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
	Quota pelo libero	m s.l.m.	1733,78	1733,95
Luce sotto allo sfioro di limitazione	Quota soglia	m s.l.m.	1733,20	
	Altezza a	m	0,20	
	Carico H	m	0,48	0,65
	Larghezza b	m	**0,72**	
	$Q_{rilasciata,luce}$	**m^3/s**	**0,262**	**0,305**
Paratoia sghiaiatrice	Quota soglia paratoia	m s.l.m.	1731,45	
	Apertura a	m	**0,05**	
	Larghezza b	m	1,00	
	Carico H	m	2,30	2,47
	$Q_{rilasciata,paratoia}$	**m^3/s**	**0,205**	**0,213**
DE TOTALE	**$Q_{tot,\ rilasciato}$**	**m^3/s**	**0,468**	**0,518**

Tabella 17 – Gradino massimo di DE (maggio-giugno): verifica dei rilasci nelle condizioni limite di funzionamento.

La soluzione proposta, a geometria fissa, garantirà un rilascio in continuo.

Dai risultati in Tabella 14 si osserva come la modalità proposta, in ragione delle geometrie fisse dei dispositivi, determini per ogni gradino una modulazione della portata che cresce nel *range* di esercizio dell'impianto. In condizioni ordinarie di funzionamento, pertanto, il rilascio in atto sarà superiore a quello prescritto.

L'effettiva entità del rilascio verrà verificata in sito tramite apposite campagne di taratura sperimentale che consentiranno la taratura dei dispositivi e l'eventuale affinamento della dimensione delle luci.

5.2.3 Descrizione e dimensionamento della soluzione alternativa

Nella soluzione alternativa il dispositivo utilizzato per il rilascio è costituito dalla sola paratoia sghiaiatrice (larghezza pari a 1,00 m) prevista nel corpo della vasca di raccolta sotto la griglia di presa, immediatamente a monte del setto di derivazione.

La paratoia sarà ubicata in una sezione caratterizzata dalla presenza di un carico idraulico a monte variabile tra la quota minima prevista in caso di derivazione della minima portata (1.733,78 m s.l.m.) e la quota massima in condizioni di portata massima derivata (1.733,92, cfr. capitolo 5.1.3). La quota del livello minimo a monte della paratoia è dunque pari a **1.733,78 m s.l.m.**

Sulla base del progetto, la larghezza della paratoia (piana, rettangolare) è b = 1,00 m; la quota di soglia risulta pari a **1.731,45** m s.l.m. Il battente idraulico minimo di progetto a tergo della paratoia risulta quindi pari a 2,33 m dalla soglia.

Il rilascio avverrà quindi per ogni mese attraverso una parziale apertura della paratoia. Nella presente fase progettuale tale curva è determinata facendo riferimento alla legge di efflusso teorica classica per luci sotto battente non rigurgitate, rimandando poi come già detto a un affinamento in sito mediate taratura sperimentale in sede di collaudo.

La legge di efflusso di riferimento sarà la formula [6] già descritta nel paragrafo 5.2.2.

Per il primo gradino di modulazione di DE previsto, **0,182 m³/s**, i risultati sono riportati in Tabella 2.

	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Quota pelo libero [m s.l.m.]	1.733,78	1.733,92
Quota soglia [m s.l.m.]	1.731,45	
Carico H [m]	2,33	2,47
B [m]	1,00	
a [m]	**0,045**	
$Q_{rilasciata}$ [m³/s]	**0,185**	**0,191**

Tabella 18 – Calcolo dell'apertura della paratoia sghiaiatrice per il rilascio del minimo gradino di DE e portata defluente corrispondente nelle condizioni limite di funzionamento.

Per il secondo gradino di modulazione di DE previsto, **0,260 m³/s**, i risultati sono di seguito riportati.

	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Quota pelo libero [m s.l.m.]	1.733,78	1.733,92
Quota soglia [m s.l.m.]	1.731,45	

	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Carico H [m]	2,33	2,47
B [m]	1,00	
a [m]	**0,065**	
$Q_{rilasciata}$ [m^3/s]	**0,267**	**0,275**

Tabella 19 – Calcolo dell'apertura della paratoia sghiaiatrice per il rilascio del gradino intermedio di DE e portata defluente corrispondente nelle condizioni limite di funzionamento.

In Tabella 4 sono riportati i risultati relativi alle condizioni limite di funzionamento per il terzo gradino di modulazione di DE previsto, **0,468 m^3/s**.

	Con minima portata derivata	Con massima portata derivata
Quota pelo libero [m s.l.m.]	1.733,78	1.733,92
Quota soglia [m s.l.m.]	1.731,45	
Carico H [m]	2,33	2,47
B [m]	1,00	
a [m]	**0,115**	
$Q_{rilasciata}$ [m^3/s]	**0,469**	**0,483**

Tabella 20 – Calcolo dell'apertura della paratoia sghiaiatrice per il rilascio del gradino massimo di DE e portata defluente corrispondente nelle condizioni limite di funzionamento.

Infine, come già sopra descritto l'effettiva entità del rilascio verrà verificata in sito tramite apposite campagne di taratura sperimentale che consentiranno di effettuare la taratura del dispositivo e l'eventuale affinamento delle aperture necessarie.

5.3 Canale di scarico

È stata effettuata la verifica del funzionamento del canale di scarico della portata turbinata. Per la descrizione dettagliata dell'opera si rimanda alla Relazione Generale (cfr Elab. A.01).

Il canale ha una sezione rettangolare con dimensioni di 2 m x 1,5 m (bxh) e una lunghezza complessiva di circa 16,50 m, di cui gli ultimi 4 m costituiscono un'opera di dissipazione. Esso parte dalla quota di 1.473,00 m s.l.m. dalla camera di raccolta situata sotto le turbine. La pendenza del canale è del 3,44%, e si raccorda con il dissipatore alla quota di 1.472,57 m s.l.m., mentre lo scarico in alveo avviene a quota 1.472,53 m s.l.m.

All'imbocco del canale è previsto un gradino di fondo di altezza 0,5 m realizzato al termine della camera di carico (Figura 8) che genera un piccolo bacino d'acqua utilizzato per gli scambiatori di calore. La portata defluirà al di sopra di questo gradino, alimentando il canale, con un comportamento idraulico affine a quello di uno stramazzo a larga soglia.

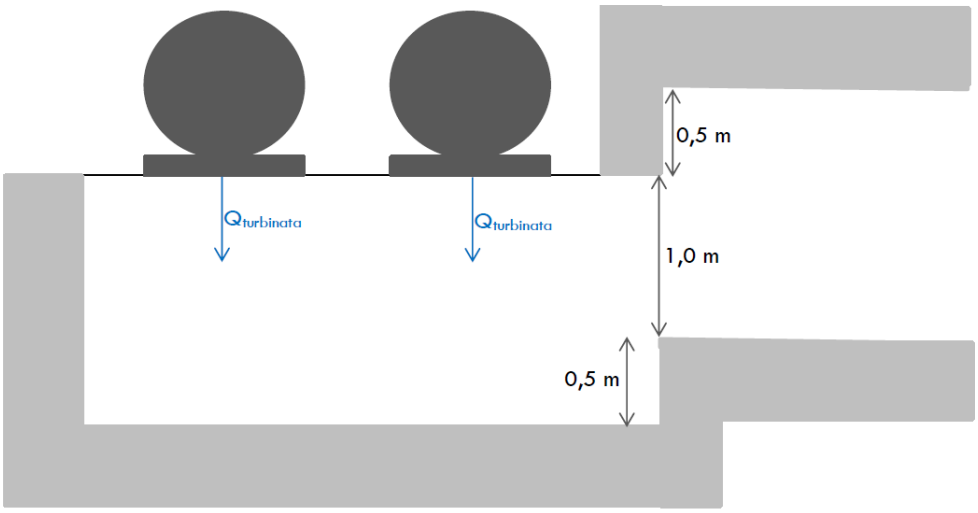


Figura 8 – Schema della camera di raccolta e dell'imbocco del canale di scarico.

La verifica è stata effettuata tracciando il profilo di moto permanente nel canale, considerando la massima portata derivabile (1,9 m^3/s) e condizioni di scarico libero (quota del pelo libero in alveo inferiore alla quota di scarico, come risulta in condizioni ordinarie – verificate in sito in occasione del rilievo topografico). Il coefficiente di scabrezza, espresso secondo Strickler, assunto cautelativamente per le pareti in calcestruzzo è pari a 65 $m^{1/3}/s$.

La portata in esame defluisce nel canale in condizioni di corrente veloce. Il profilo di moto permanente che si genera è di tipo S2 (corrente veloce accelerata), in cui la corrente tende asintoticamente al moto uniforme (Figura 9).

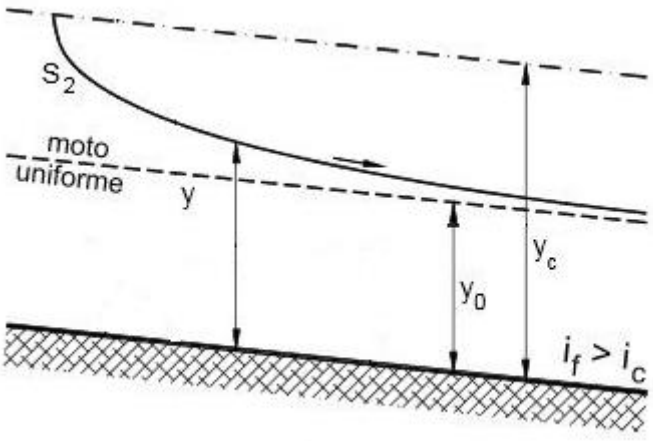


Figura 9 – Schema del profilo S2.

Il tirante idrico nella sezione terminale del canale risulta pari a 0,273 m; a fronte di un'altezza di moto uniforme di 0,237 m. Nella prima sezione di monte del canale si instaura l'altezza di moto critico, pari a 0,451 m.

Il canale è quindi correttamente dimensionato per evitare l'instaurarsi di condizioni di moto in pressione.

Considerando le condizioni precedentemente descritte, l'altezza d'acqua massima che si può instaurare nella camera di raccolta (all'incirca pari al carico totale della corrente, quindi con un innalzamento di livello tale da consentire l'avvio del moto nel canale stesso) risulta pari a 68 cm sul gradino di fondo, ovvero 118 cm nella vasca. La verifica è dunque soddisfatta anche in questo caso in quanto le condizioni che si generano, rappresentative della situazione più gravosa (massima portata derivata), sono tali da garantire un adeguato franco rispetto all'intradosso della soletta superiore della vasca.

Al termine del canale di scarico è previsto l'inserimento di un dissipatore ad impatto, per ridurre l'energia del flusso in uscita dalla centrale. In particolare, è stata selezionata una tipologia di vasca proposta dall'U.S.B.R. caratterizzata dalla presenza di un setto verticale su cui impatta il flusso, come dallo schema riportato in Figura 10 e Figura 11.

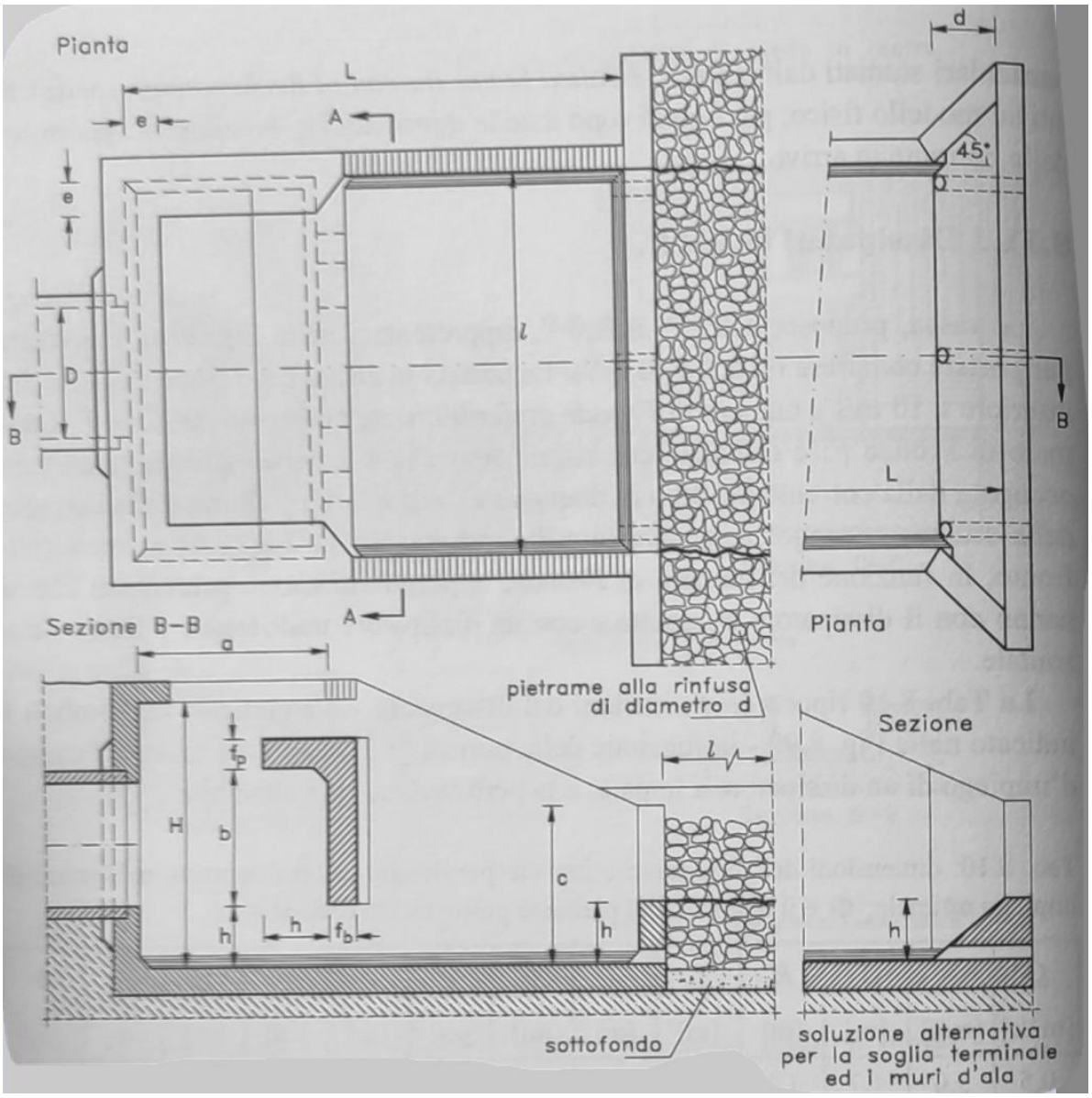


Figura 10 – Planimetria e sezione schema sistema di dissipazione ad impatto U.S.B.R.

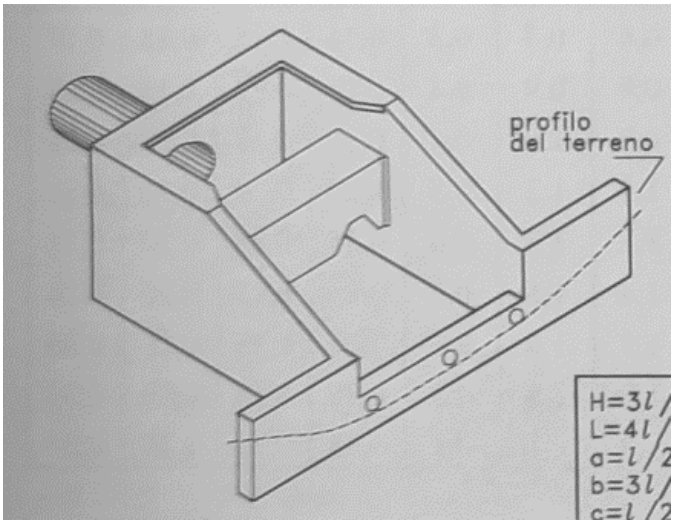


Figura 11 – Vista sistema di dissipazione ad impatto U.S.B.R.

Questo tipo di opera è stato selezionato considerando i valori di portata e numero di Froude valutato a monte in corrispondenza dell'ultima sezione utile del canale di scarico. Di seguito si fornisce un confronto fra i limiti di applicabilità della soluzione di dissipatore ad impatto e le condizioni specifiche del presente progetto.

Parametro	Valore massimo ammissibile	Valore minimo ammissibile	Valore corrente
Portata Q [m^3/s]	10	0,50	1,90
N. Froude Fr [-]	7	1,50	2,12

Per il dimensionamento vero e proprio dell'opera si è fatto in primo luogo riferimento agli abachi di dimensionamento ottimale tabulati in letteratura in funzione della portata, riportati in Figura 12 e successivamente sono state applicate le relazioni raccolte in Figura 13 per la stima dei singoli parametri geometrici caratterizzanti l'opera.

Q [m^3/s]	v [m/s]	l [m]	H [m]	L [m]	a [m]	b [m]	c [m]	d [m]	e [m]	f_b [m]	f_p [m]	Φ [m]
0,5	3,0	1,7	1,3	2,2	1,0	0,6	0,7	0,3	0,15	0,15	0,15	0,10
1,0	3,6	2,1	1,6	2,7	1,2	0,8	0,9	0,4	0,15	0,15	0,15	0,18
1,6	3,6	2,4	1,9	3,2	1,4	0,9	1,0	0,4	0,20	0,18	0,18	0,21
2,3	3,6	2,8	2,2	3,7	1,6	1,1	1,2	0,5	0,20	0,20	0,20	0,23
3,1	3,6	3,2	2,4	4,2	1,8	1,2	1,3	0,6	0,25	0,23	0,20	0,24
4,1	3,6	3,6	2,7	4,7	2,1	1,4	1,5	0,6	0,25	0,25	0,20	0,26
5,2	3,6	3,9	3,0	5,2	2,2	1,5	1,6	0,7	0,30	0,25	0,20	0,30
6,4	3,6	4,3	3,3	5,7	2,4	1,6	1,8	0,8	0,30	0,28	0,20	0,33
9,2	3,6	5,0	3,7	6,6	2,8	1,9	2,1	0,9	0,38	0,30	0,20	0,35

Figura 12 - Abachi di dimensionamento

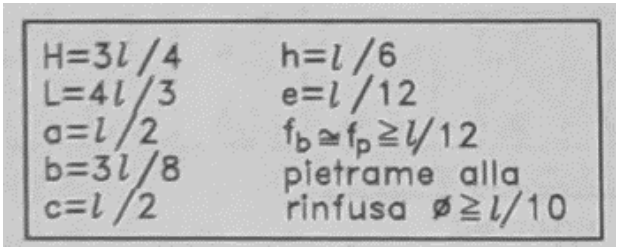


Figura 13 - Relazioni dimensionamento opera di dissipazione

In Tabella 21 si propone il confronto fra i risultati ottenuti dall'interpolazione degli abachi sul valore di portata massima di 1,90 m^3/s e quelli adottati, ottenuti dall'arrotondamento dei valori ottenuti dalle relazioni di Figura 13. Si può osservare come le dimensioni adottate risultino allineate anche ai valori ottimali.

Caratteristica		Valore ottimale (abachi USBR)	Valore calcolato	Valore adottato
Portata	**Q [m^3/s]**	1,90	1,90	1,90
Larghezza vasca dissipazione	**l [m]**	2,57	2,00	2,00
Altezza interna vasca	**H [m]**	2,03	1,50	1,50
Lunghezza vasca	**L [m]**	3,41	2,67	3,00
Distanza muro di impatto	**a [m]**	1,49	1,00	1,00
Altezza setto orizzontale muro di impatto	**b [m]**	0,99	0,75	0,75
Altezza muri d'ala di valle	**c [m]**	1,09	1,00	1,00
Larghezza cordolo superiore	**e [m]**	0,20	0,17	0,20
Spessore verticale muro di impatto	**fb [m]**	0,19	0,17	0,20
Spessore orizzontale muro di impatto	**fp [m]**	0,19	0,17	0,20
Diametro pietrame di valle	**φ [m]**	0,22	0,22	0,20
Altezza setto di valle	**h [m]**		0,35	0,35

Tabella 21 – Confronto dati di dimensionamento manufatto di dissipazione

Si è proceduto inoltre a verificare il funzionamento del manufatto in caso di incremento del tirante idrico in alveo alla sezione di scarico, tale da determinare un carico superiore a quello della soglia terminale del canale.

Le analisi, effettuate imponendo sempre portata scaricata pari alla massima derivabile e scabrezza pari a 65 $m^{1/3}/s$, hanno evidenziato come per livelli idrici nel torrente inferiori a quello corrispondente all'altezza critica nella sezione terminale del canale (1.473,01 m s.l.m.) la corrente in quest'ultimo non risenta di alcun effetto.
Per livelli superiori, fino a 0,70 m sulla soglia terminale (livello di 1.473,23 m s.l.m. in alveo), si ha un fenomeno di risalto che però avviene entro l'alveo, esternamente al canale. Per livelli pari o superiori a 0,70 m sulla soglia terminale invece il risalto si sposta all'interno del canale di scarico; questa condizione costituisce quindi il limite di funzionamento del canale, oltre al quale l'impianto dovrà essere fermato per evitare danni alle strutture.

Sulla base del modello numerico descritto nella presente relazione, è stato valutato che tale livello idrico corrisponda a una portata defluente in alveo dell'ordine dei 15-20 m^3/s, valore sensibilmente superiore alla portata ordinaria di durata 1 giorno (pari a 4,69 m^3/s). Si tratta dunque di una portata di piena, non rappresentativa delle condizioni ordinarie di esercizio dell'impianto.

ALLEGATO 1 - Descrizione del codice di calcolo MIKE 11 - HD

1. PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHI\MIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

2. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
b) La pendenza del fondo è piccola.
c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\alpha\frac{Q^2}{A})+gA\frac{\partial h}{\partial x}=0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\alpha\frac{Q^2}{A})+gA\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{gQ|Q|}{C^2AR}=0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m^2);
C = coefficiente di attrito di Chezy ($m^{1/2}s^{-1}$);
g = accelerazione di gravità ($m\ s^{-2}$);
h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
Q = portata (m^3/s);
R = raggio idraulico (m);
α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
q = portata laterale addotta (m^2/s).

3. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia
Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h
Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino
Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t
E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) . Z_{j2}$
Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).
Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

4. RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a 1/n, essendo n il coefficiente di Manning.

5. CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

6. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:
- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

7. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

8. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione. Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d} + V}{Dx} \cdot Dt$$

dove:
Cr = numero di Courant;
d = altezza d'acqua media;
V = velocità media della corrente;
g = accelerazione di gravità;
Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario. Per correnti lente (Fr<1), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

Il presente documento descrive la strumentazione prevista per la misura delle portate derivate dall'impianto Ciavanette in accordo con le prescrizioni del D.P.G.R. 25/06/2007 n. 7/R.