



## OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW

### STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Provincia di Nuoro – Comuni di Bolotana, Ottana, Oniferi, Orani e Nuoro

Marzo 2022

REF.: G807\_SIA\_R\_005\_Studio di compatibilità idraulica\_1-1\_REV00



GEOTECH S.r.l.

Via T. Nani, 7  
Morbegno (SO)

+39 0342 610774  
info@geotech-srl.it



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Riferimenti normativi .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E REGIME PLUVIOMETRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Regime Termo-Pluviometrico.....</b>	<b>9</b>
3.1.1. Precipitazioni medie annuali.....	10
3.1.2. Media delle temperature massime annuali.....	12
3.1.3. Media delle temperature medie annuali.....	14
3.1.4. Media delle temperature minime annuali.....	16
<b>3.2. Geologia.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Uso del suolo.....</b>	<b>20</b>
<b>4. BACINO IDROLOGICO E PORTATE DI PIENA CONSIDERATI .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Portate di piena (<i>Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso</i>) .....</b>	<b>25</b>
<b>5. MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. Equazioni alla base del tracciamento dei profili di moto permanente .....</b>	<b>28</b>
5.1.1. Equazioni per il calcolo del profilo .....	28
5.1.2. Suddivisione della sezione trasversale per il calcolo del fattore di trasporto .....	29
5.1.3. Calcolo dell'energia cinetica media della sezione .....	30
5.1.4. Calcolo delle perdite per attrito .....	31
5.1.5. Perdite di carico per espansione/contrazione della vena liquida.....	31
5.1.6. Procedure computazionale.....	32
5.1.7. Calcolo dell'altezza di stato critico.....	33
5.1.8. Applicazione dell'equazione di equilibrio globale .....	34
5.1.9. Sovralzo generato dai flussi turbolenti per ingresso d'aria .....	36
5.1.10. Limitazioni del modello 1D stazionario.....	36
<b>5.2. Inserimento della geometria dell'alveo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3. Coefficienti per la stima delle perdite energetiche .....</b>	<b>39</b>
5.3.1. Coefficiente di scabrezza .....	39
5.3.2. Coefficienti di contrazione/espansione .....	41
5.3.3. Perdite di carico .....	42
<b>5.4. Inserimento attraversamenti .....</b>	<b>43</b>
<b>5.5. Ricostruzione geometria modello 1D in moto uniforme e condizioni al contorno .....</b>	<b>45</b>

 <b>edp renewables</b>	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO          ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA          FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

<b>6. RISULTATI MODELLO 1D IN MOTO PERMANENTE (ANTE E POST OPERAM) .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1. Tempo di ritorno di 100 anni.....</b>	<b>47</b>
<b>6.2. Tempo di ritorno di 200 anni.....</b>	<b>54</b>
<b>6.3. Condizioni Post-opera .....</b>	<b>61</b>
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>72</b>

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

## 1. PREMESSA

La società EDP RENEWABLES ITALIA HOLDING SRL (di seguito EDPR), intende realizzare in Sardegna un Parco Eolico da 90 MW e connetterlo alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) tramite una serie di opere di rete che risultano propedeutiche alla realizzazione del parco stesso.

La presente Relazione di Compatibilità Idraulica (o Studio di Compatibilità Idraulica), a supporto del progetto denominato **“Opere di rete propedeutiche al collegamento alla RTN di un impianto di generazione da fonte eolica da 78 MW”**, è stata redatta con lo scopo di verificare la coerenza dell’impianto in progetto con le finalità dettate dall’art. 23 e dall’art. 24 delle norme di attuazione del PAI e, in particolare, di dimostrare che l’intervento sottoposto all’approvazione è stato progettato rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente, senza però precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio.

Per le portate di piena di riferimento verranno considerati i valori indicati nella Relazione Monografica di Bacino Idrografico relativi al sub bacino del Fiume Tirso redatta dall’Autorità di Bacino della Regione Autonoma della Sardegna contenuta nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali aggiornato al 17 dicembre 2015. In particolare, dopo un approfondito studio del bacino idrografico, si utilizzerà il tempo di ritorno di 100 anni e 200 anni per la simulazione idraulica di propagazione della piena.

### 1.1. RIFERIMENTI NOMATIVI

Di seguito si riportano i riferimenti normativi:

- ✓ Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) Interventi sulla rete idrografica e sui versanti Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 54 in data 11 marzo 2005. Norme di attuazione INDIRIZZI INTERPRETATIVI E PROCEDURALI RELATIVI ALLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) – Autorità di Bacino della Regione Sardegna.
- ✓ Relazione Monografica di Bacino Idrografico – Fiume Tirso redatta dalla Regione Autonoma della Sardegna contenuta nel documento “STUDI, INDAGINI, ELABORAZIONI ATTINENTI ALL’INGEGNERIA INTEGRATA, NECESSARI ALLA REDAZIONE DELLO STUDIO DENOMINATO PROGETTO DI PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF)” – Autorità di Bacino della Regione Sardegna

## 2. INTRODUZIONE

Il Parco Eolico sarà ubicato in Comune di Nuoro in Provincia di Nuoro in località "Su Cuccuru", mentre le opere di connessione di rete propedeutiche al suo collegamento alla RTN, ovvero l'oggetto di studio del presente progetto, attraversano cinque comuni della Provincia di Nuoro: Bolotana, Nuoro, Oniferi, Orani e Ottana.

L'area di studio si trova in corrispondenza del tratto che costeggia e attraversa il Fiume Tirso, nella porzione nord-occidentale del comune di Ottana, al confine con il Comune di Bolotana. Il manufatto oggetto di verifica è il sostegno n. 1 del nuovo elettrodotto aereo a 150 kV in progetto per il collegamento tra la futura Stazione Elettrica di Ottana2 (sezione a 150 kV – opera in carico ad altro produttore) e la futura Stazione Elettrica di smistamento di Nuoro che si sviluppa per un totale di 27,25 km con la realizzazione di 79 sostegni.

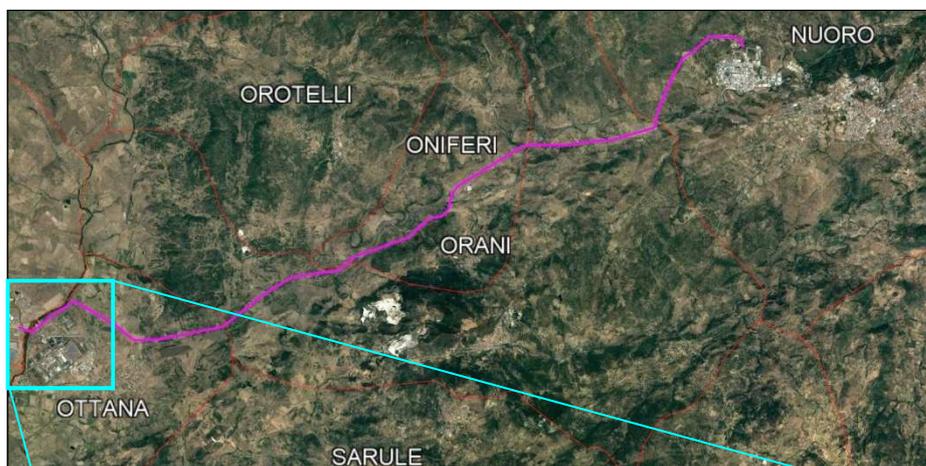


Figura 1. Schema intervento 1 – Estratto Google Earth

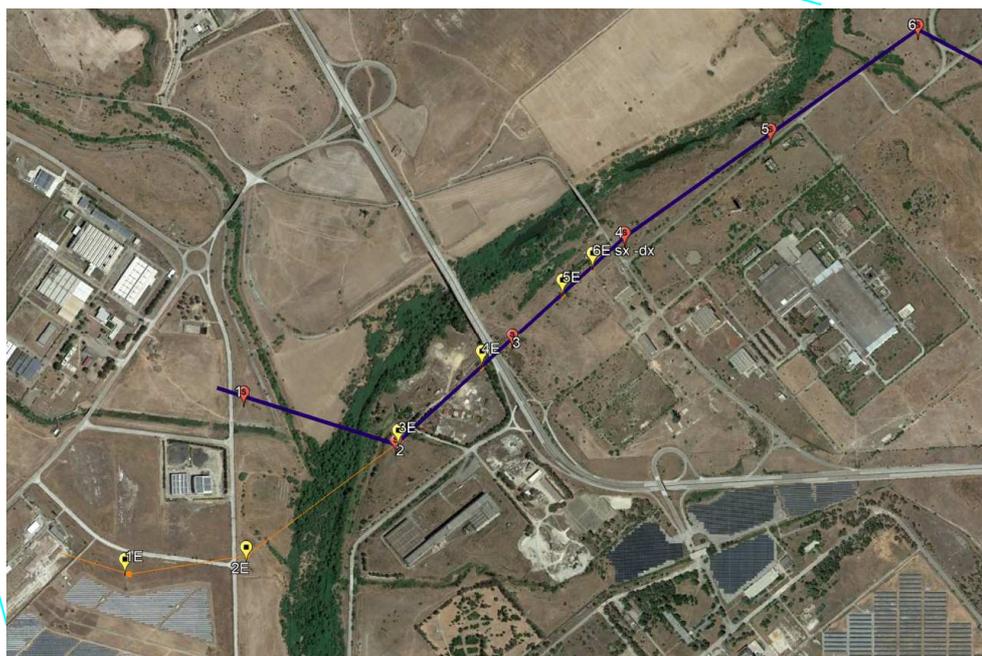


Figura 2. Area di Verifica elettrodotto aereo "SE Ottana 2 – SSE Nuoro" – Estratto Google Earth

Più precisamente, la verifica di compatibilità idraulica dell'intervento proposto sarà predisposta in linea con i criteri e le disposizioni illustrate dalle norme del PAI, solo per il sostegno n.1 in quanto, a seguito del più recente studio del PGRA ricade in area di "pericolosità idraulica molto alta" mentre i successivi sostegni risultano situati in aree a "pericolosità idraulica bassa" o prossime ad esse, per la quale non è richiesta alcuna verifica.

### Dinamica geomorfologica (PAI)

#### VINCOLO IDROGEOLOGICO AI SENSI DEL R.D.L. 3267/1923

 Zone sottoposte a vincolo idrogeologico (R.D.L. 3267/23)

#### PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

 Corsi d'acqua PAI - identificati in DELIBERAZIONE N. 3 DEL 30.07.2015 Art.3

#### PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA 2017)

#### Pericolosità idraulica (Hi max)

-  Hi1 - Aree a pericolosità idraulica bassa
-  Hi2 - Aree a pericolosità idraulica moderata
-  Hi3 - Aree a pericolosità idraulica alta
-  Hi4 - Aree a pericolosità idraulica molto alta

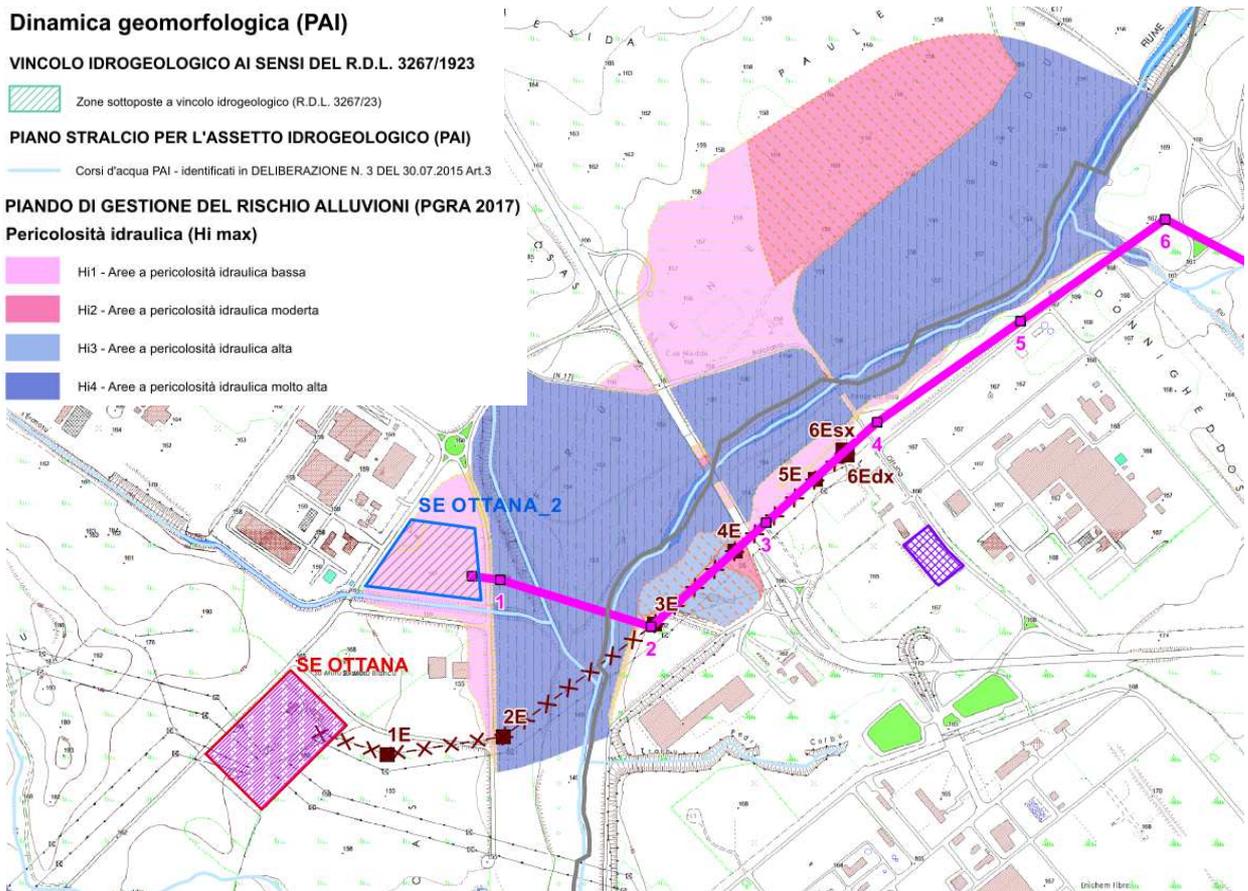


Figura 3. Estratto Carta della dinamica geomorfologica (PAI) dell'Area di Verifica

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E REGIME PLUVIOMETRICO

Il bacino del fiume Tirso ricopre un'area di 3382.5 km<sup>2</sup>. In Tabella 1 vengono riportate le principali caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino mentre in Figura 4 è rappresentata la delimitazione del bacino.



Figura 4. Estratto Bacino Fiume Tirso (Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)

Facendo riferimento all'analisi idrologica condotta da ARPAS nel 2018 si ricava che la lunghezza dell'asta principale è pari a 148.9 km, la quota media del bacino è 477 m s.l.m., mentre il tempo di corrivazione del bacino, calcolato con la formula di Giandotti, è pari a circa 26 ore. Infine, il Curve Number (CN) medio del bacino è pari a 70.96, valore tipico di un bacino moderatamente impermeabile (ottenuto dalla mappa del CN del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali). Queste caratteristiche, riportate nella tabella seguente, sono riferite all'intero bacino idrografico del Tirso, il cui spartiacque topografico è evidenziato in rosso nella figura precedente, con sezione di chiusura posta in corrispondenza della foce.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

Area	3382.5 km <sup>2</sup>
Lunghezza asta principale	148.9 km
Quota media del bacino	477 m s.l.m.
Quota massima	1792 m s.l.m.
Quota foce	0 m s.l.m.
Pendenza media del bacino	14.14 %
Tempo di corrivazione	26 h e 6'
CN	70.96

*Tabella 1. Caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino idrografico del Fiume Tirso  
(Analisi Idrometrica Bacino Fiume Tirso - ARPAS)*

In Figura 5 è illustrata la posizione delle stazioni termo-pluviometriche ARPAS distribuite sul territorio regionale della Sardegna e in Figura 4 è rappresentato il modello digitale delle elevazioni (DTM) con risoluzione spaziale 10 m.

Per una valutazione ottimale della compatibilità idraulica è opportuno studiare il bacino idrografico partendo inizialmente dalla sua interezza per poi focalizzarsi sulla sua porzione comprendente il tratto di corso d'acqua d'interesse e tutto ciò che si trova a monte di esso, ponendo la sezione di chiusura in corrispondenza della sezione dell'alveo poco più valle rispetto al primo sostegno dell'elettrodotto oggetto di verifica.

Pertanto andranno studiati nel dettaglio i seguenti aspetti territoriali e ambientali:

- ✓ Regime Termo-Pluviometrico;
- ✓ Geologia;
- ✓ Uso del suolo;



### 3.1.1. Precipitazioni medie annuali

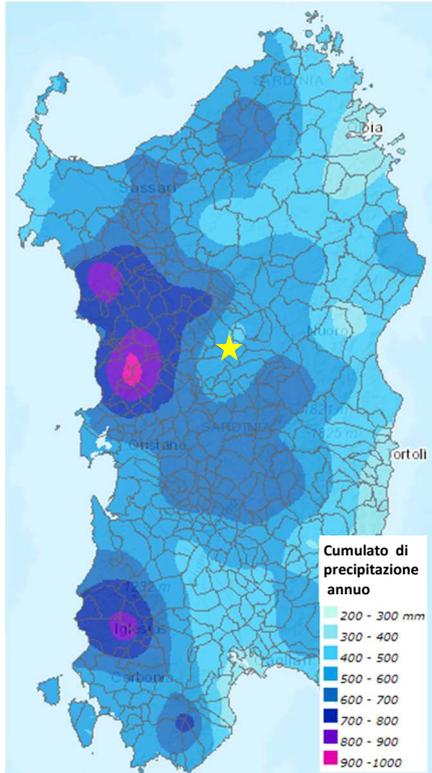


Figura 6. Precipitazione media annua 2014 (ARPAS)

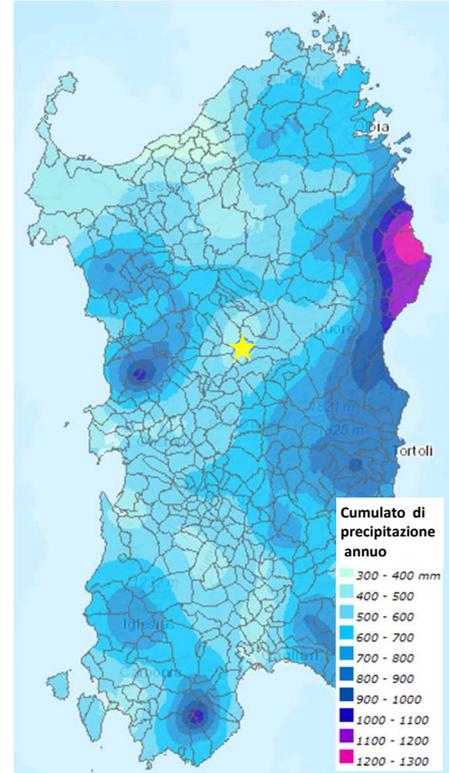


Figura 7. Precipitazione media annua 2015 (ARPAS)

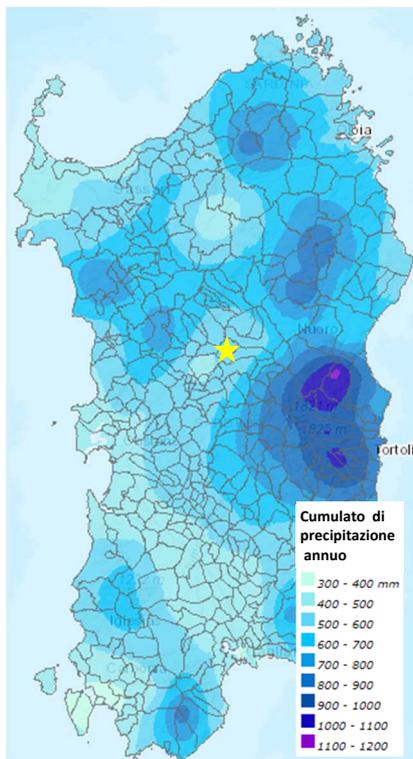


Figura 8. Precipitazione media annua 2016 (ARPAS)

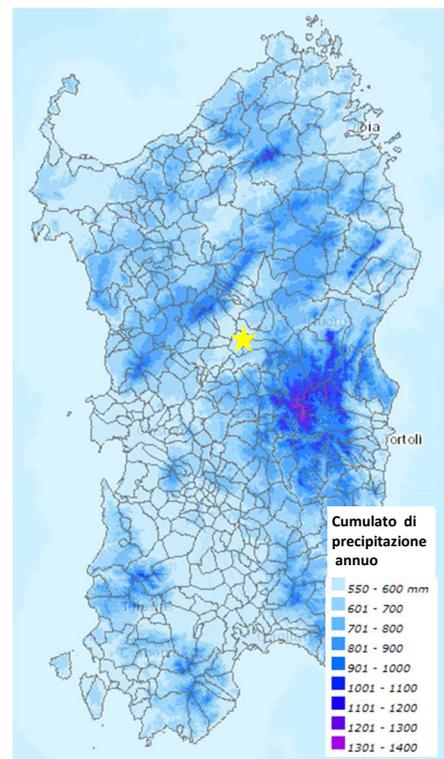


Figura 9. Precipitazione media annua 1971-2000 (ARPAS)



	Anno			Periodo
	2016	2015	2014	1970-2000
P [mm]	600	500	600	600

Tabella 2. Precipitazione annua registrata nella stazione di Ottana (ARPAS)

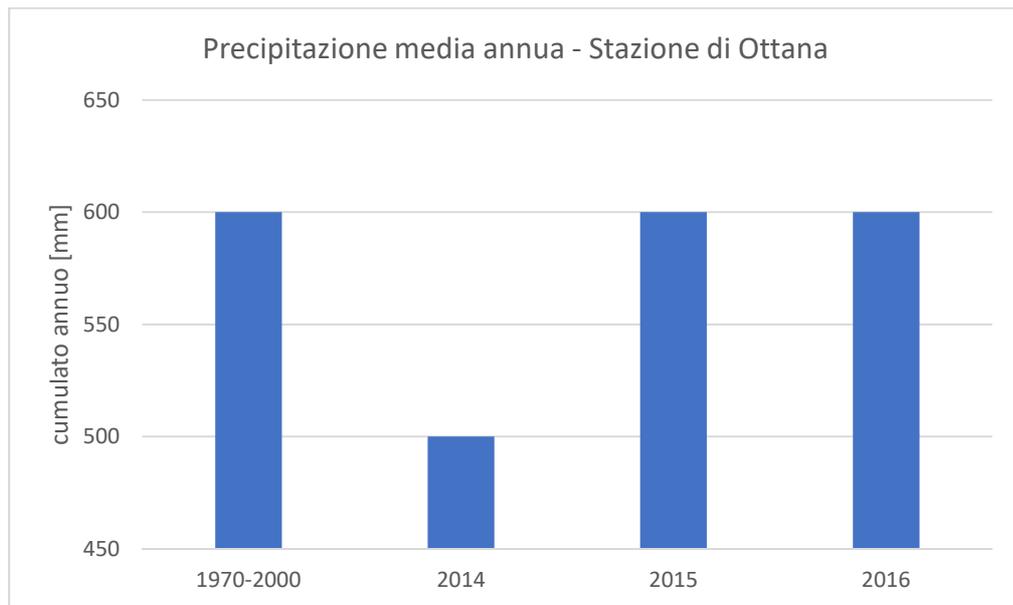


Figura 10. Istogramma delle precipitazioni medie annuali registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

### 3.1.2. Media delle temperature massime annuali

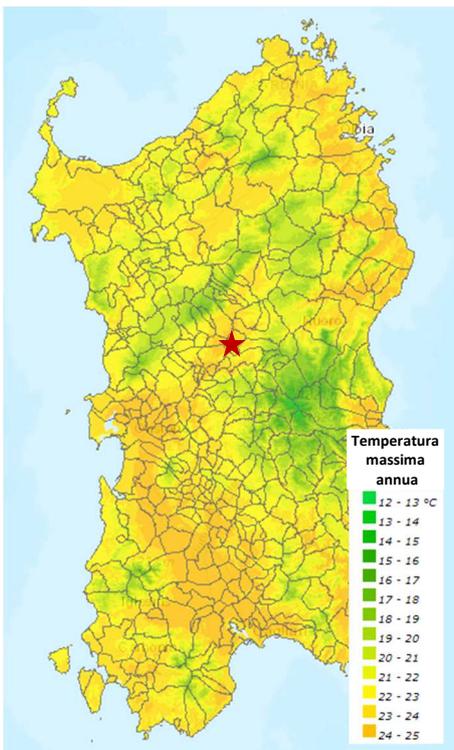


Figura 11. Temperatura massima annua 2014 (ARPAS)

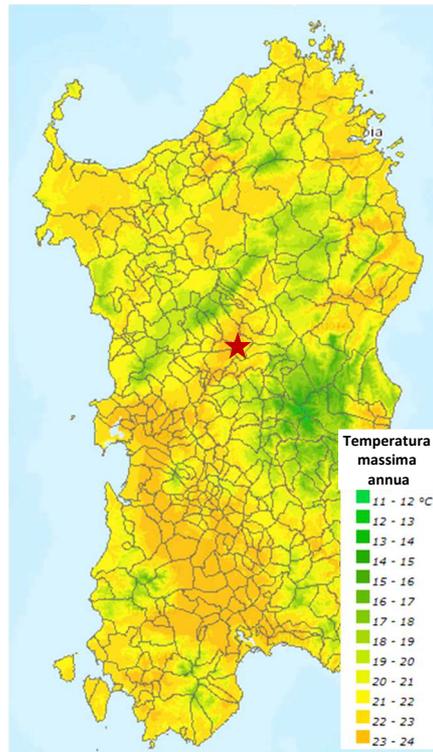


Figura 12. Temperatura massima annua 2015 (ARPAS)

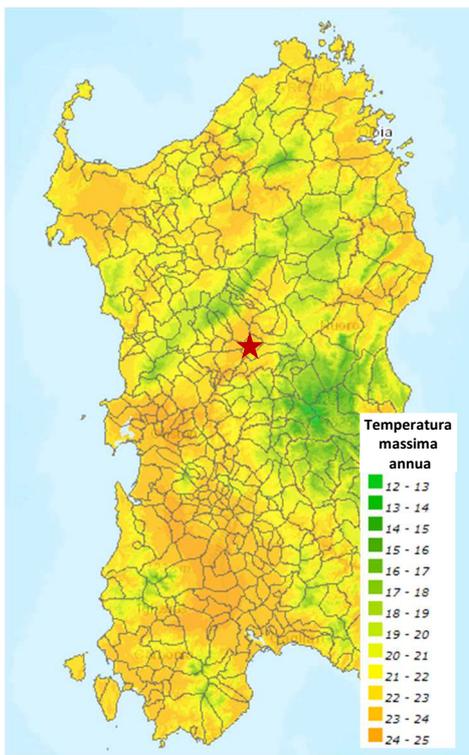


Figura 13. Temperatura massima annua 2016 (ARPAS)

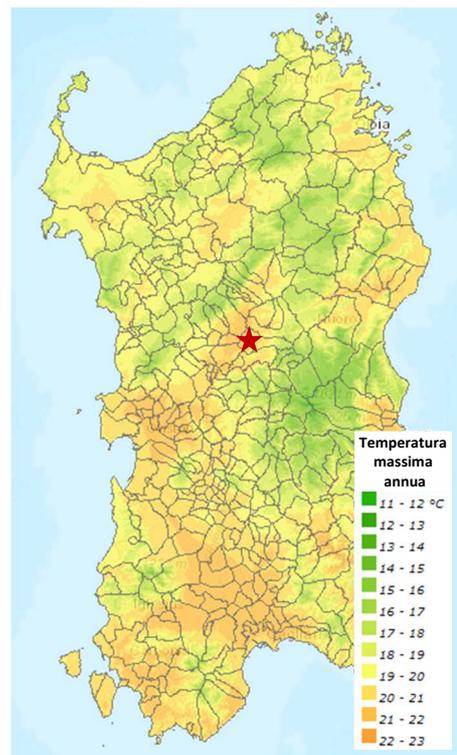


Figura 14. Temperatura massima annua 1971-2000 (ARPAS)

	Anno			Periodo
	2016	2015	2014	1970-2000
$T_{max}$ [°C]	24	24	24	22

Tabella 3. Temperature massime annue registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

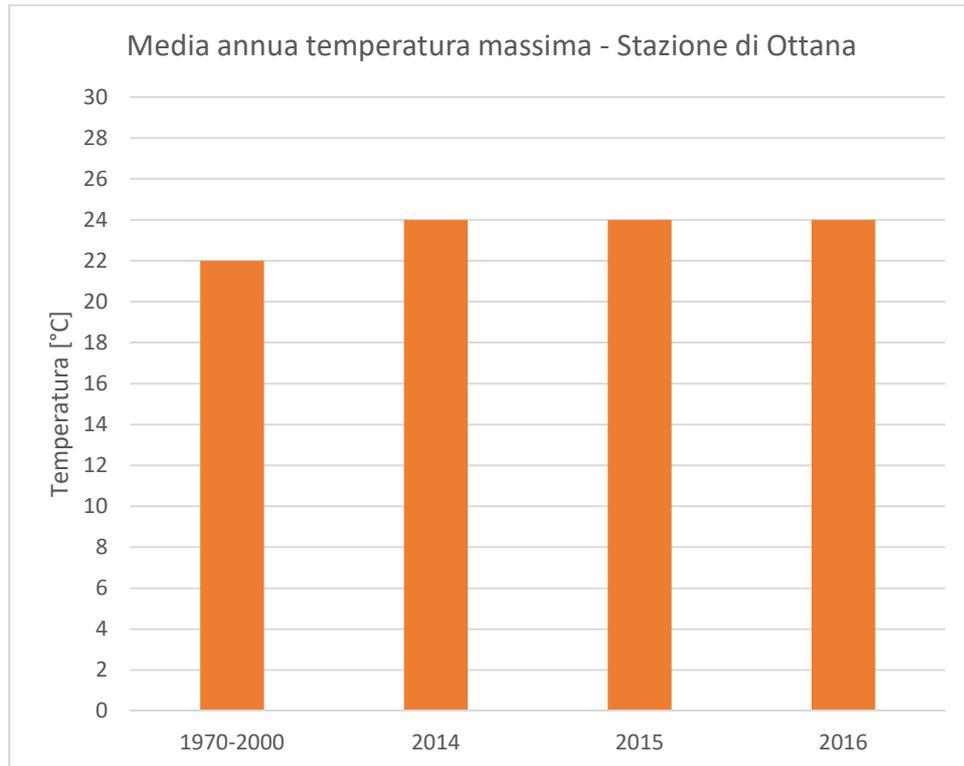


Figura 15. Istogramma delle medie annuali delle temperature massime registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

### 3.1.3. Media delle temperature medie annuali

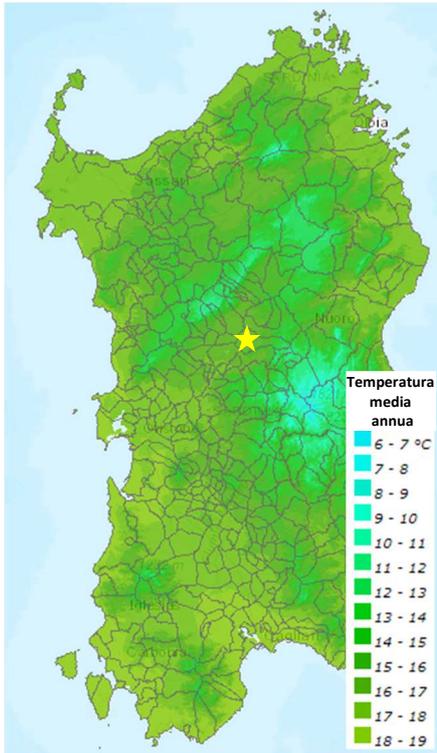


Figura 16. Temperatura media annua 2014 (ARPAS)

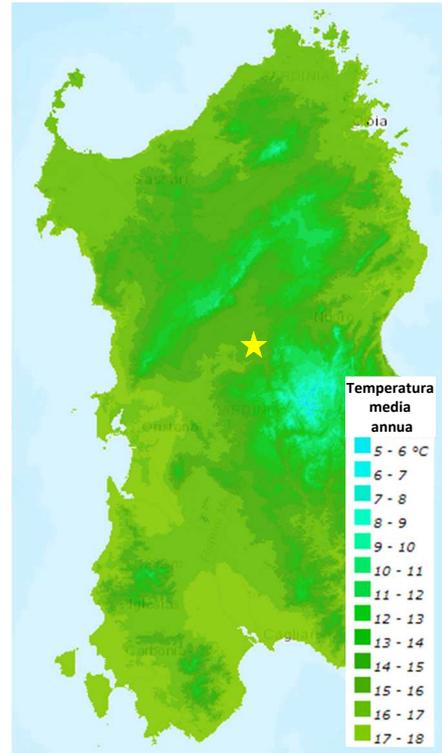


Figura 17. Temperatura media annua 2015 (ARPAS)

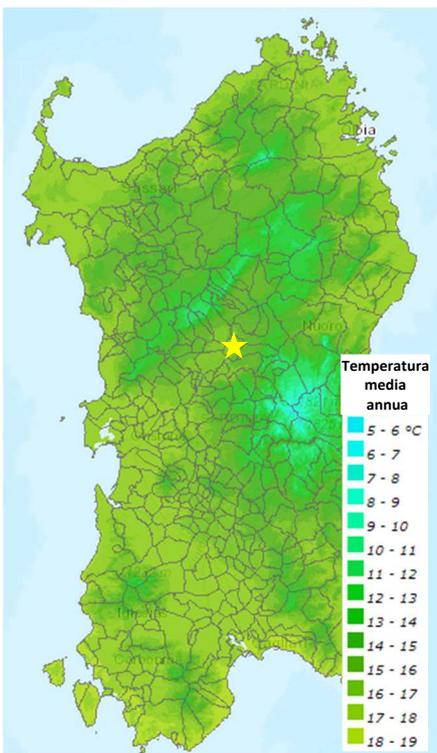


Figura 18. Temperatura media annua 2016 (ARPAS)

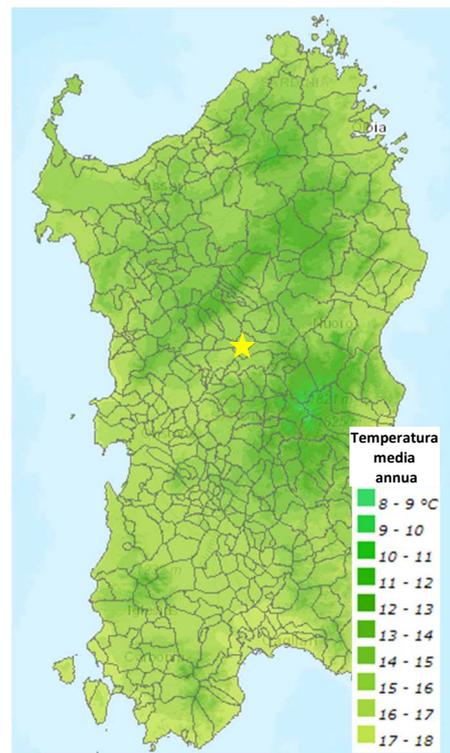


Figura 19. Temperatura media annua 1971-2000 (ARPAS)

	Anno			Periodo
	2016	2015	2014	1970-2000
T <sub>med</sub> [mm]	16	16	16	16

Tabella 4. Temperature medie annue registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

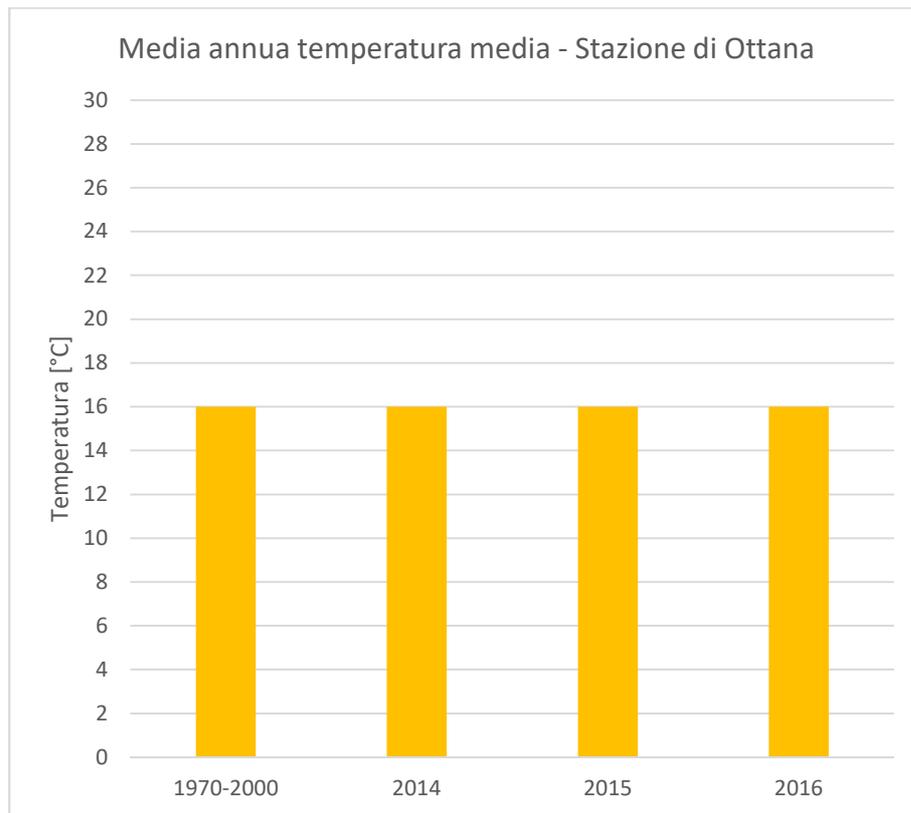


Figura 20. Istogramma delle medie annuali delle temperature medie registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

### 3.1.4. Media delle temperature minime annuali

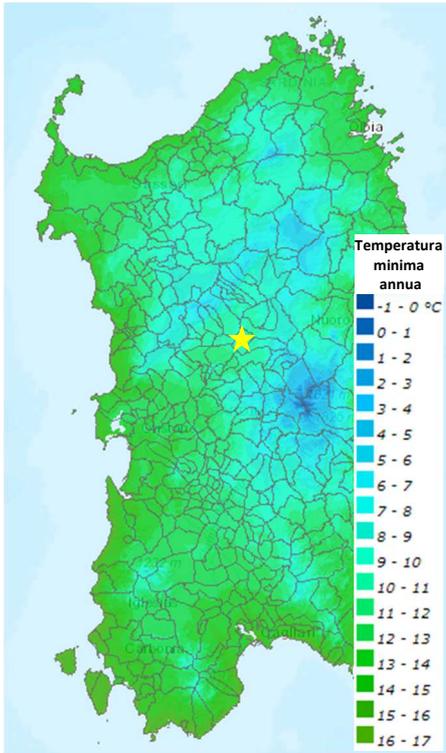


Figura 21. Temperatura minima annua 2014 (ARPAS)

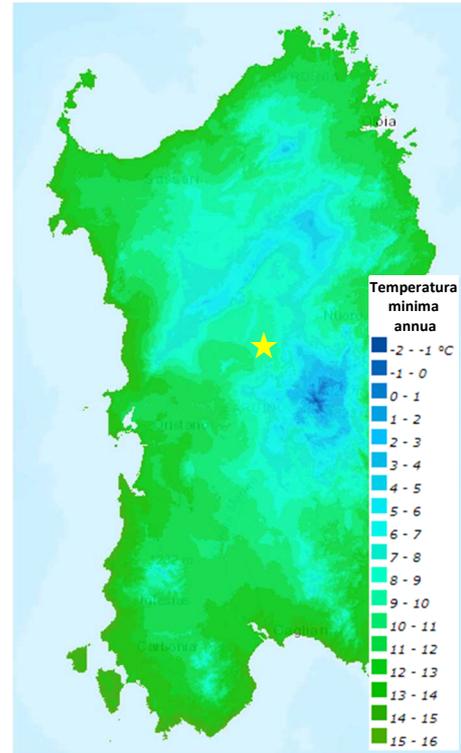


Figura 22. Temperatura minima annua 2015 (ARPAS)

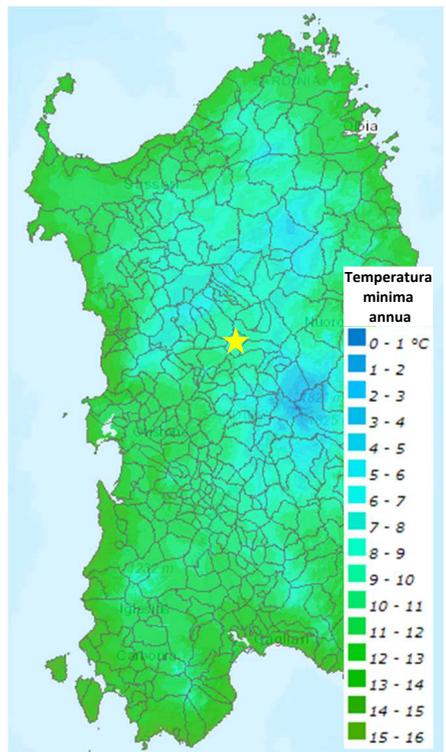


Figura 23. Temperatura minima annua 2016 (ARPAS)

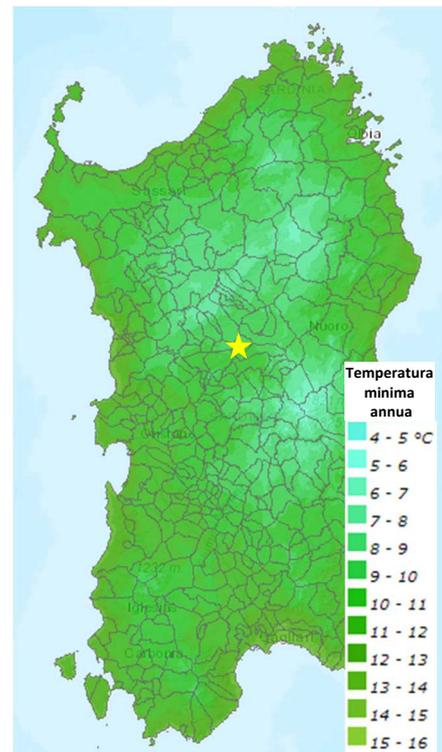


Figura 24. Temperatura minima annua 1971-2000 (ARPAS)



	Anno			Periodo
	2016	2015	2014	1970-2000
T <sub>min</sub> [°C]	9	9	9	10

Tabella 5. Temperature minime annue registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

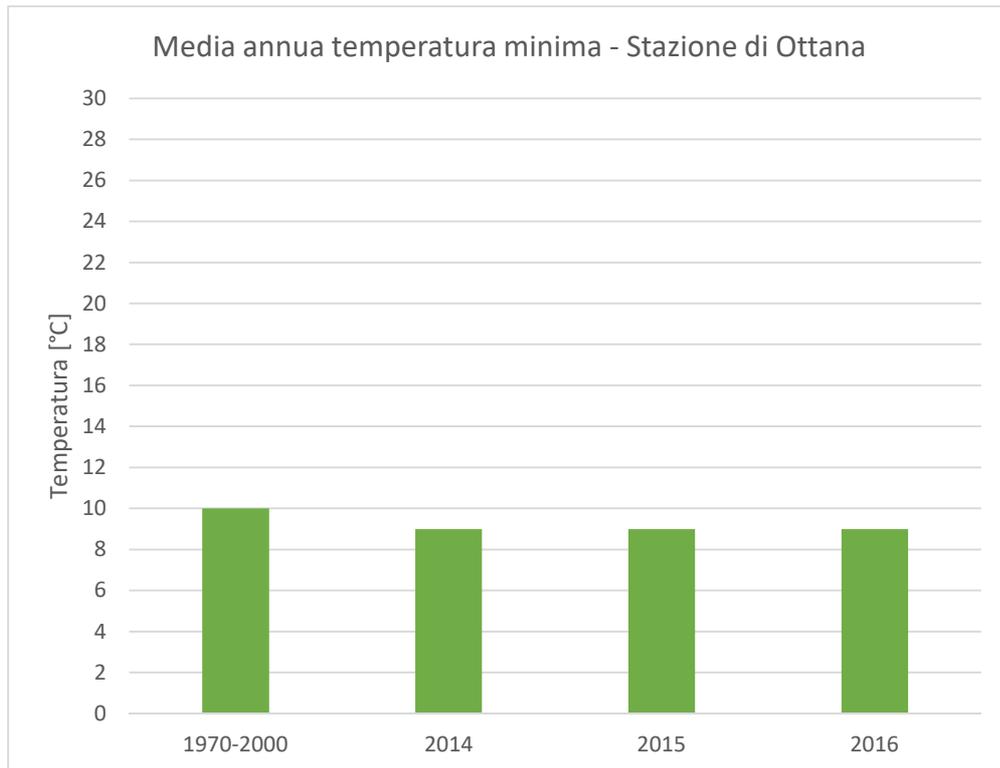


Figura 25. Istogramma delle medie annuali delle temperature minime registrate nella stazione di Ottana (ARPAS)

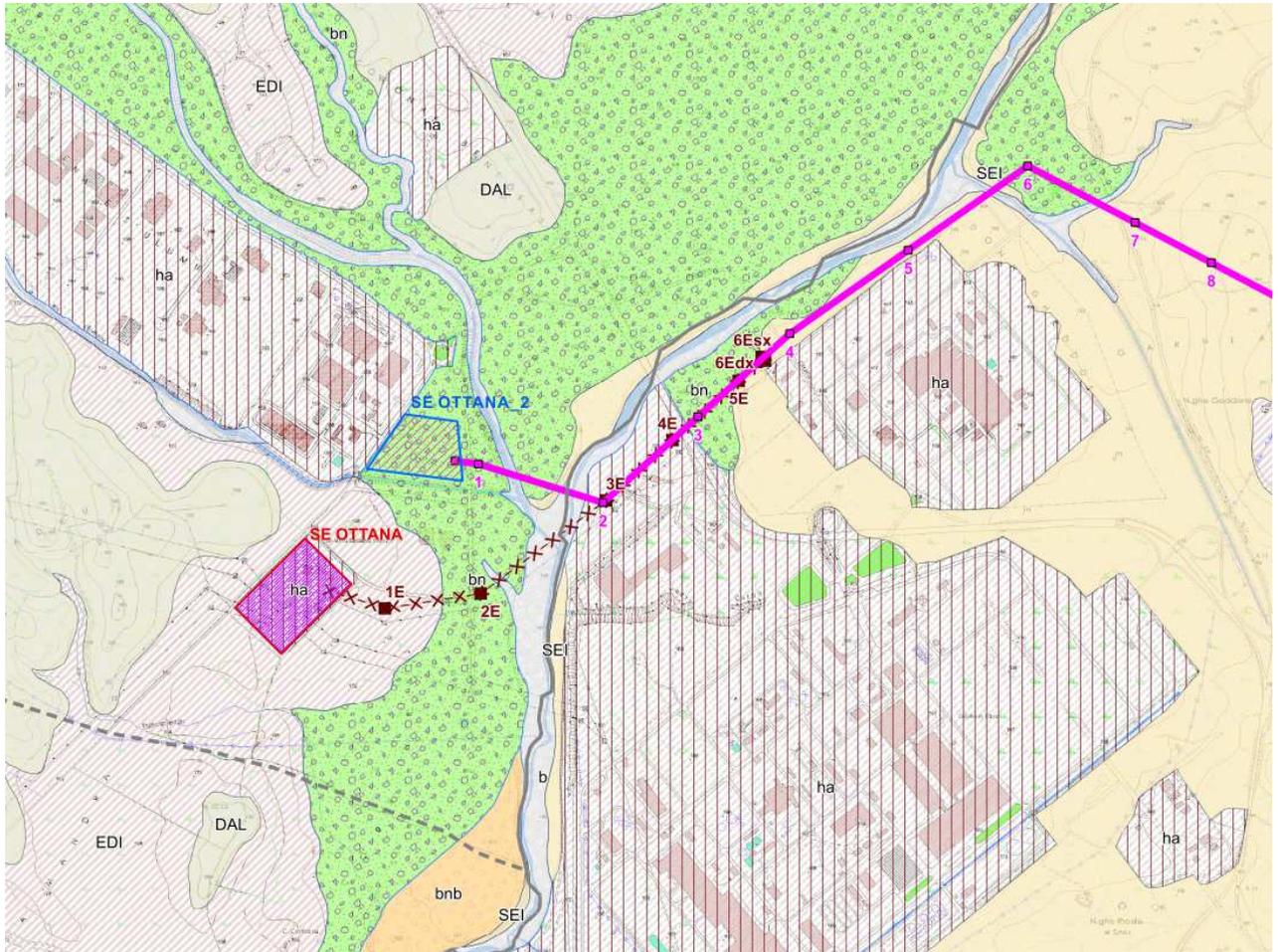
### 3.2. GEOLOGIA

Consultando il viewer cartografico del Geoportale della Regione Sardegna (SardegnaMappe) è possibile sovrapporre i layer di interesse che riguardano i vincoli geologici, le classi di fattibilità geologiche, le fasce di rispetto dai corsi d'acqua alla cartografia di base (Ortofotocarta).

Concentrandosi sull'Area di Verifica in esame, riportata nella figura sottostante, le mappe che si ottengono sono riportate di seguito:

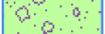
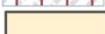


Figura 26. Area di Verifica, estratta dal Geoportale cartografico della Sardegna



**Legenda:**

**LITOLOGIA**

-  Depositi alluvionali terrazzati
-  Depositi antropici. Manufatti antropici
-  Filoni e ammassi di micrograniti
-  UNITÀ DI SEDILO. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riodacitico, pomiceo-cineritici, debolmente saldati, spesso argillificati, ricchi in pomici, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Qtz. (K/Ar 19,4 ± 1 Ma: Lecca et alii,

**OPERE IN PROGETTO**

-  Elettrodotto aereo a 150 kV "SE Ottana 2 - SSE Nuoro"
-  Sostegni in progetto - "SE Ottana 2 - SSE Nuoro"
-  Demolizione tratto di collegamento aereo AT 220 kV "Ottana - Siron sx" codice linea T.114
-  Sostegni da demolire - "Ottana - Siron sx"
-  Stazioni in progetto (opere espulse dal presente progetto)
-  Area nuova SE 220/150 kV "Ottana 2" - in carico ad altro produttore

Figura 27. Estratto carta geologica-litologica dell'Area di Verifica

Si nota come gran parte dell'area oggetto della presente relazione sia caratterizzata da un'ampia zona industriale e da depositi alluvionali terrazzati oltre che da filoni e ammassi microgranitici.

In particolare si nota come gran parte del territorio oggetto dell'intervento ricada in classe di fattibilità geologica 3 e 4:

- ✓ Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni (escluse le aree in dissesto);
- ✓ Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni;

### 3.3. USO DEL SUOLO



#### Legenda:

##### OPERE IN PROGETTO

 Elettrodotto aereo a 150 kV "SE Ottana 2 - SSE Nuoro"

 Sostegni in progetto - "SE Ottana 2- SSE Nuoro"

Stazioni in progetto (opere escluse dal presente progetto)

 Area nuova SE 220/150 kV "Ottana 2" - in carico ad altro produttore

 Demolizione tratto di collegamento aereo AT 220 kV "Ottana - Siron sx" codice linea T.114

 Sostegni da demolire - "Ottana - Siron sx"

##### USO DEL SUOLO

 1.1	Zone urbanizzate	 2.0.1	Prati Stabili
 1.2	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	 2.4.4	Area agroforestali
 1.3	Zone estrattive, discariche e cantieri	 3.1.1	Boschi di latifoglie
 1.4	Zone verdi artificiali non agricole	 3.1.2	Boschi di conifere
 2.1.1	Seminativi in aree non irrigue	 3.1.3	Boschi misti di conifere e latifoglie
 2.1.2	Seminativi in aree irrigue	 3.2.1	Area a pascolo naturale
 2.2.1	Vigneti	 3.2.2	Cespuglieti e arbusteti
 2.2.2	Frutteti e frutti minori	 3.2.3	Area a vegetazione sclerofilla
 2.2.3	Oliveti	 3.2.4	Area a vegetazione arborea e arbustiva in evoluzione
 2.4.1	Culture temporanee associate a colture permanenti	 3.3.3	Area con vegetazione rada
 2.4.2	Sistemi culturali e particellari complessi	 5	Corpi idrici
 2.4.3	Area prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti		

Figura 28. Estratto carta uso del suolo dell'Area di Verifica

 edp renewables	OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW Studio di compatibilità idraulica	Marzo 2022
---	--	------------

Si nota come gran parte dell'area oggetto di studio sia caratterizzata da insediamenti industriali circondati da seminativi in aree non irrigue e boschi di latifoglie, nonché da aree destinate al pascolo naturale.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

#### 4. BACINO IDROLOGICO E PORTATE DI PIENA CONSIDERATI

L'asta del Fiume Tirso è già stata studiata approfonditamente dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, che ha implementato un modello idraulico per la definizione delle aree esondabili e delle mappe di rischio riportate nel piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF).

Siccome non sono presenti dei misuratori di portata in una sezione del corso d'acqua prossima a quella oggetto dello studio, si è deciso di prendere come riferimento il valore delle portate di piena, calcolate dalla Regione Autonoma della Sardegna (assessorato dei Lavori Pubblici) nel documento allegato al PSFF denominato: "Relazione monografica di bacino idrografico – Fiume Tirso – Sub bacino 02 Tirso".

In particolare si prenderà come riferimento i valori di portata per diversi tempi di ritorno individuando una sezione del corso d'acqua a valle di quella oggetto dell'intervento in prossimità del sostegno 1 fuori dalla stazione di Ottana.

Consultando la cartografia e i documenti allegati al PSFF si evince come il bacino idrografico sia stato suddiviso in 16 sottobacini (A-R) procedendo da monte verso valle:

Sezione	Area [km <sup>2</sup> ]	Q(T2) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T50) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T100) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T200) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T500) [m <sup>3</sup> /s]
A	175,8	55	376	456	537	641
B	209,4	65	442	536	630	754
C	235,3	73	492	597	702	840
D	258,4	79	537	651	766	915
E	450,5	132	897	1.090	1.280	1.530
F	529,5	153	1.040	1.260	1.490	1.780
G	591,8	170	1.150	1.400	1.650	1.970
H	683,4	194	1.320	1.600	1.880	2.250
I	887,0	247	1.680	2.030	2.390	2.860
L	1.028,4	283	1.920	2.330	2.740	3.280
M	1.277,9	346	2.350	2.850	3.350	4.010
N	1.306,0	353	2.400	2.910	3.420	4.090
O	2.931,4	745	5.060	6.140	7.210	8.620
P	3.081,8	781	5.300	6.430	7.550	9.030
Q	3.133,5	793	5.380	6.520	7.670	9.170
R	3.336,2	840	5.700	6.910	8.130	9.720

*Tabella 6. Portate al colmo fiume Tirso per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo diretto  
(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

Considerata l'ubicazione dell'Area di Verifica, per il calcolo delle portate si prenderà come sezione di chiusura il punto L, situato poco più a valle del sostegno n.1 dell'elettrodotto oggetto di verifica come nella seguente figura indicato, in modo da considerare tutti i sottobacini a monte di esso.

In Figura 29 è illustrato il DTM 10x10m del sottobacino di riferimento per il calcolo delle portate e in Tabella 6 si riportano quindi le relative principali caratteristiche morfologiche e idrologiche.

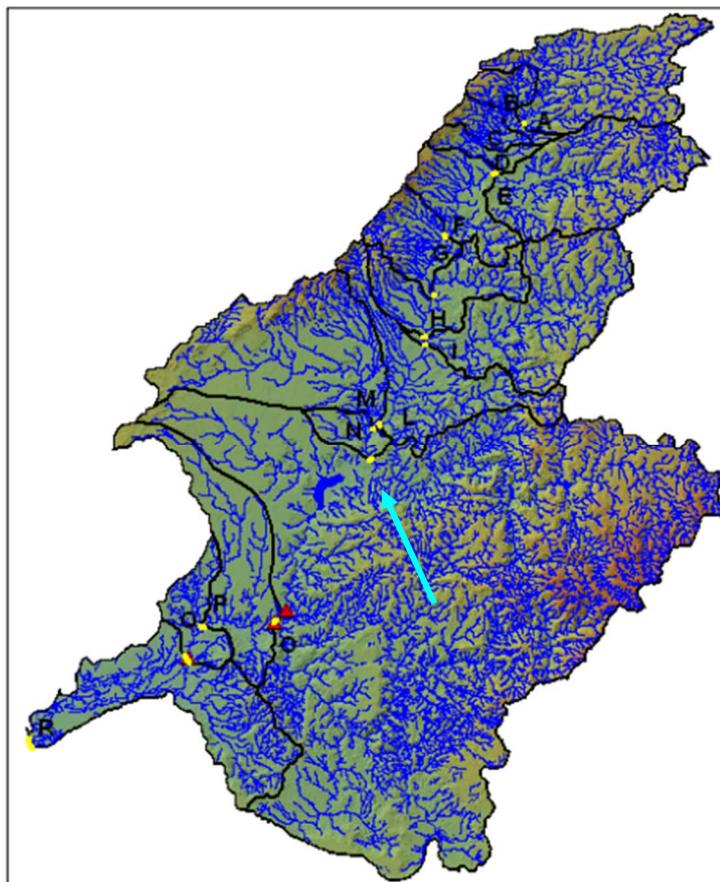


Figura 29. Stralcio sottobacini Fiume Tirso (Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)

Si riportano ora i principali parametri del bacino, funzionali al calcolo della portata di piena:

CARATTERISTICHE SOTTOBACINO IDROGRAFICO L	
DESCRIZIONE	VALORE
Area totale $A_T$ [Km <sup>2</sup> ]	1.028,4
L asta principale $L_{AP}$ [km]	72,8
Quota Max $H_{max}$ [m slm]	1.256
Quota Min $H_{min}$ [m slm]	137
Quota Media pesata $\bar{H}$	503
Pendenza media asta principale $i_L$ [m/m]	0,015
Coeff. Deflusso medio $\rho$ [/]	0,39

Tabella 7. Parametri geometrici e di permeabilità del bacino idrografico (Relazione Monografica di Bacino Idrografico).

In particolare l'Area di Verifica in cui sorge il sostegno n.1 dell'elettrodotto aereo a 150kV è situata a quota 154 m s.l.m. circa, in sponda idrografica destra, ad una distanza di circa 300 m dal Fiume Tirso e posizionato 2.200 m a monte della sezione di chiusura considerata.

Il tratto di asta interessato presenta una pendenza media pari allo 0,001% ed è caratterizzato da un alveo inciso piuttosto ampio, occupando un letto mediamente largo (90 m). Le aree golenali sono destinate quasi



interamente a coltivazioni agricole con eccezione di alcuni insediamenti industriali. Il corso d'acqua è prevalentemente naturale con abbondante presenza di vegetazione arborea.

Di seguito è riportato in figura il DTM relativo al tratto del sottobacino considerato per la modellazione.

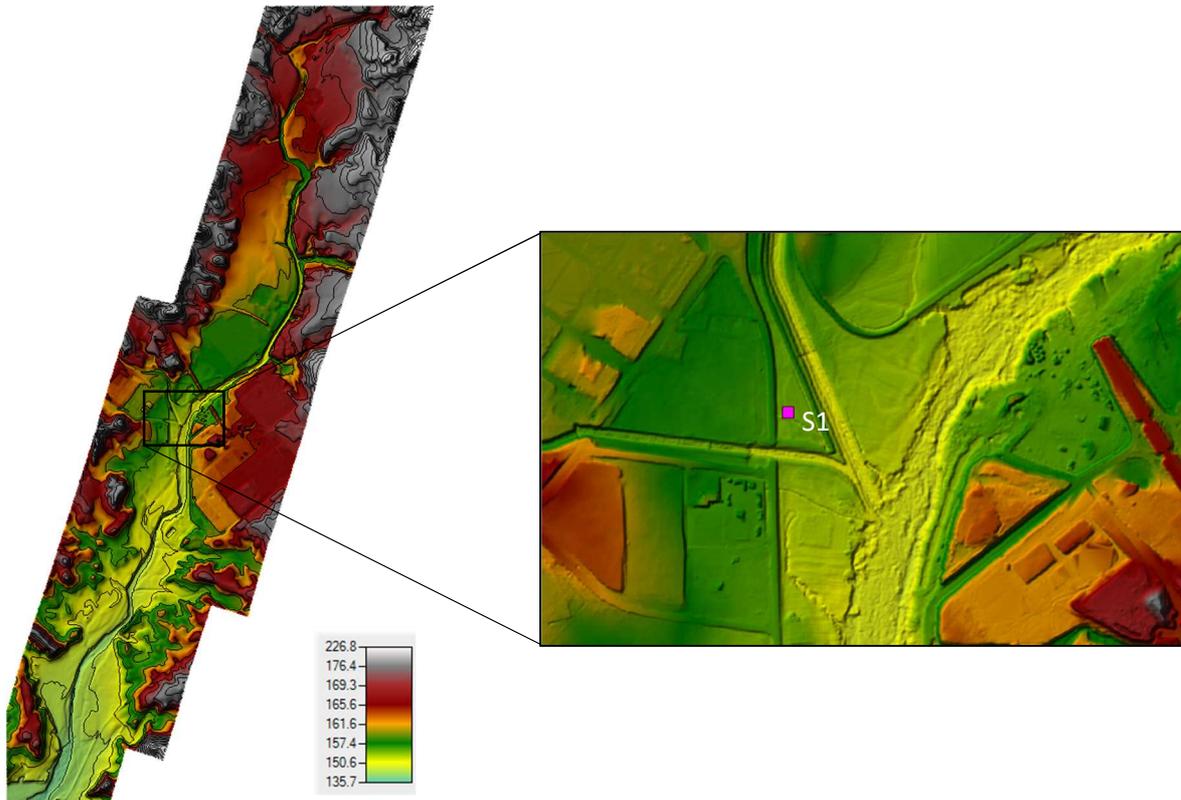


Figura 30. DTM a maglia 1x1 con curve di livello a passo 5m del tratto modellato del sottobacino Fiume Tirso con individuazione del sostegno in progetto da verificare.

 <b>edp renewables</b>	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

#### 4.1. PORTATE DI PIENA (RELAZIONE MONOGRAFICA DI BACINO IDROGRAFICO - FIUME TIRSO)

La procedura di calcolo adottata dalla Regione Autonoma della Sardegna (assessorato dei Lavori Pubblici) per la definizione delle portate di riferimento si basa sul metodo diretto, assumendo come distribuzione di probabilità delle piene la TCEV (Two Components Extreme Values). Rimandando alla Relazione Monografica di Bacino Idrografico del Fiume Tirso redatta dalla Regione Autonoma della Sardegna per un'analisi più dettagliata sulla metodologia di calcolo e sulla reperibilità ed elaborazione dei dati, si riportano di seguito i risultati ottenuti per il sottobacino oggetto del presente studio.

I parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate:

$$\Theta^* = 5,8866$$

$$\Lambda^* = 0,3938$$

*(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

Considerata la posizione del bacino, sul versante occidentale:

$$\text{Bacini occidentali} \begin{cases} \Lambda_1 = 6,6286 \\ \eta = 4,377 \end{cases}$$

*(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

Mentre i valori del coefficiente probabilistico di crescita KT per i tempi di ritorno TR di 50, 100 e 200 anni sono riportati in Tabella:

T (anni)	KT (-)
2	0,65
50	4,41
100	5,35
200	6,29
500	7,52

*Tabella 8. Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT  
(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

Parametro modale  $\varepsilon_1$ :

$$\text{Bacini occidentali} \quad \ln \varepsilon_1 = 1,1954 + 0,9235 \ln S$$

Dove S: Area complessiva del bacino del Fiume Tirso

*(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

Le portate al colmo del Fiume Tirso per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo diretto vengono di seguito riportate:

Sezione	Area [km <sup>2</sup> ]	Q(T2) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T50) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T100) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T200) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T500) [m <sup>3</sup> /s]
A	175,8	55	376	456	537	641
B	209,4	65	442	536	630	754
C	235,3	73	492	597	702	840
D	258,4	79	537	651	766	915
E	450,5	132	897	1.090	1.280	1.530
F	529,5	153	1.040	1.260	1.490	1.780
G	591,8	170	1.150	1.400	1.650	1.970
H	683,4	194	1.320	1.600	1.880	2.250
I	887,0	247	1.680	2.030	2.390	2.860
L	1.028,4	283	1.920	2.330	2.740	3.280
M	1.277,9	346	2.350	2.850	3.350	4.010
N	1.306,0	353	2.400	2.910	3.420	4.090
O	2.931,4	745	5.060	6.140	7.210	8.620
P	3.081,8	781	5.300	6.430	7.550	9.030
Q	3.133,5	793	5.380	6.520	7.670	9.170
R	3.336,2	840	5.700	6.910	8.130	9.720

*Tabella 9. Portate al colmo fiume Tirso per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo diretto  
(Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)*

Non avendo informazioni più dettagliate riguardo alle piene del fiume Tirso nel tratto considerato, il riferimento più attendibile ed aggiornato consiste nel considerare le portate di piena riportate nella tabella precedente, individuando la sezione di chiusura di valle più vicina alla posizione del sostegno oggetto di verifica.

La sezione individuata è quella denominata con la lettera "L", al quale corrisponde un bacino idrografico sotteso di area pari a 1.028,4 Km<sup>2</sup>.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

## 5. MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE DELL'AREA DI STUDIO

Per valutare la compatibilità idraulica dell'elettrodotto aereo a 150kV di collegamento tra la futura Stazione Elettrica di Ottana2 (sezione a 150 kV) e la futura Stazione Elettrica di smistamento di Nuoro in progetto e definire le aree allagabili è necessario calcolare il livello idrico raggiunto dal torrente Tirso per la piena centenaria. In particolare si vuole implementare un modello idraulico monodimensionale, suddividendo il tratto di torrente in esame in una serie di sezioni utili al tracciamento del profilo di moto permanente. Per fare ciò si ricorrerà ad un software dell'idraulica fluviale utilizzato da ricercatori e professionisti in tutto il mondo, ampiamente validato e sviluppato dall'USACE (US Army Corps of Engineers), HEC-RAS. Per definire correttamente la geometria del corso d'acqua, le opere di difesa spondali e le opere trasversali (ponti), si è fatto riferimento a quanto riportato nella suddetta relazione redatta dalla Regione Autonoma della Sardegna. Siccome il tracciamento dei profili di moto permanente è influenzato dalle condizioni al contorno, è necessario considerare un tratto di corso d'acqua che si spinge sufficientemente a monte e a valle dell'area oggetto dell'intervento.

Pertanto, dopo aver importato il DEM tramite il RAS MAPPER (applicativo all'interno del software HEC-RAS) è possibile disegnare il corso d'acqua, suddividerlo in sezioni e inserire la geometria degli impalcati dei ponti e delle arginature. Inoltre saranno richieste le condizioni al contorno idrauliche e le condizioni di flusso: moto permanente con regime di corrente misto e valore della portata al colmo.

Il modello monodimensionale è lo schema numerico più semplice, poiché prevede la suddivisione dell'asta fluviale mediante sezioni trasversali alla direzione della corrente, in corrispondenza delle quali vengono calcolate tutte le grandezze idrauliche (tirante, area e perimetro bagnato) mediate sia nella direzione verticale sia in quella trasversale alla corrente e che definisce il moto lungo una direzione preferenziale.

Lo schema è da utilizzarsi preferibilmente nel caso in cui la direzione del flusso idrico prevalente sia univoca, la corrente sia gradualmente variata, non ci siano fenomeni di fuoriuscita dell'acqua dall'alveo e/o dalle aree golenali, la distribuzione del flusso avvenga in una rete ramificata.

Per l'implementazione di un modello di questo tipo si ricorrerà al software HEC-RAS (sviluppato dall'US Army Corps of Engineers) progettato per calcolare i profili idrici delle correnti a pelo libero mono e bi-dimensionali sia di canali artificiali che alvei naturali.

Le principali analisi che possono essere eseguite mediante il software sopracitato sono:

- ✓ Profili di pelo libero in condizioni di moto stazionario;
- ✓ Simulazioni di flusso mono e bi-dimensionali non stazionarie;
- ✓ Analisi del trasporto di sedimenti e modellazione con alveo a fondo mobile;
- ✓ Analisi di qualità dell'acqua;

Il principale vantaggio nell'utilizzo di questo software consiste nell'interazione con esso mediante una GUI (Graphical User Interface) di facile comprensione. Infatti il software è stato progettato per consentire un suo facile utilizzo, non solo a livello universitario ma, soprattutto per scopi professionali, pur mantenendo elevati livelli di efficienza.

### 5.1. EQUAZIONI ALLA BASE DEL TRACCIAMENTO DEI PROFILI DI MOTO PERMANENTE

Hec-ras ad oggi è in grado di eseguire il tracciamento del profilo di moto permanente per regimi di corrente gradualmente variata in alvei naturali o canali artificiali. Possono essere ricostruiti condizioni di flusso sub-critico, supercritico o misto. In questo capitolo verranno affrontati i seguenti aspetti:

- ✓ Descrizione delle equazioni di base;
- ✓ Suddivisione delle sezioni perpendicolari al flusso per il calcolo del coefficiente di trasporto;
- ✓ Calcolo del coefficiente di Manning composito nel canale principale;
- ✓ Calcolo dell'altezza cinetica media della sezione;
- ✓ Valutazione delle perdite per attrito;
- ✓ Perdite energetiche per espansione/ contrazione della vena;
- ✓ Procedura computazionale;
- ✓ Calcolo dell'altezza critica;
- ✓ Applicazione dell'equazione di equilibrio globale;
- ✓ Ingresso d'aria in correnti veloci;
- ✓ Limitazioni del modello stazionario.

#### 5.1.1. Equazioni per il calcolo del profilo

Il profilo di piena è calcolato da una sezione verso quella successiva risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa, chiamata standard step. Con riferimento alla figura sottostante l'equazione dell'energia è la seguente:

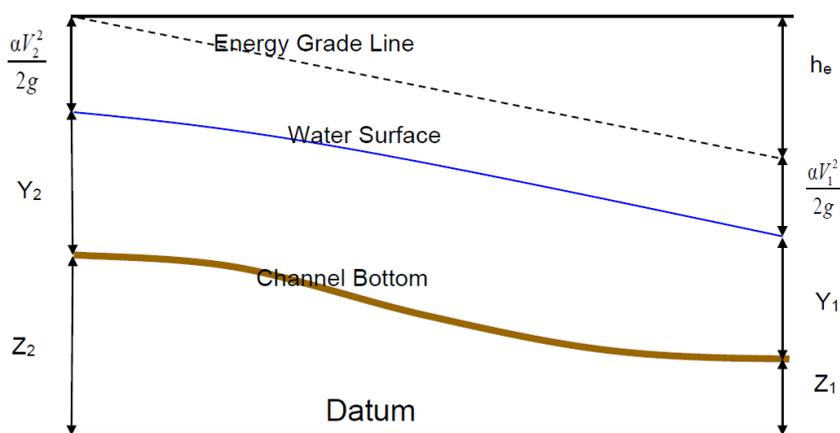


Figura 31. Schema per la scrittura del bilancio energetico tra due sezioni consecutive del corso d'acqua.

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + h_e$$

Dove:

- ✓  $Z_1$  e  $Z_2$  sono le quote di fondo alveo (rispetto ad un sistema di riferimento fisso);
- ✓  $Y_1$  e  $Y_2$  sono i tiranti idrici (altezza d'acqua nella sezione);
- ✓  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità medie nelle sezioni;

- ✓  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  coeff. di ragguglio delle altezze cinetiche (o fattori di peso);
- ✓  $h_e$  sono le perdite di carico totali;

Con 1 è indicata la sezione di valle, mentre con 2 quella di monte.

Le perdite energetiche totali tra le due sezioni sono la somma delle perdite di carico distribuite (per attrito) e quelle concentrate dovute all'espansione o contrazione della vena liquida:

$$h_e = L\bar{S}_f + c \left| \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right|$$

Dove:

- ✓  $\bar{S}_f$  rappresenta la pendenza d'attrito tra due sezioni consecutive;
- ✓  $C$  è il coefficiente di contrazione o espansione della vena liquida;
- ✓  $L$  è la distanza media tra le due sezioni pesata sulla portata:

$$L = \frac{L_{gsx} \cdot Q_{gsx} + L_{ch} \cdot Q_{ch} + L_{gdx} \cdot Q_{gdx}}{Q_{gsx} + Q_{ch} + Q_{gdx}}$$

- ✓  $L_{gsx}$  : distanza della golena sinistra fra due sezioni consecutive;
- ✓  $L_{gdx}$  : distanza della golena destra fra due sezioni consecutive;
- ✓  $L_{ch}$  : distanza fra l'alveo di magra fra due sezioni consecutive;
- ✓  $Q_{gsx}$  : portata media relativa alla golena di sinistra;
- ✓  $Q_{gdx}$  : portata media relativa alla golena di destra;
- ✓  $Q_{ch}$  : portata transitante nell'alveo di magra;

### 5.1.2. Suddivisione della sezione trasversale per il calcolo del fattore di trasporto

Per il calcolo del fattore di trasporto totale e il coefficiente di velocità (altezze cinetiche) richiede che il flusso sia suddiviso in unità dove la velocità sia uniformemente distribuita. L'approccio utilizzato consiste nel suddividere la sezione in 3 parti: canale (o main channel) e golene laterali (overbanks), mediante l'individuazione di punti in cui il coefficiente di Manning cambia. In figura si riporta una sezione in cui vengono calcolati 3 valori del coefficiente di trasporto  $k$  (Conveyance):

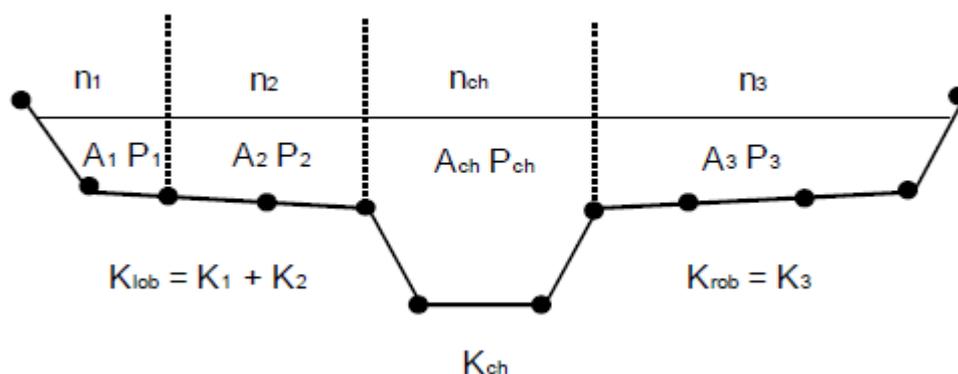


Figura 32. Suddivisione della sezione in aree a coeff. di Manning costante.

Per ogni sottosezione a coefficiente di Manning costante, il coefficiente di trasporto viene calcolato mediante l'equazione di Manning (inserendo le unità di misura Inglesi):

$$K = \frac{1.483}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

Mentre la portata è pari a:

$$Q = K \sqrt{S_f}$$

Dove:

- ✓ n è il coefficiente di Manning, e determina la resistenza al moto offerta dal perimetro bagnato (dipende dal materiale di fondo alveo o dalla presenza di vegetazione più o meno sviluppata nelle golene laterali);
- ✓ A è l'area bagnata;
- ✓ R è il raggio idraulico: rapporto tra area e perimetro bagnato (nel perimetro bagnato non vengono quantificate i lati fittizi verticali tracciati nella figura);
- ✓  $S_f$  è la slope friction (mediante la quale vengono quantificate le resistenze d'attrito);

Il programma somma tutti i fattori di trasporto all'interno delle aree a coeff. Di Manning costante, ottenendo 3 valori di K per le overbanks e per l'alveo principale:  $K_{ch}$ ,  $K_{lob}$ ,  $K_{rob}$ .

### 5.1.3. Calcolo dell'energia cinetica media della sezione

All'interno dei segmenti del corso d'acqua, in un modello monodimensionale, deve essere definito un solo livello idrico e quindi, un'altezza cinetica. Ma, come descritto in precedenza golene laterali ed alveo principale saranno caratterizzati da scabrezze e, quindi, da perdite di carico differenti. Per un determinato valore del tirante idrico, l'energia media è calcolata mediante una media pesata, che considera il contributo del canale principale e delle golene laterali. Il valor medio di altezza cinetica è indicato nella figura sottostante (riga tratteggiata intermedia):

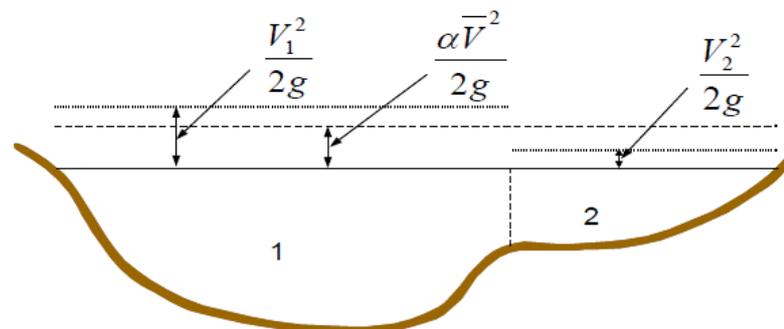


Figura 1. Schema tratto dall'Hydraulic Reference Manual di Hec-Ras con l'indicazione dell'altezza cinetica media.

Dove  $V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie delle sottosezioni.

In particolare è necessario calcolare il coefficiente alpha, considerando l'altezza cinetica media come media pesata delle componenti delle golene e del canale principale pesate per la portata transitante all'interno delle stesse.

	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO          ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA          FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Studio di compatibilità idraulica</p>	<p>Marzo 2022</p>
--	---	-------------------

$$\frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

Da cui segue:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2}$$

In generale, avendo  $i$  sottosezioni, per un totale di  $n$ :

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_i V_i^2 + \dots + Q_n V_n^2}{(Q_1 + Q_i + \dots + Q_n) \bar{V}^2}$$

#### 5.1.4. Calcolo delle perdite per attrito

Le perdite di carico continue, sono computate come il prodotto tra la distanza tra due sottosezioni e il gradiente dei carichi totali o slope friction. Quest'ultima viene determinata mediante l'equazione di Manning,

$$S_f = \frac{Q^2}{K^2}$$

È chiaro che, essendo una perdita distribuita tra due sezioni nella direzione preferenziale del moto, sarà necessario eseguire una media tra la sezione di monte (2) e quella di valle (1). La formula utilizzata per default è la seguente:

$$\bar{S}_f = \frac{(Q_1 + Q_2)^2}{(K_1 + K_2)^2}$$

Altre formulazioni possono essere scelte dall'utente:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f2} S_{f1}}$$

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f1} S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

Il programma, inoltre, a seconda del regime della corrente, stabilirà quale equazione è più conveniente utilizzare.

#### 5.1.5. Perdite di carico per espansione/contrazione della vena liquida

Le perdite di carico localizzate sono calcolate in funzione della differenza di altezza cinetica tra la sezione di monte e quella di valle secondo la formula:

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2g} \right|$$

Dove  $C$  è il coefficiente di espansione/contrazione. Il programma assume che ci sia espansione della vena liquida qualora la velocità della sezione di valle sia inferiore rispetto a quella della sezione di monte. In questo caso, per default il coefficiente  $C$  è pari a 0.3. Viceversa, si considererà la contrazione della vena,

	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO          ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA          FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Studio di compatibilità idraulica</p>	<p>Marzo 2022</p>
--	---	-------------------

che genera una minore perdita energetica, pertanto il coefficiente verrà posto pari a 0.1. L'utente può modificare a suo piacimento i valori del coefficiente C.

### 5.1.6. Procedure computazionale

L'altezza idrica per ogni sezione viene determinata mediante soluzione iterativa delle equazioni dell'energia e/o di equilibrio globale. La procedura computazionale (alle differenze finite) si suddivide nei seguenti passi:

1. A seconda che il regime ipotizzato sia di corrente lenta o veloce il profilo viene tracciato da valle verso monte o viceversa, partendo dalla condizione al contorno imposta.
2. Si ipotizza un valore del tirante idrico nella sezione successiva ( $h_{2(hp)}$ ) e si calcola il coefficiente di trasporto totale e l'altezza cinetica  $K_2$  e  $\frac{\alpha \bar{V}_2^2}{2g}$ ;
3. Con i valori calcolati al passo precedente si calcola la slope friction media tra le due sezioni e le perdite di carico concentrate per espansione/contrazione della vena, ottenendo le perdite di carico medie totali tra la sezione 1 e 2:  $h_e$ ;
4. Mediante le grandezze calcolate ai passi precedenti si risolve l'equazione dell'energia e si calcola il tirante idrico ( $h_2$ ).
5. Si confronta il valore appena calcolato  $h_2$  con quello ipotizzato inizialmente  $h_{hp}$ . Se la differenza tra i due valori è inferiore alla tolleranza, allora il valore ipotizzato è corretto, altrimenti è necessario ripetere la procedura fino a che la verifica è soddisfatta.

La procedura consiste nell'ipotizzare valori di tentativo del tirante, e come valore di primo tentativo viene posto lo stesso valore di altezza idrica della sezione precedente. Nel secondo tentativo l'altezza d'acqua è pari al valore del tirante al passo precedente sommato al 70% dell'errore del primo tentativo (Altezza idrica calcolata – Altezza idrica ipotizzata). I successivi tentativi sono basati sul metodo della secante proiettando il tasso di cambiamento della differenza fra l'altezza calcolata ed ipotizzata dai precedenti due tentativi. L'equazione del metodo della secante è la seguente:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} \cdot Assum_{Diff} / Err_{Diff}$$

Dove:

- ✓  $WS_I$ : nuovo livello idrico (iterazione i-esima);
- ✓  $WS_{I-2}$ : livello idrico dei due passi precedenti;
- ✓  $Err_{I-2}$ : errore calcolato dai due precedenti tentativi (calcolata al passo I meno quella dell'iterazione I-2);
- ✓  $Assum_{Diff}$  differenza tra i valori assunti ai due precedenti tentativi:  $WS_{I-2} - WS_{I-1}$ ;
- ✓  $Err_{Diff}$ : differenza fra i precedenti due errori:  $Err_{I-2} - Err_{I-1}$ ;

la differenza fra due successivi tentativi può essere al massimo del 50% del valore del tirante al tentativo precedente. Essenzialmente i valori di "tentativo" sono sempre basati sul tirante alla sezione precedente, e su una percentuale dell'errore al passo precedente. Il programma ha un massimo numero di iterazioni (per default 20) per cercare un valore del tirante che bilanci l'equazione dell'energia. Durante le iterazioni il programma salva il valore del tirante associato all'errore minimo. Nel caso in cui in 20 iterazioni non si rispetti il valore della tolleranza, si procede con il calcolo dell'altezza di stato critico, e se tale altezza è

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

associata ad un errore inferiore rispetto al minimo precedente, verrà utilizzata come riferimento. Chiaramente tali situazioni sono da studiare in dettaglio, poiché nessuna delle due è corretta, pertanto potrebbe essere fonte di errore, che viene segnalata da appositi warning. Solitamente tali situazioni accadono quando il numero delle sezioni per rappresentare il corso d'acqua è inadeguato, cioè le sezioni sono troppo distanti fra loro.

Un altro controllo che viene eseguito è quello di valutare se il tirante calcolato sia superiore o inferiore all'altezza di stato critico e, compatibile con il regime di corrente lenta o veloce imposto nel tracciamento del profilo. Anche in questo caso, se il valore di h fornisce un alveo in regime subcritico rispetto che supercritico, allora viene imposto il passaggio per l'altezza di stato critico.

### 5.1.7. Calcolo dell'altezza di stato critico

L'altezza di stato critico, sarà calcolata nel caso in cui una delle seguenti condizioni verrà soddisfatta:

- ✓ Regime di flusso supercritico è specificato dall'utente;
- ✓ Il calcolo è richiesto dall'utente;
- ✓ È stata posta una condizione al contorno esterna che deve essere verificata;
- ✓ Il numero di Froude calcolato è in un valore prossimo all'unità ed è necessario verificare l'eventuale passaggio per lo stato critico;
- ✓ Il programma non ha trovato una soluzione con errore inferiore alla tolleranza;

Il carico totale in ogni sezione è definito dalla somma dell'altezza cinetica e della quota della superficie libera:

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

L'altezza di stato critico è quella associata al valore minimo dell'energia. Essa viene determinata tramite procedura iterativa, dopo che si è fatto variare il valore del tirante fino a trovare il valore minimo di energia sopracitato.

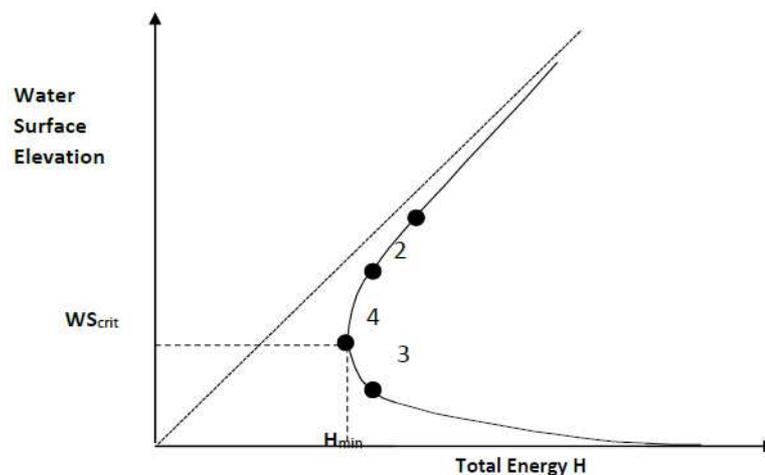


Figura 2. Grafico dell'energia in funzione del tirante.

 <b>edp renewables</b>	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

Il programma può utilizzare due metodi per il calcolo dell'energia minima: quello parabolico e quello della secante. Il primo è in grado di individuare un singolo minimo, mentre il secondo può localizzare anche i minimi locali. Nel caso in cui il primo metodo (computazionalmente meno oneroso) fallisca, allora viene adottato automaticamente il secondo.

Minimi multipli sono associati a geometrie delle sezioni complesse con presenza di aree golenali estremamente piatte oppure quando sono presenti argini o aree non contribuenti al flusso.

Il metodo della secante, costruisce una tabella nella quale vengono riportati i valori del tirante e gli associati valori di energia suddividendo la sezione in 30 intervalli equi spaziat. Nel caso in cui il valore seguente e precedente di energia sia superiore a quello *i*-esimo, significa che c'è un minimo locale e il programma va a calcolare il valore critico di altezza, in modo che risulti al di sotto della tolleranza in un intorno del minimo stesso (con un massimo di 30 iterazioni).

Successivamente si passa agli altri minimi locali. Terminata la procedura l'altezza di stato critico sarà quella che, fra tutte minimizza il carico totale.

#### 5.1.8. Applicazione dell'equazione di equilibrio globale

L'equazione dell'energia è applicabile solamente nel caso di flussi gradualmente variati, e nel caso di transazione da flusso sub a super critico è necessario ricorrere all'equazione di equilibrio globale. Questo può accadere a causa di cambiamenti di pendenza, restringimenti causati dai ponti, confluenze ecc...Una derivazione dell'equazione di equilibrio globale è mostrata di seguito, partendo dalla seconda legge di Newton:

$$\sum F_x = ma$$

La sommatoria delle forze esterne (nella direzione del moto *x*) è pari alla massa per l'accelerazione.

Le forze che agiscono sul volume di controllo sono:

- ✓ Forze di pressione:  $P_1$  e  $P_2$ ;
- ✓ Forza peso nella direzione del moto:  $W_x$ ;
- ✓ Forza d'attrito che si oppone al moto:  $F_f$ ;
- ✓ La massa è calcolata come il prodotto della densità dell'acqua  $\rho$  moltiplicata per la portata  $Q$ ;
- ✓ L'accelerazione è la variazione di velocità nelle due sezioni, sempre nella direzione del moto:  $\Delta V_x$ ;

Nella figura sottostante si riporta il volume di controllo considerato, compreso tra le sezioni di monte e di valle:

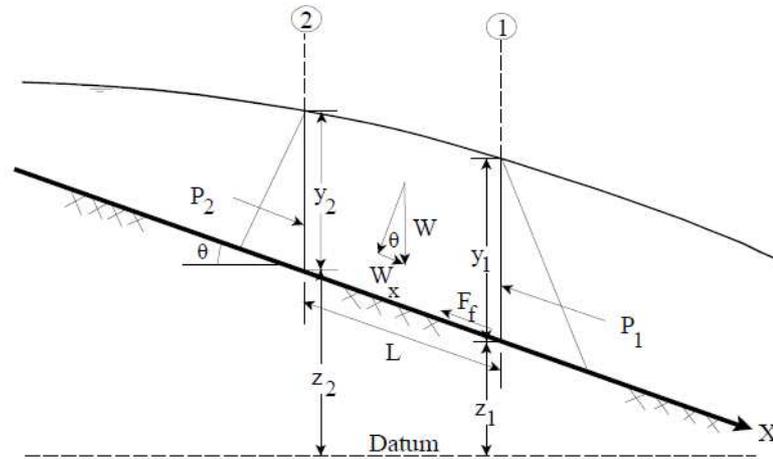


Figura 35. Forze esterne che rientrano nell'equazione di equilibrio globale.

Analizzando meglio i termini:

- ✓ Pressione idrostatica:  $P_1$  e  $P_2$ , vengono calcolati come prodotto dell'area bagnata per il peso per unità di volume per l'affondamento del baricentro della sezione:

$$P_1 = \gamma \cdot A_1 \cdot \bar{Y}_1$$

$$P_2 = \gamma \cdot A_2 \cdot \bar{Y}_2$$

- $W_x$ : forza peso nella direzione del moto:

$$W_x = \frac{\gamma(A_1 + A_2)}{2} \text{sen}(\theta)L$$

Per pendenze modeste (minori del 10%):  $\text{sen}(\theta) \Rightarrow \text{tan}(\theta) \Rightarrow S_0$ .

- $F_f$ : forza attrito:

$$F_f = \tau PL$$

Dove lo sforzo di taglio al fondo è  $\tau = \gamma R S_f$  e  $P$  è il perimetro bagnato,  $L$  è la distanza tra le due sezioni

Mentre il termine a destra dell'uguale è calcolato come prodotto per la massa e l'accelerazione:

$$ma = \rho Q \Delta V_x$$

Esplicitando i termini si ottiene la seguente equazione:

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

$$\gamma \cdot A_1 \cdot \bar{Y}_1 - \gamma \cdot A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \frac{\gamma(A_1 + A_2)}{2} LS_0 - \frac{\gamma(A_1 + A_2)}{2} LS_f = \rho Q (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

### 5.1.9. Sovralzo generato dai flussi turbolenti per ingresso d'aria

Nel caso di flusso particolarmente turbolento, l'ingresso d'aria genera un sovrizzo del tirante idrico. Mentre non è molto importante per la maggior parte dei fiumi è estremamente rilevante nel caso di flussi supercritici con numero di Froude maggiore di 1.6.

Per numeri di Froude minori di 8.2:

$$D_a = 0.906 \cdot De^{0.061F}$$

Per numeri di Froude maggiori di 8.2:

$$D_a = 0.620 \cdot De^{0.1051F}$$

Dove:

- ✓  $D_a$  è il tirante idrico che considera il sovrizzo per l'ingresso d'aria;
- ✓  $D$  è il tirante senza ingresso d'aria;
- ✓  $e$  è il numero di Eulero;
- ✓  $F$  è il numero di Froude;

Per considerare il sovrizzo causato dall'aria è necessario esplicitare il "WS Air Entr." all'interno del software per visualizzarlo correttamente.

### 5.1.10. Limitazioni del modello 1D stazionario

Le seguenti assunzioni sono implicite nelle espressioni analitiche utilizzate nella versione corrente del programma:

- ✓ Moto stazionario (portata costante): nessun termine ha dipendenza temporale;
- ✓ Moto gradualmente variato (ad eccezione delle situazioni in cui il flusso lo richiede): distribuzione della pressione idrostatica in ogni sezione;
- ✓ Moto monodimensionale (componenti della velocità considerate solo nella direzione del moto): energia totale è la stessa per tutti i punti della stessa sezione;
- ✓ Canali con modeste pendenze, inferiori al 10%: il carico idraulico per il calcolo della pressione è pari a:

$$H_p = d \cos(\theta)$$

Dove:

- ✓  $H_p$  è il carico idraulico;
- ✓  $d$ : altezza idrica misurata perpendicolarmente al fondo canale;
- ✓  $\theta$ : pendenza del canale espressa in gradi;

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

Per pendenze del canale di 1:10 (5.71 gradi) o meno il  $\cos(\theta)$  è 0.995. Piuttosto che utilizzare  $d \cos(\theta)$  il carico verticale è approssimato a  $d$ . L'errore commesso è meno dello 0.5%.

Nel caso di pendenze maggiori sarebbe necessario considerare l'effettivo valore del  $\cos(\theta)$ , che viene riportato nella seguente tabella per pendenze elevate:

Slope	Degrees	Cos ( $\theta$ )
1:10	5.71	0.995
2:10	11.31	0.981
3:10	16.70	0.958
4:10	21.80	0.929
5:10	26.57	0.894

*Tabella 1. Indicazione del coseno dell'angolo di inclinazione in funzione della pendenza di fondo alveo.*

Pertanto è necessario dividere il valore del tirante calcolato per il  $\cos(\theta)$ . Ovviamente oltre a questo sovrizzo è necessario considerare l'ingresso d'aria.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

## 5.2. INSERIMENTO DELLA GEOMETRIA DELL'ALVEO

La modellazione dell'alveo del tratto all'interno dell'Area di studio è stata conseguita facendo riferimento al Modello Digitale del Terreno (DTM) con una risoluzione spaziale a celle di 1x1 m, realizzato da Regione Autonoma della Sardegna.

Al fine di non influenzare i risultati dell'analisi sull'area di interesse a seguito dell'inserimento delle condizioni al contorno in corrispondenza delle aree marginali del tratto di studio, lo stesso non si è limitato al tratto di corso d'acqua in fregio all'Area di Verifica, ma è stato prolungato verso monte di circa 2 km e verso valle circa 1,7 km.

Siccome il software "ragiona" per sezioni, è necessario suddividere il corso d'acqua in sezioni, definendo in coordinate x, z, il fondo alveo e le golene laterali.

In particolare, in corrispondenza il tratto di Fiume Tirso modellato spazia dalla sezione 02\_TI\_091 (RS 12790) posizionata in corrispondenza dell'attraversamento della SP17 (a quota 160 m s.l.m. circa) alla sezione 02\_TI\_074 (RS 363) situata poco a valle dell'Area di Verifica (a quota 150 m s.l.m. circa) per un totale di 19 sezioni estrapolate dal Modello Digitale del Terreno (DTM), definite ad una distanza di 250 m circa l'una dall'altra.

Il numero identificativo delle sezioni è stato assegnato crescente da monte verso valle, come richiesto dal software Hec-Ras. Inoltre, in corrispondenza di attraversamenti o opere idrauliche significative (es. briglie, soglie o traverse) le sezioni sono state replicate nel modello numerico per tenere conto del restringimento o allargamento della vena liquida che può causare perdite di carico localizzate.

Al fine di definire una geometria accurata, nel presente caso di studio la geometria dell'alveo è stata ricostruita utilizzando il RAS MAPPER, che consente di lavorare in ambiente GIS editando le tracce delle sezioni ed estraendone direttamente il profilo.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

### 5.3. COEFFICIENTI PER LA STIMA DELLE PERDITE ENERGETICHE

Per stimare le perdite energetiche il programma utilizza diversi tipi di coefficienti di seguito elencati:

- ✓ Coefficienti di scabrezza;
- ✓ Coefficienti di contrazione ed espansione della vena liquida;
- ✓ Perdite causate da salti di fondo, flusso in pressione, configurazione delle pile;

#### 5.3.1. Coefficiente di scabrezza

Tra le formule più comunemente impiegate per la stima del coefficiente di scabrezza si ricordano quelle di:

- ✓ Gaukler-Strickler:  $C_o = k_s R^{1/6}$ ;
- ✓ Manning:  $C_o = (1 / n) R^{1/6}$ ;
- ✓ Bazin:  $C_o = 87 / (1 + \varphi R^{1/2})$ ;
- ✓ Kutter:  $C_o = (100 R^{1/2}) / (m + R^{1/2})$ .

Con:

$k_s$  Coefficiente di Strickler (corrispondente  $1/n$ )

$n$  Coefficiente di Manning;

$\varphi$  Coefficiente di Bazin;

$m$  Coefficiente di Kutter.

Nel caso specifico della presente relazione si è scelto di calcolare il coefficiente di scabrezza tramite la formula di Manning, dove il valore del coefficiente di Manning dipende da vari fattori quali la scabrezza superficiale (superfici artificiali, roccia, sedimenti), la vegetazione, la forma del fondo, le irregolarità al contorno (irregolarità sponde, forma sezione, curve) ed eventuali ostruzioni e singolarità.

Data la complessità della scelta di tale coefficiente, HEC-RAS fornisce una tabella che propone un range entro il quale scegliere il corretto valore in base ad una breve descrizione delle caratteristiche che dovrebbe avere la sezione. In particolare, vengono richiesti tre diversi valori di questo coefficiente relativi alle tre parti in cui viene divisa la sezione ossia l'alveo centrale, la golena sinistra e quella destra.

Per l'assegnazione dei coefficienti di scabrezza nelle sezioni situate nel tratto di corso d'acqua modellato, si è scelto di seguire la metodologia standardizzata definita dalla Regione Autonoma della Sardegna e adottata su tutti i corsi d'acqua dell'Isola. Per i relativi approfondimenti metodologici si rimanda all'Allegato *Metodologie di Analisi* del Piano Stralcio Fasce Fluviali.

In base alla presenza/assenza, tipologia e densità di vegetazione sono state quindi definite delle classi-tipo riportate nella seguente Tabella CC:

 <b>edp renewables</b>	<b>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</b>  Studio di compatibilità idraulica	Marzo 2022
--	---	------------

Densità	Tipo di vegetazione				
	Arbustiva	Arborea 1	Arborea 2	Arborea e Arbustiva	½ Arbustiva e ½ Arborea
<b>Sporadica</b>	C1	C2	C3	C4	C5
<b>Rada</b>	C6	C7	C8	C9	C10
<b>Prevalente</b>	C11	C12	C13	C14	C15

Tabella 10. Classi per la definizione del valore di scabrezza lungo le sponde del corso d'acqua (Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)

Di seguito vengono riportati quindi i valori di scabrezza individuati per le classi definite:

Classe		Ks (veg)	n (veg)
		$m^{1/3} / S$	$m^{-1/3} * S$
<b>Sporadica</b>	C1 – Arbustiva	5	0,20
	C2 – Arborea 1	24	0,04
	C3 – Arborea 2	*	*
	C4 – Arbustiva&Arborea	17	0,06
	C5 – ½ Arbustiva & ½ Arborea	15	0,07
<b>Rada</b>	C6 – Arbustiva	4	0,25
	C7 – Arborea 1	18	0,06
	C8 – Arborea 2	*	*
	C9 – Arbustiva&Arborea	13	0,08
	C10 – ½ Arbustiva & ½ Arborea	11	0,09
<b>Prevalente</b>	C11 – Arbustiva	3	0,33
	C12 – Arborea 1	15	0,07
	C13 – Arborea 2	*	*
	C14 – Arbustiva&Arborea	11	0,09
	C15 – ½ Arbustiva & ½ Arborea	9	0,11

Tabella 11. Valori di scabrezza individuati per le classi definite (Relazione Monografica di Bacino Idrografico - Fiume Tirso)

Sulla base di tale approccio, ogni sezione trasversale è stata suddivisa in tre tratti caratterizzati da scabrezza omogenea: l'alveo attivo comprensivo anche delle sponde laterali e le fasce golenali. Di seguito sono elencati i valori di scabrezza, in termini di parametro di Manning (n), attribuiti a ciascun tratto delle sezioni considerate nella presente modellazione.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

COEFFICIENTI DI MANNING (n)			
Sezione	Golena Sinistra	Alveo Centrale	Golena Destra
02_TI_91	0,04	0,053	0,039
02_TI_90	0,04	0,053	0,039
02_TI_89	0,04	0,053	0,039
02_TI_88	0,04	0,053	0,039
02_TI_87	0,04	0,053	0,039
02_TI_86	0,04	0,053	0,039
02_TI_85	0,04	0,053	0,039
02_TI_84	0,04	0,053	0,039
02_TI_83	0,05	0,053	0,039
02_TI_82	0,05	0,053	0,039
02_TI_81	0,05	0,053	0,039
02_TI_80	0,05	0,053	0,039
02_TI_79	0,05	0,053	0,039
02_TI_78	0,05	0,053	0,039
02_TI_77	0,05	0,053	0,039
02_TI_76	0,05	0,053	0,039
02_TI_75	0,05	0,053	0,039
02_TI_74	0,05	0,053	0,039

*Tabella 12. Valori di scabrezza di Manning nelle sezioni considerate*

### 5.3.2. Coefficienti di contrazione/espansione

Tali coefficienti servono a stimare la perdita del carico idraulico tra due sezioni a causa delle variazioni di velocità che occorrono tra la sezione di monte e di valle a causa di forti modifiche nella geometria del corso d'acqua. Tali coefficienti moltiplicheranno la differenza del carico cinetico tra le sezioni stesse. Nel caso in cui il cambiamento della geometria della sezione è basso e il flusso è subcritico i coefficienti di contrazione ed espansione sono dell'ordine di 0,1 e 0,3 rispettivamente. Nel caso in cui si riscontri la presenza di un ponte essi aumentano a 0,3 e 0,5, rispettivamente, ma possono raggiungere anche valori di 0,6 o 0,8 nel caso di forti restringimenti.

Pertanto, essendo il tratto oggetto della presente modellazione caratterizzato dalla presenza di attraversamenti stradali, nelle sezioni immediatamente a monte e a valle di questi, i valori dei coefficienti di contrazione ed espansione sono stati assunti rispettivamente pari a 0,3 e 0,5 mentre nelle rimanenti sezioni trasversali richieste dal presente modello numerico sono stati assunti pari a 0,1 e 0,3 come suggerito dal manuale tecnico in presenza di variazioni graduali.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO          ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA          FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: center;">Marzo 2022</p>
--	---	---

### 5.3.3. Perdite di carico

Il software utilizzato, per quanto riguarda la modellazione dell'alveo del tratto d'interesse del Fiume Tirso, permette di calcolare le perdite di carico distribuite derivanti dallo scorrimento dell'acqua su di una superficie non liscia mediante la formula di Chezy:

$$S_f = \frac{V^2}{(C_{chezy}^2 * R)}$$

Si può notare come tale perdita di energia dipenda sostanzialmente dalla velocità della corrente V, dal raggio idraulico della sezione R e dal coefficiente di Chezy. Tale coefficiente è a sua volta funzione del numero di Reynolds Re, dalla scabrezza relativa e dalla forma dell'alveo.

Poiché il regime dei canali naturali è assolutamente turbolento, la dipendenza dal numero di Reynolds è poco influente, per questo il coefficiente di Chezy viene determinato attraverso il metodo di Manning con relativo coefficiente n [s/m<sup>1/3</sup>] come precedentemente definito.



#### 5.4. INSERIMENTO ATTRAVERSAMENTI

Nel tratto del Fiume Tirso oggetto della presente modellazione sono presenti tre attraversamenti, due dei quali posti in corrispondenza dell'area industriale di Ottana e uno in corrispondenza della Sezione 91.

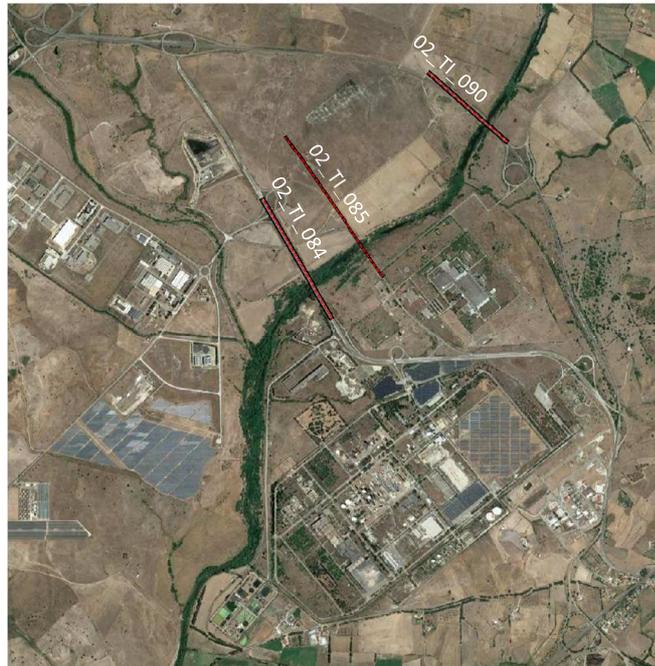


Figura 36. Inquadramento dei ponti presenti nell'area di studio

Di seguito si riportano le sezioni degli attraversamenti, le cui geometrie sono state estrapolate dallo studio del Regione Sardegna, procedendo da monte verso valle del tratto modellato:

- **Ponte nuovo tracciato S.P.17 – Ottana: Sezione 02\_TI\_090**

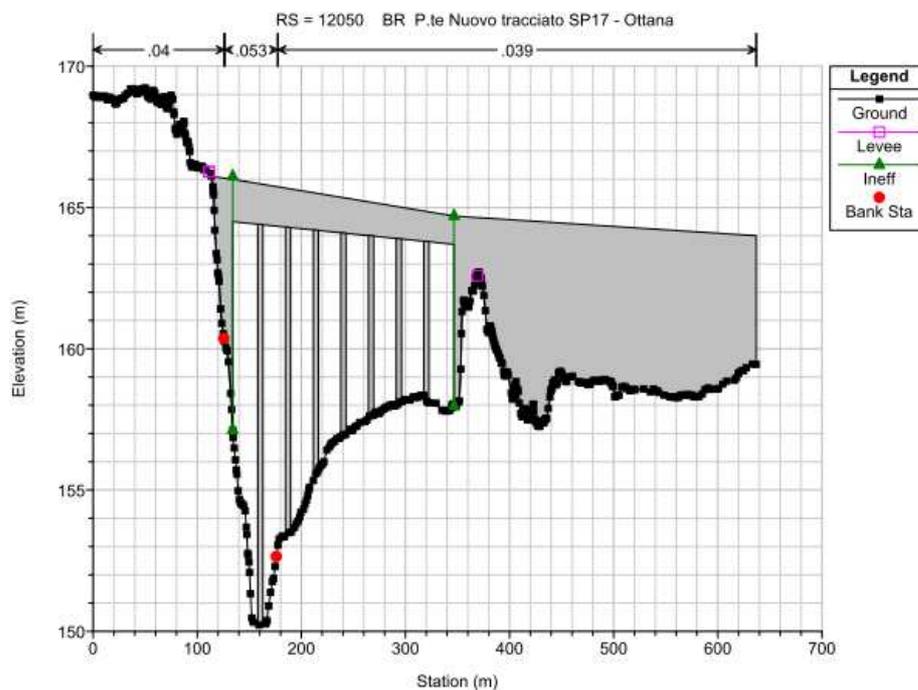


Figura 37. Geometria della sezione trasversale in corrispondenza del Ponte nuovo tracciato SP17

- Ponte vecchio tracciato S.P. 17 – Ottana: Sezione 02\_TI\_085

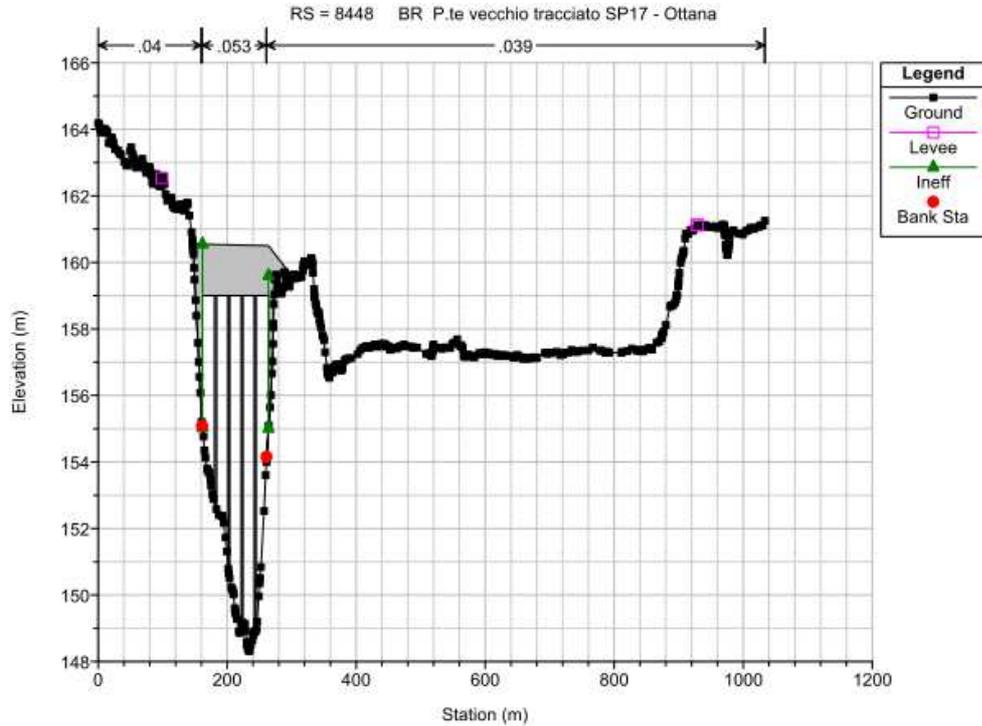


Figura 38. Geometria della sezione trasversale in corrispondenza del Ponte vecchio tracciato SP17

- Nuovo ponte presso Enichem Fibre – Ottana: Sezione 02\_TI\_084

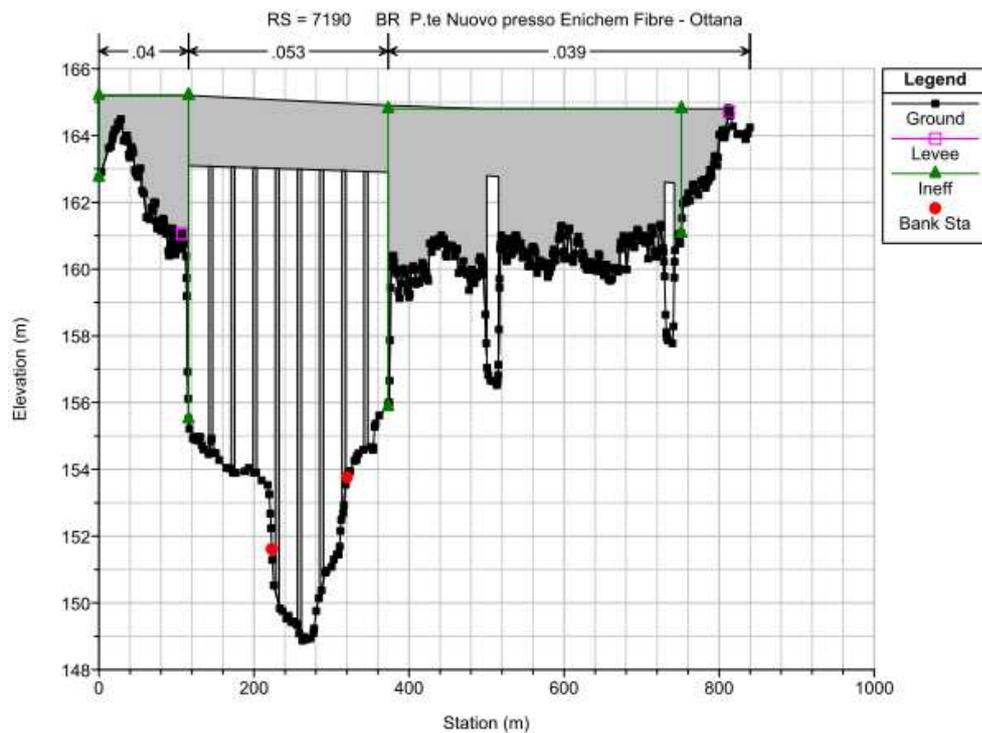


Figura 39. Geometria della sezione trasversale in corrispondenza del Nuovo ponte presso Enichem Fibre

### 5.5. RICOSTRUZIONE GEOMETRIA MODELLO 1D IN MOTO UNIFORME E CONDIZIONI AL CONTERNO

Dopo aver importato il DEM a maglia 1x1 m all'interno del RAS MAPPER, è necessario disegnare l'asta principale del tratto del Fiume Tirso ricadente nell'area di studio come "River". Successivamente si disegnano le "banks" cioè delle linee che stabiliscono la separazione fra l'alveo di magra e le golene laterali. Infine si definiscono i "Flow path" che sono necessari per tenere conto della distanza fra una sezione e la successiva.

A questo punto si possono disegnare le sezioni in cui verrà suddiviso il corso d'acqua partendo da monte e scendendo verso valle, disegnandole sempre da sinistra verso destra. In corrispondenza dei ponti sarà necessario disegnare una sezione a monte e una immediatamente a valle dello stesso per poi inserire la geometria dell'impalcato mediante il comando Insert Bridge all'interno del "Geometric Data".

Nella figura sottostante si riporta la numerazione delle sezioni materializzate per definire il modello monodimensionale:

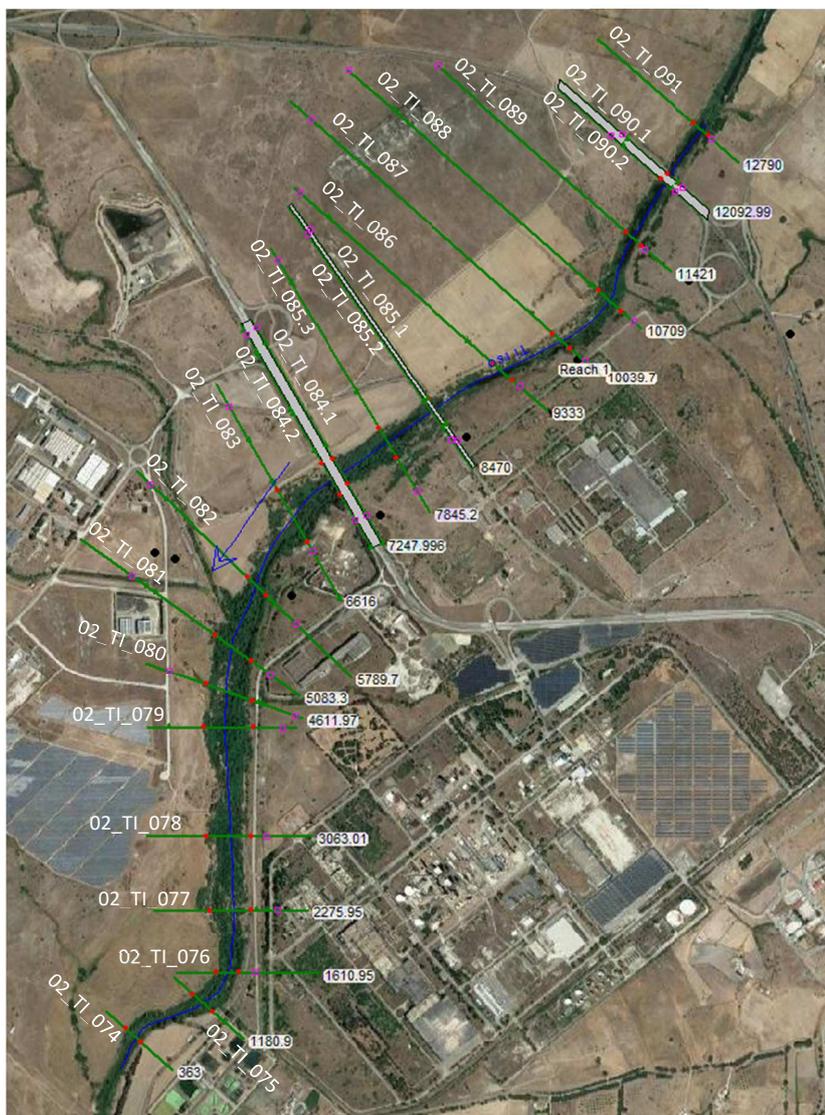


Figura 40. Modello 1D con indicazioni delle sezioni idrauliche

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

A favore di sicurezza inoltre, verranno inserite delle “Ineffective Flow Area”, cioè gran parte della golena si considererà influente allo smaltimento della portata.

Per quanto riguarda la modellazione dei moti in pressione al di sotto degli impalcati del ponte verrà utilizzato il metodo dell’equazione di equilibrio globale piuttosto che della semplice equazione di conservazione dell’energia.

Al fine di determinare il profilo idrico della corrente in condizioni di moto uniforme, sono state inserite le condizioni al contorno all’estremità del sistema (a monte e/o a valle).

In particolare, nel caso di un regime di corrente lenta (altezza dell’acqua  $d$  maggiore dell’altezza critica  $d_c$  corrispondente alla minima quantità di energia), la condizione al contorno necessaria è quella di valle, difatti la corrente non risente di ciò che accade a monte. Viceversa, nel caso di un regime di corrente veloce ( $d < d_c$ ) la condizione di contorno necessaria sarà quella a monte.

Come condizione al contorno, in base alle caratteristiche delle sezioni di partenza e di chiusura scelte per la modellazione del tratto d’interesse del Fiume Tirso, è stato inserito il valore di portata con un tempo di ritorno di 100 e 200 anni, definite nei paragrafi precedenti, mentre nella sezione di valle è stata imposta l’altezza di moto uniforme, con cadente piezometrica assunta ragionevolmente pari alla pendenza  $i$ , del tratto compreso tra le ultime sezioni del presente modello (RS1080.9 – RS.363).

Di seguito sono riassunte brevemente le condizioni al contorno considerate per il caso studio in questione:

Condizioni al contorno di monte		
Sezione	Portate	
	$Q_{100}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{200}$ (m <sup>3</sup> /s)
02_TI_091 (RS 12790)	2.330	2.740

*Tabella 13. Condizioni al contorno di monte.*

Condizioni al contorno di valle		
Sezione	Altezza di moto uniforme	
	$h_0$ (m)	$h_0$ (m)
02_TI_074 (RS 363)	0,001	0,001

*Tabella 14. Condizioni al contorno di valle.*

## 6. RISULTATI MODELLO 1D IN MOTO PERMANENTE (ANTE E POST OPERAM)

In questo paragrafo vengono presentati i risultati delle simulazioni effettuate con il software HEC-RAS 6.0.0, nel quale si sono implementati modelli idraulici monodimensionali in moto permanente. Le simulazioni sono state ripetute per tempi di ritorno diversi, corrispondenti a 100 e 200 anni.

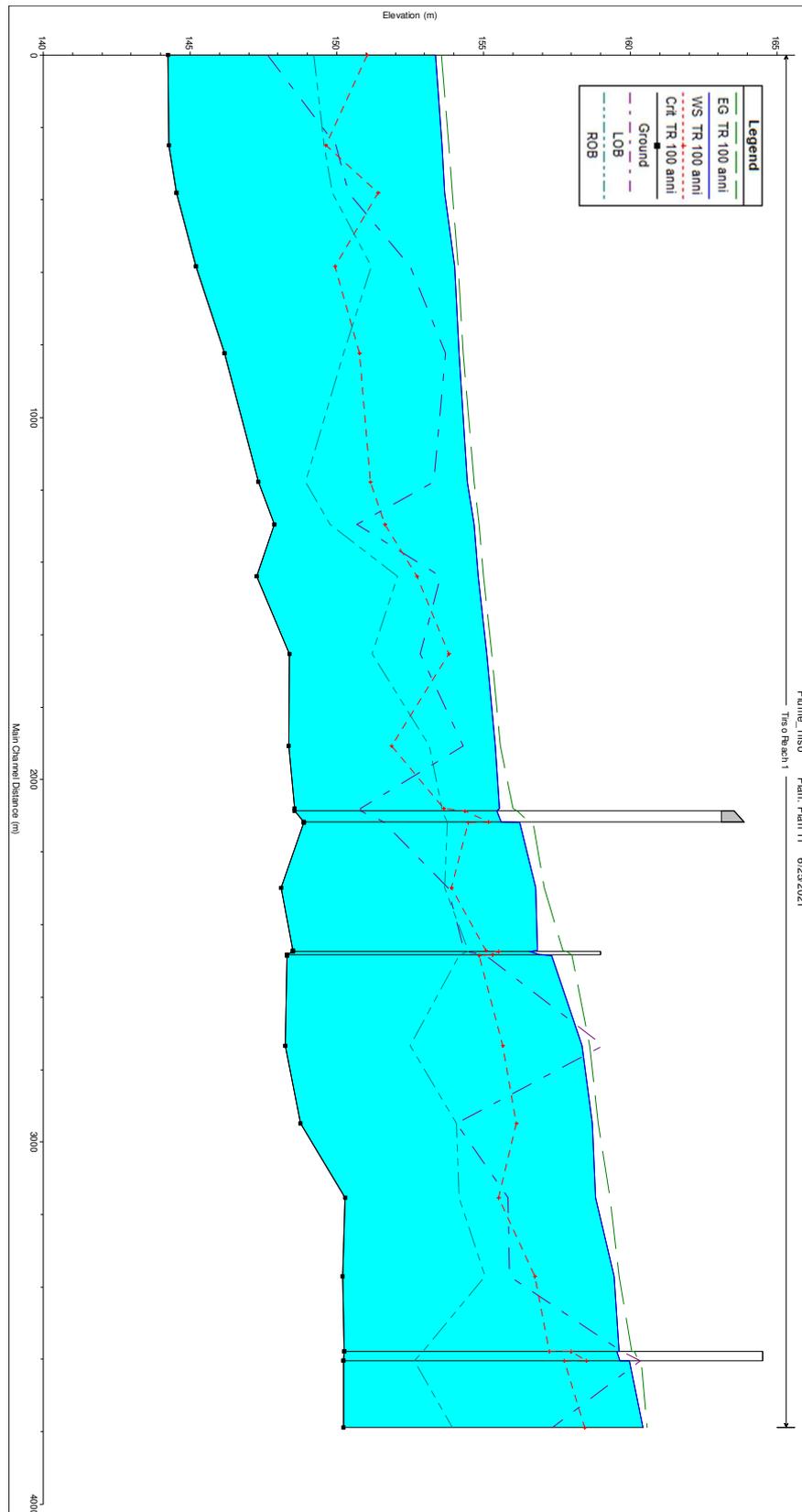
### 6.1. TEMPO DI RITORNO DI 100 ANNI

Nella figura sottostante si riporta la mappa delle aree allagate ottenute con la simulazione 1D in moto permanente per tempo di ritorno di 100 anni in cui è cerchiata l'area in cui è prevista l'installazione del sostegno oggetto della presente verifica di compatibilità:



Figura 41. Carta delle aree allagabili per portata con Tr di 100 anni.

Nella figura sottostante si riporta il profilo di piena del Fiume Tirso dalla prima sezione di monte del tratto d'interesse per terminare in corrispondenza della sezione di chiusura a valle del tratto modellato:



Fiume Tiseo  
 Tiro di Fianchi 1  
 Plan: Plan 11  
 6/25/2021

Figura 42. Profilo di Piena, modello 1D in moto permanente ( $Q_{100}$ ).

Le criticità maggiori si riscontrano lungo la sponda destra del tratto fluviale oggetto di studio.

In particolare si osserva un'evidente esondazione al di fuori dell'alveo di magra nei pressi dell'area dove sorgerà il sostegno n.1 del futuro elettrodotto. Nella figura sottostante si riporta il valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golenale dove verrà costruito il primo sostegno dell'elettrodotto in progetto e il profilo della sezione immediatamente a monte di esso.

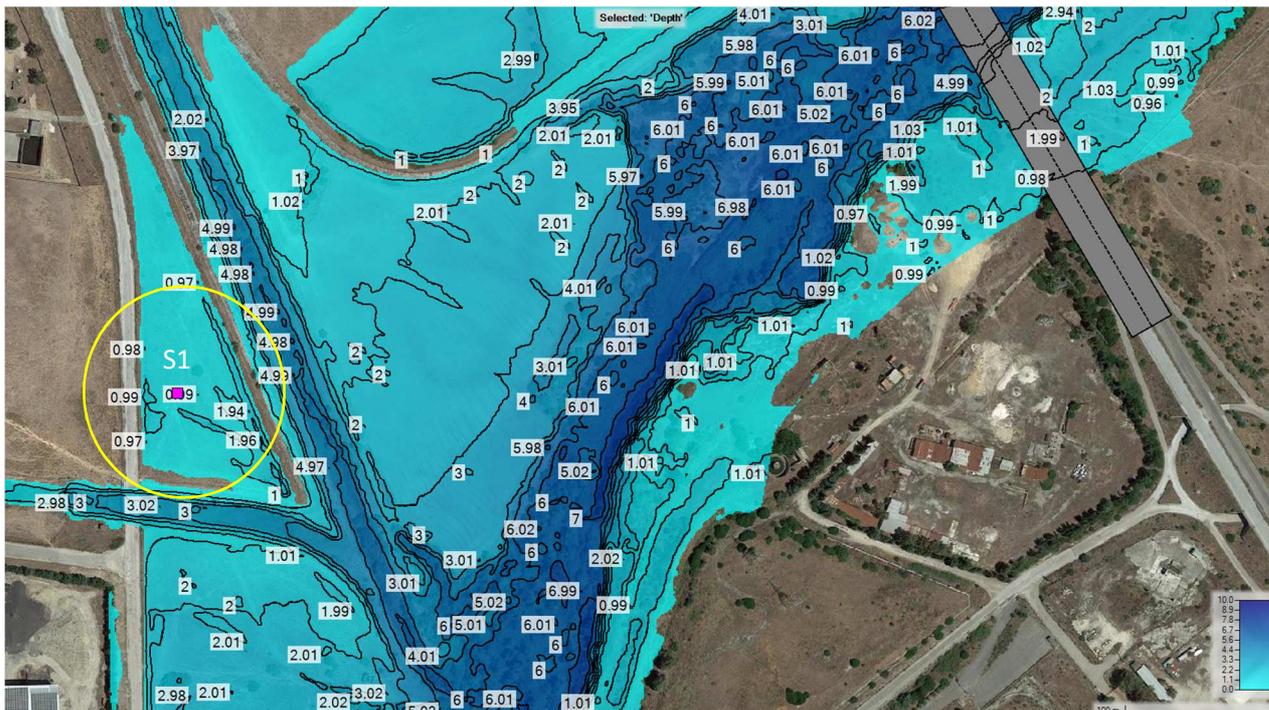


Figura 43. Valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golenale del sostegno n.1 dell'elettrodotto in progetto ( $Q_{100}$ ).

Nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni nell'area di pertinenza del sostegno 1 si riscontra la possibile presenza di valori massimi di altezze idriche pari a circa 0,84 m.

Di seguito si riporta il profilo del tirante e delle velocità della corrente nelle sezioni immediatamente a monte e immediatamente a valle del sostegno n.1 oggetto della presente verifica.

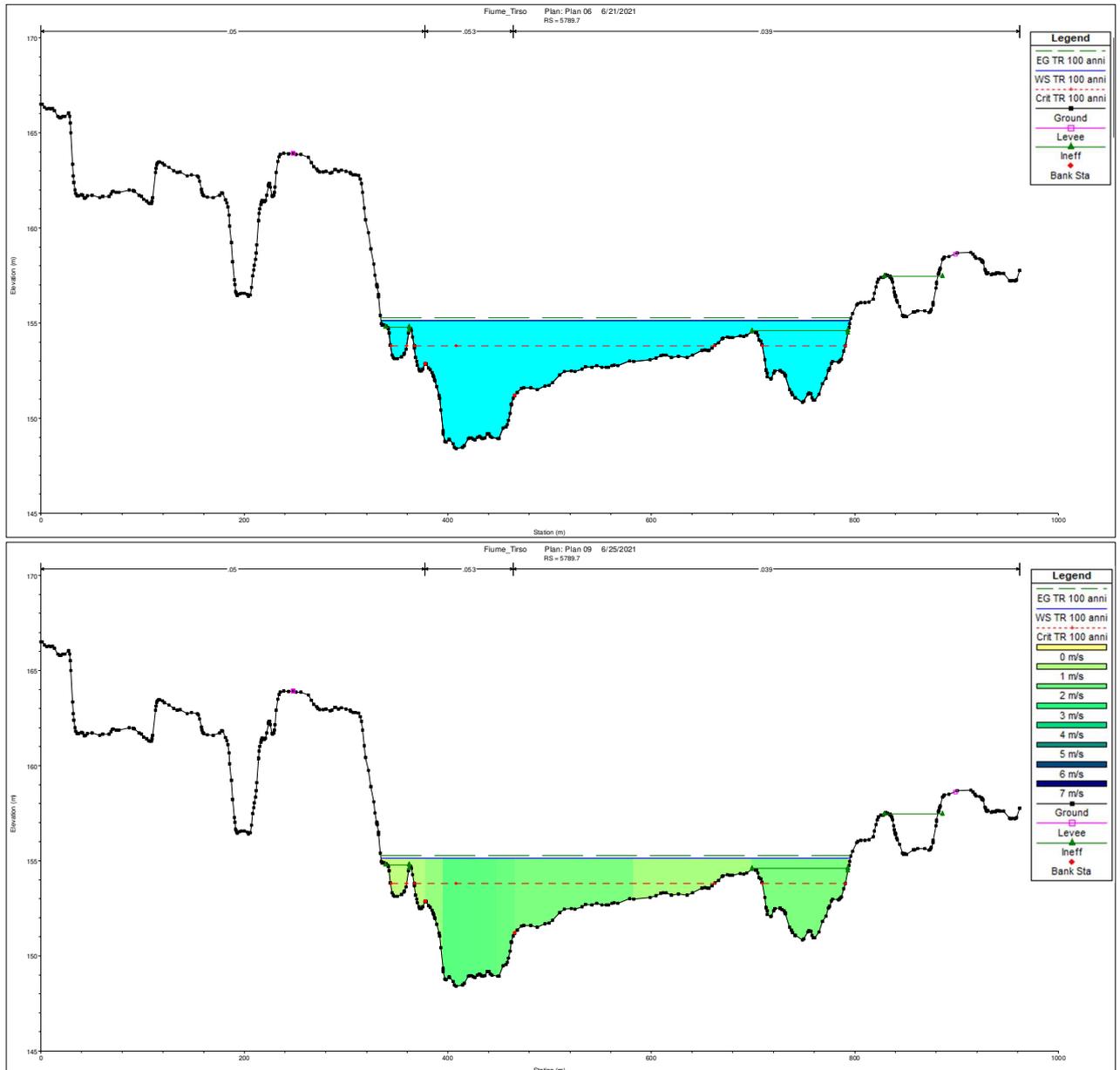


Figura 44. Sezione idraulica del tirante e delle velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a monte del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_082) ( $Q_{100}$ ).

La corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 6,63 m e una velocità massima di circa 2,3 m/s.

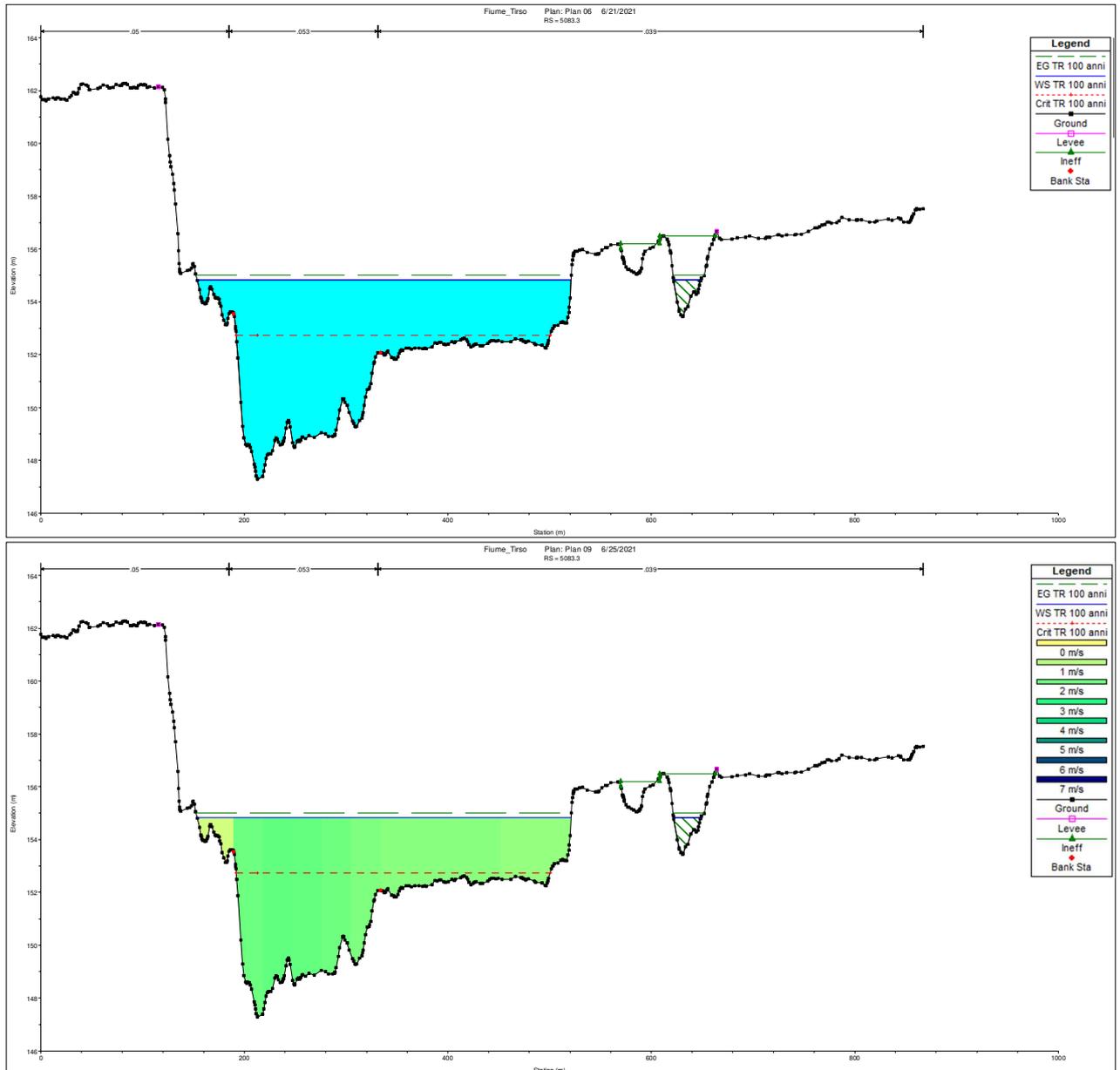


Figura 45. Sezione idraulica del tirante e delle velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a valle del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_081) ( $Q_{100}$ ).

La corrente nella sezione immediatamente a valle dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 7,51 m e una velocità massima di circa 2,2 m/s.

Un'altra osservazione interessante in merito ai risultati ottenuti consiste nella verifica che tutti gli impalcati non vengono raggiunti del tirante idrico. Pertanto le rispettive sezioni sono sufficienti per lo smaltimento della piena centennale.

Nella figura sottostante si riportano le sezioni idrauliche in corrispondenza degli attraversamenti precedentemente individuati:

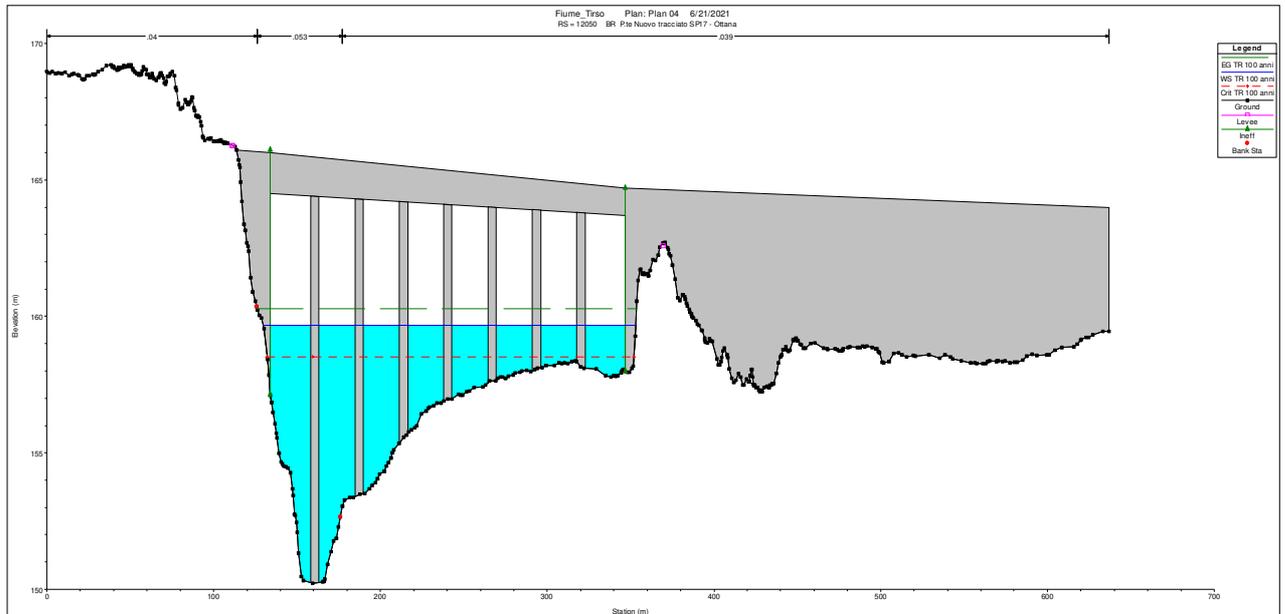


Figura 46. Sezione idraulica in corrispondenza del ponte nuovo tracciato SP17-Ottana (Sezione 02\_TI\_090) ( $Q_{100}$ ).

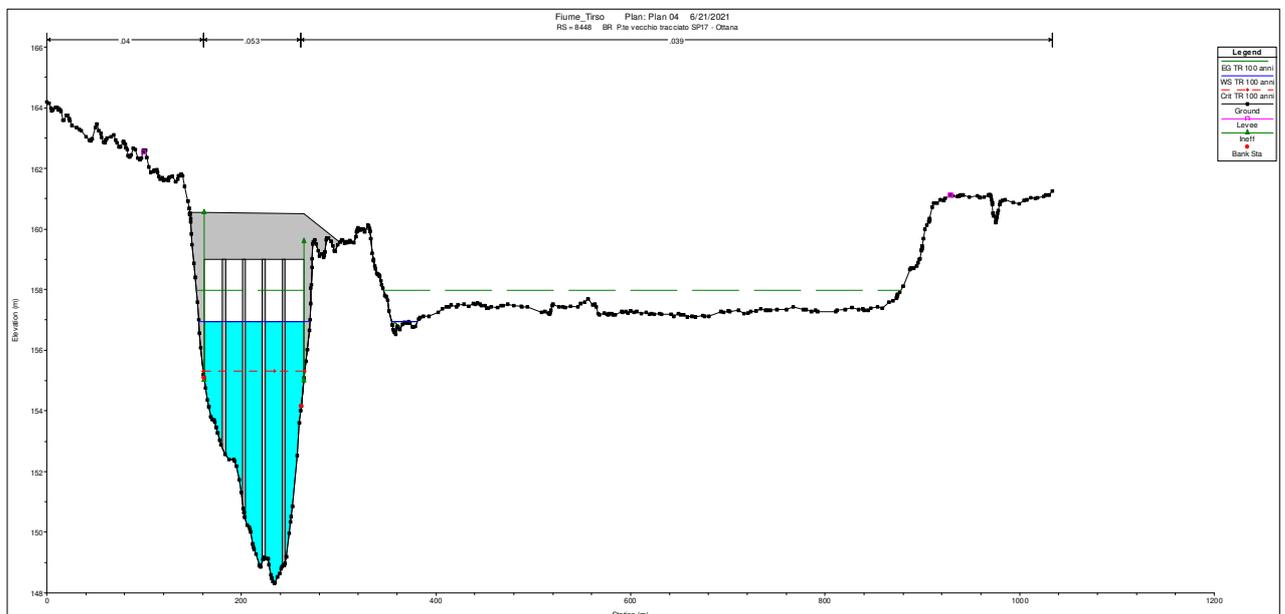


Figura 47. Sezione idraulica in corrispondenza del ponte vecchio tracciato SP17-Ottana (Sezione 02\_TI\_085) ( $Q_{100}$ ).

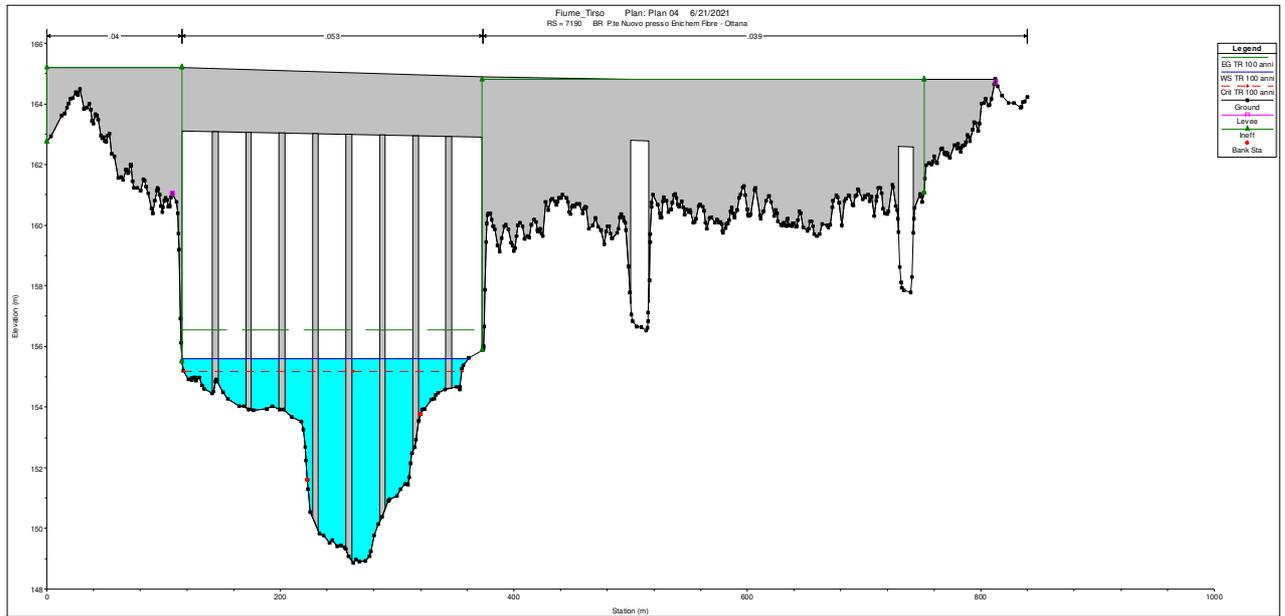


Figura 48. Sezione idraulica in corrispondenza del nuovo ponte presso Enichem Fibre - Ottana (Sezione 02\_TI\_084) ( $Q_{100}$ ).

## 6.2. TEMPO DI RITORNO DI 200 ANNI

Nella figura sottostante si riporta la mappa delle aree allagate ottenute con la simulazione 1D in moto uniforme per tempo di ritorno di 200 anni:

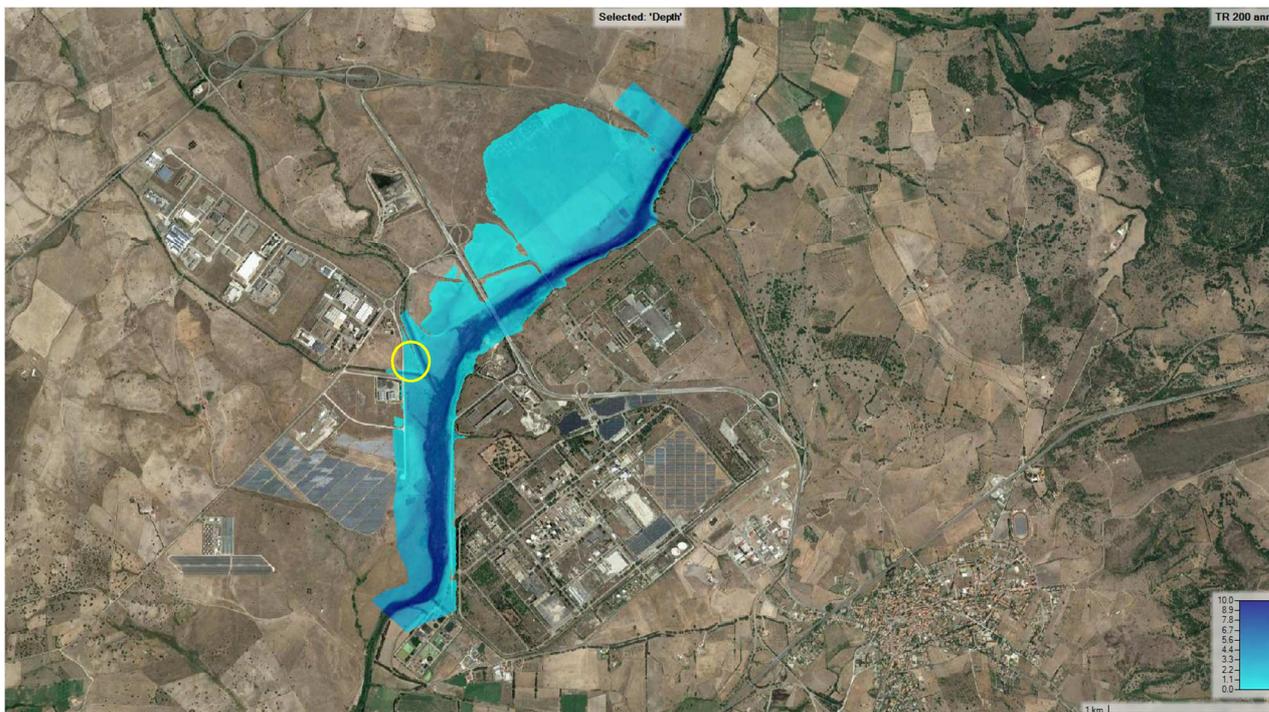


Figura 49. Carta delle aree allagabili per portata con  $T_r$  di 200 anni.

Nella figura sottostante si riporta il profilo di piena del Fiume Tirso dalla prima sezione di monte del tratto d'interesse per terminare in corrispondenza della sezione di chiusura a valle del tratto modellato:

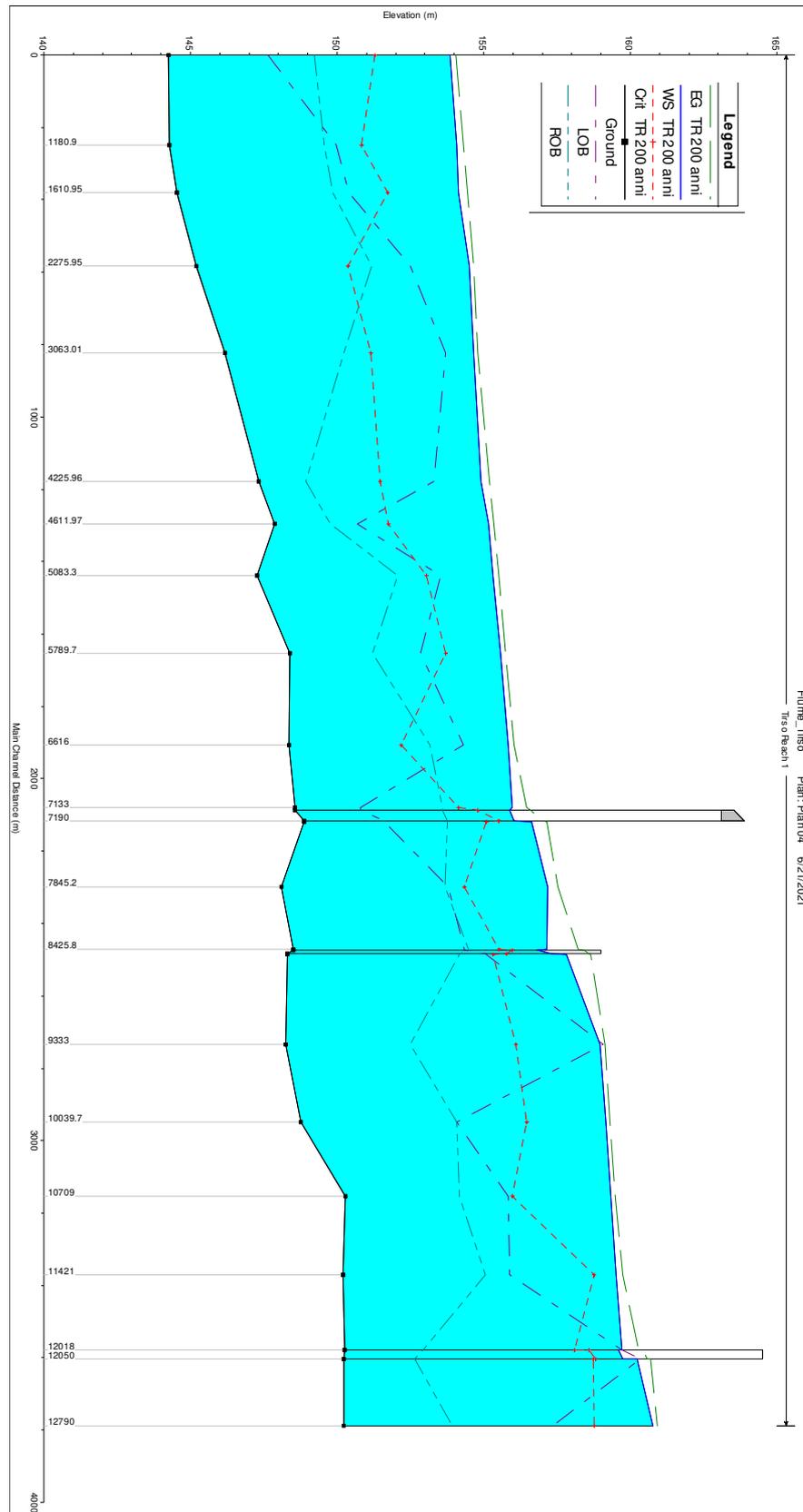


Figura 50. Profilo di Piena, modello 1D in moto permanente ( $Q_{200}$ ).

Le criticità maggiori si riscontrano lungo la sponda destra del tratto fluviale oggetto di studio.

In particolare nelle sezioni immediatamente a monte del sostegno n.1 si osserva un'evidente esondazione al di fuori dell'alveo di magra nei pressi dell'area dove passa il tracciato del futuro elettrodotto. Nella figura sottostante si riporta il valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golenale dove verrà costruito il primo sostegno dell'elettrodotto in progetto.

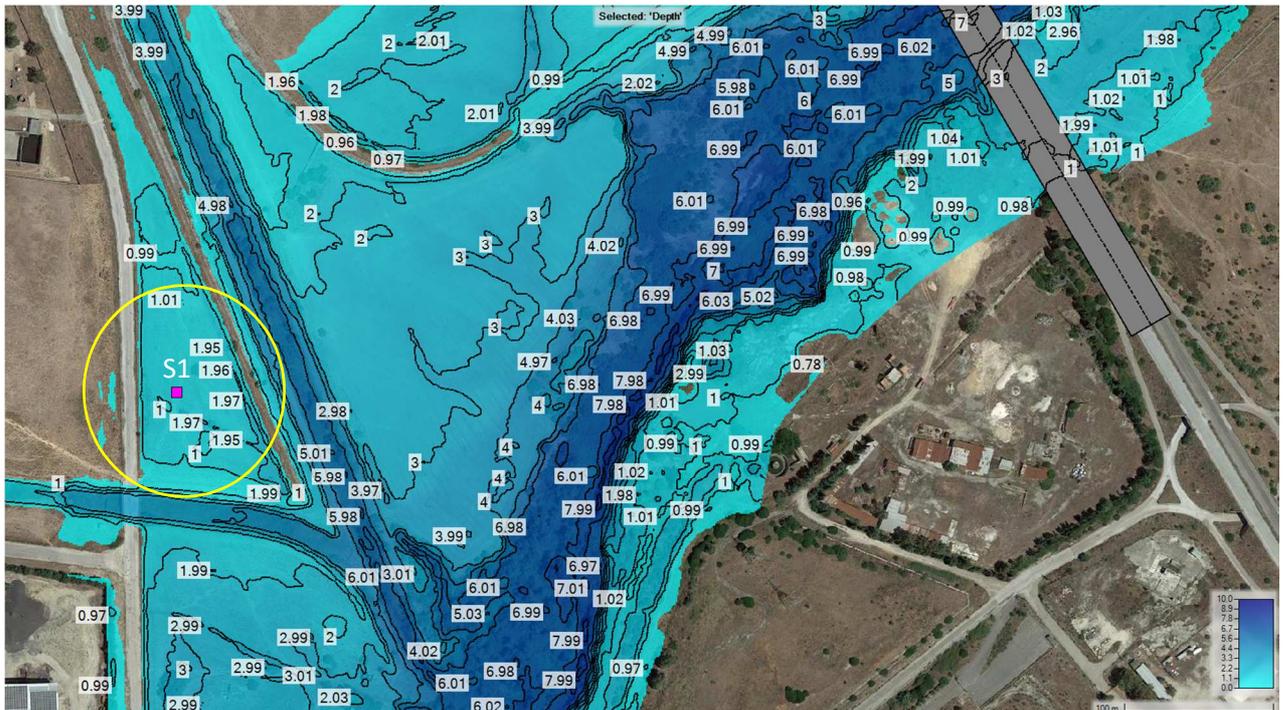


Figura 51. Valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golenale del sostegno n.1 dell'elettrodotto in progetto ( $Q_{200}$ ).

Nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni nell'area di pertinenza del sostegno 1 si riscontra la possibile presenza di valori massimi di altezze idriche pari a circa 1,3 m.

Di seguito si riporta il profilo della sezione immediatamente a monte e immediatamente a valle del sostegno n.1 oggetto della presente verifica.

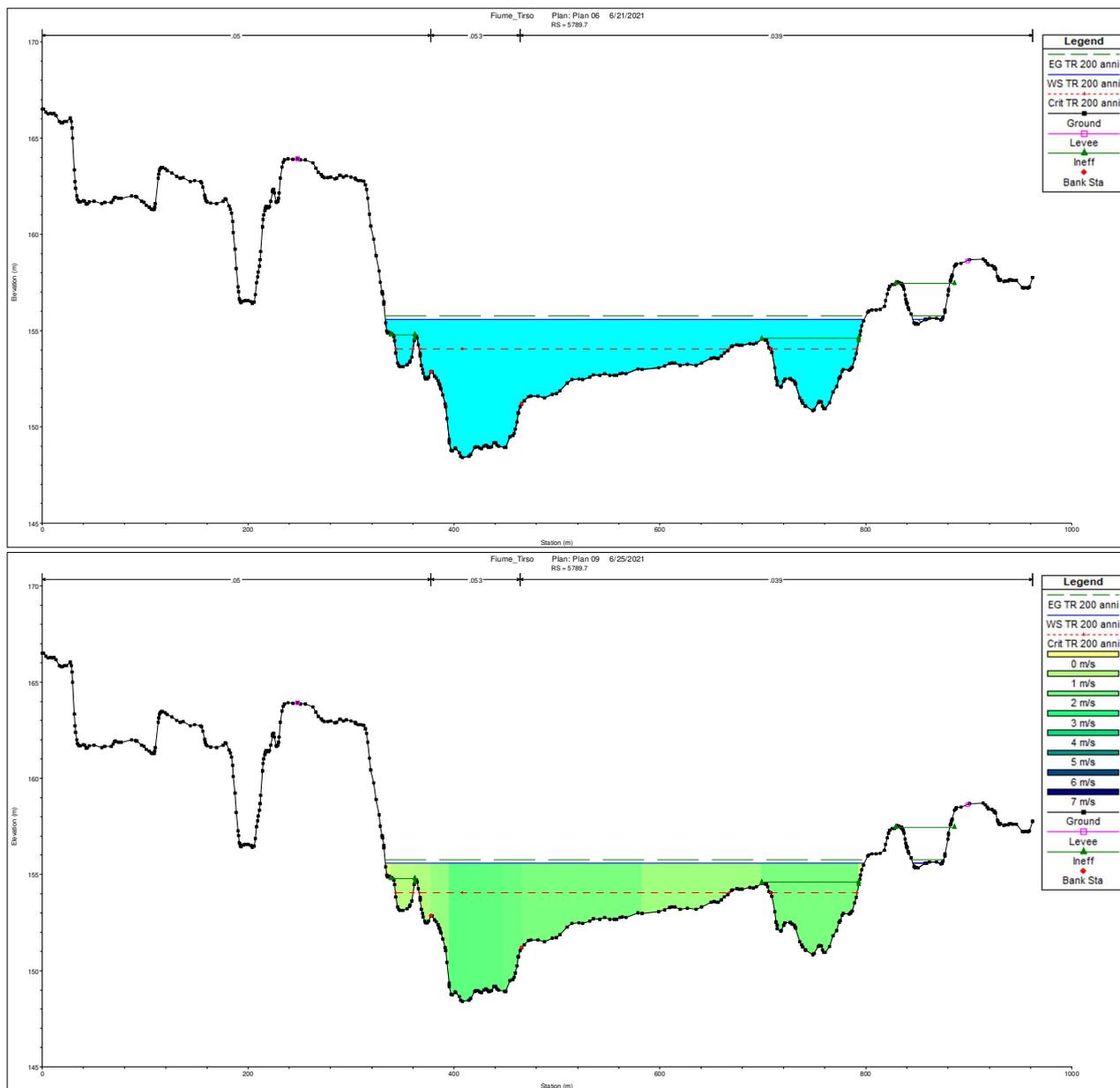


Figura 52. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a monte del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_082) ( $Q_{200}$ ).

La corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 7,10 m e una velocità massima di circa 2,2 m/s.

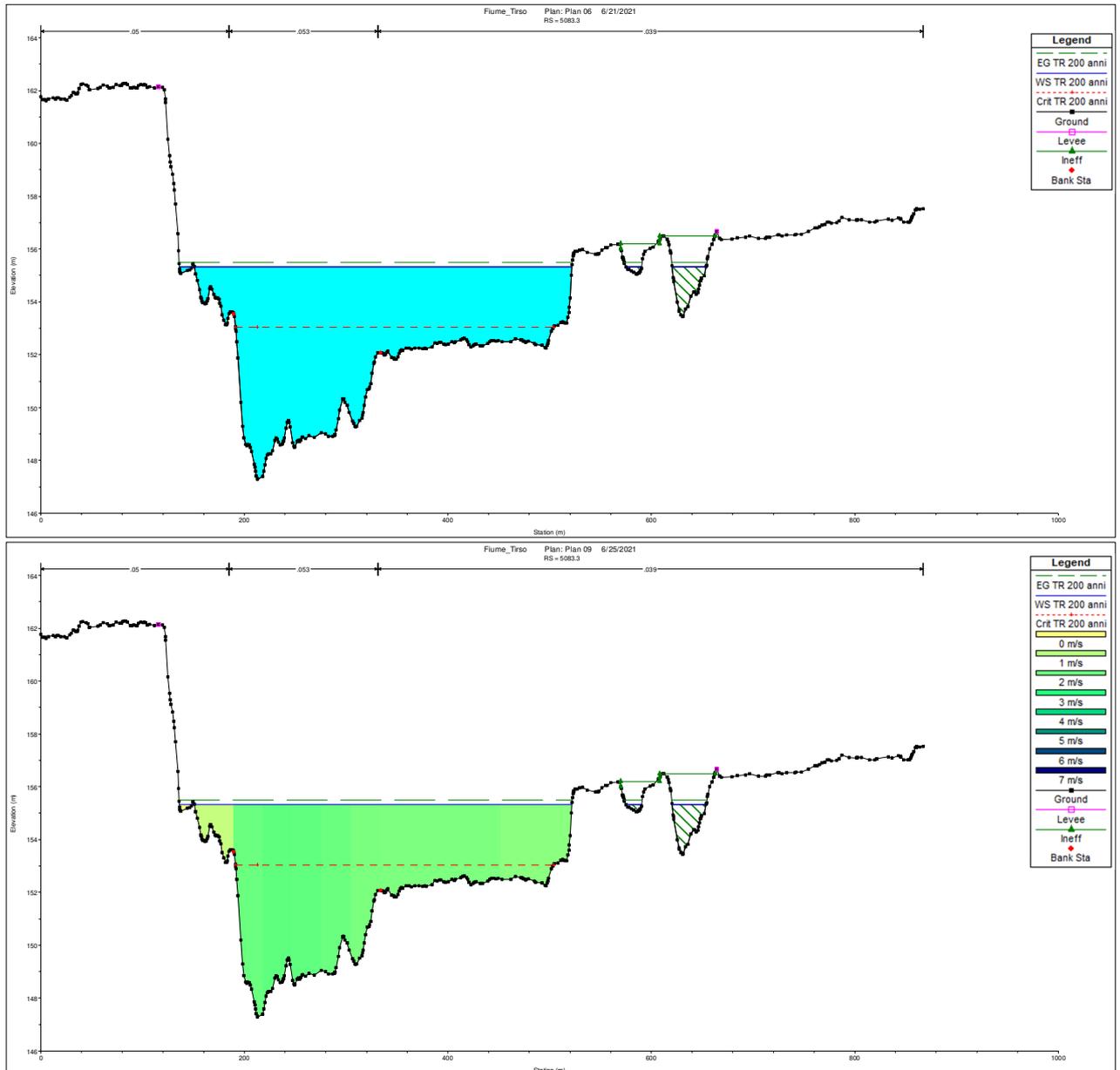


Figura 53. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a valle del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_081) ( $Q_{200}$ ).

La corrente nella sezione immediatamente a valle dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 7,99 m e una velocità massima di circa 2,2 m/s.

L'altra osservazione interessante in merito ai risultati ottenuti consiste nella verifica che anche in questo caso tutti gli impalcati non vengono raggiunti del tirante idrico. Pertanto le rispettive sezioni sono sufficienti per lo smaltimento della piena bicentennale.

Nella figura sottostante si riportano le sezioni idrauliche in corrispondenza degli attraversamenti precedentemente individuati:

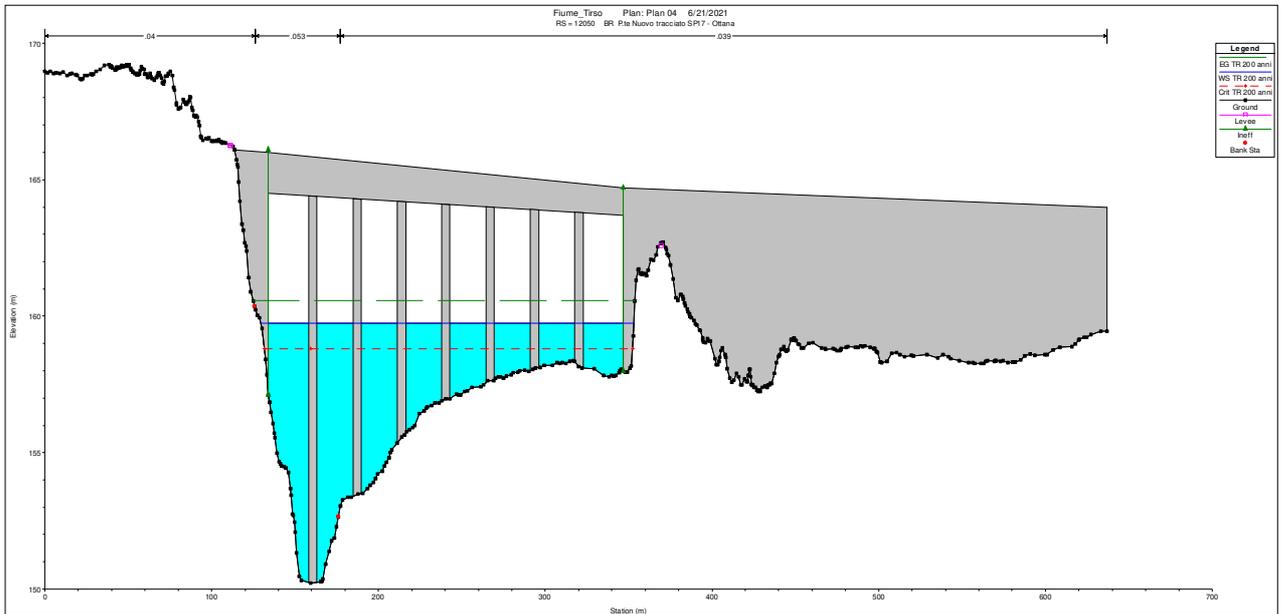


Figura 54. Sezione idraulica in corrispondenza del ponte nuovo tracciato SP17-Ottana (Sezione 02\_TI\_090) ( $Q_{200}$ ).

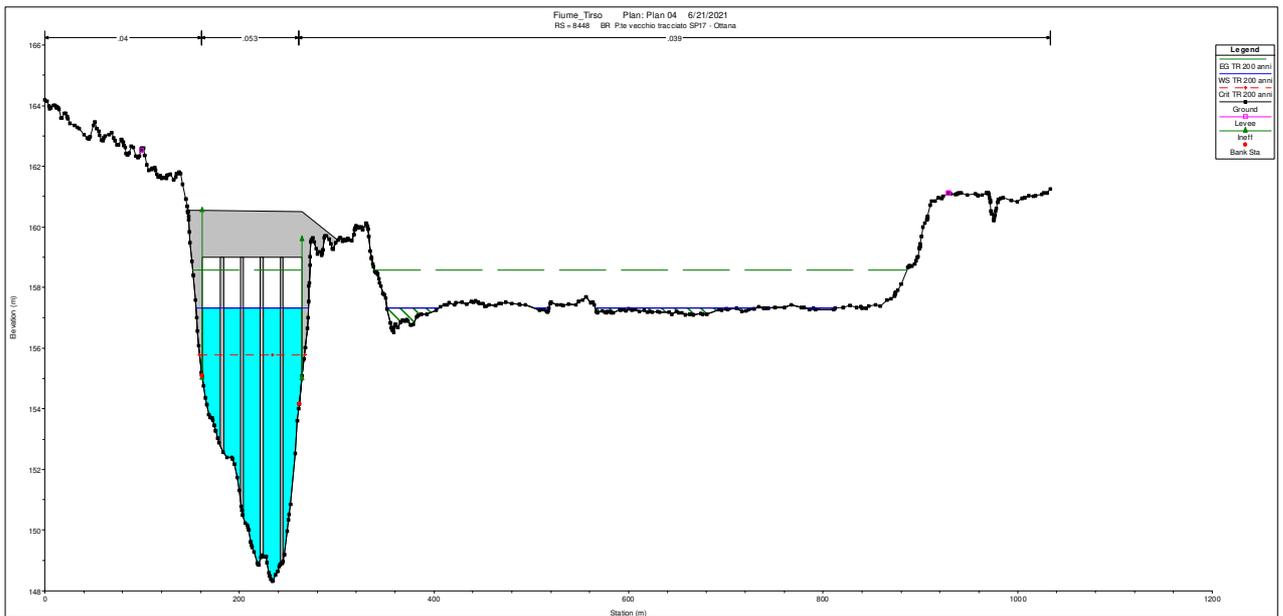


Figura 55. Sezione idraulica in corrispondenza del ponte vecchio tracciato SP17-Ottana (Sezione 02\_TI\_085) ( $Q_{200}$ ).

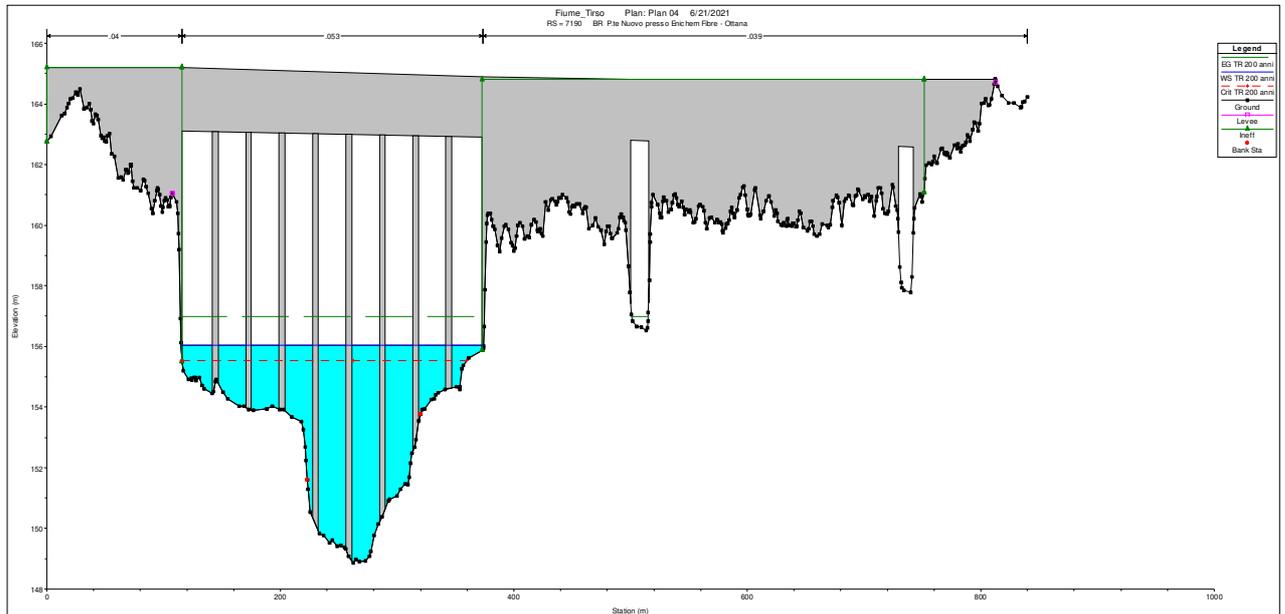


Figura 56. Sezione idraulica in corrispondenza del nuovo ponte presso Enichem Fibre - Ottana (Sezione 02\_TI\_084) ( $Q_{200}$ ).

### 6.3. CONDIZIONI POST-OPERA

Al fine di identificare e quantificare gli effetti dell'intervento in progetto sull'assetto del corso d'acqua rispetto alla situazione precedente all'intervento, in corrispondenza del sostegno oggetto di studio, è stata aggiunta una sezione e nella posizione in cui è in progetto la costruzione del traliccio è stato inserito un blocco mediante l'apposito comando "obstructions" all'interno del "Geometric Data".

Di seguito è riportata la sezione sopracitata con le dimensioni assunte per la modellazione del manufatto oggetto di verifica.

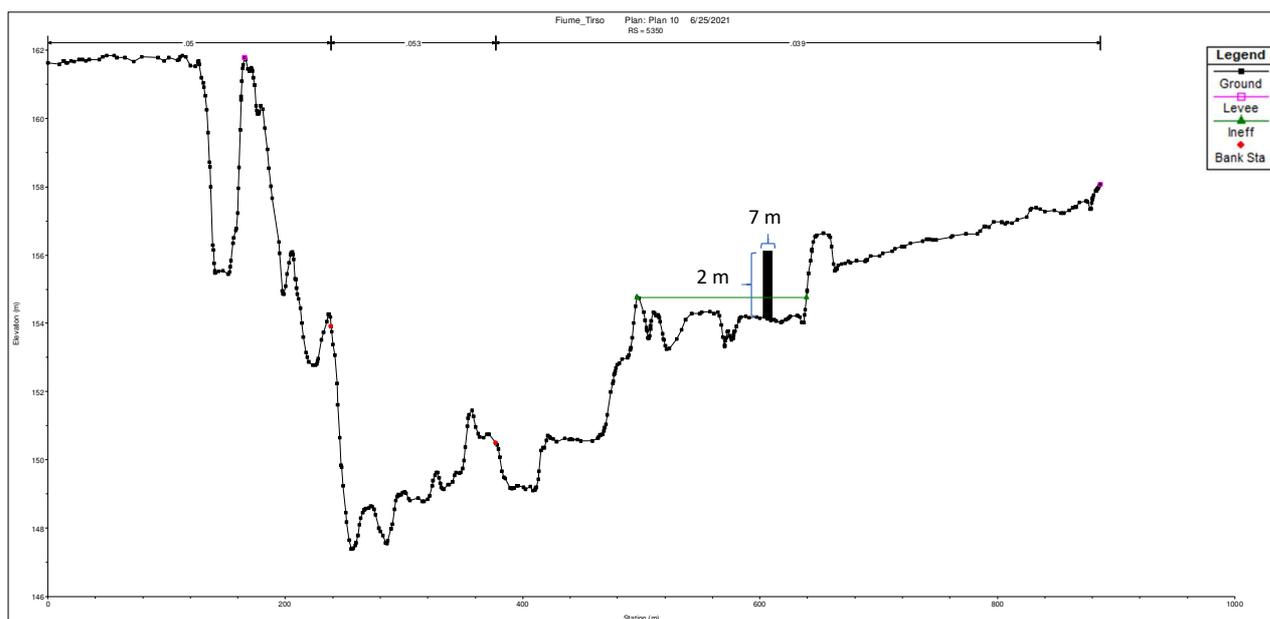


Figura 56. Sezione idraulica in corrispondenza del sostegno n.1 dell'elettrodotto in progetto.

I calcoli idraulici sono stati eseguiti similmente alla condizione indisturbata.

Dal punto di vista del moto idraulico, nella situazione di progetto non si riscontrano cambiamenti apprezzabili, così come anche i limiti di esondazione delle portate di piena considerate nella presente relazione non subiscono grandi variazioni. Di seguito vengono quindi riportati i risultati delle piene con tempi di ritorno di 100 e 200 anni nelle condizioni di progetto:

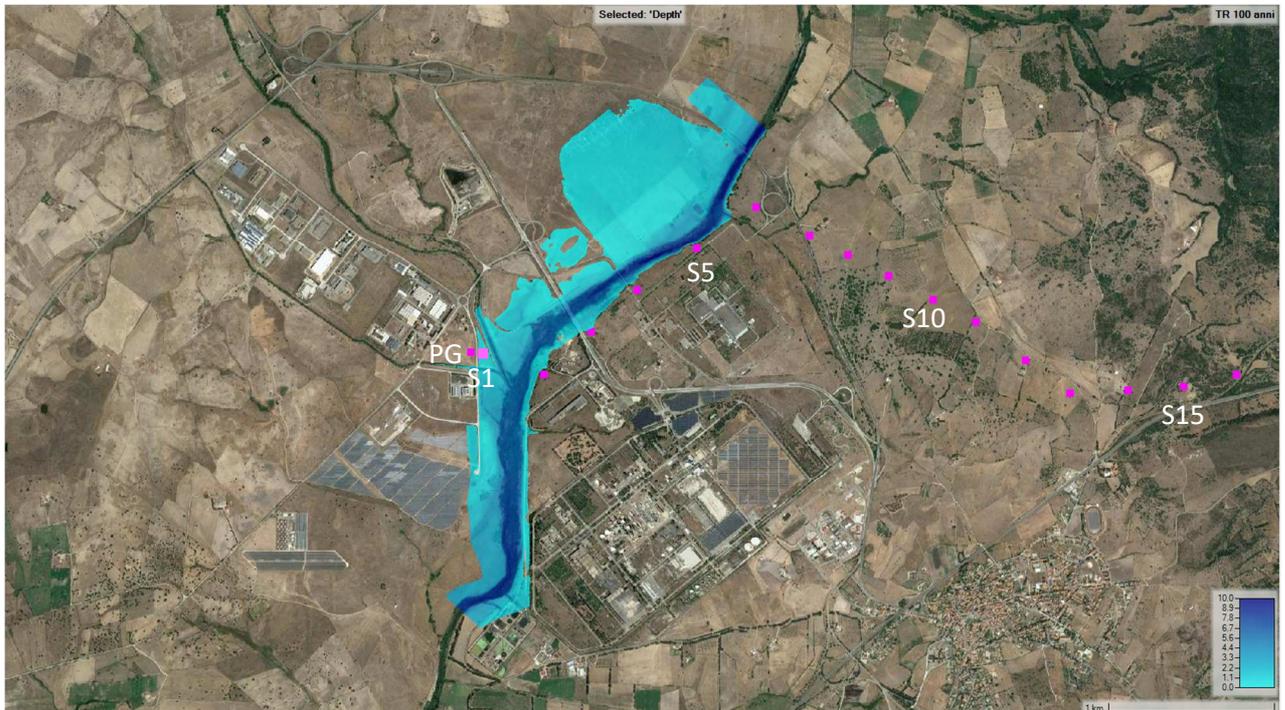


Figura 57. Carta delle aree allagabili per portata con  $T_r$  di 100 anni nelle condizioni di progetto.

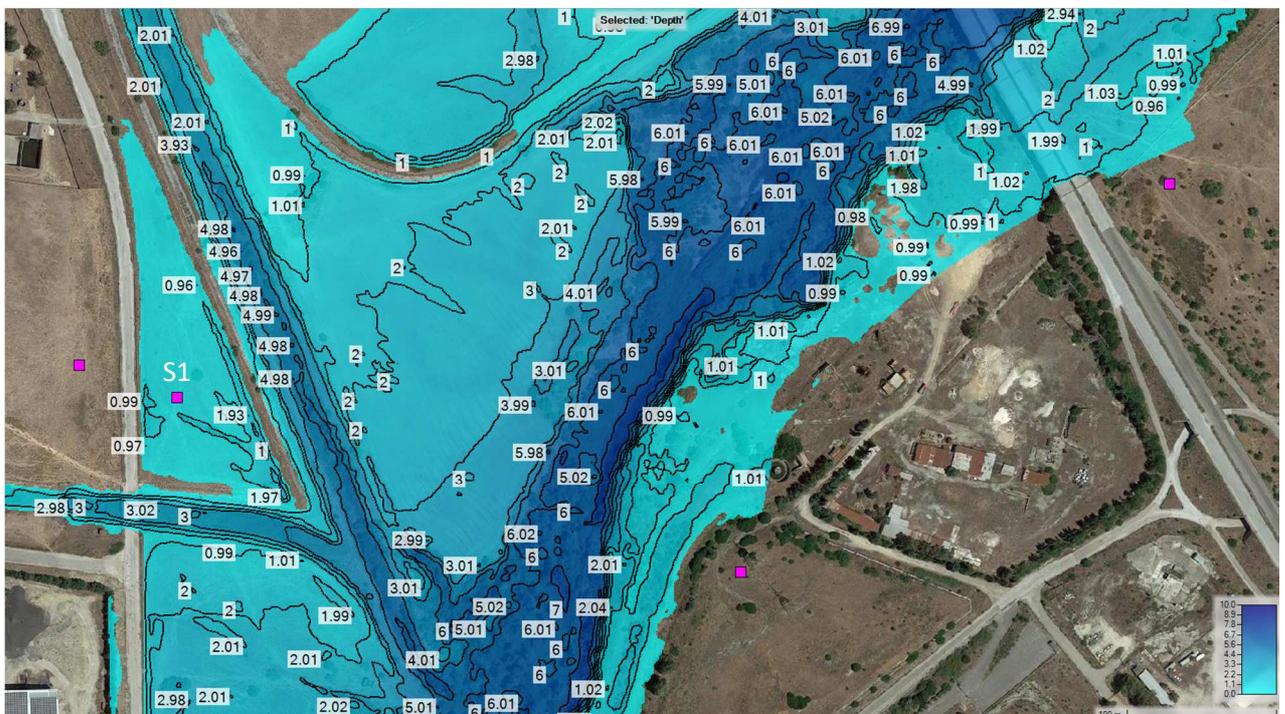


Figura 58. Valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golendale del sostegno n.1 dell'elettrodotto nelle condizioni di progetto ( $Q_{100}$ ).

Nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni nell'area di pertinenza del sostegno 1 si riscontra la possibile presenza di valori massimi di altezze idriche pari a circa 0,83 m.

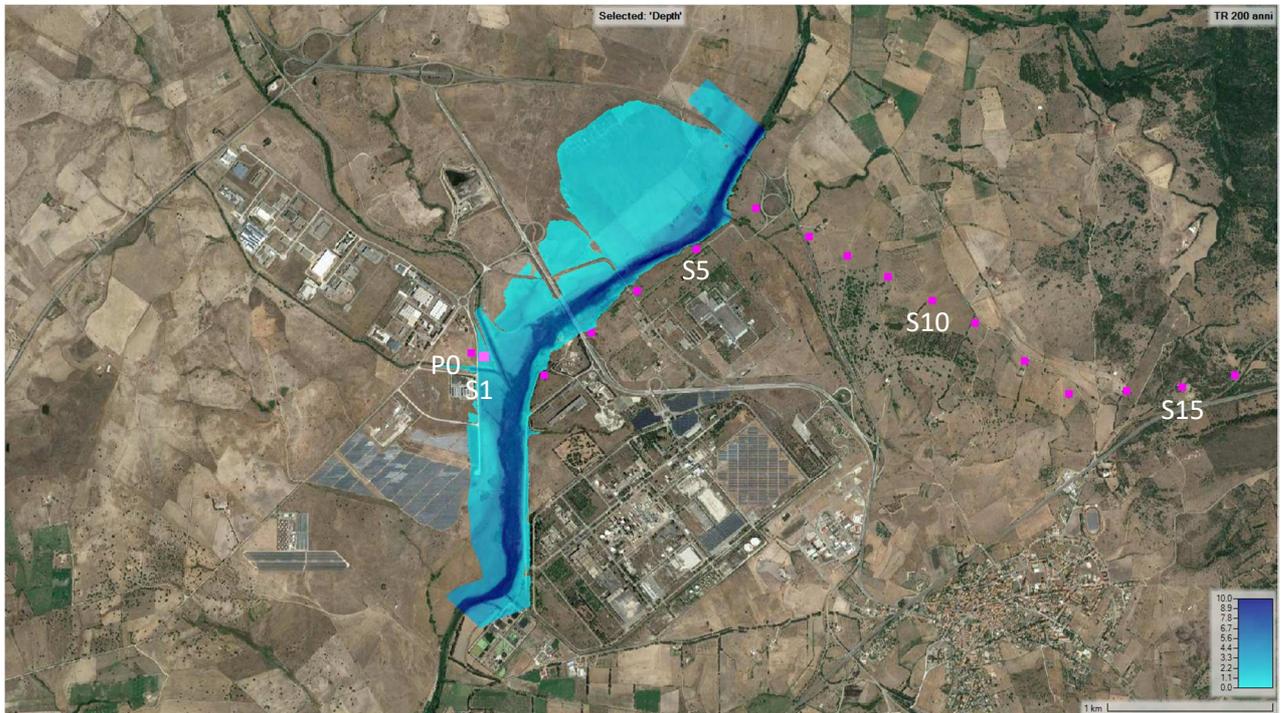


Figura 59. Carta delle aree allagabili per portata con Tr di 200 anni nelle condizioni di progetto.

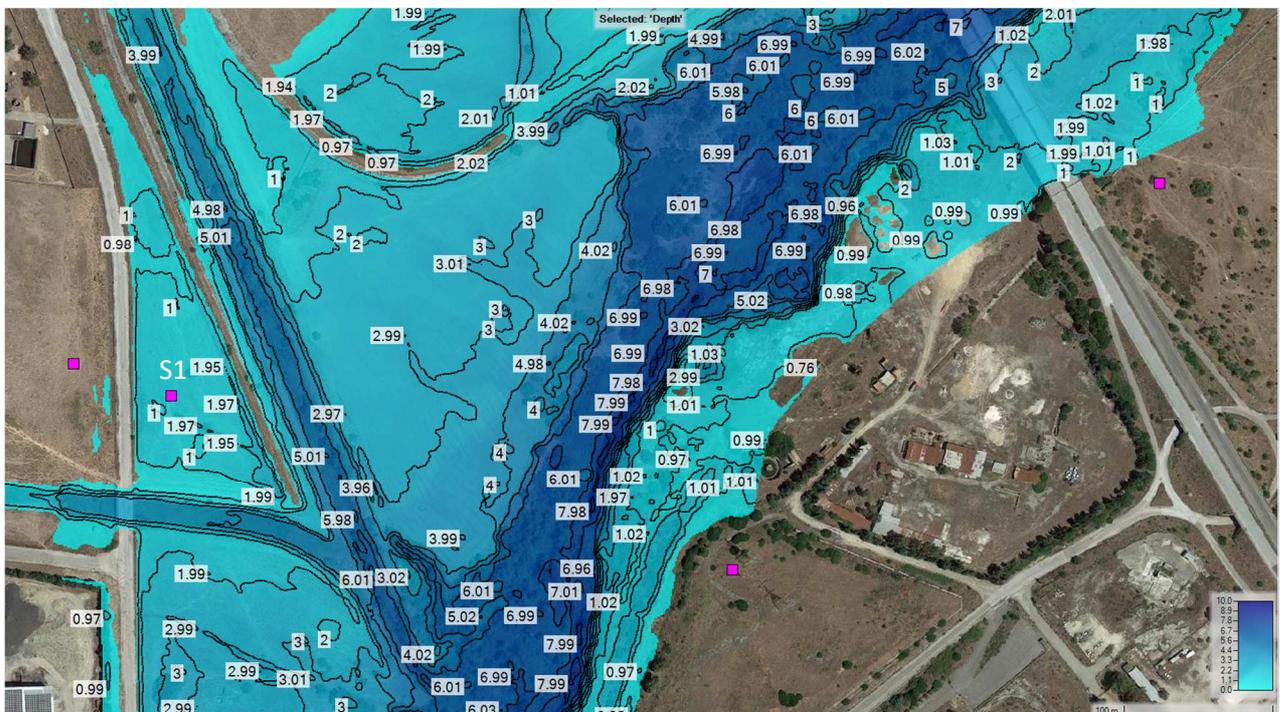


Figura 60. Valore del tirante idrico in corrispondenza dell'area golenale del sostegno n.1 dell'elettrodotto nelle condizioni di progetto ( $Q_{200}$ ).

Nel caso di un evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni nell'area di pertinenza del sostegno 1 si riscontra la possibile presenza di valori massimi di altezze idriche pari a circa 1,31 m.

Anche dai risultati ottenuti con l'assetto geometrico relativo alla situazione di progetto non si riscontrano grandi differenze. Di seguito si riportano i profili dei tiranti idrici della piena centenaria e bicentennale in

corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'area in cui sorgerà il sostegno oggetto di verifica, nonché quelli della nuova sezione che intercetta il sostegno stesso.

$$Q_{100} = 2330 \text{ m}^3/\text{s}$$

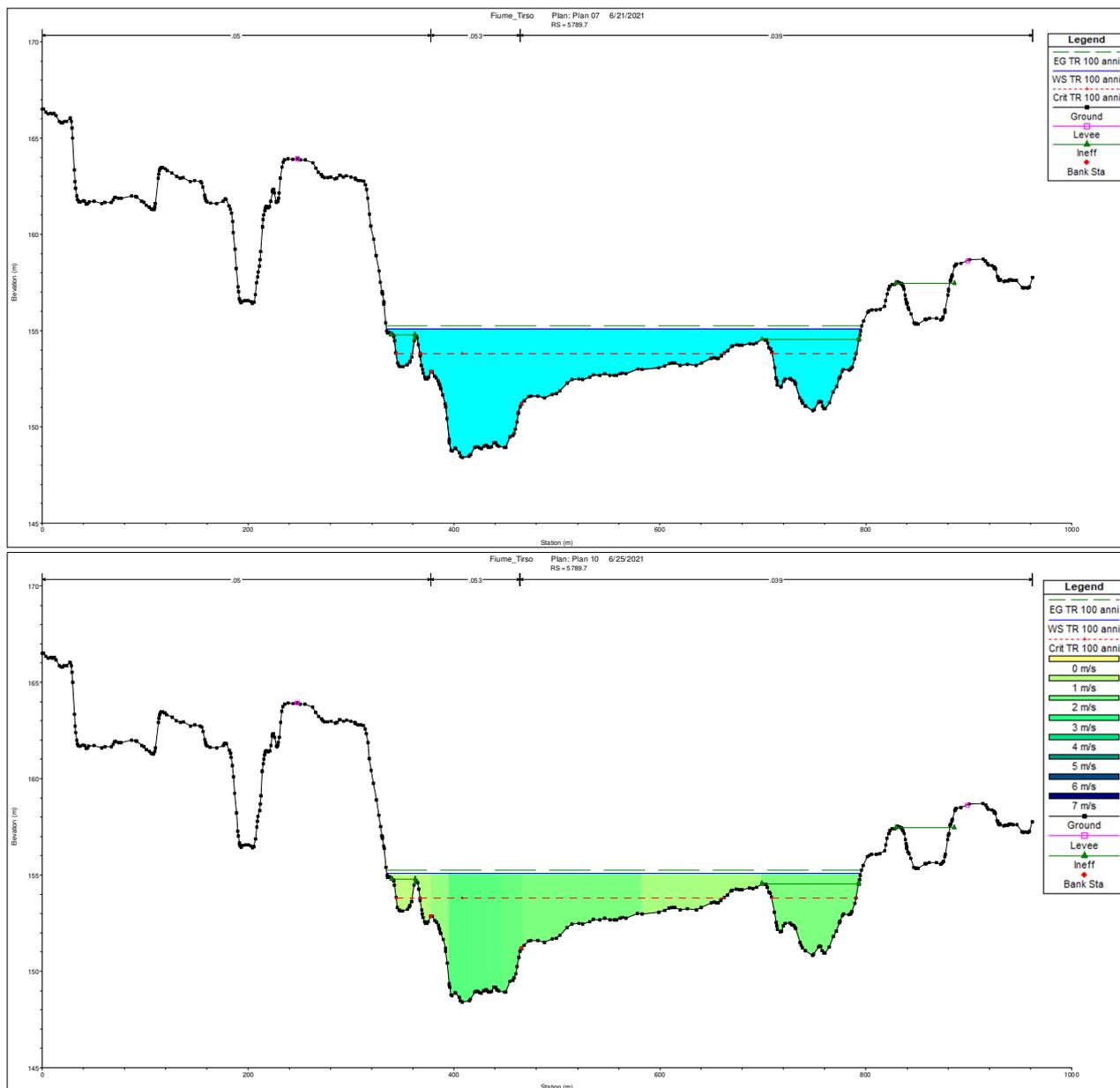


Figura 61. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a monte del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_082) nelle condizioni di progetto ( $Q_{100}$ ).

Nelle condizioni di progetto, la corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta un tirante idrico pari a 6,7 m e una velocità massima di circa 2,30 m/s.

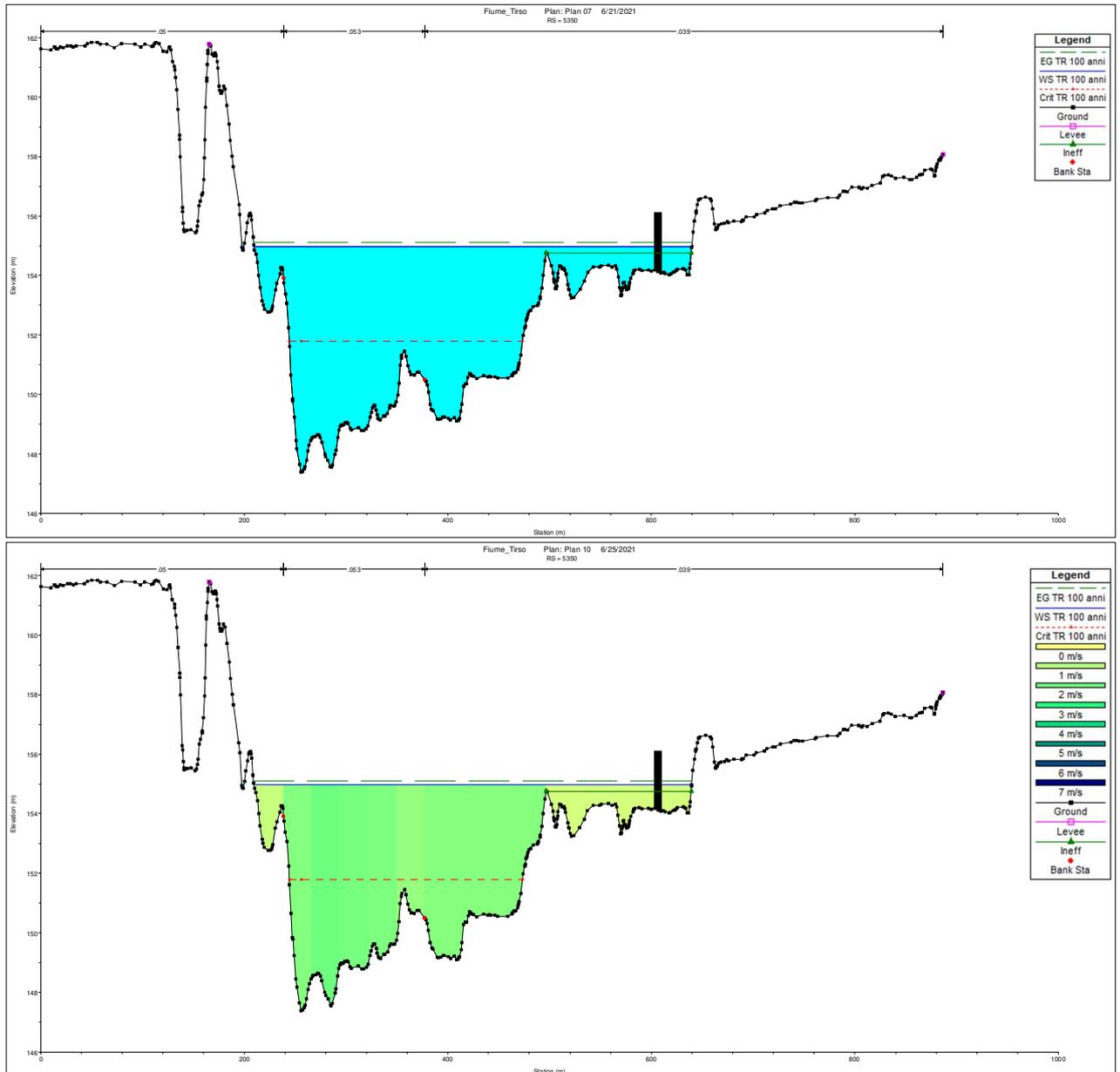


Figura 62. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione intercettante il Sostegno n.1 nelle condizioni di progetto ( $Q_{100}$ ).

La corrente nella sezione che intercetta il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 7,57 m e una velocità massima di 1,99 m/s. Mentre in corrispondenza del punto in cui verrà installato il futuro traliccio la corrente presenta un tirante idrico pari a 0,85 m e una velocità di circa 0,59 m/s.

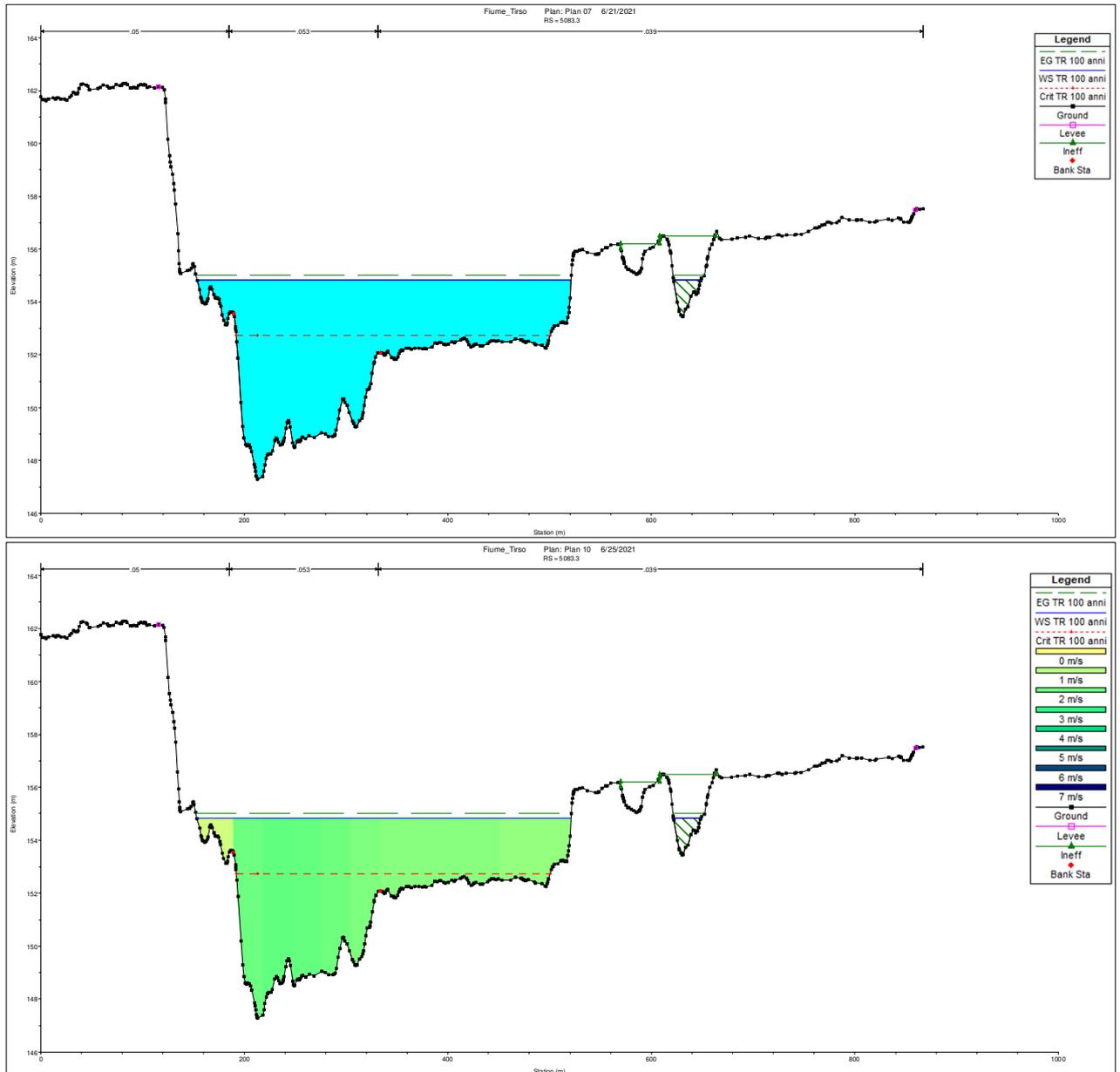


Figura 63. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a valle del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_081) nelle condizioni di progetto ( $Q_{100}$ ).

Nelle condizioni di progetto, la corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta in centro alveo un tirante idrico pari a 7,51 m e una velocità massima di circa 2,17 m/s.

$Q_{200} = 2740 \text{ m}^3/\text{s}$

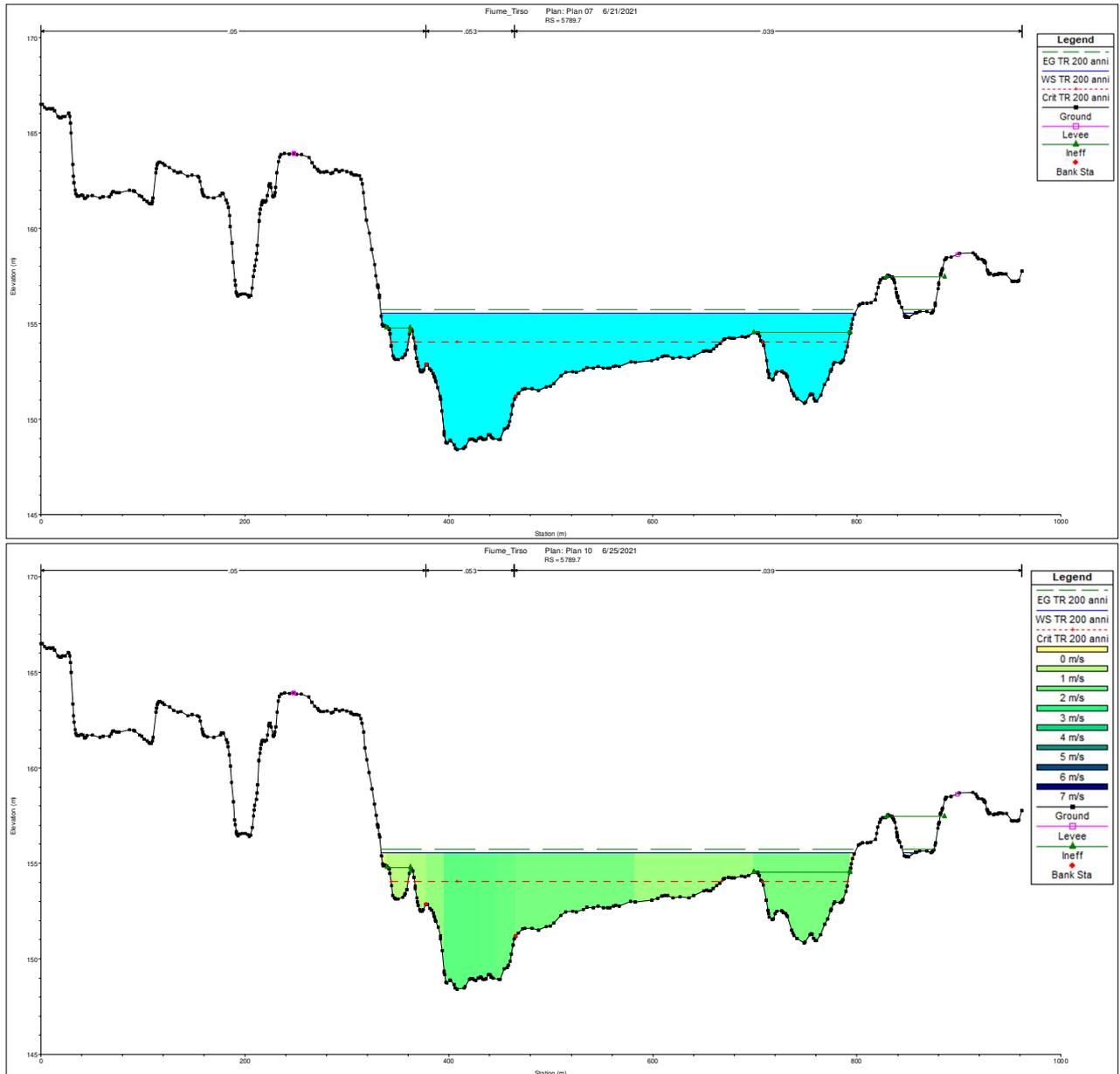


Figura 64. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a monte del Sostegno n.1 (Sezione O2\_TI\_082) nelle condizioni di progetto ( $Q_{200}$ ).

Nelle condizioni di progetto, la corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta un tirante idrico in centro alveo pari a 7,10 m e una velocità massima di circa 2,24 m/s.

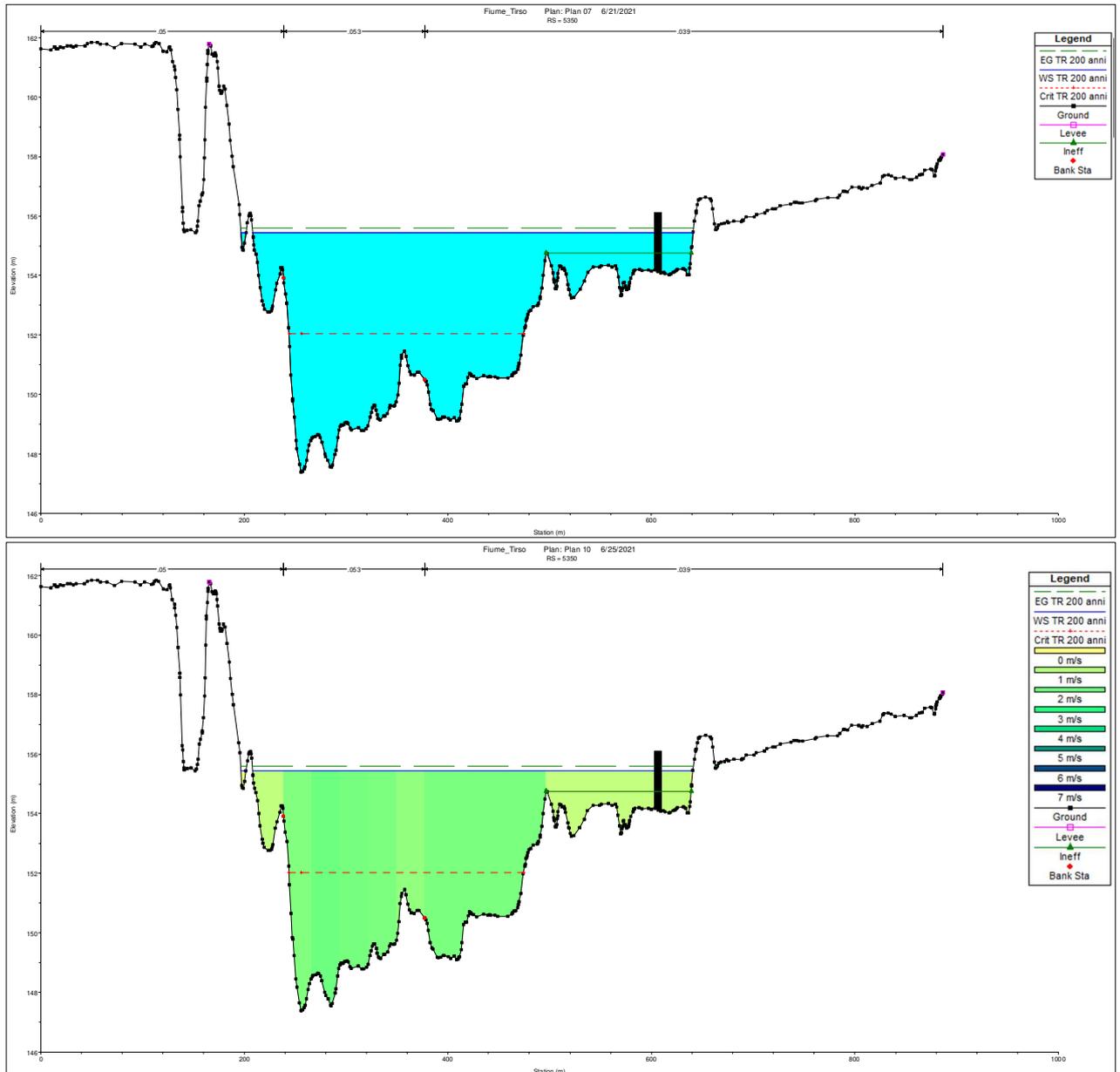


Figura 65. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione intercettante il Sostegno n.1 nelle condizioni di progetto ( $Q_{200}$ ).

La corrente nella sezione che intercetta il sostegno n.1 presenta un tirante idrico in centro alveo pari a 8,05 m e una velocità massima di circa 2,00 m/s. Mentre in corrispondenza del punto in cui verrà installato il futuro traliccio la corrente presenta un tirante idrico pari a 1,33 m e una velocità di circa 0,79 m/s.

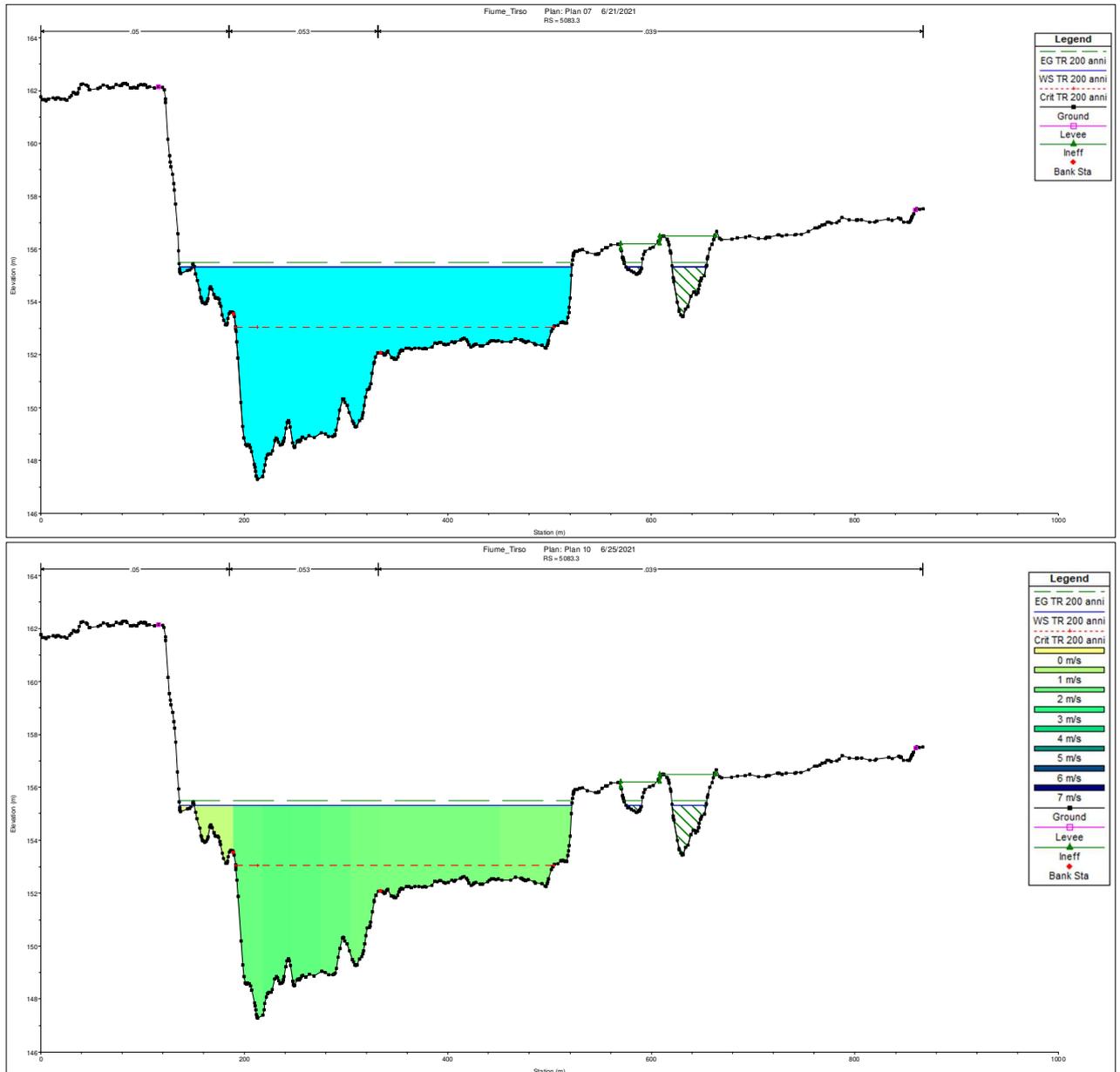


Figura 66. Sezione idraulica del tirante e della velocità della corrente in corrispondenza della sezione immediatamente a valle del Sostegno n.1 (Sezione 02\_TI\_081) nelle condizioni di progetto ( $Q_{200}$ ).

Nelle condizioni di progetto, la corrente nella sezione immediatamente a monte dell'area in cui sorgerà il sostegno n.1 presenta un tirante idrico in centro alveo pari a 7,99 m e una velocità massima di circa 2,20 m/s.

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva modifiche indotte sulle quote dei tiranti idrici nelle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'area di installazione del sostegno n.1:

Tirante idrico [m]			
$Q_{100}$	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$
<b>Monte</b>	6,63	6,70	0,07
<b>Valle</b>	7,51	7,51	0,00

Velocità massime [m/s]			
$Q_{100}$	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$
<b>Monte</b>	2,30	2,30	0,00
<b>Valle</b>	2,20	2,17	0,03

Tabella 15-16. Confronto dei tiranti idrici e delle velocità massime nelle sezioni 02\_TI\_082 e 02\_TI\_081 nelle condizioni precedenti e seguenti la realizzazione del sostegno n.1 ( $Q_{100}$ ).

Tirante idrico [m]			
$Q_{200}$	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$
<b>Monte</b>	7,10	7,10	0,00
<b>Valle</b>	7,99	7,99	0,00

Velocità massime [m/s]			
$Q_{200}$	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$
<b>Monte</b>	2,20	2,24	0,04
<b>Valle</b>	2,20	2,20	0,00

Tabella 17-18. Confronto dei tiranti idrici e delle velocità massime nelle sezioni 02\_TI\_082 e 02\_TI\_081 nelle condizioni precedenti e seguenti la realizzazione del sostegno n.1 ( $Q_{200}$ ).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle differenze quantitative indotte sulle altezze idriche  $H_w$  e sulle velocità di corrente  $v_w$  in corrispondenza del punto in cui sorgerà il sostegno n.1 in progetto:

$H_w$ [m]	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$ [m]
$Q_{100}$	0,84	0,83	0,01
$Q_{200}$	1,30	1,31	0,01

	<p style="text-align: center;">OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p style="text-align: center;">Studio di compatibilità idraulica</p>	<p style="text-align: right;">Marzo 2022</p>
--	---	--

$v_w$ [m/s]	Pre-opera	Post-opera	$\Delta$ [m]
$Q_{100}$	0,59	0,59	0,00
$Q_{200}$	0,79	0,79	0,00

*Tabella 19-20. Confronto delle altezze idriche e delle velocità della corrente ottenute in corrispondenza del sostegno n.1 in seguito all'esondazione delle piene con tempi di ritorno di 100 e 200 anni.*

Per entrambi i valori di portata, durante il deflusso della piena, vengono osservate differenze di altezze nell'ordine del cm mentre le velocità non subiscono variazioni apprezzabili.

Come si può constatare dalle tabelle riportate in precedenza, le differenze in termini di tirante e di velocità non risultano essere apprezzabili. Oltretutto l'ostruzione offerta dal sostegno è stata fortemente sovrastimata, considerando come pieno l'ingombro del sostegno. In realtà sono i soli profili angolari del traliccio e della parte sporgente del colonnino di fondazione a costituire ostacolo al deflusso della piena.

	<p>OPERE DI RETE PROPEDEUTICHE AL COLLEGAMENTO          ALLA RTN DI UN IMPIANTO DI GENERAZIONE DA          FONTE EOLICA DA 78 MW</p> <p>Studio di compatibilità idraulica</p>	<p>Marzo 2022</p>
--	---	-------------------

## 7. CONCLUSIONI

Dai profili di piena ottenuti dai calcoli idraulici riferiti alla condizione di assenza dell'opera è stata riscontrata una certa coerenza con quelli definiti dall'Autorità di bacino con riferimento alle sezioni di calcolo utilizzate per la definizione delle fasce fluviali.

In particolare, in corrispondenza dell'area in cui è in progetto la realizzazione il primo sostegno di un elettrodotto aereo a 150 kV di collegamento tra la futura Stazione Elettrica di Ottana2 (sezione a 150 kV) e la futura Stazione Elettrica di smistamento di Nuoro, la piena centennale e bicentennale invadono la golena in destra idrografica, esondando tale area con altezze idriche rispettivamente nell'ordine di 80/85 cm e di 130/135 cm, raggiungendo velocità di corrente rispettivamente nell'ordine di 0,59 m/s e di 0,79 m/s. In occasione di eventi simili non sono state riscontrate differenze tali da poter ritenere incompatibile dal punto di vista idraulico l'opera in progetto.

Questa condizione di invarianza è dovuta all'estensione dell'area golenale, che produce una sezione idraulica molto ampia così che anche l'inserimento del sostegno oggetto di verifica dell'elettrodotto in progetto influisce poco sul deflusso della piena del fiume Tirso.

Inoltre, siccome l'installazione del sostegno n.1 dell'elettrodotto in progetto non riduce significativamente la sezione idraulica di smaltimento della piena né capacità d'invaso dell'alveo, e, allo stesso tempo, non presenta interazioni con opere di difesa idrauliche esistenti e/o in progetto né comporta significative modifiche sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale, si può affermare che l'opera **non contribuisce** ad un aggravamento della condizione attuale di rischio idraulico e pertanto è idraulicamente compatibile.

Il tecnico

