

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA
PROVINCIA DI PORDENONE
COMUNE DI ERTO E CASSO

LAVORO:

PROGETTO DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE
VAJONT, CON PRESA ALLO SCARICO DEL LAGO REDIDUO DEL
VAJONT, SUBITO A VALLE DELLA DIGA,
IN TERRITORIO COMUNALE DI ERTO E CASSO (PN)

RIF. SP 2025/014 costruzioni idrauliche	COMMITTENTE: 	Welly R.E.D. S.r.l. sede legale: Viale Trento, 105/d - 33077 Sacile (PN) recapiti amministrativi: Piazza Mazzini, 21 - 32100 Belluno (BL) Tel. 0437/999844 - email wellyredsrl@gmail.com	
DATA: SETTEMBRE 2025			
FASE	AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO	ELABORATO:	
OGGETTO	RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	B	
PROGETTISTI	geol. Roberta Tedeschi		
	ing. Loris Ceccato		
	ing. Daniele Bertoldo		
	geom. Erminio Paolo Canevese		
RILIEVI TOPOGRAFICI	Studio Topografico Canevese - geom. Ivan Pivetta		
REVISIONE	DATA	NOME FILE	FASE DEL PROGETTO
01	15/09/2025		PROGETTO DEFINITIVO

Sommario

1. Premessa	2
2. Bacino idrologico	3
2.1. Descrizione del bacino idrologico	3
2.2. Descrizione del corso d'acqua	4
2.3. Caratteristiche morfologiche e morfometriche del bacino sotteso.....	5
3. Caratterizzazione idrologica	9
3.1. Analisi delle precipitazioni medie.....	9
3.2. Disponibilità idrica - Dati a disposizione.....	12
3.3. Valutazione della risorsa idrica disponibile.....	14
3.4. Portata di rispetto – DMV.....	17
3.5. Portata derivata	47
3.6. Portata rilasciata	49
4. Le portate di piena	49
4.1. Analisi curva di possibilità pluviometrica.....	49
4.2. Calcolo del tempo di corrievazione	54
4.3. Calcolo del coefficiente di deflusso	57
4.4. Calcolo della portata di piena	59
4.5. Considerazioni sulla portata di piena	63
5. Problema del trasporto solido	67
6. Innocuità rispetto ai diritti di terzi	68
7. Dimensionamento Opera di Presa	69
7.1. Descrizione particolareggiata Opera.....	69
7.2. Principio di funzionamento Opera di Derivazione – Verifiche Idrauliche	72
7.3. Dimensionamento Presa	75
7.4. Dimensionamento della camera di carico.....	81
8. Condotta Forzata	81
8.1. Descrizione particolareggiata Opera.....	81
8.2. Scelta del diametro della condotta	82
8.3. Caratteristiche tecniche della condotta – Verifiche Idrauliche.....	85
9. Centrale di Produzione	88
9.1. Scelta della turbina	88
10. Opera di scarico delle portate turbinate	90
10.1. Descrizione particolareggiata manufatto di scarico.....	90
10.2. Dimensionamento manufatto di scarico	90

1. Premessa

La presente relazione idrologica e idraulica riguarda lo studio del bacino idrografico del torrente Vajont propedeutico alla realizzazione di un impianto idroelettrico nel territorio comunale di Erto e Casso, in provincia di Pordenone (PN). Nello specifico verranno esaminati:

- aspetti idrologici, finalizzati al calcolo delle portate naturali e di piena generate dal torrente Vajont in corrispondenza dell'opera di presa dell'impianto in progetto;
- aspetti idraulici, finalizzati al dimensionamento dell'impianto nella sua complessità in funzione della portata massima derivabile e alla garanzia del passaggio del DMV in ogni condizione di regime idrologico.

L'impianto in progetto, previsto in caverna a valle della diga del Vajont, intende sfruttare le portate fluenti attraverso la galleria di scarico del "lago residuo C", bacino lacustre formatosi in seguito alla frana del monte Toc avvenuta il 9 ottobre 1963.

Le portate verranno captate poco prima dello sbocco della suddetta galleria, convogliate verso la centrale di produzione tramite una condotta forzata e infine rilasciate nuovamente nel torrente Vajont a valle della diga.

Il progetto è stato strutturato per realizzare un impianto idroelettrico puntuale senza sottensione di alveo naturale.

I dati caratteristici dell'impianto di progetto sono:

caratteristiche riassuntive impianto idroelettrico		
corso d'acqua	Torrente Vajont	
comuni interessati dall'impianto	Erto e Casso (PN)	
quota pelo morto superiore	605,95	(m s.l.m.)
quota asse turbina	482,60	(m s.l.m.)
salto di concessione	123,35	(m)
portata media di concessione	1,50	(m³/s)
portata massima di concessione	4,50	(m ³ /s)
portata minima di concessione	0,20	(m ³ /s)
portata rilasciata	0,050 (rilasciata per la cascata) l'impianto per come conformato non produrrà sottensione d'alveo	(m ³ /s)
potenza nominale	1.815	(kW)
producibilità annua	13.300,00	(MWh/anno)
n. gruppi elettromeccanici	IMPIANTO IDROELETTRICO SENZA SOTTENSIONE D'ALVEO 2 Turbine Pelton Gemelle a 6 Getti ad Asse Verticale	

2. Bacino idrologico

2.1. Descrizione del bacino idrologico

La valle del Torrente Vajont mette in comunicazione l'ampio solco vallivo del Piave con la pianura friulana attraverso la Val Cellina.

È una valle stretta, caratterizzata da versanti scoscesi fra una serie di alte e impervie montagne facenti parte della catena del Monte Borgà (2215 m) a nord e del Monte Toc (1921 m) a sud, entrambe comprese nel settore settentrionale delle Prealpi Venete. Altre cime importanti sono il Monte Salta (2039 m) e il Monte Sterpezza (2215 m), entrambe appartenenti alla catena del Monte Borgà, e Cima Morra (1938 m), appartenente invece alla catena del Monte Toc, e rimasta isolata dalla incisione formata dal Torrente Massalezza.

In corrispondenza a modesti ripiani, presenti sia sulla sponda destra sia sinistra del torrente, sorgono i paesi di Erto e Casso e le borgate di Le Spesse, San Martino, Prada, Liron, Pineda.

In termini morfologici la valle è di origine glaciale: dopo l'ultima glaciazione l'azione erosiva glaciale venne sovraimpressa dalla successiva erosione torrentizia, che incise il profondo profilo a "V" attuale, geometricamente favorevole per la ubicazione di una diga di sbarramento.

In seguito alla costruzione della diga negli anni '50 e, posteriormente alla caduta della frana, il corso del torrente Vajont fu interrotto a circa 1200 m dallo sbocco sul Piave e le sue acque contribuirono a formare un lago, la cui natura fu dapprima artificiale, perché sbarrato dalla diga, mentre dopo il 9 ottobre 1963 ha assunto il carattere di lago naturale per sbarramento da frana.

Il distacco della frana dal Monte Toc, oltre che morfologicamente, ha cambiato profondamente anche l'aspetto idrogeologico della Valle dal momento che il corso del torrente Vajont è attualmente deviato in una galleria scavata nel fianco destro della valle.

La scarpata della frana è composta dalla Formazione di Fonzaso e, a monte, dal Calcare del Vajont.

La massa scivolata è, invece, in gran parte composta dai Calcaro di Soccher.

Dalla cartografia digitale disponibile online è stato possibile individuare all'interno del bacino idrologico del T. Vajont le seguenti aree tutelate: Parco naturale regionale delle Dolomiti Friulane; Dolomiti Friulane (Rete Natura 2000, ZSC e ZPS coincidenti - cod. IT3310001).

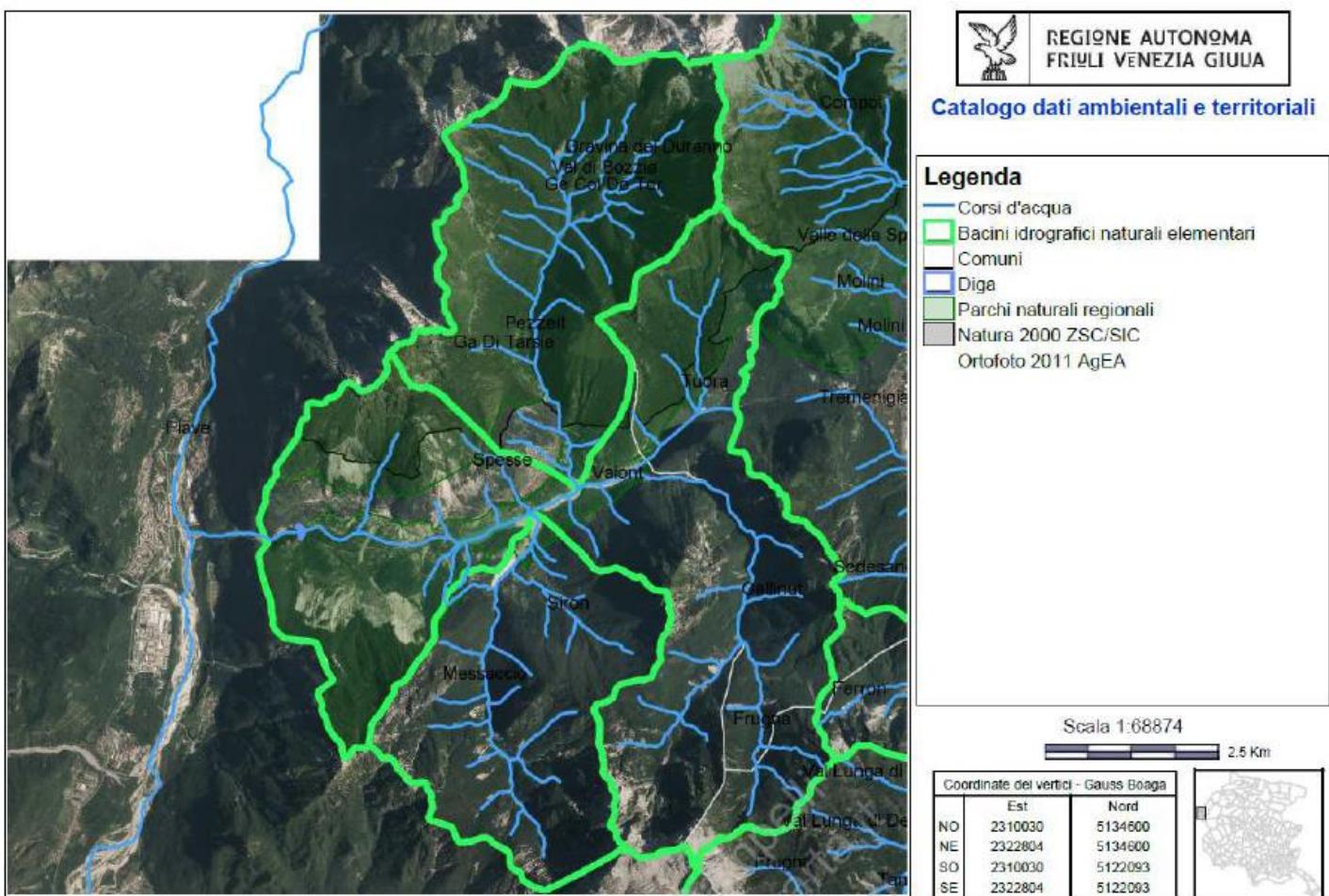


Figura 1: ortofoto con indicate le aree tutelate, Parchi naturali Regionale e Aree Natura 2000, presenti all'interno del bacino idrografico del torrente Vajont.

2.2. Descrizione del corso d'acqua

Il Vajont, come detto, è un torrente, tributario del Piave, che nasce ai piedi del Col Nudo (2471 m). Ha una lunghezza complessiva di 13,24 Km ed un bacino imbrifero complessivo di 64,53 Km². Secondo la gerarchia Strahler il torrente, prima della sua immissione in Piave, risulta essere del IV ordine. Esso viene identificato mediante codice FVG PV02001, codice RD 1 e codice forestale VAAA010000.

Nel suo primo tratto il torrente Vajont discende verso NE ricevendo sulla destra le acque del torrente Frugna.

Tra la confluenza con questo torrente e la confluenza col torrente Tuora, anch'esso affluente di destra, descrive un arco di 90° al piede del Monte Certen (1882 m), mutando il suo corso dalla direzione circa meridiana in quella longitudinale e defluendo verso occidente.

Successivamente riceve le acque della Val Zemola (torrente De Pezzeit - affluente di destra) e della Val Mesaz (torrente Messaccio - affluente di sinistra).

Da qui in avanti il torrente Vajont si era originariamente creato una via di uscita dalle montagne friulane incidendo verso ovest una forra, soprattutto nella parte finale, nell'omonima litologia carbonatica: il Calcare del Vajont.

In seguito alla costruzione della diga e successivamente a causa della caduta della frana del Monte Toc il 9 ottobre 1963, l'idrologia della parte bassa del bacino del Vajont è profondamente cambiata con la formazione di un lago, denominato Lago di Erto o Lago residuo "C", le cui acque attualmente vengono fatte defluire a valle della diga tramite una galleria di by-pass (galleria di sorpasso) scavata nel fianco destro della valle.

La confluenza col Piave avviene di fronte a Longarone, attraverso una profonda gola aperta dall'erosione postglaciale in corrispondenza di un gradino situato al punto di incontro tra il piccolo Ghiacciaio del Vajont e il più grande e profondo Ghiacciaio Plavense.

2.3. Caratteristiche morfologiche e morfometriche del bacino sotteso

Per l'analisi idrologica delle portate di piena del torrente Vajont si è preventivamente analizzata la morfologia del bacino imbrifero afferente.

L'analisi è stata svolta utilizzando i dati scaricabili dal portale cartografico online della Regione Friuli Venezia Giulia.

Tali dati, in formato sia raster sia vettoriale, sono stati successivamente elaborati in ambiente GIS tramite il programma open-source GrassGis.

Per l'intera area del bacino è stato utilizzato un modello digitale del terreno (DTM) con risoluzione spaziale di 10 metri.

Le quote dell'area in esame si distribuiscono tra i 487 e i 2.658 metri sul livello del mare, la quota media si attesta sui 1.305 m, andando a identificare un bacino morfologicamente giovane.

Si riporta nella figura sottostante una rappresentazione su Carta Tabacco del reticolo idrografico principale e dei confini dei bacini idrografici sottesi dalla sezione di chiusura della centrale (in colore rosso) e da quella di presa (in colore verde).

Sono inoltre riportati in colore rosa i confini comunali.

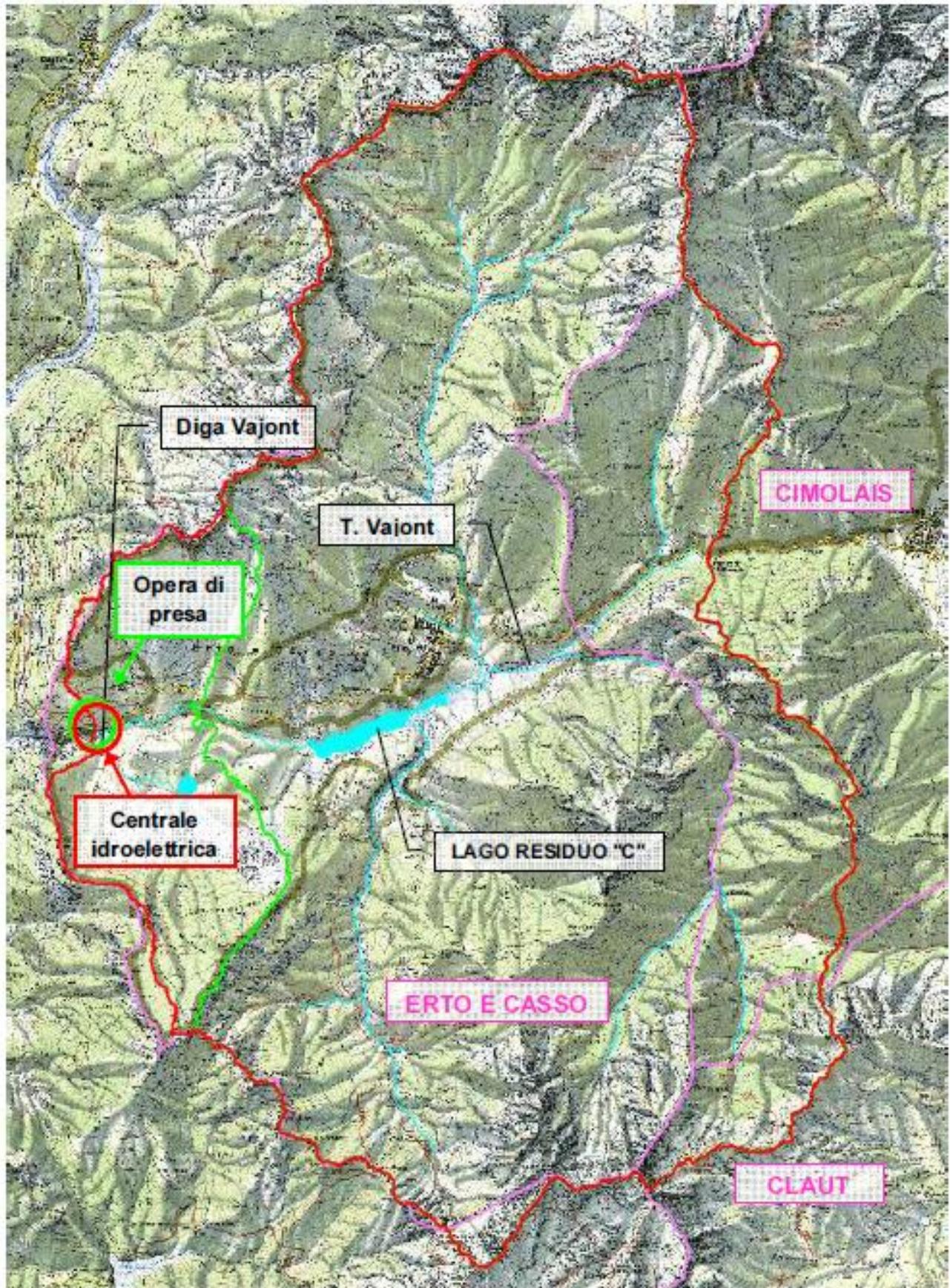


Figura 2: bacini imbriferi definiti in base alle diverse sezioni di chiusura, estratto Carta Tabacco. Vengono indicati in rosso il bacino imbrifero alla sezione di chiusura in corrispondenza della centrale di produzione, in verde il bacino imbrifero alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'opera di presa, in ciano la rete idrografica principale del T. Vajont e dei rii affluenti e in rosa i confini comunali.

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

Il bacino imbrifero individuato ricade per la maggior parte della sua estensione entro il territorio comunale di Erto e Casso (PN) e solo in parte nei circostanti Comuni di Cimolais e Claut.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero, considerando la sezione di chiusura posta in corrispondenza della presa prevista in progetto¹, sezione che per le particolari condizioni morfologiche dell'area di intervento coincide con la sezione chiusa all'imbocco della galleria di derivazione del "lago residuo C".

Nella figura sottostante viene riportata anche la curva ipsografica che indica come varia l'estensione (A) del bacino in funzione della quota sul medio mare.

Tabella 1: caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'opera di presa di progetto.

Superficie del bacino sotteso	57,08	km ²
Lunghezza dell'asta fluviale	9,26	km
Quota della sezione di chiusura	635	m s.l.m.
Quota media del bacino sotteso	1.318	m s.l.m.

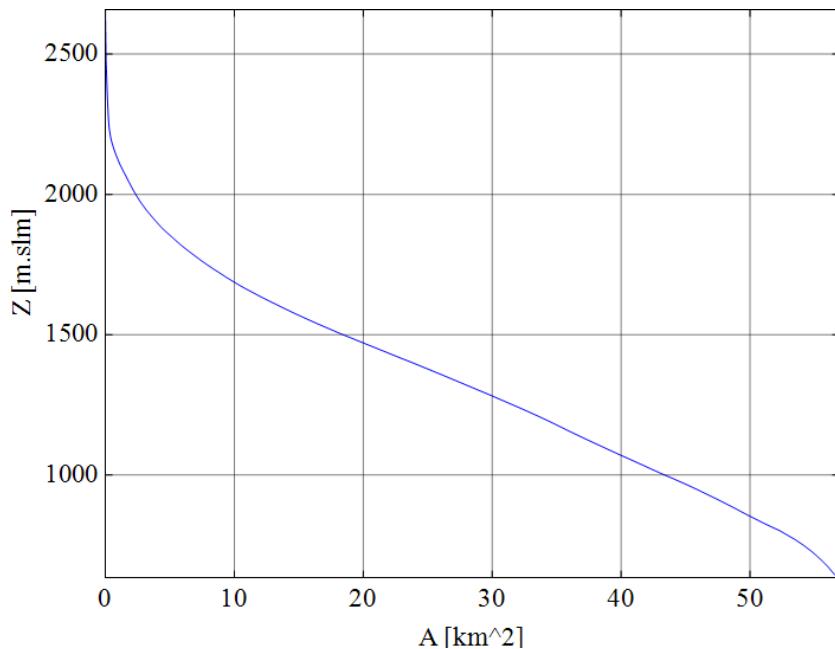


Figura 3: curva ipsografica del bacino del torrente Vajont chiuso alla sezione della presa prevista in progetto.

¹ L'opera di captazione dell'impianto in progetto è prevista infatti sulla galleria di sorpasso della frana, a valle della diga del Vajont, in prossimità dello sbocco di questa sulla forra (precisamente 40 m a monte); essendo la galleria impermeabile e priva lungo il suo tragitto di punti di immissione di portata (apporti idrici secondari), la sezione di chiusura del bacino imbrifero sotteso dall'opera in progetto per determinare le portate disponibili, di piena e di MDV di fatto coincide con la sezione chiusa all'imbocco della galleria di scarico dal "lago residuo C".

Si riportano inoltre, qui di seguito, le caratteristiche morfometriche e la curva ipsografica del bacino imbrifero, considerando la sezione di chiusura posta in corrispondenza del punto di restituzione al torrente delle portate turbinate.

Tabella 2: caratteristiche morfometriche del bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza del punto di restituzione delle portate turbinate.

Superficie del bacino sotteso	64,31	km ²
Lunghezza dell'asta fluviale	9,26	km
Quota della sezione di chiusura	479,50	m s.l.m.
Quota media del bacino sotteso	1.305	m s.l.m.

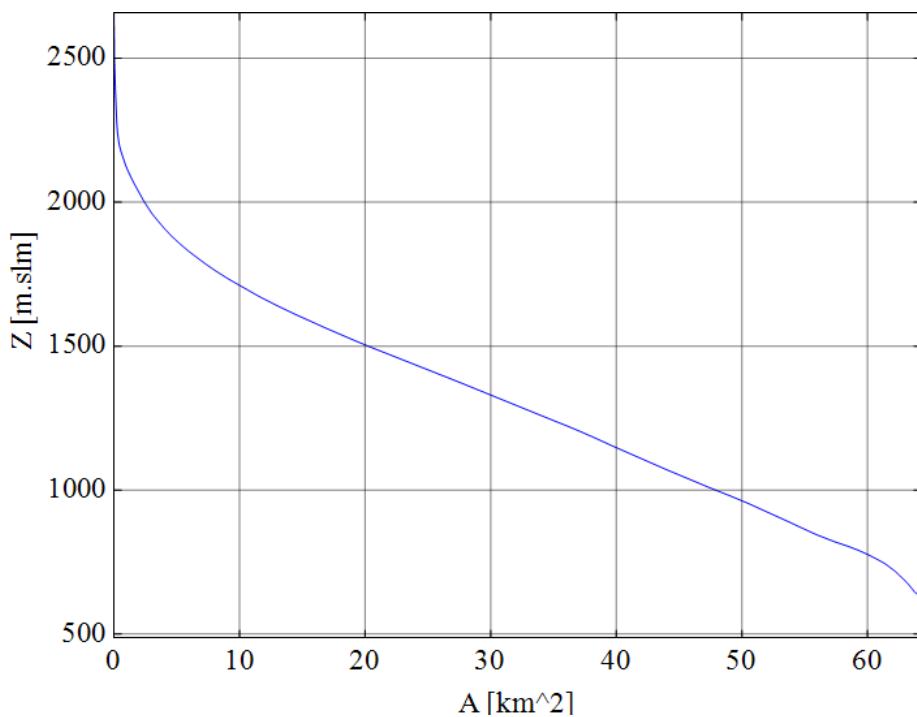


Figura 4: curva ipsografica del bacino del torrente Vajont chiuso alla sezione di restituzione delle portate turbinate.

La lunghezza dell'asta fluviale è considerata uguale in quanto, come già detto, tra presa e restituzione l'acqua viene convogliata in galleria.

Le due curve ipsometriche sopra riportate evidenziano come anche le fasce di quota più alte occupino una buona percentuale della superficie del bacino, confermando quindi l'elevata attività a livello morfogenetico nell'area di studio.

Ciò da conferma di quanto già evidenziato nella descrizione del bacino, e cioè della morfologia della valle caratterizzata da alte montagne e versanti scoscesi e dirupati.

3. Caratterizzazione idrologica

3.1. Analisi delle precipitazioni medie

Per quanto riguarda il regime pluviometrico, bisogna innanzitutto inquadrare geograficamente il bacino del torrente Vajont. Il centro meteorologico del Friuli Venezia Giulia ha suddiviso il territorio regionale in zone omogenee in funzione delle diverse grandezze meteorologiche. Per quanto riguarda le precipitazioni il bacino in esame ricade all'interno della zona denominata "Prealpi Carniche".

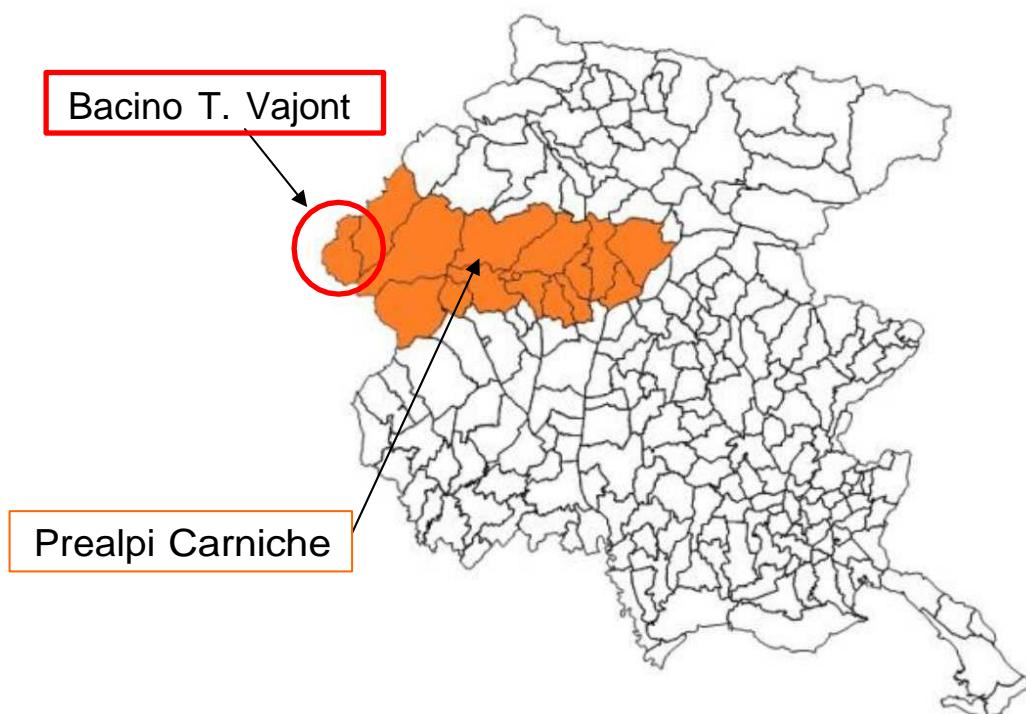


Figura 5: inquadramento del bacino del T. Vajont all'interno della zona omogenea denominata "Prealpi Carniche".

In questa zona la piovosità annua risulta più elevata in corrispondenza dei primi rilievi posti a nord della pianura pordenonese con precipitazioni medie annue che si attestano intorno ai 2000-2300 mm, ma raggiungono localmente i 2600 mm (comune di Barcis).

Spostandosi verso settentrione e a occidente, tali valori diminuiscono gradualmente fino a 1500-1600 mm nei comuni di Erto e Casso e Cimolais.

Anche nella parte più meridionale della zona, ai piedi delle Prealpi, la piovosità media annua risulta più contenuta, attestandosi intorno ai 1800-1900 mm.

In tutta la zona il mese meno piovoso risulta febbraio, con piogge medie che variano sul territorio dai 90 ai 130 mm; il mese dove le precipitazioni risultano più abbondanti è novembre, con punte di oltre 300 mm.

Il numero di giorni piovosi, cioè i giorni in cui piove almeno 1 mm, è abbastanza costante nella zona e si attesta in media intorno a 115 a livello annuale.

La precipitazione media annua viene rappresentata mediante le carte delle isoiete. Arpa FVG ha elaborato le serie storiche di misura delle precipitazioni raccolte dalla sua rete di monitoraggio.

Di seguito si riporta la carta delle isoiete elaborata sui dati registrati nel periodo 1961-2013.

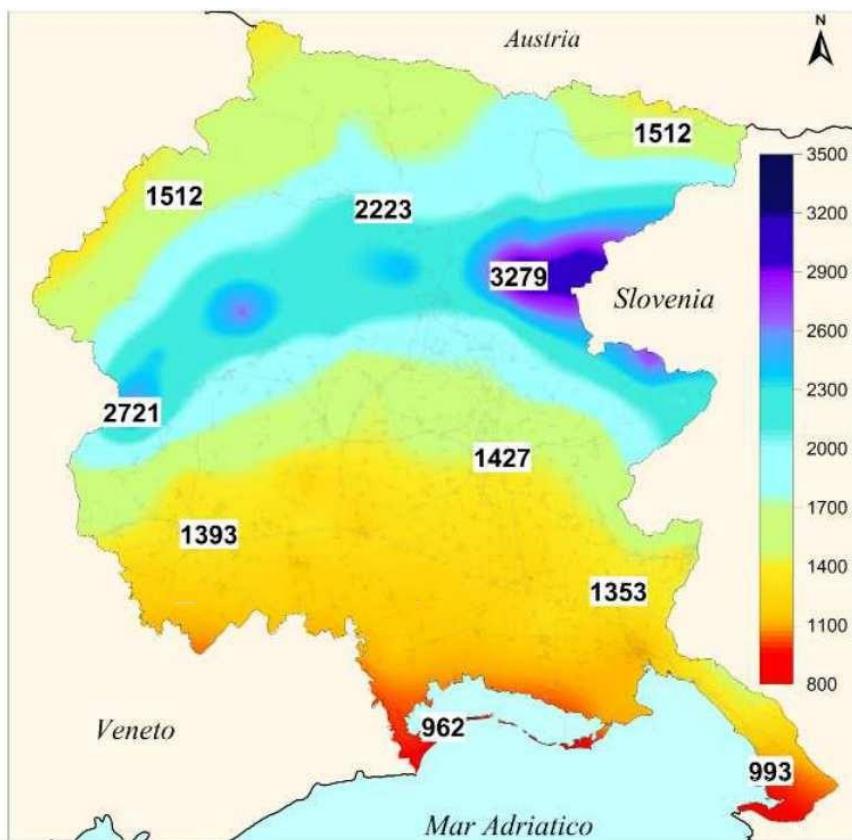


Figura 6: carta delle isoiete _ Precipitazioni medie annue (dati rete meteorologica regionale 1961-2013).

Per confronto storico si riportano qui di seguito la carta delle isoiete ricavata per il bacino del Fiume Piave, a cui il torrente Vajont appartiene in quanto affluente, per il venticinquennio 1923 - 1947 (*Estratto dal Volume "Il Piave e la sua utilizzazione" pubblicato a cura dell'Ufficio Studi della S.A.D.E.*) e la carta delle isoiete determinate dagli ingg. Tonini e Pulselli per conto della allora società elettrica S.A.D.E.

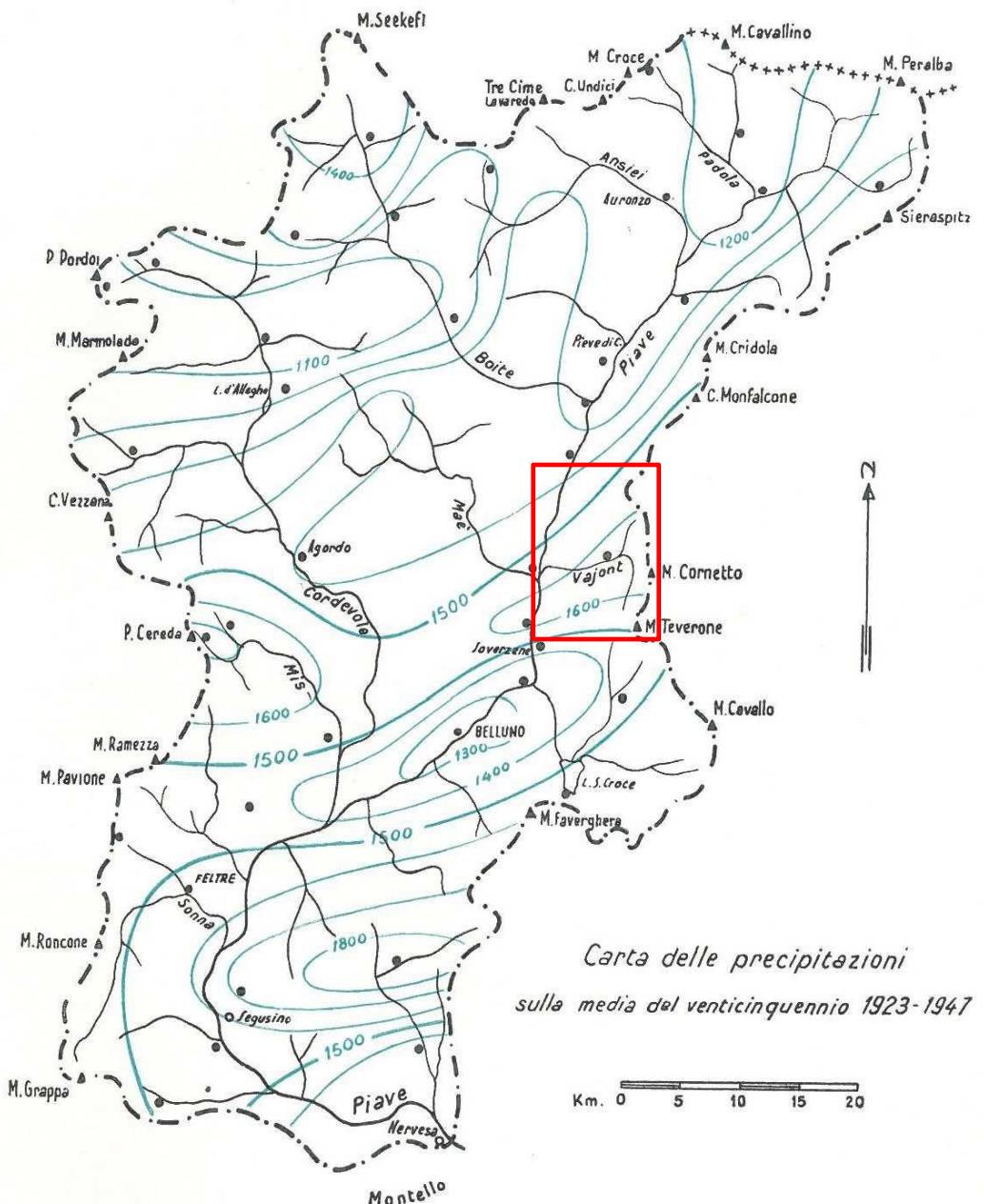


Figura 7: carta delle isoiete del bacino del Piave _ Precipitazioni medie annue, rilevati nel venticinquennio 1923 - 1947, da quarantaquattro stazioni pluviometriche che hanno funzionato regolarmente.

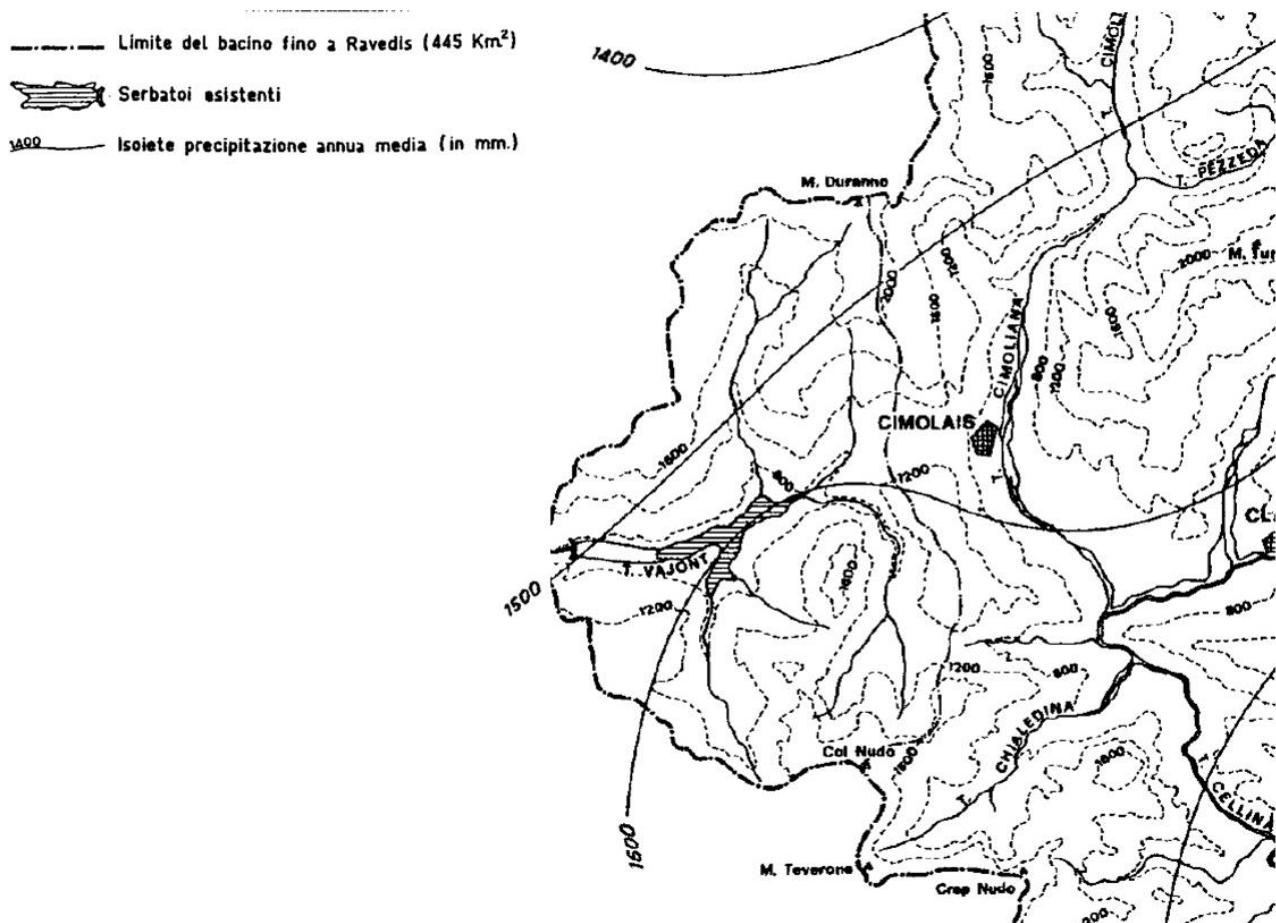


Figura 8: carta delle isoiete elaborata dagli ingg. Tonini e Pulselli (Fonte: S.A.D.E. 1955)

Come si può osservare la precipitazione media annua per l'area in esame non è sostanzialmente mutata nel corso dei decenni, con valori che si attestano sempre attorno ai 1400 - 1600 mm di pioggia annui.

3.2. Disponibilità idrica - Dati a disposizione

L'analisi idrologica riguardante le portate disponibili è stata eseguita a partire dai dati forniti da ENEL relativamente alle portate misurate nella galleria di scarico del "lago residuo C" nel periodo dal 21/12/2001 al 22/12/2014. All'interno della galleria è stato infatti installato da ENEL un idrometro il quale, convertendo la misura del tirante d'acqua in galleria, tramite una scala delle portate opportunamente calibrata, restituisce il valore istantaneo di portata transitante.

I dati disponibili sono costituiti da due misure giornaliere (rispettivamente alle ore 00:35 e alle ore 12:35 di ogni giorno) per un arco temporale di 13 anni.

Sono presenti alcuni mesi caratterizzati dalla mancanza di dati registrati che tuttavia non inficiano sulla bontà della stima effettuata vista l'estensione temporale utilizzata.

Nella figura sottostante si riporta un estratto grafico dei dati disponibili analizzati.

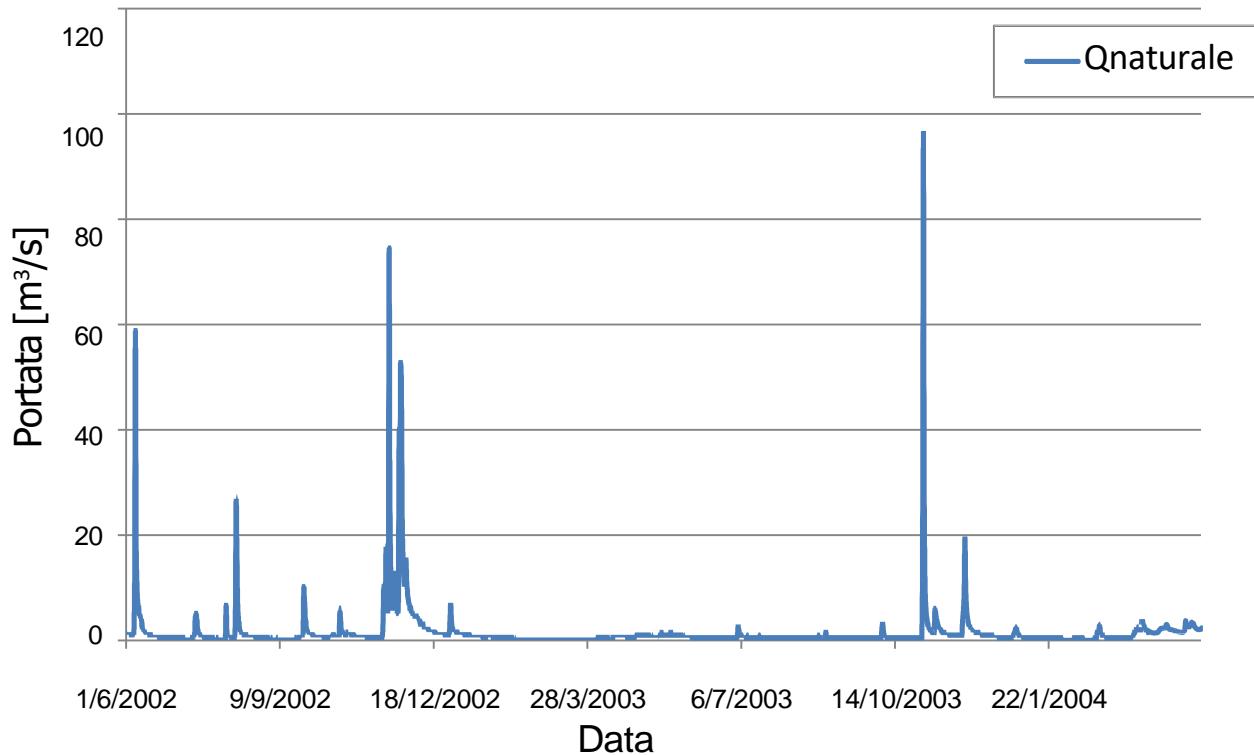


Figura 9: estratto grafico dei dati di portata naturale disponibili e registrati dall'idrometro ENEL nella galleria di scarico del "lago residuo C".

Per l'analisi delle portate di piena si è, invece, proceduto partendo dai dati di precipitazione relativi all'area del bacino imbrifero afferente al torrente Vajont.

I dati sono stati recuperati contattando l'Unità Idrografica Regionale del Friuli Venezia Giulia, che ha fornito, per la stazione pluviometrica di Erto (PN), i valori di precipitazione massima oraria per gli intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, relativi all'arco temporale dal 2010 al 2014, e i valori di massima precipitazione cumulata in 1, 2, 3, 4 e 5 giorni, relativamente ai periodi dal 1921 al 1963 e dal 2010 al 2014.

Dall'Allegato 4 ("Norme di Attuazione") del Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA) del Friuli Venezia Giulia è stato possibile estrarre l'algoritmo, proposto dalle stesse autorità regionali, per il calcolo del DMV.

3.3. Valutazione della risorsa idrica disponibile

Come anticipato al paragrafo precedente la valutazione della risorsa idrica disponibile, alla sezione dell'opera di presa, è stata elaborata a partire dai dati di portata forniti da un idrometro, gestito da ENEL, installato all'interno della galleria di scarico del "lago residuo C".

Il numero di giorni di cui si dispone di almeno un dato validato è prossimo a 4000.

Ricordando, come già detto, che l'idrometro nei giorni di funzionamento ha sempre riportato due misurazioni, distanziate tra loro di 12 ore, ciò porta a un conteggio complessivo di quasi 8000 dati di misure di portata: numero questo certamente più che sufficiente per poter definire la curva di durata in maniera più che soddisfacente e accurata.

Della serie di dati, di cui la Figura 9 riporta un estratto grafico, nella tabella sottostante si riportano le portate medie mensili per tutti gli anni di osservazione, e l'anno medio definito mediando mese per mese le portate medie mensili.

Tabella 3: portate medie mensili per tutti gli anni di osservazione, e l'anno medio stimato.

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2002	0,50	0,67	1,08	1,58	3,93	3,47	1,13	2,15	1,32	1,49	9,63	3,47
2003	1,31	0,68	0,56	0,98	1,16	0,86	0,96	0,80	0,59	0,72	5,46	1,36
2004	0,74	0,74	1,39	2,21	4,47	2,31	2,06	1,24	1,28	0,79	n.a	n.a
2005	0,37	0,26	0,29	1,08	1,17	0,64	n.a	n.a	n.a	6,10	0,73	0,61
2006	0,54	0,54	0,53	1,08	1,22	0,81	0,68	1,87	1,80	0,93	0,59	1,47
2007	1,29	0,75	1,15	n.a	n.a	1,95	1,84	1,51	1,67	n.a	n.a	n.a
2008	n.a	1,68	1,25	2,54	4,88	3,54						
2009	1,77	1,89	2,25	6,96	4,86	3,06	2,84	1,52	1,66	1,18	1,80	6,66
2010	2,04	1,36	1,72	2,31	5,26	2,82	1,62	1,79	2,49	2,87	9,63	4,68
2011	2,10	1,19	2,29	1,87	1,68	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	3,11	0,91
2012	0,54	0,47	0,87	2,01	2,98	2,22	1,37	0,74	1,80	2,83	8,12	1,94
2013	0,80	0,48	1,56	4,22	5,36	2,27	0,97	0,80	0,81	1,52	2,64	2,27
2014	3,35	6,01	2,68	n.a	n.a	n.a	2,87	2,55	1,79	0,89	9,55	3,72
Anno Medio	1,28	1,25	1,36	2,43	3,21	2,04	1,63	1,51	1,50	1,99	5,10	2,78

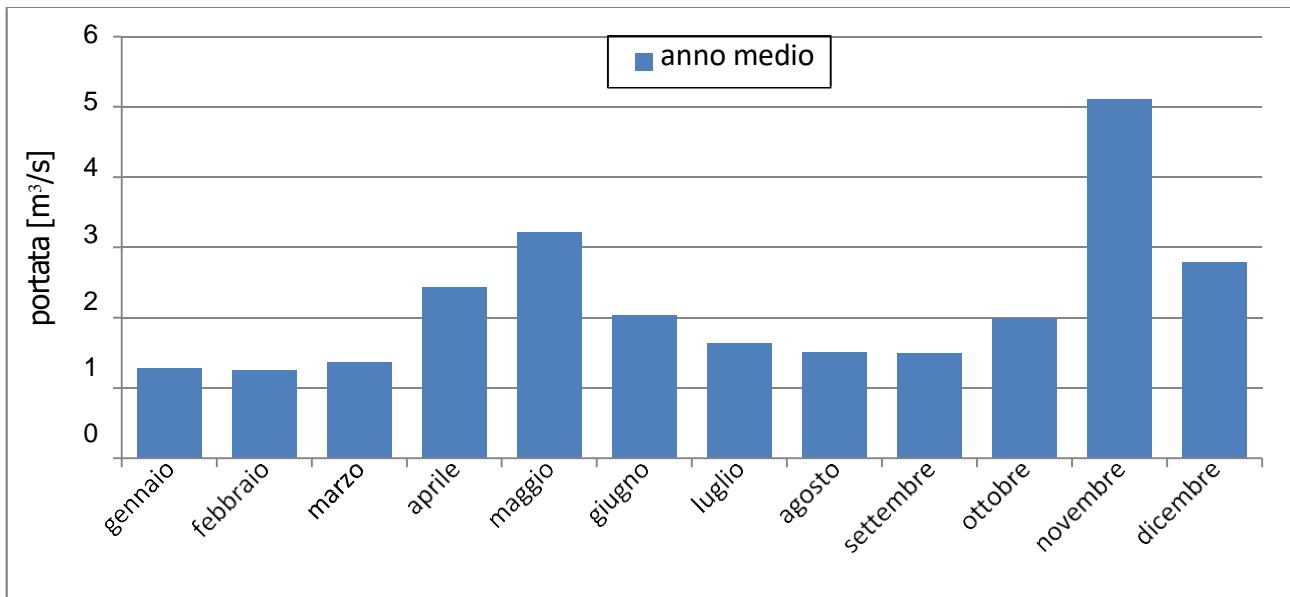


Figura 10: portate medie mensili dell'anno medio definito sui 13 anni di osservazione.

Definito l'anno medio tramite le medie delle portate medie mensili, si è successivamente individuato l'anno tipico, cioè l'anno effettivamente osservato che meno si discosta dall'anno medio. Per tale indagine si sono calcolati per ogni mese dell'anno in esame gli scostamenti σ rispetto ai corrispondenti valori mensili dell'anno medio e, per ogni anno, si è calcolata l'espressione $\sum_{i=1}^{12} \sigma_i^2$. Si definisce quindi l'anno tipico quello per il quale sia:

$$\sum_{i=1}^{12} \sigma_i^2 = \text{minimo}$$

Per i 13 anni di dati disponibili l'**anno tipico** è risultato essere il **2012**.

Di seguito si riportano la tabella e la rappresentazione grafica della **curva di durata del torrente Vajont** alla sezione di presa ottenuta sulla base dell'**anno tipico**.

Tabella 4: calcolo delle portate medie giornaliere del torrente Vajont (curva di durata) ottenute sulla base dell'anno tipico stimato.

Durata (Giorni)	Portata (m^3/s)	ΔT (Giorni)	Volume (m^3)
10	7,700	10	6.652.800
30	4,300	20	7.430.400
60	2,990	30	7.750.080
91	2,270	31	6.079.968
121	1,960	30	5.080.320
152	1,620	31	4.339.008
182	1,260	30	3.265.920
212	1,000	30	2.592.000
243	0,870	31	2.330.208
274	0,810	31	2.169.504
304	0,650	30	1.684.800
334	0,470	30	1.218.240
355	0,390	21	707.616
365	0,330	10	285.120
Qmedia	1,636		51.585.984

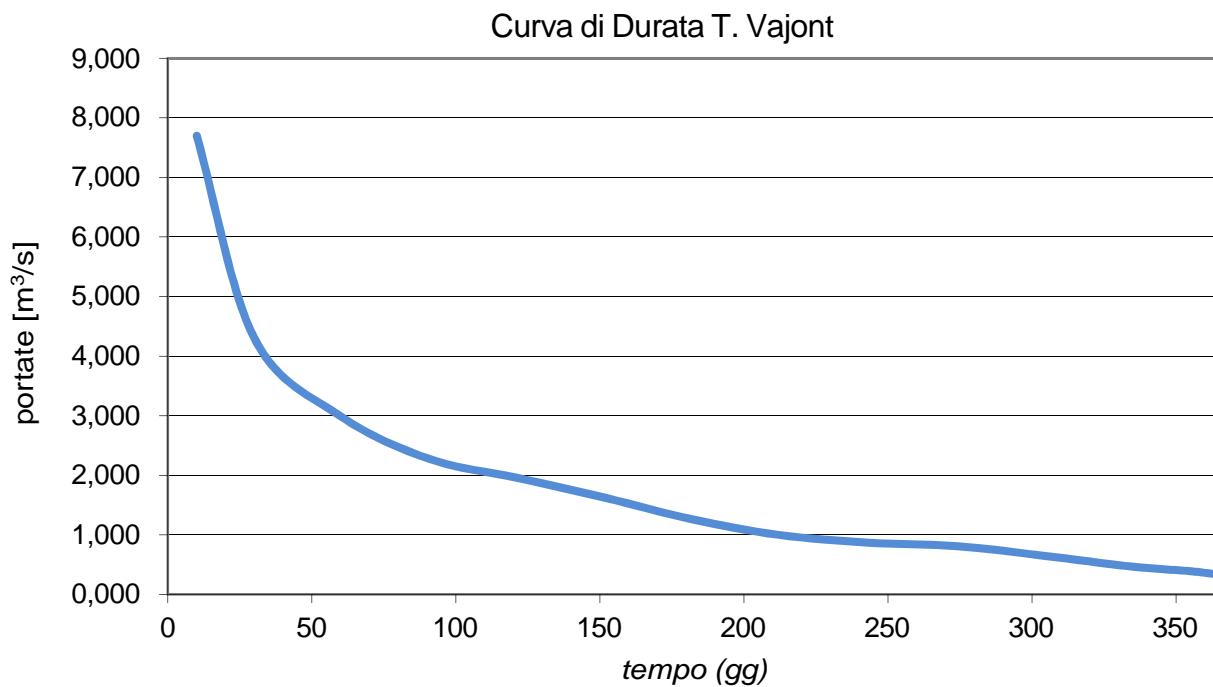


Figura 11: curva di durata del torrente Vajont alla sezione di presa.

Sulla base dei sopramenzionati dati di portata dell'anno tipico è stata calcolata una portata media in alveo pari a $Q_{\text{MEDIA NATURALE}} = 1,636 \text{ m}^3/\text{s}$.

Considerando invece l'intera serie di misure di portata disponibili (tutti e 13 gli anni) si ottiene che la portata media in alveo è pari a $Q_{MEDIA\ NATURALE} = 2,163\ m^3/s$.

Dividendo quest'ultimo valore di portata media in alveo per la superficie dell'area sottesa dalla sezione di presa ($S_{PRESA} = 57,08\ Km^2$) si ottiene un valore di contributo specifico unitario del bacino pari a $q = 37,9\ I/(s \cdot Km^2)$. Tale valore è leggermente inferiore, ma comunque molto vicino, a quello indicato nel PRTA per il calcolo del DMV relativamente alla zona in esame [$q_{PRTA} = 40\ I/(s \cdot Km^2)$].

Cautelativamente, quindi, in fase di calcolo del DMV non si considererà tale valore di q appena calcolato.

3.4. Portata di rispetto – DMV

Generalità

Il concetto di “Deflusso Minimo Vitale (DMV)” dei corsi d’acqua è stato introdotto per la prima volta nel quadro legislativo italiano dalla Legge 183/89.

Successivamente il concetto di DMV è stato ripreso dalla Legge n. 36, del 5 gennaio 1994 (cosiddetta “legge Galli”).

Il D.Lgs. 152/99 si inserisce nel quadro delle normative ambientali già esistenti riguardanti la salvaguardia delle acque.

L’art. 22, avente per oggetto la pianificazione del bilancio idrico, individua nei Piani di Tutela, di iniziativa regionale, il luogo dove sono adottate “le misure volte ad assicurare l’equilibrio del bilancio idrico come definito dall’Autorità di Bacino, nel rispetto delle priorità della legge 5 gennaio 1994, n. 36, e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del minimo deflusso vitale, della capacità di ravvenimento della falda e delle destinazioni d’uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative.”

Il decreto, con l’articolo 23, interviene a sostituire l’art. 12-bis del T.U. 1775/1933 disponendo che “il provvedimento di concessione è rilasciato se non pregiudica il mantenimento o il raggiungimento degli obiettivi di qualità definiti per il corso d’acqua interessato e se è garantito il minimo deflusso vitale”.

Successivamente il quadro legislativo si completa con il Decreto Ministeriale del 28/07/04, in cui si stabilisce che il DMV “rappresenta una portata di stretta attinenza del Piano di Tutela”.

Il D.Lgs 152/06 ha abrogato tutte le suddette disposizioni normative (tranne il citato decreto ministeriale del 2004).

L'art. 95 della parte III, conferma i principi generali del precedente Testo Unico Ambientale ribadendo che "nei piani di tutela sono adottate le misure volte ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico come definito dalle Autorità di bacino, nel rispetto delle priorità stabilite dalla normativa vigente e tenendo conto dei fabbisogni, delle disponibilità, del minimo deflusso vitale, della capacità di ravvenamento della falda e delle destinazioni d'uso della risorsa compatibili con le relative caratteristiche qualitative e quantitative."

Le linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, come definite dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio con decreto 28 luglio 2004 recano tra l'altro gli indirizzi, a scala nazionale, per la definizione del deflusso minimo vitale.

In particolare il Deflusso Minimo Vitale (DMV) rappresenta la portata istantanea da determinare in ogni tratto omogeneo del corso d'acqua, che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali.

Il decreto meglio specifica il senso e significato di questa definizione precisando che:

- per salvaguardia delle caratteristiche del corso d'acqua si intende il mantenimento delle sue tendenze evolutive naturali (morfologiche ed idrologiche), anche in presenza delle variazioni artificialmente indotte nel tirante idrico, nella portata e nel trasporto solido;
- per salvaguardia delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque deve intendersi il mantenimento, nel tempo, dello stato di qualità delle acque, in linea con il perseguitamento degli obiettivi di qualità e della naturale capacità di autodepurazione del corso d'acqua;
- per salvaguardia delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali è da intendersi il mantenimento, nel tempo, delle comunità caratteristiche dell'area di riferimento, prendendo in considerazione anche i diversi stadi vitali di ciascuna specie.

Il deflusso minimo vitale (DMV) rappresenta una portata di stretta attinenza al piano di tutela. Costituisce infatti sia un indicatore utile per le esigenze di tutela, sia uno strumento fondamentalmente per la disciplina delle concessioni di derivazione e di scarico delle acque.

Attengono alla determinazione del DMV aspetti di tipo naturalistico e di tipo antropico caratteristici di ogni tronco di corso d'acqua di interesse:

- ✓ aspetti naturalistici
 - caratteristiche idrologiche e idrogeologiche
 - caratteristiche geomorfologiche
 - conservazione e recupero dell'ecosistema e dell'ambiente fluviale

- ✓ aspetti antropici
 - modificazioni dell'alveo
 - presenza di carichi inquinanti residui da fonti puntuali e diffuse.

Negli ultimi anni si è fatto strada il concetto di Flusso Ecologico¹ (Ecological Flow), la cui individuazione è stata indicata dalla Commissione Europea tra le azioni chiave prioritarie e fondamentali per attuare le strategie e conseguire gli obiettivi ambientali fissati dalla Direttiva 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque).

Testo di riferimento a livello europeo è il documento "Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive" - Guidance Document n°31 – European Commission.

L'"Ecological Flow" è considerato nel contesto della WFD come il "regime idrologico coerente con il raggiungimento degli obiettivi ambientali della direttiva quadro nei corpi idrici superficiali naturali di cui all'articolo 4 (1)".

Considerando l'articolo 4 (1) WFD, gli obiettivi ambientali si riferiscono a:

- non deterioramento dello stato esistente;
- conseguimento di un buono stato ecologico del corpo idrico;
- la conformità con gli standard e gli obiettivi per le aree protette, tra cui quelle designate per la protezione degli habitat e delle specie, compresi i siti Natura 2000.

Primaria importanza viene infatti data, non tanto alla portata rilasciata in sé, ma al regime idrologico, il quale ha un ruolo fondamentale per la conservazione delle biodiversità, la produzione e la sostenibilità degli ecosistemi acquatici.

Infatti il regime delle acque presenta una variabilità a diverse scale temporali, stagionali o inter-annuali, e la fauna aquatica e ripariale è adattata a questa variabilità.

Per questo motivo, la grandezza, la frequenza e la durata dei cambiamenti del regime di portata del corso d'acqua sono generalmente definiti come elementi chiave per sostenere e conservare le specie autoctone e l'integrità ecologica (Poff et al., 1997; Bunn e Arthington,

¹ In data 13-02-17 è stato pubblicato il Decreto n. 30/STA del Ministero dell'Ambiente di approvazione delle Linee Guida per l'aggiornamento dei metodi di determinazione del deflusso minimo vitale al fine di garantire il mantenimento nei corsi d'acqua del deflusso ecologico a sostegno del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici definiti ai sensi della Direttiva 2000/60/CE.

Risultati di numerosi studi hanno permesso a Bunn e Arthington (2002) di formulare quattro principi chiave per illustrare come l'alterazione del regime idrologico possa causare impatti sulla biodiversità in torrenti e fiumi:

- il Regime idrologico è un importante fattore per l'habitat fisico, che a sua volta determina la composizione e la vita dell'ecosistema;
- le specie acquatiche si sono evolute in risposta diretta al regime idrologico e alle condizioni morfologiche;
- mantenere modelli naturali di connettività longitudinale e trasversale è essenziale per la vitalità delle popolazioni di specie;
- l'invasione di specie alloctone e introdotte è facilitata dall'alterazione dei regimi idrologici.

Per meglio comprendere il ruolo del regime idrologico e delle dinamiche ecosistemiche vengono distinte due situazioni ambientali:

- Situazioni estreme imposte da eventi estremi (inondazioni o al contrario periodi di siccità) regolano i tassi di processo dell'ecosistema, ed esercitano pressioni selettive sulle popolazioni e decretano il successo di alcune specie sulle altre (Resh et al, 1988; Hart e Finelli, 1999);
- Condizioni normali imposte dai deflussi regolari consentono la formazione dell'habitat e la stabile presenza delle specie e il loro ciclo vitale nel corpo idrico.

Dal punto di vista idrologico quindi il Flusso Ecologico deve riflettere l'andamento del naturale regime idrologico, mantenendo quindi quella variabilità delle portate che permette la conservazione dell'ecosistema acquatico.

In data 13-02-2017 è stato adottato il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per la salvaguardia del territorio e delle acque, prot. 0000030/STA, decreto con cui sono state approvate le “Linee guida per l'aggiornamento dei metodi di determinazione del deflusso minimo vitale al fine di garantire il mantenimento, nei corsi d'acqua, del deflusso ecologico a sostegno del raggiungimento degli obiettivi di qualità definiti ai sensi della Direttiva 2000/60/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo del 23 ottobre 2000”.

Anche in adempimento agli obblighi assunti in sede europea, il provvedimento punta ad “assicurare che l'applicazione del deflusso ecologico avvenga su tutto il territorio nazionale secondo metodologie condivise e scientificamente avanzate, tenuto conto delle differenze orografiche, idrologiche, geologiche ed ecosistemiche e della diversa complessità nella composizione amministrativa esistenti tra i vari distretti”.

Il deflusso ecologico (DE) rappresenta, come illustrato nell'Allegato A al citato Decreto, il nuovo parametro rispetto al quale determinare la portata d'acqua che deve essere garantita per la salvaguardia delle caratteristiche fisiche, chimico – fisiche nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali di ciascun corpo d'acqua.

Tale funzione è stata sinora assolta dal deflusso minimo vitale (DMV), come disciplinato nella normativa nazionale e quantificato in ambito regionale.

L'introduzione del DE, tuttavia, punta ad aggiornare tale criterio ed i metodi per il suo calcolo, secondo il “paradigma delle portate naturali”: per cui il mantenimento di un regime simile a quello naturale in un dato corso d'acqua favorisce il mantenimento degli habitat e delle specie autoctone in esso presenti.

Il Decreto Ministeriale 13.2.2017 prot. 0000030/STA:

- a) ricostruisce le diverse discipline vigenti nel territorio italiano in materia di DMV, e descrive le finalità dell'intervento normativo – sopra riassunte;
- b) individua tre metodi possibili per la determinazione del DE a livello distrettuale (idrologici, idraulico-habitat, olistici);
- c) assegna ai singoli Distretti Idrografici il compito di individuare il metodo preferibile per il proprio territorio distrettuale, imponendo loro un procedimento partecipativo aperto ai contributi dei portatori di interessi;
- d) individua in 10 mesi dall'entrata in vigore del Decreto il termine entro cui i singoli Distretti Idrografici debbano individuare le metodologie per determinare il DE in sede distrettuale, assicurando la coerenza tra tali provvedimenti e le misure assunte nell'ambito dei Piani di Gestione delle Acque – adottati sempre su base distrettuale

In adempimento a tale normativa nazionale, il Distretto Idrografico delle Alpi Orientali adottava in data 14-12-2017 la Deliberazione n. 2/2017 (*“Direttiva per la determinazione dei deflussi ecologici a sostegno del mantenimento/raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dal Piano di Gestione del distretto idrografico delle Alpi Orientali”*), in cui per la prima volta venivano definiti i criteri di determinazione del deflusso ecologico (DE) da applicarsi nel territorio distrettuale (Allegato A alla Delibera 2/2017 - *“Approccio metodologico per la determinazione dei deflussi ecologici nel territorio distrettuale”*).

In data 20 dicembre 2021 la Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali ha adottato il secondo aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque ai sensi degli articoli 65 e 66 del D.lgs n. 152/2006, Piano che ha provveduto anche a porre in salvaguardia la misura “Direttiva Deflussi Ecologici” facendola entrare in

vigore a far data dalla pubblicazione dell'avviso della delibera di adozione sulla Gazzetta

Ufficiale con contestuale cessazione di efficacia delle omologhe misure del 2017.

Nel dettaglio la disciplina in materia di Deflusso Ecologico (DE), è trattata nel volume 6/d del Piano di Gestione delle Acque del Distretto Alpi Orientali – Agg. 2022-2027, dove vengono definiti

- ✓ i requisiti minimi dei rilasci che devono essere garantiti a valle delle derivazioni d'acqua nell'ambito del territorio distrettuale coerentemente ai principi di definizione del D.E.;
- ✓ gli adempimenti a carico delle Province e Regioni;
- ✓ la tempistica e la modalità relativa alla attuazione della normativa distrettuale.

In riferimento a quest'ultimo aspetto, la linea guida n. 31, elaborata dalla Commissione Europea nell'ambito della Common Implementation Strategy sul tema del deflusso ecologico, pone particolare accento sul carattere di "gradualità" e di "incrementalità" che deve governare, all'interno dei singoli Stati Membri, il processo di adeguamento delle discipline e delle misure.

L'adozione, avvenuta nel dicembre 2017, della "Direttiva Deflussi Ecologici" ha rappresentato pertanto solo un primo importante passo del processo di recepimento della linea guida, individuando la necessità di una ulteriore fase nel successivo quadriennio.

L'adeguamento agli obblighi di rilascio nei modi previsti dal metodo distrettuale di riferimento deve applicarsi alle nuove istanze di derivazioni.

Diverso il caso delle concessioni già attive.

Per tali fattispecie l'applicazione della disciplina sul deflusso ecologico si lega ai seguenti tre aspetti:

- ✓ la significatività dei prelievi che già insistono sul corpo idrico e che possono pregiudicare il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale;
- ✓ la predisposizione di un "piano di implementazione" per la graduale applicazione della disciplina sul deflusso ecologico;
- ✓ la presenza, nel tratto sotteso dal prelievo, di attività di verifica e sperimentazione costituenti prosecuzione/conclusione di quelle già avviate del quadriennio 2018-2021 oppure di nuova impostazione.

II Deflusso Ecologico – Metodo Distrettuale di Riferimento

Il metodo distrettuale di riferimento rappresenta e descrive i requisiti minimi dei rilasci che devono essere garantiti a valle delle derivazioni d'acqua nell'ambito del territorio distrettuale coerentemente ai principi di definizione del flusso ecologico.

Il metodo distrettuale di riferimento, pertanto, non comporta l'automatico superamento dei metodi regionali già vigenti ma ne costituisce semmai uno strumento di validazione a scala distrettuale, perché alla taratura dei diversi parametri hanno concorso e concorreranno in futuro le esperienze sviluppate da tutte le Amministrazioni.

L'elaborazione del metodo distrettuale impegna tuttavia le Amministrazioni a dare avvio, sin dal medio termine (assunto nel quadriennio 2018÷2021, preparatorio al secondo aggiornamento del Piano di Gestione) a specifiche attività conoscitive, anche di carattere sperimentale coordinate a scala distrettuale, finalizzate a perfezionare il metodo, eventualmente articolandolo secondo scale spaziali di maggior dettaglio

L'algoritmo, proposto nella Direttiva Deflussi Ecologici del 2017 e riconfermato nell'Aggiornamento del Piano di Gestione delle Acque 2022÷2027, è il seguente:

$$DE = K \times P \times M \times Q_{media} = K \times P \times M \times (\sum_{i=1}^{i=n} q_i A_i + \sum_{j=1}^{j=n} Q_j)$$

- **K** è il “fattore di protezione”, individuato in funzione della tipologia del corso d'acqua e della superficie del bacino sotteso dalla sezione di prelievo;
- **P** è il “fattore di tutela naturalistico”;
- **M** è il “fattore di modulazione temporale”;
- **Q_{media}** è la portata media annua valutata corrispondentemente alla sezione di prelievo, risultante dal contributo idrologico delle aree omogenee che compongono il bacino e degli eventuali apporti puntiformi;
- **q_i** rappresenta il contributo specifico medio annuo di ciascuna area omogenea che concorre a formare il bacino sotteso dalla sezione di prelievo (l/s per Km²);
- **Q_i** rappresenta gli eventuali apporti puntiformi, sempre espressi in termini di portata media annua, confluenti nel bacino sotteso dalla sezione di prelievo.

Valutazione del parametro idrologico

Per quanto riguarda il progetto in esame, il regime idrologico relativo ai corpi idrici ricadenti sul territorio regionale del Friuli-Venezia Giulia fa riferimento alle corrispondenti valutazioni ed analisi sviluppate nell'ambito delle attività di redazione del Piano di tutela delle acque, ed in particolare nella cosiddetta “Analisi conoscitiva”, paragrafo 10.4.

In particolare, il regime delle portate naturali medie è stato individuato sulla base delle risultanze del

modello messo a punto per la quantificazione delle risorse idriche del Friuli-Venezia Giulia, mediante la valutazione, alla scala annua, delle singole componenti del bilancio idrologico:

- P (precipitazione);
- Et (evapotraspirazione);
- R (ruscellamento);
- I (infiltrazione).

La somma di ruscellamento ed infiltrazione rappresenta la potenzialità idrica totale di un dato bacino (supponendo assenti scambi sotterranei significativi con altri bacini idrografici) facilmente trasformabile in termini di portata specifica media annua di ciascun bacino elementare.

Si evidenzia che la portata media così calcolata non tiene conto dell'eventuale capacità disperdente degli alvei; questo ne determina una sovrastima in particolare in alcuni tratti di fondovalle dove tale capacità disperdente può risultare significativa.

In sede di predisposizione del documento di piano, peraltro, la cartografica che rappresenta le portate specifiche medie annue è stata semplificata raggruppando i valori in 5 categorie in modo da renderla funzionale per la sua applicazione nell'algoritmo di calcolo del deflusso minimo vitale (lo stesso al quale si richiama il metodo di riferimento distrettuale).

La stessa cartografia è stata anche integrata degli apporti da sorgente carsica ritenuti significativi e con la stima dei contributi della fascia delle risorgive.

Gli apporti carsici sono stati considerati come immissioni puntiformi di portata nel corso d'acqua mentre il contributo della risorgiva ha necessitato di un'operazione di spazializzazione.

Per la valutazione puntuale delle portate specifiche medie annue e degli apporti puntiformi si rimanda all'Allegato 5.3 del Piano Regionale di Tutela delle Acque.

Il Fattore di Protezione K

Il fattore di protezione K ha lo scopo di esprimere la stretta dipendenza tra stato/consistenza degli ecosistemi acquatici ed i principali parametri idro-morfologici propri di un assegnato tratto fluviale. Tale dipendenza si esprime attraverso una doppia scala: la scala spaziale e la scala temporale.

Nella dimensione spaziale, il fattore di protezione è essenzialmente funzione della tipologia del substrato e della morfologia dell'alveo, la quale condiziona gli elementi idrodinamici e fisico- chimici, in particolare:

- la velocità della corrente;
- la circolazione dei nutrienti e l'ossigenazione delle acque;
- la presenza di vegetazione riparia.

Nella dimensione temporale, il fattore di protezione deve tener conto della necessità che l'alterazione idrologica conseguente al prelievo induca delle accettabili alterazioni del regime idrologico naturale, il quale, come noto, si caratterizza secondo le seguenti principali componenti:

- ✓ la portata in un dato intervallo di tempo;
- ✓ la frequenza (o tempo di ritorno) di una fissata condizione di deflusso;
- ✓ la durata di una certa condizione di deflusso (numero di giorni in cui un fissato valore di portata viene superato, ecc.);
- ✓ il periodo dell'anno (timing) in cui una certa condizione di deflusso si manifesta;
- ✓ la rapidità di variazione da una condizione di deflusso ad un'altra che caratterizza un certo corso d'acqua.

Si può dunque assumere che il fattore K rappresenti quella quota parte del deflusso medio annuo di un corpo idrico la quale, opportunamente modulata attraverso il fattore M, assicuri una condizione di soddisfacente naturalità del regime idrologico (in termini quantitativi e di distribuzione temporale), e quindi costituisca ragionevolmente presupposto per la conservazione di livelli sostenibili di qualità ambientale nell'ecosistema fluviale nel suo complesso (vedasi a tal riguardo le specifiche indicazioni della linea guida ministeriale approvate con D.D. 30/STA).

La successiva tabella riassume le determinazioni assunte per la quantificazione numerica del parametro K del metodo di riferimento distrettuale.

*Tabella 5: Deflusso Ecologico:
Articolazione numerica del fattore K in funzione delle tipologie fluviali e della superficie di bacino sotteso*

K - FATTORE DI PROTEZIONE			
	Tipologia di corpo idrico	Superficie del bacino sotteso	Fattore di protezione
1	Area montana	A ≤ 100 Km ²	<p>Valore guida: 0,20 Nel caso di morfologie d'alveo prevalentemente strette e profonde, individuate e mappate dalle competenti Regioni e Province Autonome, e sempreché non interessino - tratti di ricarica delle falde e/o alimentazione degli acquiferi destinati o potenzialmente destinati all'approvvigionamento idropotabile, - rii e torrenti montani privi di classificazione di stato ecologico e per i quali non si riscontrano pressioni antropiche significative le Regioni e le Province Autonome possono assegnare al fattore K un valore diverso dal valore guida, comunque non inferiore a 0,10.</p>
2		A ≥ 500 Km ²	<p>Valore guida: 0,15 Nel caso di morfologie d'alveo prevalentemente strette e profonde e sempreché non interessino - tratti di ricarica delle falde e/o alimentazione degli acquiferi destinati o potenzialmente destinati all'approvvigionamento idropotabile, - rii e torrenti montani privi di classificazione di stato ecologico e per i quali non si riscontrano pressioni antropiche significative le Regioni e le Province Autonome possono assegnare al fattore K un valore diverso dal valore guida, comunque non inferiore a 0,10.</p>
3		100 Km ² < A < 500 Km ²	<p>Valore guida: interpolazione lineare tra 0,15 e 0,2, in funzione della superficie del bacino sotteso. Rispetto a tale valore, nel caso di morfologie d'alveo prevalentemente strette e profonde e sempreché non interessino - tratti di ricarica delle falde e/o alimentazione degli acquiferi destinati o potenzialmente destinati all'approvvigionamento idropotabile, - rii e torrenti montani privi di classificazione di stato ecologico e per i quali non si riscontrano pressioni antropiche significative le Regioni e le Province Autonome possono assegnare al fattore K un valore diverso dal valore guida, comunque non inferiore a 0,10.</p>
4	Fiumi di pianura		Maggiore o uguale a 0,15 su indicazione delle competenti Regioni e Province Autonome
5	Fiumi di risorgiva		Maggiore o uguale a 0,30 su indicazione delle competenti Regioni e Province Autonome

Tabella 6: Deflusso Ecologico:
Articolazione numerica del fattore K in funzione delle tipologie fluviali e della superficie di bacino sotteso

K - FATTORE DI PROTEZIONE			
	Tipologia di corpo idrico	Superficie del bacino sotteso	Fattore di protezione
6	Tratti di ricarica delle falde e/o alimentazione degli acquiferi destinati o potenzialmente destinati all'approvvigionamento idropotabile, previa individuazione e mappatura da parte delle competenti Regioni e Province Autonome		Fino a 0,30 su specifica indicazione della competente Regione e Provincia autonoma competente Amministrazione
	Tratti fluviali a morfologia transazionale (wandering) o a canali intrecciati, previa individuazione e mappatura da parte delle competenti Regioni e Province Autonome		
	Tratti di corsi d'acqua originati da scorrimento superficiale e caratterizzati da un alveo alluvionale largo, caratterizzato da granulometria grossolana (ghiaia o ciottoli) e con basse pendenze, previa individuazione e mappatura da parte delle competenti Regioni e Province Autonome		
	Rii e torrenti montani privi di classificazione di stato ecologico e per i quali non si riscontrano pressioni antropiche significative, previa individuazione e mappatura da parte delle competenti Regioni e Province Autonome		

Il Fattore di Tutela Naturalistica P

Il fattore di tutela naturalistica P è un parametro adimensionale che dipende dalla naturalità e funzionalità degli ecosistemi fluviali ed ha lo scopo di proteggere maggiormente gli ambienti caratterizzati da elevata naturalità.

Esso impone, se applicato, rilasci più elevati alle derivazioni che interessano aree e siti di maggior pregio naturalistico e ambientale.

L'applicazione del fattore di tutela naturalistica presuppone che il tratto sotteso dal prelievo intersechi in tutto o in parte un'area protetta secondo le seguenti tipologie:

- 1) Le aree protette ai sensi della L. 394/1991 art. 2 e della Delibera del Comitato per le Aree Naturali Protette 2.12.1996 – riportata in tabella 4 del Rapporto ISPRA n. 107/2010 - (*parchi naturali e riserve naturali statali e regionali, zone umide di importanza internazionale ai sensi della Convenzione Ramsar, aree designate per la protezione di*

habitat e specie di interesse comunitario quindi SIC, ZPS, ZSC, aree naturali protette regionali, monumenti naturali di interesse idrologico, parchi provinciali). Per aree designate per la protezione di habitat e specie di interesse comunitario, si intendono quelle nelle quali mantenere o migliorare lo stato delle acque è importante per la loro protezione. Si tratta dunque di quelle aree che presentano habitat e specie riferibili ad ambienti fluviali, selezionati conformemente ai criteri ecologici della Wetland Horizontal Guidance specificati nel Rapporto ISPRA n. 107/2010 per correlare gli habitat e le specie al grado di dipendenza dall'ambiente acquatico (*Piano di gestione delle acque – Aggiornamento 2022-2027, Volume 3 – Repertorio delle aree protette*).

- 2) i corpi idrici superficiali classificati in stato ecologico elevato (*in base alla più recente classificazione, all'atto della domanda di concessione*);
- 3) i rii/torrenti in area montana costituenti teste di bacino (*bacino sotteso inferiore o uguale a 10 km²*) e caratterizzati da particolari condizioni di naturalità (nessuna alterazione antropica o alterazione antropiche poco rilevanti). Si suggerisce che, quale criterio guida di verifica di tale condizione, possano essere assunti gli esiti del monitoraggio ante-operam dello stato ecologico, ed in particolare la sussistenza di uno stato ecologico elevato;
- 4) le aree wilderness, i siti e biotopi di interesse regionale e locale individuate con atto deliberativo, perimetrali e cartografati — che presentano le condizioni di correlazione con l'acqua di cui al punto 1);
- 5) gli ulteriori tratti fluviali meritevoli di tutela a discrezione delle competenti Regioni e Province Autonome, non rientranti nelle categorie precedenti di corpi idrici, individuati con atto deliberativo (*ad esempio: biotopi naturali regionali, aree di reperimento prioritario*) che presentano le condizioni di correlazione con l'acqua di cui al punto 1).

Sono fatte salve le eventuali discipline più restrittive ed i divieti già individuati dalle Amministrazioni per tutte le tipologie sopra elencate ed in particolare le “Misure di tutela dei corpi idrici in relazione ai prelievi per l’uso idroelettrico” - punto “Dimensione minima del bacino sotteso dalle opere di derivazione per uso idroelettrico” previste dal Piano di Gestione delle Acque.

Il fattore di protezione naturalistica è articolato in funzione di due criteri:

- della condizione di conservazione e funzionalità riscontrata (ottimale e non ottimale), come di seguito descritto:

Tabella 7: Deflusso Ecologico: condizioni di conservazione e funzionalità.

CONSERVAZIONE E FUNZIONALITÀ OTTIMALE	<p>Area protetta nella quale tutte le specie e gli habitat si trovano nello stato di conservazione favorevole ai sensi della Direttiva Habitat e/o</p> <p>Area protetta nella quale i taxa presenti sono inseriti in red list classificate a minor rischio (LC, Least Concern), e le specie presenti non soddisfano i criteri per l'inclusione in nessuna delle categorie di rischio IUNC (specie ad ampio areale o con popolazioni numerose) e/o</p> <p>IFF relativo (dove calcolato) > 0,870</p>
CONSERVAZIONE NON OTTIMALE	<p>Area protetta nella quale è presente almeno una specie o habitat in stato di conservazione non favorevole o sconosciuto ai sensi Direttiva Habitat oppure</p> <p>Area protetta nella quale è presente almeno un taxon o ecosistema in stato di rischio secondo le red list (CR, VU, EN, NT DD) oppure</p> <p>Area protetta nella quale è presente almeno una specie ombrello, keystone, indicatrici indicate da EE. Ricerca o ex-INFS-ISPRA oppure $0,670 < \text{IFF relativo (dove calcolato)} < 0,869$ oppure</p> <p>Corpi idrici superficiali classificati in stato ecologico elevato oppure Rii/torrenti in area montana costituenti teste di bacino (bacino sotteso inferiore o uguale a 10 km²) e caratterizzati da particolari condizioni di naturalità (nessuna alterazione antropica o alterazione antropiche poco rilevanti). Si suggerisce che, quale criterio guida di verifica di tale condizione, possano essere assunti gli esiti del monitoraggio ante-operam dello stato ecologico, ed in particolare la sussistenza di uno stato ecologico elevato. oppure</p> <p>Aree wilderness, siti e biotopi di interesse regionale e locale oppure</p> <p>Tratti fluviali meritevoli di tutela a discrezione delle competenti Regioni e Province Autonome</p>

- della preesistenza del prelievo (e dunque distinguendo il caso delle derivazioni in atto dal caso di nuove derivazioni)

La tabella che segue ne esplicita la quantificazione numerica secondo i succitati criteri individuando, per ciascuna condizione esaminata, un intervallo di variazione ed un valore guida.

La determinazione puntuale del fattore P è affidata alle competenti strutture delle Regioni/Province Autonome.

In assenza di determinazione il coefficiente di amplificazione è rappresentato dal cosiddetto “valore guida”, in caso di aree interregionali viene considerato il valore guida.

Si assume che in carenza di dati conoscitivi il valore da assegnare a P sia pari a 2.

P - FATTORE TUTELA NATURALISTICA		
Derivazioni in atto	$1,0 \leq P \leq 1,5$ Valore Guida: 1,5	$P \geq 1,5$ Valore Guida: 2,0
Nuove istanze di derivazione	$P \geq 1,5$ Valore Guida: 2,0	

Il Fattore di Modulazione M

Il fattore di modulazione temporale M descrive ed esprime le esigenze di variazione del deflusso ecologico nell'arco dell'anno per riproporre, seppure a scala ridotta, il naturale andamento idrologico di un corso d'acqua.

La diversificazione del regime di deflusso è in generale utile per mitigare situazioni di stress sulle biocenosi indotte dalla costanza del regime idraulico.

Tale diversificazione deve essere ragionevolmente commisurata ed armonizzata al regime fluviale naturale (nivale, pluviale, misto nivo-pluviale, di risorgiva).

Oltre a tale esigenza devono essere tenute in considerazione anche le esigenze di tutela dell'ittiofauna, e in particolare la presenza di adeguate portate nei periodi critici di riproduzione e nella prima fase del ciclo vitale.

Con particolare riferimento a quest'ultimo aspetto va evidenziato come la notevole diversificazione delle specie ittiche che popolano i corsi d'acqua del distretto richieda inevitabili approfondimenti sito specifici che andranno definiti mediante apposite sperimentazioni.

Tuttavia, si è ritenuto opportuno, in coerenza con l'approccio metodologico a scala distrettuale, individuare alcune indicazioni preliminari per caratterizzare tali aspetti.

In tal senso sono state utilizzate le informazioni disponibili al momento della redazione del presente documento, elaborate dalle Amministrazioni competenti per l'applicazione dell'indice ISECI o nell'ambito di altre attività ricognitive nel settore.

Il territorio distrettuale per le Amministrazioni di Bolzano, Trento e del Veneto è stato dunque suddiviso in zone ittiologiche che possono rappresentare in via preliminare le comunità ittiologiche con esigenze ecologiche simili dal punto di vista dei periodi riproduttivi da tutelare maggiormente. Ad ogni zona è stata associata una specie "ombrello" di riferimento che meglio potesse caratterizzare le comunità ittiologiche residenti e il relativo periodo orientativo di

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

protezione come da tabella seguente.

Tabella 9: Zone ittiologiche e corrispondenti specie di riferimento e periodi dell'anno nei quali deve essere garantita la protezione

Zona	Specie di Riferimento	Periodo di Protezione
Salmonicola montana	Trota fario	Da novembre a marzo
Salmonicola	Trota marmorata	Da ottobre a febbraio (da ottobre a marzo per la Provincia di Trento)
Ciprinicola (reofili)	Cavedano, Barbo	Da aprile a giugno
Ciprinicola (fitofili)	Carpa, Tinca	Da maggio a luglio
Risorgive	Trota fario, Cavedano, ecc	Da ottobre a marzo e da aprile a giugno

Di seguito si riporta una rappresentazione cartografica delle zone ittiologiche per il distretto delle Alpi Orientali e dei relativi periodi orientativi di protezione.

Va evidenziato che la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha provveduto ad elaborare la "Carta della vocazione ittica" e ad individuare i relativi periodi di protezione per le specie ombrello selezionate.

Anche la Regione Veneto sta procedendo alla redazione, per il proprio territorio, della "Carta delle zone ittiologiche" con la quale si provvederà alla zonazione in base alla specie "ombrello" e all'assegnazione di ciascun corpo idrico alle sub-aree ittiologiche definite nelle "Linee Guida per le attività di verifica e sperimentazione del deflusso ecologico (Allegato 2 – Tipologie fluviali e individuazione delle comunità ittiche di riferimento").

In definitiva il fattore M può essere scomposto in due distinti sub-fattori:

- *Il primo, denominato M_1 , rappresentativo del regime idrologico medio mensile*
- *Il secondo, denominato M_2 , rappresentativo delle esigenze di tutela della fauna ittica, limitatamente ai "periodi di protezione" indicati nella figura sottostante.*

$$M = M_{1, \text{ mese } i\text{-esimo}} \times M_{2, \text{ mese } i\text{-esimo}}$$

Il sub-fattore M_1 è di norma calcolato, a scala mensile, mediante la seguente relazione di tipo

parabolico:

$$M_{1,\text{mese } i\text{-esimo}} = \sqrt[2]{\frac{Q_{\text{media mensile}}^{\text{mese } i\text{-esimo}}}{Q_{\text{media annua}}}}$$

dove:

- $M_{1,\text{mese } i\text{-esimo}}$ è il sub-fattore M_1 relativo al mese $i\text{-esimo}$;
- $Q_{\text{media mensile mese } i\text{-esimo}}$ è la portata media naturale del mese $i\text{-esimo}$;
- $Q_{\text{media annua}}$ è la portata media naturale annua.

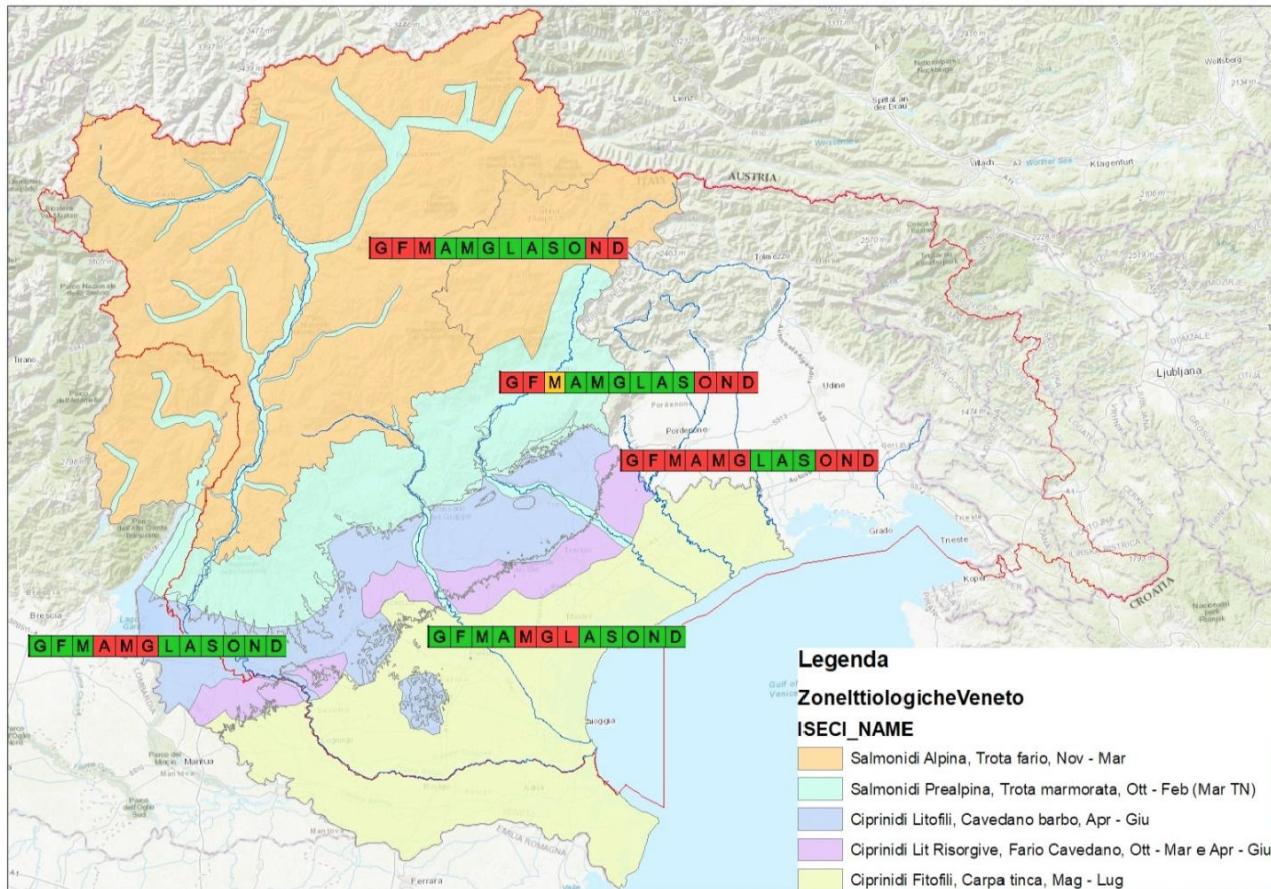


Figura 12 Individuazione Zone ittiologiche nel distretto idrografico delle Alpi Orientali (escluso FGV).

Le Regioni e le Province Autonome che dispongono di una banca dati delle portate medie naturali o naturalizzate alla scala temporale mensile o inferiore, possono valutare il deflusso ecologico assumendo le portate medie mensili quale parametro idrologico di riferimento ed applicando su tale parametro i fattori correttivi previsti dal metodo distrettuale di riferimento (K, P, M).

In tal caso, il coefficiente di modulazione temporale M deve intendersi riferito alla sola componente di tutela della fauna ittica, secondo il criterio appena sopra esposto.

Le Regioni e le Province Autonome possono motivatamente individuare valori dei sub-fattori M_1 ed M_2 diversi da quelli sopra indicati, in quanto riferiti a scale spaziali

di maggior dettaglio (sottobacino, corpo idrico) ovvero tenuto conto di situazioni sito-specifiche.

La modulazione del rilascio del deflusso ecologico è preferibilmente eseguita con cadenza mensile.

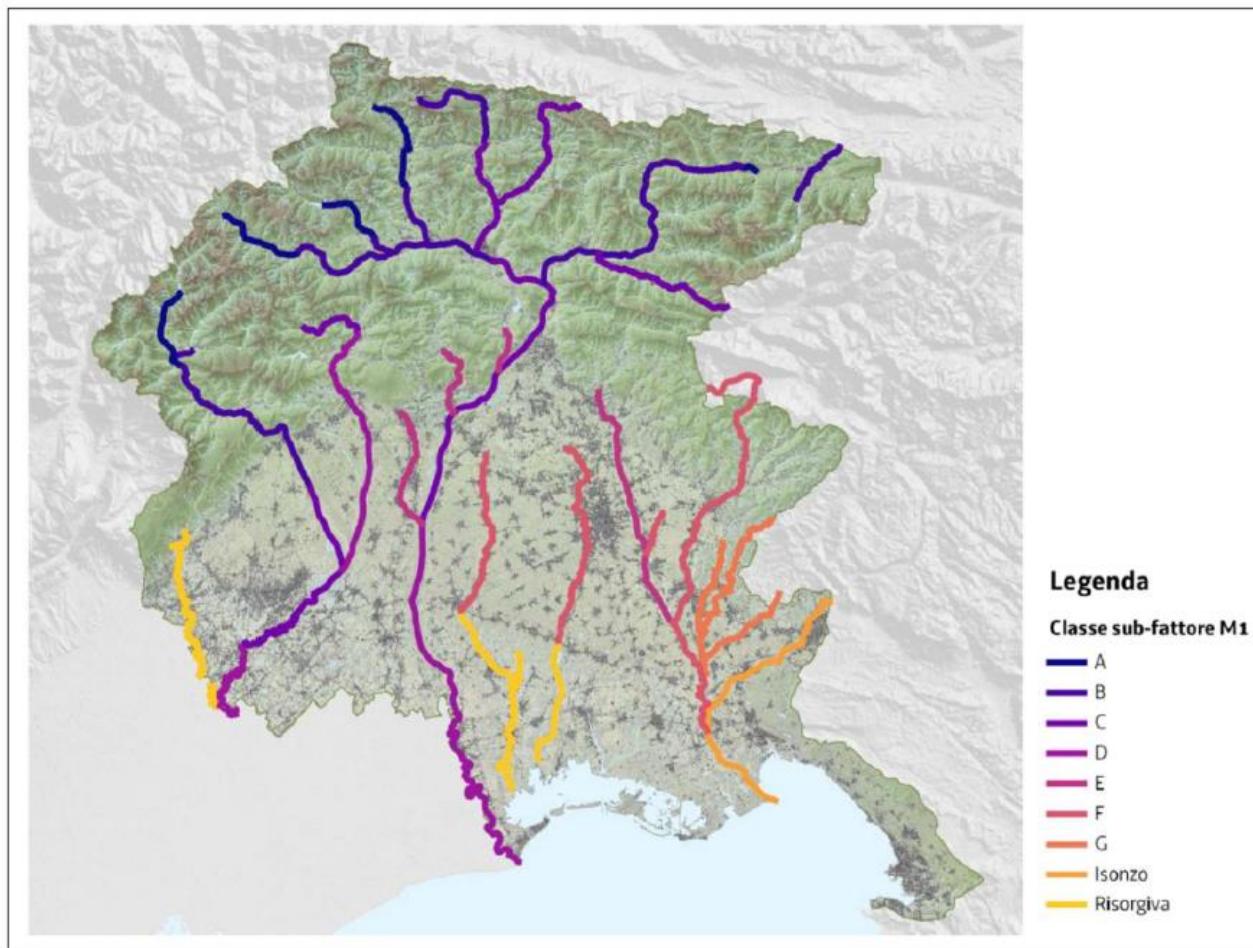
È ammessa tuttavia la modulazione stagionale in relazione a documentate difficoltà di carattere strutturale (configurazione ed assetto delle opere) o gestionale.

L'applicazione di rilasci costanti nel tempo (quindi assumendo M pari all'unità) può essere ammesso solo in casi eccezionali (opere minori su corpi idrici di versante con ridotta accessibilità).

Nel territorio distrettuale che coincide con l'ambito amministrativo del Friuli Venezia Giulia, l'articolazione del fattore M_1 si armonizza con le valutazioni di bilancio idrico poste a fondamento del Piano Regionale di Tutela delle Acque.

In tale contesto sono state create due mappe:

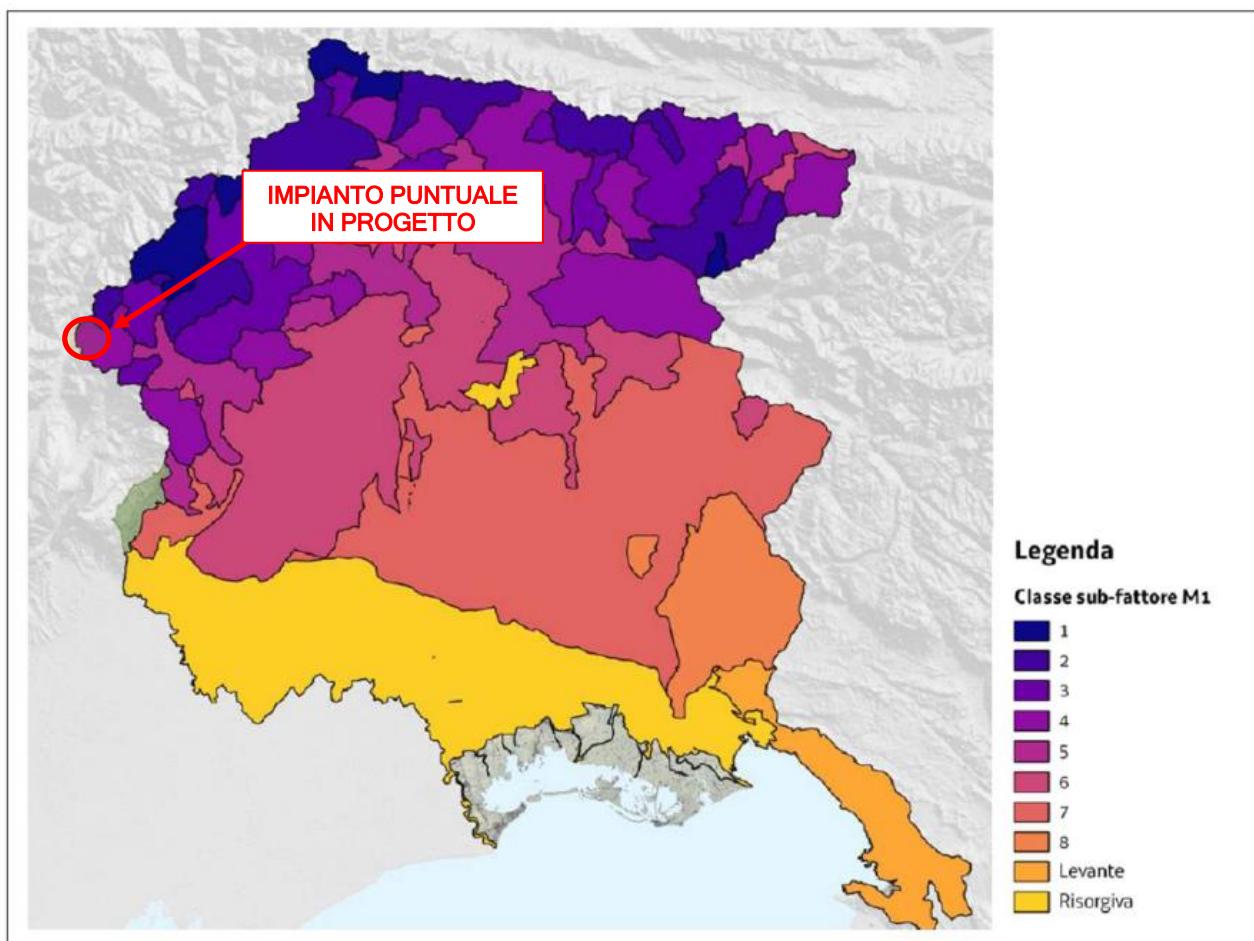
- ✓ la mappa delle aste fluviali principali: sono identificate 9 classi al quale corrisponde un'articolazione mensile del coefficiente M_1 ;
- ✓ la mappa delle aree idrologicamente omogenee, articolata in 10 classi.



Classe	Sub-fattore M1 per aste fluviali principali											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Risorgiva	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Isonzo	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	0.8	0.8	0.9	1.2	1.3	0.9
A	0.5	0.7	1.1	1.3	1.2	1.0	0.9	0.8	1.0	1.3	1.2	0.7
B	0.7	0.7	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.3	1.2	0.8
C	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1	0.9	0.8	0.8	1.0	1.3	1.2	0.9
D	0.8	0.9	1.1	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2	1.2	0.9
E	0.9	0.9	1.0	1.2	1.0	0.9	0.7	0.7	0.9	1.2	1.2	1.0
F	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	0.9	0.7	0.7	1.0	1.2	1.2	1.1
G	1.1	0.9	1.0	1.1	0.9	0.8	0.6	0.6	1.0	1.2	1.3	1.2

Figura 13 Classificazione del sub-fattore M_i per aste fluviali principali.

La figura che segue sintetizza invece, per le aree idrologicamente omogenee, l'articolazione numerica su base mensile del coefficiente M_1 .



Sub-fattore M ₁ per aree idrologicamente omogenee												
Classe	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	0.4	0.5	1.0	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.1	0.6
2	0.6	0.7	1.1	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.3	1.2	0.7
3	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.3	1.2	0.8
4	0.8	0.8	1.1	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	1.0	1.3	1.3	0.9
5	0.8	0.9	1.0	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.9	1.3	1.3	1.0
6	0.9	0.9	1.0	1.2	1.0	0.9	0.7	0.7	0.9	1.2	1.3	1.0
7	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	0.9	0.6	0.8	1.0	1.2	1.2	1.1
8	1.1	0.9	1.0	1.1	0.9	0.8	0.5	0.6	1.0	1.2	1.3	1.2
Levante	1.1	1.0	1.3	1.0	1.2	0.8	0.6	0.6	0.8	1.0	1.4	1.1
Risorgiva	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Figura 14 Articolazione del fattore M₁ nel territorio del Friuli Venezia Giulia: aree idrologicamente omogenee.

Il Sub-fattore M₂ rappresentativo della tutela della fauna ittica è fissato alla scala temporale mensile in funzione delle zone ittiologiche individuate sul territorio distrettuale, limitatamente ai mesi individuati all'interno del cosiddetto "periodo di protezione". In carenza di più precise valutazioni sito-specifiche, si assume che, in tali mesi, il deflusso ecologico debba almeno consentire il mantenimento della Q₃₅₅ (portata di magra naturale di durata di 355 giorni/anno).

Quindi, in formule:

➤ se

$$DE = K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}} \times Q_{\text{media annua}} \geq Q_{355} \text{ allora } M_{2, \text{mese } i-\text{esimo}} = 1$$

➤ se

$$DE = K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}} \times Q_{\text{media annua}} \leq Q_{355} \\ \text{allora } M_{2, \text{mese } i-\text{esimo}} = Q_{355} / (K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}} \times Q_{\text{media}})$$

In carenza di valutazioni puntuali sulla portata Q355, si assume convenzionalmente che essa sia pari al 20% della portata media annua.

Pertanto le precedenti condizioni assumono la seguente forma semplificata:

➤ se

$$DE = K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}} \geq 0,2 \text{ allora } M_{2, \text{mese } i-\text{esimo}} = 1$$

➤ se

$$DE = K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}} \leq 0,2 \text{ allora } M_{2, \text{mese } i-\text{esimo}} = 0,2 / (K \times P \times M_{1, \text{mese } i-\text{esimo}})$$

Il DMV in Friuli-Venezia Giulia

Strumenti Normativi in Friuli-Venezia Giulia - Il Piano di Tutela delle Acque

Il Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA) è lo strumento previsto all'articolo 121 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 attraverso il quale le Regioni individuano gli interventi volti a garantire la tutela delle risorse idriche e la sostenibilità del loro sfruttamento per il conseguimento degli obiettivi fissati dalla Direttiva comunitaria 2000/60/CE.

Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Friuli-Venezia Giulia è stato approvato il 20 marzo 2018 con decreto del Presidente n. 074, previa deliberazione della Giunta Regionale n. 591/2018.

Il D.P.Reg 74/2018 è stato pubblicato sul SUPPLEMENTO ORDINARIO n. 22 del 4 aprile 2018 al BUR n. 14 del 4 aprile 2018.

Nel dettaglio il PRTA ha lo scopo di descrivere lo stato di qualità delle acque e di definire le misure per il raggiungimento degli obiettivi di qualità, attraverso un approccio che integri sapientemente gli aspetti quantitativi della risorsa, come ad esempio il minimo deflusso vitale ed il risparmio idrico, con quelli più tipicamente di carattere qualitativo.

In particolare nel PRTA sono individuati i corpi idrici superficiali e sotterranei che rappresentano l'unità base a cui fare riferimento per la conformità con gli obiettivi ambientali imposti dalla Direttiva Quadro Acque.

Le categorie di acque sono:

- acque sotterranee: sorgenti montane e falde freatiche e artesiane;
- acque superficiali: fiumi, laghi/invasi, acque lagunari, acque marino-costiere.

Per ciascuna categoria di acque è stato realizzato un piano conoscitivo finalizzato a quantificare gli impatti che insistono sui singoli corpi idrici (prelievi d'acqua, scarichi, ...) e a monitorare attraverso indicatori biologici, chimici, quantitativi e morfologici lo stato di salute di ciascun corpo idrico.

Sulla base delle criticità emerse ed evidenziate nella fase conoscitiva sono state individuate le azioni necessarie per poter raggiungere gli obiettivi di qualità imposti dalla Direttiva Quadro Acque.

La parte propositiva del PRTA è suddivisa in due sezioni distinte:

- gli INDIRIZZI DI PIANO, dove sono riportate misure già attuate o indirizzi che devono essere tenuti in considerazione per la realizzazione di nuovi interventi/opere che possono influire sulle caratteristiche qualitative e quantitative della risorsa idrica, comprese le aree di pertinenza dei corpi idrici;

- le NORME DI ATTUAZIONE, dove per alcuni indirizzi di piano sono state definite delle specifiche norme cogenti, norme che assumono efficacia vincolante per tutti i soggetti pubblici e privati che esercitano le funzioni e le attività inerenti l'uso e la tutela delle risorse idriche, di cui l'obbligo dell'adeguamento delle diverse destinazioni d'uso previste dagli strumenti di pianificazione comunale e sovracomunale.

Il Deflusso Minimo Vitale - DMV

L'Articolo 37 del PTRA norma le modalità di calcolo e di applicazione del MDV.

Ai fini della valutazione del deflusso minimo vitale i corsi d'acqua o tratti di corsi d'acqua sono stati classificati nelle otto categorie

1. Rii montani;
2. Tratti montani (come nel caso in esame);
3. Tratto montano originato da sorgente;
4. Tratti di fondo valle;
5. Tratti di pianura;
6. Tratti di risorgiva;
7. Tratti di ricarica;
8. Tratti temporanei.

Il reticolo idrografico naturale così classificato e il reticolo idrografico artificiale sono riportati nella tavola "Classificazione dei corsi d'acqua ai fini della definizione del deflusso minimo vitale", allegata alle "Norme di attuazione" in formato cartaceo (scala 1:150.000).

Tale tematismo inoltre è disponibile nel web-gis delle risorse idriche:

[\(<https://eaglefvq.regione.fvg.it/eagle/main.aspx?configuration=quest>\)](https://eaglefvq.regione.fvg.it/eagle/main.aspx?configuration=quest)

dove è possibile visualizzarlo e scaricarlo nei più diffusi formati informatici.

Il calcolo del DMV viene effettuato applicando il seguente algoritmo:

$$DMV = K \times T \times P \times M \times Q_{media}$$

dove:

- **K** è il "livello di protezione", individuato in funzione della tipologia del corso d'acqua;
- **T** è il "coefficiente temporale" che varia a seconda della durata del prelievo;
- **P** è il "parametro che tiene conto delle esigenze naturalistiche e di fruizione turistico-sociale";
- **M** è il "coefficiente di modulazione stagionale";
- **Q_{media}** è la portata media annua valutata corrispondentemente alla sezione di prelievo.

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

Il Fattore di Protezione K

Il Fattore di Protezione “K” di protezione varia a seconda della categoria di corso d'acqua precedentemente indicati, come riportato nella seguente tabella:

Tabella 10: Valori del Fattore di Protezione K in funzione della tipologia del corso d'acqua.

TIPOLOGIA DI CORSO D'ACQUA	K
Rii montani	0,1
Tratti montani	0,1
Tratto montano originato da sorgente	0,1
Tratti di fondovalle	0,3
Tratti di pianura	0,7
Tratti di risorgiva	0,7
Tratti di ricarica	0,3
Tratti temporanei	0

Con DGR n. 519 del 3 aprile 2020, ai sensi dell'articolo 10, comma 15, della legge regionale n. 11/2015, il valore del fattore di protezione K per i tratti di pianura e di risorgiva, così come definito all'allegato 3 delle Norme di Attuazione del Piano regionale di tutela delle acque, è stato fissato a 0,3.

Per la determinazione del valore di K si fa riferimento all'intero tratto sotteso dalla derivazione con le seguenti specifiche:

- nel caso di sistemi derivatori con presa e restituzione sullo stesso corso d'acqua, qualora il tratto sotteso dalla derivazione interessi più categorie, dovrà essere utilizzato il valore di K più elevato;
- nel caso di sistemi derivatori con presa e restituzione su corsi d'acqua diversi, qualora il tratto sotteso dalla derivazione interessi più categorie, dovrà essere utilizzato il valore di K più elevato, prendendo in considerazione le sole categorie presenti sul corso d'acqua dove è ubicata l'opera di presa.

Il Coefficiente Temporale T

Il Coefficiente Temporale “T” varia a seconda della durata del prelievo, come riportato nella seguente tabella:

Tabella 11: Valori del Coefficiente Temporale T.

DURATA DEL PRELIEVO	T
più di 90 giorni/anno	1
meno di 90 giorni/anno	0,8

Il Parametro P

Il Parametro “P” tiene conto delle esigenze naturalistiche e di fruizione turistico–sociale:

- è pari a 1,5, qualora la sottrazione di portata incida su di un corpo idrico a elevata protezione che non sia ricompreso nei tratti di pianura o nei tratti di risorgiva;
- è pari a 1, in tutti gli altri casi.

Il Coefficiente di Modulazione M

Il Coefficiente di Modulazione Stagionale “M” è pari a 1 salvo diversamente definito nel corso di specifiche sperimentazioni o stabilito nel corso delle procedure di valutazione ambientale dei progetti.

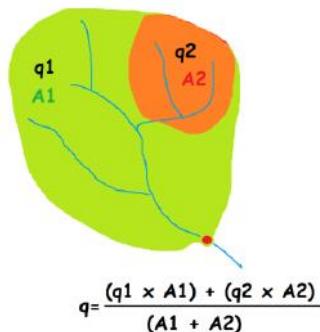
La Q_{media} - portata media annua alla sezione interessata dall'opera di captazione

Per il calcolo della Q_{MEDIA} si applica il seguente algoritmo:

$$Q_{media} = (q \times A) + q_P$$

dove

- “A” è l’area del bacino idrografico sotteso dall’opera di presa. Nel caso dei fiumi Meduna e Tagliamento e dei torrenti Corno e Cormor, il bacino idrografico sotteso dalle derivazioni ubicate sul tratto classificato come “tratto di pianura” o “tratto di risorgiva” si intende calcolato a valle della linea delle risorgive.
- “q” è la portata specifica (l/skm^2) riportata nella cartografia di cui all’allegato 3.3 del PTRA. Qualora l’area del bacino idrografico sotteso dall’opera di presa interessi aree a diversa portata specifica dovrà essere calcolata la media pesata, come indicato nell’esempio che segue esempio che segue:



- “ q_P ” è l’apporto puntiforme (l/s) così come riportato nella cartografia di cui all’allegato 3.3 del PTRA. Sono valutati tutti gli apporti puntiformi che ricadono nell’area del bacino idrografico sotteso dall’opera di presa. I valori della portata specifica (q) e degli apporti puntiformi (q_P) sono riportati nella tavola “Carta della portata specifica e degli apporti puntiformi” allegata in formato cartaceo (scala 1:150.000). Tale tematismo è disponibile nel web-gis delle risorse idriche: (<https://eaglefvq.regionefvg.it/eagle/main.aspx?configuration=guest>) dove è possibile visualizzarlo e scaricarlo nei più diffusi formati informatici.

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

Qualora, per la sezione considerata, sia disponibile un'adeguata serie storica di portate misurate di almeno 5 anni sarà possibile calcolare Q_{MEDIA} utilizzando la serie stessa.

Nel caso in cui la serie storica sia desunta da misuratori della portata prelevata installati sul canale di derivazione, dovranno essere valutati i periodi di fermo macchina e gli sfiori all'opera di presa.

Nel caso in cui la serie storica sia calcolata tramite scala di deflusso, quest'ultima dovrà essere opportunamente tarata nelle diverse condizioni idrologiche.

Sempre in tema di MDV, le norme di attuazione contenute nel PTRA prevedono inoltre che

- la portata di DMV debba essere garantita lungo tutto il tratto del corso d'acqua sotteso dalla derivazione;
- ai fini della determinazione del DMV, il reticolo idrografico artificiale debba essere equiparato ai tratti temporanei, come riportato nell'allegato 3.1 al PTRA;
- le derivazioni d'acqua esistenti siano adeguate entro due anni dalla data di approvazione del Piano salvo i casi in cui l'esercizio sperimentale sia stato assentito dalla competente Autorità;
- **per le nuove concessioni di derivazione d'acqua o nei casi di variante sostanziale o di rinnovo di concessioni esistenti, il relativo disciplinare dovrà prevedere un apposito piano di monitoraggio di durata almeno triennale, finalizzato alla verifica dell'efficacia del DMV stabilito ai sensi dell'articolo 37 (Deflusso minimo vitale) e dell'articolo 39 (DMV nei corpi idrici fortemente modificati) ai fini del raggiungimento degli obiettivi di qualità nel tratto sotteso dalla derivazione;**
- la Regione attui le opportune attività di verifica e di studio per il monitoraggio degli effetti derivanti dall'applicazione degli obblighi di rilascio individuati nel PTRA, nonché la verifica e l'aggiornamento delle componenti dell'algoritmo di calcolo così come definiti nell'allegato 3.2 del PTRA;
- **la disciplina in materia di deflusso minimo vitale sia conformi, se necessario, alle indicazioni della “Direttiva per la determinazione dei deflussi ecologici a sostegno del mantenimento/raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali”, approvata con delibera n. 2 della Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino del distretto idrografico delle Alpi Orientali in data 14 dicembre 2017, secondo i tempi e le modalità previsti dalla delibera medesima.**

In riferimento a quest'ultimo aspetto la Direzione Centrale Ambiente ed Energia - Area Tutela Geologico-Idrico-Ambientale della Regione Friuli-Venezia Giulia ha provveduto nel Giugno 2018 ad analizzare la coerenza della metodologia di calcolo del deflusso minimo vitale individuata dal Piano Regionale di Tutela delle Acque della Regione Friuli-Venezia Giulia con quanto previsto dalla Deliberazione n. 2 del 14 dicembre 2017 “del distretto idrografico delle Alpi Orientali”.

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha dimostrato la coerenza in generale per quanto riguarda la

struttura dell'algoritmo di calcolo e nello specifico per quanto attiene i valori, anche in combinazione, dei coefficienti K e P, e la necessità, poi messa in atto, di adeguare il parametro M.

(Relazione Ricognitiva del 28/06/2018 a firma del Direttore del Servizio Dott.ssa Anna Lutman scaricabile da http://www.regione.fvg.it/rafvg/export/sites/default/RAFVG/ambiente-territorio/valutazione-ambientale-autorizzazioni-contributi/FOGLIA11/allegati/RELAZIONE_RICOGNITIVA.PDF)

Le norme di attuazione del PTRA in tema di MDV riguardano anche situazioni particolari che si possono riscontrare all'interno del territorio regionale

In riferimento a quanto sopra illustrato vengono di seguito riportate le principali norme in riferimento alla pratica in esame:

- la Regione può disporre valori di DMV superiori a quelli previsti dall'art. 37 qualora si renda necessario
 - ✓ *migliorare lo stato di un corpo idrico ai fini del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale, nonché per altre motivate esigenze che possano emergere in sede di valutazione ambientale;*
 - ✓ *garantire la tutela igienico sanitaria di un corso d'acqua artificiale o naturale;*
- i concessionari possono presentare motivata e documentata domanda per la determinazione sperimentale del DMV: in particolare qualora l'effettuazione dell'esercizio sperimentale venga assentita dalla competente autorità, l'efficacia dei rilasci rispetto al conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale e alla salvaguardia delle caratteristiche morfologiche del corpo idrico viene verificata attraverso un apposito piano di monitoraggio. In caso la sperimentazione dovesse dare esito positivo, il valore del DMV risultante dalla sperimentazione sostituisce quello determinato con l'algoritmo di calcolo (art. 37) esclusivamente per il tratto di corso d'acqua oggetto di sperimentazione.

Calcolo del DMV per il caso in esame - Regione Autonoma FVG

I dati necessari per determinare il DMV sono stati ricavati dal geo-portale della Regione del Friuli-Venezia Giulia (<https://eaglefvg.regione.fvg.it/eagle/main.aspx?configuration=guest>) dove sono disponibili diversi tematismi (*urbanistica, ambiente, territorio, risorse idriche ...*) che possono essere non solo visualizzati ma anche scaricati nei più diffusi formati informatici: tali dati sono stati integrati con le informazioni contenute nel Volume 6/D Direttiva Deflussi Ecologici del Piano di Gestione delle Acque recentemente approvato.

La ricerca per l'area in esame ha dato i seguenti risultati:

- Torrente Vajont: Codice FGV **PV02001** – Codice Tipologia **TM – Tratto montano**;
- la portata specifica del corpo idrico, ai fini del calcolo del DMV, è quantificata in circa **40 l/s**;

- il torrente Vajont nel tratto a valle della presa scorre all'interno di un parco naturale regionale (*nel dettaglio si tratta del Parco naturale delle Dolomiti Friulane*).
- nel bacino del non sono presenti sorgenti da un Q_p di **0 l/s**.

Qui di seguito si illustra un estratto della tavola “Classificazione dei corsi d’acqua ai fini della definizione del deflusso minimo vitale” che riporta il reticolo idrografico naturale e artificiale secondo la classificazione sopra esposta.

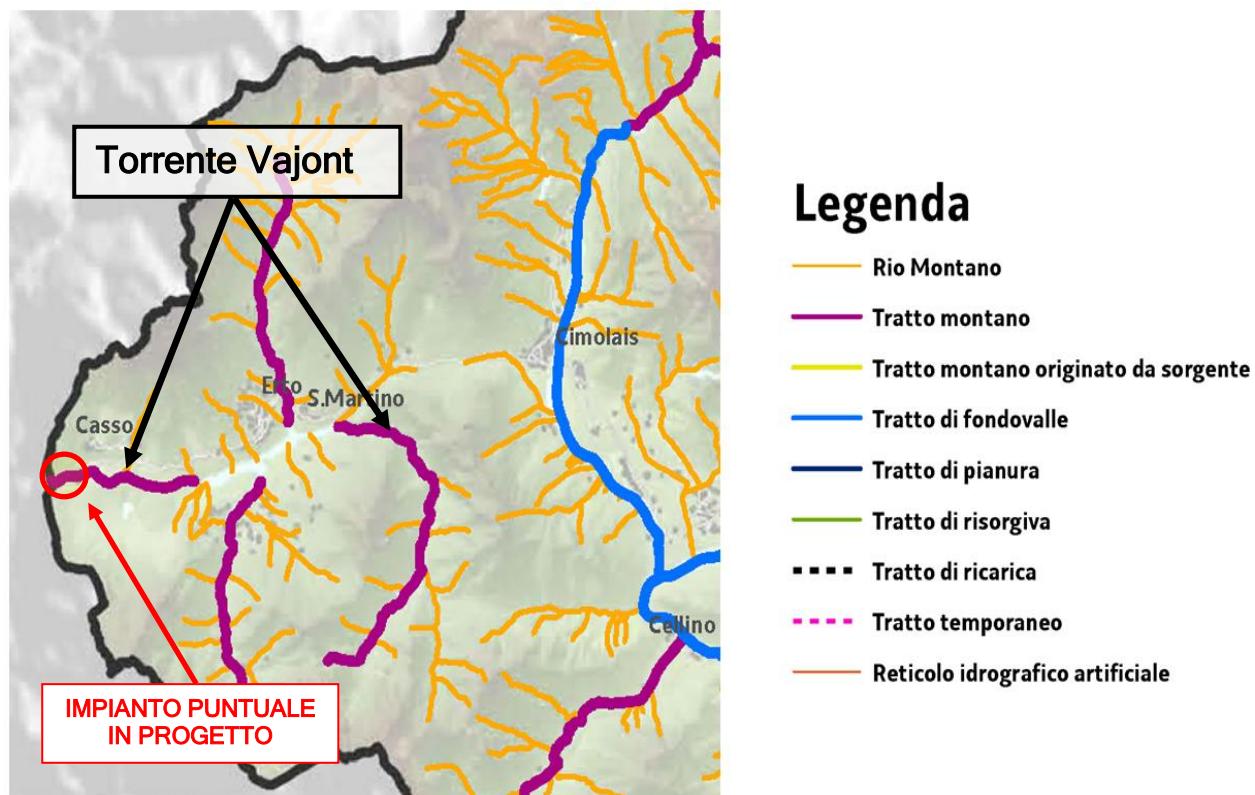


Figura 15: estratto della tavola “Classificazione dei corsi d’acqua ai fini della definizione del deflusso minimo vitale” (Allegato 3.3 del PTRA).

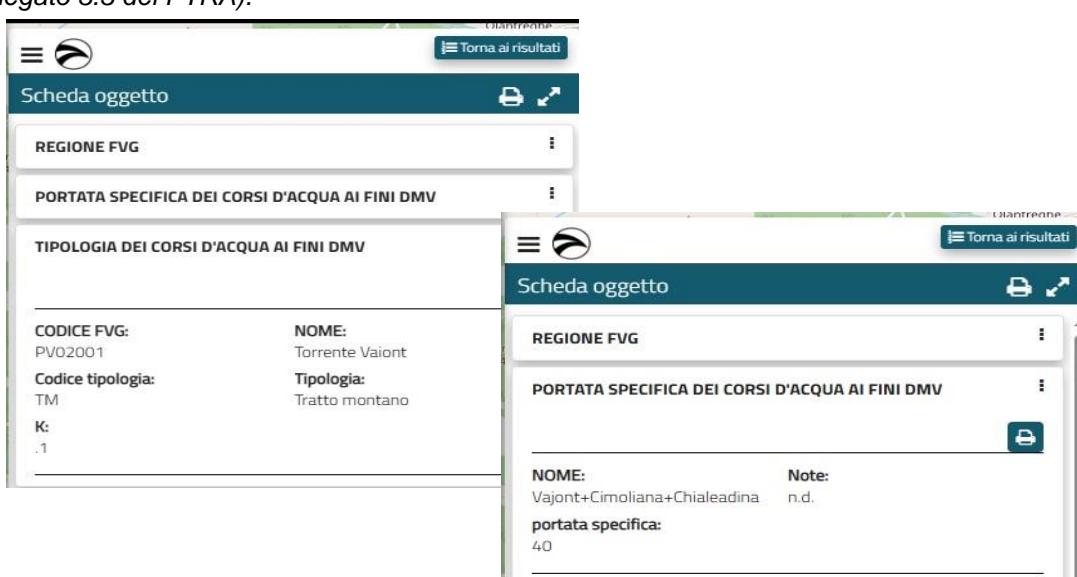


Figura 16 Tipologia corsi d’acqua interessati dal progetto – Portata specifica ai fini del DMV (Geoportal FVG: “Eagle FVG”).

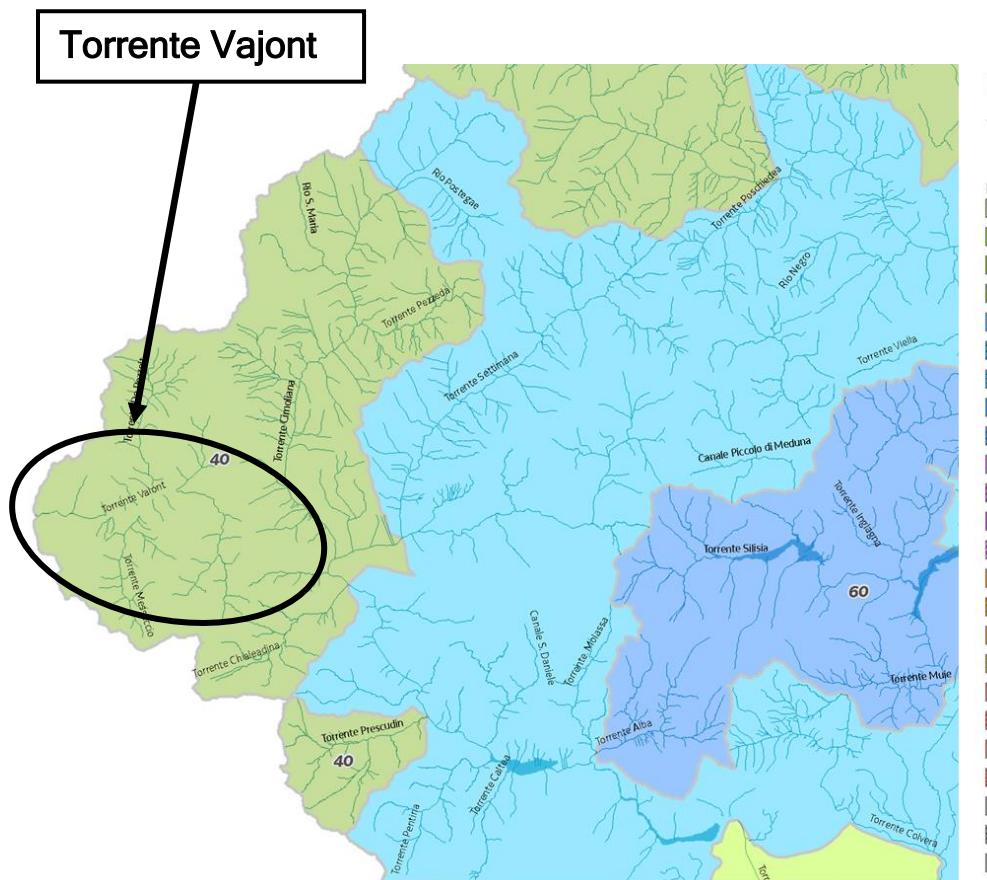


Figura 17: estratto della tavola “Carta della portata specifica e degli apporti puntiformi”.

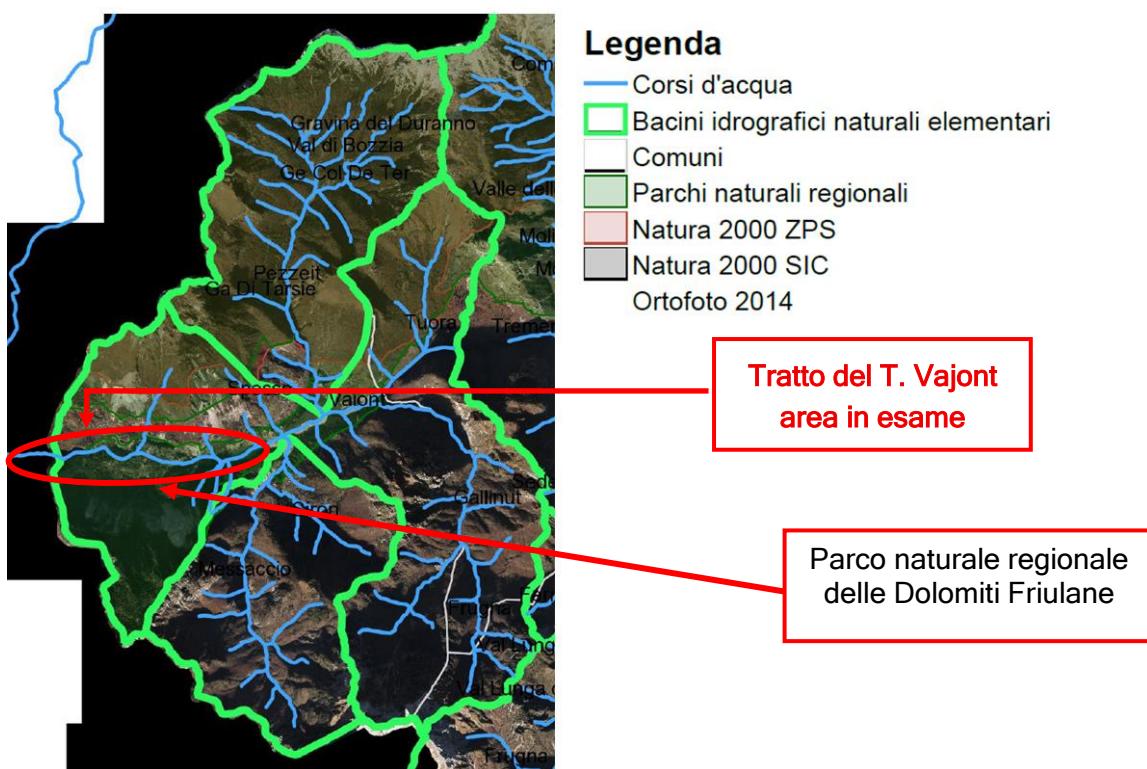


Figura 18: aree protette di particolare valenza naturalistica presenti all'interno del bacino idrografico del torrente Vajont (Fonte: portale WebGis della regione Friuli Venezia Giulia).

Calcolo del DMV per il caso in esame – Regione Autonoma FVG

Il calcolo del DMV viene effettuato applicando l'algoritmo indicato all'art. 37 del PTR A del FVG, anche alla luce della coerenza della sua struttura con quella proposta nella Direttiva Deflussi Ecologici (*Volume 6/D - Piano di Gestione delle Acque aggiornato approvato in data 20-12-2021*), ossia

$$DMV = K \times T \times P \times M \times Q_{media}$$

dove:

- **K** è il “livello di protezione”, individuato in funzione della tipologia del corso d’acqua;
- **T** è il “coefficiente temporale” che varia a seconda della durata del prelievo;
- **P** è il “parametro che tiene conto delle esigenze naturalistiche e di fruizione turistico–sociale”;
- **M** è il “coefficiente di modulazione stagionale”;
- **Q_{media}** è la portata media annua valutata corrispondentemente alla sezione di prelievo.

Sulla base di quanto in precedenza evidenziato, nel caso in esame sono stati pertanto assunti i seguenti coefficienti:

- K=0,1 essendo il corso d’acqua in esame classificato come “Tratto Montano”;
- T=1,0 essendo la derivazione in progetto attiva per più di 90 giorni all’anno;
- P=1,5 essendo
 - l’area in esame non situata all’interno di zone di fruizione turistico sociale;
 - il corso d’acqua, nel tratto interessato dall’impianto, ricompreso all’interno del “Parco Naturale Regionale delle Dolomiti Friulane”, ossia all’interno di una zona protetta (*ricadono nelle zone protette le aree SIC, ZPS, ZSC, i corpi idrici superficiali classificati in stato ecologico elevato, le aree wilderness, i Siti o Biotopi di interesse regionale e locale, i siti di interesse regionale*);
- M=1 ed M=M₁ x M₂ (a titolo informativo sono stati analizzati entrambi i casi);
- Q_{media}: come visto per il calcolo della Q_{MEDIA} si è applica il seguente algoritmo

$$Q_{media} = (q \times A) + q_P$$

in cui i valori di “q” e “q_P”, come già evidenziato, sono stati ricavati dal geo-portale regionale, ossia

Opera Presa Impianto Puntuale

- S= 57,08 Km²;
- q= 0,04 m³/sKm²;
- q_P= 0 m³/s (nessuna sorgente);

da cui applicando i valori all'algoritmo precedentemente illustrato, si ottengono i seguenti valori di DMV

$$Q_{media-Opera Prea} = (q \times A) + q_P = (0,04 \cdot 57,08) + 0,00 = 2,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'allegato 3.2 alle *Nome di Attuazione del PTRA* afferma inoltre che qualora, per la sezione considerata, sia disponibile un'adeguata serie storica di portate misurate di almeno 5 anni sarà possibile calcolare Q_{MEDIA} utilizzando la serie stessa.

Nel nostro caso, come già detto nei paragrafi precedenti, si dispone di tale serie storica.

La portata media risultante da tale serie di dati è pari a $Q_{MEDIA,NATURALE} = 2,163 \text{ m}^3/\text{s}$: essendo inferiore a quella appena calcolata con il metodo fornito dal PRTA, si è cautelativamente scelto di non considerarla, a favore di una maggior salvaguardia ambientale.

Per il caso in esame, considerando un coefficiente di modulazione "M²" pari a 1, vista la tipologia "puntuale" dell'impianto proposto e l'impossibilità fisica di realizzare una scala di risalita della fauna ittica, la portata di DMV risultante dall'applicazione dell'algoritmo sopra richiamato risulta di

$$Q_{DMV} = K \cdot T \cdot P \cdot M \cdot Q_{MEDIA} = 0,342 \cdot \text{m}^3/\text{s}$$

se invece per la determinazione del coefficiente "M" si considerano i due distinti sub-fattori, ossia

- *M₁, rappresentativo del regime idrologico medio mensile*
- *M₂, rappresentativo delle esigenze di tutela della fauna ittica, limitatamente ai "periodi di protezione";*

si ottiene una portata di DMV pari a circa **0,55 m³/s**, valore che corrisponde alla Q_{355} giorni.

Mesi	VALUTAZIONE DMV mc/s (KxPxMxQMedia)											
	Gen	Feb	Marz	Apr	Mag	Giul	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
M1- Classe 3	0.70	0.80	1.10	1.20	1.10	0.90	0.80	0.80	1.00	1.30	1.20	0.90
M2	2.29	2.00	1.45	1.33	1.45	1.78	2.00	2.00	1.60	1.23	1.33	1.78
Q	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55

Tabella 12: Calcolo del DMV (DE) applicando al caso in esame.

Ai fini della determinazione del sub-fattore M₁ si evidenzia come il Torrente Vajont rientra all'interno dell'Area Omogenea "Classe 2".

Il sub-fattore M₂ è stato calcolato considerando una Q_{355} pari a 24% della Q_{media} , ossia 0,55 m³/s.
(vedi paragrafo "Valutazione della Risorsa Idrica).

² il fattore di modulazione temporale M, valore che esprime le esigenze di variazione del deflusso ecologico nell'arco dell'anno per riproporre, seppure a scala ridotta, il naturale andamento idrologico di un corso d'acqua.

Rispetto il progetto originale lo schema dell'impianto è stato completamente rivisto in modo da rendere minimo l'impatto sul paesaggio ma anche sull'ambiente acquatico.

L'impianto in progetto infatti non creerà più sottensione d'alveo, si prevede infatti che le portate siano captate poco prima dello sbocco della galleria di sorpasso o by-pass, convogliate tramite una condotta forzata posta su un pozzo verticale verso la centrale di produzione, prevista in caverna ai piedi della forra, ed infine rilasciate nel torrente Vajont all'incile del piccolo laghetto che si è formato ai piedi della diga per effetto delle acque scaricate in destra idrografica dalla galleria di sorpasso appunto ed in sinistra idrografica dallo scarico di mezzo fondo che drena le acque che scendono dal Monte Toc.

E' utile sottolineare come, nel caso in esame, il rilascio della portata in alveo assume una valenza puramente paesaggistica e non ambientale, poiché l'impianto in progetto

- **non produce sottensione di alveo naturale;**
- **non è posto alla testa di bacini (*bacino sotteso inferiore a 10 Km²*);**
- **non potrà dar luogo ad uno scadimento di qualità del corpo idrico non andando appunto a modificare, per come configurato, gli indici morfologici (IQM, IARI) ed i valori bio-chimici del C.I.;**
- **non può essere dotato, causa la morfologia dell'area di intervento, di una scala di risalita della fauna ittica.**

Oltre a quanto sopra richiamato è necessario considerare le caratteristiche idromorfologiche del T. Vajont nell'area in esame, ossia che

- ✓ **nel punto di restituzione la morfologia dell'alveo è tale per cui si forma una pozza o buca (“step pool”) molto profonda (2÷3 m) dove il livello del pelo libero, in condizioni idrologiche ordinarie (quindi non in condizioni di morbida/piena), risente poco o nulla delle eventuali fluttuazioni delle portate;**
- ✓ **a partire dal punto di restituzione (*in asse appunto con lo sbocco della galleria di by-pass della diga*) l'alveo, per un'estensione di circa 650, risulta caratterizzato da un fondo in roccia confinato in una stretta forra strapiombante;**
- ✓ **allo sbocco della forra, per lunghi periodi dell'anno, il corpo idrico risulta secco poiché l'acqua scorre in sub-alveo a causa dell'elevata permeabilità del talweg formato dal materiale di risulta derivanti dagli scavi dell'imposta della diga.**

L'impianto è stato progettato per assicurare, rispetto allo stato di fatto, una “invarianza idraulica³”, in modo da garantire in ogni condizione la continuità idraulica a valle dell'opera di restituzione e per non dar luogo a fluttuazioni repentine (effetto *hydropeaking*) delle portate in alveo.

Sulla base di quanto evidenziato, si ritiene che, dal punto di vista ambientale non abbia tuttavia senso rilasciare l'intera portata di DMV calcolata applicando l'algoritmo del PTRA: si ritiene sia più sensato rilasciare, essenzialmente per fini paesaggistici, in modo continuativo per tutto l'anno, una quota parte della portata di DMV, nello specifico 50 l/s, valore che si ritiene sia sufficiente ad alimentare e mantenere, anche se su scala ridotta, la cascata attualmente formata dalle acque che fuoriescono dalla galleria di sorpasso: tale portata si getterà nella forra attraverso il canale di scarico sabbie del manufatto dissabbiatore, solo pochi metri a valle dello sbocco della galleria di sorpasso esistente

La soluzione proposta risulta essere in linea anche con quanto indicato all'Art. 38., comma 4, delle Norme di Attuazione del PTRA (... “nel caso di derivazioni che utilizzano il salto di sbarramenti con tratto sotteso breve, l'autorità concedente, in ragione della particolare brevità del tratto sotteso, può fissare valori di DMV inferiori a quelli previsti dall'art. 37, a condizione che sia garantita la continuità idraulica mediante strutture idonee a consentire la risalita della fauna ittica”..).

3.5. Portata derivata

Sulla base di quanto evidenziato al paragrafo 3.3 è stato possibile desumere la curva di durata del torrente Vajont (Figura 11) a partire dai dati di portata forniti dall'idrometro ENEL installato all'interno della galleria di scarico del "lago residuo C".

Le portate derivate all'opera di presa, portate che verranno pertanto utilizzate dalle turbine installate in centrale, corrisponderanno alle portate naturali del torrente e saranno limitate superiormente e inferiormente rispettivamente dalla portata massima e dalla portata minima turbinabile, valore dipendente dalla tipologia di macchina utilizzata. Sulla base delle portate disponibili, delle caratteristiche dimensionali dell'impianto (salto utile lordo), è stato possibile

³ La presenza della diga ed il dislivello tra sbocco del canale di by-pass ed alveo rendono impossibile realizzare un qualsiasi manufatto che possa garantire la continuità idraulica tra monte e valle.

definire la tipologia di turbine più adatte ad ottimizzare l'utilizzazione della risorsa idrica disponibile, da cui i valori di portata massima e minima derivabile di seguito riportati:

- portata massima derivabile: $Q_{MAX,DERIVABILE} = 4.500 \text{ l/s}$;
- portata minima derivabile: $Q_{MIN,DERIVABILE} = 200 \text{ l/s}$.

Nel grafico sottostante sono rappresentate la curva di durata (curva blu) e l'andamento delle portate derivabili (curva rossa), ovvero le portate naturali tenuto conto della portata di rispetto da assicurare (50 l/s) e del limite massimo e minimo di portata turbinabile dalla macchina: è inoltre riportata la curva delle portate effettivamente rilasciate come portata di rispetto (curva verde).

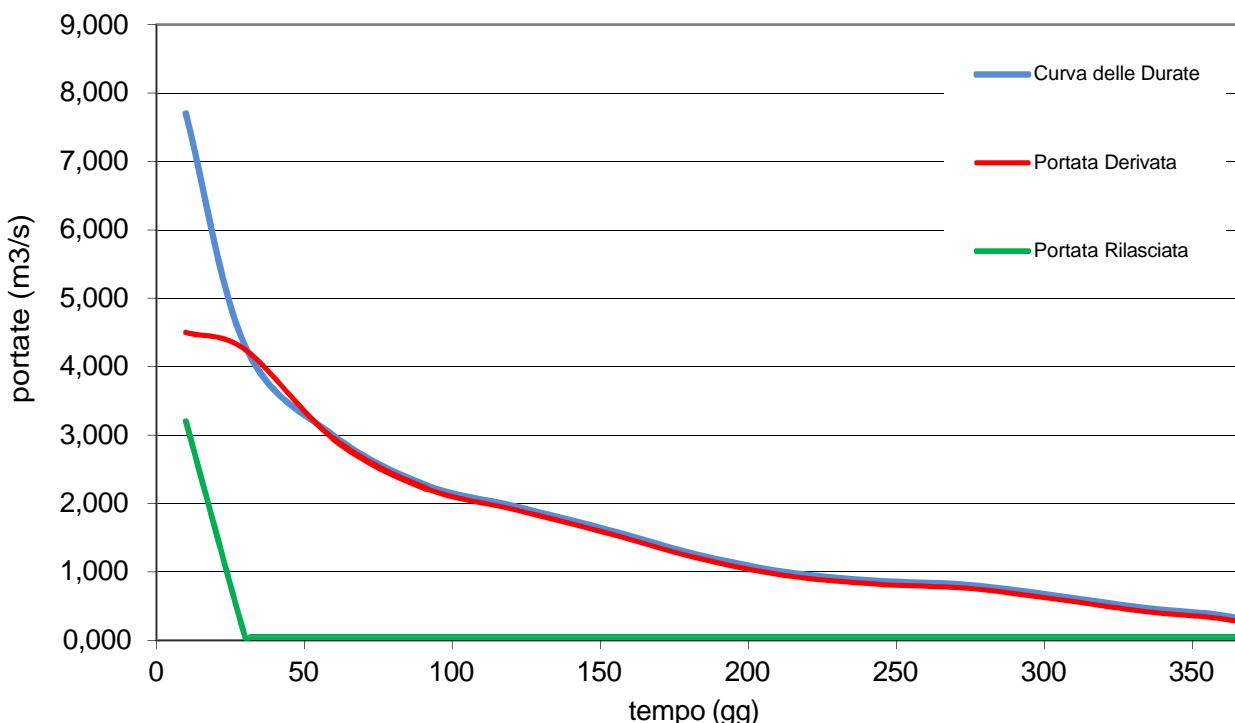


Figura 19: andamento delle portate derivabili, delle portate turbinate e delle portate rilasciate.

Nella tabella che segue sono evidenziati i valori di portata usufruibili alla sezione di presa.

Tabella 13: portate e volumi derivabili (curva delle durate), derivati e rilasciati.

Durata (Giorni)	Portata (m³/s)	ΔT (Giorni)	Volume (m³)	Q derivata (m³/s)	V derivato (m³)	Q rilascio (m³/s)	V rilascio (m³)
10	7.700	10	6.652.800	4.500	3.888.000	3.200	2.764.800
30	4.300	20	7.430.400	4.250	7.344.000	0,050	86.400
60	2.990	30	7.750.080	2.940	7.620.480	0,050	129.600
91	2.270	31	6.079.968	2.220	5.946.048	0,050	133.920
121	1.960	30	5.080.320	1.910	4.950.720	0,050	129.600
152	1.620	31	4.339.008	1.570	4.205.088	0,050	133.920
182	1.260	30	3.265.920	1.210	3.136.320	0,050	129.600

212	1,000	30	2.592.000	0,950	2.462.400	0,050	129.600
243	0,870	31	2.330.208	0,820	2.196.288	0,050	133.920
274	0,810	31	2.169.504	0,760	2.035.584	0,050	133.920
304	0,650	30	1.684.800	0,600	1.555.200	0,050	129.600
334	0,470	30	1.218.240	0,420	1.088.640	0,050	129.600
355	0,390	21	707.616	0,340	616.896	0,050	90.720
365	0,330	10	285.120	0,280	241.920	0,050	43.200
<i>Portate Medie e Volumi Totali</i>			51.585.984	1.4995	47.287.584	0,136	4.298.400

Da tali dati si può ricavare il valore della **portata media derivabile**, da utilizzare anche come dato di concessione, **valutata in 1.500 l/s**.

3.6. Portata rilasciata

La portata rilasciata in alveo, attraverso lo sbocco del canale di scarico del dissabbiatore, risulta essere data dalla differenza fra le portate naturali e le portate derivate e, come già evidenziato, servirà a mantenere, anche se su scala più ridotta, la cascata attualmente generata dall'acqua in uscita dalla galleria di sorpasso: come si può facilmente dedurre dalla tabella 5 l'impianto, per come è stato strutturato, garantirà sempre il rilascio sulla forra di una portata pari a 50 l/s (media annua 136 l/s).

È utile evidenziare come il torrente Vajont, qualche decina di metri a monte del punto di immissione delle acque in uscita dalla galleria di sorpasso, sia anche alimentato in sinistra idrografica dalle acque che fuoriescono dalla condotta di mezzo fondo della diga, condotta che in sostanza drena le acque di quella parte residua di bacino, posto a monte dell'imposta della diga, che non alimenta il lago residuo "C".

4. Le portate di piena

4.1. Analisi curva di possibilità pluviometrica

Per l'analisi delle portate di piena si è proceduto partendo dai dati di precipitazione relativi all'area del bacino imbrifero afferente al torrente Vajont.

Le stazioni meteorologiche presenti all'interno del bacino in esame sono due: quella denominata 'Rifugio Maniago' e quella denominata 'Erto'.

La prima è dotata di pluviografo dall'anno 2009, per un periodo quindi troppo breve per effettuare una elaborazione statistica efficace delle piogge di massima intensità, la seconda, quella di 'Erto',

è stata funzionante dal 1921 al 1963 con misure di pioggia effettuate sistematicamente ogni 24 ore tramite pluviometro, nel 2010 la stazione è stata riattivata e dotata di un pluviografo che effettua misurazioni in continuo.

Si è dunque deciso di utilizzare esclusivamente i dati forniti dalla stazione di Erto (PN).

Sono stati quindi recuperati, attraverso l'Unità Idrografica Regionale del Friuli Venezia Giulia, i valori di precipitazione massima oraria per gli intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, relativi all'arco temporale dal 2010 al 2014, e i valori di massima precipitazione cumulata in 1, 2, 3, 4 e 5 giorni, relativamente ai periodi dal 1921 al 1963 e dal 2010 al 2014.

Nonostante il periodo monitorato dalla stazione sia molto esteso, il periodo di osservazione, per quanto riguarda le sole precipitazioni massime orarie, risulta purtroppo limitato a soli 5 anni (2010-2014), pertanto si è dovuto, gioco forza, lavorare su tale serie di dati, congiungendola poi con la serie, molto più lunga, delle massime precipitazioni cumulate giornaliere (in totale 48 anni) in modo da rafforzare il potere predittivo e l'affidabilità dell'elaborazione statistica stessa.

Si riportano nella seguente tabella i dati relativi alle precipitazioni massime orarie per gli intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore riguardanti la stazione pluviometrica di Erto (PN).

Tabella 14: valori di precipitazione massima oraria, h(mm), per gli intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore per la stazione di Erto (PN), fonte Unità Idrografica Regionale del Friuli Venezia Giulia.

Anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2010	20,2	36,4	54,6	84,2	133,8
2011	26,6	37,6	55,4	92,2	118
2012	24,4	53,6	97,6	148,8	178,6
2013	29,2	56,6	61	86,6	136,6
2014	47	59,6	87,8	143,2	228,6

Si riportano nella seguente tabella i dati relativi alle massime precipitazioni cumulate giornaliere per 1, 2, 3, 4 e 5 giorni riguardanti la stazione pluviometrica di Erto (PN).

Tabella 15: valori di massima precipitazione cumulata giornaliera, h(mm), per 1, 2, 3, 4 e 5 giorni per la stazione di Erto (PN), fonte Unità Idrografica Regionale del Friuli Venezia Giulia.

Anno	1 gg	2 gg	3 gg	4 gg	5 gg
1921	52,4	68,4	74,6	76,4	82,6
1922	115	153,8	170	213	221
1923	88	88	98,9	125,9	141,9
1924	80	122	168,3	179,8	187,3
1925	225	321	384	395,5	418,5
1926	190	243	280	340	360

1927	120	200	215	225	229
1928	160	280	360	390	425
1929	91	146,2	155,2	155,2	155,2
1930	60	84,2	86,4	88,4	88,4
1931	116	153,7	179,5	231	239
1932	43	59,7	77,5	84,5	98,7
1933	118	128	176	192,5	195,5
1934	151	167	180	187	190
1935	162	224	236	283	349
1936	87,4	98,4	109,4	123,5	130,4
1937	162	219	245	245	245
1938	96,8	130,1	138,8	138,8	141
1939	149,1	163	172,5	189	191,3
1940	155,7	161	186,9	266,3	281,6
1941	91,4	156,1	181	181	183,7
1943	93,5	119,2	127,8	136,4	145
1944	133,3	144,8	156	156	170,5
1945	101,5	145,7	157,7	165,3	165,3
1946	90,3	178,4	214,8	222,5	222,5
1947	92,6	146,3	156,5	204,8	211,3
1948	87,6	110	114,7	128,5	138,8
1949	109,3	154,4	159,5	233,4	252,9
1951	131,5	167,7	219,6	276,7	304,4
1952	102,3	135,1	135,9	168,1	173,3
1953	92,6	101,3	107,7	111,3	113,2
1954	152,7	226	289,4	295,9	316,7
1955	64,6	74,8	87,7	114,7	128,1
1956	149,8	181,3	181,3	181,3	181,3
1957	111,5	140,2	164,3	176,4	237,2
1958	170,3	239,7	300,5	304,4	304,4
1959	210,9	368,3	384	384	384
1960	140,7	175,2	208	218,5	251,3
1961	122,9	137,6	150,4	208,3	223
1962	165,9	198,4	212,2	233,9	240,8
1963	99,1	104,6	121,6	142,4	151,2
2010	125,6	222,8	238,2	248,4	248,4
2011	117	121,8	123,6	123,6	124
2012	126,6	193,8	197	197,2	197,2
2013	118,4	158,6	172,6	172,8	177,6
2014	209,8	316,8	394,2	404,2	431,4

L'elaborazione dei dati di pioggia è stata svolta secondo il metodo di Gumbel (1954) che consente di valutare, per ogni durata di precipitazione (τ), l'altezza di pioggia caratterizzata da un determinato tempo di ritorno [$h_{Tr}(\tau)$].

I risultati definitivi di tale calcolo, per un $Tr = 100$ anni, sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 16: valori di massima precipitazione, $h_{Tr}(\tau)[mm]$, per un tempo di ritorno $Tr = 100$ anni, per tutte le durate di precipitazione (τ) analizzate.

Tr = 100 [anni]	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h		24 h (1 gg)	48 h (2 gg)	72 h (3 gg)	96 h (4 gg)	120 h (5 gg)
$h_{Tr}(\tau)$	69,5	91,1	148,7	235,4	332,7		265,4	397,3	466,5	496,5	528,8

Per considerare la distribuzione spaziale dell'evento di pioggia diventa necessario considerare un fattore di ragguaglio areale che trasformi la stima puntuale in areale. Il ragguaglio all'area è stato effettuato seguendo il metodo proposto da Eagleson del U.S. National Weather Service nel quale il coefficiente di ragguaglio r è espresso nella seguente forma:

$$r = 1 - e^{(-1,1 d^{1/4})} + e^{(-1,1 d^{1/4} - 0,01 A)}$$

dove d è la durata espressa in ore e A è l'area espressa in Km^2 .

La precipitazione ragguagliata è data da:

$$\bar{h}_{Tr}(\tau) = r \cdot h_{Tr}(\tau)$$

Nella tabella sottostante sono riportati i coefficienti di ragguaglio r e le corrispondenti altezze di precipitazione ragguagliate [$\bar{h}_{Tr}(\tau)$] all'area del bacino afferente alla sezione di presa ($A = 57,08 Km^2$), per un $Tr = 100$ anni.

Tabella 17: valori di massima precipitazione ragguagliata, $\bar{h}_{Tr}(\tau) [mm]$, per un tempo di ritorno $Tr = 100$ anni, per tutte le durate di precipitazione (τ) analizzate.

Tr = 100 [anni]	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h		24 h (1 gg)	48 h (2 gg)	72 h (3 gg)	96 h (4 gg)	120 h (5 gg)
r	0,86	0,90	0,92	0,94	0,96		0,96	0,98	0,98	0,99	0,99
$h_{Tr}(\tau)$	59,4	81,8	137,1	222,2	320,0		255,3	387,72	458,27	489,6	522,9

L'elaborazione dei dati pluviometrici si esaurisce ricercando la relazione esistente fra l'altezza delle precipitazioni $\bar{h}_{Tr}(\tau)$ e le loro durate τ . La relazione, detta curva di possibilità pluviometrica, è generalmente espressa nella forma:

$$\bar{h}_{Tr}(\tau) = a \cdot \tau^n$$

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

dove i parametri a ed n sono caratteristici dell'area in esame e del tempo di ritorno (Tr) considerato.

Poiché, come si vedrà più avanti, il tempo di corrievazione (τ_c) caratteristico per il bacino in esame è prossimo alle 2 ore, si sono trascurate, ai fini della determinazione dei parametri a ed n , le precipitazioni cumulate giornaliere per 4 e 5 gg essendo ben oltre le durate di pioggia di maggiore interesse.

Si riporta in figura l'equazione di possibilità pluviometrica ottenuta per interpolazione:

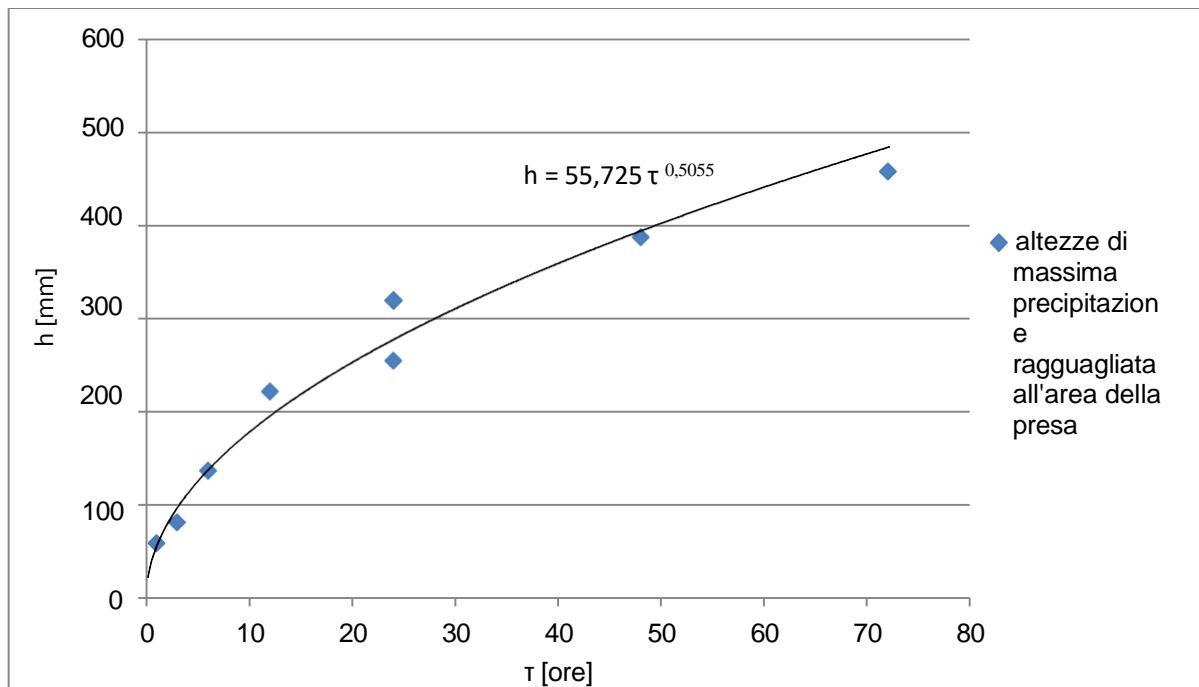


Figura 20: equazione di possibilità pluviometrica ottenuta per interpolazione dei valori di massima precipitazione ragguagliata, h_{Tr} [mm], per un tempo di ritorno $Tr = 100$ anni, per le durate di precipitazione (τ) pari a 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72 h.

Di seguito si riportano i valori dei parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica sopra raffigurata:

Tabella 18: parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno $Tr=100$ anni.

Bacino del torrente Vajont chiuso alla sezione di presa della galleria di scarico del lago residuo "C"		
Tr (anni)	a	n
100	55,725	0,5055

Dal grafico di Figura 20 si può notare che per la durata $\tau = 24$ h ci sono due distinti valori di precipitazione massima.

Il valore maggiore deriva dall'analisi dei dati di precipitazione oraria forniti dalla stazione di Erto per i soli anni dal 2010 al 2014, il secondo, quello minore, deriva dall'analisi dei dati di precipitazione cumulata giornaliera forniti dalla stessa stazione di cui sopra, per gli anni che vanno dal 1921 al 1963 e dal 2010 al 2014 (48 anni).

Come si può vedere, integrando i dati forniti dal pluviografo negli ultimi 5 anni con quelli registrati dal pluviometro, su un più esteso arco temporale, è stato possibile correggere e rafforzare la stima delle precipitazioni massime attese.

L'analisi dei soli dati relativi al periodo 2010-2014 avrebbe infatti portato ad una sovrastima delle precipitazioni massime attese a causa del carattere di particolare piovosità di tali ultimi anni, non tenendo invece in conto dell'effettivo andamento delle precipitazioni massime sul lungo periodo così come scaturito dall'analisi dei dati di pioggia giornaliera forniti dal vecchio pluviometro.

A supporto delle considerazioni appena espresse si rimanda al paragrafo 3.1 della presente relazione in cui si è evidenziato, tramite confronto storico dei grafici delle isoiete, un sostanziale mantenimento, nel corso dei decenni, di un uguale regime pluviometrico medio annuo.

4.2. Calcolo del tempo di corriavazione

La condizione critica si verifica nel momento in cui la precipitazione abbia durata pari al tempo di corriavazione del bacino.

Ai fini della determinazione delle portate di piena si è considerato il bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza della presa della galleria di scarico del lago residuo "C".

Il tempo di corriavazione τ_c è stato calcolato usando le seguenti formule:

Giandotti: $\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H - H_0}}$ [ore]

Merlo-Tournon: $\tau_c = 0,396 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \left[\frac{S}{L^2 \sqrt{i_v/i_a}} \right]^{0,72}$ [ore]

Pasini: $\tau_c = 0,108 \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i_a}}$ [ore]

Pezzoli: $\tau_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$ [ore]

Ventura: $\tau_c = 0,1272 \sqrt{\frac{S}{i_a}}$ [ore]

dove: S = superficie del bacino [Km²]

L = lunghezza dell'asta principale [Km²]

\bar{H} = altitudine media del bacino [m s.l.m.]

H_0 = altitudine della sezione di chiusura [m s.l.m.]

i_v = pendenza media dei versanti [-]

i_a = pendenza media dell'asta principale [-]

Per avere un'informazione completa sulla morfologia del bacino, si è provveduto tramite software GIS alla modellazione numerica della superficie del suolo con le tecniche DTM che consentono, sulla base di una informazione digitale della cartografia, lo studio dei parametri anzidetti con la medesima precisione della cartografia di base.

La pendenza media dell'asta principale (i_a) è calcolabile con la formula:

$$\sqrt{i_a} = \frac{L}{\sum_j \frac{l_j}{\sqrt{i_j}}}$$

con L = lunghezza dell'asta principale, l_j = lunghezza del segmento fluviale generico fra due curve di livello e $i_j = \Delta h / l_j$ con Δh = equidistanza delle curve di livello.

In alternativa, la disponibilità di un modello digitale del terreno di dettaglio ha consentito l'utilizzo dell'analisi raster, attribuendo a ciascun elemento territoriale di area elementare (nel caso corrente 10 m²) una quota altimetrica che è stata mediata su tutti gli elementi areali compresi nel perimetro del bacino in esame.

La pendenza media dei versanti (i_v), definita dalla relazione di Alvard-Horton, considera due curve di livello successive, la distanza planimetrica media d_i tra le due curve di livello e l_i la lunghezza della curva di livello intermedia. Si ha che:

$$i_v = \sum_i l_i \cdot \frac{S_i}{S} = \frac{1}{S} \sum_i \Delta z_i \cdot d_i$$

essendo $S_i = l_i \cdot d_i$ e la pendenza media tra le due curve di livello definita dalla relazione $i_i = \Delta z_i / l_i = \Delta z_i \cdot d_i / S_i$.

Come alternativa, anche in questo caso, sfruttando le potenzialità dei software GIS, è stata utilizzata la conoscenza dell'orientamento e della pendenza dell'elemento areale per effettuare il calcolo della pendenza dei versanti del bacino.

I principali parametri morfometrici calcolati per il bacino in esame, e necessari al calcolo del tempo di corivazione τ_c , sono riportati nella tabella seguente:

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

Tabella 19: principali parametri morfometrici relativi al bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza della presa di progetto (presa della galleria di scarico del lago residuo "C").

S	57,08	[Km ²]	Superficie totale del bacino sotteso
L	9,264	[Km]	lunghezza dell'asta principale
\bar{H}	1317,9	[m s.l.m.]	altitudine media del bacino
H_{\max}	2658	[m s.l.m.]	altitudine massima del bacino
H_0	635	[m s.l.m.]	quota della sezione di chiusura
i_v	0,75		pendenza media dei versanti
i_a	0,24		pendenza media dell'asta principale

Di seguito si riportano, invece, i tempi di corrievazione (τ_c) calcolati con le formule precedentemente esposte:

Formula	τ_c	
Giandotti	2,11	[ore]
Merlo-Tournon	3,70	[ore]
Pasini	1,78	[ore]
Pezzoli	1,04	[ore]
Ventura	1,96	[ore]

Con le formule di Merlo-Tournon e Pezzoli si sono ottenuti risultati discordanti (rispettivamente in eccesso e in difetto) in confronto a quelli forniti dalle restanti formule.

Si è, dunque, deciso di scartarli e di utilizzare come valore del tempo di corrievazione il valore medio dei risultati forniti delle formule di Giandotti, Pasini e Pezzoli:

Formula	τ_c	
Giandotti	2,11	[ore]
Pasini	1,78	[ore]
Ventura	1,96	[ore]
<u>Valore medio τ_c</u>	1,95	[ore]

Il tempo di corrievazione del bacino imbrifero sotteso dalla sezione di presa (sezione coincidente con l'imbocco della galleria di scarico del lago residuo "C") è, dunque, $\tau_c = 1,95$ [ore].

In base ai parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica precedentemente calcolata e del tempo di corriavazione appena stimato, viene calcolata la precipitazione critica ($\bar{h}_c = a \cdot r_c^n$) per il bacino in esame:

Tabella 20: precipitazione critica \bar{h}_c stimata per il tempo di ritorno $Tr = 100$ anni.

Bacino del torrente Vajont chiuso alla sezione di presa della galleria di scarico del lago residuo "C"	
Tr (anni)	\bar{h}_c (mm)
100	78,1

4.3. Calcolo del coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso definisce il rapporto fra precipitazione efficace e precipitazione linda.

Per precipitazione efficace s'intende la frazione della precipitazione complessiva (linda), non trattenuta dal terreno e dalla vegetazione, che partecipa alla formazione del deflusso superficiale e, quindi, dell'onda di piena.

Il valore della precipitazione efficace dipende principalmente da tre fattori: il grado di saturazione del terreno superficiale al momento del verificarsi dell'evento meteorico, la permeabilità delle litologie superficiali, l'uso del suolo.

Per la stima di tale valore si sono sfruttate le informazioni dedotte dalla cartografia digitale (DTM) e dalla mappa dell'uso del suolo scaricabile dal geoportale della Regione Friuli Venezia Giulia.

Da quest'ultima mappa è stato possibile assegnare ad ogni singola area un appropriato coefficiente di deflusso a partire delle indicazioni fornite dalla seguente tabella di letteratura:

Tabella 21: valori del coefficiente di deflusso (ϕ) del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della pendenza i e del tempo di ritorno T della precipitazione (Chow et al., 1988).

Tipo di superficie	Tempo di ritorno T [a]						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Calcestruzzo, tetti	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Coltivazioni ($i=0\div 2\%$)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Coltivazioni ($i=2\div 7\%$)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Coltivazioni ($i>7\%$)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pascoli ($i=0\div 2\%$)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pascoli ($i=2\div 7\%$)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pascoli ($i>7\%$)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Boschi ($i=0\div 2\%$)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Boschi ($i=2\div 7\%$)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Boschi ($i>7\%$)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Nella figura sottostante si riporta la mappa dell'uso del suolo del bacino imbrifero sotteso dalla sezione di presa.

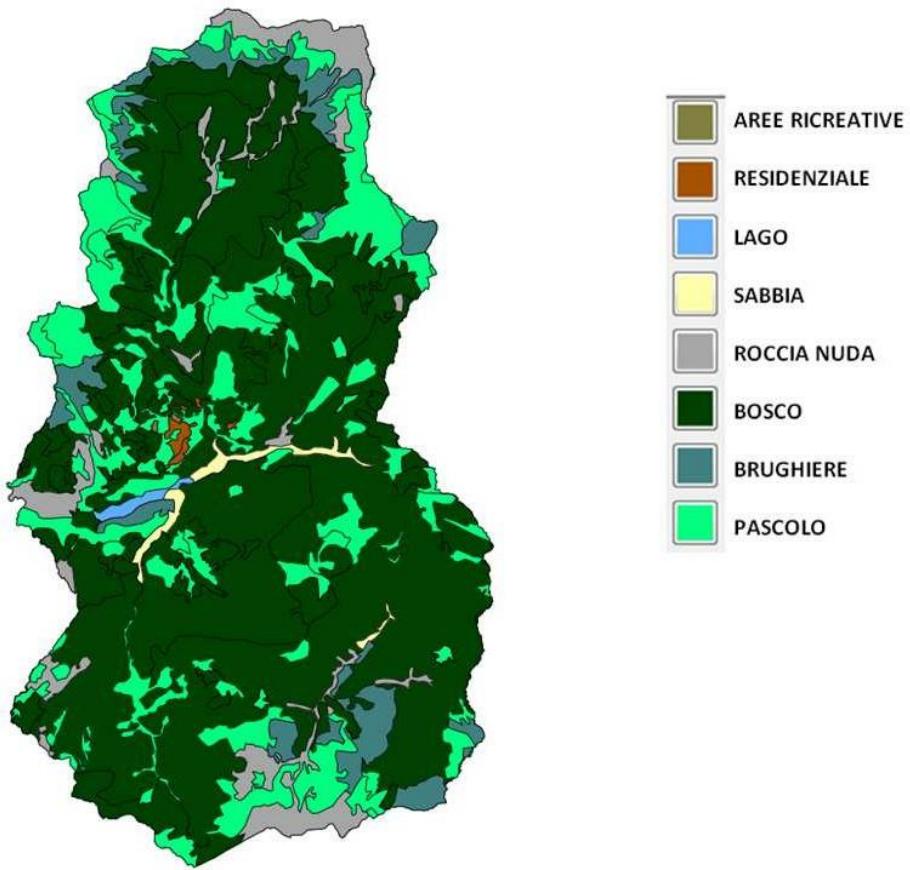


Figura 21: mappa dell'uso del suolo relativa al bacino sotteso dalla sezione di presa.

Sulla base di tale mappa vettoriale, che contiene già al suo interno la pendenza media di ciascuna sottoarea, e sulla base dei valori suggeriti in Tabella 21, si riassumono qui di seguito i coefficienti di deflusso utilizzati:

Tabella 22: valori del coefficiente di deflusso (ϕ_i) assegnati, alle singole sottoaree del bacino, sulla base del tipo di superficie e del tempo di ritorno di interesse.

Tipo di superficie	Tempo di ritorno [anni]
	100
Residenziale (asfalto, calcestruzzo, tetti)	0,97
Roccia nuda	0,85
Sabbia	0,60
Lago	1,00
Pascolo ($i = 0 \div 2 \%$)	0,41
Pascolo ($i = 2 \div 7 \%$)	0,49
Pascolo ($i > 7 \%$)	0,53
Brughiera	0,46

Bosco ($i = 0 \div 2 \%$)	0,39
Bosco ($i = 2 \div 7 \%$)	0,47
Bosco ($i > 7 \%$)	0,52

Il coefficiente di deflusso globale è stato calcolato eseguendo la seguente media pesata sulle singole aree (S_i):

$$\bar{\varphi} = (\varphi_i \cdot S_i) / S_{TOT} = 0,55$$

4.4. Calcolo della portata di piena

Per il calcolo della portata di piena si utilizza il metodo razionale.

La formula utilizzata per la valutazione della portata massima è:

$$Q_{max} = \frac{\bar{\varphi} \cdot \bar{h}_c \cdot S}{3.6 \cdot \tau_c} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

dove: $\bar{\varphi}$ è il coefficiente di deflusso mediato sull'intero bacino

\bar{h}_c è la precipitazione critica ragguagliata sull'intero bacino [mm]

S è la superficie del bacino imbrifero sotteso [Km^2]

τ_c è il tempo di corriavazione per il bacino imbrifero considerato [ore]

I parametri utilizzati per la determinazione delle portate sono di seguito riportati, in rapporto al bacino considerato:

Tabella 23: coefficiente di deflusso, superficie e tempo di corriavazione del bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza della presa della galleria di scarico del lago residuo "C".

Sezione di chiusura	Coefficiente di deflusso ($\bar{\varphi}$)	Superficie (S)	Tempo di corriavazione (τ_c)
Torrente Vajont in corrispondenza della presa dal lago residuo "C"	0,55	57,08 (km^2)	1,95 (ore)

Si ottengono così i valori di precipitazione critica e le portate di piena in funzione del tempo di ritorno e del bacino imbrifero considerato:

Tabella 24: valori di precipitazione critica (mm) e portata di piena (Q) per il bacino imbrifero con sezione di chiusura posta in corrispondenza della presa della galleria di scarico del lago residuo "C".

Torrente Vajont in corrispondenza della presa dal lago residuo "C"

T _r	h _c	Q
100 (anni)	78,1 (mm)	349 (m ³ /s)

Alla portata calcolata corrisponde una portata specifica di max. piena pari a

$$q_{Tr100} = Q_{Tr100} / S = 6,11 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{Km}^2$$

un valore elevato se si considera che il contributo di piena rilevato in occasione dell'evento del 4 Novembre 1966 per quest'area è stato valutato in 1500 l/s*Kmq ("La piena dei fiumi della Regione Veneta del Novembre 1966" - pubblicazione del Servizio Idrologico dell'ENEL - Compartimento di Venezia.

Per cercare di determinare con maggior precisione la portata di piena centenaria si sono considerati alcuni schemi che valutano la portata di piena operando una regolarizzazione statistica dei dati registrati sulla base di schemi convenientemente scelti, quale, ad esempio, lo schema di Gumbel.

PROGETTO VAPI

Il primo dei metodi impiegati è quello generato dal progetto VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R.; si tratta di una generalizzazione del metodo della portata indice in una formulazione tarata su scala regionale.

La portata al colmo che transita in una data sezione con un dato tempo ritorno Q_T è data dalla relazione:

$$Q_T = K_T m(Q)$$

essendo

- K_T: il fattore di crescita, funzione del tempo di ritorno
- m(Q) la media dei colmi annui transitati nella sezione di calcolo

Il fattore di crescita è legato al tempo di ritorno dell'evento ed alla distribuzione statistica assunta, che è quella a due componenti dei valori estremi (TCEV):

$$T_R = \frac{1}{1 - e^{\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \Lambda_1^{\frac{1}{\theta_*}} e^{-\eta K_T} / \theta_*}}$$

Per il Triveneto i parametri sono stati tarati in una delle ricerche su scala regionale nell'ambito del progetto VAPI (Villi, 1999):

$$\eta = 4,547 \ ; \ \theta^* = 2,018 \ ; \ \Lambda^* = 0,894 \ ; \ \Lambda_1 = 16$$

Ai fini pratici Villi, nello stesso rapporto VAPI per il Triveneto propone l'utilizzo, in luogo della precedente, della relazione esplicita:

$$K_T = 0,5444 + 0,4396 \ln(T_R)$$

In mancanza di serie statistiche che permettano il calcolo della media dei colmi $m(Q)$ si è stimata quest'ultima in funzione della superficie A del bacino afferente alla sezione di interesse (in km^2) mediante la curva:

$$m(Q) = 56,08 \cdot 10^{-2} A^{0,88}$$

proposta dal citato rapporto per la parte montana di Piave e Brenta e tarata su cinque coppie $m(Q)$ — A (Piave a Ponte Cordevole, Presenaio e Ponte della Lasta, Mis a Ponte Sant'Antonio e Boite a Vodo).

Per i tempi di ritorno d'interesse, dall'applicazione della formula VAPI emerge quanto segue:

Tabella 25:: Valori delle portate al colmo (Progetto VAPI).

		Opera Presa
T_R anni	K_T	Q_{colmo} m^3/s
5	1,25	24,67
10	1,56	30,67
20	1,86	36,67
30	2,04	40,18
50	2,26	44,61
100	2,57	50,61
200	2,87	56,61

AUTORITA' DI BACINO

Altra curva di questa tipologia è quella proposta dalla Autorità di Bacino per la stima della portata media transitata nel corso dell'evento di piena Q_m :

$$Q_m = q_0 \cdot A \cdot \left(1 + \frac{1}{2} Y_{TR} \right)$$

con:

- q_0 : coefficiente udometrico, assunto pari a $0,15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$
- Y_{TR} : coefficiente di amplificazione dipendente dalla frequenza probabile del fenomeno, dalla relazione doppio logaritmica:

$$Y_{TR} = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]$$

e il consueto significato dei rimanenti simboli.

Il rapporto CP tra il valore medio della portata di piena e quello al colmo Q_c è dato in funzione della superficie scolante:

$$C_P = 1 + \frac{30}{\sqrt{S}}$$

Nella tabella sono riportati i valori calcolati con questa relazione.

Tabella 26: Valori delle portate al colmo (Modello Autorità di Bacino).

OPERA PRESA			
T_R anni	Y_{TR}	Q_m m^3/s	Q_{colmo} m^3/s
5	1,50	14,98	74,48
10	2,25	18,20	90,45
20	2,97	21,28	105,77
30	3,38	23,05	114,58
50	3,90	25,27	125,59
100	4,60	28,26	140,45
200	5,30	31,23	155,26

I risultati ottenuti, soprattutto con il modello elaborato dall'Autorità di Bacino, dimostrano come con tutta probabilità sia più attendibile un valore di piena centenaria di 140 -150 mc/s a cui corrisponde un contributo specifico di $2,4 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{Km}^2$, valore maggiormente in linea con quelli registrati in occasione della piena del 4 Novembre 1966.

4.5. Considerazioni sulla portata di piena

In occasione di eventi di piena il lago residuo "C" svolgerà un effetto di laminazione sulle portate che vi confluiranno.

L'entità del beneficio è legata ovviamente al volume che può invasarsi al di sopra della quota di sfioro, naturalmente se questo volume è una frazione significativa del volume dell'onda di piena, la riduzione della portata in uscita dalla galleria di sorpasso sarà notevole.

La portata che puntualmente verrà scaricata a valle della diga del Vajont sarà quindi inferiore a quanto sopra calcolato e dipenderà dal livello che si instaurerà presso l'imbocco della galleria di sorpasso (quota 635 m s.l.m.) oltre che dalla capacità di deflusso della stessa.

Tale galleria presenta una sezione di imbocco rettangolare di dimensioni considerevoli (circa 10 metri di altezza) che poi va rastremandosi verso una classica sezione a ferro di cavallo: a titolo illustrativo si riporta una tabella con evidenziate le caratteristiche geometriche della galleria ed una sezione di dettaglio estrapolata dal modello 3D delle opere rilevate.

Tabella 27: grandezze geometriche della galleria di scarico.

quota innesto galleria	635,00	m s.l.m.
quota sbocco galleria	605,58	m s.l.m.
lunghezza condotta	2394	m
pendenza media	0,012	-

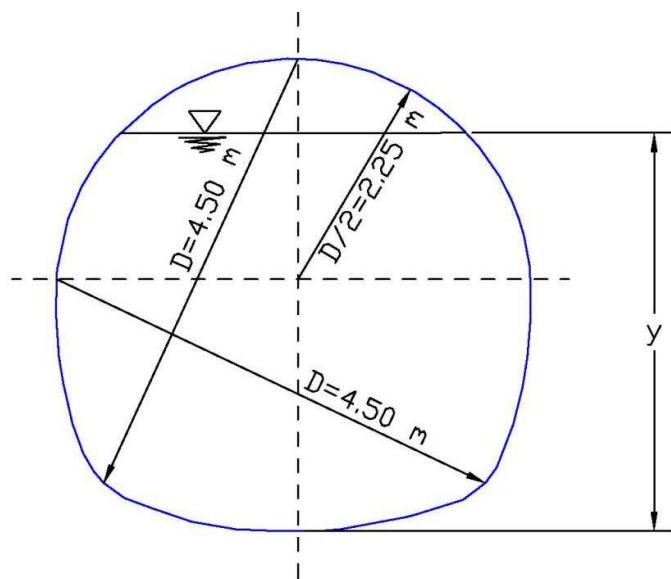


Figura 22: sezione a ferro di cavallo della galleria di scarico del lago residuo "C".

Ipotizzando che durante la piena il livello del lago non si alzi oltre la quota del cielo della sezione di monte della galleria (644,95 m s.l.m.), e cioè che l'imbocco non risulti sommerso, la portata massima scaricata (Q_{max}) dalla galleria può essere stimata considerando l'instaurarsi di un moto uniforme con grado di riempimento (y/D) pari a quello che massimizza la portata per le condotte con sezione a ferro di cavallo.

$$\left(\frac{y}{D}\right)_{max} = 0,94 \rightarrow y_{max} = 4,23 \text{ m}$$

$$\left(\frac{A}{D^2}\right)_{max} = 0,8101 \rightarrow A_{max} = 16,40 \text{ m}^2$$

$$\left(\frac{R_H}{D}\right)_{max} = 0,2922 \rightarrow R_{Hmax} = 1,315 \text{ m}$$

$$Q_{max} = K_s R_H^{2/3} A_{max} \sqrt{i_m} = 150,9 \text{ m}^3/s$$

Di fatto, vista l'assenza di aerofori lungo la galleria, per gradi di riempimento prossimi all'unità il deflusso si trasformerà a sezione piena e, quindi, la portata massima scaricabile risulterà:

$$\frac{Q}{Q_0} = 1,0729 \rightarrow Q_{scarico} = Q_0 = \frac{Q}{1,0729} = \frac{150,9 \text{ m}^3/s}{1,0729} = \mathbf{140,6 \text{ m}^3/s}$$

Tabella 28: condotta a ferro di cavallo; area, perimetro bagnato, raggio idraulico, larghezza dello specchio liquido, profondità del baricentro, fattore di portata, velocità e portata (adimensionali) per una condotta parzialmente riempita.

GRADO DI RIEMPIMENTO y/D	AREA A/D ²	PERIMETRO BAGNATO P/D	RAGGIO IDRAULICO R _H /D	LARGHEZZA SPECCHIO LIQUIDO b/D	PROFONDITÀ DEL BARICENTRO z/D	FATTORE DI PORTATA $\frac{AR_H^{2/3}}{D^{8/3}}$	RAPPORTO DI VELOCITÀ [*] v/v ₀	RAPPORTO DI PORTATA Q/Q ₀
0,51	0,4466	1,7161	0,2603	0,9998	0,2319	0,1821	1,0167	0,5475
0,52	0,4566	1,7361	0,2630	0,9992	0,2368	0,1874	1,0239	0,5638
0,53	0,4666	1,7562	0,2657	0,9982	0,2416	0,1928	1,0309	0,5800
0,54	0,4766	1,7762	0,2683	0,9968	0,2464	0,1983	1,0376	0,5963
0,55	0,4865	1,7963	0,2709	0,9950	0,2513	0,2037	1,0442	0,6126
0,56	0,4965	1,8164	0,2733	0,9928	0,2561	0,2091	1,0505	0,6289
0,57	0,5064	1,8366	0,2757	0,9902	0,2610	0,2145	1,0566	0,6452
0,58	0,5163	1,8568	0,2780	0,9871	0,2659	0,2199	1,0626	0,6615
0,59	0,5261	1,8771	0,2803	0,9837	0,2709	0,2253	1,0683	0,6777
0,60	0,5360	1,8975	0,2825	0,9798	0,2758	0,2307	1,0738	0,6939
0,61	0,5457	1,9179	0,2845	0,9755	0,2808	0,2361	1,0790	0,7101
0,62	0,5555	1,9385	0,2865	0,9708	0,2858	0,2414	1,0841	0,7261
0,63	0,5651	1,9591	0,2885	0,9656	0,2908	0,2467	1,0889	0,7421
0,64	0,5748	1,9799	0,2903	0,9600	0,2958	0,2520	1,0936	0,7579
0,65	0,5843	2,0008	0,2921	0,9539	0,3009	0,2572	1,0980	0,7736
0,66	0,5938	2,0219	0,2937	0,9474	0,3060	0,2624	1,1021	0,7892
0,67	0,6033	2,0430	0,2953	0,9404	0,3111	0,2675	1,1061	0,8046
0,68	0,6127	2,0644	0,2968	0,9330	0,3163	0,2726	1,1098	0,8198
0,69	0,6219	2,0859	0,2982	0,9250	0,3215	0,2776	1,1132	0,8349
0,70	0,6312	2,1076	0,2995	0,9165	0,3268	0,2825	1,1164	0,8497
0,71	0,6403	2,1296	0,3007	0,9075	0,3320	0,2874	1,1194	0,8642
0,72	0,6493	2,1517	0,3018	0,8980	0,3373	0,2921	1,1221	0,8786
0,73	0,6582	2,1741	0,3028	0,8879	0,3427	0,2968	1,1246	0,8926
0,74	0,6671	2,1968	0,3037	0,8773	0,3481	0,3014	1,1268	0,9064
0,75	0,6758	2,2197	0,3044	0,8660	0,3535	0,3058	1,1288	0,9198
0,76	0,6844	2,2430	0,3051	0,8542	0,3590	0,3102	1,1305	0,9329
0,77	0,6929	2,2666	0,3057	0,8417	0,3646	0,3144	1,1319	0,9456
0,78	0,7012	2,2905	0,3061	0,8285	0,3702	0,3185	1,1330	0,9580
0,79	0,7094	2,3149	0,3065	0,8146	0,3758	0,3225	1,1338	0,9699
0,80	0,7175	2,3396	0,3067	0,8000	0,3815	0,3263	1,1343	0,9814
0,81	0,7254	2,3649	0,3068	0,7846	0,3873	0,3299	1,1345	0,9924
0,82	0,7332	2,3906	0,3067	0,7684	0,3932	0,3334	1,1343	1,0029
0,83	0,7408	2,4169	0,3065	0,7513	0,3991	0,3368	1,1339	1,0128
0,84	0,7482	2,4439	0,3062	0,7332	0,4051	0,3399	1,1330	1,0222
0,85	0,7554	2,4715	0,3057	0,7141	0,4111	0,3428	1,1318	1,0310
0,86	0,7625	2,4999	0,3050	0,6940	0,4173	0,3455	1,1302	1,0391
0,87	0,7693	2,5292	0,3042	0,6726	0,4236	0,3480	1,1281	1,0465
0,88	0,7759	2,5594	0,3032	0,6499	0,4299	0,3502	1,1256	1,0532
0,89	0,7823	2,5908	0,3020	0,6258	0,4364	0,3521	1,1226	1,0590
0,90	0,7884	2,6234	0,3005	0,6000	0,4429	0,3538	1,1191	1,0640
0,91	0,7943	2,6575	0,2989	0,5724	0,4496	0,3551	1,1150	1,0680
0,92	0,7999	2,6934	0,2970	0,5426	0,4564	0,3561	1,1103	1,0709
0,93	0,8052	2,7314	0,2948	0,5103	0,4634	0,3566	1,1048	1,0726
0,94	0,8101	2,7720	0,2922	0,4750	0,4706	0,3567	1,0984	1,0729
0,95	0,8146	2,8159	0,2893	0,4359	0,4779	0,3563	1,0910	1,0717
0,96	0,8188	2,8642	0,2859	0,3919	0,4855	0,3553	1,0824	1,0686
0,97	0,8225	2,9188	0,2818	0,3412	0,4933	0,3535	1,0721	1,0632
0,98	0,8256	2,9831	0,2767	0,2800	0,5014	0,3506	1,0593	1,0545
0,99	0,8280	3,0666	0,2700	0,1990	0,5099	0,3459	1,0420	1,0403
1,00	0,8293	3,2669	0,2539	0,0000	0,5191	0,3325	1,0000	1,0000

A supporto della bontà della stima della portata massima scaricabile appena effettuata si riporta qui di seguito il grafico delle portate massime annuali misurate dall'idrometro di ENEL installato all'interno della galleria nei 13 anni di cui si dispongono le misure.

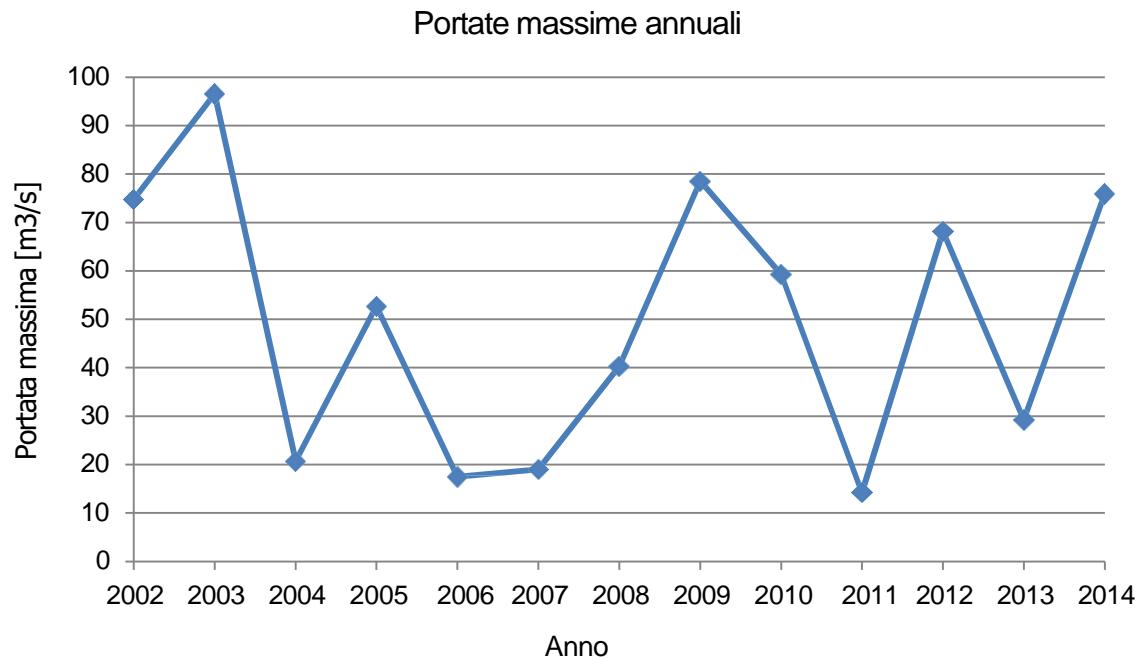


Figura 23: portate massime annuali misurate dall'idrometro ENEL nella galleria di scarico del "lago residuo C" nei 13 anni di osservazione.

Come si può vedere il valore massimo di portata massima misurata nei 13 anni di monitoraggio è prossima a 100 m³/s.

5. Problema del trasporto solido

Il bacino del Vajont, come già descritto nei precedenti paragrafi, è caratterizzato da alte montagne e versanti scoscesi e dirupati. Grazie alle elaborazioni svolte in ambiente GIS si è potuto calcolare la pendenza media del bacino che risulta pari a 35,5°; un'acclività dunque considerevole.

Il torrente Vajont, di conseguenza, in quanto corso d'acqua montano con carattere torrentizio, si sviluppa principalmente lungo valli con profonde incisioni a "V".

Esso è caratterizzato da una notevole pendenza media dell'asta principale ($i_a = 13,5^\circ$) che determina una forte erosione e incisione dell'alveo, senza considerare gli affluenti (rii minori) spesso caratterizzati da pendenze anche maggiori.

A causa dell'elevata energia il trasporto solido è elevato.

Il fenomeno viene poi accentuato dal notevole grado di frantumazione delle masse rocciose (in particolare dolomie) che caratterizzano il bacino e dalla alimentazione idrica nei mesi di maggiori precipitazioni.

L'applicazione di varie formule per il calcolo del trasporto solido fornisce risultati del tutto indicativi, spesso variabili anche per più di un ordine di grandezza tra loro. In ogni caso si tratta di valori medi annui, mentre di maggiore interesse sarebbe poter stimare la quantità di sedimenti movimentata in occasione dei maggiori fenomeni di piena.

Nonostante quanto premesso, in relazione all'impianto idroelettrico in progetto, il fenomeno del trasporto solido non genera problemi di nessun tipo: il materiale trasportato infatti, una volta raggiunto il lago di Erto (lago residuo "C"), si deposita sul fondo del lago stesso.

Il materiale più fine che dovesse eventualmente rimanere in sospensione entrando nella galleria di scarico, verrà intercettato in corrispondenza dell'opera di presa dell'impianto in progetto e scaricato nel greto del torrente, a valle della diga.

L'impianto in progetto dunque non modificherà in alcun modo l'attuale regime sedimentologico del corso del torrente Vajont.

6. Innocuità rispetto ai diritti di terzi

Esaminando il portale cartografico online della Regione Friuli Venezia Giulia si è potuta verificare la compatibilità dell'impianto in progetto con eventuali altre derivazioni interessanti la medesima area e il medesimo corpo idrico.

Nella figura seguente si riporta un'immagine in cui si evidenzia chiaramente l'assenza di prese e altri impianti afferenti al lago residuo "C" e tantomeno alla galleria di scarico.

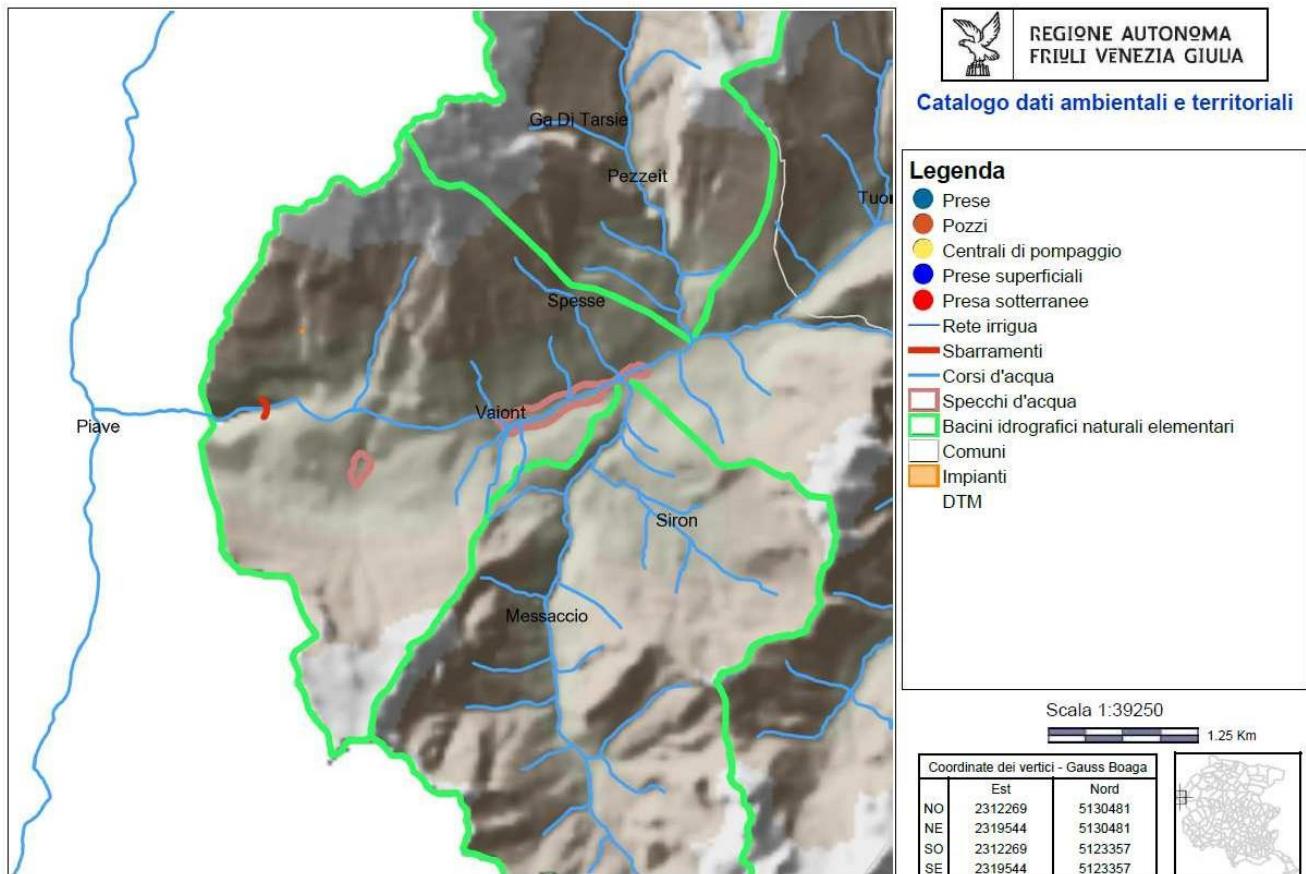


Figura 24: cartografia ufficiale indicante l'assenza di opere di presa, centrali di pompaggio o altri impianti nell'intorno del lago residuo "C" e della galleria di scarico del lago stesso (Fonte: portale WebGis della regione Friuli Venezia Giulia).

7. Dimensionamento Opera di Presa

7.1. Descrizione particolareggiata Opera

Il manufatto in progetto è composto principalmente dagli elementi di seguito elencati, il cui dimensionamento verrà discusso nel dettaglio nel seguito:

- A. **Vasca di calma**
- B. **Opera di captazione**
- C. **Sghiaiatore interno, Dissabbiatore e Vasca di Carico**

Il dispositivo di presa per intercettare le portate fluenti attraverso la galleria di scarico del "lago residuo C", è stato appositamente studiato, concepito e sviluppato

- per cercare di sfruttare le infrastrutture già esistenti (galleria...);
- per rendere sicure ed agevoli le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- per non interferire con il funzionamento della galleria di scarico;
- ma soprattutto con l'intento di non arrecare deturpazione all'ambiente circostante e di rendere il tutto il più possibile integrato con le caratteristiche della zona in esame.

Volendo rendere nulli gli impatti sul paesaggio locale, il manufatto di presa verrà realizzato in caverna in adiacenza alla galleria che conduce alla porta stagna di accesso alla galleria di sorpasso e non, come previsto nel progetto originale, allo sbocco nella forra della galleria di sorpasso.

L'opera di captazione, prevista a quota 604,80 m s.l.m, verrà effettuata quindi all'interno della galleria a 40 m circa dallo sbocco sulla forra; la presa, attraverso tre luci disposti ortogonalmente rispetto l'asse della galleria, di dimensioni 3x1,5 m, luci che saranno presidiate da tre paratoie piane ad azionamento oleodinamico.

La portata in ingresso sarà regolata dal sistema di controllo che, attraverso le letture degli idrometri e dei misuratori di portata, andrà ad agire sul grado di apertura delle spine delle macchine di centrale e direttamente sul grado di apertura delle paratie a presidio dell'opera di presa in modo da limitare ad un massimo di 4,5 m³/s la portata massima in ingresso (portata massima di concessione).

Lungo la soglia di imbocco verrà posizionata una griglia metallica leggermente inclinata (10-15°) con lo scopo di evitare l'entrata del materiale grossolano come pietrame e residui vegetali.

Per rendere funzionale l'opera sarà necessario, nella zona antistante la presa, risagomare il fondo della galleria in modo da creare una vasca di calma per rallentare e captare l'acqua in arrivo dalla galleria di sorpasso: in particolare la geometria del sistema è stata studiata in modo che l'acqua, per portate in arrivo non superiori a 12-15 mc/s, si immetta nella vasca attraverso un piccolo salto che favorirà un rallentamento rapido e localizzato della corrente

La vasca ad andamento degradante avrà uno sviluppo di 18 m circa, ed una profondità, rispetto il fondo della galleria, di 2,4 m, sarà inoltre dotata sul fondo di due bocche sghiaiatrici (quota 603,70 m s.l.m.) che immetteranno direttamente all'interno del manufatto dissabbiatore.

Le luci saranno presidiate da due paratoie piane (dim. 1,0x0,5 m) per

- ✓ permettere l'allontanamento delle sabbie o ghiaie che si andranno a depositare (operazioni di sghiaiamento e pulizia);
- ✓ per poter mettere in secca il tratto terminale della galleria di sorpasso (per portate in arrivo inferiori a 7-8 mc/s) e quindi permettere l'accesso in sicurezza all'area di presa per eventuali operazioni di manutenzione della struttura.

L'acqua captata dall'opera di presa laterale posta appunto in galleria si immetterà quindi nel sistema dissabbiatore-vasca di carico realizzato interamente in caverna.

Il manufatto, di pianta rettangolare, avrà una larghezza utile di 6,5 m, uno sviluppo longitudinale complessivo di 40 m circa ed una altezza variabile da 6 a 9,5 m circa.

Nel suo complesso il manufatto risulterà essere composto:

- da una zona di raccordo con l'opera di presa;
- dal dissabbiatore;
- da una vasca di carico.

La zona di raccordo con l'opera di presa presenterà uno sviluppo longitudinale di circa 8,0 m, sarà caratterizzata da fondo leggermente degradante che avrà il compito di rallentare progressivamente la velocità della corrente in arrivo.

Seguirà poi il dissabbiatore caratterizzato da uno sviluppo di 23 m circa e dotato di un fondo degradante per raccogliere i sedimenti che verranno periodicamente allontanati tramite l'azionamento di una saracinesca a comando oleodinamico posta a presidio della luce di scarico: l'acqua in uscita sarà convogliata su un canale di scarico (diametro 1 m) il cui sbocco è previsto direttamente sulla forra in asse con lo scarico della galleria di sorpasso ad una quota di 600 m.

Il dissabbiatore risulterà contiguo alla vasca di carico, da cui si dipartirà la condotta forzata, e ne risulterà separato tramite una soglia sagomata in c.a (quota ciglio 605,25 m s.l.m.).

L'accesso alla vasca di carico avverrà attraverso un sifone al cui interno verrà posizionata una griglia orizzontale a maglie fini per evitare l'ingresso di foglie o altro materiale che potrebbe danneggiare le turbine in centrale; la griglia risulterà autopulente e la pulizia sarà gestita da un sistema automatico di controllo.

La portata massima che accederà alla camera di carico dovrà essere pari alla portata massima di concessione, ossia di 4,5 m³/s.

Poiché per scelta progettuale il pelo libero nella vasca di carico è stato fissato alla quota di 605,95 m s.l.m., la geometria del sistema sarà tale che l'efflusso tra il dissabbiatore e la vasca di carico avverrà con uno stramazzo rigurgitato.

La vasca di carico avrà dimensioni in pianta 6,5x6,5 m tali da garantire un carico idraulico il più possibile costante o comunque tale da non far insorgere, all'interno della tubazione, la formazione di bolle d'aria.

La quota del pelo libero all'interno della vasca di carico risulterà essere costante per le diverse condizioni di carico e ciò sarà garantito dalla regolazione dell'apertura del distributore della turbina in centrale.

La vasca di carico avrà uno sviluppo longitudinale di 6 m circa; il volume utile invasato sarà di circa 240 m³.

Attiguo al manufatto vasca di carico sarà realizzato un vano dove troverà posto il pozzo verticale di accesso alla centrale in caverna.

7.2. Principio di funzionamento Opera di Derivazione – Verifiche Idrauliche

Il nodo idraulico dell'opera di presa sul è costituito da quattro diverse luci, caratterizzate da soglie a quote diverse, verso le quali si indirizza la portata in arrivo.

Esse sono:

- A - stramazzo di derivazione laterale (opera di derivazione);
- B - soglia di sfioro verso lo sbocco della galleria di sorpasso (*la quota della soglia coincide con la quota del fondo della galleria in cui termina il bacino di calma e allentamento che si andrà a creare di fronte all'opera di captazione*);
- C - stramazzo di immissione nella vasca di carico;
- D - luce di rilascio portata sulla forra.

Le caratteristiche delle luci sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 29: Dati relativi alle luci presenti nell'opera di presa in progetto.

	A Opera di Derivazione	B Soglia galleria sorpasso.	C Soglia ingresso vasca di carico	D Luce Sfioro su Forra
Quota (m s.l.m.m.)	604,80	606,12	605,25	601,60
Aampiezza (m)	9	4,4	3	02x0,8
Spessore (m)	1,4	---	0,5	0,025

STRAMAZZO A e C

Il funzionamento delle due luci può essere interpretato nei termini di una luce a stramazzo (rettangolare) rigurgitato il calcolo della portata è stato svolto immaginando che la parte superiore h_1 funzioni come luce libera a stramazzo, quella inferiore h_2 come luce a battente sotto un carico h_1 , applicando quindi il seguente algoritmo.

$$Q = B \cdot \left(\mu_1 \cdot h_2 \sqrt{2g \cdot h_1} + \frac{2}{3} \mu_2 \cdot h_1 \sqrt{2g \cdot h_1} \right)$$

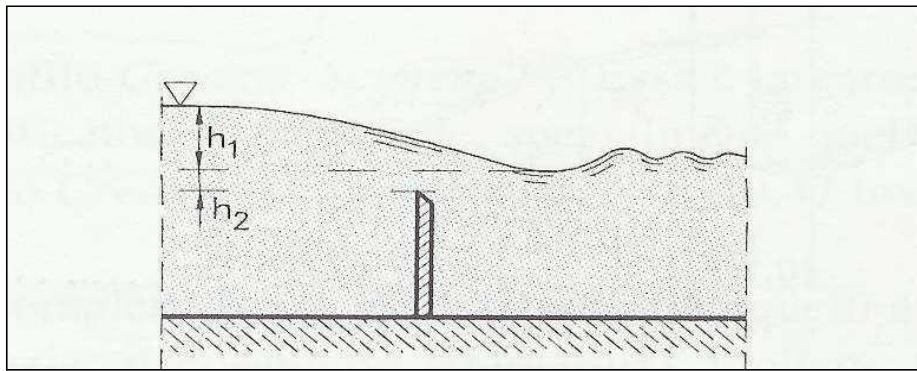


Figura 25: Stramazzo rigurgitato.

SOGLIA B

Il funzionamento della soglia è assimilabile a quello del moto che si instaura all'imbocco di un canale (in questo caso la galleria).

Le portate derivate possono essere facilmente valutate utilizzando un qualsiasi modello matematico e ricreando la geometria della zona di intervento.

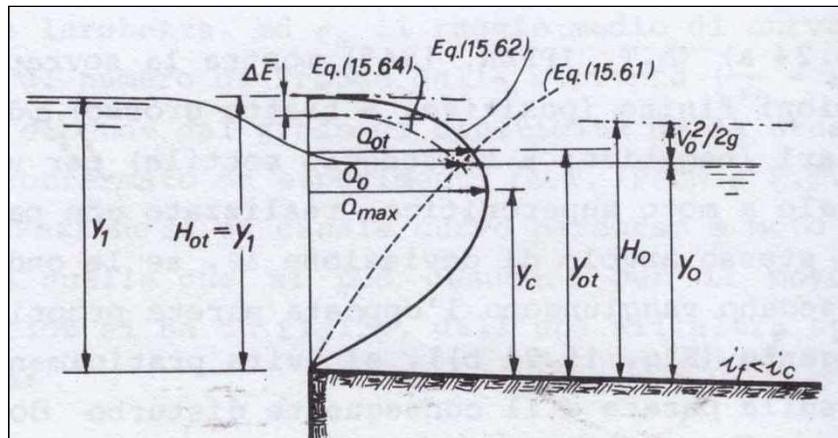


Figura 26: Imbocco canale

LUCE D

Il funzionamento della luce può essere interpretato nei termini di una luce a battente a parete fine.

La relazione per il calcolo delle portate risulta essere:

$$Q = 0,98 \div 0,99 \cdot C_c \cdot A \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$$

in cui C_c è il coefficiente di contrazione che può assumersi, vista la geometria del sistema, pari a 0,61, A è l'area della luce ed h l'altezza del battente sopra la soglia.

Presso l'opera di presa si potranno determinare tre possibili configurazioni di funzionamento

1. Portata a monte dell'opera di captazione inferiore a 0,2 mc/s;

✓ se lo strumento di misura delle portate, posto sulla galleria di derivazione una decina di metri a monte dell'opera di captazione, dovesse rilevare il verificarsi di tale situazione, il sistema di controllo determinerebbe la chiusura delle paratoie a presidio dell'opera di captazione, in quanto le portate derivate non sarebbero sufficienti a far funzionare in modo corretto le turbine in centrale. La portata in arrivo verrebbe totalmente rilasciata sulla forra attraverso lo sbocco della galleria di sorpasso.

2. Portata a monte dell'opera di captazione maggiore di 0,2 mc/s e minore di 4,5 mc/s;

✓ con portate in arrivo maggiori di 0,2 mc/s e minori di 4,5 mc/s tutta l'acqua in arrivo verrebbe intercettata dall'opera di presa e convogliata verso il manufatto dissabbiatore-vasca di carico. In questa configurazione il livello che si instaurerà presso l'imbocco dell'opera di presa, funzione delle portate in arrivo e del livello preimpostato dal sistema di controllo del pelo morto superiore (605,95 m s.l.m), risulterà sempre inferiore alla quota del fondo galleria nel punto in cui termina il bacino di calma delle portate in arrivo (606,12 m s.l.m.), pertanto il tratto terminale della galleria di sorpasso cesserà di essere alimentato dalle portate del lago residuo: per una portata derivata di 4,5 mc/s il livello che si instaurerà presso l'imbocco dell'opera di presa sarà di 606,12 m s.l.m. pari quindi alla quota del fondo galleria nel punto in cui termina il bacino di calma delle portate in arrivo. Comunque in ogni condizione il sistema di captazione garantirebbe, attraverso la luce a battente presente all'interno del dissabbiatore, il rilascio di una portata costante tutto l'anno sulla forra di 50 l/s.

3. Portata a monte dell'opera di captazione maggiore di 4,5 mc/s;

✓ con portate in arrivo maggiori di 4,5 mc/s presso l'opera di presa si instaurerebbe un livello tale per cui quota parte dell'acqua in arrivo comincerebbe a defluire verso lo sbocco della galleria di sorpasso, rimpinguando la portata di 50 l/s rilasciata sulla forra direttamente dal dissabbiatore attraverso il canale di scarico. La limitazione delle portate in ingresso all'opera di derivazione ed il rispetto del valore massimo di portata di concessione (4,50 m³/s) sarà affidata al sistema di controllo che, sulla base delle letture della strumentazione (idrometri, stratigrafi...) posizionata presso il nodo idraulico dell'opera di presa, determinerà la chiusura parziale o all'occorrenza totale della paratoia posta a presidio dell'imbocco al dissabbiatore. Tale sistema garantirà pertanto, oltre alla corretta gestione del nodo idraulico, soprattutto il rispetto dei termini di concessione.

7.3. Dimensionamento Presa

Il manufatto, di pianta rettangolare, avrà una larghezza utile di 6,5 m, uno sviluppo longitudinale complessivo di 40 m circa ed una altezza variabile da 6 a 9,5 m circa.

Nel suo complesso risulterà essere composto:

- da una zona di raccordo con l'opera di presa;
- dal dissabbiatore;
- da una vasca di carico.

La zona di raccordo con l'opera di presa presenterà uno sviluppo longitudinale di circa 8,0 m, sarà caratterizzata da fondo leggermente degradante che avrà il compito di rallentare progressivamente la velocità della corrente in arrivo.

Seguirà poi il dissabbiatore caratterizzato da uno sviluppo di 23 m circa e dotato di un fondo degradante per raccogliere i sedimenti che verranno periodicamente allontanati tramite l'azionamento di una saracinesca a comando oleodinamico posta a presidio della luce di scarico: l'acqua in uscita sarà convogliata su un canale di scarico (diametro 1 m) il cui sbocco è previsto direttamente sulla forra in asse con lo scarico della galleria di sorpasso ad una quota di 600 m.

Il dimensionamento del dissabbiatore è stato affrontato considerando la portata massima di concessione valutata in 4,50 m³/s.

Come già ricordato, il deflusso nel dissabbiatore dovrà essere sufficientemente lento da garantire, anche in condizioni di portata massima, la sedimentazione delle particelle che potrebbero provocare danni o un'eccessiva usura nelle macchine a valle, la cui dimensione è stata considerata pari a **0,4 mm**.

Il dissabbiatore sarà dotato di un fondo piano degradante dove si depositeranno i sedimenti.

Il canale di raccolta sarà presidiato da una saracinesca a comando oleodinamico che sarà azionata periodicamente al fine di allontanare i sedimenti.

L'altezza minima del pelo libero del dissabbiatore è stata determinata in modo che l'uscita delle sabbie dagli scarichi avvenga ad una velocità sufficiente da garantirne la pulizia.

Il condotto di scarico delle sabbie avrà dimensioni 1,0 x 1,0 m al fine di limitare i pericoli di ostruzione.

Il manufatto dissabbiatore, composto da una vasca a tramoggia dovrà essere lungo a sufficienza perché si realizzi al suo interno una velocità inferiore a 0,50 m/s.

La lunghezza minima può essere calcolata utilizzando la seguente relazione:

$$L \geq \frac{hv}{\lambda - w}$$

L'altezza media del pelo libero all'interno del dissabbiatore è stata fissata in 2,1 metri a cui corrisponde per la portata di progetto una velocità media nella vasca di 0,05 m/s.

Pertanto i dati di progetto sono:

- $h = 4,50 \text{ m}$ altezza media dell'acqua all'interno del dissabbiatore
- $v = 0,17 \text{ m/s}$ velocità di deflusso media con una portata $Q = 4,50 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\lambda = 0,0639 \text{ m/s}$ velocità di caduta in acqua ferma della più piccola particella da sedimentare ($d = 0,4 \text{ mm}$)
- $w = 0,0108 \text{ m/s}$ componente ascendente della velocità di agitazione espressa dalla relazione $w = v/(5,7+2,3 \cdot h)$

Dall'applicazione della relazione si ottiene una lunghezza minima pari circa a 14,66 m.

Per tenere conto degli effetti di imbocco e sbocco, per tutelare maggiormente le macchine in centrale e vista la disponibilità di spazio, la lunghezza del dissabbiatore è stata assunta pari a 23 m: tale scelta permetterà di aumentare il grado di sedimentazione e quindi ridurre di molto nel tempo il grado di erosione sulla girante delle turbine con effetti benefici in termini di rendimento e costi.

In ogni modo il dissabbiatore risulta preceduto da una zona di raccordo (lunghezza 8 m) che avrà lo scopo di effettuare una prima decantazione delle acque captate (sedimentazione del materiale a granulometria più grande).

Prima dell'ingresso sulla vasca di carico verrà realizzato un apposito setto in modo da far percorrere all'acqua in arrivo un percorso ad "U"; verrà poi posta una griglia orizzontale per garantire che nella vasca di carico non entri materiale flottante che potrebbe danneggiare la turbina.

Dissabbiatore e vasca di carico risulteranno invece separati da un setto ricoperto da una sagoma tondeggianta in acciaio con ciglio posto a quota 605,25 m s.l.m..

La portata massima che accederà alla camera di carico dovrà essere pari alla portata massima di concessione, ossia di 4,50 m³/s.

Per allontanare le eventuali portate eccedenti la portata massima di concessione ($4,50 \text{ m}^3/\text{s}$) è prevista l'installazione di strumentazione di misura (misuratore di livello, stratigrafo ...) presso l'opera di captazione ed all'interno del dissabbiatore: la strumentazione risulterà collegata al sistema di gestione dell'opera di presa che, sulla base delle letture, determinerà la chiusura parziale o totale della paratia posta a presidio dell'imbocco al dissabbiatore.

Al fine di determinare i livelli di funzionamento dell'impianto si sono effettuati i calcoli delle perdite di carico localizzate e distribuite all'interno dei diversi manufatti idraulici componenti l'opera di presa.

Il calcolo ed il dimensionamento dei manufatti è stato effettuato a partire dalla vasca di carico potendo imporre al suo interno un livello costante, che sarà garantito dalla regolazione dell'apertura del distributore della turbina in centrale.

Si è assunto la quota di carico (pelo libero all'interno della vasca) pari a $605,95 \text{ m s.l.m.m.}$.

La quota del setto che separa la vasca di carico dal dissabbiatore (quota ciglio $605,25 \text{ m s.l.m.}$) è tale che lo sfioro dell'acqua attraverso tale setto sia rigurgitato così come lo sfioro dell'acqua attraverso il setto che separa l'imbocco dell'opera di presa (lato galleria di derivazione) dall'ingresso del dissabbiatore, pertanto le perdite di carico localizzate saranno dovute all'effetto dello stramazzo rigurgitato.

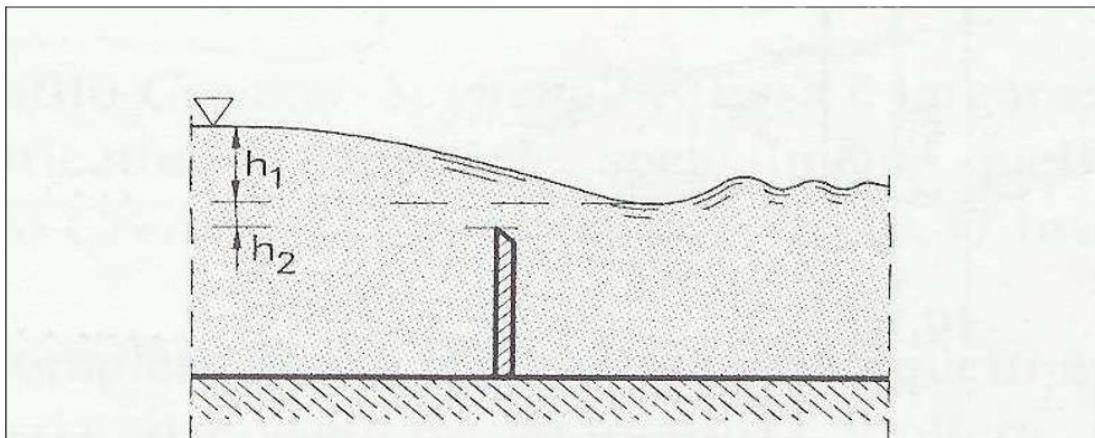


Figura 27: Stramazzo rigurgitato.

Vasca di Carico-Dissabbiatore

Per determinare la quota del pelo libero sul dissabbiatore si devono determinare le perdite di carico localizzate dovute all'effetto dello stramazzo rigurgitato che si instaura nel passaggio di portata tra il dissabbiatore ed il setto che delimita la vasca di carico.

Il ciglio del setto che separa il dissabbiatore dallo sghiaiatore interno dall'alveo, caratterizzato da uno sviluppo di 6,5 m, risulta posto a quota 605,25 m s.l.m..

Per lo stramazzo rigurgitato il calcolo della portata viene svolto immaginando che la parte superiore h_1 funzioni come luce libera a stramazzo, quella inferiore h_2 come luce a battente sotto un carico h_1 .

Applicando la formula dello stramazzo rigurgitato

$$Q = B \cdot \left(\mu_1 \cdot h_2 \sqrt{2g \cdot h_1} + \frac{2}{3} \mu_2 \cdot h_1 \sqrt{2g \cdot h_1} \right)$$

considerando

$B=6,5,0$ m (lunghezza setto);

$\mu_1 = \mu_2 = 0,55$

$Q = 4,50$ m³/s (portata massima di concessione);

$h_2 = 0,70$ m (dato dalla differenza tra altezza pelo libero nella vasca di carico (quota 605,95 m s.l.m.m.) e la quota della soglia di ingresso alla vasca (quota 605,25 m s.l.m.m.)).

si ottiene:

• $h_1 = 0,132$ m;

La quota del livello del pelo libero all'interno dello sghiaiatore interno, a monte appunto delle griglie a presidio del dissabbiatore:

• Quota sghiaiatore interno pari a 606,08 m s.l.m.m.

Tra il setto di sfioro sulla vasca di carico ed il dissabbiatore vi è la presenza della griglia a maglie fini orizzontale; essa da luogo a delle perdite localizzate.

Le perdite per effetto della presenza della griglia dipendono dalla geometria del sistema e dalla velocità in ingresso dell'acqua.

Tenendo conto che le barre hanno uno spessore $\varphi=15$ mm sono distanti $b=20$ mm, inclinazione di circa $\alpha=0^\circ$, che il coefficiente sperimentale legato alla forma vale $\beta=1.8$ (Idelcik, 1979) e la velocità in ingresso è di circa 0,2-0,3 m/s, applicando la relazione si ottiene:

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{V_{Ingresso}^2}{2g} \cdot \operatorname{sen} \alpha = 0,005 \cdot m$$

da cui la quota del pelo libero all'interno del dissabbiatore risulta pari a circa 606,09 m s.l.m.m..

Vista la bassa scabrezza delle pareti del dissabbiatore e le dimensioni limitate del manufatto le perdite distribuite all'interno del manufatto non sono state considerate perché ritenute trascurabili.

Dissabbiatore (zona raccordo) – Opera di captazione

Per determinare la quota del pelo libero all'imbocco dello sghiaiatore esterno si devono determinare le perdite di carico localizzate dovute all'effetto dello stramazzo rigurgitato che si instaura nel passaggio di portata tra lo sghiaiatore esterno ed il setto che delimita lo sghiaiatore interno.

Il ciglio del setto che separa lo sghiaiatore interno dallo sghiaiatore esterno, caratterizzato da uno sviluppo netto di 9,0 m, è posto a quota 604,80 m s.l.m..

Per lo stramazzo rigurgitato il calcolo della portata viene svolto immaginando che la parte superiore h_1 funzioni come luce libera a stramazzo, quella inferiore h_2 come luce a battente sotto un carico h_1 .

Applicando la formula dello stramazzo rigurgitato

$$Q = B \cdot \left(\mu_1 \cdot h_2 \sqrt{2g \cdot h_1} + \frac{2}{3} \mu_2 \cdot h_1 \sqrt{2g \cdot h_1} \right)$$

considerando

$B=9,0$ m (lunghezza setto);

$\mu_1 = \mu_2 = 0,55$

$Q = 4,50$ m³/s (portata massima di concessione);

$h_2 = 1,29$ m (dato dalla differenza tra altezza pelo libero nel dissabbiatore (quota 606,09 m s.l.m.m.) e la quota della soglia di ingresso al dissabbiatore (quota 604,80 m s.l.m.m.)).

si ottiene:

- $h_1 = 0,025$ m;

Pertanto la quota del pelo libero all'ingresso dell'opera di presa risulta pari a 606,11 m s.l.m

Ulteriori perdite localizzate, che si sommano a quelle appena calcolate, nel passaggio tra l'imbocco dell'opera di presa e lo sghiaiatore, sono dovute alle barre della griglia per la ritenuta dei corpi flottanti grossolani.

Le perdite per effetto della presenza della griglia dipendono dalla geometria del sistema e dalla velocità in ingresso dell'acqua. Tenendo conto che le barre hanno uno spessore $\varphi=15$ mm sono distanti $b=100$ mm, inclinazione di circa $\alpha=75^\circ-85^\circ$, che il coefficiente sperimentale legato alla forma vale $\beta=2,0$ (Idelcik, 1979) e la velocità in ingresso è di circa 0,45 m/s, applicando la relazione si ottiene:

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{V_{Ingresso}^2}{2g} \cdot \text{sen}\alpha = 0,005 \cdot m$$

Sommando quanto ottenuto si ottiene la quota del livello del pelo libero a monte delle griglie a presidio dell'imbocco dell'opera di presa:

- Quota ingresso all'opera di presa pari a 606,12 m s.l.m.m.

7.4. Dimensionamento della camera di carico

Il livello minimo del pelo libero nella camera deve essere calcolato in modo che non si verifichi il trascinamento di bolle d'aria all'interno della condotta.

La sommergenza minima al di sopra del cielo del tubo può essere calcolata mediante la formula del Ghetti:

$$s = 0,54 \cdot v \cdot \sqrt{d} = 2,48 \cdot m$$

dove

- $v = 4,26 \text{ m/s}$ *velocità massima dell'acqua in condotta*
- $d=0,80 \text{ m}$ *diametro interno della condotta*

A tale valore vanno sommate le perdite di carico all'imbocco

$$\Delta h = 0,5 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,468 \cdot m$$

Complessivamente risulta $s = 2,94 \text{ m}$; in ogni caso le perdite di imbocco saranno ridotte da un raccordo conico applicato all'inizio della condotta forzata.

L'imbocco della condotta è previsto sul fondo della vasca e risulterà essere opportunamente sagomato per ridurre le perdite di carico localizzate.

Vista la portata massima di concessione, per evitare la formazione di vortici e quindi l'ingresso di aria nella condotta, la sommergenza adottata in progetto sarà pari a 5,65 m, quindi la quota del fondo sarà fissata a 600,30 m s.l.m..

Il volume utile della camera di carico risulterà pari a circa 240 m^3 , volume che consentirà un funzionamento stabile anche in occasione dei transitori idraulici che vi potranno essere in fase di avvio o arresto dell'impianto.

8. Condotta Forzata

8.1. Descrizione particolareggiata Opera

Come evidenziato nei paragrafi precedenti la condotta forzata avrà uno sviluppo complessivo di circa 123 m e sarà posizionata in un pozzo verticale realizzato con la tecnica del Raise Boring.

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

La tubazione verrà formata a partire dal piano della vasca di carico mediante l'ausilio di opportuni mezzi: una volta posizionata la condotta verrà poi inghisata alla roccia con l'immissione del betoncino.

La condotta forzata verrà realizzata con tubazioni di acciaio DN 1100 mm della lunghezza di 6 m aventi lo spessore di 8 mm per l'intero tratto.

Le caratteristiche dell'acciaio impiegato saranno le seguenti:

- Tipologia acciaio: qualità minima L 355 (norma UNI 6363/84; UNI EN 10025)
- Resistenza minima a rottura 410 N/mm²
- Resistenza minima a snervamento 275 N/mm²
- superficie interna sabbiata con 250 micron di vernice epossidica pura,
- superficie esterna avrà un rivestimento poluretanico di 250 micron;
- estremità sagomate a bicchiere sferico e la giunzione avverrà mediante saldatura, con la possibilità di effettuare deviazioni angolari nel giunto fino a 6°.

8.2. Scelta del diametro della condotta

La scelta della tubazione per il tratto di realizzazione dipende da considerazioni economiche derivanti dall'impiego di un diametro maggiore, e da considerazioni di tipo tecnico.

Nella tabella che segue viene riportato un raffronto tra le perdite che si otterrebbero adottando diversi diametri in commercio.

La determinazione delle perdite di carico distribuite è stata eseguita utilizzando la nota formula di Gauckler-Strickler

$$\Delta h = \frac{L \cdot Q^2}{K^2 \cdot A^2 \cdot r_h^4}$$

mentre le perdite localizzate sono state calcolate in via cautelativa come il 20% di quelle distribuite.

Risulta ovvio che all'aumentare del diametro le perdite lungo la condotta diminuiscano.

Tabella 30: Perdite totali lungo il tratto di condotta in progetto in funzione del diametro calcolate applicando l'algoritmo di Gauckler-Strickler nell'ipotesi di condotta totalmente in acciaio DN11000 spessore 8 mm ($K_s=100$ tipico per le condotte in acciaio rivestite in resina epossidica e le condotte in ghisa).

	DN1200	DN1100	DN1000
L (m)	123,00	123,00	123,00
D _E (mm)	1219,2	1176,0	1016,0
s (mm)	8,0	8,0	7,1
$\Delta \eta$ ARIETE (m) - Allievi	369	401	542
D _{int} (mm)	1203,2	1160,0	1001,8
Velocità (m/s)	4,0	4,3	5,7
A (m ²)	1,137	1,057	0,788
R _H (m)	0,301	0,290	0,250
K_s (m ^{1/3} s ⁻¹)	100	100	100
J (m/m)	0,0078	0,0094	0,0206
Colpo Ariete h _{TOT} (m)	491	523	663
$\Delta h_{distr.}$ (m)	0,96	1,16	2,54
$\Delta h_{loc.}$ (m) - 20% h _{distr.}	0,19	0,23	0,51
$\Delta h_{tot.}$ (m)	1,15	1,39	3,05

Dalla tabella emerge che all'aumentare del diametro le perdite lungo la condotta diminuiscano.

Le motivazioni che conducono alla scelta del diametro di una condotta sono essenzialmente di tipo tecnico-economico.

Per il tipo di opera in progetto è stata considerata una condotta con DN 1100 mm, soluzione che permette di avere perdite di carico contenute e che giustificano la scelta di voler captare una portata massima di 4,50 m³/s.

La posa di una tubazione con diametri maggiori avrebbe comportato un aumento notevole dei costi di scavo ed inghisaggio, mentre la posa di diametri minori avrebbe comportato perdite di carico notevoli con conseguente perdita in termini di produttività attesa.

Per non sottostimare le perdite lungo la condotta forzata, e quindi sopravalutare la producibilità presunta dell'impianto in progetto, il calcolo di queste è stato effettuato utilizzando la nota relazione di Hazen-Williams, formula consigliata dalla letteratura specialistica per il calcolo delle perdite lungo condotte in pressione

$$J = 10,675 * Q^{1,852} / (C^{1,825} * D_{int}^{-4,8704})$$

dove:

- $L = 123 \text{ m}$ (spessore 8,0 mm)
- C (coefficiente scabrezza Hazen-Williams)= 120-125 (valore cautelativo per tubazione in acciaio rivestimento interno in resina epossidica, per cui solitamente viene adottato un valore di 135-140) **Nota: il coefficiente adottato equivale ad un K_s , coefficiente di Strikler, pari a 90 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$**
- $Q = 4,50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
- Diametro= (Diam ext. 1176,0 mm, da cui Diam int. 1160,0 mm per la condotta in acciaio spess. 8,0 mm)

da cui si ottiene

$$\Delta h = 1,26 \text{ m}$$

Tali valori vengono aumentati cautelativamente del 20% per tener conto delle perdite localizzate lungo il tracciato, in particolare della curva a 90° che dovrà effettuare la condotta prima dell'ingresso in centrale.

Le perdite di carico totali nella condizione di massima portata derivata, sono così quantificate:

$$\Delta h_{TOT} = 1,51 \text{ m}$$

Si può osservare come il risultato sia in linea con quanto evidenziato in tabella 30, dove sono evidenziate le perdite in funzione del diametro calcolate applicando l'algoritmo di Gauckler-Strickler nell'ipotesi, appunto, di condotta in acciaio DN1100 e spessore 8,0 mm.

8.3. Caratteristiche tecniche della condotta – Verifiche Idrauliche

Di seguito sono riassunte le caratteristiche tecniche della condotta:

Tabella 31: Caratteristiche condotta in progetto.

Caratteristiche Condotta	
$Q_{max_derivata} (m^3/s) =$	4,50
<i>Lunghezza Condotta (m) =</i>	123
<i>DN Condotta (mm)</i>	1160
<i>Diametro Interno Condotta (mm)</i>	1160
<i>Diametro Esterno Condotta (mm)</i>	1176
<i>Spessore Condotta (mm)</i>	8
<i>Velocità in Condotta (m/s)</i>	4,26

Naturalmente il tubo è stato dimensionato tenendo in debita considerazione la pressione di esercizio e la sovrapressione derivante dal colpo d'ariete.

La sovrapressione da colpo d'ariete in impianti di questo tipo dipende essenzialmente dalle modalità di esercizio degli organi di regolazione.

Prendendo in considerazione la teoria elastica la sovrapressione, per un arresto istantaneo, può essere calcolata con la formula di Joukowsky-Allievi:

$$\Delta p = \rho_{H_2O} \cdot a \cdot v_0 \cdot [N/m^2]$$

dove a è la celerità di propagazione delle onde di pressione e v_0 la velocità dell'acqua nella condotta.

La celerità di propagazione, invece, si calcola in funzione del materiale e della geometria della condotta ed è esprimibile mediante la relazione:

$$a = \sqrt{\frac{E_{H2O}}{\rho \cdot \left(1 + \frac{d}{s} \cdot \frac{E_{H2O}}{E_{P.R.F.V.}} \right)}}$$

Tabella 32: Caratteristiche condotta in progetto.

Calcolo Sovrapressione Colpo d'Ariete	
<i>Formula Joukowsky-Allievi</i>	
$\Delta p = \rho_{H2O} * a * v_0^2 (N/m^2)$	
$a = ((E_{H2O})/(\rho_{H2O} * (1 + d/s * E_{H2O}/E_{PE})))^{(1/2)}$	
$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$	
$1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar}$	
$a = \text{celerità propagazione onda (m/s)}$	
$d = \text{diametro esterno condotta (mm)}$	
$s = \text{spessore condotta (m/s)}$	
$E_{H2O} (N/m^2)$	2,09,E+09
$E_{PE} (N/m^2)$	2,11,E+11
$\rho_{H2O} (kg/m^3)$	1000
$a (m/s)$	922,47
$v_0 (m/s)$	4,26
$\Delta p (\text{bar})$	39,28

La sovrapressione da colpo d'ariete in tal caso risulta:

$$\Delta p = \rho_{H2O} \cdot a_{equivalente} \cdot v_0 = 39,28 \cdot \text{bar}$$

Per limitare questo valore è necessario intervenire sui tempi di manovra degli organi regolatori: una manovra lenta determina una sovrapressione limitata.

Una manovra può essere considerata lenta quando il tempo di chiusura è superiore al ritmo della condotta, definito come:

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{a}$$

In caso di manovra lenta la sovrapressione può essere calcolata con la formula di Michaud:

$$\Delta h = \frac{\tau}{\tau_C} \cdot \frac{a_{equivalente} \cdot v_0}{g}$$

Pertanto volendo contenere il colpo d'ariete ad un valore di circa 5 bar (corrispondente circa a 50 m, quindi una pressione massima di circa 16-17 bar) il tempo di chiusura dovrà essere uguale o superiore a:

$$\tau_C = \frac{\tau}{\Delta h} \cdot \frac{a_{equivalente} \cdot v_0}{g} = 2,14 \cdot s$$

Sostituendo nelle formule i dati di progetto si ottiene un tempo limite di chiusura di circa 2,14 secondi.

Tabella 33: Pressione di esercizio della condotta in progetto.

Tempi di Manovra	
$T = 2 * L/a$ ritmo della condotta (s)	0,27
$\tau_c = \text{tempo di chiusura}$	
Manovra Lenta se $\tau_c > T$	
Allora Sovrapressione da Colpo d'Ariete si calcola con la formula di Michaud	
$\Delta h = \tau / \tau_c * a * v_0 / g$	
Volendo limitare il Colpo d'Ariete ad un valore di 4 bar (40m di colonna d'acqua) il tempo di chiusura deve essere almeno pari a	
$\tau_c = T / \Delta h * a * v_0 / g$	
Δh (100 m di colonna d'acqua)	50
τ_c (Tempo di Chiusura) (s) =	2,14

Il calcolo della pressione di esercizio è riportata nella tabella:

Tabella 34: Pressione di esercizio della condotta in progetto.

Pressione di Esercizio	
Equazione Energia	
$H_{vasca\ carico} = H_{asse\ turbina} + v^2 / (2 * g) + p / \gamma + Perdite$	
$H_{vasca\ carico}$ (m s.l.m.)	605,95
$H_{asse\ turbina}$ (m s.l.m.)	482,60
Velocità in Condotta (m/s)	4,26
γ (peso specifico) (N/m ²)	9.806
Perdite (loc e distr.) (m)	7,13
Pressione di Esercizio (bar)	11,31
Pressione Statica (Kg/cm^2)	12,34

Risultati Finali	
Pressione di Esercizio	11,31
Pressione Colpo d'Ariete	5,0
Pressione Totale	16,3

Le pressioni di esercizio sono dunque nettamente inferiori ai limiti di carico indicati dai costruttori delle tubazioni in acciaio $P = 20^*((165^*S)/D)$: nel caso in esame la condotta DN1100 sp. 8,0 mm risulta collaudata ad una pressione di 23 bar.

Per ridurre le sovrapressioni, essendo prevista l'installazione di una turbina Pelton a 6 getti, si farà ricorso all'adozione di tegoli di deviazione, che daranno la possibilità di aumentare di molto il tempo di chiusura della valvola e quindi evitare sovrapressioni dannose per la condotta e problemi di sovravelocità nella girante e nell'alternatore ad asse verticale.

9. Centrale di Produzione

9.1. Scelta della turbina

Il sistema opera di presa-condotta forzata convoglia alla centrale di produzione una portata variabile durante l'anno da un minimo di circa $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ad un massimo di $4,50 \text{ m}^3/\text{s}$, valore utilizzato per il dimensionamento delle macchine.

I dati di progetto della turbina/e sono pertanto:

- $Q_{\max} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_{\text{netto}} = 121,84 \text{ m}$

La scelta e il dimensionamento del macchinario idraulico viene fatta ponendo come obiettivo il raggiungimento del massimo rendimento anche a portate ridotte, ma avendo cura di prelevare la massima portata possibile nei periodi di portate abbondanti.

Questo criterio ha portato a scegliere un macchina in grado di assorbire almeno 2.250 l/s pur conservando ottimi rendimenti anche per portate dell'ordine dei 200 l/s .

Dato il salto netto disponibile ($121,84 \text{ m}$), l'unica turbina che consente risultati di questo tipo è la turbina Pelton a più getti.

Si è optato per la soluzione che prevede l'impiego di DUE TURBINE PELTON A SEI GETTI AD ASSE VERTICALE ACCOPPIATE DIRETTAMENTE ALL'ALBERO DEL GENERATORE.

Sulla base di quanto precedentemente evidenziato i dati di progetto delle due turbine saranno:

- $Q_{\max} = 2,25 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H_{\text{netto}} = 121,84 \text{ m}$

S.P.A.R.T.A. s.r.l.

Società di Promozione Analisi Realizzo Tecnologie Avanzate

quindi con una potenza all'asse turbina pari a

$$P = \eta \cdot 9.81 \cdot Q \cdot H = 2420 \cdot KW$$

La Turbina pertanto avrà le seguenti caratteristiche

- Tipo = PELTON ad asse verticale
- Numero getti: 6
- $H_{netto} = 121,39 \text{ m}$
- $Q_{max} = 2.250 \text{ l/s}$
- $Q_{min} = 200 \text{ l/s}$
- $PT = 2.420 \text{ kW}$ (sull'albero della turbina)
- $N = 428 \text{ min}^{-1}$

Visto le potenze in gioco per ciascun gruppo il generatore impiegato sarà del tipo trifase sincrono ad asse verticale accoppiato direttamente alla girante della turbina.

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche tecniche del generatore:

- Potenza nominale: 3.000 KVA
- Potenza attiva nominale: 2.400 KW
- Tensione trifase concatenata: 6,3 KV
- Fattore di potenza: 0,8
- Frequenza: 50 Hz
- Giri: 428 min^{-1}
- Numero poli: 14
- Raffreddamento: a circuito chiuso IC81
- Classe di protezione: IP 23
- Accoppiamento diretto
- Cuscinetti rinforzati a rotolamento con lubrificazione a grasso;
- Forma costruttiva V1

10. Opera di scarico delle portate turbinate

10.1. Descrizione particolareggiata manufatto di scarico

L'acqua in uscita dalle giranti verrà convogliata su di un canale, realizzato sulla fondazione della centrale, caratterizzato da una larghezza di 2 m e una altezza 1,3 m, canale che si collegherà poi, a quota 480 m s.l.m., con la condotta di scarico in calcestruzzo circolare DN 1400.

La condotta, caratterizzata da una lunghezza di circa 55 metri, scaricherà quindi l'acqua sul torrente Vajont a quota 479 m s.l.m. all'incile del piccolo laghetto, formatosi ai piedi della diga, alimentato dalle acque che fuoriescono dalla galleria di by-pass in destra e dalla galleria di scarico di mezzo fondo della diga in sinistra.

L'opera di scarico verrà realizzata con la tecnica del Raise Boring, dapprima alesando il foro pilota fino ad un diametro di 1,84 m poi inserendo la condotte in c.a. (diametro estero 1700 mm) che verrà fissata alla roccia con iniezioni di malta cementizia.

10.2. Dimensionamento manufatto di scarico

La condotta di scarico è stata dimensionata per poter scaricare, con adeguato franco di sicurezza, la portata massima turbinabile pari a 4,5 m³/s.

Nella seguente tabella si riassumono le principali grandezze geometriche del manufatto di scarico.

Tabella 35: principali grandezze geometriche del manufatto (condotto) di scarico.

Diametro	1,4	m
Lunghezza	55	m
Quota imbocco	480,00	m s.l.m.
Quota sbocco	479,00	m s.l.m.
Pendenza	1,80%	

Considerando all'interno del condotto l'instaurarsi di un moto uniforme si può calcolare il tirante d'acqua quando in esso transiti la portata massima 4,5 m³/s.

La portata scaricabile a sezione piena risulta:

$$Q_0 = v \cdot A = k_s R_H^{2/3} A \sqrt{i} = k_s \frac{D}{4} \pi \frac{D^2}{4} \sqrt{i} = 5,42 \frac{m^3}{s}$$

con un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler $k_s = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Il rapporto di portata rispetto alla massima turbinabile (Q) risulta quindi:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{4,50}{5,42} = 0,83$$

A cui, in base alle tabelle di letteratura (**vedi Tabella 36**), corrisponde un grado di riempimento:

$$\frac{y}{D} = 0,70 \text{ .}$$

Il tirante idrico massimo risulta quindi:

$$y = 0,70 \cdot D = 0,98 \text{ m}$$

con un franco di sicurezza pari a 0,42 m, considerato più che adeguato.

Tabella 36: **condotta circolare**: area, perimetro bagnato, raggio idraulico, larghezza dello specchio liquido, profondità del baricentro, fattore di portata, velocità e portata (adimensionali) per una condotta parzialmente riempita.

Grado di riempimento y/D	Area A/D^2	Perimetro bagnato P/D	Raggio idraulico R_H/D	Larghezza specchio liquido b/D	Profondità del baricentro z/D	Fattore di portata $\frac{AR_H^{2/3}}{D^{8/3}}$	Rapporto di velocità v/v_o	Rapporto di portata Q/Q_o
0,51	0,4027	1,5908	0,2531	0,9998	0,2168	0,1611	1,0084	0,5170
0,52	0,4127	1,6108	0,2562	0,9992	0,2214	0,1665	1,0165	0,5341
0,53	0,4227	1,6308	0,2592	0,9982	0,2261	0,1718	1,0243	0,5513
0,54	0,4327	1,6509	0,2621	0,9968	0,2308	0,1772	1,0319	0,5685
0,55	0,4426	1,6710	0,2649	0,9950	0,2355	0,1826	1,0393	0,5857
0,56	0,4526	1,6911	0,2676	0,9928	0,2402	0,1879	1,0464	0,6030
0,57	0,4625	1,7113	0,2703	0,9902	0,2449	0,1933	1,0533	0,6202
0,58	0,4724	1,7315	0,2728	0,9871	0,2497	0,1987	1,0599	0,6375
0,59	0,4822	1,7518	0,2753	0,9837	0,2545	0,2041	1,0663	0,6547
0,60	0,4920	1,7722	0,2776	0,9798	0,2593	0,2094	1,0724	0,6718
0,61	0,5018	1,7926	0,2799	0,9755	0,2642	0,2147	1,0783	0,6889
0,62	0,5115	1,8132	0,2821	0,9708	0,2690	0,2200	1,0839	0,7060
0,63	0,5212	1,8338	0,2842	0,9656	0,2739	0,2253	1,0893	0,7229
0,64	0,5308	1,8546	0,2862	0,9600	0,2789	0,2306	1,0944	0,7397
0,65	0,5404	1,8755	0,2881	0,9539	0,2839	0,2358	1,0993	0,7564
0,66	0,5499	1,8965	0,2900	0,9474	0,2889	0,2409	1,1039	0,7729
0,67	0,5594	1,9177	0,2917	0,9404	0,2939	0,2460	1,1083	0,7893
0,68	0,5687	1,9391	0,2933	0,9330	0,2990	0,2511	1,1124	0,8055
0,69	0,5780	1,9606	0,2948	0,9250	0,3041	0,2560	1,1162	0,8215
0,70	0,5872	1,9823	0,2962	0,9165	0,3093	0,2610	1,1198	0,8372
0,71	0,5964	2,0042	0,2975	0,9075	0,3144	0,2658	1,1231	0,8527
0,72	0,6054	2,0264	0,2987	0,8980	0,3197	0,2705	1,1261	0,8680
0,73	0,6143	2,0488	0,2998	0,8879	0,3250	0,2752	1,1288	0,8829
0,74	0,6231	2,0715	0,3008	0,8773	0,3303	0,2798	1,1313	0,8976
0,75	0,6319	2,0944	0,3017	0,8660	0,3357	0,2842	1,1335	0,9119
0,76	0,6405	2,1176	0,3024	0,8542	0,3411	0,2886	1,1353	0,9258
0,77	0,6489	2,1412	0,3031	0,8417	0,3466	0,2928	1,1369	0,9394
0,78	0,6573	2,1652	0,3036	0,8285	0,3521	0,2969	1,1382	0,9525
0,79	0,6655	2,1895	0,3039	0,8146	0,3577	0,3008	1,1391	0,9652
0,80	0,6736	2,2143	0,3042	0,8000	0,3633	0,3047	1,1397	0,9775
0,81	0,6815	2,2395	0,3043	0,7846	0,3691	0,3083	1,1400	0,9892
0,82	0,6893	2,2653	0,3043	0,7684	0,3748	0,3118	1,1399	1,0004
0,83	0,6969	2,2916	0,3041	0,7513	0,3807	0,3151	1,1395	1,0110
0,84	0,7043	2,3186	0,3038	0,7332	0,3866	0,3183	1,1387	1,0211
0,85	0,7115	2,3462	0,3033	0,7141	0,3927	0,3212	1,1374	1,0304
0,86	0,7186	2,3746	0,3026	0,6940	0,3988	0,3239	1,1358	1,0391
0,87	0,7254	2,4039	0,3018	0,6726	0,4050	0,3264	1,1337	1,0471
0,88	0,7320	2,4341	0,3007	0,6499	0,4113	0,3286	1,1311	1,0542
0,89	0,7384	2,4655	0,2995	0,6258	0,4177	0,3305	1,1280	1,0605
0,90	0,7445	2,4981	0,2980	0,6000	0,4242	0,3322	1,1243	1,0658
0,91	0,7504	2,5322	0,2963	0,5724	0,4308	0,3335	1,1200	1,0701
0,92	0,7560	2,5681	0,2944	0,5426	0,4376	0,3345	1,1151	1,0733
0,93	0,7612	2,6061	0,2921	0,5103	0,4445	0,3351	1,1093	1,0752
0,94	0,7662	2,6467	0,2895	0,4750	0,4517	0,3353	1,1027	1,0757
0,95	0,7707	2,6906	0,2865	0,4359	0,4590	0,3349	1,0950	1,0745
0,96	0,7749	2,7389	0,2829	0,3919	0,4665	0,3339	1,0859	1,0714
0,97	0,7785	2,7934	0,2787	0,3412	0,4743	0,3322	1,0751	1,0657
0,98	0,7816	2,8578	0,2735	0,2800	0,4823	0,3294	1,0618	1,0567
0,99	0,7841	2,9413	0,2666	0,1990	0,4908	0,3248	1,0437	1,0420
1,00	0,7854	3,1416	0,2500	0,0000	0,5000	0,3117	1,0000	1,0000

IL PROGETTISTA