REGIONE LIGURIA

COMUNE DI ORTOVERO

PROVINCIA DI SAVONA

PROGETTO DI COSTRUZIONE DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA IN CORPO TRAVERSA NEL COMUNE DI ORTOVERO (SV)

Torrente
ARROSCIA

PROGETTO DEFINITIVO

REVISIONE	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
00	15/05/2017	PRIMA_EMISSIONE			

TAVOLA	TITOLO ELABORATO	SCALA
R-01	**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA**	**-**

PROPONENTE

OCAF S.r.l.
Via Valle d'Aosta n.10/4
17031 Albenga (SV)
P.IVA 01740170095

PROGETTISTI

Ing. Stefania Benzo
Viale Cagna 31 bis
12078 Ormea (CN)
P.I. 03524030040
Ordine degli Ingegneri della Spezia A1064
e-mail:studiogb@email.it
pec:benzo.stefania@ingpec.eu
tel. 0174 392281

IDENTIFICATIVO FILE:

NOTE: LA DIFFUSIONE E RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE DEL SEGUENTE ELABORATO E' VIETATA A TERMINE DI LEGGE.

Sommario

1 Premessa 4
2 Motivazioni dell'opera 4
3 Stato Attuale dei luoghi 5
4 Stato di progetto 8
5 Dati principali del progetto 10
6 Fabbisogno Idrico 10
7 Valutazione delle portate da rilasciare sul corpo traversa. 11
8 Descrizione opere a progetto. 13
8.1 Ripristino traversa esistente 14
8.1.1 Predimensionamento traversa 14
8.1.2 Classificazione della costruzione 14
8.1.3 Vita nominale della costruzione 15
8.1.4 Classe d'uso della costruzione 15
8.1.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica 15
8.1.6 Categoria del sottosuolo 16
8.1.7 Condizioni topografiche del sito 16
8.1.8 Classificazione sismica del sito 16
8.1.9 Analisi dei carichi 16
8.1.10 Peso proprio(Gk) 16
8.1.11 Carichi Permanenti (Gk) 16
8.1.12 Spinta idrostatica 17
8.1.13 Azioni Sismica (Esk) 17
8.1.14 Spettri di risposta elastici 18
8.1.15 Spinte di progetto del terreno e dell'acqua in condizioni sismiche 18
8.1.16 Spinta idrodinamica 19
8.1.17 Azione sismica 19
8.2 Approccio progettuale 19
8.3 Verifica a ribaltamento 21
8.4 Verifica a schiacciamento 21
8.5 Verifica a scorrimento 21
8.6 Verifica a sifonamento 22
8.7 Opera di presa 23
8.8 Griglia di pulizia 23
8.9 Scarico sabbie 24

8.10 La macchina idraulica 24
8.11 Canale di restituzione 26
8.12 Locale di gestione impianto e cabina di consegna 27
8.13 Realizzazione Cavidotto interrato 29
8.14 Strumenti di misura delle portate 29
8.15 Passaggio di rimonta della fauna ittica. 31
9 Regole operative dell'impianto 36
10 Calcolo della potenza nominale media annua. 39
10.1 Calcolo della potenza fiscale 39
10.2 Potenza installata e potenza resa 40
11 Calcolo della produzione media annua 40
12 Conclusioni 41

1 Premessa

La società Ocaf S.r.l. con sede legale in Albenga (SV) in Via Valle d'Aosta n.10/4 CAP 17031, proponente del presente progetto finalizzato alla valorizzazione energetica delle portate disponibili in località Ortovero con realizzazione di un impianto idroelettrico in corpo traversa, ha incaricato il tecnico scrivente Ing. Benzo Stefania iscritto all'ordine degli ingegneri di La Spezia al N. A1064, di redigere la documentazione tecnica di seguito illustrata.

2 Motivazioni dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo impianto idroelettrico, del tipo ad acqua fluente ubicato integralmente nel Comune di Ortovero sul Torrente Arroscia con turbina in corpo traversa. Tale impianto rappresenta un'opportunità di generazione da fonti rinnovabili. Le dimensioni puntuali dell'opera determinano un impatto ambientale limitato con un buon inserimento ambientale nel contesto progettuale e territoriale. La centrale realizzata all'interno della traversa esistente in parte demolita dai più recenti eventi alluvionali sarà di tipo sommergibile, quindi non visibile esternamente, la cabina di consegna ed il locale di automazione di nuova costruzione sono collocati sul versante orografico sinistro. Le opere risultano ben inserite nel contesto urbanistico locale ed ambientalmente compatibili con i deflussi idrici delle piene con tempo di ritorno due centennale. Gli elementi raccolti ed i sopralluoghi hanno consentito di elaborare l'ipotesi infrastrutturale ed impiantistica che armonizzi l'aspetto della produzione energetica con lo sfruttamento delle risorse locali e che limiti al massimo l'impatto ambientale. Come si vedrà nei capitoli successivi, l'Unione Europea sta incentivando forme di produzione di energia da fonti rinnovabili che abbiano carattere locale, per garantire: sostenibilità, competitività e sicurezza dell'approvvigionamento energetico. La Commissione ha infatti più volte sottolineato che l'Unione europea è fortemente dipendente dall'approvvigionamento energetico esterno e le sue importazioni coprono oggi il 50% della domanda. Persistendo l'attuale tendenza, questa percentuale è destinata ad aumentare entro il 2030 fino al 70%. Inoltre è da ricordare l'impegno per la riduzione delle emissioni in atmosfera siglato dall'Italia e dagli altri Paesi industrializzati e in via di transizione attraverso il protocollo di Kyoto. Esso prevede per l'Italia una riduzione alle emissioni del 20% rispetto all'anno di riferimento 1990 entro il 2020. Dunque, a fronte delle sfide che l'Italia si trova ad affrontare e della situazione socio-economica globale, è quanto mai necessario ricorrere a fonti energetiche rinnovabili ed emissione nulla di gas climalteranti, come quelle previste dal progetto in analisi.

3 Stato Attuale dei luoghi

Il tratto di torrente oggetto di intervento è stato interessato nel corso degli anni da numerosi interventi di controllo di erosione del fondo come illustrato in figura 1 in cui è riportata un'immagine aerea risalente all'anno 2000 in cui si vedono (cerchi) tutte le traverse funzionanti.

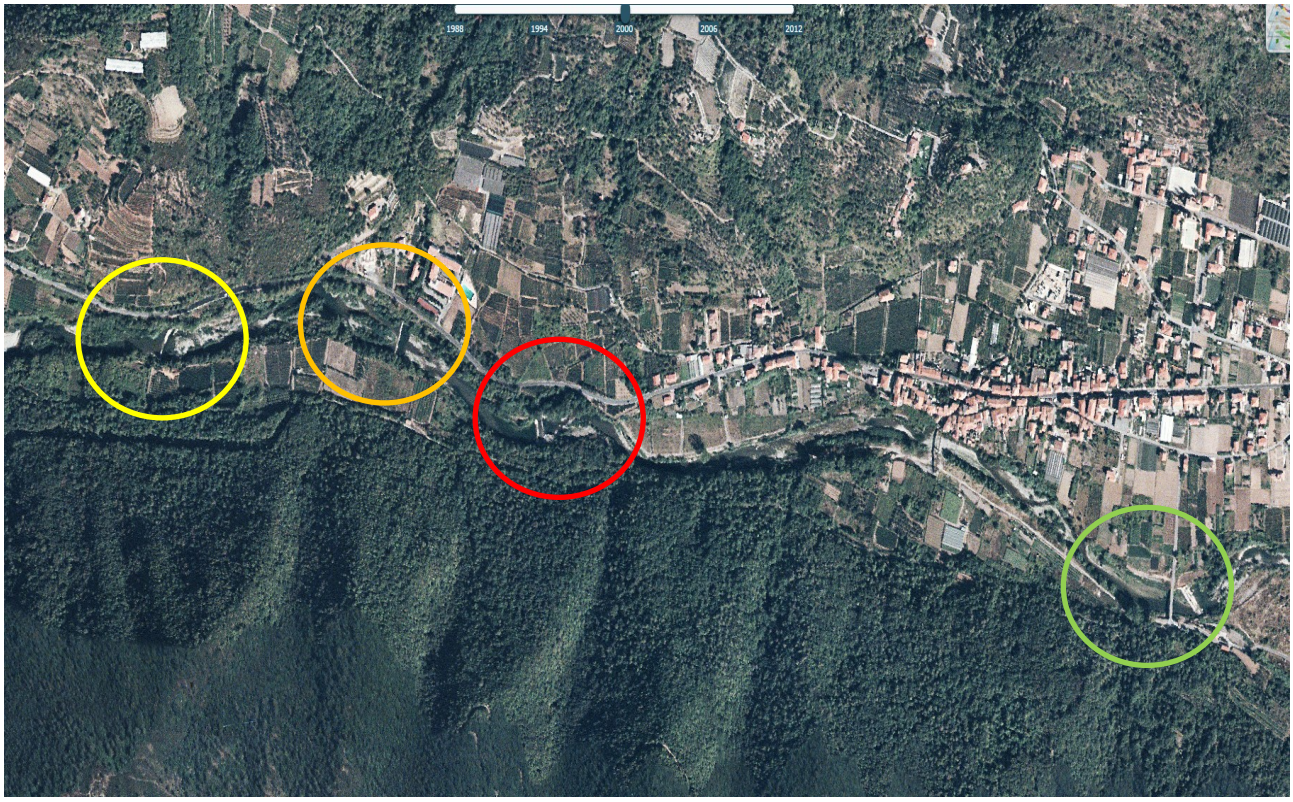


Figura 1 Intervento di sistemazione fondo alveo ancora funzionante nell' anno 2000 (fonte geo portale nazionale)

La scarsa manutenzione verificatasi negli ultimi vent'anni ha comportato un progressivo danneggiamento fino al collasso di alcune di queste traverse.

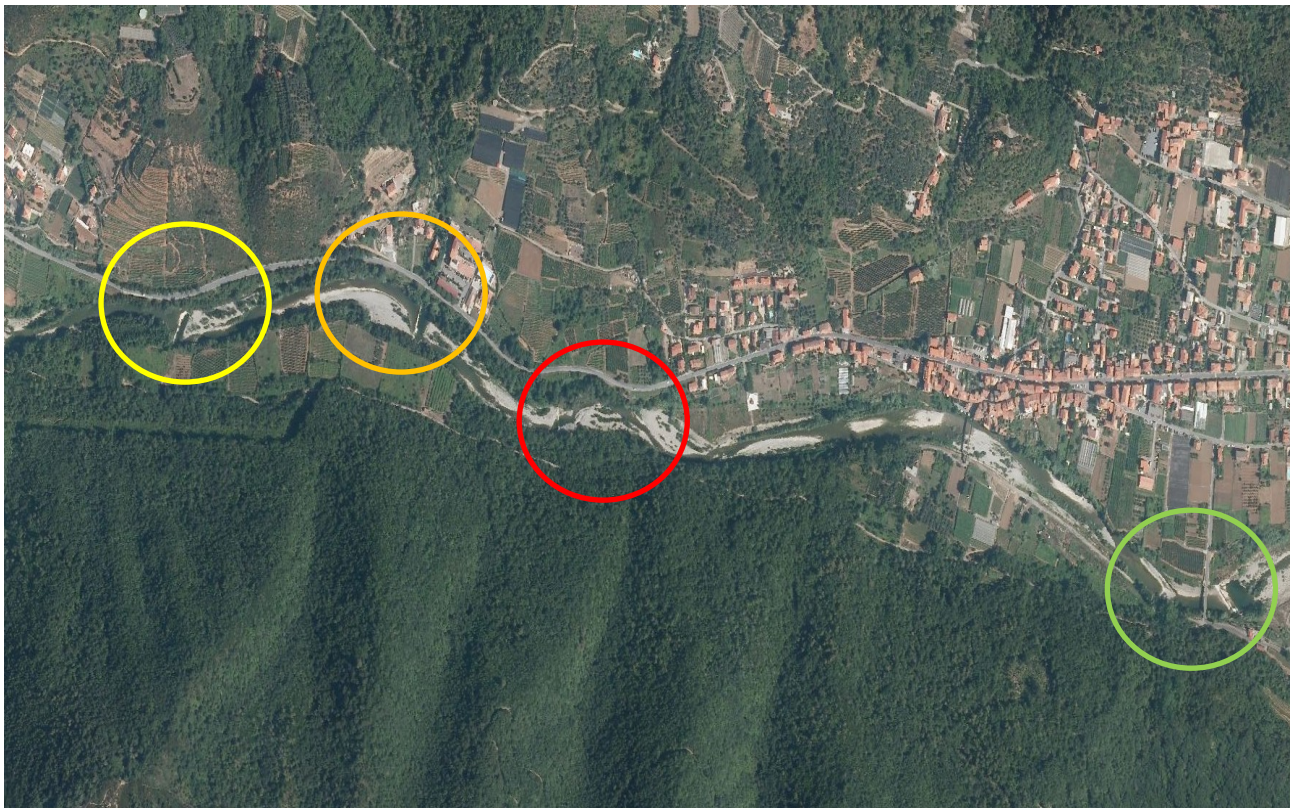


Figura 2 Stato Attuale (anno 2012) (fonte geo portale nazionale)

Dalla figura 2 risulta evidente come la rottura della traversa oggetto di intervento (cerchio rosso) abbia innescato un effetto domino dovuto al fenomeno di abbassamento del fondo che propagandosi verso monte ha comportato il collasso della traversa intermedia (cerchio arancione), fino, a seguito degli eventi calamitosi di novembre 2016, ad interessare la traversa più a monte (cerchio giallo) che riveste rilevante importanza in quanto punto di prelievo della bealera comunale a servizio di Ortovero.

Allo stato attuale su entrambe le sponde sono ben visibili fenomeni di erosione del piede di sponda, che se in sponda destra interessano prevalentemente campi coltivati in sponda sinistra possono arrivare in non troppo tempo ad interessare la viabilità (SP 453). Tale strada risulta la principale via di accesso alla val Arroscia.

Gli eventi di piena avvenuti negli ultimi anni (2010, gennaio 2013, gennaio 2014 ed autunno 2014 novembre 2016) hanno sicuramente aggravato lo stato della traversa con un evidente apertura della breccia centrale, come evidenziato dal nuovo rilievo di dettaglio eseguito nel novembre-dicembre 2015.

Nelle figure seguenti si riportano due fotografie in cui si evince che le opere di protezione della bealera e della sponda furono realizzate con le opere di sistemazione fluviale (traverse) in perfetto stato di esercizio. Allo stato attuale il generale abbassamento del fondo ha portato allo scalzamento delle opere esistenti.



Figura 3 Evidenza di fenomeni erosivi dovuti ad abbassamento del fondo a monte della traversa parzialmente demolita (marzo 2017)



Figura 4 Dettaglio sotto scavazione delle strutture esistenti

4 Stato di progetto

Il progetto prevede l'utilizzo di una traversa esistente (Figura 5) in parte demolita dagli ultimi eventi di piena per la valorizzazione energetica delle portate del Torrente Arroscia mediante la realizzazione di un mini impianto idroelettrico a salto concentrato posto in corpo traversa. Al fine di garantire il continuum eco sistemico interrotto della traversa esistente e data la presenza di anguille, è previsto di realizzare un passaggio di rimonta per la fauna ittica specifico anche per le particolari caratteristiche natatorie delle anguille.



Figura 5 Inquadramento area oggetto dell'intervento.

Data la condizione di conservazione della traversa esistente come ben visibile nella immagine riportata di seguito si prevede la ricostruzione della traversa utilizzando la medesima tipologia per poter sfruttare energeticamente le acque del Torrente Arroscia mediante un impianto idroelettrico in corpo traversa.



Figura 6 Stato attuale Traversa.

5 Dati principali del progetto

Tabella 1 Dati caratteristici del progetto

Bacino idrografico:	Centa
Sottobacino idrografico:	Torrente Arroscia
Corso d'acqua:	Torrente Arroscia
Bacino di dominio:	211.128 km^2
Coordinate-Gauss-Boaga della sezione di chiusura:	N. 4878130.67 m E. 1426666.86 m
Altitudine massima:	2152 m s.l.m.
Altitudine minima:	56.75 m s.l.m.
Altitudine media*:	743.90 m s.l.m.
Quota media pelo libero alla presa	56.75 m s.l.m.
Quota media pelo libero allo scarico	53.10 m s.l.m.
Quota di massima piena TR 200 a monte della traversa	64.39 m s.l.m.
Quota soglia traversa	56.75 m s.l.m.
Quota fondo canale sghiaiatore	54 m s.l.m.
Quota soglia d'ingresso scala ittiofauna Quota soglia superiore Quota soglia di fondo	 55.95 m s.l.m. 55.25 m s.l.m.
Quota imposta foro per rilascio DMV	54.00 m s.l.m.
Portata massima derivata:	6.000 m^3/s
Portata minima derivata:	1.200 m^3/s
Portata media derivata:	2.460 m^3/s
DMV	0.270 m^3/s
Salto disponibile medio:	2.65 m
Potenza nominale dell'impianto	63.97 kW
Potenza installata	145.00 kW
Potenza massima resa	121.08 kW
Produzione media annua netta	386 238.24 kW

*L'altitudine media è stata valutata da DTM mediante Gis.

6 Fabbisogno Idrico

La tipologia d'opera, puntuale e con assenza di tratto sotteso non genera modifiche sul fabbisogno idrico locale, in quanto, in funzione delle portate disponibili, l'impianto si autoregola. Nel caso in cui la portata disponibile scenda al di sotto del deflusso minimo vitale (DMV), l'impianto sarà fermo, salvaguardando passaggio per ittiofauna. Come riportato nella relazione idrologica i volumi prelevati risultano compatibili con il fabbisogno idrico.

7 Valutazione delle portate da rilasciare sul corpo traversa.

Di seguito vengono stimate le portate di DMV e conseguentemente le portate effettivamente rilasciate sul corpo traversa. La Regione Liguria con Deliberazione N.1175 del 25/09/2013 come indicato anche nel Piano di Tutela delle Acque ha provveduto ad individuare la seguente metodologia di calcolo per la valutazione del Deflusso Minimo Vitale:

$$DMV = k * q_{meda} * S * M * Z * A * T$$

dove:
k è la frazione della portata media annua, che per l'area in esame è stata definita secondo la regola definita dal Piano di Bacino del T. Arroscia, che stabilisce la seguente relazione:

$$k = -2.39 \cdot 10^{-5} \cdot S + 0.058$$

che fornisce un valore di k = 0.054;
q_{meda} è la portata specifica media annua naturale per unità di superficie del bacino sotteso, espressa in l/s km^2;
S è la superficie del bacino sottesa dalla sezione del corpo idrico, espressa in km^2, vale S = 211.13 km^2;
M è il parametro morfologico che per la classe CM4 (Reticolo idrografico naturale di pianura) vale M = 1.15;
Z è il massimo dei valori dei tre parametri N, F, Q, calcolati distintamente come:

- N parametro naturalistico
- F parametro di fruizione
- Q parametro relativo alla qualità delle acque fluviali (0.3 SC+0.7 SE =1)

dove i parametri sono determinati mediante la seguente tabella e gli elaborati grafici allegati alla legge regionale:

		STATO CHIMICO	
		BUONO	NON BUONO
STATO ECOLOGICO	Elevato	1.0	1.1
	Buono	1.0	1.1
	Sufficiente	1.3	1.3
	Scarso	1.4	1.5
	Cattivo	1.6	1.6

Tabella 2 Valutazione dei parametri che tengono conto dello stato chimico SC e dello stato ecologico SE del fiume in esame.

A tiene conto dell'interazione tra le acque superficiali e le acque sotterranee, vale A = 1.
T infine è il parametro che tiene conto della modulazione nel tempo del DMV.

La valutazione della portata specifica media annua naturale di un corso d'acqua per unità di superficie del bacino (q_{meda}) è effettuata utilizzando il metodo illustrato nella normativa regionale utilizzando i dati riportati nella cartografia del piano di bacino P.T.A.2015-Portate e DMV ricavando:

Idrologia superficiale e DMV - Corpi Idrici Fiumi

Risultato della Selezione

Identificativo	102
Nome Corpo Idrico	T. Arroscia 4
Codice regionale corpo idrico	4550044li
Codice europeo corpo idrico	IT07RW4550044LI
Codice distretto di appartenenza	ITC
Superficie al punto di chiusura	213.48
Portata	4467.069
DMV	228.97865

SITAR Servizi Informativi Territoriali e Ambientali Regionali

Tabella 3 Dati cartografia PTA.2015.Portate e DMV

$$q_{meda} = \frac{q_{media}}{S} = \frac{4.467 * 1000}{213.48} = 20.93 \ l/s \ /km^2$$

dove q_{media} è la portata media naturale alla sezione di chiusura del tratto di torrente esaminato nel Piano di Bacino posto in corrispondenza della traversa immediatamente a valle dell'abitato di Ortovero.

Il DMV base calcolato è il seguente:

$$DMV_{base} = 0.054 * 20.93 * 211.128 * 1 * 1 * 1.15 = 269.035 \frac{l}{s} = 0.269 \ m^3/s$$

Valore maggiore del valore minimo riportato dal PTA-2015.Potate e DMV di 228.97 l/s come riportato nella tabella 2

Pertanto in virtù anche di quanto esposto precedentemente si ritiene di lasciare una portata di Deflusso Minimo costante pari a 270 l/s che defluirà in parte nell'apertura lasciata nella paratoia sghiaiatrice (82 l/s) ed in parte nel passaggio per l'ittiofauna previsto (188 l/s).

8 Descrizione opere a progetto.

Nel presente capitolo sono descritte e dimensionate le principali opere a progetto.
L'impianto idroelettrico a progetto è realizzato all'interno della traversa esistente in località Ortovero, affiancato da uno scarico sabbie sempre in corpo traversa per garantire la continuità del trasposto solido in alveo.
La turbina è realizzata in un apposito canale nel corpo traversa in prossimità dell'imbocco del passaggio di rimonta per la fauna ittica. Tale soluzione consente di mantenere le opere civili contenute, riducendo le opere murarie al solo canale in quanto la particolare tipologia di turbina è realizzata su una paratoia movimentabile.

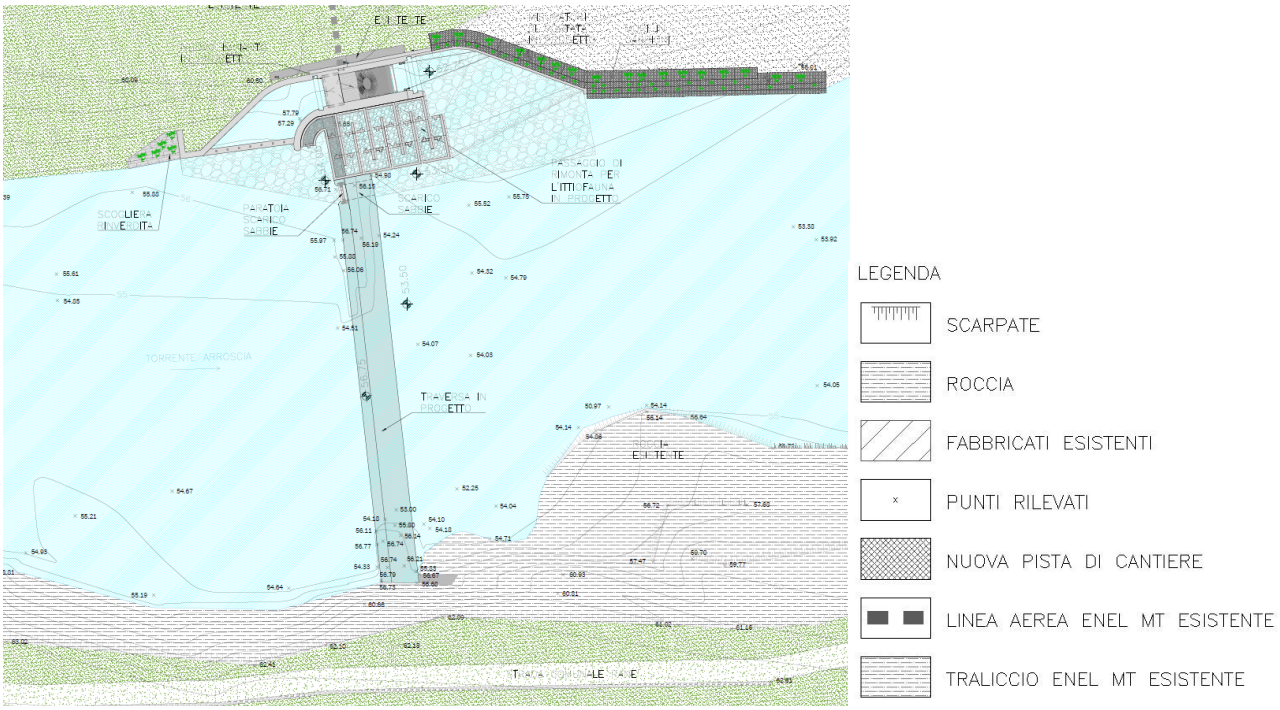


Figura 7 Localizzazione delle opere a progetto realizzate all'interno della traversa esistente

Le opere a progetto consistono dunque in:

- Ripristino della traversa
- Realizzazione opere civili (setti laterali e platea di fondazione)
- Messa in opera della paratoia d'impianto
- Alloggiamento della paratoia/turbina (del tipo VLH)
- Messa in opera delle finiture esterne, passerelle, linee vita, sistemazione accessi
- Realizzazione della scala di risalita ittiofauna
- Realizzazione del locale automazione e controllo
- Realizzazione locale Enel.

Di seguito sono illustrate le singole opere.

8.1 Ripristino traversa esistente

Il ripristino della traversa con adeguata fondazione consente oltre allo sfruttamento energetico dovuto al ripristino del salto geodetico preesistente anche il controllo dell'abbassamento del fondo alveo che allo stato attuale si sta propagando verso monte con potenziali e significativi impatti negativi sull'economia locale prevalentemente legata all'agricoltura e sulla viabilità.

8.1.1 Predimensionamento traversa

La presente relazione riporta tutte le necessarie verifiche previste dalla normativa vigente ed in particolare il decreto 26 giugno 2014 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse), di tipo strutturale ed idraulico inerenti le opere in progetto.
Il pre-dimensionamento della traversa viene eseguito secondo le indicazioni del decreto 26 giugno 2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse). Secondo le norme la valutazione della sicurezza della traversa avviene secondo uno stato limite di esercizio, verificando lo stato limite di danno, e lo stato limite ultimo verificandolo stato limite di salvaguardia della vita. Le azioni prese in considerazione nella verifica globale della traversa coincidono con quelle indicate nel punto C.7 delle norme di riferimento:

- peso proprio
- la spinta idrostatica
- le sottospinte
- la spinta dovuta all'interrimento
- le azioni sismiche

8.1.2 Classificazione della costruzione

La tabella sottostante riassume i valori adottati, ai fini della determinazione dell'azione sismica, per la classificazione del sottosuolo e della struttura; i paragrafi seguenti illustrano nel dettaglio le motivazioni delle scelte operate.

Tabella 4 Parametri della struttura

Parametri della struttura					
Classe d'uso	Vita Vn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
II	50.0	1.0	50.0	C	T1

Coordinate geografiche

La struttura in progetto ha le seguenti coordinate geografiche, espresse in gradi decimali:

Tabella 5 Coordinate geografiche sito in esame

Id nodo	Longitudine	Latitudine
Loc.	8.0970	44.0530



Figura 8 *Ubicazione opera*

8.1.3 Vita nominale della costruzione

La costruzione in progetto è stata considerata di tipo 2 (opere ordinarie); in base alla Tabella 2.4.I, si è pertanto assunto:
VN = 50 anni

8.1.4 Classe d'uso della costruzione

La costruzione in progetto è stata considerata appartenente alla classe II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali; industrie con attività non pericolose per l'ambiente) per cui è definito un valore del coefficiente d'uso pari a:
CU = 1.0

8.1.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica

In base all'adozione dei suddetti valori per la vita nominale VN e per il coefficiente d'uso CU, il periodo di riferimento per l'azione sismica risulta pari a:
VR = VR × CU = 50 anni
come evidenziato graficamente dalla tabella seguente:

Tabella 6 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Periodo di riferimento per l'azione sismica VR					
Tipo della costruzione	Vita Vn [anni]	I	II	III	IV
1 Opere provvisorie	< 10	35	35	35	35
2 Opere ordinarie	> 50	35	50	75	100
3 Grandi opere	> 100	70	100	150	200

8.1.6 Categoria del sottosuolo

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valutata mediante l'approccio semplificato, consistente nell'attribuzione del sottosuolo ad una delle categorie di riferimento indicate in Tabella 3.2.II.
Tale attribuzione è stata effettuata dal geologo sulla base dell'assetto lito-stratigrafico locale (cfr. R-05_Relazione di inquadramento geologico), da cui risulta che il sottosuolo del sito di progetto è stato classificato come appartenente al tipo C.

8.1.7 Condizioni topografiche del sito

Il sito di costruzione è posto su una superficie pianeggiante, pendio con inclinazione media non superiore a 15°, per cui rientra nella categoria T1.

8.1.8 Classificazione sismica del sito

Il territorio del Comune di Ortovero (SV) risulta attualmente classificato come zona sismica 3.

8.1.9 Analisi dei carichi

8.1.10 Peso proprio(Gk)

I valori del peso proprio della struttura è stato ricavato moltiplicando il volume dei singoli elementi per il peso specifico dei singoli materiali:

- Strutture in c.a. 25.00 kN/m^3
- Terreno 18.00 kN/m^3
- Acqua 10.00 kN/m^3

8.1.11 Carichi Permanenti (Gk)

Spinta delle terre

La spinta delle terre è stata considerata sia a monte che valle della traversa definita con riferimento al coefficiente di spinta attiva ka e passiva kp. In base alla stratificazione del terreno si è potuto considerare nei calcoli strutturali un terreno con le seguenti caratteristiche:
terreno ghiaioso
peso specifico: 18 kN/mc
angolo di attrito: 28°
La spinta di progetto del terreno è regolato dalla seguente espressione:
St =1/2* ka * γt * ht^2
dove:
St = Spinte del terreno in condizioni statiche
γt = peso specifico del terreno

ht = affondamento del punto rispetto al piano di calpestio
ka = coefficiente di spinta attiva

8.1.12 Spinta idrostatica

La spinta idrostatica è stata considerata pari al livello di invaso sulla traversa (sempre presente).
La spinta sulle superfici è regolata dalla seguente espressione:
$Ews = 1/2 * \gamma_{H2O} * hs^2$
Ews = Spinta dell'acqua in condizioni statiche
γ_{H2O} = peso specifico dell'acqua
hs = affondamento del punto rispetto al pelo libero
Le verifiche globali riguardano sia la condizione di esercizio che di massima piena duecentennale.

8.1.13 Azioni Sismica (Esk)

L'azione sismica sulla costruzione è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito http://esse1.mi.ingv.it/. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell' allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione).
L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento Vr che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura). Fissato il periodo di riferimento Vr e la probabilità di superamento Pver associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno Tr e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):
ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;
Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
T*c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
Parametri della struttura secondo allegato B delle N.T.C. 2008 ed i punti 3.2.2.2 – 3.2.3.2.1 delle N.T.C. 2008

Tabella 7 Parametri della struttura

Parametri della struttura					
Classe d'uso	VitaVn [anni]	Coeff. Uso	Periodo Vr [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
II	50.0	1.0	50.0	C	T1

8.1.14 Spettri di risposta elastici

In funzione delle coordinate del sito di costruzione e delle classificazioni operate, sono stati ricavati i valori delle grandezze per la definizione dello spettro elastico di riferimento.

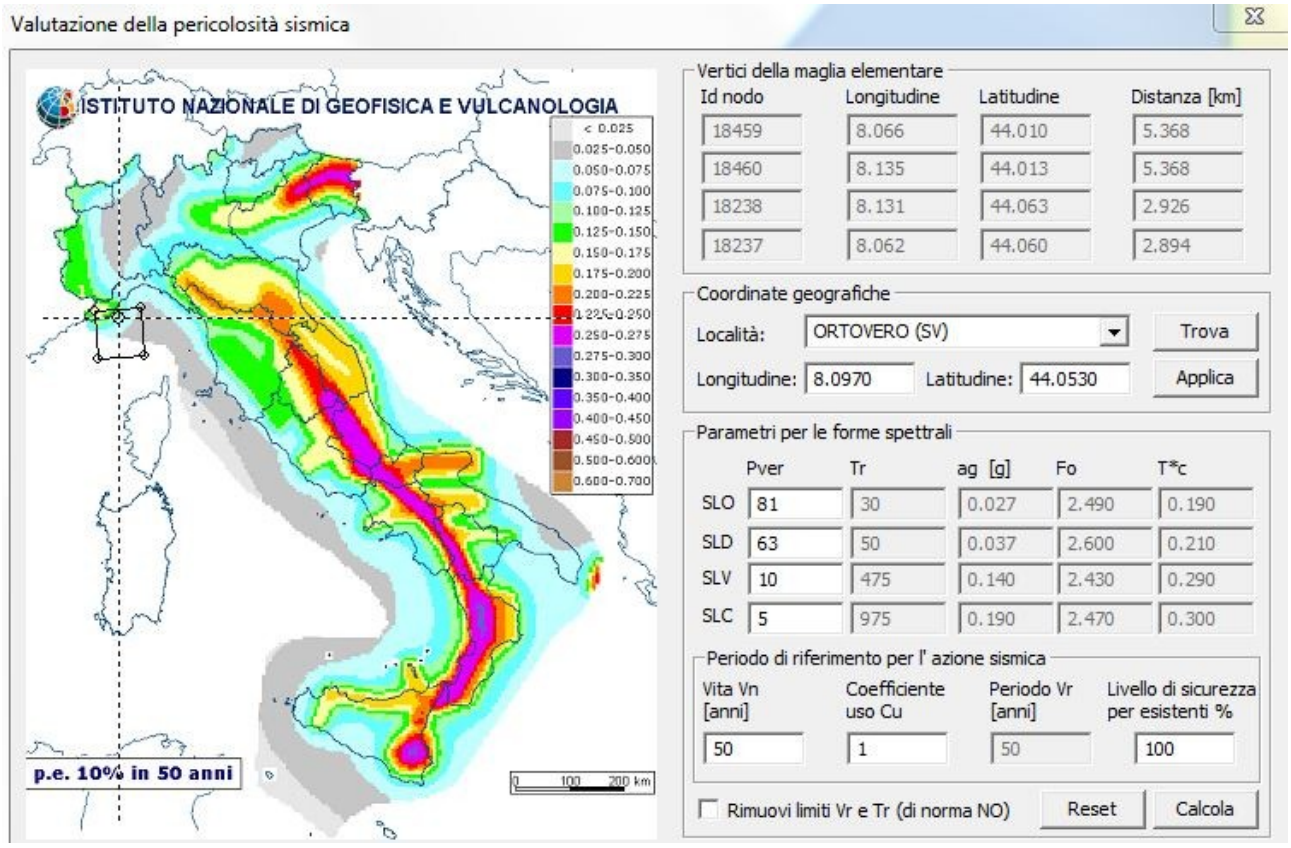


Figura 9 Pericolosità sismica

La traversa per il ruolo che assume si deve considerare fissa in quanto non è in grado di subire spostamenti rispetto al terreno a tale scopo si assume il coefficiente βm pari ad 1 per cui si ottiene:

- $k_h = \beta m \times a_{max}/g$
- $k_v = \pm 0.5 \times k_h$

L'analisi simica è stata condotta con il metodo di analisi statica equivalente caratterizzate dal prodotto delle masse per i coefficienti sismici calcolati precedentemente.

8.1.15 Spinte di progetto del terreno e dell'acqua in condizioni sismiche

La spinta di progetto totale Ed (statica + dinamica) viene calcolata secondo la relazione:

$Ed = 0.5 * \gamma^* * (1 \pm kv) * K * H^2 + Ews + Ewd$

in cui:

γ^* è il peso dell'unità di volume del terreno

Kv è il coefficiente sismico verticale

K è il coefficiente di spinta del terreno (statico+dinamico) calcolato con Mononobe Okabe

H è l'altezza della traversa

Ews è la spinta dell'acqua in condizioni statiche

Ewd è l'incremento di spinta dell'acqua in condizioni dinamiche

8.1.16 Spinta idrodinamica

La spinta idrodinamica è stata considerata pari al livello di invaso sulla traversa (sempre presente).
La spinta sulle superfici è regolata dalla seguente espressione:
Ewd = a*γ_{H2O} *c* y_0
Ewd = Azione di inerzia dell'acqua in condizioni dinamiche
γ_{H2O} = peso specifico dell'acqua
Y_0 = differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto più depresso dell'alveo naturale al piede del paramento;

$$c = \frac{cm}{2}\left[\frac{y}{y_0}\left(2-\frac{y}{y_0}\right)+\sqrt{\frac{y}{y_0}\left(2-\frac{y}{y_0}\right)}\right]$$

Y= differenza tra la quota dell'acqua presente nella combinazione sismica e la quota del punto generico del paramento a cui è associata la pressione p;
c_m = -0.0073α +0.7412
α = angolo di inclinazione del paramento rispetto alla verticale.
Le verifiche globali riguardano sia la condizione di esercizio che di massima piena duecentennale.

8.1.17 Azione sismica

Nell'ambito di analisi pseudo statiche, l'azione sismica viene rappresentata da una serie di forze statiche equivalenti, orizzontali e verticali dati dal prodotto dei pesi delle masse in gioco per i cosiddetti coefficienti sismici. Per quanto riguarda le azioni sismiche in direzione verticale, esse possono agire sia verso il basso sia verso l'alto di volta in volta sono prese le condizioni più sfavorevoli.

8.2 Approccio progettuale

Coefficienti parziali di sicurezza sui materiali

Le verifiche devono essere eseguite almeno nei confronti dei seguenti stati limiti:

1- Stabilità globale del complesso traversa-terreno

(Approccio 1 – Comb. 2 (A2+M2+R2)

2- Collasso per scorrimento del piano di posa

(Approccio 1 – Comb. 1 (A1+M1+R1) e Comb.2 (A2+M2+R2) e/o
Approccio 2 – (A1+M1+R3))

3- Collasso per carico limite dell'insieme traversa-terreno

(Approccio 1 – Comb. 1 (A1+M1+R1) e Comb.2 (A2+M2+R2) e/o
Approccio 2 – (A1+M1+R3))

I coefficienti parziali sulle azioni, e sui materiali γ_M sono stati adottati come specificato nel seguito.
Approccio 1 combinazione 1 e combinazione 2

a) Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Tabella 6.2.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.*

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

b) Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

c) Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Tabella 6.4.I - *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.*

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

d) Coefficienti parziali γ_R per le resistenze globali

Tabella 6.8.I – *Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.*

Coefficiente	**R2**
γ_R	1.1

Geometria *dell'opera*

Per le verifiche globali della traversa si è considerata la condizione di traversa in esercizio con livello di acqua corrispondente al massimo invaso. Di seguito vengono riportate le sezioni trasversali di verifica:

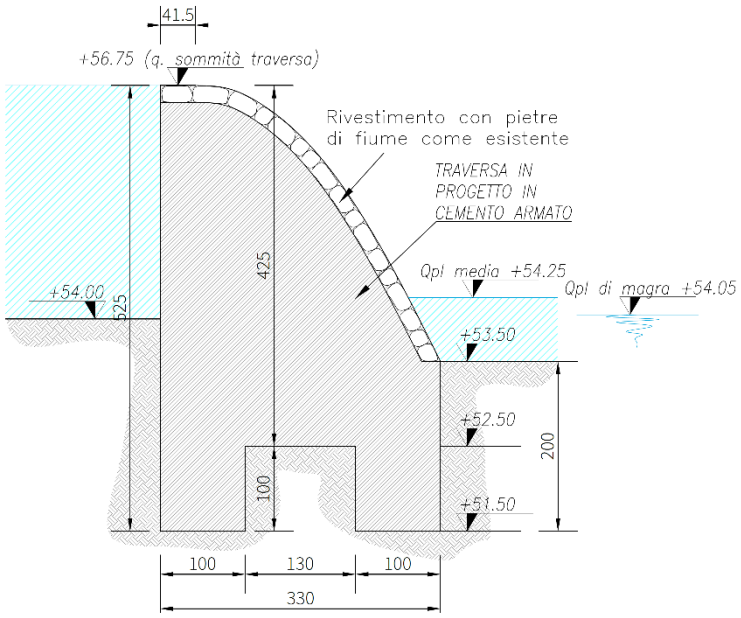


Figura 10 Sezione tipologica della traversa

8.3 Verifica a ribaltamento

Nell'eseguire la verifica si considerano positive le forze verticali dirette verso il basso, le forze orizzontali dirette verso monte e i momenti aventi senso orario. Sono stati calcolati i coefficienti di sicurezza, per tutte le condizioni di carico e le combinazioni, riportando di seguito la condizione peggiore.

Coefficiente di sicurezza al ribaltamento

$C_{RIB} = M_{STAB} / |M_{RIB}| = 1.25$

8.4 Verifica a schiacciamento

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le combinazioni di più gravose, come riportate nelle tabelle precedenti. Sono stati calcolati i coefficienti di sicurezza, per tutte le condizioni di carico, riportando di seguito la condizione peggiore.

Coefficiente di sicurezza allo schiacciamento

$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 1.15$

8.5 Verifica a scorrimento

Nell'eseguire la verifica vengono prese in considerazione le 12 combinazioni di carico riportate nella tabella prendente, nella quale sono indicati i relativi coefficienti di sicurezza parziale di verifica e di attrito per il terreno di fondazione ($f_t = \tan(\varphi_f) / \gamma_\varphi$) utilizzati. Sono stati calcolati i coefficienti di sicurezza allo scorrimento, per tutte le condizioni di carico, riportando la condizione peggiore.

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$C_{SCO} = (\sum_{norm} \cdot f_t / R) / \sum_{||} = 1.10$

8.6 Verifica a sifonamento

Per evitare che possa verificarsi il fenomeno di sifonamento (heaving e piping), la velocità nel mezzo poroso deve essere in ogni punto, tale da non rimuovere le particelle più fini del terreno. Secondo questa impostazione si adotta il criterio semplificato di Bligh-Lane che impone lo sviluppo del contatto orizzontale e verticale, tra opera e terreno sia un multiplo adeguato del dislivello h da controllare.

Detti L_0 e L_v gli sviluppi orizzontali (con il peso ridotto di 1/3 h , LANE) e verticali, definito il fattore di sicurezza F* si deve verificare che:

$$F = \frac{\frac{L_0}{3}+L_v}{h} \geq F^*$$

I valori di F* sono riportati di seguito e per ghiaia grossa con ciottoli risulta pari a 3.0.

Tabella 8 Regola di Lane; Fattore di sicurezza al variare della natura del terreno(Fonte: Manuale di ingegneria civile ambientale Zanichelli)

Natura Terreno	F*
Sabbia molto fine o limo	8.5
Sabbia fine	7.0
Sabbia media	6.0
Sabbia grossa	5.0
Ghiaia fine	4.0
Ghiaia media	3.5
Ghiaia grossa con ciottoli	3.0
Massi con ciottoli	2.5
Argilla molle	3.0
Argilla media	2.0
Argilla compatta	1.8
Argilla molto compatta	1.6

Nel caso in esame si ottiene:

$$F = \frac{\frac{3.3}{3}+6.5}{2.50} = 3.04 \geq 3.0$$ VERIFICATO

8.7 Opera di presa

L'impianto verrà posto in sinistra orografica accostato alla sponda per proteggere le opere elettro-meccaniche dal flusso di piena che per la conformazione morfologica del tratto si concentra in sponda opposta. Pertanto sarà necessario realizzare un breve tratto di canale di adduzione protetto da una linea di barre paratronchi con lo scopo di limitare il più possibile l'ingresso del materiale solido flottante nell'impianto.
La presa presenta un ingresso a soglia dimensioni larghezza 8.05 m e spessore 0.5 m posta alla quota +55.75 m s.l.m. Al di sopra della soglia, a passo costante, sono immorsate le barre paratronchi.
Il breve tratto di adduzione realizzato in cemento armato presenta un andamento curvilineo e convoglia le acque prelevate direttamente alla turbina.



Figura 11 Opera di presa

Le dimensioni dell'opera consentono, in ogni condizione di funzionamento, di mantenere le velocità in ingresso estremamente contenute. Con una larghezza utile all'ingresso dell'acqua di 7 m calcolata sottraendo alla larghezza totale lo spazio occupato dalle barre paratronchi ed un battente medio di circa 1 m si verificano velocità variabili da 0.17 m/s all'avvio dell'impianto a 0.85 m/s con portata massima di esercizio. In corrispondenza del tratto iniziale dell'opera di presa e del canale sghiaiatore si sono predisposti gli scassi per i panconi per garantire la manutenzione dell'opera.

8.8 Griglia di pulizia

Data la tipologia di turbina dotata di un proprio sistema di pulizia del distributore, si è scelto di dotare l'impianto di un'ulteriore griglia verticale a maglia larga a protezione della paratoia d'impianto. L'eventuale materiale solido flottante che può oltrepassare la griglia di protezione primaria è lasciato proseguire verso valle da una piccola paratoia mobile posta in testa alla turbina.

8.9 Scarico sabbie

Immediatamente a lato dell'ingresso del passaggio di rimonta dell'ittiofauna si prevede la realizzazione di uno scarico sabbie, governato da una paratoia meccanica. Lo scarico è una tubazione di diametro interno DN 1400 mm, posta alla quota +54.00 m s.l.m., gettato in opera. Tale tubazione con opportuno piano di gestione, ad esempio con entrata in funzione ogni qualvolta si raggiunge una determinata portata in alveo superiore o pari alla Q10, consente di mantenere perfettamente funzionante sia il passaggio di rimonta che l'impianto.

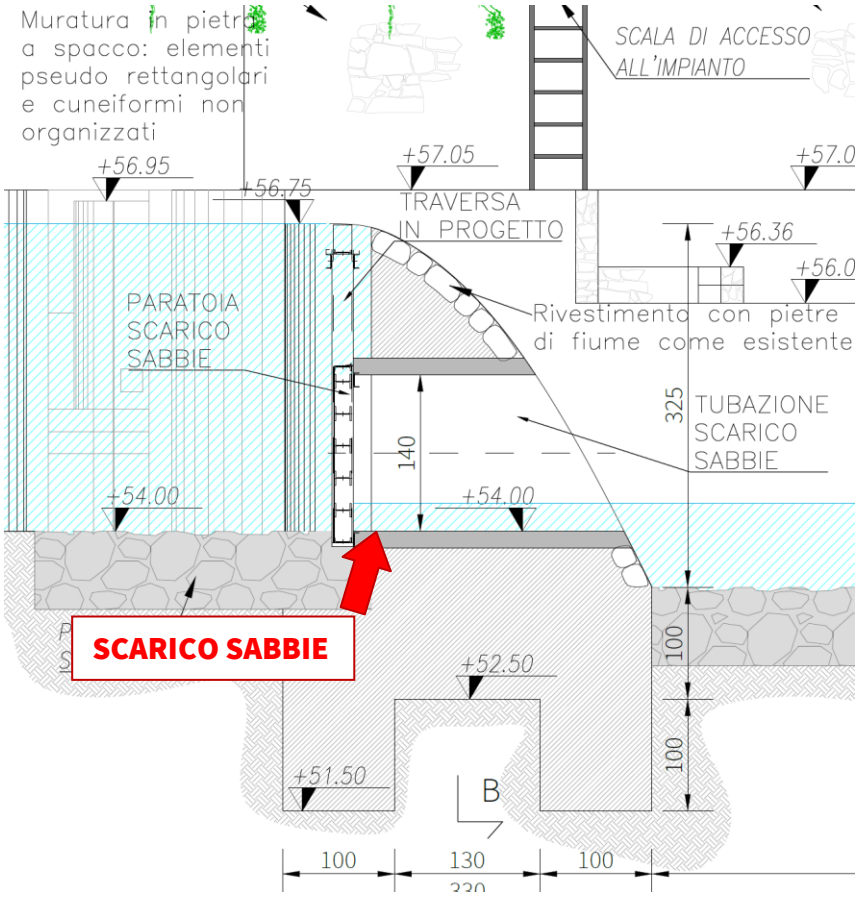


Figura 12 Particolare scarico sabbie

8.10 La macchina idraulica

Data la tipologia di salto e di portata la scelta delle macchine è ricaduta su una particolare macchina idraulica della famiglia delle VLH (Very Low Head) evoluzione delle turbine Kaplan adattate a bassissimi salti (2.5 m). Data la particolare tipologia di macchina il pre dimensionamento è stato effettuato grazie alle tabelle fornite direttamente dall'azienda produttrice. La macchina adottata è una VLH DN 1800 mm. La gestione della turbina avviene mediante l'apertura e chiusura della girante. In sintesi il sistema turbogeneratore si riassume:

- turbina Kaplan standardizzata a 8 pale regolabili in funzione del livello e della portata;
- struttura autoportante che permette un assemblaggio completo in officina ed un montaggio o un deposito molto veloce;
- alternatore lento ad attacco diretto a magneti permanenti e velocità variabile incorporato e sommerso insieme alla turbina;

- dispositivo di arresto e di taglio della portata per chiusura delle pale in assenza di energia della rete;
- distributore che funge da griglia di protezione;
- sgrigliatore rotativo assemblato;
- variatore di velocità elettronico;
- attrezzature di comando e controllo elettronico integrato che assicurano la gestione del gruppo generatore e delle attrezzature elettroniche di potenza;
- dispositivo che permette il collocamento fuori dall'acqua del gruppo per manutenzione o in caso di piena.



Figura 13 Immagini della girante "tipo"di una VLH

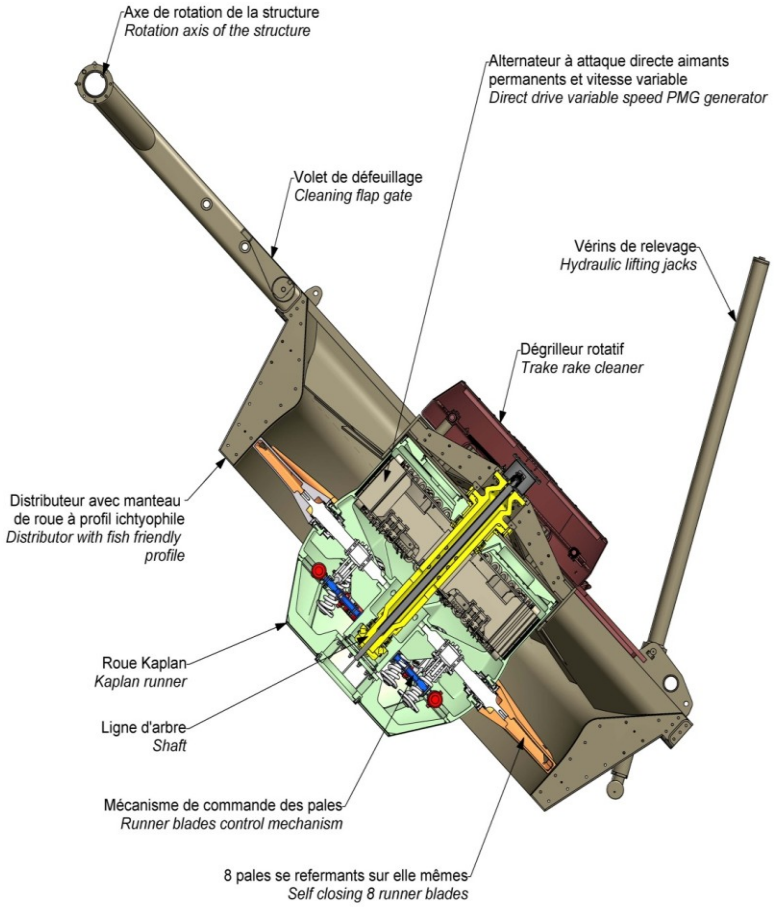


Figura 14 Spaccato tipo VLH con generatore sincrono a magneti permanenti

8.11 Canale di restituzione

Il canale di restituzione è contestuale all'imbocco di valle del passaggio per l'ittiofauna al fine di unificare i filoni della corrente e migliorarne l'attrattività. Al fine di migliorarne l'impatto visivo si prevede di adottare una soluzione mista. Il fondo verrà realizzato mediante una platea in massi cementati, il muro di sponda verrà realizzato in parte in cemento armato (parte a contatto perenne con l'acqua) ed in parte con un muro in gabbioni rinverdito, in modo tale da ripristinare la naturalità della sponda. Il canale presenta una larghezza variabile da 2.50 m a 4 m nel tratto iniziale sino a raccordarsi in modo uniforme all'alveo.

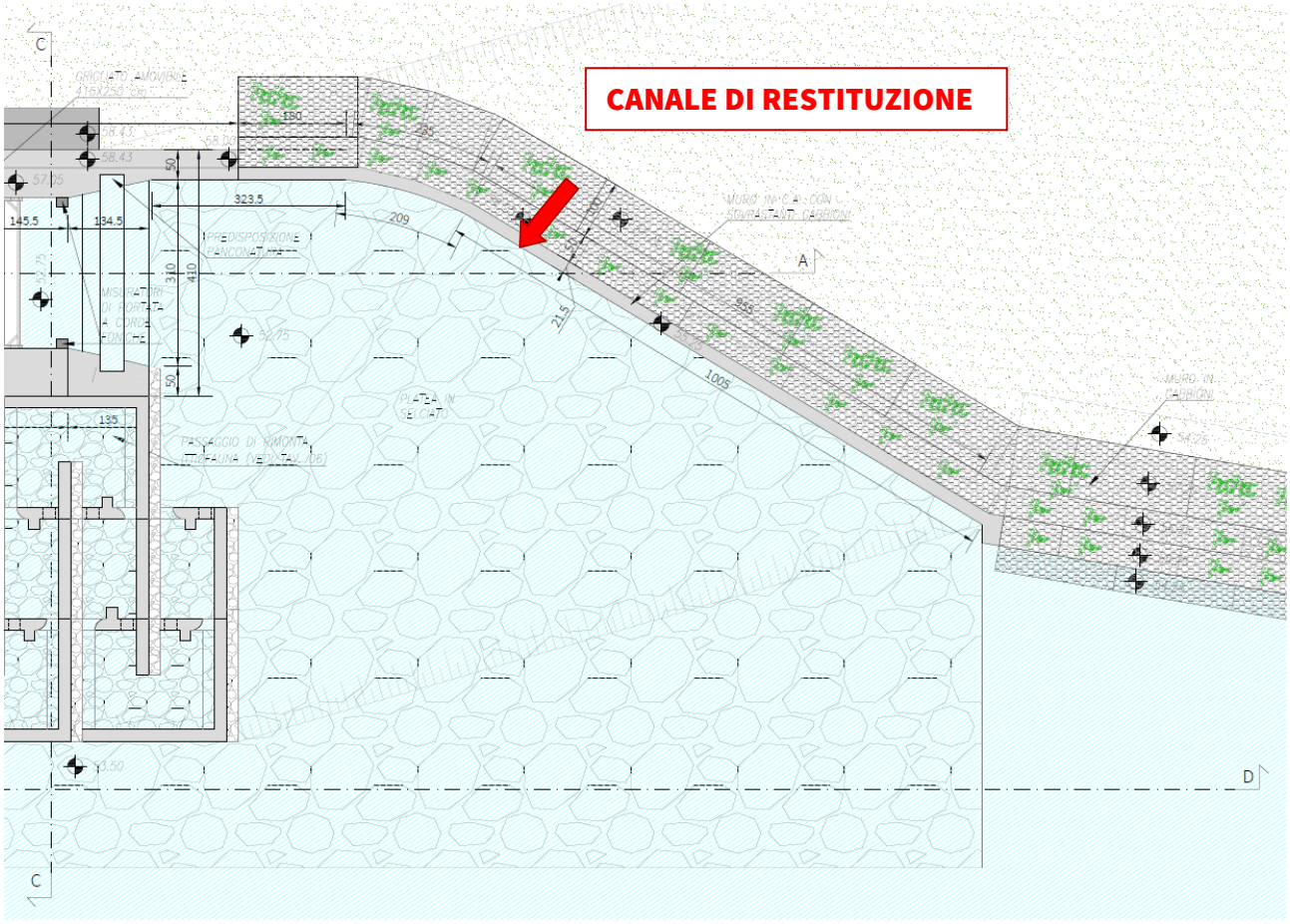


Figura 15 Opera di scarico

Nel canale di scarico sono previsti gli scassi per i panconi al fine di ottimizzare gli interventi di manutenzione dell'impianto.
Tale soluzione consente di mantenere sempre velocità contenute a valle della turbina e di garantire una buona attrattività del passaggio.

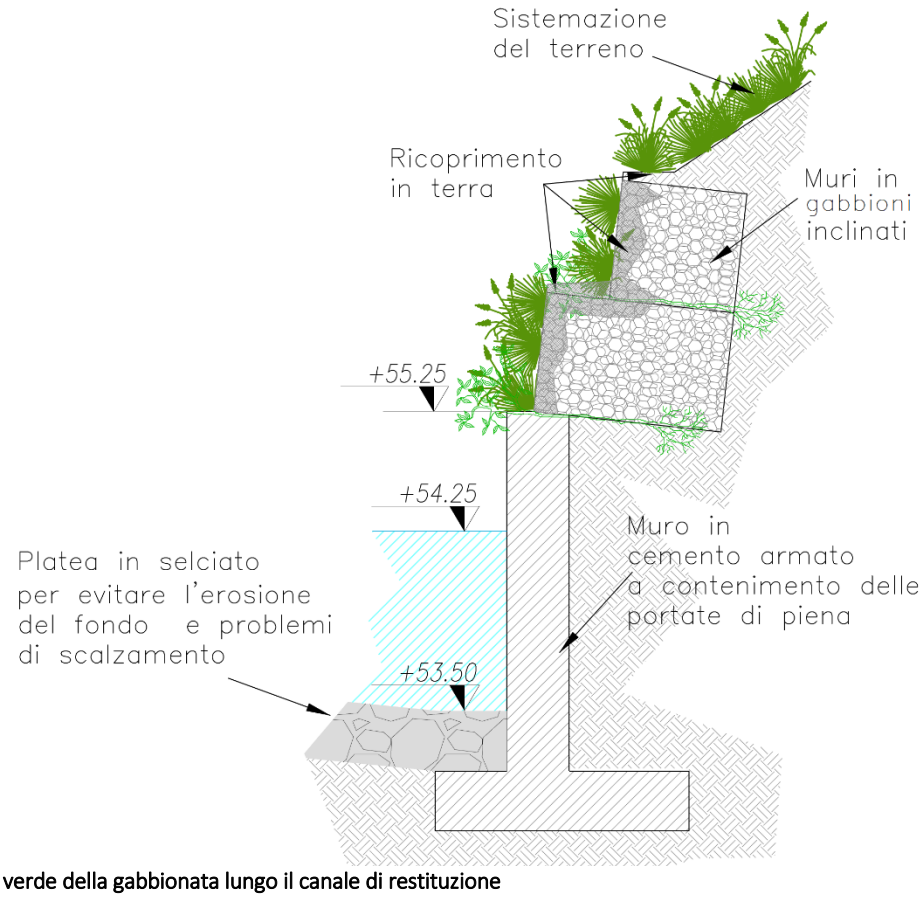


Figura 16 Sistemazione a verde della gabbionata lungo il canale di restituzione

8.12 Locale di gestione impianto e cabina di consegna

Per quanto riguarda le opere esterne alla centrale è prevista la realizzazione di un locale prefabbricato, fuori terra adibito a locale automazione/trasformazione e punto di consegna Enel. Il locale è posto ad una quota superiore di 1.25 m rispetto alla quota di piena duecentennale pari a +64.75 m s.l.m. garantendo la distanza minima di 10 m dall'alveo come previsto da normativa.
Il locale, che ha dimensioni esterne pari a 10.6 m x 2.5 m ed altezza al colmo 3.94 m, sarà rivestito in pietra con il tetto ad una falda in tegole alla marsigliese con inclinazione dello spiovente di circa 20°, così come previsto dal regolamento edilizio di Ortovero. Tale soluzione consentirà di mitigare notevolmente l'impatto visivo.

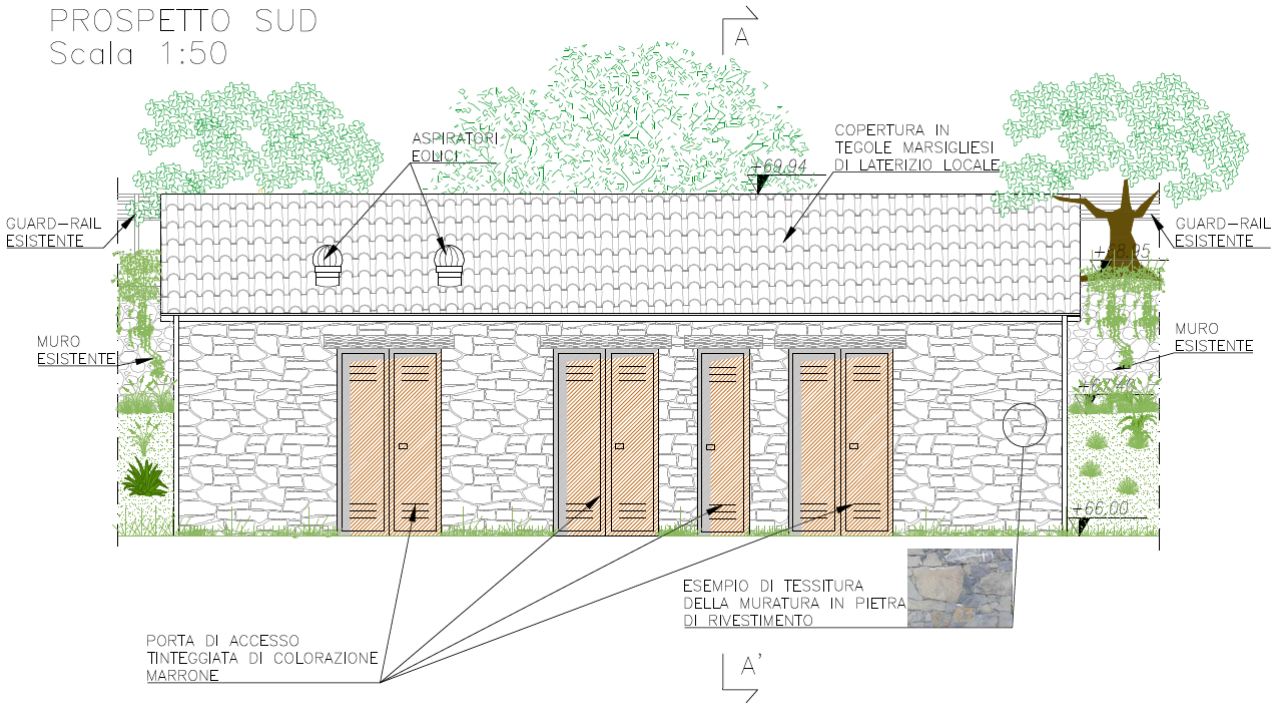


Figura 17 Prospetto frontale cabina di automazione e consegna.

8.13 Realizzazione Cavidotto interrato

Per quanto riguarda la realizzazione delle opere di connessione tra la centrale e la cabina di consegna e il punto di allaccio si è scelta una soluzione mista, con cavo interrato per la linea privata e parte della linea aerea e cavo aereo per l'ultimo tratto come riportato di seguito.

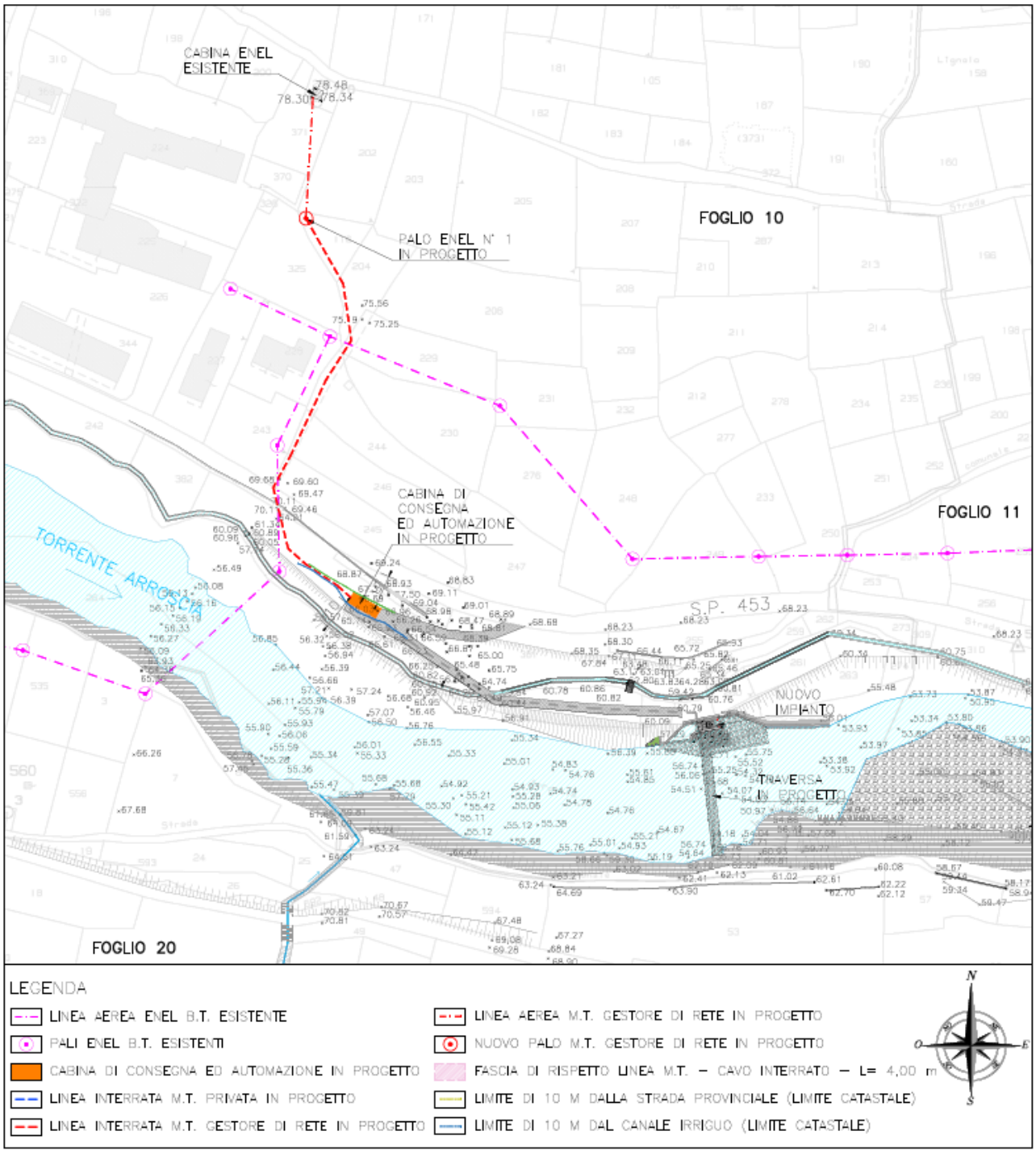


Figura 18 Planimetria delle linee di connessione ENEL a progetto.

8.14 Strumenti di misura delle portate

La centrale è dotata di dispositivi di misura automatici. Il Piano di tutela delle acque, definisce gli obblighi concernenti la misurazione dei prelievi e delle restituzioni di acqua pubblica. Le disposizioni del regolamento sono finalizzate a disporre delle informazioni necessarie alla predisposizione del bilancio idrico e idrogeologico, verificare l'incidenza del sistema dei prelievi e delle restituzioni sugli squilibri quantitativi in atto e prevedere l'introduzione di misure finalizzate alla loro mitigazione. I nuovi prelievi potranno essere attivati solo se dotati d'idonea strumentazione di misura. Dal punto di vista di una migliore gestione e salvaguardia della risorsa idrica, in accordo con quanto previsto dal Piano di tutela delle acque, si prevede l'installazione di misuratori di portata in continuo per poter valutare il volume di acqua derivato e quindi restituito. L'impianto è dotato di dispositivi automatici di misura continua della distribuzione delle portate. In particolare si predispone la collocazione di una sonda di livello in corrispondenza del tratto a monte tra l'opera di presa e la scala di ittiofauna al fine di consentire la regolazione della turbina. La portata è misurata con un misuratore a corde foniche istallato sul canale di scarico. La portata del passaggio artificiale per l'ittiofauna è calcolata con le espressioni degli stramazzi a larga soglia in funzione del livello misurato a monte.
La portata derivata in ingresso all'impianto è limitata dalla portata massima che può transitare nelle turbine che consente l'ingresso della sola portata di concessione. Per la verifica del livello nell'invaso a monte viene adottato un sensore a principio idrostatico di pressione tipo Aquaranger VHQ utilizzato per la misura di livello in acque dolci, in acque potabili e in acque reflue. Mentre la misura e la registrazione delle portate turbinate in continuo avviene mediante un misuratore a corde foniche tipo MPCF. Si rimanda alla relazione misuratori di portata per un approfondimento dell'argomento.

8.15 Passaggio di rimonta della fauna ittica.

A seguito di una attenta valutazione delle differenti soluzioni progettuali si è scelto una soluzione a bacini successivi con fessure verticali restituendo le portate immediatamente al piede della traversa nel medesimo punto di restituzione delle acque restituite dalla centrale per migliorarne l'attrattività. A tale scopo si è scelto di far ripiegare più volte il passaggio al fine di mantenere un adeguato dislivello tra i singoli bacini e consentire lo smaltimento di una portata di circa 188 l/s.

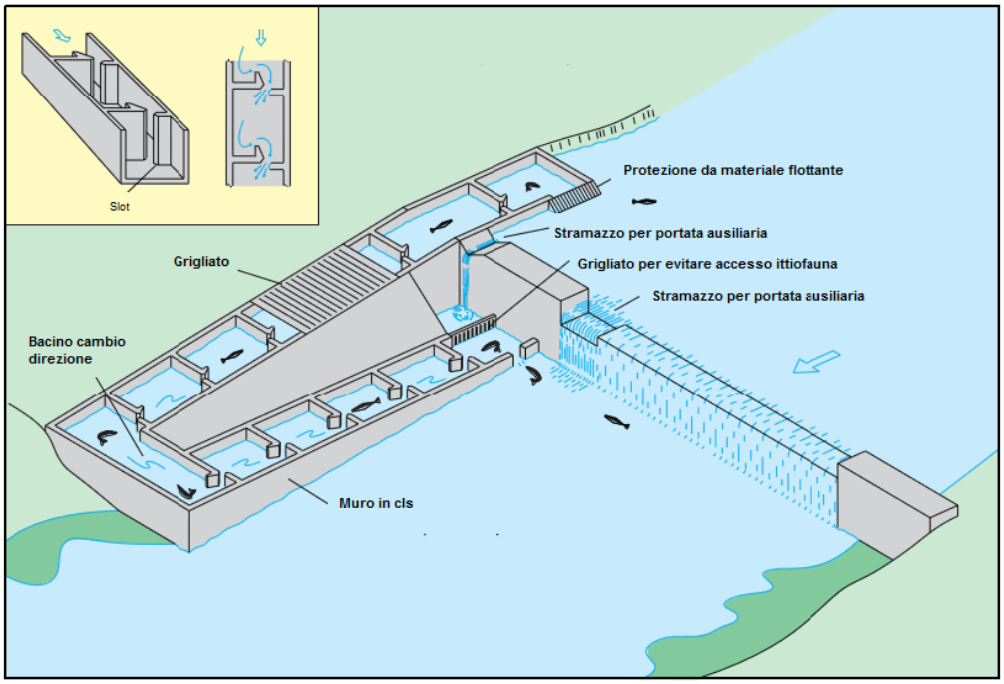


Figura 19 Schema esemplificativo del passaggio di rimonta adottato

Dimensionamento passaggio stramazzo rigurgitato.

Per il dimensionamento della particolare tipologia di passaggio con stramazzo rigurgitato a fenditure verticali e orifizio di fondo sono state utilizzate le seguenti relazioni:
Il deflusso tra un bacino ed il successivo deve essere continuo, ossia vanno evitati stramazzi liberi, non rigurgitato in quanto il pesce deve poter nuotare tra un bacino e l'altro senza la necessità di compiere salti.

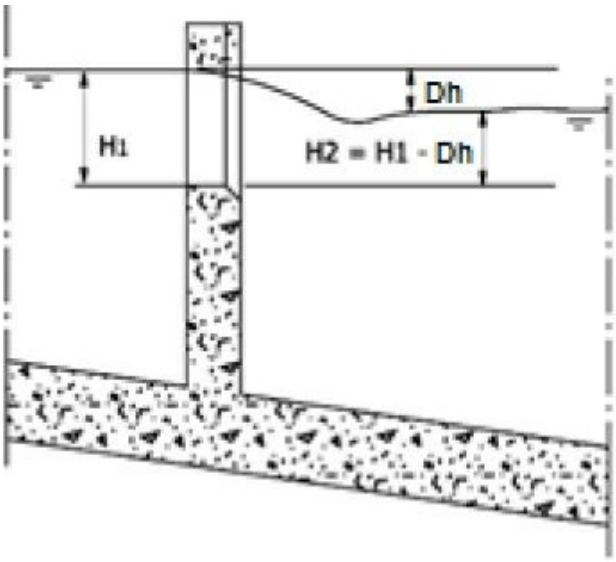


Figura 20 Schema longitudinale di passaggio a bacini successivi con deflusso continuo: stramazzo rigurgitato

-portata attraverso fessura verticale (stramazzo rigurgitato):

$$k=(1-(1-\frac{\Delta H}{H_1})^{1.5})^{0.385}$$

$$Q_d = C_d\, b\, \sqrt{2g}\;\; {H_1}^{1.5}\; [m^3/s]$$
$$Q = k\; Q_d\; [m^3/s]$$

in cui:

k= 0.616 coefficiente di riduzione dovuto alla sommersione

b = 0.2 m larghezza dello stramazzo

H_1 = 0.80 m altezza dello stramazzo

C_d = coefficiente di deflusso = 0,36 (tra 0,33, profilo non arrotondato, e 0.5, arrotondato e liscio)

Δh = 0.16 m salto tra i bacini

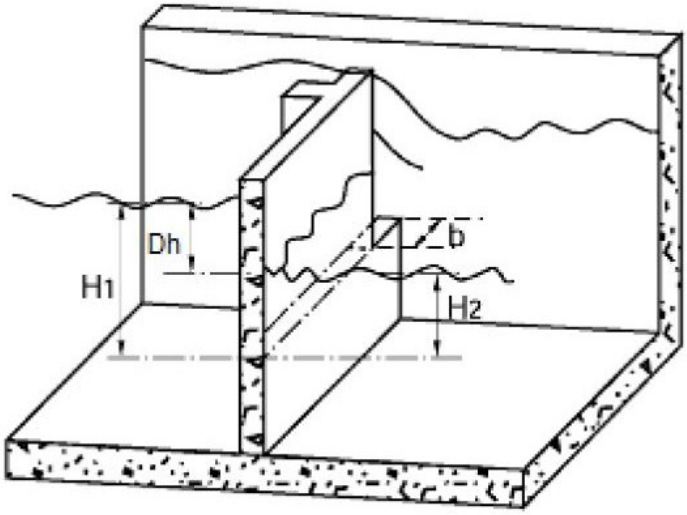


Figura 21 Deflusso attraverso stramazzo rigurgitato

Da cui risulta:
Q= 142 l/s portata attraverso stramazzo rigurgitato
-portata attraverso orifizio di fondo (efflusso sottobattente):

$$Q = C_d\, b\, S \sqrt{2g\Delta H} \quad [m^3/s]$$

in cui:
S = 0.04 m^2 superficie dell'orifizio (0.2 m x 0.2 m)
C_d = coefficiente di deflusso = 0,65 (tra 0,65 profilo non arrotondato, e 0.85 arrotondato e liscio)
Δh = 0.16 m salto tra i bacini

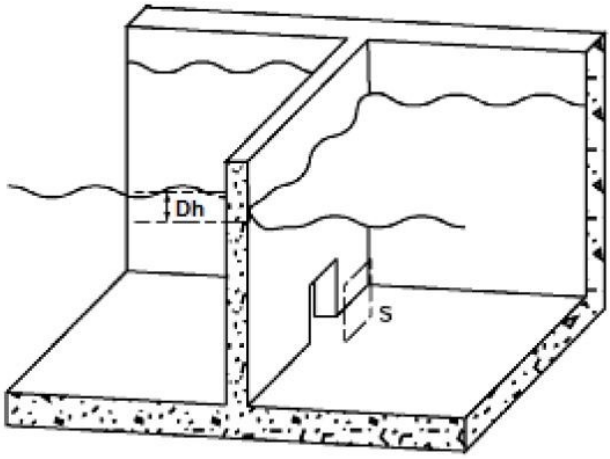


Figura 22 Deflusso attraverso orifizio sommerso

Da cui risulta:
Q= 46 l/s portata attraverso orifizio di fondo
Altro parametro importante valutato nel dimensionamento del passaggio che è un indicatore di efficienza dell'intervento stesso è la Potenza volumetrica dissipata, valutata secondo la relazione:

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h}{V_a}$$

dove:
Pv= 145.8 [W/m^3] potenza dissipata per unità di volume (< 150 W/m3 ciprinidi)
ρ = 1000 [kg/m^3] densità dell'acqua
Q = 0.142+0.46 = 0.188 [m^3/s] portata d'acqua
Va= 2.025 [m^3] volume d'acqua nel bacino

Per i salmonidi si consiglia di non superare i 200 W/m^3, mentre il limite scende a 150 W/m^3 per i ciprinidi. Di seguito si terrà come target una potenza volumetrica dissipata pari a 150 W/m^3. L'adozione di un valore di 150 W/m^3 garantisce la risalita anche di pesci di taglia medio piccola, indipendentemente dalla specie.
La verifica delle velocità all'interno del passaggio devono essere compatibili con le capacità natatorie delle specie presenti e su cui è stato dimensionato il passaggio.
Le velocità presenti all'interno dei singoli bacini sono state calcolate con la relazione riportata di seguito ottenendo un valore di velocità media pari a:

$$U = \frac{Q}{\Omega} = \frac{0.188}{1.65 * 0.9} = 0.127 \text{ m/s}$$

Tipicamente la velocità di crociera per il Vairone è di 0.34 - 0.36 m/s mentre la velocità di scatto è compresa tra 1.14 – 1.28 m/s. Tali valori sono stati desunti dalla formula di Videler (1993) non essendo disponibili dati sperimentali specifici per la specie.
L'adozione di un fondo con substrato simil naturale consente di avere una distribuzione delle velocità parabolica sulla verticale, consentendo così a tutte le specie presenti, il possibile utilizzo come riportato nella figura 20.

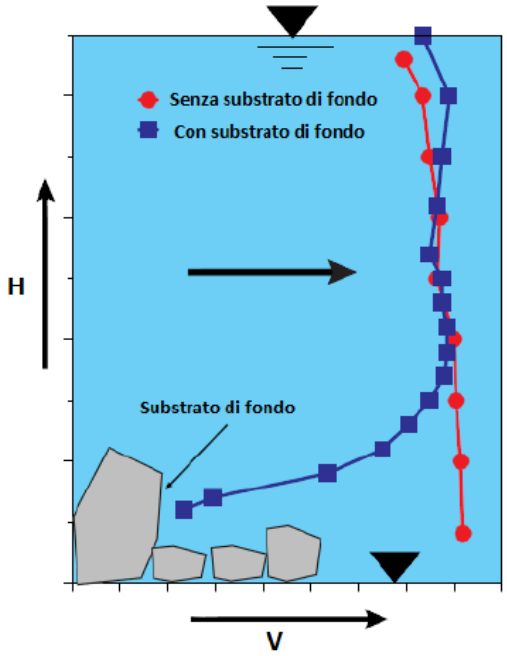


Figura 23 Andamento delle velocità all'interno del canale.

Al fine di rendere il passaggio fruibile e dato lo sviluppo complessivo sono state realizzate delle vasche di calma nelle quali le velocità e le potenze volumetriche dissipate consentono il riposo alle specie durante la risalita. La realizzazione del substrato dovrà essere realizzata così come riportato in figura seguente.

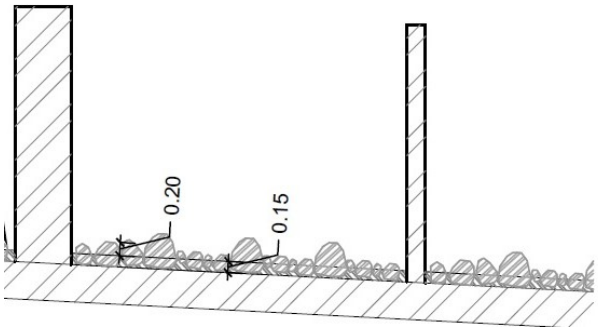


Figura 24 Sezione tipologica realizzazione substrato di rivestimento del fondo

La tipologia di substrato adottato consente l'utilizzo del passaggio anche dalle anguille che date le ridotte velocità (Figura 20) presenti nel substrato e le asperità fornite dai massi immorsati al fondo sono in grado di risalire la corrente all'interno del passaggio senza la necessità di un'opera realizzata ad hoc.

Parametri dimensionali vincolanti per una corretta dissipazione della potenza.

Una volta selezionati i dislivelli tra i bacini Δh ed il tipo di setti, occorre definire le dimensioni dei bacini e delle aperture che li collegano. Le misure da adottarsi dipendono, oltre che dalla disponibilità idrica, dalle specie ittiche presenti e dalle dimensioni degli stessi; inoltre esistono dei parametri di controllo che devono essere rispettati per rendere efficiente il passaggio. I principali vincoli da rispettare sono:

- la larghezza delle fessure deve consentire il transito anche di pesci di taglia maggiore;
- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza bacino (B), compreso tra 1.6 e 1.8;
- rapporto lunghezza bacino (L)/larghezza fessura (b), compreso tra 7 e 12;
- rapporto larghezza bacino (B)/larghezza fessura (b), compreso tra 4 e 6;
- rapporto battente sullo stramazzo laterale (H)/dislivello tra bacini (Δh) superiore a 2 nel caso di funzionamento del collegamento tra bacini attraverso flusso rigurgitato.

Tabella 9 Definizione delle grandezze di progetto (parametri)

Parametri	Descrizione
B	larghezza interna del bacino
b	larghezza fenditura laterale
P	quota di fondo fenditura laterale
h	altezza setto
S	spessore setto
L	Lunghezza del bacino
Δh	differenza di livello fra due bacini successivi
H_1	distanza fra pelo libero e orifizio di fondo

Il rispetto dei vincoli sopra elencati permette di definire le dimensioni ottimali dei bacini. A questo punto, noti tutti i parametri di progetto, applicando le formule dell'idraulica precedentemente riportate si determina la portata transitante attraverso le aperture delle fenditure laterali. Di seguito si riportano i parametri progettuali in condizioni di esercizio/magra.

Tabella 10 Parametri progettuali adottati

Parametro	Valore	Motivazioni
Dislivello massimo tra due bacini Δh	16 cm	Questo dislivello è il miglior compromesso dimensionale tra efficienza del passaggio e lunghezza dello stesso
Livello idrico di monte	56.76 m s.l.m	Condizioni al contorno dettate dai livelli idrici di monte e di valle in condizioni di magra
Livello idrico di valle	54.05 m s.l.m.	
Tipologia di comunicazione fra i bacini	fessura laterale	Il deflusso rigurgitato tra le fenditure e fondo permette una migliore funzionalità per le diverse specie ittiche
Larghezza fessura laterale	0.20 m	Valori indicati nella letteratura di settore
Larghezza dei bacini	0.90 m	Valori indicati nella letteratura di settore
Lunghezza dei bacini	1.65 m	

Tabella 11 Verifica parametri di progetto con i valori standard presenti in letteratura

Parametro	Valore	
Portata defluente di progetto corrispondente ad un livello idrico di monte di 56.75 m s.l.m	≈ 188 l/s	
Numero di bacini	16	
Pendenza media	5.75 %	
Parametri di dimensionamento		
Parametro	Valore	Range di valori consigliati
Potenza specifica dissipata in condizioni di progetto (W/m^3)	≈132.6 W/m^3	minore di 150 per ciprinidi minore di 200 per salmonidi
Rapporto lunghezza/larghezza dei bacini	1.83	compreso tra 1.6 e 1.8
Rapporto lunghezza bacino/larghezza fessura laterale	8.25	compreso tra 7 e 12
Rapporto larghezza bacino/larghezza fessura laterale	4.5	compreso tra 4 e 6
Rapporto battente sullo stramazzo/dislivello tra bacini	5	maggiore di 2

Deflusso attraverso orifizio sommerso

Per la parte restante del DMV pari a 82 l/s si è previsto di realizzare un foro nella paratoia sghiaiatrice alla quota q=+54.00 m s.l.m. in modo tale da garantire la priorità fisica del rilascio sulla derivazione.
Da cui risulta:
Q= 82 l/s portata attraverso orifizio di fondo
-portata attraverso orifizio di fondo (efflusso sottobattente):

$$Q = C_d \, b \, S \sqrt{2g\Delta H} \quad [m^3/s]$$

in cui:
S = 0.017 m^2 superficie dell'orifizio (0.10 m x 0.17 m)
C_d = coefficiente di deflusso = 0,65 (tra 0,65 profilo non arrotondato, e 0.85 arrotondato e liscio)
Δh = 2.75 m

I setti immediatamente a ridosso della traversa sono protetti da un cordolo in c.a. alto circa 30 cm in modo tale non far entrare ulteriore acqua all'interno del passaggio. In tal modo il funzionamento è garantito per la quasi totalità dell'anno.

9 Regole operative dell'impianto

La tipologia di impianto adottata non presenta la possibilità di realizzare la soglia di ingresso interamente ad una quota superiore rispetto all'imbocco del passaggio di rimonta della fauna ittica, in quanto il passaggio presenta due soglie una superficiale rigurgitata ed una sottobattente, pertanto al fine di garantire la corretta gerarchia dei flussi mantenendo prioritario il deflusso minimo vitale e

secondario la portata destinata alla turbina è necessario tramite PLC adottare delle regole operative per il funzionamento dell'impianto.
I flussi saranno dunque rilasciati secondo il seguente ordine gerarchico:

- Portata di DMV =0.270 m^3/s di cui 0.188m^3/s e 0.082 m^3/s nell'orifizio di fondo posto nella paratoia ghiaiatrice
- Da 1.2 m^3/s a 6 m^3/s destinati all'impianto idroelettrico

Dunque la gestione delle portate avverrà con le seguenti regole.
Considerato che la quota fissa imposta della traversa nella parte più depressa è di +56.75 m s.l.m. e che sia la presa dell'impianto che l'imbocco del passaggio sono entrambi nel corpo traversa, condizione che consente di poter affermare che i livelli all'imbocco delle opere siano governati dalla traversa e considerato che la turbina si avvia quando in alveo sono presenti 1.470 m^3/s, valore stimato dalla somma tra il deflusso minimo vitale pari a 0.270 m^3/s e la portata di minimo esercizio della turbina pari a 1.200 m^3/s, la centralina potrà avviare la produzione di energia elettrica, aprendo la paratoia d'impianto solamente se sulla soglia stramazzante della traversa sarà presente un battente pari a 10 cm corrispondente alla quota +56.85 m s.l.m (verifica effettuata mediante software Hec-Ras).
Una volta avviata la centralina il livello sarà mantenuto costante alla quota +56.75, mediante la regolazione delle parti mobili della macchina idraulica fino al raggiungimento della portata massima derivata corrispondente ad una portata in alveo di 6.270 m^3/s. Tali condizioni garantiscono il perfetto funzionamento del passaggio per la fauna ittica in quanto corrispondono alle condizioni di progetto/dimensionamento dell'opera. Il corretto funzionamento del sistema è garantito anche grazie alla presenza di un misuratore diretto di portata che misura le portate prelevate dalla turbina.
Nel caso in cui la disponibilità idrica in alveo porti ad una riduzione delle portate con conseguente riduzione di livello idrico al di sotto della quota +56.75 la turbina provvede alla chiusura istantanea delle sue parti mobili, limitando il flusso al suo interno, fintantoché non riporta il livello alla quota di esercizio di +56.75. Tale procedimento nel caso in cui la portata disponibile in alveo scenda al disotto di 1.270 m^3/s porta alla completa chiusura dell'impianto.
Una volta raggiunta la portata massima di esercizio la turbina è in posizione di massimo rendimento in condizioni completamente aperte. All'aumentare della portata in arrivo il livello in alveo è destinato ad aumentare e superata la quota di +56.75 m s.l.m. la restante portata defluirà liberamente sulla soglia sfiorante della traversa.
La traversa unitamente al piccolo flap posto nella parte sommitale della turbina costituiscono il principale sistema di limitazione alla portata massima.
In condizioni di esercizio con Q10 (ossia quella portata che viene mediamente superata almeno 10 volte all'anno) corrispondente a 22.59 m^3/s corrispondono in condizioni di esercizio ad un battente di +57.21 corrispondenti a circa 46 cm stramazzanti sulla traversa. La turbina essendo dimensionata per una portata di progetto leggermente inferiore alla massima di funzionamento, al fine di ottimizzare i rendimenti, non è in grado di prelevare portate maggiori. Per portate in alveo superiori a 50 m^3/s, per motivi di sicurezza e salvaguardia delle parti elettromeccaniche si ha il completo arresto dell'impianto con chiusura della paratoia.

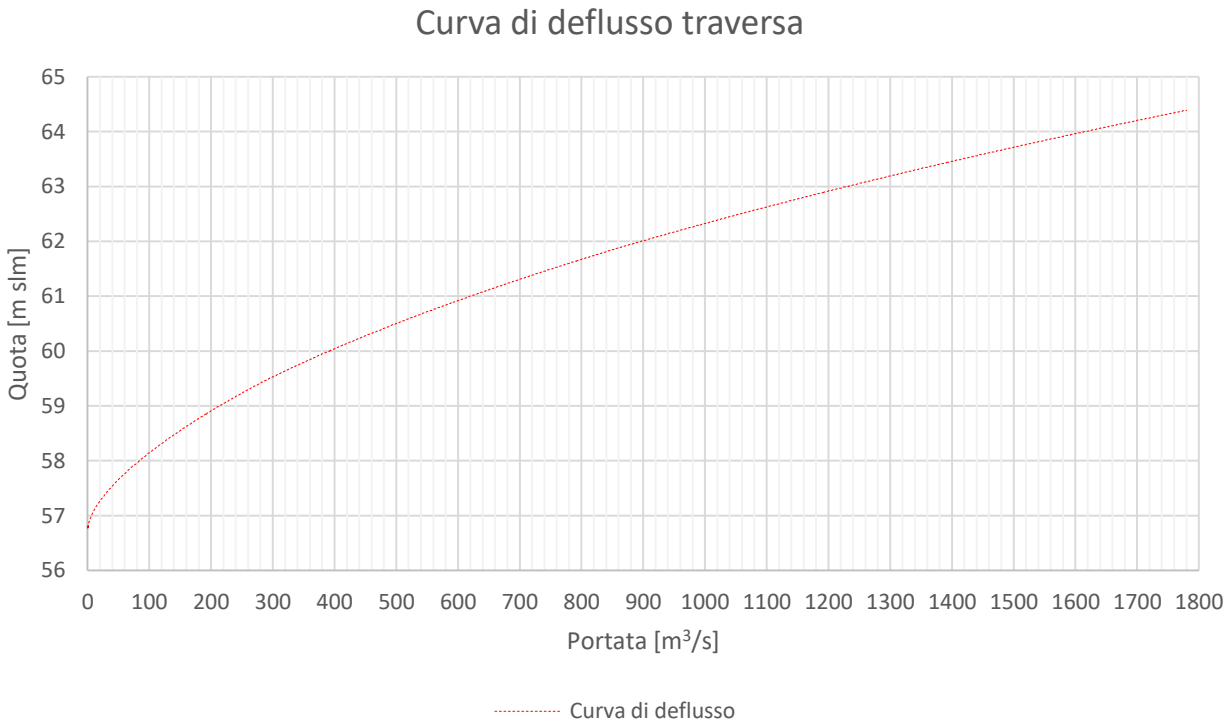


Figura 25 Curva di deflusso delle portate stramazzanti sulla traversa

Tutte le precedenti considerazioni dovranno essere opportunamente validate con la costruzione delle curve di deflusso sulla traversa con misure dirette di portata prima della fase conclusiva del collaudo idraulico.

10 Calcolo della potenza nominale media annua.

10.1 Calcolo della potenza fiscale

L'impianto idroelettrico a progetto sfrutta le portate in alveo valorizzandolo energeticamente. Come illustrato in precedenza si ricorda che non avendo tratto sotteso, si rilascia nell'idoneo passaggio per l'ittiofauna solamente la portata necessaria al corretto funzionamento del passaggio stesso.

Tabella 12 Parametri di concessione

Parametri di concessione		
Q_{max}	6.00	m^3/s
Q_{med}	2.46	m^3/s
Q_{min}	1.2	m^3/s
DMV	0.27	m^3/s

In virtù del valore di portata media di concessione pari a 2.46 m^3/s (calcolo da curva di durata delle portate) e del salto idraulico medio disponibile pari a 2.65 m, il valore della potenza nominale corrisponde risulta essere dato dalla formula:

$$P_{nom} = g\ Q\ H$$

Dove

P_{nom} = potenza fiscale/nominale espressa in kW

g = accelerazione di gravita pari a 9.81 m/s^2

Q = portata media annua espressa in m^3/s

H = Salto idraulico espresso in m

Risulta:

P_{nom}=63.95 kW

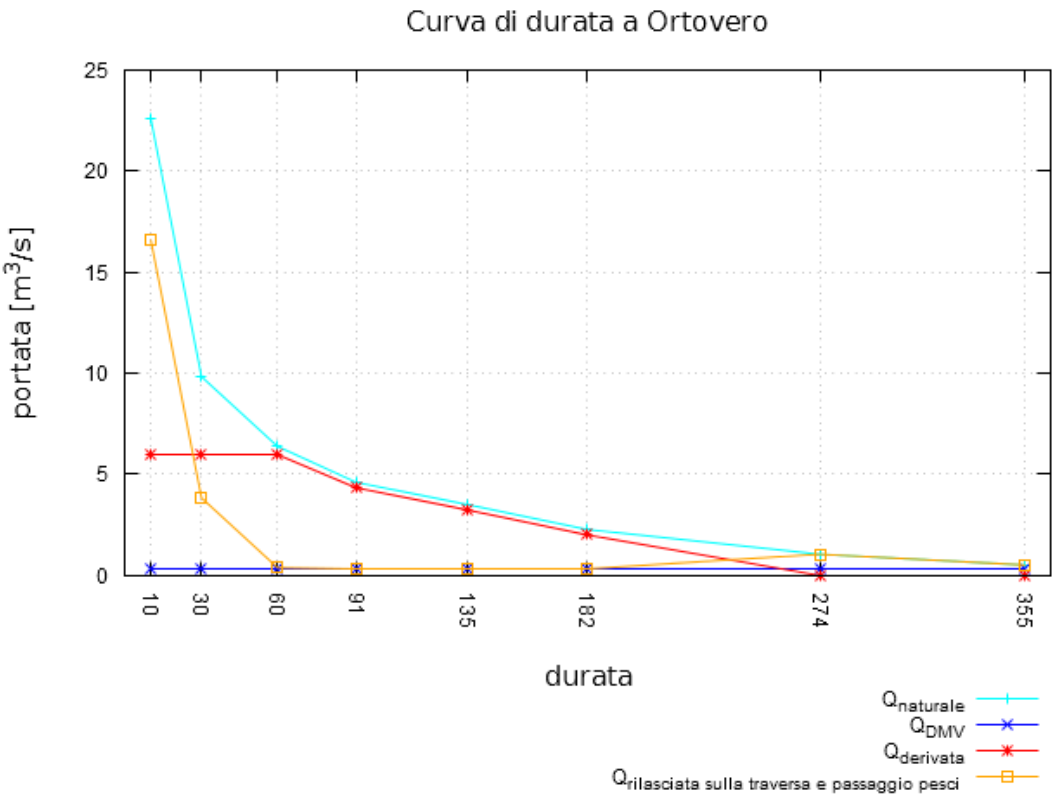


Figura 26 Curva di durata delle portate naturali, derivate e rilasciate nel passaggio di rimonta fauna ittica e sulla traversa.

10.2 Potenza installata e potenza resa

La potenza installata dipende dalla portata massima derivabile e dal salto motore massimo a quella portata, la Q_{max} è uguale alla portata massima di concessione ed il salto utile assunto pari a 2.65 m:

$$P_{\max} = \frac{Q_{\max} * H}{102} = \frac{6000 * 2.65}{102} = 155.88 kW$$

La potenza resa massima ai morsetti del trasformatore dipende dalla portata massima derivabile, dal rendimento dell'impianto, delle macchine e dal salto motore.

Per quanto concerne il rendimento, le caratteristiche tipiche di turbine della taglia richiesta indicano valori medi dell'ordine di 90 %. Il rendimento del generatore elettrico può essere stimato in circa il 95% e il 94% per il trasformatore.

Ne risulta complessivamente un rendimento medio di macchina elettro-idraulico del 80.4 %.

La potenza massima resa non dipende dagli scenari di utilizzo, ma solo dalla portata massima derivata e si deduce dalla relazione:

$$P_{\max} = \frac{Q_{\max} * H}{102} * \eta = \frac{6000 * 2.65}{102} * 0.94 * 0.95 * 0.90 = 125.28 \quad kW$$

La potenza installata alla turbina risulta pertanto essere pari 150 KW come potenza di picco Enel.

11 Calcolo della produzione media annua

La producibilità media dell'impianto può essere valutata integrando la potenza nel periodo di utilizzo. Numericamente il calcolo è stato eseguito utilizzando il metodo dei trapezi per la valutazione dell'area sottesa dalla curva di durata:

$$P = \begin{cases} P = Q * H * \eta * g & per\ Q_{min} < Q_{disp} < Q_{max} \\ P = P(Q) & per\ \ Q_{disp} > Q_{max} \end{cases}$$

$$E = \int P(t)\, dt$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori di potenza ed energia prodotta:

Tabella 13 Valori di portata naturale prelevata e rilasciata immediatamente a valle della traversa, volume derivato, potenza ed energia prodotta.

Durata	Q_{nat}	Q_{DMV}	Q_{der}	Q_{ril}	Potenza	Energia	Volume der.
gg	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	kW	kW/h	m³
10	22.59	0.27	6.00	16.59	112.97	27,113.14	5,184,000.00
30	9.81	0.27	6.00	3.81	120.59	56,054.13	10,368,000.00
60	6.36	0.27	6.00	0.36	121.08	86,998.73	15,552,000.00
91	4.58	0.27	4.31	0.27	81.37	75,310.11	13,812,577.00
135	3.48	0.27	3.21	0.27	52.76	70,823.22	14,300,634.91
182	2.25	0.27	1.98	0.27	23.72	43,138.94	10,538,893.15
274	1.02	0.27	0.00	1.02	0.00	26,190.69	7,873,759.20
355	0.49	0.27	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00
			$Q_{der\ media}$		P nominale	Produzione	
			m³/s		kW	kW/h	
			2.46		63.95	385,628.96	

La portata media derivata risulta di 2.46 m^3/s e il funzionamento dell'impianto è garantito per circa 182 giorni l'anno per una stima di produzione di 385 628 kWh, considerato un rendimento medio complessivo dell'80.4%. Nel grafico seguente è rappresentato sotto forma di curva di durata l'andamento della portata naturale presente in alveo, della portata disponibile e di quella effettivamente derivata.

12 Conclusioni

Il presente progetto come riportato nei capitoli precedenti permette di valorizzare energeticamente le portate del Torrente Arroscia.

La scelta progettuale è stata frutto di un buon compromesso tra la morfologia locale, il contenimento dell'impatto ambientale e l'ottimizzazione dei costi finalizzati alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

La soluzione in corpo traversa con rilascio delle acque prelevate immediatamente al piede garantisce impatti estremamente contenuti, e con idoneo passaggio di rimonta della fauna ittica consente la continuità eco sistemica del tratto di Torrente Arroscia interessato dall'intervento. Inoltre le opere realizzate in alveo sono progettate per il funzionamento in automatico senza la presenza di personale, per essere sormontate in caso di piena, e dato il ridotto ingombro, e interferire solo localmente con l'attuale deflusso delle piene, comportando alterazioni sui livelli idrici che non aggravano il rischio idraulico.

La realizzazione dell'intervento comporta un generale beneficio alla stabilizzazione delle sponde e dell'alveo con un notevole contributo alla messa in sicurezza del canale irriguo, unica difesa spondale esistente che ad oggi presenta importanti e non trascurabili problemi di scalzamento delle opere di protezione (cfr Figura 3 e Figura 4). Un eventuale collasso della struttura esistente, oltre al danno arrecato all'agricoltura locale, potrebbe interessare anche le strutture viarie provinciali poste in prossimità del ciglio di scarpa.