

MARTE S.R.L.



Via degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno - Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361
UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO 14001:2015 UNI
ISO 45001:2018

GRE CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.058.01

PAGE

1 di/of 42

TTITLE: Studio di compatibilità idraulica

AVAILABLE LANGUAGE: ITA

IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI NULVI

Progetto definitivo

Studio di compatibilità Idraulica

File: GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.058.01 Relazione idraulica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	12/09/2022	Revisione	BFP Matarrese	BFP Miglionico	BFP Biscotti
00	20/07/2022	Emissione	BFP Matarrese	BFP Miglionico	BFP Biscotti

GRE VALIDATION

Name (GRE)	Competence Center EGP	PE EGP
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT Nulvi	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
GRE	EEC	R	2	1	I	T	P	1	6	7	0	3	0	0	0	5	8	0	1

CLASSIFICATION	UTILIZATION SCOPE
----------------	-------------------

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	6
5. ANALISI IDROLOGICA	14
5.1. ANALISI MORFOLOGICA.....	14
5.2. CRITERI GENERALI PER LA STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	16
5.3. ANALISI PLUVIOMETRICA.....	16
5.4. METODO SCS-CN PER IL CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA.....	23
5.5. METODO SCS PER LA DEFINIZIONE DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA.....	23
6. ANALISI IDRAULICA	25
6.1. DATI DI INPUT E RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	26
6.2. RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE.....	40
7. CONCLUSIONI	42

1. PREMESSA

Il presente studio di compatibilità idraulica è relativo al progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nel territorio comunale di Nulvi (SS) e delle relative opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nei comuni di Nulvi, Sedini e Tergu (SS).

Il progetto prevede la realizzazione delle seguenti opere:

- Impianto fotovoltaico della potenza di 10,987 MW;
- Due cabine di consegna in prossimità dell'impianto fotovoltaico;
- Una cabina di sezionamento nel comune di Sedini;
- cavidotto interrato MT di connessione fino alla cabina primaria esistente a Tergu.

Lo studio di compatibilità idraulica, previsto all'art. 24 delle NTA del PAI, ha lo scopo di:

- valutare il progetto in riferimento agli effetti ambientali;
- analizzare le relazioni tra le trasformazioni del territorio derivanti dalla realizzazione dell'intervento proposto e le condizioni dell'assetto idraulico e del dissesto idraulico attuale e potenziale dell'area interessata;
- verificare e dimostrare la coerenza del progetto con le previsioni e norme del PAI;
- prevedere eventuali misure di mitigazione e compensazione all'eventuale incremento della pericolosità idraulica e del rischio associato agli interventi in progetto.

Lo studio, redatto ai sensi dell'Allegato E delle N.T.A. del P.A.I. "*Criteria per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica di cui all'art. 24 delle norme di attuazione del PAI*", comprende l'analisi idrologica finalizzata alla definizione delle portate di piena per i diversi tempi di ritorno relative al bacino di studio, completa di caratterizzazione idrogeologica del bacino stesso, nonché l'analisi idraulica consistente nella modellazione monodimensionale dell'asta fluviale, che porta alla determinazione dei tiranti idrici nelle varie sezioni di analisi e del profilo idraulico.

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna (in seguito denominato PAI) è redatto, adottato e approvato ai sensi:

- della legge 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", ed in particolare dei suoi articoli 3, 17, 18, 20, 21 e 22;
- dell'articolo 1, commi 1, 4, 5 e 5-bis, del decreto legge 11.6.1998, n. 180, "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla legge 3.8.1998, n. 267;
- dell'articolo 1-bis, commi 1-4, del decreto legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365;
- del D.P.C.M. 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180";
- della legge della Regione Sardegna 22.12.1989, n. 45, "Norme per l'uso e la tutela del territorio regionale", e successive modifiche e integrazioni, tra cui quelle della legge regionale 15.2.1996, n.9.

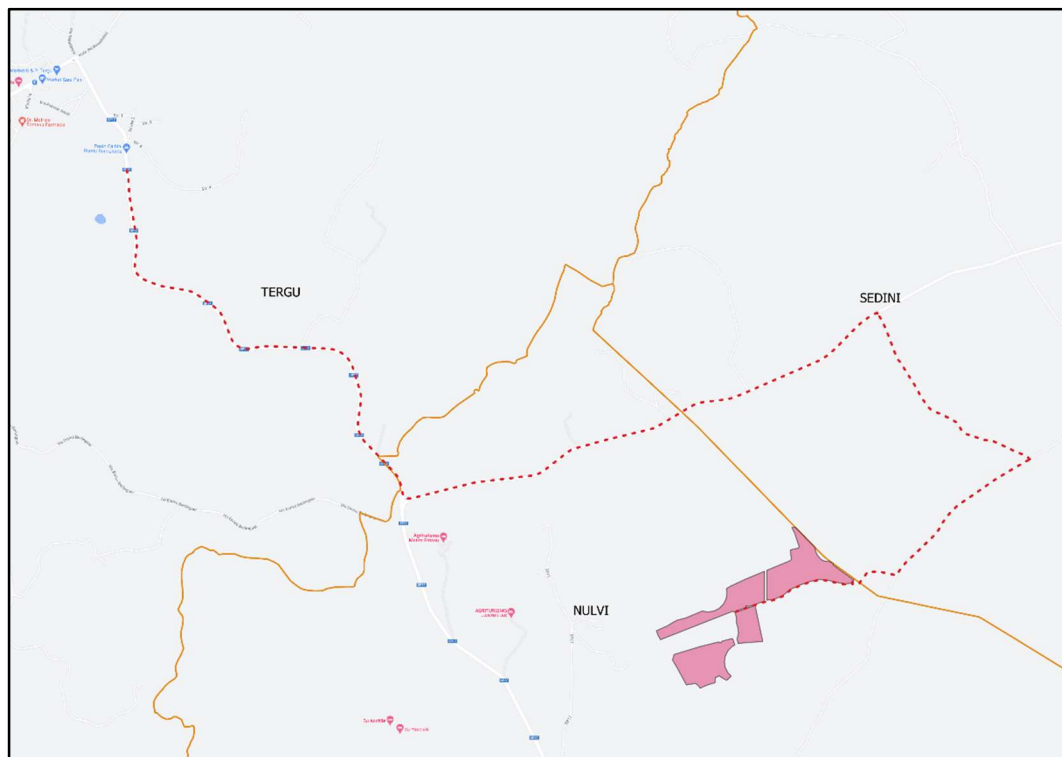
Il PAI si applica nel bacino idrografico unico regionale della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori, che ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale n. 45/57 del 30.10.1990 è suddiviso nei seguenti sette sottobacini: sub-bacino n.1 Sulcis, sub-bacino n.2 Tirso, sub-bacino n.3 Coghinas-Mannu-Temo, sub-bacino n.4 Liscia, sub-bacino n.5 Posada-Cedrino, sub-bacino n.6 Sud-Orientale, sub-bacino n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

Il PAI:

- a) prevede nel Titolo II delle presenti norme linee guida, indirizzi, azioni settoriali, norme tecniche e prescrizioni generali per la prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici nel bacino idrografico unico regionale e nelle aree di pericolosità idrogeologica;
- b) disciplina le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato A;
- c) disciplina le aree di pericolosità da frana molto elevata (Hg4), elevata (Hg3), media (Hg2) e moderata (Hg1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato B;
- d) disciplina le aree a rischio idraulico molto elevato (Ri4), elevato (Ri3), medio (Ri2) e moderato (Ri1) perimetrate nei territori dei Comuni rispettivamente indicati nell'Allegato C;
- e) disciplina le aree a rischio da frana molto elevato (Rg4), elevato (Rg3), medio (Rg2) e moderato (Rg1) perimetrate nei territori dei Comuni rispettivamente indicati nell'Allegato D.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di studio si colloca a nord del territorio comunale di Nulvi, a circa 5 km dal centro abitato di Nulvi, in provincia di Sassari. L'impianto è collocato ad un'altitudine media di ca. 450 m s.l.m. ed è individuabile dalle seguenti coordinate geografiche: Latitudine 40°50'23.54"N e Longitudine 8°45'26.78"E.



- Area impianto
- - - CAVIDOTTO
- area fotovoltaico
- Confini
- 09_COMUNE
- Google Road

Figura 1: Inquadramento area Impianto fotovoltaico e cavidotto di connessione

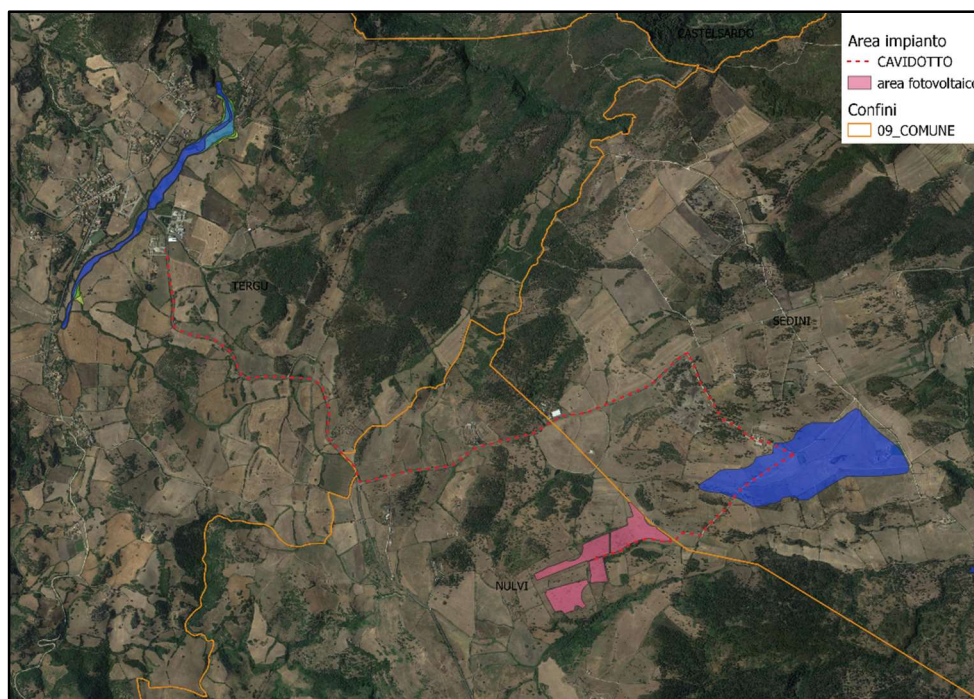
Il punto di connessione, la Cabina Primaria (CP) Tergu, dista circa 3,8 km in linea d'aria dall'impianto. Il cavidotto di connessione che corre principalmente su strade pubbliche esistenti, prevalentemente sulla SP n.17 e SP n.143, attraversa i seguenti territori comunali oltre a quello di Nulvi: Sedini (SS) e Tergu (SS).

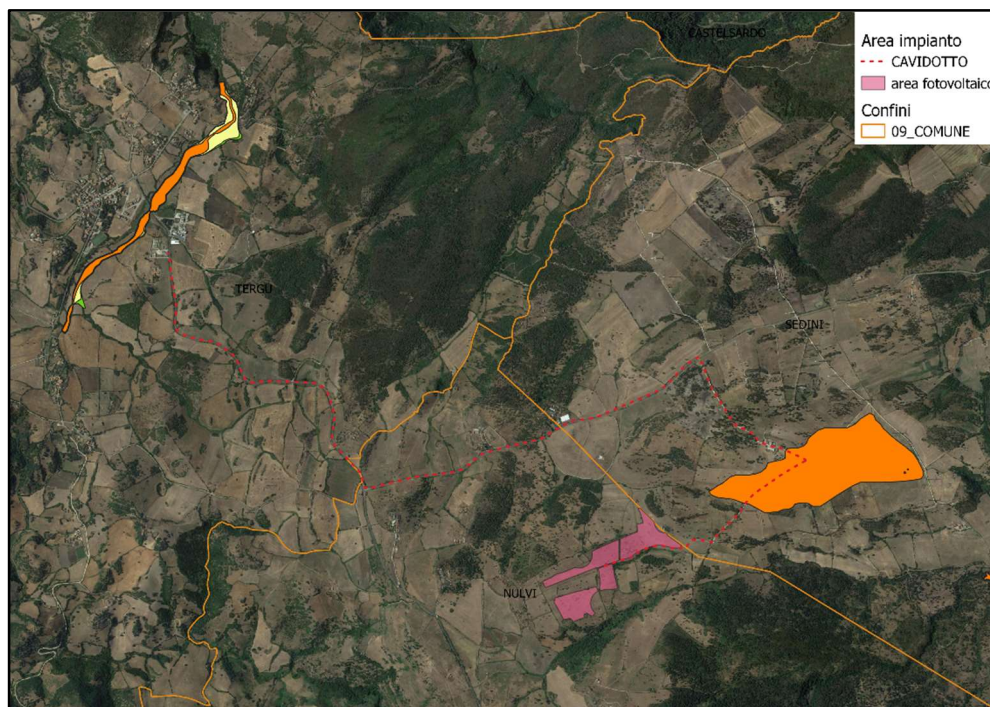
4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il **Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)** disciplina:

- All'art. 27 "Aree a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)" con $Tr < 50$ anni;
- All'art. 28 "Aree a pericolosità idraulica elevata (Hi3)" con $50 \text{ anni} < Tr < 100$ anni;
- All'art. 29 "Aree a pericolosità idraulica media (Hi2)" con $100 \text{ anni} < Tr < 200$ anni;
- All'art. 30 "Aree a pericolosità idraulica moderata (Hi1)" con $200 \text{ anni} < Tr < 500$ anni;
- All'art. 30bis "Aree di esondazione individuate con la sola analisi geomorfologica";
- All'art. 30ter "Identificazione delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia".

Secondo le perimetrazioni del PAI, il cavidotto di connessione attraversa un'area caratterizzata da pericolo idraulico Hi4 e rischio idraulico Ri3.





Pericolo_Idraulico_Rev41



Rischio_Idraulico_Rev41

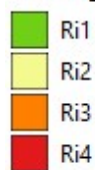


Figura 2: Perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica e rischio idraulico

Ai sensi dell'art.27 "Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (**Hi4**)" delle NTA del PAI:

[...] 3. In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

- a. *interventi di manutenzione ordinaria;*
- b. *interventi di manutenzione straordinaria;*
- c. *gli interventi di adeguamento per l'integrazione di innovazioni tecnologiche;*
- d. *gli interventi di adeguamento per la sicurezza di esercizio richiesti da norme nazionali e regionali;*
- e. *gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali riferite a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili, che siano privi di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili e siano dichiarati essenziali;*
- f. *la ricostruzione di infrastrutture a rete distrutte o danneggiate da calamità naturali;*
- g. *le nuove infrastrutture a rete o puntuali previste dagli strumenti di pianificazione territoriale e dichiarate essenziali e non localizzabili;*
- h. *allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti;*

- i. i nuovi interventi di edilizia cimiteriale purché realizzati nelle porzioni libere interne degli impianti cimiteriali esistenti;
- j. nuove infrastrutture, strutture di servizio ed insediamenti mobili, preferibilmente provvisori, destinati ad attrezzature per il tempo libero, la fruizione occasionale dell'ambiente naturale, le attività sportive e gli spettacoli all'aperto.

Lo studio di compatibilità idraulica di cui all'art. 24 è richiesto per gli interventi di cui al comma 3 suddetto per le lettere e, f, g, h, i, j.

Secondo le perimetrazioni derivanti da specifici studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico per gli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, ai sensi dell'art. 8 delle NTA del PAI, il cavidotto di connessione attraversa un'area caratterizzata da pericolo idraulico Hi4 e Hi1.

Art8C2_Hi_V09

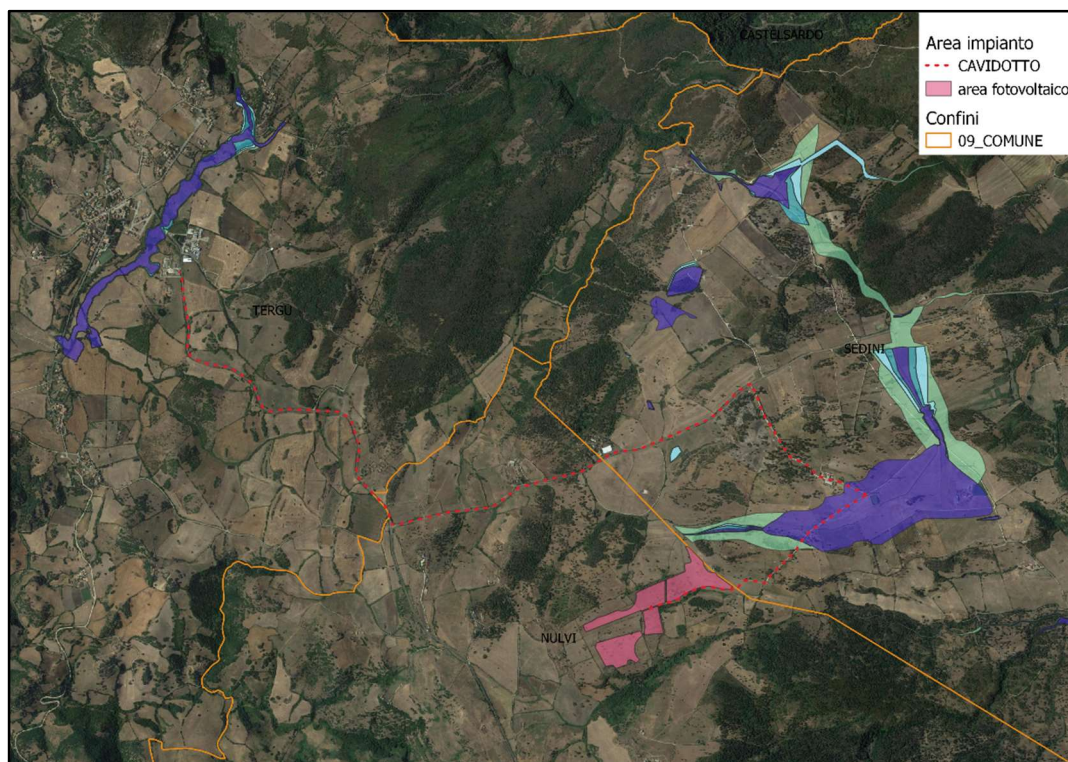
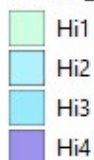


Figura 3: Perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica secondo l'art. 8 delle NTA del PAI

Per tali aree si applicano le norme degli articoli 27, 28, 29 e 30 per i corrispondenti tempi di ritorno e livelli di pericolosità.

Ai sensi dell'art. 30ter "Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima Salvaguardia" delle N.T.A. del P.A.I.:

1. Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio

regionale per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

- Per le opere e per gli interventi da realizzare all'interno della fascia di cui al comma 1, i Comuni, anche su istanza dei proponenti, sono tenuti ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le effettive aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio, obbligatorio per i tratti di ordine maggiore di due, dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi in relazione alle opere e agli interventi da realizzare.*
- Anche in assenza degli studi di cui al comma 2, nelle aree interne alla fascia di cui al comma 1, sono consentiti gli interventi previsti dall'articolo 27 delle NTA.*
- Gli studi di cui al comma 2 sono approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006.*

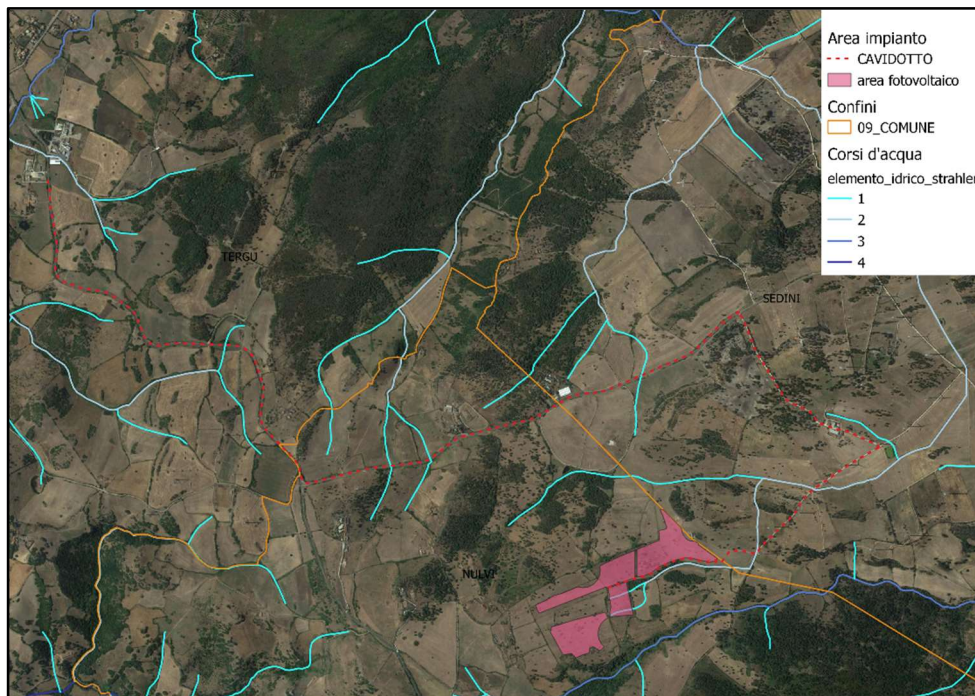


Figura 4: Elementi idrici Strahler

Le fasce di rispetto per i reticoli in prossimità dell'impianto fotovoltaico, secondo l'art. 30ter, sono di 10, 25 e 50 metri, rispettivamente per un numero di Strahler pari a 1, 2 e 3.

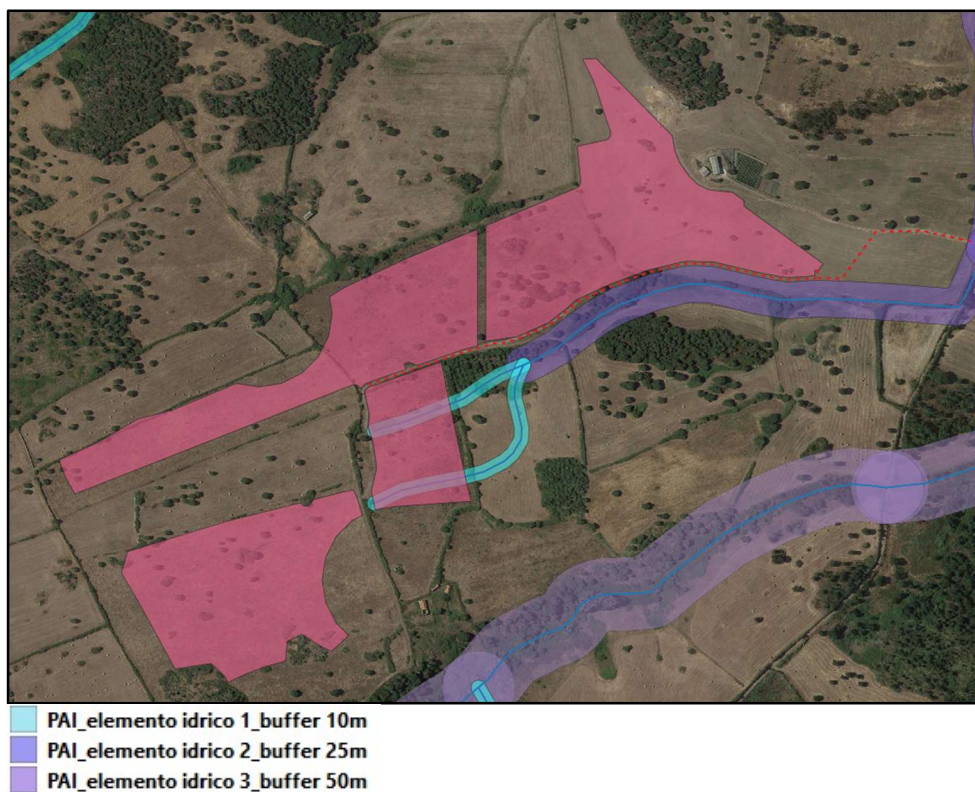


Figura 5: Fasce di rispetto per gli elementi idrici di studio per l'area di impianto fotovoltaico

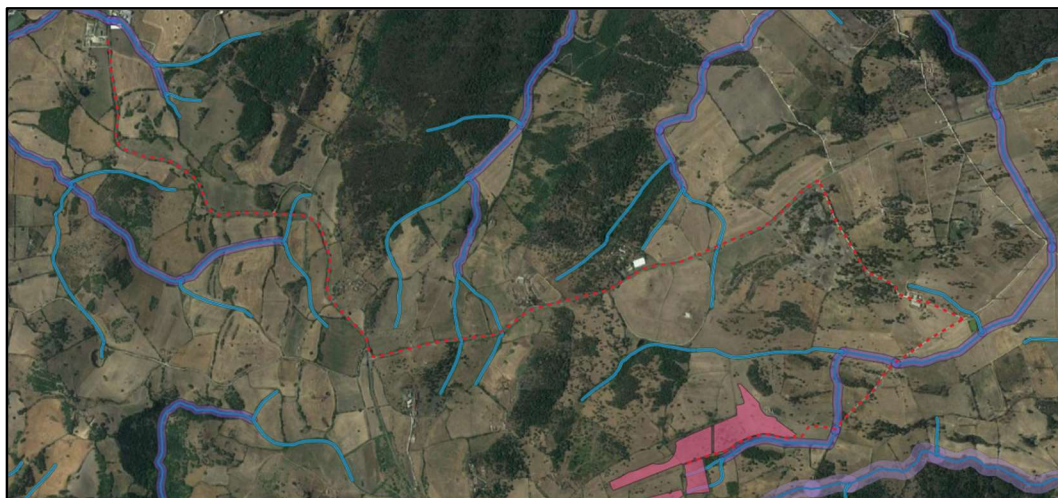


Figura 6: Fasce di rispetto per gli elementi idrici di studio per il cavidotto

L'area di impianto fotovoltaico è interessata unicamente dalla perimetrazione della fascia per due elementi idrici di ordine Strahler pari a 1, per i quali, secondo l'art. 30ter, comma 2 soprariportato, non è richiesto uno specifico studio di compatibilità idraulica.

I buffer di 10 m per l'elemento idrico con Strahler n.1 sono stati considerati come area d'esclusione per l'installazione dei moduli fotovoltaici.

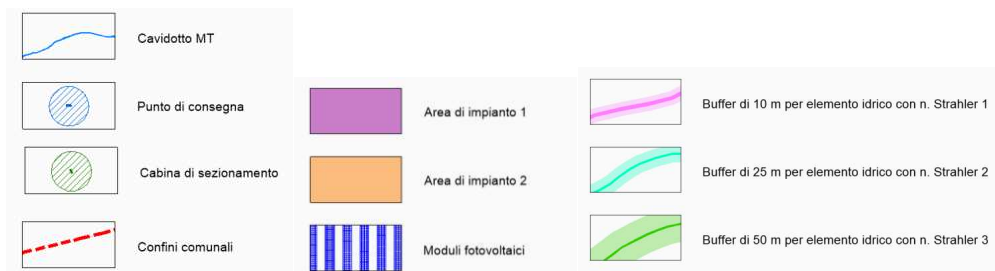
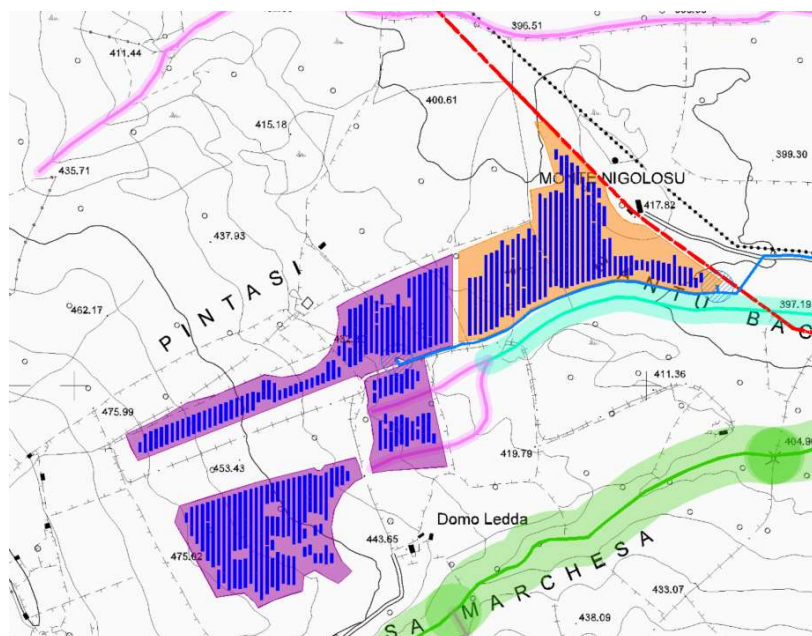


Figura 7 – Stralcio di inquadramento dell'area d'impianto rispetto ai reticoli idrografici

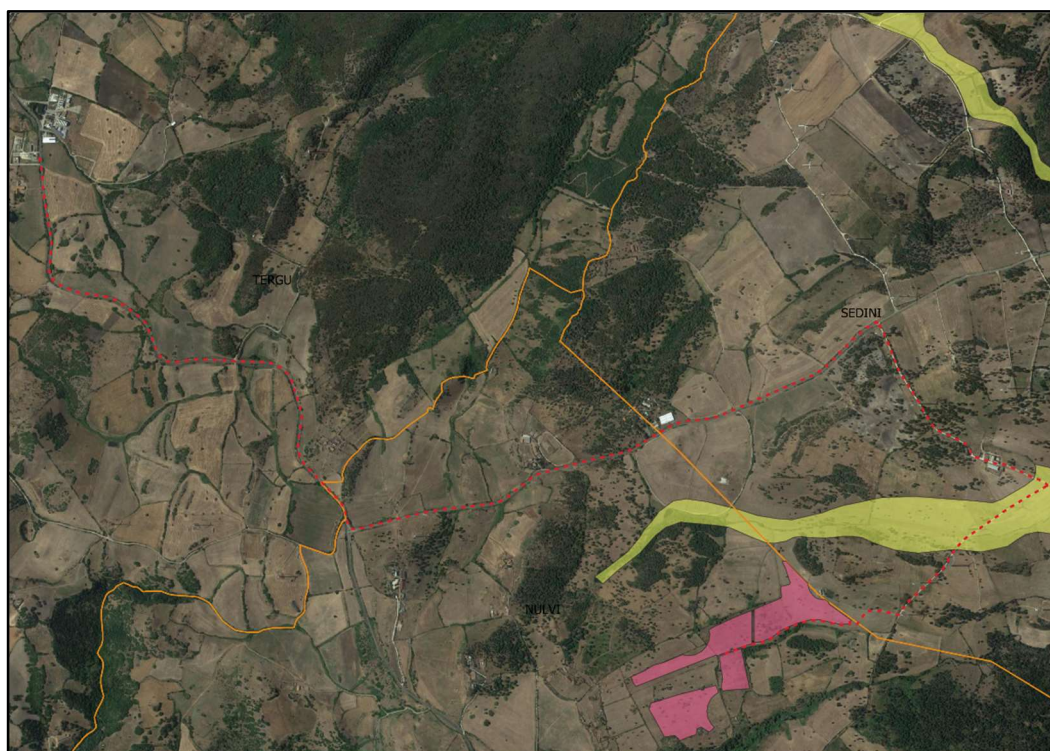
Il **Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)** è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183.

Il PSFF ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il PSFF costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Per tutti i corsi d'acqua analizzati dal P.S.F.F. sono state individuate le seguenti fasce d'inondazione:

- Fascia A2: aree inondabili con tempo di ritorno $T=2$ anni (pericolosità Hi_4 del P.A.I.);
- Fascia A50: aree inondabili con tempo di ritorno $T=50$ anni (pericolosità Hi_4 del P.A.I.);
- Fascia B100: aree inondabili con tempo di ritorno $T=100$ anni (pericolosità Hi_3 del P.A.I.);
- Fascia B200: aree inondabili con tempo di ritorno $T=200$ anni (pericolosità Hi_2 del P.A.I.);
- Fascia C: aree inondabili con tempo di ritorno $T=500$ anni o superiore, comprensiva anche di eventi storici eccezionali, e, nel caso siano più estese, comprendenti anche le aree storicamente inondate e quelle individuate mediante analisi geomorfologica.

L'area di impianto fotovoltaico e la sottostazione non sono interessate da tali perimetrazioni, mentre il cavidotto ricade parzialmente in Fascia geomorfologica C, come di seguito illustrato.



PSFF_2015

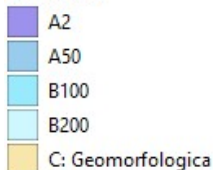


Figura 8: Perimetrazioni del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Ai sensi dell'art.2 della DELIBERAZIONE N.2 DEL 17.12.2015:

[...] le aree di pericolosità idraulica individuate dal solo PSFF sono assoggettate alle vigenti norme di attuazione del PAI in riferimento al rispettivo livello di pericolosità definito dai corrispondenti tempi di ritorno;

Ai sensi dell'art. 30bis delle NTA del PAI "Disciplina delle aree di esondazione individuate con la sola analisi geomorfologica":

- 1. Per tutti i corsi d'acqua o per i tratti degli stessi nei quali, nell'ambito di studi dell'assetto idrogeologico, a scala regionale o locale, sono state determinate aree di esondazione con la sola analisi di tipo geomorfologico, i Comuni sono tenuti ad effettuare un apposito studio idrologico idraulico di approfondimento, coerentemente con quanto indicato nelle presenti norme, al fine di determinare le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1).*
- 2. Nelle more degli studi di approfondimento di cui al comma 1, per le opere o per gli interventi che ricadono all'interno delle aree di esondazione, afferenti a uno o più corsi d'acqua, determinate con il solo criterio geomorfologico, i Comuni sono tenuti preliminarmente ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi.*
- 3. Gli studi di cui ai commi 1 e 2 sono approvati dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo 152/2006;*
- 4. Per le aree di esondazione dei corsi d'acqua o dei tratti degli stessi individuate mediante analisi di tipo geomorfologico e oggetto degli studi di cui ai commi 1 e 2, che si estendono oltre le fasce di pericolosità moderata determinate con i richiamati studi, si applica la disciplina di cui all'articolo 30, comma 1.*

Secondo la normativa vigente, nel caso in esame, l'area di impianto e l'area della sottostazione sono esterne a tutte le perimetrazioni dei piani di assetto idrogeologico, solo un tratto del cavidotto di connessione attraversa l'area a pericolosità molto elevata Hi4, moderata Hi1 e la fascia C del PSFF, per questo è necessario lo studio di compatibilità idraulica ai sensi dell'art. 24 delle NTA del PAI.

Per tutti gli altri reticoli idrografici attraversati dal cavidotto MT, secondo l'art. 21, comma 2, non è richiesto uno specifico studio di compatibilità idraulica, tuttavia la realizzazione delle nuove opere deve essere tale da conservare le funzioni e il livello naturale del corso d'acqua e non creare impedimenti al naturale deflusso delle acque.

5. ANALISI IDROLOGICA

Lo studio idrologico ha la finalità di definire le portate generate da un bacino idrografico in conseguenza ad eventi meteorici con prefissato tempo di ritorno. Nello specifico, il P.A.I. della Regione Sardegna ha individuato i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, per la definizione degli scenari rispettivamente di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1).

Lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- analisi morfologica per la determinazione delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici;
- analisi pluviometrica per la definizione dell'altezza totale di precipitazione;
- definizione della precipitazione netta o efficace, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale, pari alla pioggia totale depurata da quella persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione);
- trasformazione afflussi - deflussi per il calcolo della portata di piena.

5.1. Analisi morfologica

L'analisi morfologica consiste nella delimitazione dei bacini idrografici affluenti e nella determinazione delle caratteristiche morfometriche degli stessi. I bacini sono determinati sulla base del modello digitale del terreno (Digital Elevation Model – DEM), mediante procedure automatiche in ambiente GIS. È stato utilizzato il DTM 10x10 m disponibile sul Geoportale della Regione Sardegna.

Bacini	Area (Kmq)	L _{asta} (Km)	H _{max} (m.s.l.m)	H _{min} (m.s.l.m)	H _{mean} (m.s.l.m)	Dislivello (m)	i _{media} bacino (%)	i _{asta} (%)
Bacino 1	6.67	5.50	530.20	360	405.05	170.20	5.78	3.09

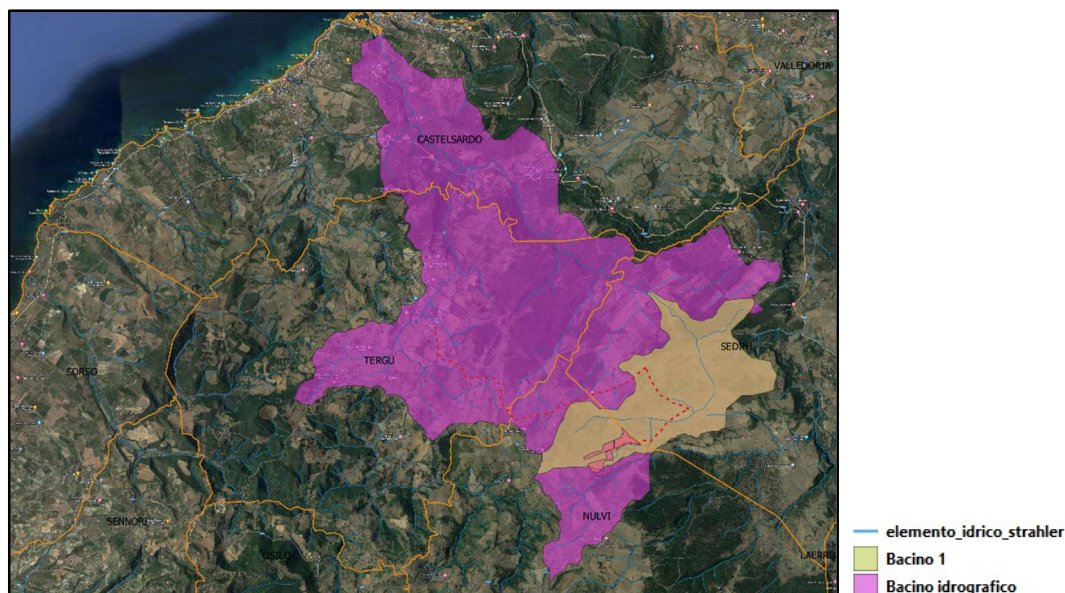


Figura 9: Bacino idrografico di studio

Di seguito si riportano le mappe del DTM e della Pendenza del bacino idrografico di studio, da cui sono state estratte le informazioni morfometriche.

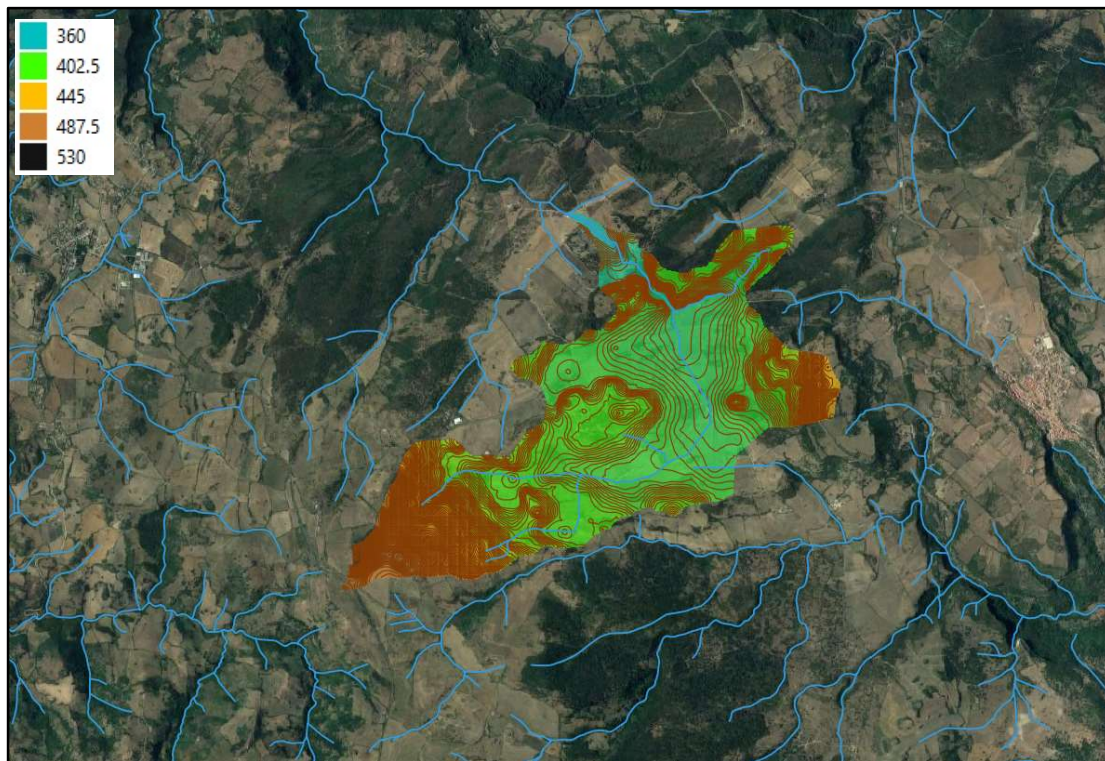


Figura 10: DTM del bacino di studio

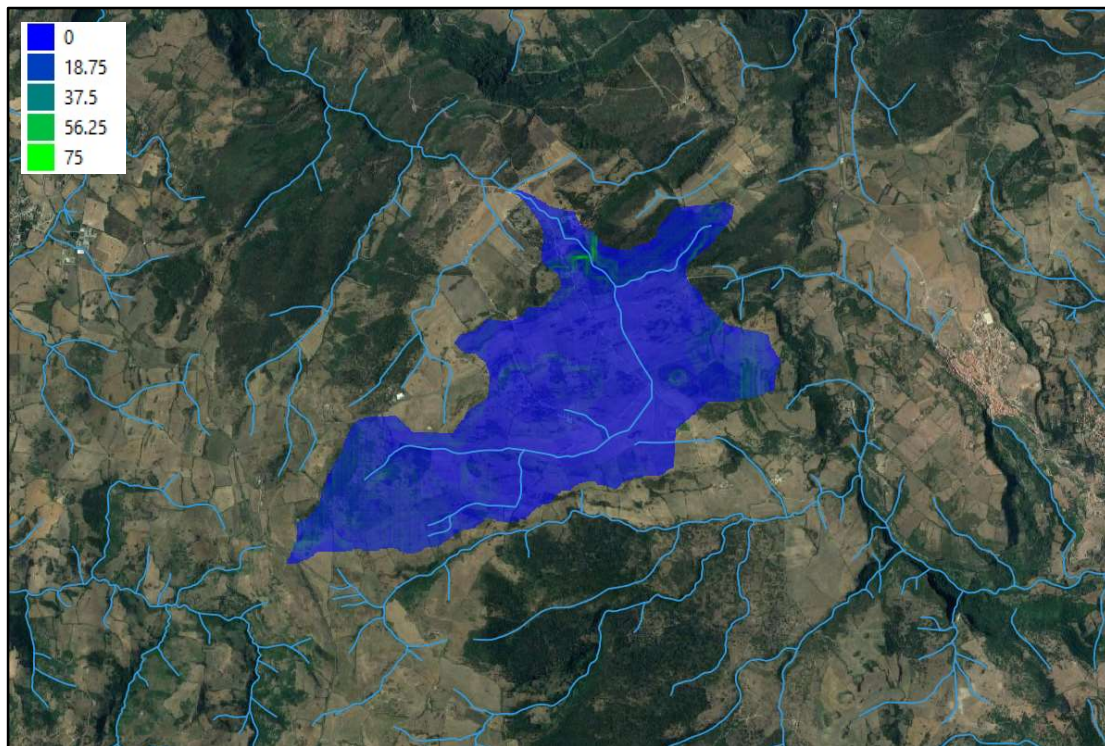


Figura 11: Carta della pendenza (slope) del bacino di studio

5.2. Criteri generali per la stima delle portate al colmo

L'analisi idrologica consiste nella determinazione delle *curve di possibilità pluviometrica* per i diversi tempi di ritorno propri del PAI e nella definizione delle *portate al colmo di piena* per tempi pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

Per la stima delle portate di piena, per bacini con superficie superiore ai 60 km², si ricorre al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, per i bacini con superficie inferiore ai 60 km², invece, si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale, si fa riferimento al metodo S.C.S. Nel nostro caso, avendo il bacino di studio superficie < 60 km² si utilizza la formula empirica del Soil Conservation Service (S.C.S.).

5.3. Analisi pluviometrica

La curva di possibilità climatica esprime il legame esistente tra l'altezza di pioggia (espressa in mm) e la sua durata (espressa in ore), per un assegnato valore del tempo di ritorno.

Per la definizione delle precipitazioni è necessario definire la sottozona omogenea SZO della Regione Sardegna di appartenenza del bacino in esame, secondo la seguente suddivisione.



Figura 12: Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna

La pioggia indice $h(t)$ di durata t può essere espressa in forma monomia: $h(t) = a_1 \cdot t^{n_1}$, dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g , espressa in mm, secondo le seguenti espressioni:

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0.886 \cdot 24^{n_1}}$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \text{Log}(\mu_g)$$

La pioggia indice giornaliera μ_g viene stimata sulla base della carta delle isoiete.

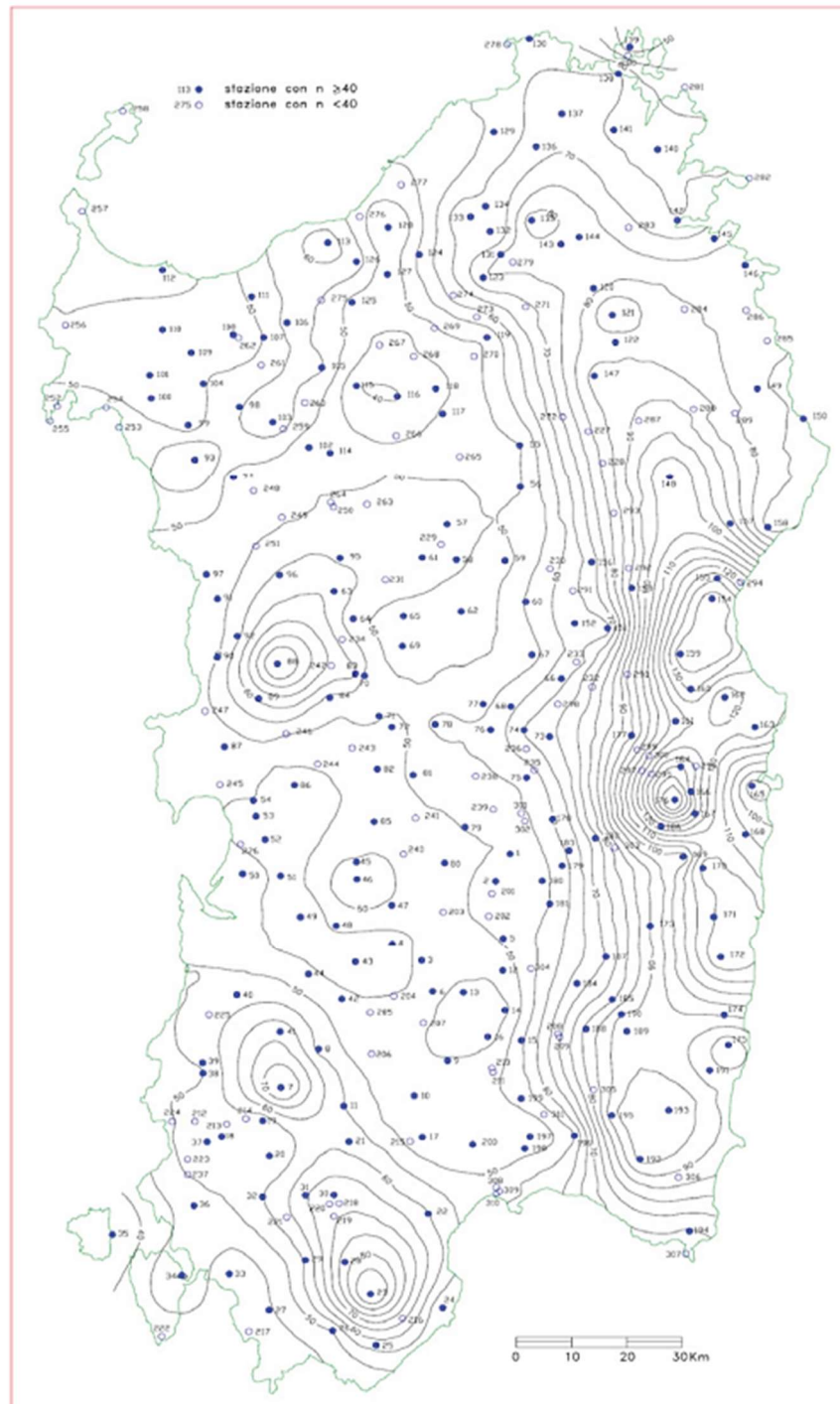


Figura 13: Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera

L'altezza di pioggia $h(t, T)$ di durata t (ore) e assegnato tempo di ritorno T (anni) si ottiene moltiplicando la pioggia indice $h(t)$ per un coefficiente di crescita K_T pari a $K_T = a_2 * t^{n_2}$.

L'espressione dell'altezza di pioggia totale è pari a: $h(t, T) = h(t) * K_T = (a_1 * a_2) * t^{(n_1+n_2)}$, dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona e per differenti tempi di ritorno T e durate t .

a) per tempi di ritorno $T \leq 10$ ANNI

SZO 1 $a_2 = 0,66105 + 0,85994 \text{ Log}_{10} T$;
 $n_2 = -1,3558 \cdot 10^{-4} - 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$;
 SZO 2 $a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{ Log}_{10} T$;
 $n_2 = -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$;
 SZO 3 $a_2 = 0,62408 + 0,95234 \text{ Log}_{10} T$;
 $n_2 = -2,5392 \cdot 10^{-2} + 4,7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$;

b) per tempi di ritorno $T > 10$ ANNI

SZO 1 $a_2 = 0,46378 + 1,0386 \text{ Log}_{10} T$
 $n_2 = -0,18449 + 0,23032 \text{ Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora)
 $n_2 = -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau > 1$ ora)
 SZO 2 $a_2 = 0,44182 + 1,0817 \text{ Log}_{10} T$
 $n_2 = -0,18676 + 0,24310 \text{ Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora)
 $n_2 = -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau > 1$ ora)
 SZO 3 $a_2 = 0,41273 + 1,1370 \text{ Log}_{10} T$
 $n_2 = -0,19055 + 0,25937 \text{ Log}_{10} T - 3,8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora)
 $n_2 = 1,5878 \cdot 10^{-2} + 7,6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau > 1$ ora)

Nel caso in esame, si assume un valore della pioggia indice giornaliera μg pari a 50 mm.

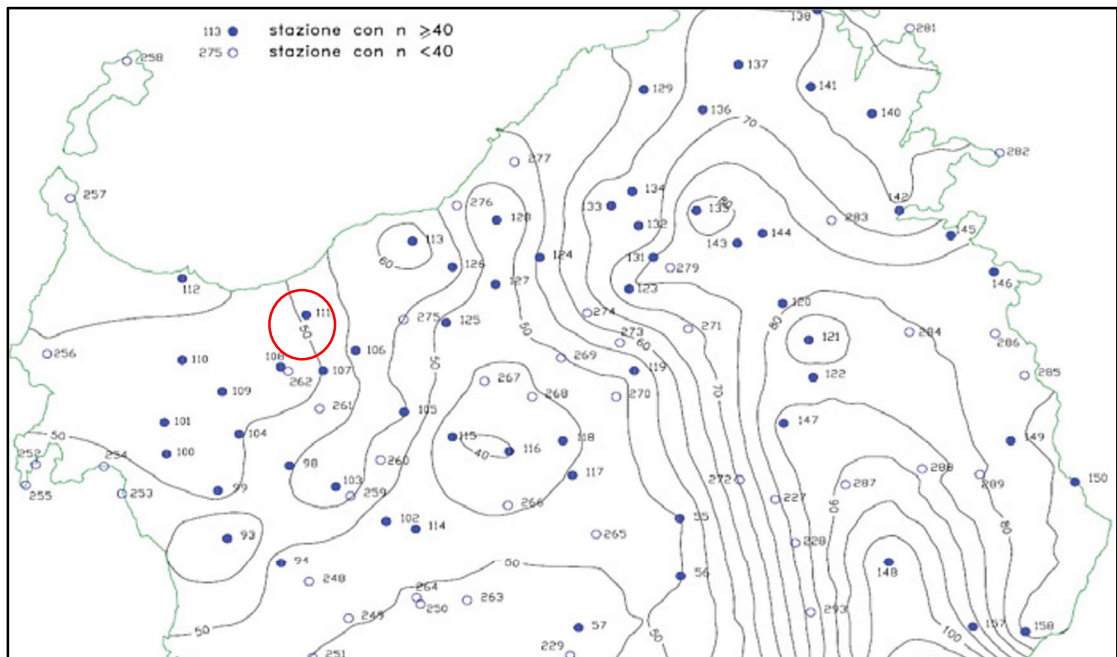


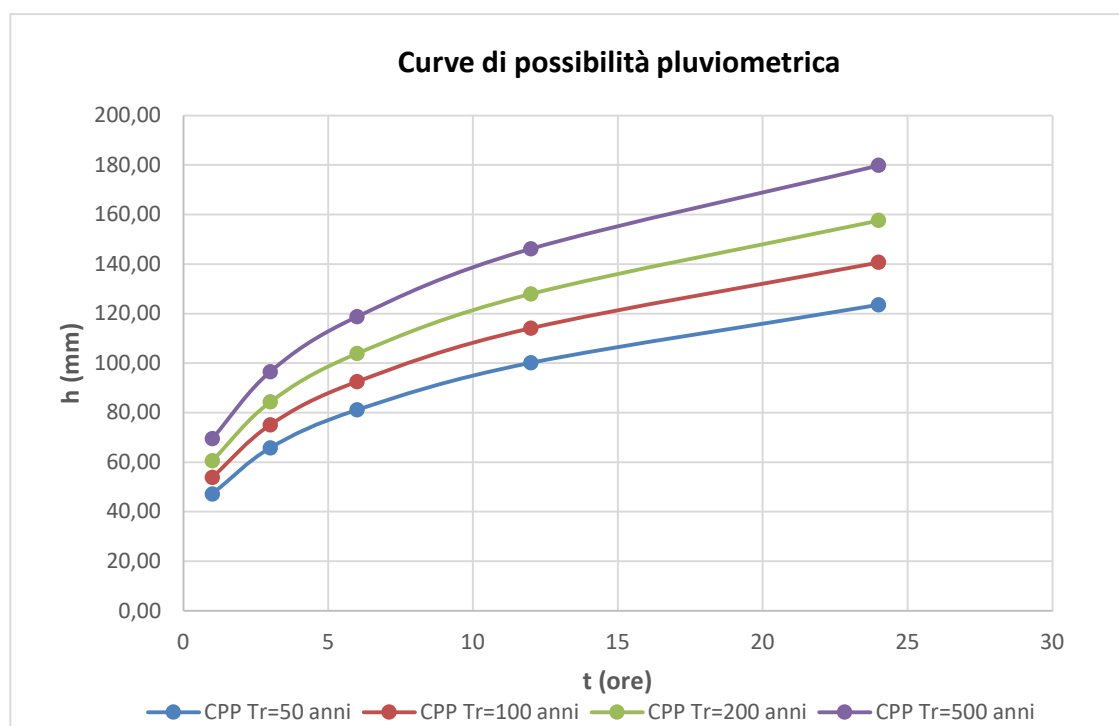
Figura 14: Dettaglio della carta delle isoiete nell'area di impianto (in rosso)

L'impianto ricade nella zona omogenea SZO II, quindi, i coefficienti a_1 , a_2 , n_1 , n_2 sono pari a:

μg	n_1 (μg)	a_1 (μg)	Tr	a_2	n_2	Tr	a_2	n_2	Tr	a_2	n_2	Tr	a_2	n_2
50	0.316	20.7	50	2.28	-0.013	100	2.60	-0.014	200	2.93	-0.015	500	3.36	-0.017

Determinati i vari coefficienti, è possibile ricavare le curve di possibilità pluviometrica (C.P.P.) per i diversi tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

t (ore)	h_{50} (mm)	h_{100} (mm)	h_{200} (mm)	h_{500} (mm)
1	47.17	53.91	60.64	69.55
3	65.81	75.10	84.38	96.60
6	81.19	92.58	103.93	118.84
12	100.17	114.13	128.01	146.22
24	123.59	140.70	157.67	179.89



La durata di pioggia critica, per il quale calcolare l'altezza di pioggia totale al lordo delle perdite, è assunta pari al tempo di corrivazione t_c . Il tempo di corrivazione può essere ottenuto con la formula del Soil Conservation Service (SCS):

$$t_c = \frac{100 L^{0.8}}{1900 s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [minuti]}$$

Dove:

- L = lunghezza dell'asta principale (ft - piede);
- s = pendenza media del bacino (%);
- CN = parametro di assorbimento (adimensionale).

In ore, la stessa formula può essere espressa come:

$$t_c = 1.67 * 2.587 \frac{L^{0.8}}{1900 s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [ore]}$$

Dove:

- L = lunghezza dell’asta principale (m);
- s = pendenza media del bacino (%);
- CN = parametro di assorbimento (adimensionale).

I valori del parametro del curve number CN dipende dalle informazioni sull’uso del suolo, sulla litologia e permeabilità del terreno.

Nello specifico, ad ogni tipologia di copertura del territorio è stato assegnato un valore di CN, secondo la classificazione sottostante:

Tabella 1 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo

Descrizione	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 - CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 - CIMITERI	95

Descrizione	CN
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60
2122 - RISAIE	99
2123 - VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 - VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 - OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 - SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 - ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 - GARIGA	65
3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E < 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 - SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99

Descrizione	CN
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

È stata desunta la carta del CN per il bacino di studio in funzione del solo Uso del Suolo (fonte Geoportale della Sardegna). Il valor medio del CN (Corine Land) è pari a 69,40.

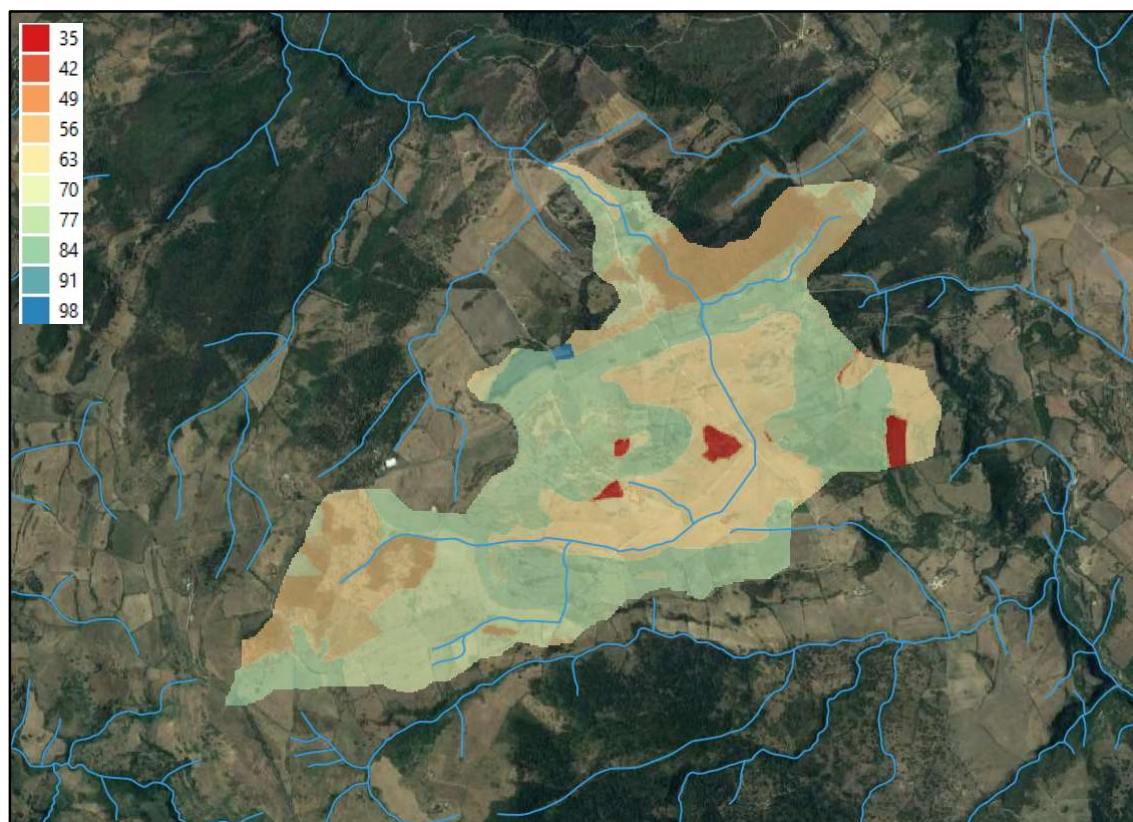


Figura 15: Carta del CN del bacino idrografico

I valori del CN associati attraverso le caratteristiche dell'uso del suolo sono stati corretti considerando i fattori di variazione del CN derivanti dall'analisi delle informazioni geologiche. Il CN correttivo è pari a 5 per la classe delle "Dolomie e calcari dolomitici di tipo lacustri". Il valore del CN è dato dalla somma algebrica dei due contributi ed è pari a 74,40.

È possibile determinare, anche, le altezze di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione.

Bacini	L (m)	s (%)	CN	tc (ore)	h ₅₀ (mm)	h ₁₀₀ (mm)	h ₂₀₀ (mm)	h ₅₀₀ (mm)
Bacino 1	5500	5.78	74.40	2.64	63.29	72.25	81.18	92.96

5.4. Metodo SCS-CN per il calcolo della pioggia netta

Per la stima della pioggia netta o efficace, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale pari alla pioggia totale depurata dalla parte di pioggia persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione) si è utilizzata la metodologia del Soil Conservation Service (S.C.S.) che prevede la determinazione del Curve Number (CN).

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del *volume netto di pioggia per unità di superficie, espresso in mm. Il volume è pari a: $R_o = (h_r - 0.2 S)^2 / (h_r + 0.8 S)$.*

Dove:

- h_r = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);
- S = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione (mm). Il valore S è stato calcolato mediante l'equazione: $S = 25 * ((1000 / CN) - 10)$.

La precipitazione meteorica ragguagliata viene calcolata nel modo seguente: $h_r = r * h$. La pioggia ottenuta viene ragguagliata all'area tramite il parametro r , secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \text{ per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \text{ per } A > 20 \text{ km}^2$$

Dove:

- d = durata della precipitazione (ore);
- A = superficie del bacino (km²);
- r = coefficiente di ragguaglio delle piogge.

Bacini	$d=t_c$ (ore)	A (km ²)	r	hr_{50} (mm)	hr_{100} (mm)	hr_{200} (mm)	hr_{500} (mm)
Bacino 1	2.64	6.67	0.95	59.91	68.39	76.85	87.99

Bacini	A (km ²)	CN	S (mm)	Ro_{50} (mm)	Ro_{100} (mm)	Ro_{200} (mm)	Ro_{500} (mm)
Bacino 1	6.67	74.40	86.02	14.17	19.09	24.42	31.96

5.5. Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo di piena

Secondo il metodo SCS, la portata al colmo di piena è pari a: $Q_c = 0.280 * Ro * A / t_p$ (mc/s), dove i parametri sono:

- Ro = volume netto di pioggia (mm);
- A = superficie del bacino (km²);
- t_p = tempo di crescita dell'onda di piena (ore).

La stima del tempo di crescita dell'onda di piena è ricavata con la seguente formula:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

dove:

- D = durata della pioggia (in ore);
- t_{lag} = intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo (in ore).

Si assume:

- $D = 0.133 * t_c$;
- $t_{lag} = 0.6 * t_c$.

Si ha quindi: $t_p = (0.133/2) t_c + 0.6 t_c$

t_c (ore)	t_p (ore)
2.64	1.76

Bacini	A (km ²)	Ro ₅₀ (mm)	Ro ₁₀₀ (mm)	Ro ₂₀₀ (mm)	Ro ₅₀₀ (mm)
Bacino 1	6.67	14.17	19.09	24.42	31.96

Bacini	Q ₅₀ (mc/s)	Q ₁₀₀ (mc/s)	Q ₂₀₀ (mc/s)	Q ₅₀₀ (mc/s)
Bacino 1	15.05	20.28	25.94	33.94

6. ANALISI IDRAULICA

La seguente analisi idraulica consiste nella modellazione monodimensionale, in condizioni di moto permanente, del comportamento idraulico dell'unico corso d'acqua che determina un'area a pericolosità idraulica Hi4 e Hi1 lungo il tracciato del cavidotto interrato.

La modellazione idraulica dell'asta fluviale, eseguita attraverso l'ausilio del software HEC-RAS 5.0.7, consente di determinare i livelli idrici nelle varie sezioni di analisi e i profili idraulici relativi ai quattro tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni per i quali sono state calcolate le portate di piena.

Il codice di calcolo HEC-RAS è un programma sviluppato presso l'Hydrological Engineering Center (HEC) dall'United States Army Corps of Engineering (USACE), utilizzato per l'implementazione di modelli numerico-idraulici di canali naturali ed artificiali e per ricostruire con un accettabile grado di approssimazione, la geometria, la dinamica fluviale e la risposta di un corso d'acqua agli interventi in alveo.

La procedura di calcolo monodimensionale di Hec-Ras si basa sulla soluzione delle equazioni dell'energia, analizzando solamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto (longitudinale). Il calcolo dei profili di corrente viene effettuato all'interno del software attraverso la risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive, mediante una procedura iterativa "standard step method". L'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente è la seguente:

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H$$

dove, con i pedici 1 e 2 si indicano le grandezze che si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

- h_1 e h_2 sono le altezze idriche;
- z_1 e z_2 sono le quote del fondo alveo rispetto ad un piano di riferimento prefissato;
- V_1 e V_2 sono le velocità medie;
- α_1 e α_2 sono i coefficienti di ragguglio o coefficienti di Coriolis;
- ΔH è la perdita di carico tra le due sezioni.

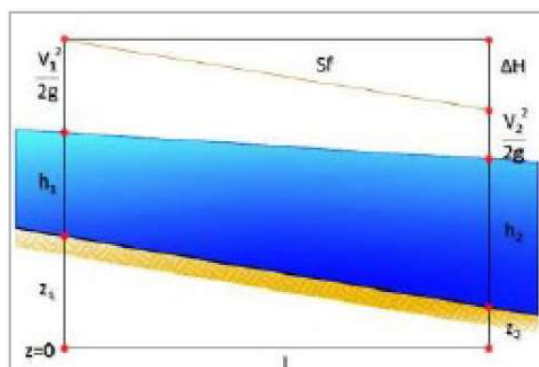


Figura 16: Schema del modello monodimensionale

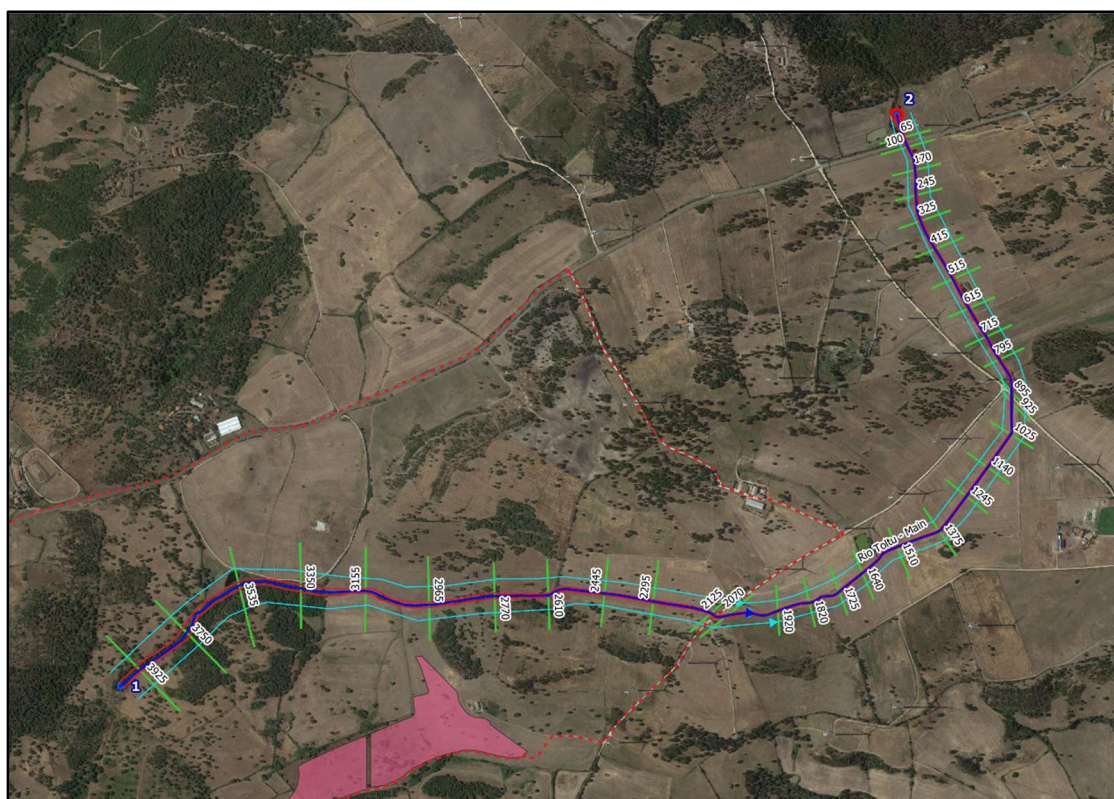
Definita la geometria del tratto di reticolo da studiare, si è proceduto alla definizione delle condizioni al contorno (*Boundary Conditions*) di portata e scabrezza mediante il coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo.

Non conoscendo a priori il regime di corrente idraulica presentato dai canali, si è condotto lo studio in regime di corrente mista, anche al fine di non precludere, all'eventuale passaggio a diversi stati critici, il cambiamento di regime stesso.

6.1. Dati di input e risultati della simulazione

I primi dati da inserire nel modello sono: l'andamento planimetrico del corso d'acqua e le sezioni trasversali più significative. La scelta di queste ultime è basata sulla necessità di suddividere l'asta in tratti omogenei per caratteristiche idrauliche.

Di seguito, si riporta la geometria del corso d'acqua utilizzata per la simulazione idraulica:









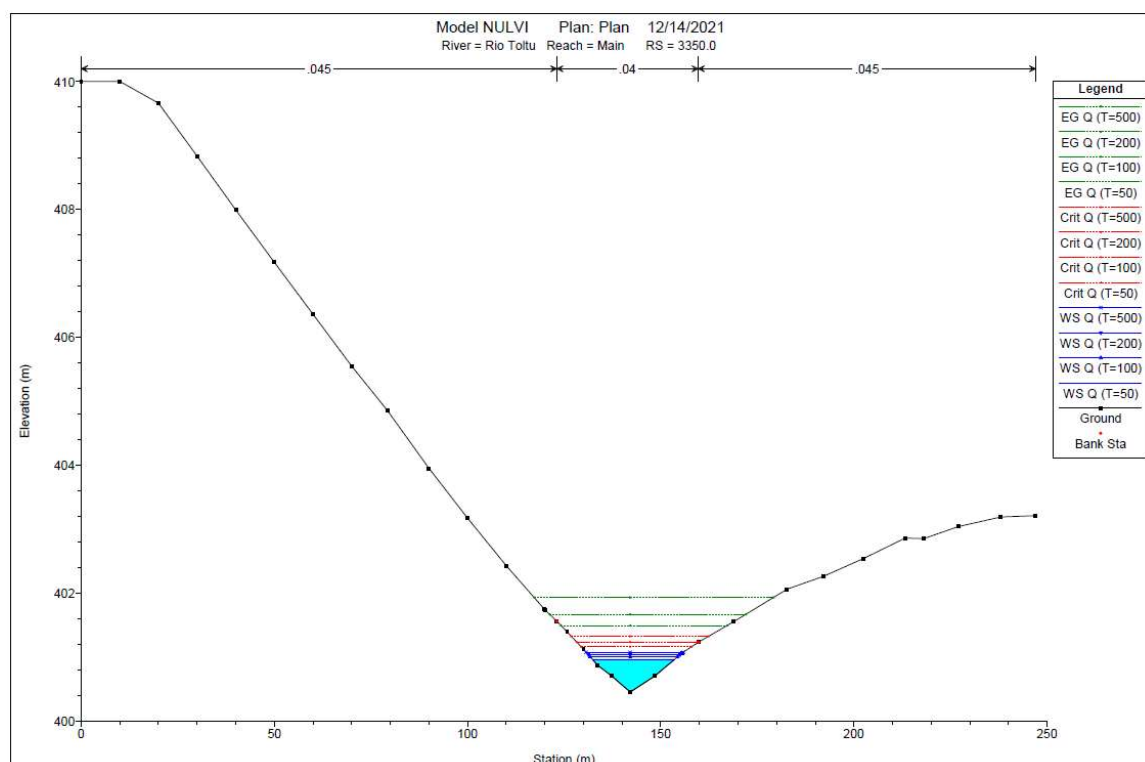
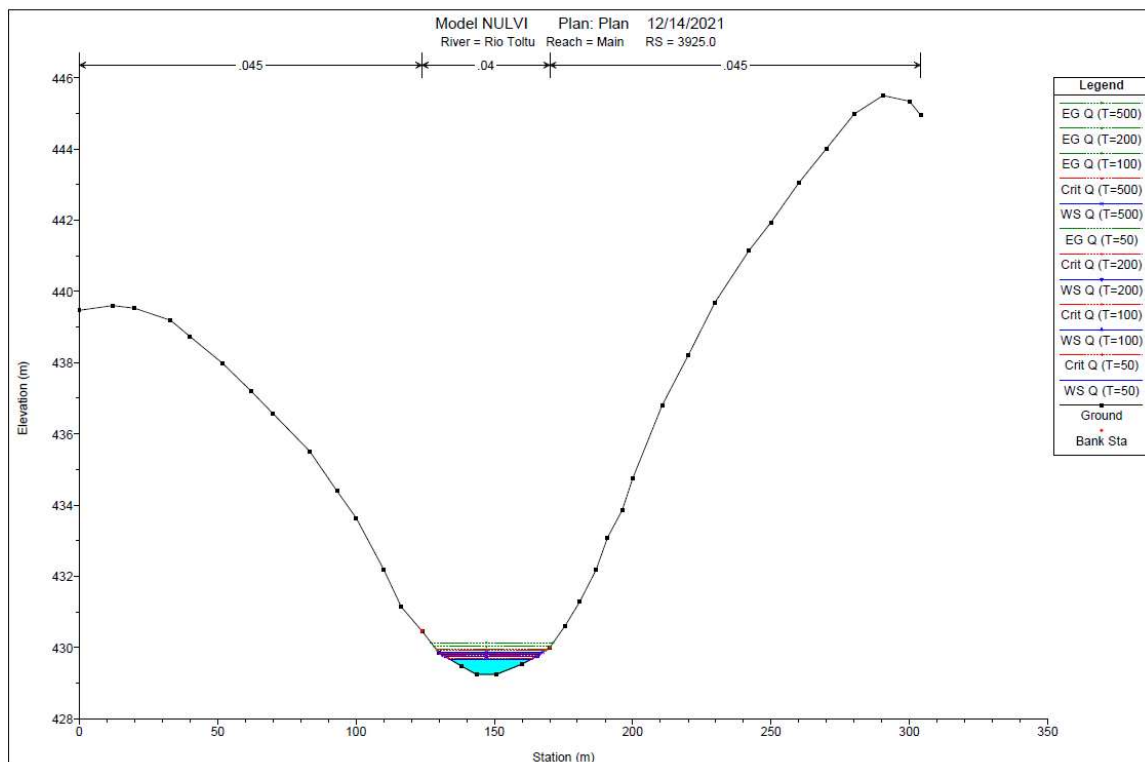
-  StreamCenterlines
-  BankLines
-  Flowpaths
-  XSCutLines
-  NodesTable
-  Endpoints

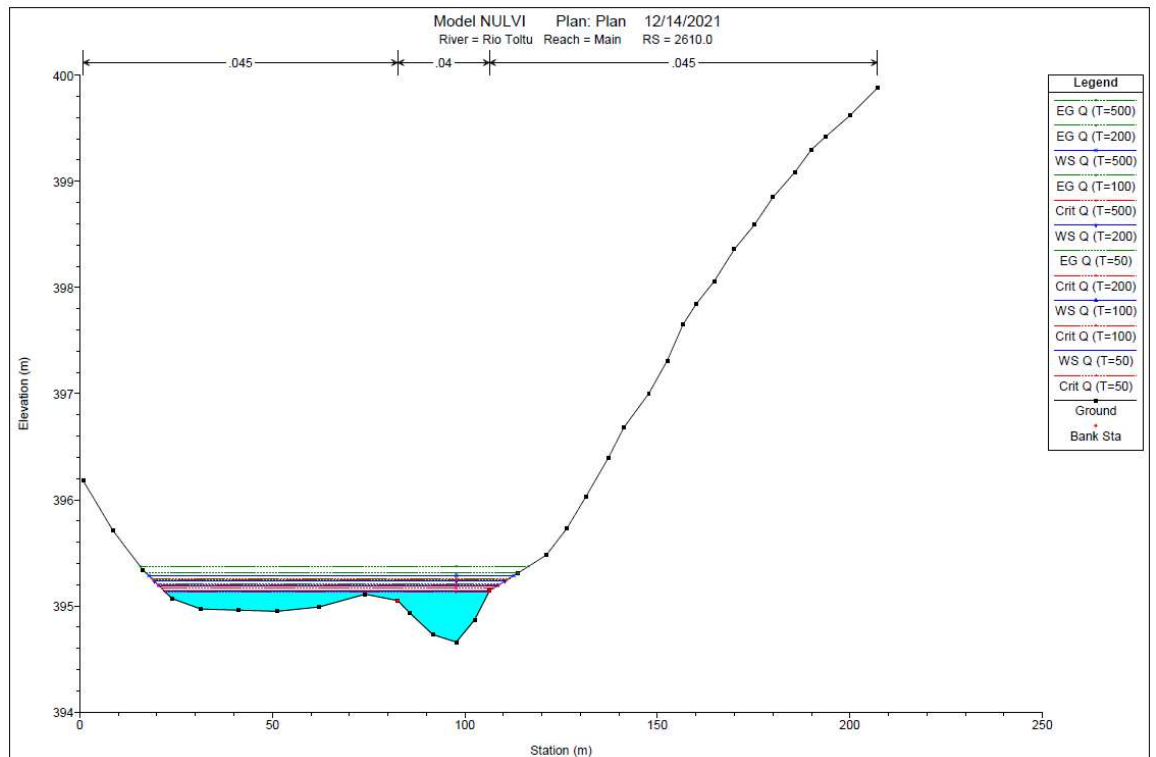
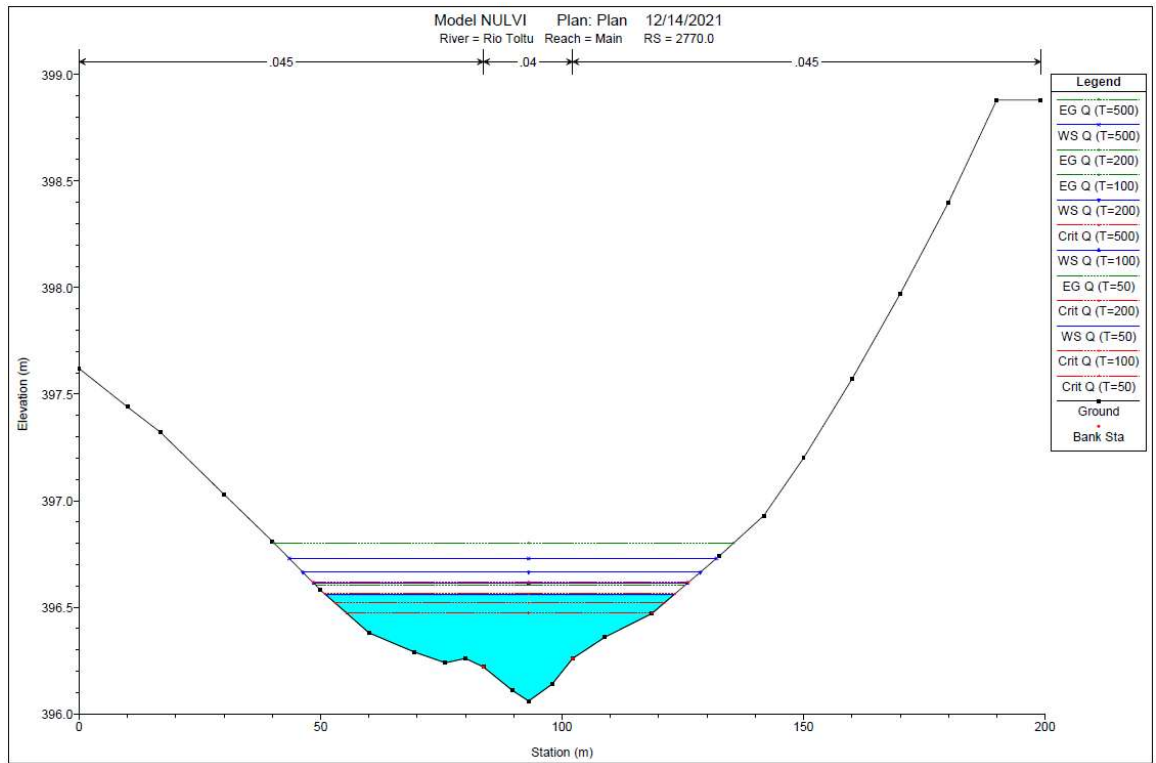
Figura 17: Geometria del modello 1D del reticolo Rio Toltu

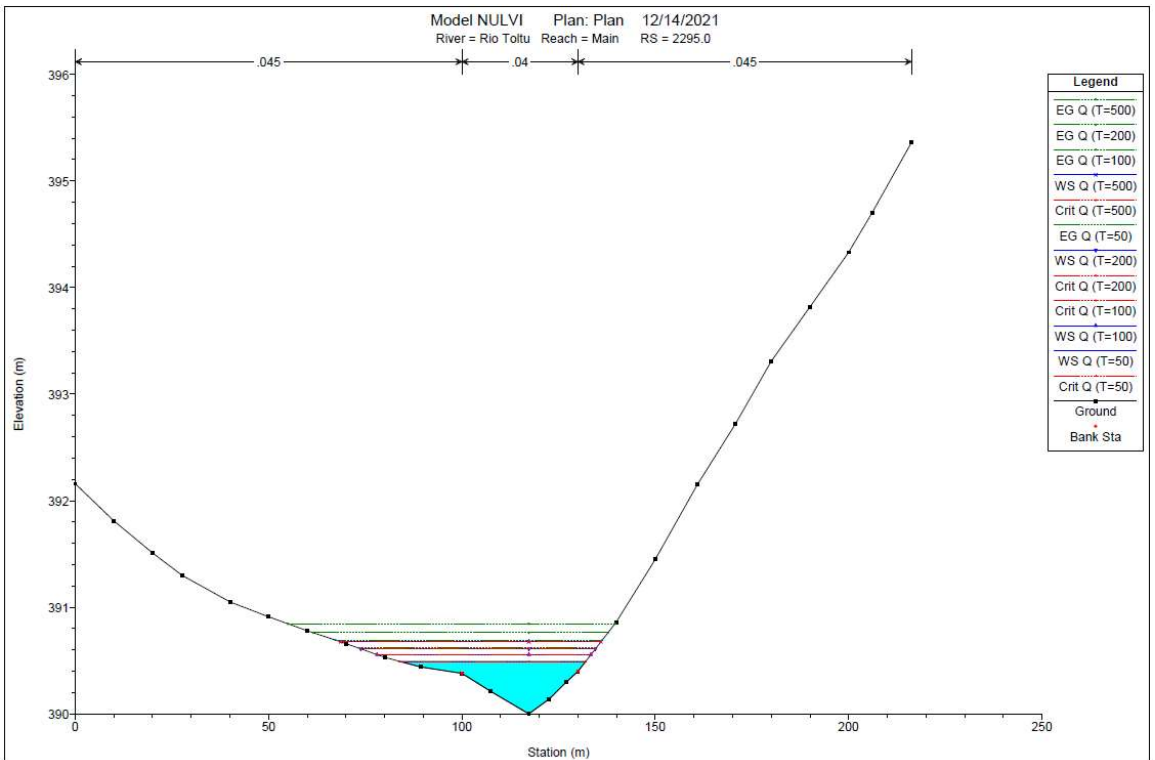
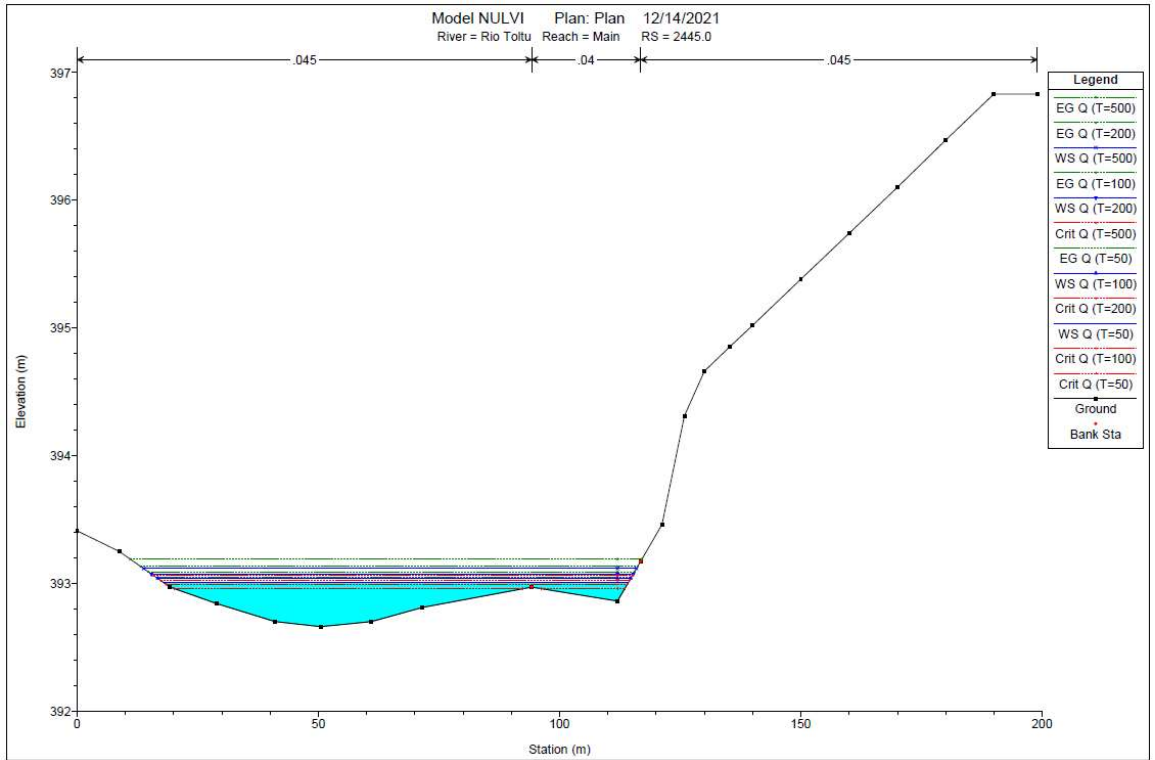
La modellazione eseguita è di tipo monodimensionale in condizioni di moto permanente e, quindi, i valori di portata al colmo restano costanti nel tempo. Di seguito, vengono riportate

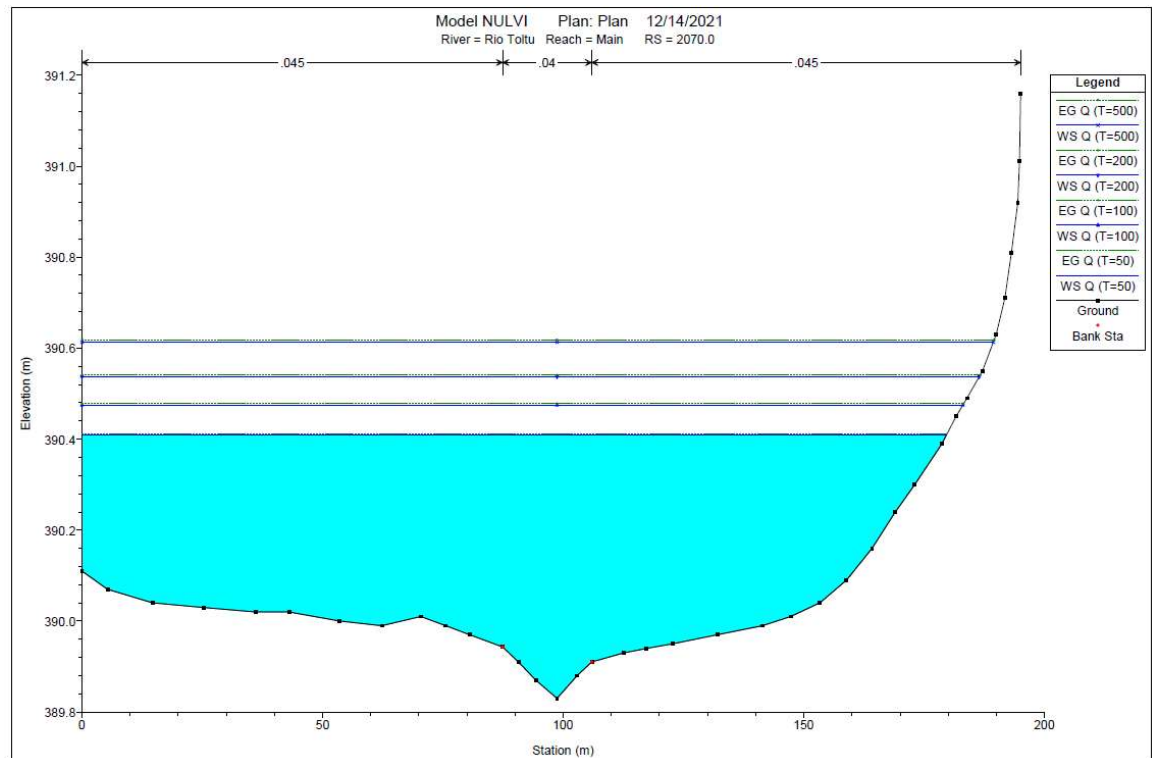
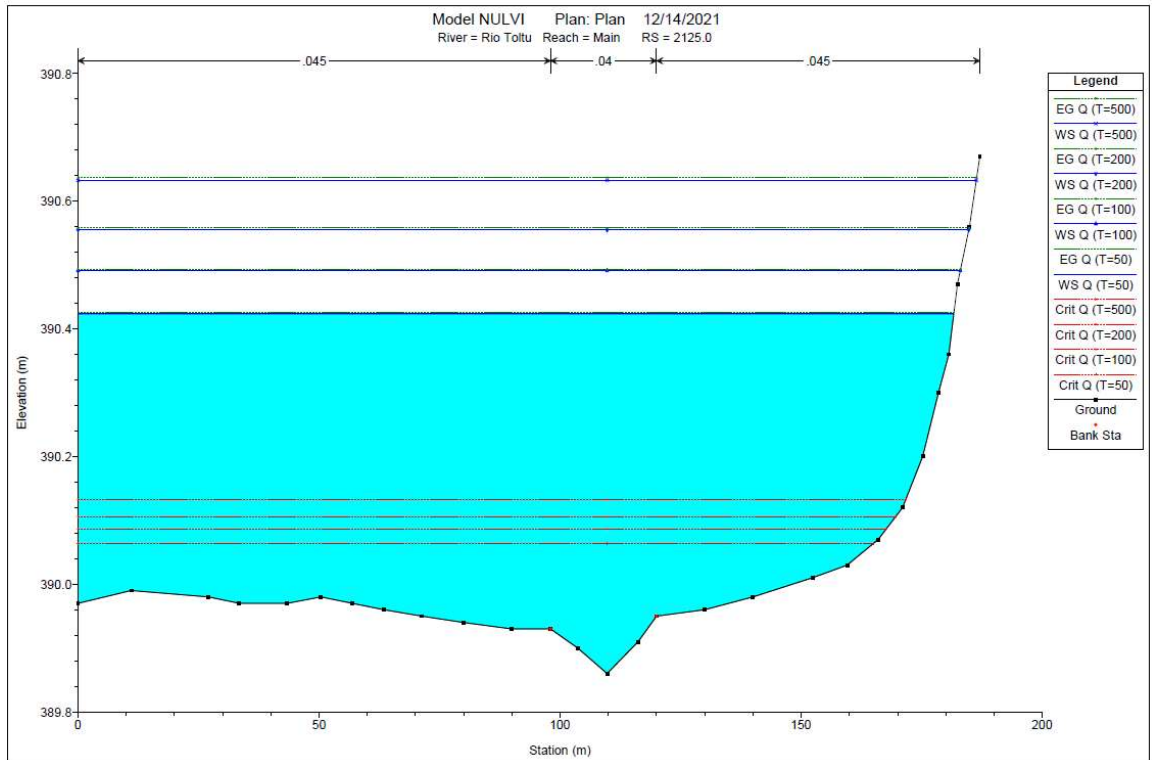
per il reticolo idrografico studiato:

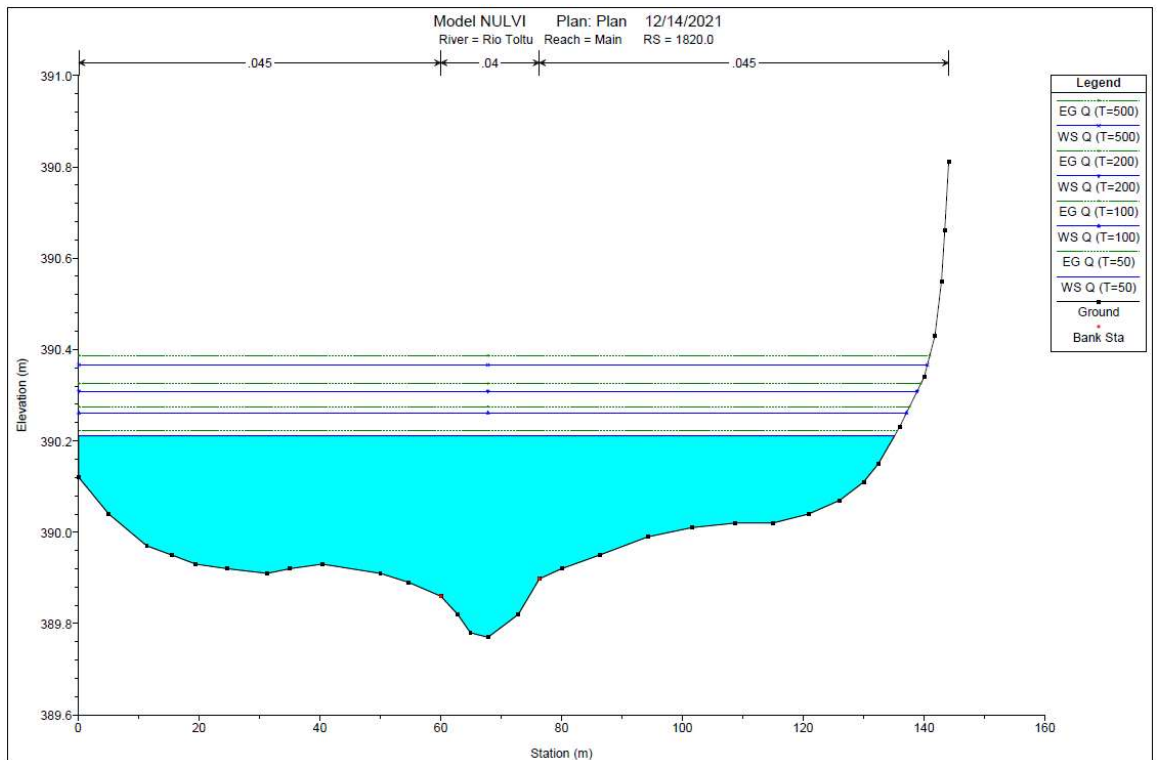
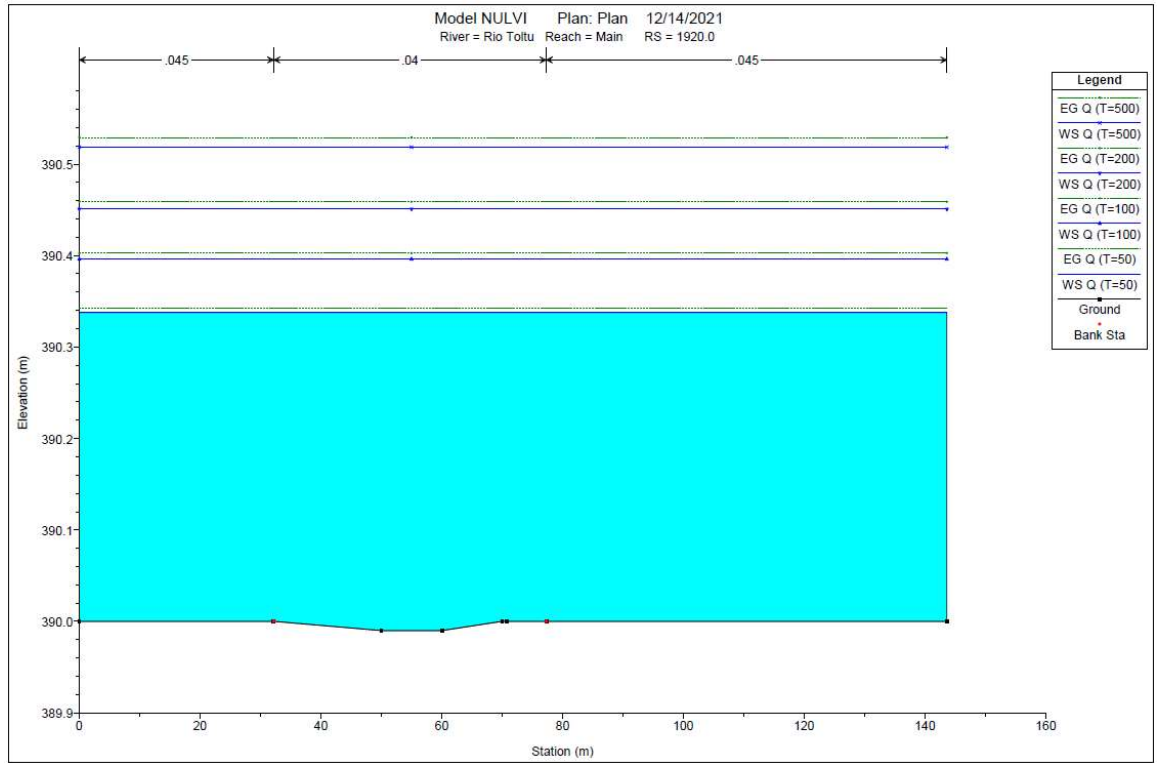
- Alcune delle sezioni idrauliche più significative con i livelli idrici raggiunti per le portate corrispondenti ai quattro tempi di ritorno;
- il profilo idraulico;
- le principali grandezze idrauliche in forma tabellare, per ciascuna delle sezioni introdotte nel modello di simulazione.

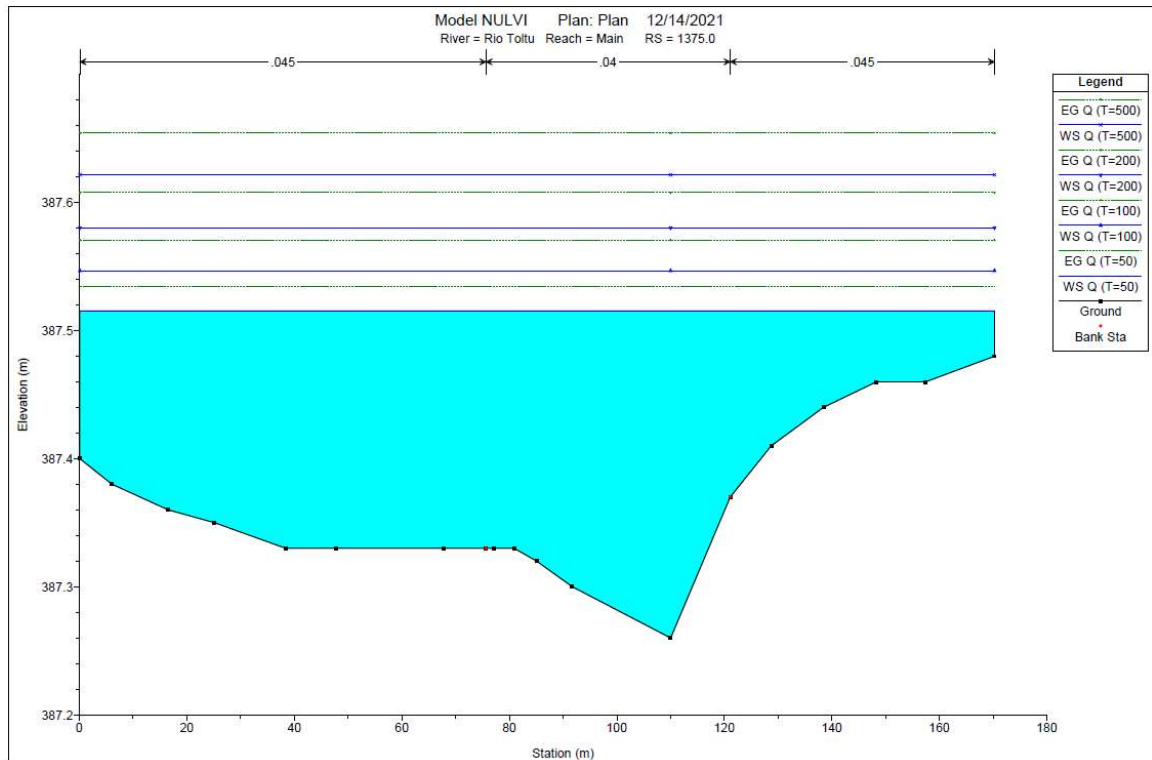
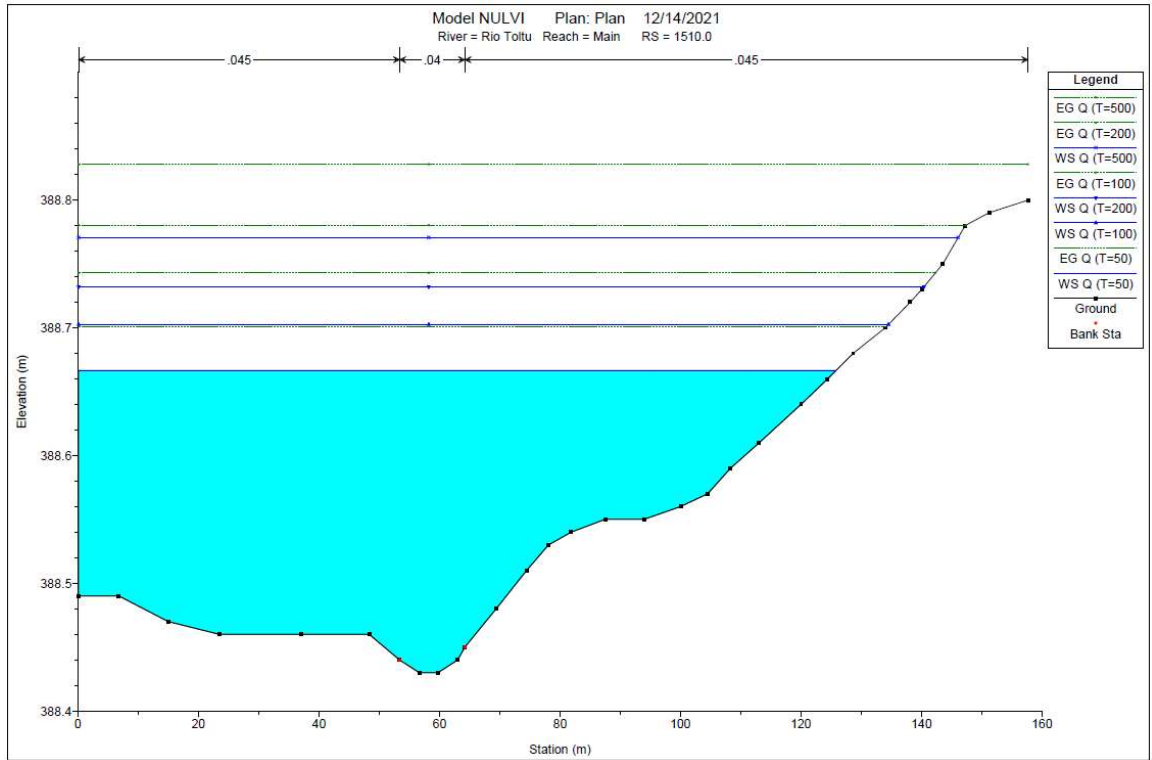


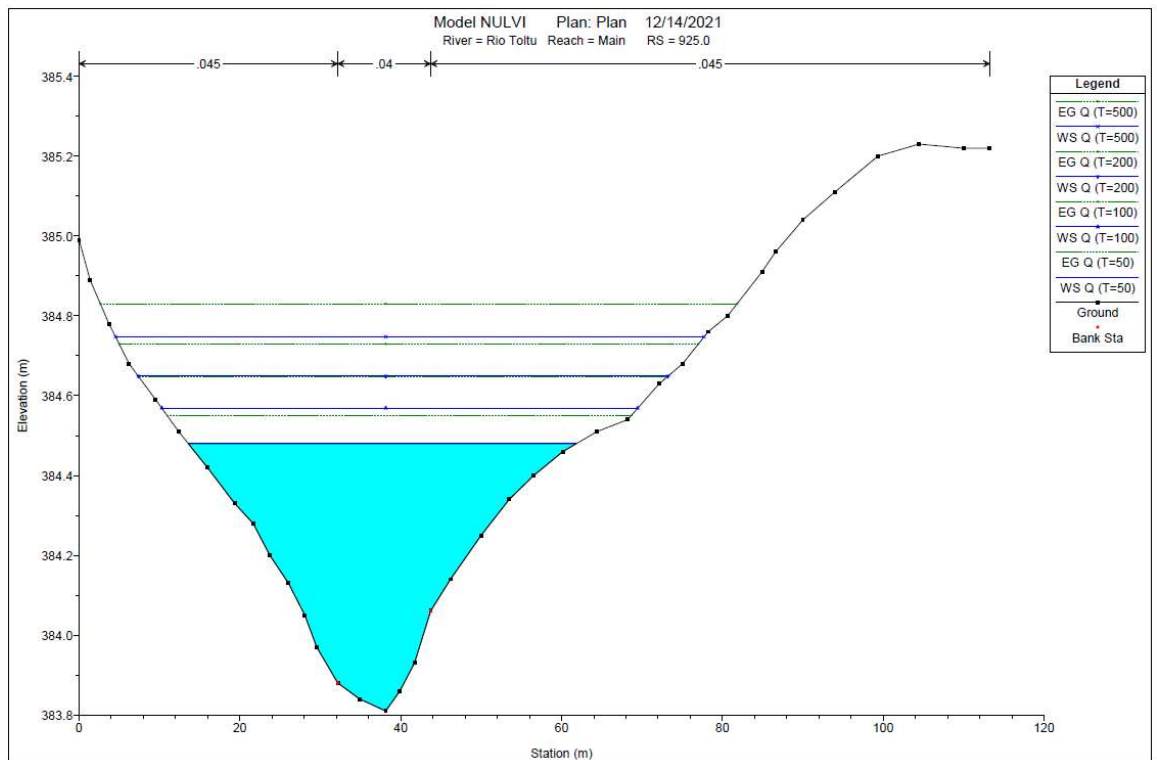
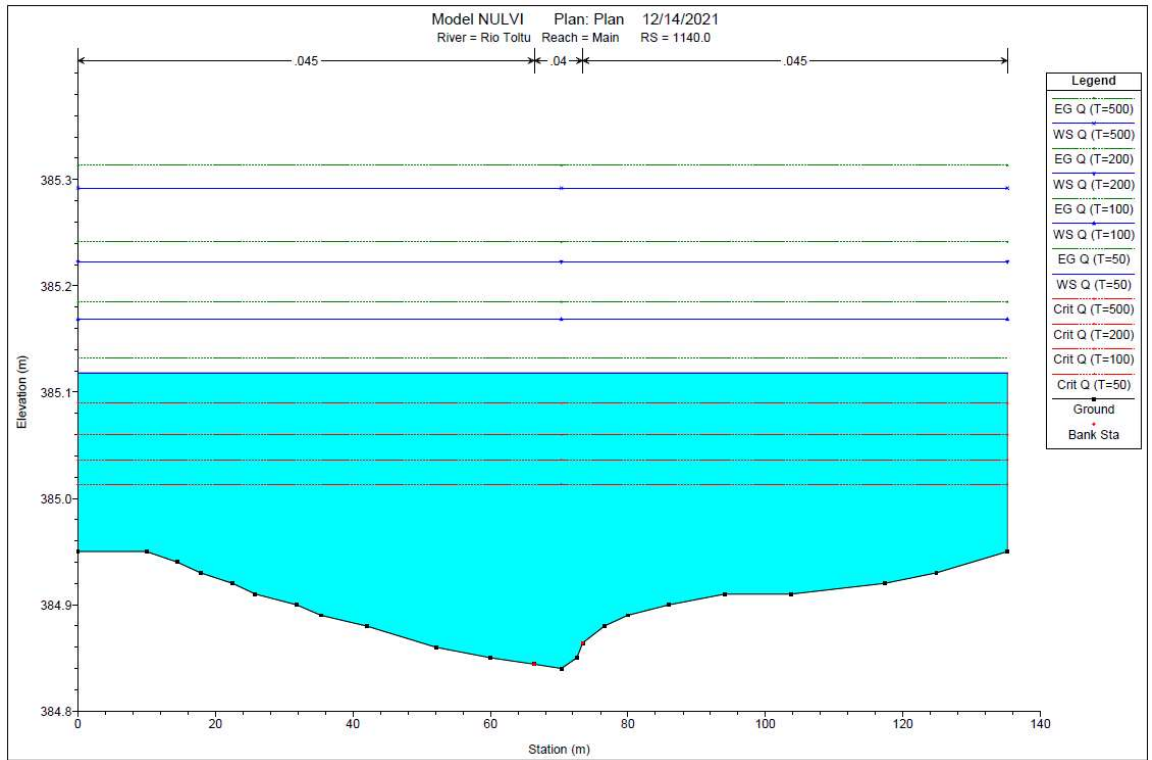


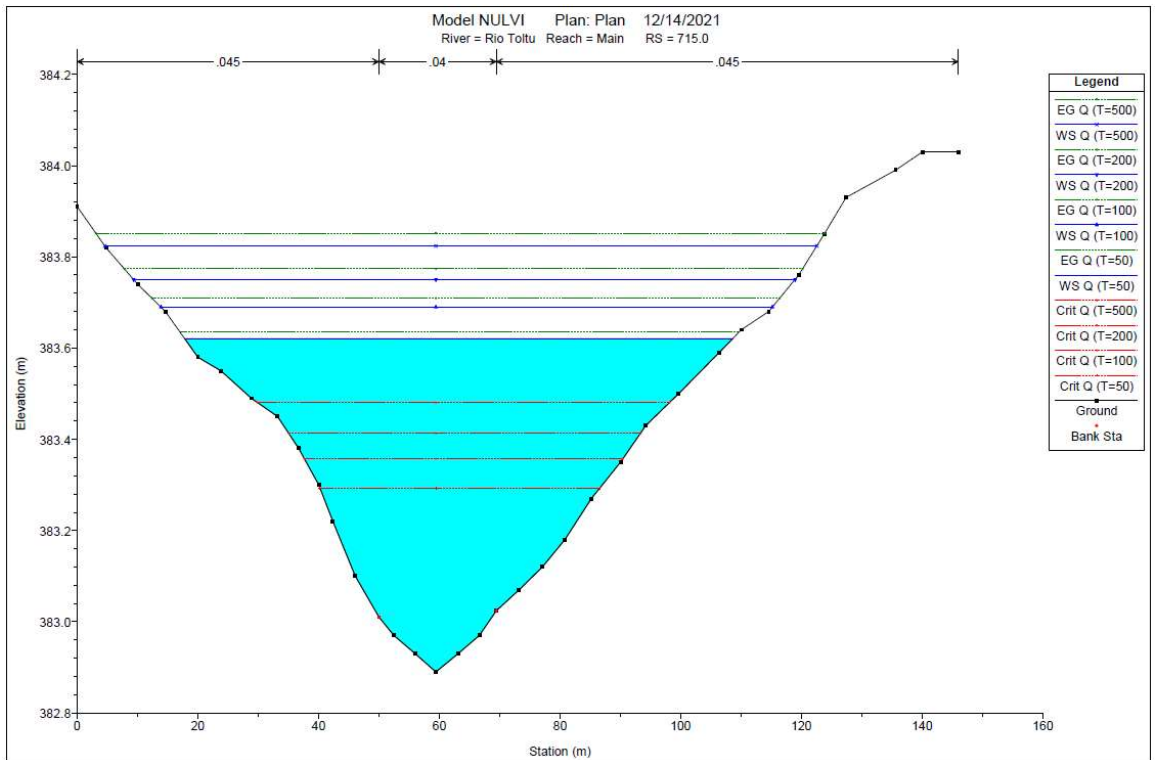
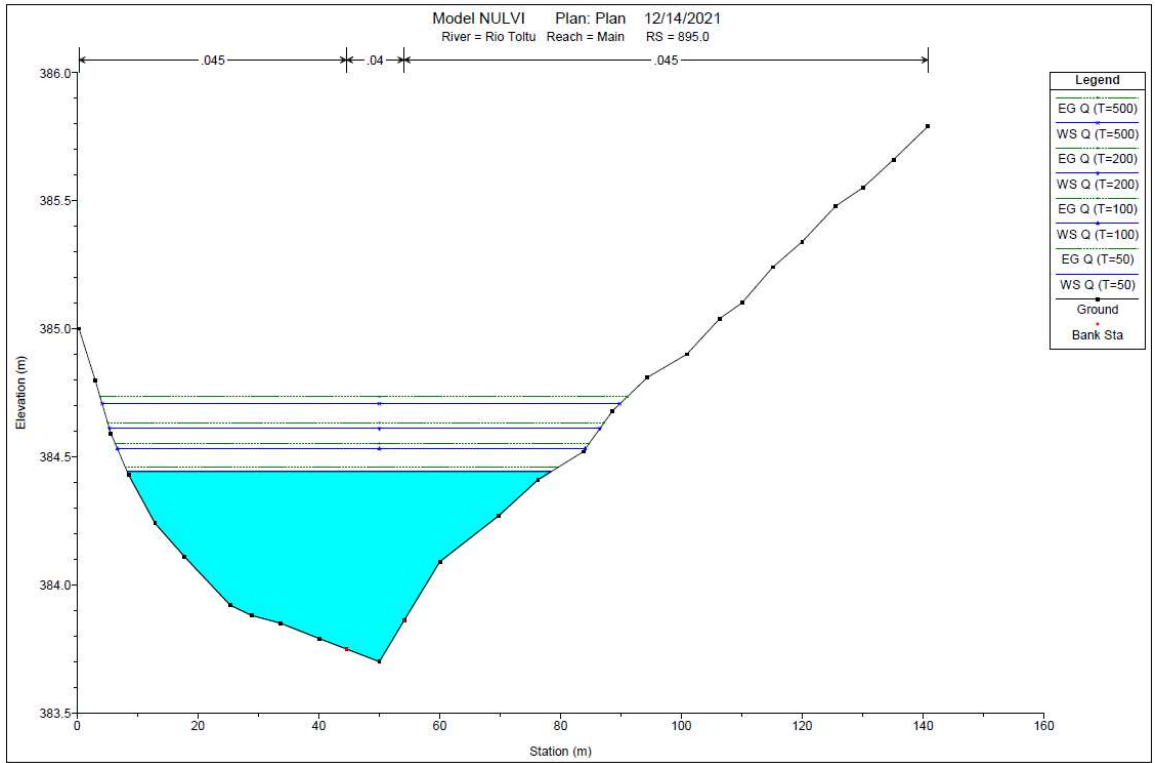


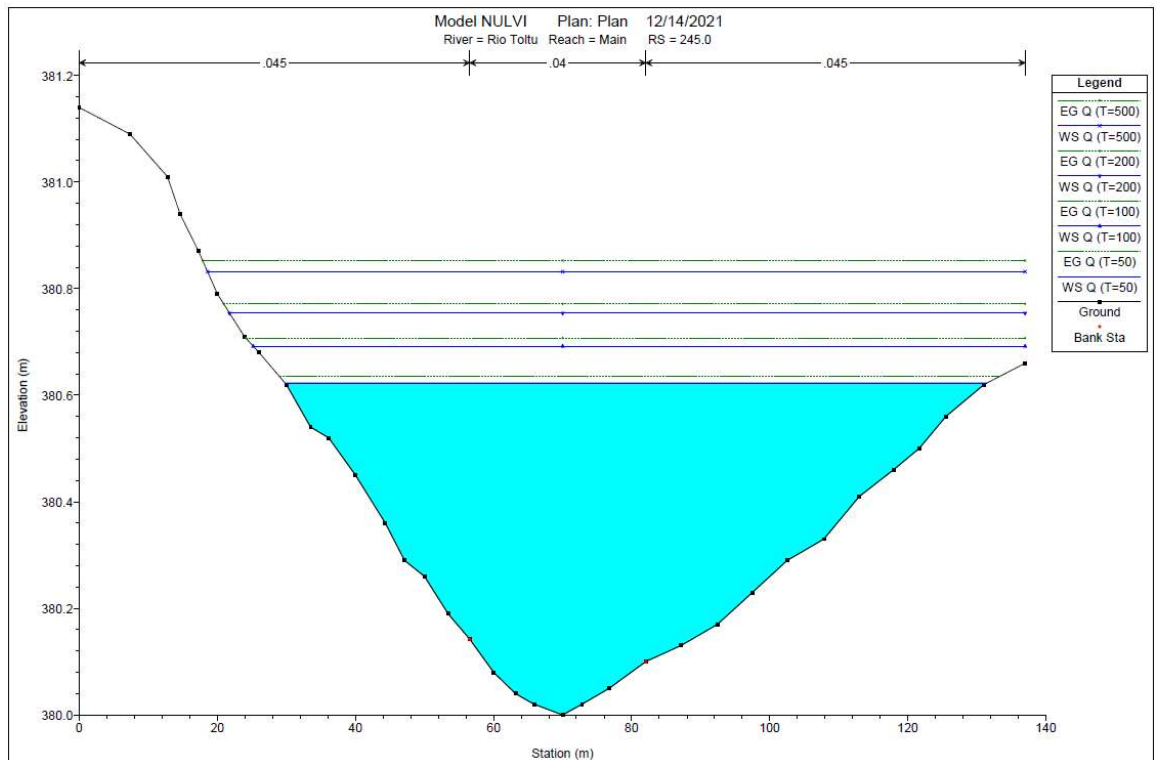
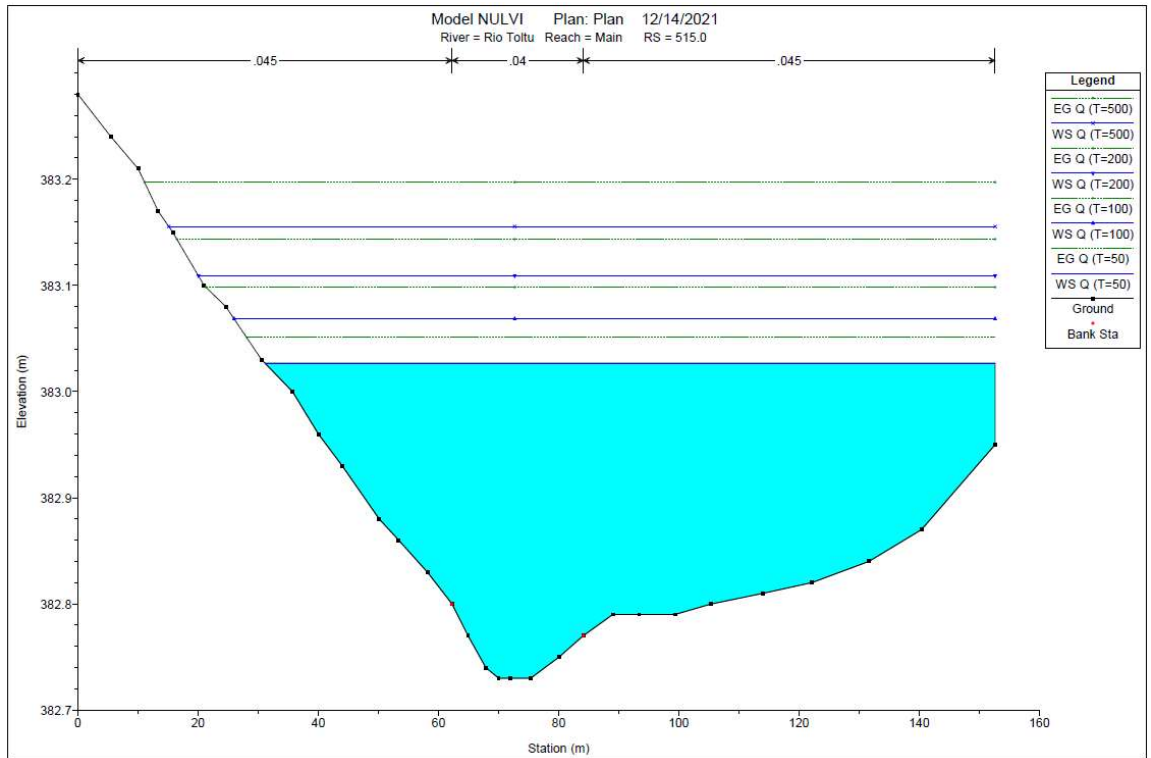


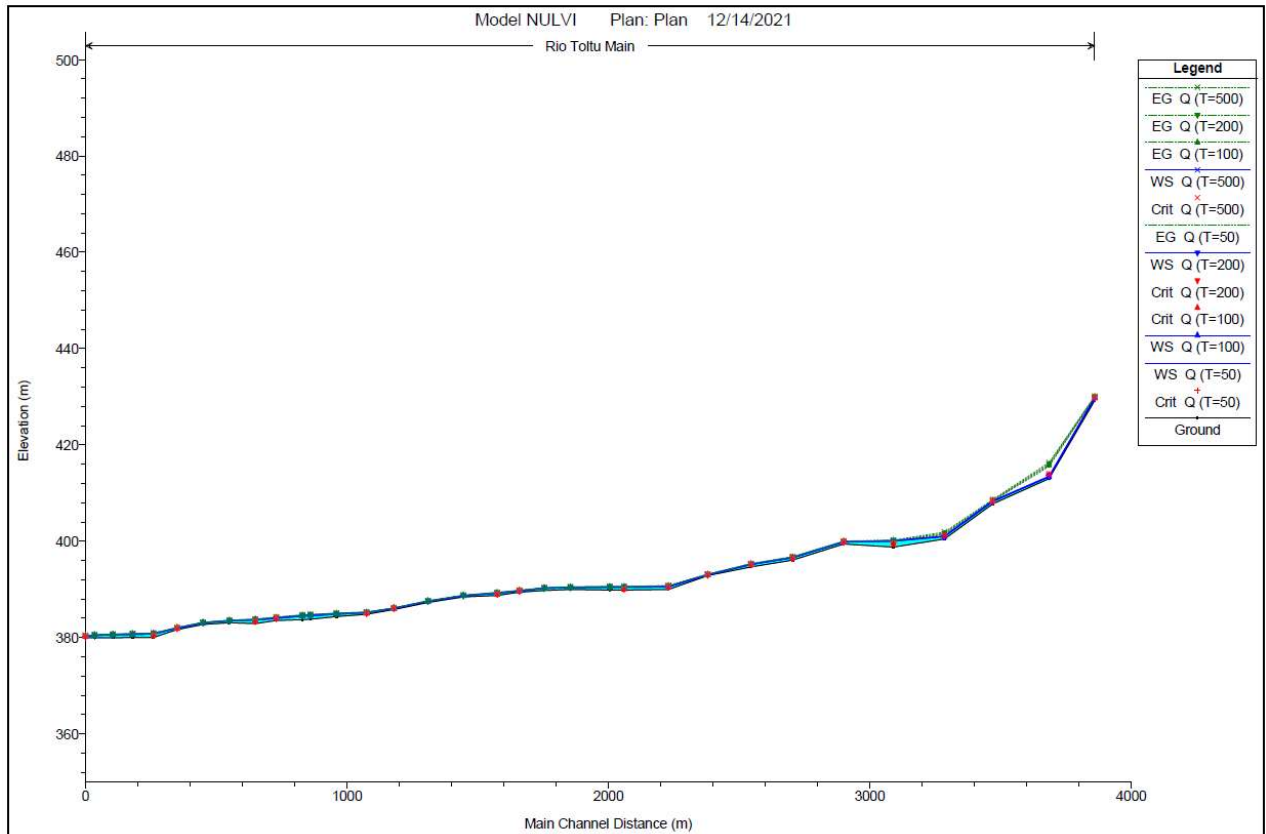
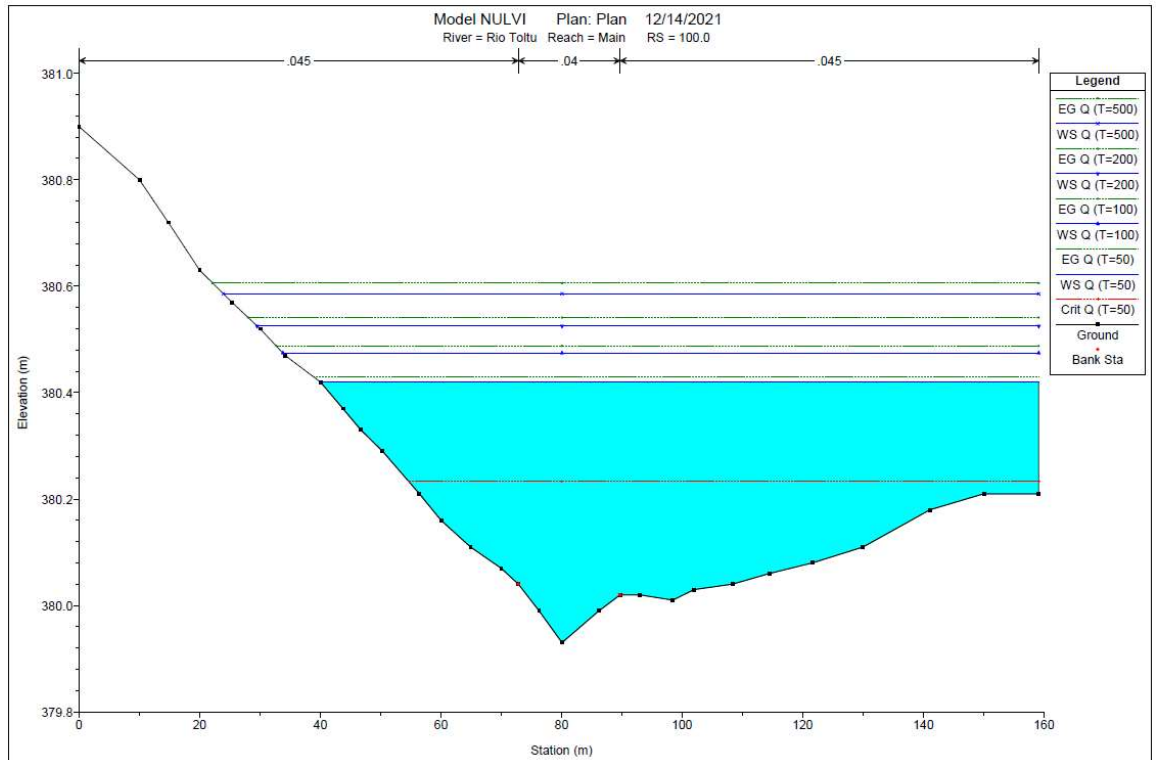












MARTE S.R.L.



Via degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno -Italy
 www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
 tel. (+39) 0805046361
UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

GRE CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.058.01

PAGE

37 di/of 42

HEC-RAS Plan: Plan River: Rio Toltu Reach: Main

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Main	3925.0	Q (T=50)	15.05	429.24	429.68	429.70	429.85	0.030029	1.84	8.19	29.63	1.12
Main	3925.0	Q (T=100)	20.28	429.24	429.74	429.77	429.94	0.030048	1.99	10.17	32.55	1.14
Main	3925.0	Q (T=200)	25.94	429.24	429.80	429.84	430.03	0.030054	2.14	12.14	35.03	1.16
Main	3925.0	Q (T=500)	33.94	429.24	429.87	429.91	430.14	0.030003	2.31	14.69	37.67	1.18
Main	3750.0	Q (T=50)	15.05	412.99	413.36	413.69	415.51	0.623993	6.49	2.32	12.26	4.77
Main	3750.0	Q (T=100)	20.28	412.99	413.41	413.78	415.80	0.573613	6.84	2.97	13.64	4.68
Main	3750.0	Q (T=200)	25.94	412.99	413.46	413.88	416.05	0.534292	7.13	3.64	14.91	4.61
Main	3750.0	Q (T=500)	33.94	412.99	413.52	413.99	416.36	0.494463	7.47	4.54	16.37	4.53
Main	3535.0	Q (T=50)	15.05	407.77	408.24	408.24	408.37	0.024281	1.63	9.26	36.02	1.00
Main	3535.0	Q (T=100)	20.28	407.77	408.30	408.30	408.46	0.021589	1.77	11.70	40.88	0.98
Main	3535.0	Q (T=200)	25.94	407.77	408.37	408.37	408.54	0.019507	1.88	14.40	45.97	0.96
Main	3535.0	Q (T=500)	33.94	407.77	408.45	408.45	408.64	0.017086	1.99	18.43	53.51	0.92
Main	3350.0	Q (T=50)	15.05	400.45	400.96	401.08	401.33	0.067647	2.68	5.61	21.13	1.66
Main	3350.0	Q (T=100)	20.28	400.45	401.00	401.16	401.49	0.080568	3.10	6.54	22.59	1.84
Main	3350.0	Q (T=200)	25.94	400.45	401.04	401.23	401.67	0.094719	3.52	7.37	23.82	2.02
Main	3350.0	Q (T=500)	33.94	400.45	401.07	401.32	401.93	0.118620	4.10	8.28	25.16	2.28
Main	3155.0	Q (T=50)	15.05	398.79	400.00	399.44	400.00	0.000149	0.27	73.32	135.58	0.09
Main	3155.0	Q (T=100)	20.28	398.79	400.07	399.50	400.07	0.000187	0.32	83.45	139.24	0.11
Main	3155.0	Q (T=200)	25.94	398.79	400.14	399.53	400.14	0.000223	0.37	93.06	142.63	0.12
Main	3155.0	Q (T=500)	33.94	398.79	400.22	399.58	400.23	0.000269	0.43	104.99	146.72	0.13
Main	2965.0	Q (T=50)	15.05	399.41	399.81	399.81	399.90	0.018912	1.47	13.65	84.56	0.89
Main	2965.0	Q (T=100)	20.28	399.41	399.85	399.85	399.95	0.019105	1.61	17.11	92.90	0.91
Main	2965.0	Q (T=200)	25.94	399.41	399.89	399.89	400.00	0.018944	1.73	20.71	100.62	0.93
Main	2965.0	Q (T=500)	33.94	399.41	399.93	399.93	400.05	0.018844	1.87	25.47	110.19	0.94
Main	2770.0	Q (T=50)	15.05	396.06	396.56	396.47	396.60	0.006386	1.12	18.27	72.13	0.55
Main	2770.0	Q (T=100)	20.28	396.06	396.61	396.52	396.67	0.006771	1.25	22.26	77.36	0.58
Main	2770.0	Q (T=200)	25.94	396.06	396.66	396.56	396.73	0.006967	1.35	26.39	82.28	0.60
Main	2770.0	Q (T=500)	33.94	396.06	396.73	396.62	396.80	0.007094	1.48	31.93	88.46	0.62
Main	2610.0	Q (T=50)	15.05	394.66	395.14	395.13	395.21	0.012681	1.29	15.67	84.53	0.74
Main	2610.0	Q (T=100)	20.28	394.66	395.19	395.16	395.26	0.011869	1.37	19.69	87.94	0.73
Main	2610.0	Q (T=200)	25.94	394.66	395.23	395.20	395.31	0.011621	1.46	23.47	91.02	0.74
Main	2610.0	Q (T=500)	33.94	394.66	395.29	395.24	395.37	0.011508	1.58	28.29	94.80	0.75

Main	2445.0	Q (T=50)	15.05	392.86	393.01	392.96	393.05	0.013444	0.58	17.43	96.32	0.62
Main	2445.0	Q (T=100)	20.28	392.86	393.04	392.99	393.09	0.014599	0.73	20.58	98.05	0.68
Main	2445.0	Q (T=200)	25.94	392.86	393.07	393.02	393.13	0.015068	0.86	23.87	99.83	0.71
Main	2445.0	Q (T=500)	33.94	392.86	393.11	393.06	393.19	0.015350	1.01	28.21	102.12	0.75
Main	2295.0	Q (T=50)	15.05	390.00	390.49	390.49	390.62	0.019711	1.59	10.25	48.07	0.92
Main	2295.0	Q (T=100)	20.28	390.00	390.56	390.56	390.69	0.017466	1.70	13.53	55.30	0.89
Main	2295.0	Q (T=200)	25.94	390.00	390.61	390.61	390.76	0.016522	1.81	16.72	60.70	0.89
Main	2295.0	Q (T=500)	33.94	390.00	390.68	390.68	390.85	0.015807	1.95	20.93	67.28	0.89
Main	2125.0	Q (T=50)	15.05	389.86	390.42	390.06	390.43	0.000204	0.23	79.90	181.65	0.10
Main	2125.0	Q (T=100)	20.28	389.86	390.49	390.09	390.49	0.000233	0.27	92.21	182.99	0.11
Main	2125.0	Q (T=200)	25.94	389.86	390.55	390.11	390.56	0.000259	0.30	103.98	184.76	0.12
Main	2125.0	Q (T=500)	33.94	389.86	390.63	390.13	390.64	0.000292	0.35	118.42	186.32	0.13
Main	2070.0	Q (T=50)	15.05	389.83	390.41		390.41	0.000305	0.29	70.39	179.63	0.13
Main	2070.0	Q (T=100)	20.28	389.83	390.47		390.48	0.000339	0.33	82.30	183.02	0.13
Main	2070.0	Q (T=200)	25.94	389.83	390.54		390.54	0.000367	0.36	93.83	186.45	0.14
Main	2070.0	Q (T=500)	33.94	389.83	390.61		390.62	0.000402	0.41	108.09	189.40	0.15
Main	1920.0	Q (T=50)	15.05	389.99	390.34		390.34	0.000760	0.34	48.71	143.59	0.18
Main	1920.0	Q (T=100)	20.28	389.99	390.40		390.40	0.000814	0.39	57.08	143.59	0.20
Main	1920.0	Q (T=200)	25.94	389.99	390.45		390.46	0.000867	0.44	64.95	143.59	0.21
Main	1920.0	Q (T=500)	33.94	389.99	390.52		390.53	0.000934	0.50	74.66	143.59	0.22
Main	1820.0	Q (T=50)	15.05	389.77	390.21		390.22	0.002150	0.63	34.22	135.01	0.32
Main	1820.0	Q (T=100)	20.28	389.77	390.26		390.28	0.002218	0.69	41.03	136.99	0.33
Main	1820.0	Q (T=200)	25.94	389.77	390.31		390.33	0.002274	0.75	47.63	138.76	0.34
Main	1820.0	Q (T=500)	33.94	389.77	390.37		390.39	0.002383	0.82	55.64	140.43	0.35
Main	1725.0	Q (T=50)	15.05	389.41	389.64		389.71	0.028497	1.53	13.98	101.94	1.04
Main	1725.0	Q (T=100)	20.28	389.41	389.68		389.76	0.027177	1.63	17.37	107.77	1.04
Main	1725.0	Q (T=200)	25.94	389.41	389.71		389.80	0.026987	1.75	20.53	112.35	1.06
Main	1725.0	Q (T=500)	33.94	389.41	389.75		389.85	0.024941	1.84	25.20	117.39	1.04
Main	1640.0	Q (T=50)	15.05	388.75	389.17		388.96	0.001789	0.54	31.71	104.33	0.29
Main	1640.0	Q (T=100)	20.28	388.75	389.23		389.00	0.001913	0.62	38.10	111.73	0.30
Main	1640.0	Q (T=200)	25.94	388.75	389.29		389.03	0.001997	0.69	44.67	120.15	0.32
Main	1640.0	Q (T=500)	33.94	388.75	389.36		389.08	0.002107	0.77	53.51	135.39	0.33
Main	1510.0	Q (T=50)	15.05	388.43	388.67		388.70	0.012091	1.04	19.68	125.70	0.69
Main	1510.0	Q (T=100)	20.28	388.43	388.70		388.74	0.011846	1.13	24.37	134.43	0.70
Main	1510.0	Q (T=200)	25.94	388.43	388.73		388.78	0.012356	1.24	28.44	140.29	0.73
Main	1510.0	Q (T=500)	33.94	388.43	388.77		388.83	0.012519	1.35	33.95	145.95	0.74

HEC-RAS Plan: Plan River: Rio Toitto Reach: Main (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Main	1375.0	Q (T=50)	15.05	387.26	387.52		387.53	0.006442	0.71	26.09	170.16	0.49
Main	1375.0	Q (T=100)	20.28	387.26	387.55		387.57	0.006603	0.79	31.43	170.16	0.51
Main	1375.0	Q (T=200)	25.94	387.26	387.58		387.61	0.006389	0.85	37.15	170.16	0.52
Main	1375.0	Q (T=500)	33.94	387.26	387.62		387.65	0.006298	0.93	44.18	170.16	0.52
Main	1245.0	Q (T=50)	15.05	385.80	386.05		386.11	0.022511	1.35	16.75	143.34	0.93
Main	1245.0	Q (T=100)	20.28	385.80	386.08		386.14	0.021650	1.44	20.90	150.26	0.93
Main	1245.0	Q (T=200)	25.94	385.80	386.10		386.17	0.023159	1.57	23.98	150.26	0.97
Main	1245.0	Q (T=500)	33.94	385.80	386.13		386.22	0.024040	1.71	28.12	150.26	1.01
Main	1140.0	Q (T=50)	15.05	384.84	385.12		385.13	0.004066	0.67	29.20	135.21	0.41
Main	1140.0	Q (T=100)	20.28	384.84	385.17		385.18	0.003692	0.72	35.99	135.21	0.40
Main	1140.0	Q (T=200)	25.94	384.84	385.22		385.24	0.003254	0.75	43.36	135.21	0.39
Main	1140.0	Q (T=500)	33.94	384.84	385.29		385.31	0.002916	0.79	52.71	135.21	0.38
Main	1025.0	Q (T=50)	15.05	384.35	384.83		384.85	0.001696	0.61	33.88	112.66	0.29
Main	1025.0	Q (T=100)	20.28	384.35	384.91		384.92	0.001551	0.64	42.51	117.21	0.28
Main	1025.0	Q (T=200)	25.94	384.35	384.98		385.00	0.001501	0.69	51.36	128.95	0.28
Main	1025.0	Q (T=500)	33.94	384.35	385.06		385.08	0.001457	0.74	62.61	138.38	0.29
Main	925.0	Q (T=50)	15.05	383.81	384.48		384.55	0.006080	1.39	15.16	48.24	0.57
Main	925.0	Q (T=100)	20.28	383.81	384.57		384.65	0.005844	1.50	19.97	59.16	0.57
Main	925.0	Q (T=200)	25.94	383.81	384.65		384.73	0.005529	1.57	24.99	65.88	0.57
Main	925.0	Q (T=500)	33.94	383.81	384.75		384.83	0.005124	1.63	31.86	73.16	0.56
Main	895.0	Q (T=50)	15.05	383.70	384.44		384.46	0.001395	0.73	29.31	70.16	0.28
Main	895.0	Q (T=100)	20.28	383.70	384.53		384.55	0.001471	0.81	35.89	77.41	0.29
Main	895.0	Q (T=200)	25.94	383.70	384.61		384.63	0.001529	0.89	42.21	81.16	0.30
Main	895.0	Q (T=500)	33.94	383.70	384.71		384.73	0.001600	0.97	50.25	85.68	0.32
Main	795.0	Q (T=50)	15.05	383.53	383.95		384.08	0.026048	1.84	10.05	42.15	1.06
Main	795.0	Q (T=100)	20.28	383.53	384.01		384.16	0.024996	2.01	12.52	45.56	1.07
Main	795.0	Q (T=200)	25.94	383.53	384.07		384.23	0.023420	2.15	15.32	50.17	1.06
Main	795.0	Q (T=500)	33.94	383.53	384.14		384.32	0.021429	2.29	19.19	55.24	1.04

MARTE S.R.L.



Via degli Arredatori, 8 – 70026 Modugno -Italy
www.bfpgroup.net - info@bfpgroup.net
tel. (+39) 0805046361
UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018

GRE CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.16703.00.058.01

PAGE

39 di/of 42

Main	715.0	Q (T=50)	15.05	382.89	383.62	383.29	383.64	0.001209	0.67	32.48	90.80	0.26
Main	715.0	Q (T=100)	20.28	382.89	383.69	383.36	383.71	0.001400	0.77	39.07	101.27	0.28
Main	715.0	Q (T=200)	25.94	382.89	383.75	383.41	383.77	0.001567	0.85	45.46	109.56	0.30
Main	715.0	Q (T=500)	33.94	382.89	383.82	383.48	383.85	0.001734	0.95	53.83	117.93	0.33
Main	615.0	Q (T=50)	15.05	383.06	383.45		383.46	0.002754	0.66	30.50	120.16	0.35
Main	615.0	Q (T=100)	20.28	383.06	383.50		383.51	0.002883	0.74	36.61	125.82	0.37
Main	615.0	Q (T=200)	25.94	383.06	383.54		383.56	0.002956	0.81	42.66	129.56	0.38
Main	615.0	Q (T=500)	33.94	383.06	383.60		383.63	0.003023	0.88	50.37	132.42	0.39
Main	515.0	Q (T=50)	15.05	382.73	383.03		383.05	0.006621	0.87	23.15	121.49	0.52
Main	515.0	Q (T=100)	20.28	382.73	383.07		383.10	0.006525	0.95	28.34	126.64	0.53
Main	515.0	Q (T=200)	25.94	382.73	383.11		383.14	0.006424	1.02	33.60	132.56	0.54
Main	515.0	Q (T=500)	33.94	382.73	383.16		383.20	0.006581	1.11	39.85	137.49	0.56
Main	415.0	Q (T=50)	15.05	381.63	381.92	381.92	381.98	0.020122	1.38	15.84	120.49	0.89
Main	415.0	Q (T=100)	20.28	381.63	381.95	381.95	382.02	0.021045	1.51	19.20	125.13	0.93
Main	415.0	Q (T=200)	25.94	381.63	381.97	381.97	382.06	0.021799	1.64	22.49	129.50	0.96
Main	415.0	Q (T=500)	33.94	381.63	382.01	382.01	382.10	0.021252	1.74	27.29	135.20	0.97
Main	325.0	Q (T=50)	15.05	380.00	380.71	380.42	380.72	0.001052	0.60	36.25	99.85	0.24
Main	325.0	Q (T=100)	20.28	380.00	380.79	380.47	380.80	0.001133	0.67	44.36	110.46	0.25
Main	325.0	Q (T=200)	25.94	380.00	380.86	380.52	380.87	0.001206	0.74	52.19	118.59	0.27
Main	325.0	Q (T=500)	33.94	380.00	380.94	380.57	380.96	0.001258	0.80	62.28	125.01	0.28
Main	245.0	Q (T=50)	15.05	380.00	380.62		380.64	0.001155	0.59	35.13	101.63	0.25
Main	245.0	Q (T=100)	20.28	380.00	380.69		380.71	0.001273	0.66	42.56	111.77	0.26
Main	245.0	Q (T=200)	25.94	380.00	380.75		380.77	0.001337	0.72	49.65	115.22	0.28
Main	245.0	Q (T=500)	33.94	380.00	380.83		380.85	0.001395	0.79	58.74	118.40	0.29
Main	170.0	Q (T=50)	15.05	379.94	380.52		380.54	0.001500	0.62	34.05	114.32	0.28
Main	170.0	Q (T=100)	20.28	379.94	380.59		380.60	0.001565	0.69	41.27	117.67	0.29
Main	170.0	Q (T=200)	25.94	379.94	380.64		380.66	0.001632	0.75	48.11	120.40	0.30
Main	170.0	Q (T=500)	33.94	379.94	380.71		380.74	0.001740	0.83	56.80	126.57	0.31
Main	100.0	Q (T=50)	15.05	379.93	380.42	380.23	380.43	0.001544	0.57	35.97	119.12	0.27
Main	100.0	Q (T=100)	20.28	379.93	380.47		380.49	0.001694	0.64	42.60	125.32	0.29
Main	100.0	Q (T=200)	25.94	379.93	380.53		380.54	0.001813	0.71	49.06	129.59	0.31
Main	100.0	Q (T=500)	33.94	379.93	380.59		380.61	0.001976	0.80	57.10	135.19	0.33
Main	65.0	Q (T=50)	15.05	379.97	380.21	380.21	380.28	0.030023	1.59	13.57	94.49	1.08
Main	65.0	Q (T=100)	20.28	379.97	380.24	380.24	380.33	0.029272	1.71	16.68	99.11	1.09
Main	65.0	Q (T=200)	25.94	379.97	380.27	380.27	380.37	0.029063	1.84	19.64	102.62	1.10
Main	65.0	Q (T=500)	33.94	379.97	380.31	380.31	380.43	0.027070	1.94	24.02	108.47	1.09

6.2. Risoluzione delle interferenze

Il presente studio è finalizzato ad analizzare la compatibilità del progetto con le N.T.A. del P.A.I, in particolare a dimostrare la coerenza dell'intervento progettuale, consistente nella realizzazione del cavidotto interrato che attraversa un'area a pericolosità idraulica elevata (Hi4) e moderata (Hi1), con le finalità del PAI.

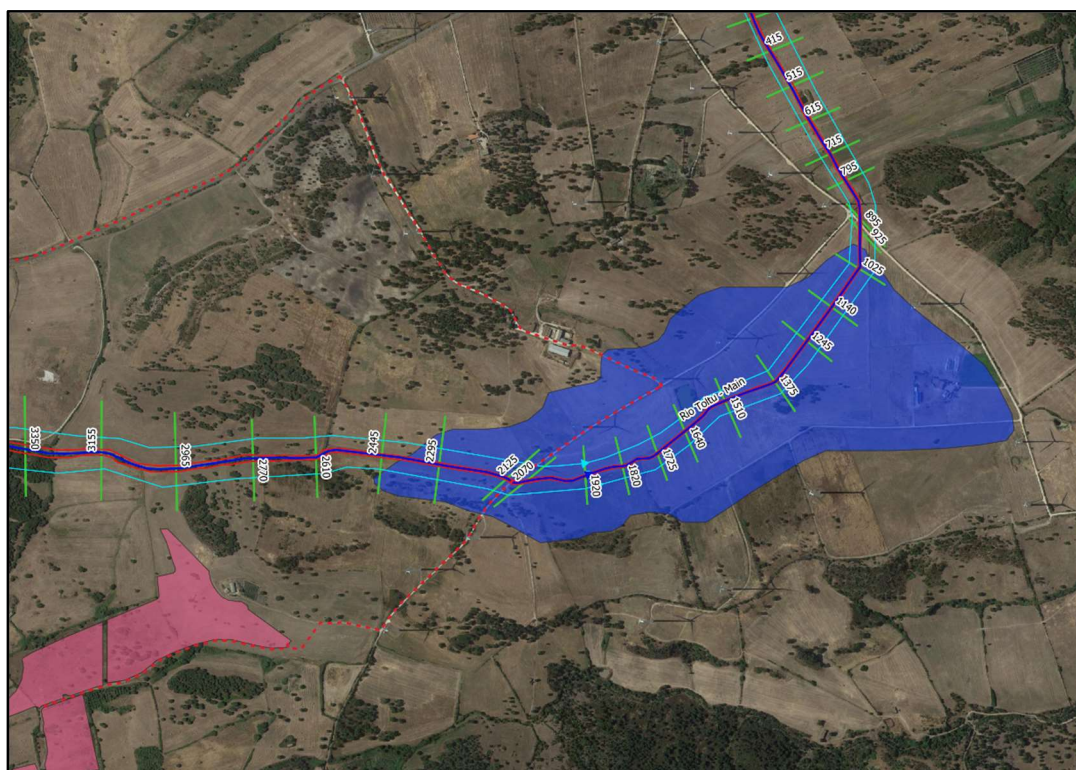


Figura 18: Cavidotto di progetto (in rosso) e area a pericolosità idraulica (in blu)

L'attraversamento trasversale del reticolo idrografico, in corrispondenza del punto di interferenza del cavidotto con il corso d'acqua, sarà realizzato mediante la tecnica della *Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.)*. Si prevede la posa del cavo ad una profondità maggiore di 2.0 m rispetto al fondo alveo, salvo diverse prescrizioni delle Autorità competenti, in modo da non interferire né con il deflusso superficiale né con gli eventuali scorrimenti sotterranei.

Il cavidotto che corre parallelo al reticolo nell'area a pericolosità idraulica, invece, sarà interrato lungo il tracciato della strada esistente o, se esistente, lungo la banchina della stessa.

Nello specifico, la tecnica della T.O.C. consente di posare linee di servizio al di sotto di strade, fiumi e torrenti, con nullo o scarso impatto sulla superficie. In questo caso, la scelta della metodologia T.O.C, oltre che per motivi di minore interferenza sul regime idraulico e, quindi, di minore impatto ambientale, deriva anche dalla impossibilità di eseguire scavi a cielo aperto. Tale tecnica consiste essenzialmente nella posa del cavidotto interrato mediante una trivellazione eseguita da una apposita macchina, la quale permette di controllare l'andamento piano-altimetrico del cavo per mezzo di un radio-controllo.

L'esecuzione della T.O.C. costa essenzialmente di 3 fasi successive di lavoro:

1. *Foro pilota*: si realizza un foro pilota infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste di perforazione teleguidate, in modo da creare un percorso sotterraneo da un punto di partenza ad uno di arrivo. La punta di perforazione viene spinta nel terreno attraverso delle aste cave metalliche, abbastanza elastiche da permettere la realizzazione di curve altimetriche;
2. *Alesatura o allargamento del foro pilota*: realizzato il foro pilota, questo viene allargato tirando, a ritroso, alesatori di dimensioni crescenti fino all'ottenimento del foro della dimensione voluta, montati al posto della punta di perforazione;
3. *Posa della tubazione*: vengono posati in opera i tubi camicia che ospiteranno il cavidotto interrato. Il tubo guaina sarà posato ad una profondità di almeno 2,00 m dal fondo dell'elemento da attraversare e, a monte e a valle dell'attraversamento, ad una distanza maggiore di 5,00 m dal limite dello stesso, potranno essere realizzati due pozzetti d'ispezione, solo se necessario, la cui funzione sarà quella di raccordare il normale cavidotto interrato con il tratto necessario all'attraversamento. All'interno del tubo guaina, che sarà a tenuta stagna, saranno inseriti i cavi di potenza. In prossimità degli attraversamenti potranno essere installate apposite paline segnaletiche indicanti la presenza dell'elettrodotto interrato. Gli eventuali pozzetti di testata dell'attraversamento saranno realizzati in cemento gettato in opera sigillati, completi di chiusini carrabili in ghisa.

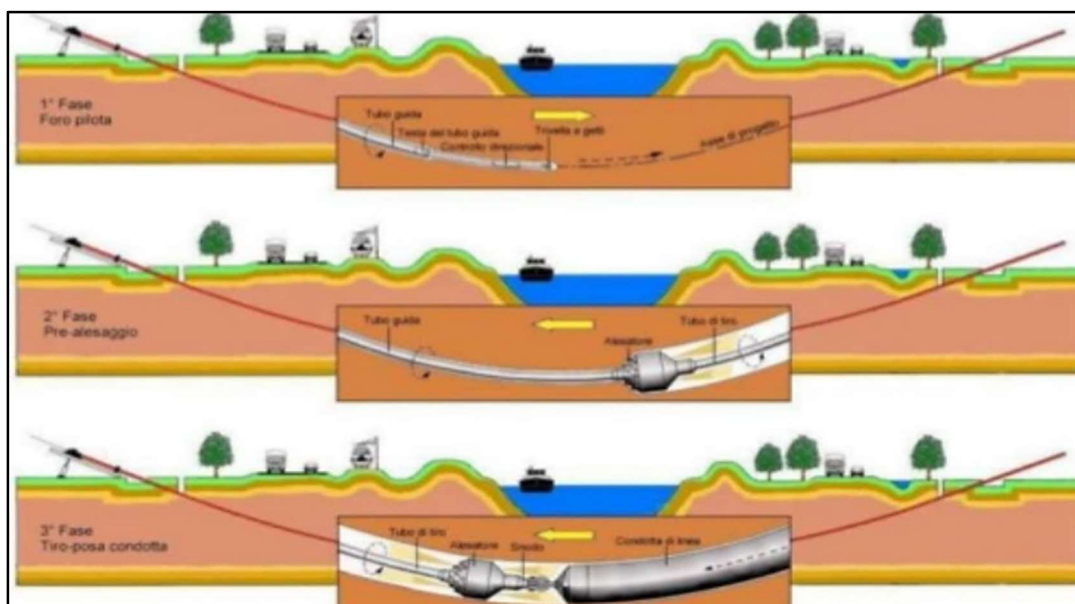


Figura 19: Fasi di realizzazione della T.O.C.

7. CONCLUSIONI

Il presente studio di compatibilità idraulica, redatto ai sensi dell'Allegato E delle N.T.A. del P.A.I. "Criteri per la predisposizione degli studi di compatibilità idraulica di cui all'art. 24 delle norme di attuazione del PAI", comprende l'analisi idrologica finalizzata alla definizione delle portate di piena per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni relative al bacino sotteso dalla sezione di controllo, nonché l'analisi idraulica dell'asta fluviale, che porta alla determinazione dei tiranti idrici nelle varie sezioni di analisi e del profilo idraulico.

Per la stima delle portate di piena è stato utilizzato il metodo indiretto della regionalizzazione VAPI mediante applicazione del metodo del Soil Conservation Service (S.C.S.); la modellazione idraulica è stata svolta in modo monodimensionale e in condizioni di moto permanente, utilizzando il software HEC-RAS River Analysis System per l'unico reticolo d'acqua che determina un'area a pericolosità idraulica Hi4 e Hi1 lungo il tracciato del cavidotto interrato di connessione.

L'attraversamento trasversale del reticolo idrografico, in corrispondenza del punto di interferenza del cavidotto con il corso d'acqua, sarà realizzato mediante la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.), mentre il cavidotto, che corre parallelo al reticolo nell'area a pericolosità idraulica, sarà interrato lungo il tracciato della strada esistente o, se esistente, lungo la banchina della stessa.

L'area buffer dei 10 m degli elementi Strahler n.1, all'interno dell'area di impianto, è stata considerata come zona di esclusione per l'installazione dei moduli fotovoltaici.

Nella condizione dello stato di progetto, l'intervento in esame, rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente, risulta compatibile con le finalità e prescrizioni delle NTA del PAI.