COMUNE DI MENDATICA

PROVINCIA DI IMPERIA

RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' IDRAULICA DEL TORRENTE ARROSCIA CON LA CONTESTUALE MESSA IN SICUREZZA DEI VERSANTI LIMITROFI LA VIABILITA PROVINCIALE E GLI IMMOBILI COMUNALI

RELAZIONE IDRAULICA

Richiedente: Comune di Mendatica

Tecnico: Ing. Luca Tarantino
via XX Settembre, 34 - Sanremo (IM)
tel. 0184996061 – fax 0184996017
ing.tarantino@lucatarantino.it
luca.tarantino@ingpec.eu



INDICE

1. INTRODUZIONE 2
2. DESCRIZIONE DEL TRATTO INDAGATO 2
3. OPERE IN PROGETTO 3
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO 4
5. PORTATE DI PIENA 5
6. SIMULAZIONI IDRAULICHE 5
6.1 STATO ATTUALE 8
6.2 PROGETTO 8
7. DIMENSIONAMENTO OPERE 9
8. CONCLUSIONI 13

ALLEGATI:

Perimetrazione bacino
Simulazione Hec-Ras 4.1.0:

- Stato attuale - Plan: Stato Attuale Ottobre 2020
- Stato di progetto - Plan: Stato Progetto post Ottobre 2020

1. INTRODUZIONE

La presente relazione idraulica è redatta a corredo del progetto di ripristino dell'officiosità idraulica del Torrente Arroscia con la contestuale messa in sicurezza dei versanti e del terreno su cui sorgono gli immobili comunali limitrofi la viabilità provinciale nel Comune di Mendatica.

Nell'ambito di tale progetto sarà effettuata la sistemazione della sponda sinistra del tratto del T. Arroscia a valle del ponte della S.P. 3, inoltre verranno ripristinati i terrazzamenti che caratterizzavano, e di cui è ancora possibile vedere le porzioni non erose dalla piena, le zone prospicienti il vecchio mulino. Proprio una parete e le fondazioni del fabbricato più a valle risultano scoperte, necessitando quindi di un urgente intervento finalizzato alla protezione degli stessi.

Nel seguito, dopo alcuni cenni inerenti al sito di interesse ed alla tipologia di interventi previsti, sono riportate le verifiche idrauliche svolte per il dimensionamento delle opere in progetto.

Il presente studio è stato redatto in accordo con quanto previsto dalla normativa di riferimento, rappresentata essenzialmente dal "Piano di Bacino, Ambito n°9 - Centa" e dal Regolamento Regionale n. 3/2011 e s.m.i..

Le verifiche idrauliche sono state svolte sui rilievi effettuati dal Geom. Giovanni Velizzone di Andora (SV), a seguito degli eventi alluvionali di ottobre 2020, integrati con misurazioni in loco, e sovrapposti, per quanto possibile al rilievo di maggio 2020.

Si fa però presente che il rilievo del torrente di maggio era stato eseguito con la stazione totale, mentre quello post-alluvione con drone e laser-scanner. La restituzione grafica di quest'ultimo è una ortofoto a livello planimetrico, e una nuvola di punti da cui sono state estratte le sezioni rappresentative del corso d'acqua.

2. DESCRIZIONE DEL TRATTO INDAGATO

Il tratto di corso d'acqua oggetto della presente indagine ha uno sviluppo di ca. 170 metri.

Per poter svolgere le considerazioni riportate di seguito è stato infittito con nuove sezioni nel tratto interessato il vecchio rilievo utilizzato per il progetto di sistemazione della centralina idroelettrica, andata totalmente persa a seguito dell'evento alluvionale di ottobre 2020. In particolare sono state aggiunte 9 nuove sezioni, due a monte e le restanti a valle del ponte della S.P. 3.

L'evento alluvionale dell'ottobre 2020 è stato di una portata tale da modificare profondamente l'assetto morfologico dell'alveo attivo e delle zone circostanti. A monte del ponte della S.P. 3, tutta la strada di accesso all'opera di presa è stata completamente erosa via dalla corrente, non vi è più traccia delle scogliere a protezione della strada e dei guadi, così come dell'opera di presa stessa. A valle del ponte, in sponda sinistra, la zona in cui sorge il vecchio mulino è stata oggetto di estesi fenomeni erosivi per un volume stimabile in diverse migliaia di metri cubi di materiale naturale, con un arretramento della sponda sinistra di oltre 20 m in alcuni tratti. Una parte del materiale scavato a monte è stato depositato dalla corrente a valle del ponte, dove ora si trovano grossi accumuli di materiale con granulometria variabile da ghiaia a massi ciclopici di diversi metri cubi.

Ad oggi il torrente è caratterizzato da tratti a diversa pendenza con alcuni salti di quota e numerosi massi naturali di grosse dimensioni in alveo che generano un impatto notevole sul deflusso delle portate.

Il tratto oggetto di intervento ha una pendenza media di circa il 13%, ma a valle del ponte anche a causa dei grossi massi in alveo raggiunge punte del 22%, con conseguenti velocità di deflusso molto elevate.

Le sponde sono caratterizzate da scarpate naturali, in particolare in sponda sinistra il materiale è quello che compone le ultime propaggini della paleofrana di Mendatica, mentre in sponda destra in numerosi tratti è presente il substrato roccioso affiorante.

3. OPERE IN PROGETTO

Le scelte progettuali sono state finalizzate a:

1. Ripristinare l'officiosità idraulica del T. Arroscia a monte e a valle del ponte ristabilendo un andamento regolare della corrente e rimuovendo grossi massi, alberi, residui della tubazione e i resti dell'edificio che ospitava la centralina idroelettrica che in caso di piena verrebbero trascinati a valle;
2. Proteggere gli edifici presenti lungo la sponda sinistra a valle del ponte oltre al versante stesso che costituisce il piede della paleofrana di Mendatica mediante la costruzione di una scogliera lunga circa 90 m con sovrapposta palificata in legno a doppia parete;
3. Costruzione di una scogliera in sponda destra con lo scopo di proteggere la pila del ponte che è stata danneggiata a causa dell'impatto diretto del materiale trasportato, già ripristinata dall'ente preposto alla gestione della viabilità;

4. Costruzione di un'ulteriore scogliera in sponda sinistra a monte del ponte, a protezione del versante in erosione e delle pile del ponte stesso, della stessa tipologia di quella prevista a valle.

Data la grande disponibilità di materiale di pezzatura adeguata in alveo, si è previsto di utilizzarlo per la costruzione della scogliera e per almeno il parziale riempimento a tergo della stessa. In questo modo si eviterà l'oneroso trasporto di massi di cava in un luogo per altro caratterizzato da vie di accesso in condizioni precarie con numerose frane in atto.

Per incrementare la resistenza della scogliera all'azione della corrente è inoltre prevista la legatura dei singoli massi con funi in acciaio dal lato di monte oltre alla cementazione degli stessi. Lo stato dei luoghi a seguito della piena mostra infatti la propensione del corso d'acqua ad un elevatissimo trasporto solido, confermato anche dai risultati di HEC-RAS in termini di tensioni tangenziali. Con la costruzione della scogliera si vorrà garantire non solo il contenimento dei tiranti relativi alla portata liquida e al carico cinetico aventi tempo di ritorno 200 anni, ma anche la protezione dei versanti e delle opere dal potere erosivo della corrente e dagli effetti che può avere l'impatto di massi di diverse tonnellate trascinati dalla corrente lungo pendenze del 20% e oltre.

Si precisa che durante le lavorazioni, a seconda della portata in alveo, potrebbe essere necessario procedere con la deviazione provvisoria del corso d'acqua, alternativamente sulle due sponde, al fine di poter lavorare in condizioni di alveo semi-asciutto.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione generale ed alle tavole grafiche.

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Il bacino idrografico del Torrente Arroscia, nella zona di interesse, ricade nell' "Ambito n°9 - Centa", risulta censito e non indagato, come emerge rispettivamente dalla "Carta del reticolo idrografico" e dalla "Tavola dei tratti di corsi d'acqua indagati" del P.d.B..

Il Torrente Arroscia, a fronte di una superficie di drenaggio complessiva di 10 km^2 alla sezione di chiusura del tratto indagato, appartiene sicuramente al reticolo idrografico di primo livello, secondo la classificazione proposta dal Regolamento Regionale 3/2011 e s.m.i.

Dal punto di vista normativo è essenziale verificare l'assentibilità delle opere previste con le specifiche indicazioni riportate sia nel Piano di Bacino di riferimento, sia nel sopra citato Regolamento Regionale. In particolare, nel caso in esame, trattandosi opere di difesa spondale e/o dell'alveo, realizzate fuori dall'alveo attivo, gli interventi sono compatibili purché non comportino ostacolo o interferenza con il regolare deflusso delle acque di piena.

Inoltre le opere previste sono state correttamente dimensionate in modo da contenere, con adeguato franco, le portate ed il carico cinetico con tempo di ritorno duecentennale, così come definita dal vigente P.d.B., effettuando specifiche indagini idrauliche secondo i criteri riportati negli Allegati 1 e 2 del R.R. 3/2011.

5. PORTATE DI PIENA

Il bacino sotteso alla sezione di chiusura del tratto in esame ha una superficie di 10 km^2.

Le portate, secondo quanto indicato nelle Norme di Attuazione del P.d.B., sono state ricavate con le formule valide per i bacini di superficie compresa tra 2 e 10 km^2, secondo la metodologia CIMA applicando la seguente formula:

$$Q_{2.9} = C_Q \cdot A \cdot (0.25 + 0.27 \cdot A^{1/2})^{-0.48} \qquad [m^3 s^{-1}]$$

$$Q_T = K_t \cdot Q_{2.9} \qquad [m^3 s^{-1}]$$

Area	**10**	**km^2**
CN	**67**	-
Long	**7°48'**	**-**
C_Q	**3,27**	**-**
$Q_{2.9}$	**31,19**	**km^3**
Q_{50}	**108,21**	**km^3**
Q_{200}	**156,55**	**km^3**
$Q5_{00}$	**188,36**	**km^3**

***Tabella 1** - Calcolo delle portate con metodo CIMA*

Pertanto la portata di progetto duecentennale utilizzata è pari a 156,55 m^3/s.

6. SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le modellazioni idrauliche necessarie per il dimensionamento delle opere di messa in sicurezza in progetto sono state effettuate in accordo con quanto previsto dalla vigente normativa del Piano di Bacino, ed in particolare in ottemperanza a quanto disposto dall'Allegato 2 del Capitolo 6 del P.d.B..

Gli studi idraulici di stato attuale e di progetto sono stati realizzati impiegando lo schema di corrente monodimensionale in condizioni di moto permanente, ricorrendo al software Hec-Ras (versione 4.1.0).

Le simulazioni predisposte presentano alcune caratteristiche comuni, brevemente elencate in seguito.

In ogni simulazione il tratto indagato è ricompreso tra le River Station 40 e 5, come riportato nel rilievo allegato al progetto e presenta uno sviluppo longitudinale di circa 170 m. A monte il tratto indagato inizia a valle della confluenza col Rio del Mulino e si estende verso valle sino alla zona in cui sorgeva l'edificio che ospitava la turbina della centrale, distrutto anch'esso dall'ultimo evento alluvionale Il tratto di maggior interesse, ad ogni modo, è quello ricompreso tra le RS 25 e 12, ovvero nei 90 m a valle del ponte dove verrà realizzata la nuova scogliera.

Si segnala, inoltre, che le sezioni rilevate sono state infittite mediante la funzione "XS Interpolation", adottando un passo di interpolazione di 5 m.

I coefficienti di espansione e contrazione sono stati posti rispettivamente pari a 0,05 e 0,1, a fronte del regime tendenzialmente supercritico dei profili di deflusso.

Sono state effettuate due diverse simulazioni:

- Plan: Stato Attuale Ottobre 2020 ($k_s = 15$ [$m^{1/3}s^{-1}$]);
- Plan: Stato Progetto post Ottobre 2020 ($k_s = 15$ [$m^{1/3}s^{-1}$]).

Nei Plan di stato attuale e stato di progetto, a seguito di specifico calcolo è stato identificato il coefficiente di scabrezza per l'alveo naturale, utilizzando la formula di Cowan (1956), che consiglia di sommare tra loro gli effetti di tutti i fattori che ostacolano la corrente, determinando il coefficiente di scabrezza di Manning con la relazione:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

La formula di Cowen o Chow a seconda delle diverse fonti, tiene conto di diversi fattori costituenti l'alveo nello specifico:

- Materiale costituente l'alveo (n_0);
- Irregolarità della superficie della sezione (n_1);
- Variazione della forma e delle dimensioni della sezione trasversale (n_2);
- Effetto relativo di ostruzioni (n_3);
- Effetto della vegetazione (n_4);
- Grado di sinuosità (m_5).

Nello specifico i valori utilizzati per la simulazione di progetto sono:

- Materiali costituenti l'alveo (n_0): 0,025

(Valore imposto in ragione della roccia affiorante in più punti in alveo)

- Irregolarità della superficie della sezione (n_1): 0,02

(Valore imposto in base alle sezioni rilevate)

- Variazione della forma e delle dimensioni della sezione trasversale (n_2): 0,01

(Valore imposto in base alle numerose variazioni di sezione dell'alveo dovute anche alla presenza di massi naturali di dimensioni ciclopiche)

- Effetto relativo di ostruzioni (n_3): 0,01

(Valore imposto in base alle condizioni del torrente durante i sopralluoghi)

- Effetto della vegetazione (n_4): 0,005

(Valore imposto in base alle condizioni del torrente durante i sopralluoghi)

- Grado di sinuosità (m_5): 1

(Valore imposto in base alle condizioni del corso d'acqua che non presenta andamento sinusoidale ed è vincolato dalla presenza di roccia affiorante e massi di grosse dimensioni).

In base alle considerazioni svolte il coefficiente di scabrezza che ne deriva dal calcolo è il seguente:

Materiale costituente l'alveo	Terra	0.02		
	Roccia	0.025		
	Alluvione grossolana	0.028		
	Alluvione fine	0.024		
			0.025	
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	0		
	Bassa	0.005		
	Moderata	0.01		
	Elevata	0.02		
			0.02	
Variazione della forma e delle dimensioni della sezione trasversale	Graduale	0		
	Variazione occasionale	0.005		
	Variazione frequente	0.01		
		0.015		
			0.01	
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	0		
	Modesto	0.01		
		0.015		
	Apprezzabile	0.02		
		0.03		
	Elevato	0.04		
		0.06		

			0.01	
Effetto della vegetazione	Basso	0.005		
	Medio	0.01		
	Alto	0.025		
	Molto alto	0.05		
		0.1		
			0.005	0.07
Grado di sinuosità	Modesto	1		
	Apprezzabile	1.15		
	Elevato	1.3		
				1

0.07	**Manning**
14.3	**Strickler**

Tabella 2: *calcolo coefficiente di scabrezza (metodo di Chow) - Stato attuale*

Si specifica, infine, che le portate di riferimento sono state definite nello "Steady Flow Data" denominato "Portate CIMA", i valori implementati sono ovviamente quelli di cui alla Tabella 1 della presente relazione.

6.1 STATO ATTUALE

I profili di deflusso del tratto indagato sono di tipo veloce.

Per la portata 200ennale, le velocità di deflusso massime variano tra 6 e 7 m/s circa, valori leggermente inferiori si ottengono per portate con tempo di ritorno di 50 anni.

L'alveo nella zona di interesse risulta fortemente incassato tra i versanti, pertanto il deflusso delle portate risulta sempre di gran lunga inferiore alle quote delle opere sensibili, in particolare il ponte della S.P. 3 che risulta ampiamente sufficiente al deflusso delle portate con adeguato franco.

Per ulteriori dettagli, quali sezioni e profili in base ai diversi tempi di ritorno, si rimanda agli allegati concernenti la simulazione idraulica in esame ed agli elaborati grafici a corredo del presente progetto.

6.2 PROGETTO

I profili di deflusso del tratto indagato sono anche in questo caso di tipo veloce, del tutto simili a quelle dello stato attuale.

I risultati delle analisi idrauliche mostrano a valle del ponte un abbassamento puntuale dei tiranti dell'ordine di 80 – 90 cm per la portata duecentennale, esclusivamente dovuti alla

rimodellazione dell'alveo in quelle zone, da cui verrà preso il materiale per la costruzione delle difese spondali e per il riempimento a tergo delle stesse. Tale effetto si mostra principalmente in corrispondenza delle sezioni 20, 15 e 10.

Il deflusso delle portate risulta sempre contenuto all'interno dell'alveo in ragione di un tratto fortemente incassato.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli allegati concernenti la simulazione idraulica in esame ed agli elaborati grafici a corredo del presente progetto,

7. DIMENSIONAMENTO OPERE

Al fine di proteggere gli edifici in sponda sinistra a valle del ponte e garantire la protezione del piede della paleofrana dai possibili futuri fenomeni erosivi, sono stati progettati interventi di costruzione di difese spondali con massi reperiti in loco, che sono stati dimensionati tenendo in considerazione gli effetti della corrente sulle pareti dell'alveo.

Dalle verifiche idrauliche svolte, a seguito dell'integrazione dei dati geometrici, sono stati ricavati i parametri necessari al dimensionamento dei massi utilizzati per la costruzione delle scogliere, facendo riferimento alla portata duecentennale, che in questo tratto è pari a 156 m^3/s.

I parametri caratteristici della corrente necessari al dimensionamento per le sezioni comprese tra la 25 la 15 sono stati ottenuti per mezzo del programma di calcolo Hec-Ras del "U.S. Army Corps of Engineering".

L'obiettivo della progettazione è quello di garantire che i massi impiegati non vengano mobilitati dal passaggio del flusso idraulico.

Per effettuare questo calcolo si è fatto riferimento alla teoria di seguito esposta, comunemente usata nella progettazione e successiva verifica delle difese spondali in scogliera, estratta da diverse pubblicazioni[1][2][3].

Le variabili in gioco sono le seguenti:

[1] **Sistemazione dei corsi d'acqua** – Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica – Autori Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Saladin – Libreria Internazionale Cortina PADOVA – Vedi cap. 8.2.4.6. pagg. 505 e ss.

[2] **La difesa idraulica del territorio** – Politecnico di Milano Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento Università di Bologna Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e Territorio - Autori Ugo Maione, Armando Brath – Edizione Bios – Vedi pag. 186 – 193.

[3] **La sistemazione dei corsi d'acqua naturali** – Politecnico di Milano Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento Università di Bologna Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e Territorio - Autori Ugo Maione, Armando Brath – Edizione Bios – Vedi pag. 302 – 319.

- i = Pendenza del fondo [-]
- R = Raggio idraulico [m]
- γ = Peso specifico del fluido a contatto con i massi (acqua) [N/m3]

Tramite il prodotto di questi valori è possibile calcolare la tensione tangenziale (τ) che la corrente esercita sul fondo alveo:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot i$$

Questi dati sono direttamente desumibili dalla simulazione di Hec-Ras effettuata.

La sistemazione in massi a protezione del piede viene dimensionata scegliendo il diametro mediano della curva granulometrica (d_{50}) in grado di resistere all'azione di trascinamento della corrente.

Indicando con:

$$\Psi = \tau / ((\gamma_s - \gamma) \cdot d)$$

il parametro adimensionale di mobilità Ψ di Shields, funzione dell'azione tangenziale media al fondo 'τ', del peso specifico dei sedimenti 'γ_s', di quello dell'acqua 'γ' e del diametro dei sedimenti 'd', la condizione di moto incipiente può notoriamente essere definita mediante la curva di Shields, che individua al variare del numero di Reynolds di attrito (Re*) il valore Ψ_{CR} per cui il materiale di fondo si trova in condizioni di equilibrio limite. Per valori del parametro Ψ superiori a quelli critici avviene il movimento delle particelle, per valori inferiori si verifica una condizione di equilibrio.

Dalla curva riportata in basso, si osserva che per valori di Re* maggiori di 400 circa, il valore di Ψ_{CR} risulta praticamente costante ($\Psi_{CR} \approx 0{,}06$), in questa zona la tensione tangenziale critica τ_{CR} è direttamente proporzionale al diametro delle particelle.

Nei casi di pratico interesse, la condizione Re* > 400 è di fatto sempre verificata non appena il diametro dei sedimenti 'd', risulti superiore a 1 cm circa, condizione sempre verificata in questo caso studio.

Nel caso di rivestimento di una sponda dell'alveo (scogliera) risulta opportuno prendere a riferimento le condizioni di completa assenza di movimento dei sedimenti, che può essere definita da un valore di soglia costante, ma ridotto, che determina le condizioni di inizio del moto: orientativamente si può assumere $\Psi_{CR} \approx 0{,}03$.

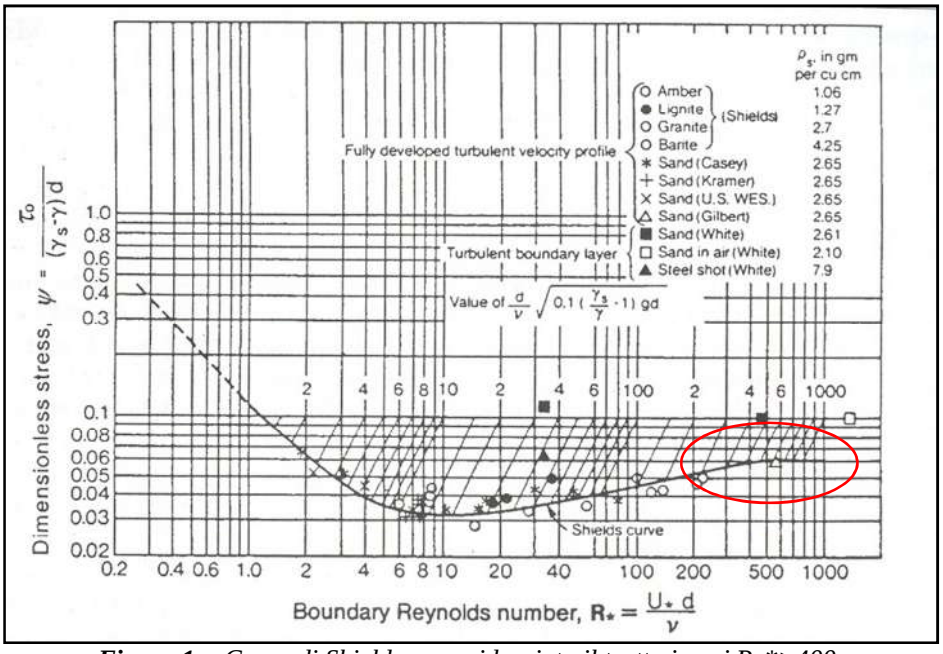


Figura 1 *- Curva di Shields con evidenziato il tratto in cui Re*>400.*

Nel caso in oggetto sono stati estrapolati dalle simulazioni di Hec-Ras i valori della tensione tangenziale media al fondo del canale, pari a circa 1800 N/m^2.

Influenza dell'inclinazione sulla stabilità della sponda

Tenendo conto che il materiale giace su una sponda inclinata, il valore della tensione tangenziale critica da considerare nei calcoli di dimensionamento è minore di quello al fondo e può essere calcolato moltiplicando il valore di Ψ_{CR} per un fattore K<1, così definito da Lane:

$$K = \sqrt{(1-(\sin^2\alpha)/(\sin^2\Phi))}$$

Con α l'angolo di inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale (55°) e Φ angolo di riposo in acqua del materiale. Nel caso di massi posti in opera in maniera ordinata, il valore dell'angolo di attrito interno dei massi tondeggianti che si trovano in alveo che può essere ragionevolmente considerato pari a 38° come desumibile dalla esistente letteratura, può essere elevato a 65-70° (Φ IMBRICATED).

Pertanto il coefficiente K calcolato è pari a 0,49 per la scogliera a 55°.

Ammorsamento della scogliera

Come precisato precedentemente, la scogliera in progetto sarà realizzata ponendo i massi non alla rinfusa (rip-rap) bensì realizzando una struttura ordinata con clasti posati in opera.

Pertanto in base a quanto desumibile in letteratura è possibile calcolare l'ammorsamento dei massi (imbrication) come:

$$a = ((C_{DR}/\tan \Phi) + C_{LR})/((C_{DIM}/\tan \Phi_{\,IMBRICATED}) + C_{LIM})$$

Ammorsamento				
Forma dei massi	**C_{DR}**	**C_{DR}/C_{LR}**	**C_{DIM}**	**C_{DIM}/C_{LIM}**
Massi regolari	0.25	1.14	0.20	2.00
Pietre frantumate	0.75	1.14	0.30	2.00

Tabella 3: *calcolo per l'ammorsamento scogliera*

Ottenendo nel caso in un valore del coefficiente 'a' di 3,12.

Dimensionamento della scogliera

Le condizioni di stabilità della struttura si traducono nell'equazione:

$$\boldsymbol{\tau_{MAX}} < \boldsymbol{\psi_{CR}} * K * a * (\gamma_s - \gamma) * d_{50}$$

in cui τ_{MAX} rappresenta il valore massimo dell'azione tangenziale sulla sponda, che è minore rispetto al valore per il letto del corso d'acqua.

Dalla formula precedente si ricava:

$$d_{50} = \boldsymbol{\tau_{MAX}}/(\boldsymbol{\psi_{CR}} * K * a * (\gamma_s - \gamma))$$

Pertanto le verifiche da effettuare sono sulla difesa arginale in progetto.

Dimensionamento delle sponde

La verifica è stata effettuata considerando il valore della tensione tangenziale mediata su tutto lo sviluppo dell'alveo e ottenuta come risultato dalle analisi svolte col software HecRas.

Si riporta di seguito la tabella con i calcoli predisposti.

TIPOLOGIA DEL MATERIALE COSTITUENTE LA STRUTTURA							
Materiali	**(N/mc)**						
Peso specifico acqua γ	9810						
Peso specifico terreno γt (N/mc)	26500						
Caratteristiche materiali	**Gradi**	**Radianti**					
Angolo scarpata α	55	0.96					
Angolo attrito materiale ϕ	38	0.66					
Angolo attrito materiale cementato $\Phi_{IMBRICATED}$	70	1.22					
					Lato masso (ipotesi cubo)		
Dimensione massi	**Peso min kg**	**Peso max kg**	**Volume medio mc**	**Volume max mc**	**Dimesione min**	**Dimesione media**	**Dimensione max**
Masso Ia categoria	50	1000	0.21	0.40	0.00	0.59	0.74
Masso IIa categoria	1000	3000	0.80	1.20	0.74	0.93	1.06
Masso IIIa categoria	3000	7000	2.00	2.80	1.06	1.26	1.41
Masso IVa categoria	7000	12000	3.80	4.80	1.41	1.56	1.69
Sollecitazioni imposte							
Shear Chan N/mq	S_c	1800.00					
Shear LOB/ROB N/mq	$S_{LOB/ROB}$	1350.00					
Coefficienti tipologici opera							
Coefficiente di Lane	k	0.49					
Ammorsamento dei massi	a	3.12					
Dimensionamento Difese spondali	Diametro	ψ(Re) = 0.06	ψ(Re) = 0.03				
Verifica secondo:		$S_{LOB/ROB}$	$S_{LOB/ROB}$				
Diametro del materiale movimentabile con ammorsamento	d_{50}	0.88	1.76				
Diametro del materiale movimentabile senza ammorsamento	d_{50}	2.75	5.50				

Tabella 4 - calcoli per il dimensionamento dei massi della scogliera

Per tale valori di tensione tangenziale al fondo risulta che il diametro dei massi movimentabili è pari a 5,50 m (ovvero peso di oltre 70 t).

Ne discende che anche massi di IV categoria non sarebbero sufficienti a garantire la stabilità dell'opera in caso di eventi di piena significativa. Pertanto si prevede l'intasamento dei massi reperiti in alveo, di dimensioni e peso comunque appartenenti almeno alla III categoria, con calcestruzzo di classe Rck 25/30 [N/mm^2] in modo da poter considerare l'intera opera come un singolo blocco.

Può anche essere previsto in corso d'opera una ulteriore legatura dei singoli massi l'uno con l'altro per mezzo di cavi di acciaio col medesimo fine.

Il piano di fondazione della scogliera è stato previsto che debba posarsi sugli strati di roccia affiorante, e nel caso ciò non fosse possibile è stata prevista una soletta di base in calcestruzzo su cui annegare la prima fila di massi.

8. CONCLUSIONI

Dalle simulazione effettuate tramite il software Hec-Ras emerge che l'alveo ha caratteristiche tipiche di un corso d'acqua montano, che unite a portate non trascurabili generano effetti distruttivi su tutte le opere interferenti con il deflusso delle acque. I danni riportati dalle opere

di presa della centrale idroelettrica e dalle opere di difesa spondale verificati durante i sopralluoghi ne sono un pratico esempio.

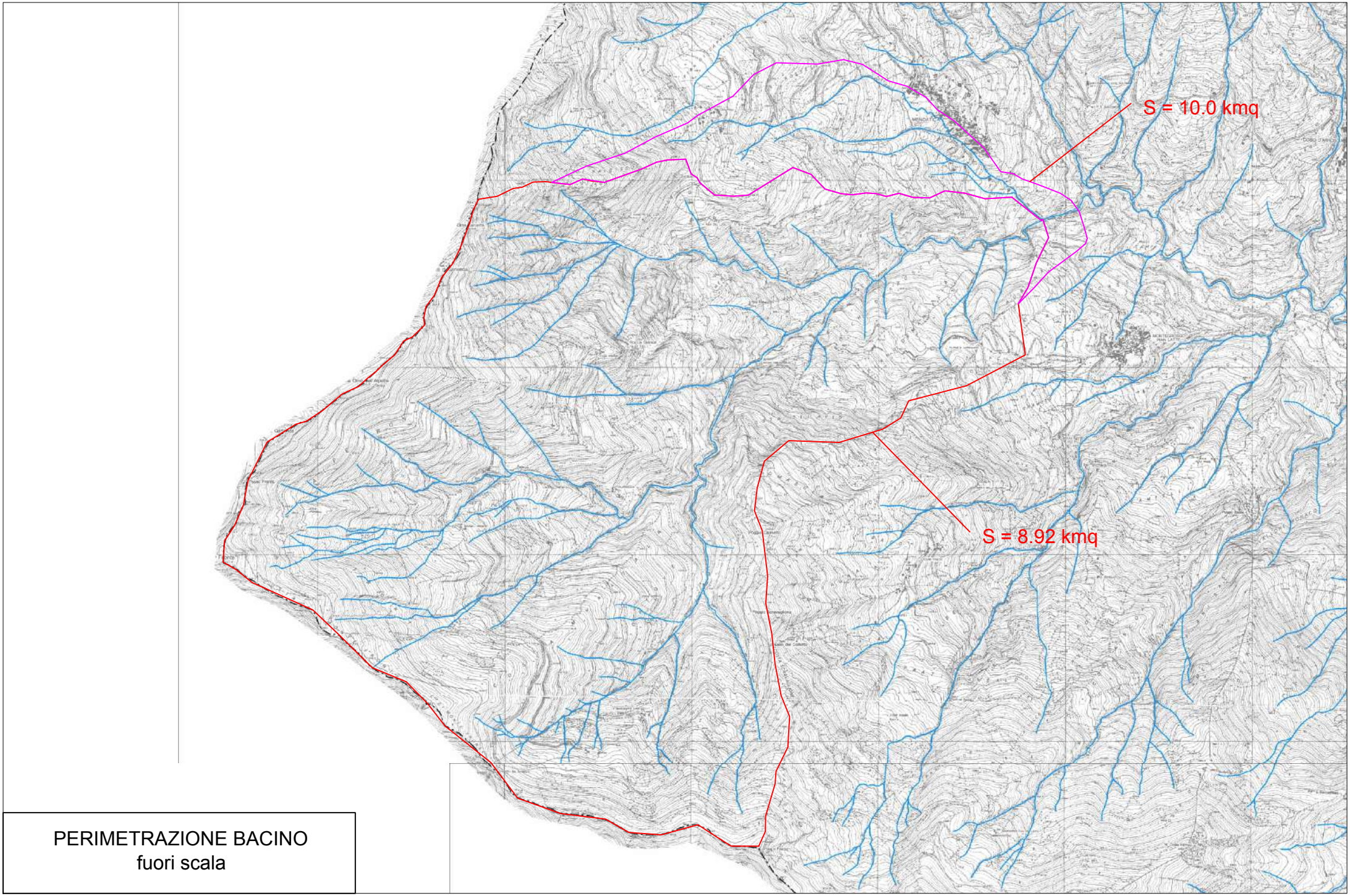
In fase di progettazione sono stati tenuti in considerazione tutti questi elementi che hanno portato al dimensionamento della nuova difesa spondale, in grado di contenere le portate duecentennali e garantire una protezione dall'erosione al versante.

Tali opere oltre a bloccare i fenomeni erosivi che hanno messo in forte pericolo gli edifici del vecchio mulino, avranno anche una funzione di protezione del piede del versante che in quella zona coincide con quello della paleofrana di Mendatica, limitandone così l'erosione ed il conseguente trasporto solido in caso di piena del Torrente Arroscia.

Infine gli interventi volti alla rimozione di ostacoli presenti in alveo riducono la possibilità che la corrente di piena possa generare fenomeni di forte erosione localizzata.

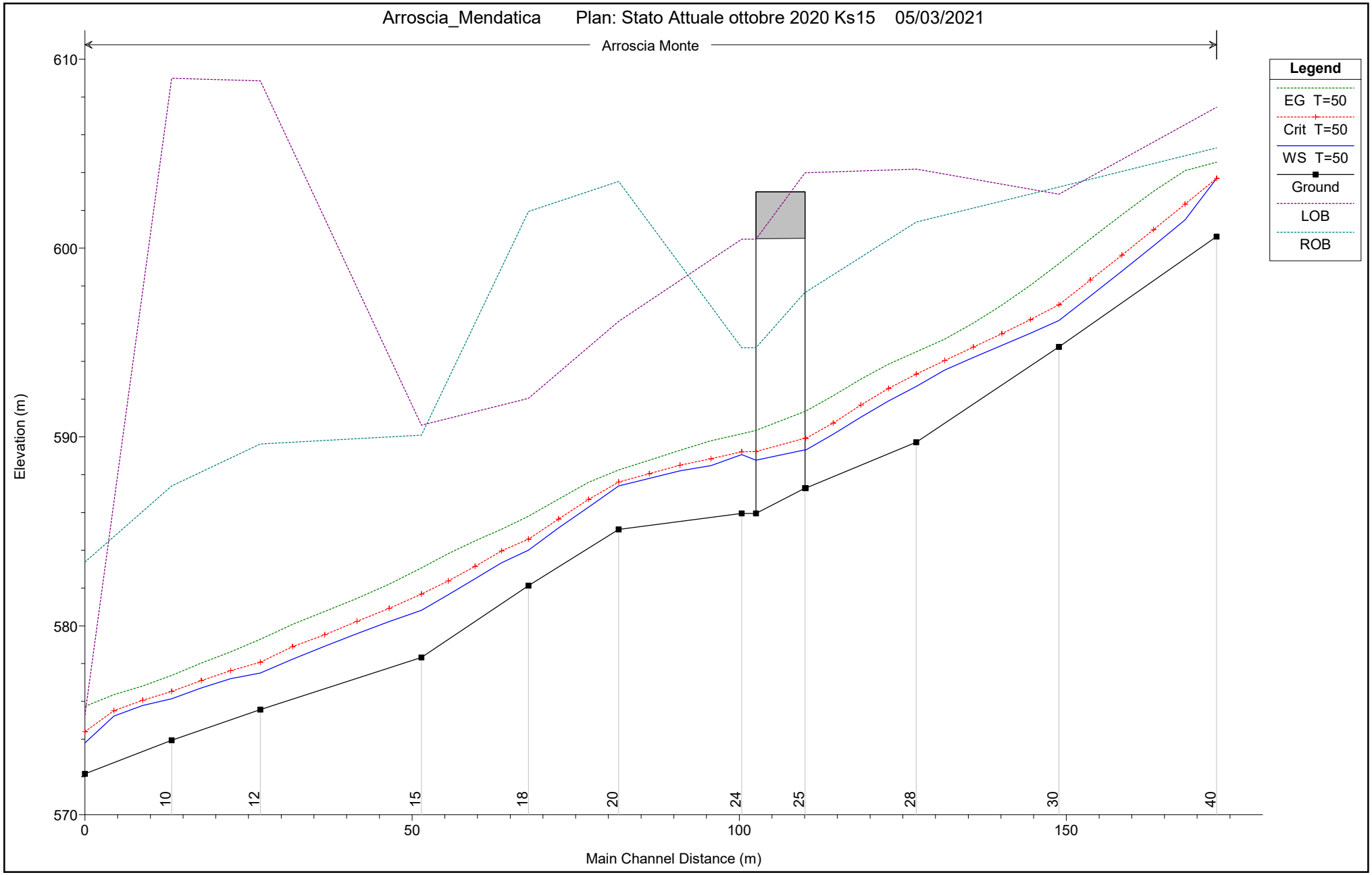
Il tecnico
Ing. Luca Tarantino

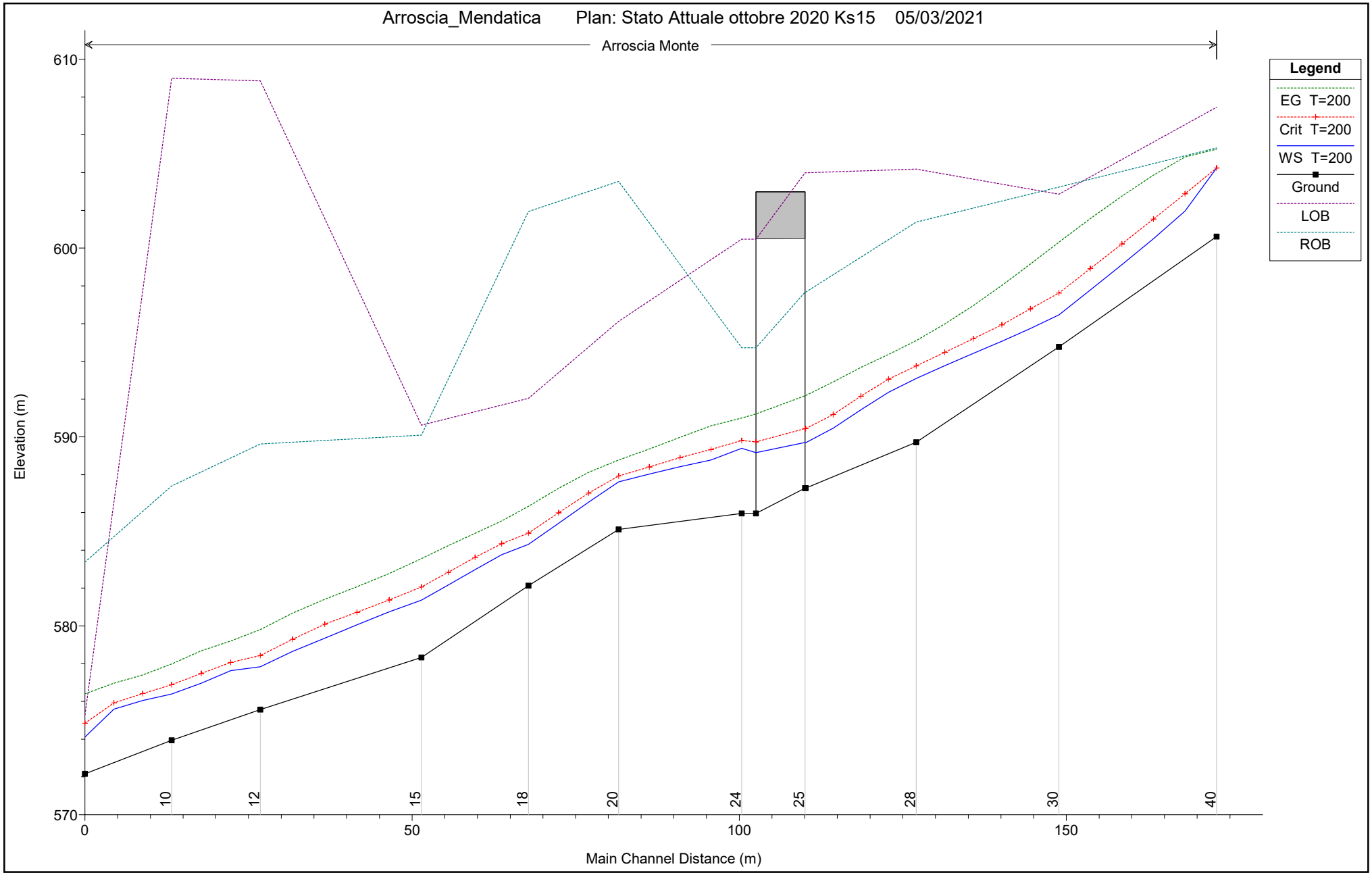


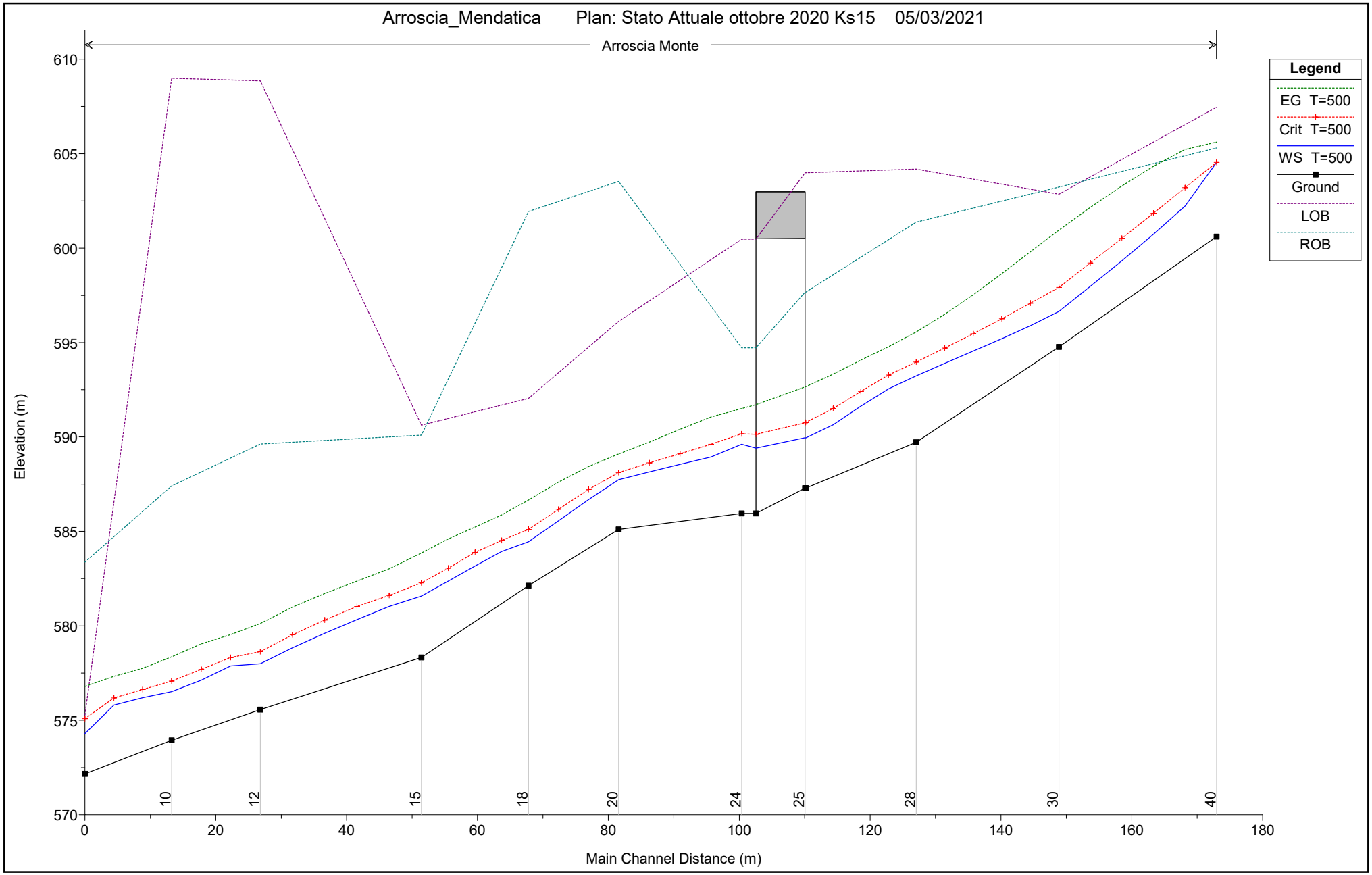


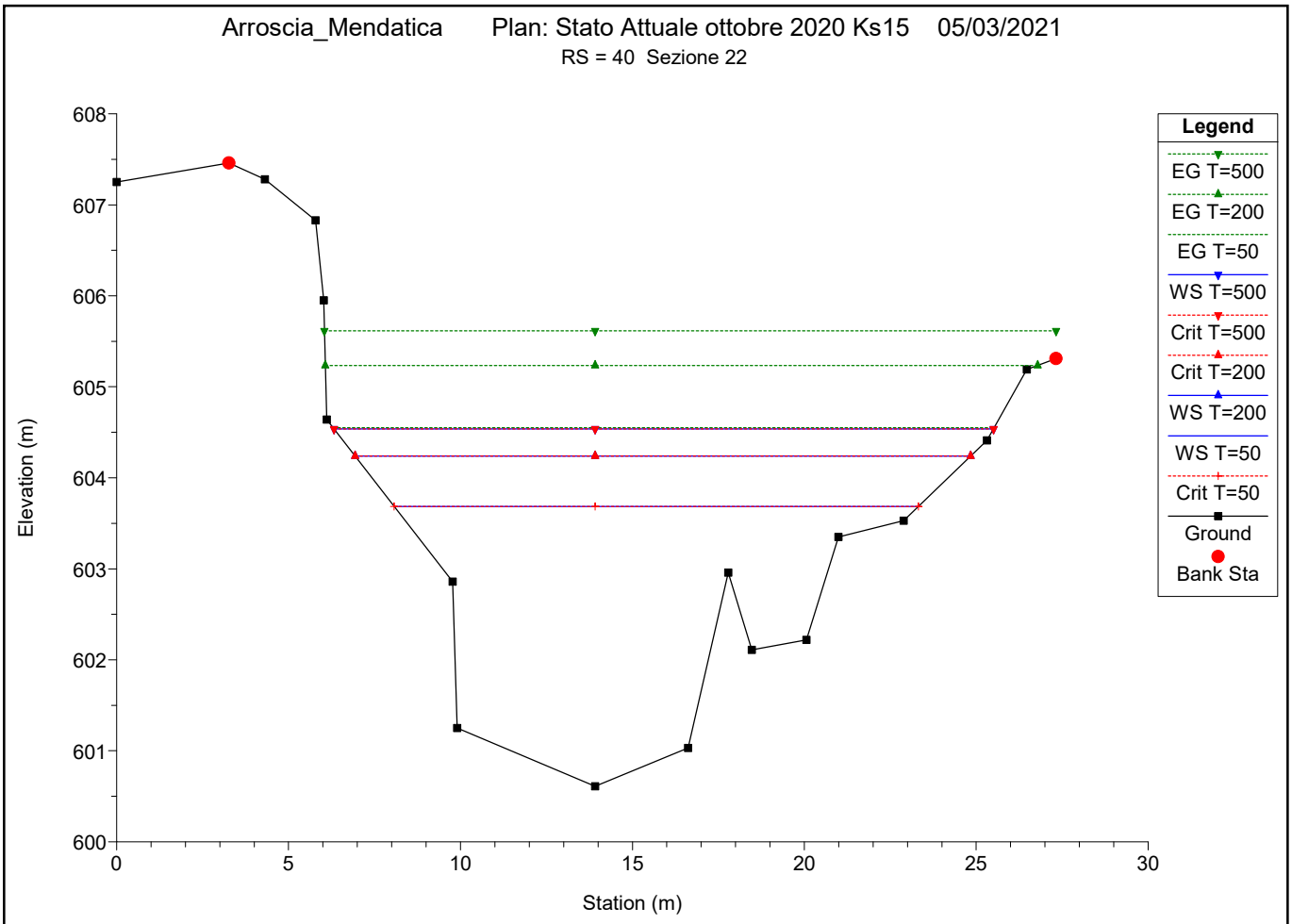
PERIMETRAZIONE BACINO
fuori scala

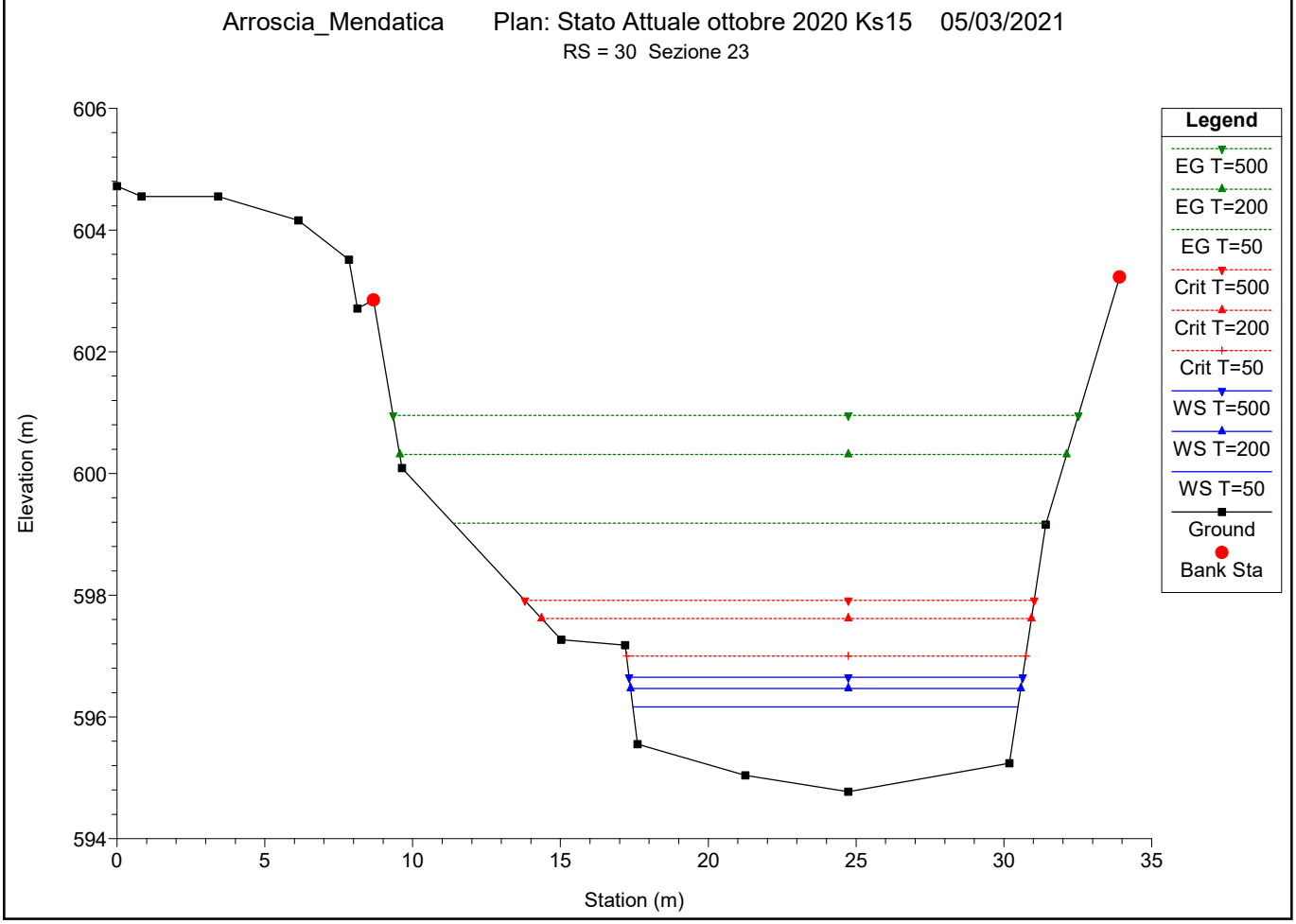
Simulazione Hec-Ras 4.1.0
Stato attuale - Plan: Stato attuale

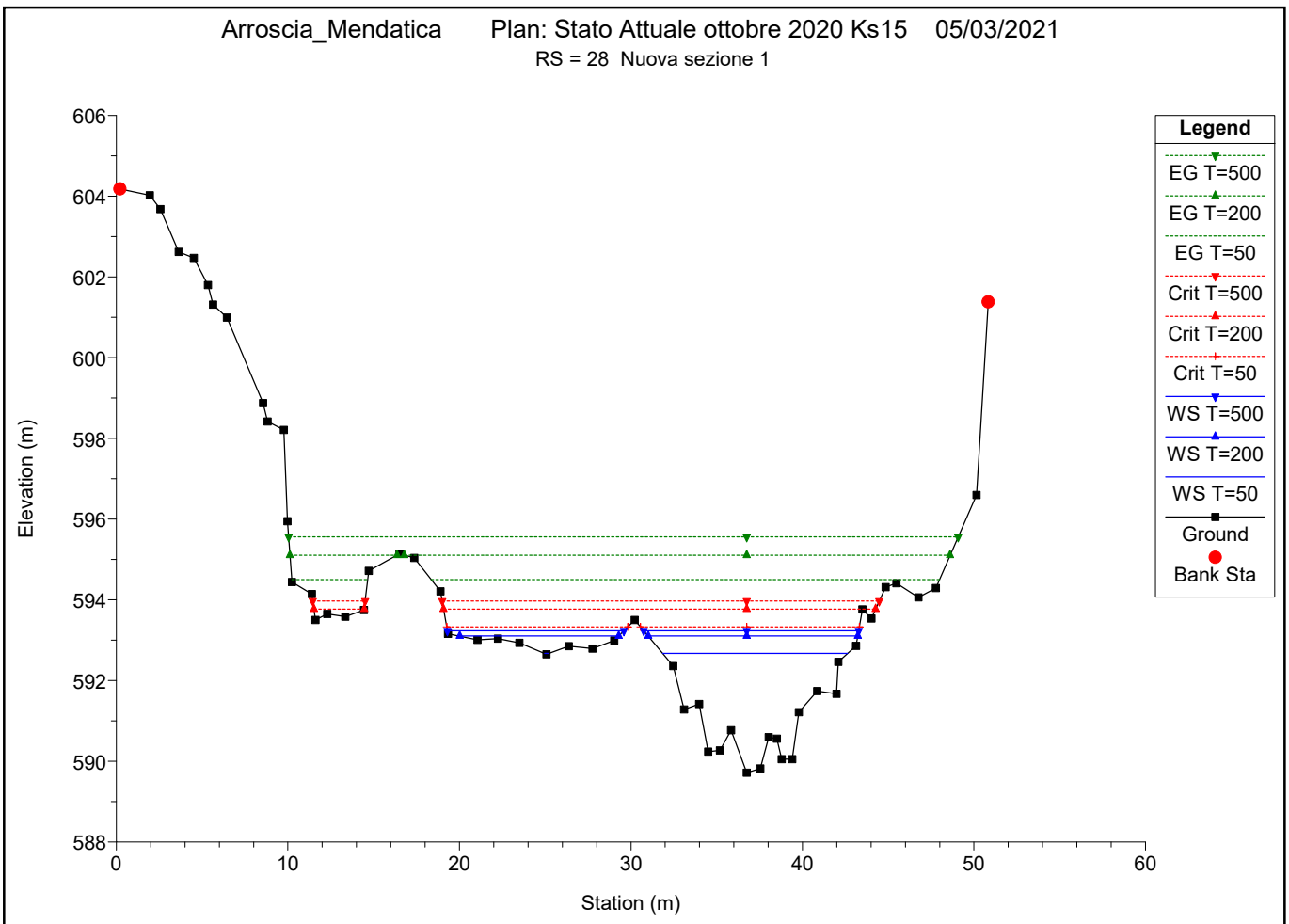

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=50
Crit T=50
WS T=50
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
600
590
580
570
0
50
100
150
Main Channel Distance (m)
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40

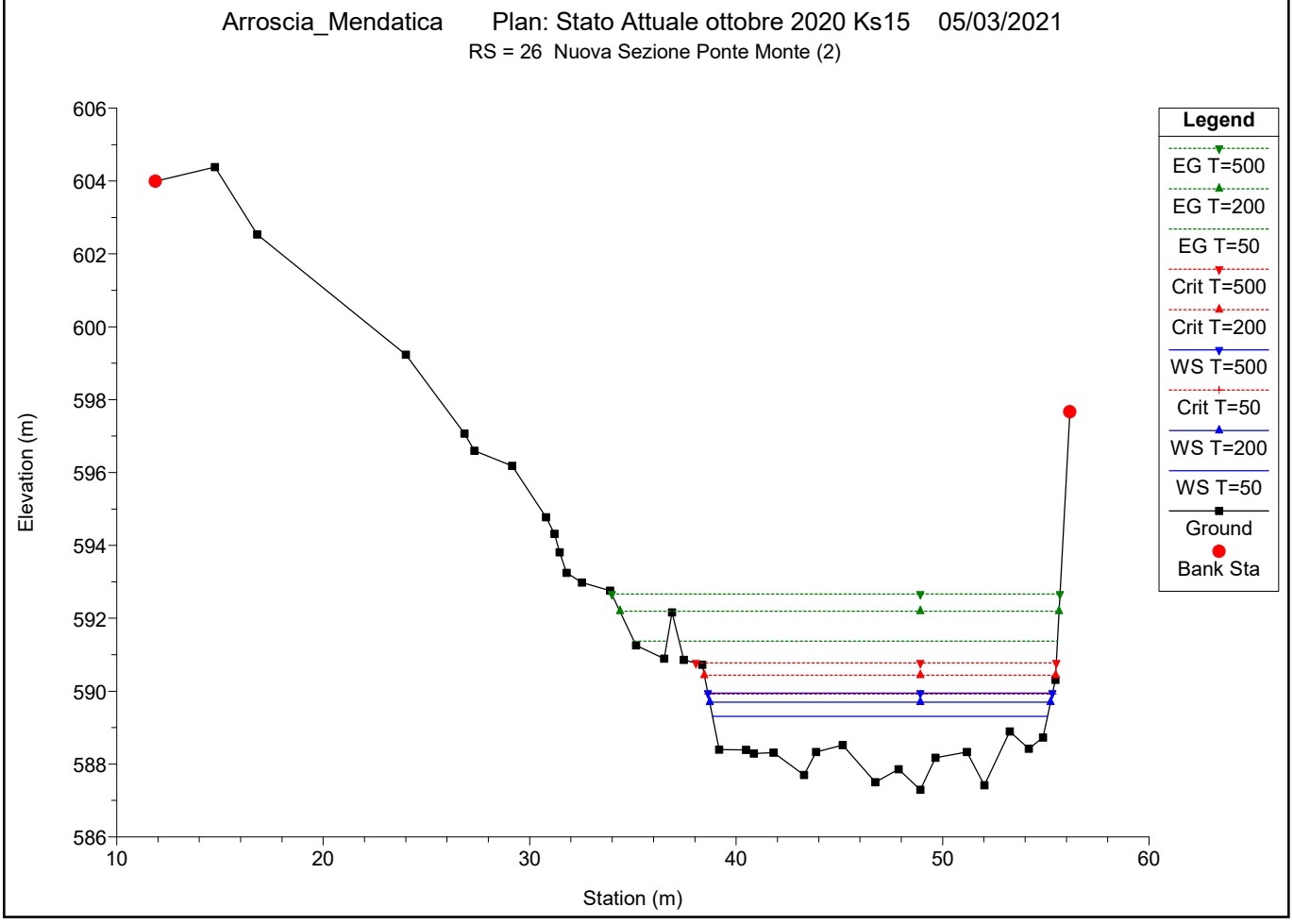

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=200
Crit T=200
WS T=200
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
600
590
580
570
0
50
100
150
Main Channel Distance (m)
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40

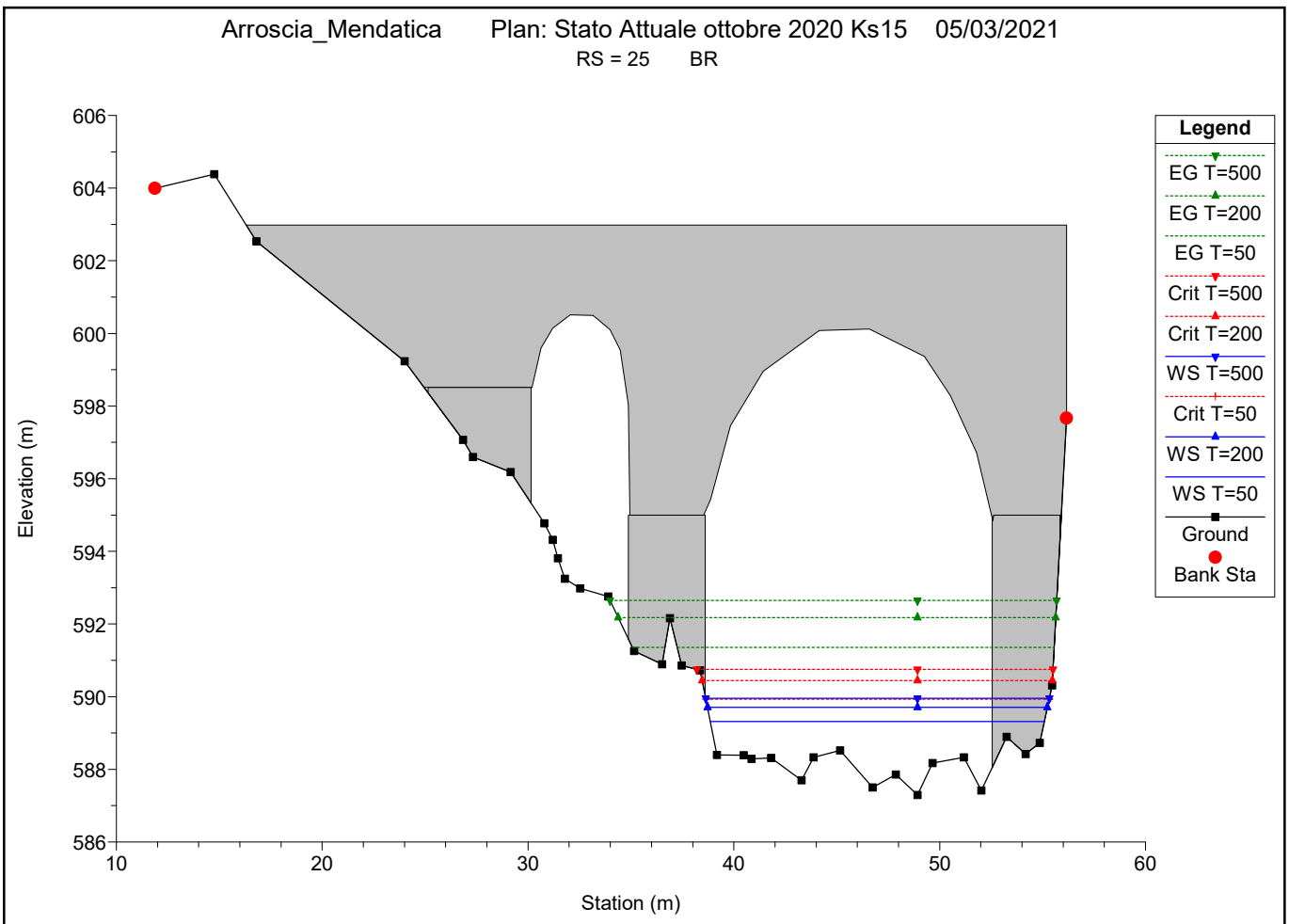

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=500
Crit T=500
WS T=500
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
605
600
595
590
585
580
575
570
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Main Channel Distance (m)

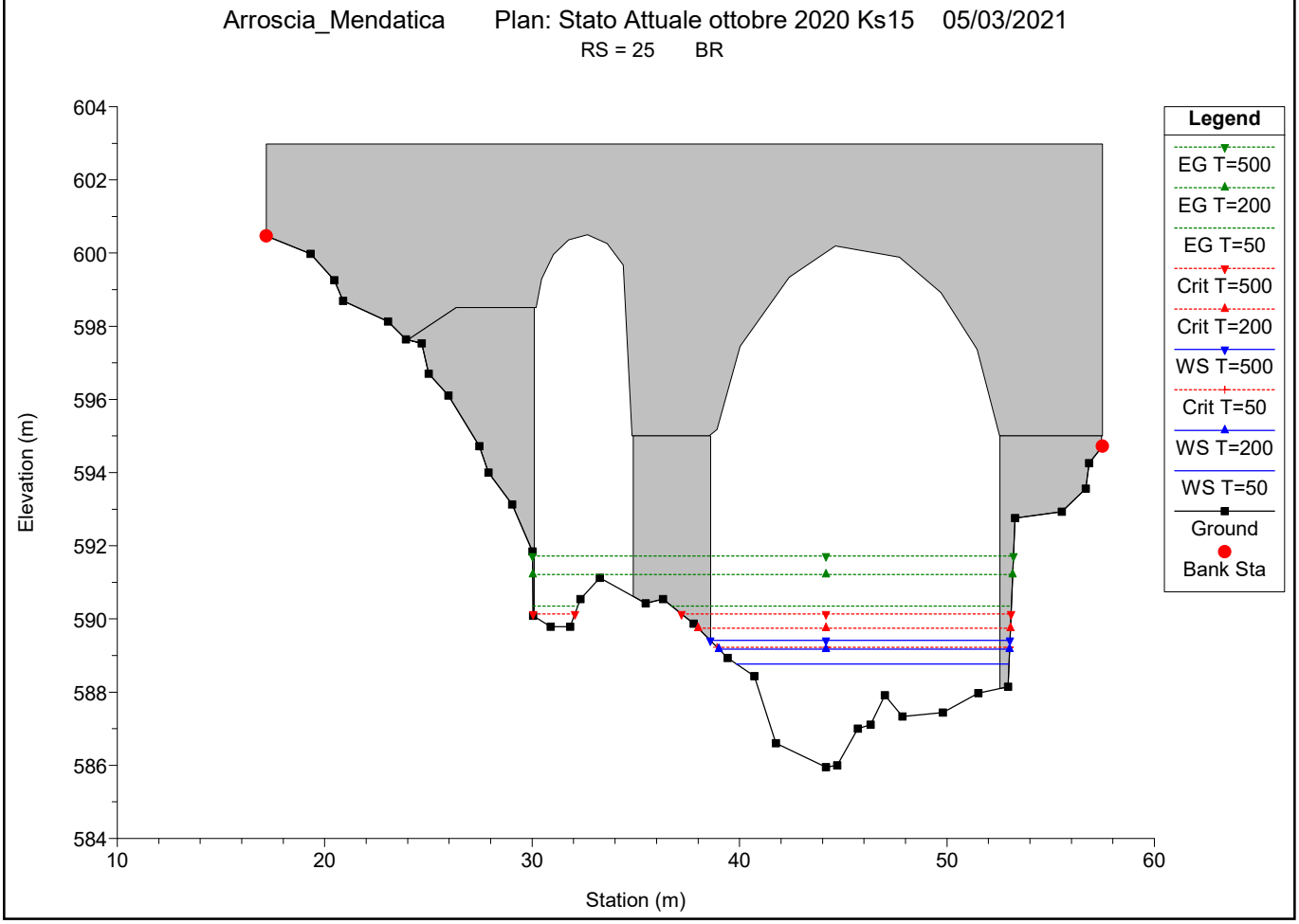

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 40 Sezione 22
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
WS T=500
Crit T=500
Crit T=200
WS T=200
WS T=50
Crit T=50
Ground
Bank Sta

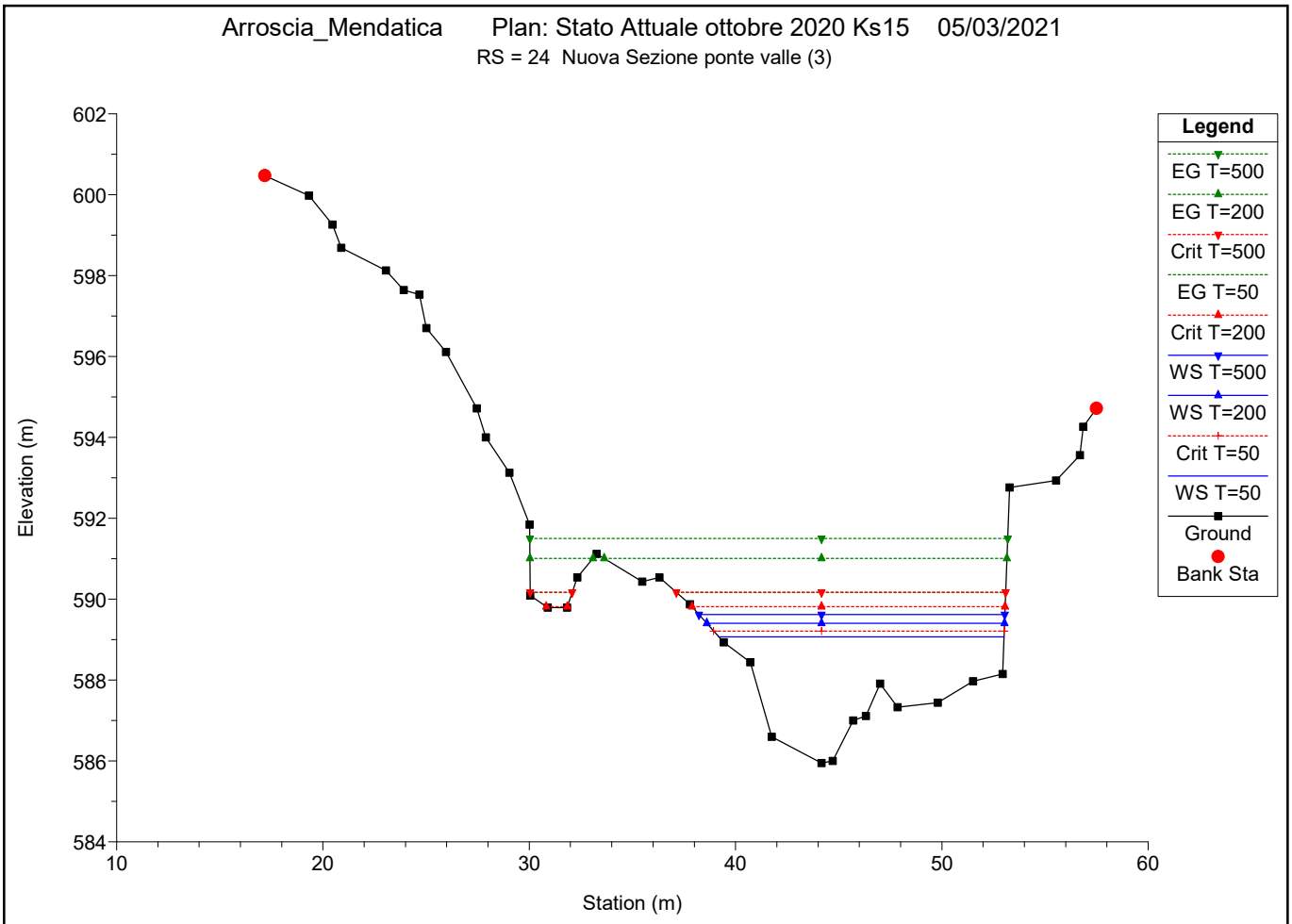

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 30 Sezione 23
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
Crit T=50
WS T=500
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta

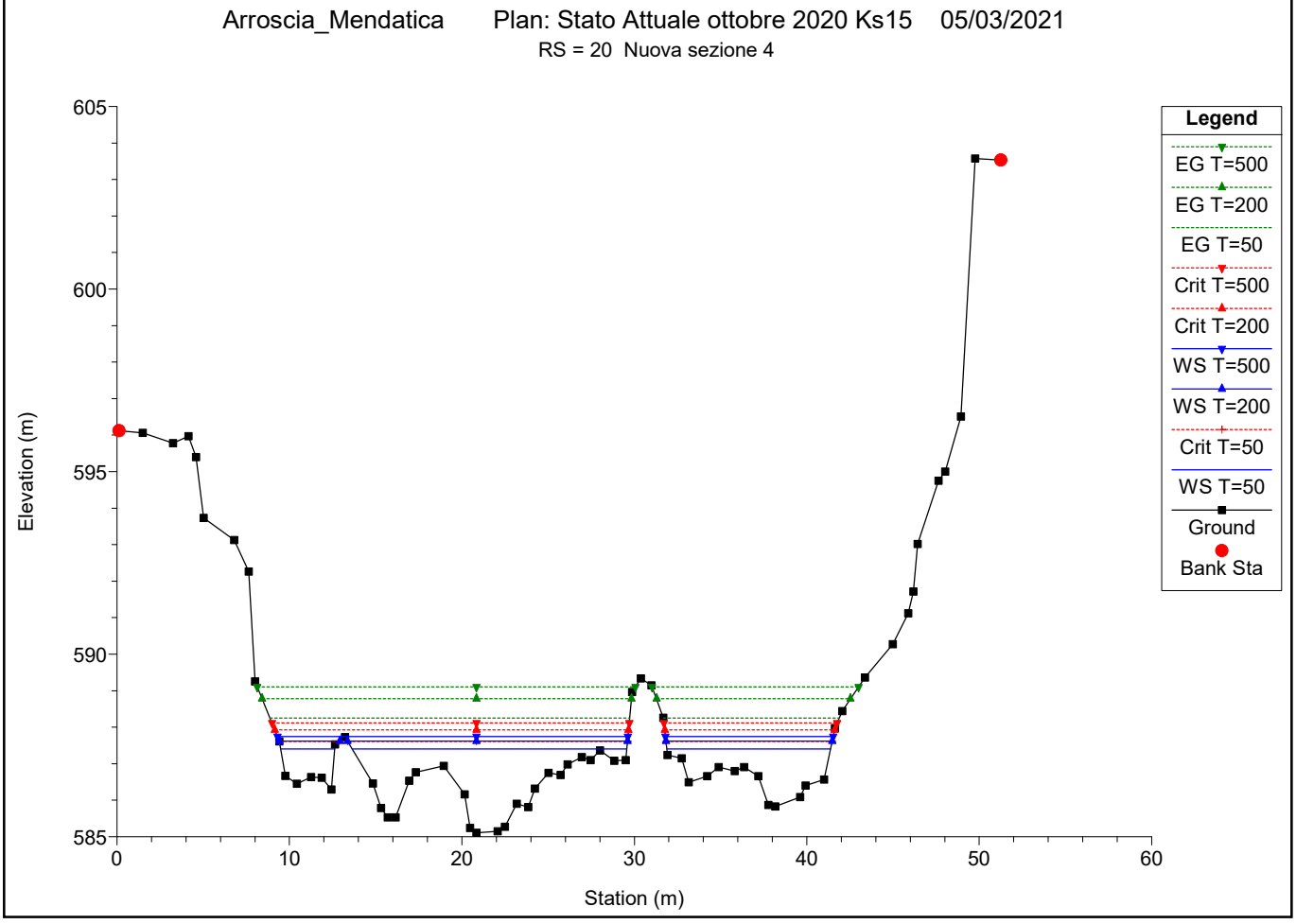

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 28 Nuova sezione 1
Elevation (m)
Station (m)
606
604
602
600
598
596
594
592
590
588
0
10
20
30
40
50
60
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
Crit T=50
WS T=500
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 26 Nuova Sezione Ponte Monte (2)
Elevation (m)
Station (m)
606
604
602
600
598
596
594
592
590
588
586
10
20
30
40
50
60
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 25 BR
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta

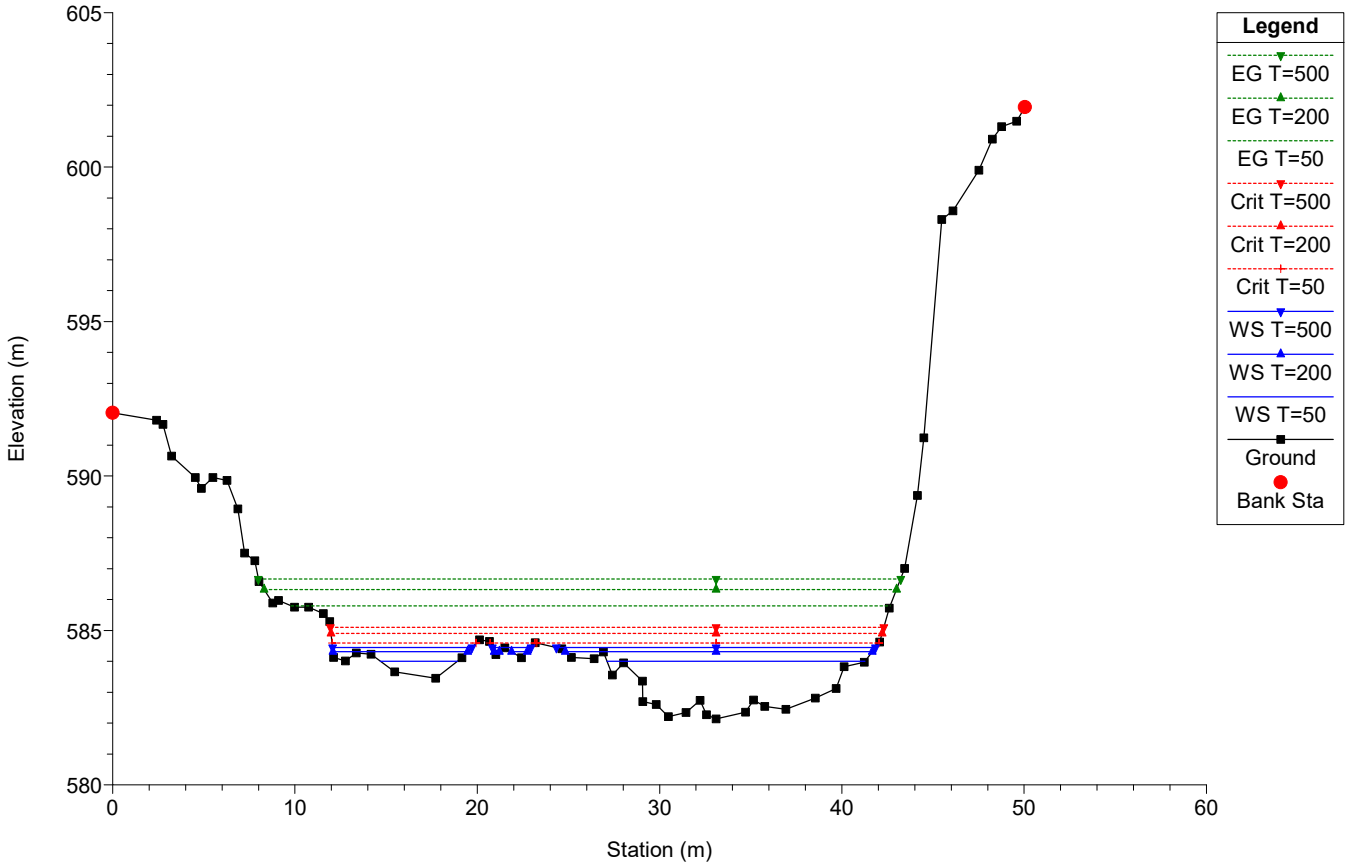

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 25 BR
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 24 Nuova Sezione ponte valle (3)
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
Crit T=500
EG T=50
Crit T=200
WS T=500
WS T=200
Crit T=50
WS T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021
RS = 20 Nuova sezione 4
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
WS T=200
Crit T=50
WS T=50
Ground
Bank Sta

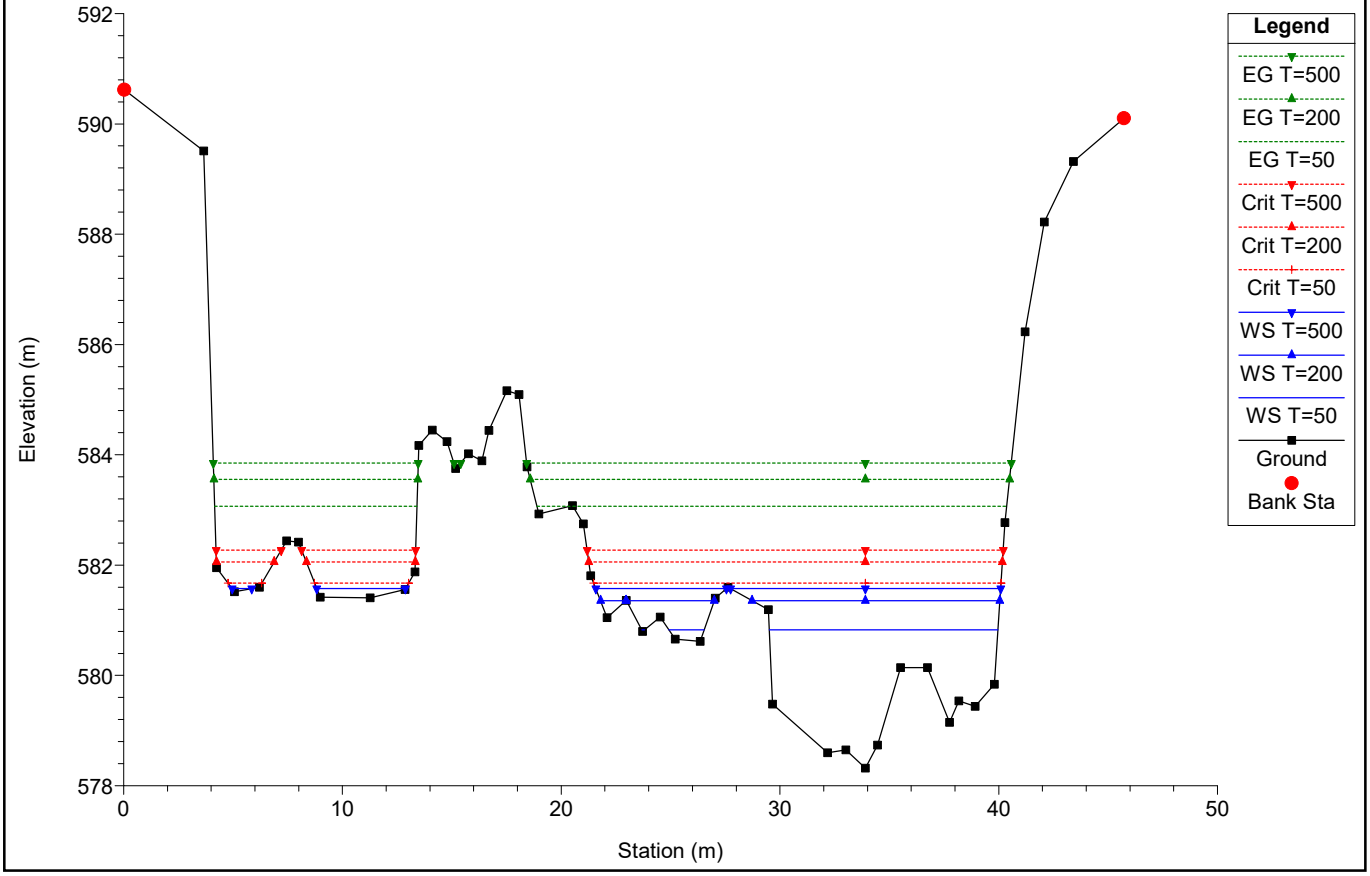
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021

RS = 18 Nuova sezione 5



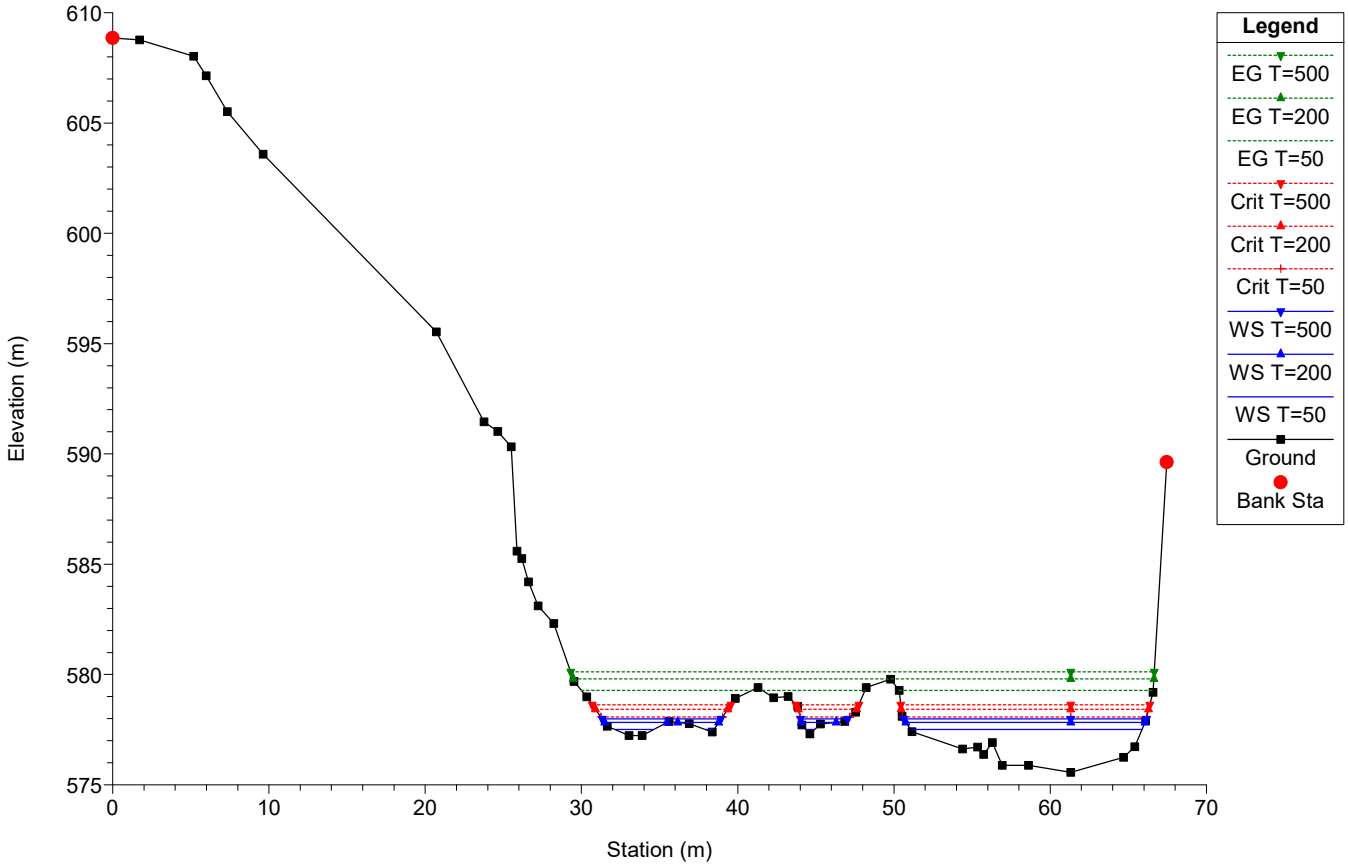
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021

RS = 15 Nuova sezione 6



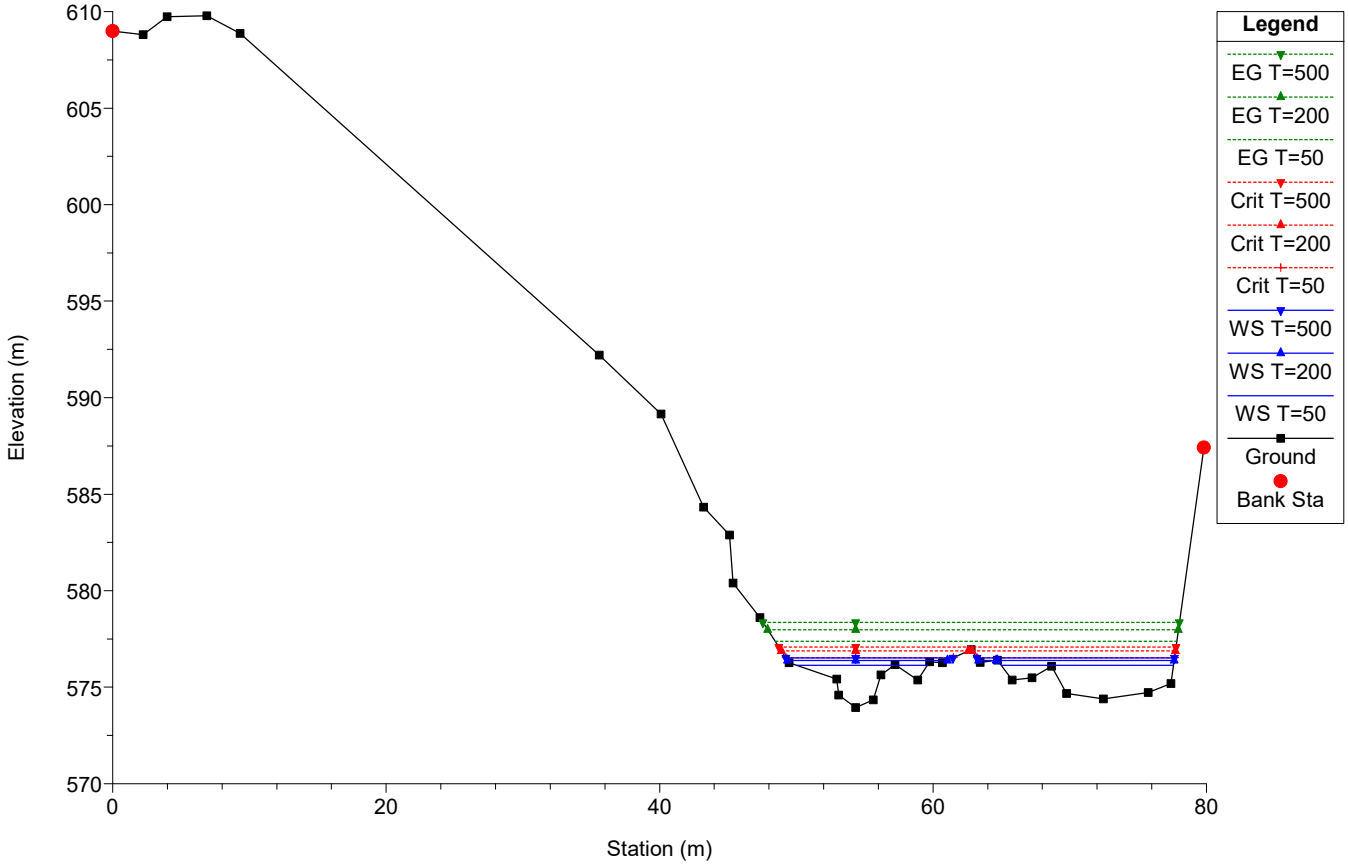
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021

RS = 12 Nuova sezione 7



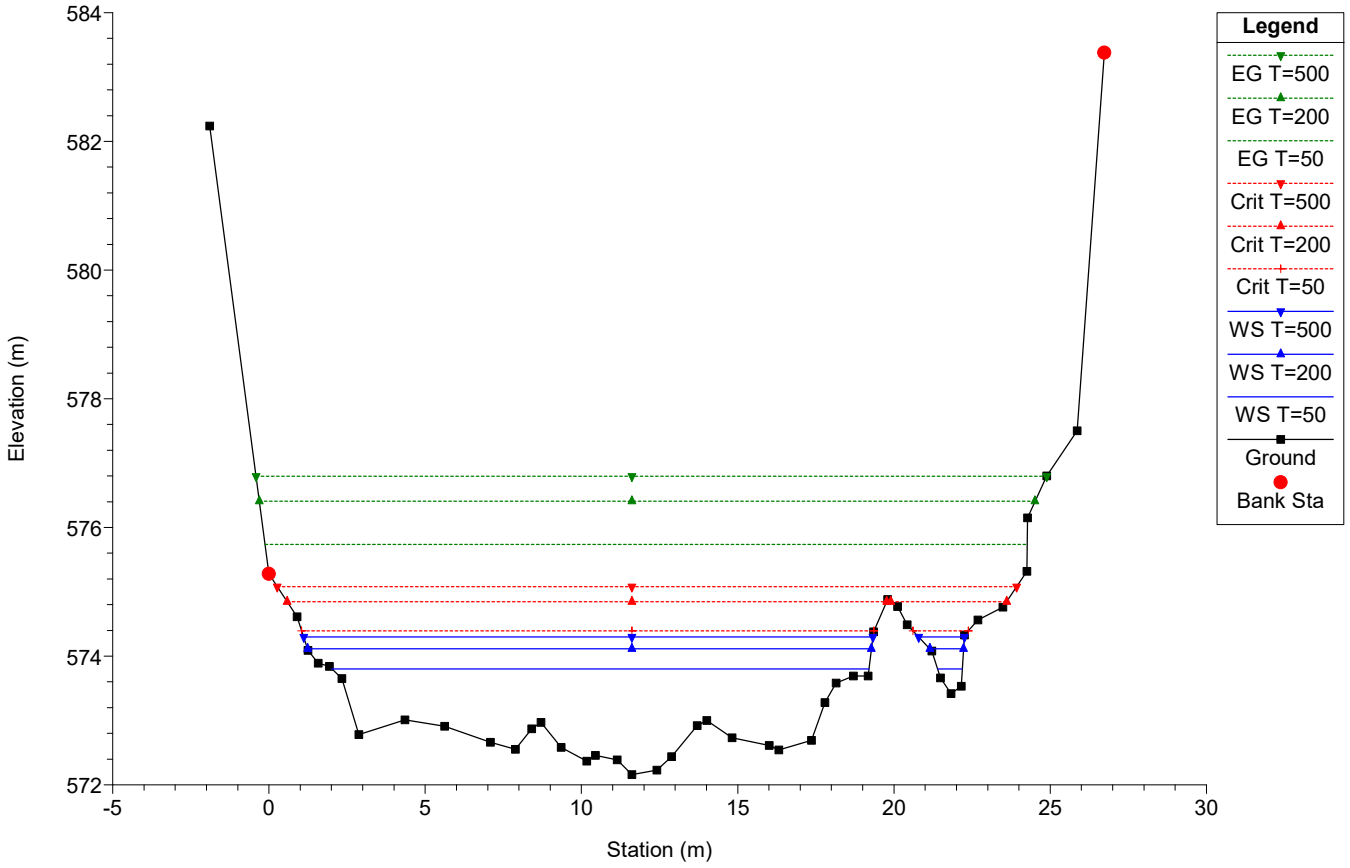
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021

RS = 10 Nuova Sezione 8



Arroscia_Mendatica Plan: Stato Attuale ottobre 2020 Ks15 05/03/2021

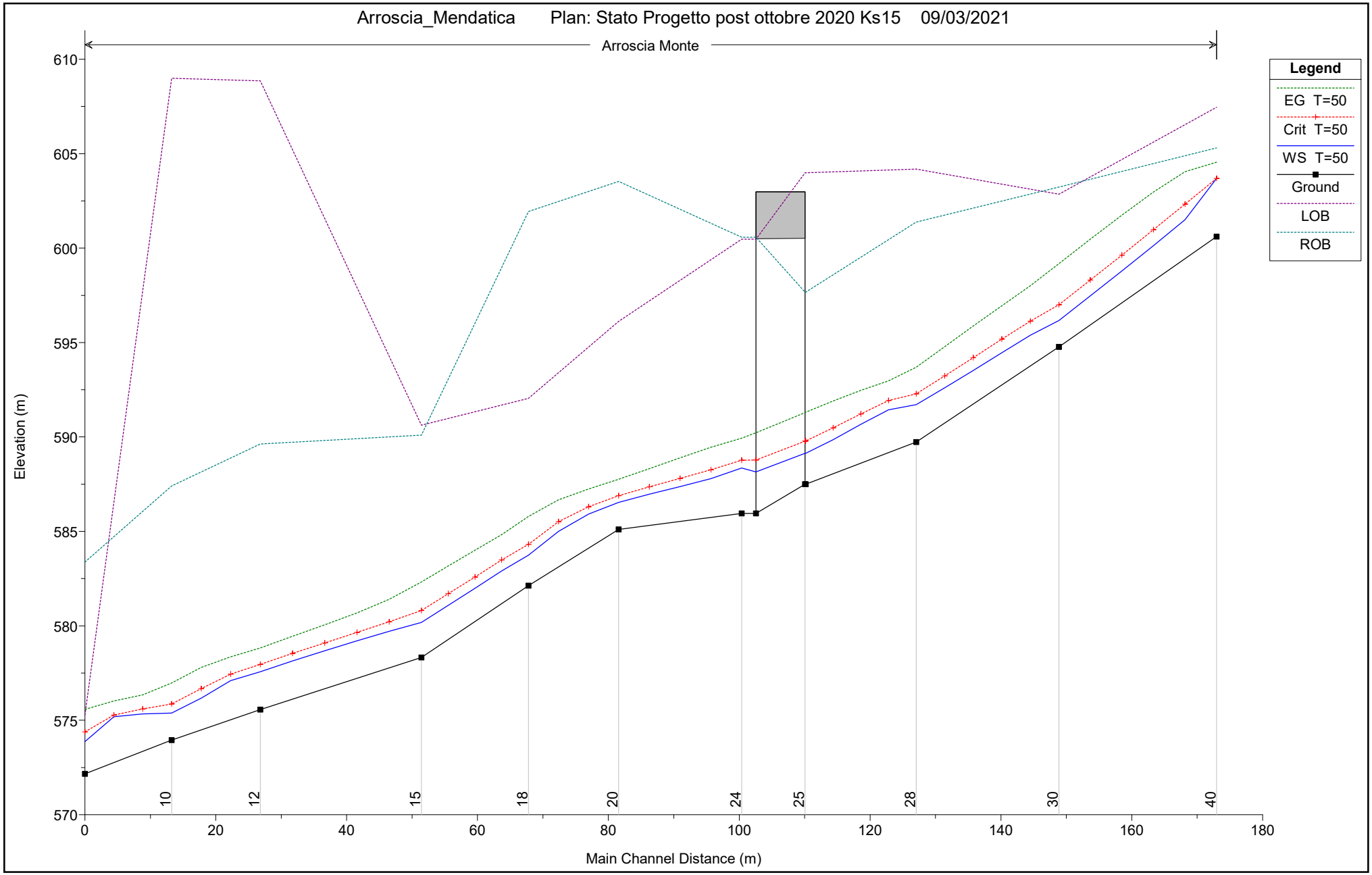
RS = 5 Nuova Sezione 9

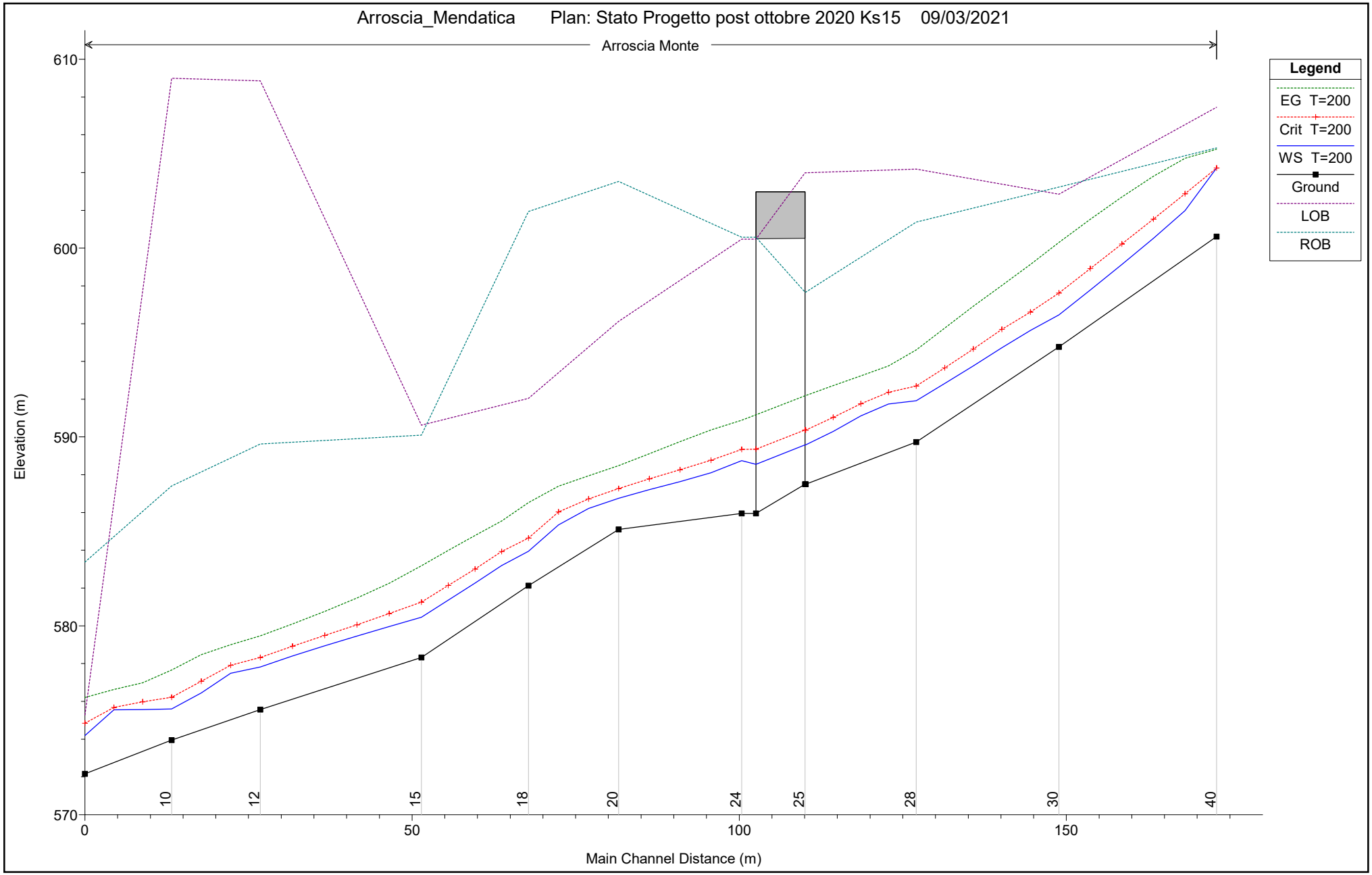


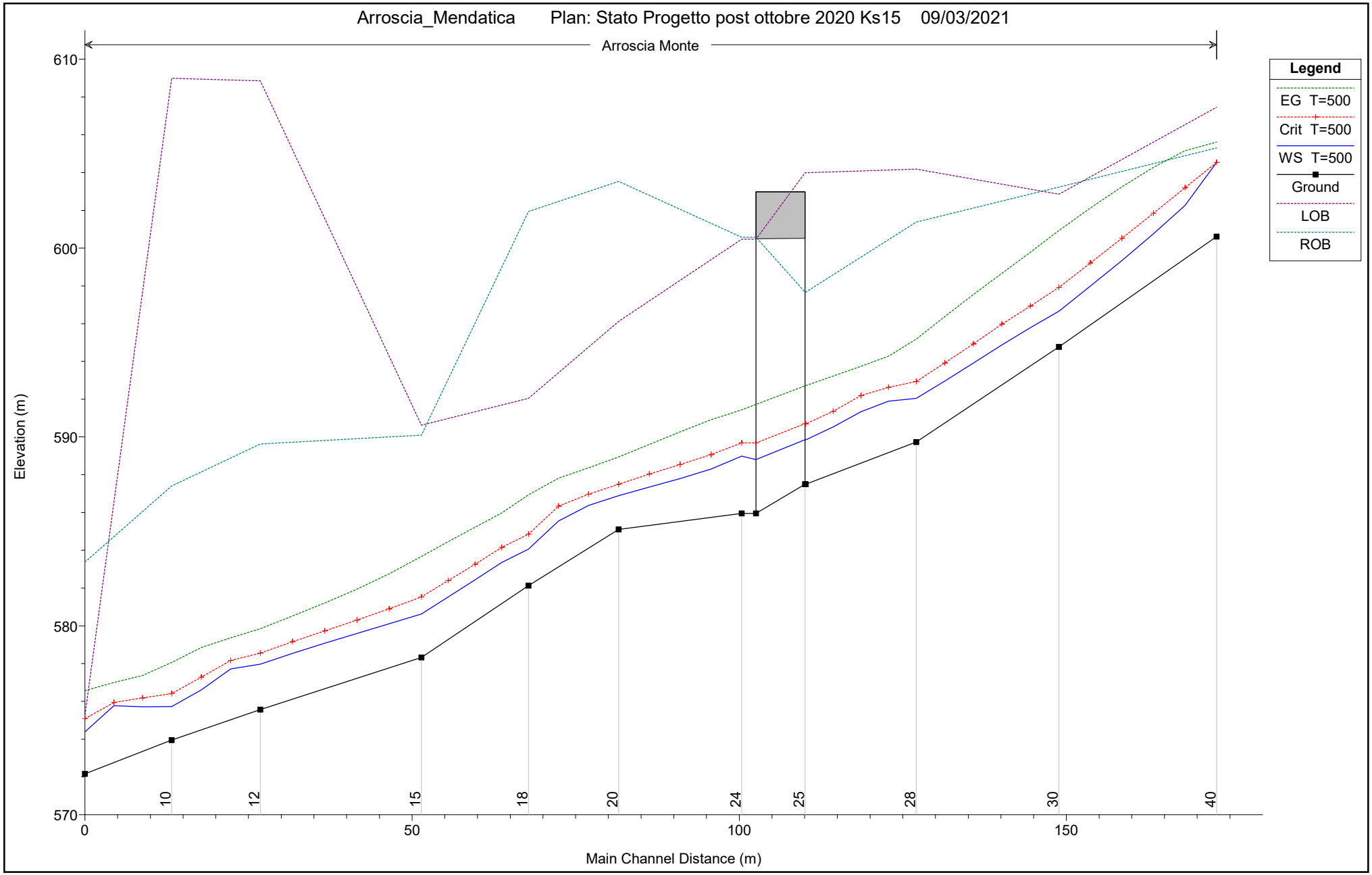
HEC-RAS Plan: S.A. Ott 2020 River: Arroscia Reach: Monte

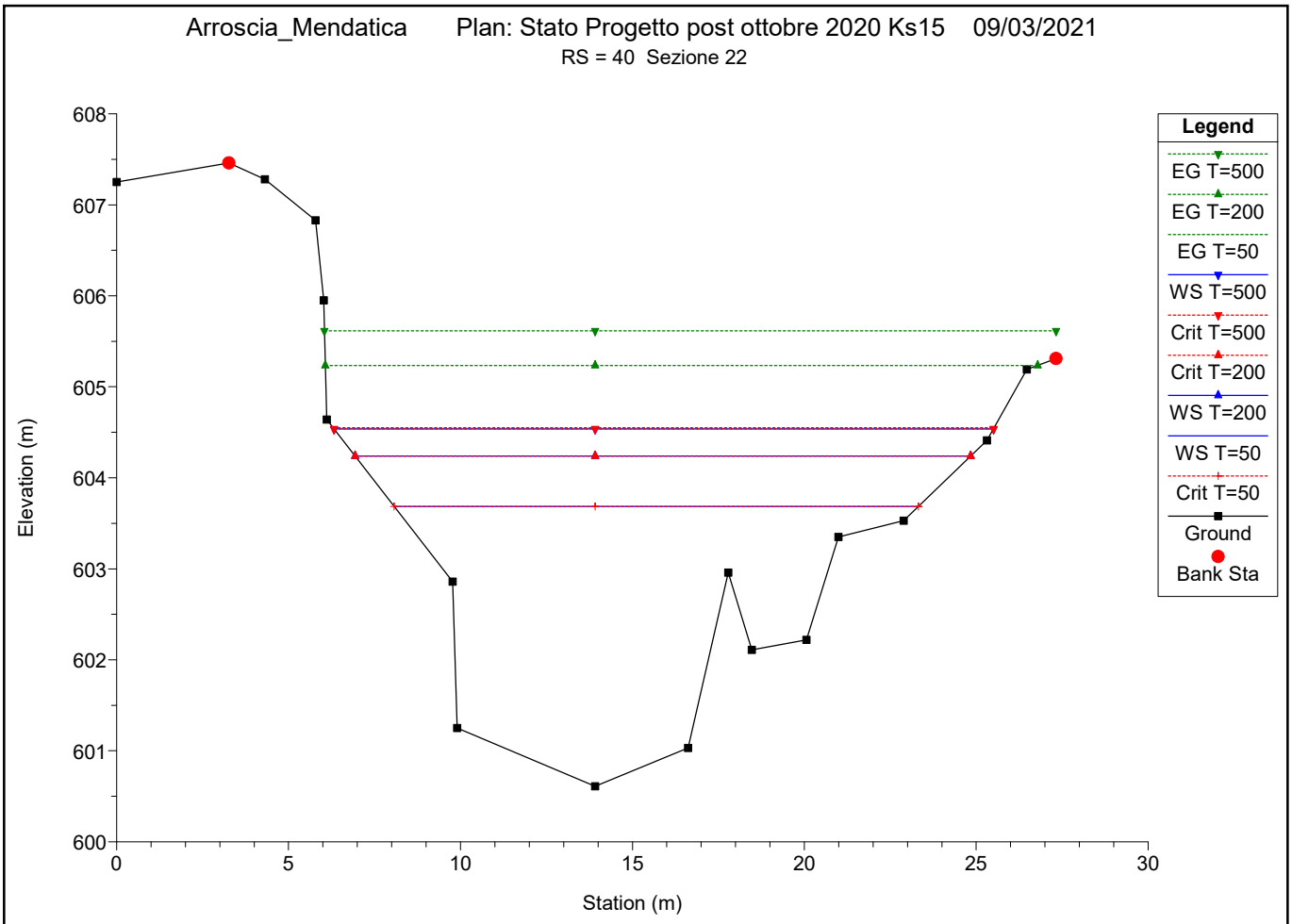
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Monte	40	T=50	108.21	600.61	603.69	603.69	604.55	0.049803	4.12	26.26	15.25	1.00
Monte	40	T=200	156.55	600.61	604.24	604.24	605.23	0.046368	4.42	35.42	17.91	1.00
Monte	40	T=500	188.36	600.61	604.54	604.54	605.61	0.044841	4.60	40.98	19.18	1.00
Monte	30	T=50	108.21	594.77	596.16	597.00	599.18	0.271042	7.70	14.05	13.03	2.37
Monte	30	T=200	156.55	594.77	596.47	597.62	600.31	0.262718	8.69	18.01	13.20	2.37
Monte	30	T=500	188.36	594.77	596.65	597.92	600.96	0.256013	9.19	20.50	13.31	2.36
Monte	28	T=50	108.21	589.72	592.67	593.33	594.50	0.132743	6.00	18.03	11.00	1.50
Monte	28	T=200	156.55	589.72	593.10	593.77	595.11	0.191023	6.28	24.94	21.50	1.86
Monte	28	T=500	188.36	589.72	593.23	593.97	595.56	0.205719	6.76	27.88	22.83	1.95
Monte	26	T=50	108.21	587.29	589.31	589.93	591.37	0.172185	6.36	17.01	16.23	1.82
Monte	26	T=200	156.55	587.29	589.70	590.44	592.19	0.149317	7.00	22.38	16.51	1.75
Monte	26	T=500	188.36	587.29	589.95	590.78	592.66	0.137461	7.30	25.79	16.69	1.71
Monte	25		Bridge									
Monte	24	T=50	108.21	585.95	589.07	589.21	590.16	0.057213	4.64	23.32	13.83	1.12
Monte	24	T=200	156.55	585.95	589.40	589.81	591.01	0.069614	5.61	27.91	14.44	1.27
Monte	24	T=500	188.36	585.95	589.62	590.17	591.50	0.073814	6.08	30.96	14.83	1.32
Monte	20	T=50	108.21	585.11	587.41	587.61	588.25	0.108170	4.07	26.58	28.54	1.35
Monte	20	T=200	156.55	585.11	587.62	587.93	588.78	0.118674	4.76	32.87	29.39	1.44
Monte	20	T=500	188.36	585.11	587.74	588.12	589.10	0.126519	5.17	36.44	30.04	1.50
Monte	18	T=50	108.21	582.13	584.00	584.59	585.80	0.190109	5.94	18.22	18.38	1.90
Monte	18	T=200	156.55	582.13	584.31	584.91	586.33	0.215392	6.29	24.88	25.36	2.03
Monte	18	T=500	188.36	582.13	584.45	585.10	586.67	0.218593	6.60	28.54	27.27	2.06
Monte	15	T=50	108.21	578.32	580.83	581.68	583.07	0.193783	6.63	16.31	12.19	1.83
Monte	15	T=200	156.55	578.32	581.36	582.06	583.56	0.173227	6.57	23.83	16.53	1.75
Monte	15	T=500	188.36	578.32	581.58	582.27	583.85	0.209546	6.69	28.17	23.27	1.94
Monte	12	T=50	108.21	575.56	577.50	578.08	579.29	0.180471	5.92	18.29	18.29	1.89
Monte	12	T=200	156.55	575.56	577.83	578.43	579.80	0.191414	6.22	25.17	24.18	1.95
Monte	12	T=500	188.36	575.56	577.99	578.63	580.12	0.191029	6.47	29.12	26.14	1.96
Monte	10	T=50	108.21	573.94	576.13	576.53	577.37	0.140196	4.93	21.94	21.99	1.58
Monte	10	T=200	156.55	573.94	576.39	576.88	577.99	0.160386	5.59	27.99	25.91	1.72
Monte	10	T=500	188.36	573.94	576.52	577.08	578.36	0.166069	6.01	31.35	26.66	1.77
Monte	5	T=50	108.21	572.16	573.80	574.39	575.74	0.203369	6.16	17.56	17.98	1.99
Monte	5	T=200	156.55	572.16	574.11	574.84	576.41	0.186037	6.71	23.33	19.13	1.94
Monte	5	T=500	188.36	572.16	574.30	575.08	576.79	0.177762	7.00	26.90	19.68	1.91

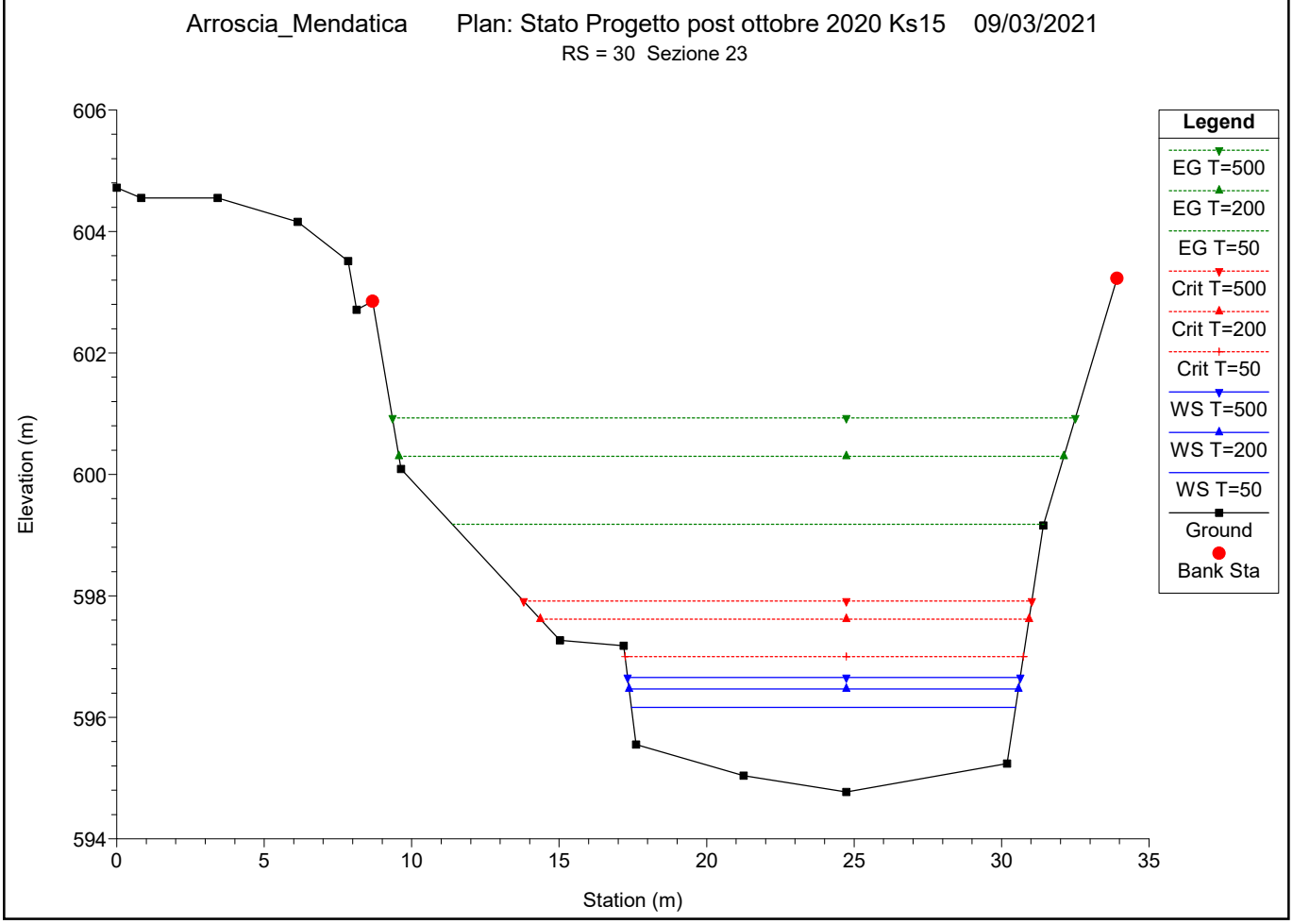
Simulazione Hec-Ras 4.1.0
Stato di progetto - Plan: Progetto

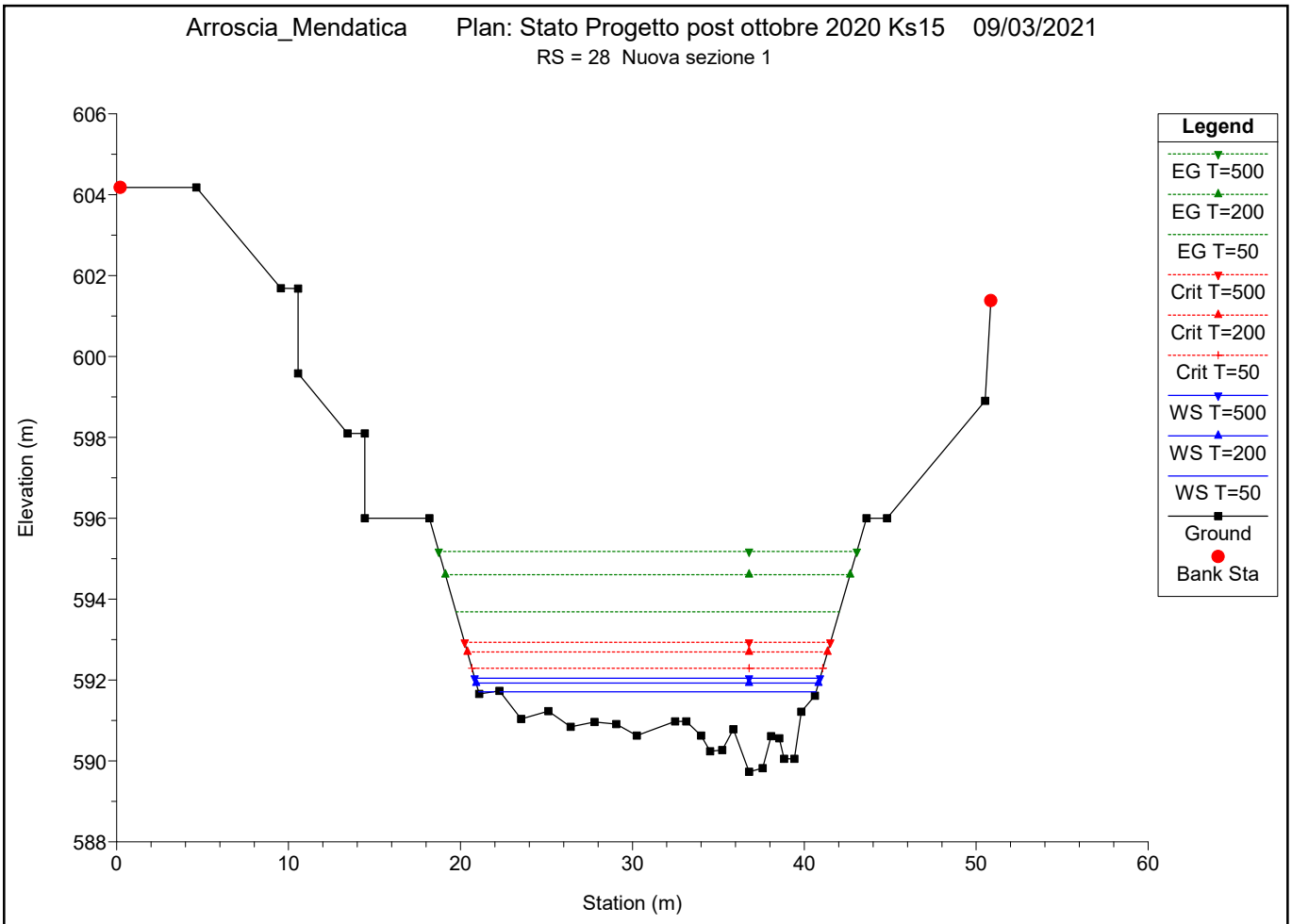

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=50
Crit T=50
WS T=50
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
605
600
595
590
585
580
575
570
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Main Channel Distance (m)
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40

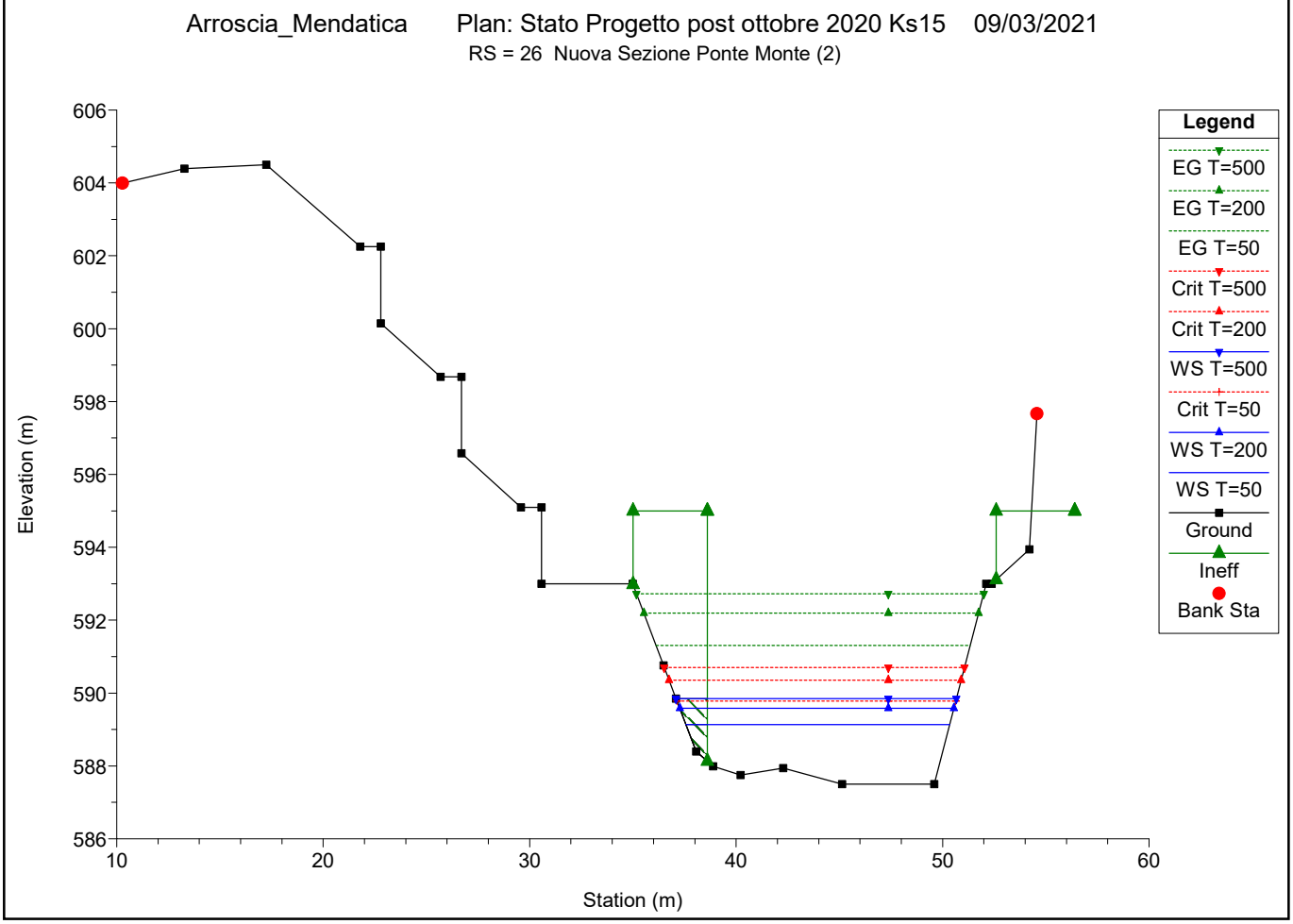

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=200
Crit T=200
WS T=200
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
600
590
580
570
0
50
100
150
Main Channel Distance (m)
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40

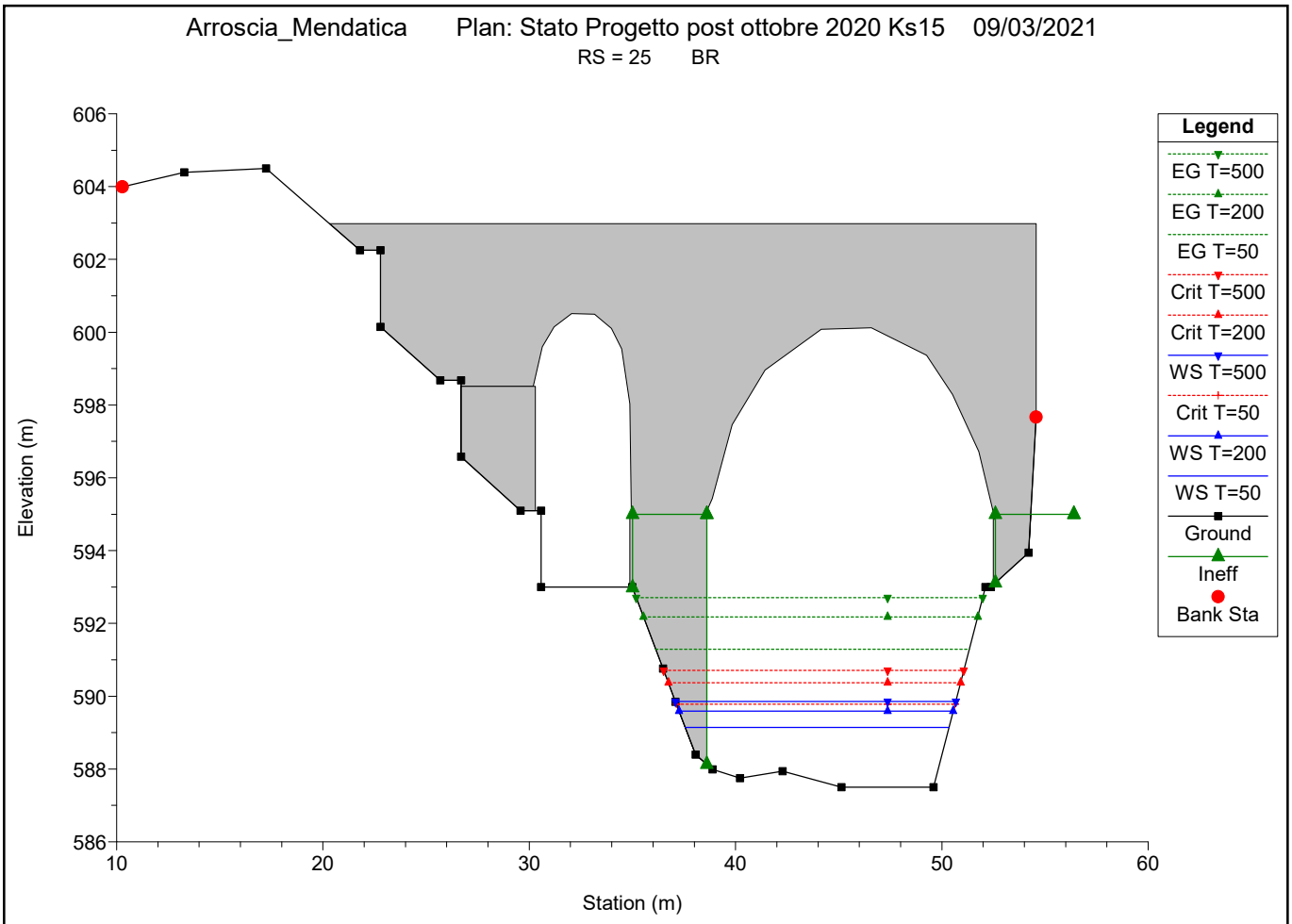

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
Arroscia Monte
Legend
EG T=500
Crit T=500
WS T=500
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
610
600
590
580
570
0
50
100
150
Main Channel Distance (m)
10
12
15
18
20
24
25
28
30
40

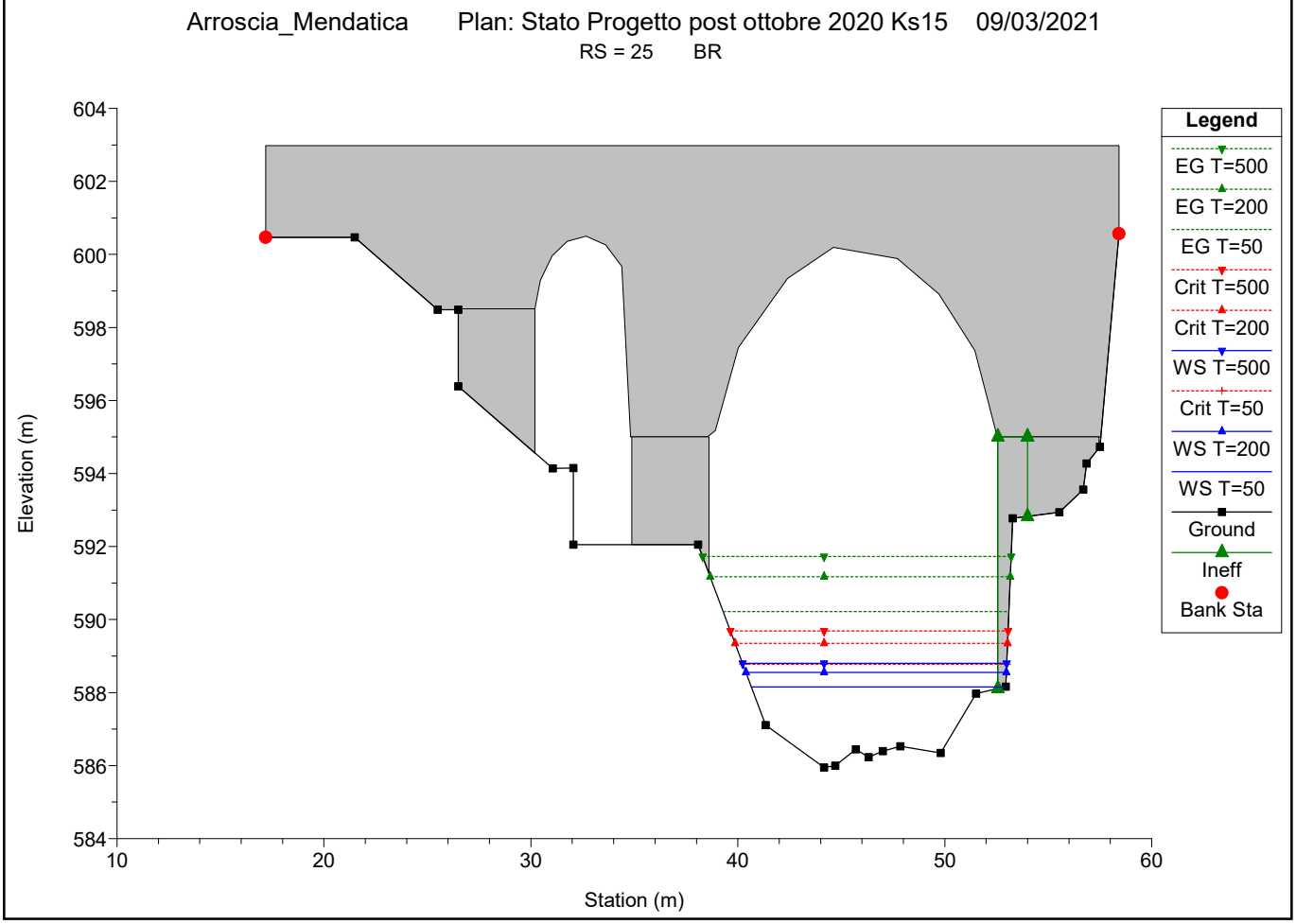

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 40 Sezione 22
Elevation (m)
Station (m)
608
607
606
605
604
603
602
601
600
0
5
10
15
20
25
30
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
WS T=500
Crit T=500
Crit T=200
WS T=200
WS T=50
Crit T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 30 Sezione 23
Elevation (m)
Station (m)
606
604
602
600
598
596
594
0
5
10
15
20
25
30
35
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
Crit T=50
WS T=500
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 28 Nuova sezione 1
Elevation (m)
Station (m)
606
604
602
600
598
596
594
592
590
588
0
10
20
30
40
50
60
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
Crit T=50
WS T=500
WS T=200
WS T=50
Ground
Bank Sta

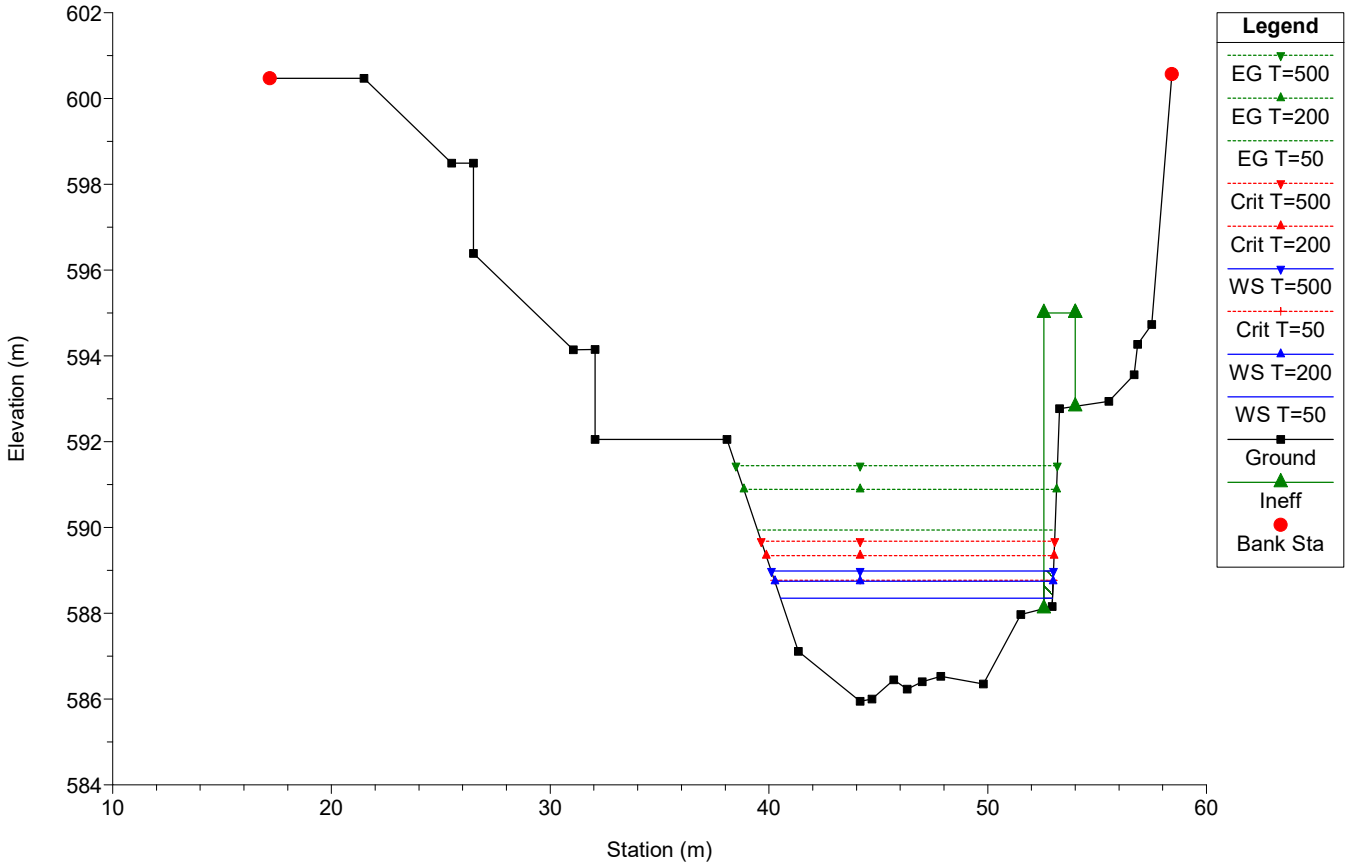

Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 26 Nuova Sezione Ponte Monte (2)
Elevation (m)
Station (m)
606
604
602
600
598
596
594
592
590
588
586
10
20
30
40
50
60
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Ineff
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 25 BR
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Ineff
Bank Sta


Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021
RS = 25 BR
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG T=500
EG T=200
EG T=50
Crit T=500
Crit T=200
WS T=500
Crit T=50
WS T=200
WS T=50
Ground
Ineff
Bank Sta

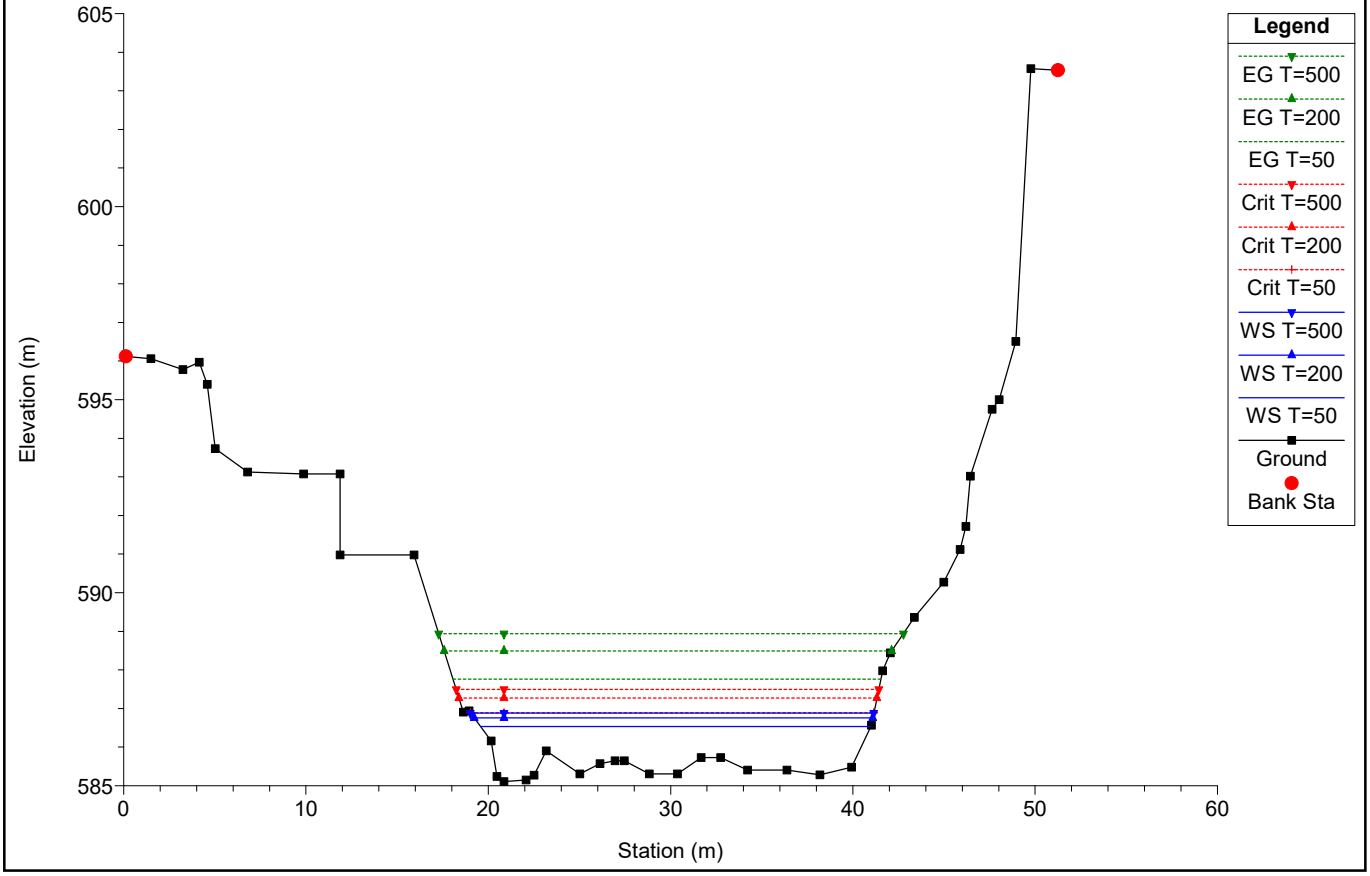
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 24 Nuova Sezione ponte valle (3)



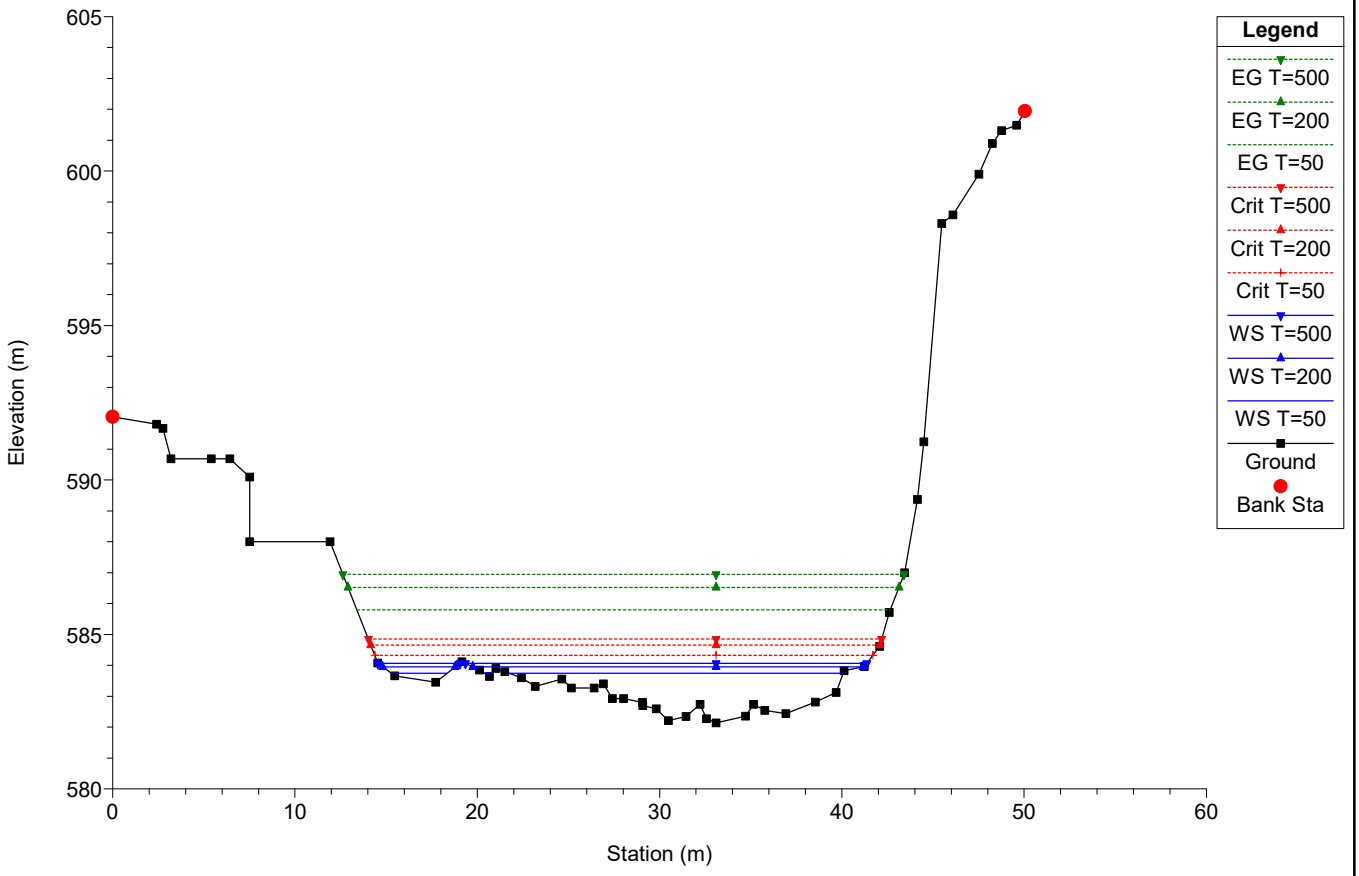
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 20 Nuova sezione 4



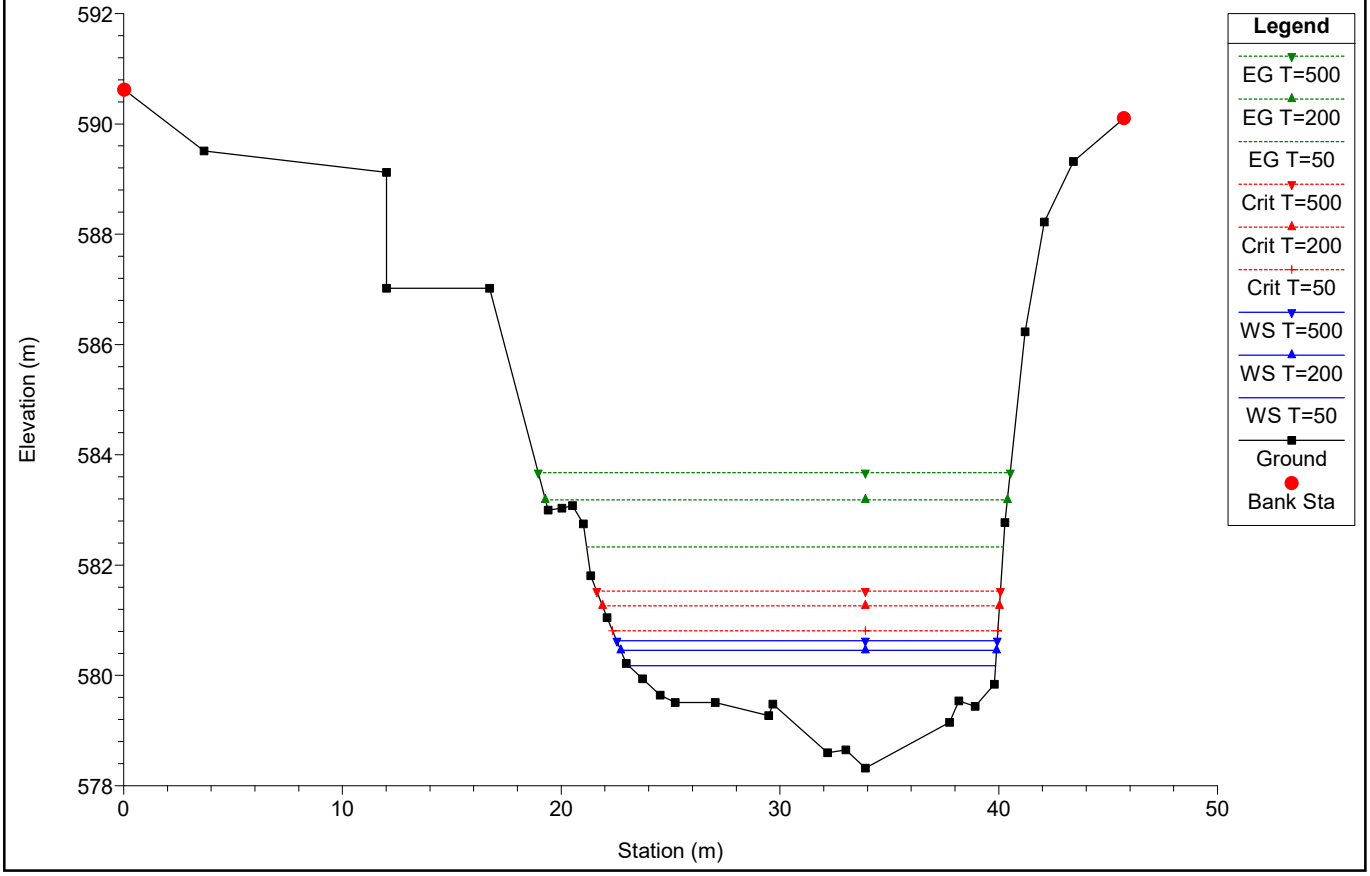
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 18 Nuova sezione 5



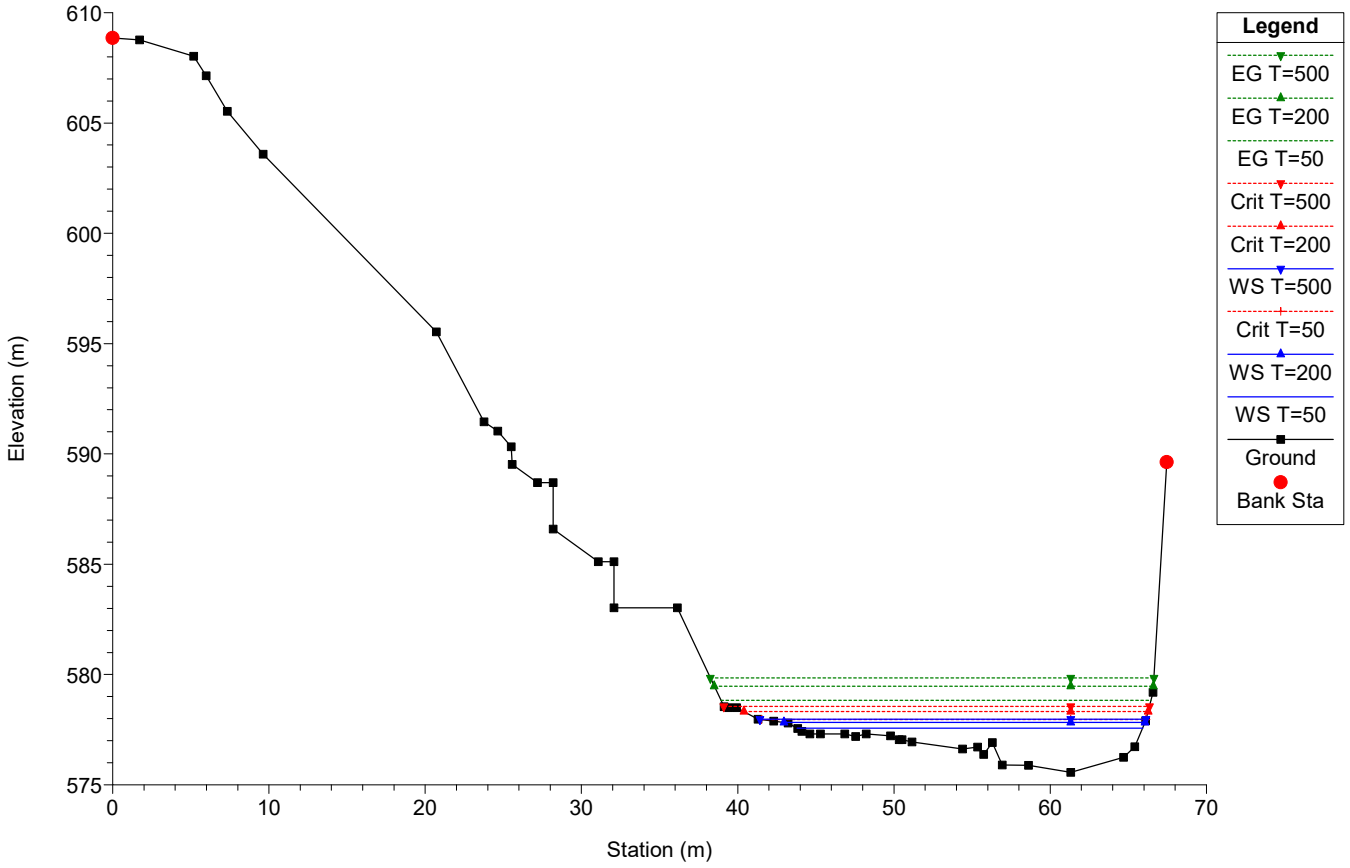
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 15 Nuova sezione 6



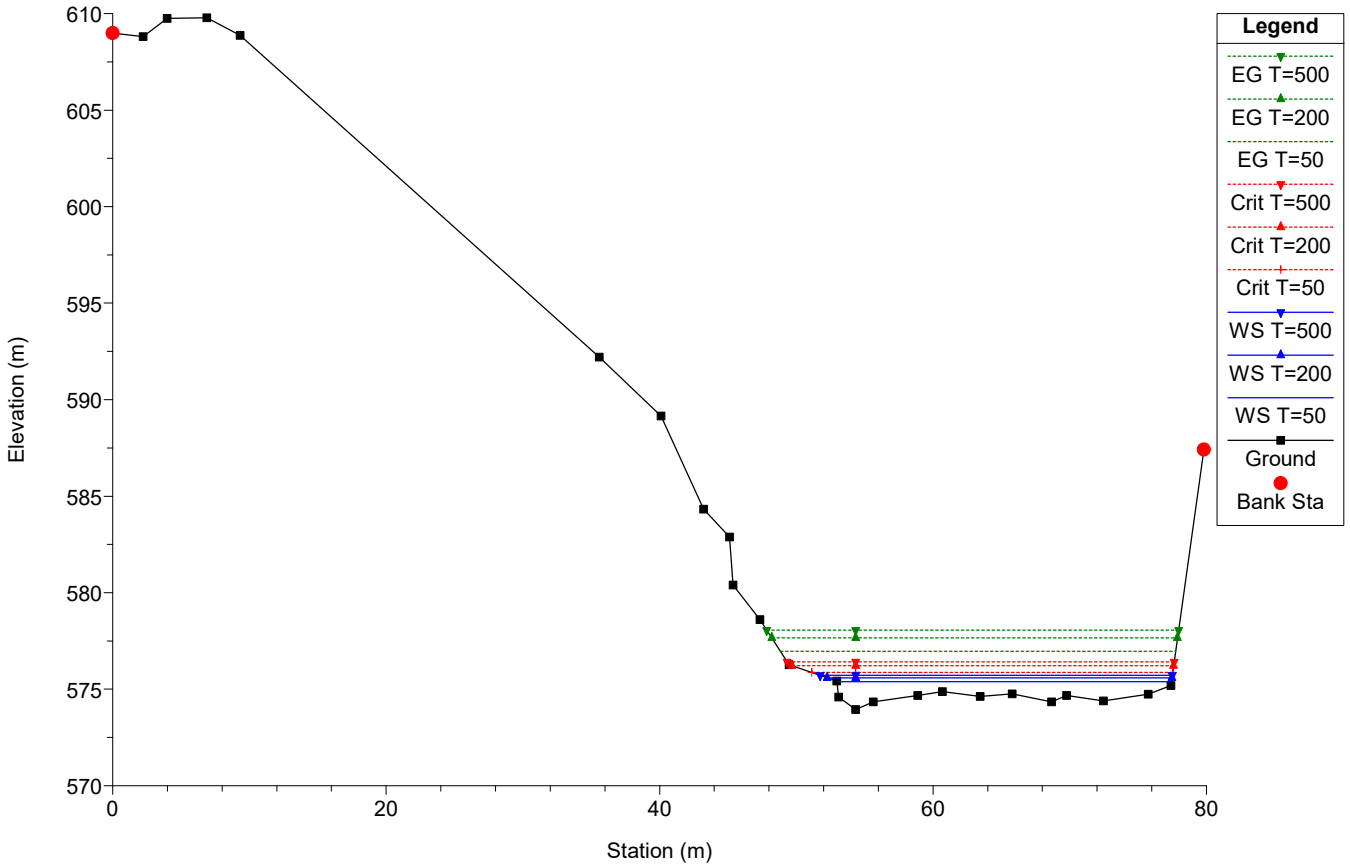
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 12 Nuova sezione 7



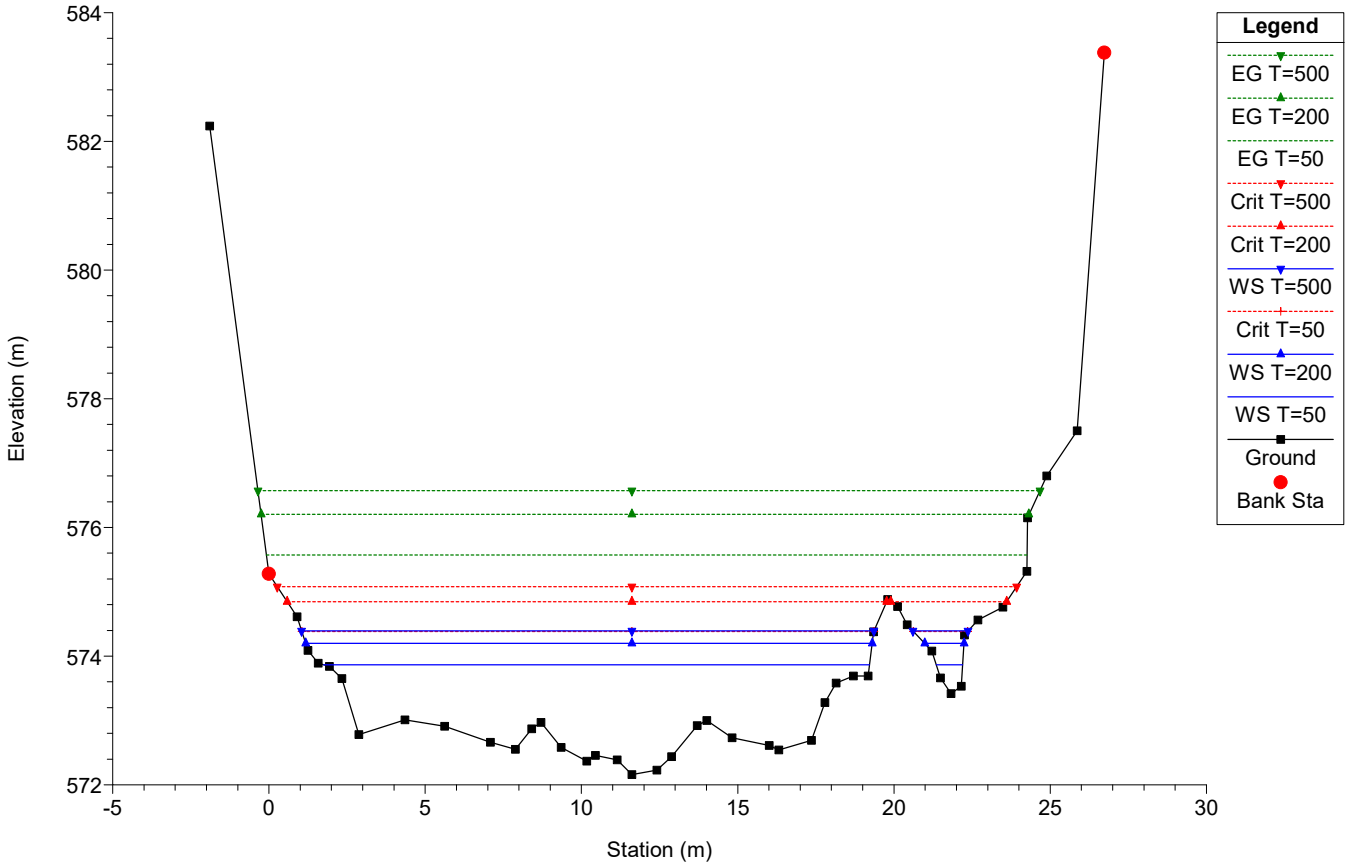
Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 10 Nuova Sezione 8



Arroscia_Mendatica Plan: Stato Progetto post ottobre 2020 Ks15 09/03/2021

RS = 5 Nuova Sezione 9



HEC-RAS Plan: SU Ott 2020 River: Arroscia Reach: Monte

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Monte	40	T=50	108.21	600.61	603.69	603.69	604.55	0.049803	4.12	26.26	15.25	1.00
Monte	40	T=200	156.55	600.61	604.24	604.24	605.23	0.046368	4.42	35.42	17.91	1.00
Monte	40	T=500	188.36	600.61	604.54	604.54	605.61	0.044841	4.60	40.98	19.18	1.00
Monte	30	T=50	108.21	594.77	596.17	597.00	599.18	0.269994	7.69	14.07	13.03	2.36
Monte	30	T=200	156.55	594.77	596.47	597.62	600.30	0.260612	8.67	18.06	13.20	2.37
Monte	30	T=500	188.36	594.77	596.66	597.92	600.93	0.253331	9.16	20.57	13.31	2.35
Monte	28	T=50	108.21	589.73	591.71	592.29	593.69	0.241572	6.23	17.37	19.27	2.10
Monte	28	T=200	156.55	589.73	591.92	592.69	594.61	0.258570	7.26	21.57	19.91	2.23
Monte	28	T=500	188.36	589.73	592.05	592.93	595.18	0.265791	7.84	24.02	20.08	2.29
Monte	26	T=50	108.21	587.50	589.13	589.78	591.31	0.137214	6.54	16.56	12.77	1.76
Monte	26	T=200	156.55	587.50	589.58	590.36	592.19	0.119558	7.16	21.86	13.28	1.69
Monte	26	T=500	188.36	587.50	589.85	590.70	592.72	0.112758	7.51	25.08	13.58	1.66
Monte	25		Bridge									
Monte	24	T=50	108.21	585.95	588.35	588.77	589.94	0.088241	5.57	19.41	12.44	1.40
Monte	24	T=200	156.55	585.95	588.74	589.34	590.88	0.093241	6.48	24.15	12.72	1.48
Monte	24	T=500	188.36	585.95	588.99	589.68	591.44	0.093937	6.94	27.14	12.90	1.50
Monte	20	T=50	108.21	585.11	586.53	586.89	587.76	0.116168	4.92	22.01	21.40	1.55
Monte	20	T=200	156.55	585.11	586.76	587.27	588.49	0.130026	5.83	26.87	21.87	1.68
Monte	20	T=500	188.36	585.11	586.89	587.49	588.94	0.137807	6.34	29.69	22.13	1.75
Monte	18	T=50	108.21	582.13	583.74	584.32	585.80	0.277287	6.36	17.02	21.72	2.29
Monte	18	T=200	156.55	582.13	583.95	584.65	586.52	0.301663	7.10	22.04	25.38	2.43
Monte	18	T=500	188.36	582.13	584.07	584.85	586.94	0.301315	7.51	25.08	26.52	2.47
Monte	15	T=50	108.21	578.32	580.18	580.81	582.33	0.207144	6.50	16.66	16.77	2.08
Monte	15	T=200	156.55	578.32	580.46	581.26	583.18	0.198622	7.31	21.40	17.18	2.09
Monte	15	T=500	188.36	578.32	580.63	581.53	583.68	0.192749	7.74	24.35	17.39	2.09
Monte	12	T=50	108.21	575.56	577.57	577.96	578.83	0.126507	4.98	21.71	22.12	1.61
Monte	12	T=200	156.55	575.56	577.82	578.32	579.47	0.127371	5.68	27.56	23.10	1.66
Monte	12	T=500	188.36	575.56	577.97	578.55	579.85	0.135810	6.07	31.03	24.72	1.73
Monte	10	T=50	108.21	573.95	575.39	575.87	576.97	0.203952	5.58	19.39	24.47	2.00
Monte	10	T=200	156.55	573.95	575.60	576.22	577.66	0.202813	6.36	24.60	25.21	2.06
Monte	10	T=500	188.36	573.95	575.72	576.42	578.06	0.202037	6.78	27.79	25.75	2.08
Monte	5	T=50	108.21	572.16	573.87	574.39	575.57	0.170166	5.79	18.69	18.30	1.83
Monte	5	T=200	156.55	572.16	574.20	574.84	576.20	0.152803	6.27	24.95	19.38	1.76
Monte	5	T=500	188.36	572.16	574.39	575.08	576.57	0.146774	6.54	28.78	20.07	1.74