REGIONE LIGURIA

COMUNE DI ORTOVERO

PROVINCIA DI SAVONA

PROGETTO DI COSTRUZIONE DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA IN CORPO TRAVERSA DEL CANALE IRRIGUO DI ORTOVERO (SV)

Torrente
ARROSCIA

PROGETTO DEFINITIVO

REVISIONE	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE
00	10/08/2017	PRIMA_EMISSIONE			
01	30/07/2018	PRIMA_REVISIONE			

TAVOLA	TITOLO ELABORATO	SCALA
R-01-R1	**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA**	**-**

PROPONENTE	VISTO	PROGETTISTA
Stefania Benzo Via J. Amoretti 15 18100 Imperia	Consorzio Irriguo Ortovero Via Roma, 247 17037 Ortovero (SV) C.F.-P.I. 90010640093	Ing. Enrico Guerrina Località Serra, Borgata Cattini 69A 12087 Pamparato (CN) P.I. 03560840047 Ordine degli Ingegneri di Cuneo A2299 enrico.guerrina@ingpec.eu cell. 339 8265094

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 9
6 Livelli di tutela 10
7 Quadro degli utilizzi esistenti 10
8 Fabbisogno Idrico 10
9 Valutazione delle portate da rilasciare sul corpo traversa. 11
10 Descrizione opere a progetto. 14
10.1 Ripristino della traversa esistente 15
10.1.1 Pre-dimensionamento traversa 15
10.1.2 Classificazione della costruzione 15
10.1.3 Vita nominale della costruzione 16
10.1.4 Classe d'uso della costruzione 16
10.1.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica 16
10.1.6 Categoria del sottosuolo 17
10.1.7 Condizioni topografiche del sito 17
10.1.8 Classificazione sismica del sito 17
10.1.9 Analisi dei carichi 17
10.1.10 Peso proprio (Gk) 17
10.1.11 Carichi Permanenti (Gk) 17
10.1.12 Spinta idrostatica 18
10.1.13 Azioni Sismica (Esk) 18
10.1.14 Spettri di risposta elastici 18
10.1.15 Spinte di progetto del terreno e dell'acqua in condizioni sismiche 19
10.1.16 Spinta idrodinamica 20
10.1.17 Verifica a ribaltamento 22
10.1.18 Verifica a schiacciamento 23
10.1.19 Verifica a scorrimento 23
10.1.20 Verifica a sifonamento 23
10.2 Opera di presa 24
10.3 Griglia di pulizia 25

10.4 Scarico sabbie 25
10.5 La macchina idraulica 26
10.6 Canale di restituzione 27
10.7 Locale di gestione impianto e cabina di consegna 28
10.8 Realizzazione Cavidotto interrato 31
10.8.1 Caratteristiche della linea Elettrica "privata". 33
10.9 Strumenti di misura delle portate 34
10.10 Passaggio di rimonta della fauna ittica. 35
10.10.1 Dimensionamento passaggio stramazzo rigurgitato. 36
10.10.2 Parametri dimensionali vincolanti per una corretta dissipazione della potenza. 40
10.10.3 Deflusso quota DMV da orifizio sommerso 54
10.11 Pista di accesso al cantiere 54
11 Movimento terre 55
12 Dimensionamento ingresso Canale irriguo 56
13 Regole operative dell'impianto 57
14 Calcolo della potenza nominale media annua. 59
14.1 Calcolo della potenza fiscale 59
14.2 Potenza installata e potenza resa 60
15 Calcolo della produzione media annua 61
16 Conclusioni 61

1 Premessa

Il tecnico scrivente Ing. Guerrina Enrico, iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Cuneo al N. A2299, è stato incaricato di redigere la documentazione tecnica di seguito illustrata, relativa al progetto di costruzione di un impianto idroelettrico in corpo traversa, finalizzato alla valorizzazione energetica delle portate disponibili in località Ortovero (SV).

2 Motivazioni dell'opera

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo impianto idroelettrico del tipo ad acqua fluente con turbina in corpo traversa, sfruttando il salto geodetico offerto da una traversa esistente ubicata integralmente nel Comune di Ortovero sul Torrente Arroscia in provincia di Savona. Tale impianto rappresenta un'opportunità di generazione di energia 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 in destra orografica all'interno della traversa esistente, sarà di tipo sommergibile quindi non visibile esternamente, mentre la cabina di consegna ed il locale di automazione di nuova costruzione sono collocati sul versante orografico destro. Le opere risultano ben inserite nel contesto urbanistico locale ed ambientalmente compatibili con i deflussi idrici delle piene con tempo di ritorno duecentennale. Lo stato attuale della traversa che presenta segni di scalzamento dovuti ai più recenti eventi alluvionali, comporterà la sistemazione dell'opera trasversale, con un notevole beneficio per il consorzio irriguo, garantendone il duraturo prelievo. 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. 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 e di Parigi. 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 sito oggetto di intervento su cui si richiedono i titoli abilitativi necessari alla costruzione e all'esercizio dell'impianto idroelettrico a progetto è sito interamente nel comune di Ortovero e posto a valle dell'abitato di Pogli (SV) e a monte di località Regione Fornaci di Ortovero (SV).

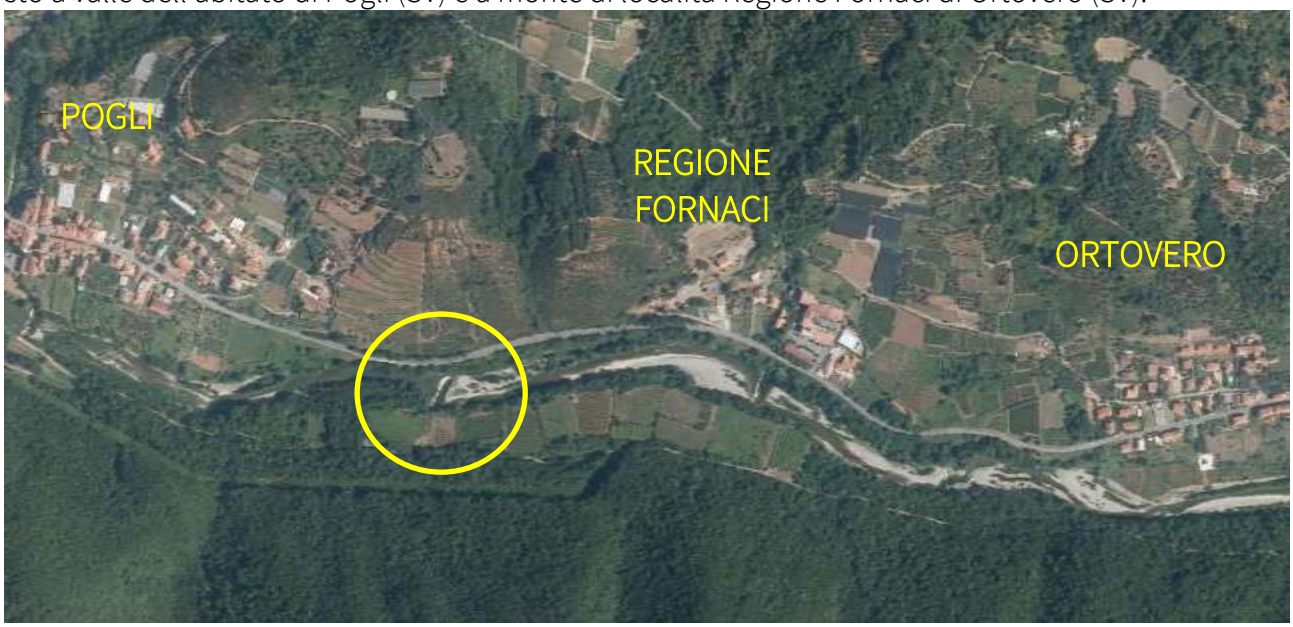


Figura 1 Area oggetto di intervento (cerchio giallo) (fonte Geoportale Nazionale anno:2012)

Da un'analisi a più ampia scala risulta come il tratto di torrente oggetto di intervento sia stato interessato, nel corso degli anni, da numerosi interventi di controllo di erosione del fondo come illustrato in figura 2 in cui è riportata un'immagine aerea risalente all'anno 2000 in cui si vedono (cerchi) tutte le traverse funzionanti.



Figura 2 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.

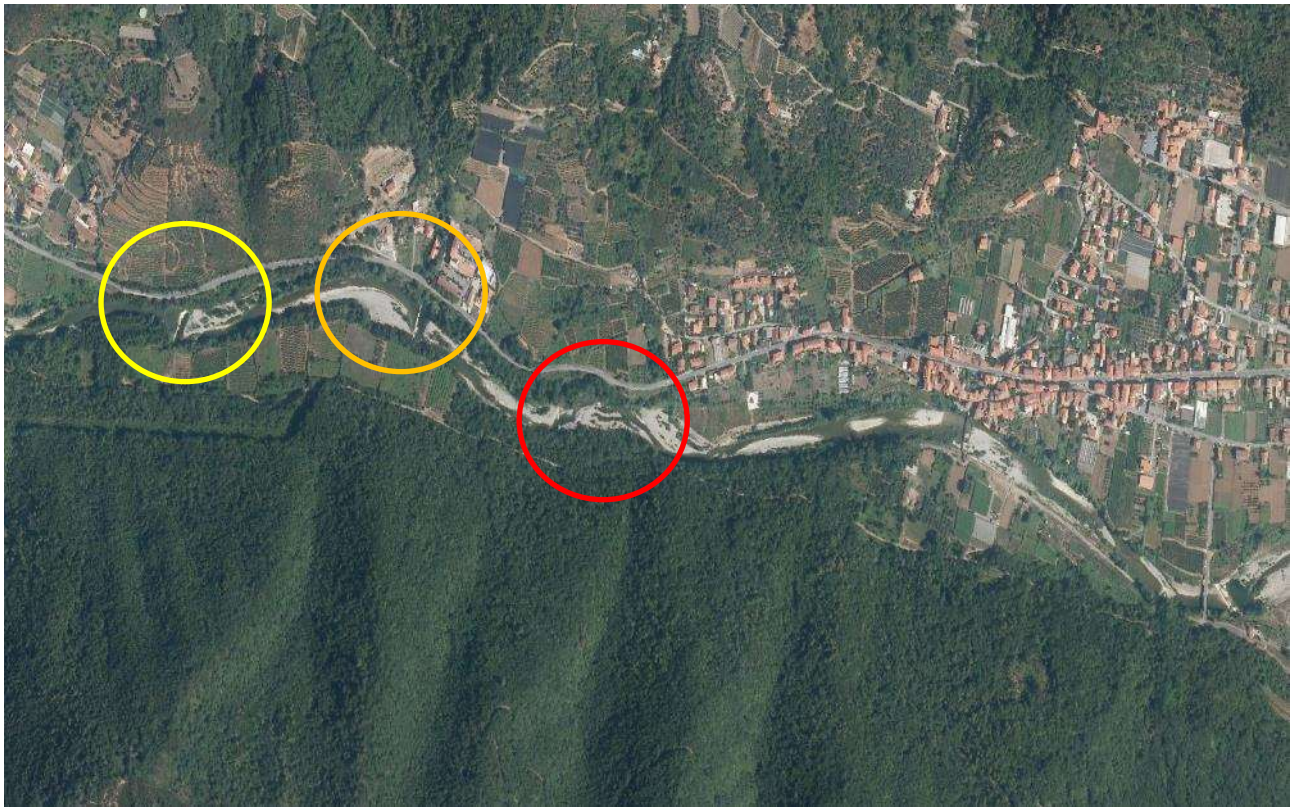


Figura 3 Stato Attuale (anno 2012) (fonte geo portale nazionale)

Dalla figura 3 risulta evidente come la rottura della traversa di valle (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 oggetto di intervento (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 ed autunno 2014 novembre 2016) hanno notevolmente aggravato lo stato della traversa con fenomeni dapprima di sotto escavazione (Figura 4) e successivamente di abbassamento dovuto al venir meno del materiale di fondazione.

In Figura 5 è riportato lo stato attuale dei luoghi con il ripristino temporaneo del canale irriguo al fine di non compromettere le coltivazioni agricole che attingono dal canale irriguo di Ortovero.



Figura 4 Evidenza di fenomeni erosivi dovuti ad abbassamento del fondo



Figura 5 Ripristino temporaneo della traversa al fine di consentire le attività agricole che dipendono fortemente dalla derivazione irrigua (maggio 2017).

4 Stato di progetto

Il progetto prevede l'utilizzo di una traversa esistente in parte in parte scalzata 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 idoneo anche alle particolari caratteristiche natatorie delle anguille.



Figura 6 Inquadramento area oggetto dell'intervento.

Data la condizione di conservazione della traversa esistente come ben visibile nella immagine riportata in Figura 5, si prevede la parziale ricostruzione della traversa utilizzando la medesima tipologia per poter sfruttare energeticamente le acque del Torrente Arroscia mediante un impianto idroelettrico in corpo traversa sito in sponda opposta rispetto al prelievo irriguo esistente.

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:	210.73 km^2
Coordinate-Gauss-Boaga della sezione di chiusura:	N. 4878204.46 m E. 1425965.22 m
Altitudine massima:	2152 m s.l.m.
Altitudine minima:	61.50 m s.l.m.
Altitudine media*:	744.10 m s.l.m.
Quota media pelo libero alla presa	61.50 m s.l.m.
Quota media pelo libero allo scarico	58.62 m s.l.m.
Quota di massima piena TR 200 a monte della traversa	68.23 m s.l.m.
Quota soglia traversa	61.50 m s.l.m.
Quota fondo canale sghiaiatore	59.10 m s.l.m.
Quota soglia d'ingresso scala ittiofauna Quota soglia	60.00 m s.l.m.
Quota imposta foro per rilascio DMV	59.10 m s.l.m.
Portata massima derivata:	6.000 m^3/s
Portata minima derivata:	1.200 m^3/s
Portata media derivata:	2.410 m^3/s
DMV	0.270 m^3/s
Portata irrigua	0.120 m^3/s
Salto disponibile medio:	2.85 m
Potenza nominale dell'impianto	67.31 kW
Potenza installata	170.00 kW
Potenza massima resa	137.67 kW
Produzione media annua netta	419 691 kW

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

6 Livelli di tutela

Si riporta la sintesi delle analisi sulla pianificazione territoriale estratta dalla relazione paesaggistica a cui si rimanda il lettore per l'approfondimento.
Localmente l'area di progetto ricade in zona soggetta a "svincolo" ai fini paesaggistici relativamente all'art. 142 lettera *c) i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna*; infatti la Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia n. 244 del 15/10/1941 riporta, nell'elenco delle acque pubbliche della provincia di Savona integrato dalle esclusioni dal vincolo paesistico, alla posizione N. 25 il T. Arroscia nel tratto indagato.

Tabella 2 Estratto dell'elenco delle acque pubbliche della provincia di Savona integrato dalle esclusioni dal vincolo paesistico

N. ord	Denominazione da valle verso monte)	Foce o sbocco	Comuni (toccati od attraversati)	Limiti entro i quali si ritiene pubblico il corso d'acqua	Annotazioni	Esclusione dal vincolo paesistico
25	Torrente Arroscia	Fiume Centa	Albenga, Villanova, Ortovero, Casanova Lerrone, Onzo	Tutto il tratto scorrente in Provincia di Savona (ha le sue origini in Provincia di Imperia)	Tutto il tratto scorrente in Provincia di Savona	Dallo sbocco nel Torrente Centa al confine provinciale

Il sito in esame risulta classificato dal P.T.C.P. sotto il profilo insediativo come
ANI-MA, sotto quello geomorfologico come MO-A e MO-B e sotto il profilo vegetazionale come COL-ISS-MA e BA-CO. Sia a monte che a valle in un raggio di 150 m dalle opere non sono presenti rii iscritti nei suddetti elenchi.
L'impianto a progetto sarà in posizione fortemente incassata a ridosso della sponda in sinistra orografica e non visibile né dalla sponda destra né dalla sponda sinistra (in riferimento alla strada S.P. n.453). Si prevede comunque il rivestimento della parte sommitale della traversa per ridurne ulteriormente la visibilità.
L'unica opera afferente all'impianto, percepibile da una ridotta porzione di territorio, sarà la cabina di trasformazione e consegna e nelle prime fasi di esercizio la linea elettrica.
Per quanto sopra esposto, l'area dove è prevista la realizzazione dell'impianto in corpo traversa oggetto di intervento non presenta elementi di vincolo paesaggistico, mentre la cabina di consegna e la linea elettrica ricadono parzialmente in area boscata, dunque ai sensi dell'artt.146 e 142 comma 1 lettera g) del DM 42/2004, è necessaria l'autorizzazione paesaggistica. Si rimanda il lettore alla relazione di dettaglio per avere tutti gli elementi necessari alla valutazione paesaggistica.

7 Quadro degli utilizzi esistenti

La traversa che si intende sfruttare per la valorizzazione energetica delle acque del Torrente Arroscia è a servizio del consorzio irriguo di Ortovero (SV) che preleva una portata di 0.120 m^3/s nel periodo aprile-settembre. Si allega alla domanda di concessione l'accordo di couso dell'opera sottoscritto da entrambe le parti.

8 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) e della quota destina-

ta alla derivazione irrigua nei periodi di prelievo, l'impianto sarà fermo, salvaguardando il passaggio per l'ittiofauna e i diritti preesistenti di terzi. Come riportato nella relazione idrologica i volumi prelevati risultano compatibili con il fabbisogno idrico.

9 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 e con DGR N.609/2018 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 = 0.053;

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 = 210.73 km^2;

M è il parametro morfologico che per la classe CM3 (Reticolo idrografico naturale di pianura) vale M = 1.10;

```
-------------------------------------------
PARAMETRO_M = CM3
GEOMETRY = [GEOMETRY (MultiPolygon) with 81792 points]
AREA_KMQ = 4324.46
ID = 3076
-------------------------------------------
```

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) di seguito si riporta lo stralcio della verifica mediante geoportale.

```
-------------------------------------------
ID_LIGURIA = 80
NOME = T. Arroscia 4
COD_RL = 4550044li
COD_EU = IT07RW4550044LI
COD_BAC = 455
NOME_BAC = F. CENTA
DISTRETTO = ITC
SC_09_131 = Buono
VALORE_SC = 1
SE_09_131 = Buono
VALORE_SE = 1
FATTORE_Q = 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 3 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.2015/2018-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 4 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:

$$DMV_{base} = 0.053 * 20.93 * 210.73 * 1 * 1 * 1.10 = 257.137 \frac{l}{s} = 0.257 \frac{m^3}{s}$$

Il valore così calcolato risulta maggiore del minimo riportato dal PTA-2015.Potate e DMV di 228.97 l/s come riportato nella tabella 3

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 in apposito tubo di bypass (116 l/s) ed in parte nel passaggio per l'ittiofauna previsto (154 l/s).

10 Descrizione opere a progetto.

Nel presente capitolo sono descritte e dimensionate le principali opere a progetto.
L'impianto idroelettrico proposto sarà senza tratto sotteso con derivazione e restituzione a cavallo della traversa esistente nel Comune di
Ortovero a servizio della derivazione irrigua del Consorzio irriguo di Ortovero e sarà realizzato in sponda opposta rispetto alla derivazione irrigua esistente.
Il corpo principale dell'impianto sarà affiancato in sinistra orografica da un canale per lo scarico sabbie ed in destra dal passaggio di rimonta della fauna ittica.
La particolare tipologia di turbina proposta, montata direttamente su una paratoia movimentabile, non necessità di un locale macchina dedicato, pertanto sarà installata direttamente nel canale che costituisce la centrale vera e propria. Tale soluzione consente di mantenere molto contenute le opere civili da implementare in alveo.

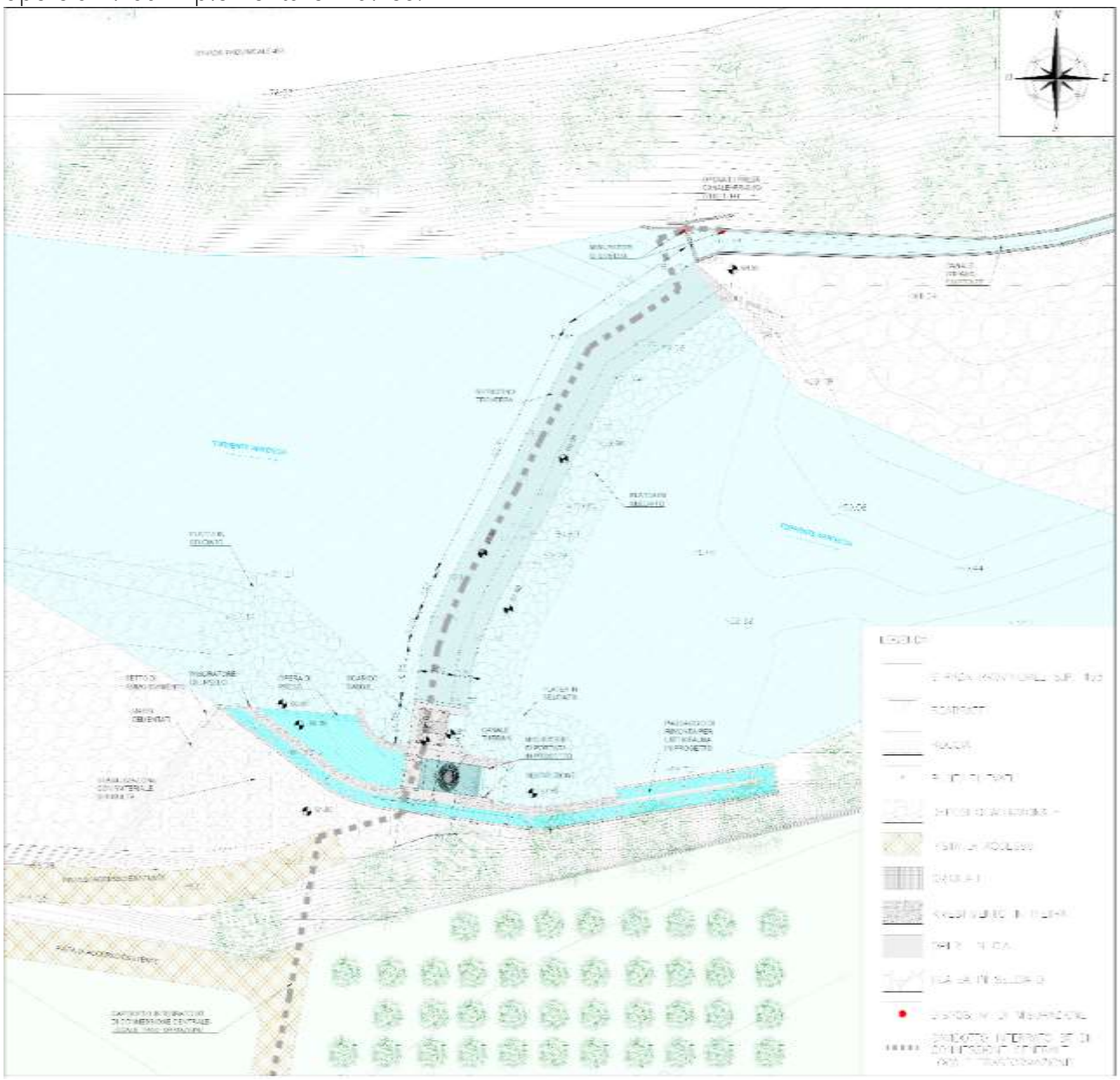


Figura 7 Localizzazione delle opere a progetto realizzate all'interno della traversa esistente

La corrente elettrica prodotta dall'impianto sarà trasformata nazionale in apposito locale realizzato in un luogo sicuro nei confronti delle piene ed immessa nella rete di distribuzione attraverso una conduttura in Media Tensione interrata.

Le opere a progetto consistono dunque in:

- Ripristino della traversa
- Costruzione 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, rivestimenti, passerelle, linee vita, sistemazione accessi
- Realizzazione della scala di risalita ittiofauna
- Realizzazione del locale automazione e controllo e con scomparto Enel dedicato.

Di seguito sono illustrate le singole opere.

10.1 Ripristino della traversa esistente

Il ripristino della traversa con adeguata fondazione consentirà lo sfruttamento energetico del salto geodetico preesistente, la garanzia di un corretto e duraturo prelievo da parte del consorzio irriguo e la stabilizzazione del fondo alveo che allo stato attuale si abbassa con rapida propagazione verso monte.

10.1.1 Pre-dimensionamento 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 alle 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

10.1.2 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 5 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 6 Coordinate geografiche sito in esame

Id nodo	Longitudine	Latitudine
Loc.	8.0754	44.0531



Figura 8 *Ubicazione opera*

10.1.3 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

10.1.4 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

10.1.5 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 7 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

10.1.6 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.

10.1.7 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.

10.1.8 Classificazione sismica del sito

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

10.1.9 Analisi dei carichi

10.1.10 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

10.1.11 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:
$St = 1/2 * ka * \gamma t * ht^2$
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

10.1.12 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.

10.1.13 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. 2018 ed i punti 3.2.2.2 – 3.2.3.2.1 delle N.T.C. 2018

Tabella 8 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

10.1.14 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.

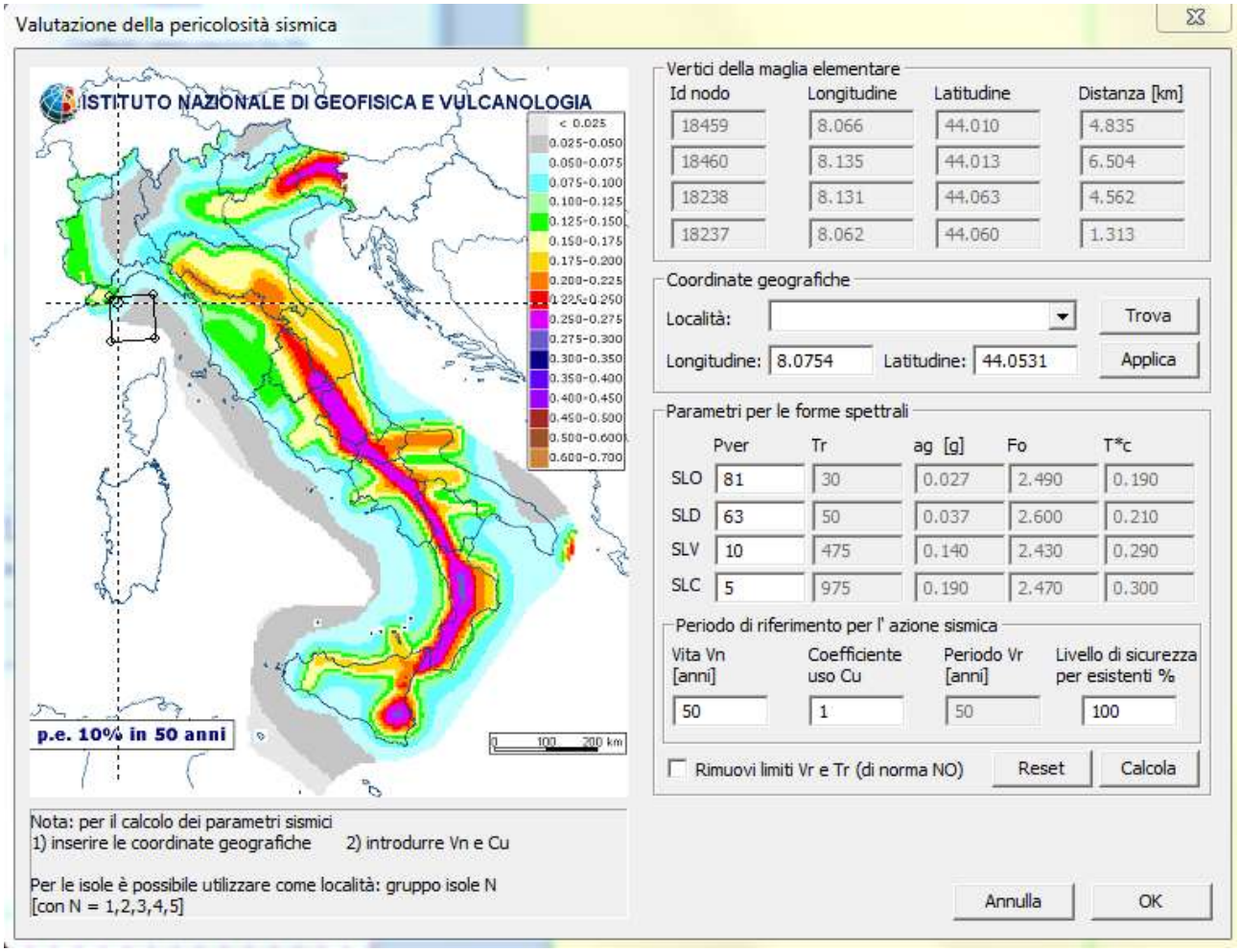


Figura 9 Pericolosità sismica

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.

10.1.15 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

10.1.16 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*ɣH2O *c* y0
Ewd = Azione di inerzia dell'acqua in condizioni dinamiche
ɣH2O = peso specifico dell'acqua
Y0 = 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;
cm = -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.

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.

Approccio progettuale
Coefficienti parziali di sicurezza sui materiali
Le verifiche devono essere eseguite almeno nei confronti dei seguenti stati limiti:
Stabilità globale del complesso traversa-terreno
Approccio 1 – Comb. 2 (A2+M2+R2)
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)
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 γM sono stati adottati come specificato nel seguito.
Approccio 1 combinazione 1 e combinazione 2
Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

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

	Effetto	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Carichi permanenti G_2[(1)]	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

a) Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γM	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan ϕ'k	$\gamma\phi'$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'k	$\gamma c'$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	cuk	γcu	1.0	1.4
Peso dell'unita di volume	$\gamma\gamma$	$\gamma\gamma$	1.0	1.0

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

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali ·R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	·R = 2,3
Scorrimento	·R = 1,1

c) Coefficienti parziali γ_R per le resistenze globali

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Coefficiente	R2
γR	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:

Sezione 1- Sezione tipologica della traversa

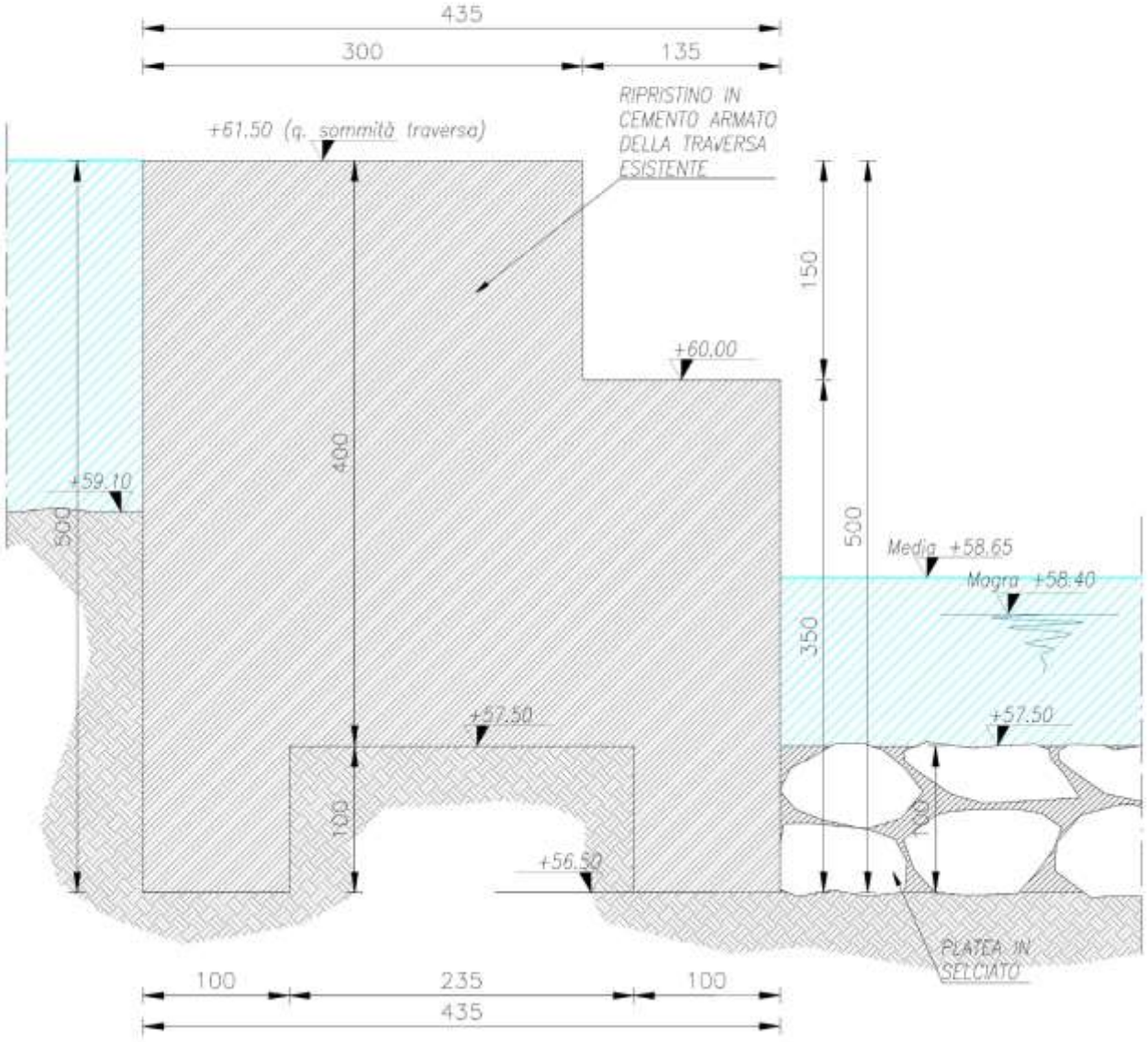


Figura 10 Sezione tipologica della traversa

10.1.17 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

$C_{RIB} = M_{STAB} / |M_{RIB}| = 2.87$

10.1.18 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

$$C_{SCH} = (\sigma_L / R) / \sigma_{max} = 2.96$$

10.1.19 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

$$C_{SCO} = (\sum_{norm} \cdot f_t / R) / \sum_{||} = 1.18$$

10.1.20 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 9 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:

$$F = \frac{\frac{(1+2.35+1)}{3} + (2.6+1+1+1)}{2.85} = 3.52 \geq 3.0 \text{ VERIFICATO}$$

10.2 Opera di presa

L'impianto verrà posto in destra orografica adiacente alla sponda in una zona dove il passaggio di rimonta per la fauna ittica e le opere elettromeccaniche risulteranno protetti dall'impeto delle piene che per la conformazione morfologica del tratto si concentra in sponda opposta. Sarà necessario realizzare un breve tratto di canale di adduzione per convogliare correttamente le acque alla turbina.
La presa presenta un ingresso a soglia di larghezza 7.60 m e spessore 0.5 m posta alla quota +60.50 m s.l.m. Al di sopra della soglia, a passo costante, sono immorsate le barre paratronchi che avranno la funzione di limitare il più possibile l'ingresso del materiale solido flottante nell'impianto.
Il breve tratto di adduzione realizzato in cemento armato, rivestito in pietra nella parte sommitale, presenta un andamento curvilineo e convoglia le acque prelevate direttamente alla turbina.

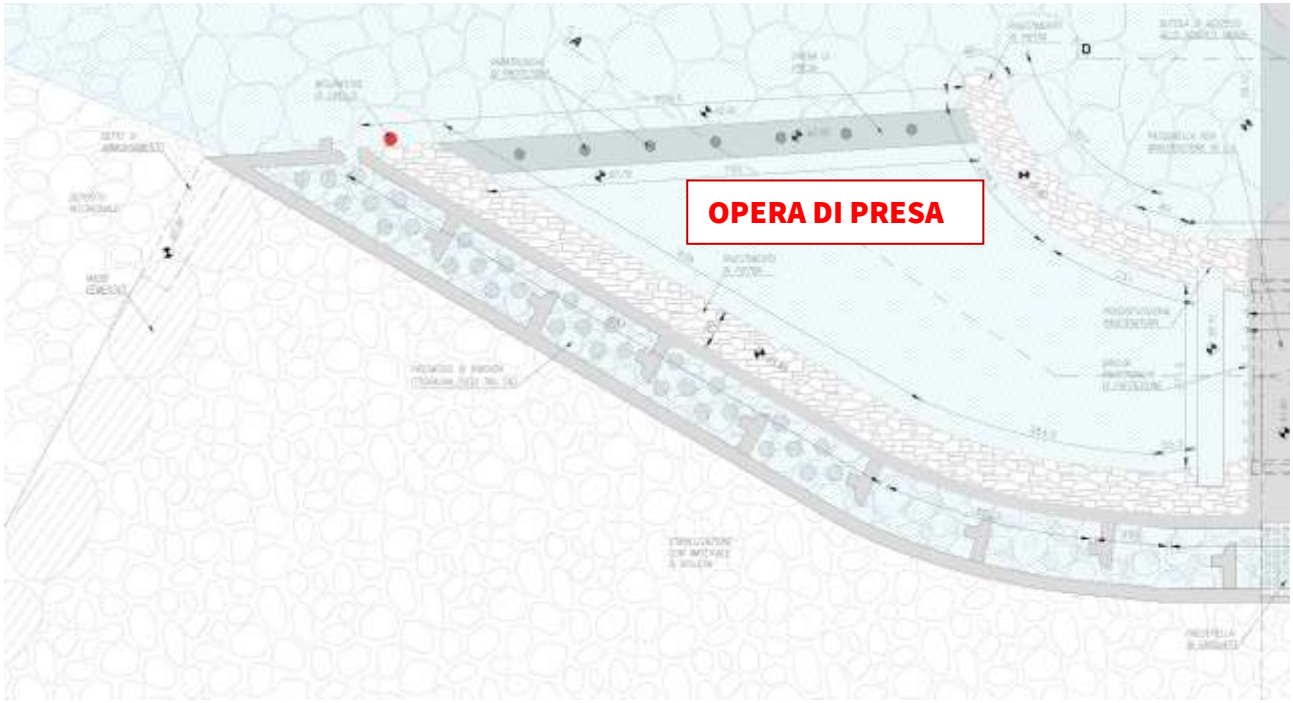


Figura 11 Opera di presa

Le dimensioni e la forma dell'opera consentono, in ogni condizione di funzionamento, di mantenere le velocità in ingresso e di conseguenza le perdite di carico molto contenute. Con una larghezza utile all'ingresso dell'acqua di 6.54 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 0.18 m/s all'avvio dell'impianto a 0.92 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 necessari ad effettuare in sicurezza la manutenzione dell'opera.

Si prevede di realizzare un rivestimento in pietra sulla parte sommitale dell'impianto e per circa 60 cm sul paramento verticale a vista, al fine di mitigarne l'impatto visivo dell'opera.

L'impianto infatti risulta visibile solo da una ridottissima porzione di territorio in posizione rialzata posta in sinistra idrografica. Tale soluzione consente un'ottima mitigazione visiva delle opere.

Non è prevista la realizzazione del rivestimento in alcune aree, dove per differenti motivi non è possibile garantire un'adeguata durabilità dell'intervento. In particolare l'area immediatamente a valle

della paratoia di scarico sabbie durante le operazioni di pulizia è caratterizzata dalla presenza di elevate velocità e materiale solido che avrebbero un'azione fortemente abrasiva sul rivestimento non garantendone la durabilità del rivestimento. L'unico punto di accesso alla traversa è posto in destra orografica. Una volta ultimati i lavori di realizzazione delle opere a progetto, per effettuare le operazioni di manutenzione alla derivazione irrigua esistente sarà necessario superare l'impianto; per questo motivo si prevede di installare coperture carrabili sopra i canali a progetto, pertanto le zone dove è previsto il passaggio di mezzi meccanici non saranno rivestite.

10.3 Griglia di pulizia

Data la tipologia di turbina dotata di un proprio sistema di pulizia montato direttamente 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 (flap) posta in testa alla turbina.

10.4 Scarico sabbie

Immediatamente a sinistra del canale principale si prevede di realizzare, sempre in corpo traversa, un canale che ha il compito di lasciar procedere verso valle il materiale che naturalmente si depone a tergo della traversa. La quota di imposta è pari a 59.10 m s.l.m. L'utilizzo sincrono di cacciate d'acque mediante il canale turbina (principale) e il canale dissabbiatore consente di mantenere una buona continuità del materiale solido trasportato dalla corrente. Tale canale, governato da una paratoia a libro, grazie ad un opportuno piano di gestione, ad esempio con entrata in funzione ogni qualvolta si raggiunge in alveo una portata pari alla Q10, consente di mantenere perfettamente funzionante sia il passaggio di rimonta che l'impianto.

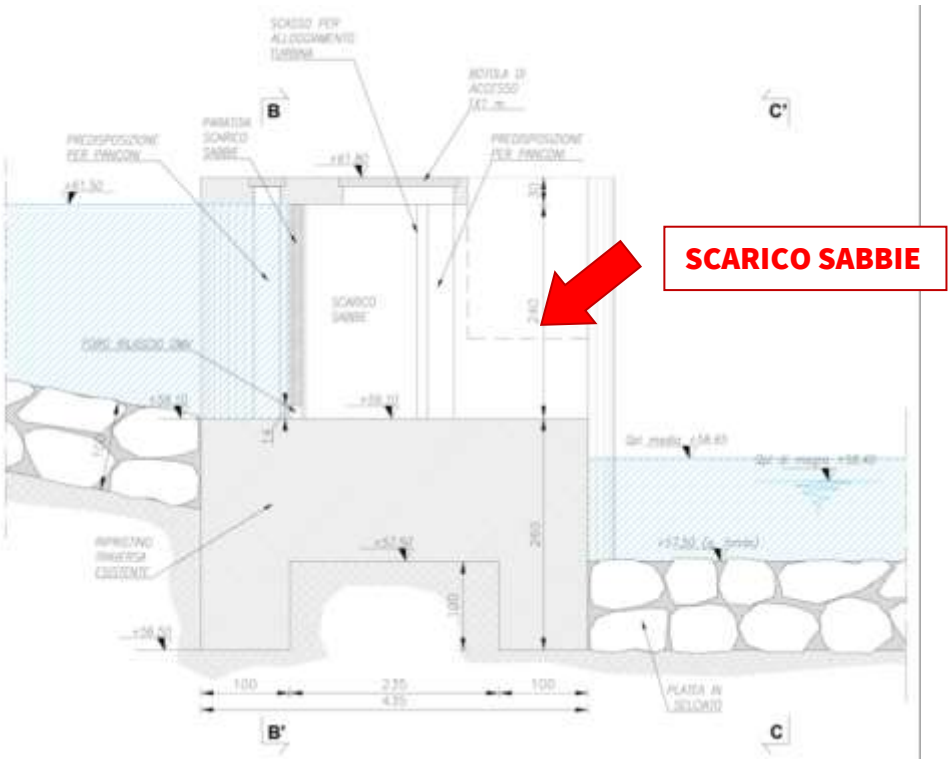


Figura 12 Particolare scarico sabbie

Nella parte superiore del canale sarà realizzata una soletta carrabile in modo da garantire il transito di eventuali mezzi meccanizzati per le operazioni di manutenzione della derivazione irrigua in quanto l'acceso alle opere avviene dalla sponda destra.

10.5 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 (fino a 2 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

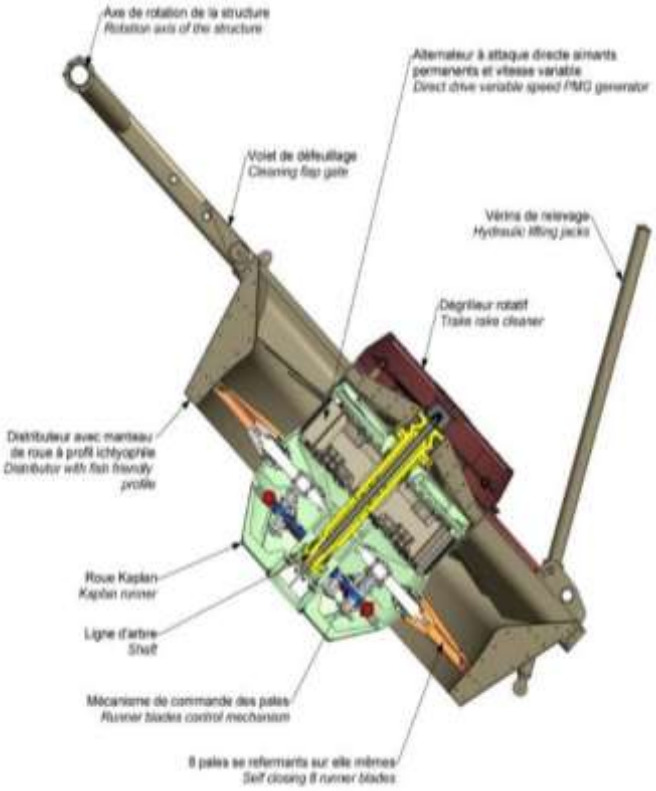


Figura 14 Spaccato tipo VLH con generatore sincrono a magneti permanenti



Figura 15 Esempio di installazione di turbina tipo VLH.

10.6 Canale di restituzione

L'impianto restituirà le acque valorizzate energeticamente del T. Arroscia nella medesima pozza naturale in cui è posto l'imbocco di valle del passaggio di rimonta. Tale soluzione consente di unifica-

re i filoni della corrente e garantire pertanto una buona attrattività alla scala di risalita della fauna ittica.
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 (passaggio di rimonta) rivestito in pietra delle medesime colorazioni degli affioramenti esistenti, in modo tale da ripristinare la naturalità della sponda.
L'opera di restituzione presenta una larghezza variabile da 2.5m immediatamente a valle della macchina idraulica fino a 4 m in prossimità dello sbocco nella pozza naturale.
Tale soluzione consente di mantenere sempre velocità contenute a valle della turbina e di garantire una buona attrattività del passaggio.

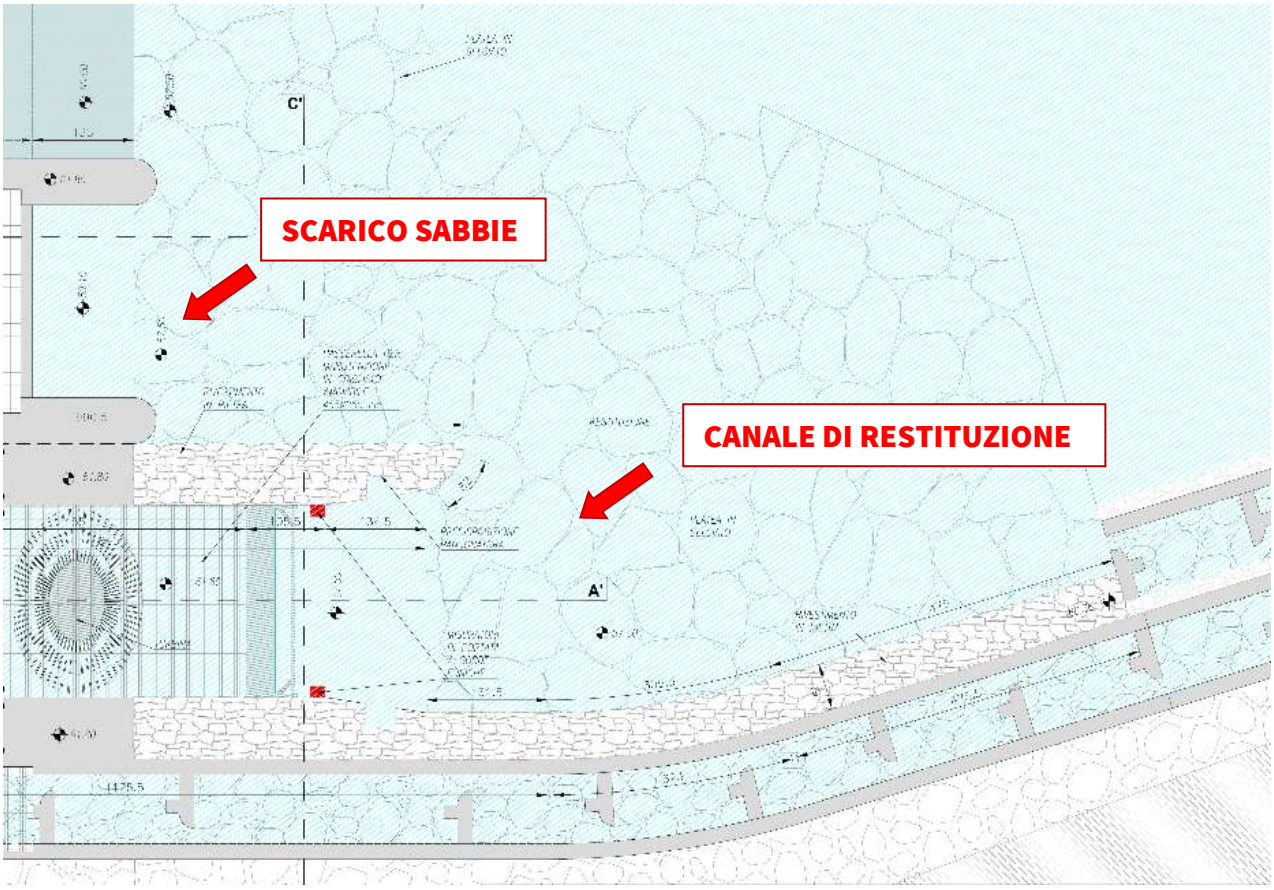


Figura 16 Opera di scarico

Nel canale di scarico sono previsti gli scassi per i panconi al fine di ottimizzare gli interventi di manutenzione dell'impianto.

10.7 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 conforme con i dettami del regolamento regionale n. 3/2011 ovvero superiore al massimo tra la quota del carico totale della corrente con tempo di ritorno duecentennale e +1 m rispetto al livello atteso nelle medesime condizioni di piena.
Il locale, con 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. Infatti l'edificio assumerà le sembianze di una struttura rurale del tutto simile con quelle già presenti in loco

La posizione individuata per la cabina rispetta i dettami del Regio Decreto con distanza tra sponda ed opera ampiamente superiore a 10 m come previsto da normativa.

La cabina di consegna sarà costituita da un manufatto in cls costruito in conformità alle prescrizioni del capitolato tecnico Enel ed in particolare alla CEI 0-16, completo di griglie e porte in vetroresina autoestinguente a norme Enel ed impianto di terra. Il locale sarà dotato di un accesso diretto ed indipendente, le aperture dovranno garantire un grado di protezione minimo IP33 ed una adeguata ventilazione a circolazione di aria; le tubazioni di ingresso di cavi dovranno essere sigillate onde impedire la propagazione e/o infiltrazione di fluidi liquidi e gassosi; tutta la struttura sarà adeguatamente impermeabilizzata. Pianta, prospetti e sezioni della cabina di trasformazione, comprese posizione dei cunicoli e posizioni delle apparecchiature interne sono mostrate nella tavola di progetto. La cabina sarà dotata di un impianto di messa a terra interno costituito da un piatto in rame 40x3 posato a parete. Il collegamento delle apparecchiature sarà realizzato con trecce di rame sezione 35 mm2; e collegato alle maglie della struttura e della fondazione.

L'impianto di dispersione dovrà essere integrato con il collegamento della rete elettrosaldata, maglia 20x20 diametro 6 mm, posta sotto la pavimentazione della cabina, con il collegamento ai ferri di fondazione e con l'allacciamento di rete di terra esistente. Per quanto attiene ai conduttori di protezione dovranno essere costituita da corda in rame isolata in PVC posata entro tubi e canaline.

Come ben evidente dalle immagini seguenti la cabina sarà realizzata in una porzione di territorio prevalentemente pianeggiante ad uso agricolo, interamente esterna alla fascia boschiva, a circa tre metri dal muro esistente che costituisce un elemento di terrazzamento storico esistente (cfr. DF.2.3 Sistema paesaggistico del PUC di Ortovero) che verrà perfettamente mantenuto. In prossimità della cabina sarà presente il palo della linea Enel di collegamento tra la struttura e la rete di distribuzione, meglio definita nei capitoli seguenti.

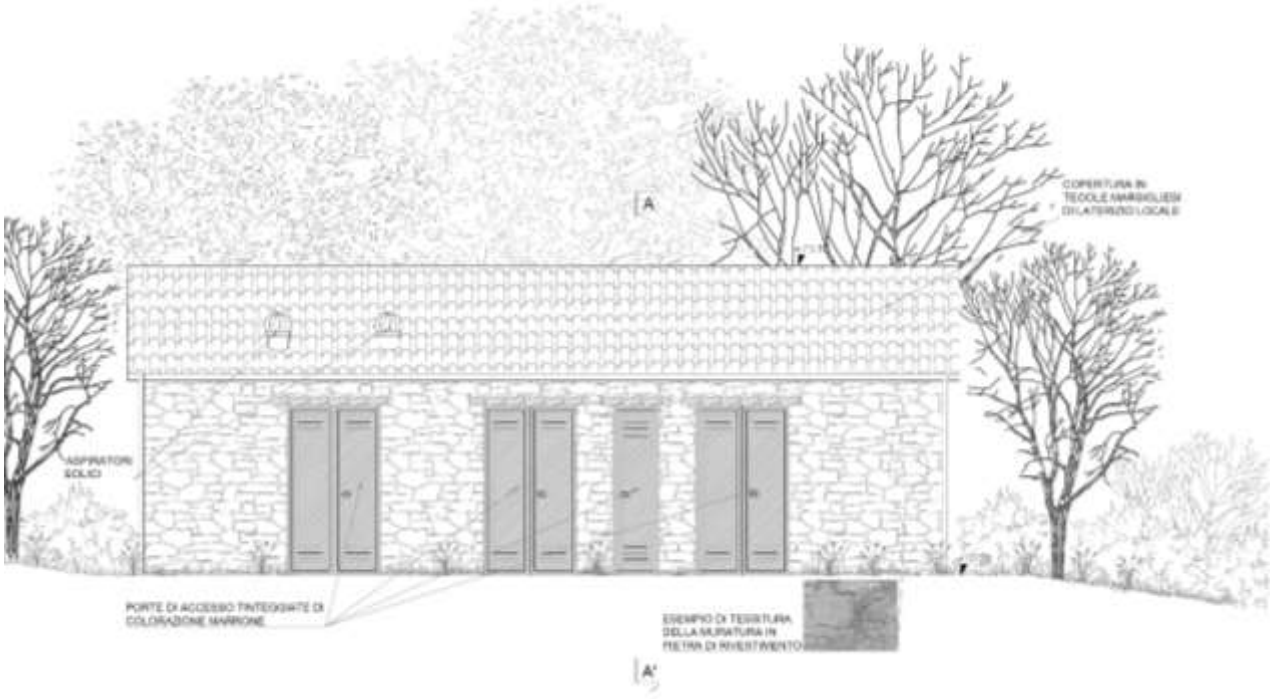


Figura 17 Prospetto frontale cabina di automazione e consegna.



Figura 18 Area dove è prevista la realizzazione della cabina.



Figura 19 Foto inserimento delle opere a progetto visibili

10.8 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, con cavo interrato sia per la linea privata per la parte di proprietà dell'ente gestore della rete.

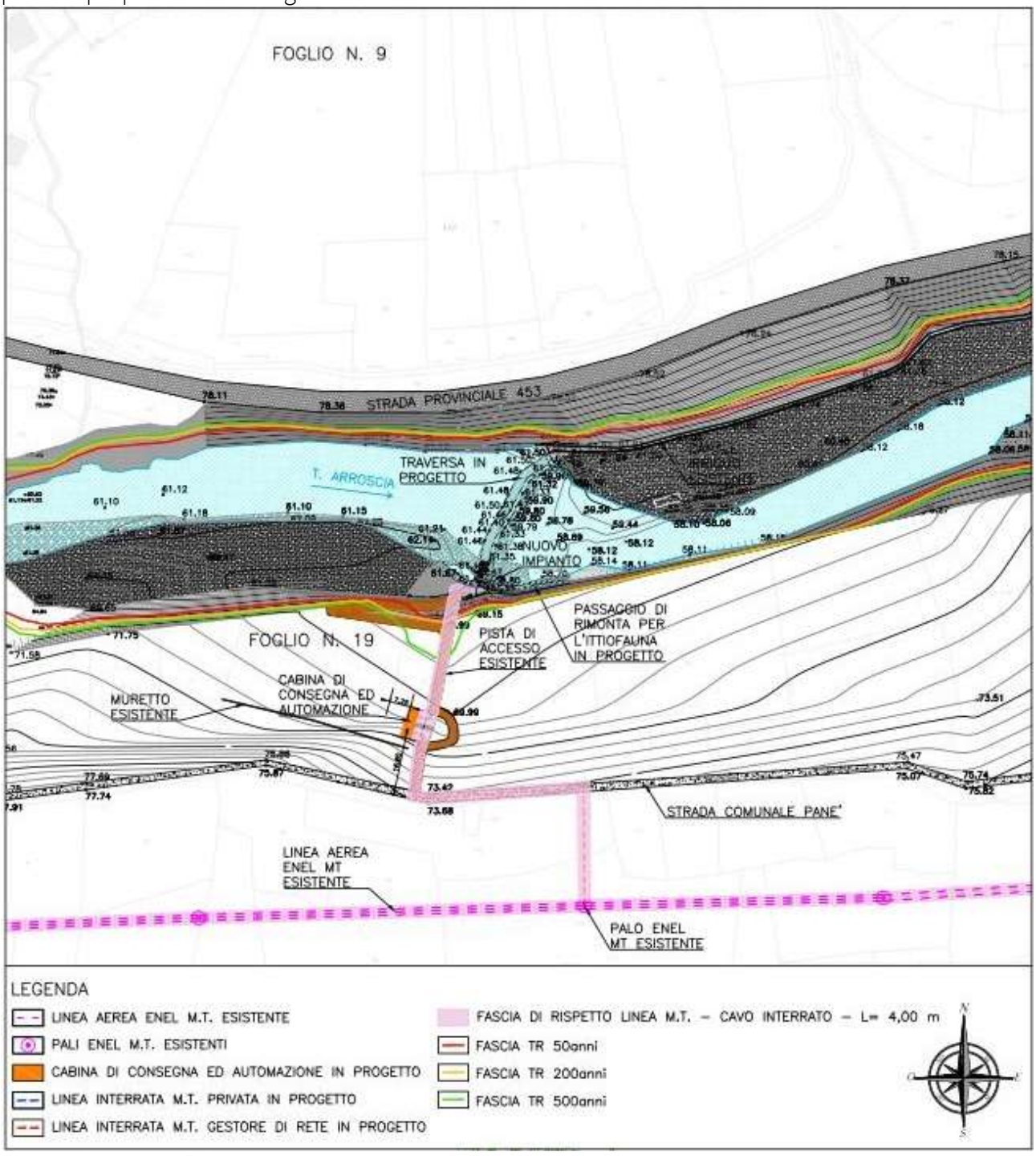


Figura 20 Planimetria delle linee di connessione ENEL a progetto.

La posa delle condutture interrate sarà da realizzarsi secondo le prescrizioni di ENEL, il cavo interrato impiegato per la connessione dal trasformatore alla cabina di consegna e successivamente alla linea MT esistente, sarà di tipo tripolare ad elica visibile per posa interrata, con conduttori in alluminio di sezione 185 mm^2, isolato in XLPE a spessore ridotto e schermato in tubo di alluminio con guaina esterna ancora in XLPE, designazione ARE4H5EX, conforme alla normativa CEI 20-1.

Il diametro indicativo esterno del cavo si attesta a circa 75.25 mm, pertanto la tubazione in HDPE prescelta risulta di diametro interno conveniente per ospitare il dispositivo, secondo la prescrizione:

$$D_{int} > 1{,}4\ D_{cavo}$$

La tubazione che proteggerà il cavo sarà in HDPE con diametro esterno Ø=160 mm e diametro interno minimo non inferiore a 125 mm, corrugato esternamente e con guaina interna liscia; i colori dei due strati (liscio interno e corrugato esterno) dovranno essere visibilmente differenti.
Il tubo dovrà presentare un grado di resistenza allo schiacciamento di almeno 750 N, conformemente alle normative CEI 11-23.

Tubo	Marcature	Grandezza	Diametro interno [mm]	Impiego
"N"	Materiale impiegato Sigla o marchio del costruttore Anno di fabbricazione Grado di resistenza all'urto :"N"	160	120	cavi MT
		125	94	cavi BT

Figura 21 tipologia cavidotti interrati

L'interramento avverrà tenendo in considerazione le prescrizioni della normativa elettrica CEI 11-17 sulla posa dei cavidotti in MT; la profondità minima di scavo risulterà pertanto non inferiore a 1,20 mt. Tale genere di sistemazione, come mostrato in Figura 2, sarà costituita da:
- letto in sabbia per l'alloggiamento e la stabilizzazione della tubazione;
- strato di riempimento costituito da inerte (terra di scavo);
- manto superficiale di stabilizzato/ricoprimento.

Secondo quanto richiesto dalla normativa il passaggio dei cavi verrà segnalato collocando un nastro estensibile a non meno di 20 cm al di sopra dell'estradosso della tubazione.
Il nastro impiegato sarà conforme alle prescrizioni ENEL, in PVC plastificato oppure PE reticolato, di colore rosso e recante la dicitura "ENEL – CAVI ELETTRICI", in nero ed a caratteri cubitali chiaramente leggibili, sul lato rivolto verso l'alto, come mostrato in Figura 3.

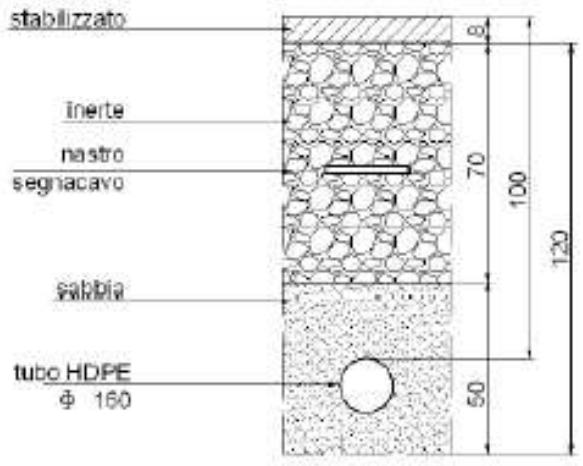
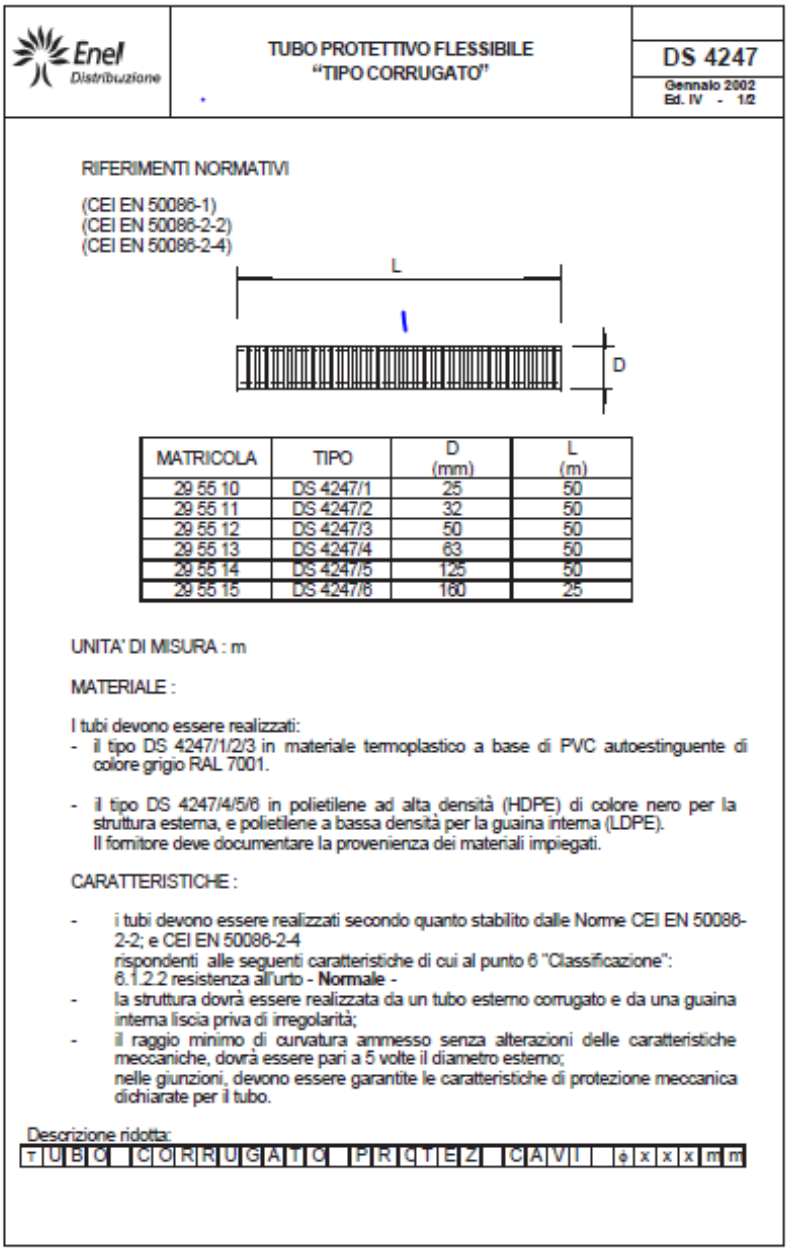


Figura 22 Sezioni per posa tipo del cavidotto interrato

La tubazione portacavo che ospiterà le condutture elettriche dovrà presentare un grado di resistenza allo schiacciamento di almeno 750 N, conformemente alle normative CEI 11-23, secondo le specifiche riportate di seguito.



Enel Distribuzione

TUBO PROTETTIVO FLESSIBILE
"TIPO CORRUGATO"

DS 4247
Gennaio 2002
Ed. IV - 1/2

INGEGNERIA - UNIFICAZIONE

RIFERIMENTI NORMATIVI

(CEI EN 50086-1)
(CEI EN 50086-2-2)
(CEI EN 50086-2-4)

L

D

MATRICOLA	TIPO	D (mm)	L (m)
29 55 10	DS 4247/1	25	50
29 55 11	DS 4247/2	32	50
29 55 12	DS 4247/3	50	50
29 55 13	DS 4247/4	63	50
29 55 14	DS 4247/5	125	50
29 55 15	DS 4247/6	160	25

UNITA' DI MISURA : m

MATERIALE :

I tubi devono essere realizzati:
- il tipo DS 4247/1/2/3 in materiale termoplastico a base di PVC autoestinguente di colore grigio RAL 7001.
- il tipo DS 4247/4/5/6 in polietilene ad alta densità (HDPE) di colore nero per la struttura esterna, e polietilene a bassa densità per la guaina interna (LDPE).
  Il fornitore deve documentare la provenienza dei materiali impiegati.

CARATTERISTICHE :

- i tubi devono essere realizzati secondo quanto stabilito dalle Norme CEI EN 50086-2-2; e CEI EN 50086-2-4
  rispondenti alle seguenti caratteristiche di cui al punto 6 "Classificazione":
  6.1.2.2 resistenza all'urto - **Normale** -
- la struttura dovrà essere realizzata da un tubo esterno corrugato e da una guaina interna liscia priva di irregolarità;
- il raggio minimo di curvatura ammesso senza alterazioni delle caratteristiche meccaniche, dovrà essere pari a 5 volte il diametro esterno;
  nelle giunzioni, devono essere garantite le caratteristiche di protezione meccanica dichiarate per il tubo.

Descrizione ridotta:
TUBO CORRUGATO PROTETTIVO CAVI ϕ x x x mm

Figura 23 Specifiche tubo corrugato

Nella posa dei tubi le curve devono essere limitate al minimo necessario e comunque dovranno avere un raggio non inferiore a 1,50 m. In particolare il profilo della tubazione MT e BT deve essere quanto più lineare possibile evitando in particolare le "strozzature" nei casi di incrocio con altre opere o per la eventuale presenza di ostacoli.

10.8.1 Caratteristiche della linea Elettrica "privata".

Per la realizzazione della linea privata di collegamento tra la turbina e il locale di trasformazione saranno adottati cavi in bassa tensione ad elica visibile interrati ad una profondità minima dall'estradosso del portacavo di un 1.20 metro. All'incirca 20 cm sopra suddetto cavo sarà posto il

nastro segnalatore indicante la presenza dei cavi. La tubazione che alloggerà il conduttore elettrico sarà in HDPE con diametro esterno ϕ=160 mm corrugato esternamente e con guaina interna liscia; i colori dei due strati (liscio interno e corrugato esterno) dovranno essere visibilmente differenti. All'interno dello scavo in apposito condotto in HDPE saranno inseriti i cavi di segnale per il controllo in remoto dell'impianto.

10.9 Strumenti di misura delle portate

La centrale è dotata di dispositivi di misura automatici predisposti per la comunicazione telematica dei dati. 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.
Al fine di garantire il corretto funzionamento della derivazione irrigua sarà necessario predisporre una coppia di misuratori di livello piezo-resistivi posti rispettivamente a monte e a valle della paratoia di ingresso al fine di determinare univocamente la portata in ingresso.
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.

10.10 Passaggio di rimonta della fauna ittica.

Relativamente al passaggio di rimonta della fauna ittica sono state prese in considerazione differenti soluzioni progettuali, in particolare sono state preliminarmente individuate due soluzioni, una di tipo "naturalistico" ed una di tipo "tecnico".



Figura 24 Esempio di passaggio di rimonta di tipo naturalistico

La rampa di tipo naturalistico presenta numerosi pregi in quanto può essere utilizzata da tutte le specie presenti senza particolari accorgimenti a patto di mantenere le pendenze molto basse. In letteratura vi sono numerosi esempi di studi che attestano un buon funzionamento mantenendosi con pendenze comprese tra 1% e il 4%. Tale soluzione per superare l'ostacolo della traversa, circa 3 m in condizione di magra comporterebbe una lunghezza di circa 70 m (con pendenza al 4%) ed una larghezza di circa 2 m, in quanto usualmente viene considerata una larghezza pari ad 1 m per ogni 100 l/s che defluiscono nel passaggio.

Data la morfologia del luogo e date le notevoli dimensioni dell'opera con un'occupazione di suolo notevole si è ritenuto necessario optare per un passaggio di tipo tecnico.



Figura 25 Esempio passaggio di rimonta a bacini successivi ripiegato.

In particolare la scelta è ricaduta su un passaggio a bacini successivi con fenditura verticale profonda.

Tale scelta sotto il profilo paesaggistico ha portato a confrontarsi con un'opera con uno sviluppo minimo di circa 30 m.
La scelta di immorsare al fondo del passaggio dei massi sporgenti in modo tale da avere uno strato di circa 20 cm a ridotte velocità consente l'utilizzo del passaggio anche alle anguille che per le particolari caratteristiche natatorie riescono a "far presa" sui massi immorsati al fondo.

La morfologia locale (salto da superare e spazi presenti) e la necessità di realizzare un unico passaggio idoneo a tutte le specie presenti hanno condotto la scelta su passaggio di tipo tecnico a bacini successivi del tipo a fenditura verticale dotato di un particolare substrato di fondo ad elevata scabrezza. Il passaggio è stato ripiegato su sé stesso, come riportato nella figura seguente, in modo tale da unificare i rilasci (impianto e passaggio) nella medesima area per garantirne un'adeguata attrattività. Nelle condizioni di progetto il funzionamento del passaggio che è in grado di smaltire circa 154 l/s è in grado di funzionare in modo adeguato fino a portate prossime alla Q_{10} pari a 22.55 m^3/s.

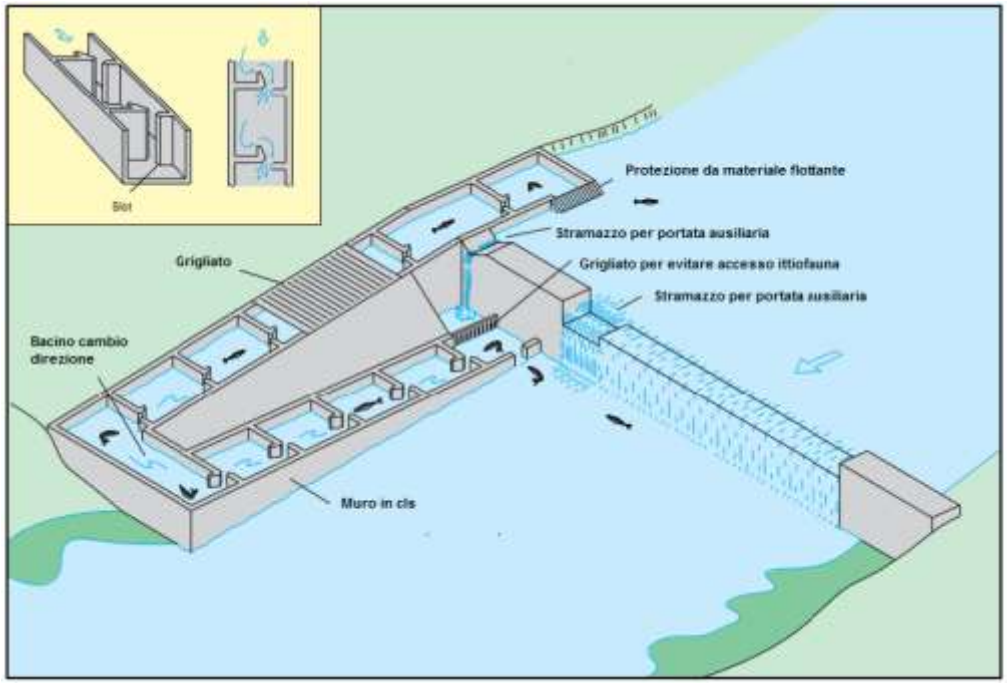


Figura 26 Schema esemplificativo del passaggio di rimonta adottato

10.10.1 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 rigurgitati, in quanto le specie target del passaggio devono poter nuotare tra un bacino e l'altro senza la necessità di compiere salti.

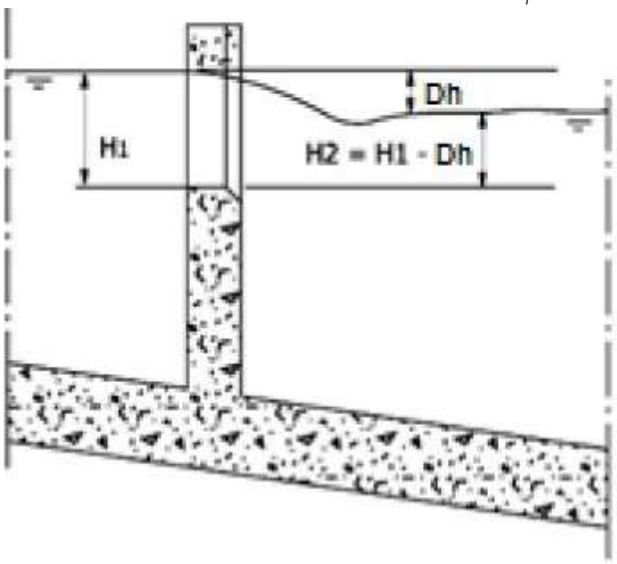


Figura 27 Schema longitudinale di passaggio a bacini successivi con deflusso continuo: stramazzo rigurgitato

-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= 0.466 coefficiente di riduzione dovuto alla sommersione

b = 0.2 m larghezza dello stramazzo

H_1 = 1.00 m altezza dello stramazzo

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

Δh = 0.094 m salto tra i bacini

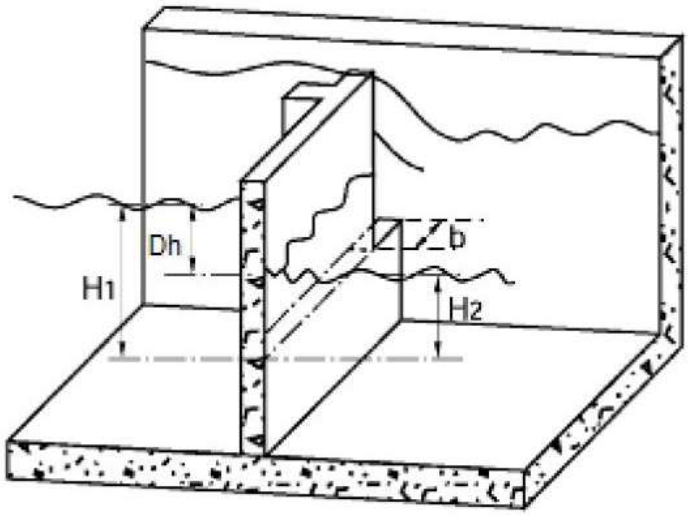


Figura 28 Deflusso attraverso stramazzo rigurgitato

Da cui risulta:
Q= 154 l/s portata attraverso stramazzo rigurgitato. 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:

P_v= 101.5	[W/m^3]	potenza dissipata per unità di volume (< 150 W/m^3 ciprinidi)
ρ = 1000	[kg/m^3]	densità dell'acqua
Q = 0.1154	[m^3/s]	portata d'acqua
Va= 1.485	[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.
Le velocità all'interno del passaggio devono essere compatibili con le capacità natatorie delle specie presenti su cui è stato dimensionata la struttura.
La verifica delle velocità è stata effettuata mediante una simulazione idraulica con il software Hec-Ras, al variare dei livelli di monte e valle in tre condizioni limite, Q20 (portata che si verifica almeno 20 giorni all'anno), condizioni ordinarie e di magra. Mediamente si riscontrano velocità comprese 0.25 e 0.30 m/s, dunque sempre compatibili con le specie ittiche presenti. I risultati sono riportati in calce al capitolo.
Tipicamente la velocità di crociera dei ciprinidi di taglia medio-piccola è di 0.34 - 0.36 m/s mentre la velocità di scatto è compresa tra 1.14 – 1.36 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 nelle figure seguenti.

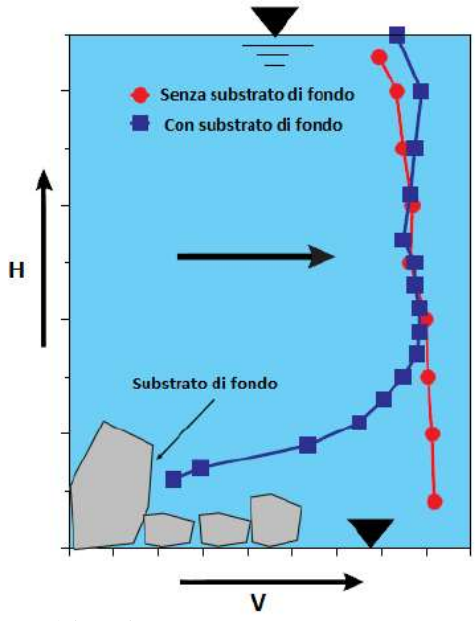


Figura 29 Andamento delle velocità all'interno del canale.

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.

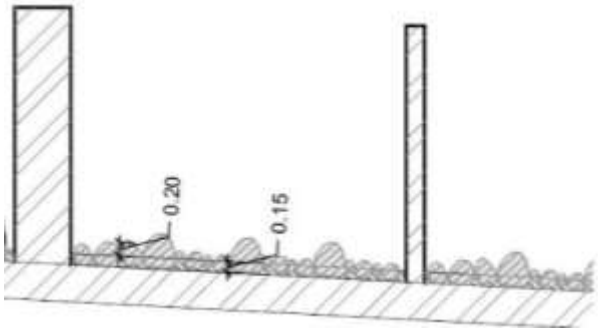


Figura 30 Sezione tipologica realizzazione substrato di rivestimento del fondo

La tipologia di substrato adottato consente l'utilizzo del passaggio anche dalle anguille che date le ridotte velocità 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.

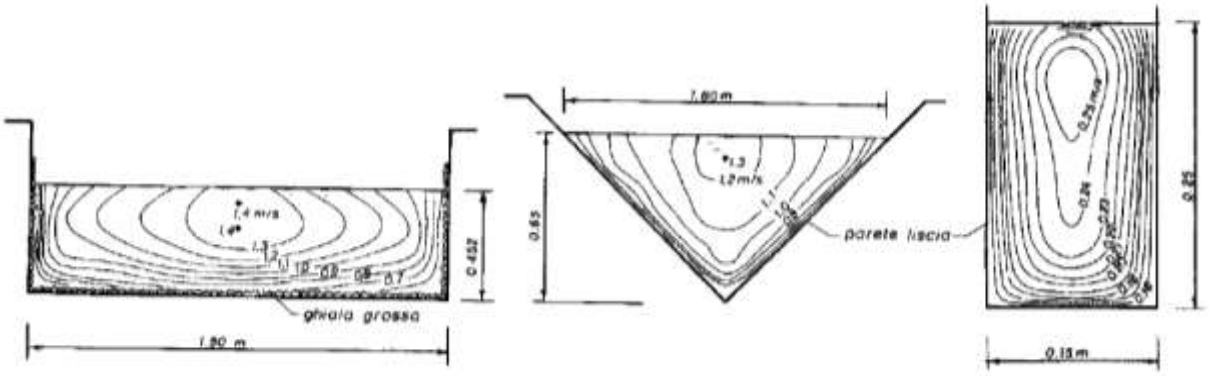


Figura 31 Rappresentazione della distribuzione delle isotachie in canali a pelo libero (Chow).

10.10.2 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 10 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 11 Parametri progettuali adottati

Parametro	Valore	Motivazioni
Dislivello massimo tra due bacini Δh	10 cm	Questo dislivello è il miglior compromesso dimensionale tra efficienza del passaggio e lunghezza dello stesso
Livello idrico di monte	61.50 m s.l.m.	Condizioni al contorno dettate dai livelli idrici di monte e di valle in condizioni di magra
Livello idrico di valle	58.40 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 12 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 61.50 m s.l.m.	≈ 154 l/s	
Numero di bacini	30	
Pendenza media	5.00 %	
Parametri di dimensionamento		
Parametro	Valore	Range di valori consigliati
Potenza specifica dissipata in condizioni di progetto (W/m^3)	≈101.5 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	10	maggiore di 2

Le valutazioni riportate precedentemente sono riferite al normale esercizio dell'impianto ovvero con impianto attivo, portata irrigua in esercizio e salto prossimo al massimo instaurabile in condizioni di magra pari a 3.1 m. Per validare il funzionamento sono state effettuate anche le verifiche in condizioni di magra con impianto idroelettrico fermo, e salto in alveo pari a 3.1 m ed in condizioni di portate elevate prossime alla portata con durata pari a 10 giorni.
In tutti gli scenari analizzati si è riscontrato il corretto ed adeguato funzionamento dell'impianto, come riportato nella tabella riassuntiva seguente.

Tabella 13 confronto tra le condizioni di magra, progetto, e Q_{20}

	ΔH	Δh	H_1	Q	P	Pendenza media
	m	m	m	l/s	W/m^3	%
MAGRA	3.1	0.1	1	154	101.5	5.01%
PROGETTO	2.85	0.1	1	154	101.5	4.90%
Q_{20}	2.8	0.1	1.3	206	104.8	4.81%

Dalla precedente tabella risulta evidente come in condizioni di magra il livello di monte sia regolato dalla traversa esistente, condizione analoga a quella di progetto, mentre variano i livelli di valle, che a mano a mano aumentano le ultime vasche vengono sommerse le ultime vasche di valle.
Nelle condizioni di portata elevata la traversa sfiora la portata eccedente quella derivata dall'impianto e dal consorzio irriguo, pertanto i livelli sul passaggio necessariamente aumentano e di conseguenza anche le portate transitanti nella struttura. Anche queste condizioni risultano ampiamente verificate per le specie obiettivo del passaggio presenti nel Torrente.
Di seguito si riportano nelle tre condizioni di progetto (magra, progetto, Q_{20}), le simulazioni idrauliche effettuate con il programma Hec-Ras. Tutte le condizioni di progetto mostrano come le velocita siano comprese tra 0.25m/s e 0.30 m/s range di velocità compatibile con tutte le specie ittiche presenti.

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl

		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
6500	PRO	0.154	60.4	61.08	60.54	61.08	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6500	Q20	0.206	60.4	61.23	60.57	61.24	0.00012	0.27	0.75	0.9	0.1
6500	MAGRA	0.154	60.4	61.08	60.54	61.08	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6450	PRO	0.154		61.08		61.08					
6450	Q20	0.206		61.23		61.24					
6450	MAGRA	0.154		61.08		61.08					
6400	PRO	0.154	60.4	60.98		60.98	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
6400	Q20	0.206	60.4	61.13		61.14	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
6400	MAGRA	0.154	60.4	60.98		60.98	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
6300	PRO	0.154	60.3	60.98	60.44	60.98	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6300	Q20	0.206	60.3	61.13	60.47	61.14	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
6300	MAGRA	0.154	60.3	60.98	60.44	60.98	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6250	PRO	0.154		60.98		60.98					
6250	Q20	0.206		61.13		61.14					
6250	MAGRA	0.154		60.98		60.98					
6200	PRO	0.154	60.3	60.88		60.88	0.00046	0.30	0.52	0.9	0.12
6200	Q20	0.206	60.3	61.03		61.04	0.00043	0.31	0.66	0.9	0.12
6200	MAGRA	0.154	60.3	60.88		60.88	0.00046	0.30	0.52	0.9	0.12
6100	PRO	0.154	60.2	60.88	60.34	60.88	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6100	Q20	0.206	60.2	61.03	60.37	61.04	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
6100	MAGRA	0.154	60.2	60.88	60.34	60.88	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
6050	PRO	0.154		60.88		60.88					
6050	Q20	0.206		61.03		61.04					
6050	MAGRA	0.154		60.88		60.88					
6000	PRO	0.154	60.2	60.78		60.78	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
6000	Q20	0.206	60.2	60.93		60.93	0.00020	0.31	0.66	0.9	0.12
6000	MAGRA	0.154	60.2	60.78		60.78	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
5900	PRO	0.154	60.1	60.78	60.24	60.78	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5900	Q20	0.206	60.1	60.93	60.27	60.93	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
5900	MAGRA	0.154	60.1	60.78	60.24	60.78	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5850	PRO	0.154		60.78		60.78					
5850	Q20	0.206		60.93		60.93					
5850	MAGRA	0.154		60.78		60.78					
5800	PRO	0.154	60.1	60.68		60.68	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
5800	Q20	0.206	60.1	60.83		60.84	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
5800	MAGRA	0.154	60.1	60.68		60.68	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
5700	PRO	0.154	60	60.68	60.14	60.68	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5700	Q20	0.206	60	60.83	60.17	60.84	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
5700	MAGRA	0.154	60	60.68	60.14	60.68	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5650	PRO	0.154		60.68		60.68					
5650	Q20	0.206		60.83		60.84					
5650	MAGRA	0.154		60.68		60.68					
5600	PRO	0.154	60	60.58		60.58	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
5600	Q20	0.206	60	60.73		60.74	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
5600	MAGRA	0.154	60	60.58		60.58	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
5500	PRO	0.154	59.9	60.58	60.04	60.58	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5500	Q20	0.206	59.9	60.73	60.07	60.74	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
5500	MAGRA	0.154	59.9	60.58	60.04	60.58	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5405	PRO	0.154		60.58		60.58					
5405	Q20	0.206		60.73		60.74					
5405	MAGRA	0.154		60.58		60.58					
5400	PRO	0.154	59.9	60.48		60.48	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
5400	Q20	0.206	59.9	60.63		60.64	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
5400	MAGRA	0.154	59.9	60.48		60.48	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
5300	PRO	0.154	59.8	60.48	59.94	60.48	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5300	Q20	0.206	59.8	60.63	59.97	60.64	0.00012	0.27	0.75	0.9	0.1
5300	MAGRA	0.154	59.8	60.48	59.94	60.48	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5250	PRO	0.154		60.48		60.48					
5250	Q20	0.206		60.63		60.64					
5250	MAGRA	0.154		60.48		60.48					
5200	PRO	0.154	59.8	60.38		60.38	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
5200	Q20	0.206	59.8	60.53		60.54	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
5200	MAGRA	0.154	59.8	60.38		60.38	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
5100	PRO	0.154	59.7	60.38	59.84	60.38	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5100	Q20	0.206	59.7	60.53	59.87	60.54	0.00012	0.27	0.75	0.9	0.1
5100	MAGRA	0.154	59.7	60.38	59.84	60.38	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
5050	PRO	0.154		60.38		60.38					

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
5050	Q20	0.206		60.53		60.54					
5050	MAGRA	0.154		60.38		60.38					
5000	PRO	0.154	59.7	60.28		60.28	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
5000	Q20	0.206	59.7	60.43		60.44	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
5000	MAGRA	0.154	59.7	60.28		60.28	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
4900	PRO	0.154	59.6	60.28	59.74	60.28	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4900	Q20	0.206	59.6	60.43	59.77	60.44	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
4900	MAGRA	0.154	59.6	60.28	59.74	60.28	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4850	PRO	0.154		60.28		60.28					
4850	Q20	0.206		60.43		60.44					
4850	MAGRA	0.154		60.28		60.28					
4800	PRO	0.154	59.6	60.18		60.18	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4800	Q20	0.206	59.6	60.33		60.34	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
4800	MAGRA	0.154	59.6	60.18		60.18	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4700	PRO	0.154	59.5	60.18	59.64	60.18	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4700	Q20	0.206	59.5	60.33	59.68	60.34	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
4700	MAGRA	0.154	59.5	60.18	59.64	60.18	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4650	PRO	0.154		60.18		60.18					
4650	Q20	0.206		60.33		60.34					
4650	MAGRA	0.154		60.18		60.18					
4600	PRO	0.154	59.5	60.08		60.08	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4600	Q20	0.206	59.5	60.23		60.24	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
4600	MAGRA	0.154	59.5	60.08		60.08	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4500	PRO	0.154	59.4	60.08	59.54	60.08	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4500	Q20	0.206	59.4	60.23	59.57	60.23	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
4500	MAGRA	0.154	59.4	60.08	59.54	60.08	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4450	PRO	0.154		60.08		60.08					
4450	Q20	0.206		60.23		60.23					
4450	MAGRA	0.154		60.08		60.08					
4400	PRO	0.154	59.4	59.98		59.98	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4400	Q20	0.206	59.4	60.13		60.14	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
4400	MAGRA	0.154	59.4	59.98		59.98	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4300	PRO	0.154	59.3	59.98	59.44	59.98	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
4300	Q20	0.206	59.3	60.13	59.47	60.14	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
4300	MAGRA	0.154	59.3	59.98	59.44	59.98	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4250	PRO	0.154		59.98		59.98					
4250	Q20	0.206		60.13		60.14					
4250	MAGRA	0.154		59.98		59.98					
4200	PRO	0.154	59.3	59.88		59.88	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4200	Q20	0.206	59.3	60.03		60.04	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
4200	MAGRA	0.154	59.3	59.88		59.88	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4100	PRO	0.154	59.2	59.88	59.34	59.88	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4100	Q20	0.206	59.2	60.03	59.37	60.04	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
4100	MAGRA	0.154	59.2	59.88	59.34	59.88	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
4050	PRO	0.154		59.88		59.88					
4050	Q20	0.206		60.03		60.04					
4050	MAGRA	0.154		59.88		59.88					
4000	PRO	0.154	59.2	59.78		59.78	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
4000	Q20	0.206	59.2	59.93		59.94	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
4000	MAGRA	0.154	59.2	59.78		59.78	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3900	PRO	0.154	59.1	59.78	59.24	59.78	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3900	Q20	0.206	59.1	59.93	59.27	59.94	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
3900	MAGRA	0.154	59.1	59.78	59.24	59.78	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3850	PRO	0.154		59.78		59.78					
3850	Q20	0.206		59.93		59.94					
3850	MAGRA	0.154		59.78		59.78					
3800	PRO	0.154	59.1	59.68		59.68	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3800	Q20	0.206	59.1	59.83		59.84	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
3800	MAGRA	0.154	59.1	59.68		59.68	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3700	PRO	0.154	59	59.68	59.14	59.68	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3700	Q20	0.206	59	59.83	59.17	59.84	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
3700	MAGRA	0.154	59	59.68	59.14	59.68	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3650	PRO	0.154		59.68		59.68					
3650	Q20	0.206		59.83		59.84					
3650	MAGRA	0.154		59.68		59.68					
3600	PRO	0.154	59	59.58		59.58	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
3600	Q20	0.206	59	59.73		59.74	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
3600	MAGRA	0.154	59	59.58		59.58	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3500	PRO	0.154	58.9	59.58	59.04	59.58	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3500	Q20	0.206	58.9	59.73	59.07	59.74	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
3500	MAGRA	0.154	58.9	59.58	59.04	59.58	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3450	PRO	0.154		59.58		59.58					
3450	Q20	0.206		59.73		59.74					
3450	MAGRA	0.154		59.58		59.58					
3400	PRO	0.154	58.9	59.48		59.48	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3400	Q20	0.206	58.9	59.63		59.64	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
3400	MAGRA	0.154	58.9	59.48		59.48	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3300	PRO	0.154	58.8	59.48	58.94	59.48	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3300	Q20	0.206	58.8	59.63	58.97	59.64	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
3300	MAGRA	0.154	58.8	59.48	58.94	59.48	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3250	PRO	0.154		59.48		59.48					
3250	Q20	0.206		59.63		59.64					
3250	MAGRA	0.154		59.48		59.48					
3200	PRO	0.154	58.8	59.38		59.38	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3200	Q20	0.206	58.8	59.53		59.54	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
3200	MAGRA	0.154	58.8	59.38		59.38	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3100	PRO	0.154	58.7	59.38	58.84	59.38	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3100	Q20	0.206	58.7	59.53	58.87	59.54	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
3100	MAGRA	0.154	58.7	59.38	58.84	59.38	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
3050	PRO	0.154		59.38		59.38					
3050	Q20	0.206		59.53		59.54					
3050	MAGRA	0.154		59.38		59.38					
3000	PRO	0.154	58.7	59.28		59.28	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
3000	Q20	0.206	58.7	59.43		59.44	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
3000	MAGRA	0.154	58.7	59.28		59.28	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.13
2900	PRO	0.154	58.6	59.28	58.74	59.28	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2900	Q20	0.206	58.6	59.43	58.77	59.44	0.00013	0.27	0.75	0.9	0.1
2900	MAGRA	0.154	58.6	59.28	58.74	59.28	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2850	PRO	0.154		59.28		59.28					

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
2850	Q20	0.206		59.43		59.44					
2850	MAGRA	0.154		59.28		59.28					
2800	PRO	0.154	58.6	59.18		59.18	0.00023	0.30	0.52	0.9	0.12
2800	Q20	0.206	58.6	59.33		59.34	0.00019	0.31	0.66	0.9	0.12
2800	MAGRA	0.154	58.6	59.18		59.18	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
2700	PRO	0.154	58.5	59.18	58.64	59.18	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2700	Q20	0.206	58.5	59.33	58.67	59.34	0.00012	0.27	0.75	0.9	0.1
2700	MAGRA	0.154	58.5	59.18	58.64	59.18	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2650	PRO	0.154		59.18		59.18					
2650	Q20	0.206		59.33		59.34					
2650	MAGRA	0.154		59.18		59.18					
2600	PRO	0.154	58.5	59.08		59.09	0.00023	0.29	0.52	0.9	0.12
2600	Q20	0.206	58.5	59.24		59.25	0.00019	0.31	0.67	0.9	0.11
2600	MAGRA	0.154	58.5	59.08		59.08	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
2500	PRO	0.154	58.4	59.08	58.54	59.09	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2500	Q20	0.206	58.4	59.24	58.57	59.24	0.00012	0.27	0.76	0.9	0.09
2500	MAGRA	0.154	58.4	59.08	58.54	59.08	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2450	PRO	0.154		59.08		59.09					
2450	Q20	0.206		59.24		59.24					
2450	MAGRA	0.154		59.08		59.08					
2400	PRO	0.154	58.4	58.99		58.99	0.00022	0.29	0.53	0.9	0.12
2400	Q20	0.206	58.4	59.15		59.16	0.00018	0.31	0.68	0.9	0.11
2400	MAGRA	0.154	58.4	58.98		58.98	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
2300	PRO	0.154	58.3	58.99	58.44	58.99	0.00013	0.25	0.62	0.9	0.1
2300	Q20	0.206	58.3	59.15	58.47	59.16	0.00012	0.27	0.77	0.9	0.09
2300	MAGRA	0.154	58.3	58.98	58.44	58.98	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2250	PRO	0.154		58.99		58.99					
2250	Q20	0.206		59.15		59.16					
2250	MAGRA	0.154		58.98		58.98					
2200	PRO	0.154	58.3	58.91		58.92	0.00019	0.28	0.55	0.9	0.11
2200	Q20	0.206	58.3	59.07		59.07	0.00016	0.30	0.69	0.9	0.11
2200	MAGRA	0.154	58.3	58.88		58.88	0.00024	0.30	0.52	0.9	0.12
2100	PRO	0.154	58.2	58.92	58.34	58.92	0.00012	0.24	0.64	0.9	0.09

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
2100	Q20	0.206	58.2	59.07	58.37	59.07	0.00011	0.26	0.78	0.9	0.09
2100	MAGRA	0.154	58.2	58.88	58.34	58.88	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
2050	PRO	0.154		58.92		58.92					
2050	Q20	0.206		59.07		59.07					
2050	MAGRA	0.154		58.88		58.88					
2000	PRO	0.154	58.2	58.85		58.86	0.00016	0.26	0.59	0.9	0.1
2000	Q20	0.206	58.2	58.99		59	0.00015	0.29	0.71	0.9	0.1
2000	MAGRA	0.154	58.2	58.78		58.79	0.00023	0.29	0.52	0.9	0.12
1900	PRO	0.154	58.1	58.86	58.24	58.86	0.00010	0.23	0.68	0.9	0.08
1900	Q20	0.206	58.1	58.99	58.27	59	0.00010	0.26	0.8	0.9	0.09
1900	MAGRA	0.154	58.1	58.78	58.24	58.79	0.00014	0.25	0.61	0.9	0.1
1850	PRO	0.154		58.86		58.86					
1850	Q20	0.206		58.99		59					
1850	MAGRA	0.154		58.78		58.79					
1800	PRO	0.154	58.1	58.81		58.81	0.00012	0.24	0.64	0.9	0.09
1800	Q20	0.206	58.1	58.93		58.94	0.00013	0.28	0.75	0.9	0.1
1800	MAGRA	0.154	58.1	58.69		58.7	0.00022	0.29	0.53	0.9	0.12
1700	PRO	0.154	58	58.81	58.14	58.81	0.00008	0.21	0.73	0.9	0.08
1700	Q20	0.206	58	58.93	58.17	58.94	0.00009	0.25	0.84	0.9	0.08
1700	MAGRA	0.154	58	58.69	58.14	58.7	0.00013	0.25	0.62	0.9	0.09
1650	PRO	0.154		58.81		58.81					
1650	Q20	0.206		58.93		58.94					
1650	MAGRA	0.154		58.69		58.7					
1600	PRO	0.154	58	58.77		58.77	0.00009	0.22	0.69	0.9	0.08
1600	Q20	0.206	58	58.88		58.88	0.00011	0.26	0.79	0.9	0.09
1600	MAGRA	0.154	58	58.62		58.63	0.00018	0.28	0.56	0.9	0.11
1500	PRO	0.154	57.9	58.77	58.04	58.77	0.00006	0.20	0.78	0.9	0.07
1500	Q20	0.206	57.9	58.88	58.07	58.88	0.00007	0.23	0.88	0.9	0.08
1500	MAGRA	0.154	57.9	58.62	58.04	58.63	0.00011	0.24	0.65	0.9	0.09
1450	PRO	0.154		58.77		58.77					
1450	Q20	0.206		58.88		58.88					
1450	MAGRA	0.154		58.62		58.63					
1400	PRO	0.154	57.9	58.74		58.74	0.00007	0.20	0.76	0.9	0.07

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
1400	Q20	0.206	57.9	58.83		58.84	0.00009	0.25	0.84	0.9	0.08
1400	MAGRA	0.154	57.9	58.57		58.57	0.00015	0.26	0.6	0.9	0.1
1300	PRO	0.154	57.8	58.74	57.94	58.74	0.00005	0.18	0.85	0.9	0.06
1300	Q20	0.206	57.8	58.83	57.97	58.84	0.00006	0.22	0.93	0.9	0.07
1300	MAGRA	0.154	57.8	58.57	57.94	58.57	0.00009	0.22	0.69	0.9	0.08
1250	PRO	0.154		58.74		58.74					
1250	Q20	0.206		58.83		58.84					
1250	MAGRA	0.154		58.57		58.57					
1200	PRO	0.154	57.8	58.72		58.72	0.00005	0.19	0.83	0.9	0.06
1200	Q20	0.206	57.8	58.8		58.8	0.00007	0.23	0.9	0.9	0.07
1200	MAGRA	0.154	57.8	58.52		58.53	0.00011	0.24	0.65	0.9	0.09
1100	PRO	0.154	57.7	58.72	57.84	58.72	0.00004	0.17	0.92	0.9	0.05
1100	Q20	0.206	57.7	58.8	57.87	58.8	0.00005	0.21	0.99	0.9	0.06
1100	MAGRA	0.154	57.7	58.52	57.84	58.53	0.00007	0.21	0.74	0.9	0.07
1050	PRO	0.154		58.72		58.72					
1050	Q20	0.206		58.8		58.8					
1050	MAGRA	0.154		58.52		58.53					
1000	PRO	0.154	57.7	58.7		58.7	0.00004	0.17	0.9	0.9	0.05
1000	Q20	0.206	57.7	58.77		58.77	0.00006	0.21	0.96	0.9	0.07
1000	MAGRA	0.154	57.7	58.49		58.49	0.00008	0.22	0.71	0.9	0.08
900	PRO	0.154	57.6	58.7	57.74	58.7	0.00003	0.16	0.99	0.9	0.05
900	Q20	0.206	57.6	58.77	57.77	58.77	0.00004	0.20	1.05	0.9	0.06
900	MAGRA	0.154	57.6	58.49	57.74	58.49	0.00006	0.19	0.8	0.9	0.07
850	PRO	0.154		58.7		58.7					
850	Q20	0.206		58.77		58.77					
850	MAGRA	0.154		58.49		58.49					
800	PRO	0.154	57.6	58.68		58.68	0.00003	0.16	0.97	0.9	0.05
800	Q20	0.206	57.6	58.74		58.74	0.00004	0.20	1.03	0.9	0.06
800	MAGRA	0.154	57.6	58.46		58.46	0.00006	0.20	0.78	0.9	0.07
700	PRO	0.154	57.5	58.68	57.64	58.68	0.00002	0.14	1.06	0.9	0.04
700	Q20	0.206	57.5	58.74	57.67	58.74	0.00003	0.18	1.12	0.9	0.05
700	MAGRA	0.154	57.5	58.46	57.64	58.46	0.00004	0.18	0.87	0.9	0.06
650	PRO	0.154		58.68		58.68					

Sez.	Plan	Q Tot	Fondo	P.l.	H critic	E.G. Elev	Pend.	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
650	Q20	0.206		58.74		58.74					
650	MAGRA	0.154		58.46		58.46					
600	PRO	0.154	57.5	58.67		58.67	0.00002	0.15	1.05	0.9	0.04
600	Q20	0.206	57.5	58.72		58.72	0.00004	0.19	1.1	0.9	0.05
600	MAGRA	0.154	57.5	58.44		58.44	0.00005	0.18	0.85	0.9	0.06
500	PRO	0.154	57.4	58.67	57.54	58.67	0.00002	0.13	1.14	0.9	0.04
500	Q20	0.206	57.4	58.72	57.57	58.72	0.00003	0.17	1.19	0.9	0.05
500	MAGRA	0.154	57.4	58.44	57.54	58.44	0.00003	0.16	0.94	0.9	0.05
450	PRO	0.154		58.67		58.67					
450	Q20	0.206		58.72		58.72					
450	MAGRA	0.154		58.44		58.44					
400	PRO	0.154	57.4	58.66		58.66	0.00002	0.14	1.14	0.9	0.04
400	Q20	0.206	57.4	58.71		58.71	0.00003	0.18	1.17	0.9	0.05
400	MAGRA	0.154	57.4	58.42		58.42	0.00004	0.17	0.92	0.9	0.05
300	PRO	0.154	57.3	58.66	57.44	58.66	0.00001	0.13	1.23	0.9	0.03
300	Q20	0.206	57.3	58.71	57.47	58.71	0.00002	0.16	1.26	0.9	0.04
300	MAGRA	0.154	57.3	58.42	57.44	58.42	0.00003	0.15	1.01	0.9	0.05
250	PRO	0.154		58.66		58.66					
250	Q20	0.206		58.71		58.71					
250	MAGRA	0.154		58.42		58.42					
200	PRO	0.154	57.3	58.66		58.66	0.00001	0.13	1.22	0.9	0.03
200	Q20	0.206	57.3	58.69		58.69	0.00002	0.17	1.25	0.9	0.04
200	MAGRA	0.154	57.3	58.41		58.41	0.00003	0.15	1	0.9	0.05
100	PRO	0.154	57.2	58.66	57.34	58.66	0.00001	0.12	1.31	0.9	0.03
100	Q20	0.206	57.2	58.69	57.37	58.69	0.00002	0.15	1.34	0.9	0.04
100	MAGRA	0.154	57.2	58.41	57.34	58.41	0.00002	0.14	1.09	0.9	0.04
95	PRO	0.154		58.66		58.66					
95	Q20	0.206		58.69		58.69					
95	MAGRA	0.154		58.41		58.41					
90	PRO	0.154	57.2	58.65	57.34	58.65	0.00001	0.12	1.3	0.9	0.03
90	Q20	0.206	57.2	58.68	57.37	58.68	0.00002	0.15	1.33	0.9	0.04
90	MAGRA	0.154	57.2	58.4	57.34	58.4	0.00002	0.14	1.08	0.9	0.04

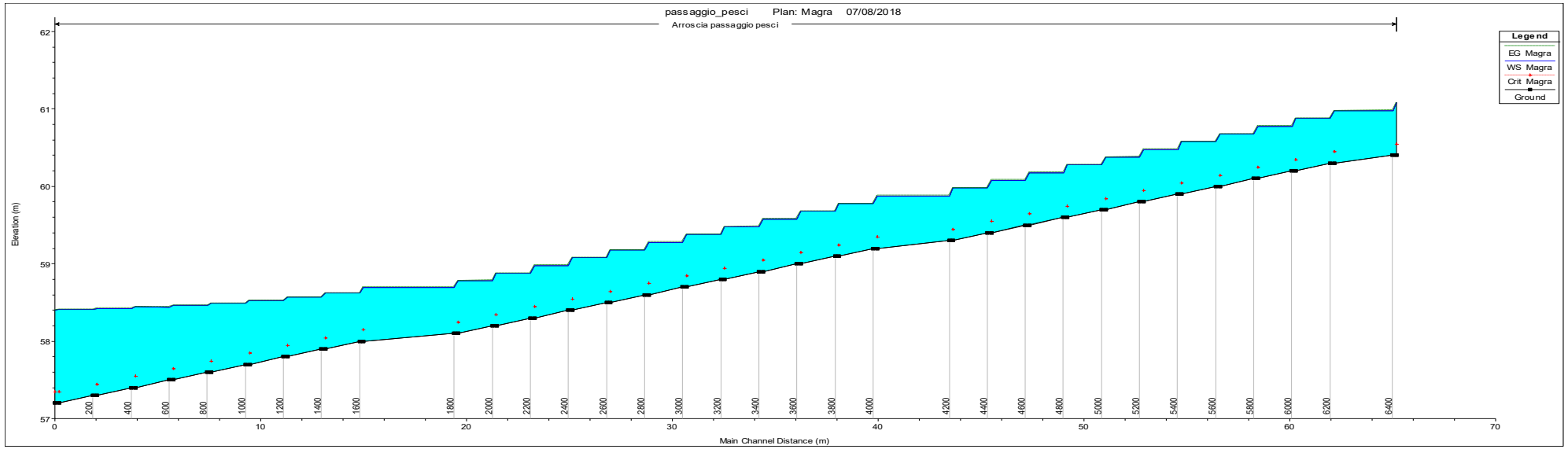


Figura 32 Verifica livelli passaggio di rimonta in condizioni di magra

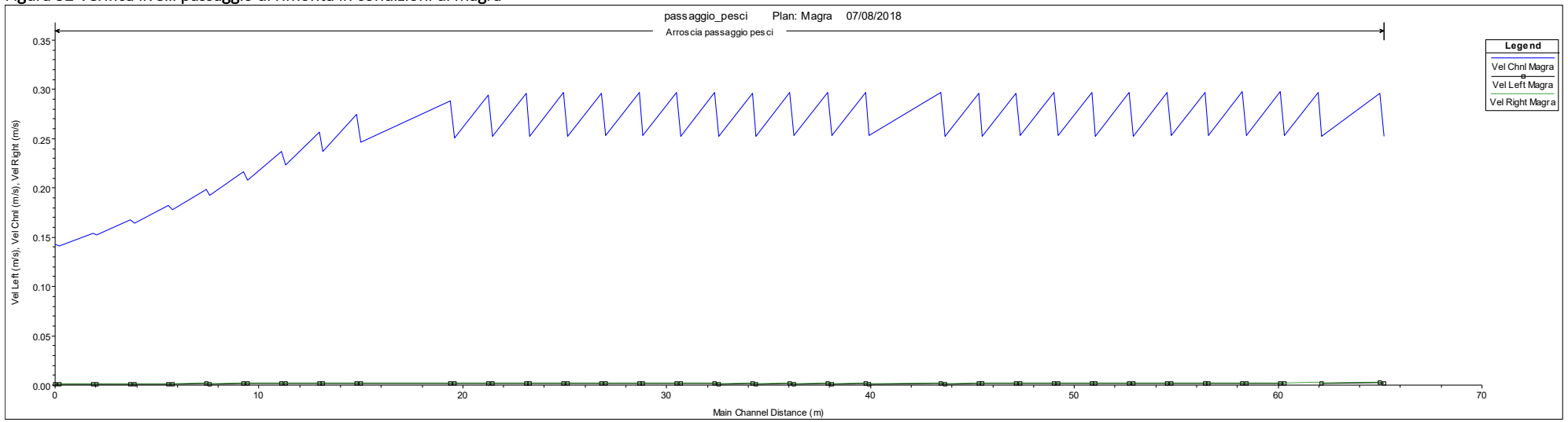


Figura 33 Andamento delle velocità nei singoli bacini in condizioni di magra

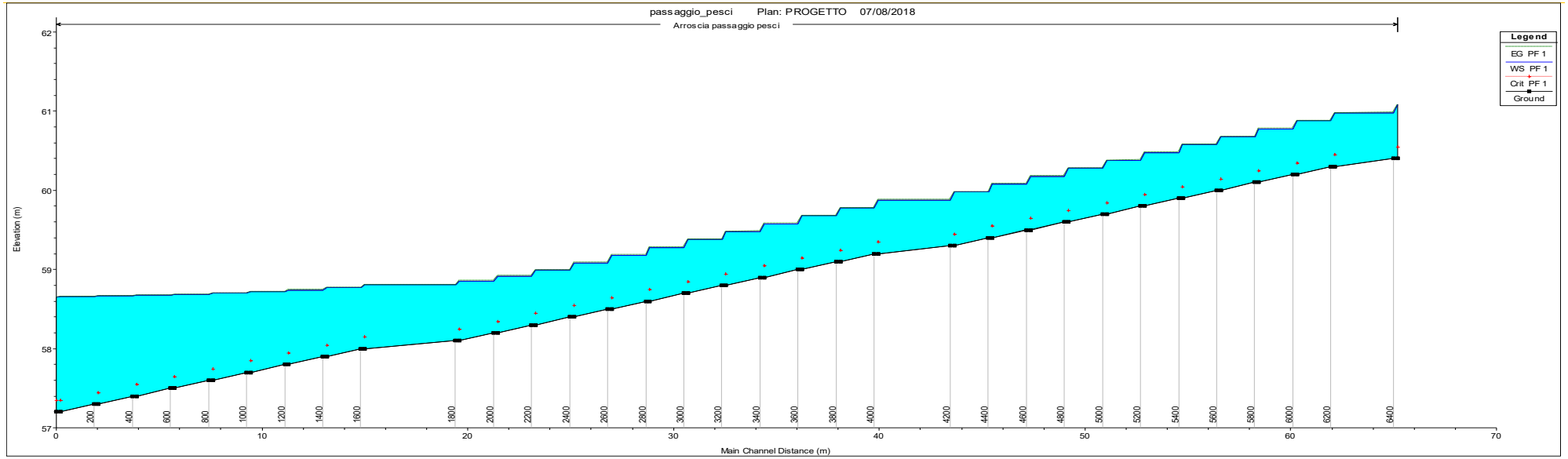


Figura 34 Verifica livelli passaggio di rimonta in condizioni di progetto

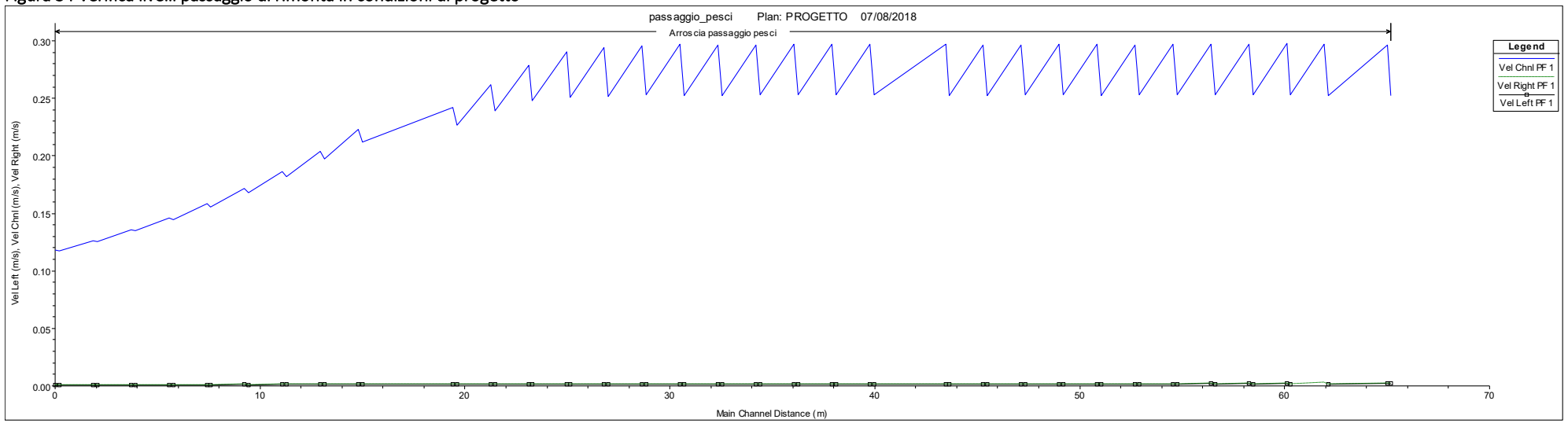


Figura 35 Andamento delle velocità nei singoli bacini in condizioni di progetto

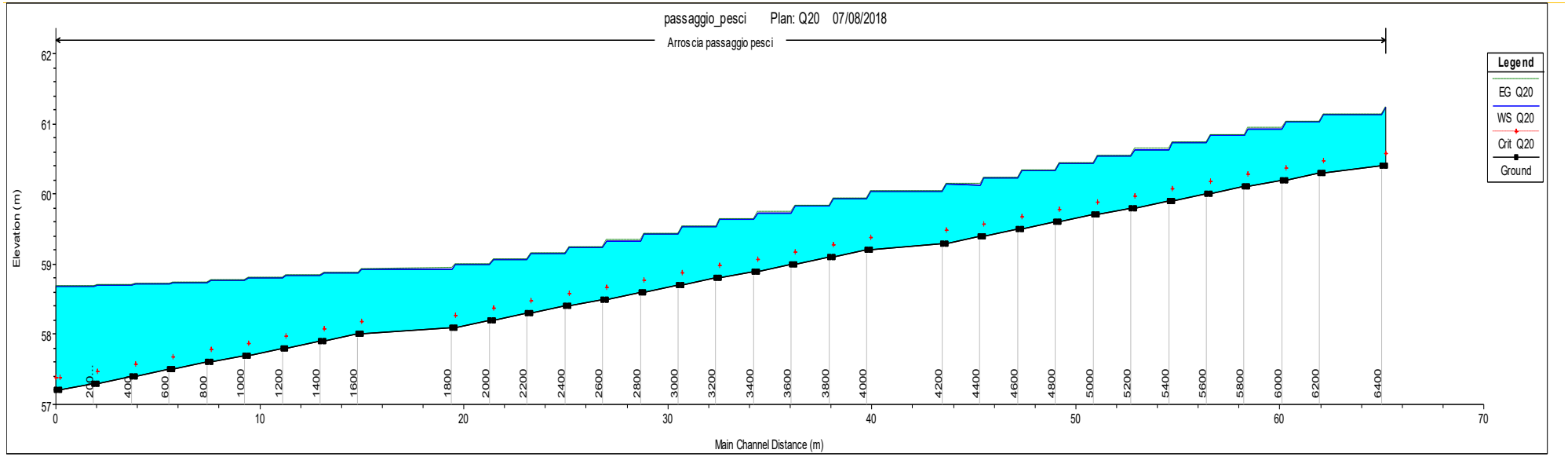


Figura 36 Verifica livelli passaggio di rimonta in condizioni di Q20 in arrivo in alveo

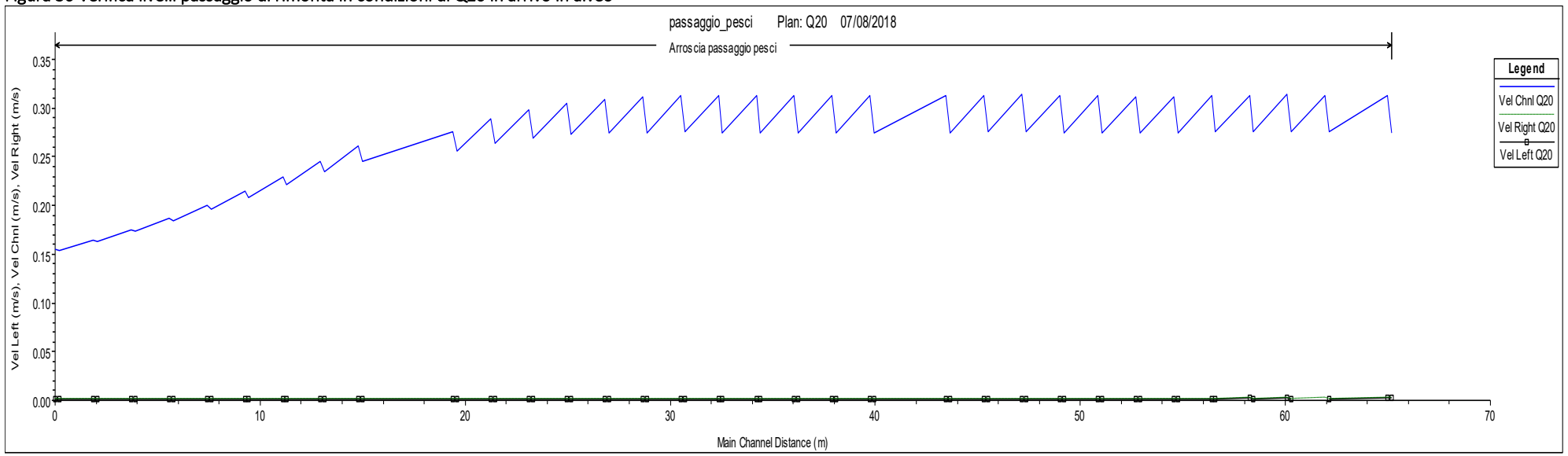


Figura 37 Andamento delle velocità nei singoli bacini in condizioni di Q20 in arrivo in alveo

10.10.3 Deflusso quota DMV da orifizio sommerso

Per la parte restante del DMV pari a 116 l/s si è previsto di realizzare un foro nella paratoia sghiaiatrice alla quota q=+59.10 m s.l.m. in modo tale da garantire la priorità fisica del rilascio sulla derivazione.
Da cui risulta:
Q= 116 l/s portata attraverso orifizio di fondo
-portata attraverso orifizio di fondo (efflusso sottobattente):

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

in cui:
S = 0.0266 m^2 superficie dell'orifizio (0.19 m x 0.14 m)
C_d = coefficiente di deflusso = 0,65 (tra 0,65 profilo non arrotondato, e 0.85 arrotondato e liscio)
Δh = 2.33m (centro sezione)

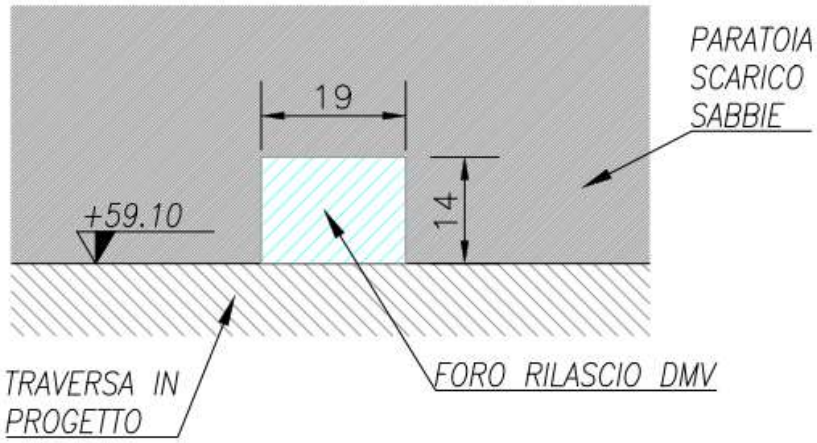


Figura 38 Particolare rilascio quota D.M.V.

10.11 Pista di accesso al cantiere

Per l'accesso alla traversa si prevede di utilizzare l'accesso esistente posto in destra orografica, attualmente utilizzato per gli interventi di manutenzione dell'opera di presa del canale irriguo. Gli interventi previsti si limiteranno alla stabilizzazione del fondo al fine di rendere la pista fruibile in ogni condizione.



Figura 39 Individuazione della pista di accesso alla traversa esistente.

11 Movimento terre

Il materiale di risulta che viene movimentato per la realizzazione della centralina è così quantificabile:

- ≈189 m^3 provenienti dalla realizzazione dell'impianto, scala ittiofauna
- ≈301 m^3 provenienti dalla realizzazione dell'impianto e canale scarico sabbie;
- ≈2016 m^3 provenienti dalla traversa di cui circa 2000 reimpiegati nel rispristino dei luoghi a seguito della realizzazione dell'opera, con particolare attenzione al piede della traversa esistente e della protezione del primo tratto di canale irriguo.

Le parti di cemento armato provenienti dalla traversa verranno opportunamente smaltite presso discariche autorizzate. In questa fase, a vista, il volume di cemento armato risulta contenuto e non quantificabile con precisione.

Il totale di materiale movimentato risulta dunque pari a 2506 m^3. Il materiale reimpiegato per la sistemazione degli scavi e per il rimbottimento del piede della traversa e del tratto iniziale del canale irriguo risulta pari a 2000 m^3. Il restante materiale a seguito di frantumazione e vagliatura del materiale asportato sarà possibile utilizzarlo come reimpiego per la realizzazione del rivestimento della scala ittiofauna. La destinazione del materiale di risulta sarà concordata preventivamente con l'ente competente.

12 Dimensionamento ingresso Canale irriguo

Nelle operazioni di ripristino e consolidamento della traversa sarà necessario risistemare l'opera di presa della derivazione irrigua. L'intervento previsto, consiste nel ripristino delle paratoie esistenti dotandole di predisposizione di apertura servo-assistita manuale od eventualmente elettrica, la taratura della luce di fondo di prelievo e la realizzazione di uno scarico sabbie in corpo traversa, posto nelle adiacenze della derivazione irrigua, per il mantenimento della funzionalità idraulica dell'opera di presa.

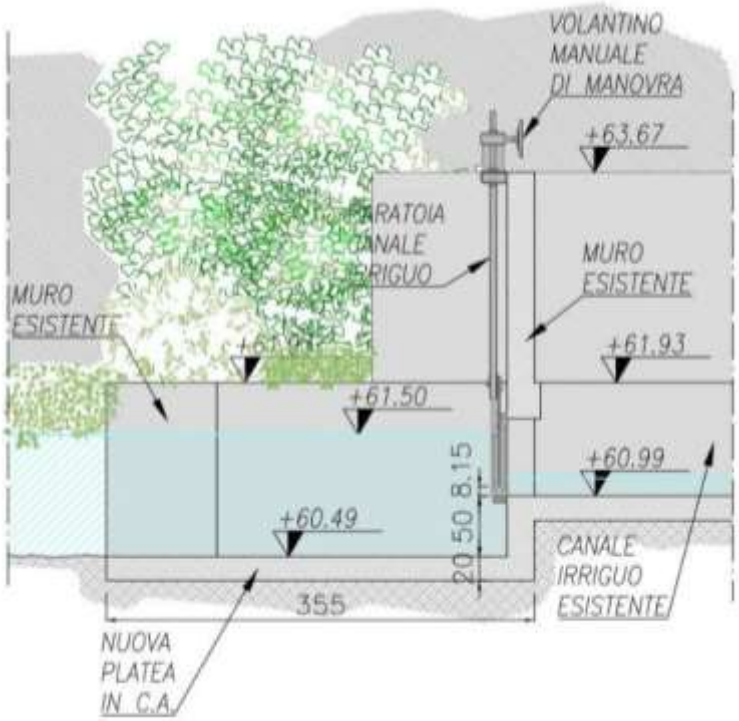


Figura 40 Dettaglio paratoia di derivazione canale irriguo

Di seguito si riportano i calcoli di dimensionamento idrauliche della luce di fondo e i valori prevedibili di apertura della bocca di ingresso. In fase di collaudo sarà necessario verificare e tarare mediante rilievi diretti di velocità e portata le grandezze di seguito riportate.

Allo stato attuale la bocca di presa è presidiata da due paratoie di dimensioni interne da 90 cm, di cui solamente una viene aperta per far defluire le acque a servizio della derivazione ad uso agricolo. La quota del fondo canale è posta a circa -51 cm dalla soglia della traversa, mentre il primo tratto di canale presenta sezione variabile ed in circa 25 m passa da una larghezza di 1.8 m a circa 1 m. Successivamente, più a valle il canale presenta una larghezza variabile tra 70 cm e 100 cm con una pendenza media di circa 0.13% La portata autorizzata è pari a 120 l/s. In tali condizioni seppur debolmente la paratoia risulta rigurgitata da valle, dunque l'equazione che governa il deflusso è quella della portata attraverso orifizio di fondo (efflusso sottobattente) rigurgitato:

$$Q = \mu \cdot \Omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - h_v)}$$

in cui:
μ = 0.61 coefficiente di deflusso
Ω = area libera al deflusso pari ad *a* x *b* dove a e b sono rispettivamente l'altezza (8.15 cm) e la larghezza utile (80 cm) dell'apertura di efflusso
H = 51 cm carico totale a monte della paratoia
h_v= 15.1 cm carico a valle della paratoia

13 Regole operative dell'impianto

La traversa che si andrà a ripristinare sarà in couso con il consorzio irriguo, pertanto nella salvaguardia dei diritti preesistenti di terzi sarà necessario prestare particolare cura alla gestione delle portate disponibili per i differenti utilizzi. In particolare sarà necessario mantenere la corretta gerarchia dei flussi dando priorità al deflusso minimo vitale e alla salvaguardia dei diritti preesistenti e secondariamente alla portata destinata alla turbina secondo il seguente ordine gerarchico:

- Portata di DMV =0.270 m^3/s di cui 0.154 m^3/s e 0.116 m^3/s nell'orifizio di fondo posto nella paratoia sghiaiatrice;
- Portata irrigua pari a 0.120 m^3/s da aprile a settembre di ogni anno;
- Da 1.2 m^3/s a 6 m^3/s destinati all'impianto idroelettrico;

La componente di DMV che defluirà tramite l'apertura (foro rettangolare di dimensioni 0.19 m x 0.14 m) sarà fisicamente sempre garantita continuativamente in quanto la quota di imposta pari a 59.10 m s.l.m. è inferiore alla soglia di ingresso dell'impianto che è a quota 60.50 m s.l.m.
La componente che dovrà transitare nel passaggio di rimonta pari a 0.154 m^3/s sarà garantita dalla traversa stessa che impone alla corrente un battente sempre pari ad almeno 61.50 m s.l.m.
Durante i mesi di prelievo del canale irriguo una coppia di misuratori di livello, posti a cavallo della paratoia di imbocco garantirà sempre un battente sufficiente al corretto esercizio del canale, sempre nel rispetto della priorità al deflusso minimo vitale.
L'impianto entrerà in esercizio e resterà funzionante nei mesi in cui è attiva la derivazione irrigua per portate in alveo superiori a 1.590 m^3/s e negli altri mesi per portate superiori a 1.470 m^3/s valori stimati dalla somma tra il deflusso minimo vitale pari a 0.270 m^3/s la portata ad uso irriguo pari a 0.120 m^3/s e la portata di minimo esercizio della turbina pari a 1.200 m^3/s.
Una volta raggiunta tale portata 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 +61.57 m s.l.m (verifica effettuata mediante software Hec-Ras) e successivamente verrà mantenuto costante alla quota +61.50 m s.l.m., 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 o 6.390 m^3/s a seconda del periodo dell'anno.
Le condizioni di normale esercizio sopra descritte garantiscono il perfetto funzionamento del passaggio per la fauna ittica e della derivazione irrigua in quanto corrispondono alle condizioni di verifica - dimensionamento delle opere. Il corretto funzionamento del sistema è garantito anche grazie alla presenza di un misuratore diretto di portata che misura le portate prelevate dalla turbina e da tre misuratori di livello.
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 +61.50 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 +61.50. Tale procedimento nel caso in cui la portata disponibile in alveo scenda sotto i limiti di funzionamento nel rispetto gerarchico dei flussi sopra descritti, porta alla completa chiusura dell'impianto. La successiva riattivazione avverrà solamente al raggiungimento della quota +61.57 m. Una volta raggiunta la portata massima di esercizio la turbina è in posizione di massimo rendimento. All'aumentare della portata in arrivo il livello in alveo la quota eccedente i 6.000 m^3/s la restante 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 Q_{10} (ossia quella portata che viene mediamente superata almeno 10 giorni all'anno) corrispondente a 22.55 m^3/s si registra un battente in alveo pari a circa +61.90 m s.l.m., con circa 40 cm liberamente defluenti sulla traversa. La turbina viene di norma dimensionata per una portata di progetto leggermente inferiore alla massima di funzionamento al fine di ottimizzare i rendimenti, pertanto non è in grado di prelevare portate maggiori, inoltre il flap posto in sommità abbassandosi consente la limitazione delle portate massime derivabili. Infine, 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.

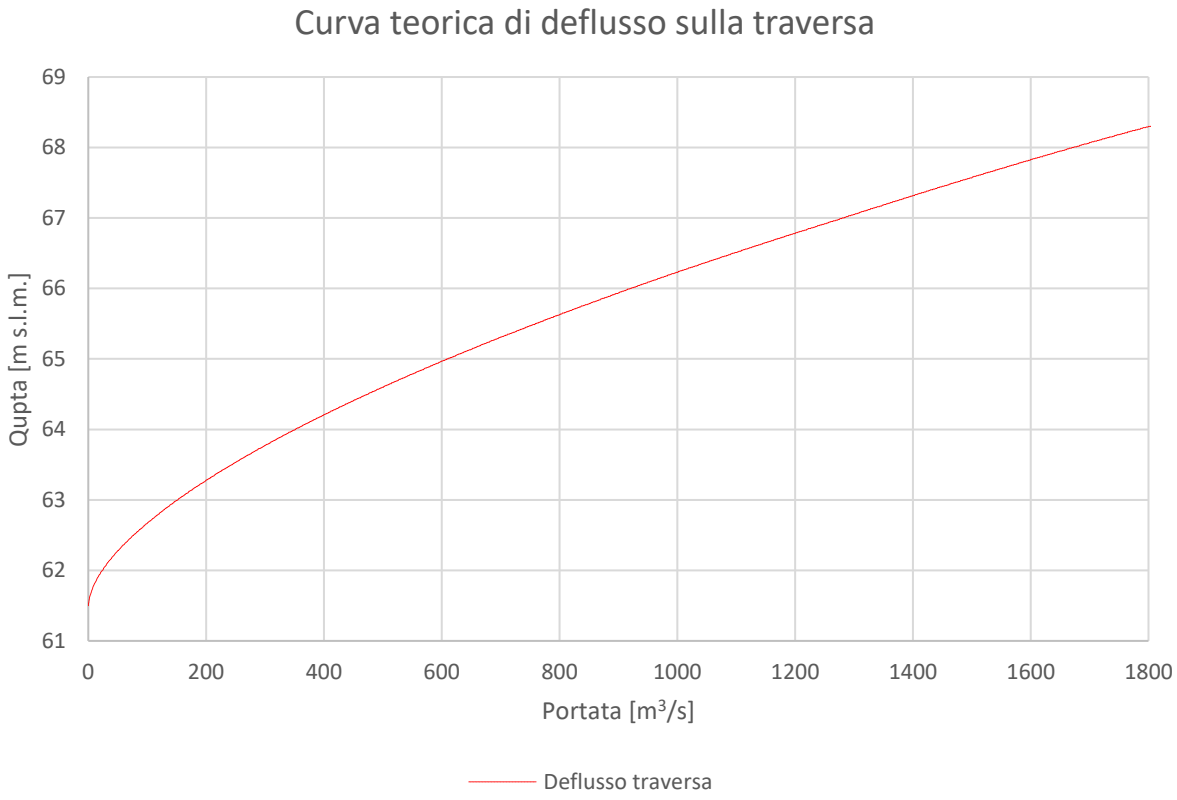


Figura 41 Curva di deflusso delle portate stramazzanti sulla traversa

Tutte le precedenti considerazioni e regole operative dovranno essere opportunamente validate con la costruzione delle curve di deflusso sulla traversa effettuata a partire da misure dirette di portata una volta ultimate le opere, prima della fase conclusiva del collaudo idraulico.

14 Calcolo della potenza nominale media annua.

14.1 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 14 Parametri di concessione

Parametri di concessione		
Q_{max}	6.00	m^3/s
Q_{med}	2.41	m^3/s
Q_{min}	1.2	m^3/s
DMV	0.27	m^3/s
Q_{irr}	0.12	m^3/s

In virtù del valore di portata media di concessione pari a 2.41 m^3/s (calcolo da curva di durata delle portate) e del salto idraulico medio disponibile pari a 2.85 m, il valore della potenza nominale corrisponde risulta essere dato dalla formula:

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

Dove
P_{nom} = potenza fiscale/nominale espressa in W
ρ = densità del materiale pari a 1000 Kg/m^3
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:

$$P_{nom}=67.38\ kW$$

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.

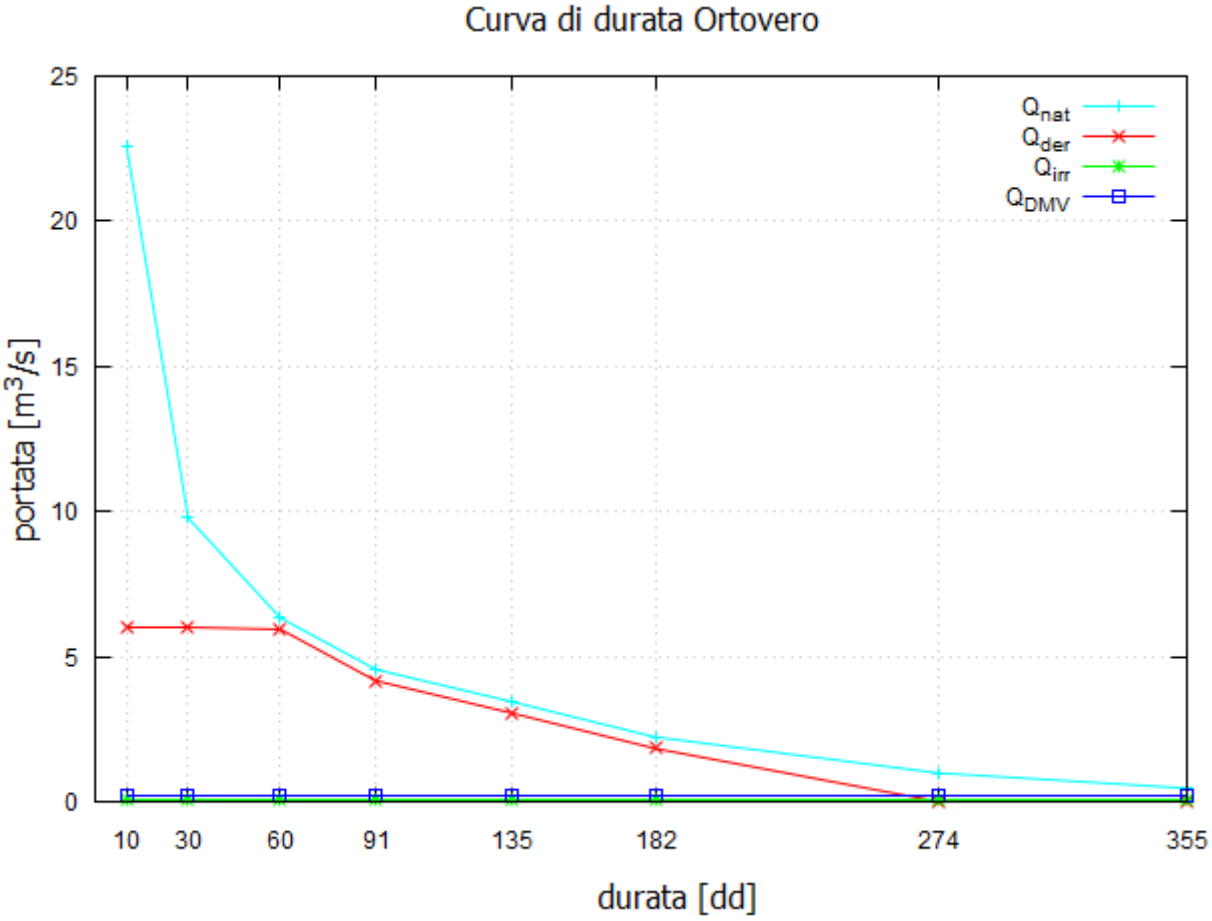


Figura 42 Curva di durata delle portate naturali, derivate e rilasciate nel passaggio di rimonta fauna ittica e sulla traversa.

14.2 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 2.85 m:

$$P_{max} = \frac{Q_{max} * H}{102} = \frac{6000 * 2.85}{102} = 167.65kW$$

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 95% per il trasformatore.

Ne risulta complessivamente un rendimento medio di macchina elettro-idraulico del 81.2 %.

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

$$P_{max} = \frac{Q_{max} * H}{102} * \eta = \frac{6000 * 2.85}{102} * 0.95 * 0.95 * 0.90 = 136.17kW$$

La potenza installata alla turbina risulta pertanto essere pari 170 KW come potenza di picco Enel.

15 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 15 Valori di portata naturale prelevata e rilasciata immediatamente a valle della traversa, volume derivato, potenza ed energia prodotta.

Durata	Q_{nat}	Q_{irr}	Q_{DMV}	Q_{der}	Q_{ril}	Potenza	Energia
gg	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s	kW	kW/h
10	22.55	0.12	0.27	6.00	16.55	134.82	32,357.15
30	9.79	0.12	0.27	6.00	3.79	133.87	64,484.83
60	6.35	0.12	0.27	5.96	0.27	131.54	95,545.23
91	4.58	0.12	0.27	4.19	0.27	87.27	81,396.85
135	3.47	0.12	0.27	3.08	0.27	55.10	75,171.13
182	2.25	0.12	0.27	1.86	0.27	23.78	44,486.35
274	1.02	0.12	0.27	0.00	1.02	0.00	26,250.41
355	0.49	0.12	0.27	0.00	0.49	0.00	0.00
				$Q_{der\ media}$		P nominale	Produzione
				m^3/s		kW	kW/h
				2.41		*67.38*	*419,691.95*

La portata media derivata risulta di 2.41 m^3/s e il funzionamento dell'impianto è garantito per circa 182 giorni l'anno per una stima di produzione di 419 691.95 kWh, considerato un rendimento medio complessivo dell'81.2%.

16 Conclusioni

Il presente progetto 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 altrimenti interrotta. Il passaggio di rimonta risulta idoneo a tutte le specie ittiche presenti T.Arroscia. 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, interferire solo localmente con l'attuale deflusso delle piene, comportando lievi alterazioni sui livelli idrici che non aggravano il rischio idraulico.