

## RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C1012310

**Cliente** Enel Produzione S.p.A.

**Oggetto** Progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la Centrale Termoelettrica "Federico II" di Brindisi Sud  
Studio di compatibilità idrologico-idraulica

**Ordine** A.Q. 8400134283 - Att. n. 3500108646  
A.Q. 8400134283 – Att. n. 3500205673

**Note** WBS A1300002678 – Lettera di trasmissione C1012335

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 45 **N. pagine fuori testo** -

**Data** 05/07/2021

**Elaborato** STC - Zuccalà David, STC - Gatti Daria  
C1012310 3770 AUT C1012310 3820 AUT

**Verificato** ENC - Pertot Cesare, STC - Riva Efrem  
C1012310 3840 VER C1012310 2604800 VER

**Approvato** ENC - Il Responsabile - Mozzi Riccardo  
C1012310 2809622 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54  
I-20134 Milano - Italy  
Tel: +39 02 21251  
Fax: +39 02 21255440  
e-mail: info@cesi.it  
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato  
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150  
P.I. IT00793580150  
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2021 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/45

## ***Indice***

<b>1</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA.....</b>	<b>4</b>
3.1	Obiettivi del modello .....	4
3.2	Descrizione idraulica dell'area d'intervento .....	4
3.3	Dati topografici disponibili .....	6
3.4	Condizioni al contorno e singolarità del modello.....	16
3.5	Analisi della scabrezza dell'alveo .....	19
3.6	Portate di verifica .....	20
3.7	Risultati della modellazione .....	20
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>25</b>
	<b>APPENDICE 1: RILIEVI 2021 E NUOVE SEZIONI INSERITE NEL MODELLO NUMERICO .....</b>	<b>27</b>
	<b>APPENDICE 2: PROFILI DI MOTO PERMANENTE .....</b>	<b>35</b>
	<b>APPENDICE 3: LIVELLI IDRICI NELLE SEZIONI, LINEA DELL'ENERGIA E CORRENTE CRITICA.....</b>	<b>37</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	12/08/2020	C0012465	
01	05/07/2021	C1012310	Cap.1, Cap.2, Cap.3 in [7] omissio, §3.1, §3.2, §3.3, §3.5, §3.7, Cap.4, Appendici

## 1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] *Studio di Impatto Ambientale, Centrale termoelettrica "Federico II" di Brindisi Sud, Progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas*, Protocollo Cesi B9014361.
- [2] *Piano di Bacino, Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI), Relazione di Piano*, Autorità di Bacino della Puglia, anno 2004.
- [3] Documento ENEL con Sezioni Siedi, Fonte Consorzio Arneo.
- [4] *La sistemazione dei bacini idrografici*, Vito Ferro, ed. McGraw-Hill 2006.
- [5] *Hydraulic Design of Highway Hulvet*, FHWA, 1985.
- [6] HecRas 5.0.7, USACE (US Army Corps of Engineers):  
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- [7] *Progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la Centrale Termoelettrica "Federico II" di Brindisi Sud. Studio di compatibilità idrologico-idraulica*, Protocollo Cesi C0012465 agosto 2020.
- [8] Molinaro P. et al.: *Metodi per la stima del coefficiente di Manning relativo a corsi d'acqua naturali*, Relazione ENEL/DSR/CRIS n. 3526 luglio 1987.
- [9] Chow V.T.: *Open channel hydraulics*, Mc Graw-Hill Book Co., New York, N.Y. (1959).
- [10] Barnes H. H. Jr. *Roughness Characteristics of Natural Channels*, U.S. Geological Survey, Washington (1967).

## 2 PREMESSA

Nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale (ai sensi dell'art. 23 del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.) del Progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la Centrale Termoelettrica "Federico II" di Brindisi Sud, l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'appennino Meridionale, ha richiesto con comunicazione N. 11921/2020 del 23/06/2020, di fornire uno studio integrativo e della documentazione di chiarimento.

In particolare, l'Autorità di Bacino Distrettuale richiede la presentazione di uno "Studio di compatibilità idrologica e idraulica che esamini gli effetti al suolo prodotti dalla propagazione della piena bicentenaria, valutando in particolare l'impronta delle aree allagabili ed individuando le misure e gli accorgimenti tecnici atti ad assicurare la sicurezza delle persone nonché la funzionalità nel tempo delle opere in progetto".

Enel Produzione S.p.A. ha quindi fornito nell'agosto 2020 gli studi di compatibilità idrologica e idraulica (ENEL-PRO-13/08/2020-0012257) in risposta alla comunicazione succitata, che è stata approvata successivamente dall'Autorità, con documento Protocollo Partenza N. 17237/2020 del 14-09-2020; in aggiunta, in tale parere sono state riportate le conclusioni dello studio "siano confermate, in fase di progettazione esecutiva, da più approfondite verifiche di tipo analitico che consentano di superare le approssimazioni (ancorché cautelative) contenute nelle simulazioni rese disponibili anche attraverso l'utilizzo di sezioni dei corsi d'acqua rilevate direttamente in sito; a tale scopo, si segnala la necessità di

prevedere (in coordinamento con l'Ente preposto) adeguate operazioni di pulizia/manutenzione dei corsi d'acqua interessati; (...)".

Pertanto, per quanto sopra, a seguito di un rilievo di sezioni d'alveo del Canale Siedi del maggio 2021, promosso da Enel, il presente documento descrive una revisione del precedente studio [7] che è stato aggiornato superando le incertezze geometriche legate alla ricostruzione da cartografia di sezioni in precedenza non accessibili.

Per quanto concerne l'analisi idrologica, resta valida quella presentata nel Cap.3 in [7], cui si rimanda e che è stata omessa in questo rapporto.

### 3 MODELLAZIONE IDRAULICA

#### 3.1 Obiettivi del modello

Il modello sviluppato si pone i seguenti obiettivi:

- individuare le potenziali aree di esondazione nei pressi della Centrale Enel di Brindisi, per portate 200-ennali valutando le interazioni delle opere con la rete idraulica sia in riferimento allo stato attuale che a quello di progetto;
- redigere un quadro conoscitivo delle aree di potenziale esondazione nei pressi della foce del Canale Siedi, in quanto non sono attualmente disponibili studi idrologici ed idraulici su quest'area di studio.

Le aree di esondazione perimetrate sono state tracciate sulla più recente CTR Regione Puglia a scala 1:5000, disponibile sul Geoportale istituzionale [<http://www.sit.puglia.it/>], nelle due condizioni di stato di fatto e configurazione progettuale, sovrapponendo in ciascun caso i rispettivi layout di centrale.

In considerazione del fatto che il progetto proposto non prevede modifiche all'attuale alveo del Canale della Giumenta, né interventi sul Canale Siedi, la modellazione è stata eseguita considerando le caratteristiche dell'alveo allo stato di fatto attuale e i livelli ottenuti sono da considerarsi validi al fine di valutare la compatibilità idraulica delle opere previste.

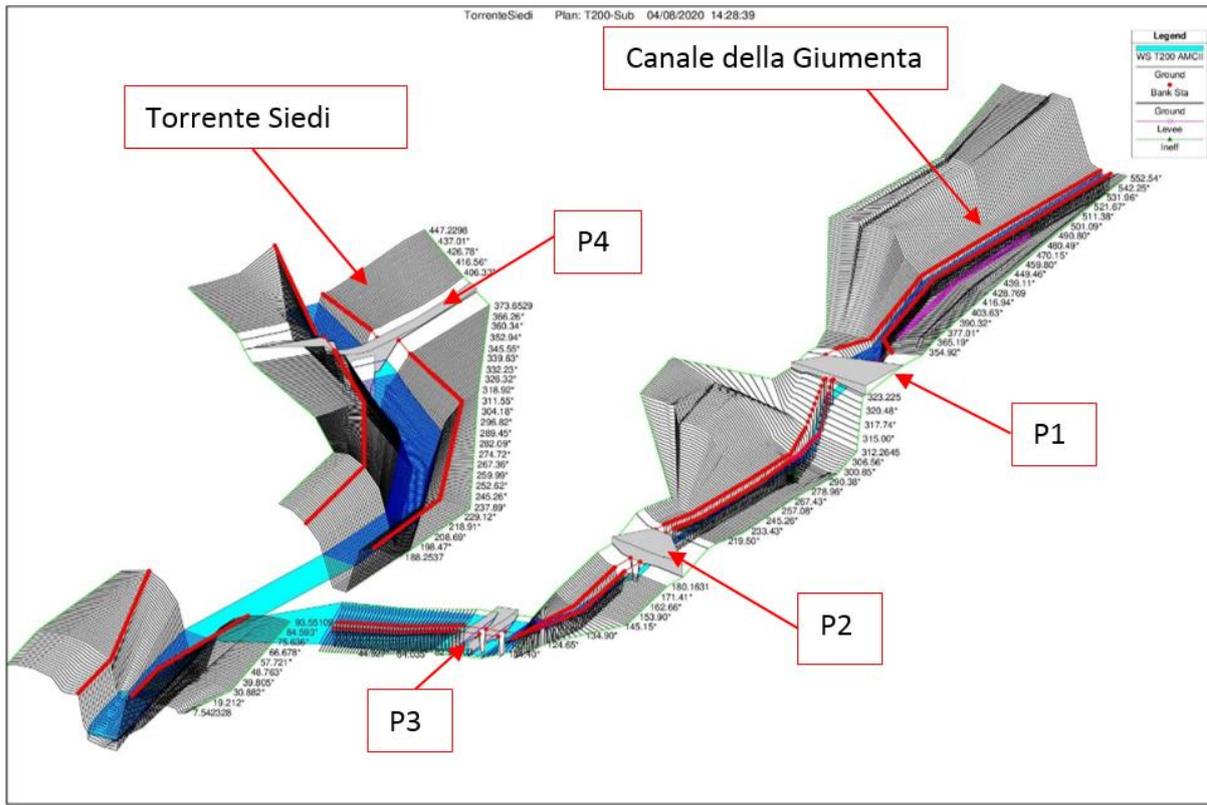
Si sottolinea che lo studio in oggetto, redatto sulla base delle informazioni attualmente disponibili, e dei più recenti rilievi forniti, sostituisce il precedente [7], superandone il carattere preliminare.

#### 3.2 Descrizione idraulica dell'area d'intervento

Entrambi i corsi d'acqua Siedi e Giumenta hanno subito interventi antropici il cui obiettivo è stato quello di regolarizzarne il deflusso o, come nel caso del Canale della Giumenta, indirizzare le portate verso aree esterne al sedime di Centrale.

Al fine di modellare in maniera conservativa le interazioni tra i due corsi d'acqua, si ipotizza che in questi ultimi confluiscono simultaneamente le portate di picco e che le stesse si sommino a valle della confluenza. Inoltre, seppur di scarsa rilevanza nel caso specifico, si è ipotizzato in via cautelativa che il livello di marea sia il più alto della serie storica disponibile alla stazione mareografica più vicina che risulta essere posizionata a Bari.

La **Figura 1** presenta la geometria 3D del modello sviluppato, del quale nel seguito si presenteranno le ipotesi di calcolo, i risultati modellistici e le considerazioni conclusive.



**Figura 1: Vista 3D del modello sviluppato con indicazione dei corsi d'acqua e degli attraversamenti**

Le verifiche idrauliche sono state effettuate mediante l'ausilio del software HEC-RAS vers. 5.0.7, elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers [6] che consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali e così via

Detto codice, che è oggi ampiamente utilizzato in campo nazionale ed internazionale nello studio dei problemi di idraulica fluviale, a partire dalla conoscenza della geometria dell'alveo, dei valori di scabrezza e della portata di riferimento, restituisce il profilo di corrente monodimensionale, corrispondente al passaggio della portata di riferimento.

Il codice di calcolo in questione è basato sostanzialmente sull'integrazione, in termini finiti, dell'equazione dell'energia di una corrente:

$$\frac{\Delta E}{\Delta S} = i - j$$

dove:

- $E$  = variazione dell'energia della corrente tra due sezioni di calcolo;
- $S$  = distanza tra le due sezioni di calcolo;
- $i$  = pendenza del fondo alveo;
- $j$  = cadente della linea dell'energia.

In particolare, HEC-RAS utilizza lo "standard step method" per integrare la precedente equazione discretizzata nella forma seguente:

$$Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H$$

dove:

- $Z_2$  (m) = quota assoluta del pelo libero nella sezione 2 (incognita);
- $\alpha_2$  = coefficiente di velocità alla sezione 2 (incognito);
- $V_2$  (m/s) = velocità media nella sezione 2 (incognita);
- $g$  (m/s<sup>2</sup>) = accelerazione di gravità;
- $H$  (m) = perdita di carico tra le sezioni 1 e 2;
- le grandezze con pedice 1 hanno analogo significato, ma con riferimento alla sezione 1 e sono tutte quantità note.

Per brevità espositiva nel presente elaborato non si riportano altre formule e/o equazioni alle differenze finite utilizzate dal programma di calcolo per risolvere in via iterativa le incognite idrauliche, rimandando per maggiori informazioni al manuale di riferimento del software stesso e alla letteratura specialistica.

Il modello sviluppato risulta essere abbastanza complesso in quanto considera, oltre alla confluenza dei due corsi d'acqua, la presenza in alveo di 4 attraversamenti stradali, contraddistinti nella precedente figura con la lettera P.

In particolare, gli scatolari P1 e P2 sono realizzati sul canale della Giumenta e permettono alla viabilità locale l'accesso alla Centrale ENEL.

L'attraversamento P3, anch'esso sul Canale della Giumenta, sovrappassa il corso d'acqua immediatamente a valle di un'ansa verso destra a circa 100 m dall'immissione nel Canale Siedi.

L'attraversamento P4 è un piccolo scatolare, anch'esso in cemento armato ma funzionale solo alla viabilità secondaria.

Poco a monte della confluenza tra il Canale della Giumenta e il Canale Siedi la CTR riporta un attraversamento del Canale stesso dismesso o comunque in stato di abbandono.

Tale manufatto, le cui dimensioni appaiono trascurabili, non è stato inserito nel modello in quanto posizionato in un'area inaccessibile a causa della fitta vegetazione; non risulta visibile neppure nelle foto aeree del recente rilievo 2021.

Considerate le ipotesi modellistiche adottate, si ritiene che la sua esclusione non si ripercuota sulla delimitazione delle aree inondabili nei pressi della Centrale Enel.

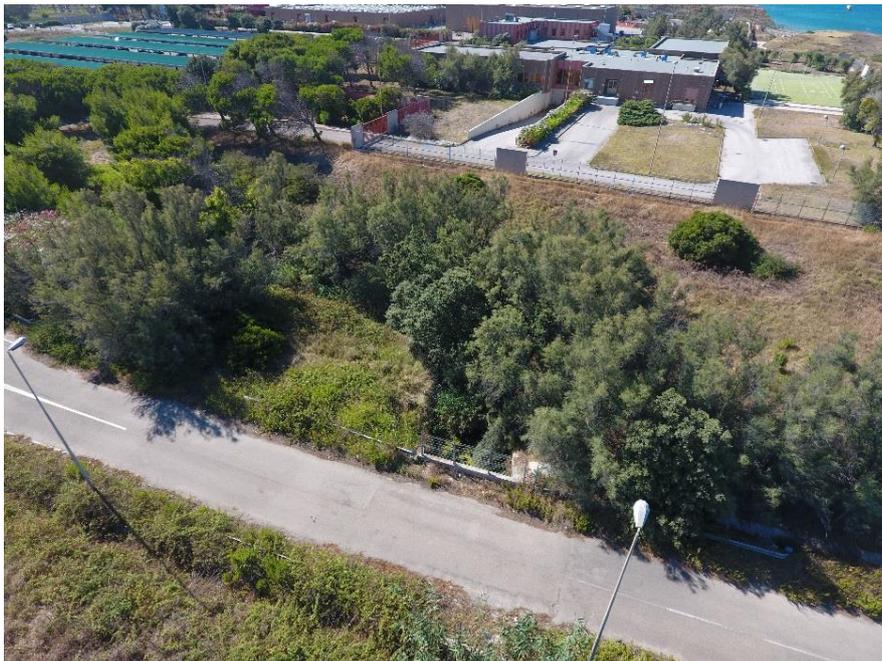
### 3.3 Dati topografici disponibili

Nel mese di luglio 2020 Enel ha provveduto a far rilevare l'alveo e le aree golenali del Canale Siedi e del Canale della Giumenta al fine di realizzare la prima modellazione [7].

Tuttavia, la presenza di fitta vegetazione riparia ha reso impossibile effettuare un completo rilievo topografico dell'area, in quanto la parte terminale di entrambi i corsi d'acqua è risultata inaccessibile, come si può osservare dalle seguenti fotografie.



**Figura 2: Canale Siedi, vista da monte verso la foce (foto 2020)**



**Figura 3: Canale della Giumenta a monte dell'attraversamento P3 (foto 2020)**



Figura 4: Canale della Giumenta, vista verso valle dall'attrav. P3 all'immissione nel Siedi (foto 2020)

Nel maggio 2021 Enel ha poi provveduto a far realizzare un ulteriore rilievo al fine di integrare l'esistente per ottenere una base geometrica più completa ed aggiornata per la modellazione in oggetto.

A tal fine ENEL ha fornito n° 8 sezioni topografiche rilevate, da intendersi sostitutive delle precedenti.

Nel dettaglio:

- la Sez. 22 sostituisce la sezione 13;
- la Sez. 23 sostituisce la sezione 15;
- la Sez. 24 sostituisce la sezione Ric7;
- la Sez. 25 sostituisce la sezione Ric8;
- la Sez. 26 sostituisce la sezione Ric9;
- la Sez. 27 sostituisce la sezione Ric6;
- la Sez. 28 sostituisce la sezione Ric5;
- la Sez. 29 sostituisce la sezione Ric4.

Si osserva che, in alcuni casi, questi rilievi coprono solo una parte dell'alveo e per tal motivo, ove necessario, sono stati integrati, in sponda destra e sinistra, con le precedenti sezioni desunte dalle fonti topografiche disponibili.

L'**Appendice 1** riporta i profili delle sezioni trasversali rilevate e le sezioni integrate con gli altri dati disponibili, così come inseriti nel modello HEC-RAS.

Il nuovo modello geometrico degli alvei e delle sponde, costruito sulla base dei rilievi citati (2020 e 2021) e dei dati presenti in [7], costituisce il punto di partenza della modellazione idrodinamica e resta inalterato nella configurazione allo stato di fatto e in quella di progetto.

Queste ultime si differenziano per il diverso layout di centrale sul lato sinistro del canale della Giumenta. Nelle figure seguenti si presenta lo stato di fatto dei luoghi, così come rilevato da Enel nel maggio 2021.



**Figura 5: Canale Siedi allo sbocco in mare (foto 2021)**



**Figura 6: Canale Siedi poco prima dello sbocco in mare (foto 2021)**



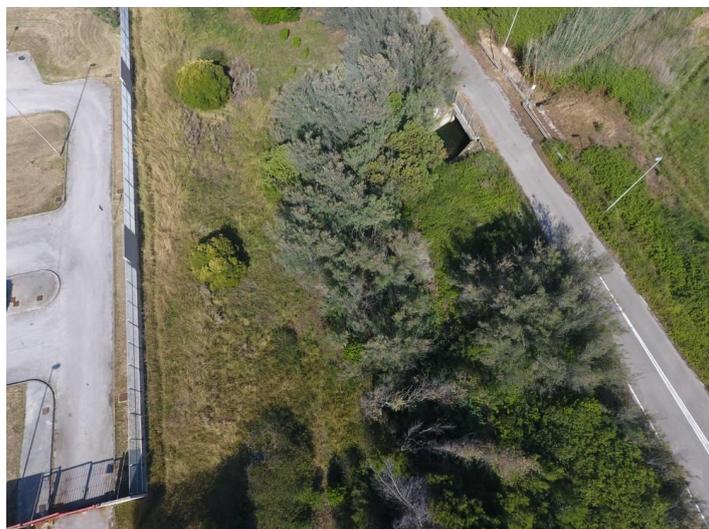
**Figura 7: Canale Siedi alla curva prima dello sbocco in mare (foto 2021)**



**Figura 8: Canale della Giumenta e la tombinatura P1 (foto 2021)**



**Figura 9: Canale della Giumenta dopo la ripulitura e la tombinatura P2 (foto 2021)**



**Figura 10: Canale della Giumenta dopo la ripulitura e la tombinatura P3 (foto 2021)**



**Figura 11: Canale della Giumenta (foto 2021)**



**Figura 12: Canale Siedi (foto 2021)**



**Figura 13: Canale Siedi e la tombinatura P4 (foto 2021)**



**Figura 14: Area coperta dai rilievi 2020 e 2021**

Le seguenti **Figura 15** e **Figura 16** mostrano le tracce planimetriche delle sezioni utilizzate; la successiva **Tabella 1** ne riporta l'elenco completo con alcune indicazioni circa le deduzioni e le modifiche introdotte.

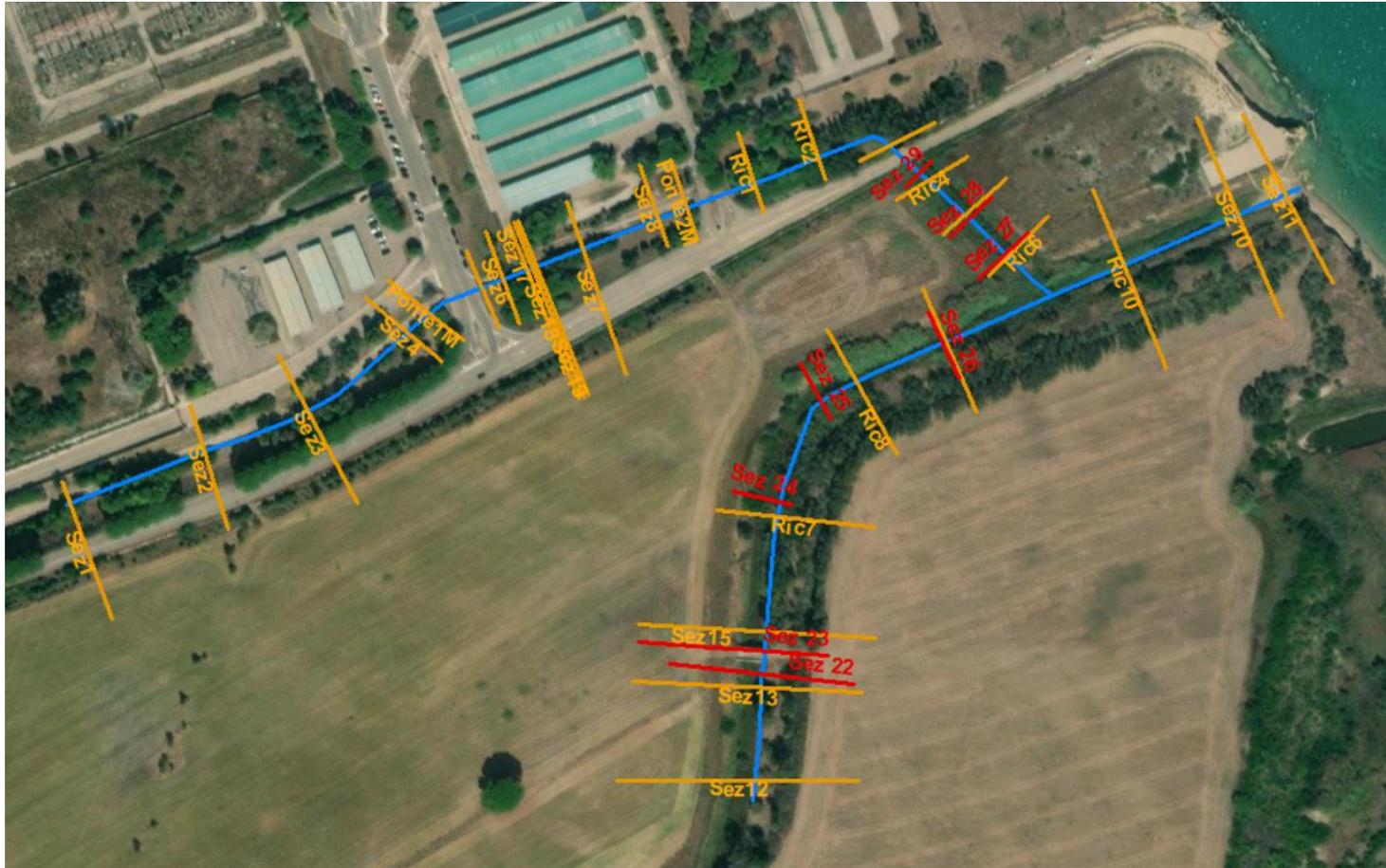


Figura 15: Confronto planimetrico le sezioni del modello 2020 e gli aggiornamenti introdotti dal nuovo rilievo

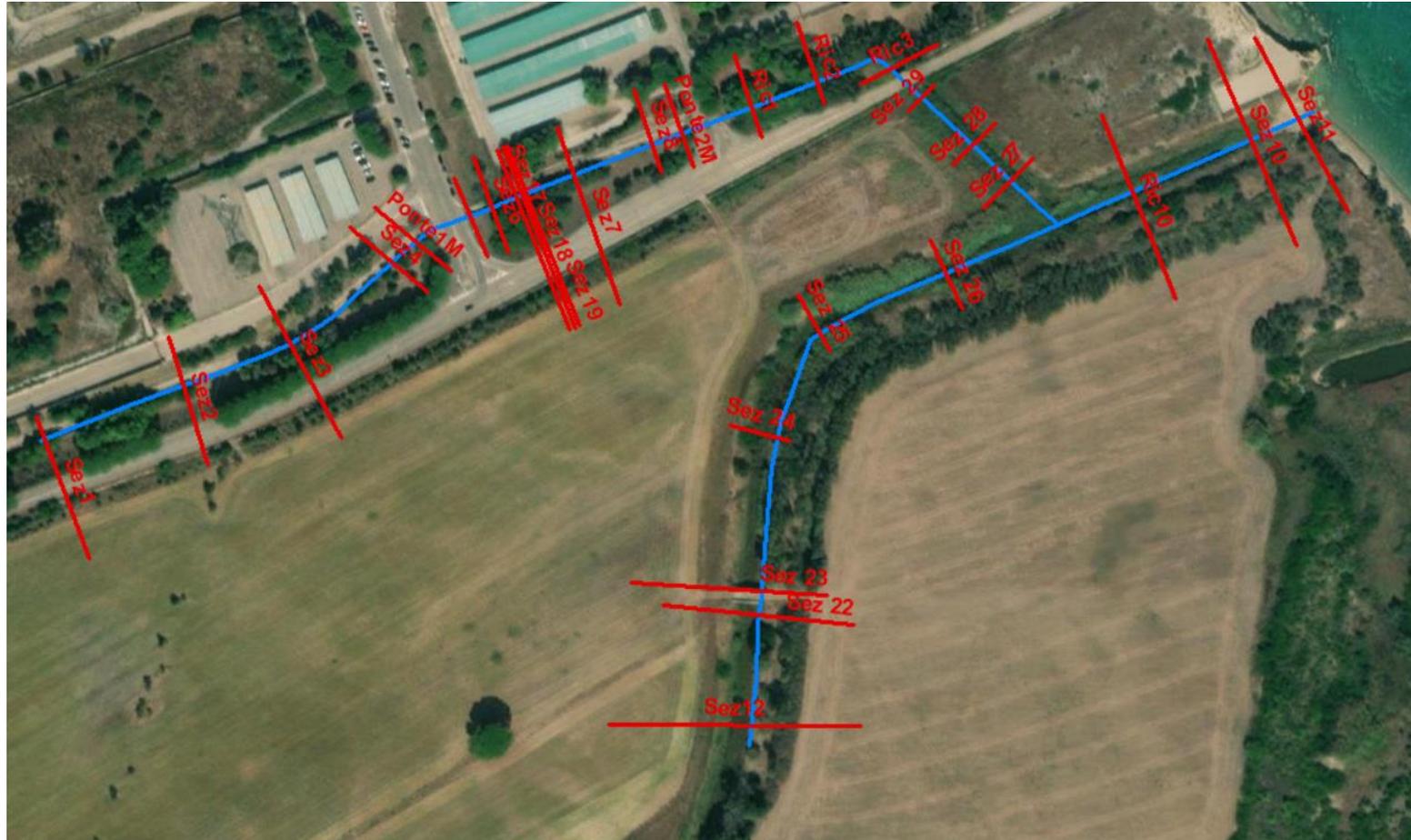


Figura 16: Traccia delle sezioni utilizzate nel modello HEC-RAS aggiornato

Canale	Sezione	Rilievo disponibile	Sezione di origine	Ipotesi
Giumenta	Ponte1M	si		sezione aggiuntiva rispetto al rilievo topografico ma desunta dalla stesso
P1	Sez5	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	Ponte1V	si		sezione aggiuntiva rispetto al rilievo topografico ma desunta dalla stesso
P2	Sez9	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	RIC1	no	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
Giumenta	RIC2	no	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
Giumenta	RIC3	no quota fondo alveo	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
P3	Sez16	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	Sez29	si		
Giumenta	Sez28	si		
Giumenta	Sez27	si		
Siedi Monte	Sez12	si		
Siedi Monte	Sez22			
Siedi Monte	P4	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Siedi Monte	Sez23	si		
Siedi Monte	Sez24	si		
Siedi Monte	Sez25	si		
Siedi Monte	Sez26	si		
Siedi Valle	RIC10	no	DTM Puglia 8m	quota di fondo ottenuta da pendenza media tra S15 e S11, $i=0.001$
Siedi Valle	Sez10	si ma senza alveo		sezione modificata inserendo canale sistemato Sez96 (Fonte ENEL), quota fondo rilevata in Sez10

**Tabella 1: Sezioni utilizzate nel modello geometrico**

Al fine di rendere la modellazione la più realistica possibile le sezioni sono state interpolate con passo massimo 1.5 m, si veda la seguente **Figura 17**.



**Figura 17: Vista planimetrica delle sezioni, comprese quelle interpolate, utilizzate nel modello idraulico**

### 3.4 Condizioni al contorno e singolarità del modello

Il modello presenta quattro singolarità interne che corrispondono gli attraversamenti ovvero P1, P2, P3 e P4.

Ogni ponte è stato modellato come un "culvert" (tombino/sifone) la cui lunghezza è identica alla larghezza della strada che lo ospita.

Poiché il programma HEC-RAS implementa i tratti tombati con formule di natura, è stato necessario associare a tali opere standardizzate il caso concreto.

Per tal motivo si è ipotizzato che P1, P2 e P3 fossero schematizzabili con muro d'ala con inclinazione compresa tra 30° e 75° con scabrezza del calcestruzzo di Strickler pari a 70 m<sup>1/3</sup>/s (equivalente ad un coefficiente di Manning di 0.014 s/m<sup>1/3</sup>). Dalle immagini si può evincere lo stato attuale e i dati di input del modello.

Analogamente, l'attraversamento P4 è stato modellato con lo stesso oggetto ma imponendo l'apertura dei muri d'ala parallela alla direzione della corrente.



Figura 18: Modello con muri d'ala raccordati, attraversamento P1 e attraversamento P2

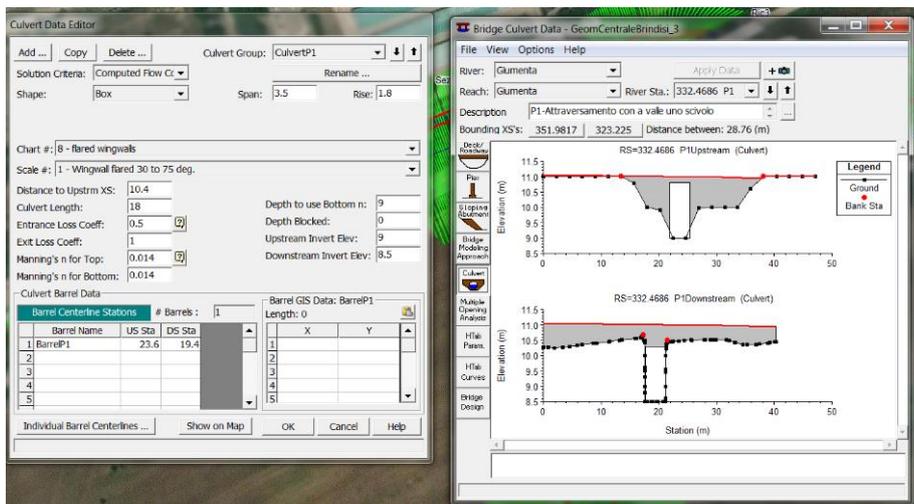


Figura 19: Culvert P1

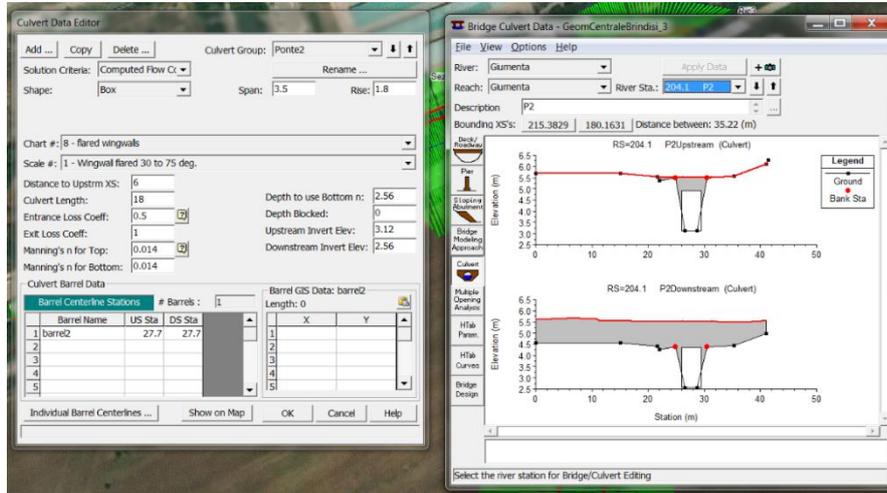


Figura 20: Culvert P2

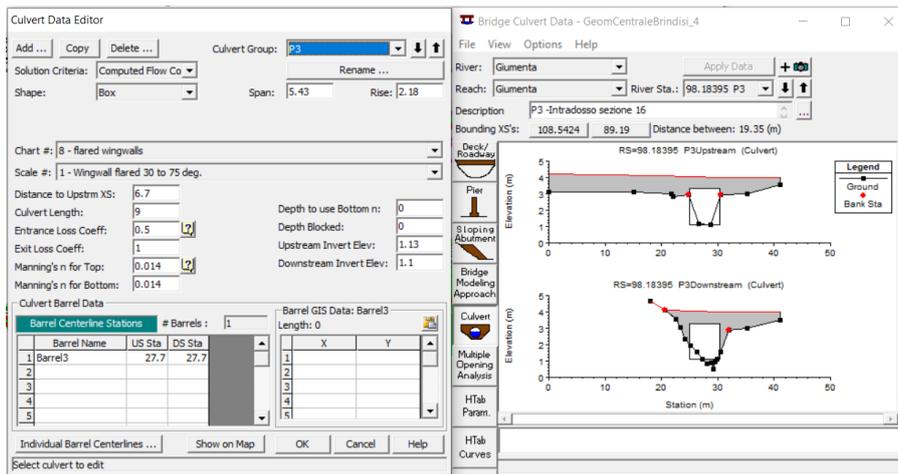


Figura 21: Culvert P3

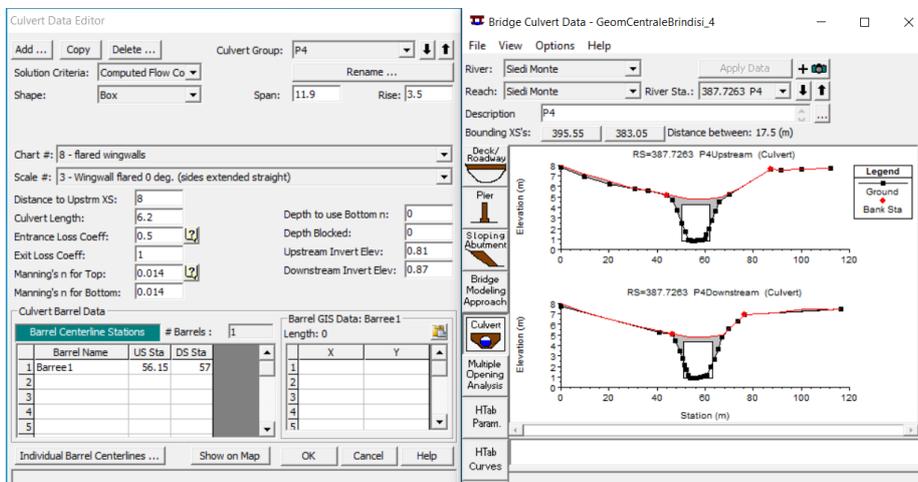


Figura 22: Culvert P4

Un'altra particolarità idraulica rilevabile sul Canale della Giumenta è costituita dalla presenza di uno scivolo in calcestruzzo immediatamente a valle dell'attraversamento P1, a seguito del quale sono posizionati in linea tre elementi di dissipazione, con forma prismatica e alti circa 60 cm rispetto al fondo del canale. Tali elementi generano una ostruzione al moto della corrente il cui scopo principale è quello di rallentarne il moto generando a monte degli stessi una temporanea vasca di dissipazione. Tale comportamento è stato rilevato anche nei risultati del modello.

La seguente fotografia presenta lo scivolo immediatamente a valle dell'attraversamento P1 di accesso alla Centrale.



**Figura 23: Vista verso valle dello scivolo presente all'attraversamento P1**

Le equazioni del moto implementate nel software richiedono inoltre delle condizioni al contorno a monte ed a valle di ogni ramo.

Per tal motivo si è ipotizzato, oltre alla condizione al contorno interna di confluenza tra i tre rami, un profilo di moto uniforme nelle sezioni a monte del modello. Tale ipotesi è stata ottenuta stimando la pendenza nelle prime sezioni pari a 0.8‰ per il Canale Siedi e pari a 1.4 ‰ per il Canale della Giumenta. Con riferimento alla foce del Canale Siedi si è ipotizzato che la marea possa contribuire all'innalzamento dei livelli nelle ultime sezioni.

Per tale motivo è stata reperita dal sito dell'Istituto Mareografico Nazionale (<https://www.mareografico.it/>) la serie storica dei livelli di marea alla stazione mareografica più vicina alla Centrale ENEL, che nel caso specifico risulta essere installata al porto di Bari.

La seguente figura presenta i livelli di marea degli ultimi 10 anni di registrazione<sup>1</sup>. Si osserva che il valore massimo è pari a 0.85 m s.l.m.

Tale valore è stato utilizzato come possibile condizione al contorno di chiusura dell'intero modello.

<sup>1</sup> Il diagramma non presenta intervalli sulle ascisse in quanto la registrazione oraria risulta essere troppo fitta per permetterne una chiara lettura.



Figura 24: Livelli Idrometrici alla Stazione Mareografica di Bari

### 3.5 Analisi della scabrezza dell'alveo

Per costituzione fisica delle zone interessate si intende la natura dei vari terreni e delle loro diverse coperture, che possono essere rappresentate dalla vegetazione o dalle varie infrastrutture presenti. Alle diverse nature e coperture dei terreni corrispondono diverse caratteristiche di scabrezza idraulica, determinanti ai fini della propagazione dell'onda a valle della diga.

La scabrezza degli alvei naturali, come per i canali artificiali, viene generalmente espressa attraverso il parametro  $n$  di Manning (o  $M=1/n$  parametro di Strickler).

La stima del coefficiente di scabrezza, ben supportata dalla manualistica per quanto riguarda i canali artificiali, è più complessa per i corsi d'acqua naturali, tuttavia, esistono in letteratura diversi studi in cui sono forniti metodi ed indicazioni, basate sulla osservazione di casi reali di piene naturali, per la stima del parametro  $n$  di Manning.

Nel presente studio, per la scelta dei coefficienti  $n$  da attribuire alle diverse sezioni ci si è basati sui metodi di stima sviluppati per questi tipi di fenomeni di seguito brevemente descritti [9, 10 e 11]:

- metodo del Soil Conservation Service: esso è basato sulla formula di Cowan che fornisce il valore delle scabrezze come combinazione dei valori (tabellati) assunti da alcuni fattori come materiale delle sponde, irregolarità della superficie, variazioni di forma della sezione, presenza di ostacoli e vegetazione, tortuosità del percorso;
- metodo di V.T. Chow (1959): tabella completa dei valori di  $n$  per diversi tipi di corsi naturali, avendo cura di descrivere piuttosto minuziosamente le varie condizioni fisiche che si possono riscontrare sia nei canali artificiali che nei corsi d'acqua naturali;
- metodo del U.S. Geological Survey o "metodo fotografico": un approfondito studio ha consentito di calcolare la scabrezza relativa a diversi corsi d'acqua americani dopo aver rilevato tutte le grandezze geometriche ed idrauliche necessarie in diverse sezioni d'alveo. I risultati sono stati catalogati con allegate le relative fotografie in modo da poter effettuare un confronto tra la condizione reale del corso d'acqua in esame ed il relativo esempio riportato sul manuale.

La stima della scabrezza dell'alveo nel Canale Siedi è stata condotta per mezzo della formula di **Cowan** mentre nel Canale della Giumenta è stata ipotizzata costante e pari a Strickler  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $0.04 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$  di Manning).

Tale scabrezza risulta conservativa per la parte a monte del Canale tra la **Sez1** e la **Sez8** in quanto il rivestimento in calcestruzzo risulta essere mediamente ben tenuto e in parte privo di vegetazione.

Infatti, in tale tratto di canale il rilievo topografico è stato eseguito senza eccessive difficoltà.

Più complessa e non esente da approssimazioni è la stima della scabrezza del Canale Siedi che visivamente si presenta scavato in terra, con sezioni regolari, occasionali variazioni della sezione di deflusso, andamento curvilineo ma non meandreggiante, ma con elevate ostruzioni dovute alla presenza di piante e rigogliosa vegetazione.

Tali caratteristiche portano a stimare la scabrezza nel Canale Siedi al valore di Strickler  $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ; ( $0.1 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$  di Manning) tale valore rappresentativo di una scabrezza molto elevata appare in linea con lo stato dei luoghi presente o futuro (trascorso del tempo dalla operazione di pulizia dell'alveo).

### 3.6 Portate di verifica

L'analisi idrologica sui due bacini a monte della Centrale, presentata nel capitolo 3 di [7], ha condotto alla stima delle seguenti portate:

- **25.6 m<sup>3</sup>/s per il bacino del Canale Siedi;**
- **5.5 m<sup>3</sup>/s per il bacino del Canale della Giumenta.**

Tali valori costituiscono le condizioni al contorno di monte nelle analisi idrodinamiche presentate nel seguito.

### 3.7 Risultati della modellazione

Le analisi eseguite stimano i livelli idrici lungo i fossi e in corrispondenza delle opere esistenti, con l'obiettivo di fornire informazioni circa le aree potenzialmente critiche nel caso si verifichi nei bacini a monte della Centrale un evento meteorico raro ma intenso, ovvero con tempo di ritorno 200-ennale. La seguente **Tabella 2** riporta per ogni sezione di calcolo le caratteristiche idrauliche della corrente in condizioni di moto permanente.

Ramo	Sezione	Portata	Quota fondo canale	Livello idrico	Tirante idrico	Carico totale	Velocità media	Area bagnata	Numero di Froude
		(m <sup>3</sup> /s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m.)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(-)
Giumenta	Sez 1	5.5	9.18	10.75	1.57	10.80	0.97	5.64	0.30
Giumenta	Sez 2	5.5	9.09	10.58	1.49	10.63	1.03	5.32	0.33
Giumenta	Sez 3	5.5	9.03	10.42	1.39	10.48	1.14	4.81	0.37
Giumenta	Sez 4	5.5	9.04	10.05	1.01	10.21	1.74	3.16	0.63
Giumenta	Ponte 1M	5.5	9.00	10.06	1.06	10.11	0.97	5.70	0.52
Giumenta	P1	Culvert							
Giumenta	Ponte 1V	5.5	8.50	9.12	0.62	9.43	2.47	2.23	1.00
Giumenta	Sez 6	5.5	4.88	5.51	0.63	5.83	2.49	2.21	1.00
Giumenta	Sez 17	5.5	3.70	5.19	1.49	5.25	1.02	5.39	0.27
Giumenta	Sez 18	5.5	3.68	5.04	1.36	5.22	1.89	2.91	0.67
Giumenta	Sez 19	5.5	3.75	5.11	1.36	5.18	1.13	4.86	0.31
Giumenta	Sez 7	5.5	3.78	4.99	1.21	5.09	1.38	4.00	0.46
Giumenta	Sez 8	5.5	3.69	4.60	0.91	4.82	2.08	2.64	0.80
Giumenta	Ponte 2M	5.5	3.12	3.93	0.81	4.26	2.54	2.16	1.00
Giumenta	P2	Culvert							
Giumenta	Ric1	5.5	2.56	3.49	0.93	3.69	1.99	2.77	0.75
Giumenta	Ric2	5.5	1.82	3.32	1.50	3.38	1.04	5.27	0.32
Giumenta	Ric3	5.5	1.13	3.31	2.18	3.33	0.47	17.14	0.12
Giumenta	P3	Culvert							
Giumenta	Sez 29	5.5	0.52	3.31	2.79	3.32	0.36	16.43	0.09
Giumenta	Sez 28	5.5	0.92	3.30	2.38	3.31	0.35	17.54	0.09
Giumenta	Sez 27	5.5	0.61	3.30	2.69	3.30	0.29	21.31	0.07
Siedi Monte	Sez 12	25.6	1.00	4.06	3.06	4.08	0.67	37.97	0.14
Siedi Monte	Sez 22	25.6	0.81	3.93	3.12	3.95	0.73	35.30	0.16
Siedi Monte	P4	Culvert							
Siedi Monte	Sez 23	25.6	0.87	3.91	3.04	3.94	0.71	35.89	0.16
Siedi Monte	Sez 24	25.6	0.91	3.74	2.83	3.77	0.75	34.14	0.17
Siedi Monte	Sez 25	25.6	0.84	3.59	2.75	3.62	0.77	33.30	0.18
Siedi Monte	Sez 26	25.6	0.61	3.42	2.81	3.45	0.72	35.61	0.16
Siedi Valle	Ric10	31.1	0.63	3.22	2.59	3.27	0.95	32.64	0.22
Siedi Valle	Sez 10	31.1	0.58	2.69	2.11	2.80	1.52	20.49	0.46
Siedi Valle	Sez 11	31.1	0.59	1.42	0.83	1.79	2.68	11.59	1.00

**Tabella 2: Caratteristiche idrauliche della corrente nelle sezioni**

Ramo	Attraversamento	Portata defluente nello scatolare	Carico totale a monte	Livello idrico a monte	Quota minima strada	Dislivello monte-valle	Velocità in ingresso	Velocità in uscita
		(m <sup>3</sup> /s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m/s)	(m/s)
Giumenta	P1	5.5	10.11	10.06	10.95	0.94	2.49	4.13
Giumenta	P2	5.5	4.09	3.93	5.52	0.44	2.49	1.56
Giumenta	P3	5.5	3.32	3.31	3.99	0.00	0.47	0.46
Siedi Monte	P4	25.6	3.95	3.93	4.78	0.02	0.69	0.71

**Tabella 3: Caratteristiche idrauliche degli attraversamenti**

I risultati in forma grafica si trovano in **Appendice 2** (profili longitudinali) e in **Appendice 3** (sezioni con livelli idrici).

Al fine di evidenziare potenziali modifiche al regime idraulico del Canale della Giumenta o lo sviluppo di aree di esondazione nel perimetro di Centrale, la **Figura 25** e la **Figura 26** presentano su base cartografica CTR a scala 1:5000 le aree di esondazione desunte dai risultati del modello nel layout attuale e in quello di progetto.

Seppur con le approssimazioni intrinseche ai modelli e già espresse in [7], ma con maggior precisione grazie alla presenza di un modello geometrico più accurato, si ottengono risultati che confermano quelli ottenuti con la prima modellazione: anche in questo caso infatti le aree di esondazione non interferiscono con le opere di Centrale, siano esse allo stato attuale o nella futura configurazione di progetto, in quanto le sezioni di deflusso del Canale della Giumenta risultano sufficientemente capienti per far defluire portate naturali con tempo di ritorno di 200 anni.

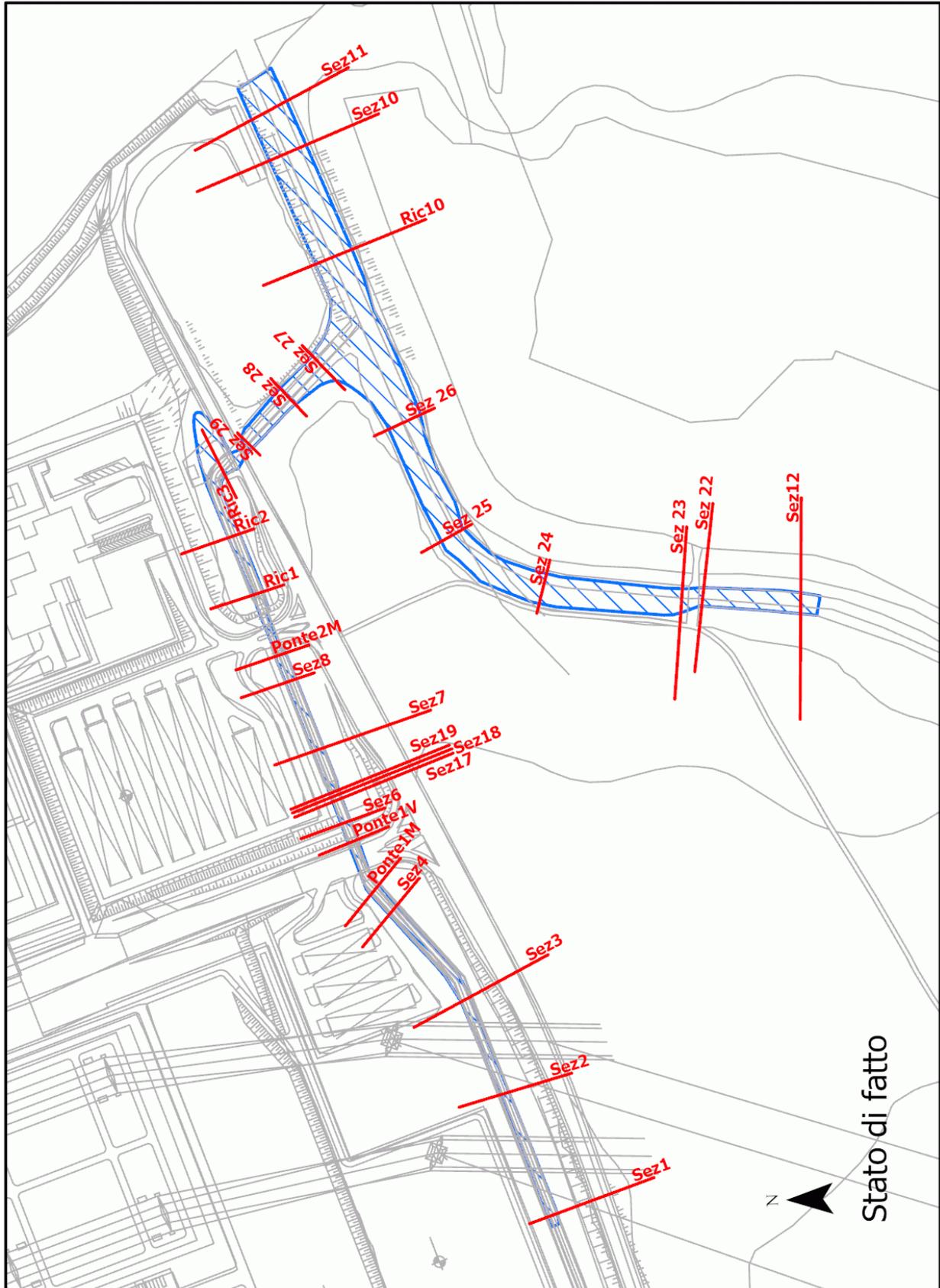


Figura 25: Aree di Esondazione nei pressi della centrale con layout allo stato di fatto

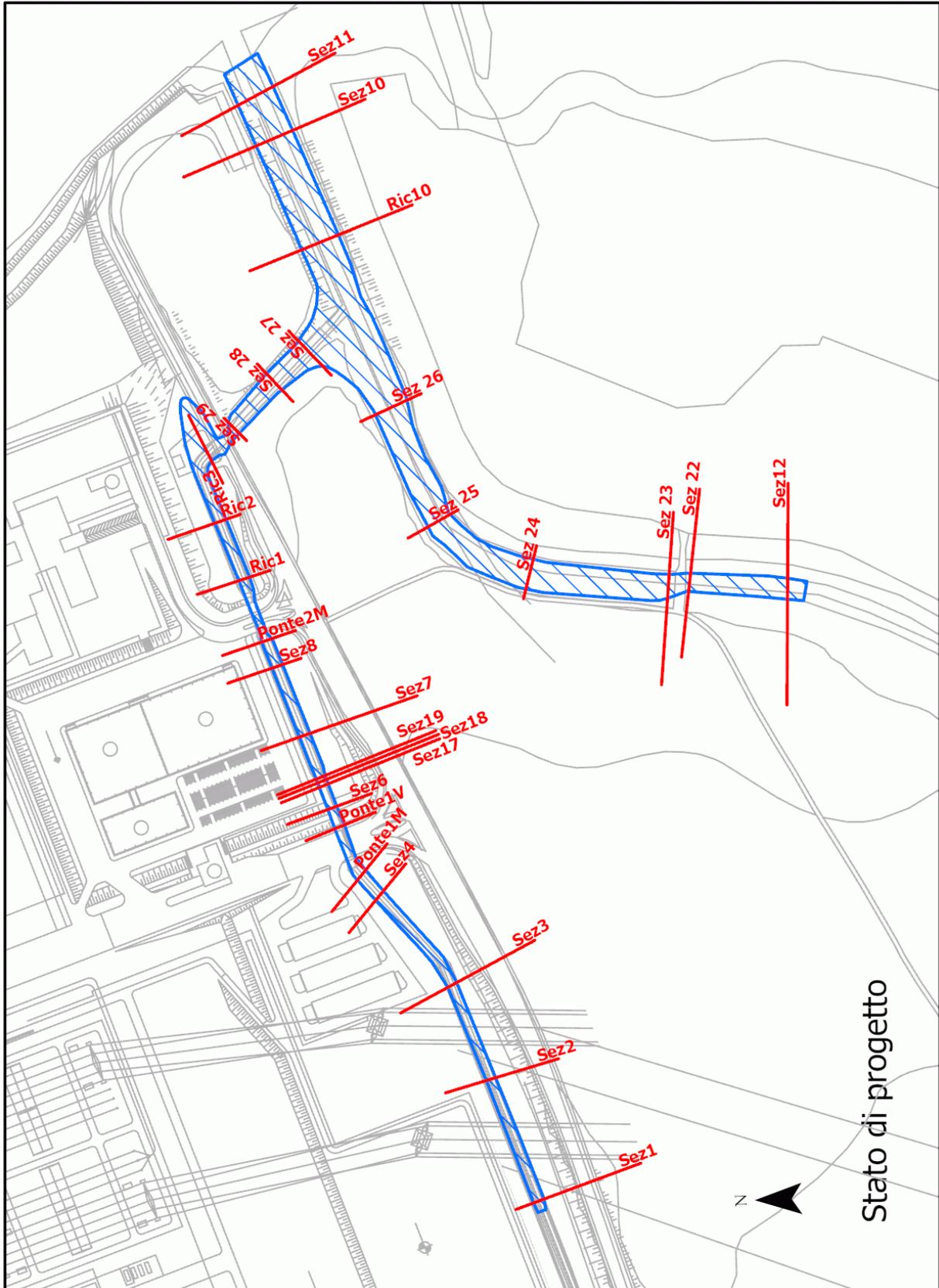


Figura 26: Aree di Esondazione nei pressi della centrale con layout nella futura configurazione progettuale

## 4 CONCLUSIONI

Il precedente studio di compatibilità idraulica [7] ha avuto come obiettivo quello di individuare le potenziali aree di esondazione in prossimità della Centrale Enel “Federico II” di Brindisi Sud, in corrispondenza ad una portata con tempo di ritorno 200-ennale, valutando le interazioni delle opere con la rete idraulica (canale Siedi e canale della Giumenta) sia in riferimento allo stato attuale del layout di Centrale che a quello di progetto.

L’elaborato ha inoltre fornito agli Enti competenti un quadro conoscitivo delle potenziali aree allagabili nei pressi della foce del Canale Siedi, in quanto non sono attualmente disponibili studi idrologici ed idraulici su quest’area.

Il presente rapporto costituisce un aggiornamento dello studio [7], cui si rimanda per l’analisi idrologica, a seguito di un perfezionamento della geometria del modello di calcolo che è stata integrata dai rilievi eseguiti nel maggio 2021 in entrambi i canali, laddove non erano ancora presenti per problemi di accessibilità riscontrati nel corso dei rilievi effettuati nel luglio 2020.

Pertanto, il modello geometrico adottato nel calcolo in oggetto deriva da rilievi a terra eseguiti nel luglio 2020 e nel maggio 2021 lungo gli alvei e le aree golenali dei canali Siedi e Giumenta, e in misura assai minore da sezioni ricostruite per via cartografica (per impraticabilità, in tutto o in parte, di alcune sezioni).

Per ridurre il più possibile le approssimazioni del primo calcolo, sono state recentemente fornite a Cesi **n° 8 nuove sezioni rilevate** da terra.

Il nuovo modello geometrico, costruito sulla base dei rilievi citati (2020 e 2021) e dei dati presenti in [7], ha costituito il punto di partenza della modellazione idrodinamica ed è lo stesso nella configurazione stato di fatto e in quella di progetto.

Si ricorda infine che l’analisi pluviometrica è stata condotta applicando, ai bacini analizzati, le Curve di Possibilità Pluviometrica regionalizzate con modello VA.PI. e la modellazione afflussi-deflussi del Curve Number.

Le portate così stimate sono state valutate in [7] rispettivamente pari a:

- 25.6 m<sup>3</sup>/s per il bacino del Canale Siedi;
- 5.5 m<sup>3</sup>/s per il bacino del Canale della Giumenta.

Al fine di modellare in maniera conservativa le interazioni tra i due corsi d’acqua, si è ipotizzato che in questi ultimi confluiscano contemporaneamente le portate di picco e che le stesse si sommino a valle della confluenza.

Inoltre, seppur di scarsa rilevanza nel caso specifico, si è ipotizzato in via cautelativa che il livello di marea sia il più alto della serie storica disponibile alla stazione mareografica più vicina, che nel caso specifico, risulta essere posizionata a Bari.

Dal punto di vista geometrico il modello presenta quattro singolarità interne costituite dagli altrettanti attraversamenti ovvero P1, P2, P3 e P4.

Ogni ponte è stato modellato come un “culvert” (tombino/sifone) la cui lunghezza è identica alla larghezza della strada che lo ospita.

Al fine di rimanere a favore di sicurezza nei confronti dei tiranti idrici, il modello presenta scabrezze molto significative, che nel caso del Canale Siedi sono dettate dalla presenza in alveo di abbondante vegetazione, destinata a ricrescere rigogliosa anche dopo la ripulitura del canale e in generale si è preferito assumere valori elevati di scabrezza a favore di sicurezza.

Le aree di esondazione sono state tracciate sulla CTR a scala 1:5000 sovrapponendovi rispettivamente i layout di Centrale allo stato di fatto e quello allo stato di progetto.

Si può quindi concludere, confermando i risultati della prima analisi, che:

- il progetto non prevede modifiche all'attuale alveo del Canale della Giumenta e del Canale Siedi;
- la valutazione di compatibilità idrologica e idraulica, supera il carattere preliminare dello studio precedente [7], poiché è stata sviluppata sulla base dei recenti rilievi condotti ad hoc nel 2020 e successivamente nel 2021 per le integrazioni necessarie;
- la restituzione delle aree allagabili è stata riprodotta su cartografia ufficiale, reperibile sul sito istituzionale regionale, ovvero la CTR a scala 1:5000;
- ***sulla base delle ipotesi cautelative assunte nel presente studio le aree di potenziale esondazione non appaiono interferenti con le opere di Centrale siano esse allo stato attuale o nella futura configurazione di progetto e non si riscontrano pertanto criticità in tale ambito.***

**APPENDICE 1: RILIEVI 2021 E NUOVE SEZIONI INSERITE NEL MODELLO NUMERICO**

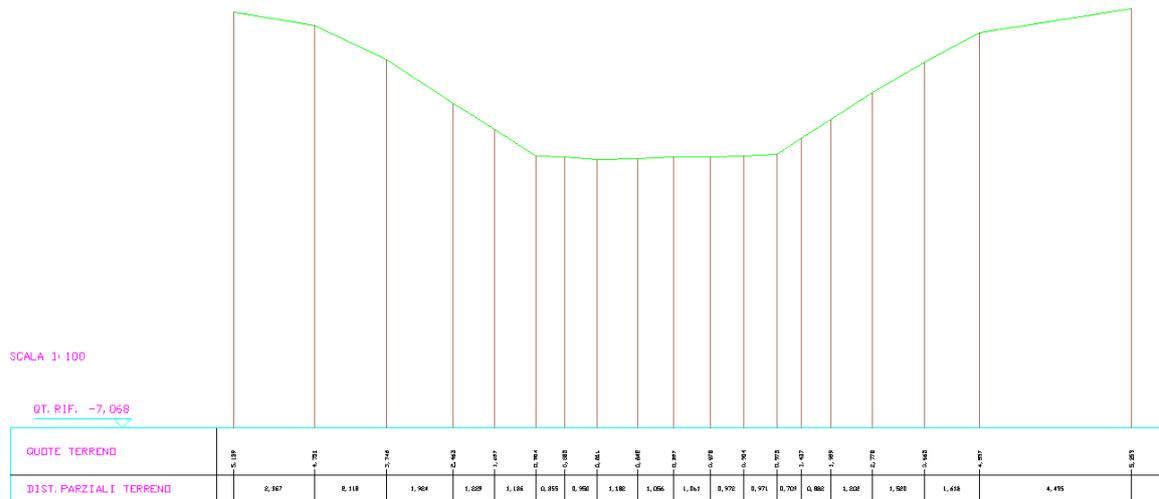


Figura 27: Sezione 22 – rilevata 2021

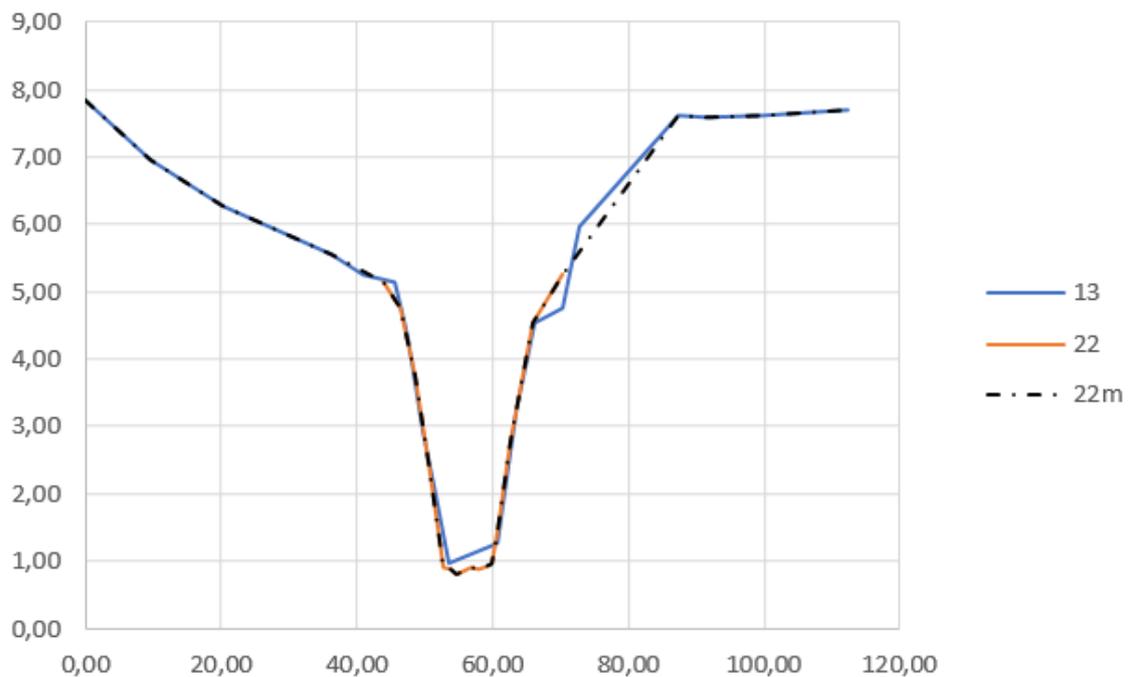


Figura 28: Sezione 22 – integrata – input modello

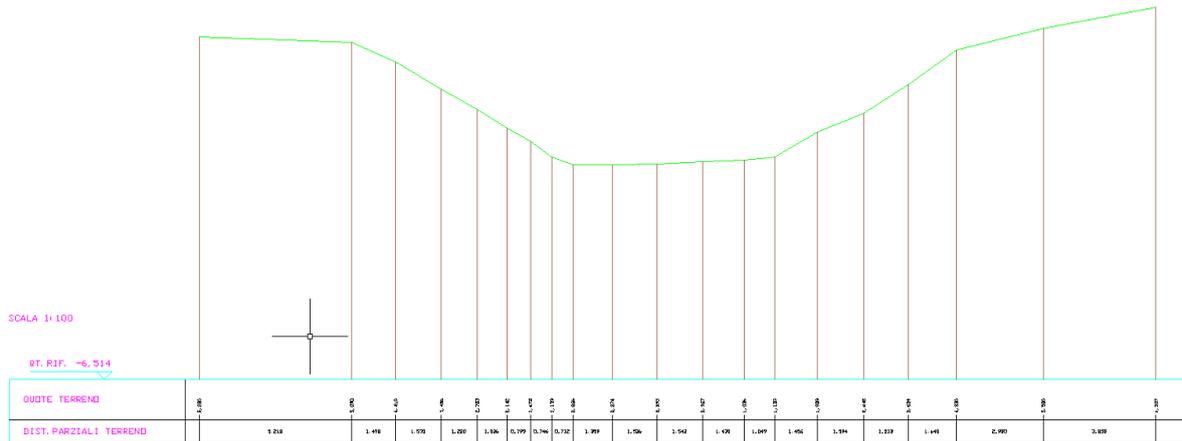


Figura 29: Sezione 23 – rilevata 2021

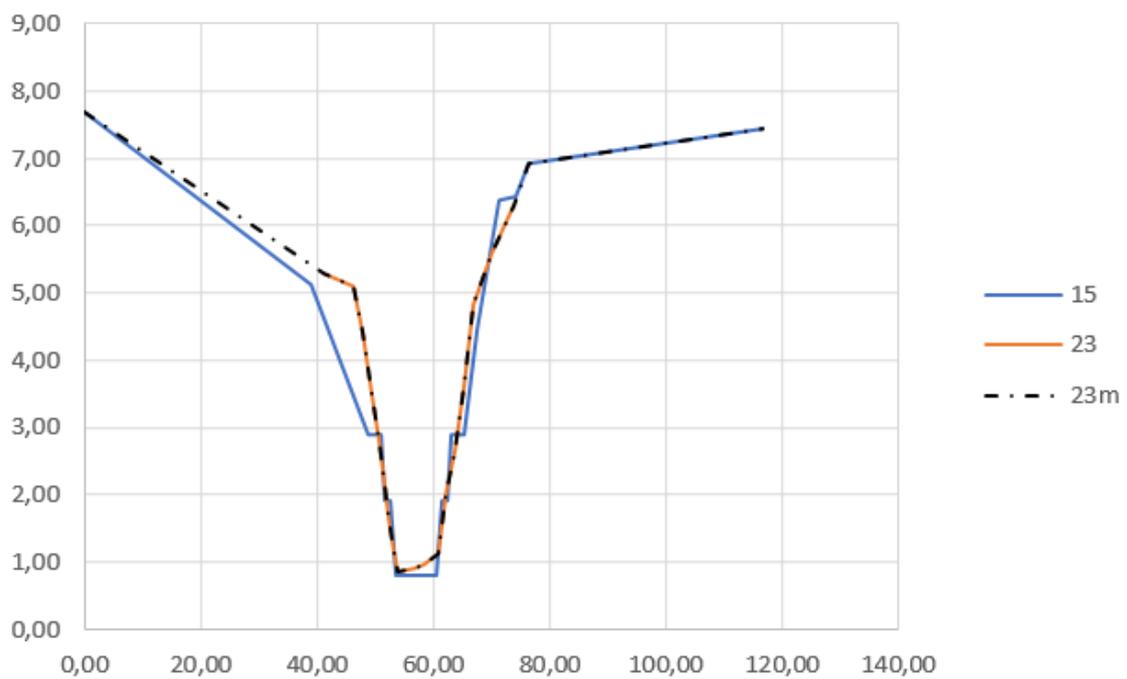


Figura 30: Sezione 23 –integrata - input modello

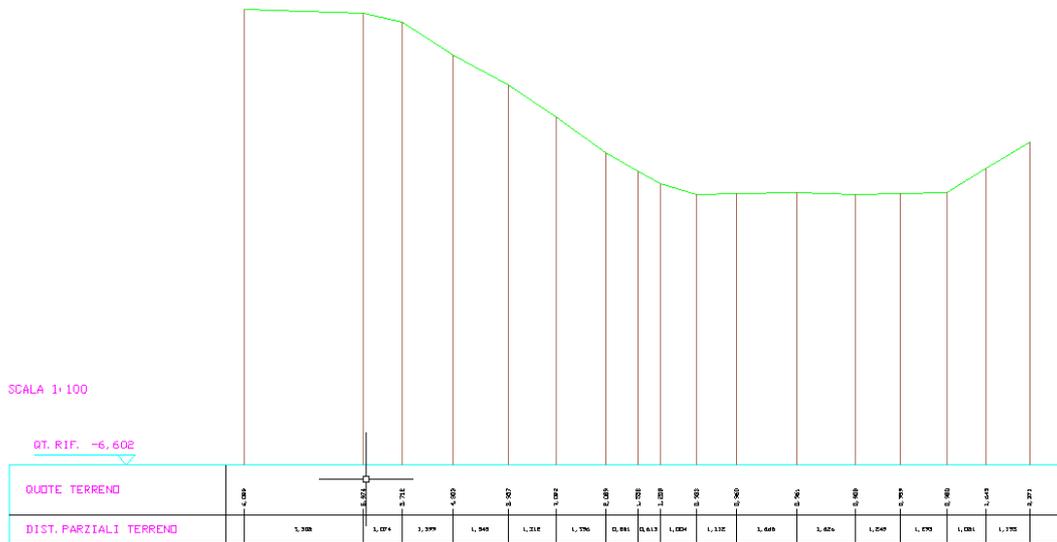


Figura 31: Sezione 24 – rilevata 2021

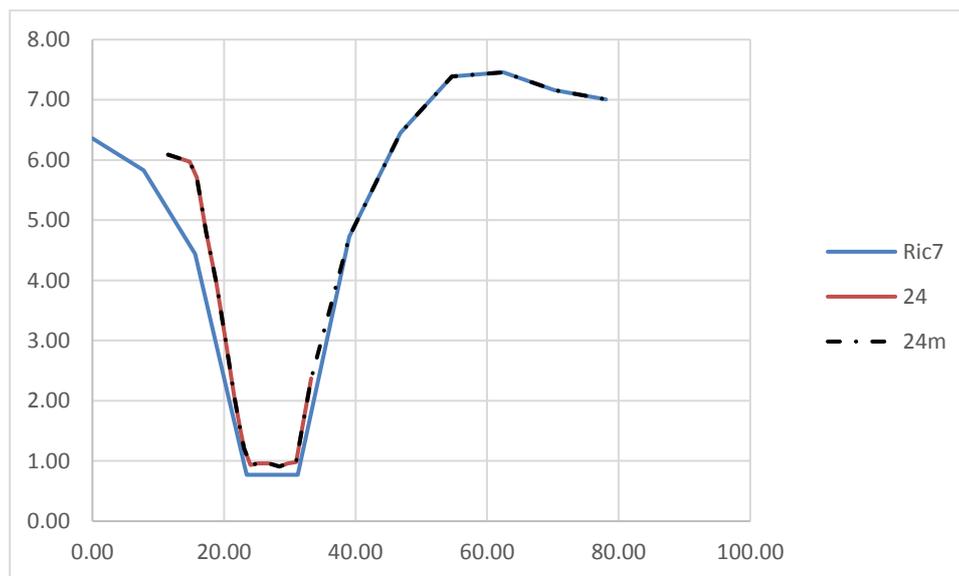


Figura 32: Sezione 24 – integrata – input modello



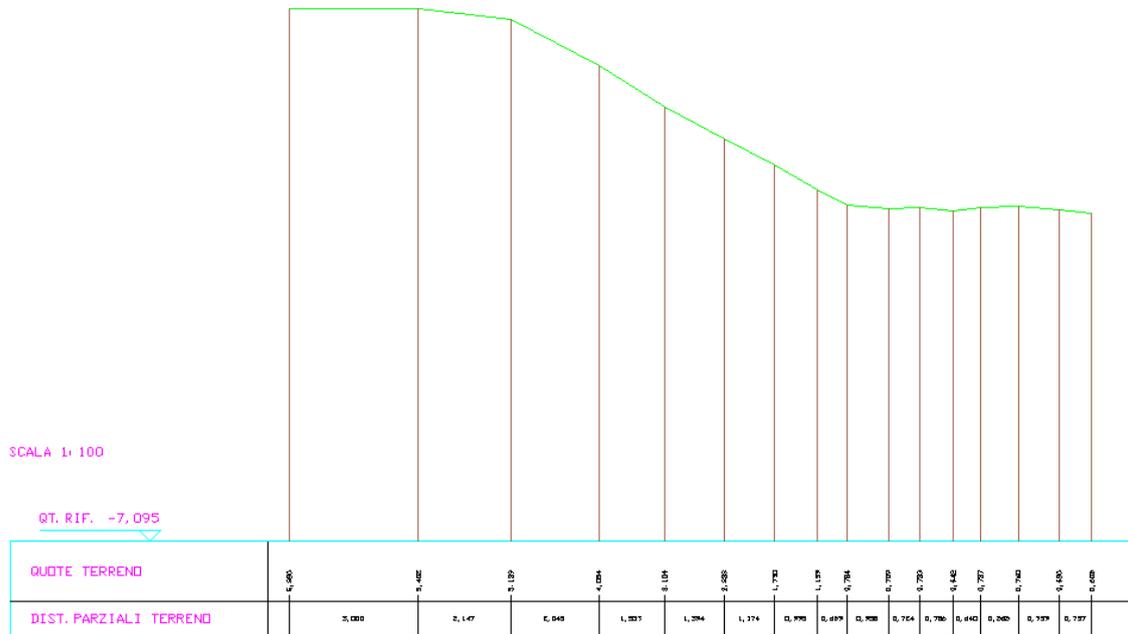


Figura 35: Sezione 26 – rilevata 2021

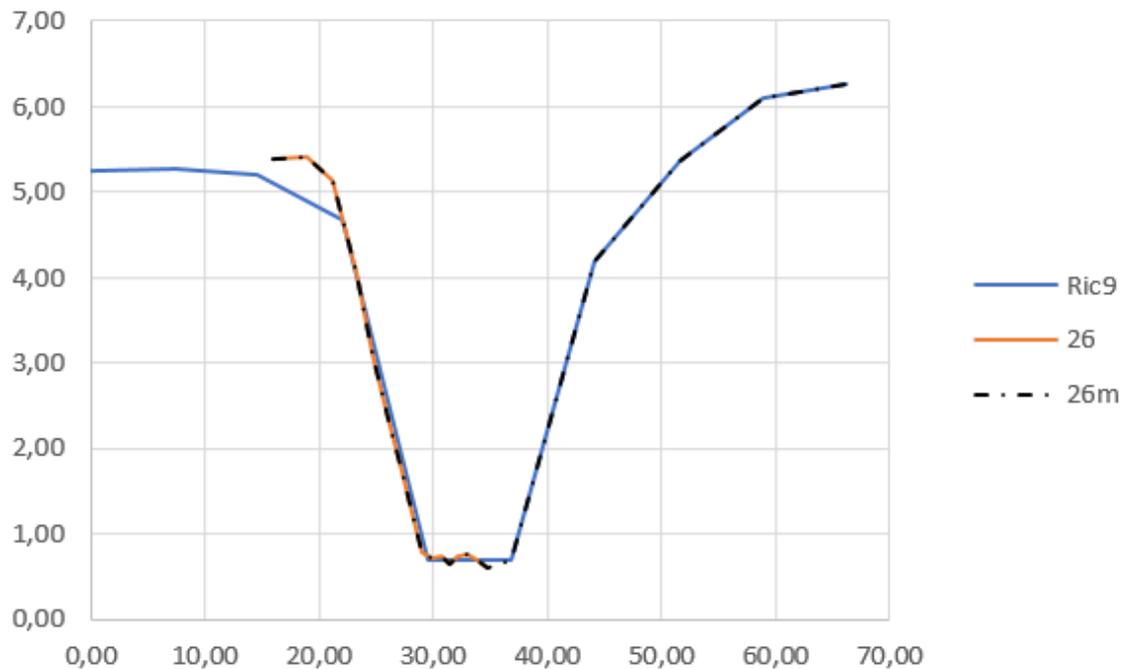


Figura 36: Sezione 26 – integrata – input modello

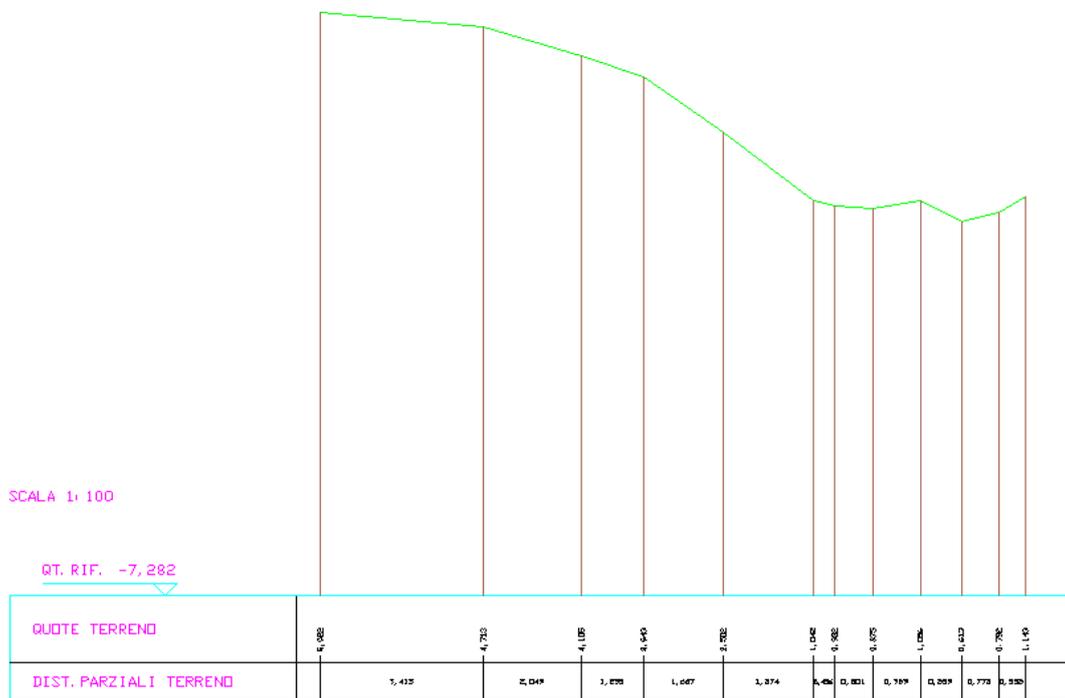


Figura 37: Sezione 27 – rilievo 2021

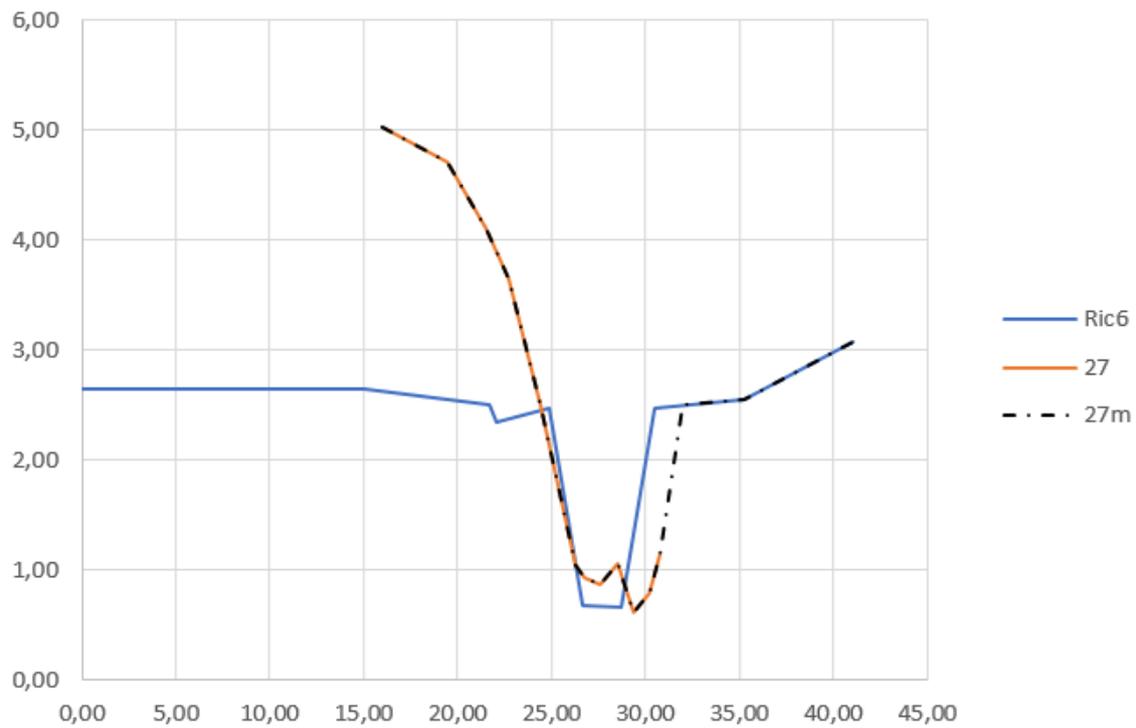


Figura 38: Sezione 27 – integrata – input modello

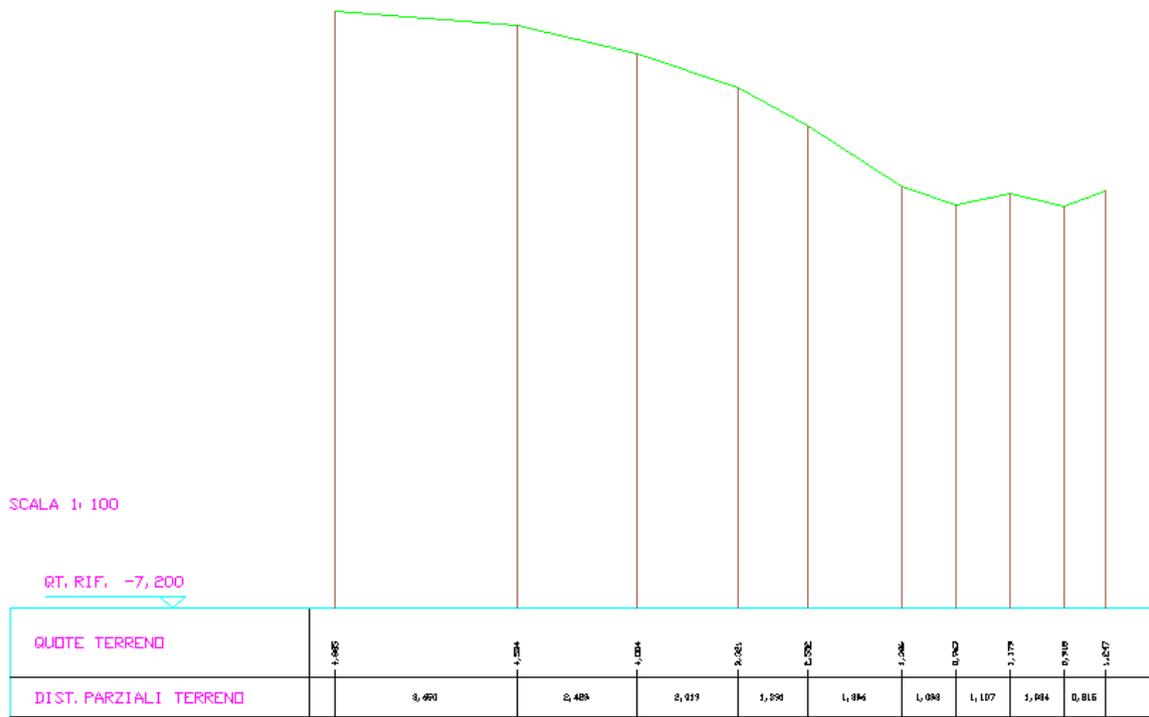


Figura 39: Sezione 28 – rilievo 2021

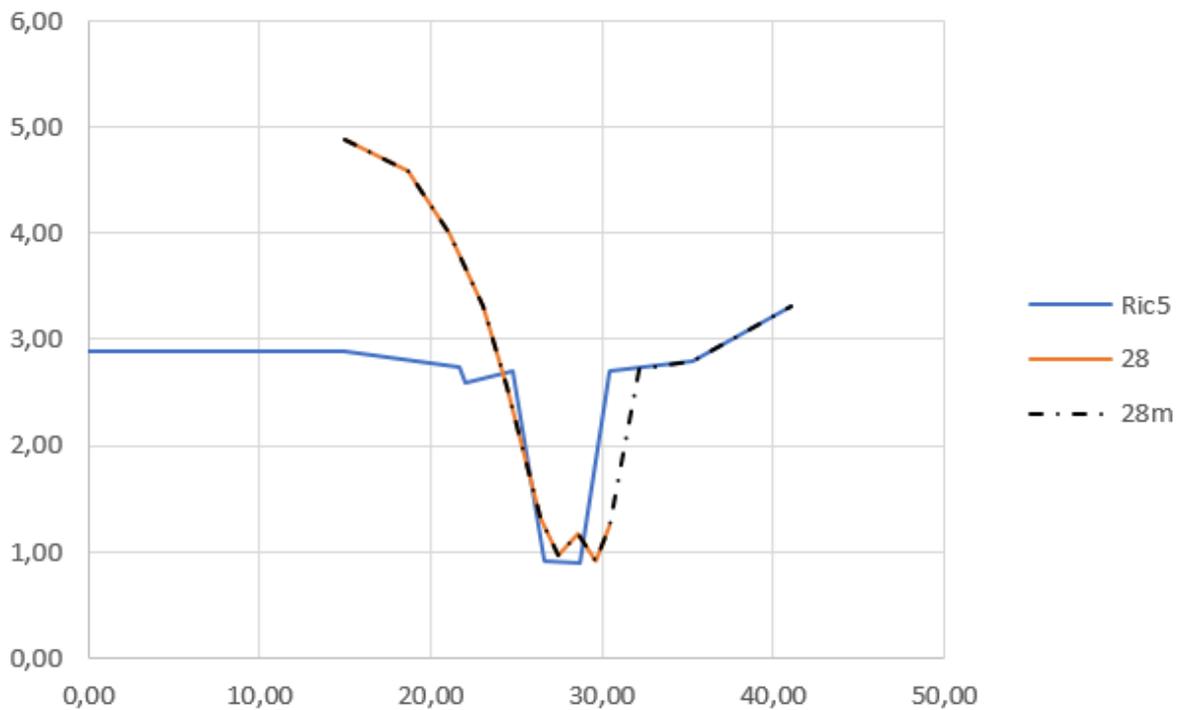


Figura 40: Sezione 28 – integrata – input modello

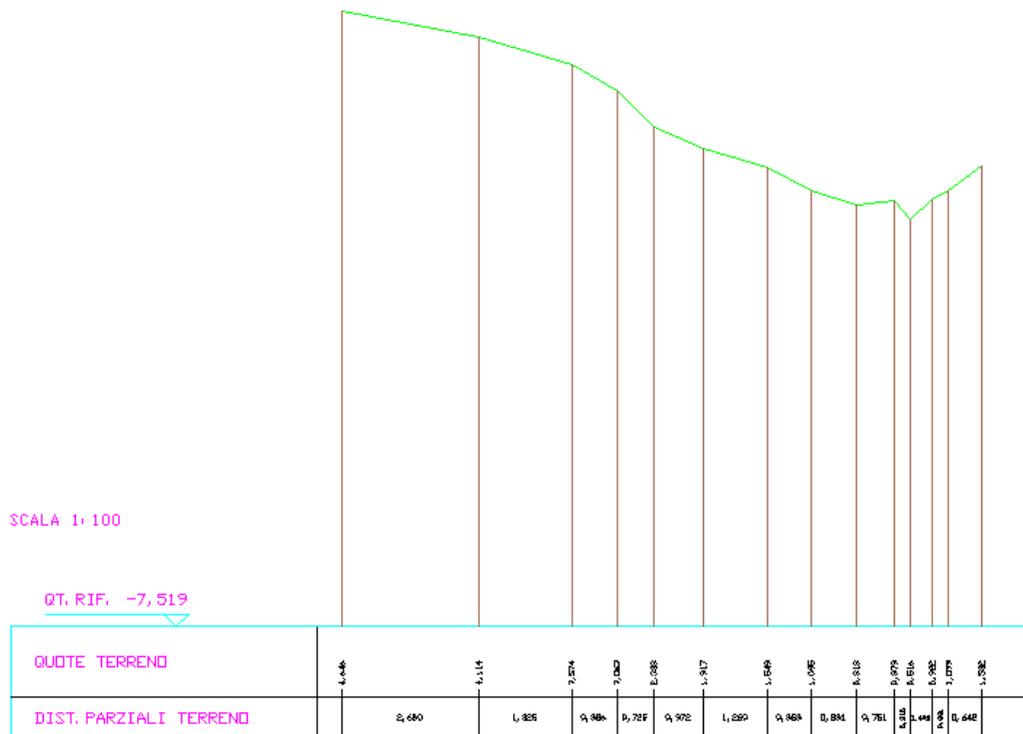


Figura 41: Sezione 29 – rilievo 2021

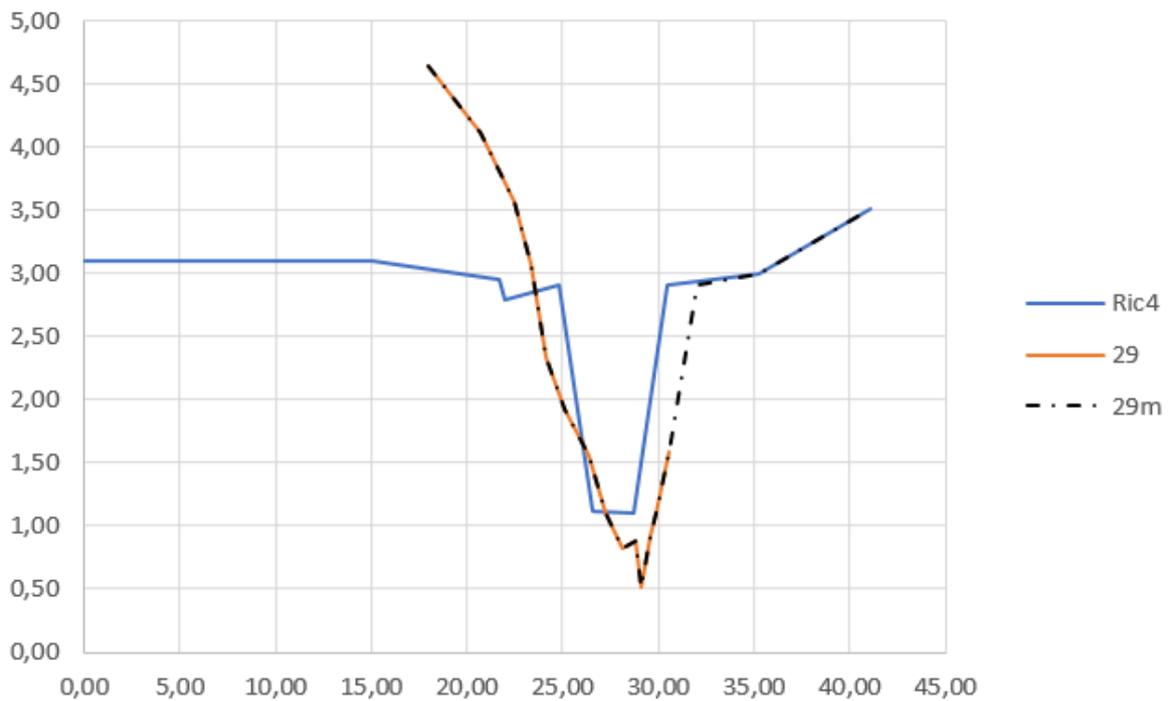
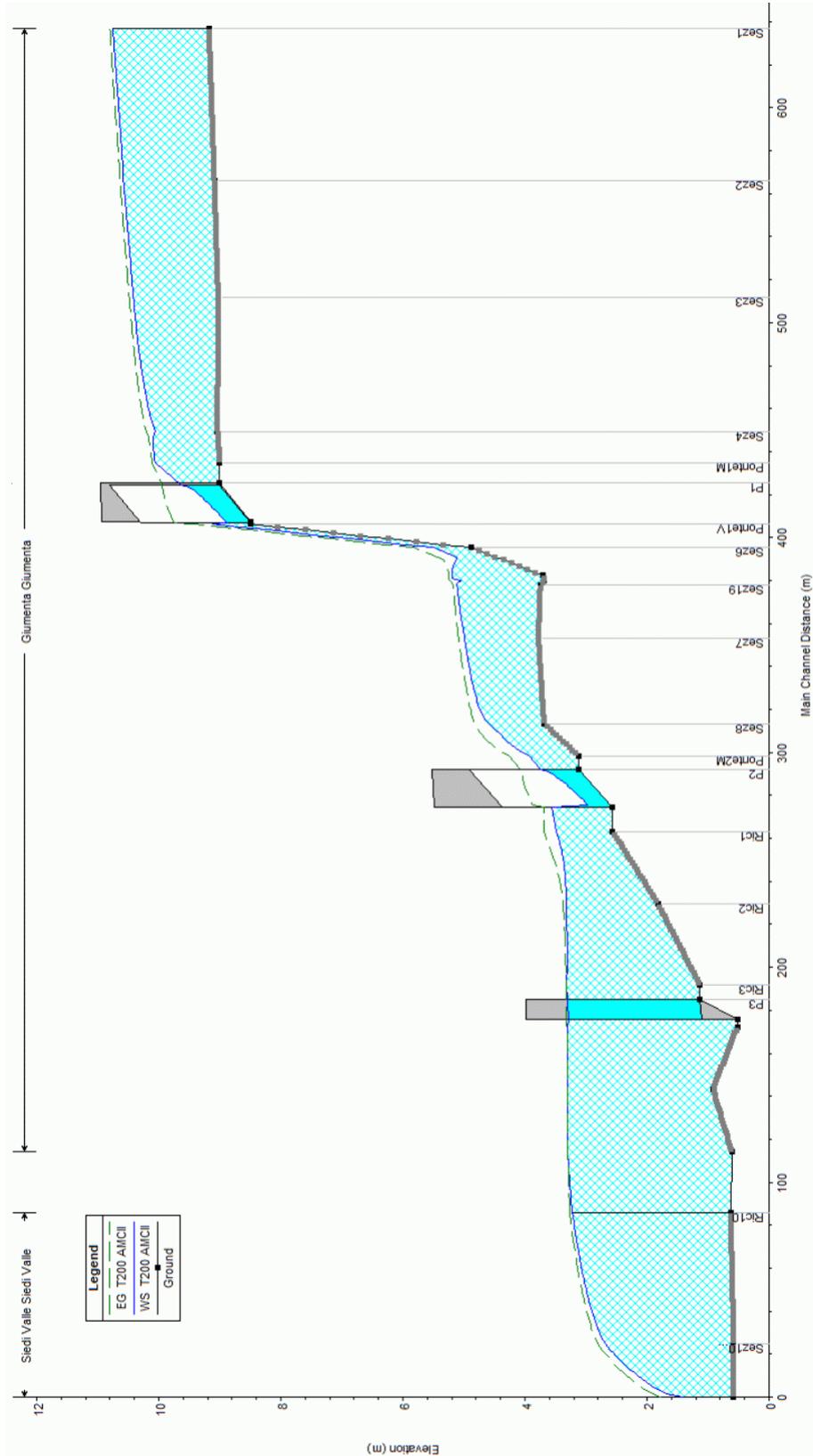
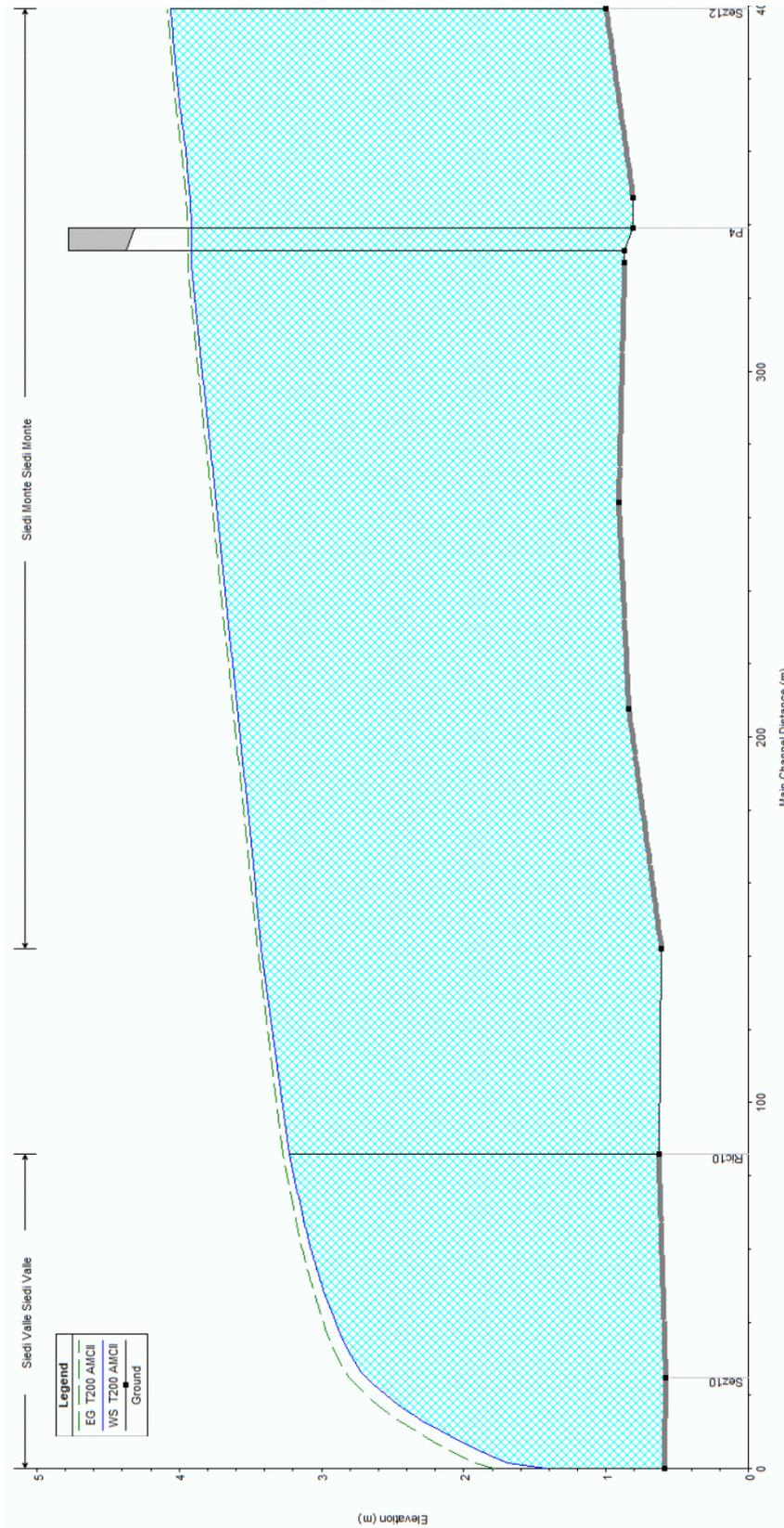


Figura 42: Sezione 29 – integrata – input modello

**APPENDICE 2: PROFILI DI MOTO PERMANENTE**

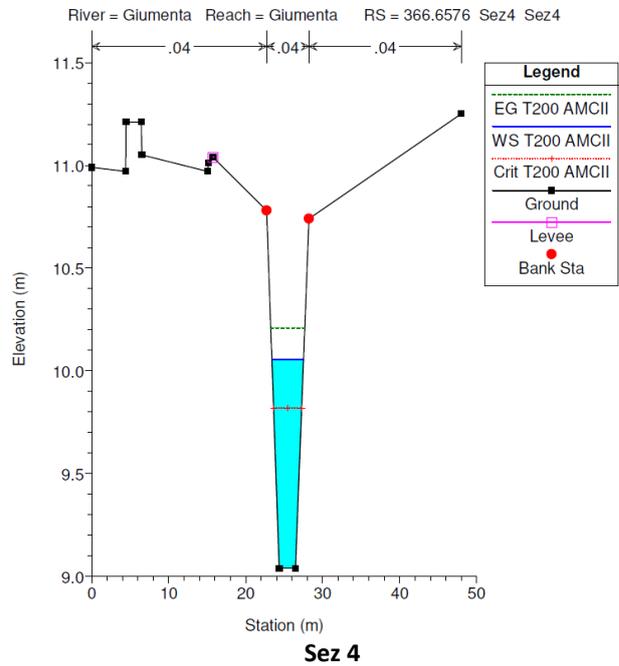
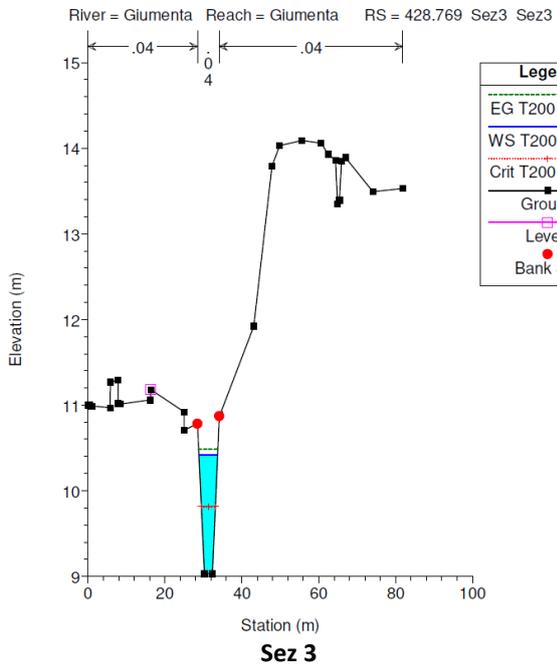
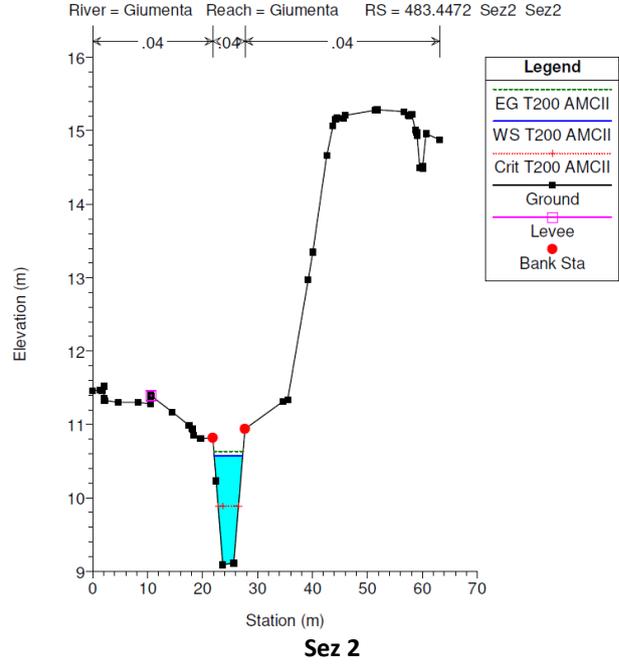
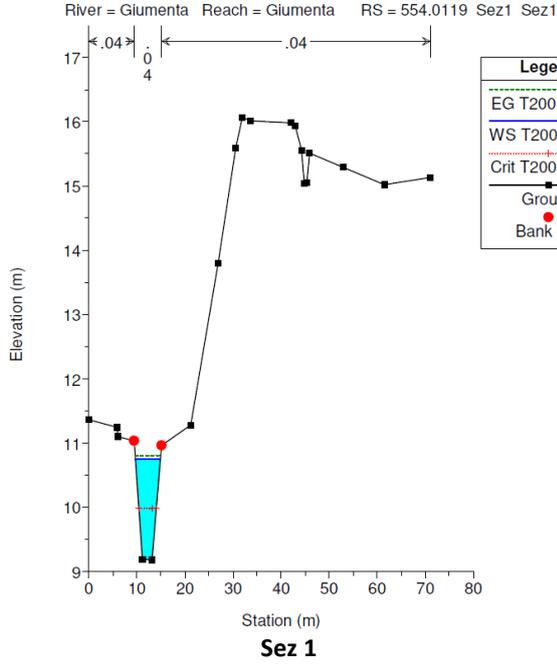


**Profilo longitudinale del Canale della Giumenta e del tratto di valle del Canale Siedi**



Profilo longitudinale del Canale Siedi (a monte e a valle della confluenza con il Giumenta)

**APPENDICE 3: LIVELLI IDRICI NELLE SEZIONI, LINEA DELL'ENERGIA E CORRENTE CRITICA**

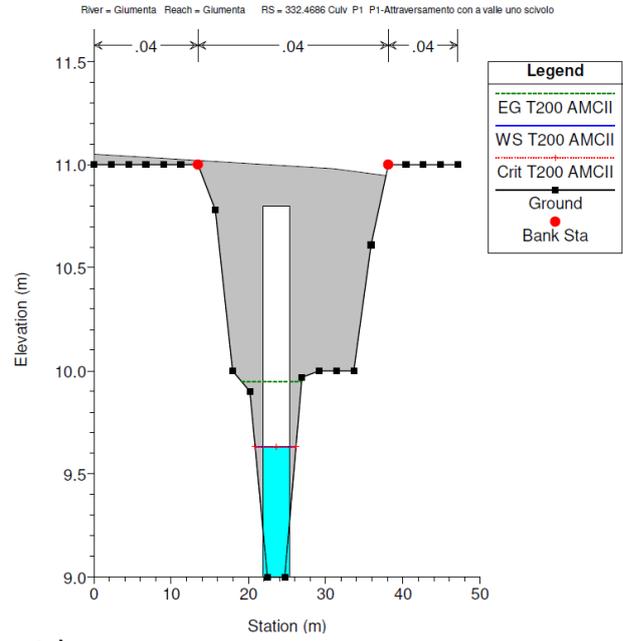
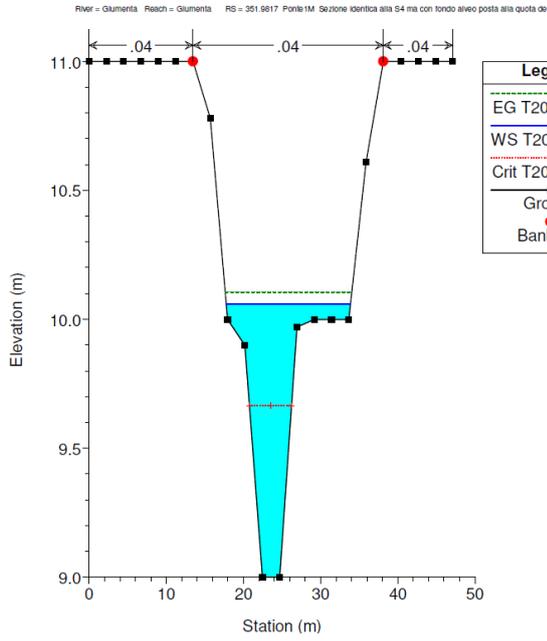


**RAPPORTO**

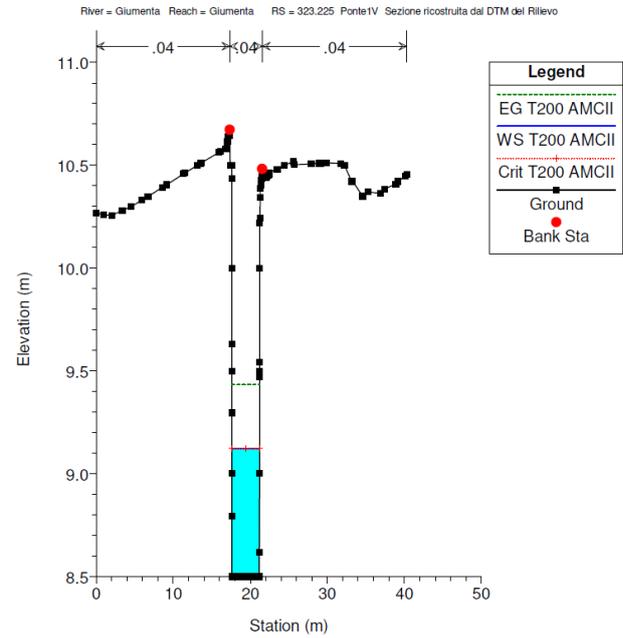
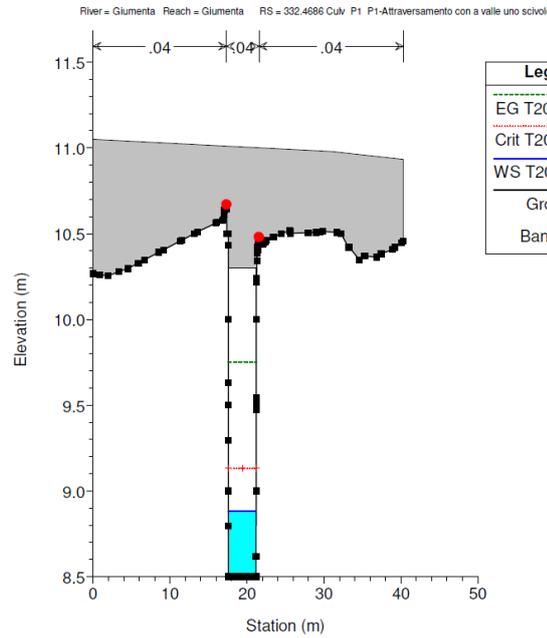
**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

**C0012465**



**P1 (monte)**



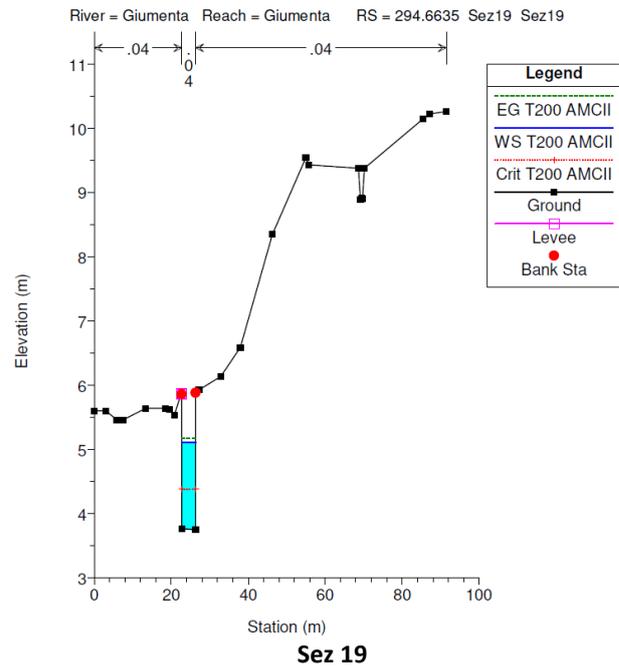
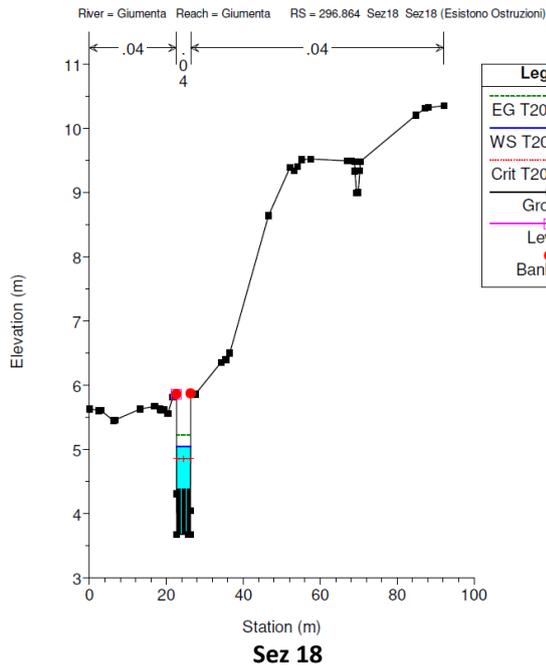
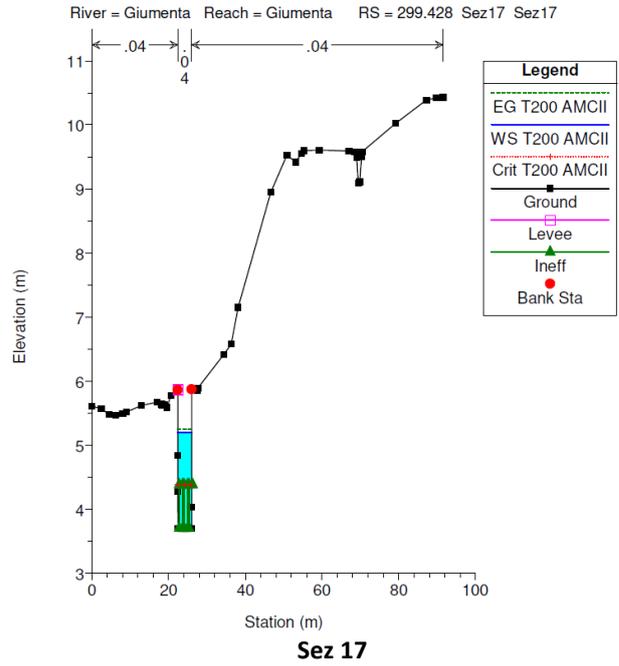
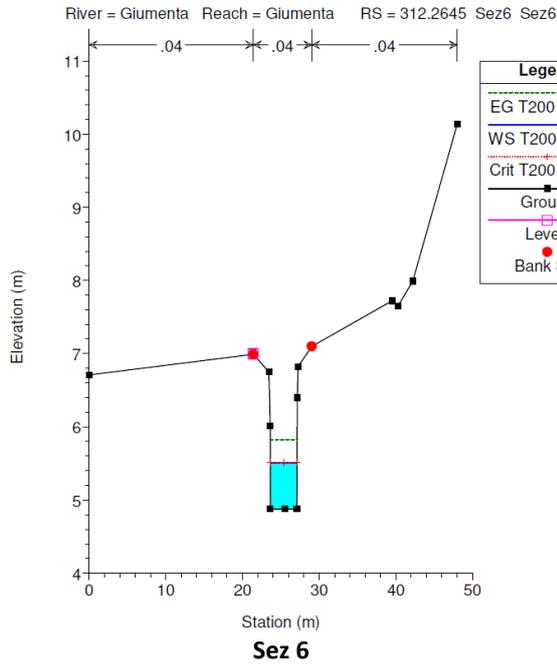
**P1 (valle)**

**RAPPORTO**

**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

**C0012465**

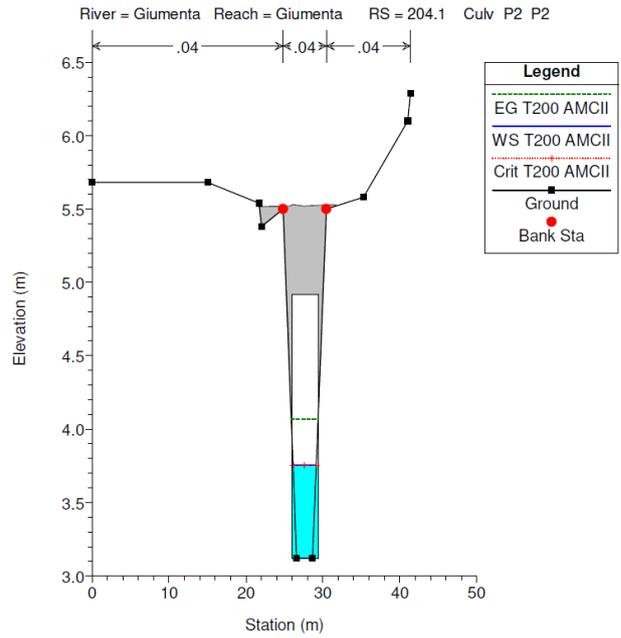
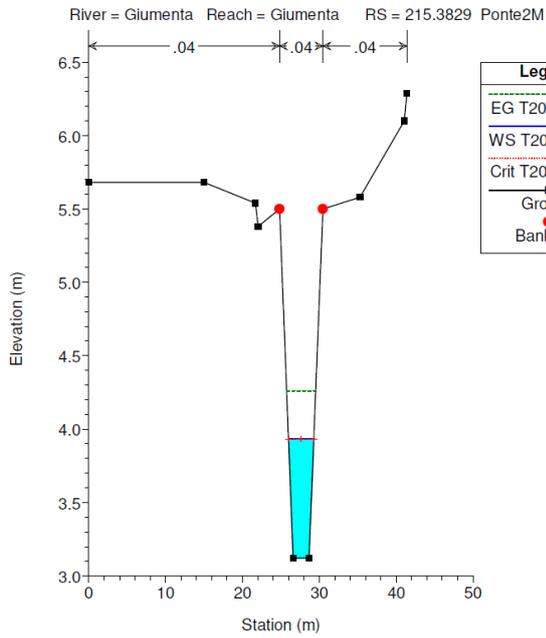
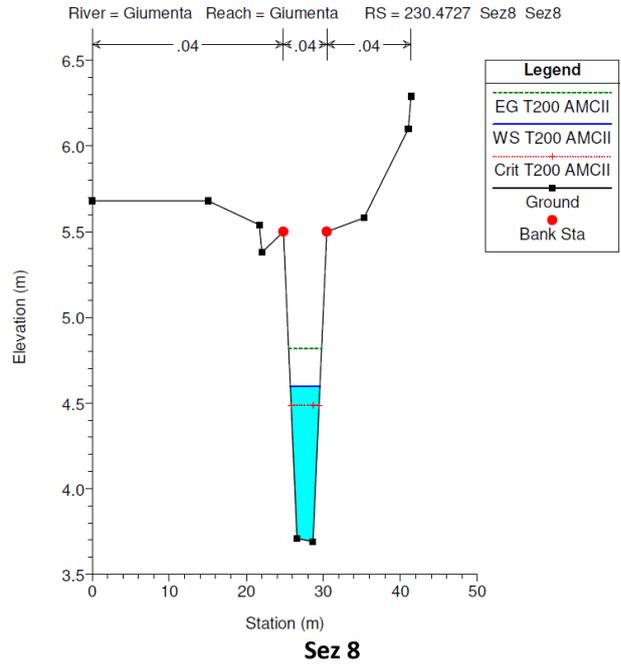
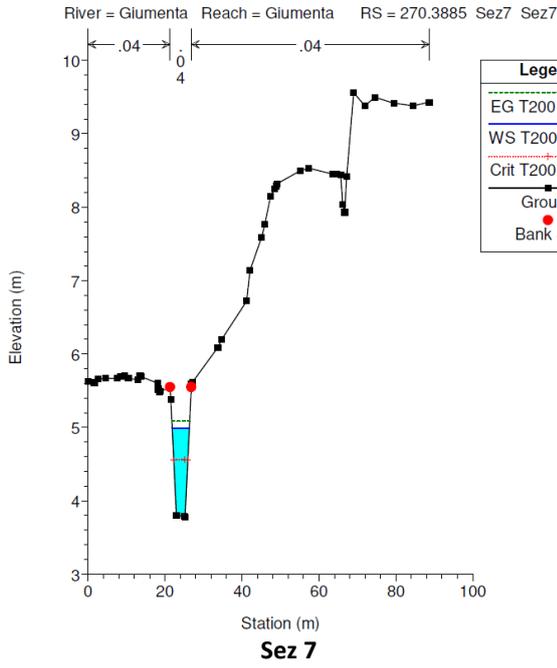


## RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C0012465



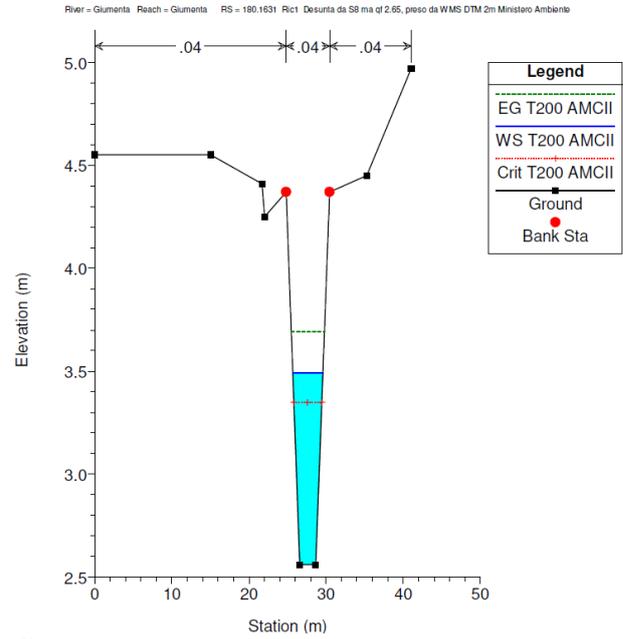
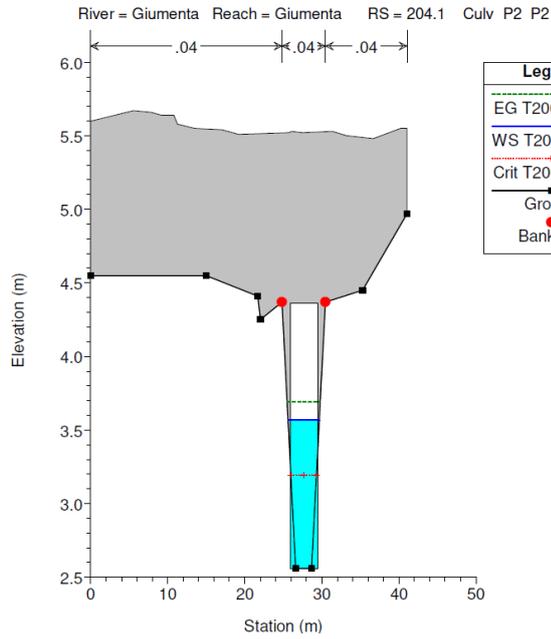
P2 (monte)

**RAPPORTO**

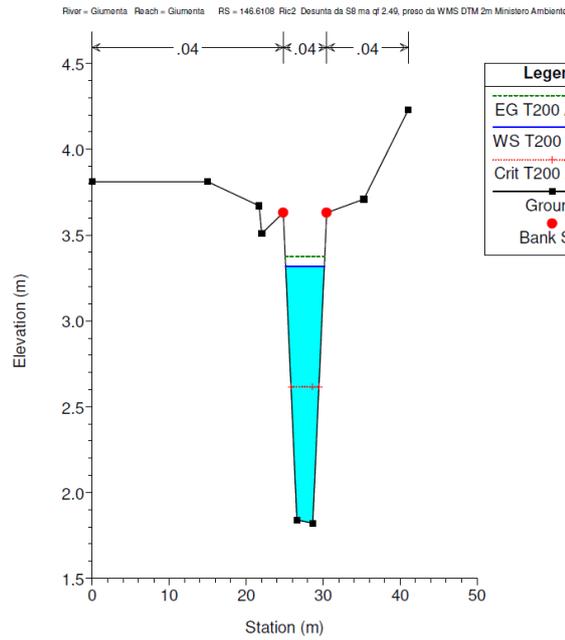
**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

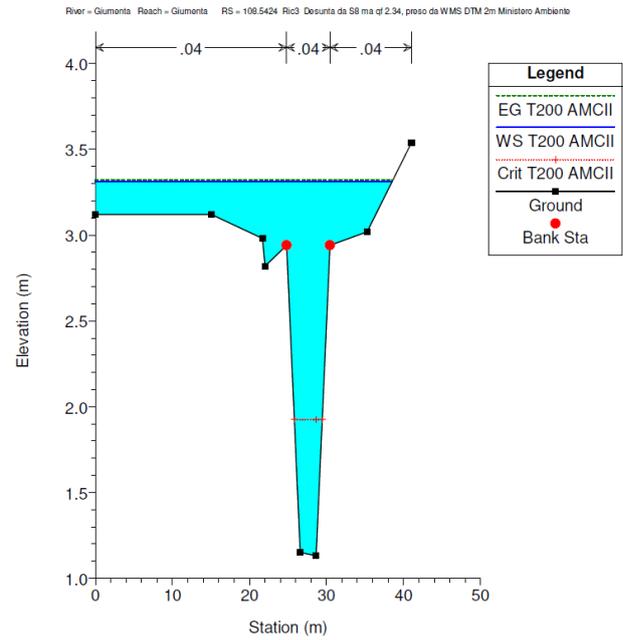
**C0012465**



**P2 (valle)**



**Ric 2**



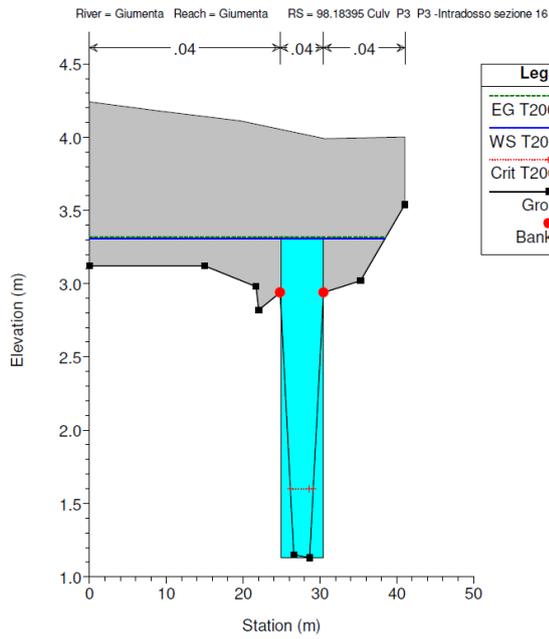
**Ric 3**

**RAPPORTO**

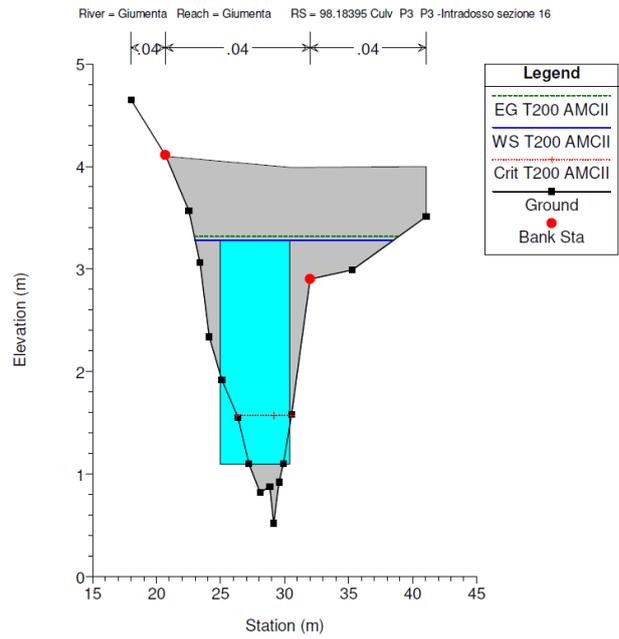
**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

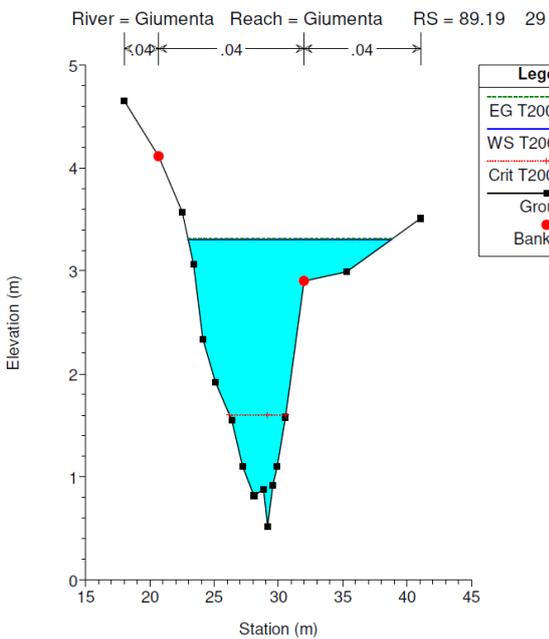
**C0012465**



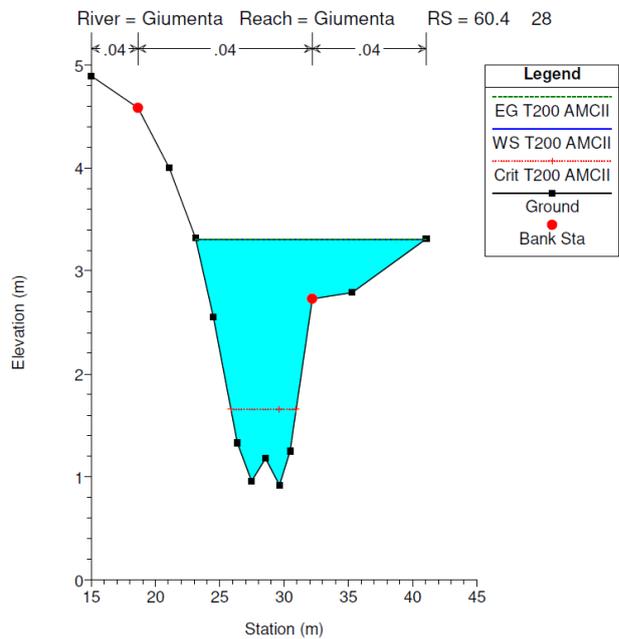
**P3 (monte)**



**P3 (valle)**



**Sez 29**



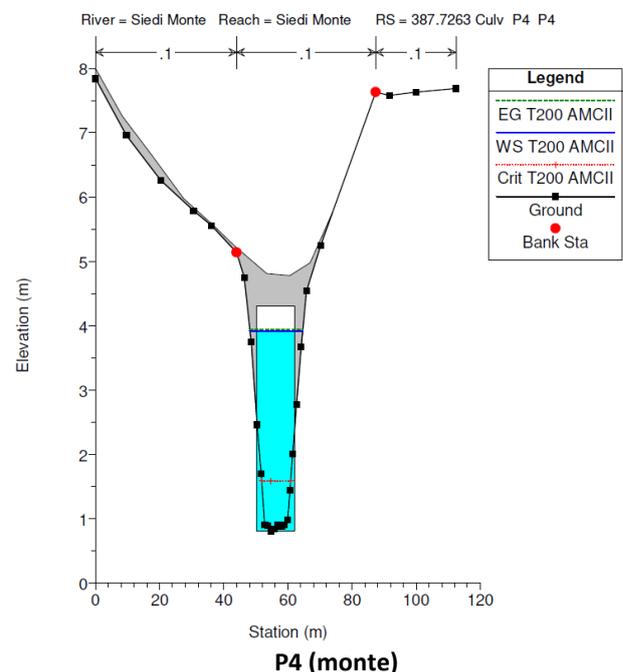
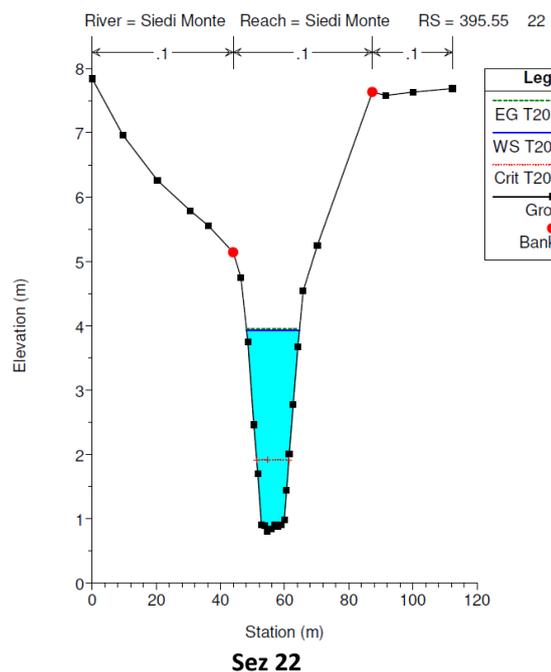
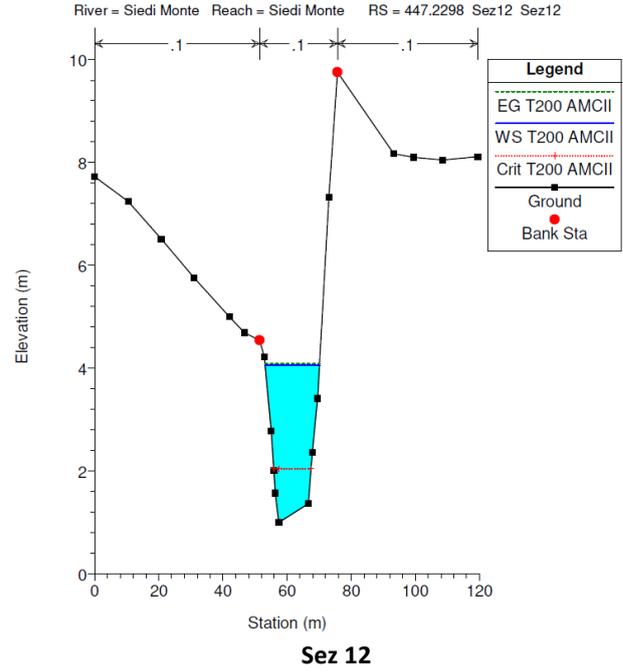
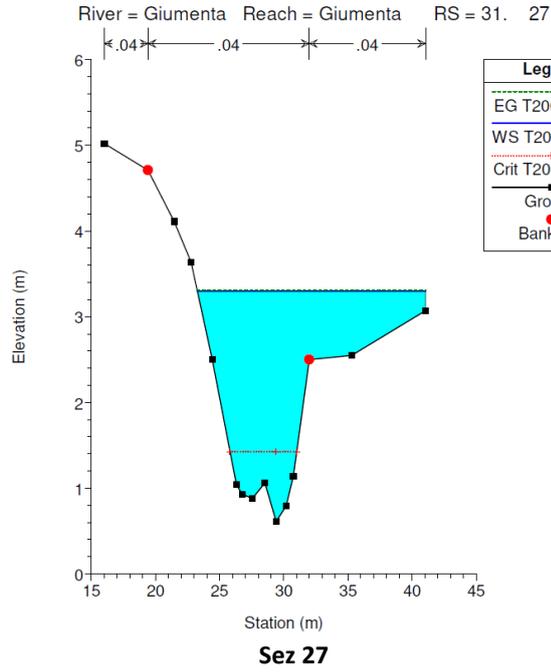
**Sez 28**

**RAPPORTO**

**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

**C0012465**

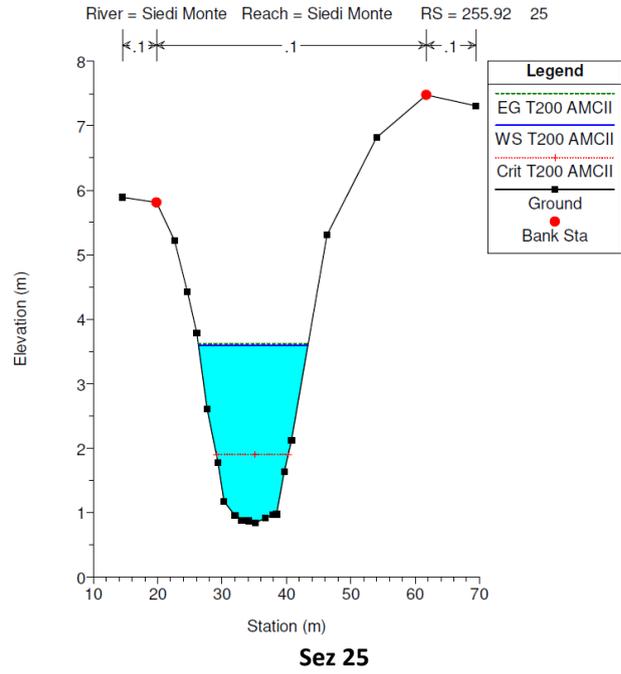
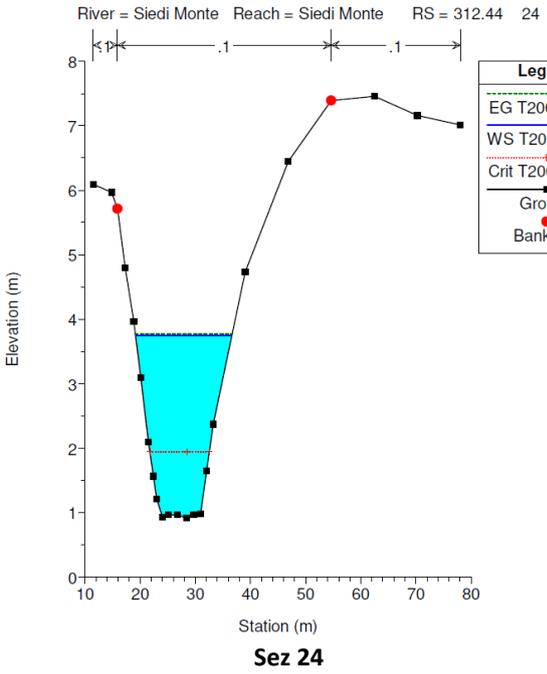
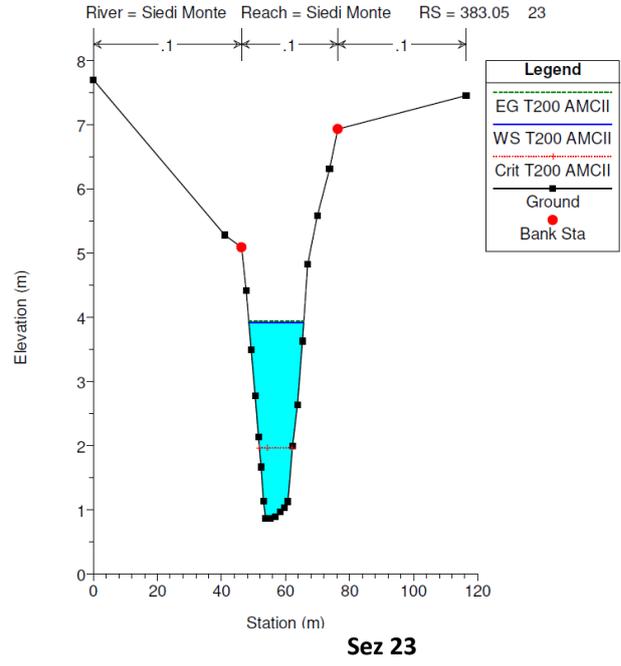
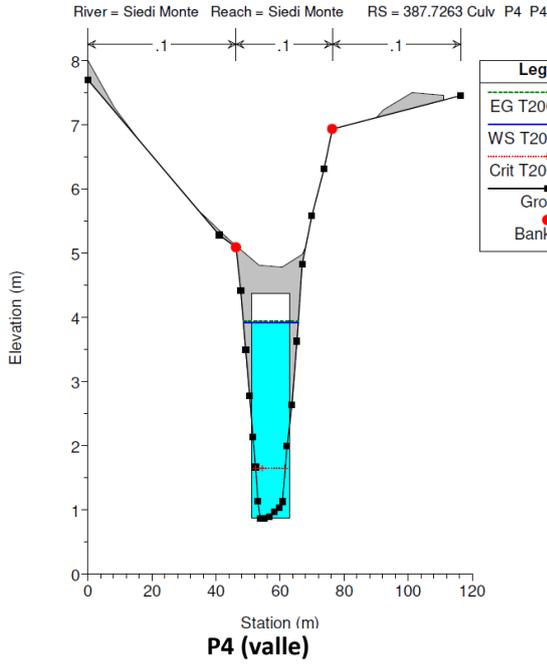


**RAPPORTO**

**USO RISERVATO**

**APPROVATO**

**C0012465**

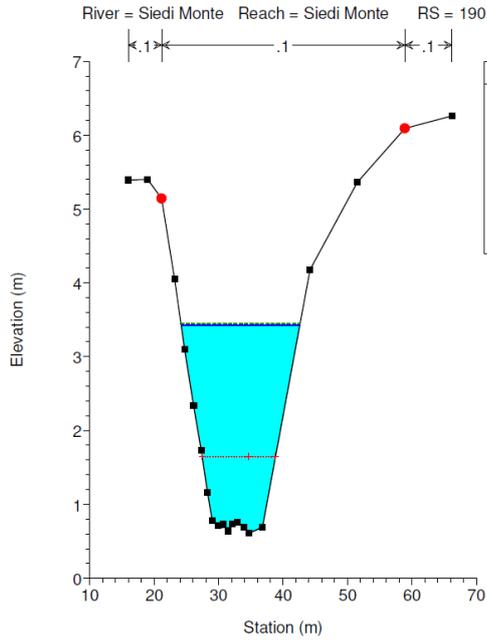


## RAPPORTO

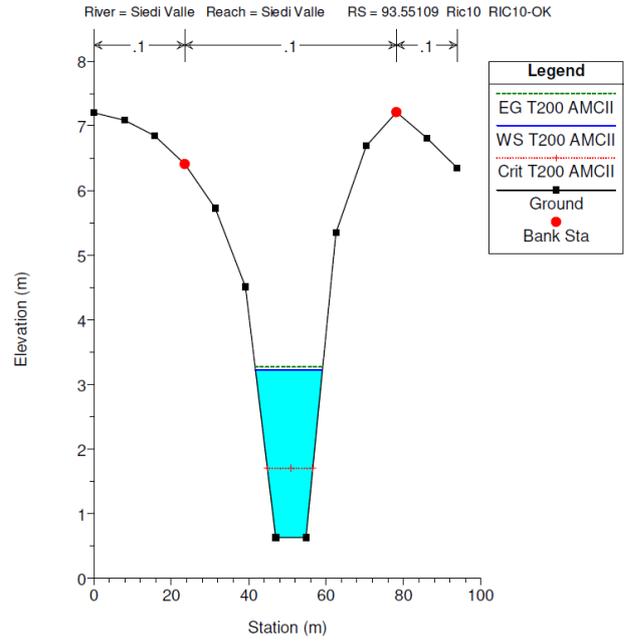
## USO RISERVATO

## APPROVATO

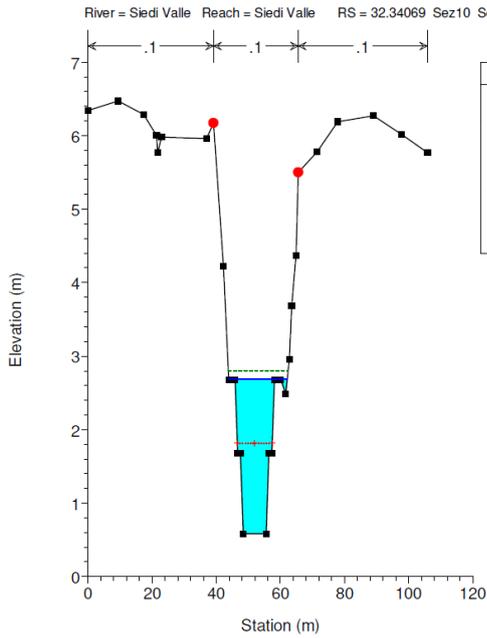
C0012465



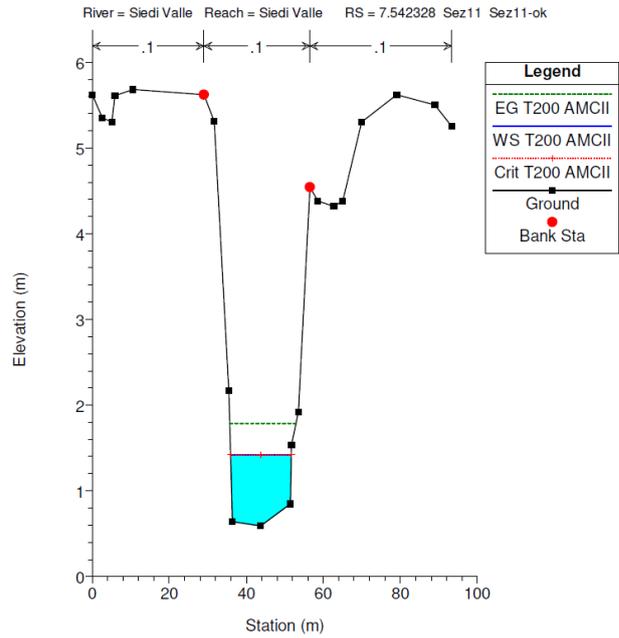
**Sez 26**



**Ric 10**



**Sez 10**



**Sez 11**