

RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C0012465

Cliente Enel Produzione S.p.A.

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

Ordine A.Q. 8400134283 - Att. n. 3500108646 del 06/08/2020

Note WBS A1300002523 – Lettera di trasmissione C0012466

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

N. pagine 35 **N. pagine fuori testo** 0

Data 12/08/2020

Elaborato STC - Barbieri Giorgio, STC - Riva Efrem
C0012465 114979 AUT C0012465 2604800 AUT

Verificato ENC - Pertot Cesare
C0012465 3840 VER

Approvato ENC - Il Responsabile - Mozzi Riccardo
C0012465 2809622 APP

CESI S.p.A.

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

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

© Copyright 2020 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/35

Indice

1	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	3
2	PREMESSA	3
3	ANALISI IDROLOGICA	4
4	MODELLAZIONE IDRAULICA.....	12
4.1	Obbiettivi del modello.....	12
4.2	Descrizione idraulica dell'area d'intervento	12
4.3	Dati topografici disponibili	14
4.4	Condizioni al contorno e singolarità del modello.....	19
4.4.1	Analisi della scabrezza dell'alveo.....	22
4.4.2	Portate di verifica	22
4.4.3	Risultati della Modellazione	22
5	CONCLUSIONI	26
	APPENDICE 1: PROFILI DI MOTO UNIFORME.....	28
	APPENDICE 2: TIRANTI IDRICI NELLE SEZIONI, LINEA DELL'ENERGIA E CORRENTE CRITICA.....	30

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	12/08/2020	C0012465	Prima emissione

1 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Studio di Impatto Ambientale, Centrale termoelettrica “Federico II” di Brindisi Sud, Progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas, Protocollo Cesi B9014361
- [2] Piano di Bacino, Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI), Relazione di Piano, Autorità di Bacino della Puglia, anno 2004.
- [3] Documento ENEL con Sezioni Siedi, Fonte Consorzio Arneo
- [4] La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro, ed. McGraw-Hill 2006.
- [5] Hydraulic Design of Highway Hulvet, FHWA, 1985.

2 PREMESSA

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

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

Con il presente documento la società Enel Produzione S.p.A. intende rispondere alle richieste di cui alla comunicazione citata.

3 ANALISI IDROLOGICA

Il presente capitolo riporta la stima della portata bicentenaria dei bacini a monte della Centrale “Federico II” di Brindisi Sud, rispettivamente posti sul Canale Siedi e sul Canale della Giumenta.

Entrambi gli alvei risultano antropizzati e rimodellati nel corso dei decenni al fine di indirizzare gli apporti lungo percorsi prestabiliti e, come nel caso del Canale della Giumenta, in aree esterne al sedime di Centrale.

Coerentemente con quanto previsto dalla Relazione di Piano del Piano di Bacino, Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) (Rif.[2]), l’analisi pluviometrica è stata condotta applicando ai bacini analizzati le Curve di Possibilità Pluviometrica regionalizzate con modello VA.PI. e riportate nel summenzionato documento.

Alla base di tale metodologia vi è la distribuzione statistica TCEV (Two Component Extreme Value distribution), i cui fondamenti teorici ed applicativi sono abbondanti in letteratura, in quanto tale distribuzione di probabilità ben si adatta alle analisi idrologiche regionalizzate.

Il metodo prevede che la pioggia indice della sottozona omogenea del bacino, al terzo livello di regionalizzazione, venga moltiplicata per un fattore di crescita che contiene la connotazione statistica della pioggia stessa, ovvero sia che sia risolta la seguente equazione:

$$h(t, T = 200anni) = x(t, z) * K_T$$

in cui

$$x(t, z) = a * t^{n(z)}$$

$$K_T(T = 200anni) = 0.1599 + 0.5166 \ln T = 2.897$$

Come si può osservare, il fattore di crescita K_T , dipendente solo dal tempo di ritorno, è adimensionale e pari a 2.897.

Nel caso specifico la sottozona pluviometrica omogenea, desunta dalla seguente figura, coincide con la zona 6.



Figura 1: Sottozone pluviometriche omogenee, estratto da Rif.[2]

Con riferimento a tale zona la pioggia indice assume la seguente formulazione, in funzione della durata dell'evento e dell'altezza media del bacino rispetto al livello del mare.

$$x(t, z) = 33.7 * t^{\frac{0.488+0.002*z}{3.1788}} = [mm]$$

La seguente Tabella 1 riporta, per durate d'evento comprese tra 1 ora e 24 ore, le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP).

Bacino	CPP h[mm] T=200 anni				
	ore				
	1	3	6	12	24
Siedi	97.6	118.72	134.32	151.9621	171.9237
Giumenta	97.6	117.59	132.24	148.7135	167.2373

Tabella 1: Curve di Possibilità Pluviometrica dei bacini a monte della Centrale.

La seguente Figura 2 e la relativa Tabella 2 presentano i bacini idrografici summenzionati, e i relativi dati morfometrici ottenuti con software ArcMap 10.4.1 sul Modello Digitale del terreno (DTM) a lato cella 8 m scaricabile dal Geoportale regionale, sovrapposto alla CTR a scala 1:5000.



Figura 2: Perimetrazione dei bacini idrografici a monte della Centrale con indicazione del percorso idrologico più lungo

Morfometria Bacini						
Bacino	Area [Km ²]	Min[m s.l.m.]	Max [m s.l.m.]	Media [m s.l.m.]	Percorso Idrologico [km]	s [%]
Siedi	17.15	3.83	59.96	35.39	12.64	1.770
Giumenta	2.17	15.82	31.44	22.83	3.71	1.560

Tabella 2: Dati morfometrici dei bacini idrografici a monte della Centrale: area, quota minima, massima e media, lunghezza del percorso idrologico e pendenza media del bacino.

La modellazione afflussi-deflussi è stata condotta col metodo del Curve Number proposto nel 1972 dal Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture.

Tale modellazione, che ben si adatta a bacini idrografici con area non superiore a 15-20 km², permette di determinare il volume e il colmo dell'idrogramma di piena nella sezione di chiusura del bacino anche se quest'ultimo risulta priva di strumentazione.

Tralasciando la trattazione completa del metodo, reperibile in letteratura e negli elaborati della stessa Autorità di Bacino della Puglia, nel presente elaborato si riportano i principali elementi costituenti il metodo stesso nonché le scelte progettuali eseguite.

Il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

in cui:

V = volume di deflusso [mm]

P_n = pioggia netta [mm]

W = volume immagazzinato nel suolo [mm]

S = volume massimo invasabile [mm]

La precipitazione netta P_n si ottiene depurando la precipitazione lorda P dalle perdite iniziali pari a $I_a = 0.2S$.

Sviluppando e sostituendo le equazioni si ottiene quindi che:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

La stima di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui compare il parametro CN, denominato Curve Number, che rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso. Tale parametro è stimato sulla base di tabelle che considerano la caratteristica idrologica del suolo e la copertura vegetale presente nel bacino.

Le caratteristiche idrologiche del suolo sono desunte dalla seguente Tabella 3 mentre l'uso del suolo è mutuato dal Corine Land Cover 2018, le cui classi d'uso, per i bacini analizzati, sono riportate nella seguente Tabella 4.

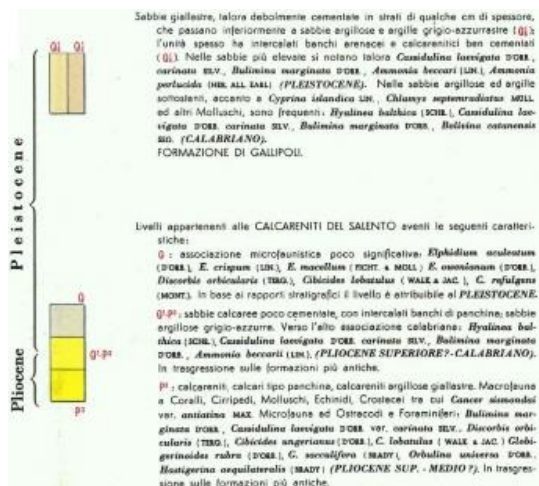
Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

Tabella 3: Classificazione idrologica dei suoli secondo SCS.

Codice	CorineLandCover Liv3		Tipologia di Suolo			
	Usa Suolo		A	B	C	D
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati		89	92	94	95
211	Seminativi in aree non irrigue		58	72	81	85
223	Oliveti		72	81	88	91
242	Sistemi culturali e particellari complessi		66	74	80	82
313	Boschi misti di conifere e latifoglie		36	60	73	79

Tabella 4: CN per differenti uso del suolo in condizione AMCII (mutuati da Corine Land Cover del 2018) e tipologie di suolo

Le seguenti figure presentano la perimetrazione dei bacini sulla Carta geologica Nazionale a scala 1:250000 e i valori di Curve Number (AMCII) classificati in base all'uso del suolo.



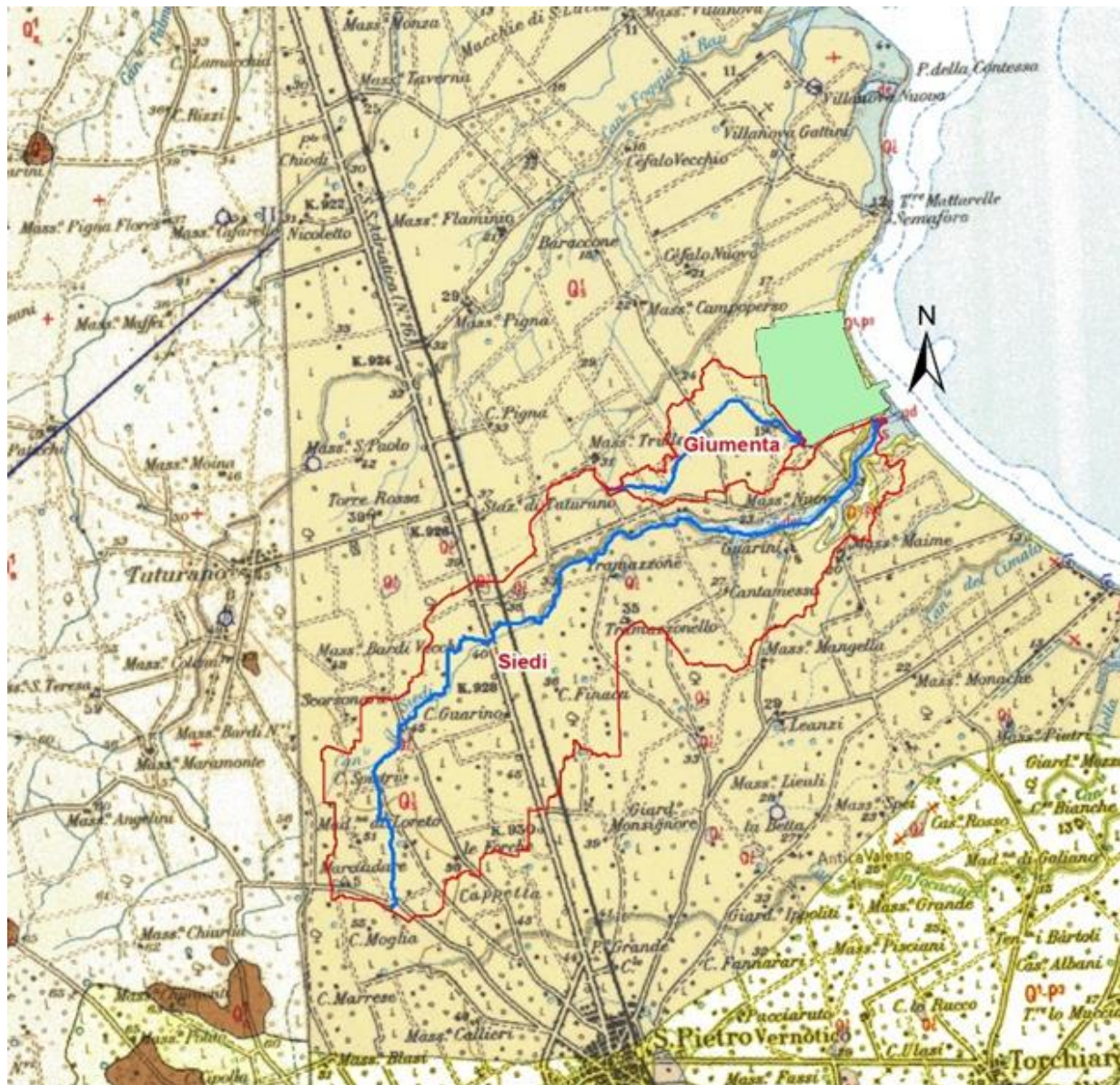


Figura 3: Carta Geologica a scala 1:250000 con sovrapposizione della centrale e dei bacini idrografici

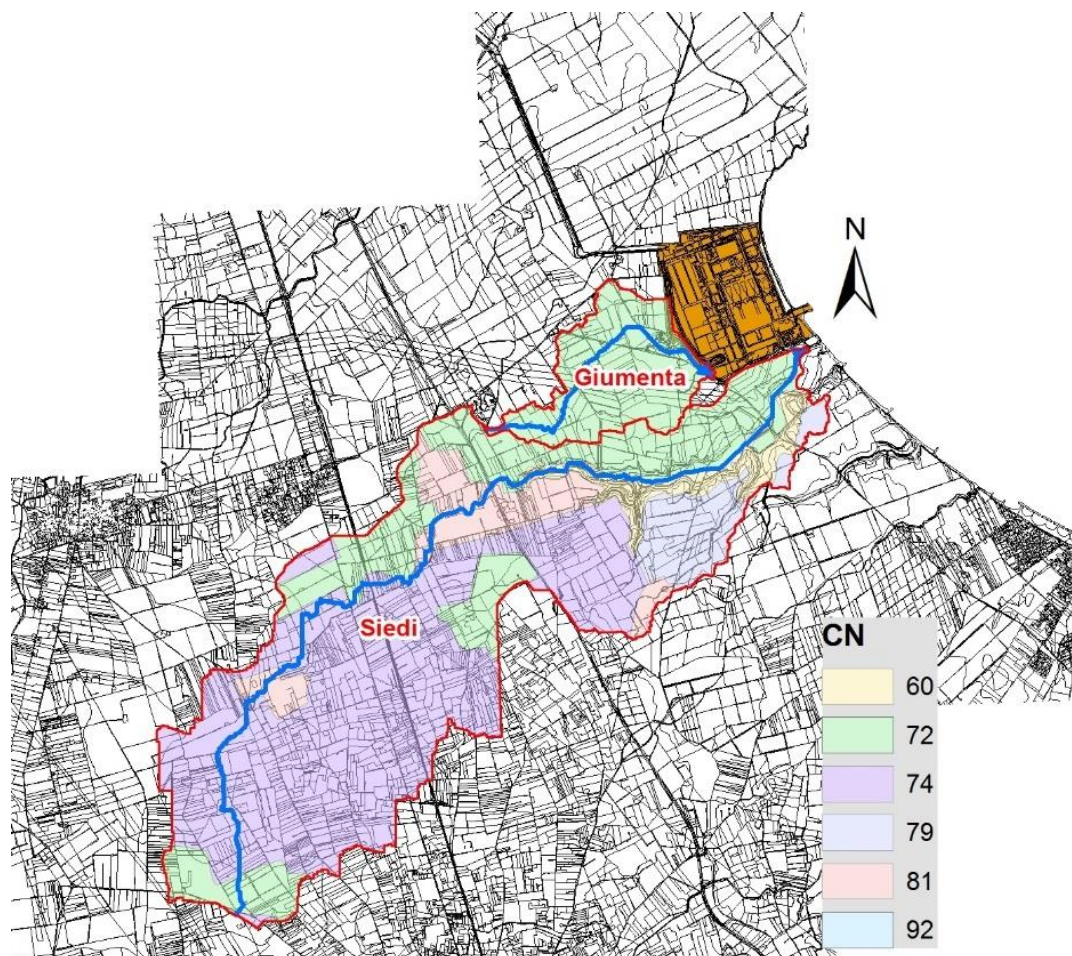


Figura 4: Stima dei CN per la condizione AMCII e perimetrazione dei bacini idrografici

Come si può osservare dalla carta geologica la tipologia di suolo prevalente è composta da “Formazione di Gallipoli (Q1S)”, ossia sabbie giallastre, a volte debolmente cementate, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurrastre. In questi depositi sono spesso intercalati banchi arenacei o calcarenitici ben cementati (Q1c). In particolare nella zona di Brindisi quest’unità è associata ad uno spessore di circa un centinaio di metri. Alla foce del canale e lungo la costa affiora la “Formazione del Salento (Q1-P3)” che sono anch’esse sabbie calcaree poco cementate con intercalati banchi di panchina e sabbie argillose grigio-azzurre.

Dal punto di vista idrologico tali formazioni sono associabili alla tipologia di suolo B.

I valori di CN_{II} presentati nella precedente tabella sono riferiti a una condizione di umidità del terreno “normale” definita AMCII. La stima del valore del CN dei due bacini idrografici è condotta calcolandone la media pesata sull’area.

La seguente Tabella 5 riporta i principali parametri idrologici dei bacini analizzati in condizione di umidità del suolo AMCII.

Parametri Modello CN			
Bacino	CN (AMCII)	S (AMCII)	Ia (AMCII)
Siedi	73.7	90.64	18.13
Giumenta	72.1	98.29	19.66

Tabella 5: parametri idrologici dei bacini secondo la modellazione del CN

L'applicazione completa del metodo prevede che il calcolo della portata al colmo sia condotto con l'applicazione l'idrogramma unitario di Mockus, sul quale è eseguita la convoluzione con un idrogramma rettangolare la cui durata è pari al tempo di corrivazione.

Tuttavia, nel presente elaborato, essendo il modello idraulico in moto permanente, non risulta necessario ricostruire l'intero idrogramma, ma risulta essere di interesse solo il colmo dello stesso. Per tale motivo nel seguito si presenteranno solo le equazioni necessarie a tale scopo.

Osservazioni sperimentali riportate in letteratura (Rif.[4]) mostrano che esiste una correlazione tra il tempo di corrivazione del bacino t_c e il tempo di Lag t_L , ovvero il ritardo tra il baricentro della pioggia e il colmo dell'idrogramma stesso, Rif.[4]. Tale correlazione è del tipo:

$$\frac{t_L}{t_c} = 0.6$$

Il tempo di lag T_L , secondo il metodo del CN, è espresso dalla seguente formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} [\text{ore}]$$

in cui

t_L = tempo di lag [ore]

L = percorso idrologicamente più lungo [Km]

s = pendenza media dei versanti [%]

CN = Curve Number del bacino

Nota T_L è possibile ricavare il tempo di corrivazione del bacino che inserito nelle curve di possibilità pluviometrica, presentate all'inizio del capitolo, permette di calcolare la pioggia lorda di progetto, il volume netto di deflusso e quindi attraverso la seguente formula il colmo di piena.

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

in cui

Q_p = portata di colmo [m^3/s]

V = volume di deflusso [mm]

A = area bacino [Km^2]

$t_a = 0.5 * t_c + t_L$ = durata fase crescente idrogramma [ore]

L'analisi condotta porta alla stima delle durate idrologiche presentate nella seguente Tabella 6, con le quali è possibile stimare la pioggia critica, di durata pari al tempo di corrivazione, il volume di deflusso e la portata di colmo alla sezione di chiusura dei due bacini. Queste ultime quantità sono presentate nella successiva Tabella 7.

Bacino	Idrogramma AMCII		
	t_L [ore]	t_c [ore]	t_a [ore]
Siedi	5.66	9.44	10.38
Giumenta	2.37	3.95	4.34

Tabella 6: tempo di lag, tempo di corrivazione e picco dell'idrogramma di piena alla sezione di chiusura

Analisi Pluviometrica AMCII				Stima della Portata	
Bacino	x(T=200,tc) [mm]	KT (T=200)	h(T=200,tc) [mm]	V [mm]	Qp [m ³ /s]
Siedi	50.3	2.897	146	75	25.6
Giumenta	42.5	2.897	123	53	5.5

Tabella 7: Stima della pluviometria e delle portate idrologiche alla chiusura dei bacini idrografici in condizione AMCII

La seguente Figura 5 fornisce una rappresentazione grafica di massima delle quantità idrologiche stimate al fine di renderne maggiormente chiara la comprensione.

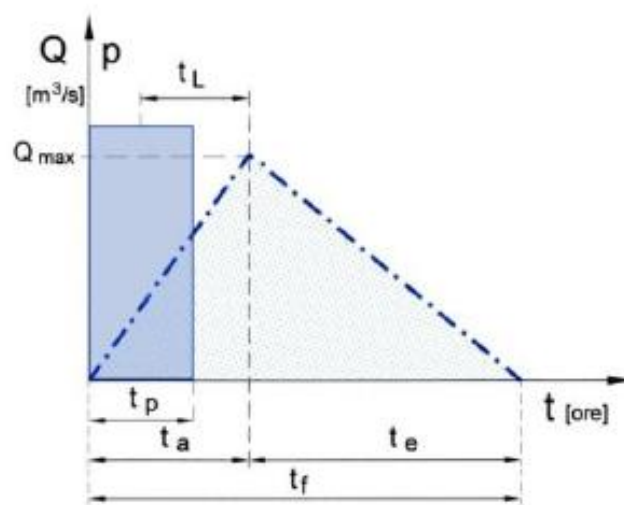


Figura 5: Idrogramma di piena e idrogramma di progetto secondo il metodo del CSC

Nel seguito della relazione le portate utilizzate per perimetrare le aree di esondazione sono pari a:

- 25.6 m³/s per il bacino del Canale Siedi
- 5.5 m³/s per il bacino del Canale della Giumenta.

4 MODELLAZIONE IDRAULICA

4.1 Obiettivi del modello

Il modello sviluppato si pone i seguenti obiettivi:

- individuare le eventuali aree di esondazione nei pressi della Centrale Enel di Brindisi, valutando contemporaneamente se le opere che dovranno essere realizzate potranno indurre alterazioni idrauliche all'attuale stato dei luoghi per portate 200-ennali;
- redigere un preliminare quadro conoscitivo delle aree di esondazione nei pressi della foce del Canale Siedi, in quanto non sono attualmente disponibili studi idrologici ed idraulici su quest'area di studio.

Le aree di esondazione perimetrate saranno tracciate sulla più recente CTR a scala 1:5000.

Al fine di evidenziare eventuali modifiche al regime idraulico del Canale della Giumenta o lo sviluppo di nuove aree di esondazione nel perimetro di Centrale, sono state realizzate due cartografie confrontabili tra loro.

La prima presenta le aree di esondazione vestendo la CTR a scala 1:5000 col Layout di Centrale allo stato di fatto; la seconda ha la stessa base cartografica, ma presenta il layout di Centrale nella futura configurazione progettuale.

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

Tuttavia, si sottolinea che lo studio presentato nel seguito, redatto sulle informazioni attualmente disponibili, ha carattere preliminare e si basa su ragionevoli assunzioni circa la morfologia degli alvei e le relative scabrezze.

4.2 Descrizione idraulica dell'area d'intervento

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

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

La seguente Figura 6 presenta la geometria 3D del modello sviluppato, del quale nel seguito si presenteranno le ipotesi di calcolo, i risultati modellistici e le considerazioni conclusive.

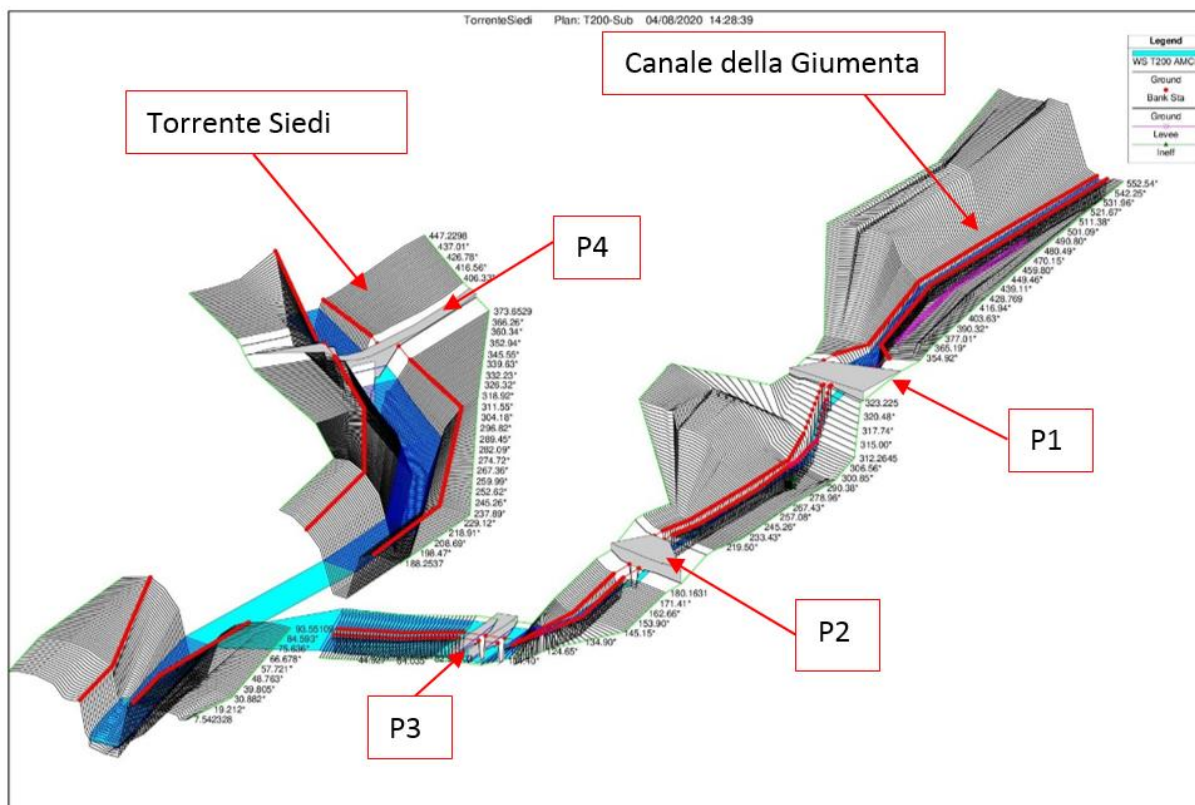


Figura 6: Vista 3D del modello sviluppato con indicazione dei corsi d'acqua e degli attraversamenti

Il presente studio monodimensionale è stato condotto in moto permanente col software HecRas5.04 sviluppato dal Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers.

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

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

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

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

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

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

Tale manufatto, le cui dimensioni appaiono trascurabili, non è stato inserito nel modello in quanto posizionato in un'area inaccessibile a causa della vegetazione.

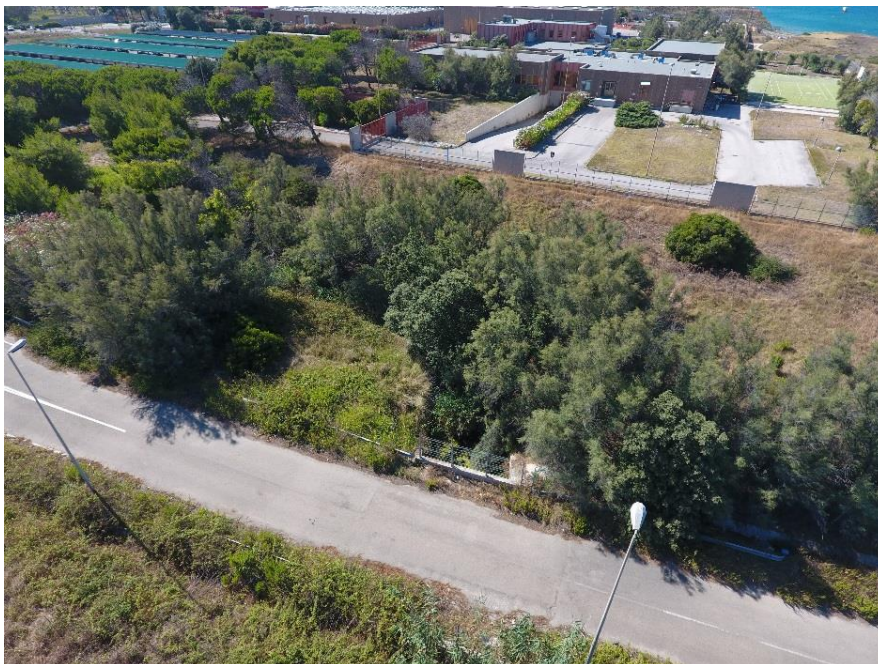
Date le approssimazioni introdotte nel modello preliminare elaborato, si ritiene che la sua esclusione non comporti modifiche alle aree di esondazione nei pressi delle Centrale Enel.

4.3 Dati topografici disponibili

Con l'obiettivo di realizzare la presente modellazione, nel mese di luglio 2020 Enel ha provveduto a rilevare l'alveo e le aree golenali del Canale Siedi e del Canale della Giumenta. Tuttavia, la presenza di fitta vegetazione riparia ha reso impossibile effettuare un completo rilievo topografico dell'area, in quanto la parte terminale di entrambi i corsi d'acqua è risultata inaccessibile, come si può osservare dalle seguenti fotografie.



Fotografia 1: Canale Siedi, vista da monte verso la foce



Fotografia 2: Canale della Giumenta a monte dell'attraversamento P3



Fotografia 3: Canale della Giumenta, vista verso valle dall'attraversamento P3 all'immissione nel Siedi

Di conseguenza, come rappresentato nella seguente Figura 7, il rilievo topografico copre parte dell'area del modello e per tal motivo le sezioni non disponibili sono state desunte in maniera indiretta da altre fonti disponibili.



Figura 7: Area coperta dal rilievo

La seguente Figura 8 mostra la posizione delle sezioni utilizzate per il modello e la successiva Tabella 8 ne fornisce informazioni circa l'origine.

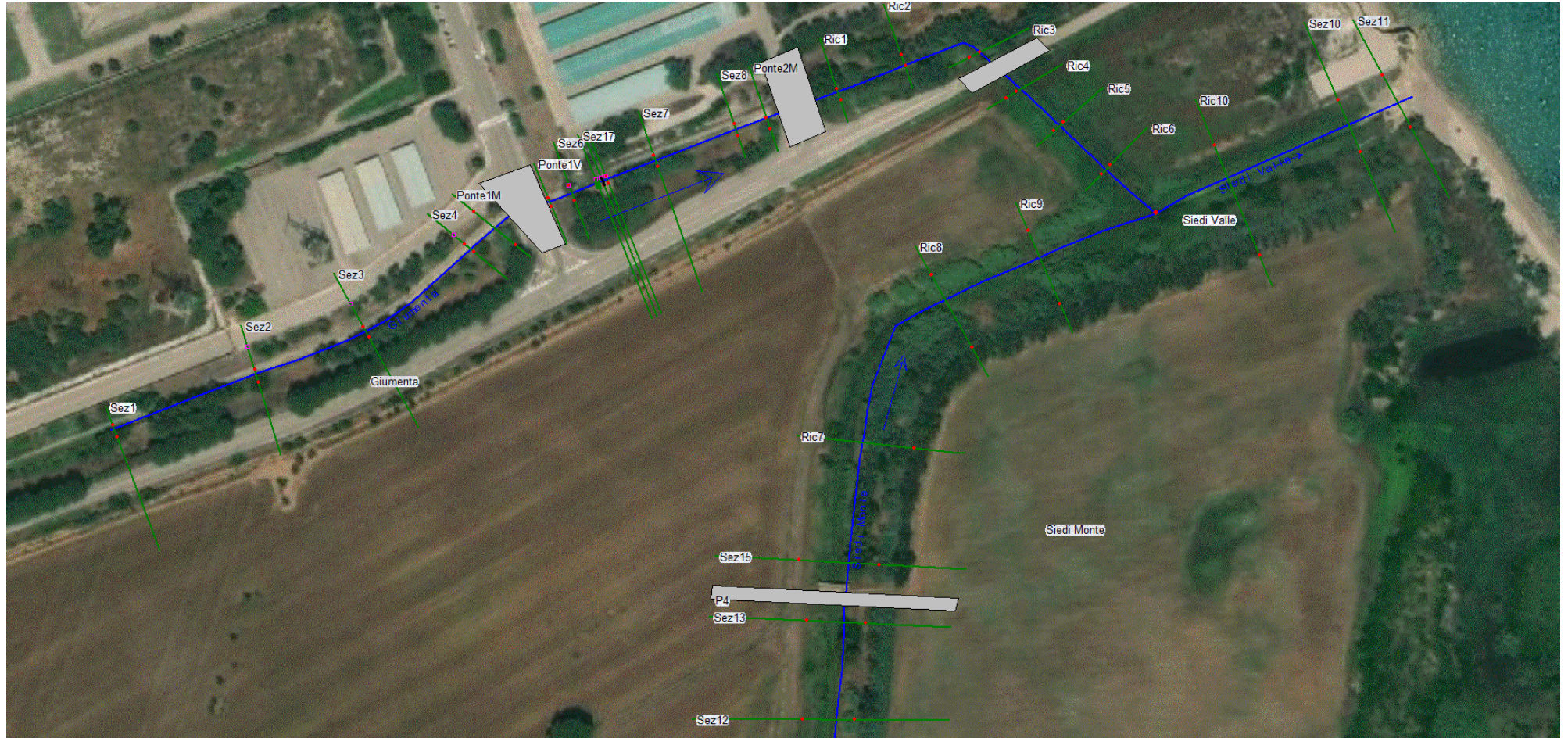


Figura 8: Posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nel modello

Le sezioni contraddistinte dal suffisso SezX sono state riportate direttamente dal rilievo, al limite apportandovi piccole modifiche non sostanziali, mentre le sezioni rimanenti sono state ottenute con i criteri presentati nella seguente Tabella 8.

Canale	Sezione	Rilievo disponibile	Sezione di origine	Ipotesi
Giumenta	Ponte1M	si		sezione aggiuntiva rispetto al rilievo topografico ma desunta dallo stesso
P1	Sez5	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	Ponte1V	si		sezione aggiuntiva rispetto al rilievo topografico ma desunta dallo stesso
P2	Sez9	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	RIC1	no	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
Giumenta	RIC2	no	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
Giumenta	RIC3	solo quota fondo alveo	Sez8	pendenza calcolata tra la fondo alveo S8 e RIC 3 $i=0.022$
P3	Sez16	si		sezione utilizzata per la livelletta stradale
Giumenta	RIC4	no	Sez8	quota fondo posta 3 cm sotto quota fondo RIC3
Giumenta	RIC5	no	Sez8	pendenza ridotta a $i=0.008$ al fine di rendere la quota congruente con alveo Siedi
Giumenta	RIC6	no	Sez8	pendenza ridotta a $i=0.008$ al fine di rendere la quota congruente con alveo Siedi
Siedi Monte	P4	si	Sez14	sezione utilizzata per la livelletta stradale
Siedi Monte	Sez15	si ma senza alveo		sezione modificata inserendo canale sistemato Sez96 (Fonte ENEL), quota fondo rilevata in Sez14
Siedi Monte	RIC7	no	DTM Puglia 8m	quota di fondo ottenuta da pendenza media tra S15 e S11, $i=0.001$
Siedi Monte	RIC8	no	DTM Puglia 8m	quota di fondo ottenuta da pendenza media tra S15 e S11, $i=0.001$
Siedi Monte	RIC9	no	DTM Puglia 8m	quota di fondo ottenuta da pendenza media tra S15 e S11, $i=0.001$
Siedi Valle	RIC10	no	DTM Puglia 8m	quota di fondo ottenuta da pendenza media tra S15 e S11, $i=0.001$
Siedi Valle	Sez10	si ma senza alveo		sezione modificata inserendo canale sistemato Sez96 (Fonte ENEL), quota fondo rilevata in Sez10

Tabella 8: Ipotesi di ricostruzione delle sezioni mancanti

Come riportato nella precedente Tabella, le sezioni del Torrente Siedi sono state desunte dal DTM a cella 8 m disponibile sul portale cartografico della Regione Puglia, adattando il fondo alle pendenze ottenute dal rilievo.

Con riferimento alla Sez10 e alla Sez15 il rilievo topografico non ha permesso di individuare il fondo dell'alveo; per tal motivo le sezioni sono state integrate con la Sezione 96 desunta dal Rif.[3]. Tale documento presenta infatti alcune sistemazioni del Canale Siedi realizzate in anni antecedenti la costruzione della Centrale. Per quanto il documento summenzionato indichi la realizzazione di un alveo rivestito, lo stato dei luoghi non ha permesso di averne la certezza, anche se appare poco probabile che tale opera sia realmente stata realizzata con tale tipologia costruttiva.

Per tal motivo nel modello la scabrezza associata al Canale Siedi è ipotizzata per un alveo naturale molto vegetato.

La seguente Figura 9 riporta la Sezione 96 estratta da Rif.[3].

Sez. 96 Inizia il tratto rivestito, vedi foto 2/I
che continua così fino circa
alla foce

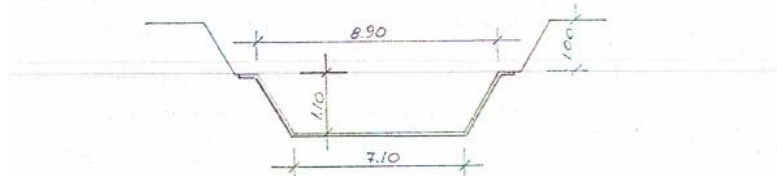


Figura 9: Sezione tipologica della sistemazione del Torrente Siede la cui geometria è stata utilizzata in alcune sezioni per modellare il fondo alveo

Tali criteri hanno permesso di ricostruire interamente la geometria del modello.

Al fine di rendere la modellazione la più realistica possibile le sezioni sono state interpolate con passo massimo 1.5m, si veda la seguente Figura 10.

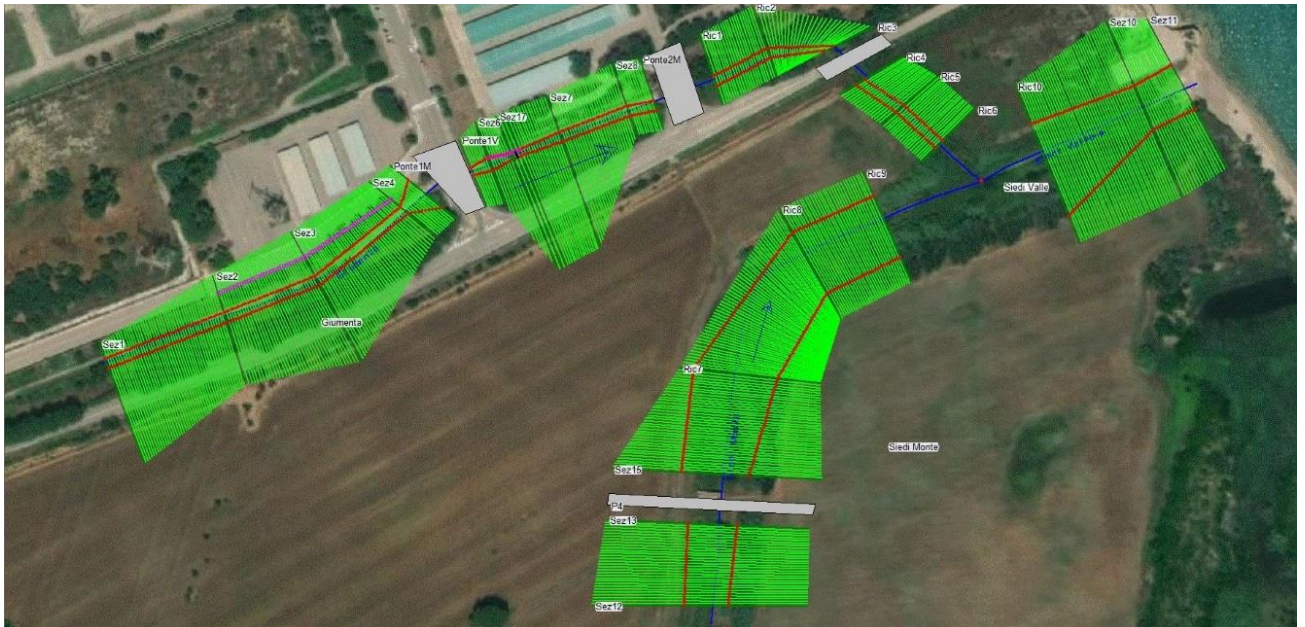


Figura 10: vista planimetrica delle sezioni utilizzate nel modello idraulico

4.4 Condizioni al contorno e singolarità del modello

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

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

Poiché il programma HecRas implementa i tratti tombati con formule di natura empirica riportate nel documento Rif.[5], è stato necessario associare a tali opere standardizzate il caso concreto.

Per tal motivo si è ipotizzato che P1, P2 e P3 fossero schematizzabili con muro d'ala con inclinazione compresa tra 30 e 75° con scabrezza del calcestruzzo di Strickler pari a $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Nelle immagini si può evincere lo stato attuale e i dati di input del modello.

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

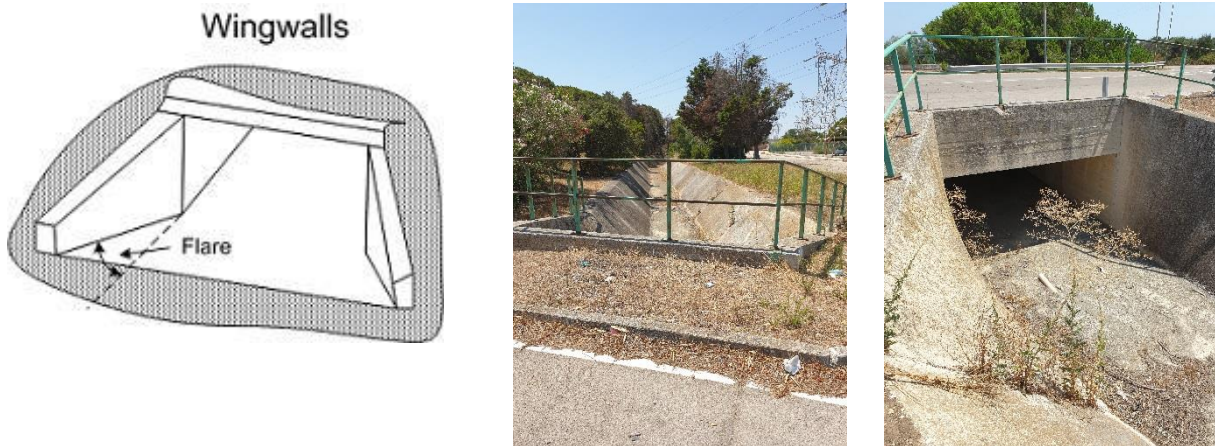


Figura 11: Modello con muri d'ala raccordati, attraversamento P1 e attraversamento P2

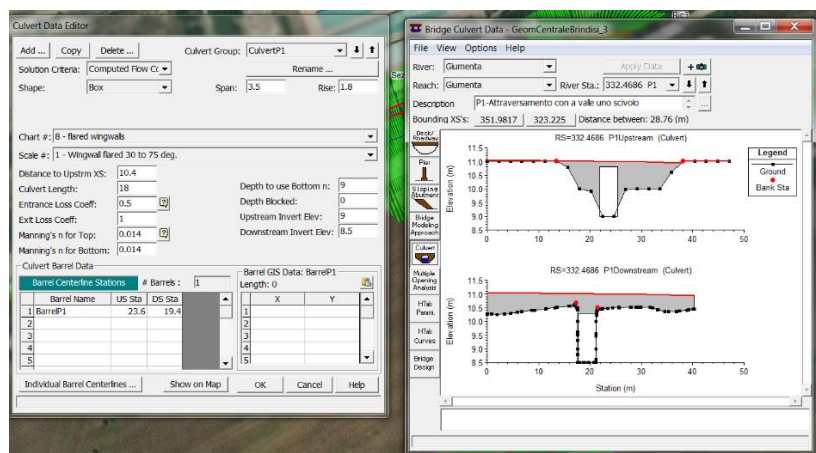


Figura 12: Culvert P1

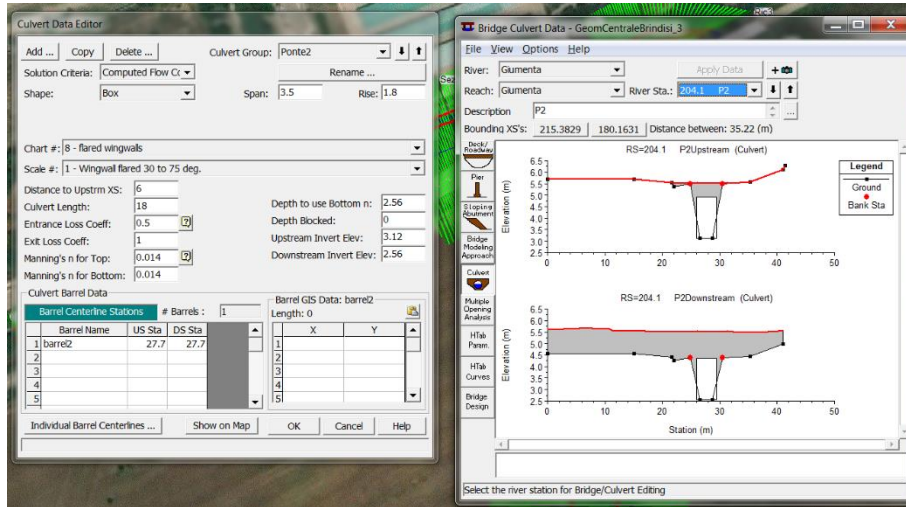


Figura 13: Culvert P2

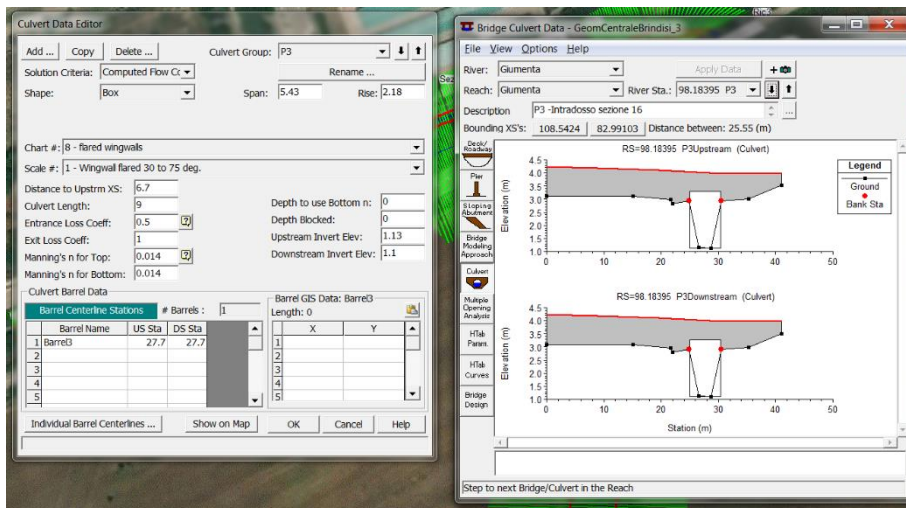


Figura 14: Culvert P3

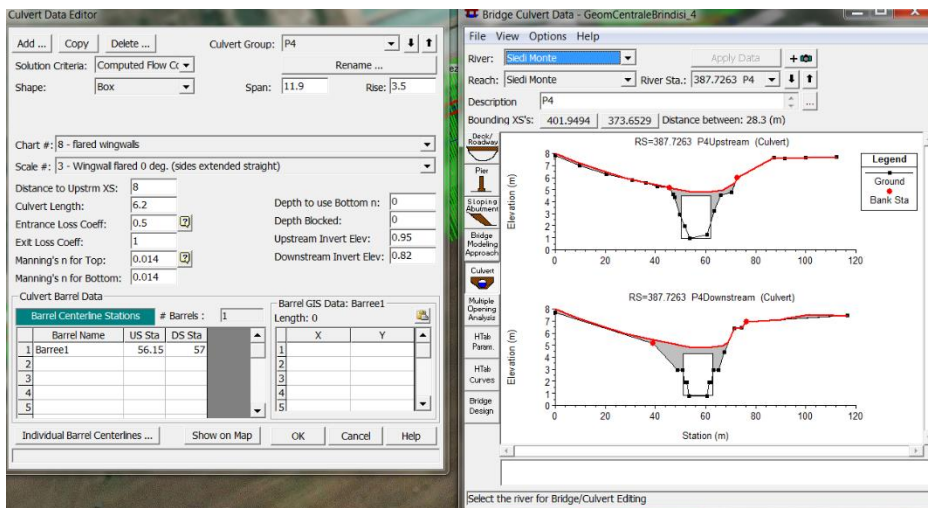
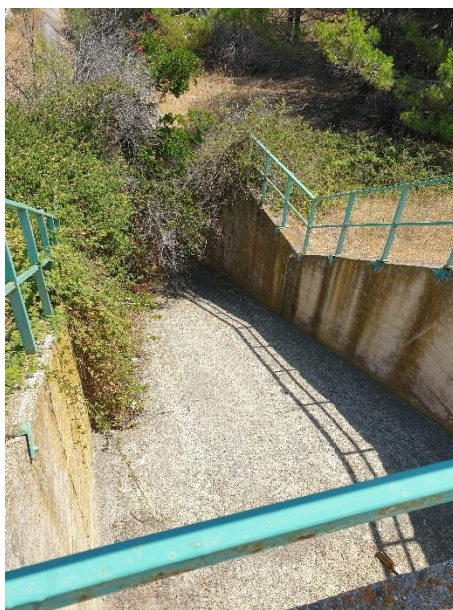


Figura 15: Culvert P4

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

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



Fotografia 4: Vista verso valle dello scivolo presente all'attraversamento P1

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

Per tal motivo si è ipotizzato, oltre alla condizione al contorno interna di confluenza tra i tre rami, un profilo di moto uniforme nelle sezioni a monte del modello. Tale ipotesi è stata ottenuta stimando la pendenza nelle prime sezioni pari a 0.0008 per il Canale Siedi e pari a 0.0014 per il Canale della Giumenta.

Con riferimento alla foce del Canale Siedi si è ipotizzato che la marea possa contribuire all'innalzamento dei livelli nelle ultime sezioni.

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

La seguente figura presenta i livelli di marea degli ultimi 10 anni di registrazione¹. Si osserva che il valore massimo è pari a 0.85m. Tale valore è stato utilizzato come possibile condizione al contorno di chiusura dell'intero modello.

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

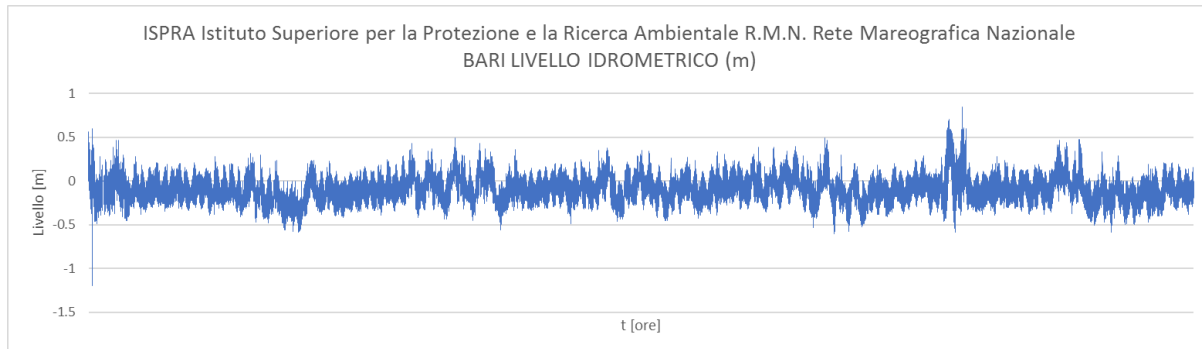


Figura 16: Livelli Idrometrici alla Stazione Mareografica di Bari

4.4.1 Analisi della scabrezza dell'alveo

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

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

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

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

Tali caratteristiche portano a stimare la scabrezza nel Canale Siedi al valor di Strickler $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$; tale valore appare in linea con lo stato dei luoghi.

4.4.2 Portate di verifica

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

- **$25.6 \text{ m}^3/\text{s}$ per il bacino del Canale Siedi**
- **$5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ per il bacino del Canale della Giumenta.**

Tali valori saranno utilizzati al fine di condurre le analisi idrauliche col modello sviluppato.

4.4.3 Risultati della Modellazione

Le analisi eseguite stimano i tiranti idrici nei fossi e nelle opere esistente, con l'obiettivo di fornire informazioni preliminari circa le aree potenzialmente critiche nel caso si verifichi nei bacini a monte della Centrale un evento meteorico raro ma inteso, ovvero con tempo di ritorno 200-ennale.

La seguente Tabella 9 riporta per ogni sezione le caratteristiche idrauliche della corrente e degli attraversamenti.

RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C0012465

Ramo	Sezione	Q Total (m ³ /s)	Fondo Canale (m)	Tirante Idrico (m)	Altezza Critica (m)	Linea Energia (m)	Velocità media (m/s)	Area Deflusso (m ²)	Froude # Chl
Giumenta	Sez1	5.5	9.18	10.75	9.98	10.8	0.97	5.64	0.3
Giumenta	Sez2	5.5	9.09	10.58	9.89	10.63	1.03	5.32	0.33
Giumenta	Sez3	5.5	9.03	10.42	9.81	10.48	1.14	4.81	0.37
Giumenta	Sez4	5.5	9.04	10.05	9.82	10.21	1.74	3.16	0.63
Giumenta	Ponte1M	5.5	9	10.06	9.66	10.11	0.97	5.7	0.52
Giumenta	P1	Culvert							
Giumenta	Ponte1V	5.5	8.5	9.12	9.12	9.43	2.47	2.23	1
Giumenta	Sez6	5.5	4.88	5.51	5.51	5.83	2.49	2.21	1
Giumenta	Sez17	5.5	3.7	5.19	4.38	5.25	1.02	5.38	0.27
Giumenta	Sez18	5.5	3.68	5.04	4.86	5.22	1.9	2.9	0.68
Giumenta	Sez19	5.5	3.75	5.11	4.38	5.17	1.13	4.85	0.31
Giumenta	Sez7	5.5	3.78	4.99	4.56	5.09	1.38	3.98	0.47
Giumenta	Sez8	5.5	3.69	4.49	4.49	4.8	2.46	2.24	1
Giumenta	Ponte2M	5.5	3.12	3.93	3.93	4.26	2.54	2.16	1
Giumenta	P2	Culvert							
Giumenta	Ric1	5.5	2.56	3.43	3.35	3.67	2.18	2.52	0.85
Giumenta	Ric2	5.5	1.82	3.31	2.62	3.37	1.05	5.22	0.33
Giumenta	Ric3	5.5	1.13	3.3	1.93	3.31	0.48	16.7	0.12
Giumenta	P3	Culvert							
Giumenta	Ric4	5.5	1.1	3.29	1.9	3.3	0.46	17.57	0.12
Giumenta	Ric5	5.5	0.9	3.29	1.7	3.3	0.32	25.49	0.08
Giumenta	Ric6	5.5	0.66	3.29	1.46	3.3	0.22	35.32	0.05
Siedi Monte	Sez12	25.6	1	3.95	2.04	3.98	0.71	36.18	0.15
Siedi Monte	Sez13	25.6	0.96	3.83	2.12	3.86	0.8	31.84	0.18
Siedi Monte	P4	Culvert							
Siedi Monte	Sez15	25.6	0.8	3.82	1.85	3.85	0.68	37.69	0.16
Siedi Monte	Ric7	25.6	0.77	3.71	1.72	3.73	0.63	40.6	0.14
Siedi Monte	Ric8	25.6	0.72	3.54	1.68	3.57	0.72	35.38	0.16
Siedi Monte	Ric9	25.6	0.69	3.43	1.67	3.45	0.73	34.97	0.17
Siedi Valle	Ric10	31.1	0.63	3.22	1.7	3.27	0.95	32.64	0.22
Siedi Valle	Sez10	31.1	0.58	2.69	1.81	2.8	1.52	20.49	0.46
Siedi Valle	Sez11	31.1	0.59	1.42	1.42	1.79	2.68	11.59	1

Tabella 9: Caratteristiche idrauliche della corrente nelle sezioni

Ramo	Attraversamento	Linea Energia a Monte (m)	Tirante Idrico a monte (m)	Quota minima strada (m)	Portata defluente nello scatolare (m ³ /s)	Portata Overtopping (m ³ /s)	Variazione livelli idrici tra monte e valle (m)	Velocità in ingresso (m/s)	Velocità in uscita (m/s)
Giumenta	P1	10.11	10.06	10.95	5.5	0	0.94	2.49	4.13
Giumenta	P2	4.23	3.93	5.52	5.5	0	0.5	2.49	4.26
Giumenta	P3	3.31	3.3	3.99	5.5	0	0.01	0.47	0.46
Siedi Monte	P4	3.86	3.83	4.78	25.6	0	0.01	0.75	0.72

Tabella 10: Caratteristiche idrauliche degli attraversamenti

I profili di moto uniforme e i tiranti idrici nelle sezioni sono presentati rispettivamente nell'Appendice 1: Profili di moto uniforme e nell'Appendice 2: Tiranti idrici nelle sezioni, linea dell'energia e corrente critica.

Al fine di evidenziare modifiche al regime idraulico del Canale della Giumenta o lo sviluppo di aree di esondazione nel perimetro di Centrale le seguenti figure, Figura 17 e Figura 18, presentano su base cartografica CTR a scala 1:5000 le aree di esondazione desunte dai risultati del modello.

Poiché il progetto non prevede modifiche all'attuale alveo del Canale della Giumenta e del Canale Siedi, è possibile utilizzare le stesse perimetrazioni per entrambi i casi analizzati.

Seppur con le limitazioni modellistiche e le numerose assunzioni eseguite durante la creazione del modello si osserva che le aree di esondazione non interferiscono con le opere di Centrale siano esse allo stato attuale o nella futura configurazione di progetto in quanto le sezioni di deflusso del Canale delle

Giumenta risultano sufficientemente capienti per far defluire portate naturale con tempo di ritorno di 200 anni.

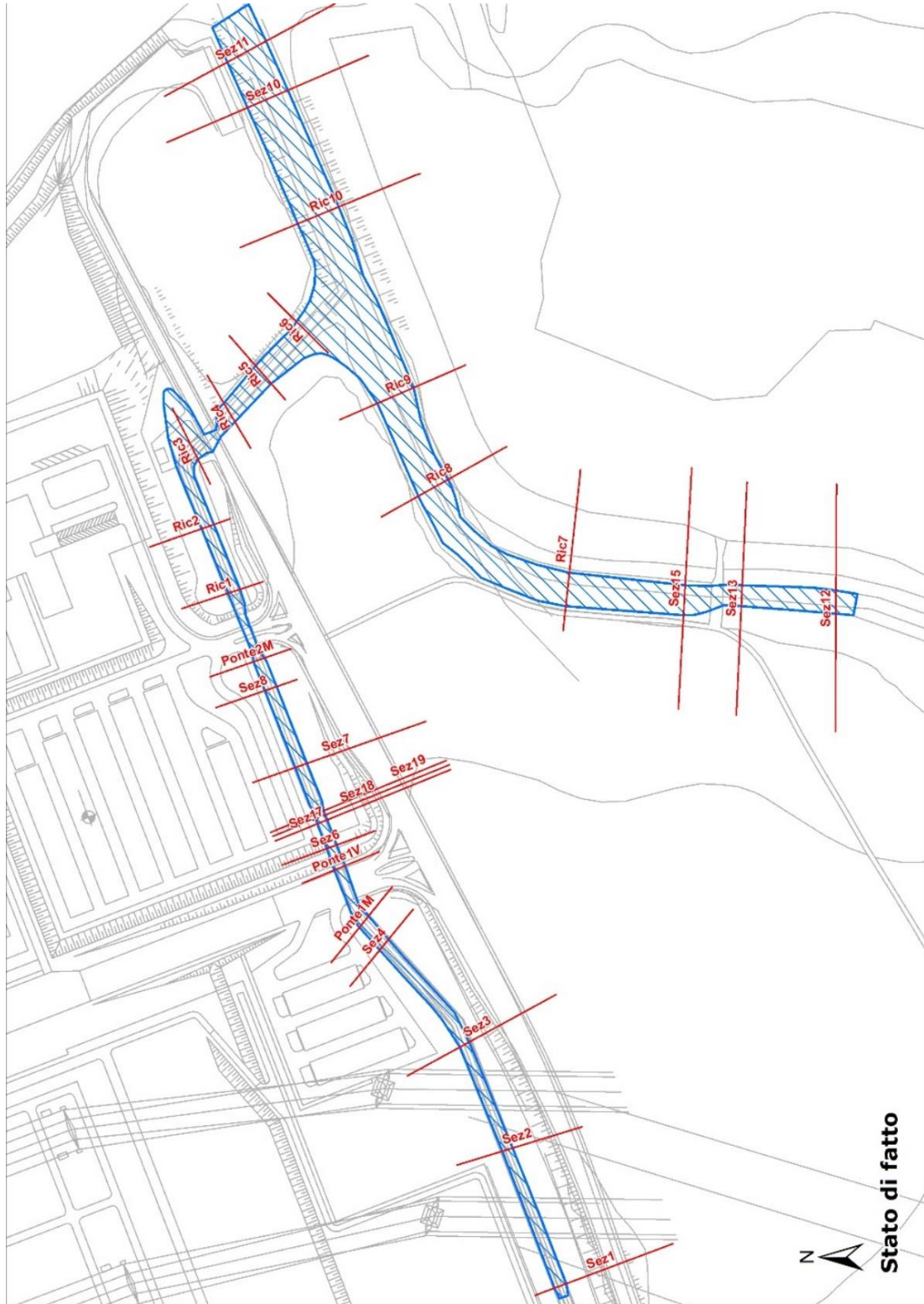


Figura 17: Aree di Esondazione nei pressi della centrale con layout allo stato di fatto



Figura 18: Aree di Esondazione nei pressi della centrale con layout nella futura configurazione progettuale

5 CONCLUSIONI

Il presente elaborato ha come obiettivo individuare le aree di esondazione nei pressi della Centrale Enel “Federico II” di Brindisi Sud, valutando contemporaneamente se le opere che dovranno essere realizzate inducano alterazioni idrauliche all’attuale stato dei luoghi per portate con tempo di ritorno 200-ennali.

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

Coerentemente con quanto richiesto in Rif.[2] l’analisi pluviometrica è stata condotta applicando, ai bacini analizzati, le Curve di Possibilità Pluviometrica regionalizzate con modello VA.PI. e la modellazione afflussi-deflussi del Curve Number.

Le portate così stimate valgono rispettivamente:

- **25.6 m³/s per il bacino del Canale Siedi**
- **5.5 m³/s per il bacino del Canale della Giumenta.**

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

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

Con l’obiettivo di realizzare la presente modellazione, nel mese di luglio 2020 Enel ha provveduto a rilevare l’alveo e le aree golenali del Canale Siedi e del Canale della Giumenta. Tuttavia, lo stato vegetativo ha reso impossibile effettuare un completo rilievo topografico dell’area, in quanto la parte terminale di entrambi i corsi d’acqua è risultata inaccessibile.

Per tal motivo la maggior parte delle sezioni del Canale Siedi sono state desunte dal Modello Digitale del Terreno (DTM) a cella 8m disponibile sul portale cartografico della Regione Puglia, adattando il fondo alle pendenze ottenute dal rilievo.

Inoltre, per alcune sezioni (Sez10 e Sez15) il rilievo topografico non ha permesso di individuare il fondo dell’alveo; per tal motivo le sezioni sono state integrate con la Sezione 96 desunta dal Rif.[3].

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

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

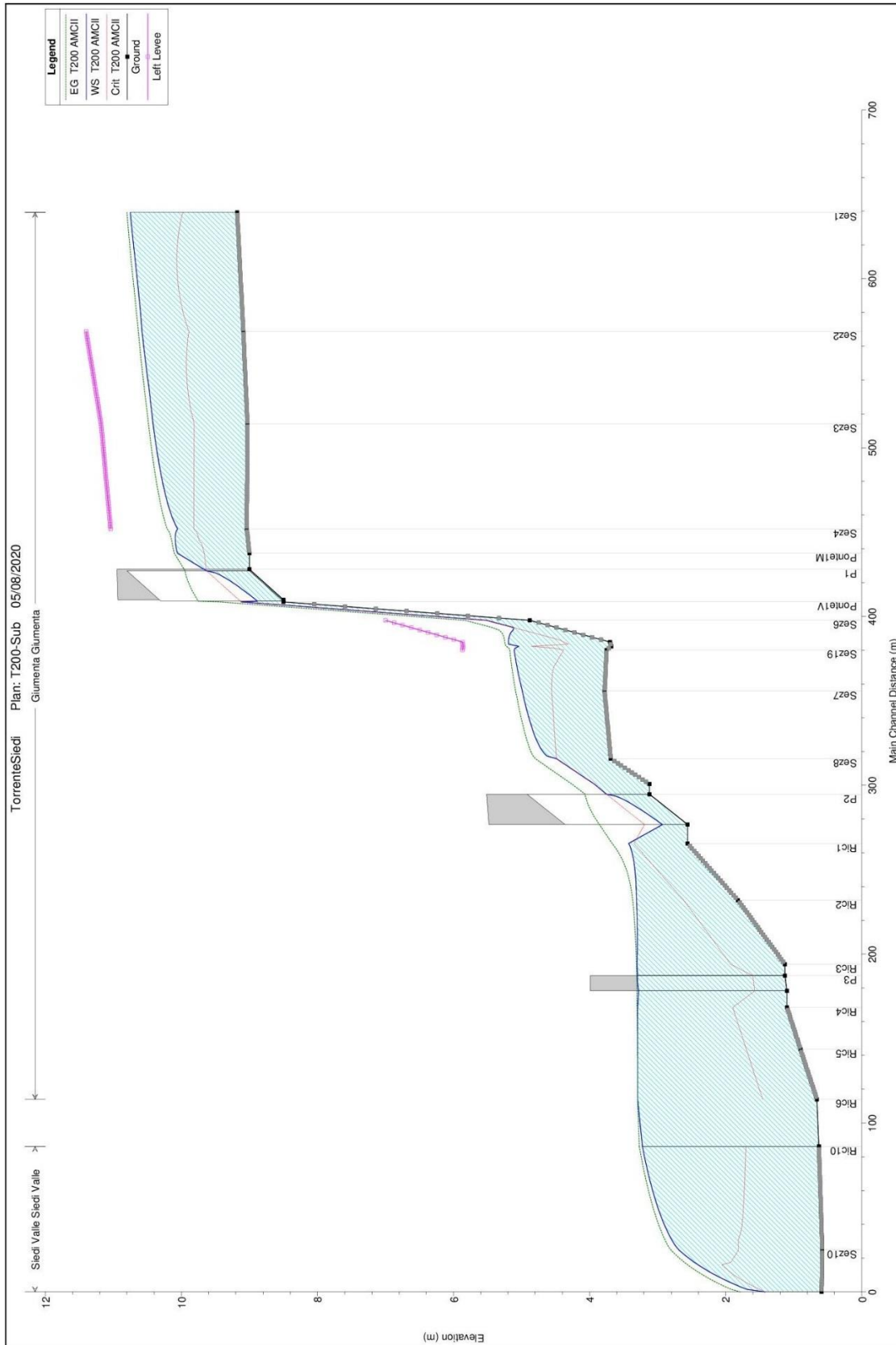
Al fine di rimanere a favor di sicurezza nei confronti dei tiranti idrici, il modello presenta scabrezze molto significative, che nel caso del Canale Siedi sono dettate dalla presenza in alveo di abbondante vegetazione.

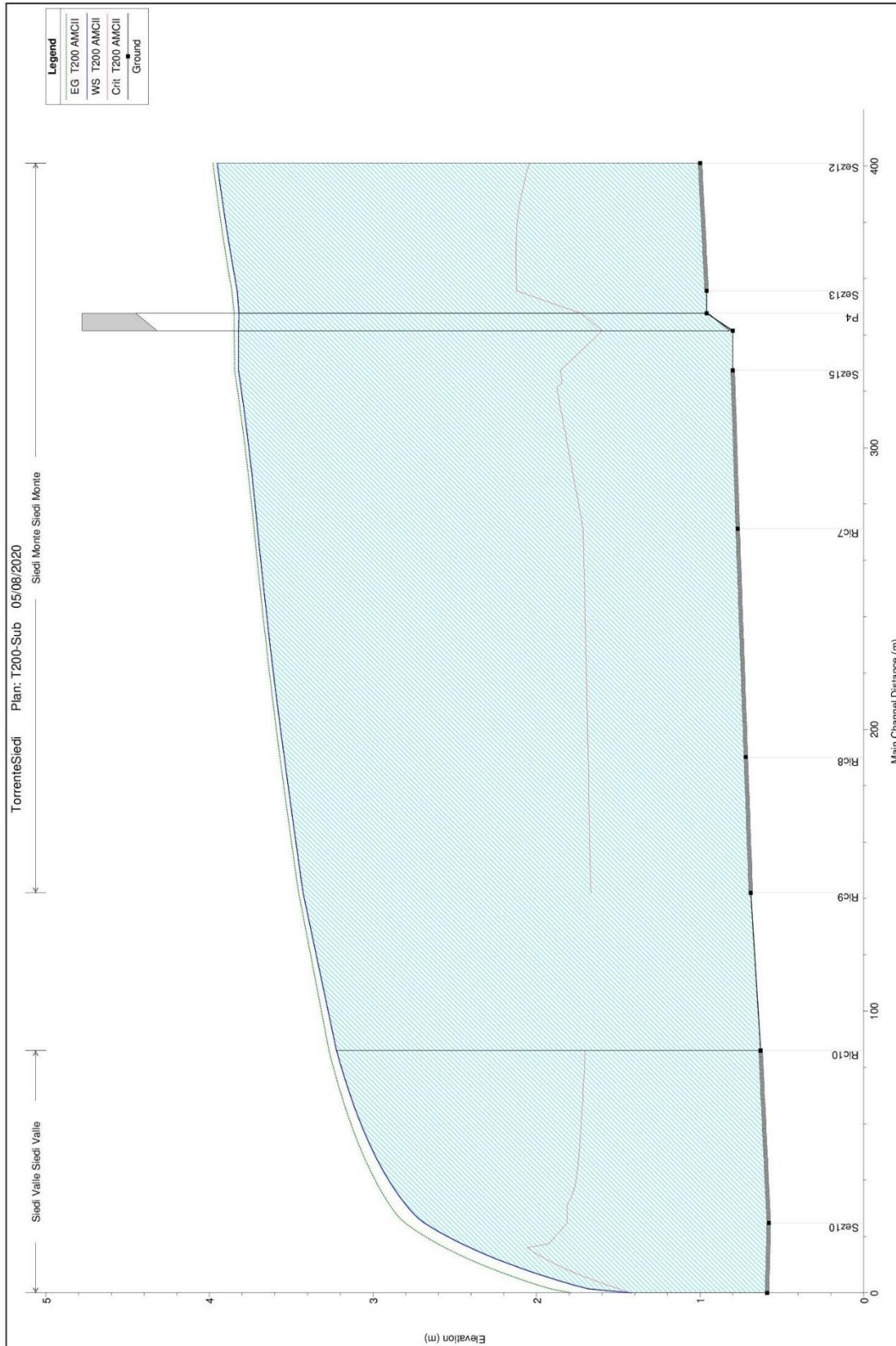
Al fine di evidenziare eventuali modifiche al regime idraulico del Canale della Giumenta o lo sviluppo di aree di esondazione nel perimetro di Centrale, le aree di esondazione sono state tracciate sulla CTR a scala 1:5000 sovrapponendovi i layout di Centrale allo stato di fatto e di progetto.

Si può quindi concludere che:

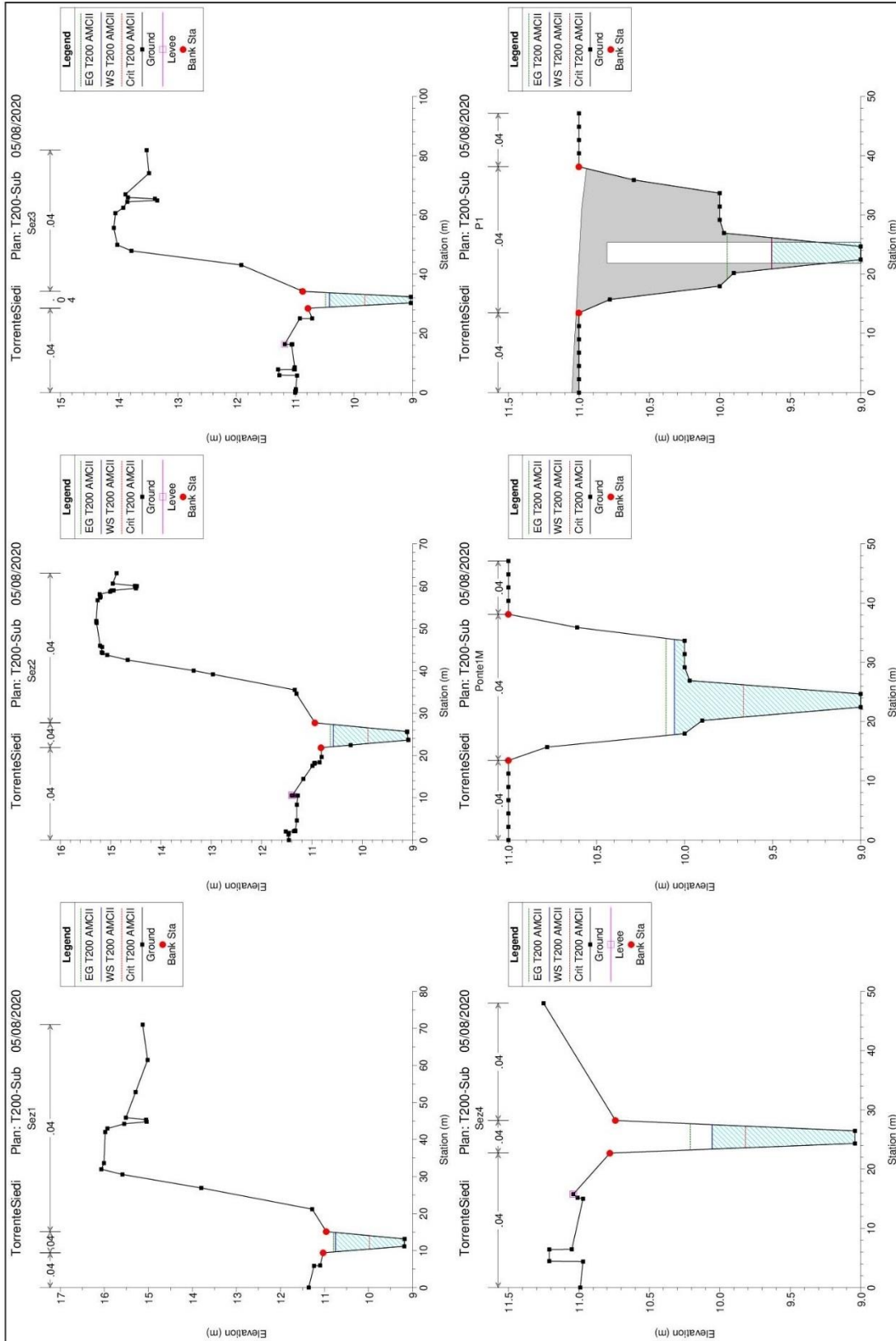
- ***il progetto non prevede modifiche all'attuale alveo del Canale della Giumenta e del Canale Siedi;***
- ***è possibile utilizzare lo stesso modello idraulico per analizzare le perimetrazioni allo stato di fatto e nella futura configurazione di progetto;***
- ***la valutazione di compatibilità idrologica e idraulica, seppur di carattere preliminare, è stata sviluppata sulla base dei rilievi condotti e di assunzioni ragionevoli e coerenti circa le geometrie dell'alveo;***
- ***le scabrezze dei corsi d'acqua sono ipotizzate con valori conservativi e a favore di sicurezza;***
- ***la restituzione delle aree allagabili è stata ottenuta da cartografia non di dettaglio, ovvero la CTR a scala 1:5000;***
- ***sulla base delle ipotesi cautelative assunte nel presente studio le aree di esondazione non appaiono interferenti con le opere di Centrale siano esse allo stato attuale o nella futura configurazione di progetto.***

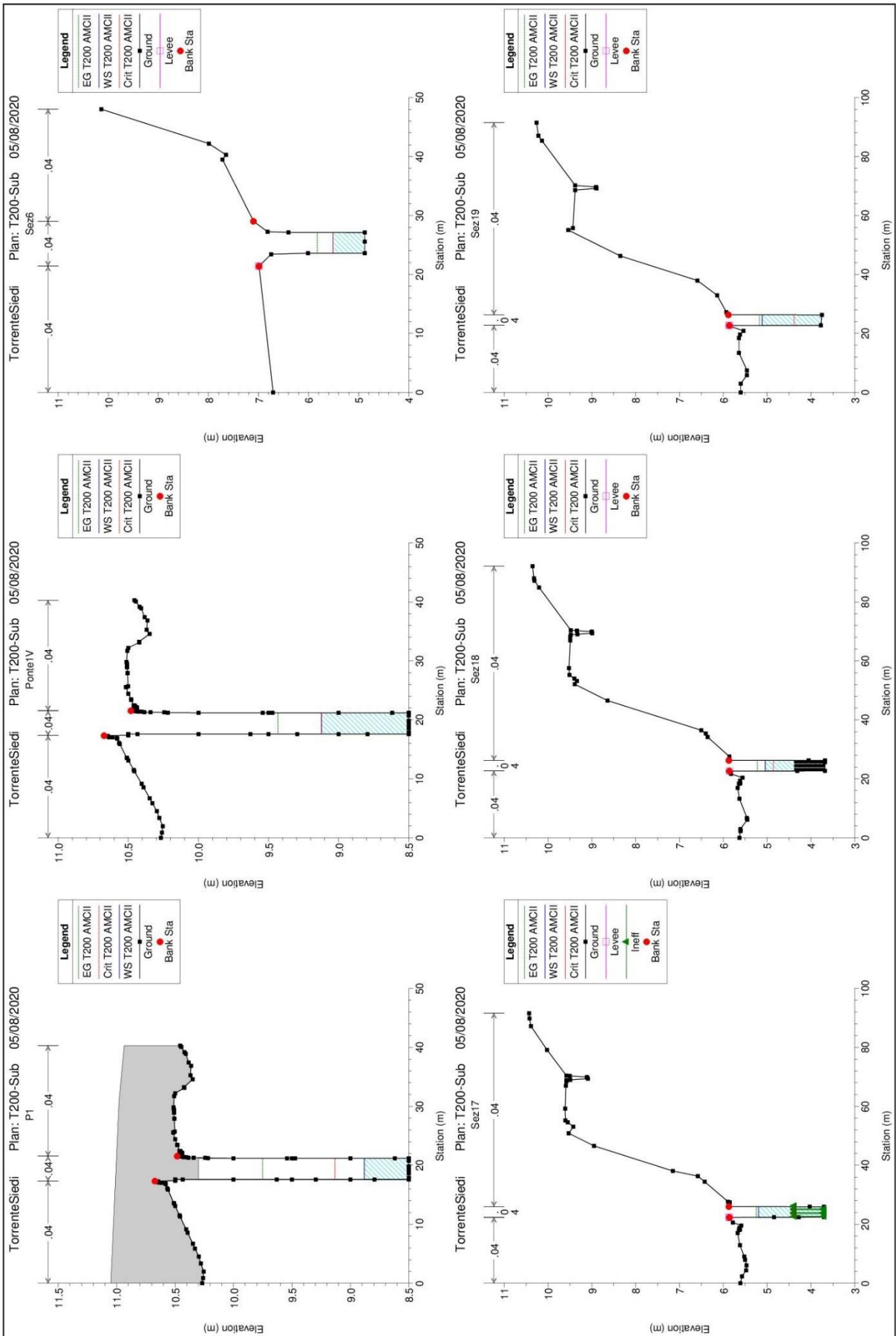
APPENDICE 1: PROFILI DI MOTO UNIFORME

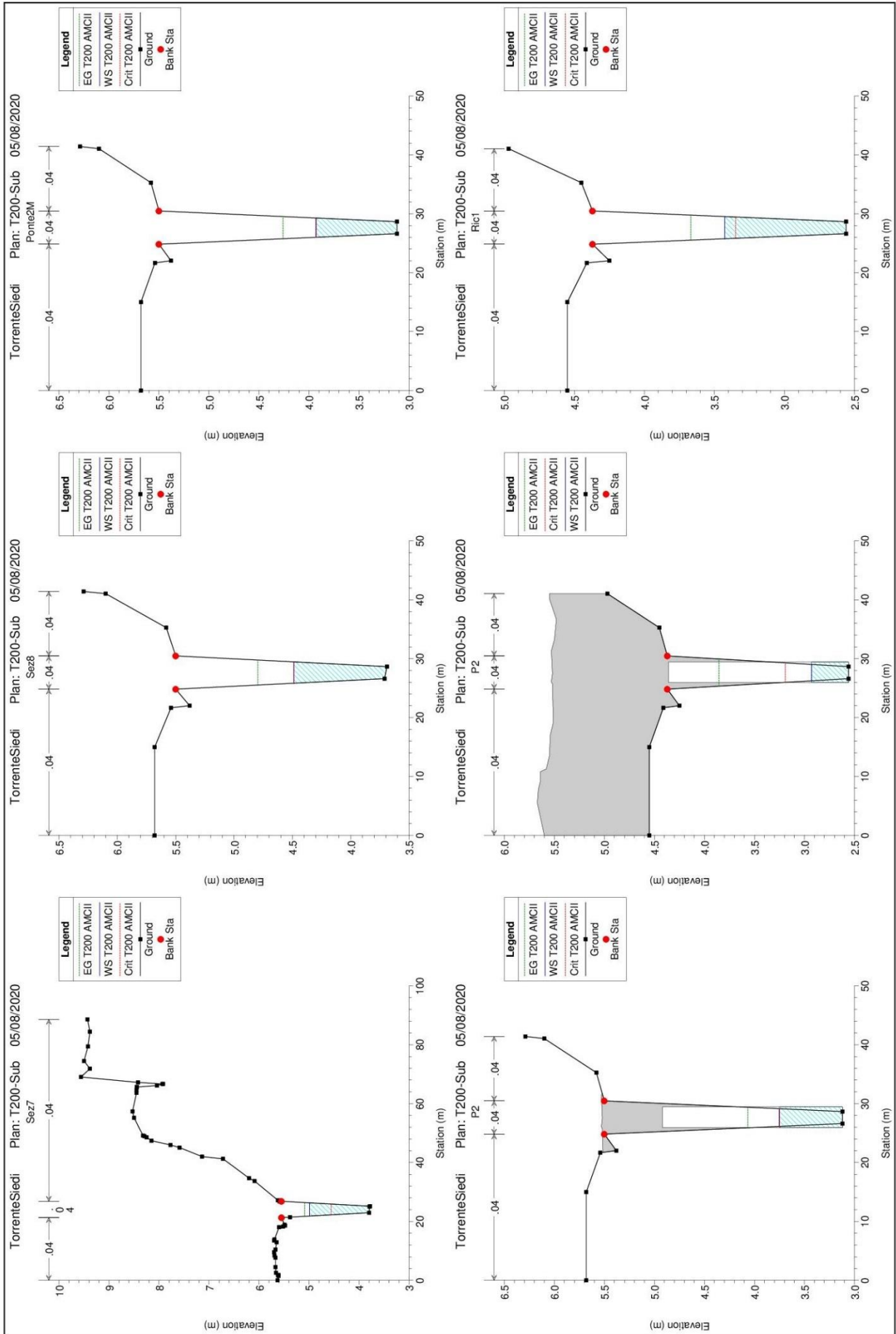


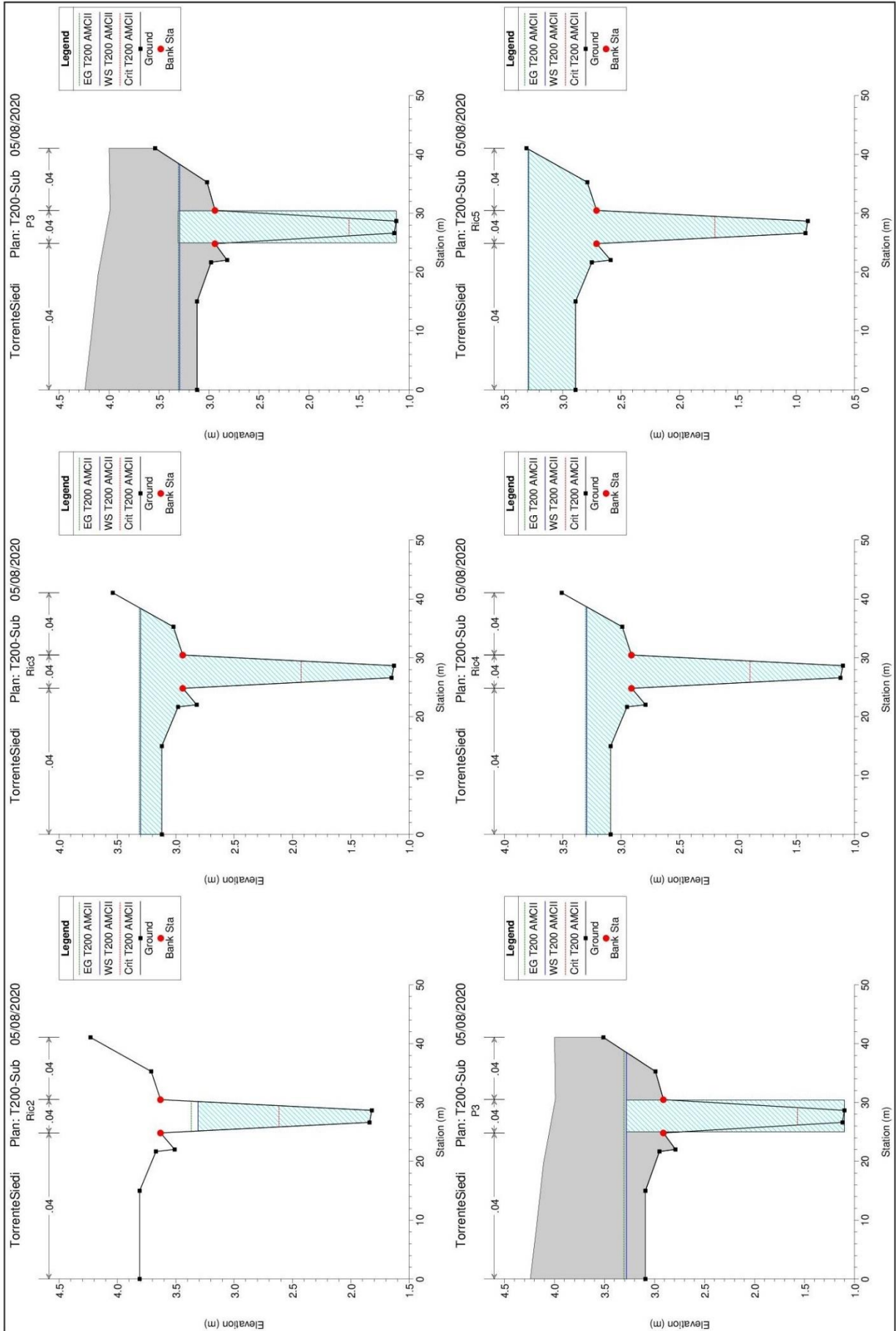


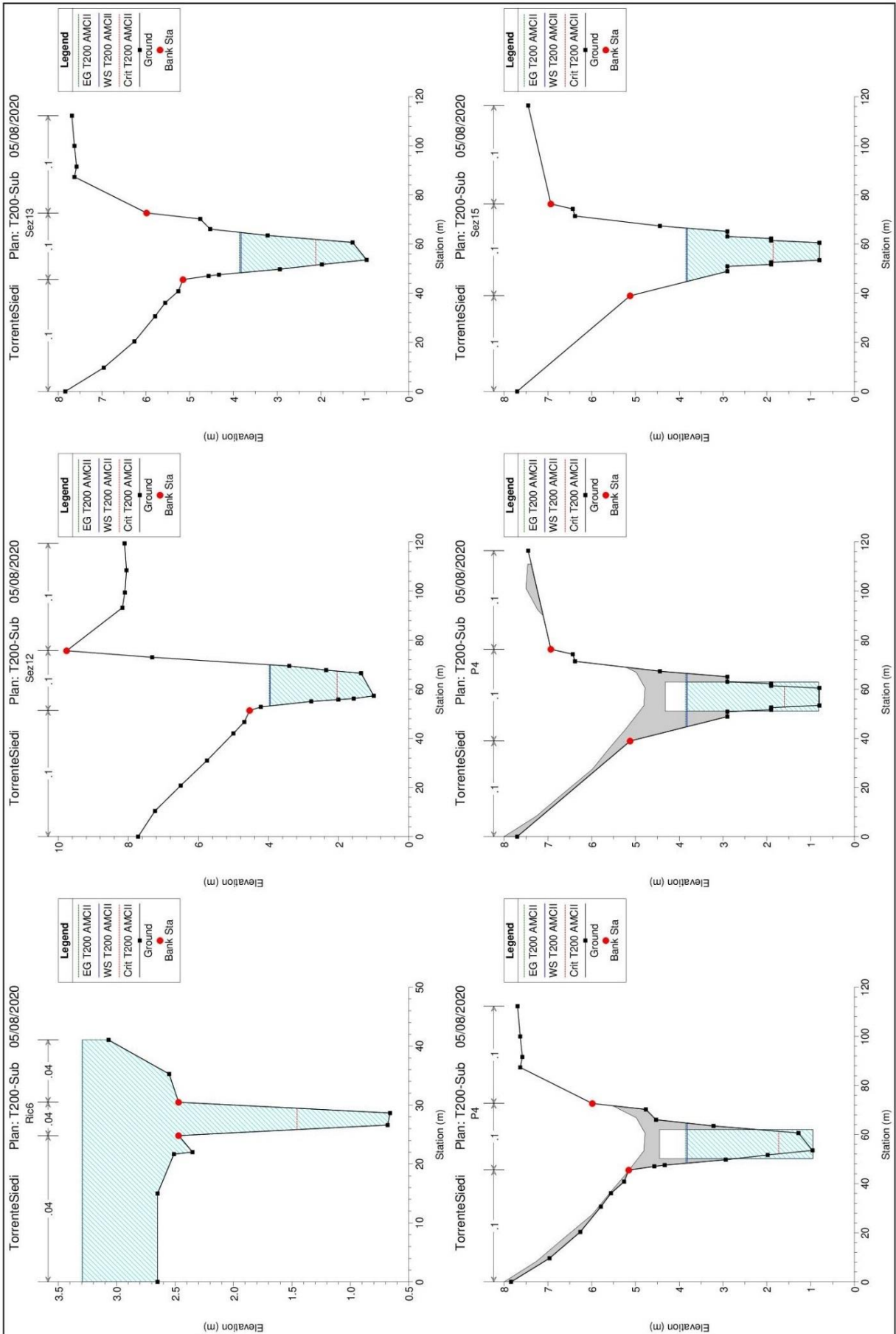
APPENDICE 2: TIRANTI IDRICI NELLE SEZIONI, LINEA DELL'ENERGIA E CORRENTE CRITICA.

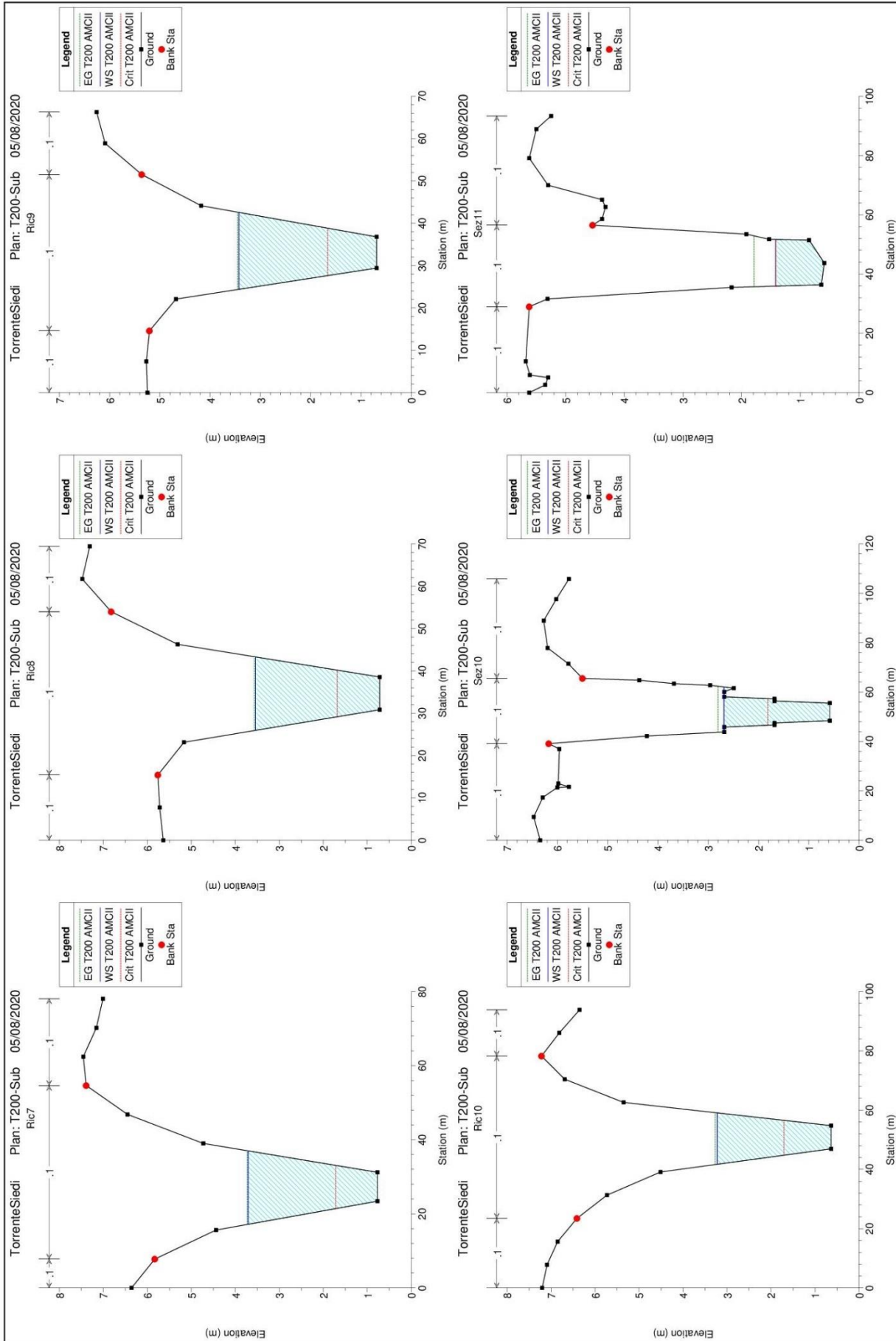














Thermal Generation Italy
Power Plant Brindisi

Viale Regina Margherita 125, 00198 Roma

Spett.le
**CONSORZIO SPECIALE PER LA
BONIFICA DI ARNEO**

protocollo@pec.consorziobonificadiarneo.it

enelproduzione@pec.enel.it

PRO/TGI/COAL/PP-BS

Oggetto: **ENEL PRODUZIONE SPA - Centrale Termoelettrica "Federico II" di Brindisi**
- Richiesta pulizia canali Giumenta e Siedi-

In relazione al parere formulato dall' Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale nell'ambito della procedura di V.I.A per il progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas, con il quale è stato richiesto uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica per valutare le aree allagabili per tempi di ritorno $T=200$ anni, si rileva che a causa della fitta vegetazione presente non è stato possibile effettuare il rilievo completo dell'alveo e delle aree golenali del Canale della Giumenta e del Canale Siedi. Per tali motivi, con la presente si richiede cortesemente di provvedere alla prevista pulizia di tali tratti nel più breve tempo possibile.

Allo scopo, si allega la planimetria che riporta i tratti interessati dalla pulizia (Allegato 1).

Si resta a disposizione per eventuali chiarimenti.

Cordiali saluti.

CONCETTO SERGIO TOSTO

Il Responsabile

Il presente documento è sottoscritto con firma digitale ai sensi dell'art. 21 del d.lgs. 82/2005 e s.m.i.. La riproduzione dello stesso su supporto analogico è effettuata da Enel Italia S.p.A. e costituisce una copia integra e fedele dell'originale informatico, disponibile a

1/2

Id. 16961605





richiesta presso l'Unità emittente.



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 1 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

METANODOTTO:

ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar

ATTRAVERSAMENTO AFFLUENTE FIUME GRANDE

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA-IDRAULICA



0	Emissione per permessi	V.Lucarini	G.Aiudi	M. Begini	30/07/20
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 2 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2.1	Descrizione morfologica ed idraulica del bacino	5
2.2	Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento.....	7
3.	METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM.....	9
4.	STUDIO IDROLOGICO	10
4.1	Premessa	10
4.2	Analisi Pluviometrica.....	10
4.3	Stima delle portate di piena.....	13
4.4	Idrogramma adimensionale di Mockus	18
5.	STUDIO IDRAULICO	19
5.1	Premessa	19
5.2	Descrizione del modello idraulico	19
5.3	Descrizione del modello matematico.....	20
5.4	Modellazione idraulica dell'Affluente Fiume Grande	23
6.	PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI.....	29
6.1	Premessa	29
7.	EROSIONE	31
7.1	Premessa	31
7.2	Metodo di Schoklitsch	31
7.3	Profondità di erosione del fondo dell'alveo.....	32
8.	CONCLUSIONI	34
9.	ANNESI.....	36
10.	BIBLIOGRAFIA	37

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 3 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

1. INTRODUZIONE

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto per rispondere alle richieste di integrazioni formulate dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale nell’ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale [ID_VIP:5195] relativa al progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la centrale termoelettrica ENEL di Brindisi sud “Federico II” e dimostrare la compatibilità idrologica idraulica del metanodotto “Allacciamento Centrale ENEL Brindisi sud DN 500 (20”) DP 75 bar” rispetto alle Norme Tecniche di Attuazione indicate nel P.A.I. e in particolare alle disposizioni degli art. 4, 6 e 10 delle NTA.

Lo studio idrologico-idraulico è stato condotto con lo scopo di:

- stimare le grandezze idrologiche (piogge e portate) del corso d’acqua Affluente di destra del Fiume Grande e le caratteristiche topografiche e di uso del suolo del suo bacino idrografico, chiuso in corrispondenza della zona dell’attraversamento;
- simulare il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno 200 anni e verificare se le sezioni del canale nel tratto interessato dall’attraversamento del metanodotto siano in grado di contenerla con un certo franco di sicurezza;
- stabilire, in caso di incapacità del corso d’acqua di contenere la portata duecentennale, la perimetrazione dell’area allagata.

Operando in questo modo è stato possibile progettare l’attraversamento del metanodotto fissando una quota di copertura rispetto al fondo alveo attuale tale da non interferire con eventuali futuri interventi di riprofilatura delle sezioni del canale. Inoltre vengono indicate gli impatti e le misure di mitigazione relative ad eventuali manufatti fuori terra a servizio della condotta e presenti all’interno delle aree allagate.

Si sottolinea, inoltre, che l’opera in oggetto è un metanodotto interrato che, in quanto tale, in fase di esercizio non interferirà con il corso d’acqua attraversato.

Infine sono state verificate le condizioni di erosione del fondo alveo, in modo da garantire una profondità di posa del metanodotto tale da assicurare la stabilità e la copertura della condotta per tutta la vita utile dell’opera.

2. DESCRIZIONE DELL’OPERA

Il progetto denominato “Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20”) – 75 bar” si sviluppa a Sud-Est della città di Brindisi, con andamento in senso gas NO-SE, interessando esclusivamente il territorio comunale di Brindisi.

Il metanodotto, progettato per assicurare la fornitura di gas naturale alla centrale Enel di Brindisi ha una lunghezza di circa 6,7 km e si stacca dal “Pot. Der. per Polo industriale di Brindisi DN 1050 (42”), MOP 75 bar”, a sud della città, per terminare alla centrale Enel.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 4 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

L'opera si sviluppa in un territorio pianeggiante non antropizzato in cui il paesaggio agrario è generalmente caratterizzato dall'alternanza di oliveti e vigneti a sesto regolare, da alberi da frutta e seminativi.

Il tracciato del metanodotto prevede l'attraversamento di alcune strade comunali/vicinali, della S.P. 88, dell'asse attrezzato policombustibile, di un raccordo ferroviario e, per quanto riguarda i corpi idrici superficiali, del canale Affluente di destra del Fiume Grande, del canale Foggia di Rau e del canale delle Chianche nel tratto terminale del gasdotto.

I punti di linea (valvole di sezionamento) previsti in progetto sono tre:

- PIDI iniziale in allargamento dell'impianto 12257/4 esistente;
- PIL a valle del raccordo ferroviario;
- PIDA finale adiacente alla stazione REMI in progetto.

Tutto il territorio in cui si inseriscono le opere in progetto è inoltre ricompreso all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi.

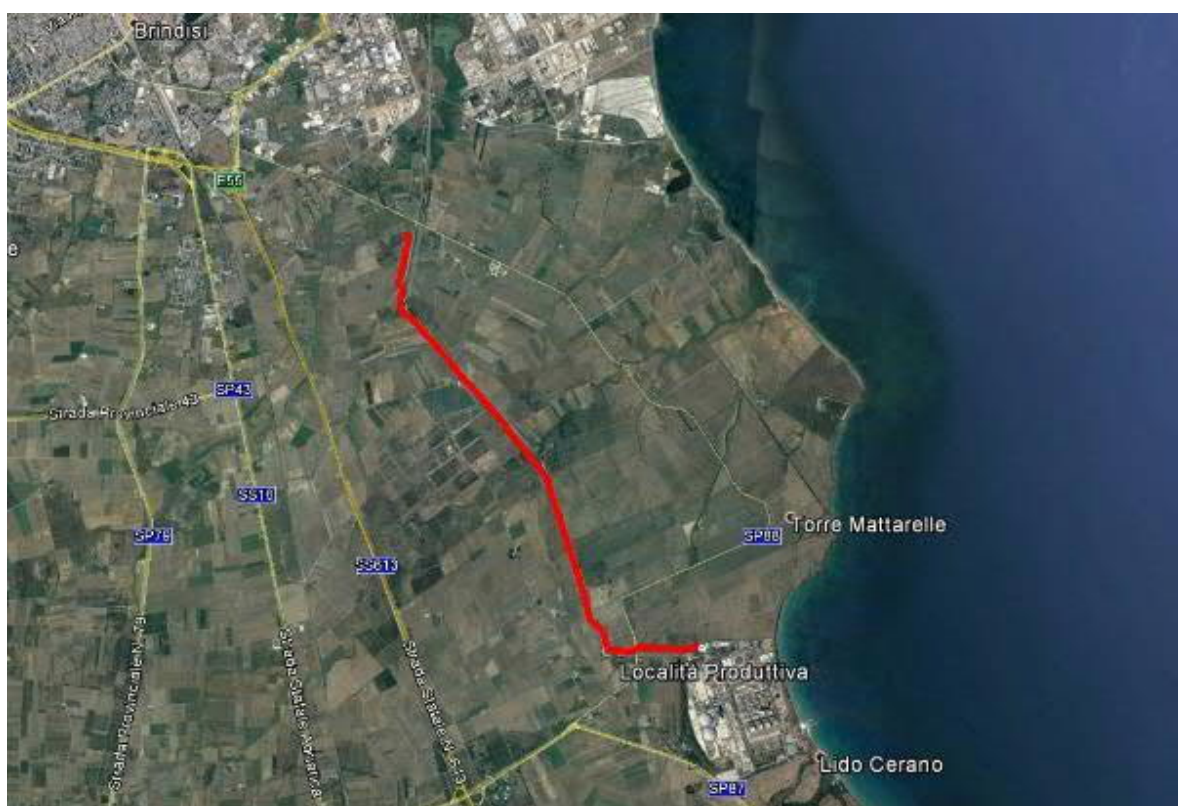


Fig. 2/A – Inquadramento geografico dell'opera in progetto – in rosso il tracciato del metanodotto

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 5 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

2.1 Descrizione morfologica ed idraulica del bacino

Il Fiume Grande ha un bacino drenante di circa 33 km², con altitudine media di 34 m slm e altitudine massima pari a 65 m slm, la lunghezza dell'asta principale è pari invece a circa 19 km e scorre da sud-ovest verso nord-est fino a sfociare nel mar Adriatico nei pressi del porto industriale di Brindisi.

Il suo principale affluente in destra idraulica, oggetto del presente studio, ha un bacino di circa 5 km² con una lunghezza dell'asta principale pari a circa 8 km.

Il metanodotto "All. Centrale ENEL di Brindisi sud DN 500 (20") DP 75 bar" attraversa il canale Affluente del Fiume Grande circa 1 km a monte della S.P. 88, in corrispondenza della strada provinciale è stato chiuso il bacino di studio.

Il territorio attraversato è caratterizzato da una predominanza di seminativi ed in minor percentuale da vigneti giovani, l'area del bacino risulta quasi per nulla urbanizzata.

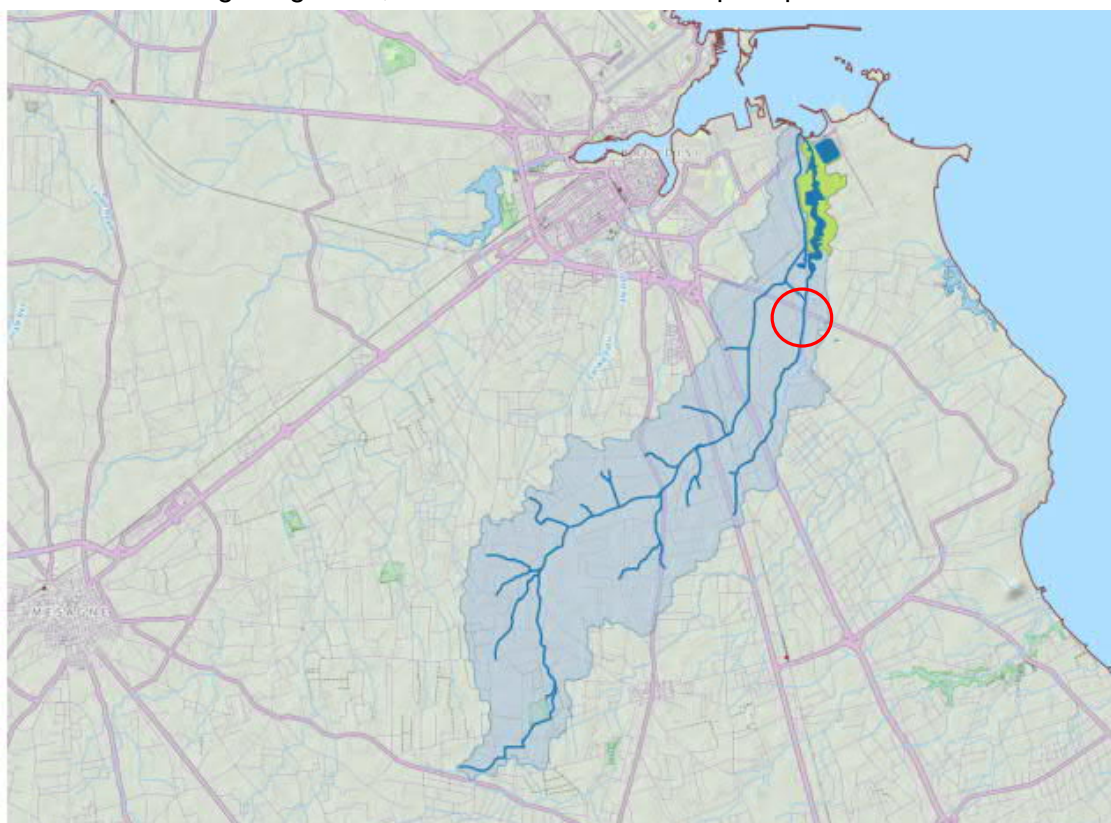


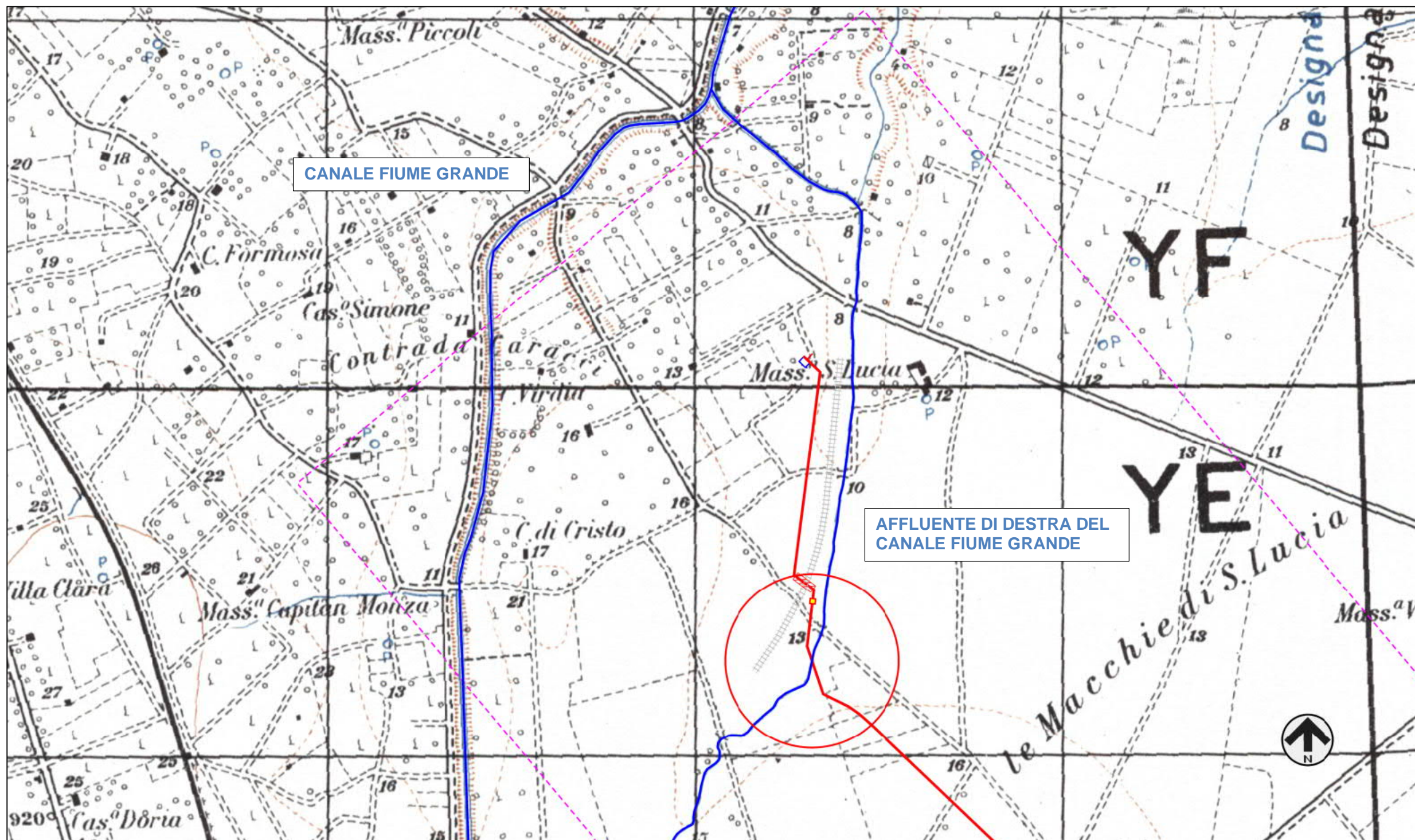
Fig. 2/B – Bacino idrografico del canale Fiume Grande – nel cerchio rosso la zona interessata dall'attraversamento del canale Affluente Fiume Grande



PROGETTISTA		COMMESSA	UNITÀ
LOCALITÀ	REGIONE PUGLIA	NR/19373	00
PROGETTO	ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 6 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Fig. 2/C - Individuazione della zona di attraversamento dell'Afluente di destra del Fiume Grande sulla Cartografia IGM 1:25.000



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 7 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

2.2 Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento

L'area dell'attraversamento si trova in comune di Brindisi, in prossimità del nastro trasportatore a servizio della Centrale Enel di Cerano, circa 1 km a monte rispetto alla S.P. 88, in zona agricola.

Nel tratto oggetto di studio il canale è in terra a sezione trapezia e presenta delle sezioni con larghezza variabile alla base tra 3 e 6 metri circa (l'alveo si amplia procedendo verso valle) e profonde da 1,5 m a 2 m.

All'interno e ai bordi del canale è presente una fitta vegetazione ripariale costituita prevalentemente da erba ed arbusti, anche il fondo risulta ricoperto di specie vegetali cresciute nei frequenti periodi di secca.



Fig.2.2/A: Affluente Fiume Grande, zona a monte dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20"), in corrispondenza del tombone in costruzione alla sez. 180 – vista verso nord

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 8 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101



Fig.2.2/B: Affluente Fiume Grande, zona a valle dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20") in corrispondenza della sez. 100 – vista verso sud

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 9 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

3. METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM

Per l'attraversamento dell'Affluente Fiume Grande è prevista la posa del tubo mediante scavo a cielo aperto con un piccolo cantiere operante contemporaneamente a quello principale di linea.

A seguire si riportano le principali fasi operative per la posa in opera della condotta di linea:

- apertura della pista di lavoro;
- trasporto a piè d'opera delle attrezzature, barre del tubo di linea e del tubo di protezione necessarie;
- ove necessario, deviazione o incanalamento del corso d'acqua in tubi preposti allo scopo ("tomboni") capaci di contenere le portate defluenti per tutto il tempo delle fasi di scavo, posa e rinterro dell'attraversamento;
- esecuzione dello scavo, delle protezioni necessarie al sostegno delle pareti dello stesso, aggettamento di acque eventualmente presenti;
- preparazione, fuori opera, della colonna d'attraversamento (cavalotto) costituita dalle barre di tubo di linea DN 500 (20") piegate e saldate di testa, controllo delle saldature con metodo non distruttivo;
- posa del cavalotto e successivo collegamento ai tratti di linea a monte e a valle dell'attraversamento;
- rinterro completo del tratto;
- rimozione dei tomboni, ripristino dell'area interessata dai lavori alla situazione originaria e realizzazione delle eventuali opere complementari di protezione previste.

La profondità di interrimento della condotta al di sotto del canale è superiore ai 2,00 metri.

La morfologia del terreno verrà ripristinata secondo le caratteristiche ante operam dopo aver proceduto al rinterro ed alla ricompattazione del terreno nella zona interessata dai lavori.

Per quel che concerne il ripristino dell'alveo, è prevista la completa riprofilatura delle sponde dei corsi d'acqua, riportando la sezione alle condizioni originali, senza alterarne il regime di deflusso.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 10 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

4. STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di piena che si verificano in corrispondenza di eventi pluviometrici con determinati tempi di ritorno, in questo caso 200 anni.

A tal scopo, non avendo nel corso d'acqua oggetto di studio, delle sezioni strumentate in grado di fornire dei dati diretti di portata si è proceduto come segue:

- **Analisi pluviometrica** derivata dagli studi di regionalizzazione delle piogge per la Regione Puglia, condotti nell'ambito del progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- **Stima della pioggia netta**, ossia dell'aliquota della precipitazione che effettivamente contribuisce alla formazione dell'onda di piena nel corso d'acqua, depurata delle quantità perse per infiltrazione, immagazzinamento superficiale, evapo-traspirazione, etc.;
- **Modello di trasformazione afflussi-deflussi**, per il calcolo delle portate al colmo di piena con diversi tempi di ritorno e per la stima degli idrogrammi di piena; in analogia con gli studi condotti dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia è stato applicato il metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS).

4.2 Analisi Pluviometrica

Modello di regionalizzazione delle piogge

Il modello di regionalizzazione messo a punto in Italia nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, ha codificato una metodologia basata su:

- modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value), particolarmente adatto a descrivere la distribuzione di grandezze idrologiche (piogge e portate), perché spiega in modo plausibile la presenza dei valori straordinari (outliers) che caratterizzano le serie storiche.
- tecnica di regionalizzazione di tipo gerarchico, capace di ridurre al minimo l'incertezza nella stima dei parametri regionali.
- utilizzazione contemporanea di tutta l'informazione idrologica disponibile.

L'approccio gerarchico consiste nel:

- definire regioni omogenee rispetto al coefficiente di asimmetria teorico CS, ricavando così i valori di θ^* e Λ^* ;
- definire, all'interno delle regioni, delle zone omogenee rispetto al coefficiente di variazione teorico CV, fissando in questo modo Λ_1 ;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 11 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

- individuare delle sottozone caratterizzate da relazioni univoche tra il parametro θ_1 e delle variabili geografiche del territorio indagato (quota, esposizione...)

Questa struttura gerarchica, si lega in maniera soddisfacente con il comportamento dei parametri statistici che rappresentano le serie storiche.

Infatti il coefficiente di asimmetria non sembra risentire in maniera sensibile dei cambiamenti morfologici e così rimane costante in regioni ampie, mentre il coefficiente di variazione ha valori omogenei in zone meno estese.

Regionalizzazione delle piogge in Puglia

L'analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore è stata effettuata per il territorio della Puglia centro-meridionale ad integrazione di quanto effettuato in Puglia settentrionale da Claps et al., (1994).

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987).

I risultati hanno evidenziato (Castorani e Iacobellis, 2001) per l'area esaminata la consistenza di una Zona unica di primo e secondo livello che include la parte centro-meridionale del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

L'analisi di terzo livello, basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, ha portato all'individuazione di sei zone omogenee per tutta la Puglia, nella Zona 6 ricade la Penisola Salentina.

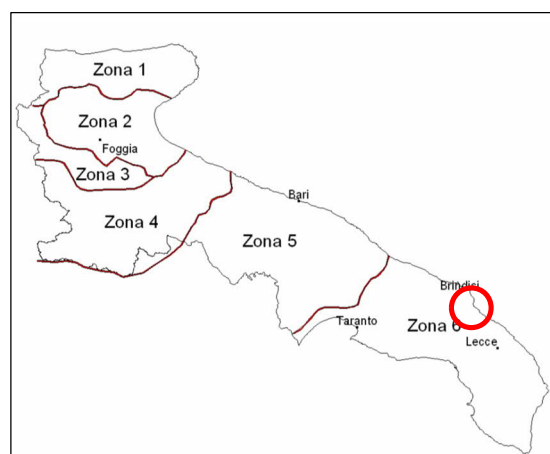



Fig. 4.2/A: Zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione

 Zona dell'attraversamento in progetto

Curva di possibilità pluviometrica

I bacini Brindisini ricadono nella zona omogenea 6, per la quale vale la seguente equazione della **Curva di Possibilità Pluviometrica**:

$$\text{Zona 6: } x(t, z) = 33.7 t^{[(0.488 + 0.0022z)/3.178]}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 12 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

dove:

- t: durata della precipitazione
- z: quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico.

L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm. Per valutare la precipitazione con diversi tempi di ritorno, si usa la formula:

$$h_m \text{ [mm]} = x(t,z) \times K_T$$

dove:

- K_T : fattore di crescita ed è uguale a:

$$K_T = a + b \ln T$$
- a, b: parametri stimati dalla regionalizzazione di I e II livello che cambiano a seconda della zona.
- T: tempo di ritorno.

Nella Puglia centro-meridionale i valori di a e b sono:

- a=0.1599
- b=0.5166

Il valore del coefficiente di crescita K_T per i diversi tempi di ritorno sono riassunti nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	K_T
30 anni	1.917
200 anni	2.897
500 anni	3,370

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 13 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

4.3 Stima delle portate di piena

La valutazione idrologica per i corsi d'acqua del brindisino è stata condotta seguendo il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS). Questo metodo consente di ricavare l'idrogramma delle portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

Stima della pioggia netta

Il Curve Number, proposto nella procedura del Soil Conservation Service (SCS, 1972), è un parametro utilizzato per determinare l'aliquota di precipitazione netta che quindi contribuisce direttamente alla formazione del deflusso del bacino.

Il modello CN-SCS descrive un processo di produzione del deflusso di tipo prevalentemente hortoniano. Il meccanismo individuato da Horton, a cui si riconduce il comportamento dei bacini del territorio carsico pugliese, si verifica quando l'intensità della pioggia supera la velocità di infiltrazione del suolo, producendo un deflusso superficiale pari alla differenza fra volume piovuto e capacità di assorbimento nell'unità di tempo.

Il CN assume valori compresi tra 100 e 0 e rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

Il SCS ha classificato i vari tipi di suolo in 4 (quattro) gruppi così definiti:

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 14 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Valori del parametro CN (adimensionale) ↓ <i>Tipologia di Uso del Territorio</i>	← <i>Tipo idrologico Suolo</i> → →			
	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tab.4.3/A: Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche, di copertura vegetale e delle condizioni medie di umidità (per AMC II)

L'SCS ha definito tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti; in mancanza di informazioni su uno specifico evento., si usa assumere in via cautelativa la condizione di umidità media del terreno (AMC II).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 15 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0 < P < 50
II (Umidità media)	50 < P < 110
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

Tab.4.3/B: Definizione delle classi di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Nel caso in esame, siamo in presenza di suoli di TIPO B, prevalentemente sabbiosi, arenitici. Si è assunto il valore medio del Curve Number per il bacino considerato, pari a **CN=77**, in accordo a quanto stimato per lo stesso bacino dall'AdBP nello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi".

Stima dell'idrogramma di piena

Per la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua oggetto di studio, il modello parte da un idrogramma di forma triangolare secondo la seguente figura:

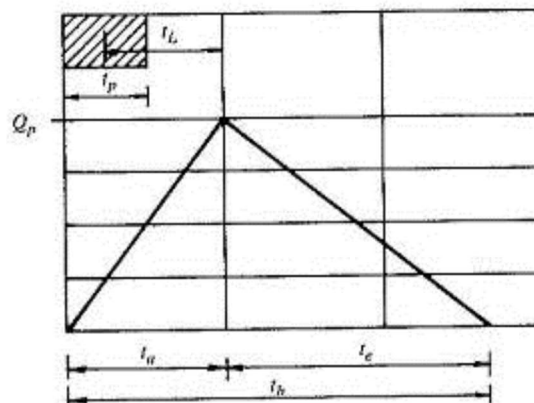


Fig.4.3/A: Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata ad colmo con metodo del Soil Conservation Service

L'idrogramma ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), per cui il volume V è risultante dall'area del diagramma che è pari a:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p \times t_b}{2}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 16 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_e : tempo di esaurimento [h];
- t_b : durata evento di piena [h].

Il SCS ha realizzato un'analisi sperimentale dove ha stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume d'acqua pari al 37,5% del volume totale di deflusso, quindi la sua durata sarà 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b :

$$t_b = 2.67 \times t_a$$

Di conseguenza la portata di colmo è data dalla formula:

$$Q_p = 0.208 \times \frac{V \times A}{t_a}$$

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- V : volume di deflusso [mm];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- A : area bacino [Km^2].

Si determina t_a considerando una precipitazione con intensità costante, di durata t_p secondo la seguente formula:

$$t_a = 0.5 \times t_p + t_L$$

dove:

- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_p : durata di pioggia [h];
- t_L : tempo di ritardo [h].

La formula per il calcolo del volume di deflusso che è funzione della precipitazione è la seguente:

$$V = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S}$$

dove:

- V : volume di deflusso;
- P : precipitazione totale;
- S : massima capacità di invaso dato dalla formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 17 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Il tempo di ritardo (Lag Time), espresso in ore, viene calcolato secondo la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.3}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove:

- t_L : tempo di ritardo [h];
- CN: curve number;
- s: pendenza bacino [%];
- L: lunghezza asta fino alla sezione di chiusura [Km]

Inoltre, studi empirici dell'SCS dimostrano che il tempo di corrivazione t_c di un bacino è proporzionale al tempo di ritardo:

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$

e sostituendo alle formule precedenti si trovano le seguenti relazioni:

$$t_p = \frac{t_L}{4.5}$$

$$t_a = \frac{t_L}{0.9}$$

Nella tabella seguente si riportano i valori del bacino oggetto di studio, assunti per la simulazione:

PARAMETRI IDRO-GEOMORFOLOGICI						
Area Bacino [Kmq]	Pendenza media del Bacino s [%]	CN	t_L [h]	t_c [h]	t_p [h]	t_a [h]
5,26	0.022	77	3.28	5.46	0.72	3.27

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 18 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

4.4 Idrogramma adimensionale di Mockus

L'idrogramma unitario è stato costruito utilizzando il metodo di Mockus utilizzando i due fattori caratteristici del bacino oggetto di studio t_a (tempo di accumulo che è la durata del tempo di crescita) e Q_p (portata di colmo) considerando un volume di deflusso unitario ($V=1$).

Questi valori sono messi in relazione con la generica portata Q all'istante generico t utilizzando, quindi, come variabili adimensionali i rapporti t/t_a e Q/Q_p .

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica dell'idrogramma di piena in funzione del tempo di ritorno:

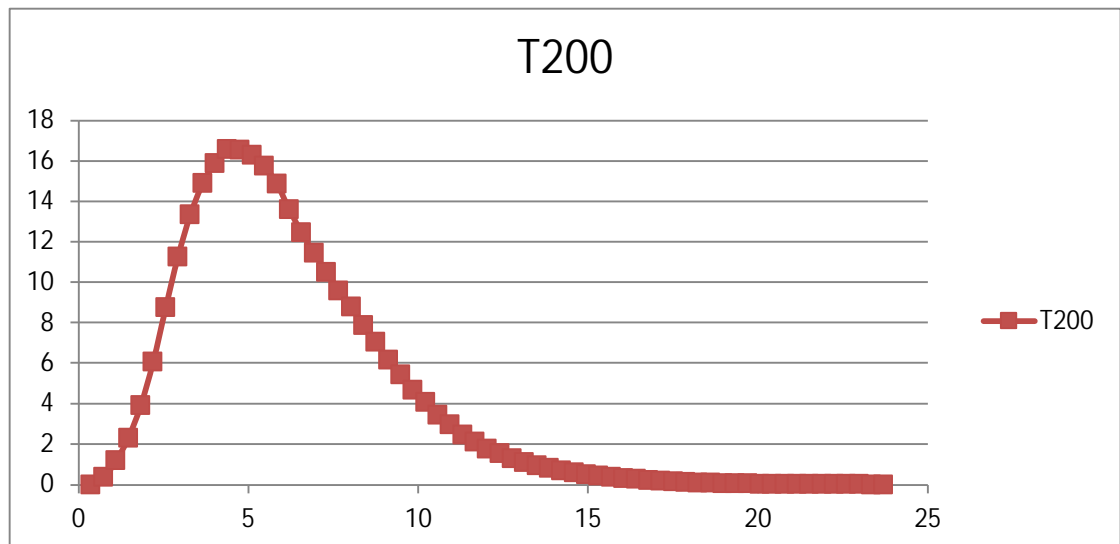


Fig.4.4/A: Idrogramma di piena del bacino dell'Affluente Fiume Grande alla sezione di chiusura con $T_r=200$ anni

e i valori delle portate al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno:

PORTATE AL COLMO DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO		
T ritorno [anni]	Coefficiente di Crescita KT	QMAX [mc/s]
30	1.917	7,96
200	2.897	16,56
500	3,370	21,14

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 19 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

5. STUDIO IDRAULICO

5.1 Premessa

La modellazione idraulica eseguita sull’Affluente Fiume Grande è stata condotta sull’evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, che è indicato come scenario di media probabilità dalla direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 ed è assunto dall’Autorità di Bacino come evento di riferimento per determinare le condizioni di sicurezza idraulica di un corso d’acqua.

La portata al colmo di piena assunta per la simulazione, a favore di sicurezza, è stata arrotondata per eccesso a $Q_{200} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$

Il modello ha seguito una simulazione in moto permanente della portata al colmo di piena con T_r 200 anni per la definizione di eventuali fenomeni di esondazione nelle sezioni d’alveo;

È stata inoltre elaborata una perimetrazione delle aree allagate, prendendo in considerazione i tiranti idrici raggiunti in corrispondenza dell’evento duecentennale.

I limiti della perimetrazione sono legati alla brevità del tratto oggetto di studio, che non permette di tenere in considerazione i fenomeni avvenuti a monte nel corso d’acqua ed al modello idraulico monodimensionale in moto permanente.

Da sottolineare comunque che la conoscenza delle aree allagate non riveste un ruolo fondamentale al fine di dimostrare la compatibilità idraulica del metanodotto in progetto, in quanto l’opera è completamente interrata e la valvola di intercettazione linea, unico manufatto fuori terra in prossimità dell’attraversamento del canale, non costituisce un impedimento al deflusso delle acque esondate né al ritorno in alveo delle stesse.

5.2 Descrizione del modello idraulico

Per la determinazione del profilo della superficie libera del corso d’acqua si sono utilizzate le equazioni del moto permanente di una corrente a pelo libero, risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell’US Army Corps of Engineers (release 5.0).

La prima fase della modellazione consiste nel fornire le informazioni relative alla geometria del corso d’acqua del tratto che si desidera analizzare utilizzando la finestra Geometric Data, all’interno della quale si devono definire il corso del fiume (Reach) e la geometria delle sezioni (Cross Section Data). All’interno della finestra Cross Section Data, oltre alla geometria della sezione è necessario inserire la distanza fra le sezioni (Reach Length), il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning, inoltre, è possibile definire la posizione delle sponde (Left and Right Bank) e degli argini (Levees) e inserire nella sezione delle aree dove l’acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (Ineffective Flow Areas) e delle coperture (Lids).

All’interno della finestra Geometric Data sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l’altra (XS Interpolation), molto utile

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 20 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; il programma permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (Bridge and Clvert Data) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (Deck/Roadway), le pile (Piers), le spalle (Sloping Abutments) e le condizioni di calcolo (Bridge Modelling Approach); si possono inserire inoltre strutture perpendicolari al corso d'acqua (Inline Structure), sfioratori laterali (Lateral Structure) e casse di laminazione (Storage Area).

Una volta completata l'inserzione dei dati geometrici, si passa all'inserimento dei dati di portata tramite il comando Steady Flow Data, in caso di moto permanente.

In caso di moto permanente, all'interno della finestra Steady Flow Data è necessario definire il numero dei profili da calcolare, i dati di massima portata (almeno una portata per ogni ramo e per ogni profilo) e le condizioni al contorno (Reach Boundary Conditions). Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle a seconda che si intenda eseguire un'analisi in regime di corrente lenta, veloce o mista) e comprendono: quota del fondo alveo (Know Water Surface Elevation); altezza critica (Critical Depth); altezza di moto uniforme (Normal Depth); scala di deflusso (Rating curve). A questo punto è possibile passare ad eseguire la simulazione idraulica in moto permanente tramite il comando Steady Flow Analysis.

I risultati delle computazioni idrauliche sono riassunti in tabelle riepilogative (Detail Output Tables e Profile Summary Table), immagini relative alle sezioni geometriche utilizzate (Plot Cross-Section) e al profilo longitudinale (General Plot Profile e Water Surface Profile) e, infine, con una visione tridimensionale del sistema fluviale (X, Y, Z Perspective Plot).

5.3 Descrizione del modello matematico

Moto permanente

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite. Questa equazione differenziale è la seguente:

$$\frac{dH}{ds} = -S_f \quad (4)$$

con:

$$H = z + \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

in cui:

H = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa s misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

S_f = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 21 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

z = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

v = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa s ;

g = accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite l'equazione (4), applicata tra due sezioni distanti Δs , può essere scritta come:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta s \quad (6)$$

in cui:

H_1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H_2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

S_{fm} = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Tenendo conto della relazione (5) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e finale la (6) diviene:

$$z_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot A_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{Q^2 \cdot n^2}{A_1^2 \cdot R_1^4} + \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_2^2 \cdot R_2^4} \right] \cdot \Delta s = 0 \quad (7)$$

in cui:

Q = portata;

A_1 = area bagnata della corrente nella sezione iniziale;

A_2 = area bagnata della corrente nella sezione finale.

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione del solo tirante idrico. L'equazione (7) permette di determinare il valore del tirante nella sezione finale di un tratto di corrente lungo Δs , una volta noto il suo valore in corrispondenza della sezione iniziale (condizione al contorno).

Per conoscere, quindi, il profilo relativo alla zona in esame del corso d'acqua, occorre suddividere il tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Il programma Hec-Ras permette la determinazione del profilo secondo tre schemi di calcolo:

- *Corrente lenta (Subcritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque lenta (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è maggiore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di valle del tratto considerato;
- *Corrente veloce (Supercritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque veloce (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è minore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di monte del tratto considerato;
- *Corrente mista (Mixed Flow)*: è applicata quando nel tratto in esame si possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro, dando luogo ad una

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 22 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto. Questa condizione nel caso di transizione da corrente veloce a lenta porterà alla formazione di risalti idraulici. Tale schema richiede che siano definite due diverse condizioni al contorno in corrispondenza delle sezioni (di monte e di valle) del tratto considerato.

Nella simulazione del tratto oggetto di studio si è utilizzata la condizione di corrente mista. Nella condizione di moto permanente sarà sufficiente introdurre il valore della portata in ingresso a monte, eventuali cambiamenti della stessa (dovuta a immissioni localizzate o distribuite) e le condizioni al contorno nella sezione a valle del tronco in esame.

Le perdite di carico sono determinate tramite l'equazione di Manning, in particolare, in corrispondenza di brusche variazioni di velocità dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione. Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, etc...) nelle quali si crea una brusca variazione nel profilo della corrente, sono calcolate attraverso la conservazione della spinta totale.

Equazione di Manning

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza l'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{v^2 \cdot n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (1)$$

in cui:

- S_f = perdita di carico distribuita ;
- v = velocità media della corrente ;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno bagnato);

La portata della corrente liquida può essere calcolata secondo la seguente espressione:

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dove:

- S_f = perdita di carico distribuita;
- K : conveyance, definisce la capacità di portata ed è dato dalla seguente formula:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 23 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

- A = area sezione bagnata;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area e il perimetro della sezione bagnata).

5.4 Modellazione idraulica dell'Affluente Fiume Grande

Premessa

Il primo passaggio consiste nell'inserimento della geometria del tratto analizzato dell'Affluente Fiume Grande.

In particolare sono state inserite **20 sezioni** numerate dalla 200 alla 10 proseguendo da monte verso valle, distribuite lungo un tratto di studio di circa 1300 m.

Una volta inserita la geometria è stata eseguita una simulazione in moto permanente, allo scopo di effettuare un'analisi delle criticità del canale, individuando i tiranti idrici nelle diverse sezioni.

Per l'analisi in moto permanente è stata utilizzata la portata di picco dell'idrogramma di piena relativo a un tempo di ritorno di 200 anni, pari a **$Q_p=17 \text{ m}^3/\text{s}$** .

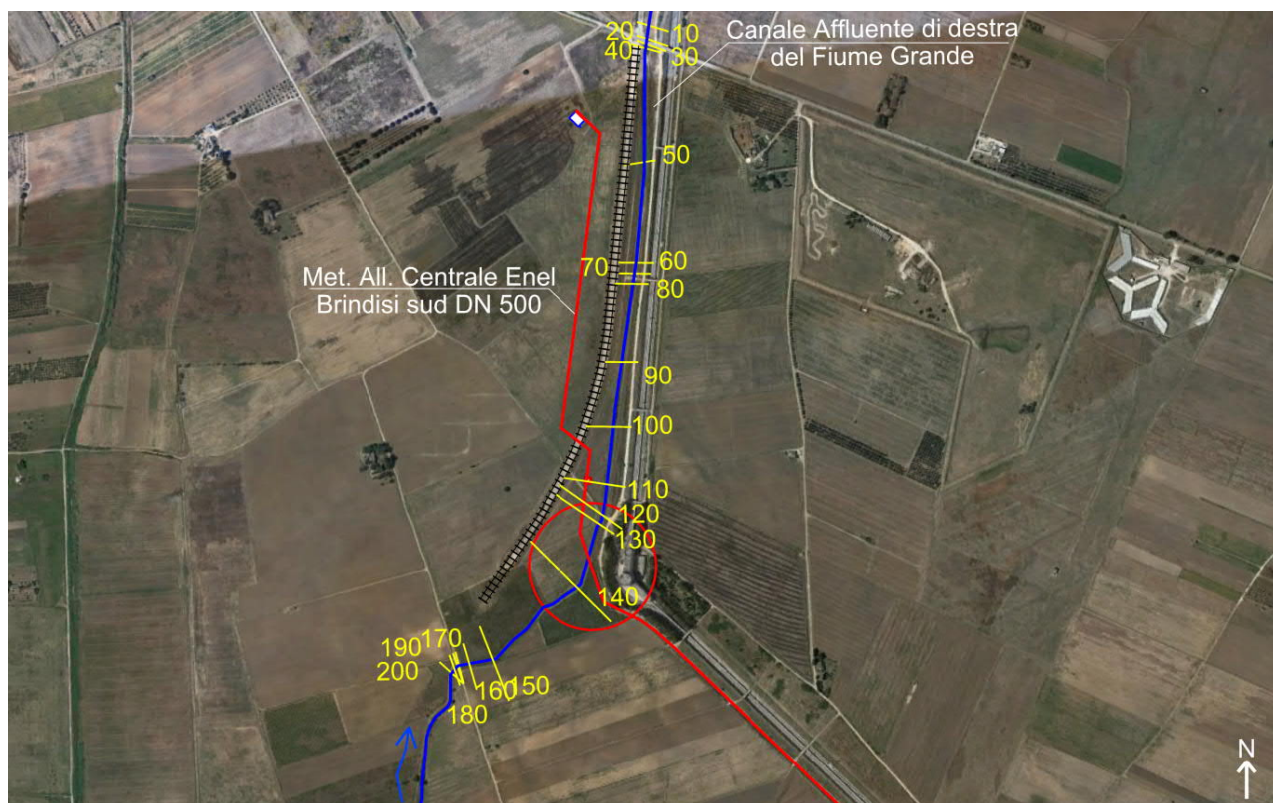


Fig.5.4/A: Tratto del canale analizzato con indicazione delle sezioni studiate

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 24 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici.

Per il calcolo del coefficiente di Manning si fa riferimento ai valori tabulati da Chow, 1959, per corsi d'acqua minori cioè con larghezza a piene rive minore di 30 metri:

COEFFICIENTE DI MANNING n [s/m^{1/3}]			
Tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Tab. 5.4/B Valori del numero di Manning per corsi d'acqua minori da Chow V. T., 1959

Nella presente simulazione è stato assunto un **coefficiente n di Manning pari a 0.035 m^{-1/3}s** per l'alveo.

Condizioni al contorno e iniziali

Si è considerato un unico profilo al tempo di ritorno T=200 anni del quale si è inserita la portata nella sezione di monte del tratto considerato pari a 17 m³/s.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 25 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Si devono poi inserire le condizioni al contorno:

- Caso di corrente lenta: è sufficiente solo la condizione a monte;
- Caso di corrente veloce: è sufficiente solo la condizione a valle;
- Corrente mista: si devono inserire le condizioni sia a monte che a valle.

Si è effettuato il calcolo con un regime di tipo misto per cui si è imposta un'inclinazione media del canale sia a monte che a valle pari a $s=0.01$.

Risultati del calcolo

Di seguito si riportano i risultati della simulazione dove i parametri riportati in tabella sono:

- RS = Sezione (River Station)
- Q = Portata totale;
- z_{min} = Quota minima della sezione;
- Y = Altezza pelo libero;
- H_c = Altezza dello stato critico;
- E(h) = Energia calcolata per un determinata altezza idrica;
- i = Pendenza della linea dell'energia;
- v = velocità media del flusso nel canale principale;
- A = Area totale del flusso nella sezione di attraversamento;
- H_{max} = Altezza massima;
- F_r = numero di Froude che può essere:
 - $F_r > 1$ corrente veloce;
 - $F_r = 1$ corrente critica;
 - $F_r < 1$ corrente lenta.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 26 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=200 anni										
RS	Q	Z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
200	17.00	13.17	14.60	14.60	14.74	0.006792	1.89	12.72	39.60	0.68
190	17.00	13.08	14.28	14.26	14.30	0.000765	0.59	27.64	50.11	0.23
185	Culvert									
180	17.00	13.08	14.26	14.26	14.29	0.000820	0.60	26.78	49.83	0.24
170	17.00	13.08	14.26	14.26	14.28	0.000830	0.60	26.63	49.78	0.24
160	17.00	12.25	13.95	13.41	14.11	0.003640	1.80	9.43	7.20	0.50
150	17.00	12.64	13.77	13.77	13.89	0.006729	2.06	14.68	54.29	0.70
140	17.00	11.36	12.91	12.80	12.93	0.001412	1.00	35.19	142.68	0.32
130	17.00	10.72	12.07	12.07	12.51	0.014464	2.94	5.79	6.59	1.00
120	17.00	10.36	11.17	11.45	12.05	0.042278	4.15	4.10	6.40	1.66
110	17.00	10.11	11.53	11.08	11.68	0.003671	1.73	9.84	8.92	0.53
100	17.00	9.77	11.19		11.32	0.003073	1.60	10.62	9.56	0.49
90	17.00	9.33	10.76		10.91	0.003658	1.72	9.90	9.05	0.52
80	17.00	8.84	10.00		10.21	0.006504	2.06	8.24	8.99	0.69
70	17.00	8.64	9.88		10.10	0.006245	2.08	8.16	8.52	0.68
60	17.00	8.56	9.69		9.95	0.007986	2.28	7.44	7.97	0.76
50	17.00	7.34	8.66		8.83	0.004457	1.85	9.21	8.70	0.57
40	17.00	6.57	7.95		8.07	0.002847	1.56	10.93	9.57	0.46
30	17.00	6.44	7.85	7.39	8.06	0.003259	2.03	8.36	9.82	0.55
25	Culvert									
20	17.00	6.44	7.58	7.39	7.90	0.006599	2.51	6.76	9.09	0.76
10	17.00	6.36	7.55	7.43	7.88	0.010014	2.54	6.70	7.19	0.84

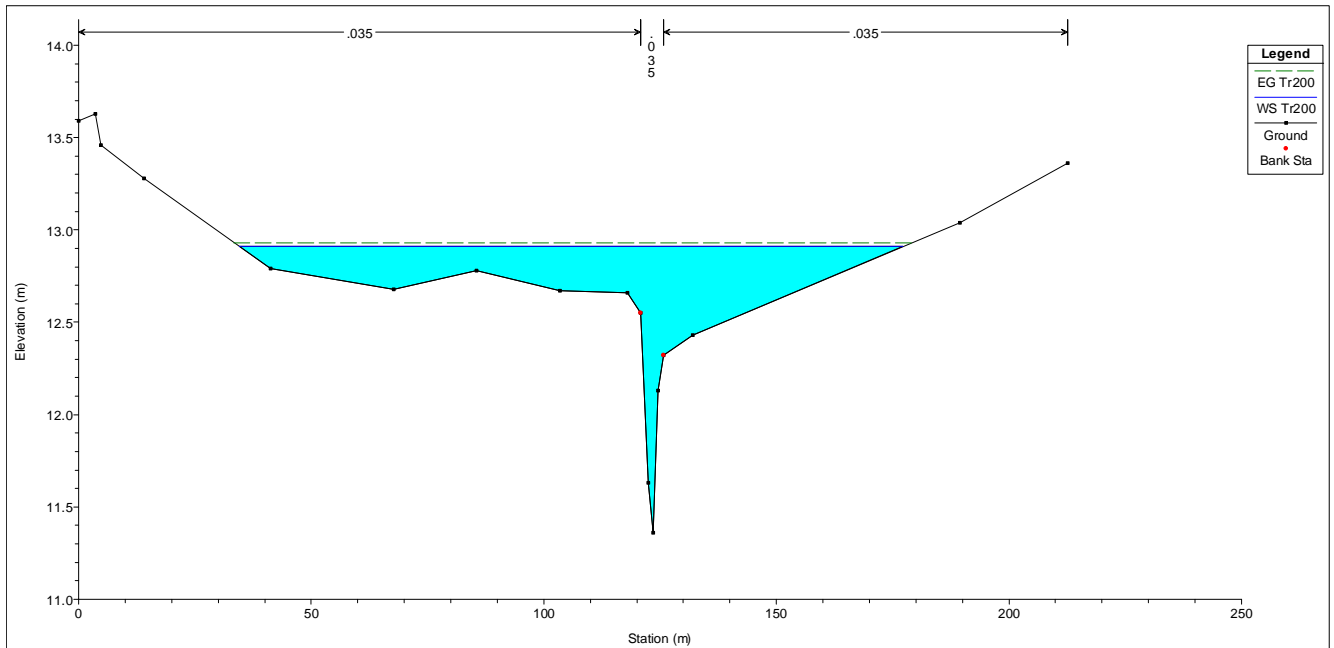
Tab. 5.4/C: Risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=200 anni

Di seguito vengono rappresentate le sezioni del canale, a monte e a valle dell'attraversamento del metanodotto (sez. 130, sez.140), con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=200 anni:

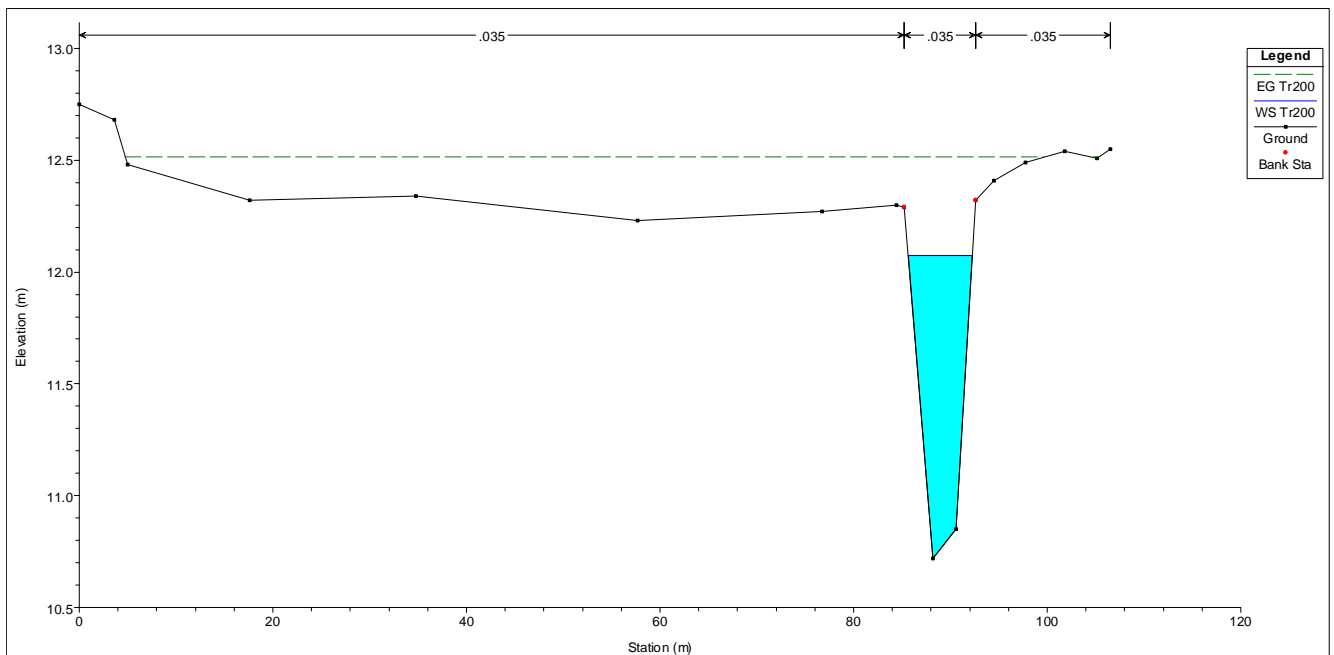
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 27 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Sezione 140 monte attraversamento



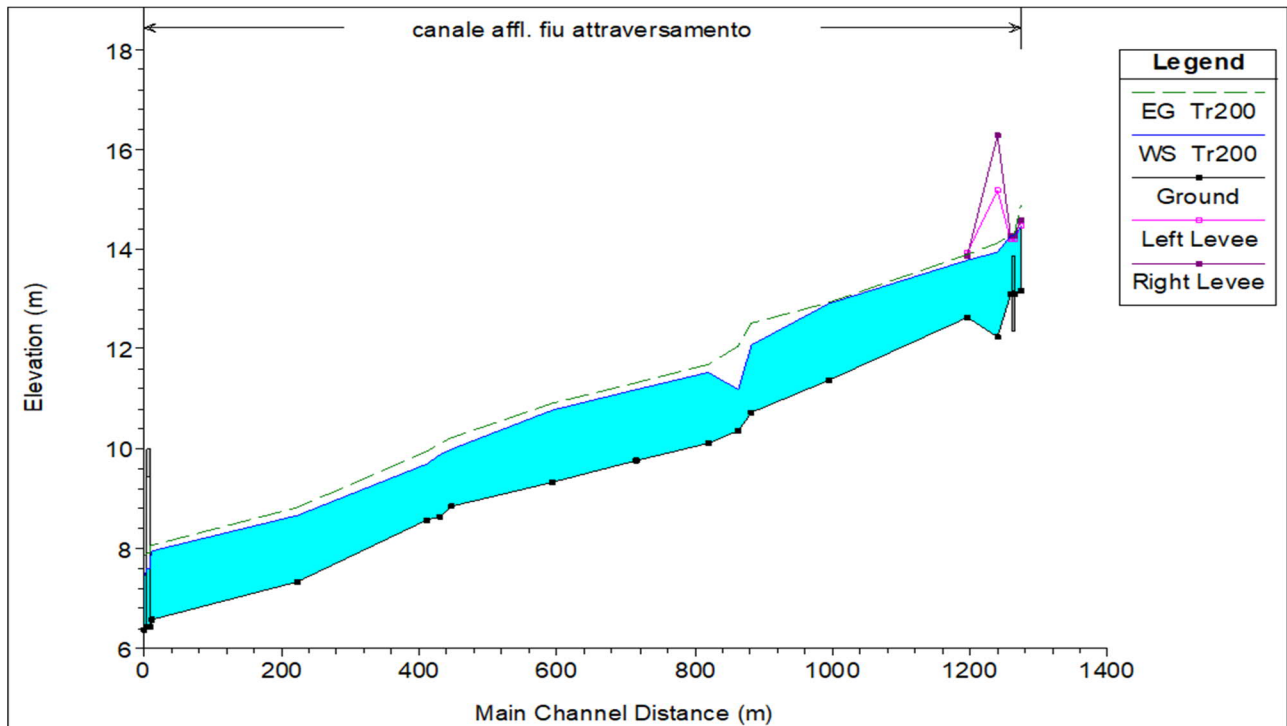
Sezione 130 valle attraversamento



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 28 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Dal **profilo longitudinale** dell’Affluente Fiume Grande, riportato nella seguente figura, si evince che la corrente è in tutti i tratti lenta.



Dai risultati della simulazione in moto permanente, l’alveo del canale, in prossimità dell’attraversamento, non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale, nella sezione più a monte (140), infatti, la piena va ad interessare le aree golenali, a differenza invece della sezione più a valle (130), che risulta essere in grado di smaltire la suddetta portata.

A seguito delle simulazioni eseguite, si ritiene cautelativo, anche in vista di eventuali sistemazioni dell’alveo finalizzate al contenimento della portata di piena duecentennale, posizionare il metanodotto ad una profondità di circa 2 m dal fondo dell’attuale alveo e mantenere tale profondità anche sotto sponde laterali, in modo da evitare qualsiasi interferenza futura.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 29 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

6. PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

6.1 Premessa

I risultati della simulazione con la portata duecentennale evidenziano due aree in cui si verificano condizioni di esondazione, la prima a monte del tratto studiato tra le sezioni 200 e 170 ed un'altra poco a valle, quasi in corrispondenza dell'attraversamento da parte del metanodotto All. Centrale Enel, tra le sezioni 150 e 140.

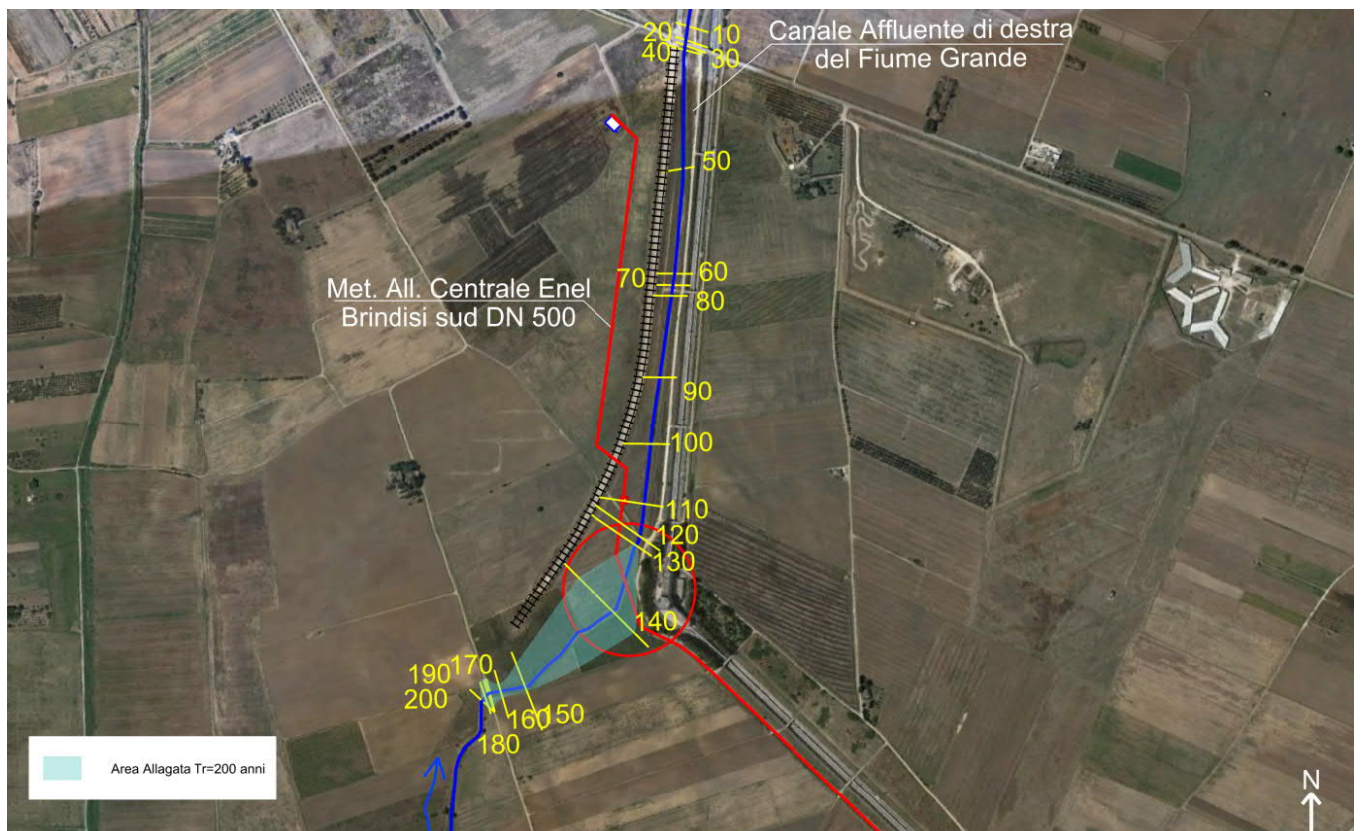


Fig. 6.1/A Perimetrazione delle Aree Allagate con Tr 200 anni

Come si evince dalla Fig. 6.1/A, nell'area oggetto di studio gli allagamenti sono limitati al tratto di monte, dove il corso d'acqua ha mantenuto in parte la sua conformazione naturale. La **sez. 140** è quella in corrispondenza del quale il corso d'acqua va maggiormente in crisi:

- in sinistra idraulica la quota del pelo libero pari a 12,90 mslm, sormonta la sponda di circa 35 cm, la piena defluisce nelle aree golenali circostanti fino a quando non incontra il rilevato della nuova linea ferroviaria in costruzione, il cui binario è previsto a quota 13,6 mslm;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 30 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

- analogamente anche in destra idraulica il tirante idrico non viene contenuto in alveo e la piena si espande nel terreno circostante fino in prossimità della strada sterrata che corre parallela all'esterno del nastro trasportatore Enel.

A nord della strada interpodereale posta in corrispondenza della sez. 120 e fino alla sezione di chiusura del bacino, l'alveo risulta in grado di smaltire agevolmente la piena duecentennale,

I risultati della simulazione in moto permanente confermano quanto visibile già in sede di sopralluoghi, il tratto di canale artificiale e rettilineo che procede verso il ponte della S.P. 88 ha sezioni trapezoidali ben profilate, con una base larga circa 5,5 m e profonde 2 m circa, in questa zona il colmo di piena viene contenuto con un franco sempre superiore a 1 m fatta eccezione per la sezione 100 dove il franco è ridotto a circa 45 cm.

In corrispondenza della sezione 110 verrà realizzato il punto di intercettazione linea (PIL) a valle dell'attraversamento ferroviario, come richiesto dal D.M. 17/04/2008.

L'impianto, di modeste dimensioni (9,90 m x 9,90 m) è costituito dalle apparecchiature di sezionamento del flusso del gas, del circuito di bypass e dal vent (scarico).

L'impianto non ha fabbricati ed è delimitato da una recinzione costituita in pannelli grigliati, pertanto non costituisce ostacolo al deflusso della piena, che in ogni caso, nella zona in cui verrà realizzato (sez. 110), sembra essere contenuta in alveo.

Per il PIDI di partenza, in ampliamento dell'impianto 12257/4 esistente, essendo posto a ovest del rilevato ferroviario, non subisce alcun effetto da un'eventuale esondazione dell'Affluente Fiume Grande, tanto più che risulta ubicato in corrispondenza del tratto di canale (Sez. 50 – S.P. 88) in cui la piena duecentennale viene ampiamente contenuta in alveo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 31 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

7. EROSIONE

7.1 Premessa

Essendo l'opera in oggetto una condotta interrata posta al di sotto di un alveo fluviale, l'erosione risulta essere solitamente un dato fondamentale dello studio idraulico, in quanto, se si fosse in presenza di un'intensa attività erosiva, il fondo potrebbe essere scavato fino a raggiungere la condotta minandone la stabilità.

Quella del trasporto solido è una stima complessa in quanto deve tenere in considerazione diversi fattori in contemporanea e dovrebbe essere suffragata da osservazioni di una certa durata che permettano di operare un confronto e valutare l'evoluzione dell'alveo.

Si procede di seguito alla verifica del trasporto solido attraverso il metodo empirico di Schoklitsch.

7.2 Metodo di Schoklitsch

Questo metodo è applicabile nel caso di moto permanente sia per la portata liquida che per quella solida. Si definisce una portata critica q_c in funzione del diametro D_{50} del materiale al di sopra del quale inizia il trasporto solido.

Questo metodo stima la portata critica q_c per la quale ha inizio il movimento, rendendo immediatamente visibile il risultato.

$$q_s = 2500 \cdot j^{\frac{3}{2}} (q - q_c)$$

$$q_c = 0.26 \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot \frac{D^{\frac{3}{2}}}{j^{\frac{7}{6}}}$$

$$q = \frac{Q}{b}$$

dove:

- Q = portata liquida totale [m^3/s];
- q_s = portata solida per unità di larghezza [m^2/s];
- q_c = portata solida critica per unità di lunghezza, corrispondente all'inizio del moto dei sedimenti [m^2/s];
- γ_s = peso specifico dei sedimenti [kg/m^3];
- γ = peso specifico acqua [kg/m^3];
- b = larghezza della sezione bagnata in esame [m];

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 32 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

- j = pendenza della linea di energia nella sezione in esame;
- D = diametro caratteristico del sedimento corrispondente a D_{50} [m];
- q = portata liquida volumetrica per unità di larghezza [$m^3/s \cdot m$].

I parametri per la zona interessata dall'attraversamento sono stati ricavati da letteratura per terreni composti da sabbie calcaree e calcareniti marnose (Calcareniti del Salento):

PARAMETRI UTILIZZATI NELLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO				
D_{50} [m]	γ [Kg/m ³]	γ_s [Kg/m ³]	i	b [m]
0.01	1000	1670	0.01	11.5

Per il calcolo si è utilizzata la portata con $T=200$ anni per avere un valore del trasporto solido a favore della sicurezza.

I valori riscontrati per la sezione dell'attraversamento sono i seguenti:

TRASPORTO SOLIDO SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO			
Q_{200} [m ³ /s]	q [m ² /s]	q_c [m ² /s]	q_s [m ² /s]
17	1.48	0.0287	3.62

Si evidenzia che nella zona in esame c'è effettivamente un movimento di materiale, anche se la scarsa pendenza e la vegetazione, sono indizi di un trasporto solido limitato.

7.3 Profondità di erosione del fondo dell'alveo

Esistono vari studi, per lo più sperimentali, per la determinazione della massima profondità di erosione di un fondo d'alveo in corrispondenza di piene eccezionali, dovute principalmente o alla presenza di discontinuità nei litotipi, o alla presenza di manufatti in alveo o, ancora, a fenomeni legati alla propagazione di barre alternate.

Nel caso in progetto, vista l'assenza di manufatti in alveo, e visto che le erosioni legate alla propagazione delle barre alternate sono di un ordine di grandezza inferiore alle erosioni legate a discontinuità, ci si limiterà a studiare quest'ultimo caso. In particolare la discontinuità dei litotipi presenti è dovuta alla presenza dei terreni scavati per la posa della condotta, in adiacenza a terreni indisturbati.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 33 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Nella fase immediatamente successiva alla realizzazione dell'opera, infatti, stante la natura dei terreni della zona, i terreni scavati, per quanto compattati al meglio, avranno caratteristiche geomeccaniche inferiori a quelle dei terreni indisturbati; al grado di compattazione, comunque elevato, ottenuto con i mezzi d'opera impiegati, seguirà, infatti una fase di assestamento lento dovuto alle caratteristiche plastiche del materiale che porterà al completo raggiungimento dei valori originari solo nel lungo periodo.

Dall'espressione di Schoklitsch, utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate ai paragrafi precedenti, risulta:

$$S_{\max} = 0.378 \cdot E^{0.5} \cdot q_s^{0.35} + 2.15 \cdot a$$

dove:

- S_{\max} = profondità massima della buca rispetto alla quota media dell'alveo [m];
- E = carico idrico totale a monte [m];
- q_s = portata solida per unità di larghezza [m²/s];
- a = dislivello delle quote d'alveo a monte ed a valle della buca [m]

Nella seguente tabella si riassumono i calcoli effettuati nella sezione dell'attraversamento:

PROFONDITA' EROSIONE SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO			
E [m]	q_s [m ² /s]	a [m]	S_{\max} [m]
1,55	3.62	0.1	0.95

Tale valore $S_{\max}=95$ cm rappresenta una stima del valore massimo di erosione che può verificarsi nel corso della piena duecentennale, in corrispondenza della zona di attraversamento.

Su tale valore tuttavia è bene fare alcune considerazioni:

- le formule utilizzate consentono di determinare l'ordine di grandezza dei valori in gioco che pertanto vanno utilizzati con notevole cautela ed opportuni coefficienti di sicurezza;
- nel tratto in questione l'altezza critica della corrente è prossima all'altezza di moto uniforme; sono pertanto possibili risalti ed erosioni localizzate;
- la velocità dell'acqua in caso di piena non appare elevata, anche se non del tutto trascurabile;

Per tali motivi, in considerazione delle caratteristiche dell'alveo fluviale e dei materiali presenti in sito si ritiene opportuno, per stimare la profondità di posa del tubo da progetto, aggiungere al valore massimo stimato di approfondimento in alveo un franco di sicurezza di circa 1 m.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 34 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

Pertanto la profondità alveo sulla generatrice superiore del tubo gas sarà mantenuta a circa 2 m.

Dai valori stimati si può affermare che la condotta rimarrà adeguatamente coperta anche durante piene con tempo di ritorno di 200 anni e, quindi, si può ritenere adeguata la profondità di progetto.

8. CONCLUSIONI

Per la verifica della compatibilità idrologico-idraulica del Metanodotto “Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20”) DP 75 bar” è stato condotto uno studio idrologico/idraulico utilizzando i valori dell'idrogramma di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Per il calcolo della curva di possibilità pluviometrica è stato utilizzato il modello VAPI del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, relativamente alla zona 6. Per la stima dell'idrogramma di piena è stato adottato il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS), che consente di ricavare le portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

La portata di picco dell'idrogramma di piena per un tempo di ritorno di 200 anni risulta pari a 16,56 m³/s, in via cautelativa la portata utilizzata per la simulazione idraulica è stata **Q=17m³/s**.

Per la verifica idraulica è stato utilizzato il software HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0.1), è stata eseguita una simulazione in moto permanente monodimensionale.

Dalla simulazione in moto permanente l'alveo del canale non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale lungo la zona a monte dell'attraversamento del metanodotto. Al contrario, nel tratto di valle, compreso tra le sezioni 120 e 10, il colmo di piena duecentennale viene contenuto con un franco sempre superiore a 1 m fatta eccezione per la sezione 100 dove il franco sulla sponda sinistra è ridotto a circa 45 cm e comunque la portata defluisce in sicurezza

In corrispondenza della sezione 110 verrà realizzato il punto di intercettazione linea (PIL) a valle dell'attraversamento ferroviario, come prescritto dal D.M. 17/04/2008.

L'impianto, di modeste dimensioni (9,90 m x 9,90 m) è costituito dalle apparecchiature di sezionamento del flusso del gas, del circuito di bypass e dal vent (scarico).

L'impianto non ha fabbricati ed è delimitato da una recinzione costituita in pannelli grigliati, pertanto non costituisce ostacolo al deflusso della piena, che in ogni caso, nella zona in cui verrà realizzato (sez. 110), sembra essere contenuta in alveo.

Per il PIDI di partenza, in ampliamento dell'impianto 12257/4 esistente, essendo posizionato sul lato opposto del rilevato ferroviario rispetto al canale, non subisce alcun effetto da un'eventuale esondazione dell'Affluente Fiume Grande, tanto più che risulta ubicato in corrispondenza del tratto di canale (Sez. 50 – S.P. 88) in cui la piena duecentennale viene ampiamente contenuta in alveo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 35 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

In conclusione si può affermare che l'opera è compatibile idraulicamente con il corso d'acqua attraversato in quanto è interrata, gli impianti previsti non sono coinvolti dall'esondazione della piena duecentennale e, nel caso del PIL di valle ferrovia, non costituisce comunque un ostacolo al libero deflusso dell'espansione della piena nelle aree golenali.

L'opera inoltre non modifica la permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

Dopo i lavori la morfologia del terreno verrà ripristinata secondo le caratteristiche ante operam e per l'alveo è prevista la completa riprofilatura delle sponde, riportando la sezione in corrispondenza dell'attraversamento alle condizioni originali, senza alterarne la capacità di deflusso.

Per quanto riguarda il problema dell'erosione di fondo, il canale, nel tratto interessato, risulta soggetto a limitati fenomeni di trasporto solido. Il metanodotto verrà posato con una copertura di 2 m rispetto alla profondità di fondo alveo attuale e pertanto con un franco di sicurezza superiore a 1 m rispetto al valore di erosione in caso di piena duecentennale.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 36 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

9. ANNESSI

- ANNESSO 1: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 37 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

10. BIBLIOGRAFIA

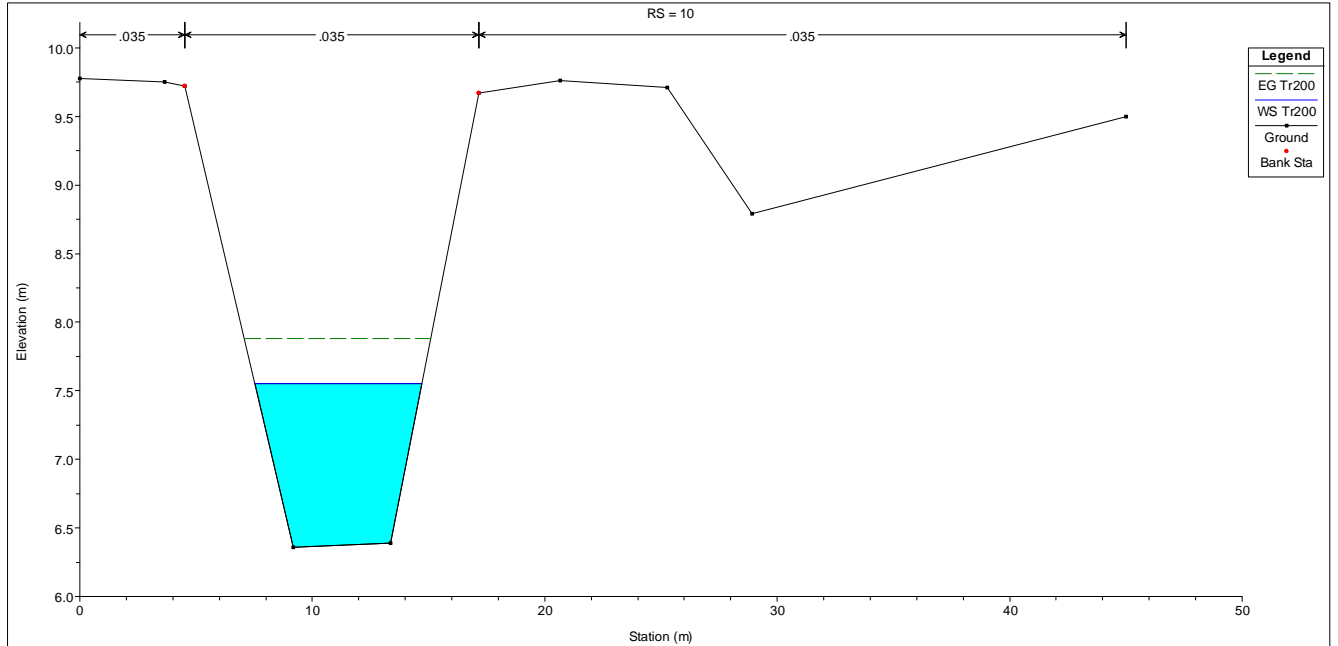
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA - "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi Ed. dicembre (2012)"
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA – Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) (2004).
- CHOW V.T. "Open Channel Hydraulics" McGraw-Hill, 1959.
- COPERTINO V., FIORENTINO M. (a cura di) "Valutazione delle piene in Puglia", CNR-GNDCI, Potenza, 1992.
- ROSSI F., FIORENTINO M., VERSACE P. "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis", Water Resour. Res., Vol. 20, n.7, pp.847-856, 1984.
- RUWA srl acqua territorio energia – Modellistica Idrologica e Idraulica (2010)
- Schoklitsch A. (1962) - Handbuch des Wasserbaues, 3rd edn. Springer, Vienna, 1-475
- Soil Conservation Service (SCS), National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, 192
- US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 38 di 48	Rev. 0

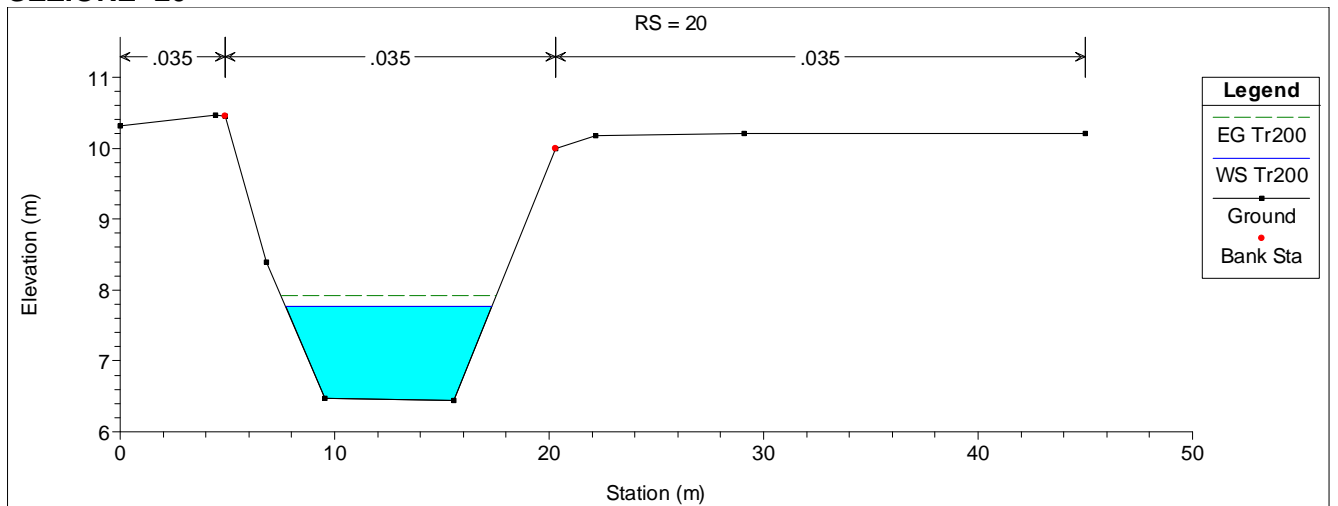
Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

ANNESSO 1

SEZIONE -10



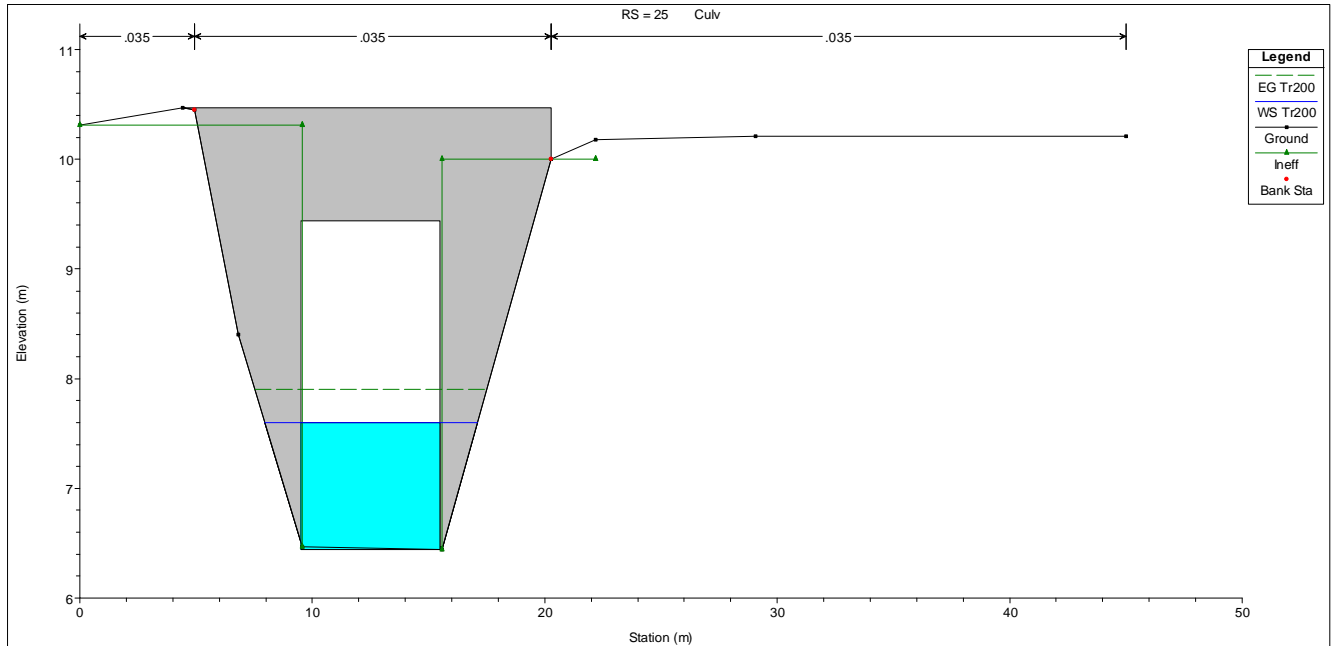
SEZIONE -20



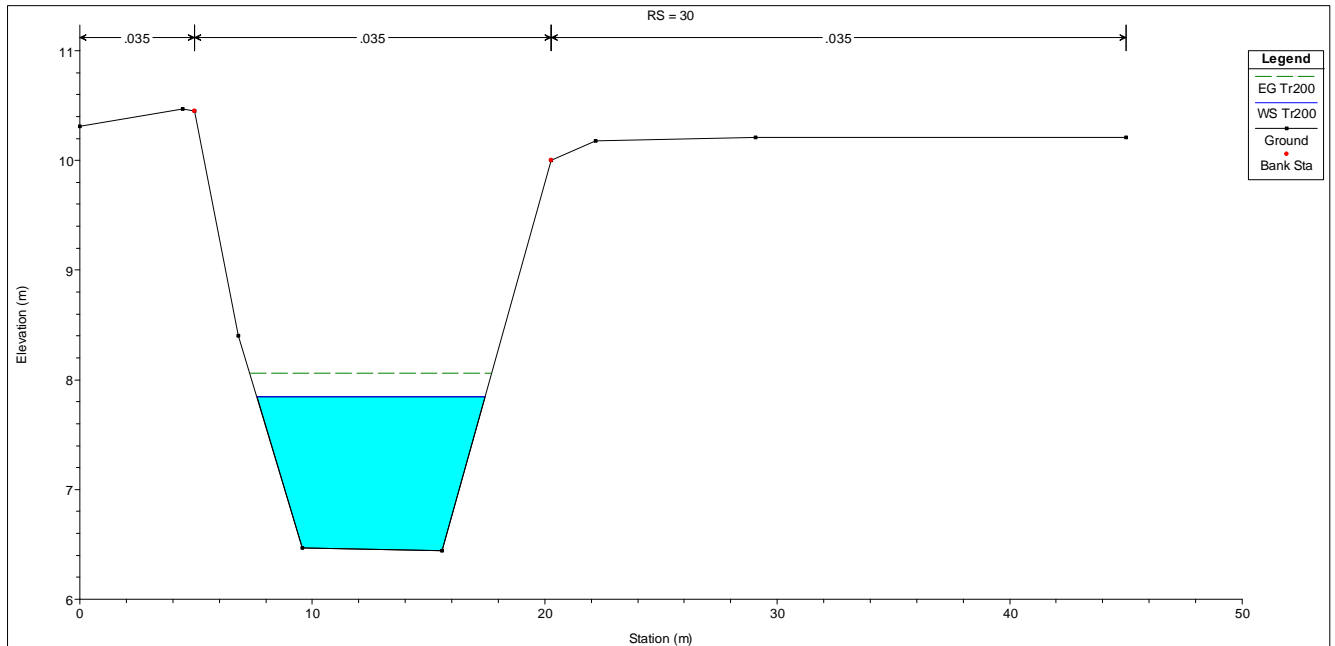
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 39 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -25-Culvert



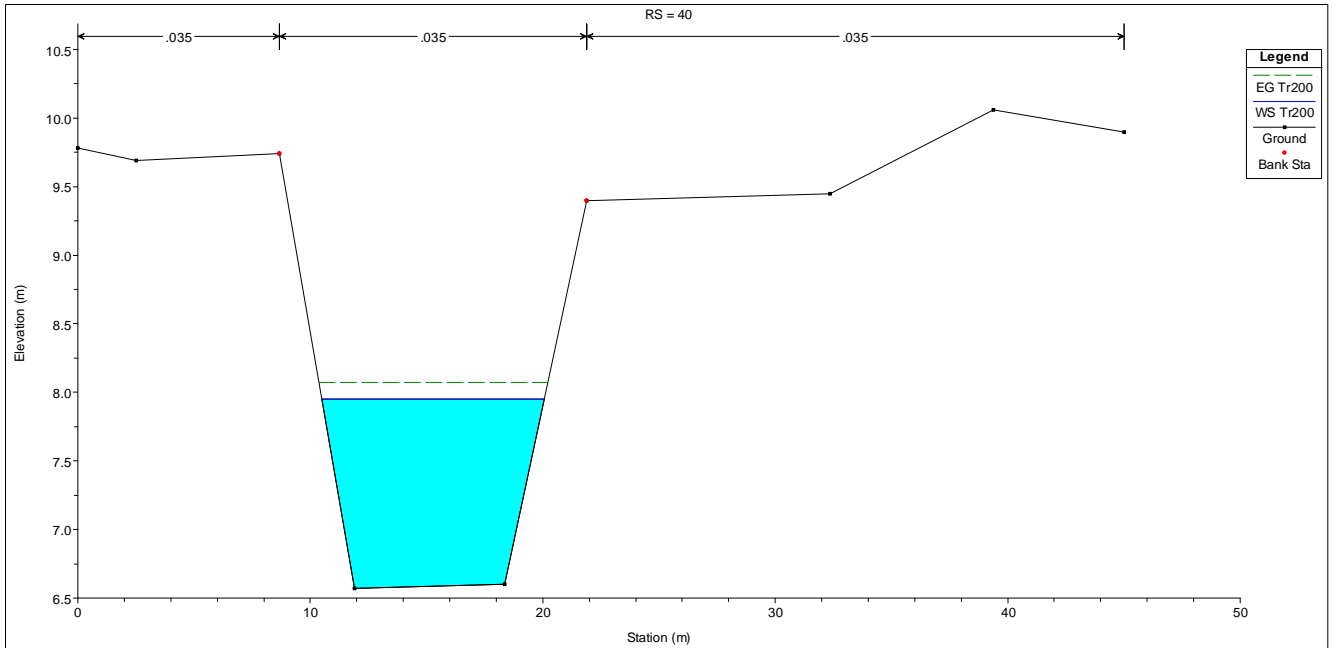
SEZIONE -30



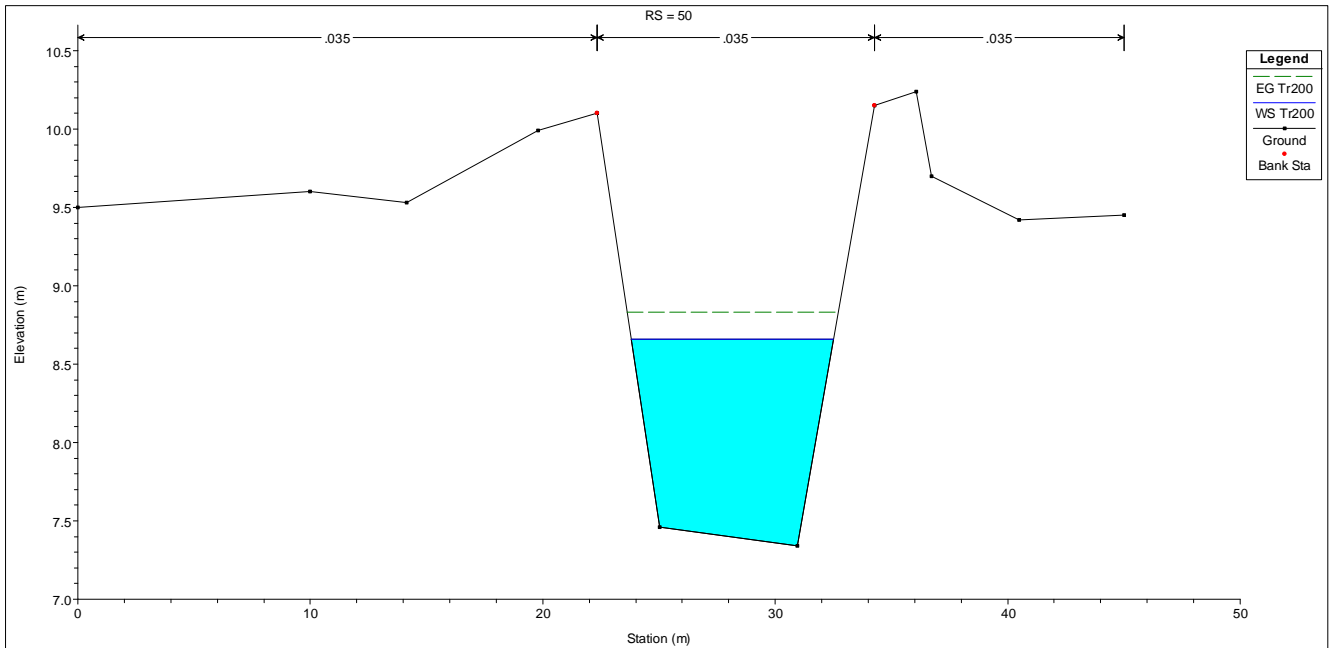
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 40 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -40



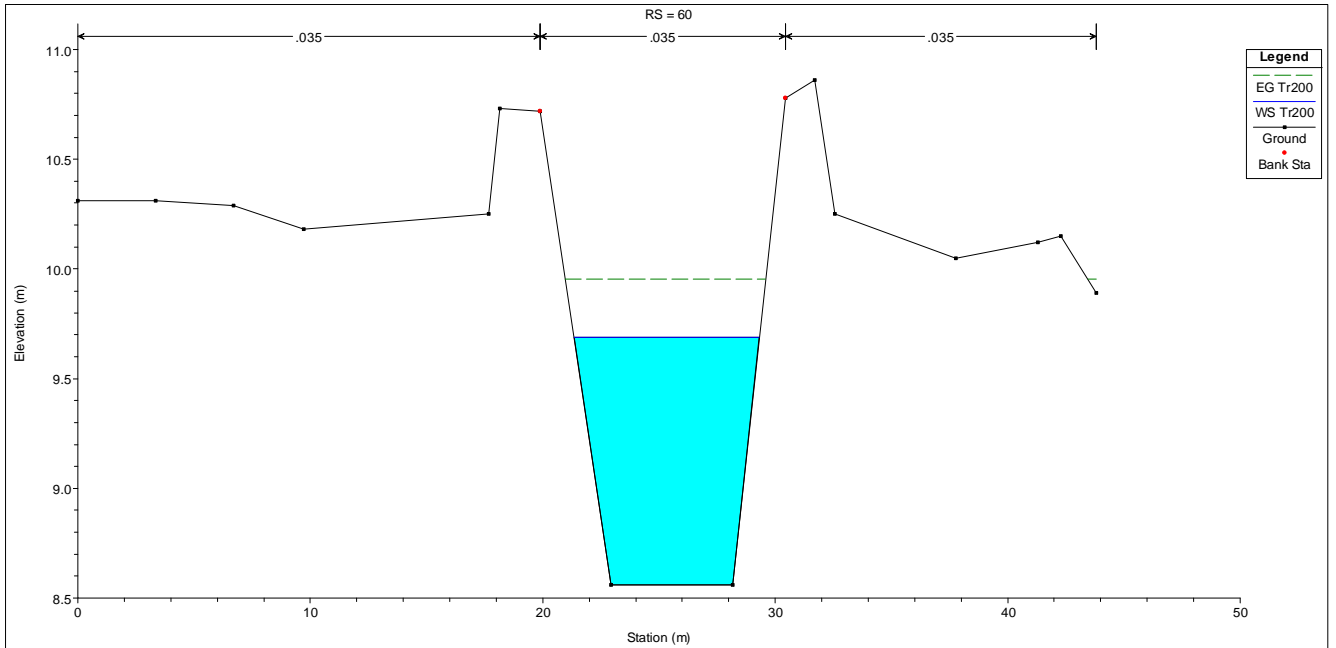
SEZIONE -50



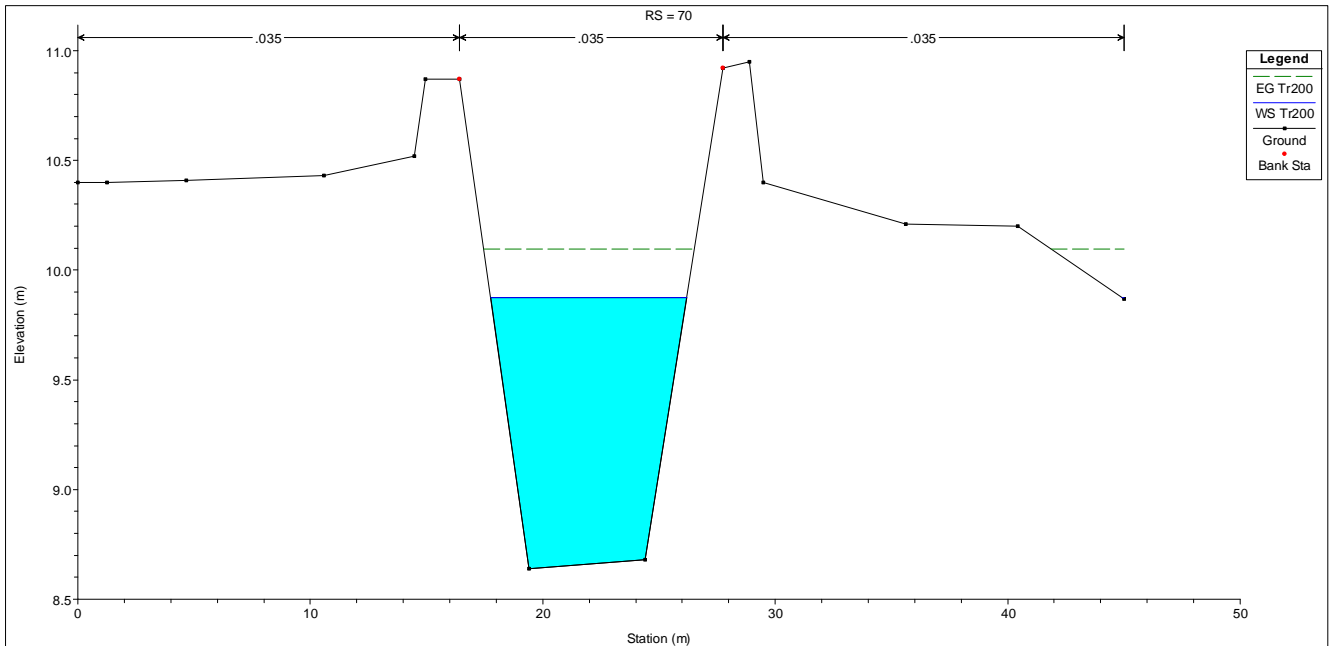
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 41 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -60



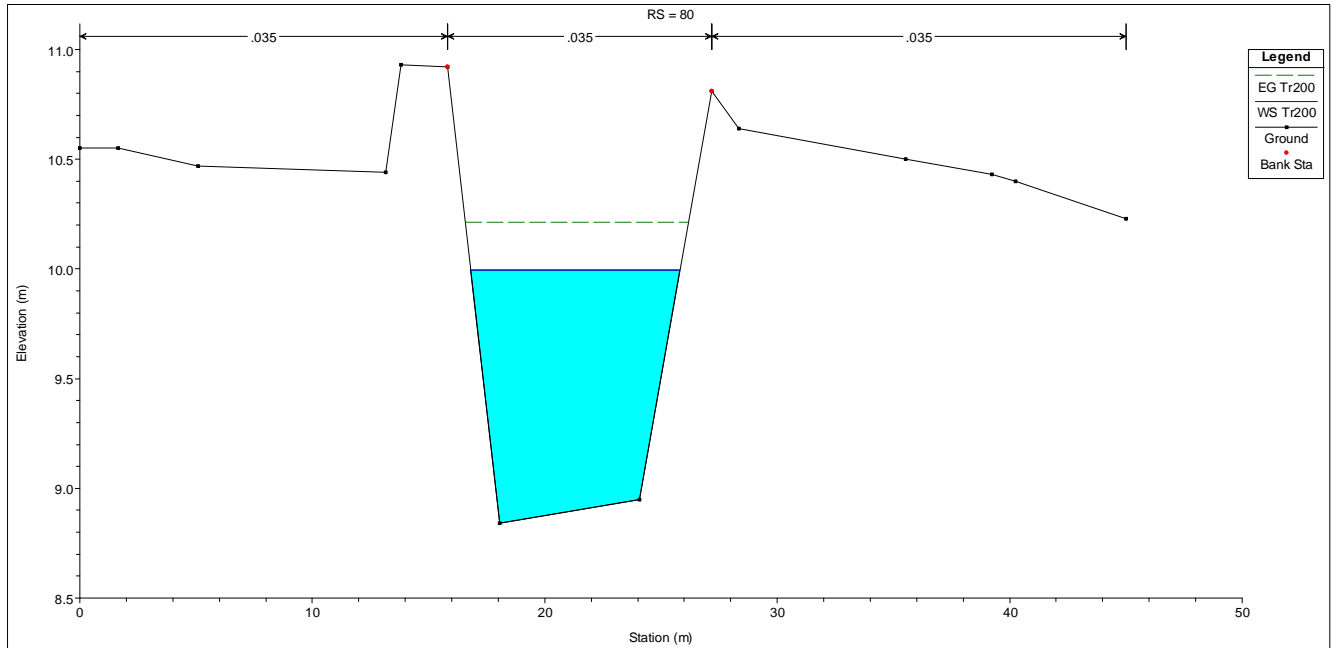
SEZIONE -70



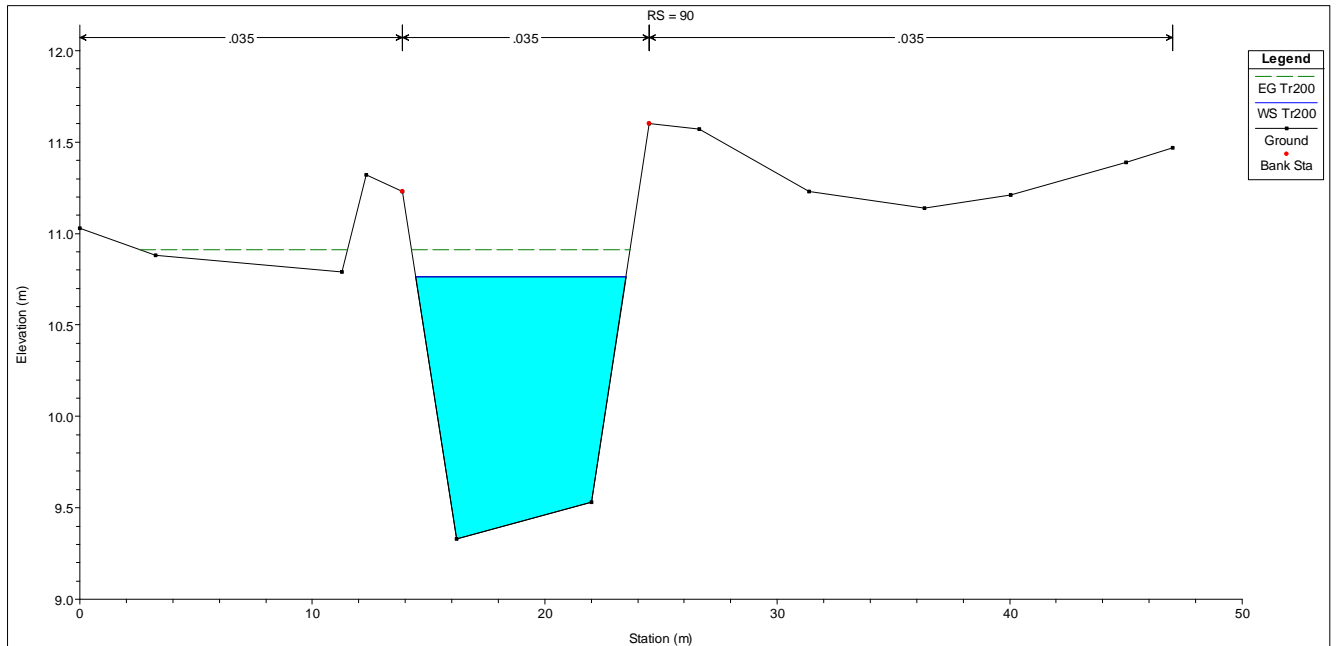
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 42 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -80



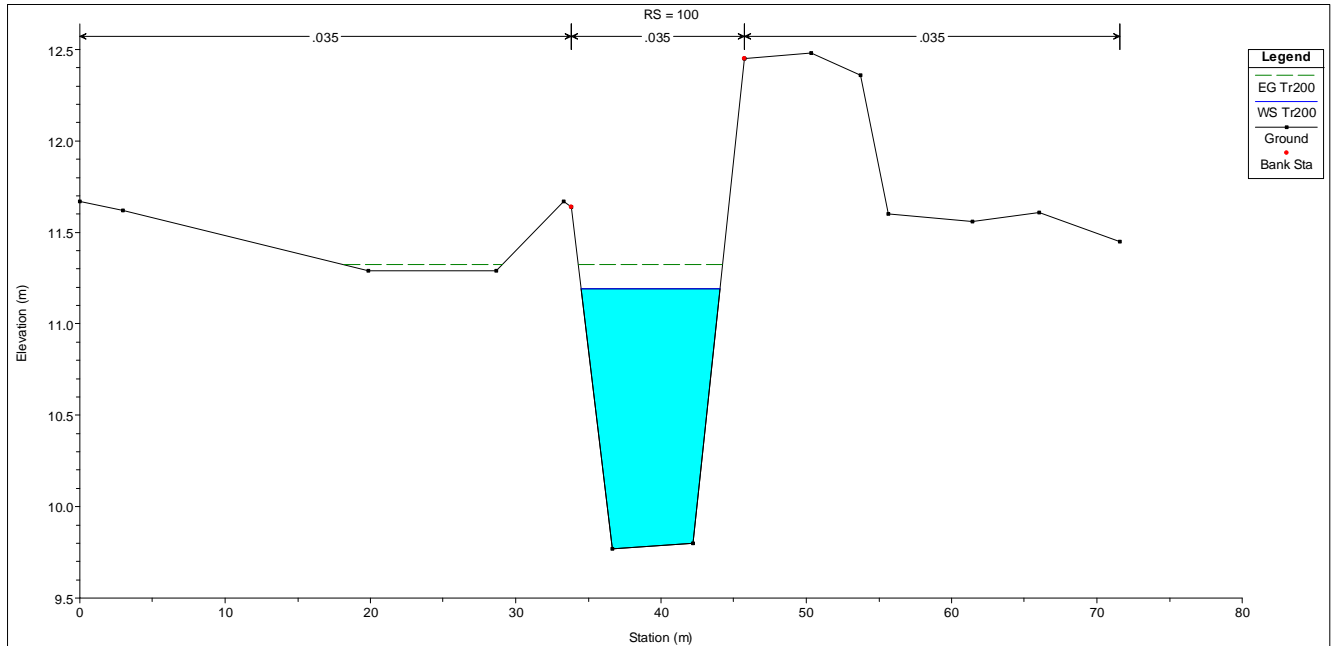
SEZIONE -90



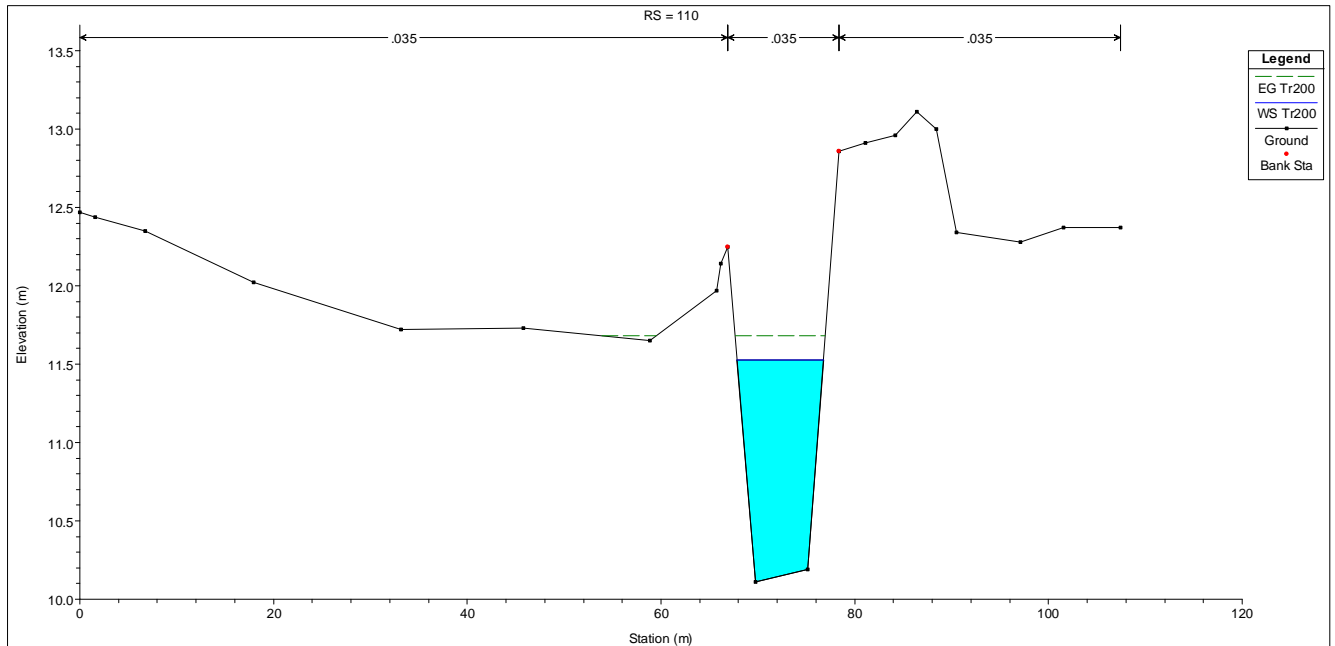
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 43 di 48	Rev. 0


Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -100



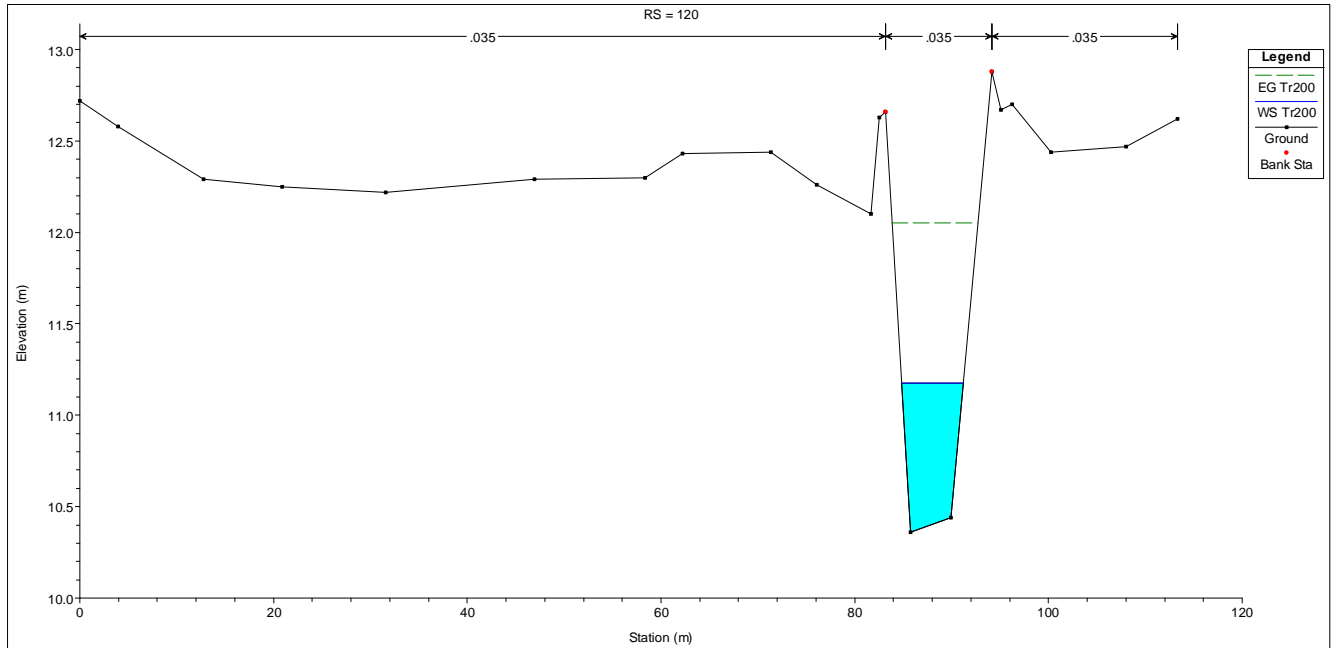
SEZIONE -110



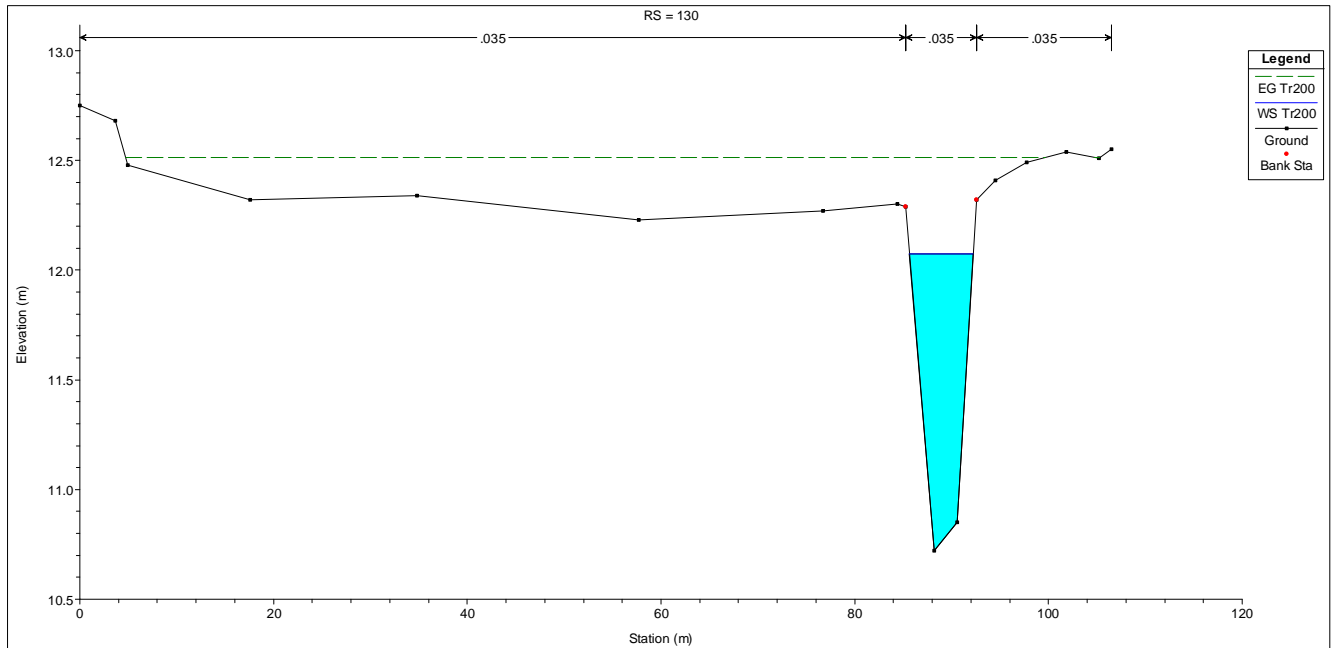
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 44 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -120



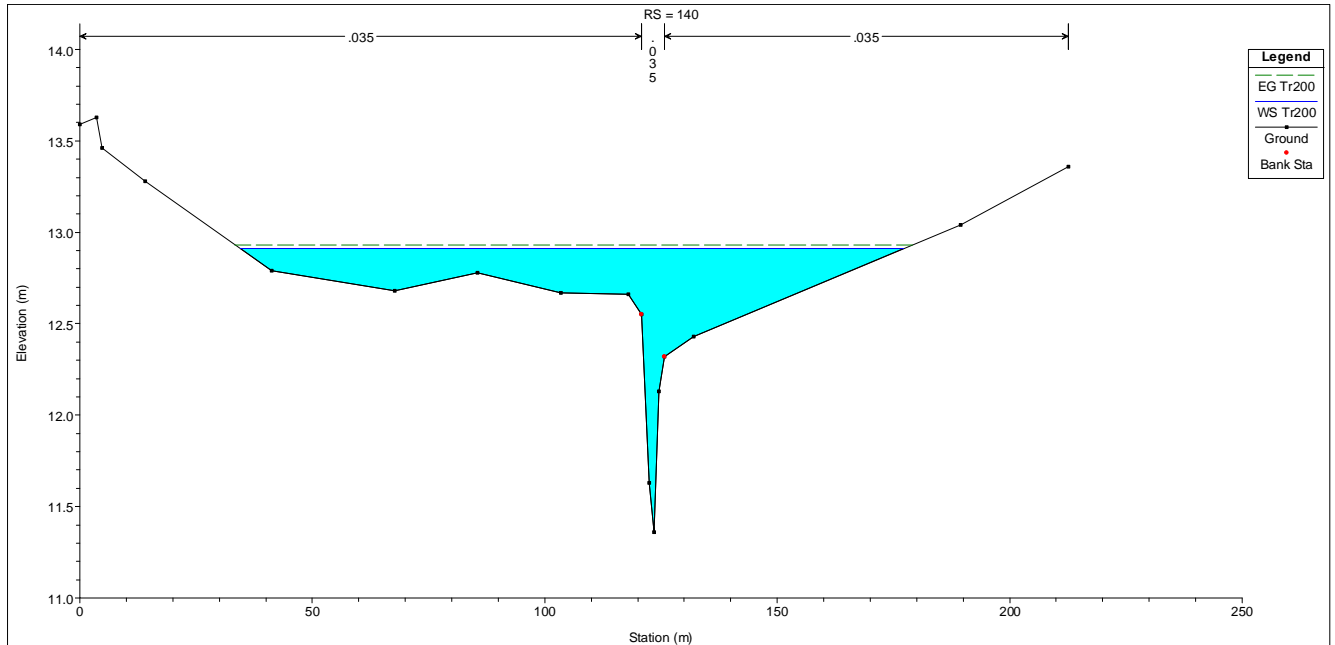
SEZIONE -130



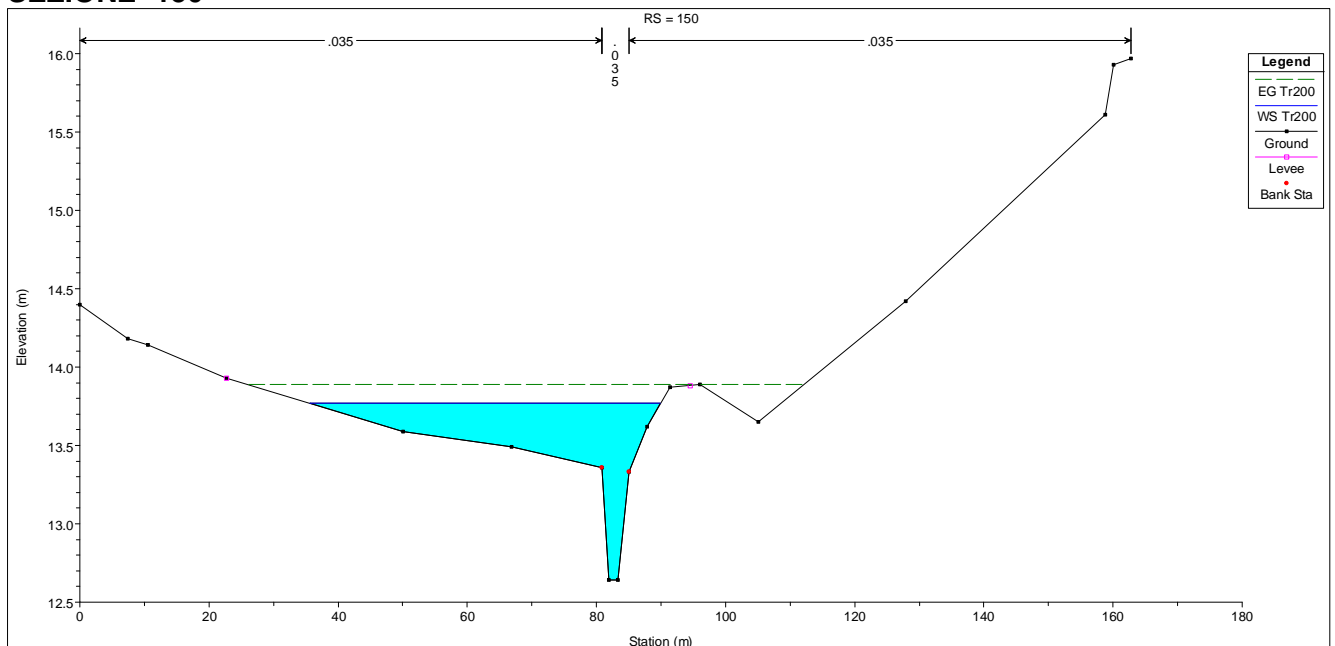
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 45 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -140



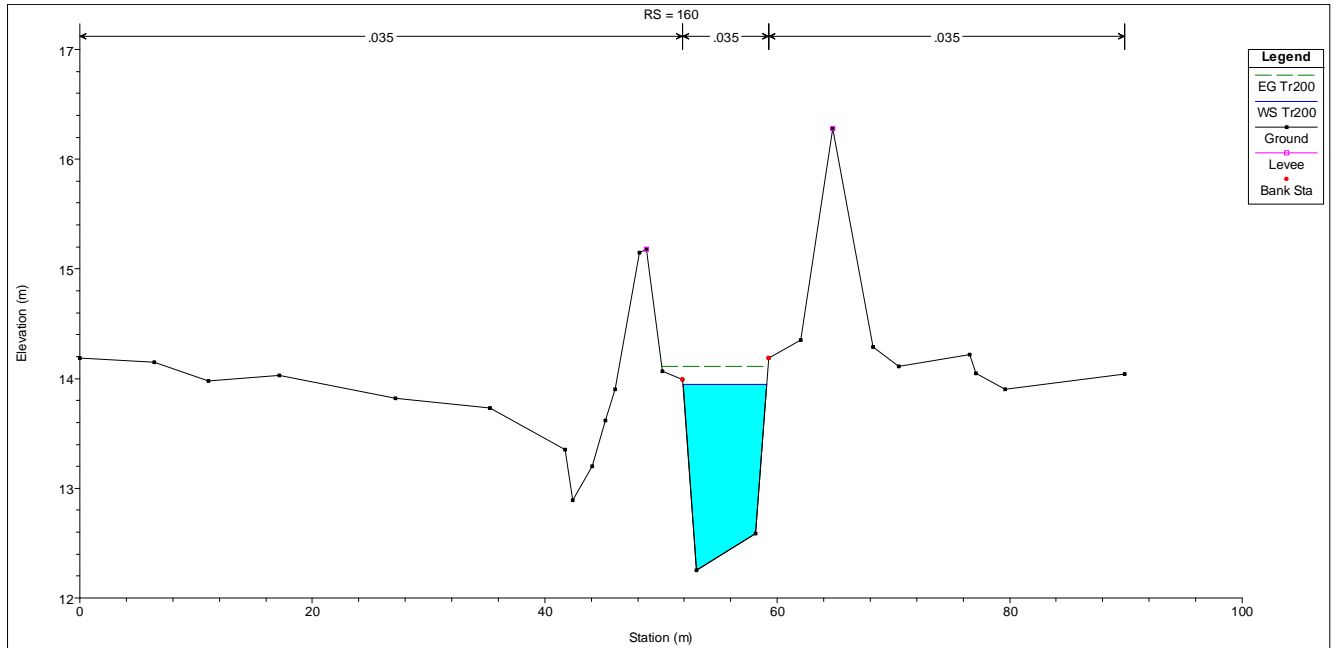
SEZIONE -150



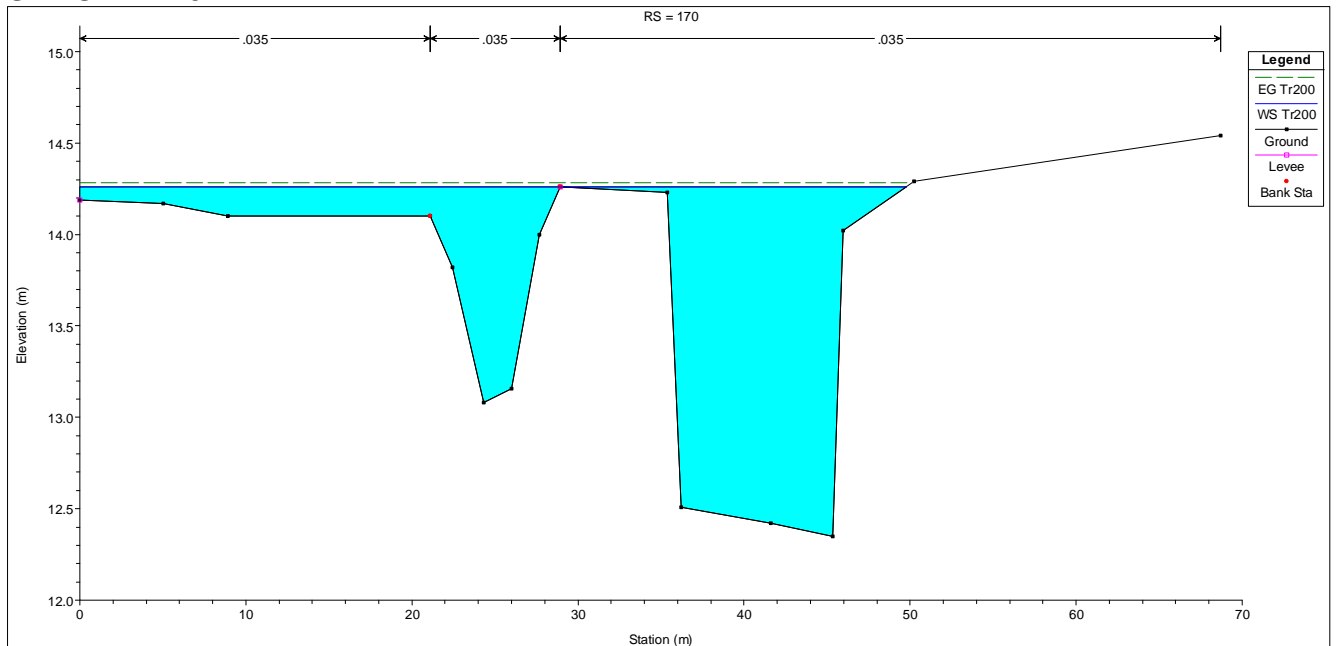
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 46 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -160



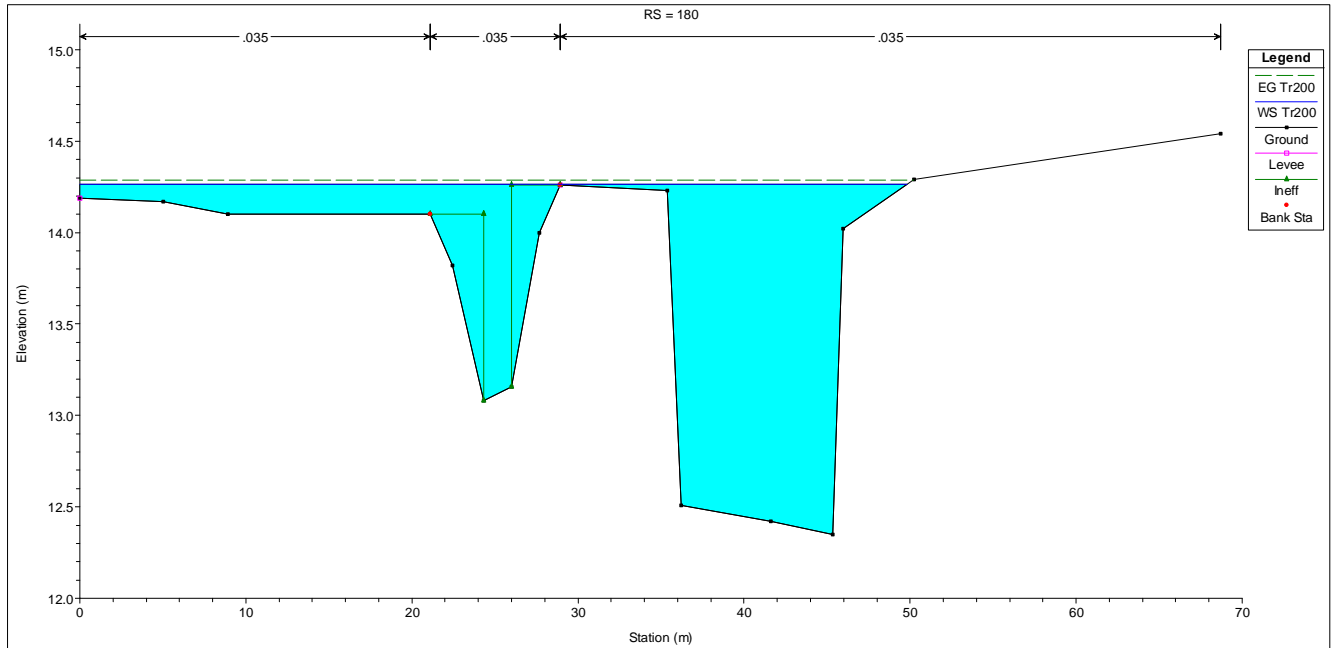
SEZIONE -170



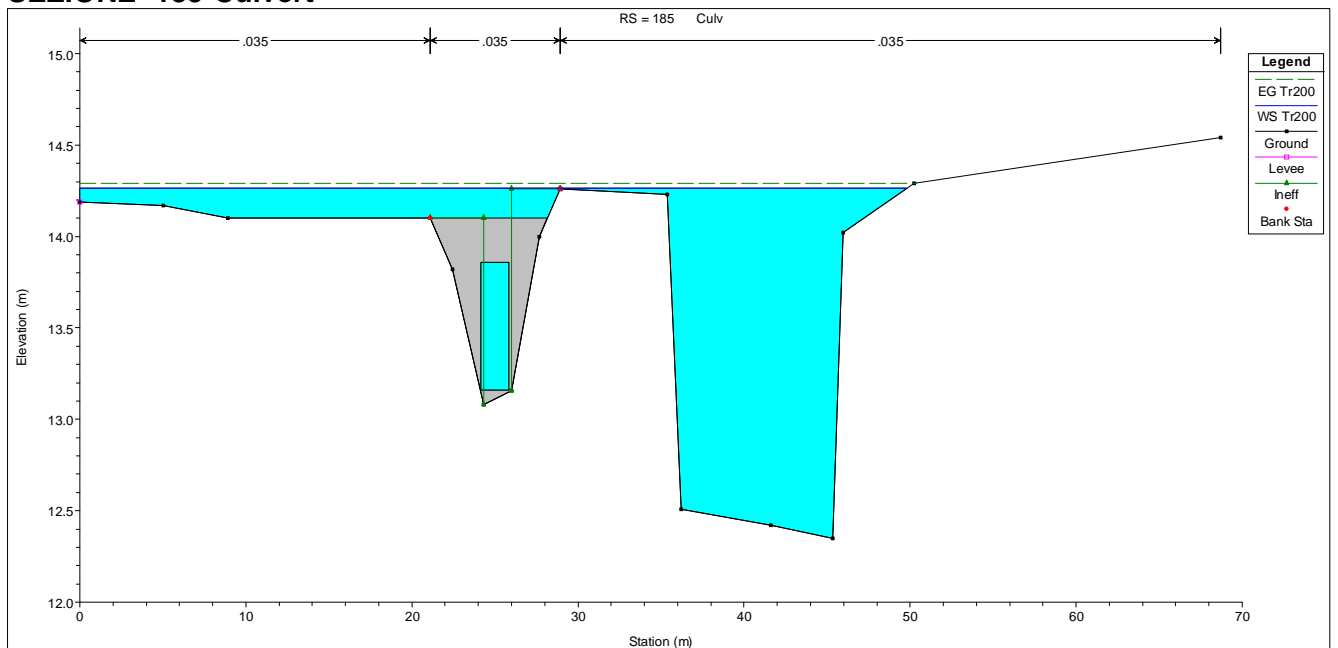
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 47 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -180



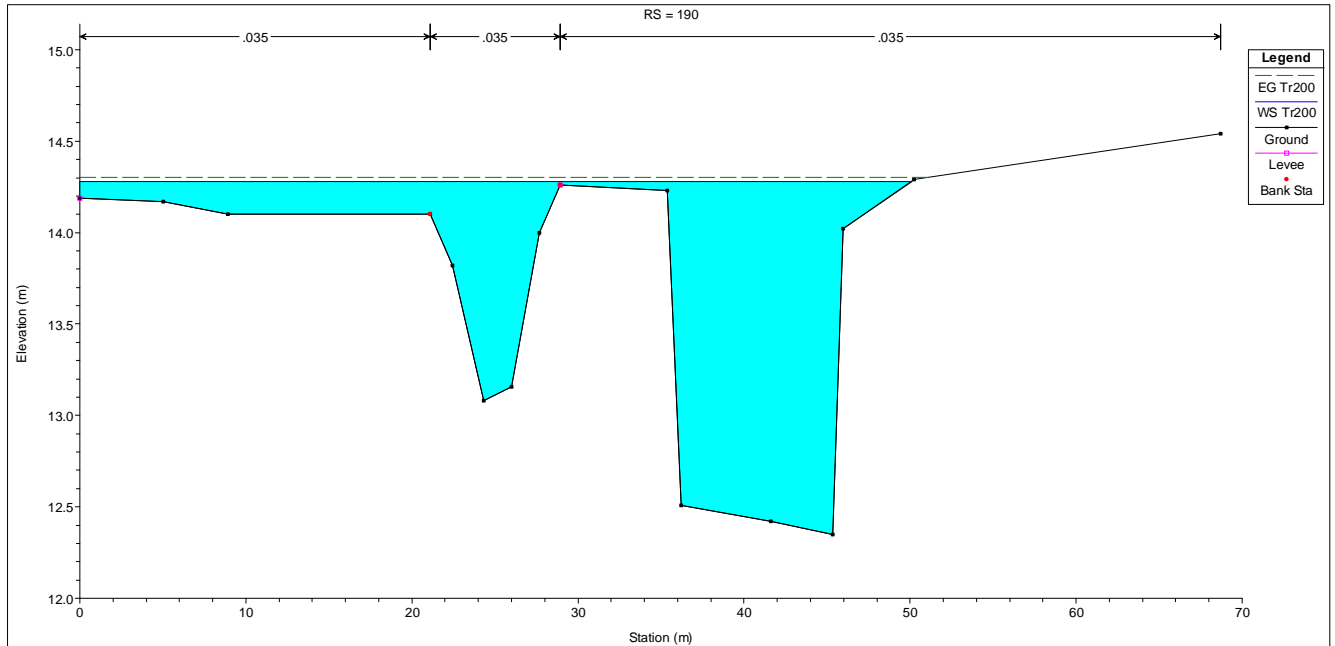
SEZIONE -185-Culvert



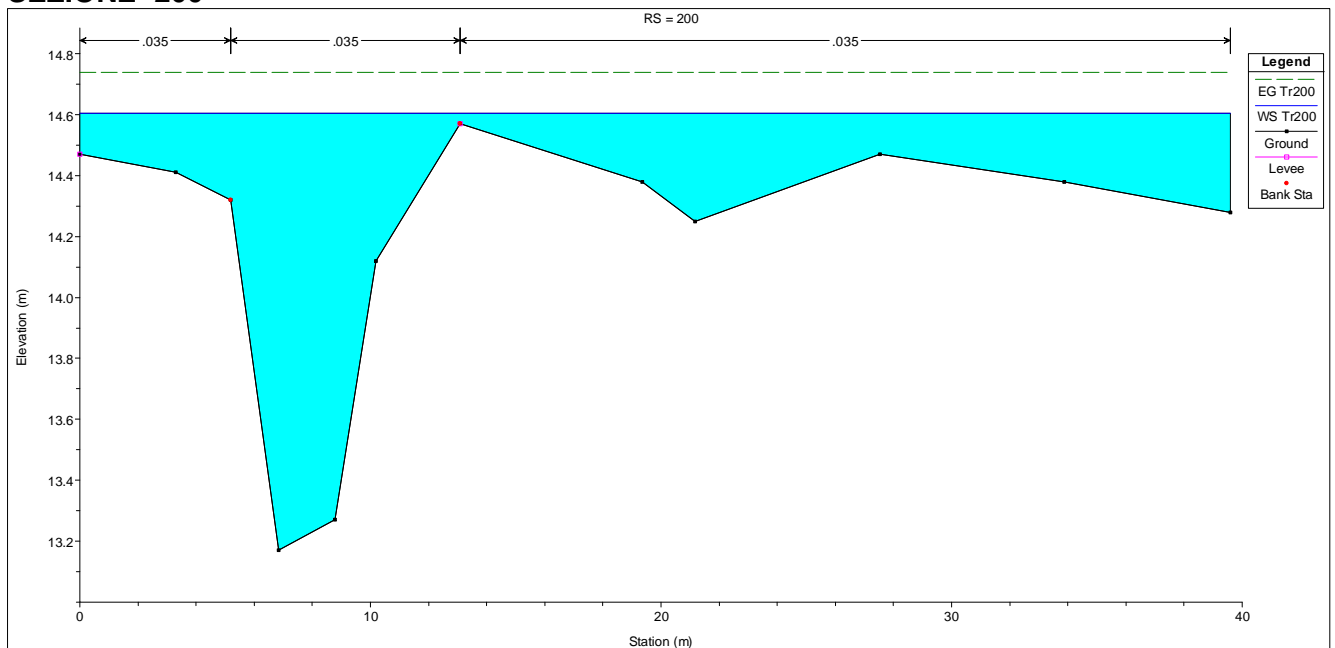
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-101	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 48 di 48	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-101

SEZIONE -190



SEZIONE -200



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 1 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

METANODOTTO:

ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar

ATTRAVERSAMENTO FOGGIA DI RAU

STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA-IDRAULICA



0	Emissione per permessi	V.Lucarini	G.Aiudi	M. Begini	30/07/20
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 2 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2.1	Descrizione geomorfologica ed idraulica del bacino	5
2.2	Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento	8
3.	METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM	10
3.1	Foggia di Rau	10
3.2	Canale affluente del Foggia di Rau	13
4.	STUDIO IDROLOGICO	14
4.1	Premessa	14
4.2	Analisi Pluviometrica	14
4.3	Stima delle portate di piena	17
4.4	Idrogramma adimensionale di Mockus	22
5.	STUDIO IDRAULICO	24
5.1	Premessa	24
5.2	Descrizione del modello idraulico	24
5.3	Descrizione del modello matematico	25
5.4	Modellazione idraulica del Foggia di Rau e del suo affluente di destra	28
6.	PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI	35
6.1	Premessa	35
7.	EROSIONE	37
8.	CONCLUSIONI	37
9.	ANNESI	39
10.	BIBLIOGRAFIA	40

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 3 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

1. INTRODUZIONE

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto per rispondere alle richieste di integrazioni formulate dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale nell’ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale [ID_VIP:5195] relativa al progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la centrale termoelettrica ENEL di Brindisi sud “Federico II” e dimostrare la compatibilità idrologica idraulica del metanodotto “Allacciamento Centrale ENEL Brindisi sud DN 500 (20”) DP 75 bar” rispetto alle Norme Tecniche di Attuazione indicate nel P.A.I. e in particolare alle disposizioni degli art. 4, 6 e 10 delle NTA.

Lo studio idrologico-idraulico è stato condotto con lo scopo di:

- stimare le grandezze idrologiche (piogge e portate) del canale Foggia di Rau e le caratteristiche topografiche e di uso del suolo del suo bacino idrografico, chiuso in corrispondenza della zona dell’attraversamento;
- simulare il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno 200 anni e verificare se le sezioni del canale nel tratto interessato dall’attraversamento del metanodotto siano in grado di contenerla con un certo franco di sicurezza;
- stabilire, in caso di incapacità del corso d’acqua di contenere la portata duecentennale, la perimetrazione dell’area allagata.

Operando in questo modo è stato possibile progettare l’attraversamento del metanodotto fissando una quota di copertura rispetto al fondo alveo attuale tale da non interferire con eventuali futuri interventi di riprofilatura delle sezioni del canale.

Si sottolinea, inoltre, che l’opera in oggetto è un metanodotto interrato che, in quanto tale, in fase di esercizio non interferirà con il corso d’acqua attraversato.

2. DESCRIZIONE DELL’OPERA

Il progetto denominato “Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20”) – 75 bar” si sviluppa a Sud-Est della città di Brindisi, con andamento in senso gas NO-SE, interessando esclusivamente il territorio comunale di Brindisi.

Il metanodotto, progettato per assicurare la fornitura di gas naturale alla centrale Enel di Brindisi ha una lunghezza di circa 6,7 km e si stacca dal “Pot. Der. per Polo industriale di Brindisi DN 1050 (42”), MOP 75 bar”, a sud della città, per terminare alla centrale Enel.

L’opera si sviluppa in un territorio pianeggiante non antropizzato in cui il paesaggio agrario è generalmente caratterizzato dall’alternanza di oliveti e vigneti a sesto regolare, da alberi da frutta e seminativi.

Il tracciato del metanodotto prevede l’attraversamento di alcune strade comunali/vicinali, della S.P. 88, dell’asse attrezzato policombustibile, di un raccordo ferroviario e, per quanto riguarda i corpi idrici superficiali, del canale Affluente di destra

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 4 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

del Fiume Grande, del canale Foggia di Rau e del canale delle Chianche nel tratto terminale del gasdotto.

I punti di linea (valvole di sezionamento) previsti in progetto sono tre:

- PIDI iniziale in allargamento dell'impianto 12257/4 esistente;
- PIL a valle del raccordo ferroviario;
- PIDA finale adiacente alla stazione REMI in progetto.

Tutto il territorio in cui si inseriscono le opere in progetto è inoltre ricompreso all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi.

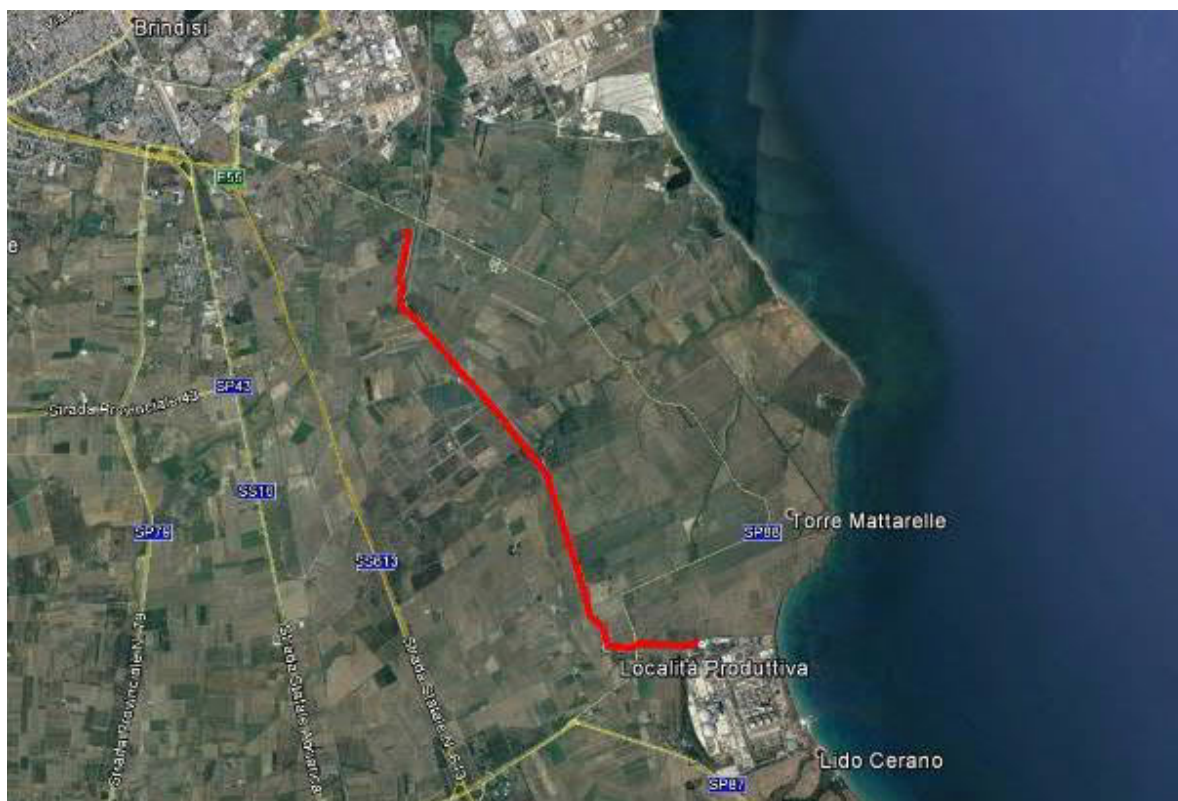


Fig. 2/A – Inquadramento geografico dell'opera in progetto – in rosso il tracciato del metanodotto

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 5 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

2.1 Descrizione geomorfologica ed idraulica del bacino

Il canale Foggia di Rau è collocato nell'ambito morfologico della Pianura Brindisino-Leccese: questa si presenta in forma di un vasto e uniforme bassopiano, compreso tra la porzione meridionale dell'altopiano murgiano a Nord-Ovest e le Serre Salentine a Sud-Est.

Nel Brindisino la locale rete idrografica è caratterizzata da un regime essenzialmente "torrentizio", ovvero interessato da portate significative solo in occasione di precipitazioni pluviali intense e/o prolungate. Le litologie interessate dal tracciato risultano essere sabbie poco cementate argillose che passano a marne-siltose di colore grigio-azzurro con all'interno numerosi foraminiferi planctonici appartenenti alla Formazione denominata "Formazione di Gallipoli".

Il canale Foggia di Rau, in particolare, è un canale artificiale facente parte del reticolo esoreico localizzato a sud di Brindisi, nella piana costiera adriatica che digrada dolcemente dall'entroterra verso il mare.


Il corso d'acqua ha un bacino di circa 60 km² e scorre per 24 km all'interno del territorio comunale di Brindisi. Morfologicamente il canale si presenta poco inciso con profondità che si attestano intorno ai 2 m e sezioni non molto larghe (dell'ordine dei 5-10 m), lungo tutto il suo corso. Le aree presentano una quota media che si attesta intorno ai 45 m s.l.m., con quote più elevate nella zona di monte fino ad arrivare alla zona di foce con quote prossime al livello del mare.

Lungo tutto il percorso, l'uso del suolo è caratterizzato prevalentemente da vigneti, boschi di latifoglie e seminativi semplici in aree non irrigue, frutteti e uliveti. L'area del bacino risulta scarsamente urbanizzata, fatta eccezione per l'attraversamento dell'abitato di Tuturano.

Nel presente studio si considera il sottobacino con sezione di chiusura immediatamente a monte dell'asse attrezzato a servizio della Centrale Enel, il quale sottende una superficie di circa 49 km² e una lunghezza dell'asta principale di circa 21 km.

Nel presente studio è stato considerato anche il canale affluente in destra idraulica, che confluisce nel Foggia di Rau appena a monte dell'asse attrezzato. L'affluente di destra presenta un sottobacino di circa 2,6 km² con una lunghezza dell'asta principale pari a 3,4 km.

Il metanodotto "All. Centrale ENEL di Brindisi sud DN 500 (20") DP 75 bar" attraversa il Foggia di Rau e il suo affluente immediatamente a monte dell'asse attrezzato policombustibile di proprietà Enel.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 6 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

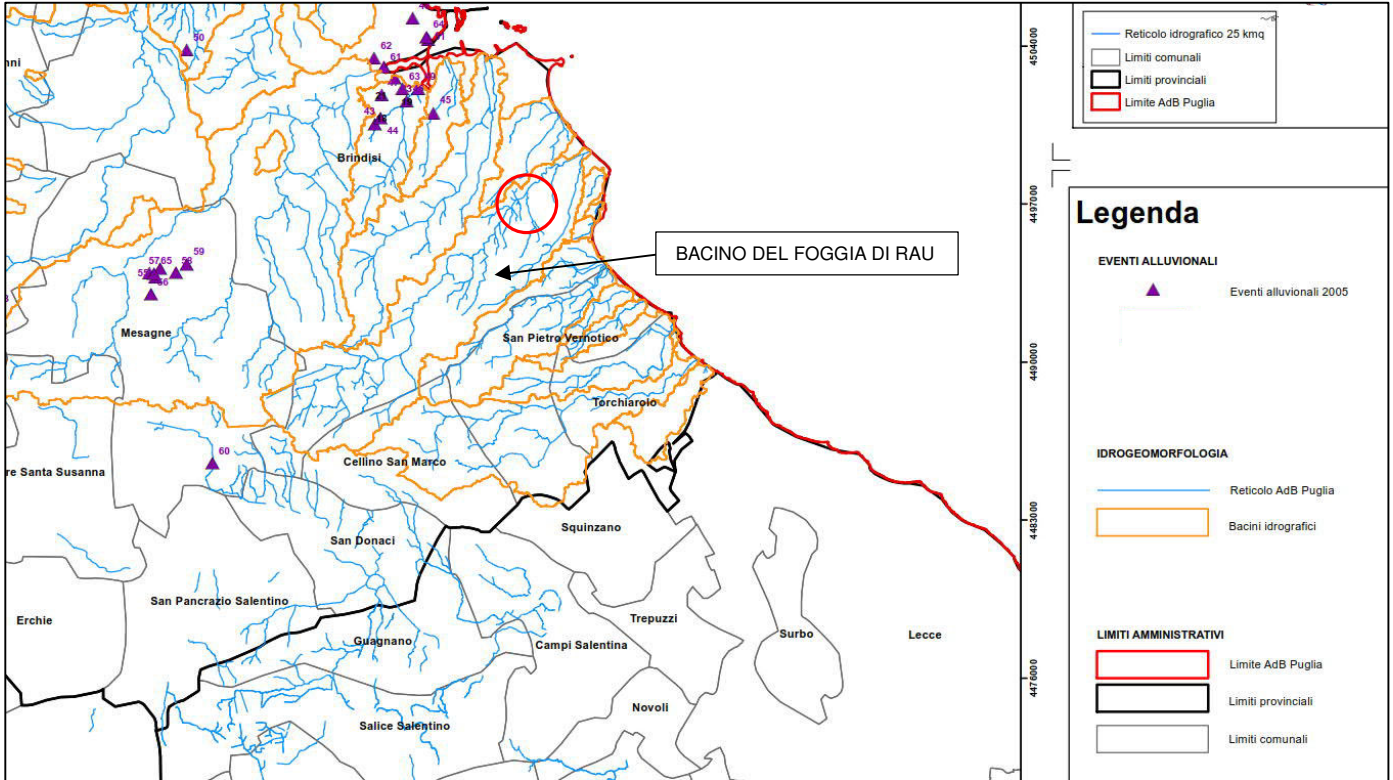
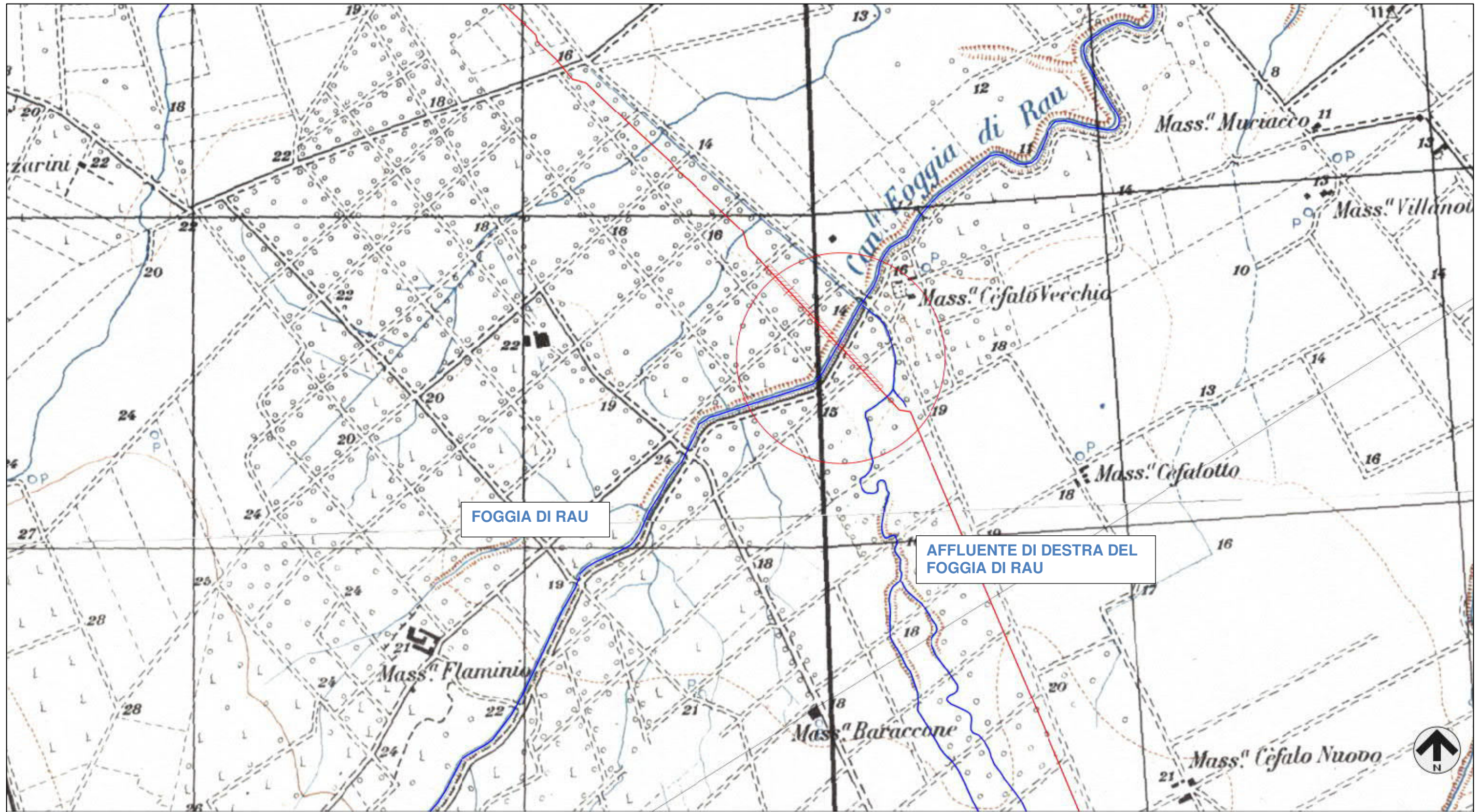


Fig. 2/B – Bacino idrografico del canale Foggia di Rau (Fonte AdB Puglia) – nel cerchio rosso la zona interessata dall'attraversamento del canale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 7 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Fig. 2/C - Individuazione della zona di attraversamento del Foggia di Rau e del suo affluente di destra sulla Cartografia IGM 1:25.000



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 8 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

2.2 Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento

L'area dell'attraversamento si trova in comune di Brindisi, in prossimità del nastro trasportatore a servizio della Centrale Enel di Cerano.

Nel tratto oggetto di studio il canale è artificiale in calcestruzzo a sezione trapezia e presenta delle sezioni con larghezza alla base pari a 7 m circa e profonde 2 m.

Il canale si presenta parzialmente interrato, sulle scarpate laterali è presente a tratti fitta vegetazione ripariale costituita da arbusti e canneti, anche il fondo risulta ricoperto di specie vegetali cresciute nei frequenti periodi di secca.



Fig.2.2/A: Foggia di Rau, zona a monte dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20"), in corrispondenza della strada comunale n.29 – vista verso sud

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 9 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102



Fig.2.2/B: Foggia di Rau, zona a valle dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20") in corrispondenza del sovrappasso dell'asse attrezzato policombustibile – vista verso nord



Fig.2.2/C: Affluente del Foggia di Rau, zona a monte dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20") – vista verso nord

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 10 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

3. METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM

3.1 Foggia di Rau

Per l'attraversamento del **canale Foggia di Rau** è prevista la posa del tubo mediante Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

La T.O.C. (Trivellazione Orizzontale Controllata) è una tecnologia no-dig che consente la posa di tubazioni lungo un profilo trivellato senza la realizzazione di scavi a cielo aperto, minimizzando così l'impatto sull'ambiente e sulle infrastrutture esistenti.

Questa tecnica viene realizzata con due piccoli cantieri che operano contestualmente all'avanzamento della linea.

Il procedimento esecutivo impiegato negli attraversamenti mediante tecnologia T.O.C. consiste di tre fasi. La prima prevede la trivellazione di un foro pilota di piccolo diametro lungo un profilo direzionale prestabilito; la seconda implica l'allargamento del foro pilota fino ad un diametro tale da permettere l'alloggiamento della condotta; la terza consiste nel varo della tubazione da porre in opera (vedi Fig. 3/A).

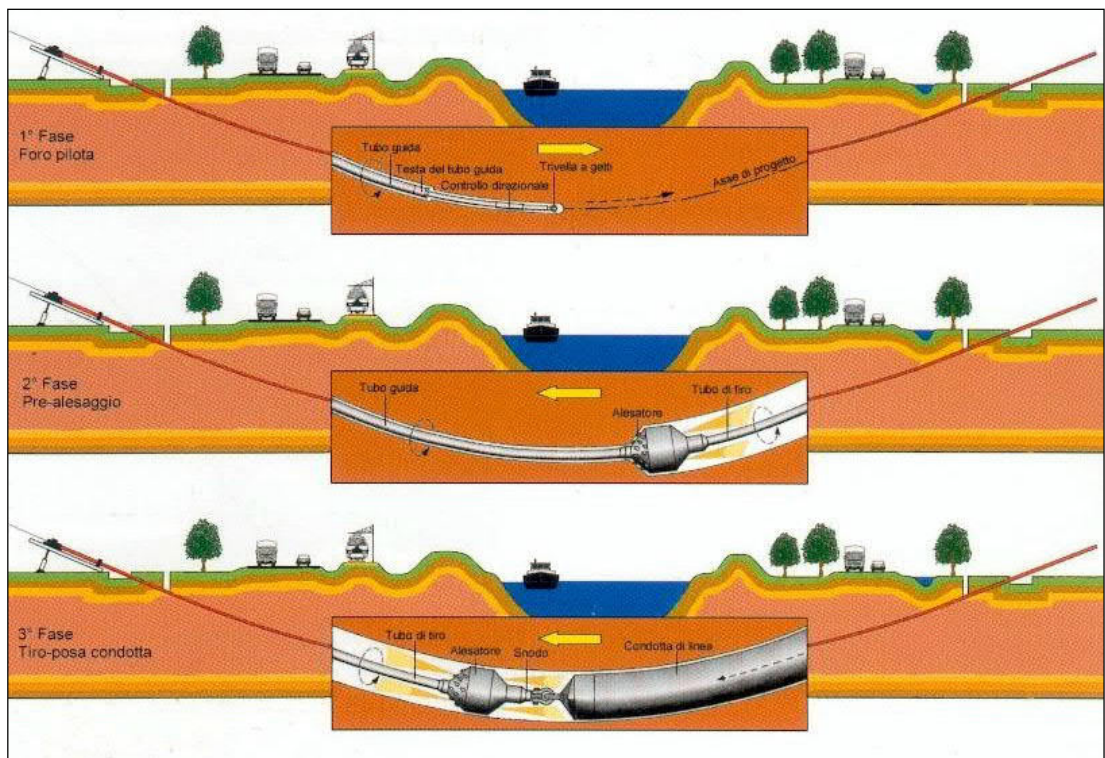


Figura 3/A: T.O.C. Fasi principali di lavoro

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 11 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Esecuzione del foro pilota e controllo direzionale

Il foro pilota viene realizzato facendo avanzare la batteria di aste pilota con in testa una lancia a getti di fango bentonico che consente il taglio del terreno (jetting).

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico e comunque di entità molto limitata) si prevederà l'utilizzo di miscele bentoniche (fango di perforazione) additivate con polimeri biodegradabili con alto potere coesivo ed alta fluidità con caratteristiche di riduttori di filtrato.

Questi accorgimenti consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni, qualora dovessero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di infiltrazione lungo l'asse di trivellazione stesso.

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida con quella desiderata (asse della trivellazione).

Il tracciato del foro pilota sarà controllato durante la trivellazione da frequenti letture dell'inclinazione e dell'azimut all'estremità della testa di perforazione. Queste letture, unite ai dati relativi alla lunghezza delle aste di trivellazione già installate, sono utilizzate per calcolare le coordinate orizzontali e verticali dell'estremità di testa rapportate al punto di inizio della trivellazione.

Di norma le misurazioni della posizione sono eseguite ad ogni giunto del tubo pilota (circa 9-10 metri) e riportate sul profilo del disegno di progetto in modo da avere un riscontro immediato delle eventuali deviazioni. Se non dovesse coincidere, l'asta pilota verrà ritirata per una lunghezza tale da permettere la correzione necessaria. Periodicamente, durante la trivellazione del foro pilota, un tubo guida viene fatto ruotare ed avanzare in modo concentrico sopra l'asta di perforazione pilota. Il tubo guida evita il bloccaggio dell'asta pilota, riduce gli attriti, permettendo di orientare senza difficoltà l'asta di perforazione e facilita il trasposto verso la superficie dei materiali di scavo. Esso, inoltre, mantiene aperto il foro nel caso sia necessario ritirare l'asta pilota.

Il foro pilota è completato quando sia l'asta pilota che il tubo guida escono alla superficie sul lato opposto al rig. L'asta pilota è quindi ritirata, lasciando il tubo guida lungo il profilo di progetto.

Alesaggio del foro e tiro-posa della condotta

In base ai riscontri ottenuti durante la perforazione del foro pilota ed in base alle caratteristiche dei terreni attraversati, si deciderà se effettuare contemporaneamente l'alesaggio ed il tiro della condotta oppure eseguire un ulteriore alesaggio.

La fase di alesaggio consiste nell'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore. Tale operazione può essere eseguita prima del tiro-posa della condotta o contemporaneamente ad esso. Nel caso di prealesatura, la fresa ed i relativi accessori

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 12 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

sono fissati al tubo guida nel punto di uscita. Quindi la fresa viene fatta ruotare e contemporaneamente tirata dal rig di perforazione, allargando in questo modo il foro pilota. Man mano che la fresa procede dietro ad essa vengono assemblate nuove aste di tubo guida per garantire la continuità di collegamento all'interno del foro.

Durante le fasi di trivellazione, di prealesatura e di tiro-posa, viene impiegato del fango bentonitico. Questo fango, opportunamente dosato in base al tipo di terreno, ha molteplici funzioni quali, ridurre gli attriti nelle fasi di scavo, trasportare alla superficie i materiali di scavo, mantenere aperto il foro, lubrificare la condotta nella fase di tiro-posa e garantirne il galleggiamento.

L'insieme del cantiere di perforazione è costituito dal rig vero e proprio, dall'unità di produzione dell'energia, dalla cabina di comando, dall'unità fanghi, dall'unità approvvigionamento idrico, dall'unità officina e ricambi, dalla trivella, dalle aste-pilota, dalle aste di tubo-guida, dalle attrezzature di alesaggio e tiro-posa e da una gru di servizio.

Montaggio della condotta

Dal lato opposto a quello dove sarà posizionato il rig verrà eseguita la prefabbricazione della colonna di varo.

A saldatura completata verranno eseguiti i controlli non distruttivi delle saldature (radiografie) e successivamente si provvederà al rivestimento dei giunti di saldatura.

La colonna, prima del tiro-posa, verrà precollaudata idraulicamente.

Per l'esecuzione del tiro-posa verrà predisposta una linea di scorrimento della colonna (rulli, carrelli o sostentamento con mezzi d'opera).

Durante il varo, l'ingresso della condotta nel foro verrà facilitato facendole assumere una catenaria predeterminata in base all'angolo d'ingresso nel terreno, al diametro ed al materiale della condotta; ciò permetterà di evitare sollecitazioni potenzialmente dannose sulla condotta da varare.

Al fine di ridurre al massimo le sollecitazioni indotte alla tubazione, durante la fase di tiro-posa, dovranno essere rigorosamente rispettati i valori di raggio minimo di curvatura elastica della tubazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 13 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

3.2 Canale affluente del Foggia di Rau

L'attraversamento del **canale affluente di destra del Foggia di Rau** avverrà invece con scavo a cielo aperto

A seguire si riportano le principali fasi operative per la posa in opera della condotta di linea:

- apertura della pista di lavoro;
- trasporto a piè d'opera delle attrezzature, barre del tubo di linea e del tubo di protezione necessarie;
- ove necessario, deviazione o incanalamento del corso d'acqua in tubi preposti allo scopo ("tomboni") capaci di contenere le portate defluenti per tutto il tempo delle fasi di scavo, posa e rinterro dell'attraversamento;
- esecuzione dello scavo, delle protezioni necessarie al sostegno delle pareti dello stesso, aggotamento di acque eventualmente presenti;
- preparazione, fuori opera, della colonna d'attraversamento (cavalotto) costituita dalle barre di tubo di linea DN 500 (20") piegate e saldate di testa, controllo delle saldature con metodo non distruttivo;
- posa del cavalotto e successivo collegamento ai tratti di linea a monte e a valle dell'attraversamento;
- rinterro completo del tratto;
- rimozione dei tomboni, ripristino dell'area interessata dai lavori alla situazione originaria e realizzazione delle eventuali opere complementari di protezione previste.

La profondità di interrimento della condotta al di sotto del canale è superiore ai 2,00 metri.

La morfologia del terreno verrà ripristinata secondo le caratteristiche ante operam dopo aver proceduto al rinterro ed alla ricompattazione del terreno nella zona interessata dai lavori.

Per quel che concerne il ripristino dell'alveo, è prevista la completa riprofilatura delle sponde dei corsi d'acqua, riportando la sezione alle condizioni originali, senza alterarne il regime di deflusso.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 14 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

4. STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di piena che si verificano in corrispondenza di eventi pluviometrici con determinati tempi di ritorno, in questo caso 200 anni.

A tal scopo, non avendo nel corso d'acqua oggetto di studio, delle sezioni strumentate in grado di fornire dei dati diretti di portata si è proceduto come segue:

- **Analisi pluviometrica** derivata dagli studi di regionalizzazione delle piogge per la Regione Puglia, condotti nell'ambito del progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- **Stima della pioggia netta**, ossia dell'aliquota della precipitazione che effettivamente contribuisce alla formazione dell'onda di piena nel corso d'acqua, depurata delle quantità perse per infiltrazione, immagazzinamento superficiale, evapo-traspirazione, etc.;
- **Modello di trasformazione afflussi-deflussi**, per il calcolo delle portate al colmo di piena con diversi tempi di ritorno e per la stima degli idrogrammi di piena; in analogia con gli studi condotti dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia è stato applicato il metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS).

4.2 Analisi Pluviometrica

Modello di regionalizzazione delle piogge

Il modello di regionalizzazione messo a punto in Italia nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, ha codificato una metodologia basata su:

- modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value), particolarmente adatto a descrivere la distribuzione di grandezze idrologiche (piogge e portate), perché spiega in modo plausibile la presenza dei valori straordinari (outliers) che caratterizzano le serie storiche.
- tecnica di regionalizzazione di tipo gerarchico, capace di ridurre al minimo l'incertezza nella stima dei parametri regionali.
- utilizzazione contemporanea di tutta l'informazione idrologica disponibile.

L'approccio gerarchico consiste nel:

- definire regioni omogenee rispetto al coefficiente di asimmetria teorico CS, ricavando così i valori di θ^* e Λ^* ;
- definire, all'interno delle regioni, delle zone omogenee rispetto al coefficiente di variazione teorico CV, fissando in questo modo Λ_1 ;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 15 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

- individuare delle sottozone caratterizzate da relazioni univoche tra il parametro θ_1 e delle variabili geografiche del territorio indagato (quota, esposizione...)

Questa struttura gerarchica, si lega in maniera soddisfacente con il comportamento dei parametri statistici che rappresentano le serie storiche.

Infatti il coefficiente di asimmetria non sembra risentire in maniera sensibile dei cambiamenti morfologici e così rimane costante in regioni ampie, mentre il coefficiente di variazione ha valori omogenei in zone meno estese.

Regionalizzazione delle piogge in Puglia

L'analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore è stata effettuata per il territorio della Puglia centro-meridionale ad integrazione di quanto effettuato in Puglia settentrionale da Claps et al., (1994).

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987).

I risultati hanno evidenziato (Castorani e Iacobellis, 2001) per l'area esaminata la consistenza di una Zona unica di primo e secondo livello che include la parte centro-meridionale del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

L'analisi di terzo livello, basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, ha portato all'individuazione di sei zone omogenee per tutta la Puglia, nella Zona 6 ricade la Penisola Salentina.

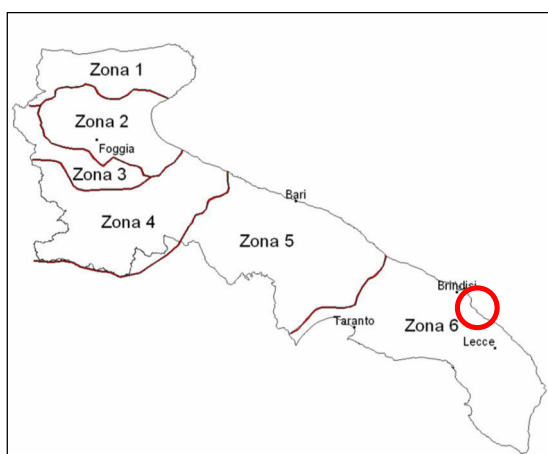



Fig. 4.2/A: Zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione

 Zona dell'attraversamento in progetto

Curva di possibilità pluviometrica

I bacini Brindisini ricadono nella zona omogenea 6, per la quale vale la seguente equazione della **Curva di Possibilità Pluviometrica**:

$$\text{Zona 6: } x(t, z) = 33.7 t^{[(0.488 + 0.0022z)/3.178]}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 16 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

dove:

- t: durata della precipitazione
- z: quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico.

L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm. Per valutare la precipitazione con diversi tempi di ritorno, si usa la formula:

$$h_m \text{ [mm]} = x(t,z) \times K_T$$

dove:

- K_T : fattore di crescita ed è uguale a:

$$K_T = a + b \ln T$$
- a, b: parametri stimati dalla regionalizzazione di I e II livello che cambiano a seconda della zona.
- T: tempo di ritorno.

Nella Puglia centro-meridionale i valori di a e b sono:

- a=0.1599
- b=0.5166

Il valore del coefficiente di crescita K_T per i diversi tempi di ritorno è riassunto nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	K_T
30 anni	1.917
200 anni	2.897
500 anni	3,370

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 17 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

4.3 Stima delle portate di piena

La valutazione idrologica per i corsi d'acqua del brindisino è stata condotta seguendo il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS). Questo metodo consente di ricavare l'idrogramma delle portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

Stima della pioggia netta

Il Curve Number, proposto nella procedura del Soil Conservation Service (SCS, 1972), è un parametro utilizzato per determinare l'aliquota di precipitazione netta che quindi contribuisce direttamente alla formazione del deflusso del bacino.



Il modello CN-SCS descrive un processo di produzione del deflusso di tipo prevalentemente hortoniano. Il meccanismo individuato da Horton, a cui si riconduce il comportamento dei bacini del territorio carsico pugliese, si verifica quando l'intensità della pioggia supera la velocità di infiltrazione del suolo, producendo un deflusso superficiale pari alla differenza fra volume piovuto e capacità di assorbimento nell'unità di tempo.

Il CN assume valori compresi tra 100 e 0 e rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

Il SCS ha classificato i vari tipi di suolo in 4 (quattro) gruppi così definiti:

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 18 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ <i>Tipologia di Uso del Territorio</i>				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tab.4.3/A: Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche, di copertura vegetale e delle condizioni medie di umidità (per AMC II)

L'SCS ha definito tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti; in mancanza di informazioni su uno specifico evento, si usa assumere in via cautelativa la condizione di umidità media del terreno (AMC II).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 19 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0 < P < 50
II (Umidità media)	50 < P < 110
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

Tab.4.3/B: Definizione delle classi di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Nel caso in esame, siamo in presenza di suoli di TIPO B, prevalentemente sabbioso, arenitico, si è assunto il valore medio del Curve Number per il bacino considerato, pari a **CN=77.15**, in accordo a quanto stimato per lo stesso bacino dall' AdBP nello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi".

Stima dell'idrogramma di piena

Per la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua oggetto di studio, il modello parte da un idrogramma di forma triangolare secondo la seguente figura:

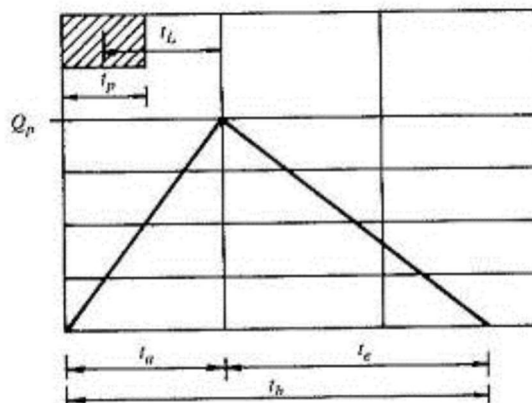


Fig.4.3/A: Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata ad colmo con metodo del Soil Conservation Service

L'idrogramma ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), per cui il volume V è risultante dall'area del diagramma che è pari a:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p \times t_b}{2}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 20 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_e : tempo di esaurimento [h];
- t_b : durata evento di piena [h].

Il SCS ha realizzato un'analisi sperimentale dove ha stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume d'acqua pari al 37,5% del volume totale di deflusso, quindi la sua durata sarà 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b :

$$t_b = 2.67 \times t_a$$

Di conseguenza la portata di colmo è data dalla formula:

$$Q_p = 0.208 \times \frac{V \times A}{t_a}$$

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- V : volume di deflusso [mm];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- A : area bacino [Km^2].

Si determina t_a considerando una precipitazione con intensità costante, di durata t_p secondo la seguente formula:

$$t_a = 0.5 \times t_p + t_L$$

dove:

- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_p : durata di pioggia [h];
- t_L : tempo di ritardo [h].

La formula per il calcolo del volume di deflusso che è funzione della precipitazione è la seguente:

$$V = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S}$$

dove:

- V : volume di deflusso;
- P : precipitazione totale;
- S : massima capacità di invaso dato dalla formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 21 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Il tempo di ritardo (Lag Time), espresso in ore, viene calcolato secondo la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.3}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove:

- t_L : tempo di ritardo [h];
- CN: curve number;
- s: pendenza bacino [%];
- L: lunghezza asta fino alla sezione di chiusura [Km]

Inoltre, studi empirici dell'SCS dimostrano che il tempo di corrivazione t_c di un bacino è proporzionale al tempo di ritardo:

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$


e sostituendo alle formule precedenti si trovano le seguenti relazioni:

$$t_p = \frac{t_L}{4.5}$$

$$t_a = \frac{t_L}{0.9}$$

Nella tabella seguente si riportano i valori del bacino oggetto di studio, assunti per la simulazione:

	PARAMETRI IDRO-GEOMORFOLOGICI							
	Area Bacino [Kmq]	L asta [Km]	Pendenza media del Bacino s [%]	CN	t_L [h]	t_c [h]	t_p [h]	t_a [h]
Foggia di Rau	48.91	20.9	0.01	77.15	10.2	17.0	2.26	11.33
Affluente di destra	2.58	3.42	0.0045	77.15	3.57	5.95	0.79	3.97

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 22 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

4.4 Idrogramma adimensionale di Mockus

L'idrogramma unitario è stato costruito utilizzando il metodo di Mockus utilizzando i due fattori caratteristici del bacino oggetto di studio t_a (tempo di accumulo che è la durata del tempo di crescita) e Q_p (portata di colmo) considerando un volume di deflusso unitario ($V=1$). Questi valori sono messi in relazione con la generica portata Q all'istante generico t utilizzando, quindi, come variabili adimensionali i rapporti t/t_a e Q/Q_p .

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica degli idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno:

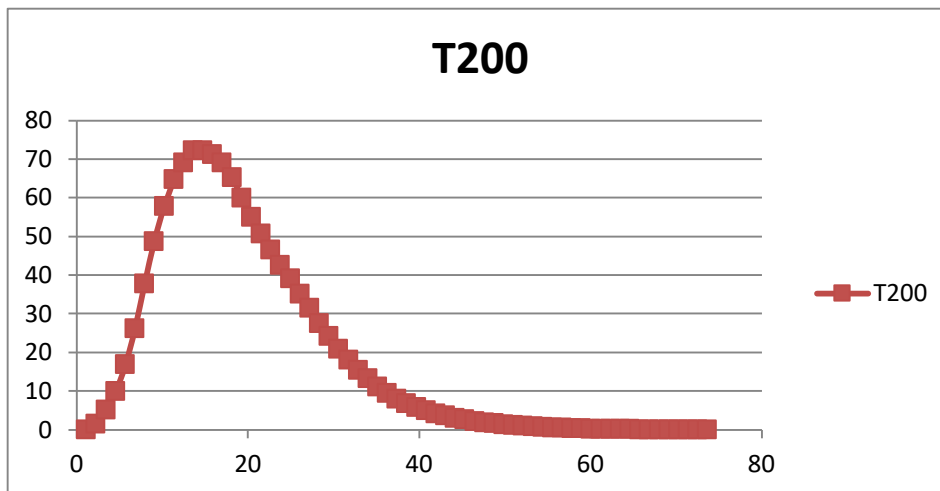


Fig.4.4/A: Idrogramma di piena del bacino del Foggia di Rau alla sezione di chiusura con $Tr=200$ anni

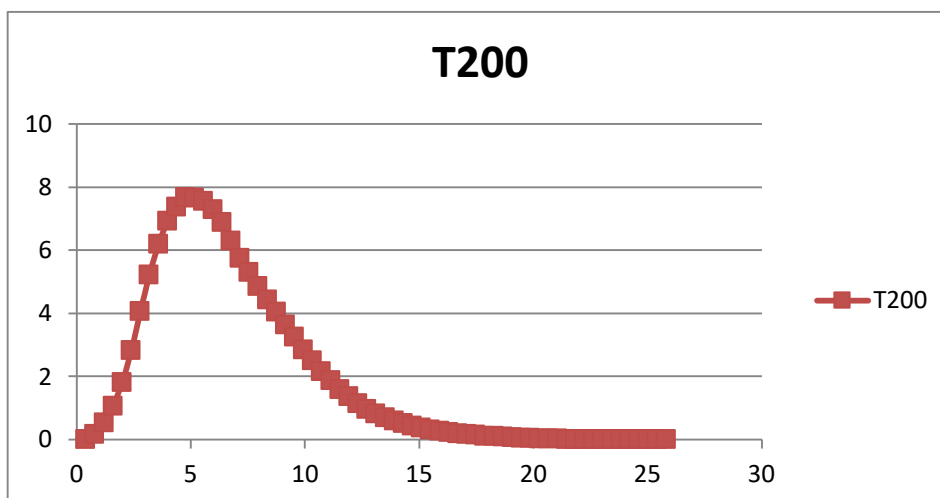


Fig.4.4/B: Idrogramma di piena del bacino dell'affluente di destra chiuso alla confluenza nel Foggia di Rau, $Tr=200$ anni

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 23 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

e i valori delle portate al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno:

PORTATE AL COLMO DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO			
		FOGGIA DI RAU	AFFLUENTE
T ritorno [anni]	Coefficiente di Crescita KT	QMAX [mc/s]	QMAX [mc/s]
30	1.917	37,0	3,70
200	2.897	72,14	7,70
500	3,370	90,43	9,78

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 24 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

5. STUDIO IDRAULICO

5.1 Premessa

La modellazione idraulica eseguita sul canale Foggia di Rau e sul suo affluente di destra è stata condotta sull'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, che è indicato come scenario di media probabilità dalla direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 ed è assunto dall'Autorità di Bacino come evento di riferimento per determinare le condizioni di sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

La portata al colmo di piena assunte per la simulazione sono state:

- Canale Foggia di Rau - $Q_{200} = 72,14 \text{ m}^3/\text{s}$
- Affluente di destra - $Q_{200} = 7,70 \text{ m}^3/\text{s}$

Il modello ha seguito una simulazione in moto permanente della portata al colmo di piena con T_r 200 anni per la definizione di eventuali fenomeni di esondazione nelle sezioni d'alveo;

È stata inoltre verificate l'estensione delle aree allagate, prendendo in considerazione i tiranti idrici raggiunti in corrispondenza dell'evento duecentennale.

I limiti della perimetrazione sono legati alla brevità del tratto oggetto di studio, che non permette di tenere in considerazione i fenomeni avvenuti a monte nel corso d'acqua ed al modello idraulico monodimensionale in moto permanente.

Da sottolineare comunque che la conoscenza delle aree allagate non riveste un ruolo fondamentale al fine di dimostrare la compatibilità idraulica del metanodotto in progetto, in quanto, in questo tratto l'opera è completamente interrata e il canale Foggia verrà attraversato con un'opera trenchless senza interessare l'alveo e le sponde del corso d'acqua.

5.2 Descrizione del modello idraulico

Per la determinazione del profilo della superficie libera del corso d'acqua si sono utilizzate le equazioni del moto permanente di una corrente a pelo libero, risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0).

La prima fase della modellazione consiste nel fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua del tratto che si desidera analizzare utilizzando la finestra Geometric Data, all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (Reach) e la geometria delle sezioni (Cross Section Data). All'interno della finestra Cross Section Data, oltre alla geometria della sezione è necessario inserire la distanza fra le sezioni (Reach Length), il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning, inoltre, è possibile definire la posizione delle sponde (Left and Right Bank) e degli argini (Levees) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (Ineffective Flow Areas) e delle coperture (Lids).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 25 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

All'interno della finestra Geometric Data sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (XS Interpolation), molto utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; il programma permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (Bridge and Clvert Data) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (Deck/Roadway), le pile (Piers), le spalle (Sloping Abutments) e le condizioni di calcolo (Bridge Modelling Approach); si possono inserire inoltre strutture perpendicolari al corso d'acqua (Inline Structure), sfioratori laterali (Lateral Structure) e casse di laminazione (Storage Area).

Una volta completata l'inserzione dei dati geometrici, si passa all'inserimento dei dati di portata tramite il comando Steady Flow Data, in caso di moto permanente.

In caso di moto permanente, all'interno della finestra Steady Flow Data è necessario definire il numero dei profili da calcolare, i dati di massima portata (almeno una portata per ogni ramo e per ogni profilo) e le condizioni al contorno (Reach Boundary Conditions). Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle a seconda che si intenda eseguire un'analisi in regime di corrente lenta, veloce o mista) e comprendono: quota del fondo alveo (Know Water Surface Elevation); altezza critica (Critical Depth); altezza di moto uniforme (Normal Depth); scala di deflusso (Rating curve). A questo punto è possibile passare ad eseguire la simulazione idraulica in moto permanente tramite il comando Steady Flow Analysis.

I risultati delle computazioni idrauliche sono riassunti in tabelle riepilogative (Detail Output Tables e Profile Summary Table), immagini relative alle sezioni geometriche utilizzate (Plot Cross-Section) e al profilo longitudinale (General Plot Profile e Water Surface Profile) e, infine, con una visione tridimensionale del sistema fluviale (X, Y, Z Perspective Plot).

5.3 Descrizione del modello matematico

Moto permanente

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite. Questa equazione differenziale è la seguente:

$$\frac{dH}{ds} = -S_f \quad (4)$$

con:

$$H = z + \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

in cui:

H = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa s misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 26 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

S_f = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

z = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

v = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa s ;

g = accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite l'equazione (4), applicata tra due sezioni distanti Δs , può essere scritta come:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta s \quad (6)$$

in cui:

H_1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H_2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

S_{fm} = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Tenendo conto della relazione (5) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e finale la (6) diviene:

$$z_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot A_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{Q^2 \cdot n^2}{A_1^2 \cdot R_1^4} + \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_2^2 \cdot R_2^4} \right] \cdot \Delta s = 0 \quad (7)$$

in cui:

Q = portata;

A_1 = area bagnata della corrente nella sezione iniziale;

A_2 = area bagnata della corrente nella sezione finale.

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione del solo tirante idrico. L'equazione (7) permette di determinare il valore del tirante nella sezione finale di un tratto di corrente lungo Δs , una volta noto il suo valore in corrispondenza della sezione iniziale (condizione al contorno).

Per conoscere, quindi, il del profilo relativo alla zona in esame del corso d'acqua, occorre suddividere il tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Il programma Hec-Ras permette la determinazione del profilo secondo tre schemi di calcolo:

- *Corrente lenta (Subcritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque lenta (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è maggiore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di valle del tratto considerato;
- *Corrente veloce (Supercritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque veloce (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è minore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di monte del tratto considerato;
- *Corrente mista (Mixed Flow)*: è applicata quando nel tratto in esame si

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 27 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro, dando luogo ad una successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto. Questa condizione nel caso di transizione da corrente veloce a lenta porterà alla formazione di risalti idraulici. Tale schema richiede che siano definite due diverse condizioni al contorno in corrispondenza delle sezioni (di monte e di valle) del tratto considerato.

Nella simulazione del tratto oggetto di studio si è utilizzata la condizione di corrente mista. Nella condizione di moto permanente sarà sufficiente introdurre il valore della portata in ingresso a monte, eventuali cambiamenti della stessa (dovuta a immissioni localizzate o distribuite) e le condizioni al contorno nella sezione a valle del tronco in esame.

Le perdite di carico sono determinate tramite l'equazione di Manning, in particolare, in corrispondenza di brusche variazioni di velocità dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione. Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, etc....) nelle quali si crea una brusca variazione nel profilo della corrente, sono calcolate attraverso la conservazione della spinta totale.

Equazione di Manning

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza l'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{v^2 \cdot n^2}{R^3} \quad (1)$$

in cui:

- S_f = perdita di carico distribuita ;
- v = velocità media della corrente ;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno bagnato);

La portata della corrente liquida può essere calcolata secondo la seguente espressione:

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dove:

- S_f = perdita di carico distribuita;
- K : conveyance, definisce la capacità di portata ed è dato dalla seguente formula:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 28 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- A = area sezione bagnata;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area e il perimetro della sezione bagnata).

5.4 Modellazione idraulica del Foggia di Rau e del suo affluente di destra

Premessa



Il primo passaggio consiste nell'inserimento della geometria del tratto analizzato del canale principale e dell'affluente.

In particolare per il canale Foggia di Rau sono state inserite **10 sezioni** numerate dalla 100 alla 10 proseguendo da monte verso valle, distribuite lungo un tratto di studio di circa 800 m, per il suo affluente sono state inserite **11 sezioni** numerate dalla 110 alla 10 proseguendo da monte verso valle, distribuite lungo un tratto di studio di circa 500 m.

Una volta inserita la geometria è stata eseguita una simulazione in moto permanente, allo scopo di effettuare un'analisi delle criticità del canale, individuando i tiranti idrici nelle diverse sezioni.

Per l'analisi in moto permanente sono state utilizzate le portate di picco degli idrogrammi di piena relativi al tempo di ritorno di 200 anni.

Per il Foggia di Rau, nel tratto di canale a monte della confluenza dell'affluente di destra (Sez. 100-70) è stata assunta la portata decurtata dell'aliquota costituita dalla piena dell'affluente e pari a $Q_p=64,44 \text{ m}^3/\text{s}$.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 29 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

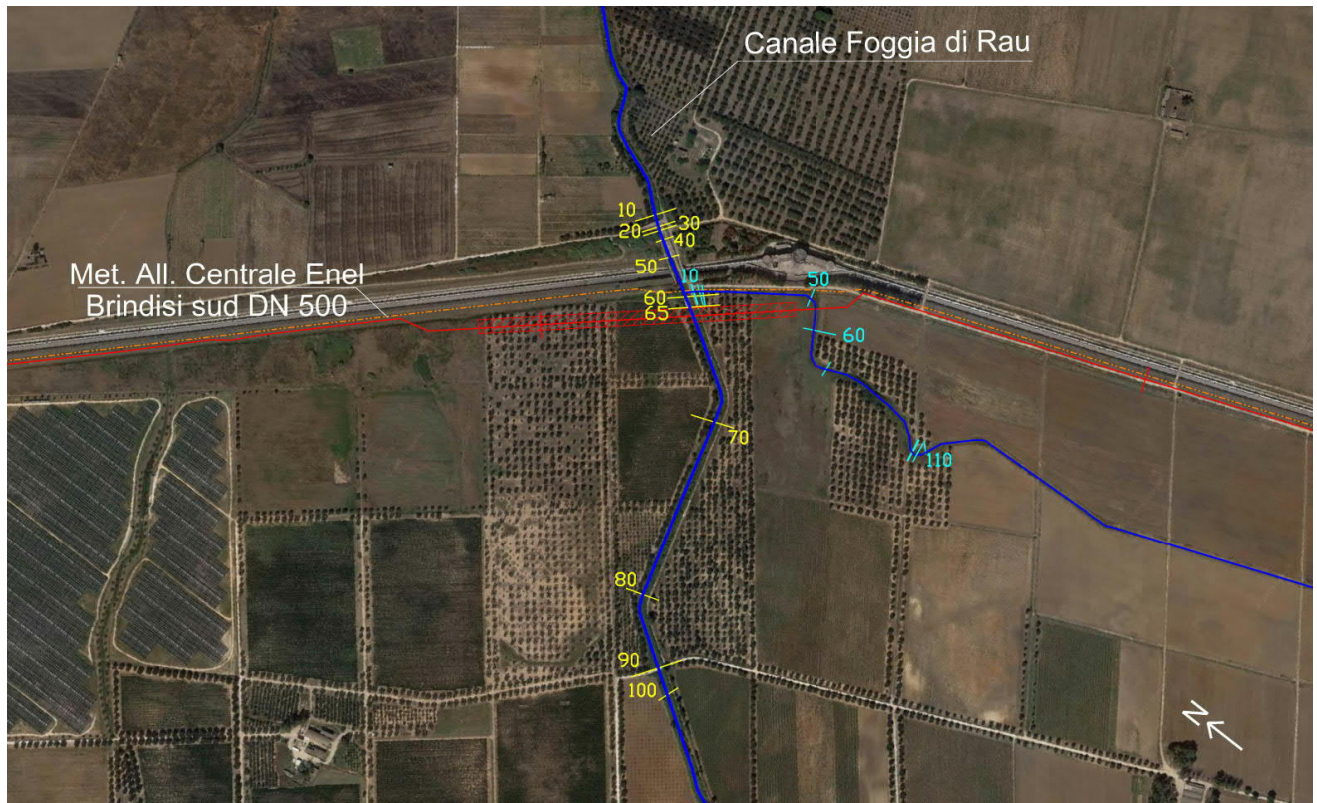


Fig.5.4/A: Tratto del canale analizzato con indicazione delle sezioni studiate

Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici.

Per il calcolo del coefficiente di Manning si fa riferimento ai valori tabulati da Chow, 1959, per corsi d'acqua minori cioè con larghezza a piene rive minore di 30 metri:

COEFFICIENTE DI MANNING n [s/m ^{1/3}]			
Tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 30 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

COEFFICIENTE DI MANNING n [s/m ^{1/3}]			
Tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Tab. 5.4/B Valori del numero di Manning per corsi d'acqua minori da Chow V. T., 1959

Nella presente simulazione è stato assunto un **coefficiente n di Manning pari a 0.035 m^{-1/3}s** per l'alveo di entrambi i canali.

Condizioni al contorno e iniziali

Per il canale Foggia di Rau si è considerato il profilo con tempo di ritorno T=200 anni, si è inserita la portata nella sezione di monte del tratto considerato pari a 64,44 m³/s, a valle dell'immissione dell'affluente di destra che ha contribuito con una portata di 7,7 m³/s è stata considerata la portata di 72,14 m³/s.

Si devono poi inserire le condizioni al contorno:

- Caso di corrente lenta: è sufficiente solo la condizione a monte;
- Caso di corrente veloce: è sufficiente solo la condizione a valle;
- Corrente mista: si devono inserire le condizioni sia a monte che a valle.

Si è effettuato il calcolo con un regime di tipo misto per cui si è imposta un'inclinazione media del canale sia a monte che a valle pari a s=0.008.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 31 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102



Risultati del calcolo

Di seguito si riportano i risultati della simulazione dove i parametri riportati in tabella sono:

- RS = Sezione (River Station)
- Q = Portata totale;
- z_{min} = Quota minima della sezione;
- Y = Altezza pelo libero;
- H_c = Altezza dello stato critico;
- E(h) = Energia calcolata per un determinata altezza idrica;
- i = Pendenza della linea dell'energia;
- v = velocità media del flusso nel canale principale;
- A = Area totale del flusso nella sezione di attraversamento;
- H_{max} = Altezza massima;
- F_r = numero di Froude che può essere:
 - $F_r > 1$ corrente veloce;
 - $F_r = 1$ corrente critica;
 - $F_r < 1$ corrente lenta.

FOGGIA DI RAU										
Risultati HEC-RAS T=200 anni										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
100	64,44	12,68	15,86	15,33	16,27	0,005606	2,87	23,09	20,51	0,68
90	64,44	11,99	15,83		16,06	0,002372	2,12	30,38	13,92	0,46
80	64,44	12,48	15,13	15,08	15,59	0,006804	3,1	23,46	23,65	0,77
70	64,44	11,42	14,44		14,59	0,001695	1,83	40,16	26,15	0,4
65	64,44	10,8	14,38		14,43	0,000334	1,04	68,87	29,42	0,19
60	72,14	10,8	14,37		14,43	0,000427	1,17	68,41	29,42	0,22
50	72,14	10,7	14,34		14,4	0,000389	1,14	70,57	29,42	0,21
40	72,14	10,5	14,3		14,38	0,000522	1,32	59,77	29,87	0,24
30	72,14	10,47	14,24	12,45	14,37	0,000895	1,6	45,89	17,06	0,29
25	Culvert									
20	72,14	10,42	12,88		13,35	0,005667	3,01	24	13,43	0,71
10	72,14	10,42	12,69	12,47	13,27	0,008011	3,36	21,5	12,97	0,83

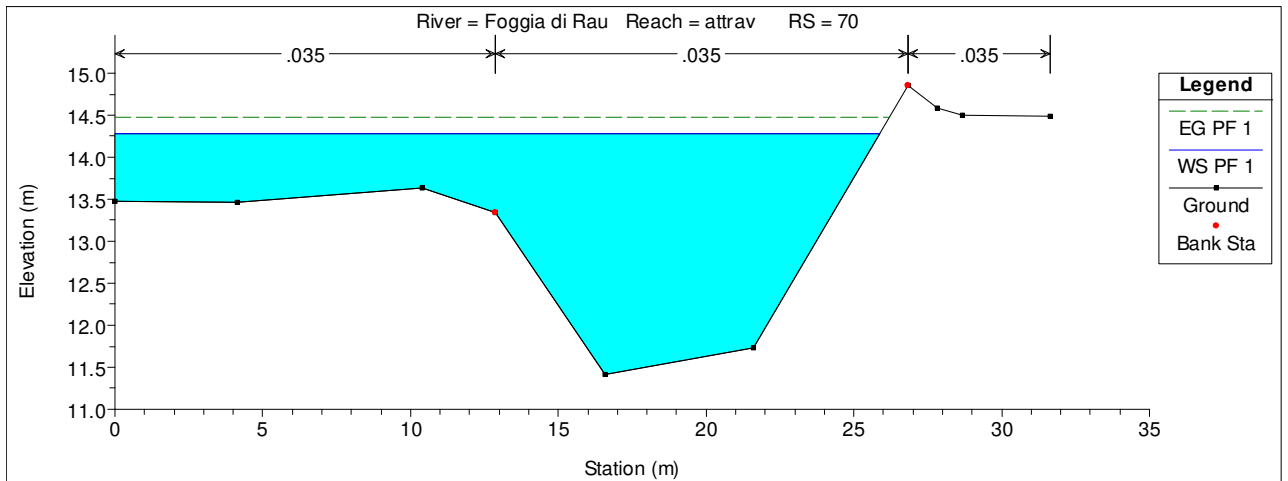
Tab. 5.4/C: Foggia di Rau - risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=200 anni

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 32 di 50	Rev. 0

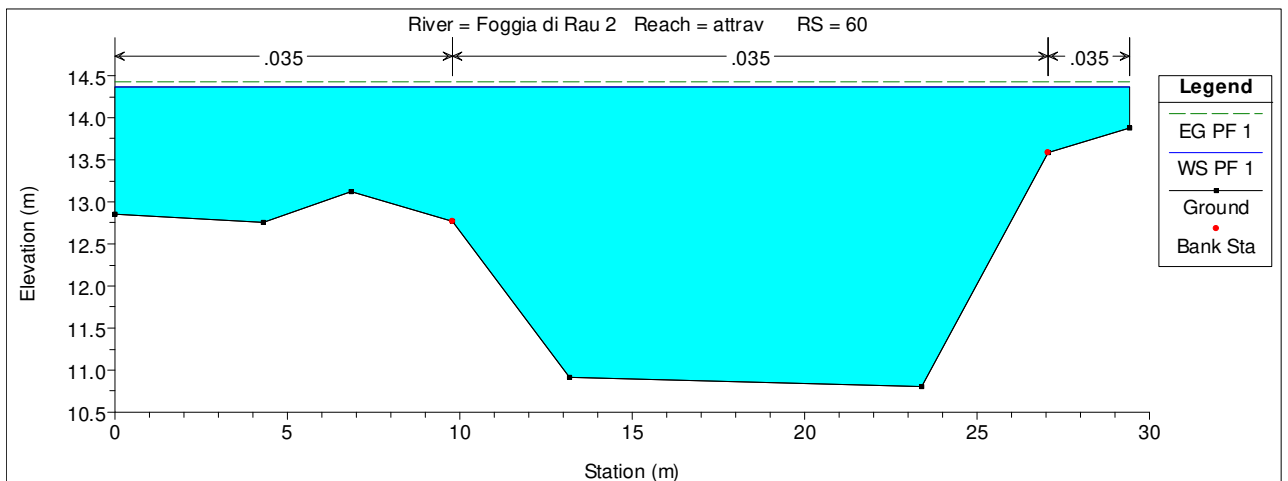
Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

Di seguito vengono rappresentate le sezioni del **canale Foggia di Rau**, a monte e a valle dell'attraversamento del metanodotto (sez. 70, sez.60), con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=200 anni:

Foggia di Rau - Sezione 70 monte attraversamento



Foggia di Rau - Sezione 60 valle attraversamento

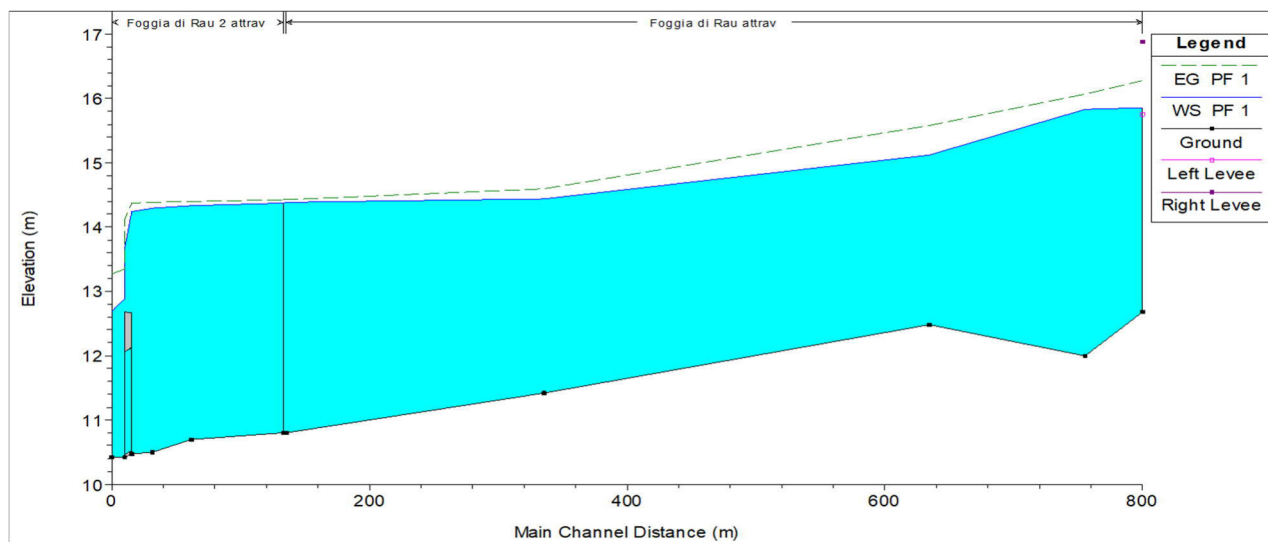


Dal **profilo longitudinale** del canale Foggia, riportato nella figura seguente, si evince che la corrente è in tutti i tratti lenta.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 33 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102


Profilo Longitudinale Canale Foggia di Rau



Dai risultati della simulazione in moto permanente, l'alveo del canale, in prossimità dell'attraversamento, non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale. In entrambe le sezioni di monte (70) e di valle (60), la piena sormonta la sponda sinistra di circa un metro e nella sezione 60, a valle dell'asse policombustibile attrezzato esce anche in sponda destra.

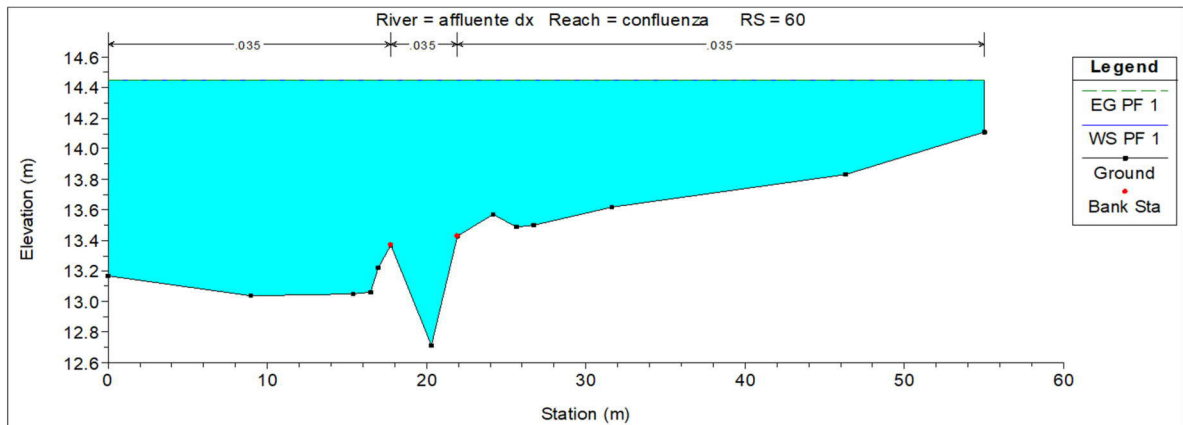
Analoga situazione si presenta anche per l'affluente di destra, l'attraversamento da parte del metanodotto in progetto è compreso tra le sezioni 50 e 60, che non contengono la piena con Tr 200 anni.

AFFLUENTE DI DESTRA DEL CANALE FOGGIA DI RAU											
Risultati HEC-RAS T=200 anni											
River Sta	Profile	Q Tot (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
110	PF 1	7,7	15	15,63	15,49	15,68	0,003586	1,15	8,31	21,15	0,49
100	PF 1	7,7	14,02	15,58	15,44	15,62	0,003258	1	9,96	37,37	0,41
95	Culvert										
90	PF 1	7,7	14,02	15,51	15,44	15,58	0,007369	1,37	7,09	37,37	0,6
80	PF 1	7,7	14,02	15,44	15,44	15,56	0,015103	1,86	5,11	17,75	0,84
70	PF 1	7,7	12,92	14,44	13,84	14,46	0,000392	0,61	15,01	16,34	0,18
60	PF 1	7,7	12,71	14,45		14,45	0,000025	0,17	53,57	55,05	0,05
50	PF 1	7,7	12	14,44		14,45	0,000084	0,32	26,58	20,05	0,07
40	PF 1	7,7	11,95	14,44		14,44	0,00002	0,18	48,94	35,82	0,04
30	PF 1	7,7	11,95	14,43	13,05	14,44	0,000138	0,55	24,91	34,01	0,12
25	Culvert										
20	PF 1	7,7	11,95	14,43		14,44	0,000139	0,55	24,87	34,01	0,12
10	PF 1	7,7	11,95	14,43		14,44	0,000139	0,55	24,87	34,01	0,12

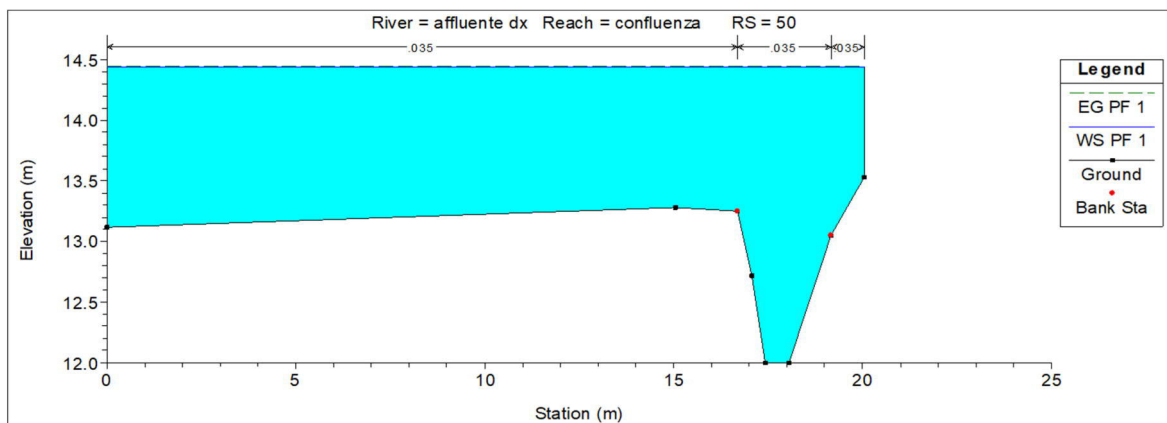
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 34 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

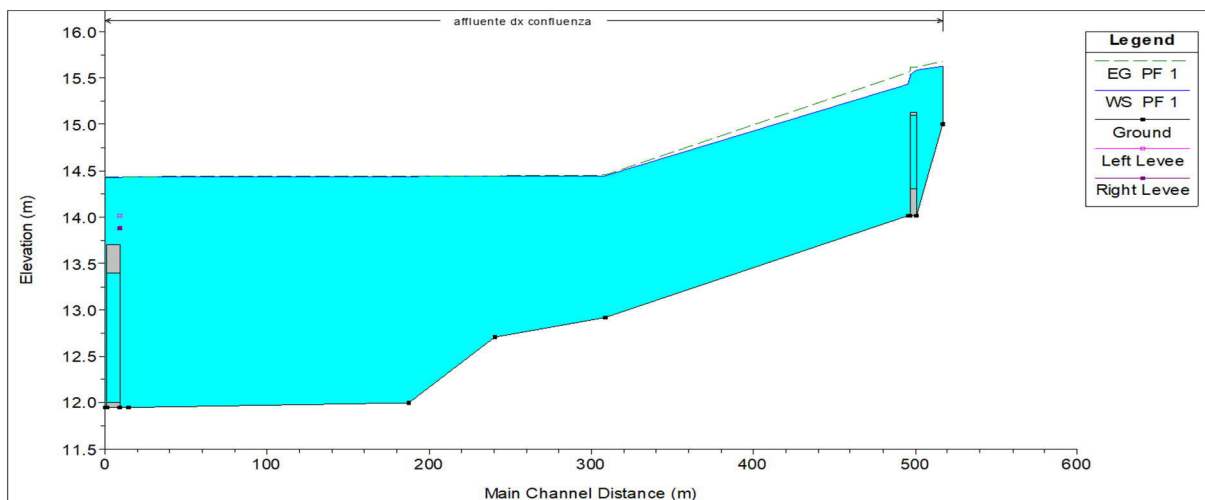
Affluente Foggia di Rau - Sezione 60 valle attraversamento



Affluente Foggia di Rau - Sezione 50 monte attraversamento



Profilo Longitudinale Affluente Canale Foggia di Rau



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 35 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

6. PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

6.1 Premessa

Dai risultati della simulazione, l'alveo del canale non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale lungo tutto il tratto analizzato, tale portata va ad interessare quindi le aree golenali di ogni sezione, creando una situazione di allagamento diffuso.

Ciò conferma quanto contenuto nella documentazione resa disponibile dall'Autorità di Bacino relativa allo "studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi" ed in particolare i risultati illustrati all'allegato 5.10. Quest'ultimo, infatti, mostra come nel tratto analizzato (subito a valle dell'attraversamento BR06500042SL e fino a valle del nastro trasportatore), si abbia ovunque esondazione in concomitanza dell'evento duecentennale.

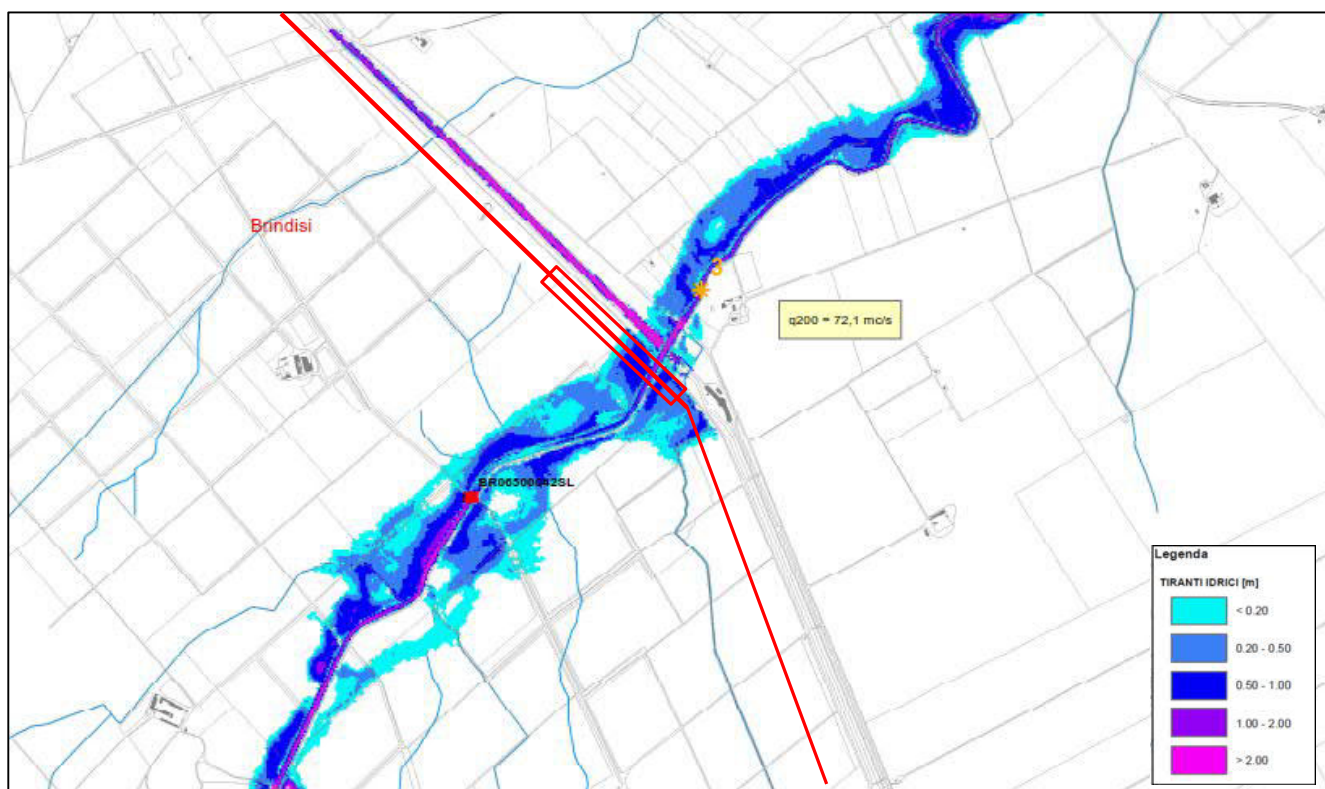


Fig. 6.1/A Perimetrazione delle Aree Allagate eseguita dall'AdB Puglia e relativi tiranti idrici con la portata $Tr=200$ anni, la linea rossa rappresenta il met. All. Centrale Enel di Brindisi sud

Le aree allagate, per il tratto interessato dall'attraversamento, in occasione della portata duecentennale, presentano dei tiranti idrici compresi tra 50 cm e 1 m sia in destra che in sinistra idraulica, per una superficie molto estesa. Come si può notare anche l'affluente di destra, per l'effetto combinato della piena e dell'altezza idrica presente nel canale principale, che impedisce il recapito della portata in arrivo da

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 36 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

monte, provocando un rigurgito ed un innalzamento dei tiranti idrici anche nell'affluente, non riesce a smaltire la portata Tr200.

Particolarmente critica risulta la condizione dell'asse attrezzato, il quale, essendo posto a quote inferiori al canale ed ai terreni circostanti, diventa una via preferenziale per il deflusso della piena che si espande per oltre 1 km verso nord-ovest con tiranti idrici intorno ai 2 m.

In ogni caso si ribadisce che il metanodotto in progetto è un'opera completamente interrata, in corrispondenza dell'attraversamento del Foggia di Rau non sono previsti manufatti fuori terra, né verrà in alcun modo modificata la permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

Il canale Foggia verrà attraversato con una trivellazione orizzontale controllata (T.O.C) pertanto né le sponde né l'alveo verranno interessati da scavi o movimenti terra.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 37 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

7. EROSIONE

Essendo l'opera in oggetto una condotta interrata posta al di sotto di un alveo fluviale, l'erosione risulta essere solitamente un dato fondamentale dello studio idraulico, in quanto, se si fosse in presenza di un'intensa attività erosiva, il fondo potrebbe essere scavato fino a raggiungere la condotta minandone la stabilità. Facendo delle considerazioni sulla morfologia dell'alveo si può stimare a grandi linee se l'alveo è potenzialmente soggetto o meno a fenomeni erosivi.

Come emerso dal sopralluogo in campo, allo stato attuale il canale Foggia di Rau e il suo affluente, nel tratto interessato dall'attraversamento, risultano rivestiti in calcestruzzo, pertanto si può considerare nulla l'attività erosiva dei corsi d'acqua.

8. CONCLUSIONI

Per la verifica della compatibilità idrologico-idraulica del Metanodotto "Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20") DP 75 bar" è stato condotto uno studio idrologico/idraulico del canale Foggia di Rau utilizzando i valori dell'idrogramma di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Per il calcolo della curva di possibilità pluviometrica è stato utilizzato il modello VAPI del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, relativamente alla zona 6. Per la stima dell'idrogramma di piena è stato adottato il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS), che consente di ricavare le portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

La portata di picco dell'idrogramma di piena per un tempo di ritorno di 200 anni risulta pari a 72,14 m³/s, la simulazione idraulica ha tenuto conto anche del contributo dell'affluente di destra che viene attraversato dall'opera in progetto in prossimità della sua confluenza con il canale Foggia.

Per la verifica idraulica è stato utilizzato il software HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0.1).

Dalla simulazione in moto permanente sia l'alveo del canale Foggia che il suo affluente non risultano in grado di smaltire la portata di piena duecentennale lungo tutto il tratto analizzato. L'area investigata è stata oggetto di studi da parte dell'Autorità di Bacino, i quali confermano pienamente le criticità idrauliche presenti.

Le aree allagate, per il tratto interessato dall'attraversamento, in occasione della portata duecentennale, presentano dei tiranti idrici compresi tra 50 cm e 1 m sia in destra che in sinistra idraulica, per una superficie molto estesa. Anche l'affluente di destra, per l'effetto combinato della piena e degli elevati tiranti idrici presenti nel canale principale, che impediscono il recapito della portata in arrivo da monte, non riesce a smaltire la portata con Tempo di Ritorno 200 anni.

Particolarmente critica risulta la condizione dell'asse attrezzato, il quale, essendo posto a quote inferiori al canale ed ai terreni circostanti, diventa una via preferenziale

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 38 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

per il deflusso della piena che si espande per oltre 1 km verso nord-ovest con tiranti idrici intorno ai 2 m.

Tali criticità idrauliche non hanno però alcuna ripercussione sul metanodotto in progetto, si può affermare che l'opera è compatibile idraulicamente con il corso d'acqua attraversato in quanto è completamente interrata, non prevede la presenza di manufatti fuori terra né la modifica della permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

L'attraversamento del canale Foggia di Rau non determina alterazioni dell'alveo e del libero deflusso delle acque, non interferisce con future possibili riprofilature del canale atte a contenere la portata di piena duecentennale e non sono necessari ripristini post-operam poiché l'attraversamento sarà realizzato tramite Trivellazione Orizzontale Controllata.

L'affluente di destra verrà attraversato con scavo a cielo aperto, dopo i lavori la morfologia del terreno verrà ripristinata secondo le caratteristiche ante operam e per l'alveo è prevista la completa riprofilatura delle sponde, riportando la sezione in corrispondenza dell'attraversamento alle condizioni originali, senza alterarne la capacità di deflusso.

Per quanto riguarda il problema del trasporto solido, allo stato attuale il canale Foggia di Rau, nel tratto interessato dall'attraversamento, risulta rivestito in calcestruzzo, pertanto si può considerare nulla l'attività erosiva del corso d'acqua.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 39 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

9. ANNESSI



- ANNESSO 1: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 40 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

10. BIBLIOGRAFIA

- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA - “Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi Ed. dicembre (2012)”
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA – Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) (2004).
- CHOW V.T. “Open Channel Hydraulics” McGraw-Hill, 1959.
- COPERTINO V., FIORENTINO M. (a cura di) "Valutazione delle piene in Puglia", CNR-GNDICI, Potenza, 1992.
- ROSSI F., FIORENTINO M., VERSACE P. “Two component extreme value distribution for flood frequency analysis”, Water Resour. Res., Vol. 20, n.7, pp.847-856, 1984.
- RUWA srl acqua territorio energia – Modellistica Idrologica e Idraulica (2010)
- Schoklitsch A. (1962) - Handbuch des Wasserbaues, 3rd edn. Springer, Vienna, 1-475
- Soil Conservation Service (SCS), National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, 192
- US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual.

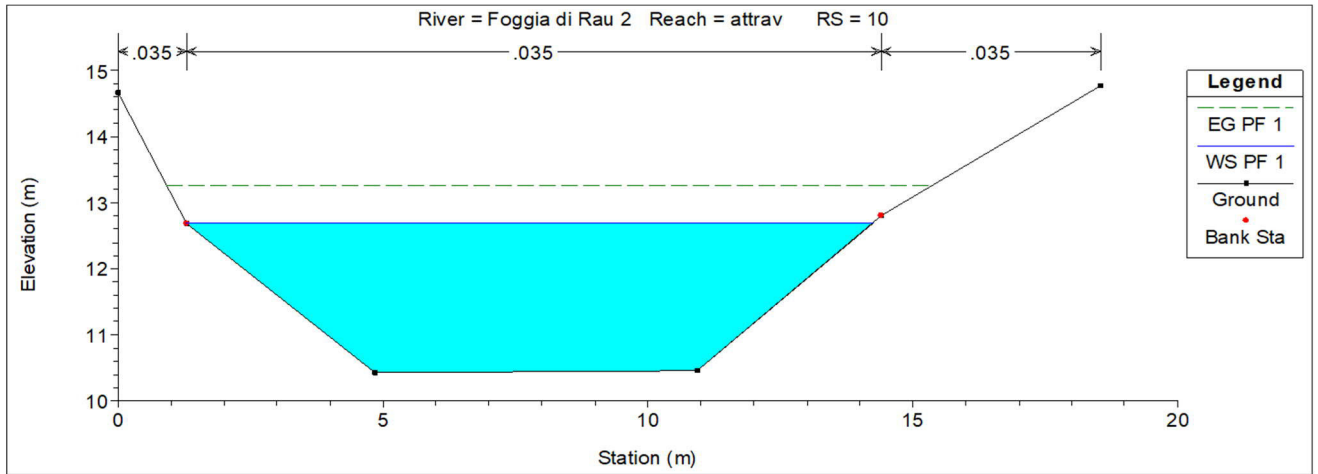
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 41 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

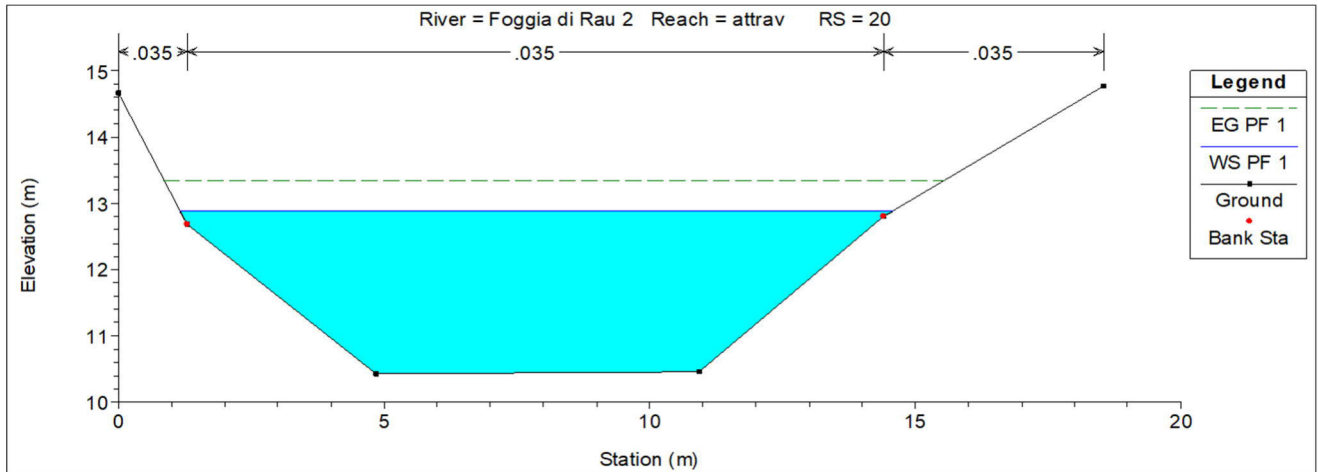
ANNESSO 1

SEZIONI CANALE FOGGIA DI RAU

SEZIONE -10



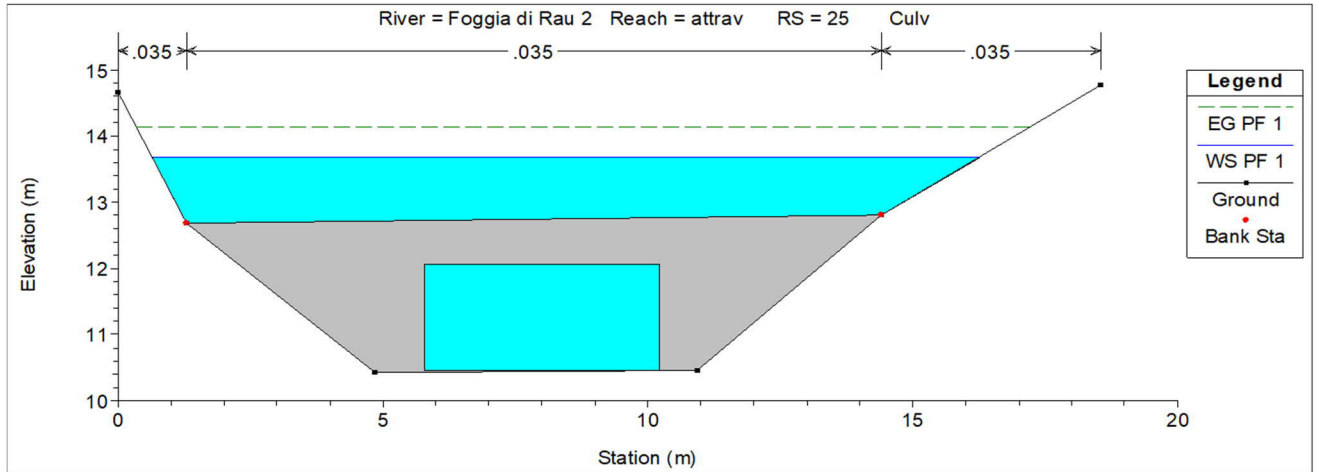
SEZIONE -20



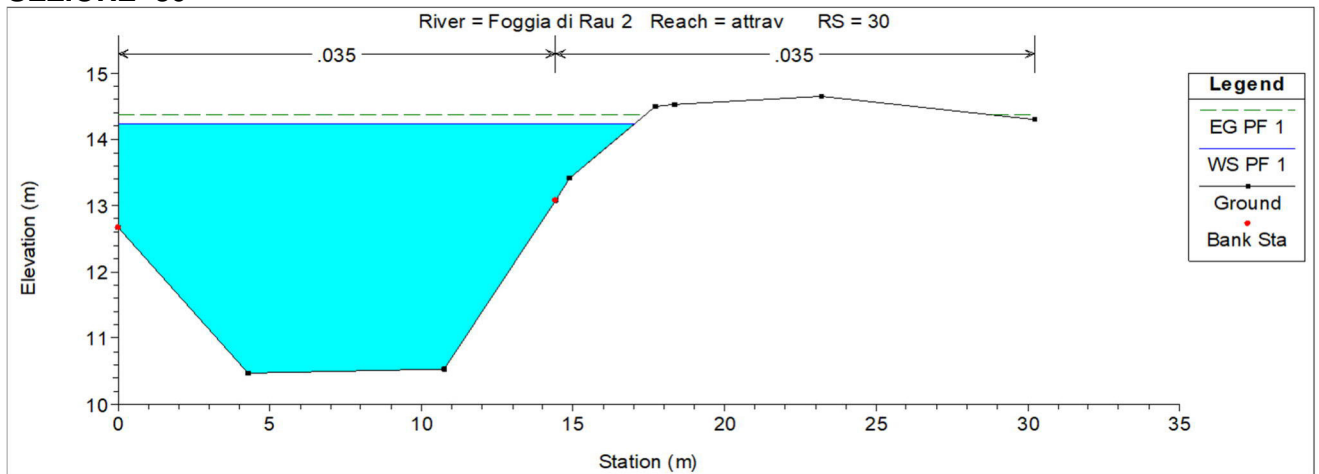
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 42 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

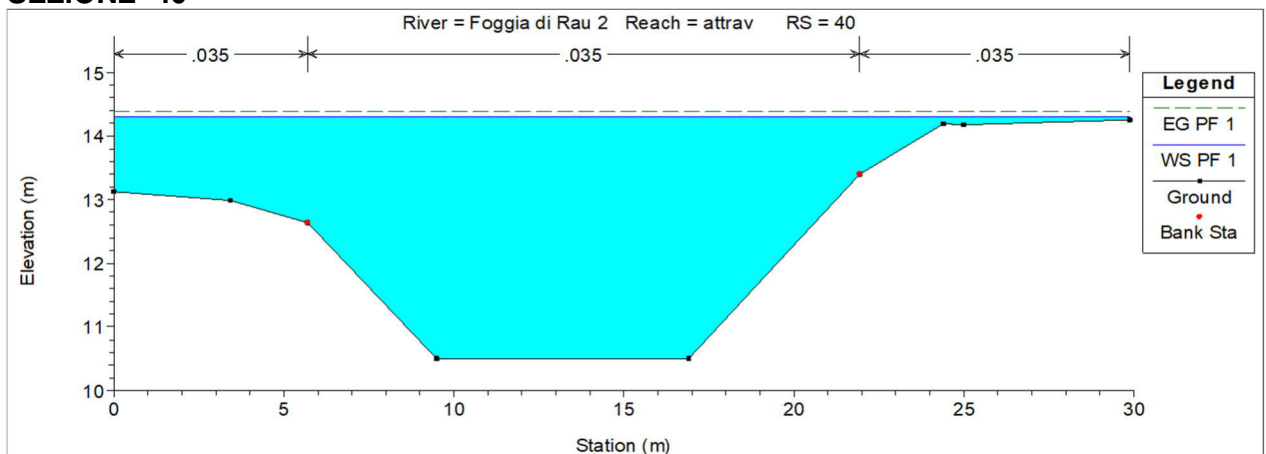
SEZIONE -25-Culvert




SEZIONE -30



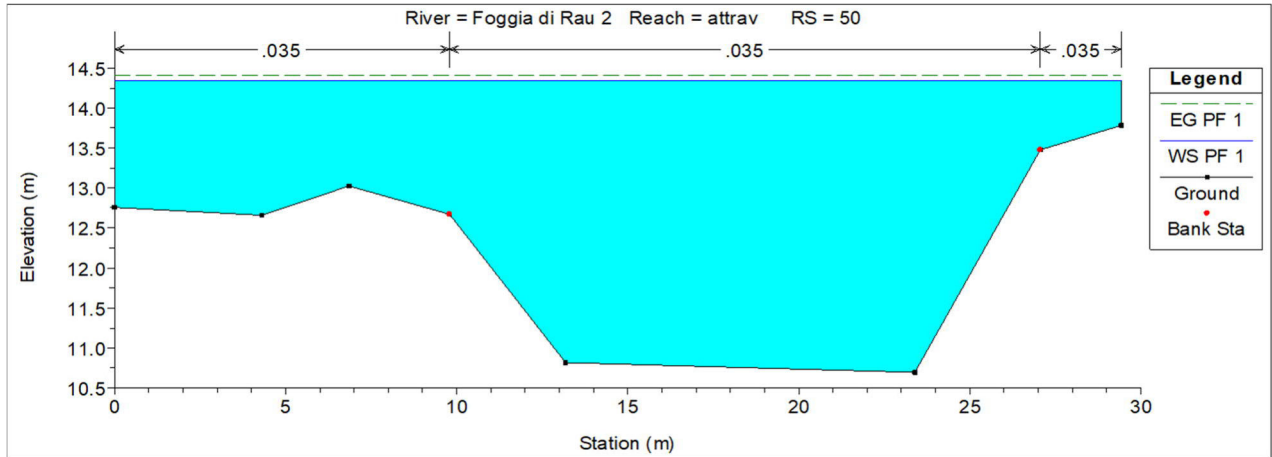
SEZIONE -40



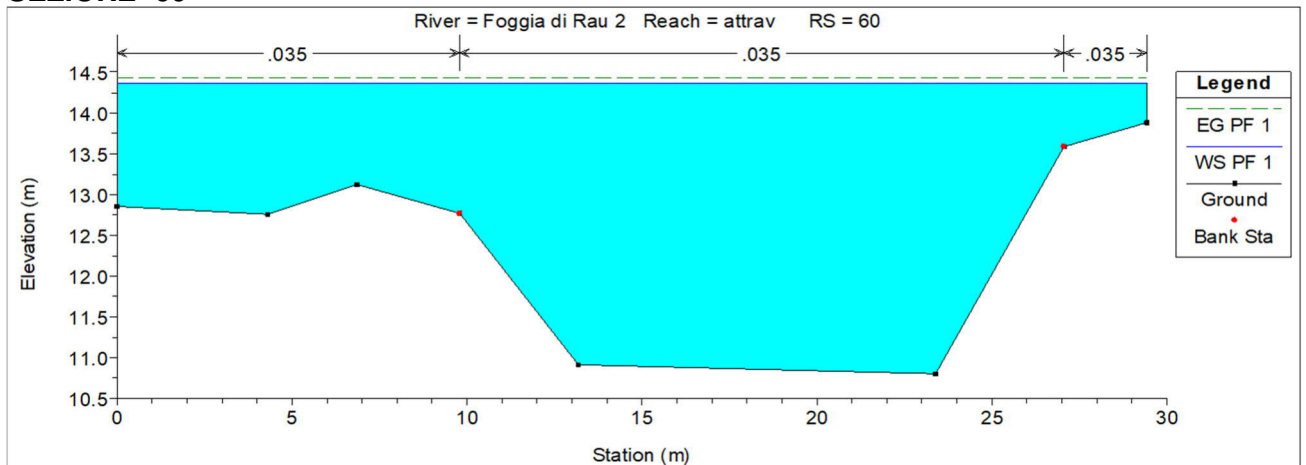
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 43 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

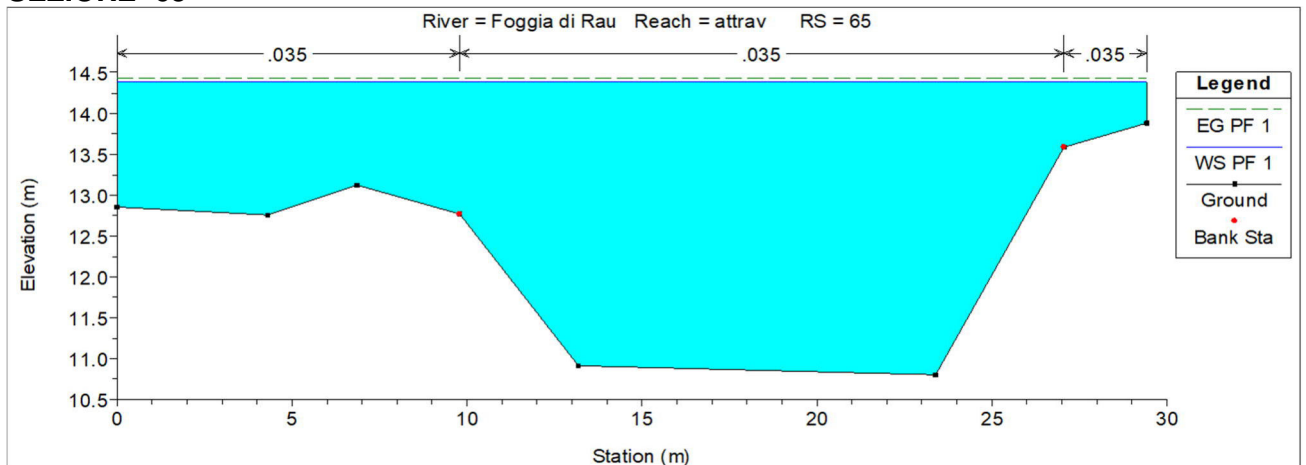
SEZIONE -50




SEZIONE -60



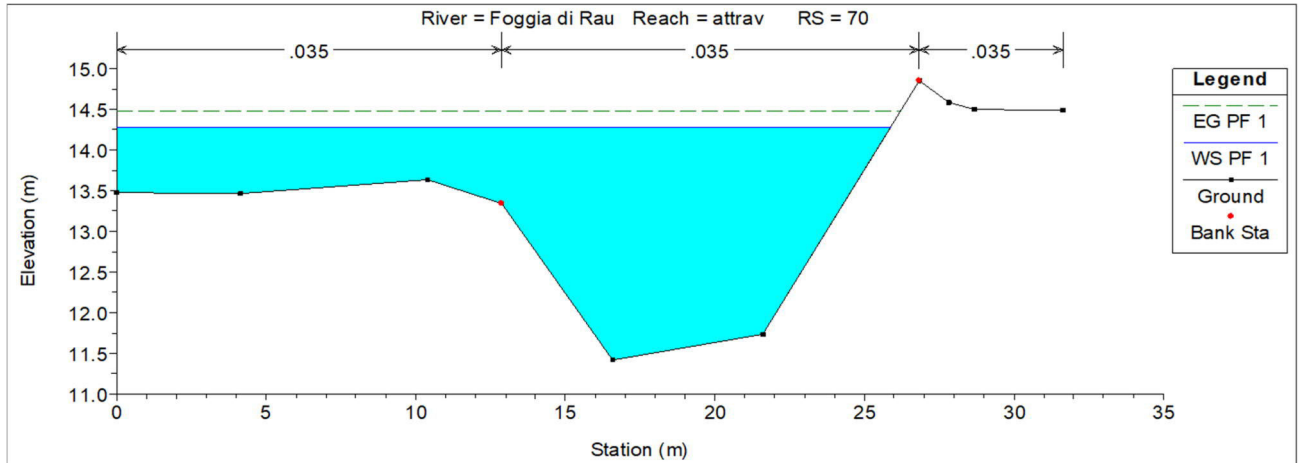
SEZIONE -65



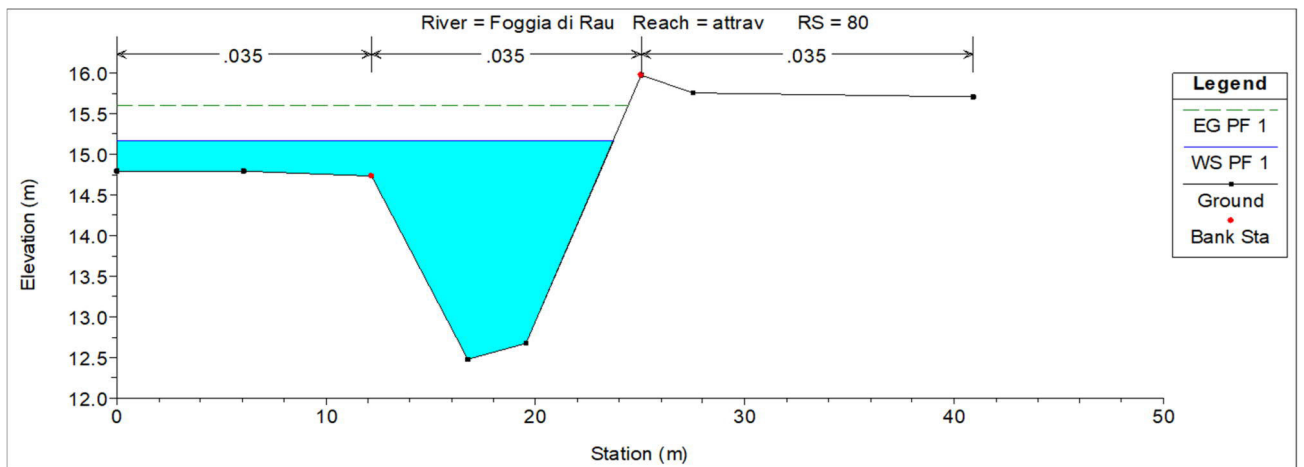
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 44 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

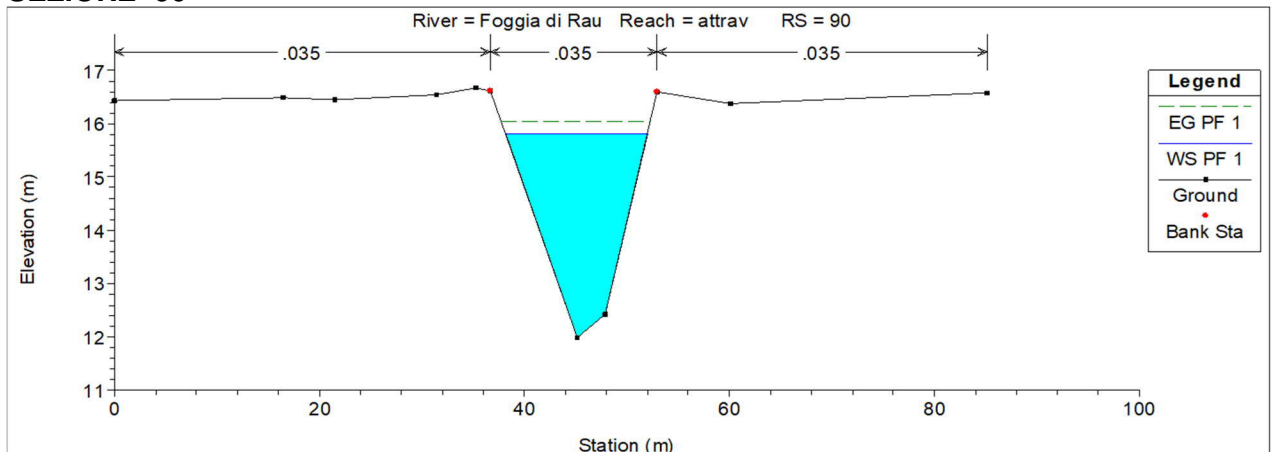
SEZIONE -70




SEZIONE -80



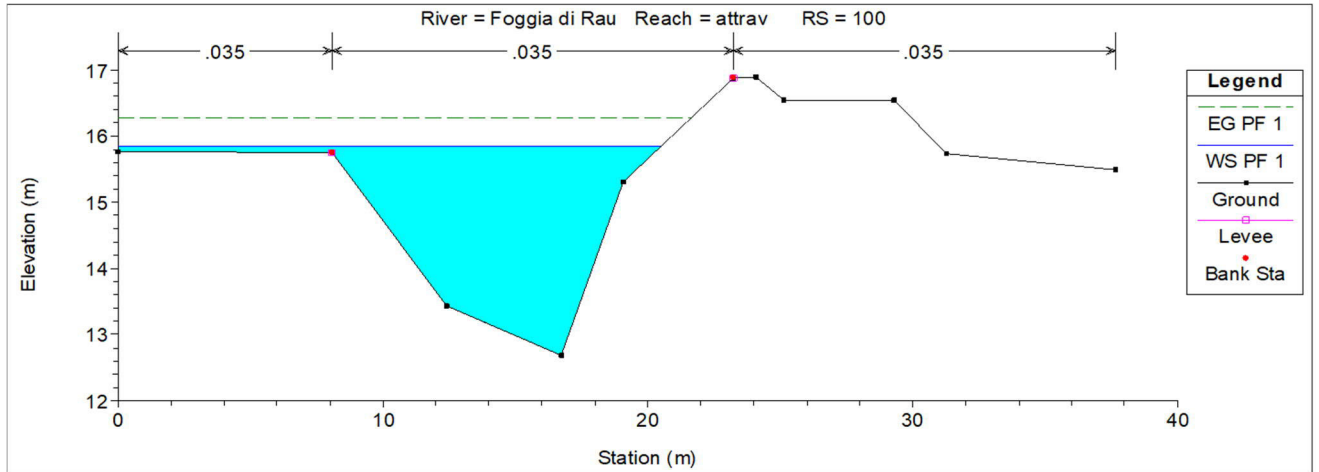
SEZIONE -90





	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 45 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

SEZIONE -100

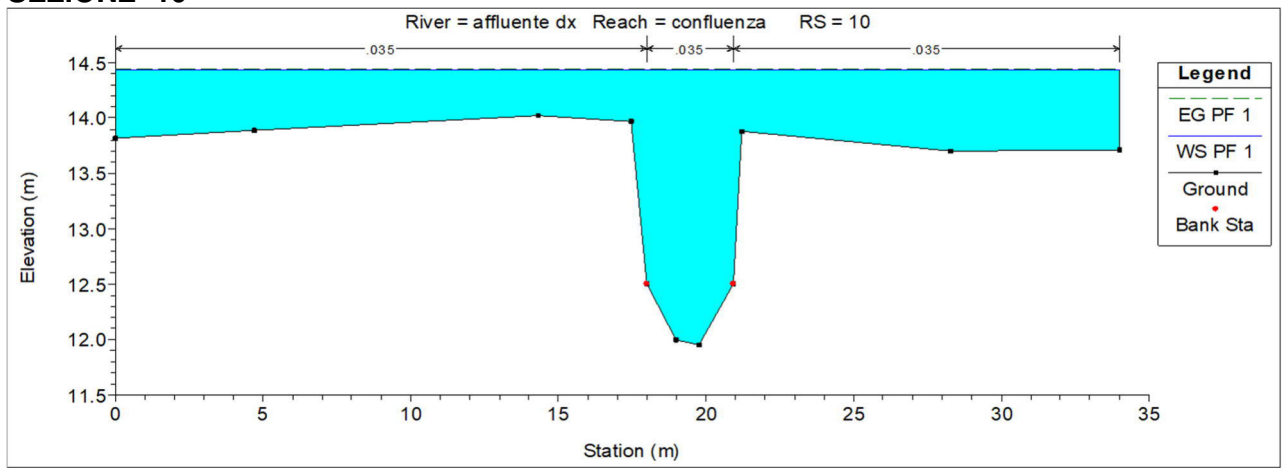


	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 46 di 50	Rev. 0

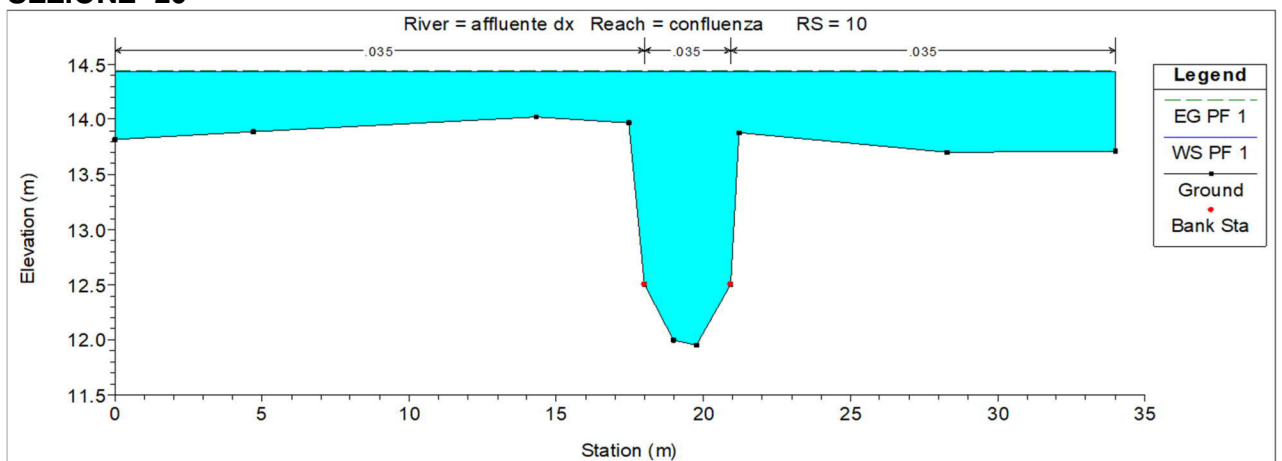
Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102


SEZIONI CANALE AFFLUENTE FOGGIA DI RAU

SEZIONE -10



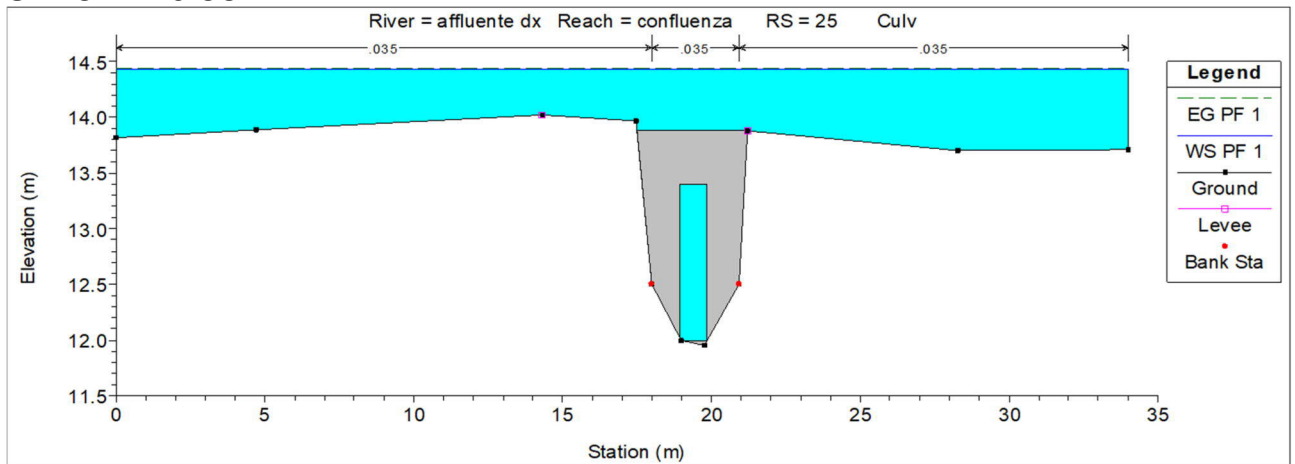
SEZIONE -20



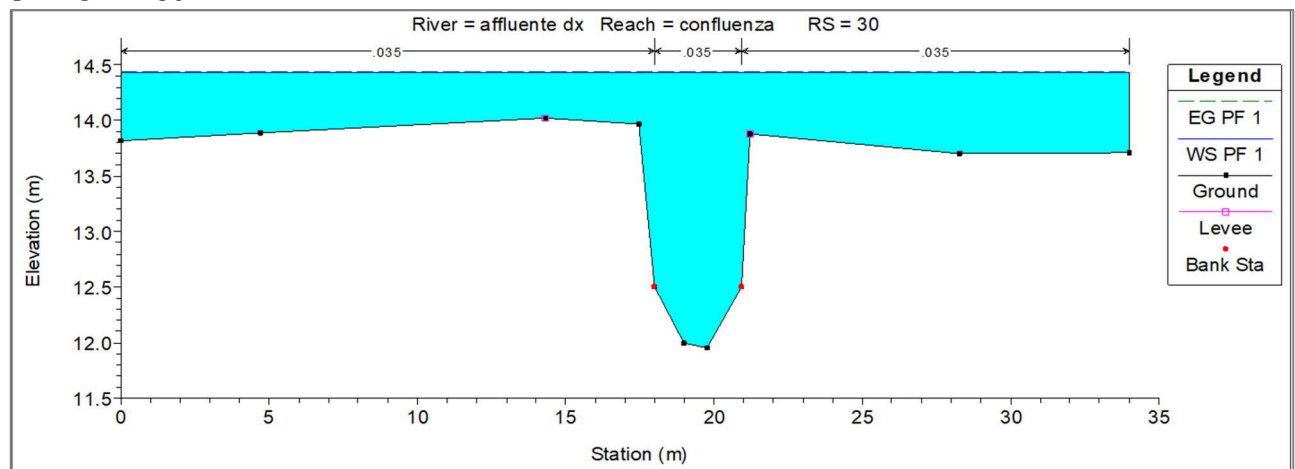
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 47 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

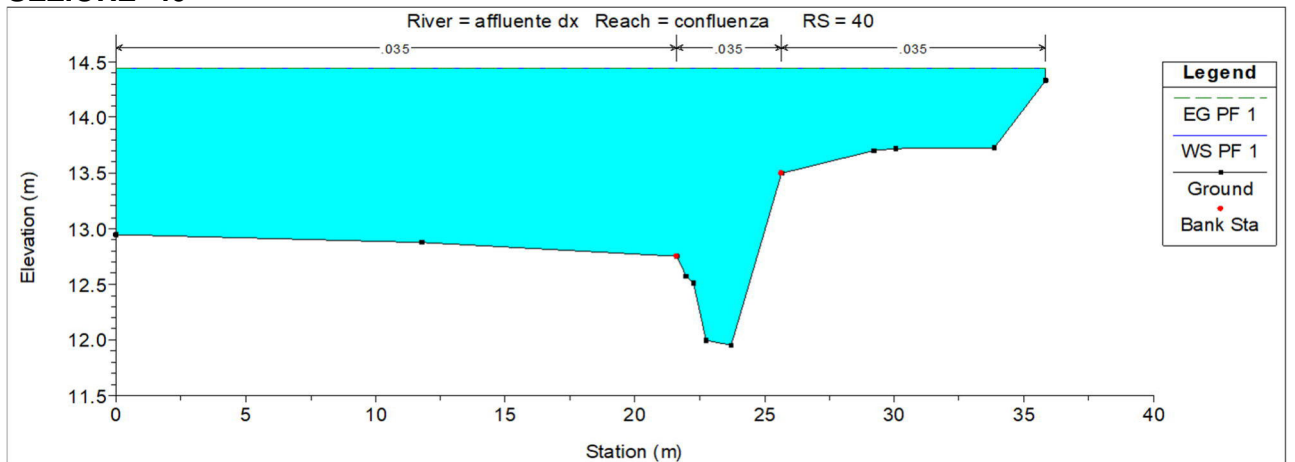
SEZIONE -25-CULVERT



SEZIONE -30



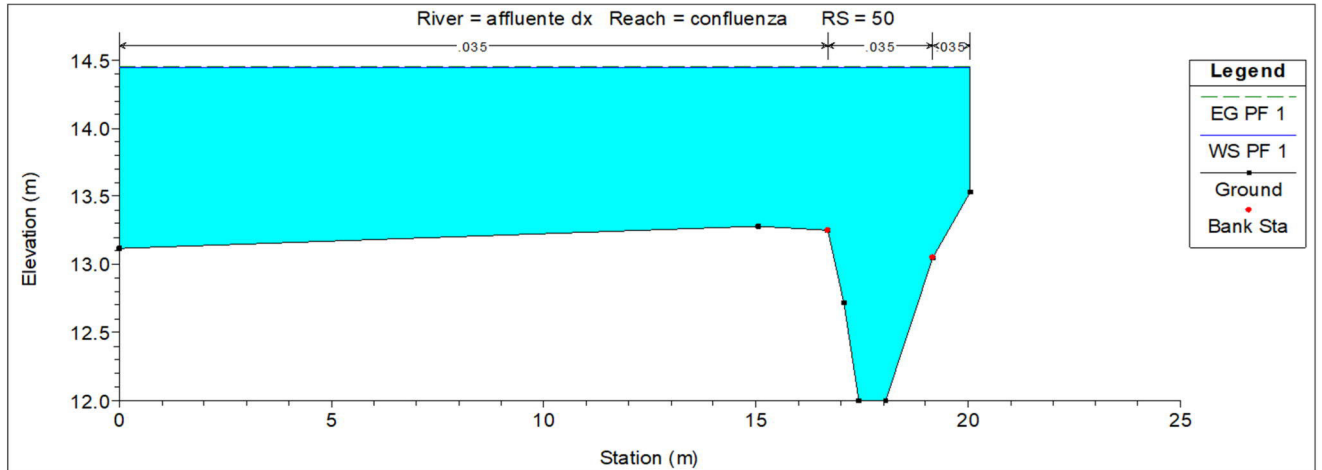
SEZIONE -40



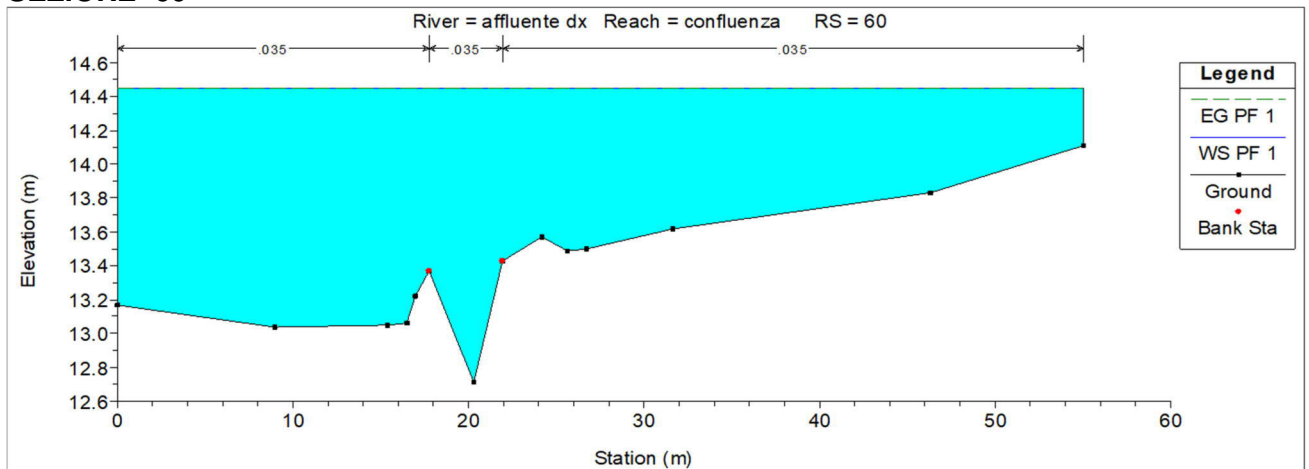
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 48 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

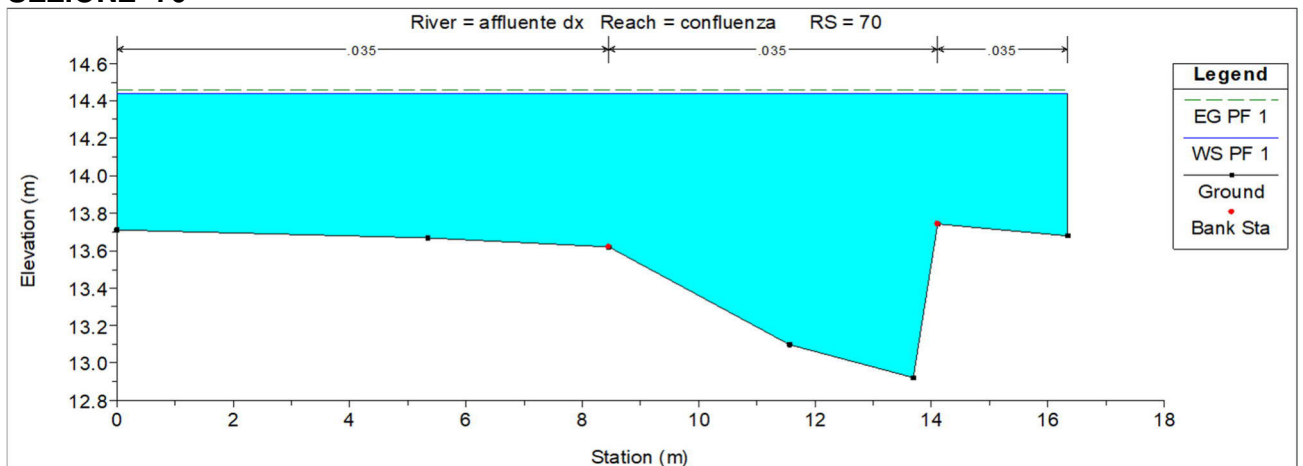
SEZIONE -50




SEZIONE -60



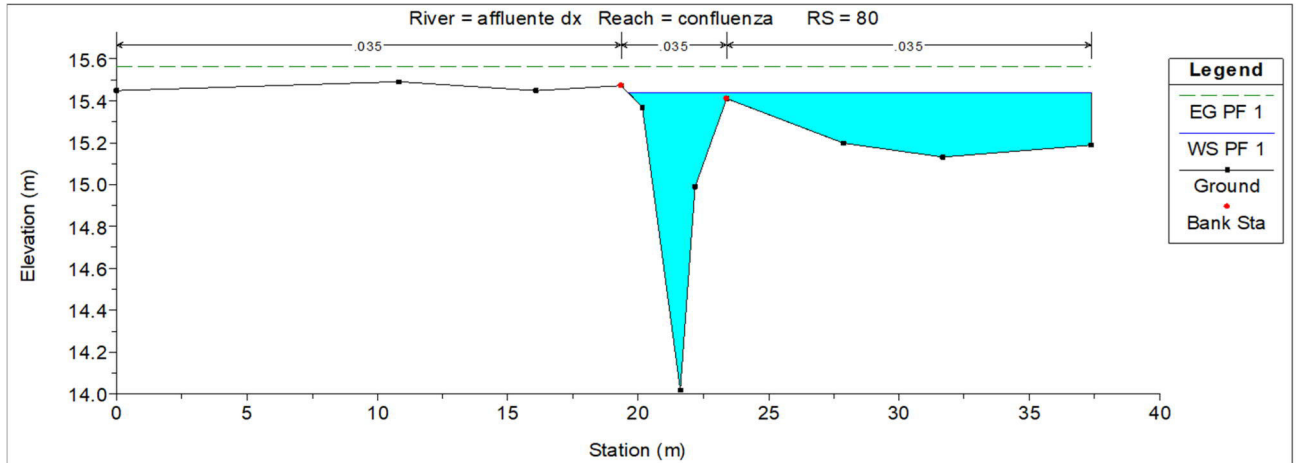
SEZIONE -70



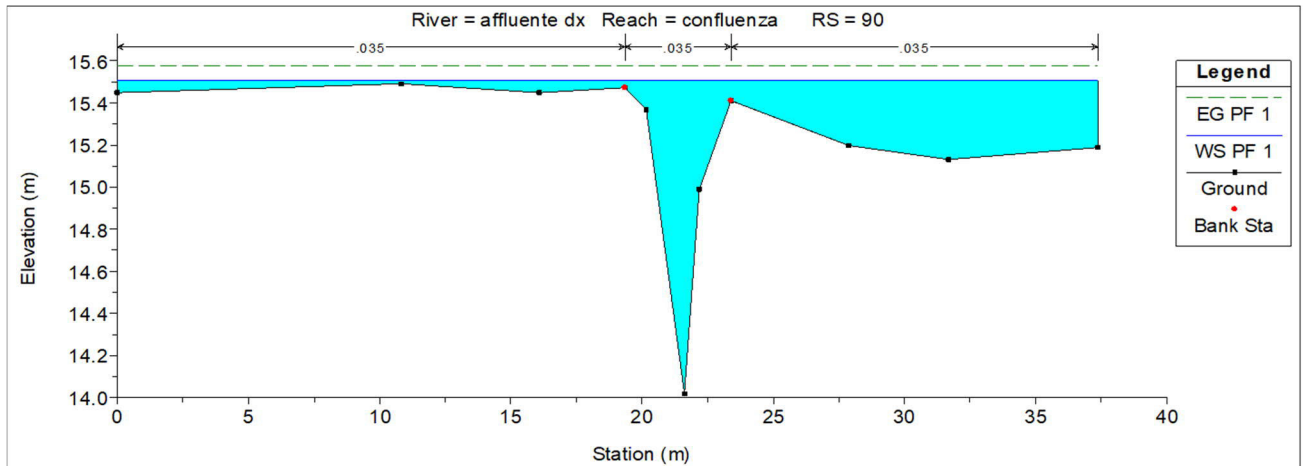
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 49 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

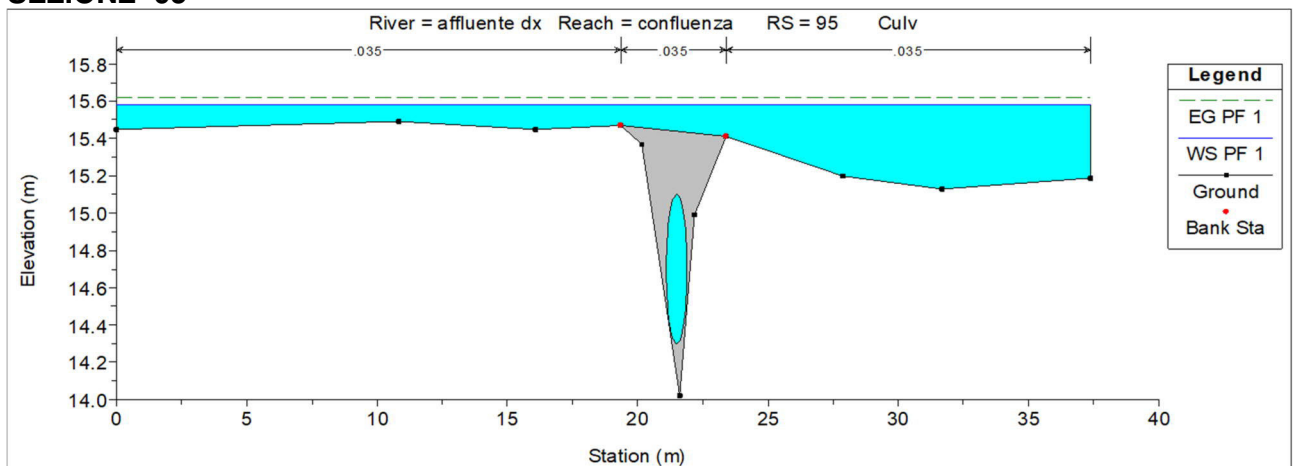
SEZIONE -80





SEZIONE -90



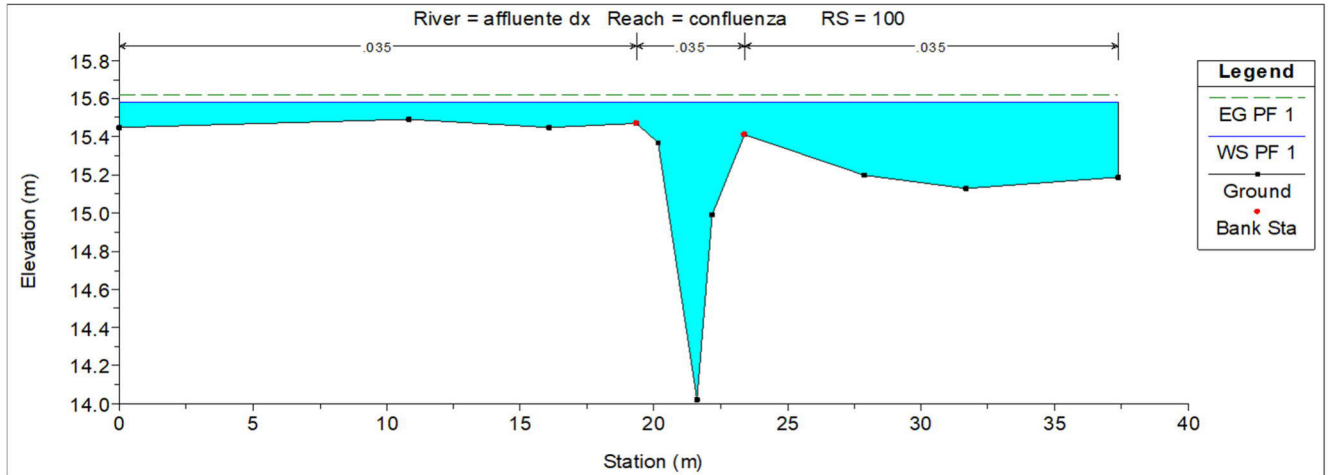
SEZIONE -95



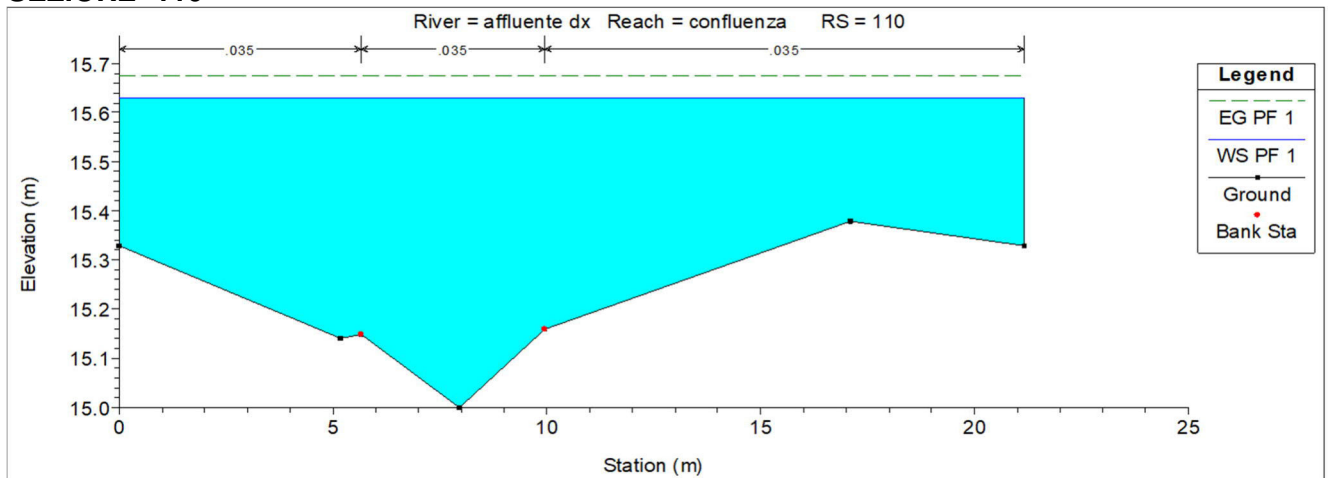
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-102	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 50 di 50	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-102

SEZIONE -100



SEZIONE -110



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 1 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

METANODOTTO:

ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar

ATTRAVERSAMENTO CANALE DELLE CHIANCHE

STUDIO DI COMPATIBILITÀ' IDROLOGICA-IDRAULICA



0	Emissione per permessi	V.Lucarini	G.Aiudi	M. Begini	30/07/20
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 2 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2.1	Descrizione morfologica ed idraulica del bacino	5
2.2	Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento.....	7
3.	METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM.....	9
4.	STUDIO IDROLOGICO	10
4.1	Premessa	10
4.2	Analisi Pluviometrica.....	10
4.3	Stima delle portate di piena.....	13
4.4	Idrogramma adimensionale di Mockus	18
5.	STUDIO IDRAULICO	19
5.1	Premessa	19
5.2	Descrizione del modello idraulico	19
5.3	Descrizione del modello matematico.....	20
5.4	Modellazione idraulica del Canale delle Chianche	23
6.	PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI.....	29
6.1	Premessa	29
7.	EROSIONE	31
8.	CONCLUSIONI	31
9.	ANNESI.....	33
10.	BIBLIOGRAFIA	34

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 3 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

1. INTRODUZIONE

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto per rispondere alle richieste di integrazioni formulate dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale nell’ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale [ID_VIP:5195] relativa al progetto di sostituzione delle unità a carbone esistenti con nuove unità a gas presso la centrale termoelettrica ENEL di Brindisi sud “Federico II” e dimostrare la compatibilità idrologica idraulica del metanodotto “Allacciamento Centrale ENEL Brindisi sud DN 500 (20”) DP 75 bar” rispetto alle Norme Tecniche di Attuazione indicate nel P.A.I. e in particolare alle disposizioni degli art. 4, 6 e 10 delle NTA.

Lo studio idrologico-idraulico è stato condotto con lo scopo di:

- stimare le grandezze idrologiche (piogge e portate) del corso d’acqua Canale delle Chianche e le caratteristiche topografiche e di uso del suolo del suo bacino idrografico, chiuso in corrispondenza della zona dell’attraversamento;
- simulare il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno 200 anni e verificare se le sezioni del canale nel tratto interessato dall’attraversamento del metanodotto siano in grado di contenerla con un certo franco di sicurezza;
- stabilire, in caso di incapacità del corso d’acqua di contenere la portata duecentennale, la perimetrazione dell’area allagata.

Operando in questo modo è stato possibile progettare l’attraversamento del metanodotto fissando una quota di copertura rispetto al fondo alveo attuale tale da non interferire con eventuali futuri interventi di riprofilatura delle sezioni del canale. Inoltre vengono indicate gli impatti e le misure di mitigazione relative ad eventuali manufatti fuori terra a servizio della condotta e presenti all’interno delle aree allagate.

Si sottolinea, inoltre, che l’opera in oggetto è un metanodotto interrato che, in quanto tale, in fase di esercizio non interferirà con il corso d’acqua attraversato.

Infine sono state verificate le condizioni di erosione del fondo alveo, in modo da garantire una profondità di posa del metanodotto tale da assicurare la stabilità e la copertura della condotta per tutta la vita utile dell’opera.

2. DESCRIZIONE DELL’OPERA

Il progetto denominato “Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20”) – 75 bar” si sviluppa a Sud-Est della città di Brindisi, con andamento in senso gas NO-SE, interessando esclusivamente il territorio comunale di Brindisi.

Il metanodotto, progettato per assicurare la fornitura di gas naturale alla centrale Enel di Brindisi ha una lunghezza di circa 6,7 km e si stacca dal “Pot. Der. per Polo industriale di Brindisi DN 1050 (42”), MOP 75 bar”, a sud della città, per terminare alla centrale Enel.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 4 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

L'opera si sviluppa in un territorio pianeggiante non antropizzato in cui il paesaggio agrario è generalmente caratterizzato dall'alternanza di oliveti e vigneti a sesto regolare, da alberi da frutta e seminativi.

Il tracciato del metanodotto prevede l'attraversamento di alcune strade comunali/vicinali, della S.P. 88, dell'asse attrezzato policombustibile, di un raccordo ferroviario e, per quanto riguarda i corpi idrici superficiali, del canale Affluente di destra del Fiume Grande, del canale Foggia di Rau e del canale delle Chianche nel tratto terminale del gasdotto.

I punti di linea (valvole di sezionamento) previsti in progetto sono tre:

- PIDI iniziale in allargamento dell'impianto 12257/4 esistente;
- PIL a valle del raccordo ferroviario;
- PIDA finale adiacente alla stazione REMI in progetto.

Tutto il territorio in cui si inseriscono le opere in progetto è inoltre ricompreso all'interno del Sito di Interesse Nazionale (SIN) di Brindisi.

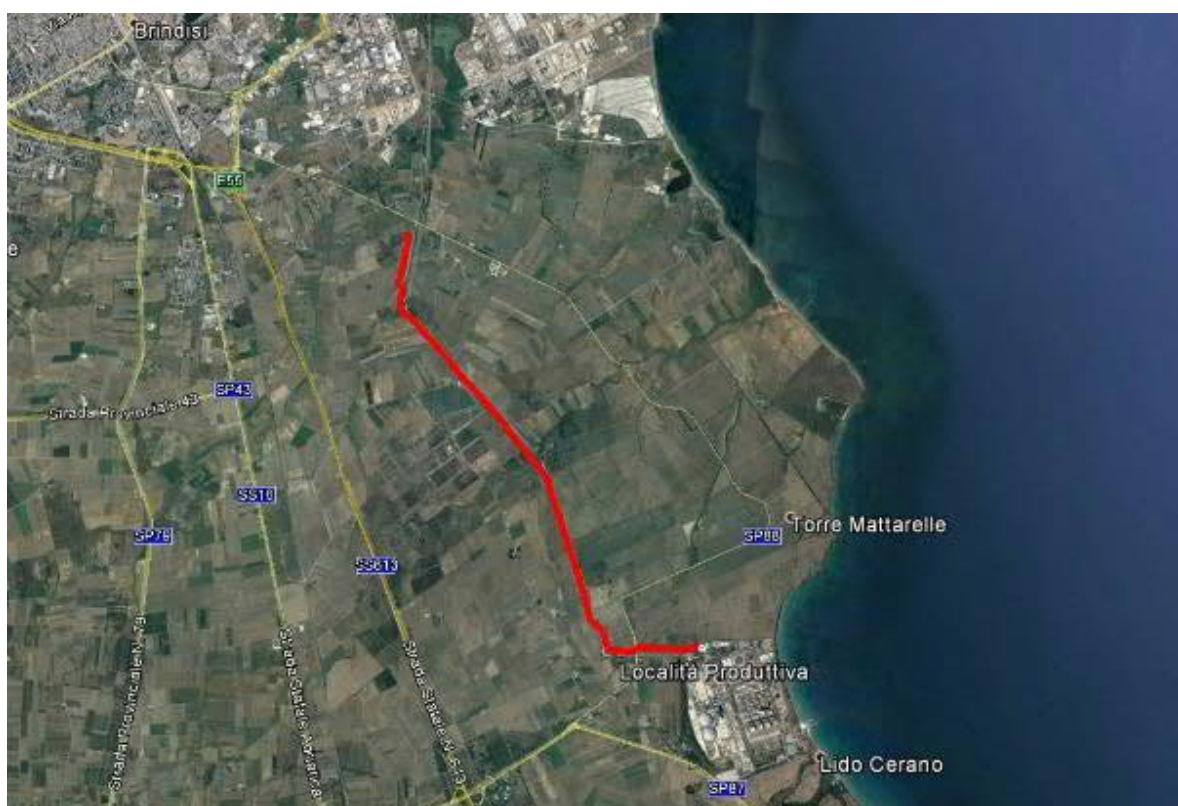



Fig. 2/A – Inquadramento geografico dell'opera in progetto – in rosso il tracciato del metanodotto

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 5 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

2.1 Descrizione morfologica ed idraulica del bacino

Il Canale delle Chianche è un modesto corso d'acqua che ha origine nel comune di Brindisi a sud dell'abitato "Stazione di Tutturano" e scorre in direzione nord-est, superando la S.S. 613 e lambendo il confine nord della Centrale Enel per confluire, dopo circa 9,5 km, nel Foggia di Rau, in corrispondenza della foce.

Il canale ha un bacino drenante confinante a nord con il bacino del Foggia di Rau e a sud con il bacino del Siedi, la sezione di chiusura dell'area di studio coincide con l'attraversamento della S.P.88

Il bacino del Canale delle Chianche chiuso alla S.P.88 ha un'estensione di circa 5,9 km² con una lunghezza dell'asta principale pari a circa 5,1 km.

Il metanodotto "All. Centrale ENEL di Brindisi sud DN 500 (20") DP 75 bar" attraversa il canale delle Chianche immediatamente a monte della S.P. 88.

Il territorio attraversato è caratterizzato da una predominanza di seminativi ed in minor percentuale da vigneti giovani, l'area del bacino risulta poco urbanizzata.

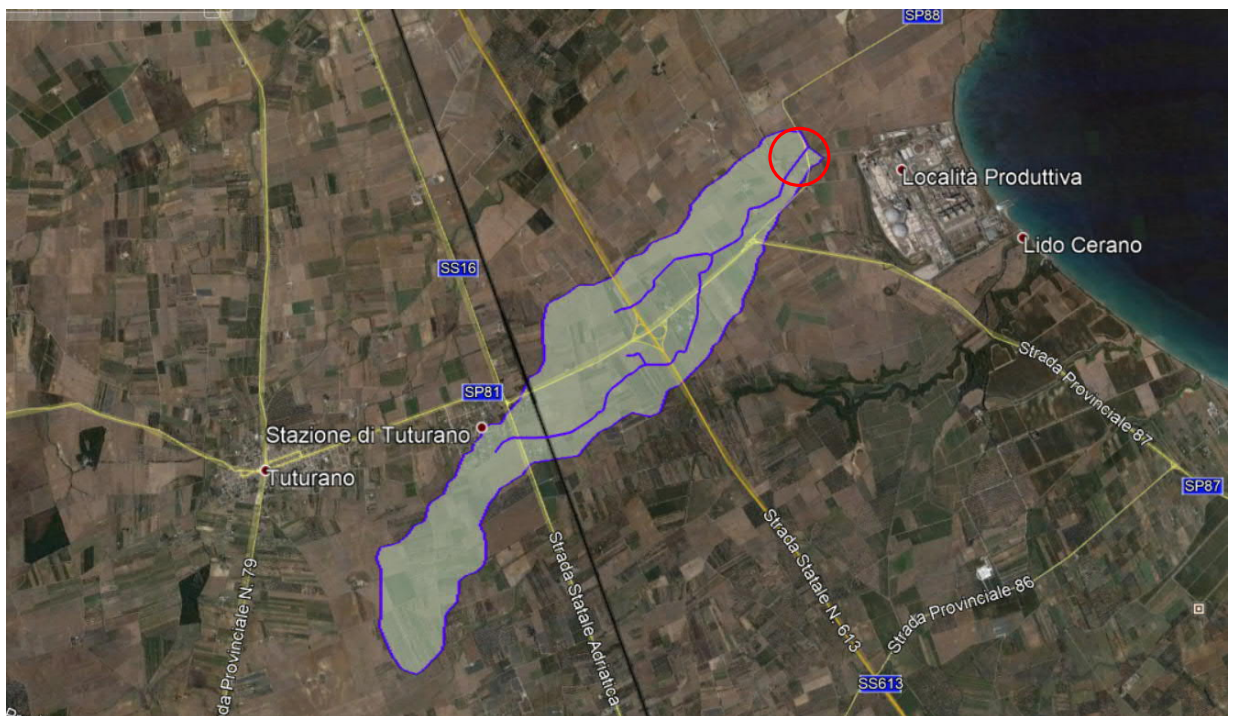
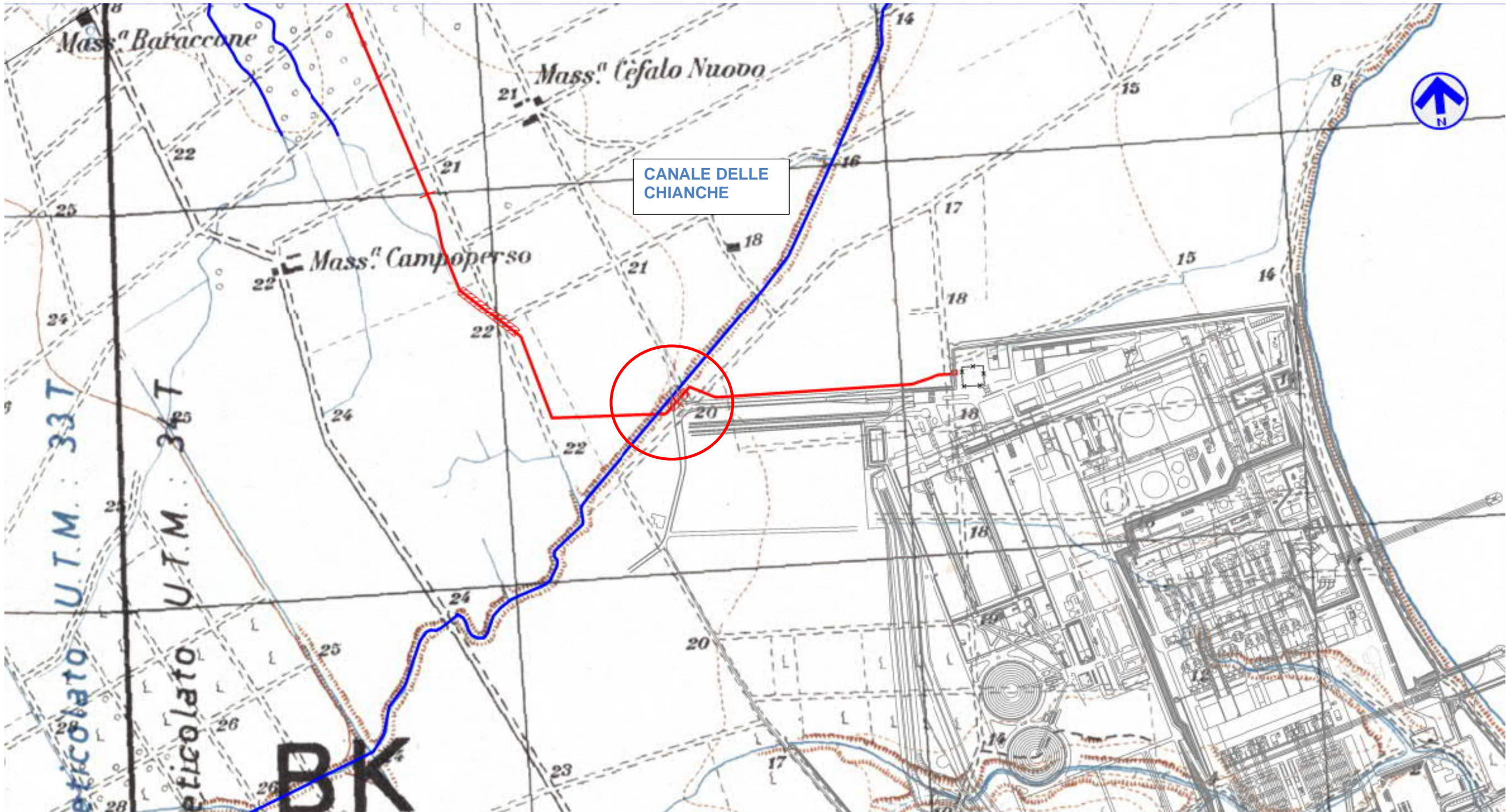


Fig. 2/B – Bacino idrografico del canale delle Chianche – nel cerchio rosso la zona interessata dall'attraversamento del canale delle Chianche

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 6 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Fig. 2/C - Individuazione della zona di attraversamento del Canale delle Chianche sulla Cartografia IGM 1:25.000



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 7 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

2.2 Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento

L'area dell'attraversamento si trova in comune di Brindisi, nel tratto del canale compreso tra il nastro trasportatore a servizio della Centrale Enel di Cerano a monte e la S.P. 88 a valle, in zona agricola.

Nel tratto oggetto di studio il canale è a sezione trapezia rivestito in cls e presenta delle sezioni con larghezza variabile alla base tra 3 e 4 metri; nel tratto a monte dell'asse attrezzato, il canale oltre alla savanella centrale ha delle ampie golene e dei corpi arginali la cui sommità supera di circa 2,7 m la quota di fondo alveo (vedi Fg.2.2/A)

All'interno e ai bordi del canale è presente della vegetazione costituita prevalentemente da erba ed arbusti, anche il fondo risulta ricoperto di specie vegetali cresciute nei frequenti periodi di secca.



Fig.2.2/A: Canale delle Chianche, zona a monte dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20"), in corrispondenza del sovrappasso della sez. 80 – vista verso nord

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 8 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103



Fig.2.2/B: Canale delle Chianche, zona a monte dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20"), in corrispondenza del sovrappasso dell'asse attrezzato sez. 70 – vista verso sud



Fig.2.2/C: Canale delle Chianche, zona a valle dell'attraversamento del metanodotto All. Centrale Enel Brindisi sud DN 500 (20") in corrispondenza della sez. 30 (valle S.P.88) – vista verso nord

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 9 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

3. METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM

Per l'attraversamento del Canale delle Chianche è prevista la posa del tubo di protezione mediante trivella spingitubo. La suddetta tecnica comporta le seguenti operazioni:

- scavo del pozzo di spinta;
- impostazione dei macchinari e verifiche topografiche;
- esecuzione della trivellazione mediante l'avanzamento del tubo di protezione, spinto da martinetti idraulici, al cui interno agisce solidale la trivella dotata di coclee per lo smarino del materiale di scavo.

Contemporaneamente alla messa in opera del tubo di protezione, si procede, fuori opera, alla preparazione del cosiddetto "sigaro". Questo è costituito dal tubo di linea, cui si applicano alcuni collari distanziatori che facilitano le operazioni di inserimento e garantiscono nel tempo un adeguato isolamento elettrico della condotta. Il "sigaro" viene poi inserito nel tubo di protezione e collegato alla linea.

Una volta completate le operazioni di inserimento, alle estremità del tubo di protezione vengono applicati i tappi di chiusura con fasce termorestringenti.

La sezione del corso d'acqua non verrà interessata dai lavori, la copertura minima del tubo di protezione dal fondo alveo sarà di 2 m, non verrà realizzata alcun tipo di opera idraulica né saranno necessarie opere di ripristino.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 10 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

4. STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di piena che si verificano in corrispondenza di eventi pluviometrici con determinati tempi di ritorno, in questo caso 200 anni.

A tal scopo, non avendo nel corso d'acqua oggetto di studio, delle sezioni strumentate in grado di fornire dei dati diretti di portata si è proceduto come segue:

- **Analisi pluviometrica** derivata dagli studi di regionalizzazione delle piogge per la Regione Puglia, condotti nell'ambito del progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- **Stima della pioggia netta**, ossia dell'aliquota della precipitazione che effettivamente contribuisce alla formazione dell'onda di piena nel corso d'acqua, depurata delle quantità perse per infiltrazione, immagazzinamento superficiale, evapo-traspirazione, etc.;
- **Modello di trasformazione afflussi-deflussi**, per il calcolo delle portate al colmo di piena con diversi tempi di ritorno e per la stima degli idrogrammi di piena; in analogia con gli studi condotti dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia è stato applicato il metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS).

4.2 Analisi Pluviometrica

Modello di regionalizzazione delle piogge

Il modello di regionalizzazione messo a punto in Italia nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, ha codificato una metodologia basata su:

- modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value), particolarmente adatto a descrivere la distribuzione di grandezze idrologiche (piogge e portate), perché spiega in modo plausibile la presenza dei valori straordinari (outliers) che caratterizzano le serie storiche.
- tecnica di regionalizzazione di tipo gerarchico, capace di ridurre al minimo l'incertezza nella stima dei parametri regionali.
- utilizzazione contemporanea di tutta l'informazione idrologica disponibile.

L'approccio gerarchico consiste nel:

- definire regioni omogenee rispetto al coefficiente di asimmetria teorico CS, ricavando così i valori di θ^* e Λ^* ;
- definire, all'interno delle regioni, delle zone omogenee rispetto al coefficiente di variazione teorico CV, fissando in questo modo Λ_1 ;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 11 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

- individuare delle sottozone caratterizzate da relazioni univoche tra il parametro θ_1 e delle variabili geografiche del territorio indagato (quota, esposizione...)

Questa struttura gerarchica, si lega in maniera soddisfacente con il comportamento dei parametri statistici che rappresentano le serie storiche.

Infatti il coefficiente di asimmetria non sembra risentire in maniera sensibile dei cambiamenti morfologici e così rimane costante in regioni ampie, mentre il coefficiente di variazione ha valori omogenei in zone meno estese.

Regionalizzazione delle piogge in Puglia

L'analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore è stata effettuata per il territorio della Puglia centro-meridionale ad integrazione di quanto effettuato in Puglia settentrionale da Claps et al., (1994).

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987).

I risultati hanno evidenziato (Castorani e Iacobellis, 2001) per l'area esaminata la consistenza di una Zona unica di primo e secondo livello che include la parte centro-meridionale del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

L'analisi di terzo livello, basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, ha portato all'individuazione di sei zone omogenee per tutta la Puglia, nella Zona 6 ricade la Penisola Salentina.

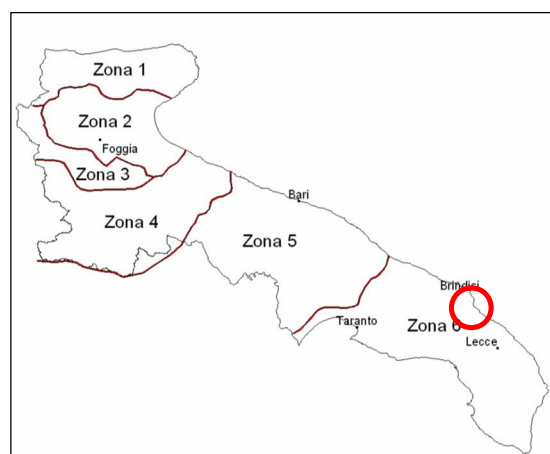



Fig. 4.2/A: Zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione

 Zona dell'attraversamento in progetto

Curva di possibilità pluviometrica

I bacini Brindisini ricadono nella zona omogenea 6, per la quale vale la seguente equazione della **Curva di Possibilità Pluviometrica**:

$$\text{Zona 6: } x(t, z) = 33.7 t^{[(0.488 + 0.0022z)/3.178]}$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 12 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

dove:

- t: durata della precipitazione
- z: quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico.

L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm. Per valutare la precipitazione con diversi tempi di ritorno, si usa la formula:

$$h_m \text{ [mm]} = x(t,z) \times K_T$$

dove:

- K_T : fattore di crescita ed è uguale a:

$$K_T = a + b \ln T$$
- a, b: parametri stimati dalla regionalizzazione di I e II livello che cambiano a seconda della zona.
- T: tempo di ritorno.

Nella Puglia centro-meridionale i valori di a e b sono:

- a=0.1599
- b=0.5166

Il valore del coefficiente di crescita K_T per i diversi tempi di ritorno sono riassunti nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	K_T
30 anni	1.917
200 anni	2.897
500 anni	3,370

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 13 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

4.3 Stima delle portate di piena

La valutazione idrologica per i corsi d'acqua del brindisino è stata condotta seguendo il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS). Questo metodo consente di ricavare l'idrogramma delle portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

Stima della pioggia netta

Il Curve Number, proposto nella procedura del Soil Conservation Service (SCS, 1972), è un parametro utilizzato per determinare l'aliquota di precipitazione netta che quindi contribuisce direttamente alla formazione del deflusso del bacino.

Il modello CN-SCS descrive un processo di produzione del deflusso di tipo prevalentemente hortoniano. Il meccanismo individuato da Horton, a cui si riconduce il comportamento dei bacini del territorio carsico pugliese, si verifica quando l'intensità della pioggia supera la velocità di infiltrazione del suolo, producendo un deflusso superficiale pari alla differenza fra volume piovuto e capacità di assorbimento nell'unità di tempo.

Il CN assume valori compresi tra 100 e 0 e rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

Il SCS ha classificato i vari tipi di suolo in 4 (quattro) gruppi così definiti:

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 14 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Valori del parametro CN (adimensionale) ↓ <i>Tipologia di Uso del Territorio</i>	← <i>Tipo idrologico Suolo</i> →			
	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
	buone condizioni	39	61	74
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
	Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tab.4.3/A: Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche, di copertura vegetale e delle condizioni medie di umidità (per AMC II)

L'SCS ha definito tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 15 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0 < P < 50
II (Umidità media)	50 < P < 110
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

Tab.4.3/B: Definizione delle classi di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Nel caso in esame, siamo in presenza di suolo di TIPO B, prevalentemente sabbioso, arenitico; in base all'interpolazione tra i tipi di suolo ed il loro uso, in condizioni di umidità media (AMC II) si è stimato il valore medio del Curve Number per il bacino considerato, pari a **CN=77,1**

Stima dell'idrogramma di piena

Per la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua oggetto di studio, il modello parte da un idrogramma di forma triangolare secondo la seguente figura:

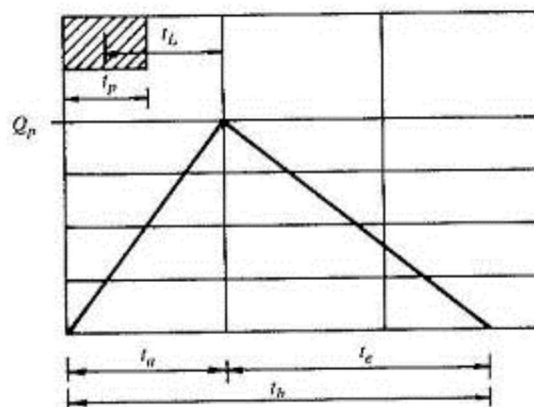


Fig.4.3/A: Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata ad colmo con metodo del Soil Conservation Service

L'idrogramma ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), per cui il volume V è risultante dall'area del diagramma che è pari a:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p \times t_b}{2}$$

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 16 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_e : tempo di esaurimento [h];
- t_b : durata evento di piena [h].

Il SCS ha realizzato un'analisi sperimentale dove ha stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume d'acqua pari al 37,5% del volume totale di deflusso, quindi la sua durata sarà 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b :

$$t_b = 2.67 \times t_a$$

Di conseguenza la portata di colmo è data dalla formula:

$$Q_p = 0.208 \times \frac{V \times A}{t_a}$$

dove:

- Q_p : portata di colmo [m³/h];
- V : volume di deflusso [mm];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- A : area bacino [Km²].

Si determina t_a considerando una precipitazione con intensità costante, di durata t_p secondo la seguente formula:

$$t_a = 0.5 \times t_p + t_L$$

dove:

- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_p : durata di pioggia [h];
- t_L : tempo di ritardo [h].

La formula per il calcolo del volume di deflusso che è funzione della precipitazione è la seguente:

$$V = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S}$$

dove:

- V : volume di deflusso;
- P : precipitazione totale;
- S : massima capacità di invaso dato dalla formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il tempo di ritardo (Lag Time), espresso in ore, viene calcolato secondo la formula di Mockus:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 17 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.3}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove:

- t_L : tempo di ritardo [h];
- CN: curve number;
- s: pendenza bacino [%];
- L: lunghezza asta fino alla sezione di chiusura [Km]

Inoltre, studi empirici dell'SCS dimostrano che il tempo di corrvazione t_c di un bacino è proporzionale al tempo di ritardo:

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$

e sostituendo alle formule precedenti si trovano le seguenti relazioni:

$$t_p = \frac{t_L}{4.5}$$

$$t_a = \frac{t_L}{0.9}$$

Nella tabella seguente si riportano i valori del bacino oggetto di studio, assunti per la simulazione:

PARAMETRI IDRO-GEOMORFOLOGICI						
Area Bacino [Kmq]	Pendenza media del Bacino s [%]	CN	t_L [h]	t_c [h]	t_p [h]	t_a [h]
5,9	0.00435	77.1	5.03	8.38	1.12	5.58

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 18 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

4.4 Idrogramma adimensionale di Mockus

L'idrogramma unitario è stato costruito utilizzando il metodo di Mockus utilizzando i due fattori caratteristici del bacino oggetto di studio t_a (tempo di accumulo che è la durata del tempo di crescita) e Q_p (portata di colmo) considerando un volume di deflusso unitario ($V=1$).

Questi valori sono messi in relazione con la generica portata Q all'istante generico t utilizzando, quindi, come variabili adimensionali i rapporti t/t_a e Q/Q_p .

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica dell'idrogramma di piena in funzione del tempo di ritorno:

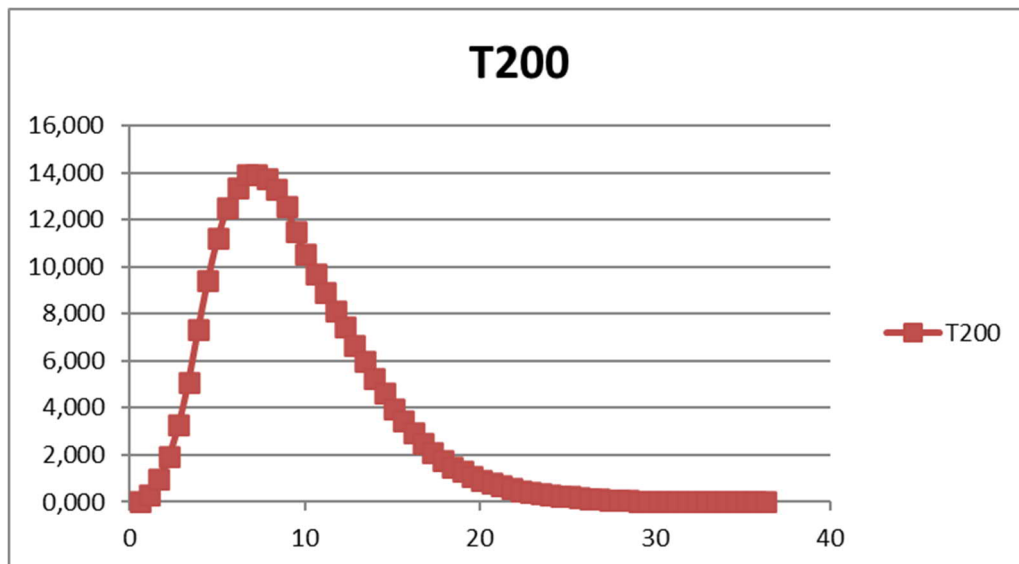


Fig.4.4/A: Idrogramma di piena del bacino del Canale delle Chianche alla sezione di chiusura con $T_r=200$ anni

e i valori delle portate al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno:

PORTATE AL COLMO DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO		
T ritorno [anni]	Coefficiente di Crescita KT	QMAX [mc/s]
30	1.917	6.87
200	2.897	13.90
500	3.370	17.65

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 19 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

5. STUDIO IDRAULICO

5.1 Premessa

La modellazione idraulica eseguita sul Canale delle Chianche è stata condotta sull'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, che è indicato come scenario di media probabilità dalla direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 ed è assunto dall'Autorità di Bacino come evento di riferimento per determinare le condizioni di sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

La portata al colmo di piena assunta per la simulazione è stata **$Q_{200} = 13,90 \text{ m}^3/\text{s}$**

Il modello ha seguito una simulazione in moto permanente della portata al colmo di piena con T_r 200 anni per la definizione di eventuali fenomeni di esondazione nelle sezioni d'alveo;

È stata inoltre elaborata una perimetrazione delle aree allagate, prendendo in considerazione i tiranti idrici raggiunti in corrispondenza dell'evento duecentennale.

I limiti della perimetrazione sono legati alla brevità del tratto oggetto di studio, che non permette di tenere in considerazione i fenomeni avvenuti a monte nel corso d'acqua ed al modello idraulico monodimensionale in moto permanente.

Da sottolineare comunque che la conoscenza delle aree allagate non riveste un ruolo fondamentale al fine di dimostrare la compatibilità idraulica del metanodotto in progetto, in quanto l'opera è completamente interrata e non costituisce un impedimento al deflusso delle acque esondate né al ritorno in alveo delle stesse.

5.2 Descrizione del modello idraulico

Per la determinazione del profilo della superficie libera del corso d'acqua si sono utilizzate le equazioni del moto permanente di una corrente a pelo libero, risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0).

La prima fase della modellazione consiste nel fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua del tratto che si desidera analizzare utilizzando la finestra Geometric Data, all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (Reach) e la geometria delle sezioni (Cross Section Data). All'interno della finestra Cross Section Data, oltre alla geometria della sezione è necessario inserire la distanza fra le sezioni (Reach Length), il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning, inoltre, è possibile definire la posizione delle sponde (Left and Right Bank) e degli argini (Levees) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (Ineffective Flow Areas) e delle coperture (Lids).

All'interno della finestra Geometric Data sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (XS Interpolation), molto utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; il programma permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 20 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

(Bridge and Clvert Data) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (Deck/Roadway), le pile (Piers), le spalle (Sloping Abutments) e le condizioni di calcolo (Bridge Modelling Approach); si possono inserire inoltre strutture perpendicolari al corso d'acqua (Inline Structure), sfioratori laterali (Lateral Structure) e casse di laminazione (Storage Area).

Una volta completata l'inserzione dei dati geometrici, si passa all'inserimento dei dati di portata tramite il comando Steady Flow Data, in caso di moto permanente.

In caso di moto permanente, all'interno della finestra Steady Flow Data è necessario definire il numero dei profili da calcolare, i dati di massima portata (almeno una portata per ogni ramo e per ogni profilo) e le condizioni al contorno (Reach Boundary Conditions). Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle a seconda che si intenda eseguire un'analisi in regime di corrente lenta, veloce o mista) e comprendono: quota del fondo alveo (Know Water Surface Elevation); altezza critica (Critical Depth); altezza di moto uniforme (Normal Depth); scala di deflusso (Rating curve). A questo punto è possibile passare ad eseguire la simulazione idraulica in moto permanente tramite il comando Steady Flow Analysis.

I risultati delle computazioni idrauliche sono riassunti in tabelle riepilogative (Detail Output Tables e Profile Summary Table), immagini relative alle sezioni geometriche utilizzate (Plot Cross-Section) e al profilo longitudinale (General Plot Profile e Water Surface Profile) e, infine, con una visione tridimensionale del sistema fluviale (X, Y, Z Perspective Plot).

5.3 Descrizione del modello matematico

Moto permanente

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite. Questa equazione differenziale è la seguente:

$$\frac{dH}{ds} = -S_f \quad (4)$$

con:

$$H = z + \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

in cui:

H = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa s misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

S_f = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

z = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 21 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

v = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa s ;

g = accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite l'equazione (4), applicata tra due sezioni distanti Δs , può essere scritta come:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta s \quad (6)$$

in cui:

H_1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H_2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

S_{fm} = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Tenendo conto della relazione (5) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e finale la (6) diviene:

$$z_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot A_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{Q^2 \cdot n^2}{A_1^2 \cdot R_1^3} + \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_2^2 \cdot R_2^3} \right] \cdot \Delta s = 0 \quad (7)$$

in cui:

Q = portata;

A_1 = area bagnata della corrente nella sezione iniziale;

A_2 = area bagnata della corrente nella sezione finale.

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione del solo tirante idrico. L'equazione (7) permette di determinare il valore del tirante nella sezione finale di un tratto di corrente lungo Δs , una volta noto il suo valore in corrispondenza della sezione iniziale (condizione al contorno).

Per conoscere, quindi, il del profilo relativo alla zona in esame del corso d'acqua, occorre suddividere il tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Il programma Hec-Ras permette la determinazione del profilo secondo tre schemi di calcolo:

- **Corrente lenta (Subcritical Flow):** è applicabile quando la corrente è ovunque lenta (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è maggiore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di valle del tratto considerato;
- **Corrente veloce (Supercritical Flow):** è applicabile quando la corrente è ovunque veloce (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è minore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di monte del tratto considerato;
- **Corrente mista (Mixed Flow):** è applicata quando nel tratto in esame si possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro, dando luogo ad una successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto. Questa condizione nel caso di transizione da corrente veloce a lenta porterà alla formazione di

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 22 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

risalti idraulici. Tale schema richiede che siano definite due diverse condizioni al contorno in corrispondenza delle sezioni (di monte e di valle) del tratto considerato.

Nella simulazione del tratto oggetto di studio si è utilizzata la condizione di corrente mista. Nella condizione di moto permanente sarà sufficiente introdurre il valore della portata in ingresso a monte, eventuali cambiamenti della stessa (dovuta a immissioni localizzate o distribuite) e le condizioni al contorno nella sezione a valle del tronco in esame.

Le perdite di carico sono determinate tramite l'equazione di Manning, in particolare, in corrispondenza di brusche variazioni di velocità dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione. Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, etc...) nelle quali si crea una brusca variazione nel profilo della corrente, sono calcolate attraverso la conservazione della spinta totale.

Equazione di Manning

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza l'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{v^2 \cdot n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (1)$$

in cui:

- S_f = perdita di carico distribuita ;
- v = velocità media della corrente ;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno bagnato);

La portata della corrente liquida può essere calcolata secondo la seguente espressione:

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dove:

- S_f = perdita di carico distribuita;
- K : conveyance, definisce la capacità di portata ed è dato dalla seguente formula:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- A = area sezione bagnata;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 23 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area e il perimetro della sezione bagnata).

5.4 Modellazione idraulica del Canale delle Chianche

Premessa

Il primo passaggio consiste nell'inserimento della geometria del tratto analizzato del Canale delle Chianche.

In particolare sono state inserite **9 sezioni** numerate dalla 90 alla 10 proseguendo da monte verso valle, distribuite lungo un tratto di studio di circa 500 m.

Una volta inserita la geometria è stata eseguita una simulazione in moto permanente, allo scopo di effettuare un'analisi delle criticità del canale, individuando i tiranti idrici nelle diverse sezioni.

Per l'analisi in moto permanente è stata utilizzata la portata di picco dell'idrogramma di piena relativo a un tempo di ritorno di 200 anni, pari a **Qp=13,9 m³/s**.

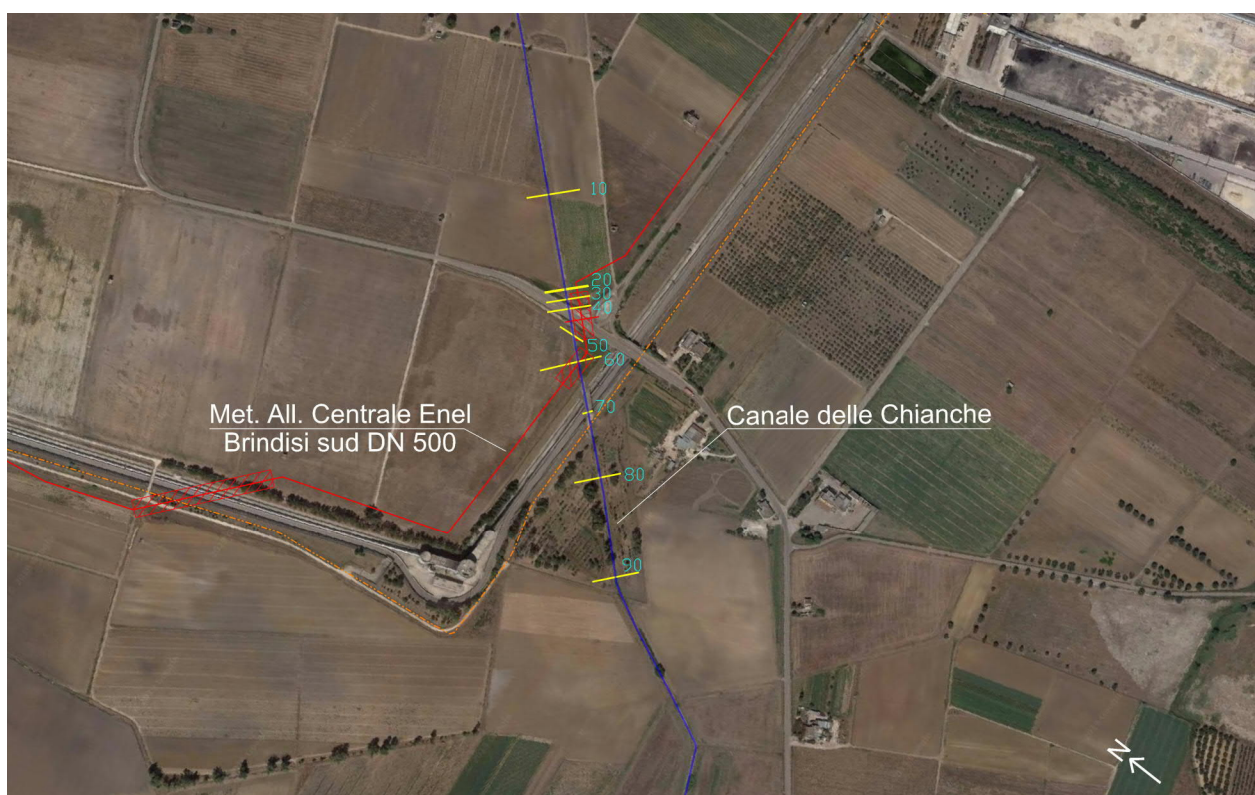


Fig.5.4/A: Tratto del canale analizzato con indicazione delle sezioni studiate

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 24 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici.

Per il calcolo del coefficiente di Manning si fa riferimento ai valori tabulati da Chow, 1959, per corsi d'acqua minori cioè con larghezza a piene rive minore di 30 metri:

COEFFICIENTE DI MANNING n [s/m^{1/3}]			
Tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Tab. 5.4/B Valori del numero di Manning per corsi d'acqua minori da Chow V. T., 1959

Nella presente simulazione è stato assunto un **coefficiente n di Manning pari a 0.03 m^{-1/3}s** per l'alveo.

Condizioni al contorno e iniziali

Si è considerato un unico profilo al tempo di ritorno T=200 anni del quale si è inserita la portata nella sezione di monte del tratto considerato pari a 13.9 m³/s.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 25 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Si devono poi inserire le condizioni al contorno:

- Caso di corrente lenta: è sufficiente solo la condizione a monte;
- Caso di corrente veloce: è sufficiente solo la condizione a valle;
- Corrente mista: si devono inserire le condizioni sia a monte che a valle.

Si è effettuato il calcolo con un regime di tipo misto per cui si è imposta un'inclinazione media del canale sia a monte che a valle pari a $s=0.01$.

Risultati del calcolo

Di seguito si riportano i risultati della simulazione dove i parametri riportati in tabella sono:

- RS = Sezione (River Station)
- Q = Portata totale;
- Z_{min} = Quota minima della sezione;
- Y = Altezza pelo libero;
- H_c = Altezza dello stato critico;
- E(h) = Energia calcolata per un determinata altezza idrica;
- i = Pendenza della linea dell'energia;
- v = velocità media del flusso nel canale principale;
- A = Area totale del flusso nella sezione di attraversamento;
- H_{max} = Altezza massima;
- F_r = numero di Froude che può essere:
 - $F_r > 1$ corrente veloce;
 - $F_r = 1$ corrente critica;
 - $F_r < 1$ corrente lenta.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 26 di 38	Rev. 0

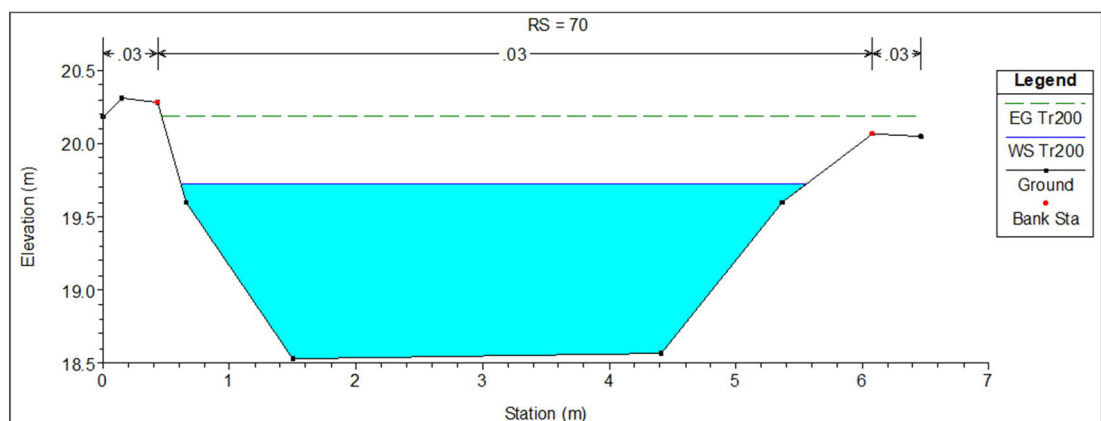
Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=200 anni										
RS	Q	Z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	-
90	13.90	19.66	20.97	20.97	21.22	0.006070	2.46	7.09	13.37	0.77
80	13.90	19.01	20.50	20.32	20.63	0.002675	1.82	9.79	15.37	0.53
70	13.90	18.53	19.72	19.72	20.19	0.011817	3.02	4.60	4.94	1.00
60	13.90	18.40	19.42	19.19	19.45	0.002017	1.03	18.78	75.09	0.41
50	13.90	18.20	19.22		19.33	0.004277	1.71	10.41	25.36	0.63
40	13.90	17.87	19.19	19.10	19.24	0.001709	1.30	17.63	49.21	0.41
35	Culvert									
30	13.90	17.87	19.16		19.22	0.002188	1.44	16.11	49.09	0.46
20	13.90	17.87	19.16		19.22	0.002261	1.46	15.91	49.07	0.47
10	13.90	17.14	18.58	18.51	18.81	0.005002	2.28	17.47	44.73	0.70

Tab. 5.4/C: Risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=200 anni

Di seguito viene rappresentata la sezione relativa all'attraversamento (sez. 60) del metanodotto e le sezioni immediatamente a monte (sez. 70) e a valle (sez. 50), con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=200 anni:

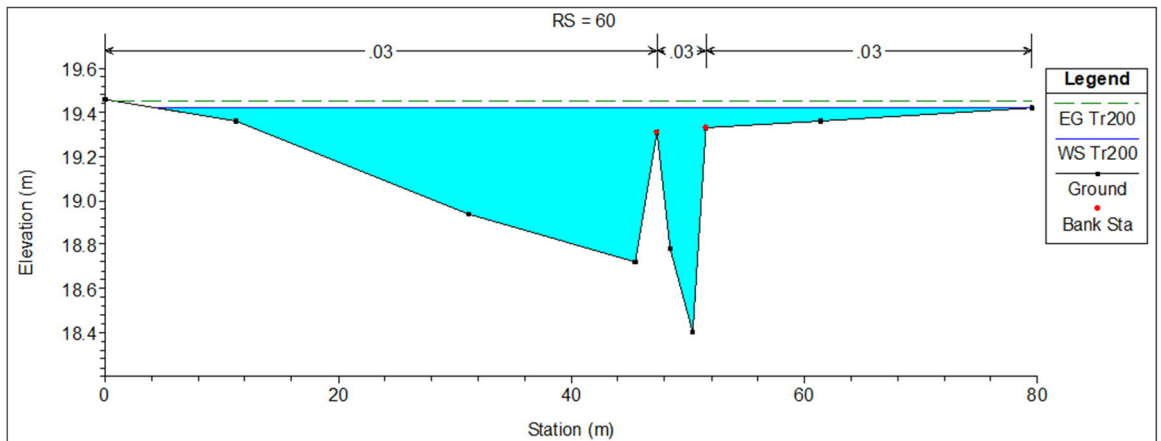
Sezione 70 monte attraversamento



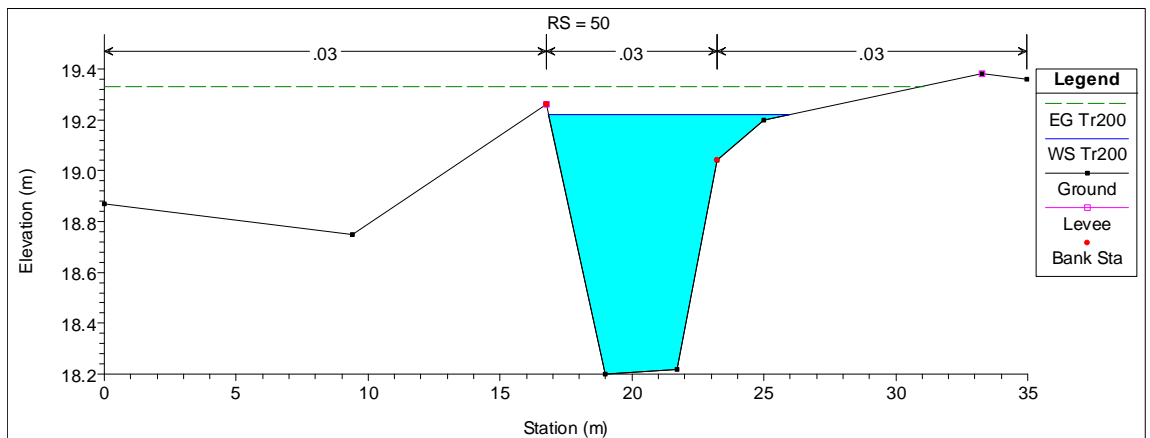
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 27 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

Sezione 60 in corrispondenza dell'attraversamento



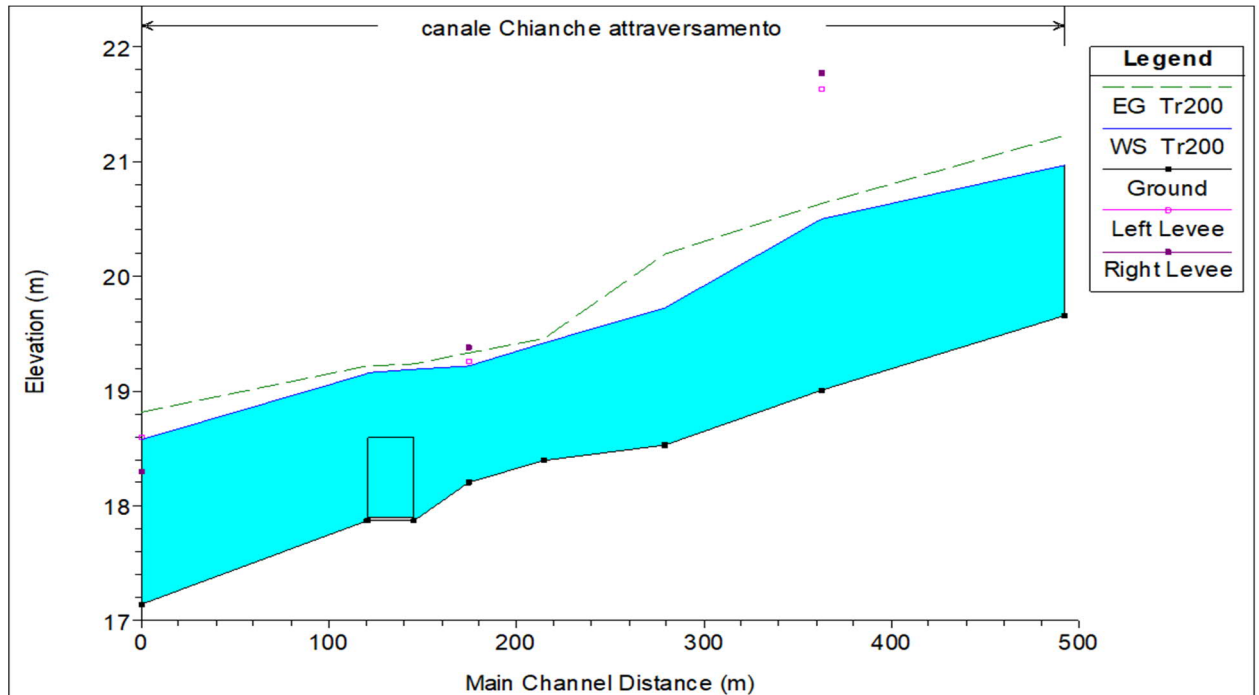
Sezione 50 valle attraversamento



Dal **profilo longitudinale** del Canale delle Chianche, riportato nella seguente figura, si evince che la corrente è in tutti i tratti lenta.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 28 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103



Dai risultati della simulazione in moto permanente, l'alveo del canale presenta un comportamento distinto tra il tratto a monte dell'asse attrezzato policombustibile a servizio della Centrale Enel e il tratto a valle, in prossimità dell'attraversamento della S.P.88.

Nel tratto di monte, le sez.90 e 80 sono ampie con corpi arginali dimensionati per il transito di portate con tempi di ritorno superiori a 200 anni, il franco di sicurezza rispetto ai tiranti idrici raggiunti dal colmo di piena è superiore ad 1 m lungo tutto il tratto.

Il canale nella sezione di attraversamento dell'asse attrezzato (sez.70), risulta ancora in grado di smaltire la portata simulata; procedendo verso valle, nell'area di attraversamento del metanodotto, la situazione cambia e nelle sezioni dalla 60 alla 10 la piena non viene contenuta in alveo, fatta eccezione per la sezione 50, dove comunque il franco di sicurezza rispetto alla sponda sinistra risulta di pochi cm.

Il tombone posto in sottopasso alla S.P.88 non è dimensionato per lo smaltimento della piena duecentennale e manda in crisi il tratto immediatamente a monte.

Anche a valle della strada provinciale le sezioni non smaltiscono la piena andando in crisi soprattutto in destra idrografica.

A seguito delle simulazioni eseguite, si ritiene cautelativo, anche in vista di eventuali sistemazioni dell'alveo finalizzate al contenimento della portata di piena duecentennale, posizionare il metanodotto in tubo di protezione ad una profondità di circa 2 m dal fondo dell'attuale alveo e mantenere tale profondità anche sotto le sponde laterali, in modo da evitare qualsiasi interferenza futura.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 29 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

6. PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

6.1 Premessa

I risultati della simulazione con la portata duecentennale evidenziano un'area di esondazione nel tratto a monte e a valle della S.P.88.

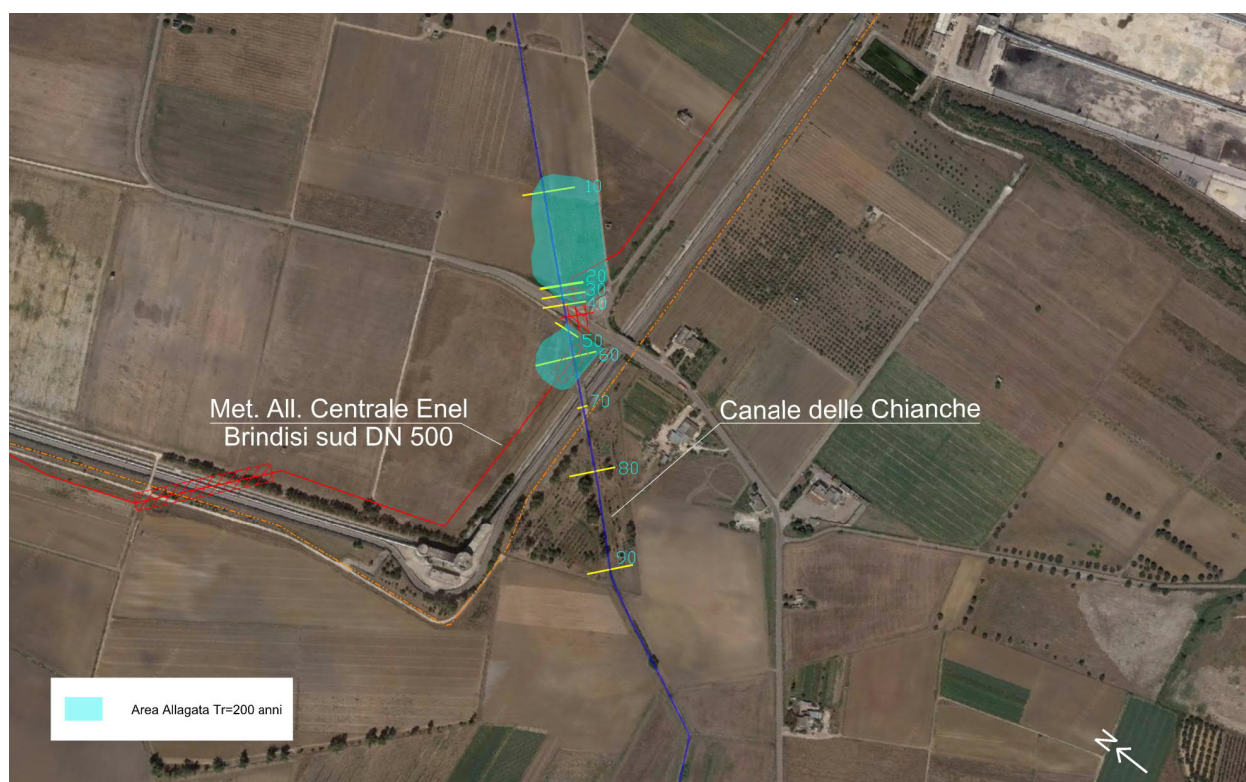


Fig. 6.1/A Perimetrazione delle Aree Allagate con Tr 200 anni

Come si evince dalla Fig. 6.1/A, nell'area oggetto di studio gli allagamenti sono limitati al tratto a valle dell'asse attrezzato policombustibile, dove il corso d'acqua presenta sezioni con dimensioni inferiori rispetto al tratto di monte.

Il tratto di canale a monte dell'asse attrezzato non presenta criticità, risulta dimensionato in maniera idonea a smaltire la piena duecentennale.

A valle del nastro trasportatore Enel le sezioni del canale, in particolare in corrispondenza del tombone della S.P.88, non risultano idonee a smaltire il colmo di piena e in particolare:

- **a monte della S.P. 88** dal confronto tra i valori dei tiranti idrici stimati con simulazione in moto permanente (valore 19,2 mslm) e le quote topografiche del terreno e dei manufatti nell'area circostante, l'esondazione rimane contenuta a sud dal confine dell'asse attrezzato, la cui recinzione è posta su un modesto rilevato ed a nord dal rilevato della S.P.88, posto a quota 20,4 mslm;

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 30 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103



Fig. 6.1/B Tombone in corrispondenza del sottopasso della S.P.88, vista da sud

- a valle della S.P 88**, nessuna delle sezioni studiate è in grado di smaltire la piena duecentennale, che esonda allagando i terreni agricoli circostanti. Il tirante idrico nella sez. 20 è pari a 19,16 mslm, in destra idraulica l'allagamento è contenuto dalla strada bianca interpodereale, che corre parallela al canale delle Chianche a circa 65 m di distanza, il cui piano stradale è posto a quota 19,2 mslm. In sinistra idrografica la piena viene contenuta dal rilevato della S.P.88 e dal graduale innalzamento delle quote topografiche circostanti.

I risultati della simulazione in moto permanente confermano quanto visibile già in sede di sopralluoghi, il tratto di canale artificiale e rettilineo che procede verso il ponte che supera l'asse attrezzato ha sezioni trapezoidali ben profilate, con una savanella centrale dove scorrono le portate di magra, ampie aree golenali e corpi arginali che si elevano oltre 2,5 m rispetto al fondo alveo. In questa zona il colmo di piena viene contenuto con un franco sempre almeno pari a 1 m

A valle dell'asse attrezzato la situazione muta radicalmente e si verificano le criticità descritte sopra.

Seppur il tratto di canale che presenta le maggiori criticità idrauliche sia in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto in progetto, si ribadisce che l'opera è completamente interrata, non sono previsti manufatti fuori terra, né verrà in alcun modo modificata la permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 31 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

7. EROSIONE

Essendo l'opera in oggetto una condotta interrata posta al di sotto di un alveo fluviale, l'erosione risulta essere solitamente un dato fondamentale dello studio idraulico, in quanto, se si fosse in presenza di un'intensa attività erosiva, il fondo potrebbe essere scavato fino a raggiungere la condotta minandone la stabilità. Facendo delle considerazioni sulla morfologia dell'alveo si può stimare a grandi linee se l'alveo è potenzialmente soggetto o meno a fenomeni erosivi.

Come emerso dal sopralluogo in campo, allo stato attuale il canale delle Chianche, nel tratto interessato dall'attraversamento, risulta rivestito in calcestruzzo, pertanto si può considerare nulla l'attività erosiva del corso d'acqua.

8. CONCLUSIONI

Per la verifica della compatibilità idrologico-idraulica del Metanodotto "Allacciamento Centrale ENEL di Brindisi Sud DN 500 (20") DP 75 bar" è stato condotto uno studio idrologico/idraulico utilizzando i valori dell'idrogramma di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Per il calcolo della curva di possibilità pluviometrica è stato utilizzato il modello VAPI del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, relativamente alla zona 6. Per la stima dell'idrogramma di piena è stato adottato il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS), che consente di ricavare le portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

La portata di picco dell'idrogramma di piena per un tempo di ritorno di 200 anni utilizzata per la simulazione idraulica è stata **Q=13,9 m³/s**.

Per la verifica idraulica è stato utilizzato il software HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0.1). È stata eseguita una simulazione in moto permanente monodimensionale.

Dalla simulazione in moto permanente l'alveo del canale risulta in grado di smaltire agevolmente la portata di piena duecentennale lungo la zona a monte dell'attraversamento dell'asse attrezzato policombustibile. Al contrario, nel tratto di valle, compreso tra le sezioni 60 e 10, dove è previsto l'attraversamento del canale da parte del metanodotto in progetto il colmo di piena duecentennale non viene contenuto in alveo.

In ogni caso si può affermare che l'opera è compatibile idraulicamente con il corso d'acqua attraversato in quanto è interrata e non costituisce un ostacolo al libero deflusso dell'espansione della piena nei terreni agricoli circostanti.

L'opera inoltre non modifica la permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 32 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

La sua realizzazione non determina alterazioni della geometria dell'alveo che non verrà interessato dai lavori di costruzione, poiché l'attraversamento sarà realizzato tramite trivellazione spingitubo.

Per quanto riguarda il problema del trasporto solido, allo stato attuale il canale delle Chianche, nel tratto interessato dall'attraversamento, risulta rivestito in calcestruzzo, pertanto si può considerare nulla l'attività erosiva del corso d'acqua.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 33 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

9. ANNESSI

- ANNESSO 1: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20”), DP 75 bar	Pagina 34 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

10. BIBLIOGRAFIA

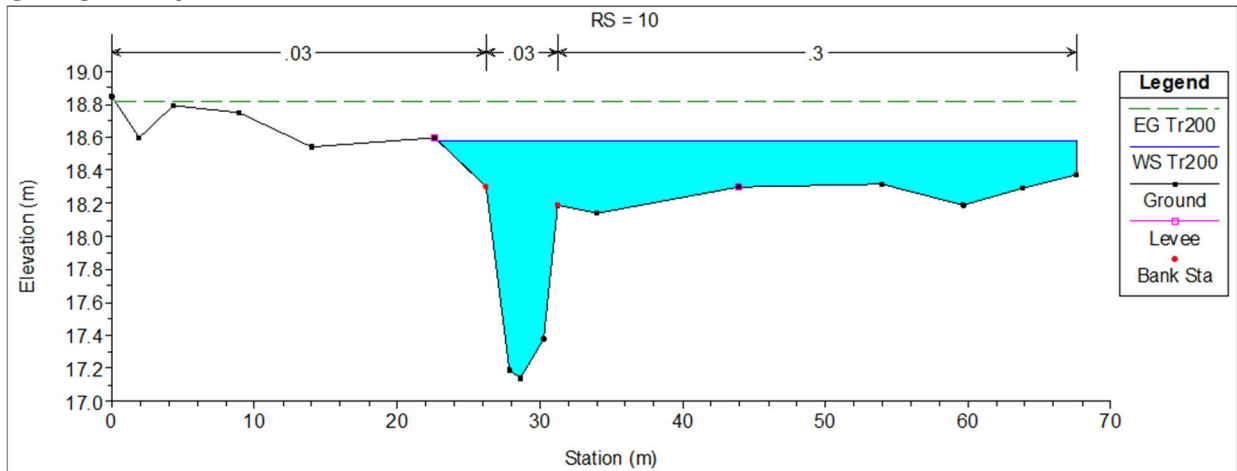
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA - “Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi Ed. dicembre (2012)”
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA – Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) (2004).
- CHOW V.T. “Open Channel Hydraulics” McGraw-Hill, 1959.
- COPERTINO V., FIORENTINO M. (a cura di) "Valutazione delle piene in Puglia", CNR-GNDCI, Potenza, 1992.
- ROSSI F., FIORENTINO M., VERSACE P. “Two component extreme value distribution for flood frequency analysis”, Water Resour. Res., Vol. 20, n.7, pp.847-856, 1984.
- RUWA srl acqua territorio energia – Modellistica Idrologica e Idraulica (2010)
- Schoklitsch A. (1962) - Handbuch des Wasserbaues, 3rd edn. Springer, Vienna, 1-475
- Soil Conservation Service (SCS), National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, 192
- US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System, User’s Manual.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 35 di 38	Rev. 0

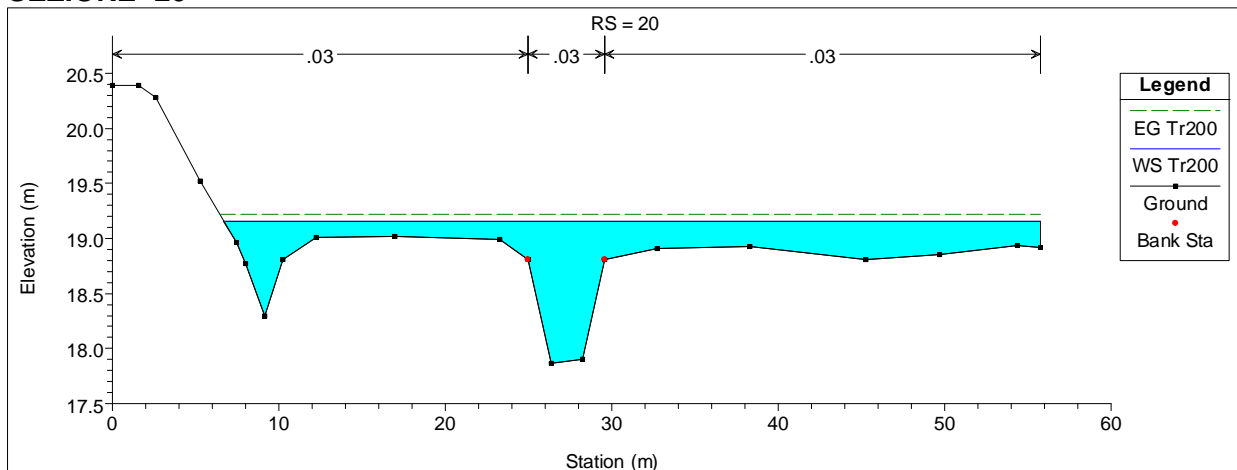
Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

ANNESNO 1

SEZIONE -10



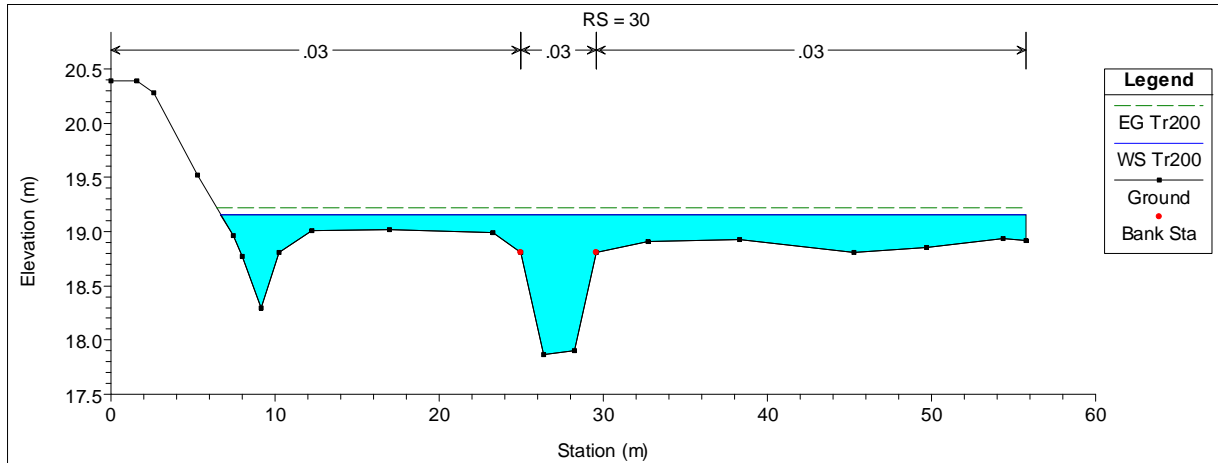
SEZIONE -20



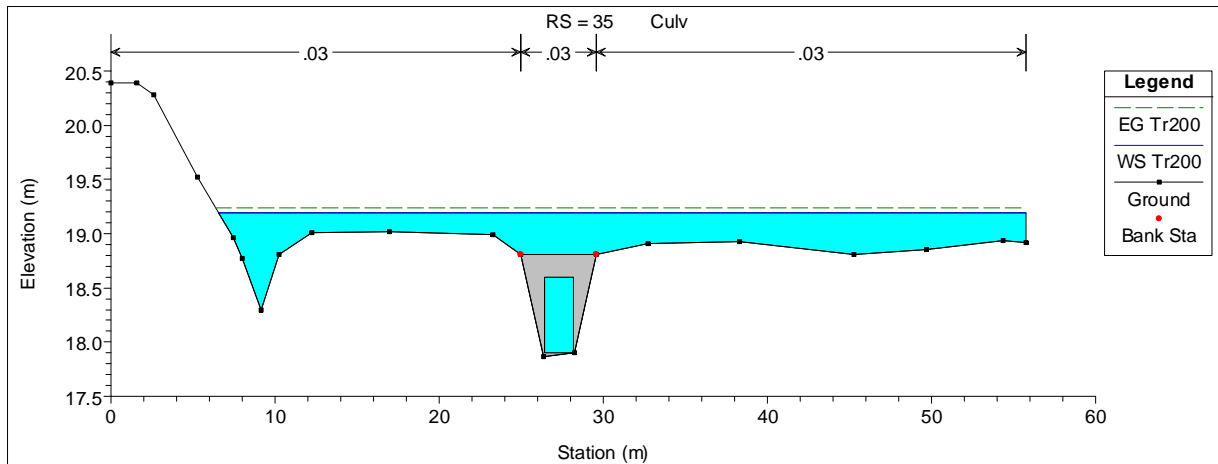
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 36 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

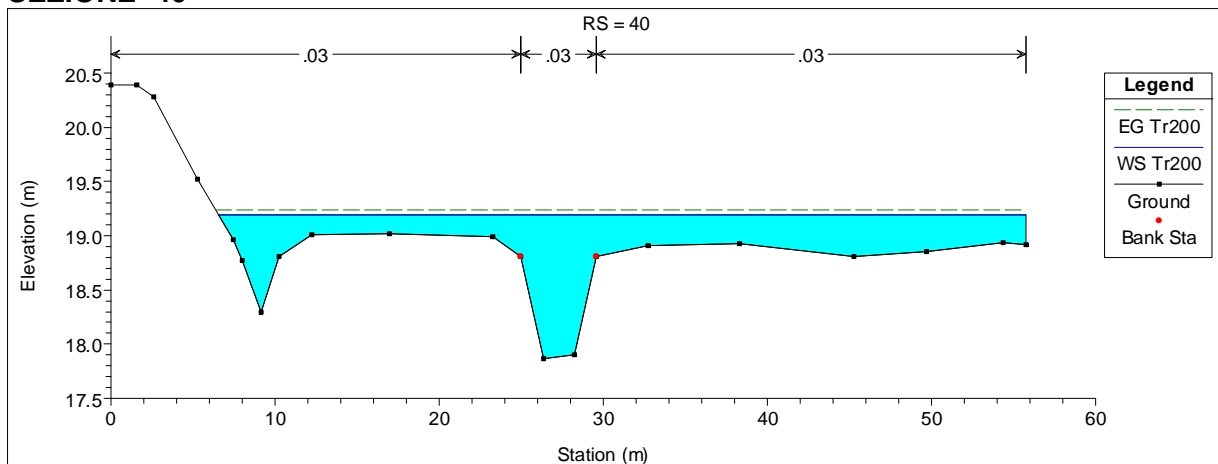
SEZIONE -30



SEZIONE -35 - Culvert



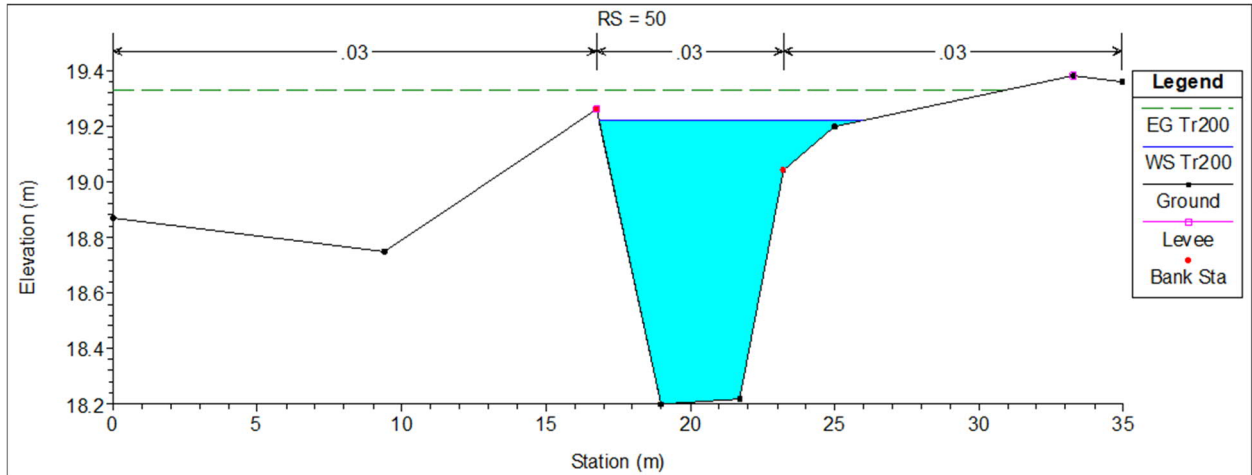
SEZIONE -40



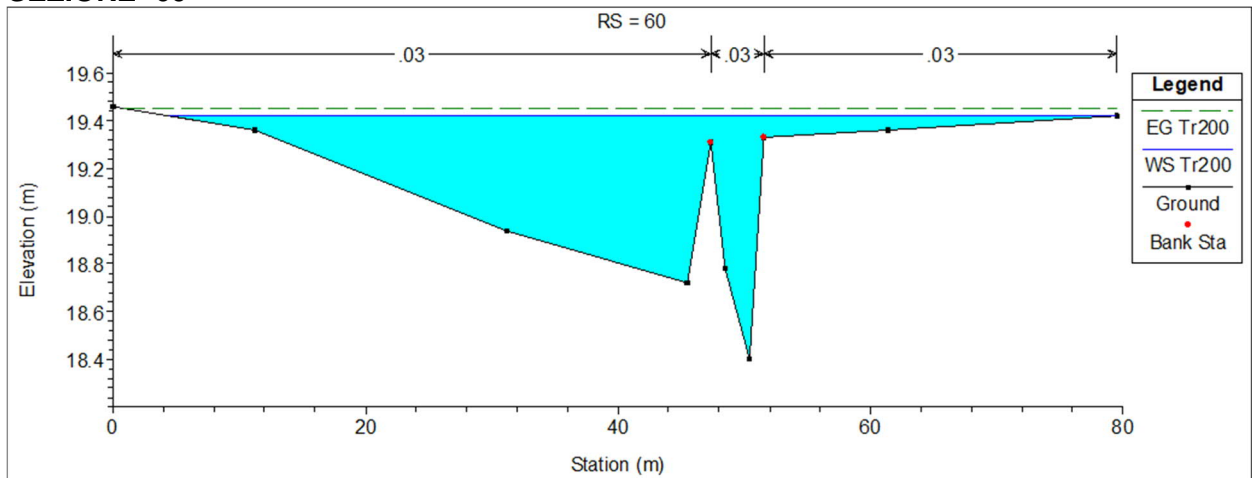
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 37 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

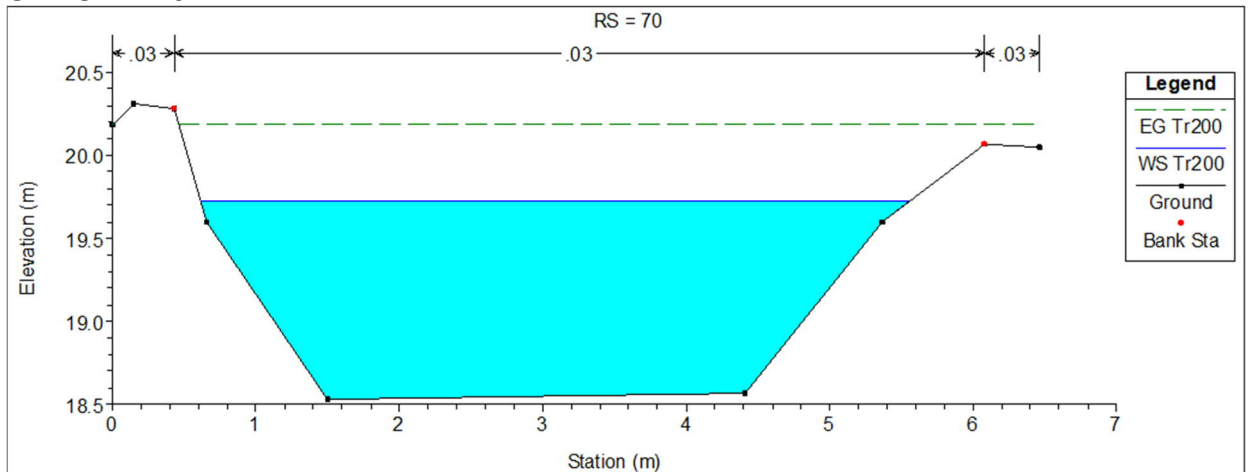
SEZIONE -50



SEZIONE -60



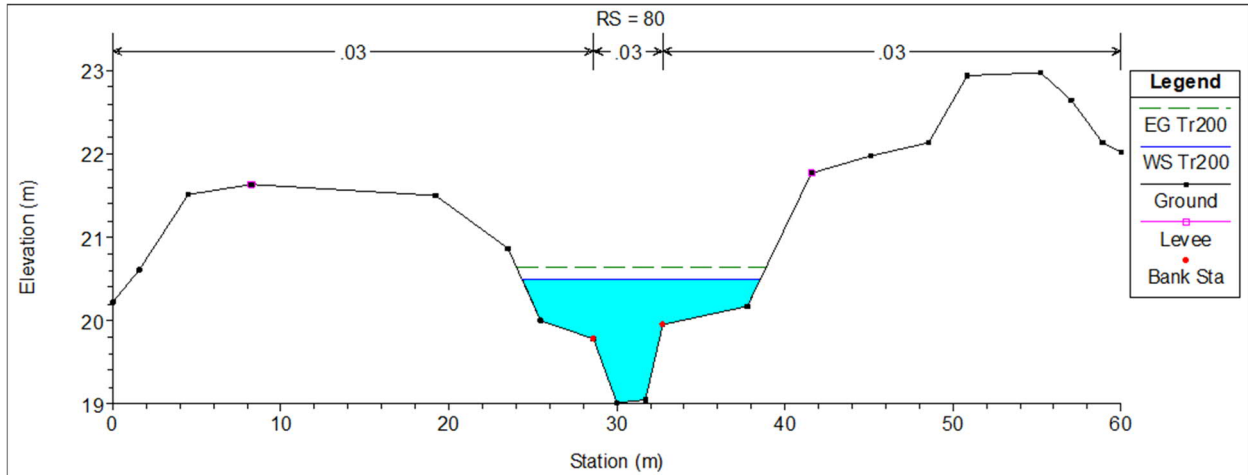
SEZIONE -70



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/19373	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-103	
	PROGETTO ALLACCIAMENTO CENTRALE ENEL DI BRINDISI SUD DN 500 (20"), DP 75 bar	Pagina 38 di 38	Rev. 0

Rif. TFM: 011-PJM4-007-RE-IDR-103

SEZIONE -80



SEZIONE -90

