



COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO

Provincia di Pesaro ed Urbino

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

INTERVENTI RELATIVI AL PRIMO STRALCIO FUNZIONALE: SISTEMAZIONE TRATTO
TERMINALE TORRENTE MORSINA E MESSA IN SICUREZZA VERSANTE IN DESTRA
IDRAULICA TORRENTE APSA
LOTTO 1

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Elaborato:

RS.01

Titolo:

RELAZIONI SPECIALISTICHE
Relazione idrologica e idraulica

Scala:

-

Revisione

0

Data

Firma

Ing. Dante LEONI (EDILING srl)

Progettazione: EDILING srl


—SOCIETÀ DI INGEGNERIA—
Ing. Dante LEONI (Capogruppo)

IL RUP:
Arch. Jenny Giovannini

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. INQUADRAMENTO GENERALE	5
3.1. Inquadramento territoriale	5
3.2. Area oggetto di studio.....	5
4. FINALITÀ E SCELTE PROGETTUALI	7
5. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	8
6. IDROLOGIA	10
6.1. Metodologia VAPI	12
6.1.1. Portate istantanee al colmo di piena	13
6.1.2. Pioggia indice.....	15
6.1.3. Portata indice.....	16
6.1. Calcolo della massima portata di piena	18
7. VERIFICHE IDRAULICA	20
8. SCELTA DEL MODELLO MATEMATICO PER LE VERIFICHE IN MOTO PERMANENTE	20
8.1. Il modello Hec-Ras	21
8.2. Dati in ingresso	24
8.2.1. Determinazione della Scabrezza.....	24
8.3. Ponti / manufatti attraversamento	27
8.4. Condizioni al Contorno	29
9. APPLICAZIONE DEL MODELLO HEC-RAS	29
9.1. Scelta delle sezioni significative	30
9.2. Altezza delle sponde	30
9.3. Definizione della scabrezza	30
9.3.1. Determinazione del coefficiente di scabrezza per l'alveo di magra	31
9.3.2. Determinazione del coefficiente di scabrezza per le golene.....	32
9.4. Condizioni al contorno adottate.....	33
10. VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA	34
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	36
12. ALLEGATI	36
ALLEGATO.01.....	37
ALLEGATO.02.....	38

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

ALLEGATO.03	39
ALLEGATO.04	40

1. PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idrologico per la caratterizzazione dei parametri delle leggi di pioggia del progetto volto alla MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA.

Le opere di progetto riguardano il primo stralcio degli interventi previsti (LOTTO 1) che hanno come obiettivo la "sistemazione del tratto terminale del torrente Morsina e la messa in sicurezza del versante in destra idraulica del torrente Apsa".

Nel seguito, vengono illustrati e descritti gli studi e le indagini sviluppati per la caratterizzazione pluviometrica delle aree oggetto di intervento; sarà ricavata la portata nella sezione di chiusura del bacino idrografici di studio, vengono esposte le semplificazioni assunte e le metodologie di calcolo utilizzate per le verifiche ante e post intervento.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La principale normativa di riferimento nella progettazione delle opere oggetto dei lavori è la Segue.

OPERE IDRAULICHE E TUTELA AMBIENTALE

- Rd 25/07/1904 n° 523 Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie;
- Dpr 15/01/1972 n° 8 Trasferimento alle regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici;
- L. 319/76 (LEGGE MERLI) Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento;
- Dpr 24/7/1977 n° 616 Trasferimento delle funzioni statali alle regioni;
- L. 183/89 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo;
- L. 142/90 Ordinamento delle autonomie locali;
- DI 04/12/1993 n° 496 Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (convertito con modificazioni dalla l. 61/94);
- L. 36/94 (LEGGE GALLI) Disposizioni in materia di risorse idriche;
- Dpr 14/4/94 Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183;
- Dpr 18/7/95 Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino;
- Dpcm 4/3/96 Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della legge Galli);
- Decreto legislativo 31/3/1998, n° 112 Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59;
- Dpcm 29/9/98 Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, n. 180;
- L. 267/98 (legge Sarno)

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

- o Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152. Norme in materia ambientale e s.m.i.
- o D.M. 10 agosto 2012, n. 161. Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo
- o L. 9-8-2013 n. 98, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 21 giugno 2013, n. 69, recante disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia, artt. 41 e 41bis.

NORME TECNICHE STRUTTURALI

- o D.M. 14 gennaio 2008 – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni;
- o D.M. 6 maggio 2008 – Integrazione al decreto 14 gennaio 2008 di approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- o C.M. 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

CONTENUTI PROGETTUALI, MODALITÀ DI AFFIDAMENTO ED ESECUZIONE DEI LAVORI

- o D. Lgs. 50/2016 – Nuovo Codice dei Contratti pubblici e s.m.i. (D.Lgs. 56/2017 – c.d. correttivo)
- o D.P.R. 5-10-2010 n. 207: Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE», per quanto ancora in vigore dopo l'emanazione del D.Lgs. 50/2016 e s.m.i.;
- o Legge 21 dicembre 2001, n. 443 – Delega al governo in materia di infrastrutture e insediamenti produttivi strategici e altri interventi per il rilancio delle attività produttive;
- o D. Lgs. 12 aprile 2006, n. 163 – Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, per quanto ancora in vigore dopo l'emanazione del D.Lgs. 50/2016 e s.m.i.;
- o Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 12 marzo 2004 n. 123. (Schemi di polizza tipo);
- o D.M. 19 aprile 2000, n. 145 – Regolamento recante il capitolato generale d'appalto dei lavori pubblici, ai sensi dell'articolo 3, comma 5, della legge 11 febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni, parzialmente abrogato con D.P.R. 05/10/2010 n. 207;

SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO

- o D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81 – Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e s.m.i.
- o D. Lgs. 01.10.2012 n. 178 a titolo "Modifiche al decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81 in materia di sicurezza sul lavoro per la bonifica degli ordigni bellici".
- o D.P.R. 177/2011 (regolamento recante norme per la qualificazione delle imprese e dei lavoratori autonomi operanti in ambienti sospetti di inquinamento o confinati a norma dell'art. 6, comma 8, lettera "g", e art. 27 del D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008) e successivi chiarimenti formulati in data 18.04.2012 dalla Commissione consultiva permanente per la salute e sicurezza del lavoro del Ministero del Lavoro (con l'approvazione del manuale illustrato per lavori in ambienti sospetti di inquinamento o confinati ai sensi dell'art.3, comma 3, del DPR 177/2011).
- o Accordo Stato-Regioni del 21.12.2011 e del 22.02.2012.

REGIONE MARCHE

- o Legge regionale n° 18 del 22/6/1998 Disciplina delle risorse idriche;
- o Legge regionale 17/5/1999, n° 10 Riordino delle funzioni amministrative della Regione e degli Enti Locali nei settori dello sviluppo economico ed attività produttive, del territorio, ambiente

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

e infrastrutture, dei servizi alla persona e alla comunità, nonché dell'ordinamento ed organizzazione amministrativa;

- o Legge regionale 25/5/1999, n° 13 Disciplina regionale della difesa del suolo;
- o Legge regionale 9/6/2006, n° 5 Disciplina della derivazione di acqua pubblica e delle occupazioni del demanio idrico.

3. INQUADRAMENTO GENERALE

3.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Comune di Sant'Angelo in Vado ricade dal punto di vista amministrativo nella Provincia di Pesaro – Urbino, si estende per una superficie complessiva di 67 Km² e confina; a Nord con il territorio dei Comuni di Belforte all'Isauro, Piandimeleto e Urbino; Est con il territorio dei Comuni di Peglio e Urbana; a Sud con il territorio dei Comuni di Apecchio e Città di Castello (isola amministrativa); ad Ovest con il territorio dei Comuni di Mercatello sul Metauro.

Il territorio è individuato all'interno del Foglio IGM a Scala 1:100.000 108 ed è contraddistinto nella Cartografia Tecnica Regionale a Sc. 1:10.000 nelle sezioni n. 279050, 279060, 279090, 279100, 279130, 279140.

3.2. AREA OGGETTO DI STUDIO

Il corso d'acqua oggetto del presente studio è rappresentato dal Torrente Morsina che provenendo da sud-ovest confluisce nel Fiume Metauro. Alla sezione di chiusura posta in corrispondenza del punto di confluenza, presenta una lunghezza dell'asta di 7,35 km e un bacino a monte di 10,28 km².

Pertanto, le opere di progetto previste dal presente progetto saranno realizzate nella fascia demaniale del torrente Morsina nel tratto che scorre in prossimità del centro storico del Comune di Sant'Angelo in Vado che va dal ponte di via Benedetti Don William fino al ponte di via Fiorenzuola e via Madonna di Spaderno per il LOTTO 1 e da quest'ultimo fino ad arrivare allo sbocco nel Fiume Metauro per il LOTTO 2.



Fig.1 – Inquadramento area di intervento Torrente Morsina

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Fig.2 – Stralcio corografico di inquadramento torrente Morsina

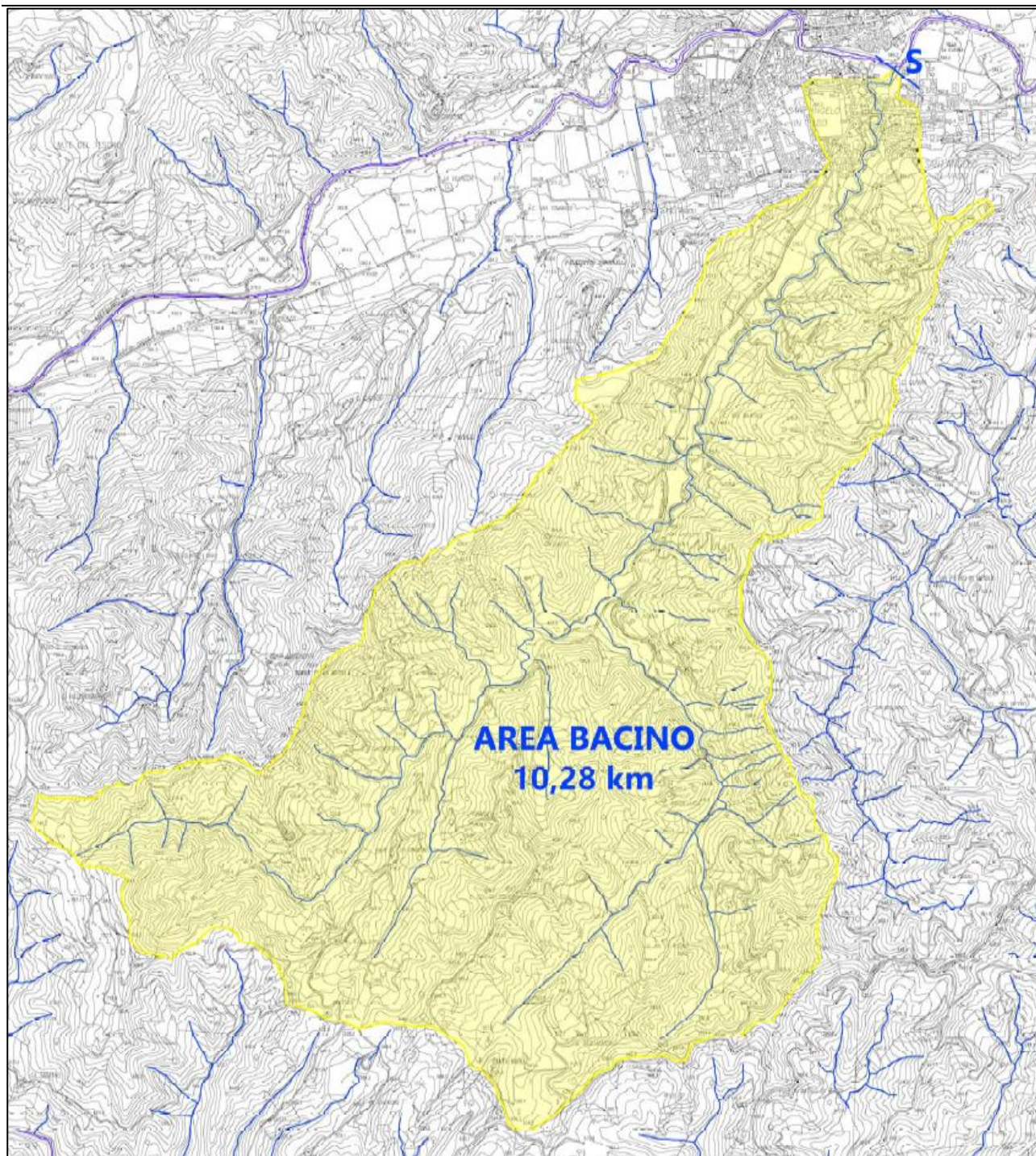


Fig.3 – Bacino idrografico del torrente Morsina

4. FINALITÀ E SCELTE PROGETTUALI

La finalità principale del progetto è quella di realizzare delle opere di miglioramento idraulico ed opere di contenimento delle sponde in grado di garantire un'adeguata officiosità idraulica del torrente Morsina, nonché la sistemazione di un tratto di versante in frana lungo il torrente Apsa.

Per il primo dei due interventi, individuando i franchi minimi che possano essere garantiti con eventi di piena aventi Tr 100 e 200 anni, si procederà alla verifica delle sezioni idrauliche del corso d'acqua,

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

in funzione della possibilità di riprofilatura e/o adeguamento delle stesse in relazione ai franchi minimi raggiungibili anche in considerazione dei contesti fortemente antropizzati entro i quali alcuni tratti risultano inseriti.

Per il secondo intervento verrà effettuata la verifica di stabilità del fronte in frana per la definizione delle opere di sostegno più adatte alla risoluzione della problematica.

5. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Il Piano per l'assetto idrogeologico (PAI), richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00, si configura come stralcio funzionale del settore della pericolosità idraulica ed idrogeologica del Piano generale di bacino previsto dalla L. 183/89 e dalla L.R. 13/99.

Il progetto di piano è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 13 del 30/04/2001. Il PAI è stato adottato, in prima adozione, con Delibera n. 15 del 28 giugno 2001. A seguito delle osservazioni alla prima adozione del piano e alle loro istruttorie, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha adottato definitivamente il PAI con Delibera n. 42 del 7 maggio 2003, successivamente approvato con Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004.

Con Delibera n.68 dell'8 agosto 2016 il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Regionale ha approvato il denominato "Aggiornamento 2016" del Piano di Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI) approvato con DCR n.116/2004.

IL PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. L'assetto idrogeologico comprende: l'assetto idraulico, riguardante le aree a rischio idraulico; l'assetto dei versanti, riguardante le aree a rischio di frane e valanghe.

Le finalità del Piano per l'assetto idraulico sono:

- la individuazione secondo la procedura definita nel Piano stesso, della fascia di territorio inondabile assimilabile a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni dei principali corsi d'acqua dei bacini regionali;
- la definizione, per le dette aree e per i restanti tratti della rete idrografica, di una strategia di gestione finalizzata a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a favorire il mantenimento o il ripristino dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;
- la definizione di una politica di prevenzione e di mitigazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di azioni e norme di piano e tramite la predisposizione di un assetto di progetto dei corsi d'acqua, definito nei tipi di intervento, nelle priorità di attuazione e nel fabbisogno economico di massima.

Nell'Art. 7 delle norme di attuazione (All. D) viene definita la fascia di territorio inondabile pertinente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni. La fascia di territorio inondabile assimilabile a piene con tempi di ritorno fino 200 anni comprende il relativo alveo di piena così come definito nell'allegato

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

indicato all'Articolo 3, comma 2, lettera d), "Indirizzi d'uso del territorio per la salvaguardia dai fenomeni di esondazione".

La fascia di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni costituisce, nei territori non urbanizzati, l'ambito di riferimento naturale per il massimo deflusso idrico ed ha la funzione del contenimento e laminazione naturale delle piene nonché la funzione della salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua. La fascia che, anche successivamente alla realizzazione degli interventi per la mitigazione del rischio idraulico previsti dal presente Piano, risulta inondabile per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni, costituisce l'ambito territoriale definitivo di deflusso delle piene.

Nel PAI di riferimento sono definite quattro classi di rischio, secondo le classificazioni di seguito riportate:

- rischio moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- rischio medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- rischio elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- rischio molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.

L'analisi dei documenti disponibili evidenzia che nella Carta Rischio Idrogeologico (Tavola RI 16a e RI 16d) non sono evidenziate criticità ed elementi di rischi per le aree oggetto di indagine, fatta salva la zona in corrispondenza dello sbocco del torrente Morsina nel Fiume Metauro che rientra in area a rischio esondazione moderato (R2) con riferimento a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni. Il livello di piena che si manifesta nel Fiume Metaure per il fissato periodo di ritorno determina una condizione di rigurgito nel tratto di confluenza del torrente Morsina che per il periodo di ritorno pari a $T_r=200$ anni raggiunge una quota pari a 346,20 m s.l.m..

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

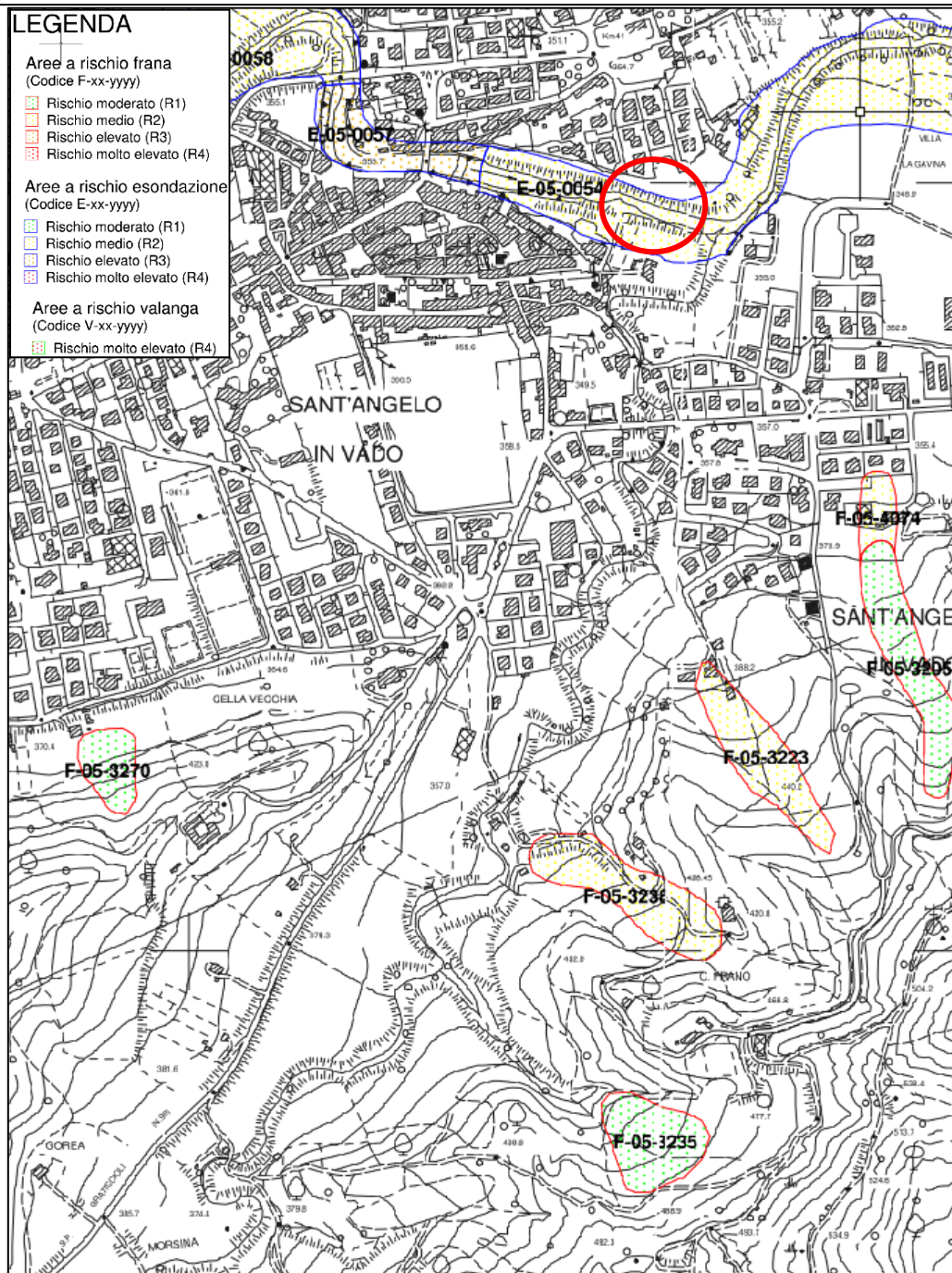


Fig.4 - Stralcio Carta Rischio Idrogeologico del PAI del Bacini Idrografico della Regione Marche - Aree di intervento Torrente Morsina

6. IDROLOGIA

La verifica idraulica del manufatto, sia in condizioni di stato di fatto che di progetto, deve prendere origine dalla definizione del bacino idrografico del corso d'acqua interessato, chiuso in corrispondenza della sezione di studio, e delle caratteristiche geomorfologiche dello stesso.

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura posta in corrispondenza della confluenza del torrente Morsina nel Fiume Metauro è stato tracciato utilizzando come cartografia di base la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Sono state poi definite tutte le grandezze geomorfologiche caratteristiche necessarie per le successive fasi della progettazione; in particolare sono stati definiti i seguenti parametri:

- Superficie del bacino A [km²];
- Quota massima [m s.l.m.];
- Altezza minima in corrispondenza della sezione di chiusura [m s.l.m.];
- Altezza media [m s.l.m.];
- Pendenza media i;
- Lunghezza dell'asta [km];
- Tempo di corrivazione t_c [ore];
- coefficiente di deflusso φ.

Per quanto riguarda invece il tempo di corrivazione t_c del bacino, esso può essere definito come l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale. La determinazione di tale parametro dipende fortemente dalle caratteristiche morfometriche del bacino idrografico in esame.

Per bacini di montagna e collina si può adottare la ben nota formula empirica di Giandotti così definita:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{med} - H_0}}$$

dove L rappresenta la lunghezza del percorso più lungo del bacino misurata in km.

Il coefficiente di deflusso φ tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione che intercorre tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia.

Un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita dalla letteratura scientifica come di seguito riportato:

Tab.1 - Coefficiente di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers

Caratteristiche del bacino	φ
Superfici pavimentate o impermeabili	0.70-0.95
Suoli sabbiosi a debole pendenza	0.05-0.10
Suoli sabbiosi a media pendenza	0.10-0.15
Suoli sabbiosi a elevata pendenza	0.15-0.20
Suoli argillosi a debole pendenza	0.13-0.17
Suoli argillosi a media pendenza	0.18-0.22
Suoli argillosi a elevata pendenza	0.25-0.35

La stima del valore appropriato del coefficiente di deflusso richiede la conoscenza del tipo di suolo e del suo uso, integrata ove possibile da dati e osservazioni sperimentali su eventi di piena nella regione idrologica di interesse.

Per il caso in esame, non avendo dai sufficienti a riguardo, è stato necessario dapprima tracciare i bacini idrografici dei corsi d'acqua di interesse utilizzando come base cartografica il CTR al 10.000, e successivamente calcolare le relative caratteristiche geomorfologiche.

6.1. METODOLOGIA VAPI

Sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto dei criteri del Progetto VAPI, ai differenti livelli della procedura gerarchica e per le differenti grandezze idrologiche, a cura dell'U.O. 1.31 (ENEL S.p.a. Unità di Idrologia di Mestre) e dell'U.O. 1.41 (DISTART Università di Bologna).

Per la determinazione del regime pluviometrico del corso d'acqua di interesse si è fatto riferimento ai risultati ricavati nell'ambito dello studio "La valutazione delle piogge intense su base regionale" (A. Brath, M. Franchini, 1998) di seguito descritto.

Lo studio citato ha come oggetto la particolarizzazione del Metodo VAPI-piogge al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

I modelli regionali VAPI si basano sull'ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all'interno delle quali le portate di colmo normalizzate rispetto ad una portata di riferimento – la portata indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.

Per la determinazione delle leggi di pioggia la procedura VAPI si basa sull'uso della distribuzione della probabilità cumulata tipo TCEV (Two Components Extreme Value)

L'intero territorio indagato risulta in definitiva suddiviso in 7 SZO omogenee nei confronti delle precipitazioni intense, visualizzate in Fig.5, le cui curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente probabilistico di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\theta_2} e^{-\eta k/\theta_2})}$$

risultano completamente definite dai parametri riportati in Tab.2.

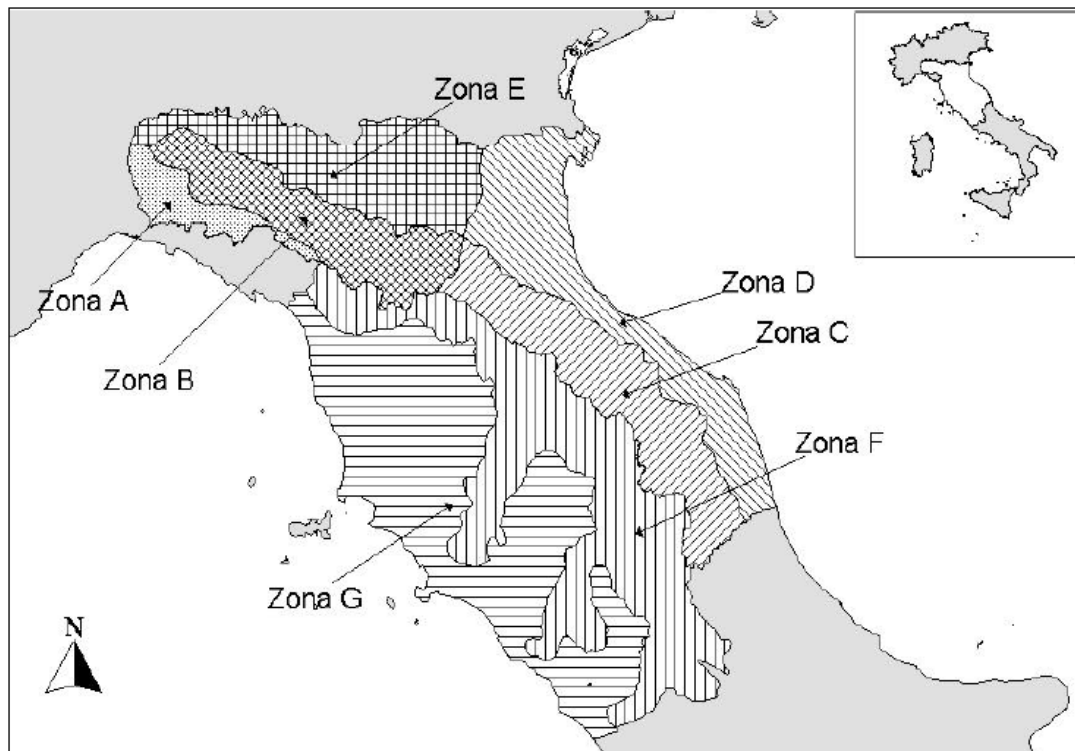


Fig.5 - Stralcio Carta Rischio Idrogeologico del PAI del Bacini Idrografico della Regione Marche - Aree di

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Tab.2 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di durata 1-24 ore nelle 7 SZO

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_1	η	durata (ore)
A	0.109	2.361	24.70	4.001	Tutte
B	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			19.35	4.629	3
			26.20	4.932	6
			39.20	5.335	≥12 e 1g
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			14.70	4.354	3
			20.25	4.674	6
			25.70	4.913	≥12 e 1g
D	0.361	2.363	29.00	4.634	Tutte
E	0.044	3.607	13.60	3.329	1
			19.80	3.704	3
			23.65	3.882	6
			30.45	4.135	≥ 12 e 1g
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	≥ 3 e 1g
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
	0.770	2.391	24.71	5.140	3
	0.380	2.592	26.21	4.633	6
	0.303	2.799	30.01	4.680	12
	0.221	3.322	30.78	4.628	24 e 1g

Per un agevole utilizzo operativo delle curve di crescita occorrerebbe disporre della forma inversa della curva di crescita tramite la quale, fissato il valore T del periodo di ritorno di interesse, ricavare il corrispondente valore del coefficiente di crescita KT. Poiché per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile, nella Tab.3 sono riportati i valori di KT ottenuti numericamente per i valori del periodo di ritorno di maggior interesse pratico.

Tab.3 - Valori del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge giornaliere, per i valori del periodo di ritorno T di maggior interesse operativo

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
SZO B	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
SZO C	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
SZO D	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
SZO E	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
SZO F	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
SZO G	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

6.1.1. PORTATE ISTANTANEE AL COLMO DI PIENA

Analogamente a quanto rilevato per lo studio delle precipitazioni estreme, le prime indagini sulle portate al colmo condotte secondo le linee guida del Progetto VAPI sull'area di pertinenza

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

dell'Autorità dei Bacini Regionali dell'Emilia Romagna e Marche sono quelle redatte da Franchini e Galeati [1996, 1998].

In tali studi, la definizione all'interno del territorio rappresentato dalla Romagna e dalle Marche di zone idrologicamente omogenee nei riguardi delle portate di piena è stata effettuata secondo la metodologia suggerita nell'ambito di altri rapporti regionali VAPI [Versace et al., 1989; Rapporto VAPI Sicilia; Cannarozzo e Ferro, 1991; Copertino e Fiorentino, 1994; Rossi, 1994]. In pratica, le zone idrologicamente omogenee identificate nell'ambito dello studio delle precipitazioni massime annue su assegnata durata vengono ritenute valide anche per i deflussi di piena in quanto dedotte a partire da una base dati molto più ampia; partendo da questa idea, è possibile identificare per le portate al colmo due zone con un diverso comportamento idrologico definite Zona Ovest e Zona Est di fatto coincidenti rispettivamente con la SZO C e la SZO D.

Nelle due memorie sopra citate gli autori pervengono però alla determinazione di *una sola curva di crescita, applicabile ai bacini con superficie idrografica compresa tra 10 e 1000 km² e la cui validità è da ritenersi limitata alla sola Zona Ovest*. La curva è definita dai parametri riportati in Tab.4.1a e fornisce i fattori di crescita per T = 30, 50, 100, 200 e 500 anni evidenziati in Tab.4.1b; nella stessa tabella è riportata un'espressione esplicita approssimante, valida per T>5 anni e che fornisce un errore inferiore al 2% nell'intervallo 10<T<500 anni.

Tab.4 - Zona Ovest – Portate al colmo. Stime dei parametri della curva di crescita regionale e sua espressione approssimata.

$\hat{\lambda}^*$	$\hat{\Theta}^*$	$\hat{\lambda}_1$	η	$x'(T)$	Note
0.745	2.512	9.50	4.2171	$0.32977 + 0.61107 \cdot \ln T$	Valida per la sola Zona Ovest

Tab.5 - Zona Ovest – Portate al colmo. Fattori di crescita per i tempi di ritorno di interesse.

T=30 anni	T=50 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=500 anni
2.38	2.69	3.10	3.51	4.06

In mancanza di un campione di dati sperimentali sufficiente ad un'elaborazione statistica diretta, la curva di crescita descrittiva del comportamento statistico delle portate di piena generate in bacini imbriferi ubicati nella Zona Est è stata ricavata a partire dal modello regionale delle piogge intense valido per la stessa Zona. Si è in particolare seguita la procedura suggerita da Rossi e Villani [1999] nell'ambito di un'indagine finalizzata alla stima delle portate di piena per la Regione Piemonte.

Nell'ipotesi che il processo delle portate al picco di piena Q deriva dal processo dei picchi delle precipitazioni intense P, e che il bacino idrografico agisca come un filtro per cui la piena si verifica solo in seguito al superamento di P di un valore soglia ϕ (cioè $Q=0$ se $P<\phi$ e $Q=P-\phi$ se $P\geq\phi$, con $\phi<1$ che esprime il rapporto tra il numero medio annuo di eventi indipendenti della componente di base, rispettivamente, delle piogge intense e delle portate al colmo), gli autori precedentemente citati ricavano la stima dei parametri identificativi della curva di crescita relativa alle portate al colmo a partire da quelli relativi all'analisi delle precipitazioni giornaliere massime annue.

Adottando per la Zona in esame lo stesso valore $\phi = 0.57$ che risulta nella Zona Ovest, si ottengono le stime dei parametri $\hat{\lambda}^*, \hat{\Theta}^*, \hat{\lambda}_1$ e η riportati nella Tab.6 e che tengono conto anche di in una recente

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

revisione dello studio sviluppato per conto della Regione Piemonte dal Prof. Paolo Villani [2002]; i corrispondenti fattori di crescita di interesse sono evidenziati in Tab.7. Nella stessa tabella è riportata un'espressione esplicita approssimante, valida per $T > 5$ anni e che fornisce un errore inferiore al 2% nell'intervallo $10 < T < 500$ anni.

Tabella 10- Zona Est – Portate al colmo. Stime dei parametri della curva di crescita regionale risultante dalle modifiche suggerite da [Villani, 2002] e sua espressione approssimata.

$\hat{\lambda}^*$	$\hat{\Theta}^*$	$\hat{\lambda}_1$	η	$x'(T)$	Note
0.449	4.165	12.60	4.6385	$-0.24568 + 0.92149 \cdot \ln T - 0.00192 \cdot \ln^2 T$	Valida per la sola Zona Est

Tabella 7 - Zona Est – Portate al colmo. Fattori di crescita per i tempi di ritorno di interesse relativi alla curva di crescita ricavata in base alle modifiche suggerite da [Villani, 2002]

T=30 anni	T=50 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=500 anni
2.86	3.33	3.96	4.59	5.41

6.1.2. PIOGGIA INDICE

Per ottenere il valore della precipitazione indice di durata d cui fare riferimento per calcolare il valore della precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno per la regione in esame si propone l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$\mu = m_1 \cdot d^n$$

$$n = \frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}$$

dove:

m_1 = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

m_G = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

γ = è il rapporto tra la media dei massimi annuali delle altezze giornaliere m_G e di quelle di m_{24}

m_{24} = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata 24 ore.

Per una pratica applicazione delle relazioni sopra riportate, vengono fornite le mappe isoparametriche di m_1 e di m_G per l'intero territorio di indagine (Fig.6), mentre il parametro γ che, come dimostrato da numerosi studi, risulta poco variabile da sito a sito, assume il valore di 0.89.

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

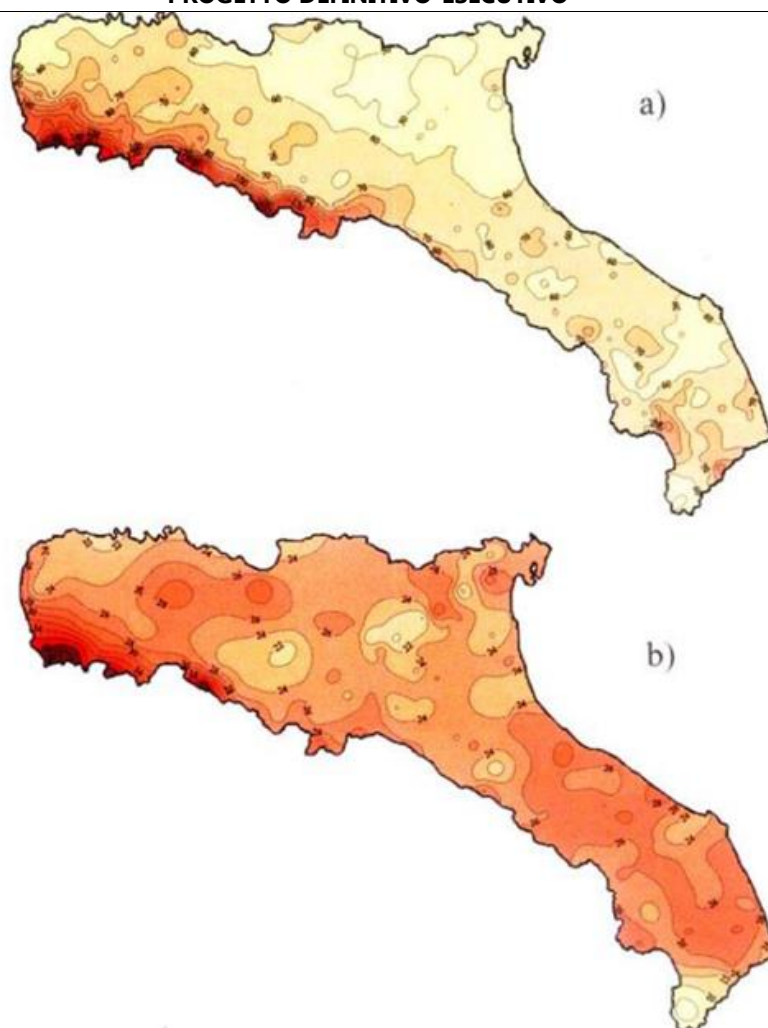


Fig.6 - Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b)

La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno, da selezionare fra quelli indicati in Tab.3 o ottenuti dalla curva di crescita, per la precipitazione indice.

L'area oggetto del presente studio ricade all'interno della "zona omogenea C"; Per tutti i corsi d'acqua di interesse appartenenti a questa zona sono stati stimati valori dei parametri m_1 e m_G pari rispettivamente a 26 e 60.

6.1.3. PORTATA INDICE

La stima delle portate di piena in una determinata sezione di un corso d'acqua può essere condotta applicando differenti metodologie a seconda della tipologia e della quantità dei dati idrologici a disposizione.

Il caso più favorevole si ha quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo.

L'Autorità di Bacino delle Marche non fornisce alcuna indicazione sulla metodologia da applicare per la determinazione delle portate di piena; pertanto, per i corsi d'acqua appartenenti all'AdB Marche,

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

sia principali che secondari, le portate di progetto sono state calcolate con le più diffuse metodologie riportate nella letteratura specialistica.

Nel caso specifica, non disponendo di misure dirette o di sezioni fluviali ad esse prossime in grado di fornire indicazioni utili, si è dovuto invece necessariamente fare ricorso ad un approccio di stima indiretto.

In particolare si è fatto riferimento ai risultati esposti in Franchini e Galeati [1996] ed in Brath *et al.* [1999] che hanno esaminato in maniera specifica il problema della stima della piena indice per le sezioni idrografiche dei bacini appenninici compresi tra l'Emilia e le Marche (dal bacino del Trebbia al Tronto). Brath *et al.* [1999], comparando vari modelli di stima ed utilizzando tecniche di verifica *jack-knife*, pervengono inoltre alla conclusione che nell'area indagata l'impiego di relazioni multiregressive appare l'approccio in grado di fornire le migliori stime dei valori indice.

La soluzione proposta da Franchini e Galeati [1996], suggerisce di calcolare la portata indice mQ mediante l'equazione:

$$m(Q) = 0.36 \cdot 10^{-4} \cdot S_{\text{iid}}^{1.299} \cdot m(h_1)^{3.2794} \cdot T_c^{-1.3793}$$

dove A_{imp} è l'area sottesa classificata come impermeabile secondo (km^2), m_1 è la pioggia indice di durata 1 ora valutata nel baricentro del bacino (mm) e T_c è il tempo di corrivazione calcolato mediante la classica formula di Giandotti (ore).

Un secondo metodo di indagine per il calcolo della portata è il classico Metodo Razionale che assegna ad un evento di piena la stessa probabilità di verificarsi della precipitazione che lo genera. Il modello razionale ipotizza una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio, avente un'altezza h'_{T_c} (mm) ed una durata pari al tempo di corrivazione T_c (ore) del bacino. Si suppone inoltre che a tale precipitazione consegue un idrogramma triangolare con base dell'idrogramma pari a $2 \cdot T_c$. La portata al colmo Q del suddetto idrogramma vale di conseguenza:

$$m(Q) = \frac{\varphi \cdot m[I_A(t_c)] \cdot A}{3.6}$$

in cui A è l'area del bacino in km^2 e φ il coefficiente di deflusso, che stabilisce la quota di afflusso meteorico efficace ai fini del deflusso superficiale.

Per l'applicazione del metodo cinematico è necessario specificare l'intensità di pioggia di assegnato tempo di ritorno con durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

Tale intensità può essere valutata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica da stimare in relazione al sito cui la verifica si riferisce.

Per aree del bacino di dimensione sufficientemente elevata, è opportuno moltiplicare il parametro a per un coefficiente di ragguaglio areale delle piogge intense, per evitare stime troppo cautelative delle variabili di progetto. Infatti, le curve di possibilità climatica hanno un significato puntuale, mentre è da tenere in adeguata considerazione il fatto che sull'intero bacino non è realistico il verificarsi della stessa intensità di precipitazione, e piuttosto si osserverà un "centro di scroscio" e un'attenuazione sincronica dell'intensità di pioggia sulle altre parti del bacino.

Esistono diversi metodi di ragguaglio delle piogge all'area. Ai fini delle valutazioni sui Bacini romagnoli e marchigiani si consiglia di fare riferimento al coefficiente ARF (A, d) definito dalla seguente relazione:

$$ARF(d, A) = 1 - (1 - \exp(-0.01298 \cdot A)) \cdot (\exp(-0.6786 \cdot d^{0.332}))$$

dove A è espresso in km² e d in ore mentre i coefficienti c1, c2 e c3 assumono valore rispettivamente pari a 0.01298, 0.6786 e 0.3320.

6.1. CALCOLO DELLA MASSIMA PORTATA DI PIENA

La stima della portata al picco di piena di assegnato tempo di ritorno T si ottiene moltiplicando la portata indice per il fattore di crescita riportato nella Tab.7 o definito dalla espressione di Tab.6. A seguire sono riportati i valori delle portate massime che interessano il bacino in esame, calcolate con le metodologie illustrate in precedenza. Allo scopo sono stati considerati tempi di ritorno variabili tra i 10 e 200 anni, calcolando contestualmente il coefficiente udometrico (in l/s ha), ottenuto dai valori delle suddette portate massime qualora divise per la superficie del bacino.

I valori delle portate massime così calcolate hanno costituito la base per le verifiche successive. In particolare, si è scelto di fare riferimento, nei calcoli idraulici, alla media aritmetica tra i valori ricavati dalle due metodologie.

Di seguito si riporta un riepilogo sintetico delle formulazioni utilizzate e dei risultati dei due metodi:

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA

1) Dati del bacino

Comune: SAV			
Sezione S1			
Zona Ovest			
Sottozona = SZO C			
Area (km ²) = 10.28			Quota max asta = 563.9 m s.l.m.
Aperm. = 1.03 (superficie permeabile del bacino)			Quota min asta = 342.3 m s.l.m.
Aimp. = 9.25 (superficie impermeabile del bacino)			Dislivello asta = 221.6 m s.l.m.
Quota max bacino = 784.6 m s.l.m.			Lunghezza asta principale = 7.349 km
Quota min bacino = 342.34 m s.l.m.			Lunghezza percorso max = 7.349 km
Quota med bacino = 563.47 m s.l.m.			Pendenza media asta i = 0.030 m/m
			Dislivello med bacino = 221.1 m s.l.m.

2) m(Q) valore della portata indice

Modello multiregressivo

$m(Q) = 12.43 \text{ m}^3/\text{s}$ $m(Q) = 0.36 \cdot 10^{-4} \cdot S_{nd}^{1.299} \cdot m(h_1)^{3.2794} \cdot T_c^{-1.3793}$

Modello razionale

$m(Q) = 12.00 \text{ m}^3/\text{s}$ $m(Q) = \frac{\varphi \cdot m[I_A(t_c)] \cdot A}{3.6}$

$\varphi = 0.300$ (coefficiente di deflusso)

$I(t_c) = 14.01$ mm/h (intensità di pioggia di durata t_c)

$ARF = 0.37$ mm/h (Coeff. Riduzione areale)

$c_1 = 0.01298$

$c_2 = 0.6786$

$c_3 = 0.3320$

$\mu = 75.47$ mm (media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d (ore))

$a = 64.48$ mm (altezza di precipitazione puntuale di durata d e tempo di ritorno T)

$d = 2.00$ h (durata pioggia)

$n = 0.23$

$m_1 = 26$ mm (media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora)

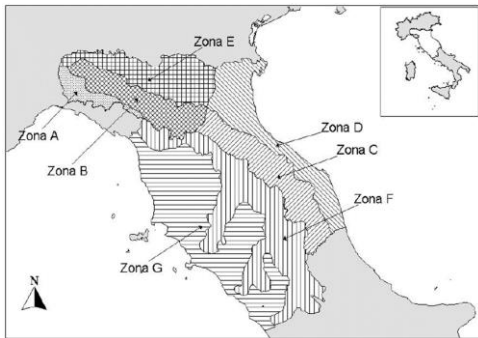
$m_g = 60$ mm (media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera)

$\gamma = 0.89$ mm (rapporto tra la media dei massimi annuali)

$K_T = 2.48$ ore (Coeff. crescita piovge)

$t_c = 2.00$ ore (tempo di corrivazione)

$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{z}}$

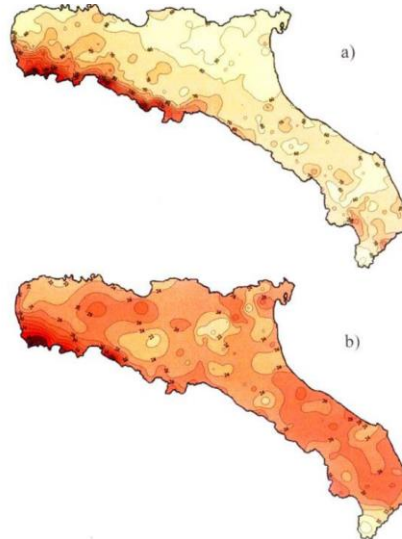


	K _T (piovge)				
(anni)	10	25	50	100	200
SZO A	1.46	1.78	2.04	2.34	2.68
SZO B	1.51	1.77	1.97	2.17	2.37
SZO C	1.55	1.84	2.05	2.27	2.48
SZO D	1.44	1.82	2.13	2.45	2.79
SZO E	1.43	1.72	1.98	2.32	2.78

$ARF(d,A) = 1 - (1 - \exp(-0.01298 \cdot A)) \cdot (\exp(-0.6786 \cdot d^{0.332}))$

$\mu = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_g) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}}$

$n = \frac{\ln(m_g) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}$



Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b)

2) Q_T valore della portata di picco

$Tr = 200.00$ anni (Tempo di ritorno)

$K_T = 3.51$ anni (Coeff. crescita portata)

$Q_{T,med} = 42.88$ m³/s (Media delle Portate di picco)

$u = 41.72$ l/s/ha (Coeff. udometrico)

Tempo di ritorno						
T [anni]	10	20	25	50	100	200
Coefficienti di crescita probabilistica K _T (portate)						
Ovest	1.74	2.14	2.27	2.68	3.1	3.51
Est	1.89	2.53	2.74	3.33	3.96	4.59
Modello multiregressivo						
Q_T [m³/s]	21.63	26.60	28.22	33.32	38.54	43.63
Modello razionale						
Q_T [m³/s]	20.89	25.69	27.25	32.17	37.21	42.13

7. VERIFICHE IDRAULICA

Al precedente paragrafo è stata condotta l'analisi idrologica sul bacino di interesse adottando la modellazione suggerita dal rapporto VAPI Puglia confrontando per il calcolo della portata di piena il modello multiregressivo con il classico modello razionale.

Il confronto dei due metodi non evidenzia una notevole differenza tra i valori. Ai fini delle successive verifiche idrauliche, si considera la media aritmetica del valore di portata ricavato applicando i due modelli, e pertanto, per l'assegnato periodo di ritorno T, si farà riferimento al valore di portata di picco pari a **42,88 m³/s** e coefficiente idrometrico u pari a 41,72 l/s/ha.

La verifica idraulica è stata condotta considerando un Tr=200 anni allo scopo di controllare la piena compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento proposto. Infatti, si vuole verificare che, a conclusione degli interventi previsti, la portata di piena determinata è completamente contenuta nella sezione dell'alveo, garantendo le condizioni di sicurezza idrauliche e il libero deflusso della piena; inoltre, l'individuazione dei tratti di intervento è stata conseguita eseguendo una verifica idraulica dello stato di fatto, individuando le zone allagabili ed eventualmente più critiche.

A valle di tali considerazioni, la verifica idraulica è stata condotta per l'intero tratto di alveo interessato dagli interventi di sistemazione (sia LOTTO 1 che LOTTO 2), nelle condizioni ANTE e POST intervento.

Di seguito si riporta la definizione del modello matematico utilizzato per la verifica idraulica del tratto.

8. SCELTA DEL MODELLO MATEMATICO PER LE VERIFICHE IN MOTO PERMANENTE

La valutazione del comportamento idraulico di un corso d'acqua e, più in particolare, dei rischi di esondazione indotti da piene di preassegnato periodo di ritorno T è, sempre più frequentemente, effettuata con l'ausilio di modelli matematici di tipo numerico. Ciò, è tanto più vero quanto più i tratti da esaminare sono estesi, quanto più le condizioni di deflusso da prendere in esame sono numerose e tanto più quanto le analisi sono da svilupparsi, come nel caso in esame, a livello di progettazione piuttosto dettagliata.

Com'è noto, i diversi modelli proposti in letteratura si distinguono, l'uno dall'altro, per le modalità con cui viene portata in conto la reale geometria dell'alveo, per i processi specificamente presi in considerazione e per gli algoritmi numerici utilizzati per la risoluzione delle equazioni che governano i fenomeni di propagazione e di invaso che si sviluppano lungo i tronchi da esaminare.

Nel procedere alle verifiche idrauliche, si è ritenuto sufficiente allo scopo utilizzare un modello matematico di tipo unidimensionale esteso, molto più generale di quelli usualmente adottati nella pratica ingegneristica.

Tale modello, frequentemente utilizzato in campo tecnico, è il ben noto HEC-RAS (versione 5.0.3, settembre 2016). Esso è in grado di portare in conto, con estrema accuratezza e precisione, sia canali prismatici (di norma artificiali), sia alvei a sezione comunque variabile lungo il percorso (di norma, naturali), sia, eventualmente, la presenza di tratti tombati, di diversa sezione. In particolare, il codice di calcolo HEC-RAS è idoneo a portare in conto:

- a scelta dell'operatore, sia canali prismatici, con sezioni caratterizzate da una geometria piuttosto semplice e descrivibile in termini analitici, sia alvei e canali non prismatici, con sezioni caratterizzate da una geometria molto più complessa, che sono modellabili così come effettivamente deducibili dai rilievi topografici.

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

- pendenze di fondo anche notevolmente variabili da tronco a tronco, eventualmente con tratti a maggiore pendenza seguiti da tratti a pendenza debolissima o in contropendenza;
- Sezioni bruscamente o lentamente variabili lungo il percorso.

Il modello matematico utilizzato risulta altresì idoneo a portare in conto l'eventuale formazione di risalti idraulici, dovuti sia a rapide variazioni di pendenza che a restringimenti più o meno naturali dell'alveo.

Nelle pagine che seguono, è riportata una breve descrizione del modello matematico utilizzato nei calcoli di verifica.

8.1. IL MODELLO HEC-RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center di Davis (USA) per lavorare in ambiente Windows e consente, nella versione attuale, il calcolo dei profili idraulici di moto permanente e di moto vario, in reti di canali naturali o artificiali. Tale modello nella sua versione più recente (versione 5.0.3 del maggio 2016) è liberamente scaricabile da internet al sito <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/download.html>.

Trattasi di un modello matematico mono-dimensionale in grado di calcolare profili di moto permanente e vario in corsi d'acqua naturali o canali artificiali.

Le due equazioni sulle quali si basa sono le classiche equazioni del moto e di continuità, che, con riferimento a condizioni di moto permanente, si scrivono nella forma:

- *Equazione del moto:*

$$\frac{dE}{dx} = -J \quad (1)$$

- *Equazione di continuità:*

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (2)$$

L'equazione del moto esprime un bilancio di tipo energetico. In pratica, tale equazione afferma che la variazione, per unità di percorso, dell'energia specifica E della corrente (energia per unità di peso del liquido) è pari alle perdite continue derivanti dagli scambi turbolenti e dai fenomeni viscosi che si sviluppano tra strati a differenti velocità esistenti all'interno della massa fluida, rappresentati dal termine J.

Il software HEC-RAS è, peraltro, in grado di portare in conto anche le perdite di energia dovute a fenomeni di contrazione o di espansione della corrente tra due sezioni successive.

L'equazione della continuità esprime, a sua volta, un bilancio tra le masse entranti ed uscenti da un tronco elementare d'alveo di lunghezza dx. Nell'ipotesi, senz'altro veritiera soprattutto per le correnti a pelo libero, in cui la densità del fluido possa ritenersi costante, il suddetto bilancio si può effettuare indifferentemente tra le masse o, come nel caso in esame, tra volumi d'acqua in ingresso ed uscita dal tronco.

In condizioni di moto permanente ed in assenza di portate laterali in ingresso ed uscita, la suddetta equazione si può scrivere nella seguente maniera:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \Leftrightarrow Q = \cos t \quad (3)$$

con il valore della costante eventualmente variabile da tronco a tronco.

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Viceversa, nel caso di portate variabili lungo il percorso, la (3) può scriversi nella forma:

$$\frac{dQ}{dx} = -q \quad (3')$$

con q portata uscente per unità di lunghezza.

Il software *HEC-RAS* utilizza, inoltre, anche l'equazione di bilancio delle quantità di moto, scritta nella forma approssimata

$$\sigma \cdot \xi + \frac{Q \cdot v}{g} = \cos t \quad (5)$$

nella quale σ è la sezione idraulica e ξ è l'affondamento del baricentro della sezione idrica.

Tale equazione viene utilizzata, più in particolare, in tutte quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile, come nei risalti idraulici o nelle confluenze, e, pertanto, non risulta più possibile applicare in modo affidabile il principio di conservazione dell'energia descritto dalla (1).

Il software utilizzato è capace, inoltre, di valutare gli effetti di vari ostacoli eventualmente presenti in alveo, come ponti, tombini, sottopassi, rilevati stradali o ferroviari ed altre strutture. Esso, pertanto, si presenta particolarmente utile nel caso in esame, anche in relazione alla necessità di simulare, in modo realistico, il comportamento idraulico dei ponti esistenti lungo il tratto in esame, il cui effetto viene a dipendere cospicuamente dalla geometria del ponte e dalla sua inclinazione rispetto alla corrente. Il sistema di equazioni differenziali costituito dalle equazioni (1) e (2) è risolto numericamente per differenze finite.

Discretizzando l'equazione (1), si può scrivere:

$$E_2 - E_1 = h_e \quad (6)$$

in cui l'energia specifica E è pari a :

$$E = z + y + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

essendo:

z = la quota di fondo della sezione trasversale;

y = il tirante idrico;

v = la velocità media di portata;

g = l'accelerazione di gravità;

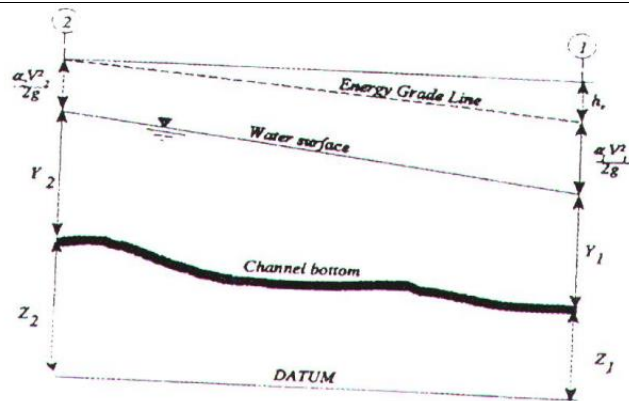
α = il coefficiente correttivo per le velocità (primo coefficiente di Coriolis);

Quindi, la (1) si può scrivere nella forma:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (8)$$

dove h_e sono le perdite di energia tra le due sezioni 1 e 2.

La successiva **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra i vari termini che rientrano nell'equazione del moto.



Schema di definizione

Le perdite di energia tra due sezioni trasversali si possono valutare con la seguente equazione:

$$h_e = l \cdot J + c \cdot \left(\frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right) \quad (9)$$

dove:

J = perdite di energia per unità di lunghezza

c = coefficiente di perdita per espansione o contrazione laterale

Con il modello possono essere simulate condizioni di moto subcritico, supercritico e misto, e possono essere valutati gli effetti di immissioni/emissioni laterali di portata, briglie e salti di fondo (*weir*), paratoie, brevi condotti in pressione (*culvert*), ponti (*bridge*), ostacoli al flusso e costruzioni edificate nelle zone golenali.

Il modello dispone di una interfaccia grafica che facilita le operazioni di definizione della geometria del problema, dei parametri di calcolo e dell'analisi dei risultati esprimibili sia in termini di tabelle che di grafici. Questi ultimi includono la visualizzazione del tirante idrico relativo a ciascuna sezione, la visualizzazione dei profili di moto permanente (con l'indicazione del pelo libero, dei limiti arginali, della quota della linea dell'energia, ecc...) e grafici in prospettiva tridimensionali che consentono di evidenziare le aree soggette ad inondazione nelle differenti condizioni idrometriche.

L'editor grafico consente un controllo continuo sulla geometria del problema, permette l'importazione di dati di input del modello HEC-2 e contempla procedure di modifica a video delle caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali. Inoltre, la geometria del sistema fluviale da analizzare può essere definita tramite l'importazione di dati territoriali gestiti da un sistema informativo geografico (GIS data).

La geometria e le caratteristiche idrauliche delle strutture in alveo sono facilmente definibili per mezzo di specifiche finestre di dialogo. Selezionando a video una generica sezione è possibile schematizzare la presenza di un manufatto che modifica localmente il regime dei deflussi. Tutte le uscite della simulazione possono essere interpretate in termini di tabelle e grafici.

La definizione del profilo idraulico avviene, per i profili di moto permanente, attraverso l'integrazione delle equazioni di conservazione dell'energia della corrente tra due sezioni di calcolo consecutive. Le perdite di energie considerate tra le due sezioni sono quelle dovute alla resistenza dell'alveo e alle variazioni di sezione.

La portata in ogni sezione è ottenuta come somma delle portate afferenti alle due golene, calcolate separatamente, e all'alveo di magra. Nelle golene il calcolo avviene suddividendo la sezione in tante

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

porzioni quante sono le variazioni di scabrezza, mentre nell'alveo di magra il modello provvede a calcolare una scabrezza media pesata da applicarsi sull'intero sviluppo se la forma di questo ultimo non consente un calcolo per singole porzioni con scabrezza differente.

In ogni sezione l'altezza cinetica media della corrente è valutata come media pesata dell'altezza cinetica di ogni porzione in cui si è divisa la singola sezione trasversale assumendo come peso la portata che transita in ognuna delle suddette porzioni.

Le perdite di energia continue dovute alla resistenza dell'alveo sono valutate secondo la formula di Manning. Le perdite di carico dovute alle variazioni di sezioni sono invece valutate secondo l'usuale formula della perdita di carico concentrata, funzione del quadrato delle velocità a monte e valle della variazione di sezione.

Il modello HEC-RAS utilizzato nel presente studio assume le seguenti ipotesi:

- moto stazionario;
- corrente gradualmente variata;
- moto monodimensionale;
- pendenza dell'alveo minore del 10%.

La determinazione dell'altezza della corrente in ogni sezione è condotta in modo iterativo fino a che la differenza tra due determinazioni successive sia contenuta all'interno della prefissata tolleranza. L'altezza così determinata viene quindi validata in funzione del tipo di corrente, lenta o veloce, mediante il confronto con l'altezza critica.

8.2. DATI IN INGRESSO

Il programma necessita della definizione della geometria dell'asta fluviale da studiare o del reticolo idrografico se si tratta di più aste. Questa è definita attraverso una rappresentazione planimetrica schematica in cui si evidenziano il verso della corrente e le connessioni con le altre aste del reticolo. Per ogni asta devono quindi essere definite le singole sezioni trasversali, partendo da valle verso monte, individuate da un codice, la distanza di ogni sezione dalla precedente, data lungo le due golene e lungo l'alveo di magra, le caratteristiche di scabrezza di ogni porzione in cui si è suddivisa la singola sezione trasversale, i coefficienti di valutazione delle perdite per espansione o contrazione della sezione.

Oltre a questi dati possono essere assegnate altre informazioni opzionali come la definizione di quelle zone della sezione trasversale che, pur essendo invase, non contribuiscono al moto, la definizione di argini artificiali o di ostruzioni di vario tipo.

Il numero delle sezioni da scegliere è funzione delle caratteristiche dell'alveo da studiare. In genere è necessario definire una sezione di calcolo in quei punti dove variano le portate, la pendenza, la forma, la scabrezza, iniziano o terminano difese arginali, ove vi sono ponti, briglie, salti di fondo, etc. La distanza tra le sezioni sarà ampia nei tratti nei quali le caratteristiche dell'asta permangono pressoché uniformi mentre sarà ridotta laddove marcate e ripetute variazioni occorrono.

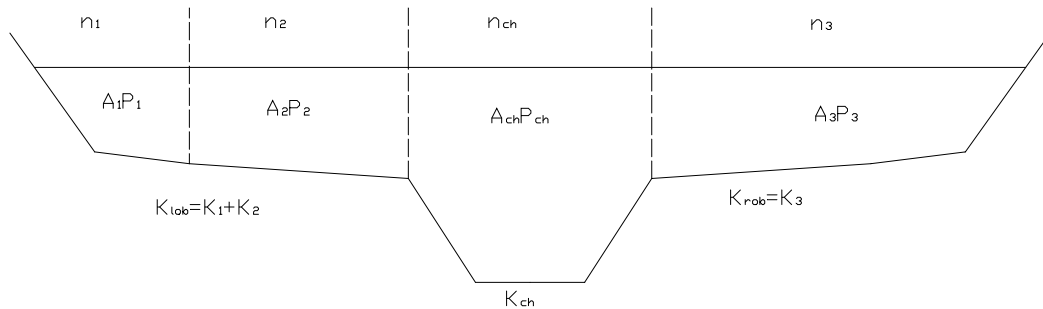
8.2.1. DETERMINAZIONE DELLA SCABREZZA

In conseguenza delle differenti caratteristiche di scabrezza delle diverse parti del perimetro bagnato e dei repentini allargamenti di sezione, che si verificano nell'ambito delle sezioni trasversali, per la determinazione della scabrezza totale è necessario che la sezione idrica sia suddivisa,

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

preventivamente, in parti omogenee, all'interno delle quali la velocità possa ritenersi, almeno approssimativamente, uniformemente distribuita.

L'approccio usato da HEC-RAS è quello di suddividere la sezione idrica in varie strisce verticali, tracciate a partire da quei punti del contorno nei quali si verifica una variazione della larghezza e/o del coefficiente di Manning, seguendo la procedura illustrata nella successiva **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**



Suddivisione delle sezioni trasversali in strisce verticali

La conducibilità idraulica relativa ad ognuna delle strisce è calcolata con la formula di Manning:

$$Q = k \cdot i^2 \quad (10)$$

dove

$$k = \frac{1.486}{n} \cdot AR^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

Si osservi che la (11) è valida nel sistema di misura anglosassone. In essa, si sono posti:

k = conducibilità idraulica relativa ad ogni singola striscia;

n = parametro di scabrezza di Manning relativo alla singola striscia

A = sezione idrica;

R = raggio idraulico.

Il software, valutati i singoli termini relativi alle varie strisce, e calcolata la portata defluente all'interno di ciascuna di esse, passa poi a sommare tutte le portate così valutate, avendo altresì cura di valutare sia la portata complessivamente convogliata sulla banchina sinistra che su quella destra.

La conducibilità idraulica per il canale principale si valuta, di norma, senza nessuna suddivisione. In questo caso, il coefficiente di Manning è valutato con la seguente equazione:

$$n_c = \left[\sum_{i=1}^p \frac{(P_i \cdot n_i^{1.5})}{P} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (12)$$

dove:

n_c = il coefficiente equivalente di Manning

P_i = perimetro bagnato i esimo

n_i = coefficiente di Manning associato a questo

P = perimetro bagnato dell'intero canale principale.

Per un corretto calcolo del profilo di corrente è di fondamentale importanza la valutazione del coefficiente di Manning n . Il valore del coefficiente n è molto variabile e dipende da numerosi fattori

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

come: l'attrito della superficie; la presenza di vegetazione; l'irregolarità del canale; la presenza di depositi o di fenomeni erosivi; la forma e la dimensione del canale; la presenza o meno di trasporto di materiale in sospensione o di fondo.

Un'attenta valutazione dei valori di n per i canali naturali o artificiali si può trovare nel libro di Chow intitolato "Open Channel Hydraulics", dal quale è stata estratta la Tabella I di seguito riportata.

Sebbene ci siano molti fattori che influenzano la scelta del valore di n per un canale, alcuni fattori più importanti sono il tipo e la dimensione dei materiali che compongono il letto e le sponde del canale e la forma del canale stesso.

Cowan (1956), per determinare il valore da attribuire al parametro n di Manning, sviluppò un procedimento per la stima degli effetti di questi fattori sul parametro stesso. Nel procedimento di Cowan, il valore di n è determinato in base alla seguente espressione:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (13)$$

dove:

n_b = valore base di n per canali lineari costituiti da materiali naturali;

n_1 = valore aggiunto per correggere le irregolarità della superficie;

n_2 = valore per le variazioni della forma e delle dimensioni del canale;

n_3 = valore per le ostruzioni;

n_4 = valore per la vegetazione e le condizioni di moto;

m = fattore correttivo che tiene conto della presenza dei meandri.

Per la valutazione del valore base di n esistono diverse espressioni e tabelle (cfr., ad esempio, la Tabella 1 di seguito riportata). Ad esempio, la formula di Limerinos è:

$$n = \frac{0.0926 R^{\frac{1}{6}}}{1.16 + 2.0 \log \left(\frac{R}{d_{84}} \right)} \quad (14)$$

dove:

R = raggio idraulico (in piedi - N.B.: il valore deve essere compreso tra 1 e 6 piedi)

d_{84} = diametro (in piedi) delle particelle in corrispondenza del passante all'84% in volume (il valore deve essere compreso tra 1.5 mm e 250 mm).

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)**MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA**

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Tabella: Valutazione del Coefficiente n di Manning

Valori del coefficiente di Manning			
Tipo di canale e descrizione	Minimo	Normale	Massimo
<i>Canale principale</i>			
Pulito, dritto, nessuna fenditura o buca profonda	0,025	0,03	0,033
Come sopra ma con più sassi e sterpaglie	0,03	0,035	0,04
Pulito, ma con alcune buche e ostacoli	0,033	0,04	0,045
Come sopra ma con pietre ed erbacce	0,035	0,045	0,05
Come sopra ma con zone di flusso bloccato	0,04	0,048	0,055
Come sopra ma con più pietre	0,045	0,05	0,06
Con tratti lenti ma e con buche profonde	0,05	0,07	0,08
Cnali molto erbosi e con buche profonde	0,07	0,1	0,15
<i>Banchine</i>			
<i>Pascoli senza boscaglia</i>			
Erba bassa	0,025	0,03	0,035
Erba alta	0,03	0,035	0,05
<i>Aree coltivate</i>			
Senza raccolto	0,02	0,03	0,04
Raccolto maturo a righe	0,025	0,035	0,045
Raccolto a campo	0,03	0,04	0,05
<i>Boscaglia</i>			
Boscaglia sparsa	0,035	0,05	0,07
Bosco leggero ed alberi in inverno	0,035	0,05	0,06
Come sopra ma in estate	0,04	0,06	0,08
Boscaglia fitta in inverno	0,045	0,07	0,11
Come sopra ma in estate	0,07	0,1	0,16
<i>Alberi</i>			
Terra pulita con ceppi d'albero senza germogli	0,03	0,04	0,05
Come sopra ma con germogli	0,05	0,06	0,08
Fitte foreste di alberi da legna, pochi alberi bassi con poco sottobosco e con flusso sotto i rami	0,1	0,12	0,16
Come sopra ma con il flusso tra i rami	0,1	0,12	0,16
Salici densi	0,12	0,15	0,2
<i>Corsi montani, senza vegetazione nel canale, con le sponde molto pendenti, con alberi e boscaglia sulle sponde fuori terra</i>			
Letto: ghiaia, ciottoli ed alcuni massi	0,03	0,04	0,05
Letto: ciottoli con grossi massi	0,04	0,05	0,07

8.3. PONTI / MANUFATTI ATTRAVERSAMENTO

Tra tutte le opere puntuali che alterano il profilo della corrente che il software HEC-RAS è in grado di considerare, si provvede in questa sede a descrivere l'approccio usato dal modello per modellare i ponti. Sono, infatti, queste le uniche opere di rilievo che nello studio in questione si evidenziano come in grado di interferire con la corrente.

La descrizione del ponte prevede la definizione geometrica di spalle, pile ed impalcato.

L'analisi dell'effetto dei ponti in condizioni di moto vario è effettuata da HEC-RAS con due approcci alternativi: il primo si esplica sottraendo dall'area bagnata l'area occupata dalle spalle e dalle pile della struttura; il perimetro bagnato risulta incrementato sempre per la presenza del ponte e, conseguentemente, si ha una riduzione della capacità di portata. Si preferisce questa procedura nei casi di spalle non troppo alte e facilmente sommergibili. Il secondo approccio considera invece la

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

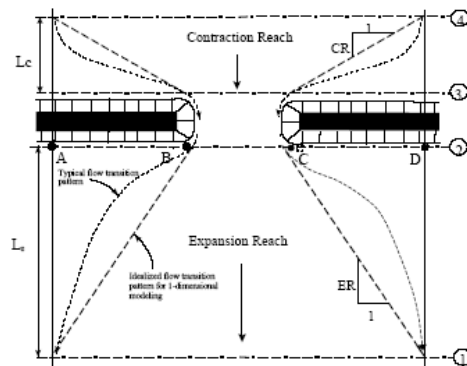
sezione del ponte imponendo una condizione interna, con la definizione di relazioni $Q-h$ (portata-altezza idrica) in sostituzione alle equazioni di moto vario.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali (Fig): sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte.

Le due sezioni immediatamente a monte e valle del ponte servono a definire le porzioni di sezione in cui effettivamente avviene il moto, individuando in modo complementare le aree in cui non si ha un moto effettivo della corrente. Queste zone sono quelle delle pile e delle spalle quando quest'ultime intersecano la sezione trasversale dell'alveo.

In questo modo, per portate che transitano al di sotto dell'intradosso del ponte, la corrente risentirà della riduzione della sezione di deflusso, mentre per le portate maggiori il modello valuta due differenti contributi: una portata che passa attraverso il tombino rappresentato dal fondo, pile ed impalcato del ponte, trattata come corrente in pressione, l'altra che passa al di sopra dell'impalcato, considerato come una soglia stramazzante.



Figura

La definizione dell'altezza a monte e valle dell'ostruzione rappresentata dal ponte avviene attraverso l'impiego di approcci differenti a seconda che si tratti di correnti che non superano l'estradosso del ponte ovvero stramazzone da esso. Per le situazioni del primo tipo tali approcci consistono genericamente nell'integrazione dell'equazione di bilancio dell'energia totale della corrente o nell'integrazione dell'equazione di bilancio della spinta totale della corrente o nell'applicazione di formulazioni empiriche. Nell'altro caso il modello opera attraverso l'integrazione dell'equazione di bilancio dell'energia totale della corrente o scomposizione della corrente in pressione e di quella stramazzone e ricerca delle altezze congruenti con il fenomeno per via iterativa.

Il calcolo può, dunque, essere effettuato utilizzando diverse soluzioni. Il metodo del bilancio energetico (metodo *standard step*), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le

perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità. In tutti gli approcci ed in particolare nell'impiego della formulazione empirica il modello richiede che idonea attenzione debba essere posta nella valutazione dei coefficienti empirici che definiscono la natura dell'opera (pile, stramazzo, etc) e l'effetto di questa sulla corrente che la attraversa.

8.4. CONDIZIONI AL CONTORNO

Sia in regime di moto stazionario che di moto vario il modello necessita della definizione delle condizioni al contorno in grado di descrivere completamente la fisica della corrente che si vuole studiare.

Le condizioni al contorno richieste in condizioni di moto permanente sono:

- *definizione del tipo di moto della corrente*: lento, veloce o misto; in funzione di queste ipotesi si dovranno definire le condizioni di valle o di monte oppure entrambe; nel caso in cui il tipo di moto non sia definibile, in via preventiva si dovrà optare per definire un regime di corrente misto ed assegnare entrambe le condizioni;
- *definizione dell'altezza iniziale della corrente nelle sezioni al contorno*: nel caso di corrente lenta l'altezza nella sezione terminale di valle viceversa per la corrente veloce; nel caso di corrente mista in entrambe le sezioni; i valori che si possono assegnare sono tirante idrico noto, altezza di moto uniforme, altezza critica o scala delle portate.

9. APPLICAZIONE DEL MODELLO HEC-RAS

Il programma Hec Ras necessita della definizione di tutta una serie di dati connessi alla geometria dell'asta fluviale da studiare.

Per ogni asta devono, quindi, essere definite le singole sezioni trasversali, partendo da valle verso monte, la distanza di ogni sezione dalla precedente, data lungo le due golene e lungo l'alveo di magra, le caratteristiche di scabrezza di ogni porzione in cui si è suddivisa la singola sezione trasversale, i coefficienti di valutazione delle perdite per espansione o contrazione della sezione.

La risposta del modello matematico adottato è tanto più attendibile quanto migliore è la definizione dell'asta fluviale da studiarsi rispetto alle informazioni richieste dal modello medesimo. Nell'applicazione del modello Hec-Ras all'alveo oggetto di studio sono stati definiti i seguenti dati in ingresso:

1. geometria delle sezioni trasversali di calcolo;
2. presenza di tratti arginati;
3. definizione della scabrezza;
4. presenza di ponti e relativa geometria;
5. condizioni al contorno.

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

La geometria delle sezioni è stata ricavata dal rilievo topografico di dettaglio dell'alveo e delle sponde per lo stato di fatto; si è fatto riferimento alle previsioni progettuali per lo stato modificato post operam.

9.1. SCELTA DELLE SEZIONI SIGNIFICATIVE

La scelta delle sezioni è funzione delle caratteristiche dell'alveo da studiare. In genere è necessario definire una sezione di calcolo in quei punti dove variano le portate, la pendenza, la forma, la scabrezza, iniziano o terminano difese arginali, ove vi sono ponti, briglie, salti di fondo, etc. La distanza tra le sezioni sarà ampia nei tratti nei quali le caratteristiche dell'asta permangono pressoché uniformi mentre sarà ridotta laddove marcate e ripetute variazioni occorrono.

La filosofia seguita nella definizione delle singole sezioni trasversali si è basata sulla necessità di suddividere l'asta in esame in tratti omogenei per le seguenti caratteristiche idrauliche:

- forma e dimensione della sezione trasversale;
- brusche variazioni di sezione;
- pendenza del fondo;
- brusche variazioni di pendenza;
- materiale e grado di irregolarità del fondo;
- vegetazione e ostacoli distribuiti sul fondo;
- grado di tortuosità;
- presenza di ostacoli localizzati naturali ed artificiali (traverse, briglie, ponti, salti di fondo, etc.).

La distanza tra le sezioni individuate conseguita con questo approccio è variabile tra i 20 e 50 m con gli interassi maggiori nei tratti più uniformi e minori nei tratti caratterizzati da forte disomogeneità. In corrispondenza del ponte sono state poi definite due sezioni immediatamente a monte e valle di essi.

L'ampiezza delle singole sezioni trasversali è stata estesa, laddove possibile, sino ad una quota tale da contenere i livelli idrici della massima piena di verifica.

9.2. ALTEZZA DELLE SPONDE

La modellazione è stata condotta sulla base del rilievo topografico delle due sponde nel tratto oggetto di studio; si è fatto riferimento alla quota di progetto della sistemazione spondale per la modellazione dello stato di progetto.

9.3. DEFINIZIONE DELLA SCABREZZA

La determinazione della scabrezza dell'alveo è stata condotta attraverso accurati sopralluoghi sull'alveo e mediante il supporto del rilievo fotografico.

Si è proceduto ad una stima preliminare dei coefficienti di scabrezza partendo dall'analisi delle caratteristiche di ogni porzione di alveo individuata dalle sezioni trasversali definite e utilizzando i

valori disponibili in letteratura (1), nonché mediante il confronto con fotografie disponibili oltre che nell'opera del Chow anche nella pubblicazione USGS (2).

La stima definitiva dei parametri di scabrezza è stata condotta con un approccio particolarmente adatto ai corsi d'acqua le cui golene o alvei di magra o entrambi presentino una fitta vegetazione e che tiene conto della natura e delle dimensioni dei materiali così come della forma dell'alveo.

Tale procedura, messa a punto dal Cowan (1956) (3), si basa su tre assunti:

- la velocità media della corrente in ogni porzione in cui si è suddivisa la sezione trasversale è la stessa;
- la forza resistente totale al moto è uguale alla somma delle forze resistenti di ogni porzione in cui si è suddivisa la sezione trasversale;
- la portata totale è pari alla somma delle portate di ogni porzione in cui si è suddivisa la sezione trasversale;
- la pendenza della linea dei carichi totali della corrente è la stessa per ogni porzione in cui si è suddivisa la sezione trasversale.

La determinazione della scabrezza di ogni tratto dell'alveo con questo metodo deve ovviamente essere riferita a quel periodo in cui sono massimi gli effetti di resistenza idraulica per effetto del massimo sviluppo della vegetazione in relazione alla possibilità per quel periodo di verificarsi di piene significative.

9.3.1. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA PER L'ALVEO DI MAGRA

I due fattori principali che determinano il valore del coefficiente di scabrezza dell'alveo di magra sono:

- il tipo e la dimensione dei materiali che ne costituiscono il letto e le sponde;
- la forma del canale.

Secondo Cowan il coefficiente di scabrezza n di Manning da assegnarsi all'alveo di magra è fornito dall'applicazione della seguente espressione:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

dove:

n_b valore base del coefficiente n per canali rettilinei, uniformi, omogenei, in materiale naturale; a seconda dei materiali assume i seguenti valori:

- terra 0.020
- ciottoli e scogli 0.025
- ghiaia fina 0.024
- ghiaia grossa 0.028

n_7 fattore correttivo per le irregolarità della superficie; assume i seguenti valori a seconda del grado di irregolarità:

1 Chow V.T. *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, London, 1959

2 K. Michael Nolan, Caroline Frey and Jake Jacobson, *Surface-Water Field Techniques Training Class (Version 1.0)*, Water Resources Investigations Report 98-4252, U.S. Geological Survey, Training Class - SW 4230.

3 G.J. Arcement, Jr and V.R. Schneider, *Guide for Selecting manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*, U.S. Geological Survey Water-supply paper 2339

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

- omogeneo 0.000 per canali pressoché lisci
- basso 0.005 per canali poco degradati o con sponde debolmente erose
- moderato 0.010 per canali dragati con letto scabro e sponde erose;
- alto 0.020 per alvei naturali non dragati, sponde gradonate o fortemente erose;

n_2 fattore correttivo per le variazioni nella forma e dimensione della sezione dell'alveo; assume i seguenti valori:

- graduale 0.000 quando forma e dimensione della sezione variano gradualmente;
- alternate occasionale 0.001-0.005 quando le variazioni sono occasionali e la corrente principale è deviata raramente da una sponda all'altra;
- alternate frequenti 0.010-0.015 quando le variazioni sono frequenti e la corrente principale è deviata continuamente da una sponda all'altra;

n_3 fattore correttivo per le ostruzioni; esprime il grado di resistenza indotto dalla presenza di ostruzioni nell'alveo di magra; è valutato pari a

- trascurabile 0.000-0.010 quando le ostruzioni sono rare e comunque interessano meno del 5% della sezione;
- basso 0.010-0.015 quando le ostruzioni interessano meno del 15% della sezione e l'effetto di una non si sente sino alla successiva;
- apprezzabile 0.020-0.030 quando le ostruzioni interessano meno del 50% della sezione e l'effetto due successive si sovrappone;
- alto 0.040-0.060 quando le ostruzioni interessano più del 50% della sezione e l'effetto di più ostruzioni successive induce marcata turbolenza nella corrente;

n_4 fattore correttivo per la densità della vegetazione e il suo effetto sulla corrente; è valutato come:

- basso 0.002-0.010 in presenza di vegetazione fitta ma flessibile e comunque l'altezza della corrente sia almeno doppia dell'altezza delle piante o in presenza di cespugli in cui l'altezza della corrente sia almeno tripla dell'altezza delle piante;
- medio 0.010-0.020 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente compresa tra una e due volte l'altezza delle piante o in presenza di cespugli in cui l'altezza della corrente sia compresa tra due e tre volte l'altezza delle piante;
- alto 0.025-0.050 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente pressoché uguale all'altezza delle piante o in presenza di piante a cespuglio con rami senza fogliatura in cui il raggio idraulico della corrente è maggiore di 0.61 metri;
- molto alto 0.050-0.100 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente inferiore alla metà dell'altezza delle piante o in presenza di piante a cespuglio fortemente sviluppate ed intricate;

m fattore correttivo dipendente dall'andamento meandriforme dell'alveo di magra; dipende dal grado di sviluppo del meandro; assume i seguenti valori:

- basso 1.00 quando il rapporto tra la lunghezza del tratto di canale misurato sull'ascissa curvilinea e la lunghezza rettilinea è compresa tra 1.0 e 1.2;
- apprezzabile 1.15 quando il rapporto tra la lunghezza del tratto di canale misurato sull'ascissa curvilinea e la lunghezza rettilinea è compresa tra 1.2 e 1.5;
- alto 1.30 quando il rapporto tra la lunghezza del tratto di canale misurato sull'ascissa curvilinea e la lunghezza rettilinea è maggiore di 1.5;

9.3.2. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA PER LE GOLENE

Si sfrutta lo stesso metodo di Cowan generalizzato alle golene.

Pertanto il coefficiente di scabrezza n da assegnarsi alla gola è determinato dall'applicazione di un'espressione uguale a quelle del caso precedente:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

dove:

n_b è valutato come per l'alveo di magra;

n_1 fattore correttivo per le irregolarità della superficie della gola; assume i seguenti valori a seconda del grado di irregolarità:

- omogeneo 0.000 per golene piane e lisce;
- basso 0.001-0.005 per golene regolari o con deboli avvallamenti o dossi;
- moderato 0.006-0.010 per golene irregolari o con avvallamenti o dossi;
- alto 0.011-0.020 per golene irregolari nella forma e con molti avvallamenti e/o dossi;

n_2 fattore correttivo per le variazioni nella forma e dimensione della sezione dell'alveo; non è applicabile nello studio delle golene pertanto il suo valore è pari a 0.00;

n_3 fattore correttivo per le ostruzioni; esprime il grado di resistenza indotto dalla presenza di ostruzioni in gola; è valutato pari a:

- trascurabile 0.000-0.004 quando le ostruzioni sono rare e comunque interessano meno del 5% della sezione;
- basso 0.005-0.020 quando le ostruzioni interessano meno del 15% della sezione;
- apprezzabile 0.021-0.030 quando le ostruzioni interessano meno del 50% della sezione;

n_4 fattore correttivo per la densità della vegetazione e il suo effetto sulla corrente; è valutato come:

- basso 0.001-0.010 in presenza di vegetazione fitta ma flessibile e comunque l'altezza della corrente sia almeno doppia dell'altezza delle piante o in presenza di cespugli in cui l'altezza della corrente sia almeno tripla dell'altezza delle piante;
- medio 0.011-0.025 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente compresa tra una e due volte l'altezza delle piante o in presenza di cespugli in cui l'altezza della corrente sia compresa tra due e tre volte l'altezza delle piante;
- alto 0.026-0.050 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente pressoché uguale all'altezza delle piante o in presenza di piante a cespuglio con rami senza fogliatura in cui il raggio idraulico della corrente è maggiore di 0.61 metri;
- molto alto 0.050-0.100 in presenza di vegetazione fitta con l'altezza della corrente inferiore alla metà dell'altezza delle piante o in presenza di piante a cespuglio fortemente sviluppate ed intricate;
- elevato 0.100-0.200 in presenza di vegetazione fitta, alberi in pieno sviluppo fogliare, boschi maturi, etc.;

m fattore correttivo dipendente dall'andamento meandriforme della gola; non è applicabile nello studio delle golene pertanto il suo valore è pari a 0.00.

Data la modestia dell'alveo oggetto di studio e la modestia della portata, considerata la geometria di alveo inciso e la dinamica d'alveo, si è ritenuto sufficiente ai fini del presente studio attribuire a ciascuna sezione di calcolo lo stesso valore di scabrezza, uniforme in tutta la sezione (sponda destra, alveo di magra, sponda sinistra); per tutte le sezioni di calcolo è stato assegnato un valore del

coefficiente di Manning è stato assegnato un valore pari a 0,04 per le golene e 0,02 per il fondo alveo.

9.4. CONDIZIONI AL CONTORNO ADOTTATE

Le condizioni al contorno adottate per la definizione del profilo di moto permanente sono le seguenti:

- *a valle la condizione al contorno assunta è la quota del livello di piena del fiume Metauro nel punto di immissione del torrente Morsina, corrispondente ad un periodo di ritorno $Tr=200$ anni, e desunta dalla Carta del Rischio Idrogeologico del PAI dell'AdB della Regione Marche.*

10. VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Le verifiche idrauliche effettuate sui tratti fluviali oggetto di studio hanno evidenziato i seguenti risultati:

- **ANTE-OPERAM:** la verifica idraulica condotta secondo l'attuale stato dei luoghi evidenzia come in alcuni tratti di alveo il profilo di piena non sia contenute nella sezione dell'alveo (alveo di piena ordinaria); infatti, il massimo tirante idrico si porta al disopra della quota dell'argine provocando l'allagamento delle aree adiacenti al corso d'acqua; inoltre, nel tratto di confluenza del torrente Morsina nel Fiume Metauro, il tirante idrico risente del massimo livello di piena registrato nel Fiume Metauro (condizione più sfavorevole e posta come condizione al contorno nella sezione di valle) che determina una profilo di rigurgito a monte e l'allagamento della sezione dell'alveo. Il tratto iniziale della simulazione non è oggetto di intervento (da SEZIONE 1 a 7); tuttavia si registra il rigurgito della corrente in corrispondenza del manufatto di attraversamento, dovuta alla sezione eccessivamente ristretta posta subito a valle del ponte. Di seguito si riporta la rappresentazione grafica 3D dei risultati della verifica in riferimento alla portata di piena per un periodo di ritorno $Tr = 200$ anni (Fig.7).

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

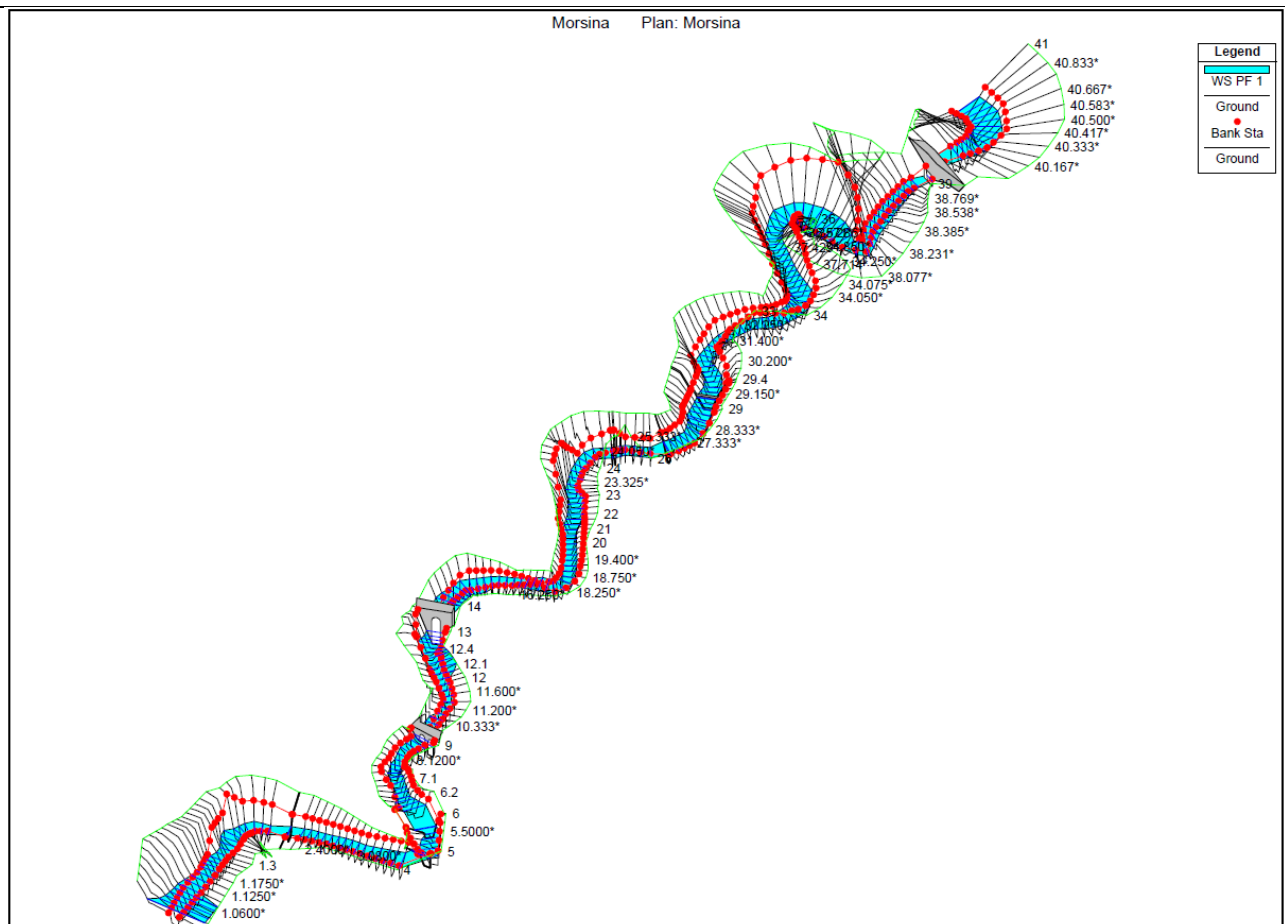


Fig.7 - Rappresentazione 3D della piena nella condizione ANTE-OPERAM per $Tr=200$ anni

- **POST-OPERAM:** questa verifica idraulica è stata condotta considerando la presenza delle opere di sistemazione del torrente Morsina, costituite da scogliere in massi ciclopici a definire una adeguata sezione dell'alveo ordinario. La simulazione è stata condotta considerando un coefficiente di scabrezza di Manning sulle sponde e nel letto dell'alveo pari a 0.03, ovvero ipotizzando le condizioni in cui è già avvenuta la rinaturalizzazione dello stesso.

I risultati della verifica mostrano come, per la nuova configurazione del tratto di corso d'acqua, il profilo di piena e il livello energetico della corrente siano contenuti nella sezione dell'alveo (alveo di piena ordinaria); solo per pochi tratti il massimo tirante idrico si porta al di sopra della quota delle nuove scogliere di progetto provocando però il normale allagamento delle aree golenali adiacenti al corso d'acqua.

Anche in questo caso, nel tratto di confluenza del torrente Morsina nel Fiume Metauro, il tirante idrico risente del massimo livello di piena registrato nel Fiume Metauro (condizione più sfavorevole e posta come condizione al contorno nella sezione di valle) che determina un profilo di rigurgito a monte e l'allagamento della sezione dell'alveo; inoltre, il profilo di corrente risente dei salti idraulici presenti sul fondo dell'alveo provocandone l'innalzamento a monte del tirante idrico.

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica 3D dei risultati della verifica in riferimento alla portata di piena per un periodo di ritorno $Tr = 200$ anni (Fig.8).

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

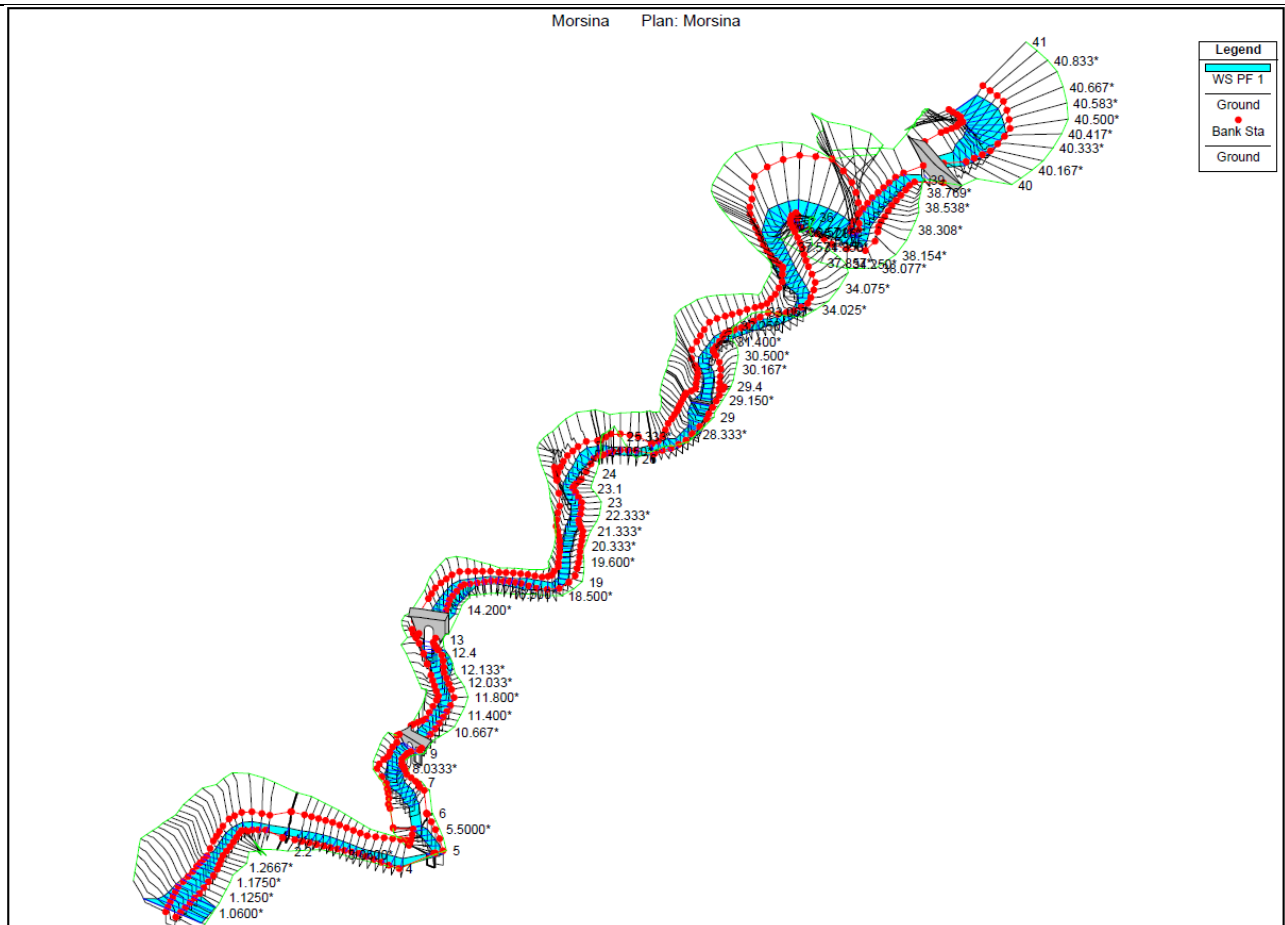


Fig.8 - Rappresentazione 3D della piena nella condizione POST-OPERAM per $Tr=200$ anni

Per maggiori dettagli sulle sezioni di calcolo considerate e sui risultati della verifica si rimanda ai relativi allegati alla presente relazione.

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base degli elementi conoscitivi dell'area oggetto di intervento e sul reticolo idrografico individuato, visti i risultati delle analisi e delle verifiche idrauliche di cui ai precedenti paragrafi, si può affermare che:

- ❖ con la sistemazione del tratto terminale del torrente Morsina, la portata di piena determinata in precedenza è completamente contenuta nella sezione dell'alveo, garantendo le condizioni di sicurezza idrauliche e il libero deflusso della piena e non si registrano pericoli per le opere esistenti;
- ❖ i manufatti di attraversamento presenti lungo il tracciato del torrente Morsina oggetto di intervento, non risentono delle opere di sistemazioni previste e risultano idonee al rispetto delle condizioni imposte dalle Norme di Attuazione dettate dall'AdB; tuttavia, si segnala la necessità di intervenire con idonee opere di adeguamento sulle passerelle di attraversamento di sottoservizi poste tra le sezioni di studio B8-B9 e B14-B15;

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

- ❖ il progetto risulta compatibile con quanto previsto dalla normativa di attuazione definite dall'AdB, con particolare riferimento alle garanzie ed alle condizioni vincolanti rispetto alle problematiche connesse al rischio idrogeologico.

NE CONSEGUE LA PIENA COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA DELL'INTERVENTO PROPOSTO.

In particolare gli interventi previsti da progetto e previsti dal presente studio idraulico:

- **migliorano la capacità di invaso dell'alveo;**
- **non apportano alcuna modifica sostanziale all'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo;**
- **non modificano le caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;**
- **garantiscono le condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.**

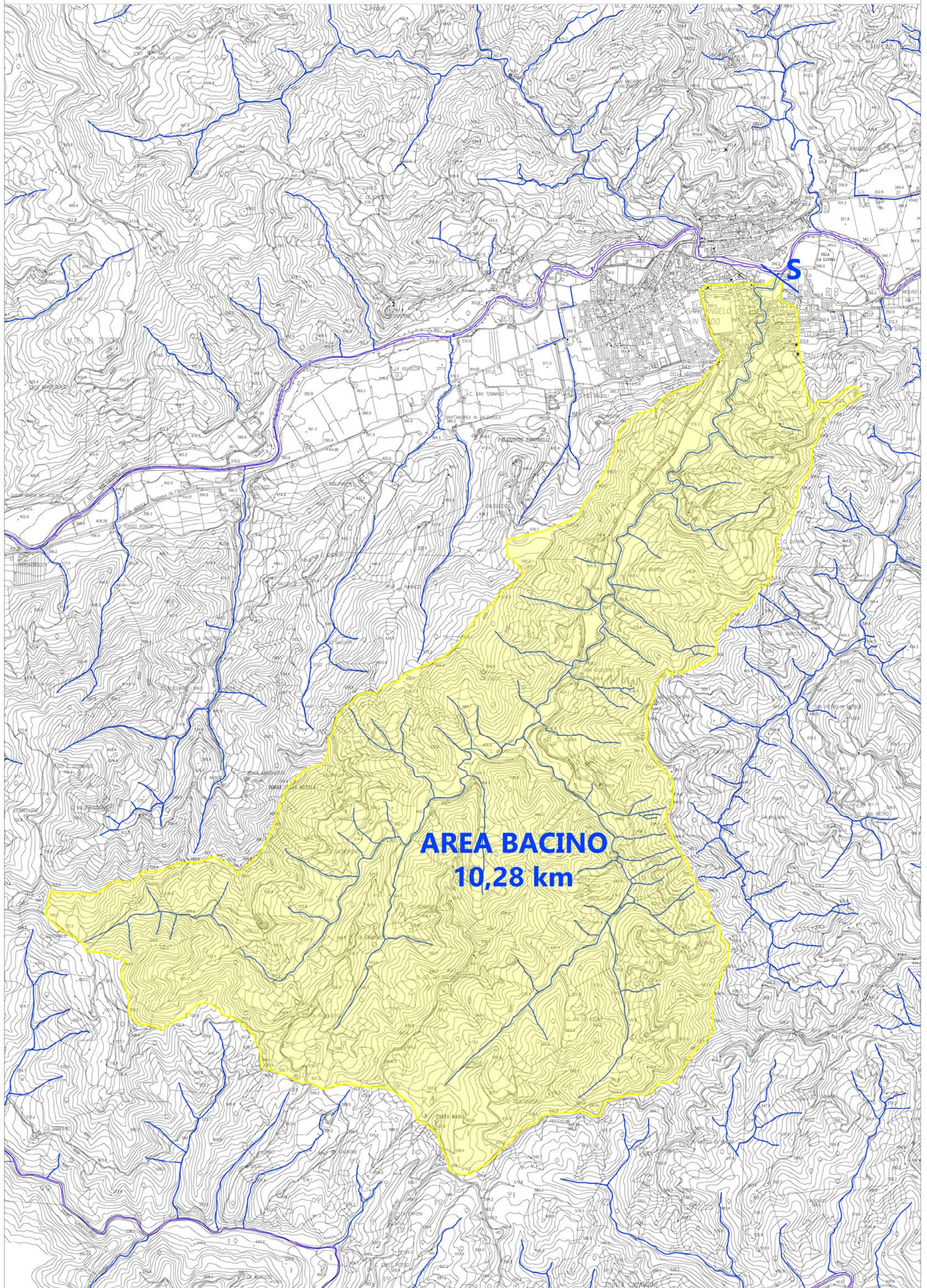
12. ALLEGATI

- **ALLEGATO.01** – RETICOLO IDROGRAFICO TORRENTE MORSINA
- **ALLEGATO.02** - STRALCIO PLANIMETRICO CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI IDRAULICHE
- **ALLEGATO.03** – SEZIONI, GRAFICI E TABELLE DEI RISULTATI DELLA VERIFICA IDRAULICA – ANTE-OPERAM
- **ALLEGATO.04** – SEZIONI, GRAFICI E TABELLE DEI RISULTATI DELLA VERIFICA IDRAULICA – POST-OPERAM

ALLEGATO.01

RETICOLO IDROGRAFICO TORRENTE MORSINA

INQUADRAMENTO BACINO TORRENTE MORSINA - Scala 1:20.000



COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

*MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL
TORRENTE MORSINA ED APSA*

*Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza
versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1*

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

ALLEGATO.02

STRALCIO PLANIMETRICO CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI IDRAULICHE (TAV.03)

PLANIMETRIA GENERALE DELLO STATO DI PROGETTO - Scala 1:500



LEGENDA

- OPERE ESISTENTI
- ORTOFOTO DRONE STATO DI FATTO
- FONDO TORRENTE MORSINA Largh.6.00 mt PROGETTO
- RISAGOMATURA DELLA SCARPATA A MONTE DELLA SCOGLIERA E MESSA A DIMORA DI TALEE DI SPECIE ARBUSTIVE ELEVATA CAPACITÀ VEGETATIVA PROGETTO
- FORMAZIONE DI SCOGLIERA LONGITUDINALE IN MASSI CICLOPICI largh. 2.00 mt x h. 2.50 mt
- FORMAZIONE DI SCOGLIERA LONGITUDINALE IN MASSI CICLOPICI largh. 2.00 mt x h. 3.00 mt
- SEZIONI - PROGRESSIVE
- PICCHETTI
- ARGINELLO IN TERRA



COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO
Provincia di Pesaro ed Urbino

MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL TORRENTE MORSINA ED APSA

INTERVENTI RELATIVI AL SECONDO STRALCIO FUNZIONALE: SISTEMAZIONE TRATTO IN AMBITO URBANO TORRENTE MORSINA LOTTO 2

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Elaborato:	Titolo:		
TAV.03	PROGETTO Planimetria generale dello stato di progetto		
Scala:	Revisione	Data	Firma
1:500	0		Ing. Dante LEONI (EDILING srl)

Progettazione: EDILING srl

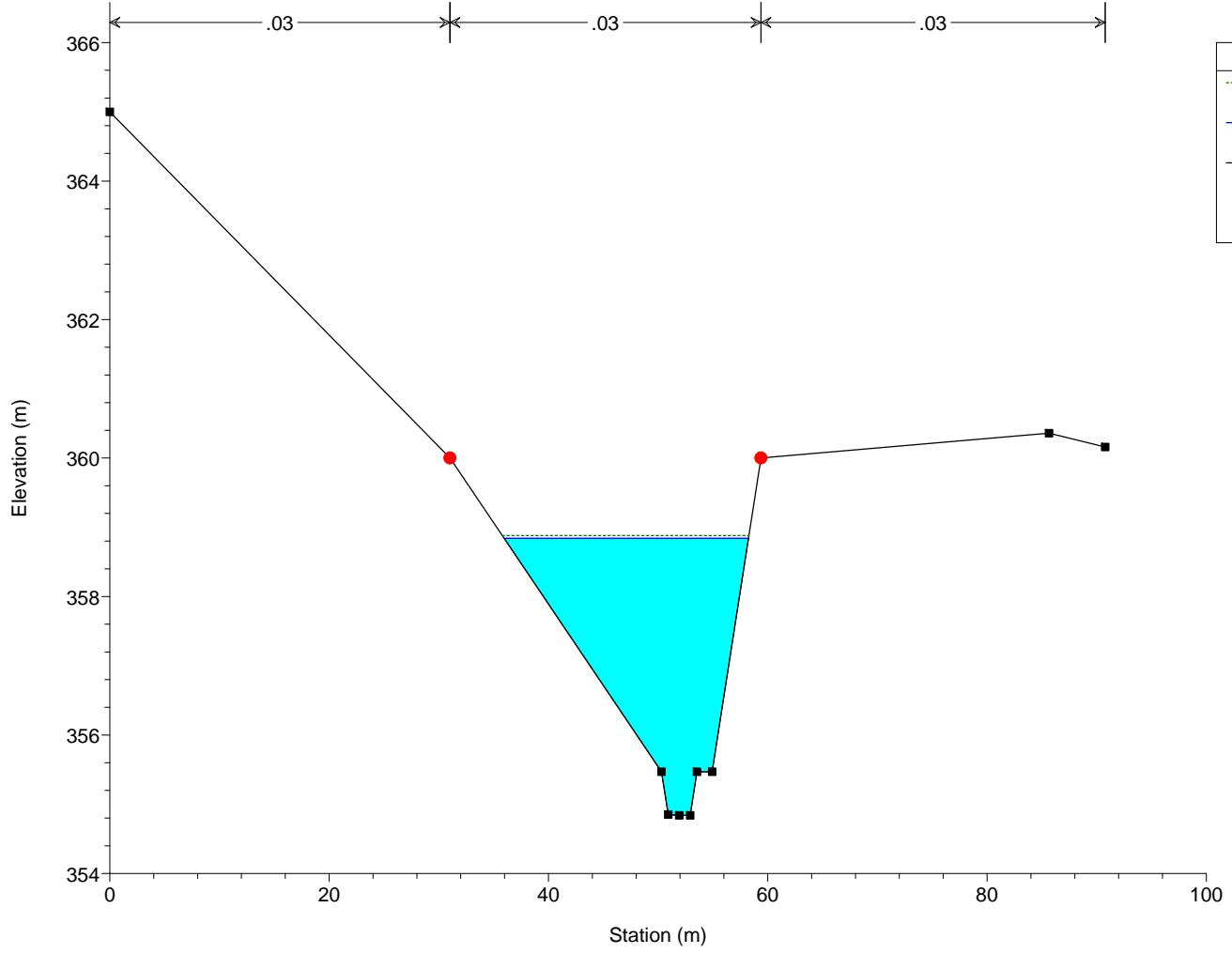
EDILING s.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
Ing. Dante LEONI (Capogruppo)

IL RUP:
Arch. Jenny Giovannini

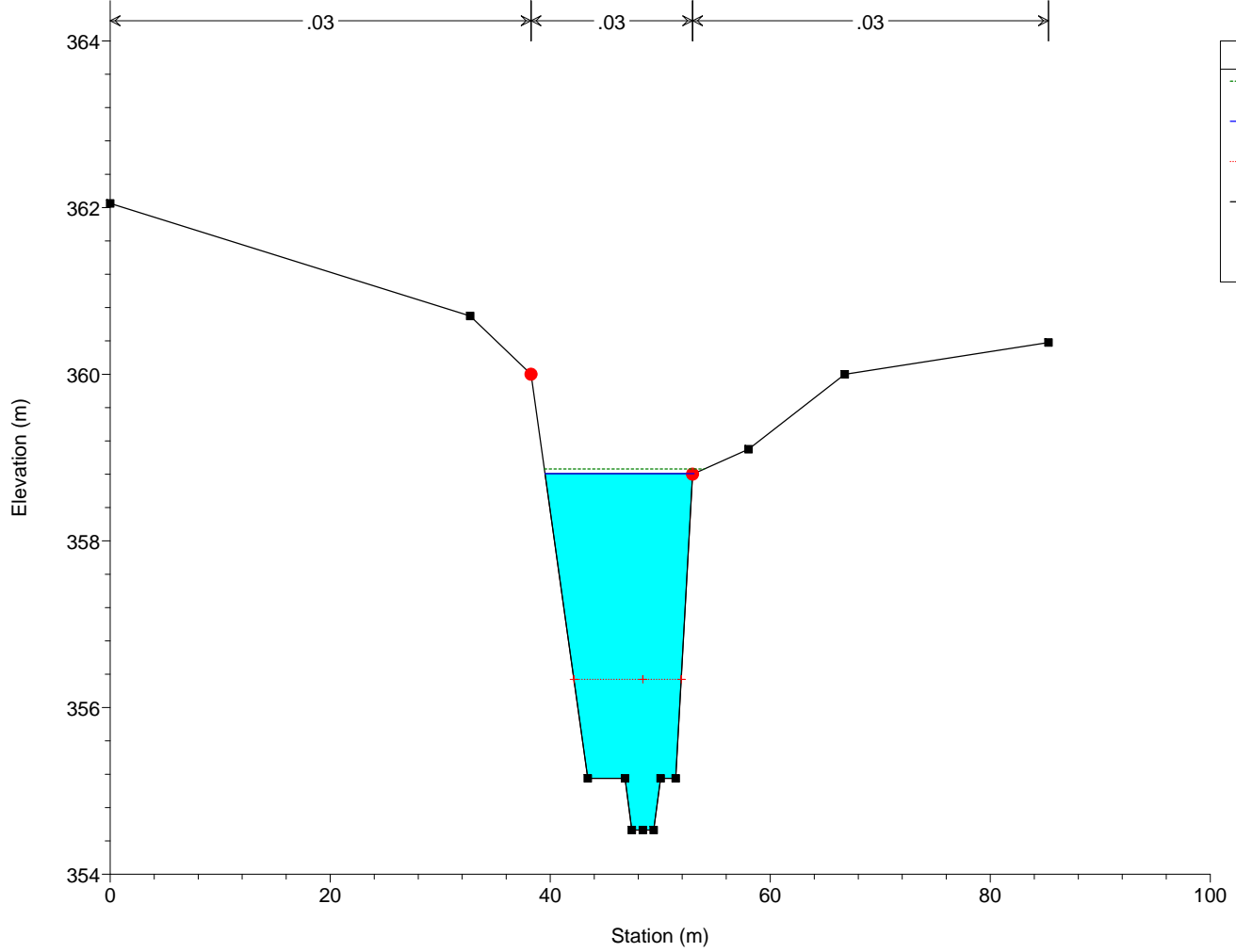
ALLEGATO.03

SEZIONI, GRAFICI E TABELLE DEI RISULTATI DELLA VERIFICA IDRAULICA – ANTE-OPERAM

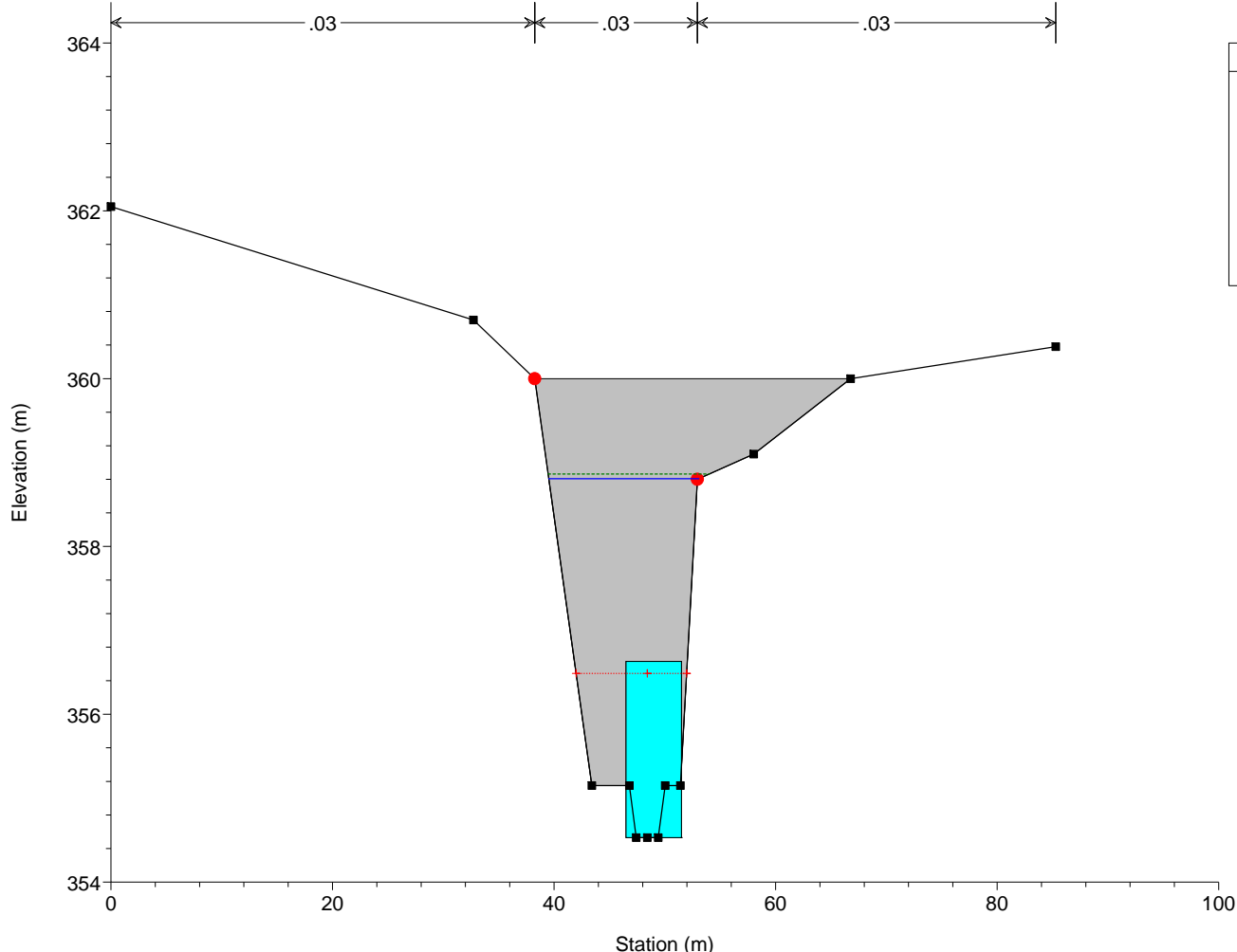
Morsina Plan: Morsina
RS = 41 SEZIONE 1



Morsina Plan: Morsina
RS = 40 SEZIONE 2

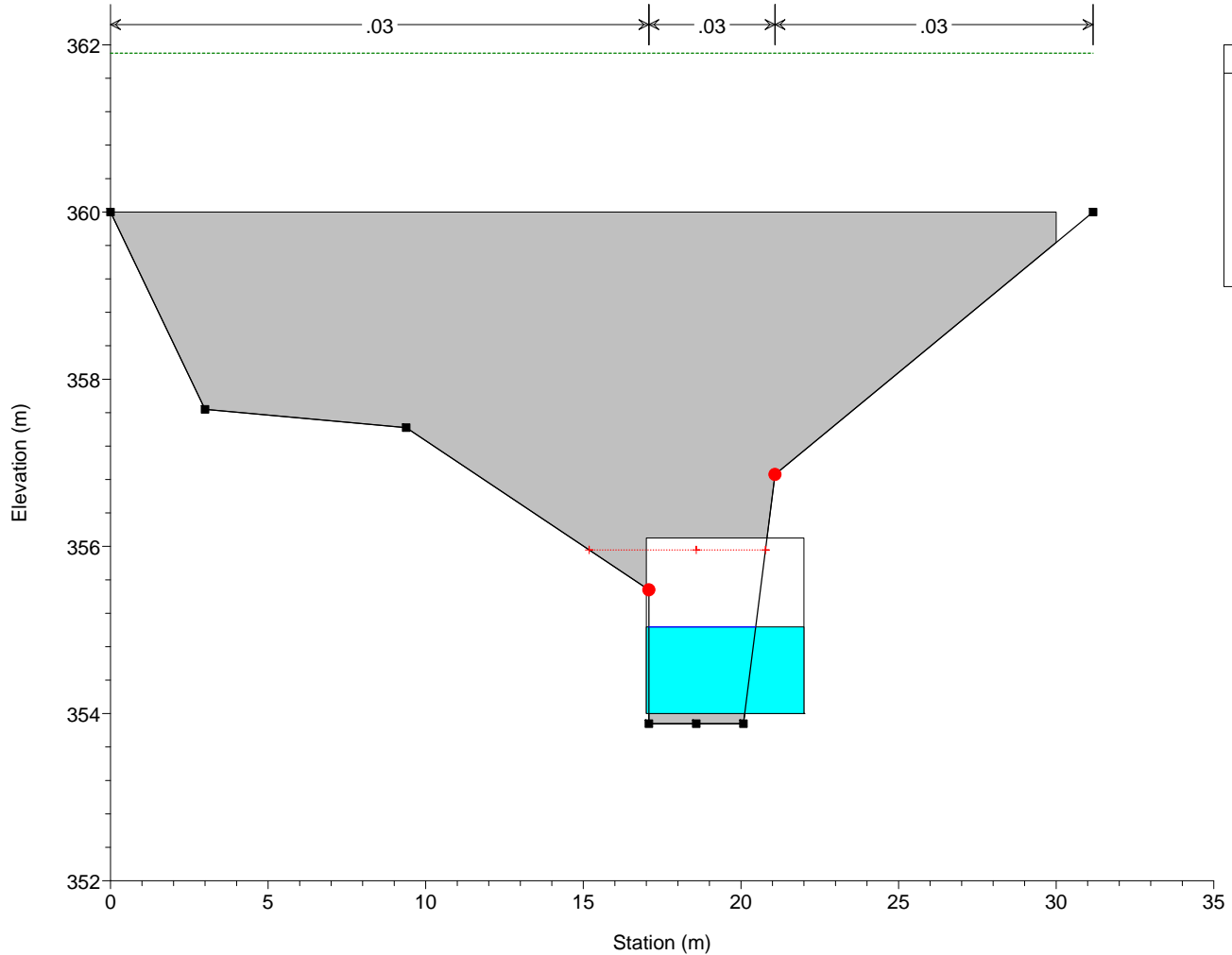


Morsina Plan: Morsina
RS = 39.1 Culv PONTE n.3



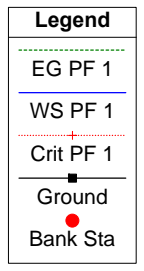
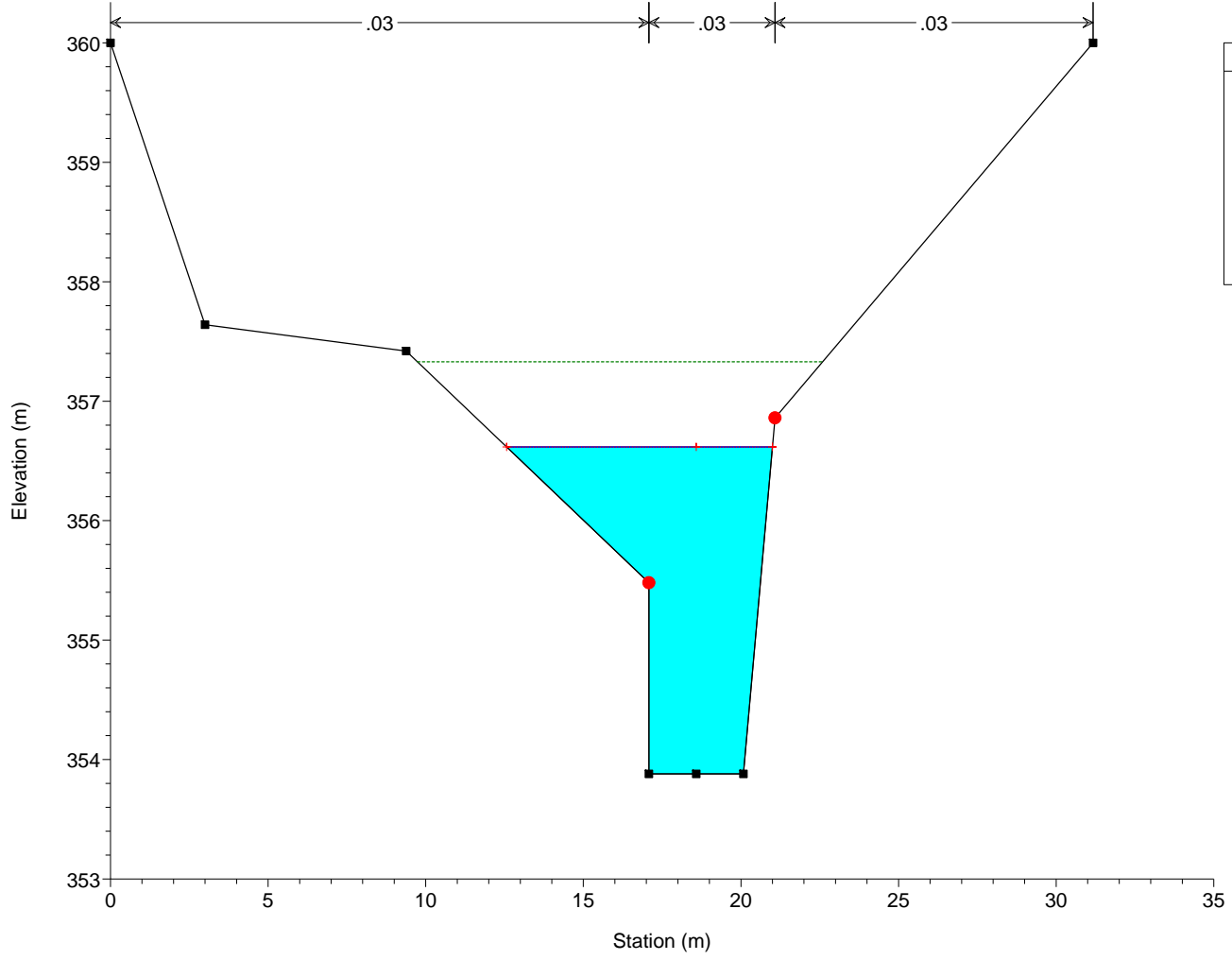
Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Crit PF 1	(Red dashed line with cross)
Ground	(Black solid line with squares)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 39.1 Culv PONTE n.3

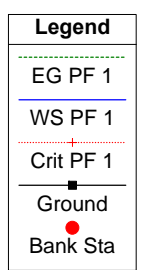
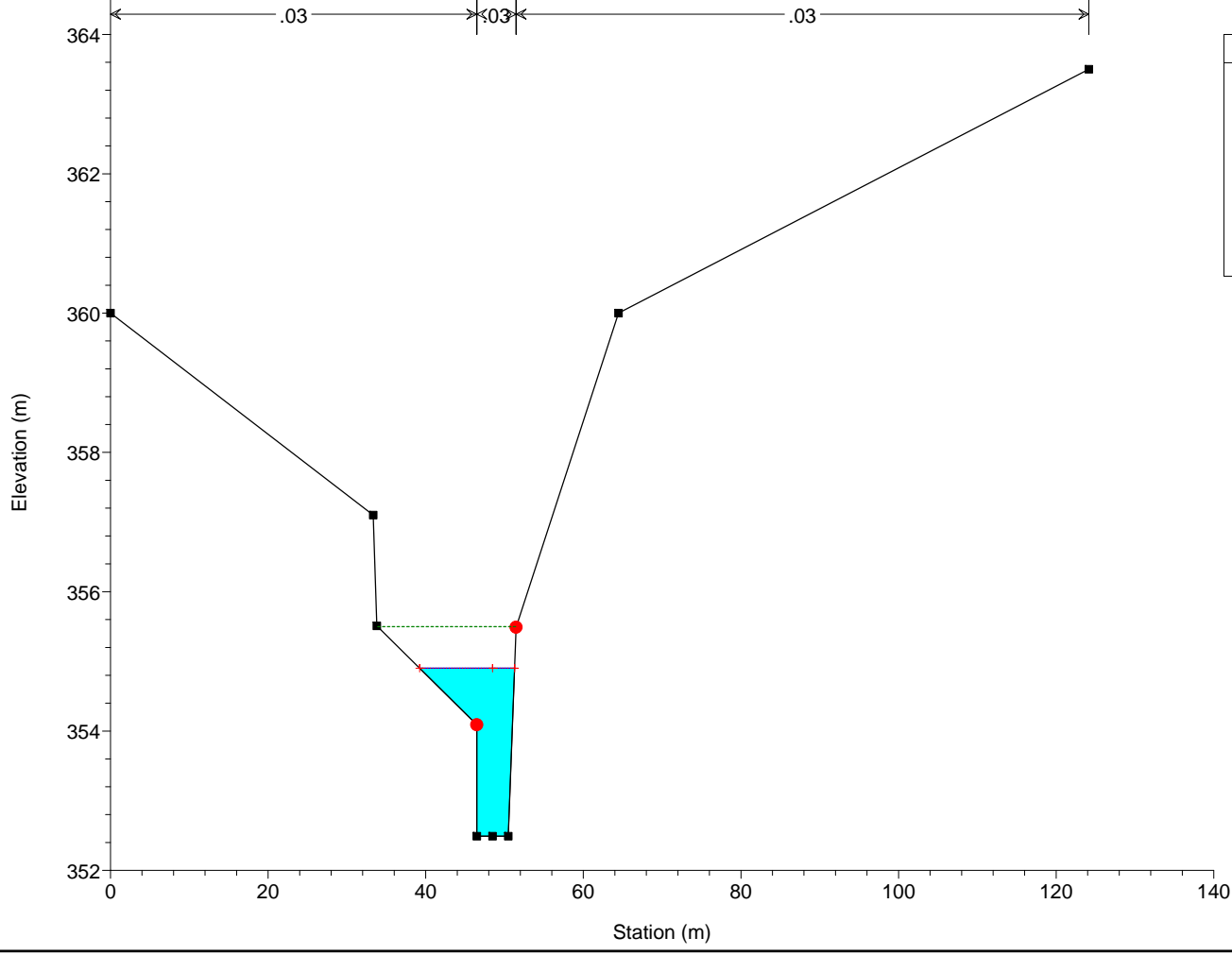


Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
Crit PF 1	(Red dashed line with cross)
WS PF 1	(Blue solid line)
Ground	(Black solid line with squares)
Bank Sta	(Red dot)

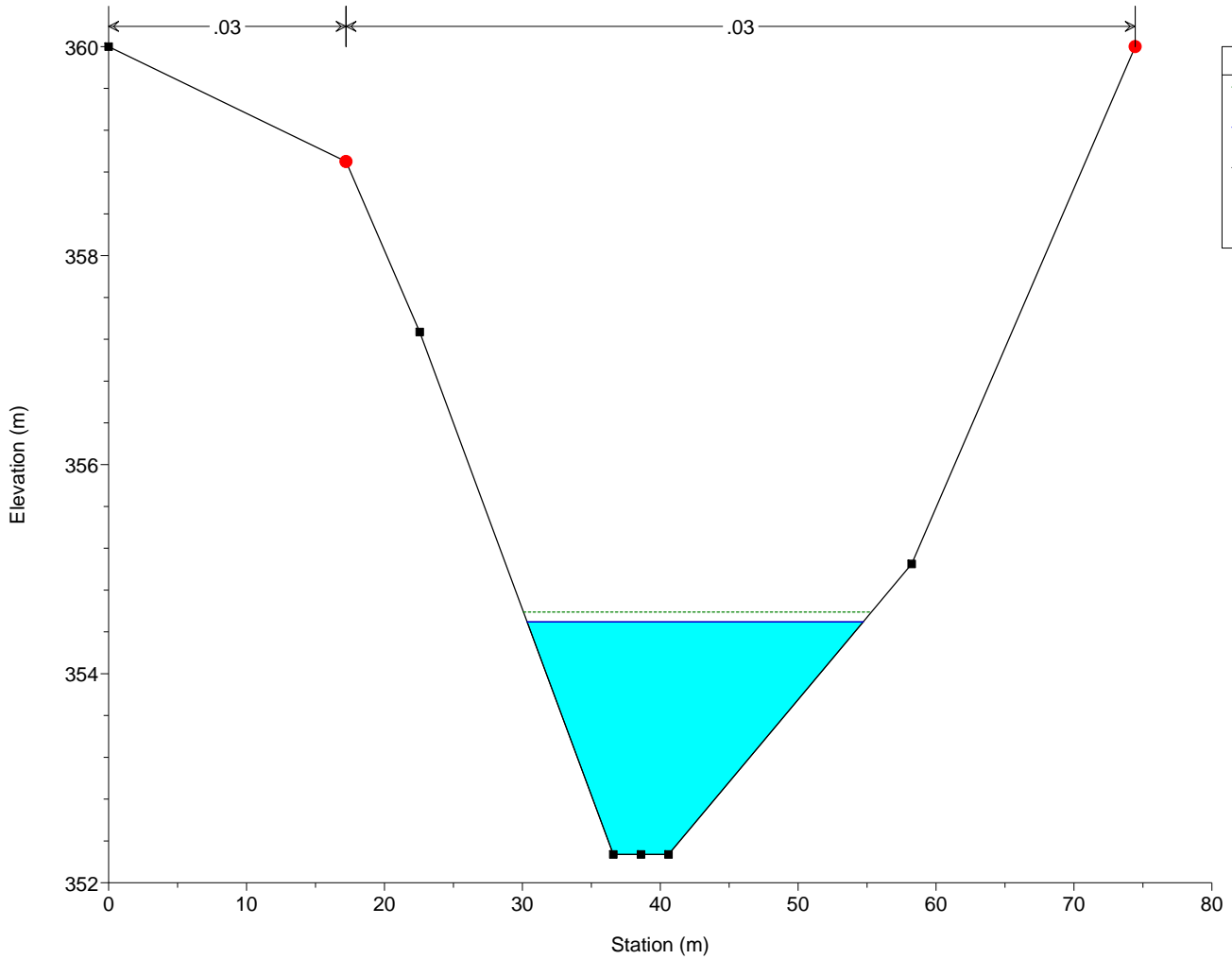
Morsina Plan: Morsina
RS = 39 SEZIONE 3



Morsina Plan: Morsina
RS = 38 SEZIONE 4

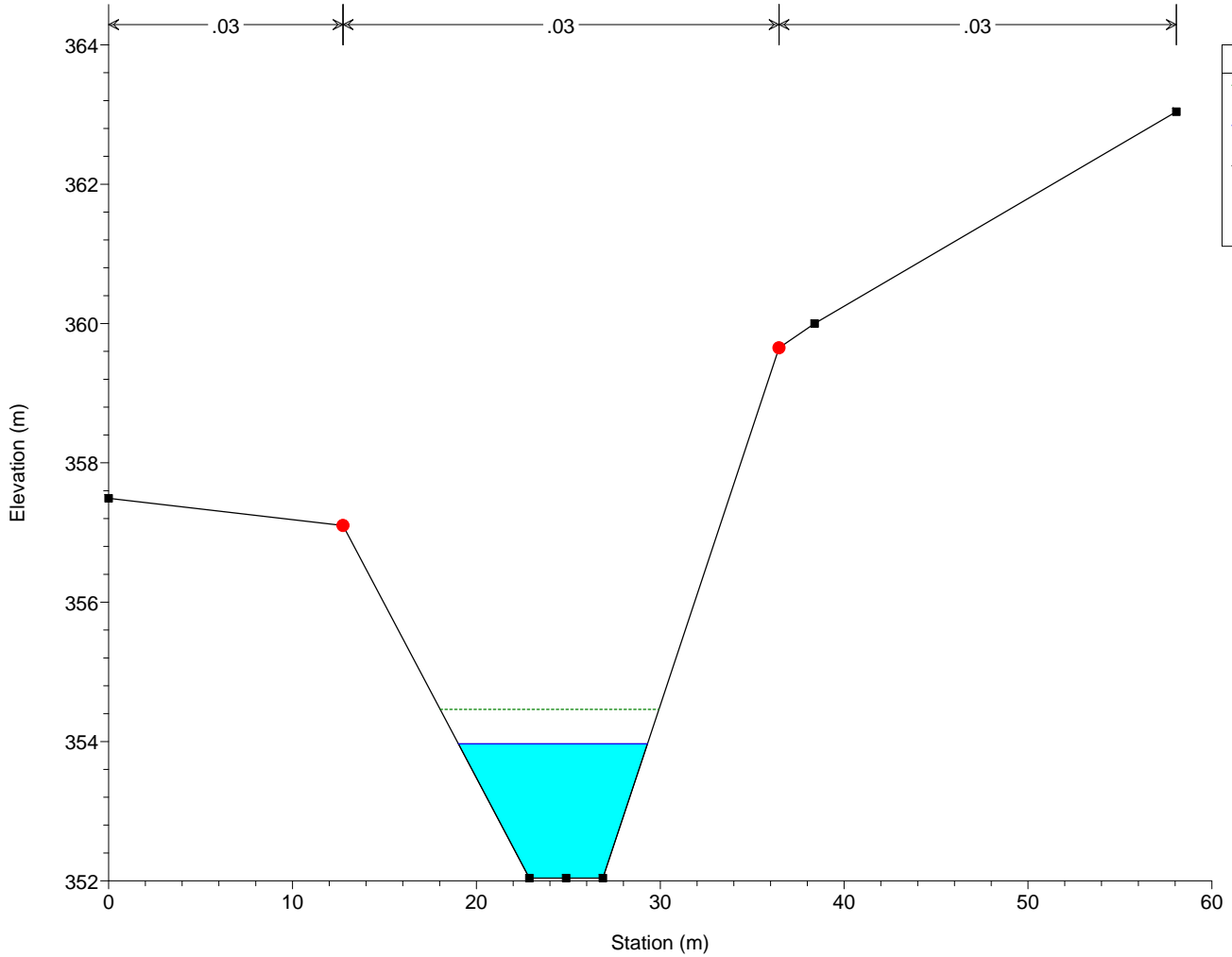


Morsina Plan: Morsina
RS = 37 SEZIONE 5



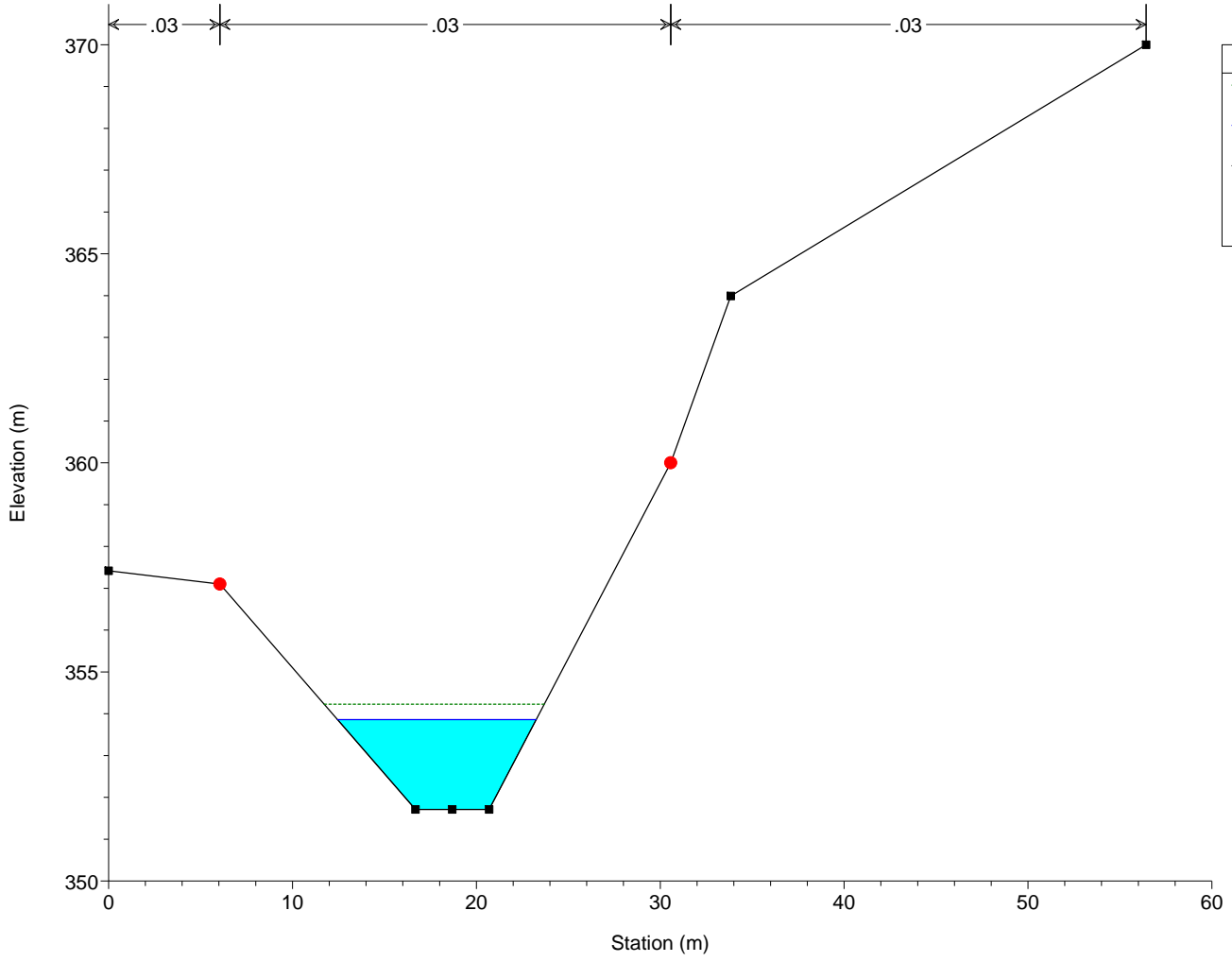
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 36 SEZIONE 6



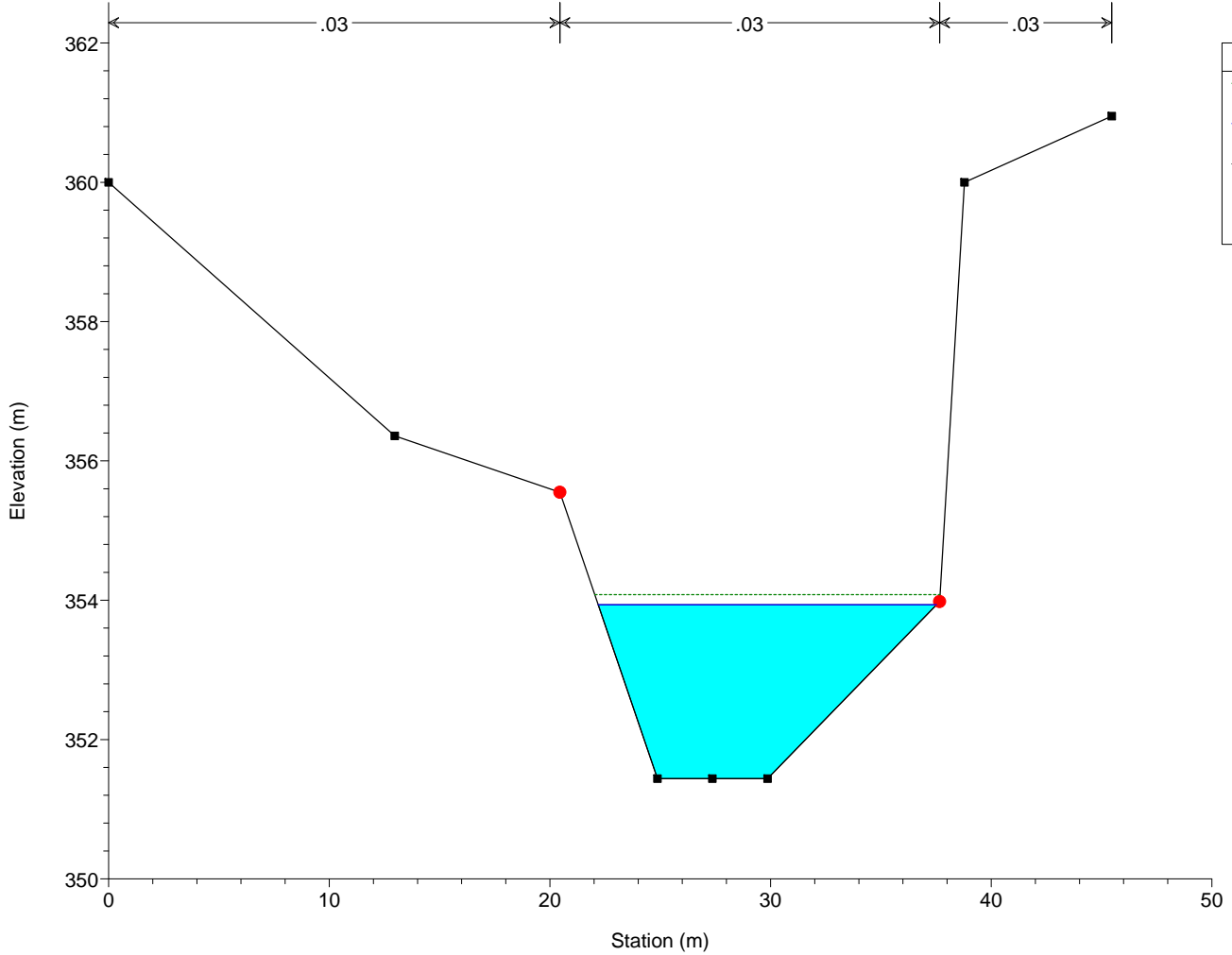
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 35 SEZIONE 7



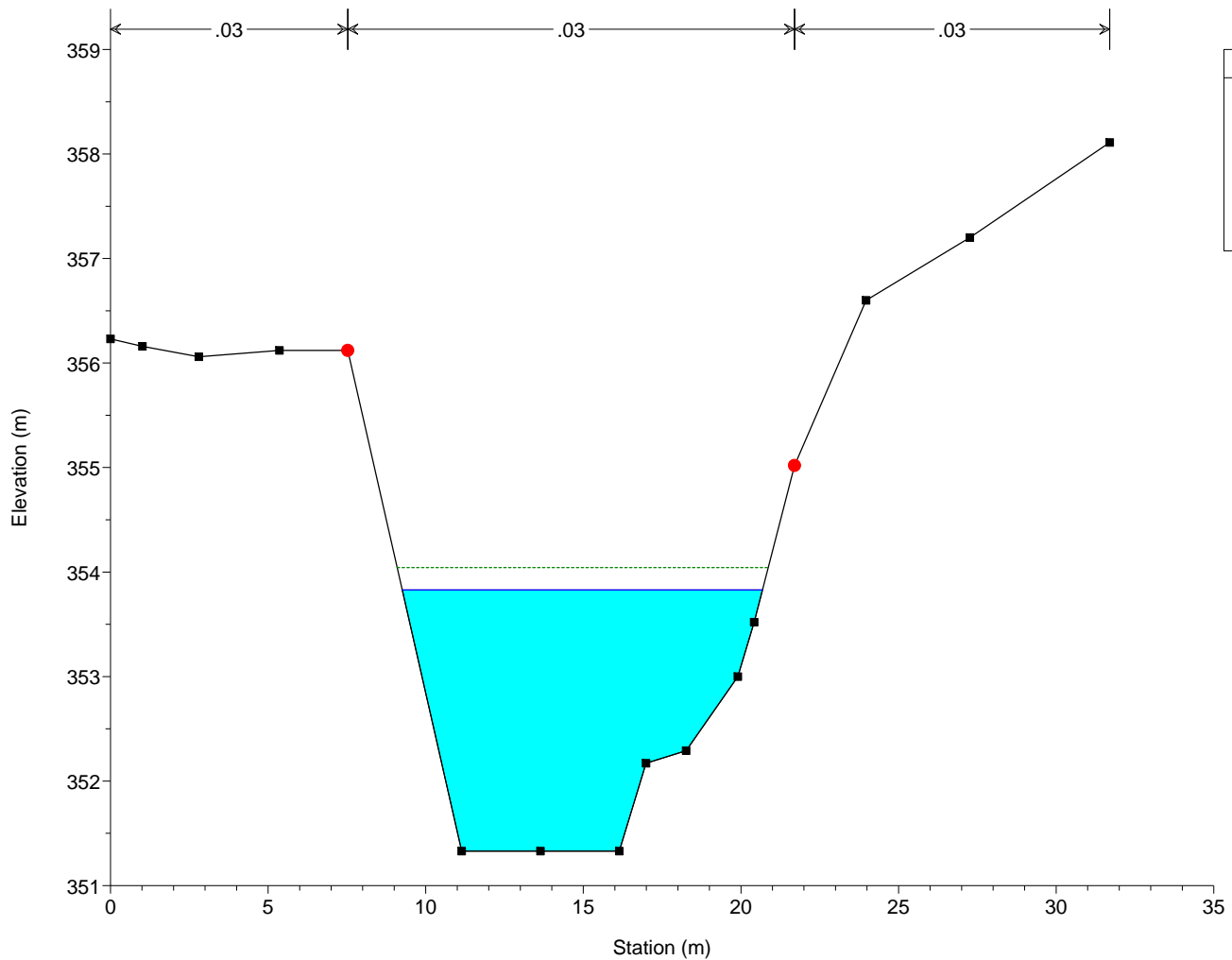
Legend	
EG PF 1	---
WS PF 1	—
Ground	—■—
Bank Sta	●

Morsina Plan: Morsina
RS = 34.1 SEZIONE B1

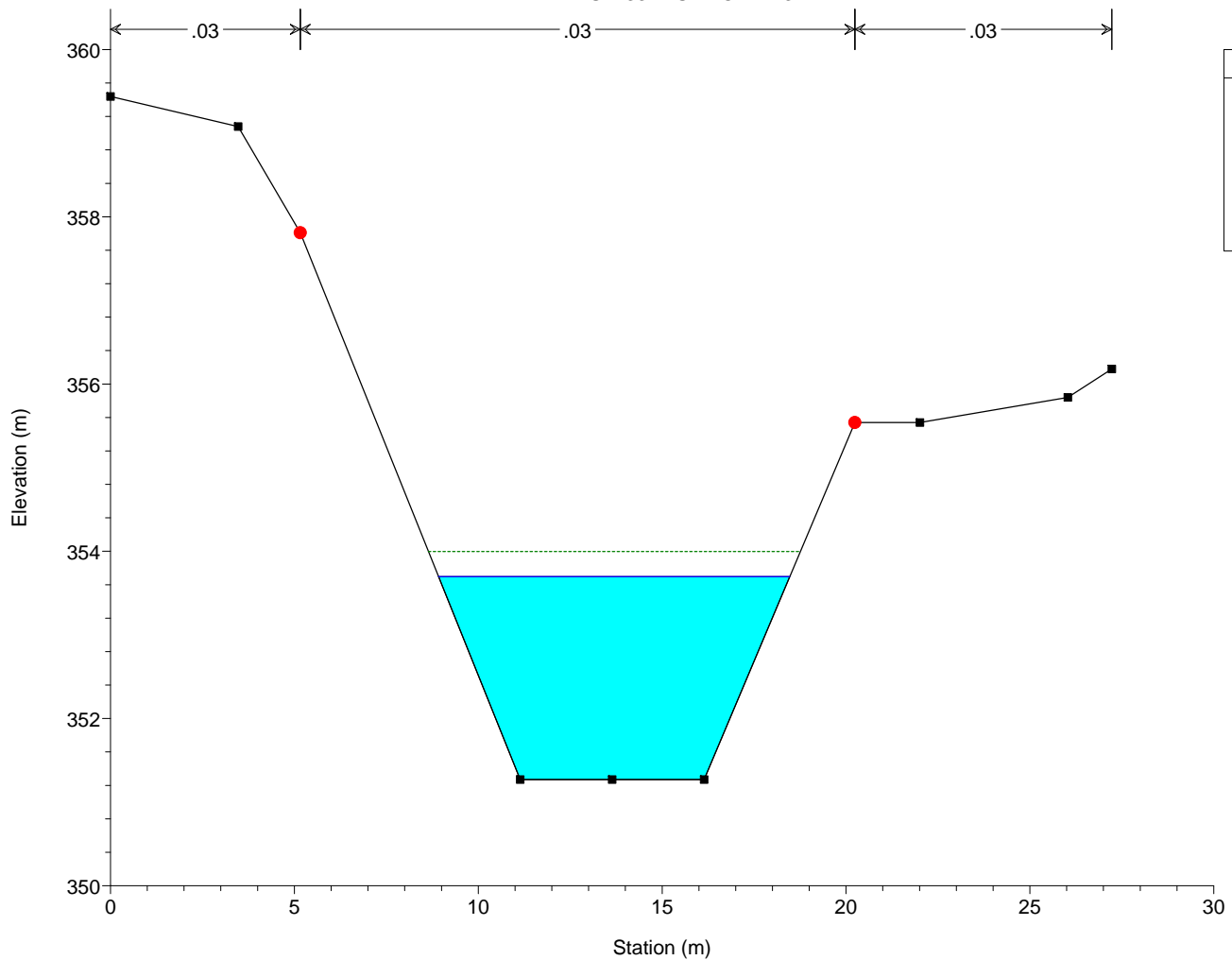


Legend	
EG PF 1	---
WS PF 1	—
Ground	—■—
Bank Sta	●

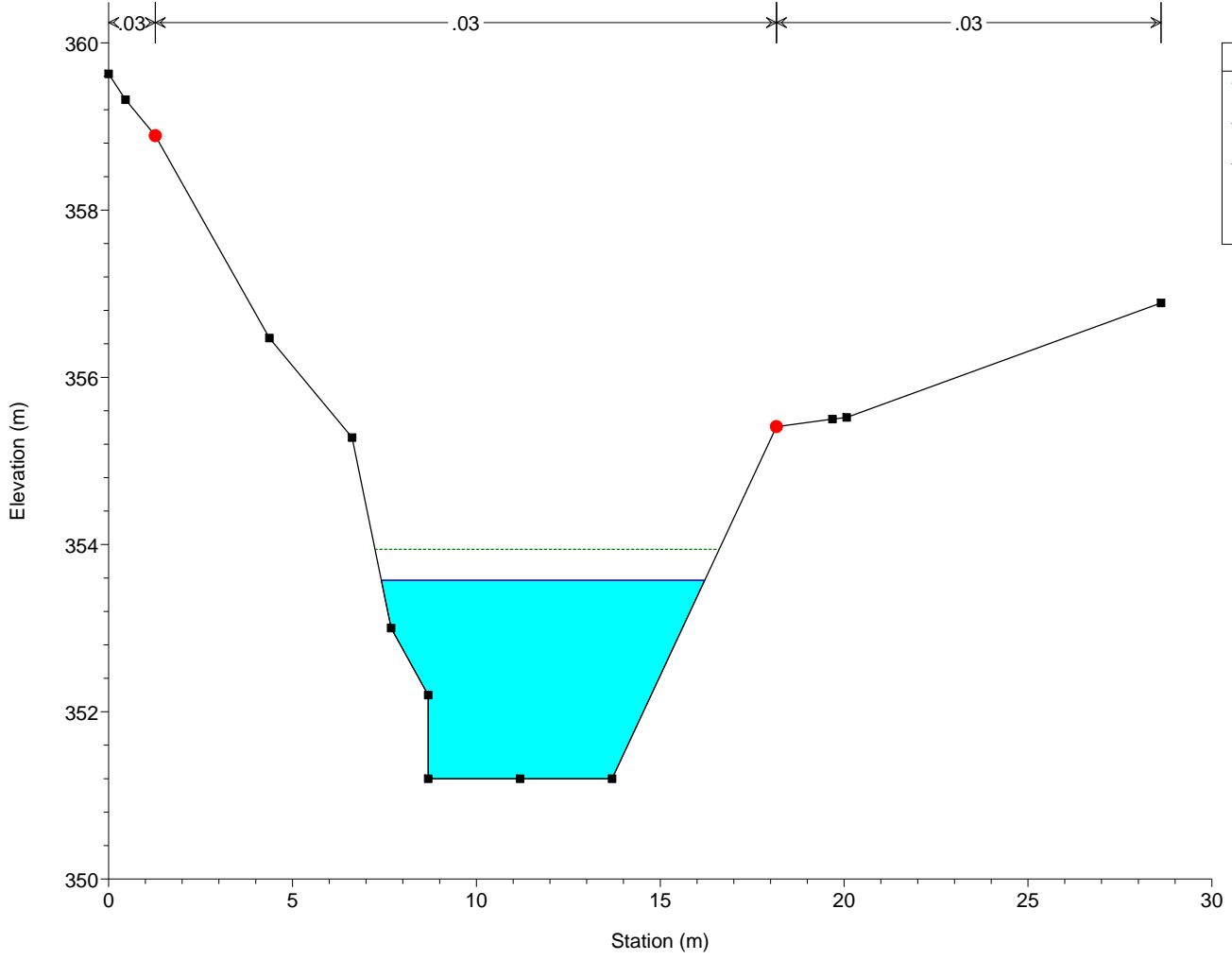
Morsina Plan: Morsina
RS = 34 SEZIONE B2



Morsina Plan: Morsina
RS = 33.1 SEZIONE B3

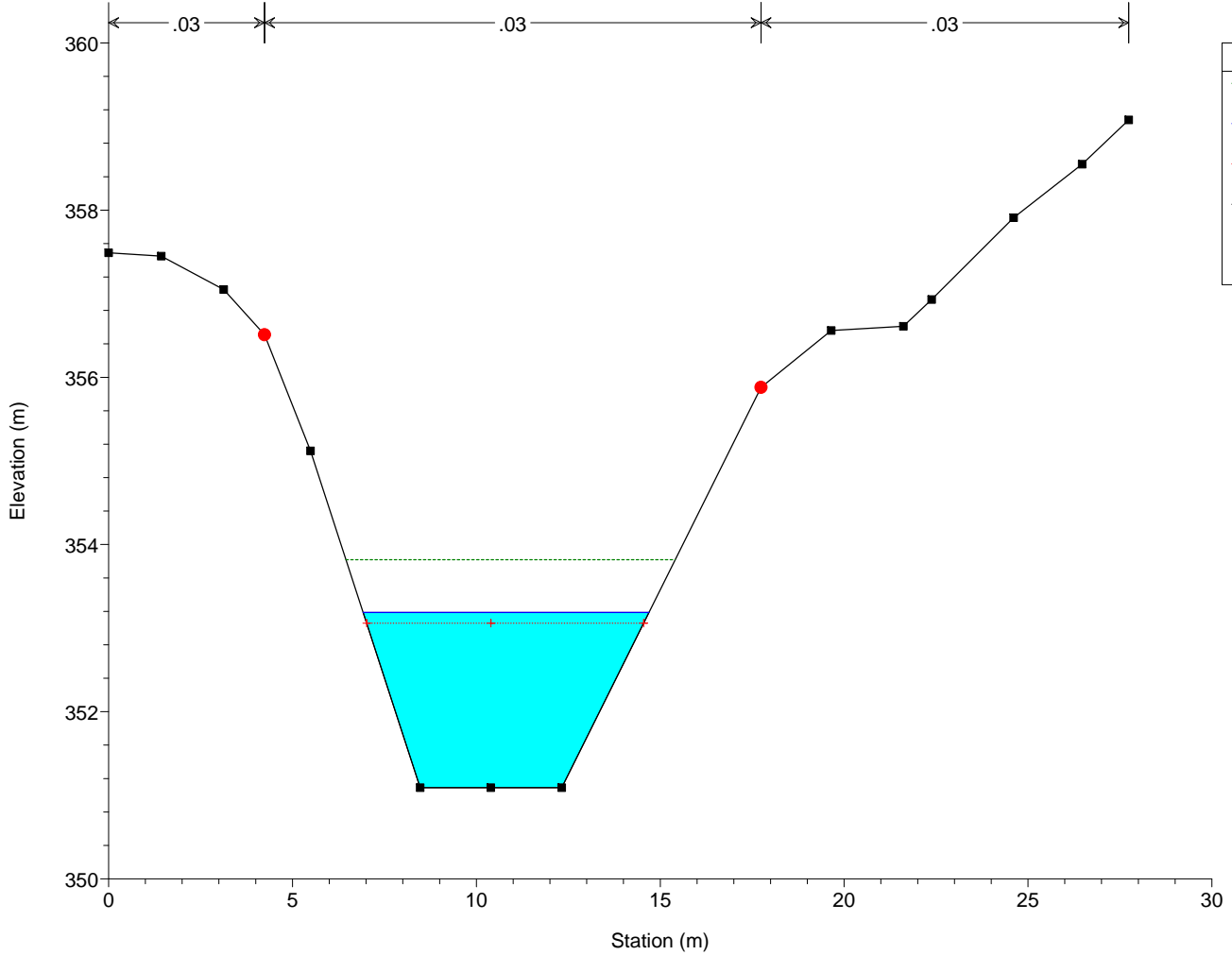


Morsina Plan: Morsina
RS = 33 SEZIONE B4



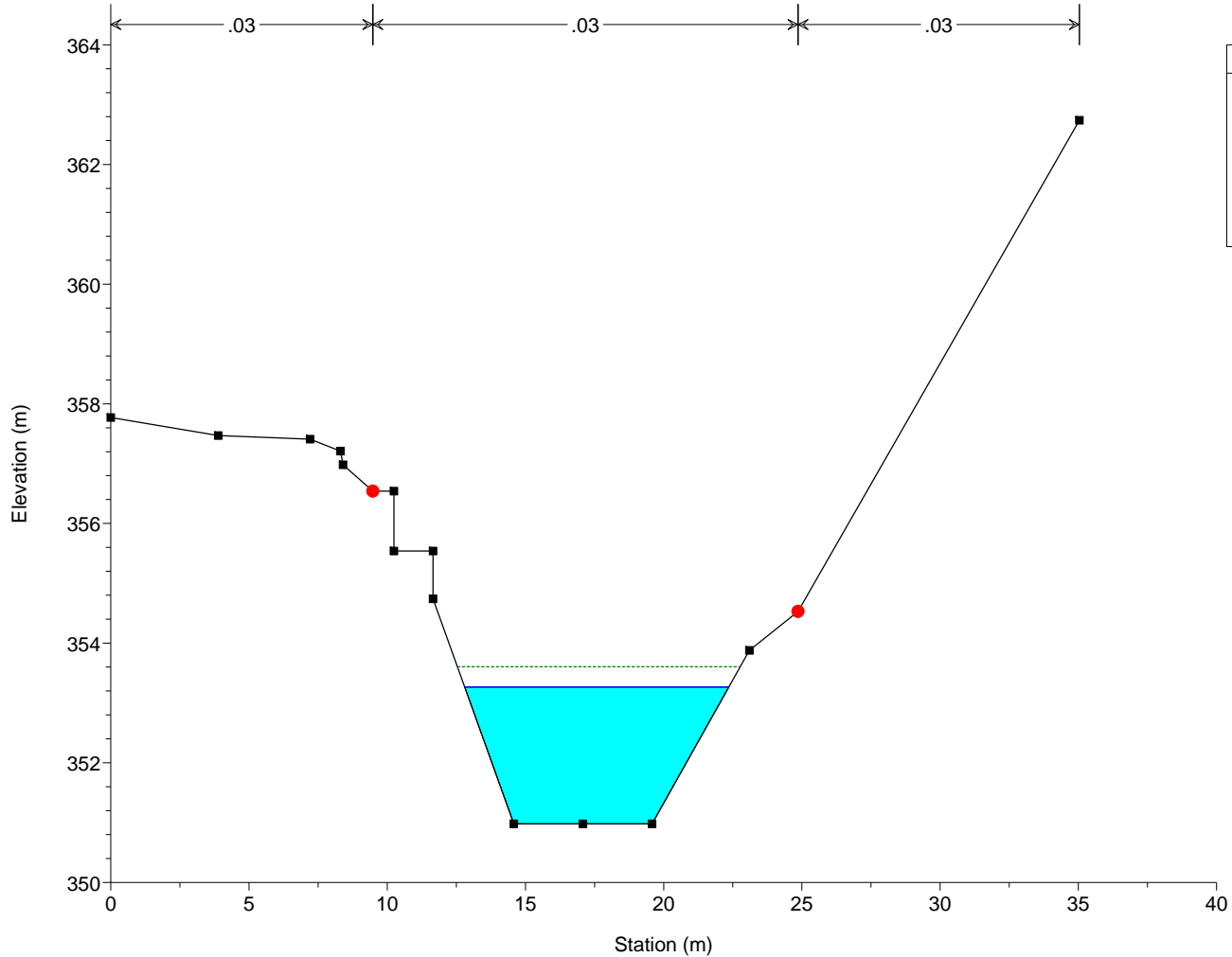
Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Black line with square markers)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 32 SEZIONE B5

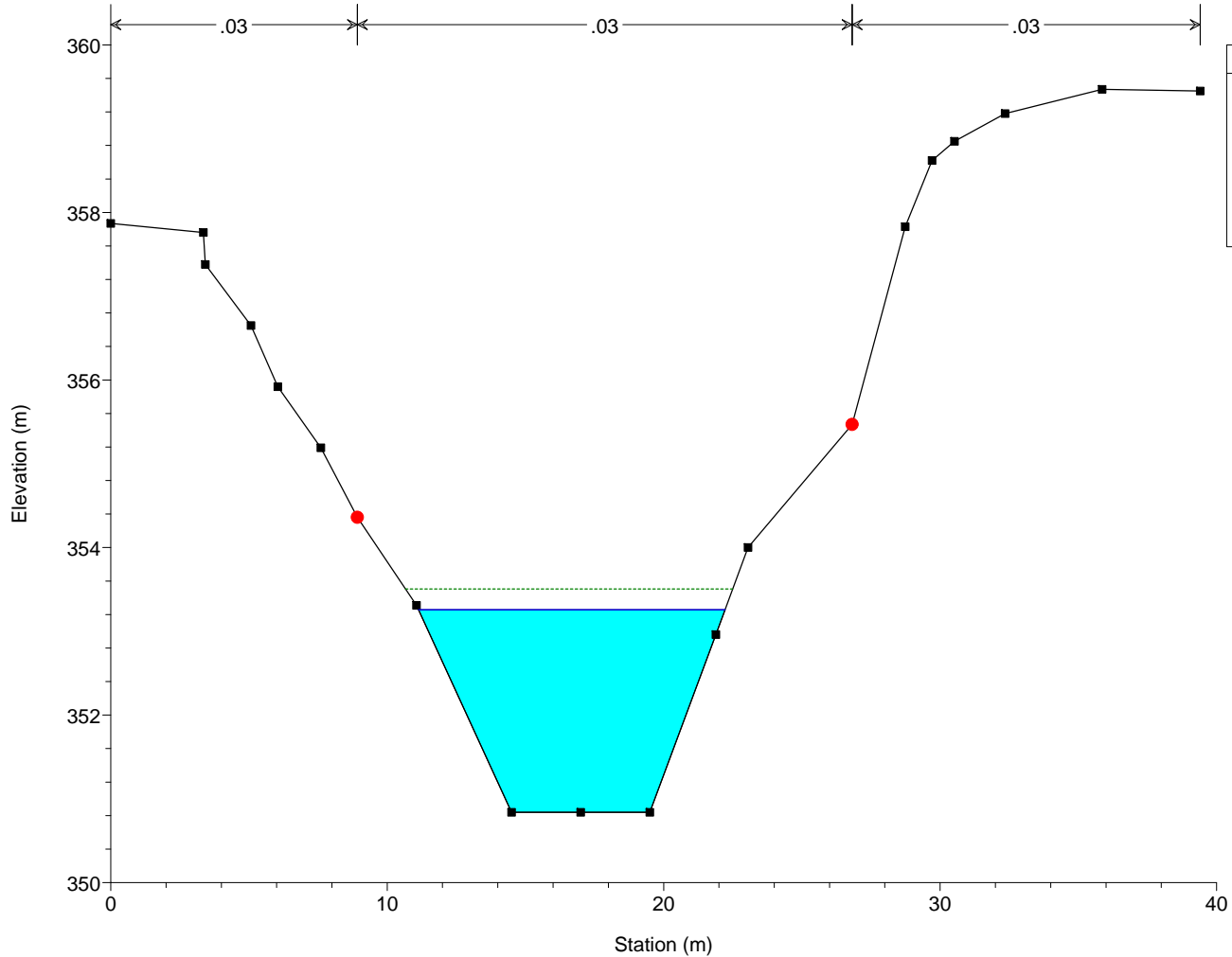


Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Crit PF 1	(Dashed red line with cross marker)
Ground	(Black line with square markers)
Bank Sta	(Red dot)

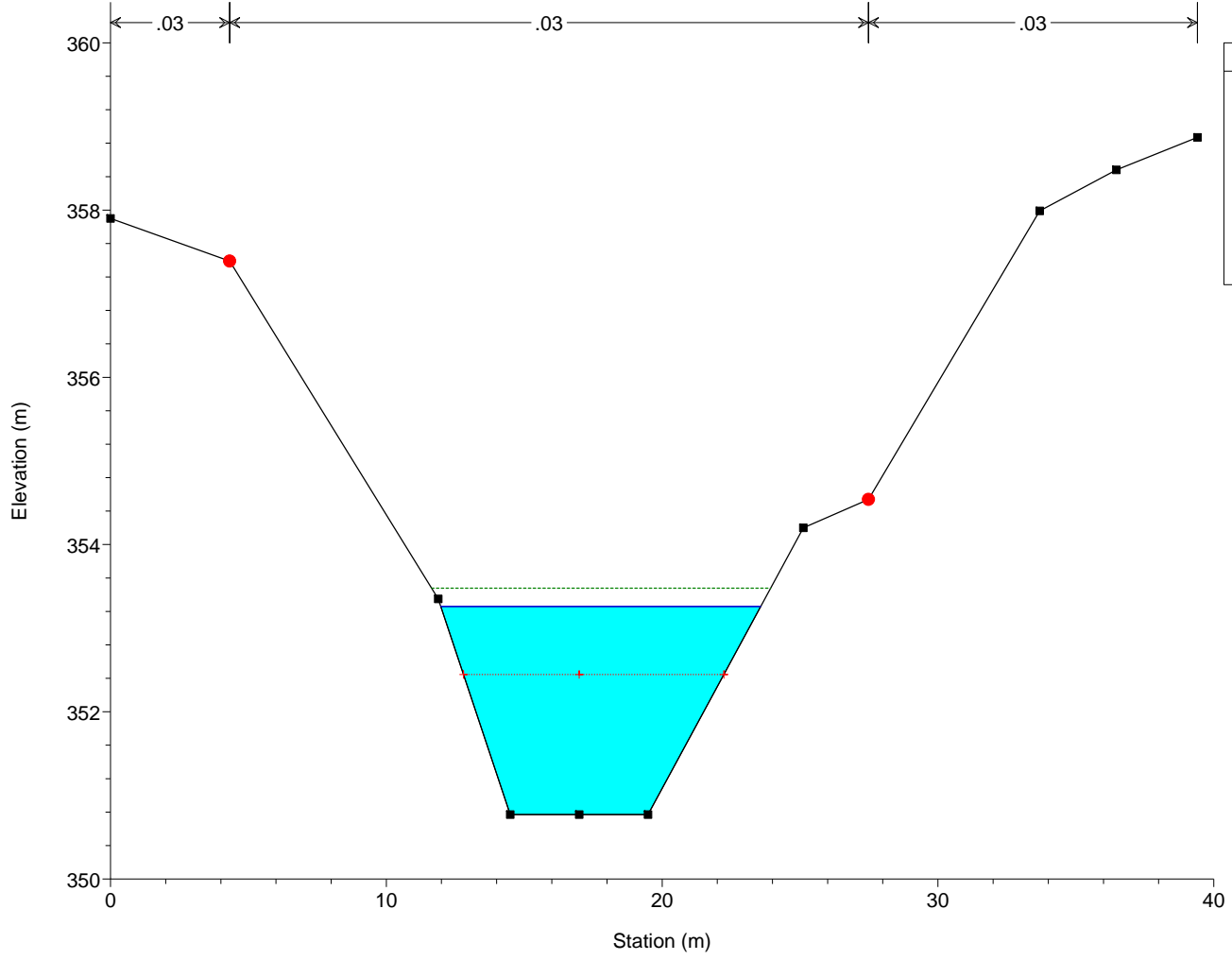
Morsina Plan: Morsina
RS = 31 SEZIONE B6



Morsina Plan: Morsina
RS = 30 SEZIONE B7



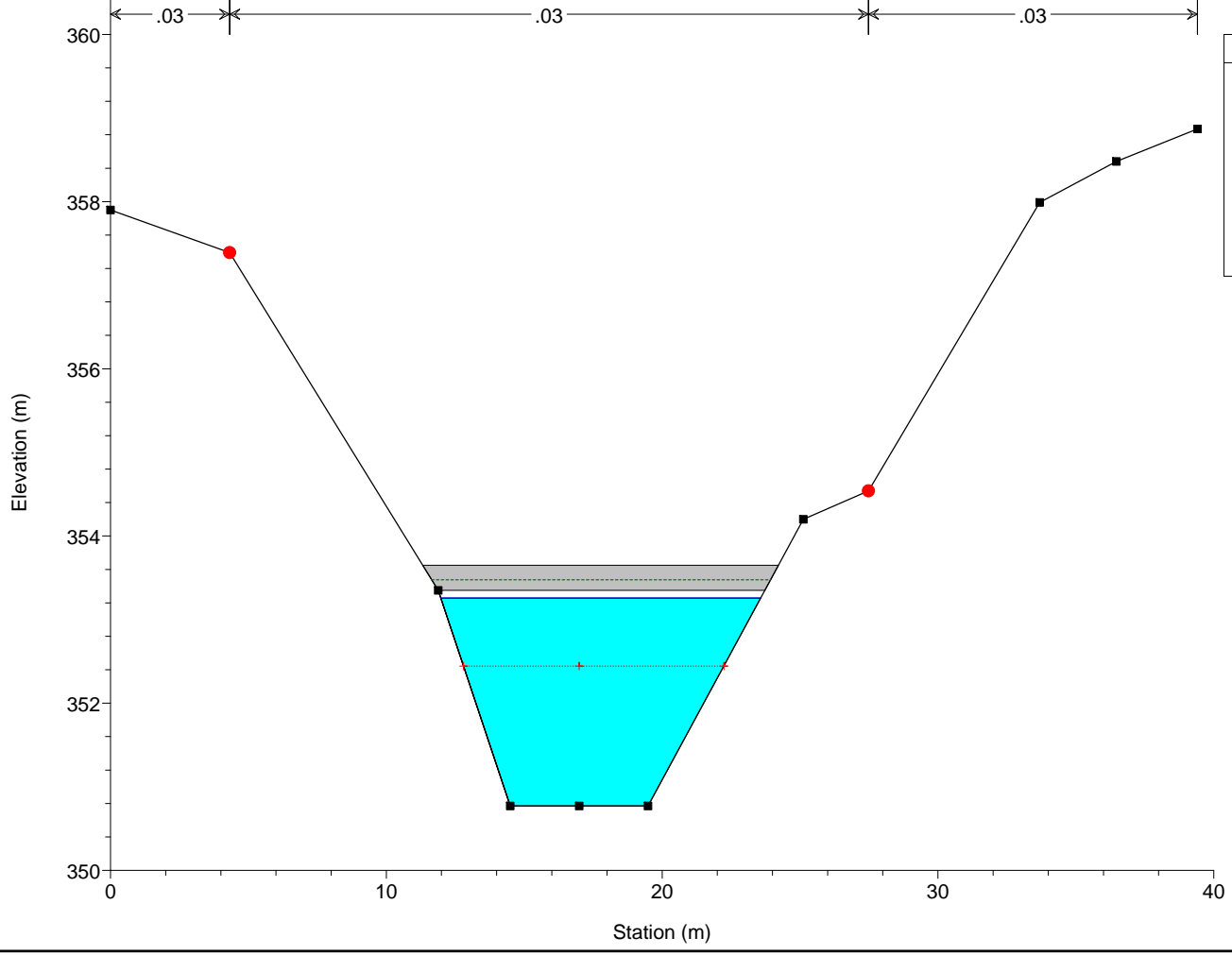
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.4 SEZIONE B8



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

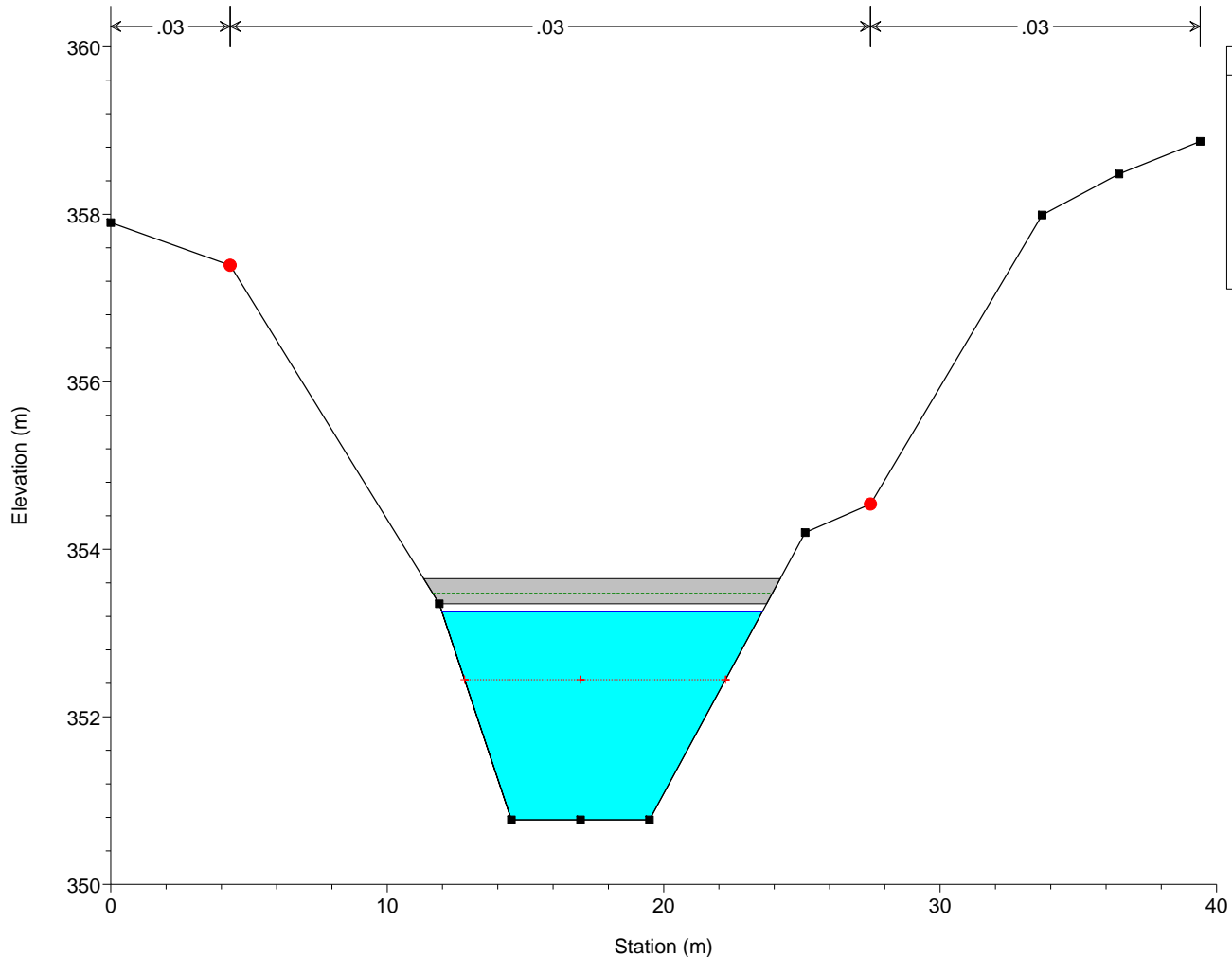
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.3 BR PASSERELLA n.1



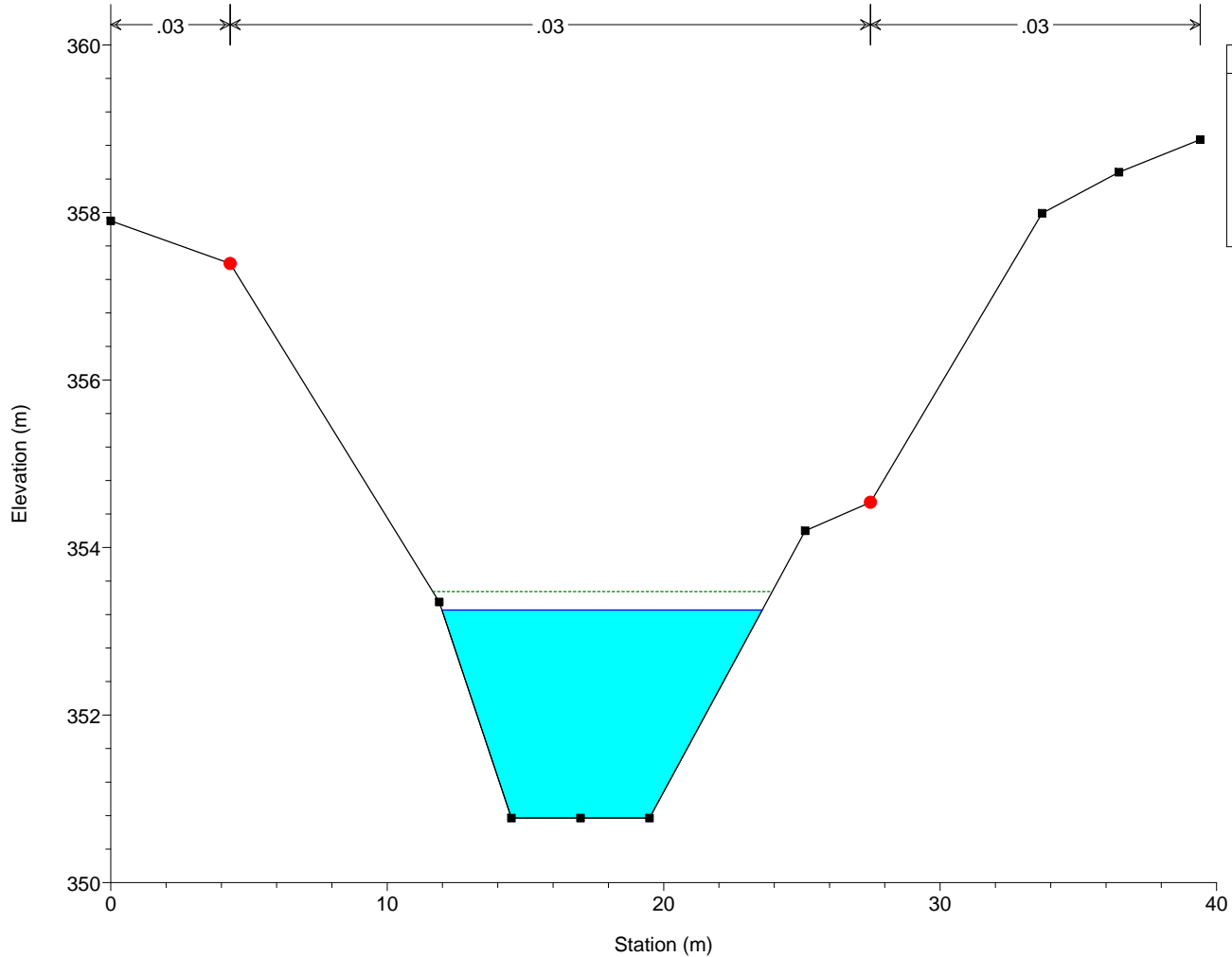
Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

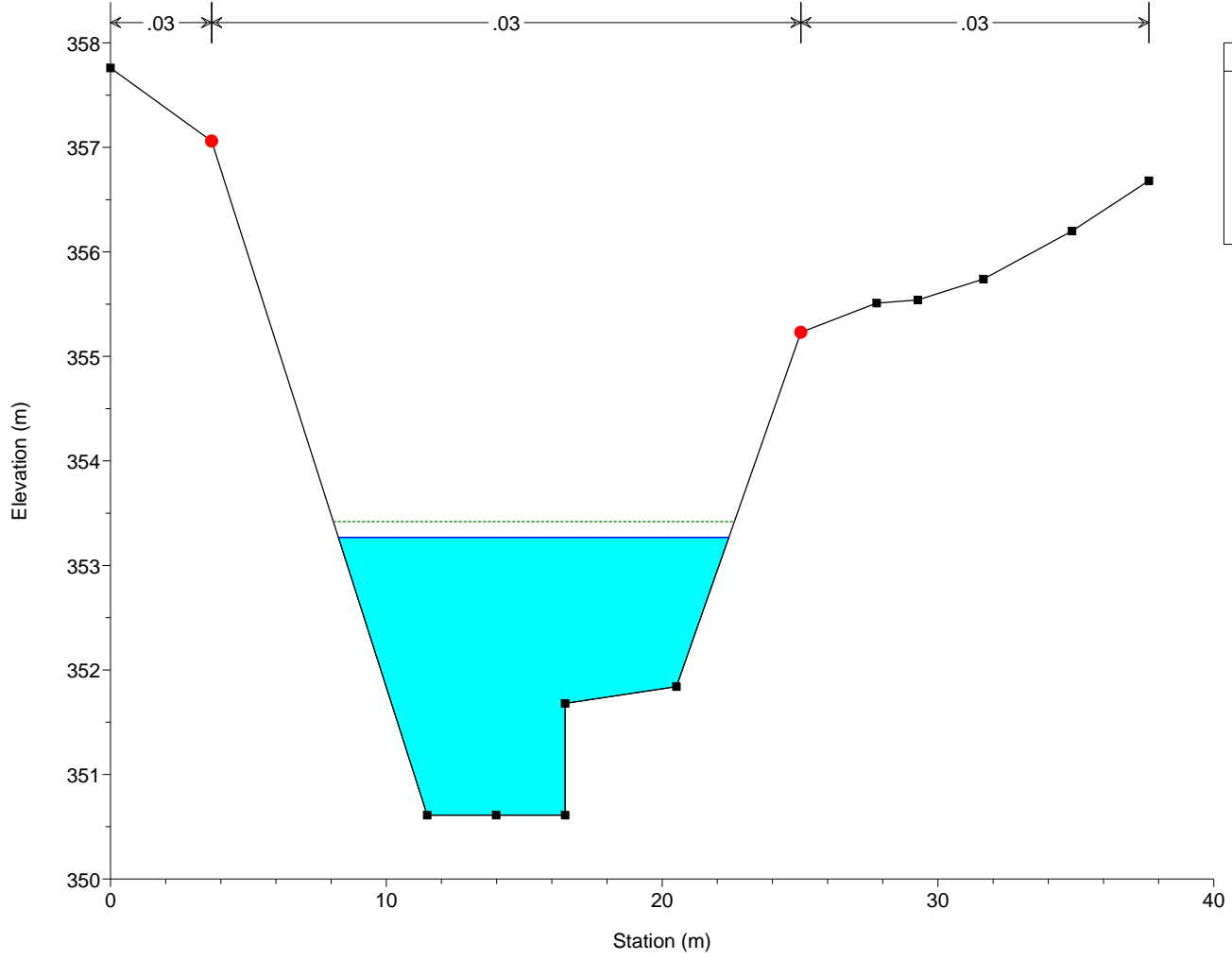
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.3 BR PASSERELLA n.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 29.2 SEZIONE B9.1



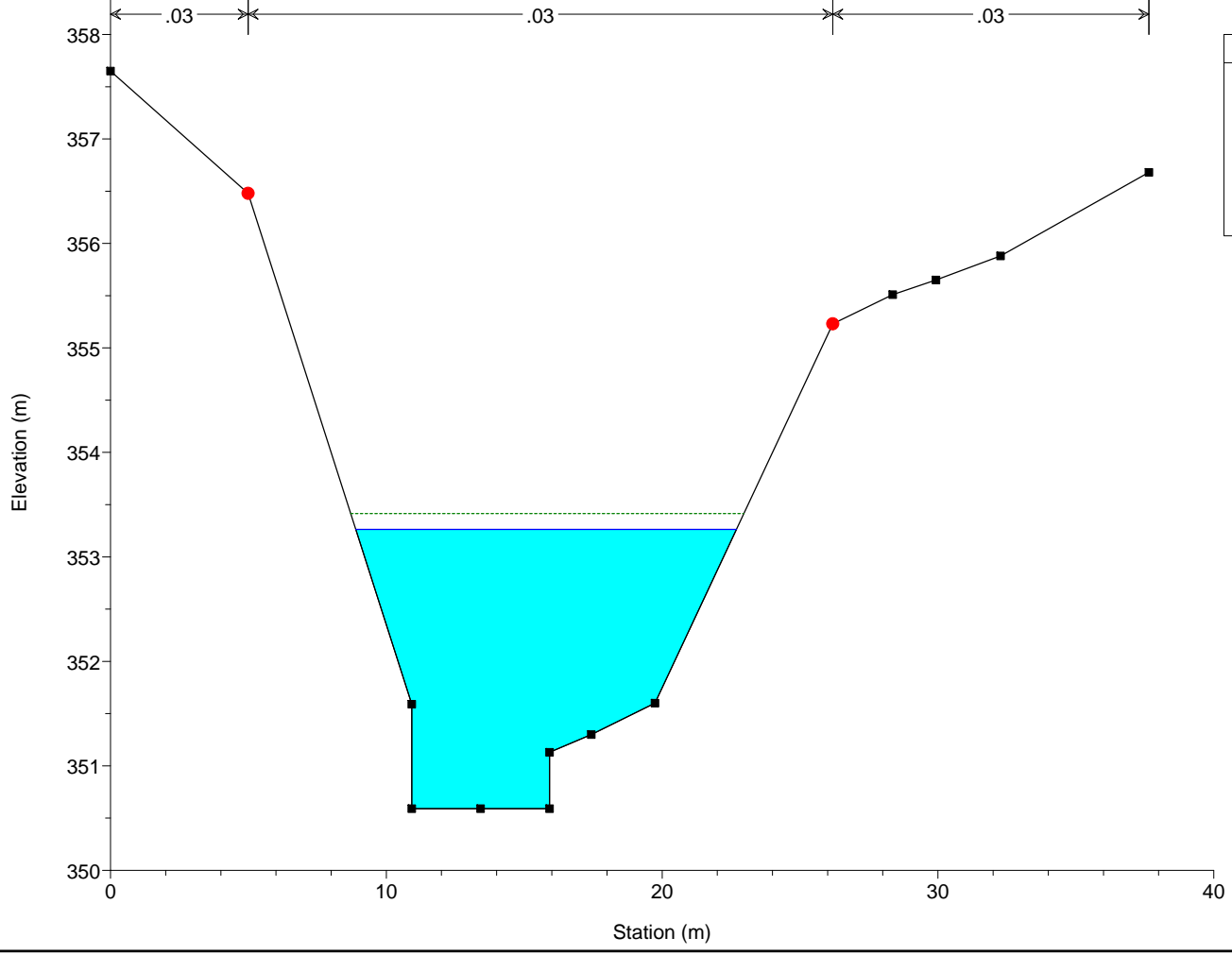
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.1 SEZIONE B9



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

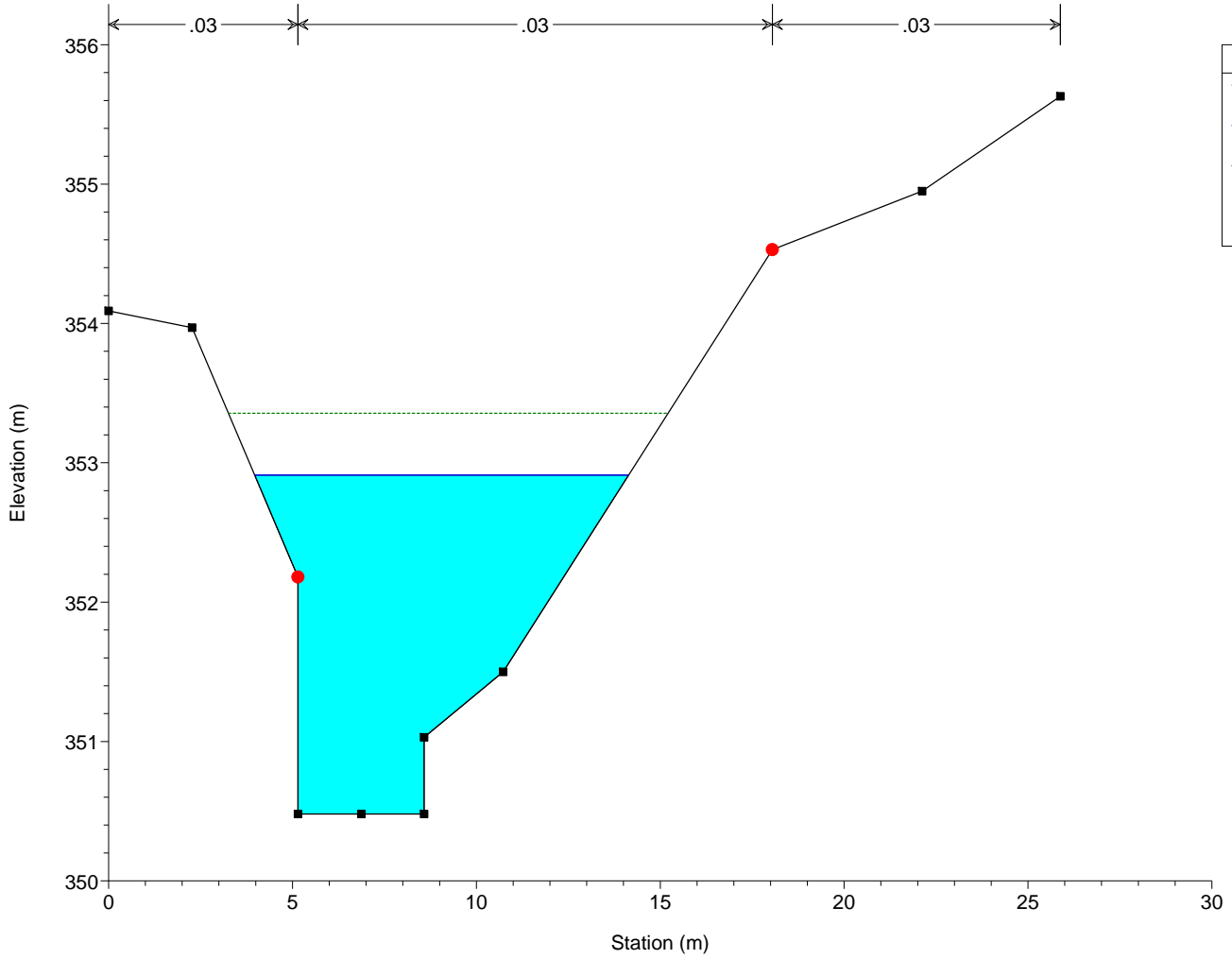
Morsina Plan: Morsina
RS = 29 SEZIONE B10



Legend

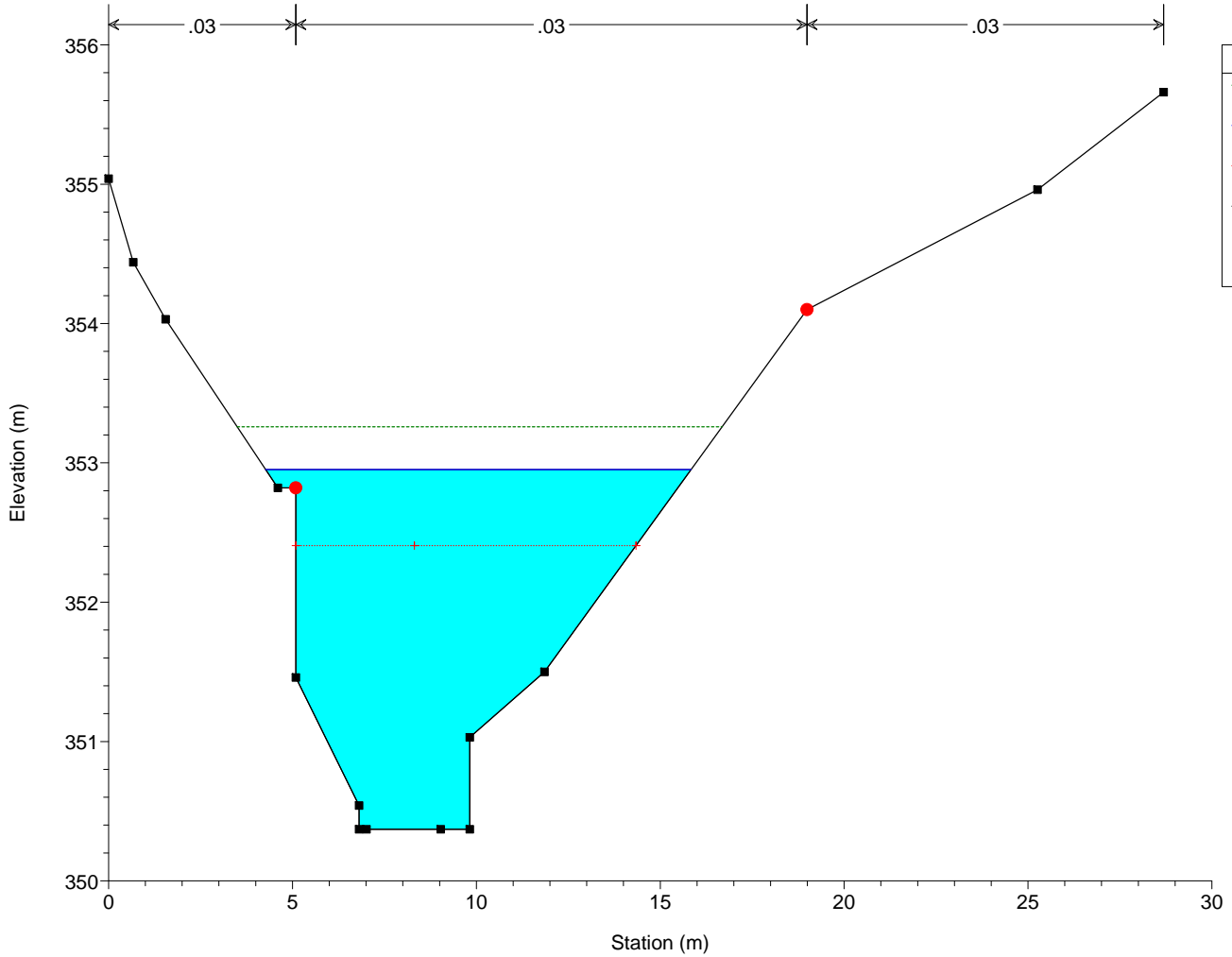
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 28 SEZIONE B11



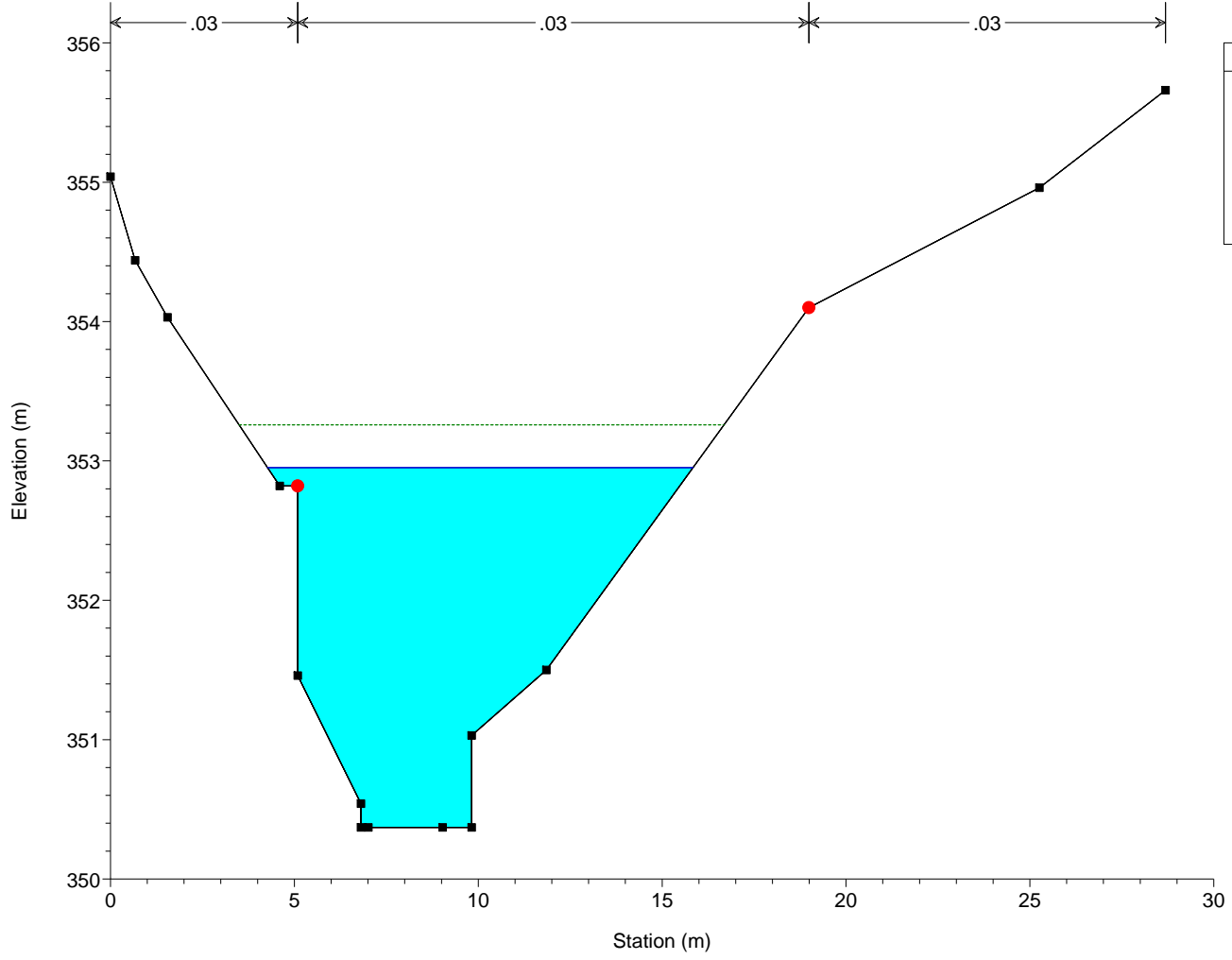
Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Black line with square markers)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 27 SEZIONE B12



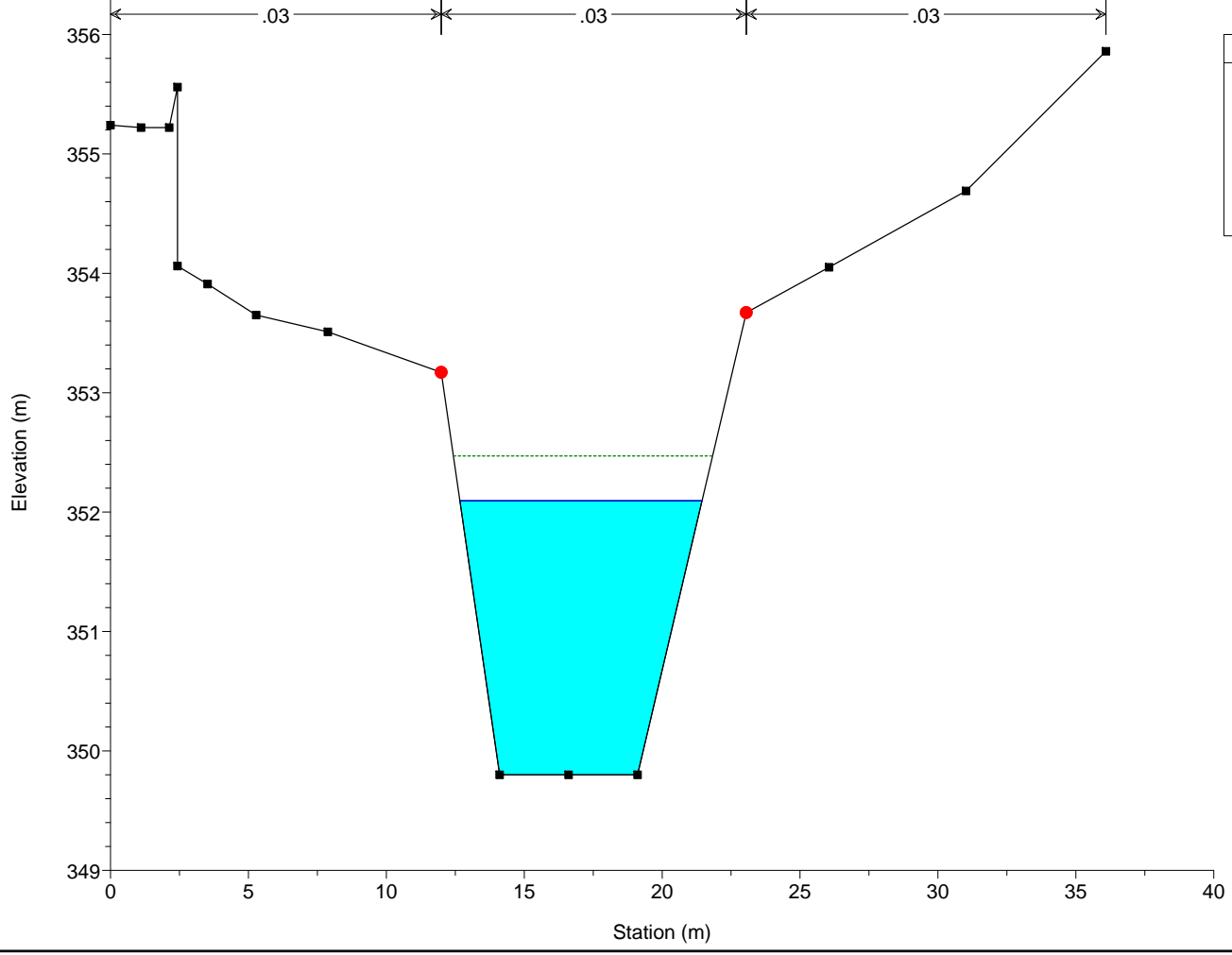
Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Crit PF 1	(Red dotted line with plus markers)
Ground	(Black line with square markers)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 26.1 IS BRIGLIA N.4



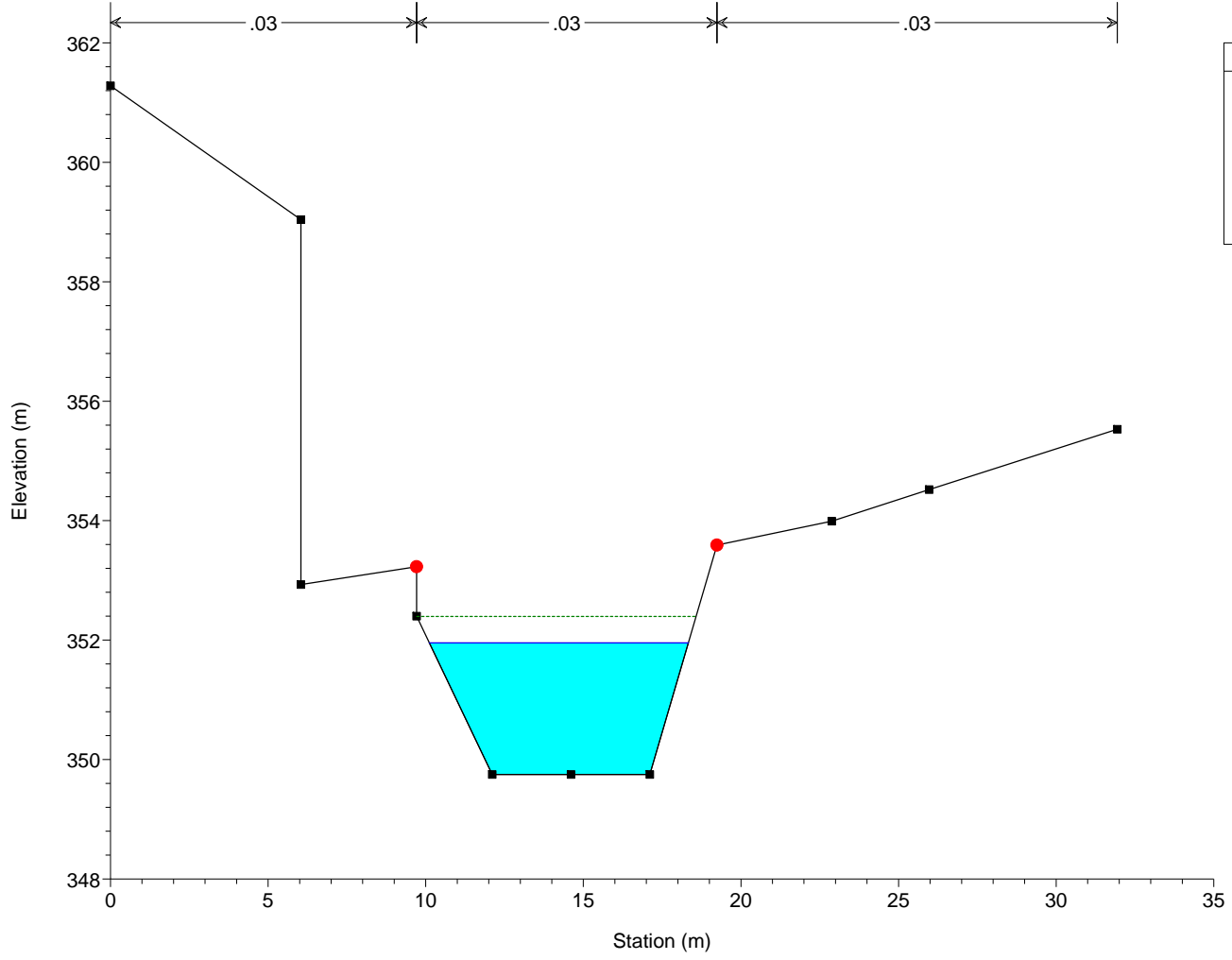
Legend	
EG PF 1	Green dashed line
WS PF 1	Blue solid line
Ground	Black squares
Bank Sta	Red circle

Morsina Plan: Morsina
RS = 26 SEZIONE B13



Legend	
EG PF 1	Green dashed line
WS PF 1	Blue solid line
Ground	Black squares
Bank Sta	Red circle

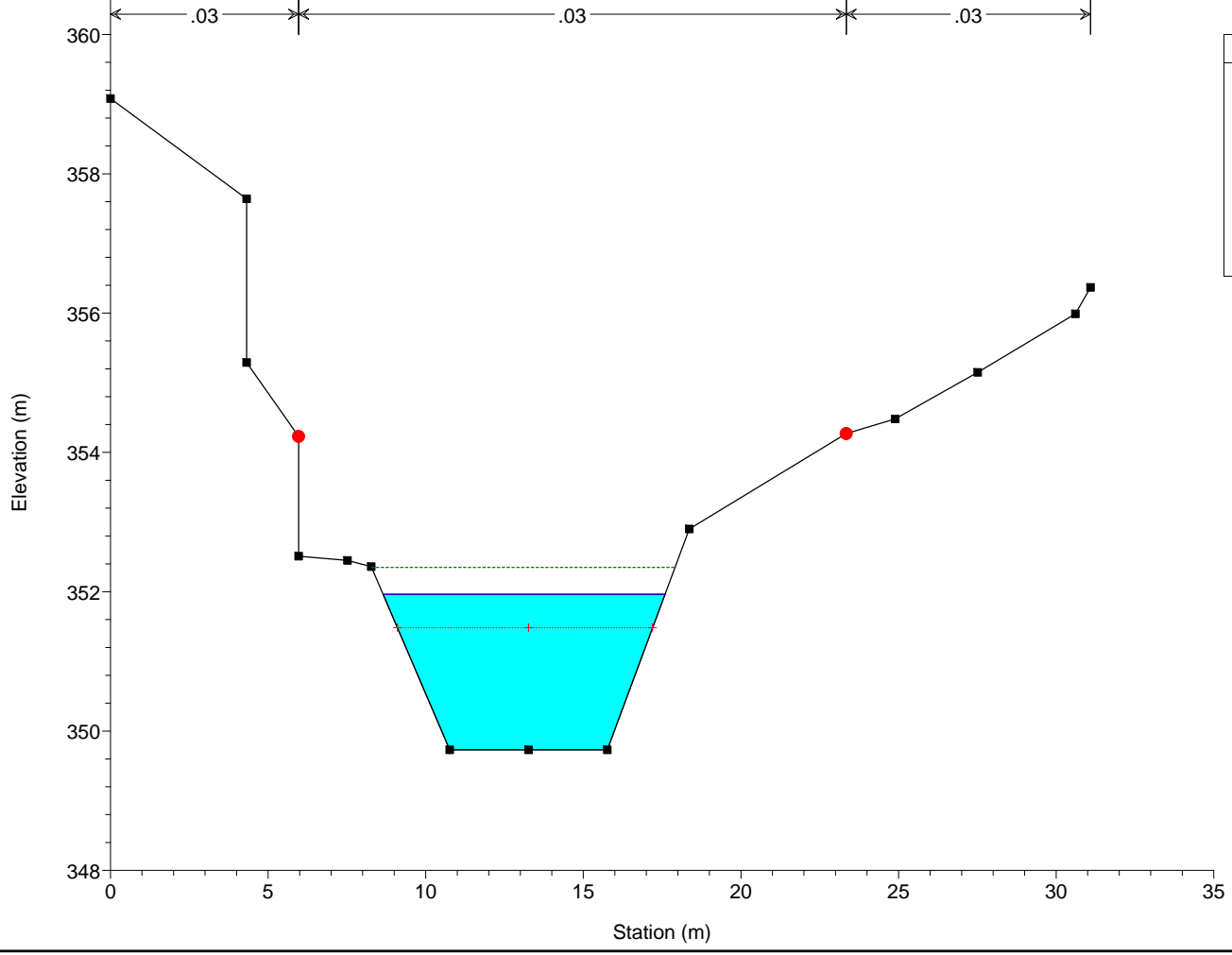
Morsina Plan: Morsina
RS = 25 SEZIONE B14



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

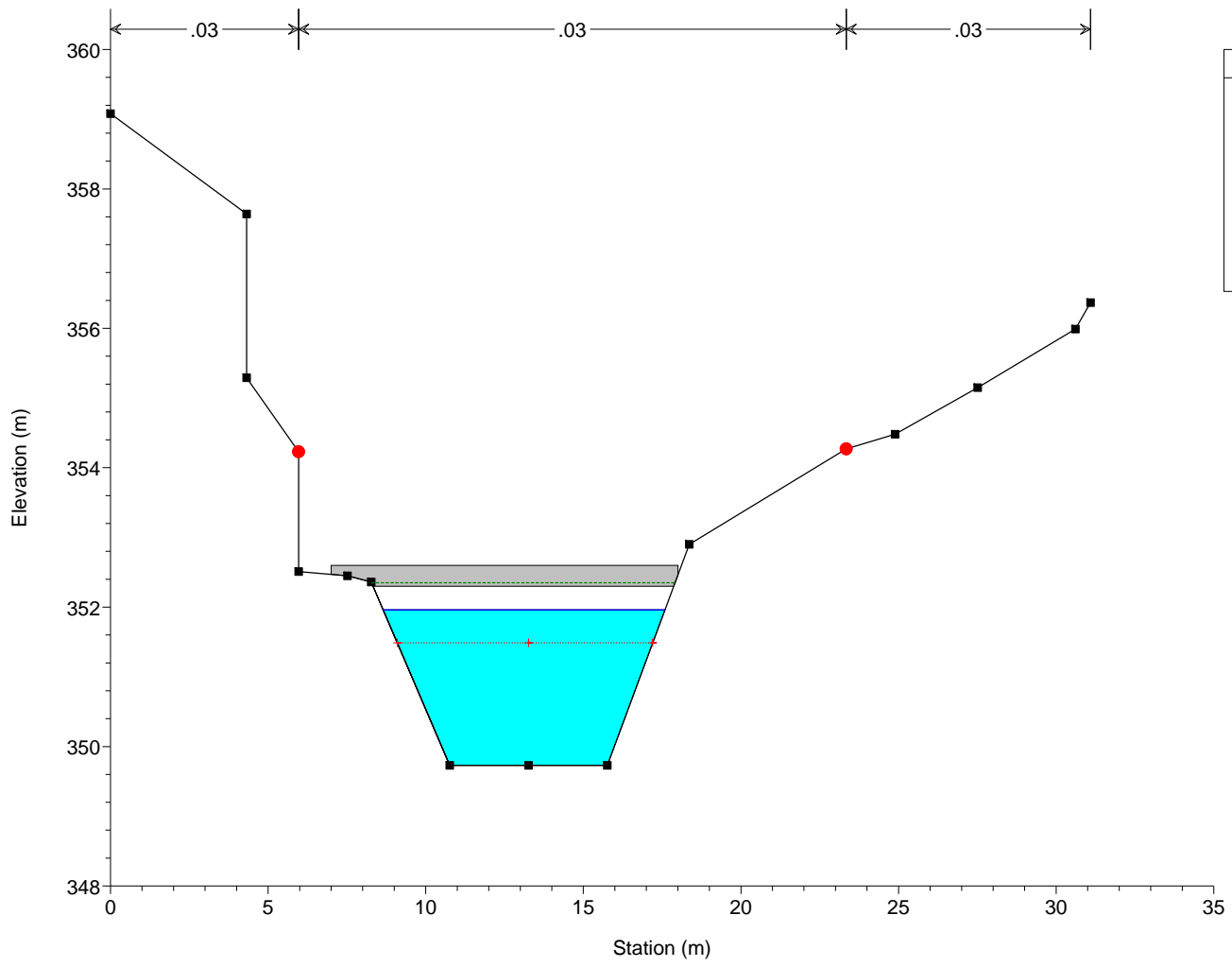
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.3 SEZIONE B15.1



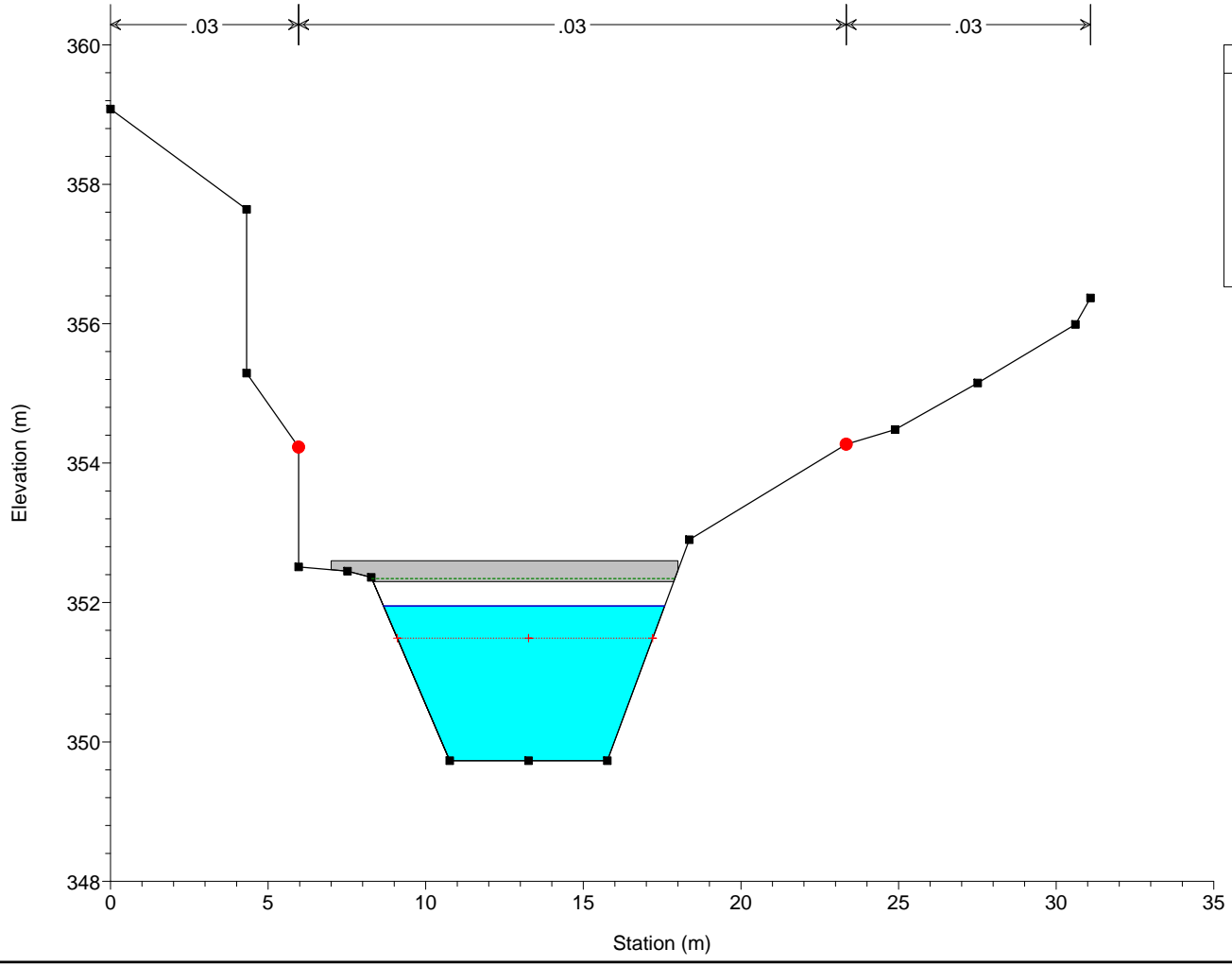
Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

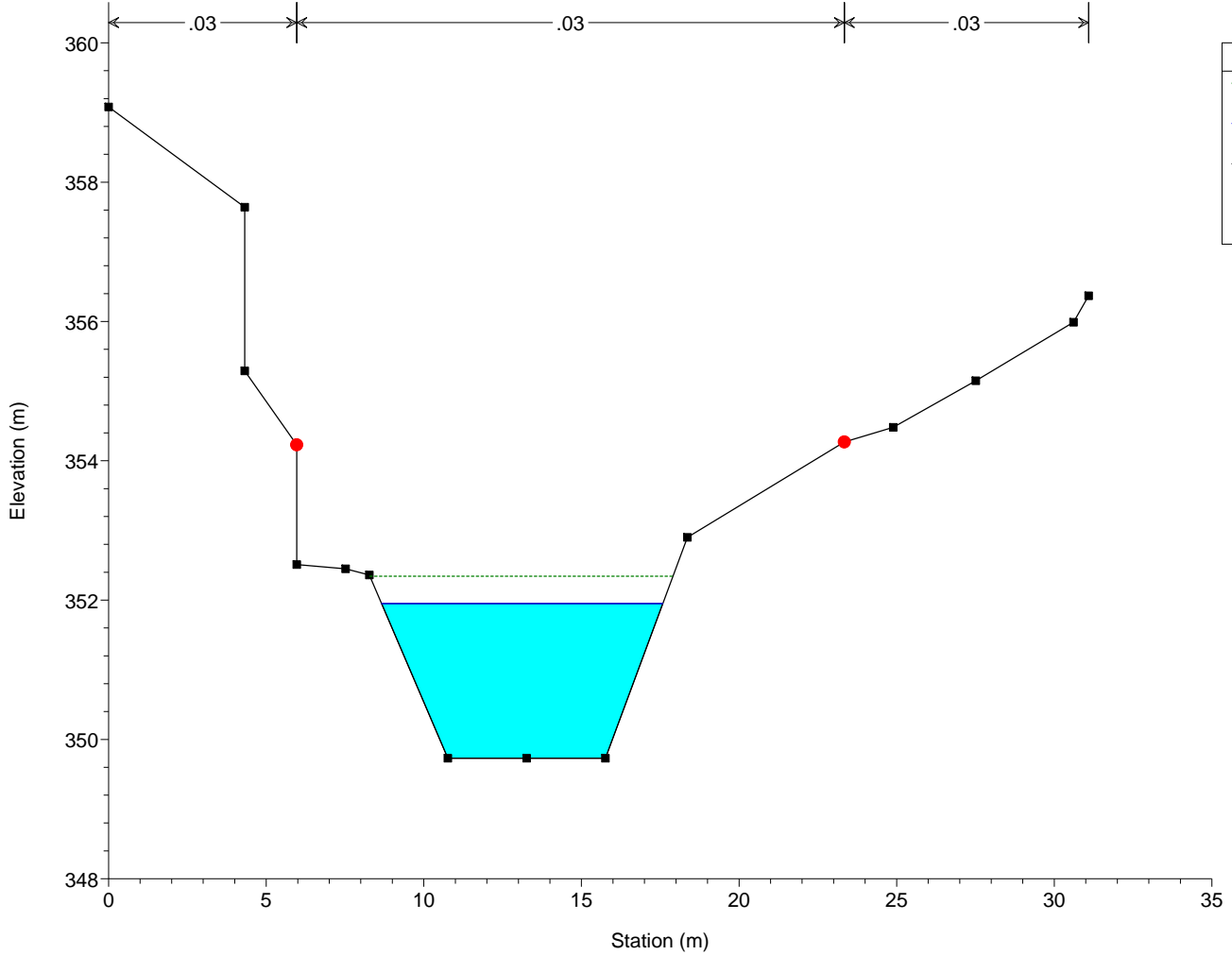
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.2 BR PASSERELLA N.2



Morsina Plan: Morsina
RS = 24.2 BR PASSERELLA N.2

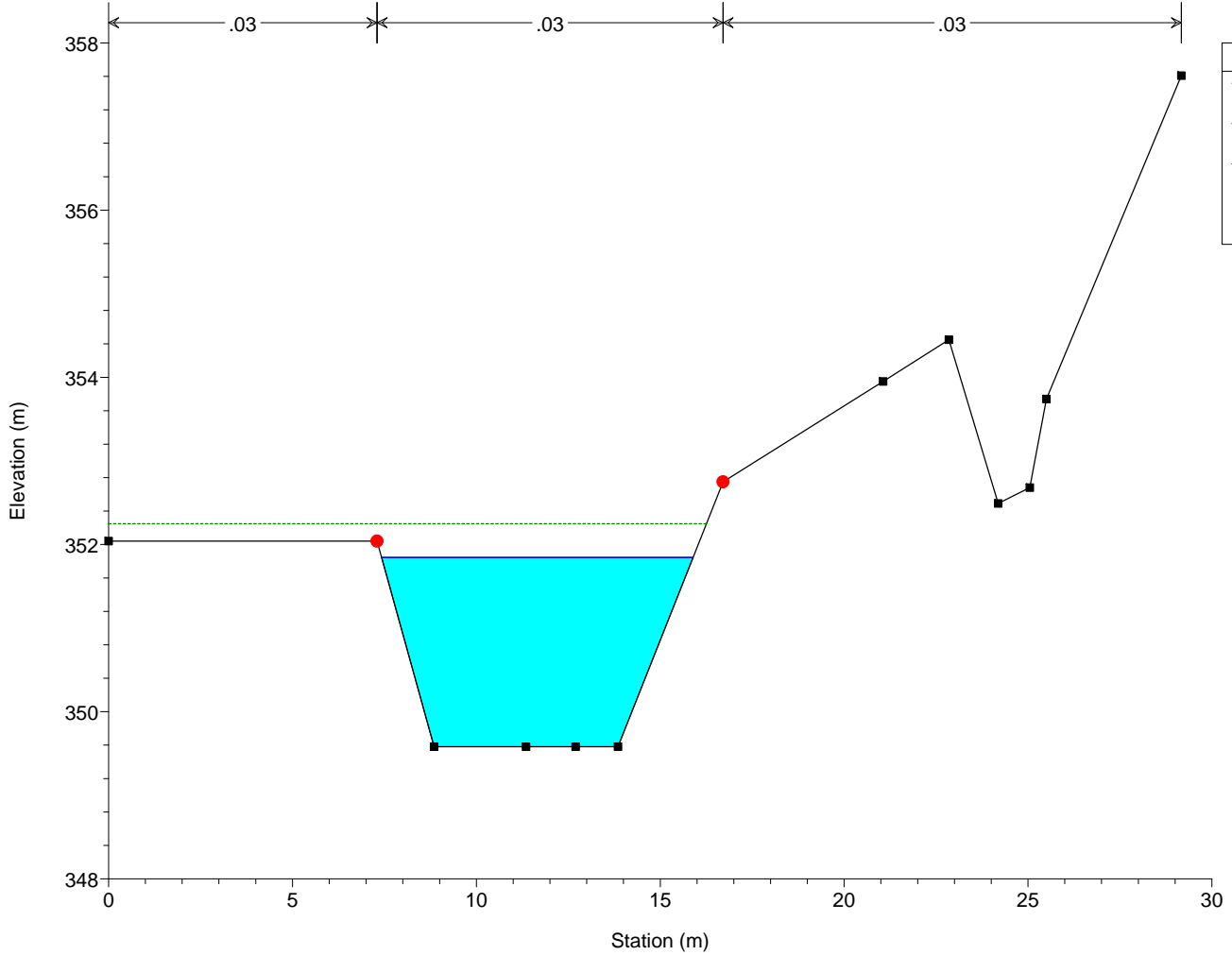


Morsina Plan: Morsina
RS = 24.1 SEZIONE B15



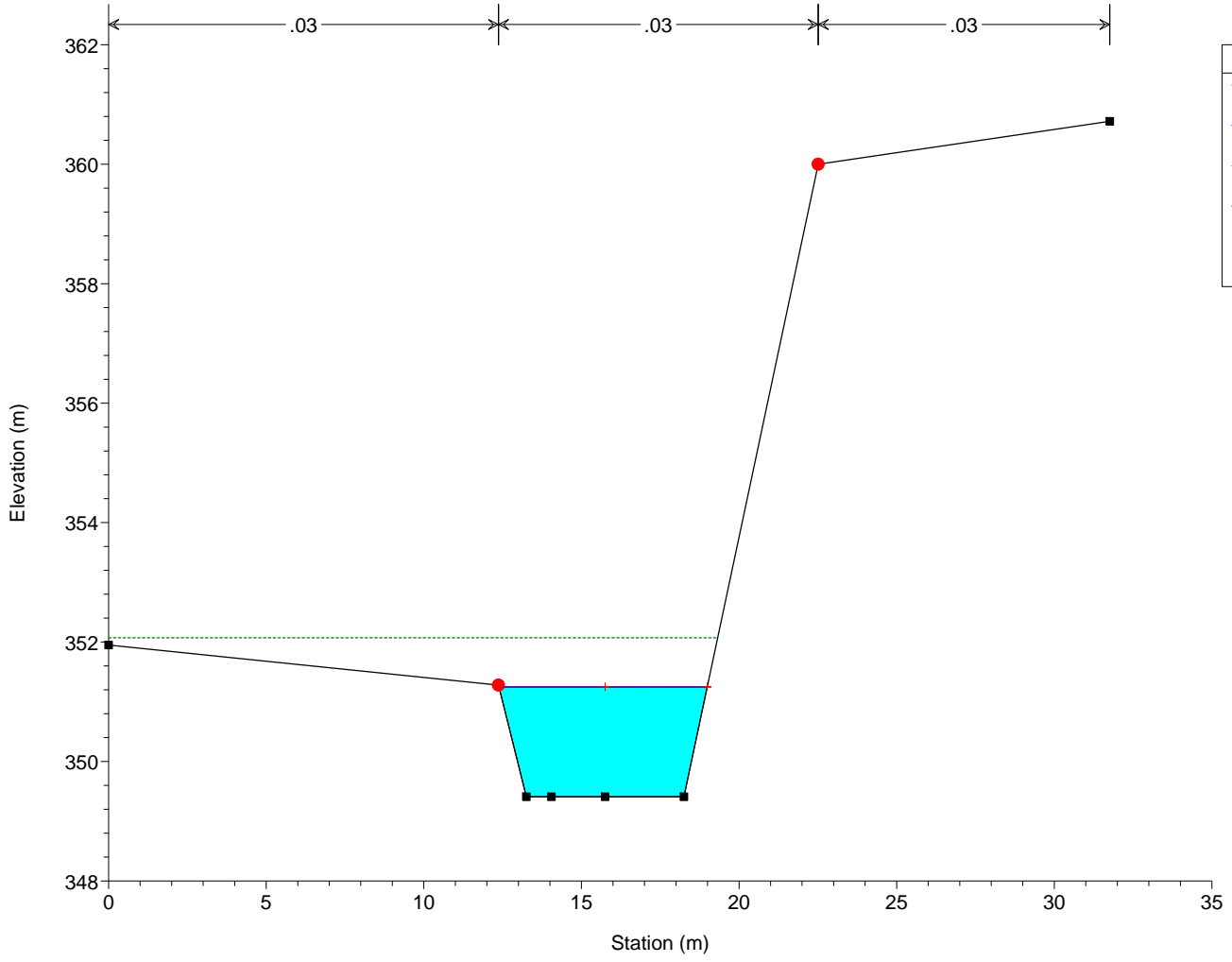
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 24 SEIZIONE B16



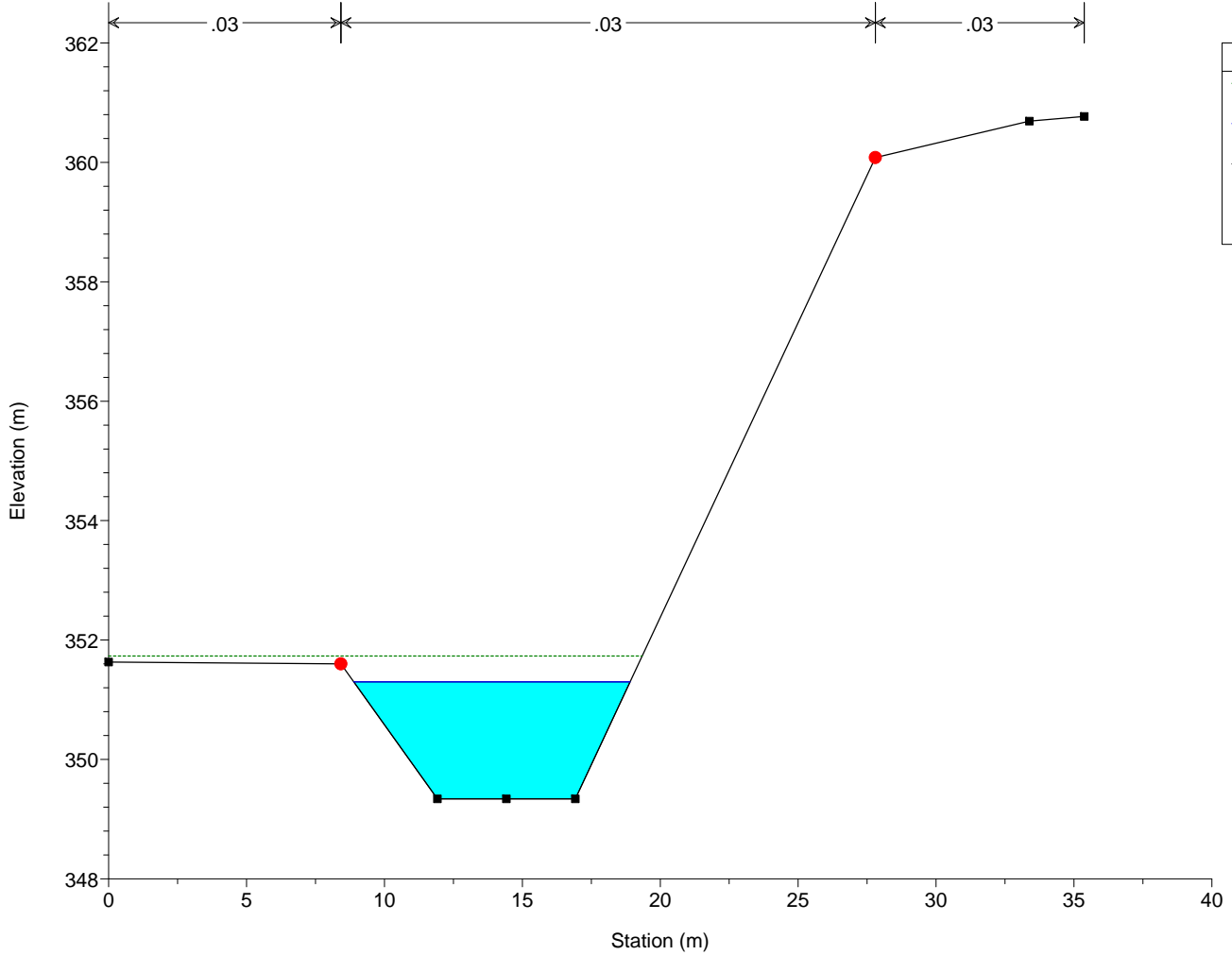
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 23.1 SEZIONE B17



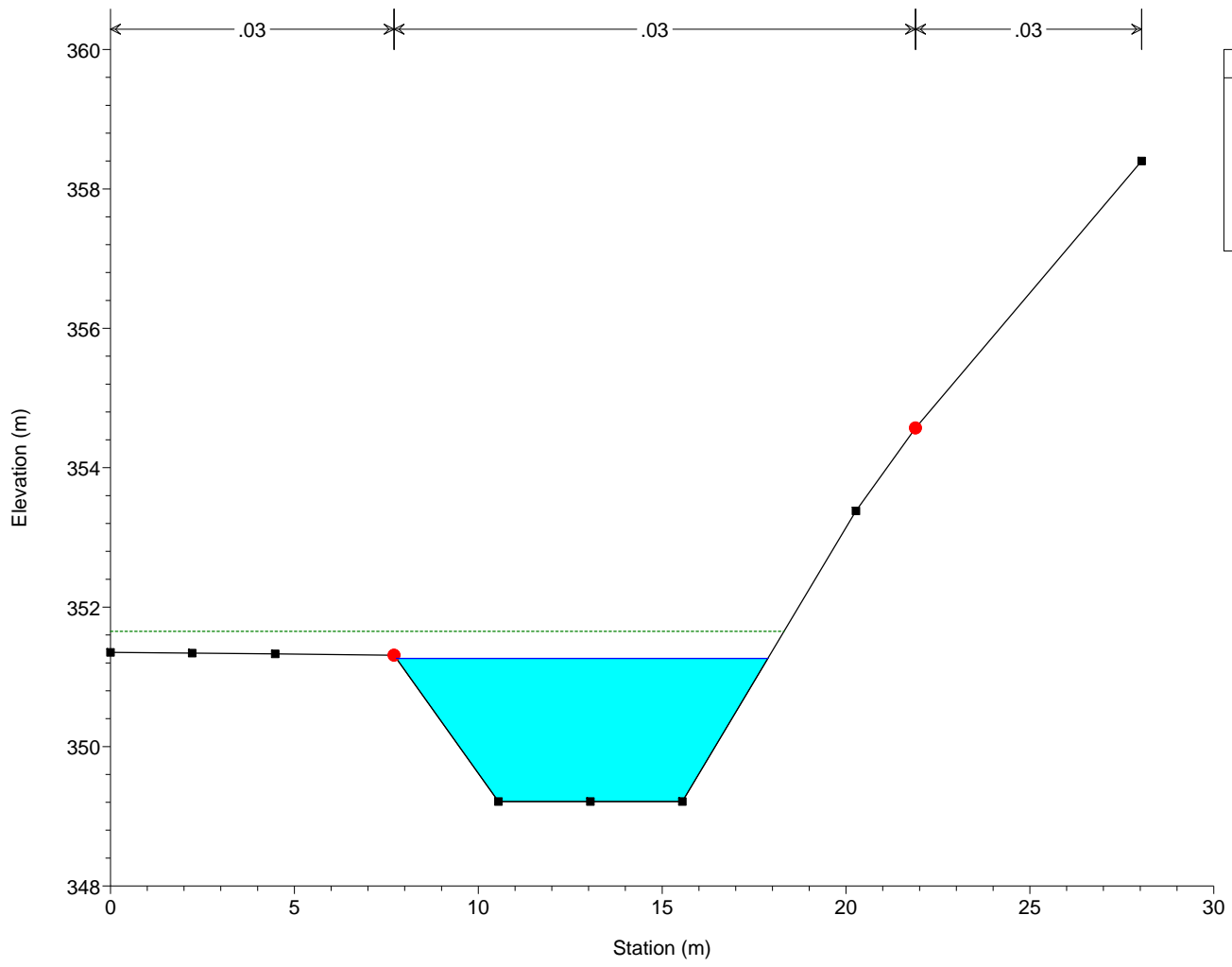
Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Bank Sta	

Morsina Plan: Morsina
RS = 23 SEZIONE B18

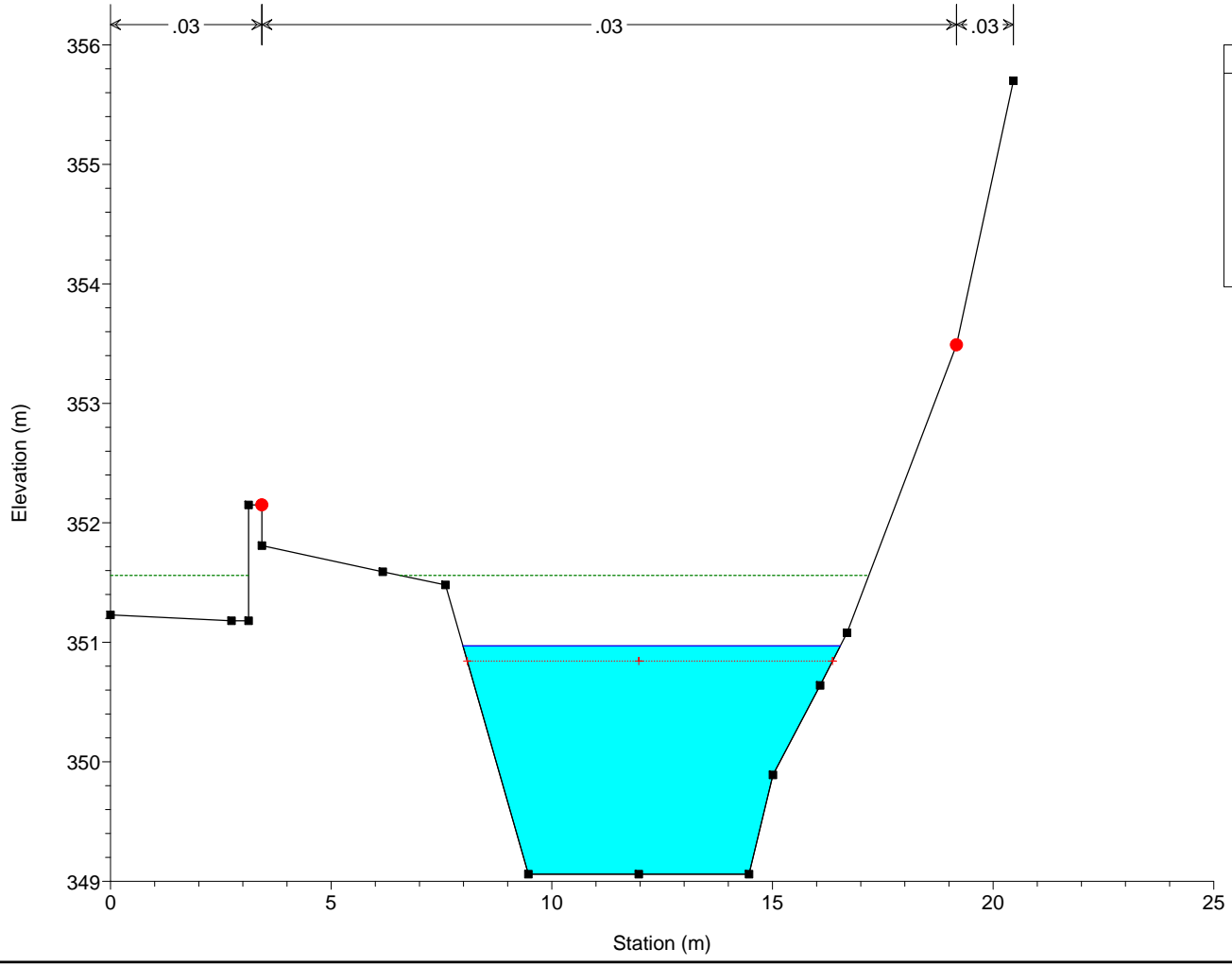


Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Ground	
Bank Sta	

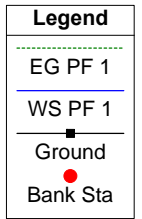
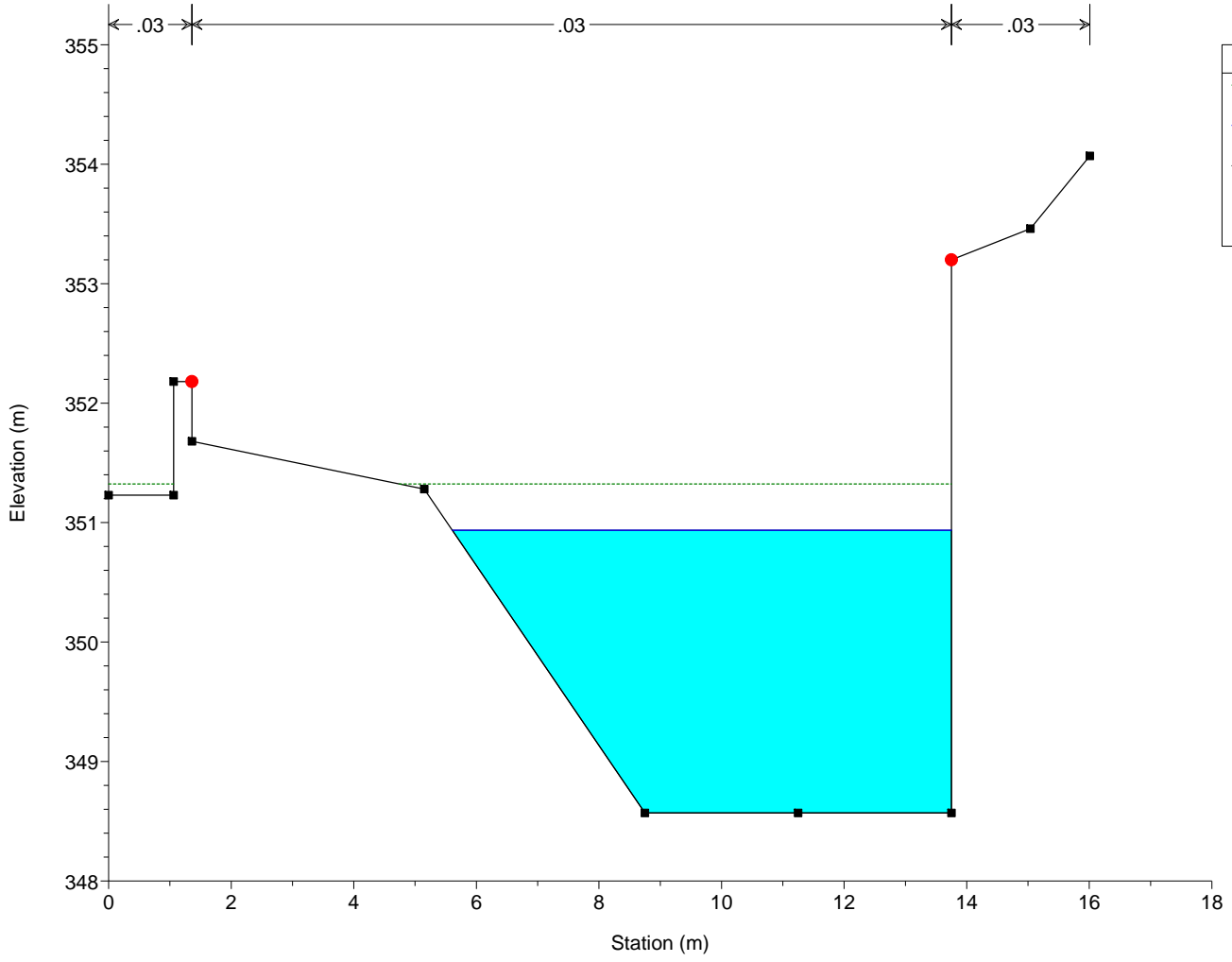
Morsina Plan: Morsina
RS = 22 SEZIONE B19



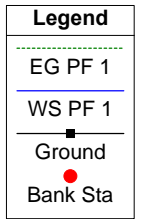
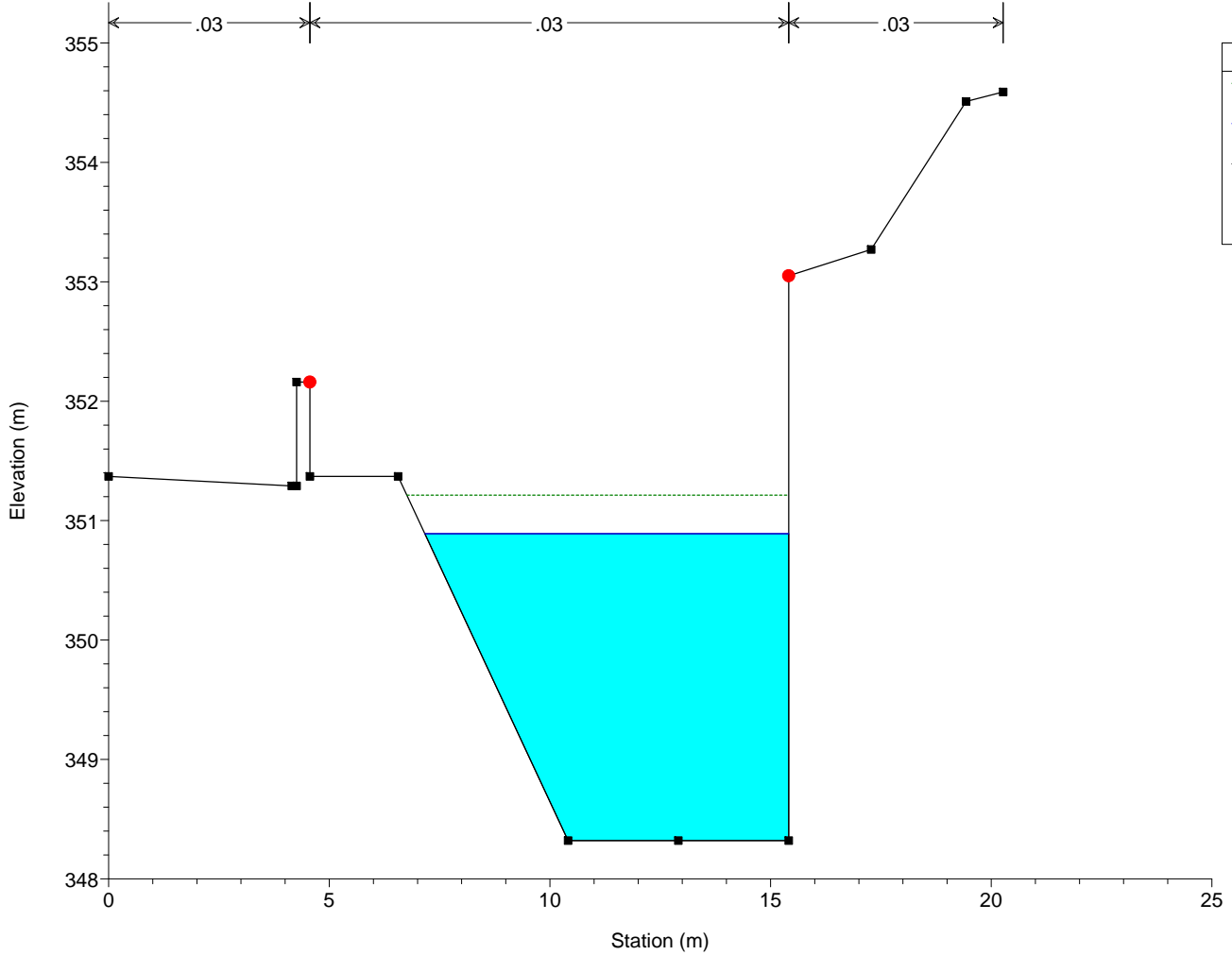
Morsina Plan: Morsina
RS = 21 SEZIONE B20



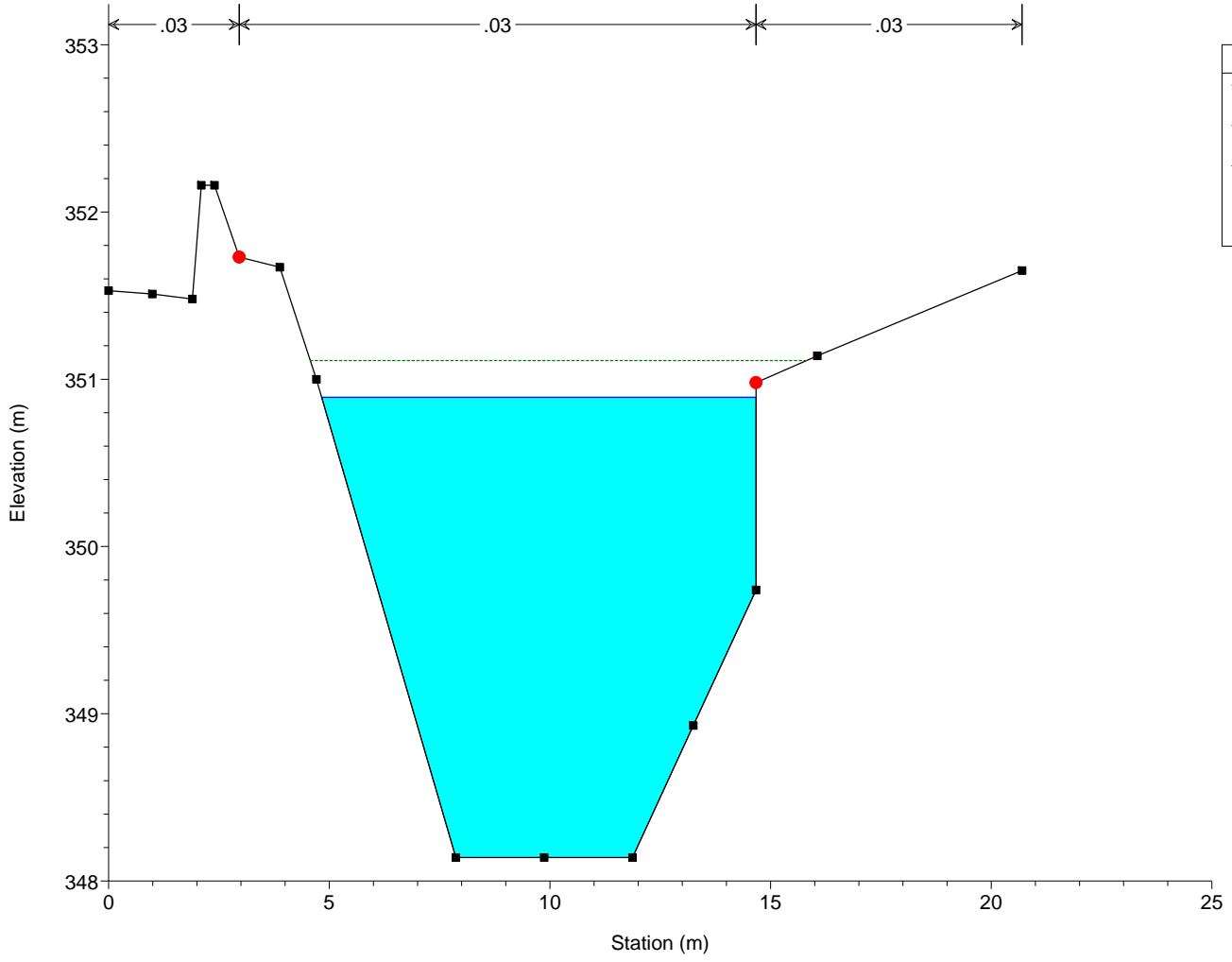
Morsina Plan: Morsina
RS = 20 SEZIONE B21



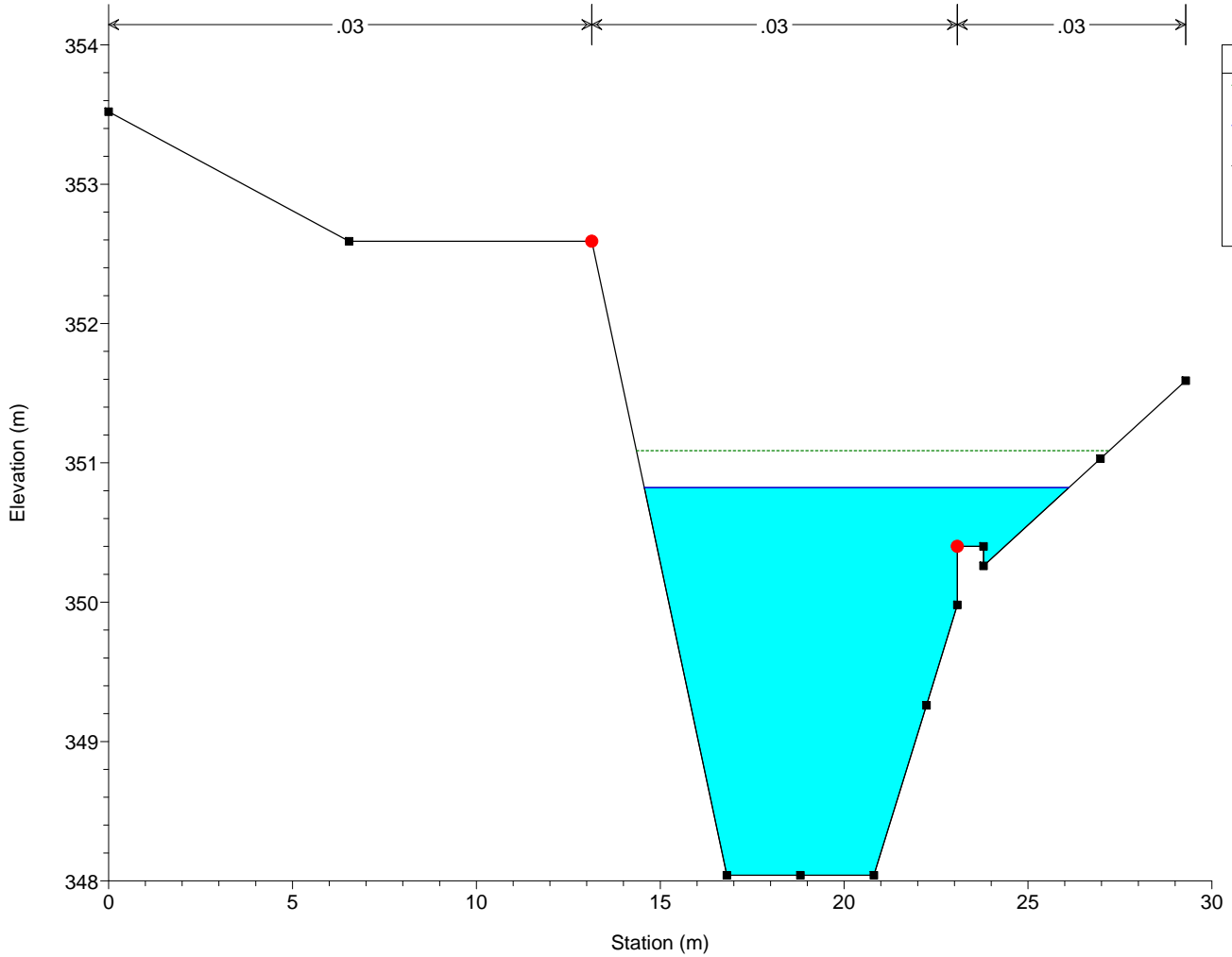
Morsina Plan: Morsina
RS = 19 SEZIONE B22



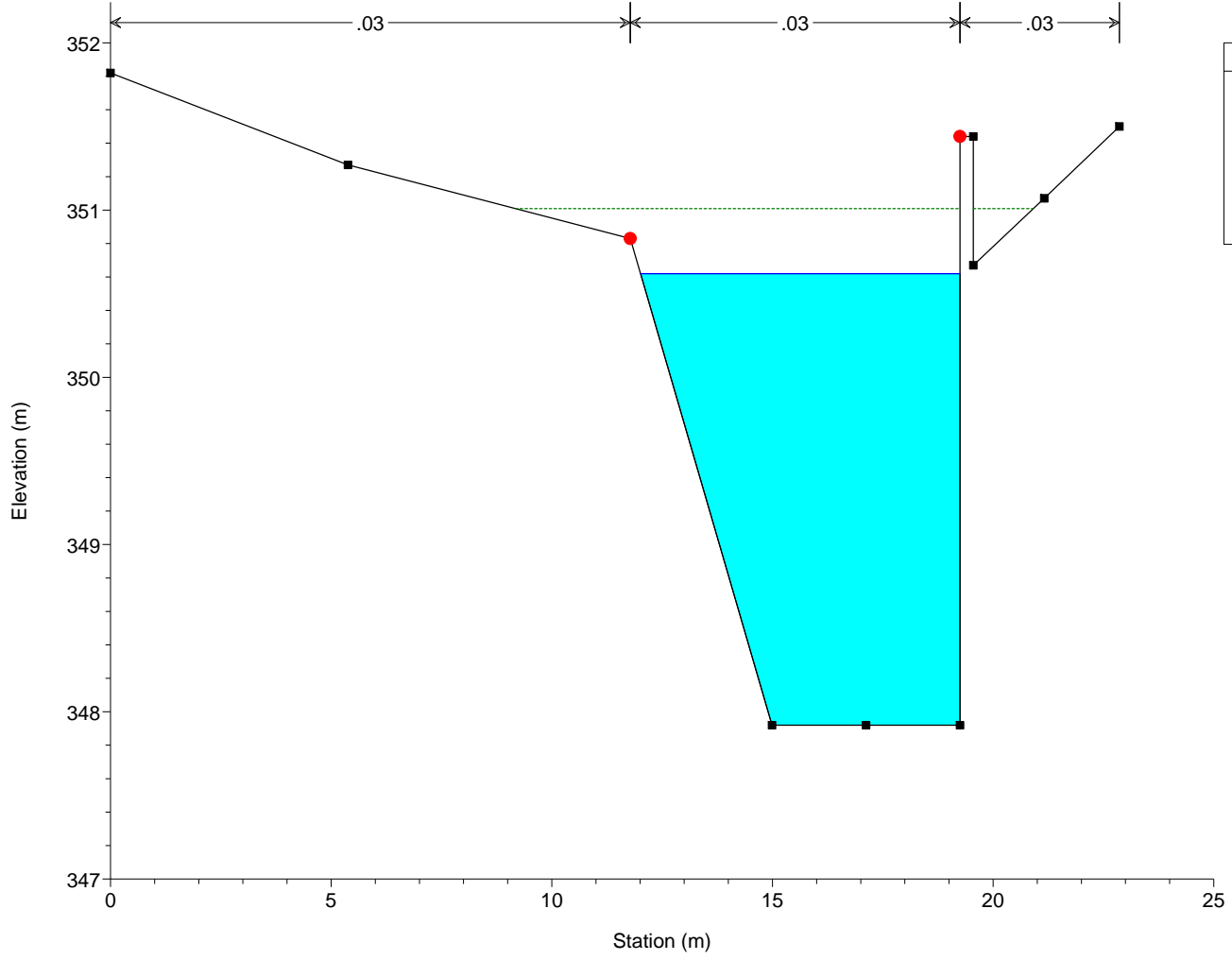
Morsina Plan: Morsina
RS = 18 SEZIONE B23



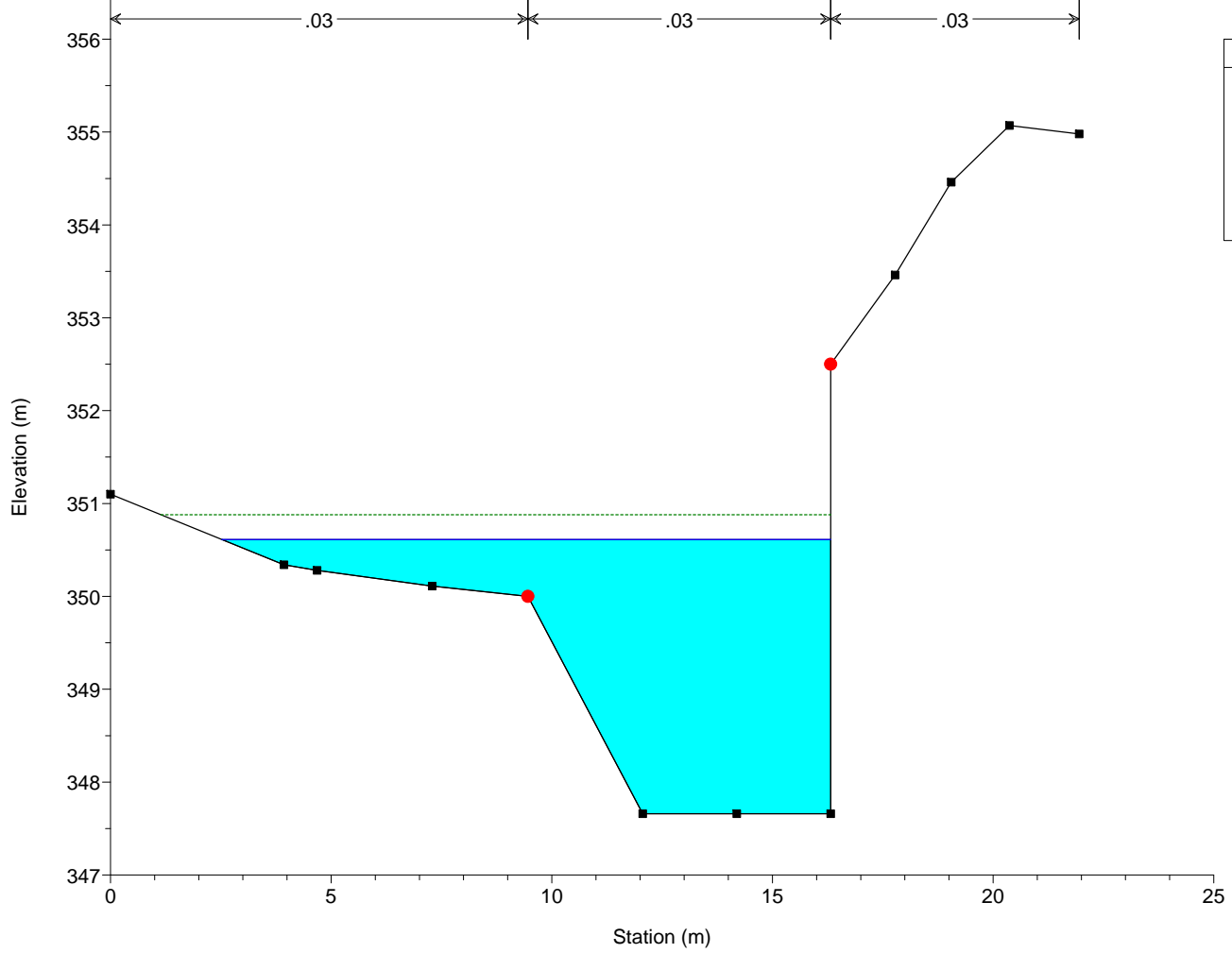
Morsina Plan: Morsina
RS = 17 SEZIONE B24



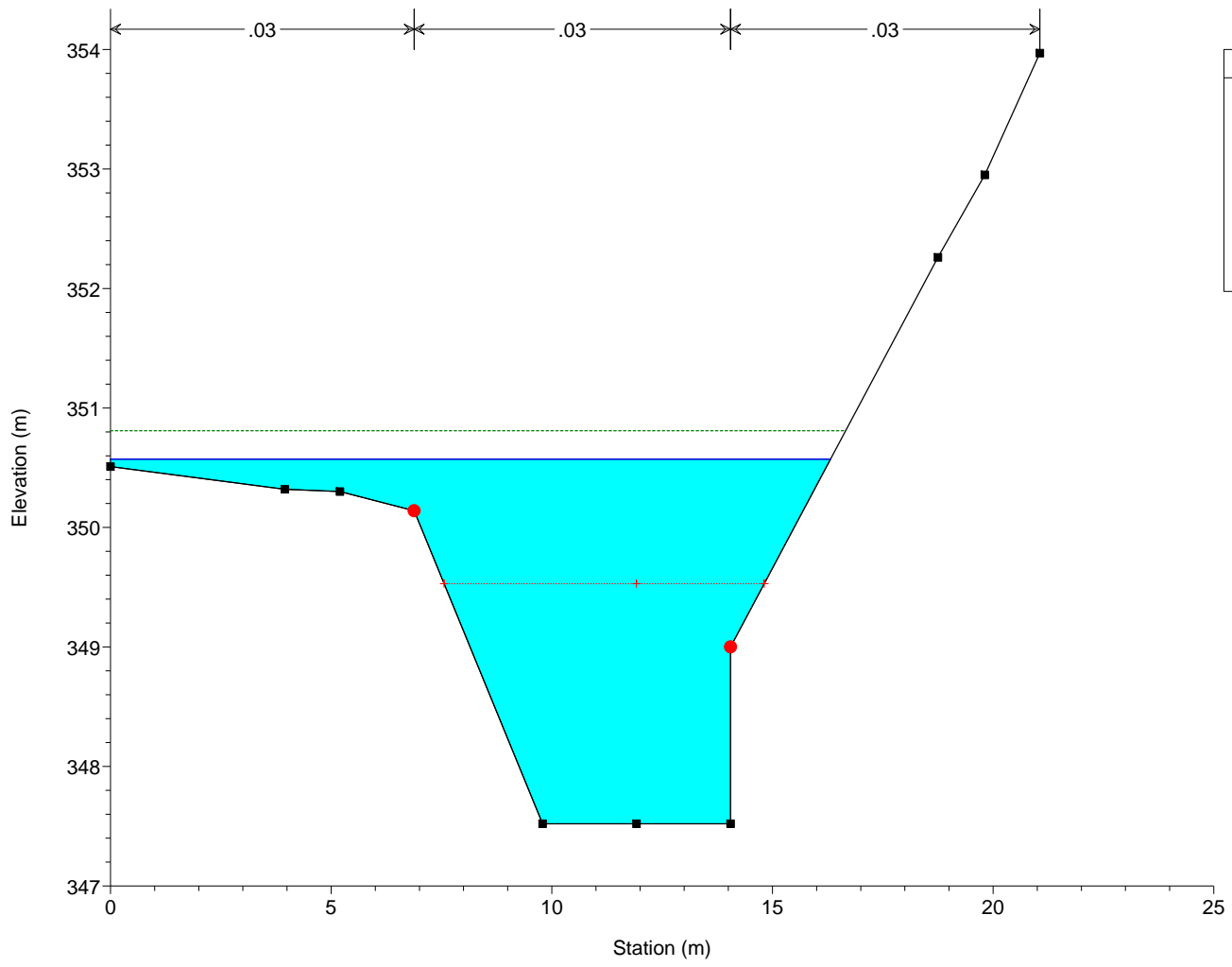
Morsina Plan: Morsina
RS = 16 SEZIONE B25



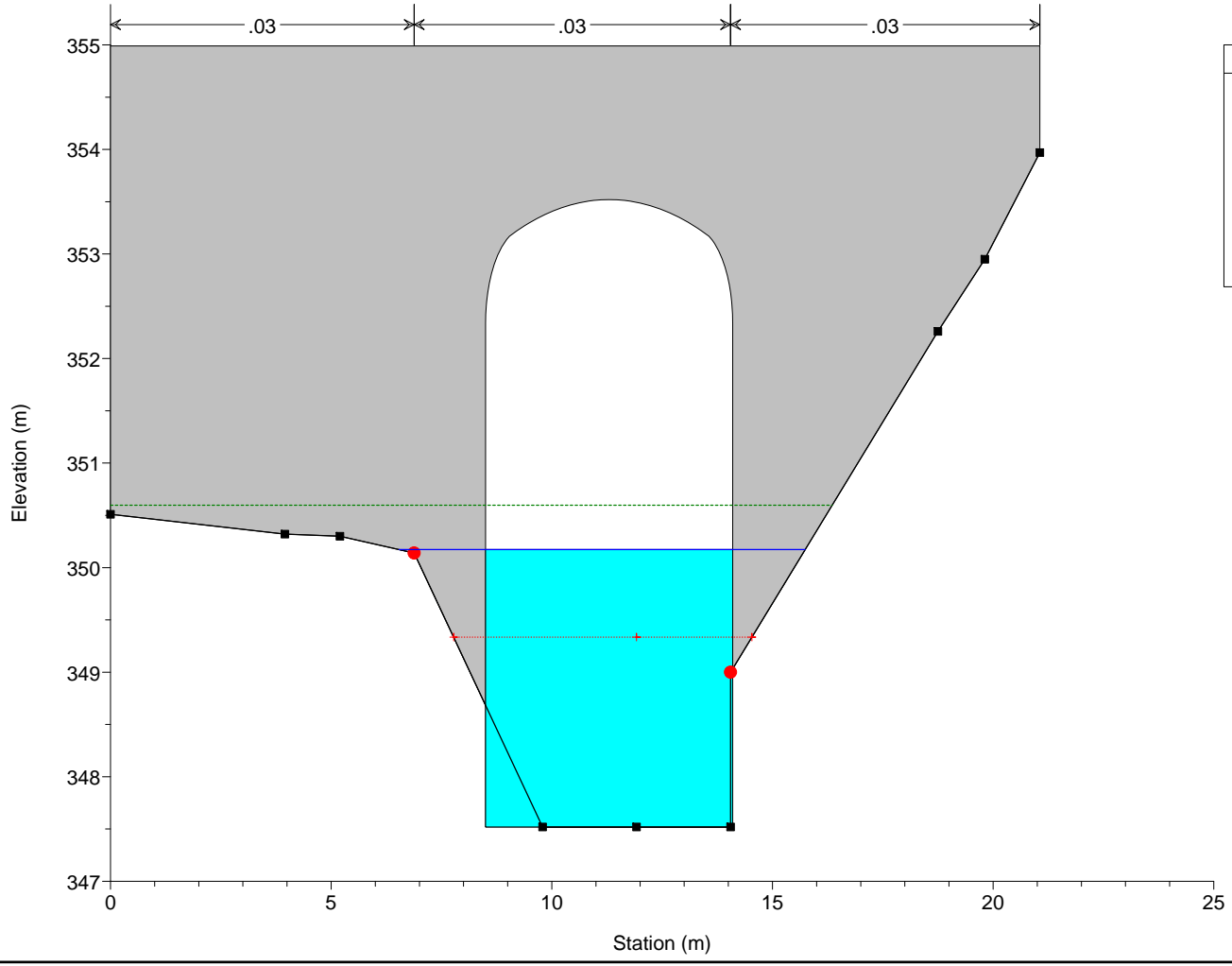
Morsina Plan: Morsina
RS = 15 SEZIONE B26



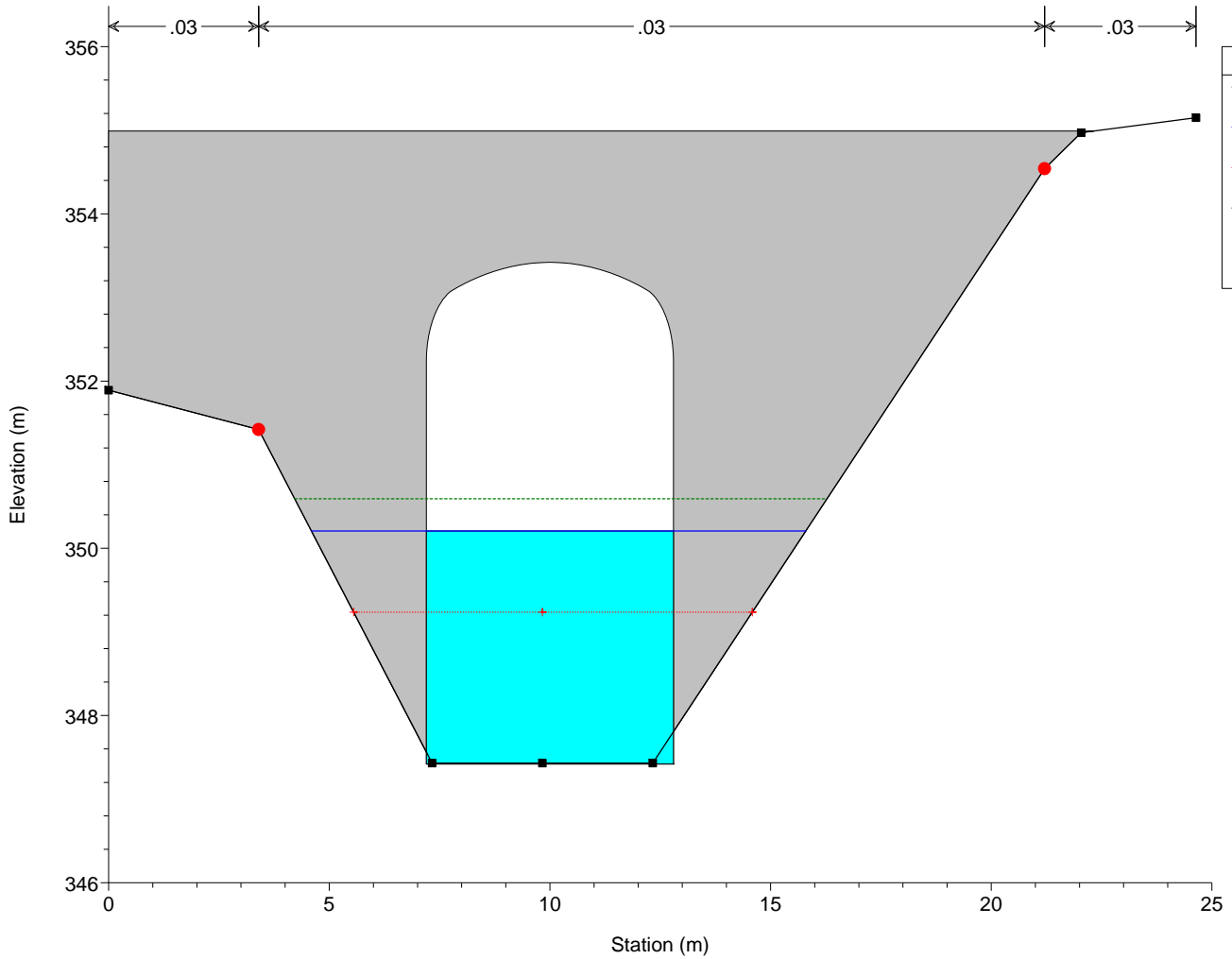
Morsina Plan: Morsina
RS = 14 SEZIONE B27



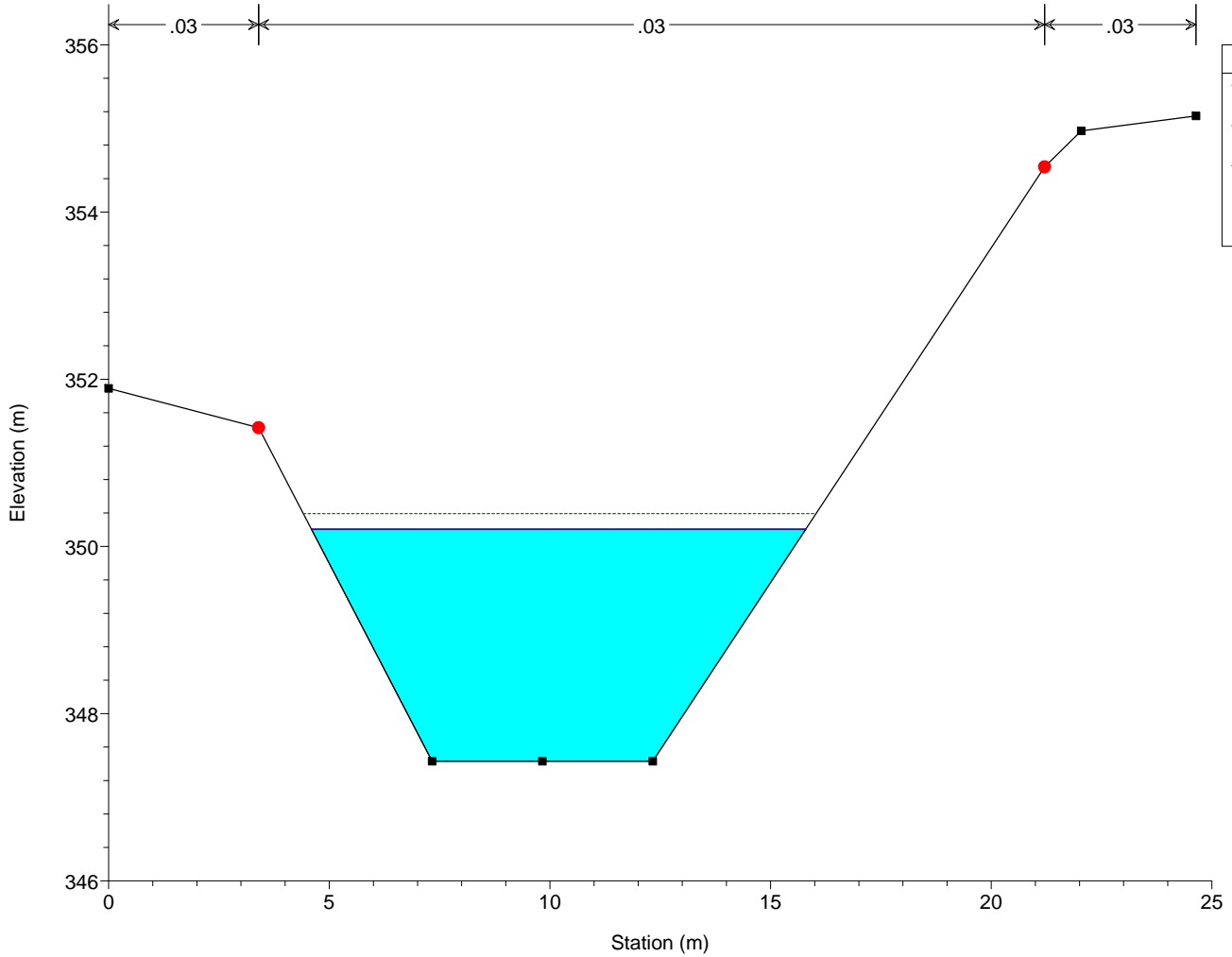
Morsina Plan: Morsina
RS = 13.1 Culv PONTE n.2



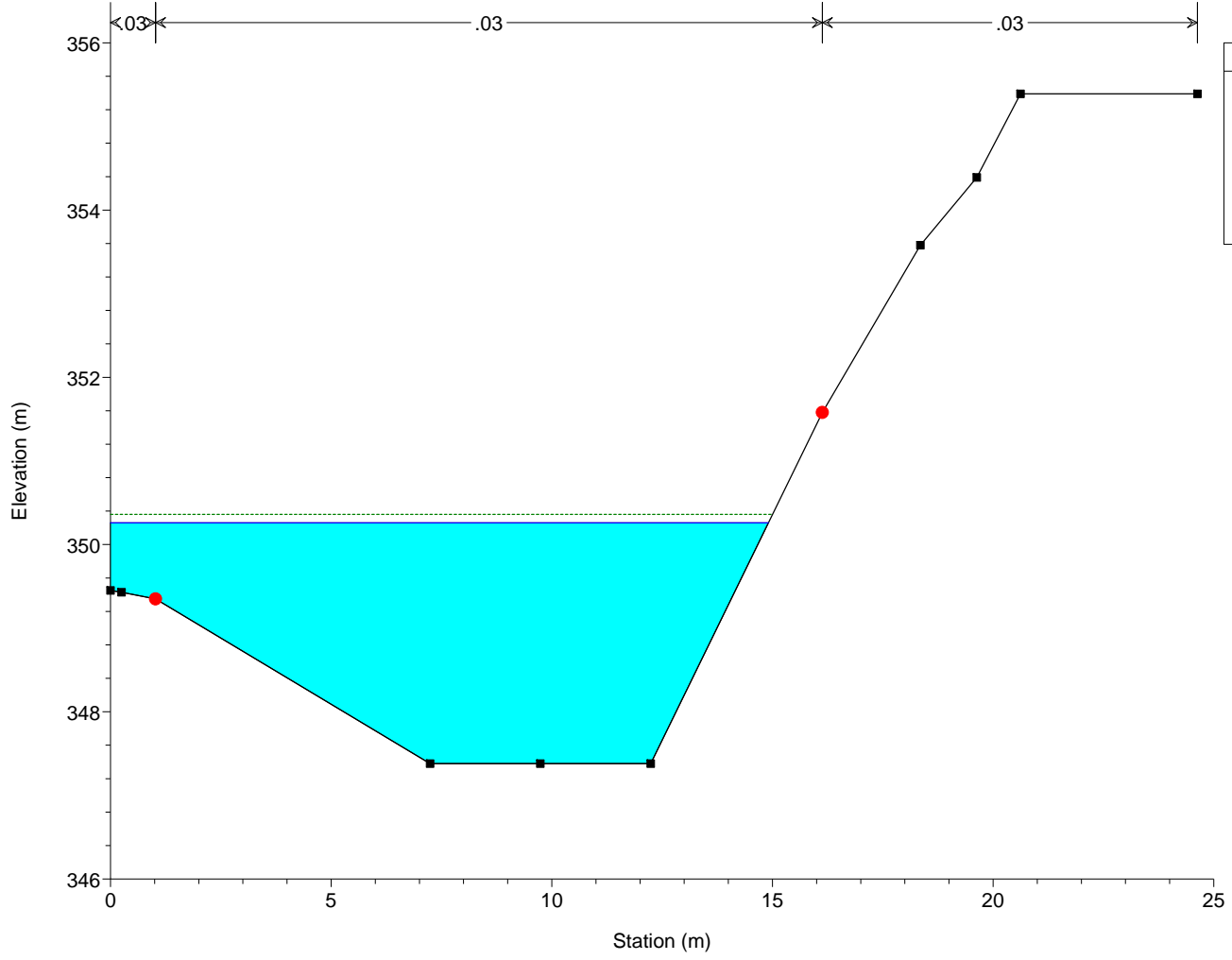
Morsina Plan: Morsina
RS = 13.1 Culv PONTE n.2



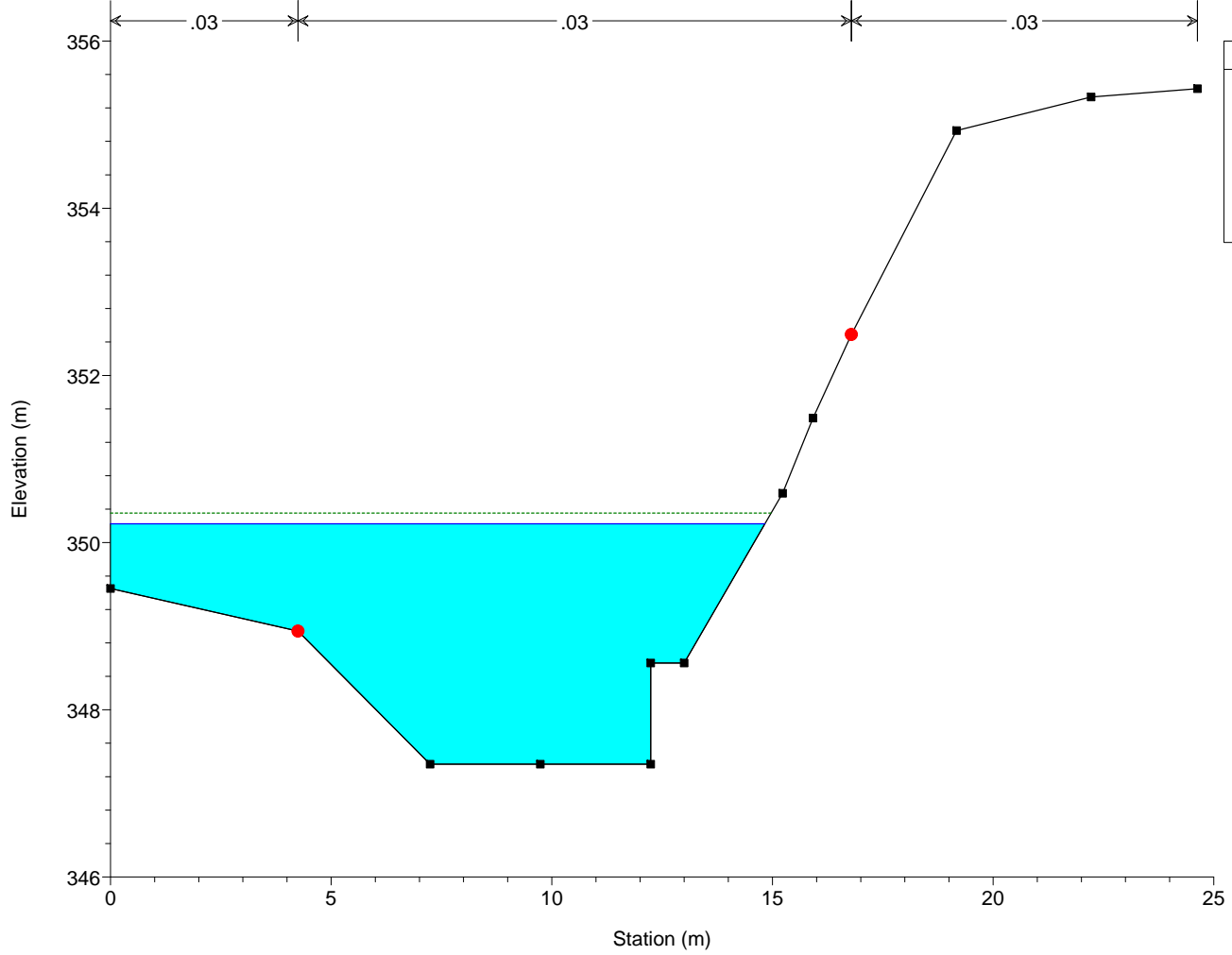
Morsina Plan: Morsina
RS = 13 SEZIONE B29



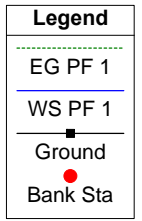
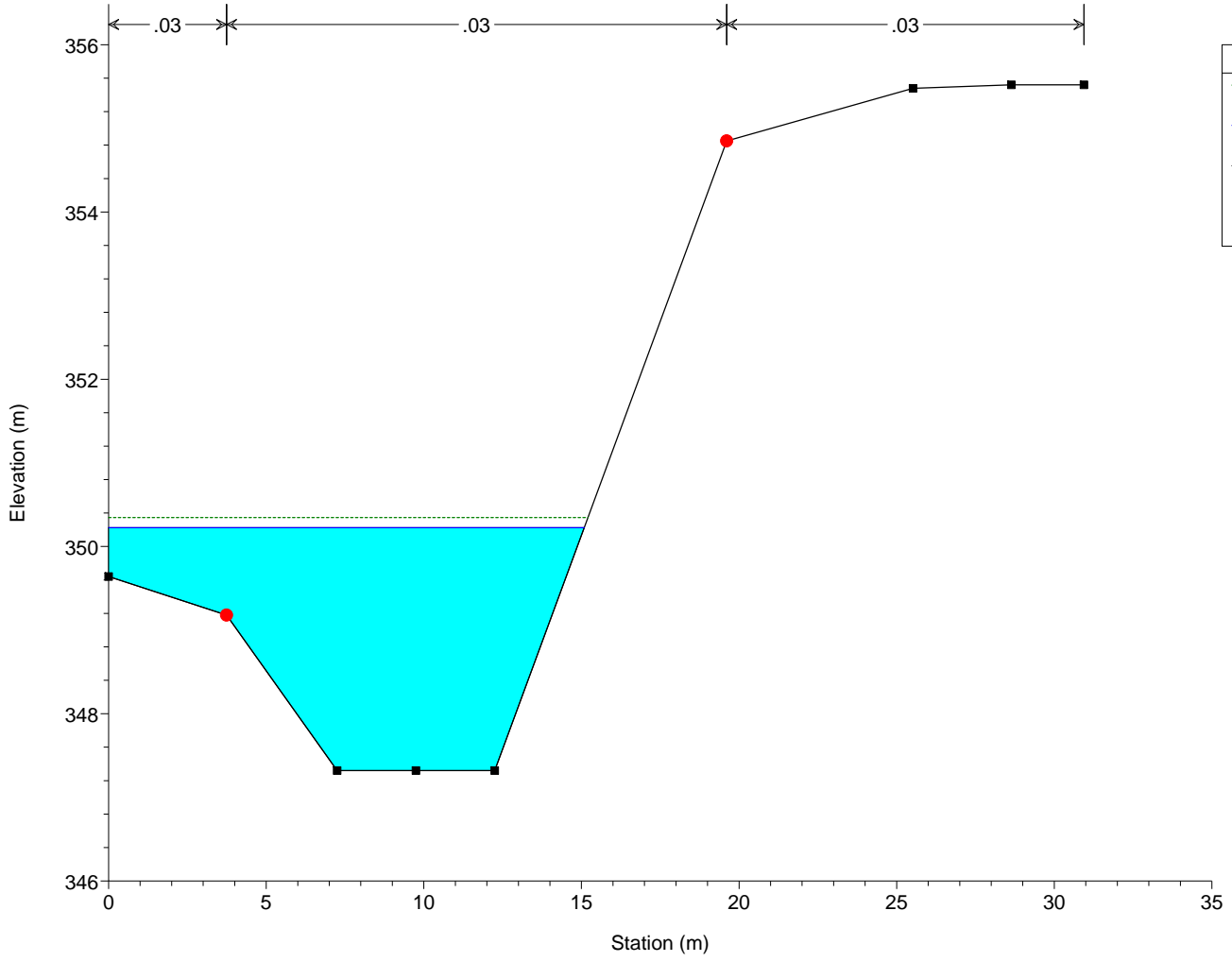
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.4 SEZIONE B30



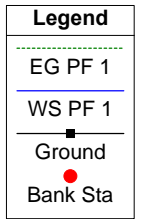
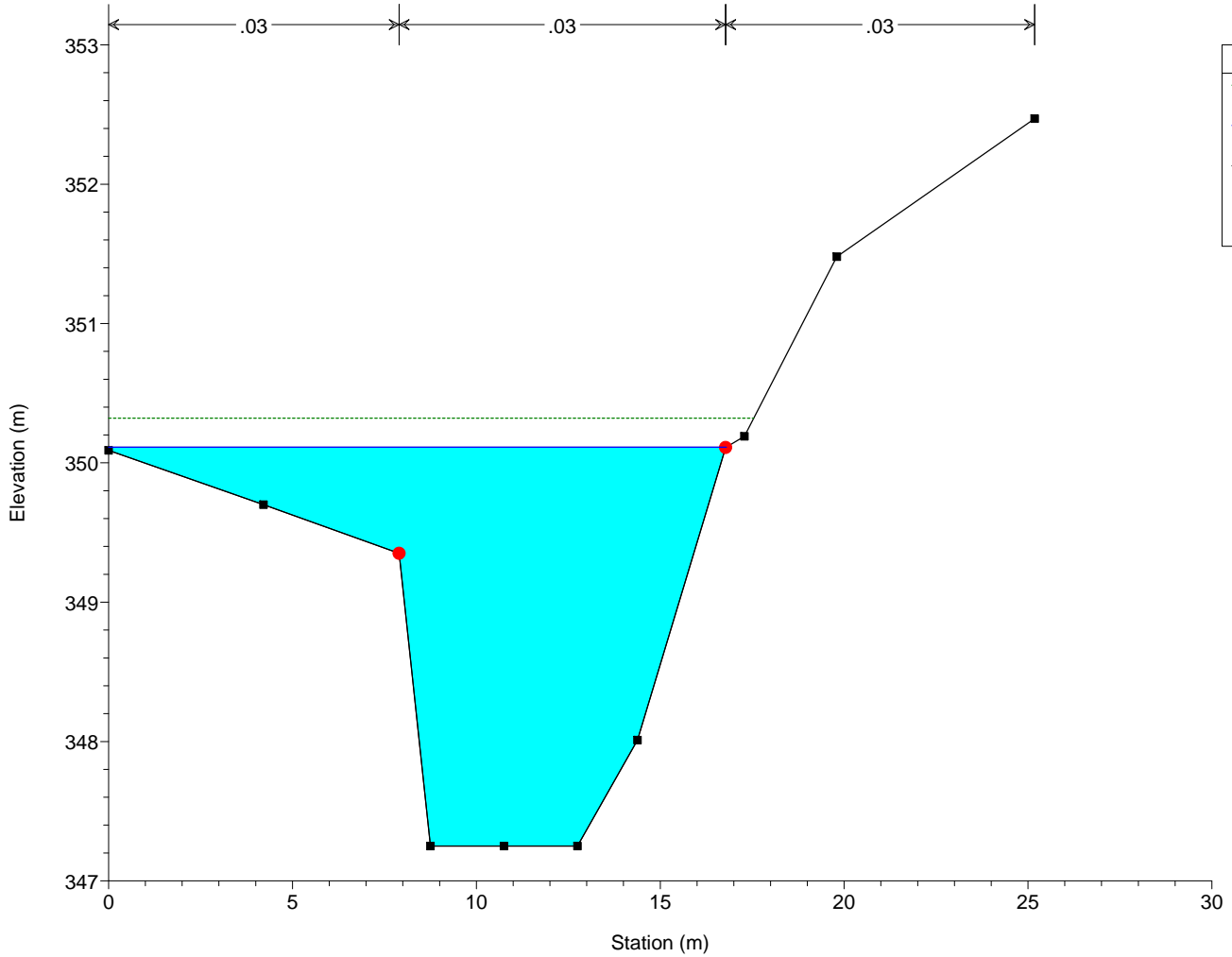
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.3 SEZIONE B31



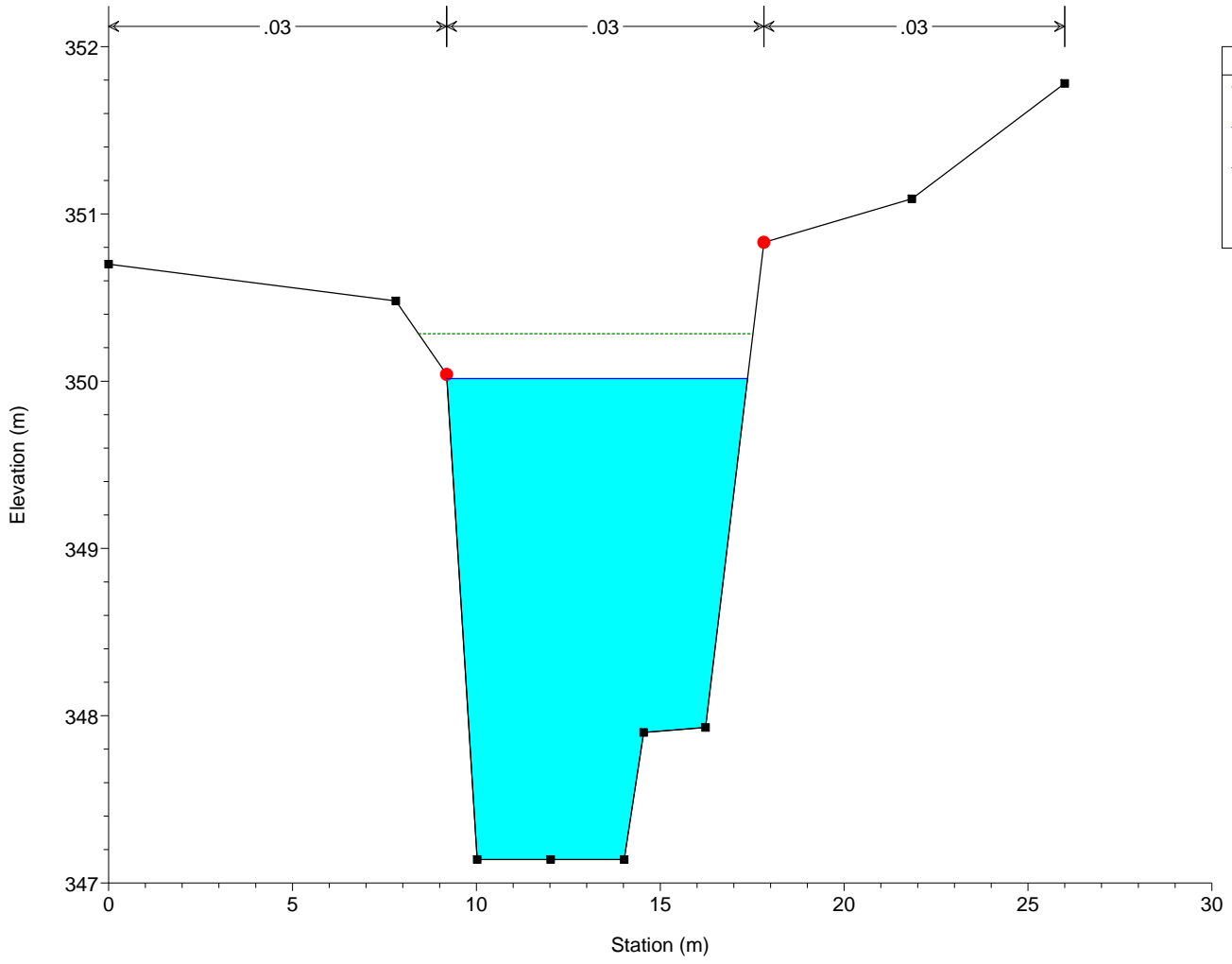
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.2 SEZIONE B32



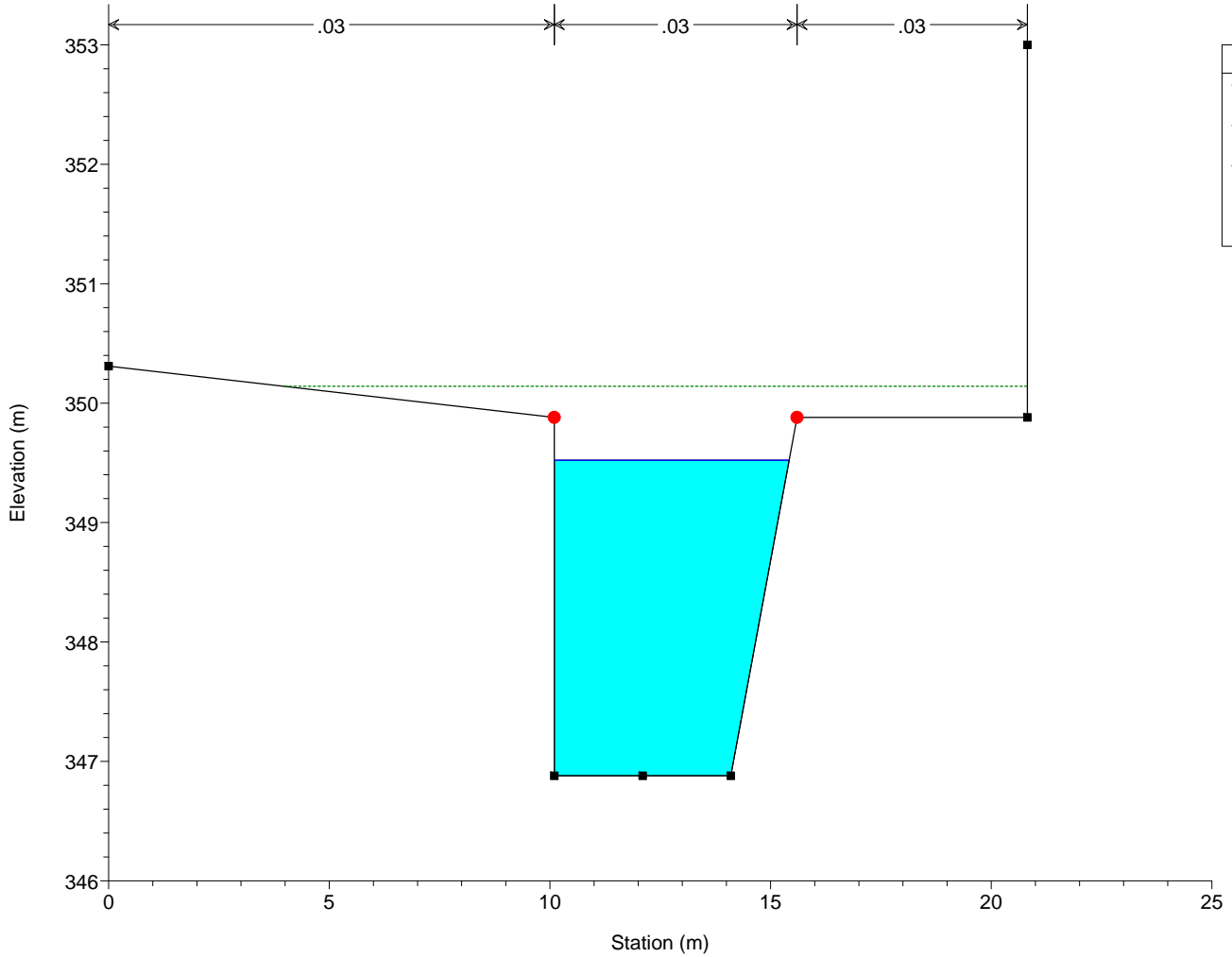
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.1 SEZIONE B33



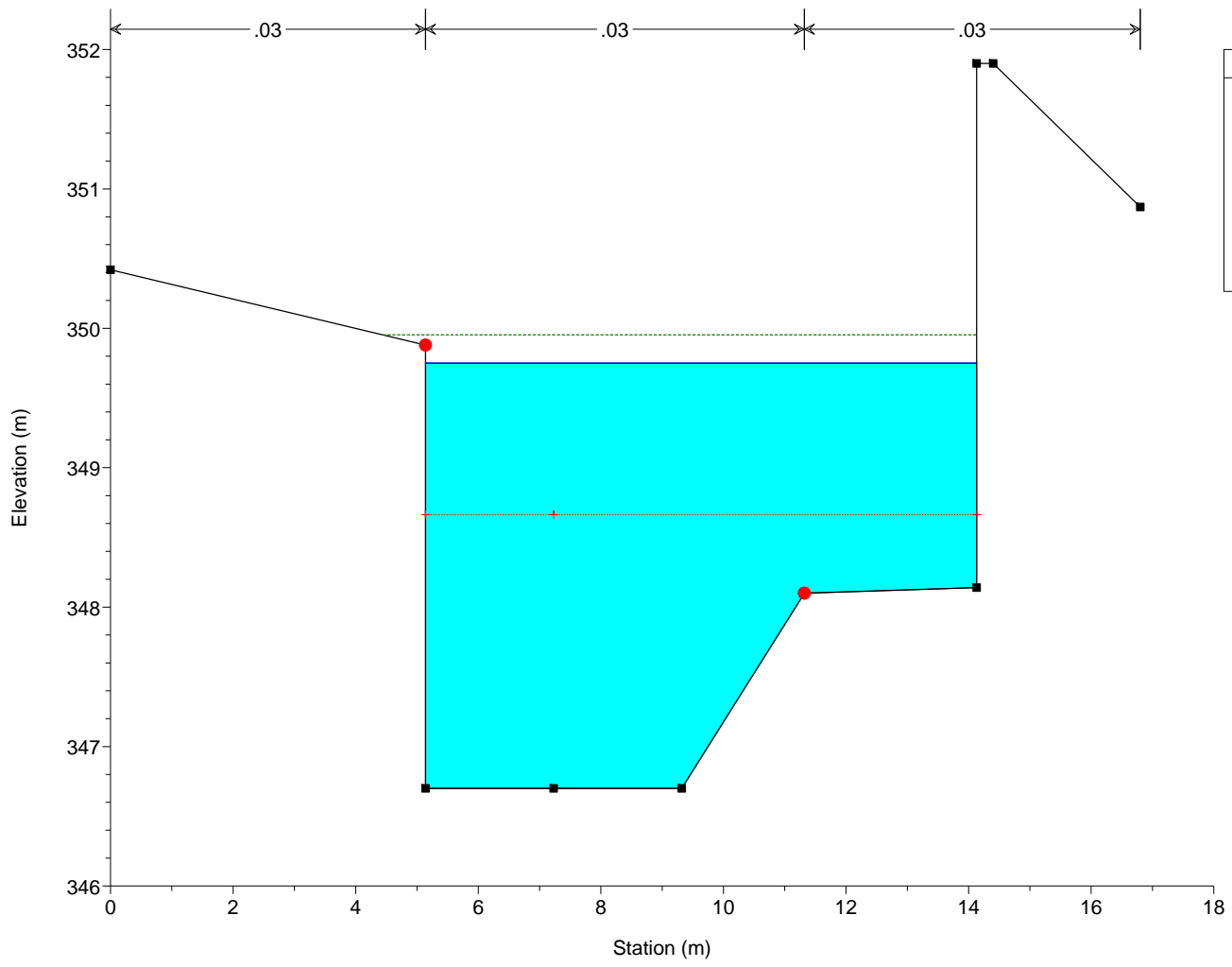
Morsina Plan: Morsina
RS = 12 SEZIONE B34



Morsina Plan: Morsina
RS = 11 SEZIONE B35

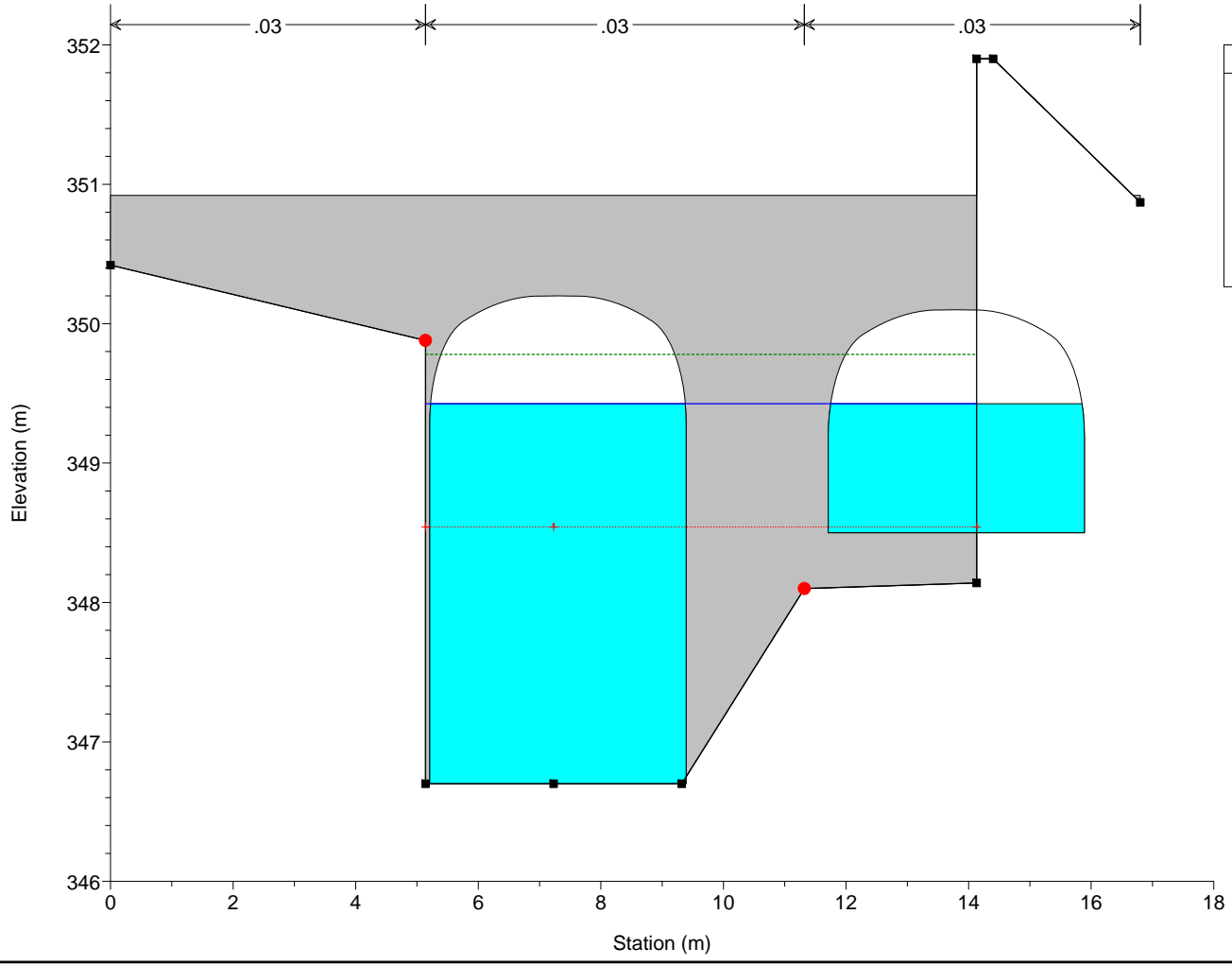


Morsina Plan: Morsina
RS = 10 SEZIONE B36



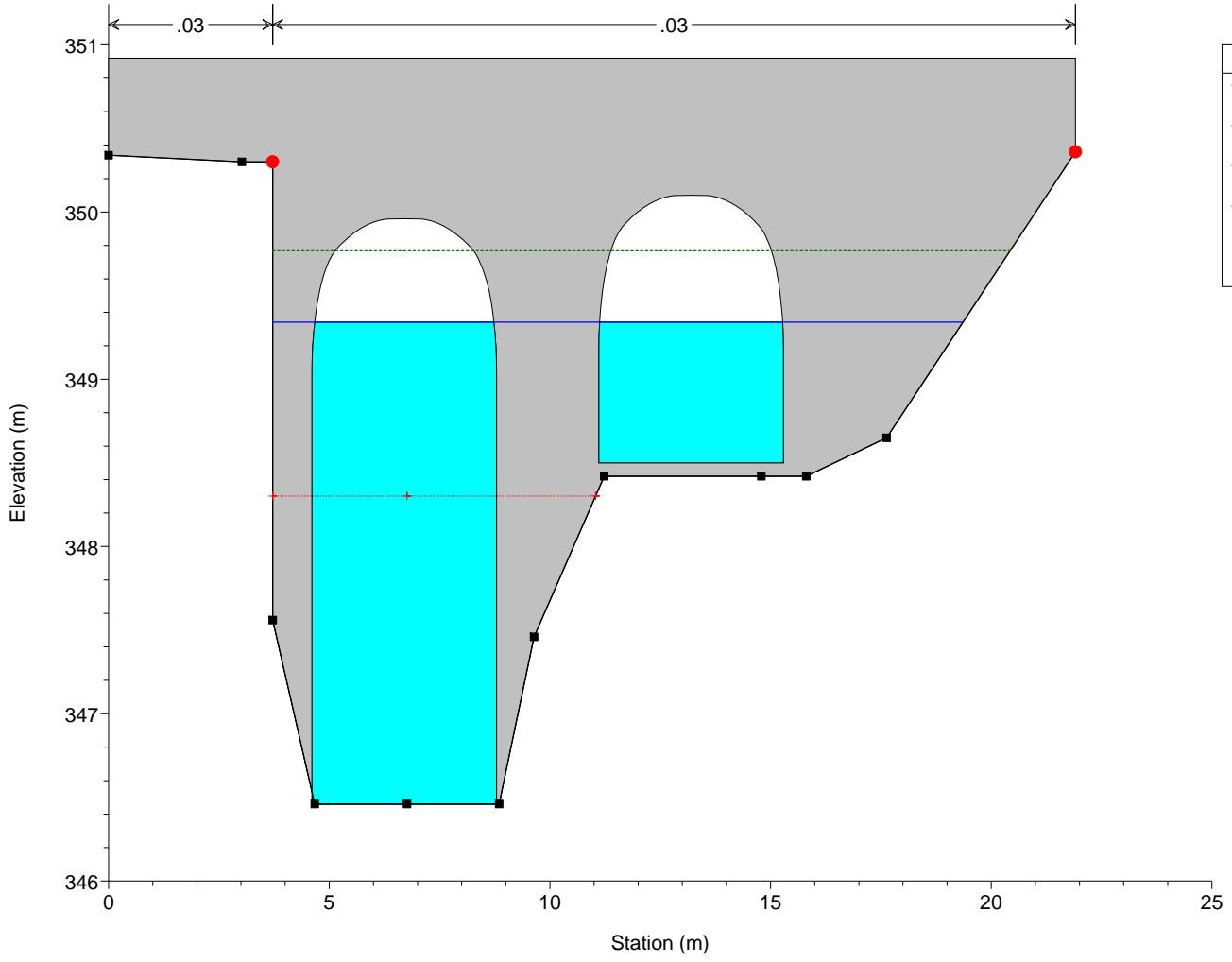
Legend	
EG PF 1	— (Green dashed line)
WS PF 1	— (Blue solid line)
Crit PF 1	— (Red dotted line with cross)
Ground	— (Black solid line with square)
Bank Sta	• (Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 9.1 Culv PONTE n.1

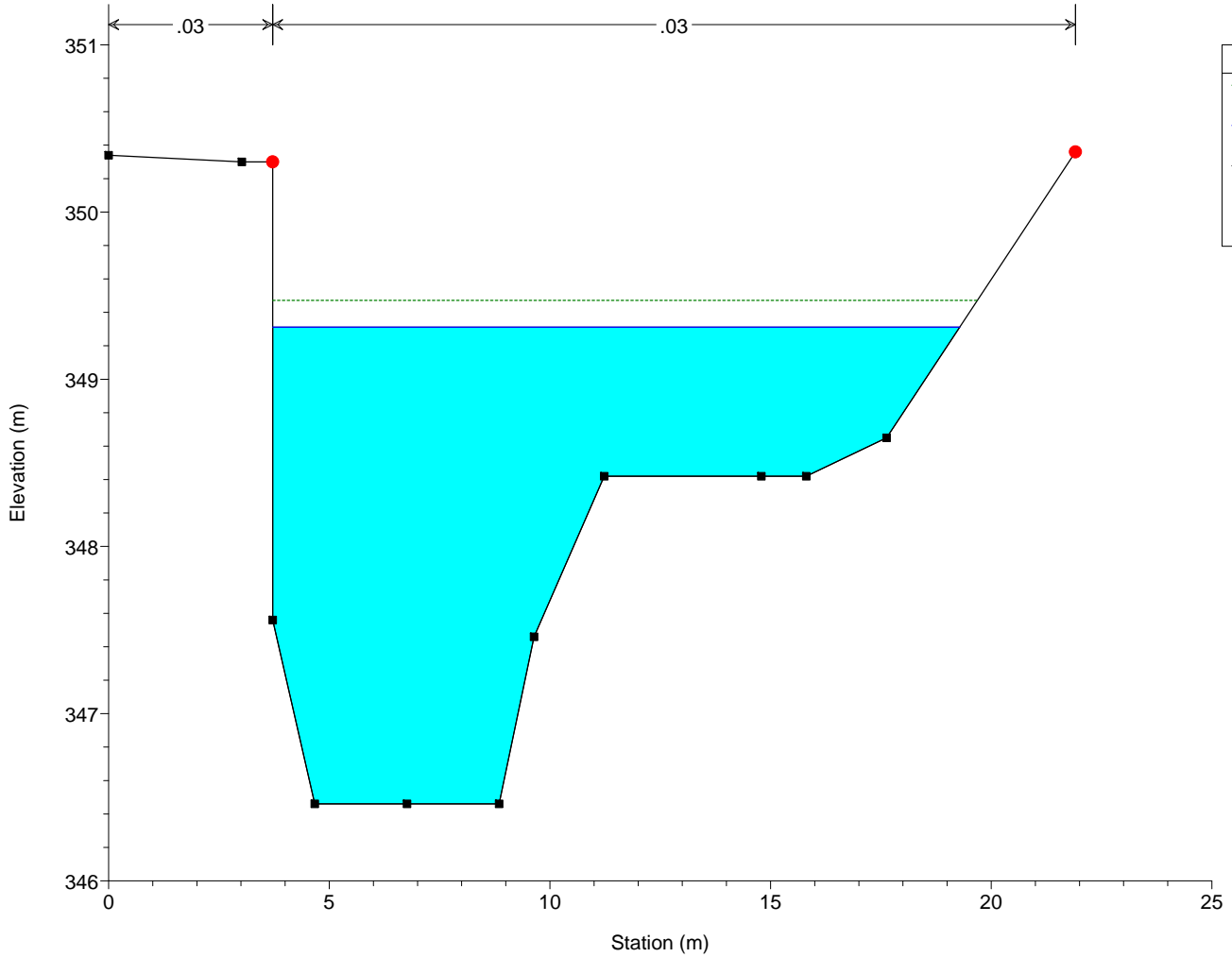


Legend	
EG PF 1	— (Green dashed line)
WS PF 1	— (Blue solid line)
Crit PF 1	— (Red dotted line with cross)
Ground	— (Black solid line with square)
Bank Sta	• (Red dot)

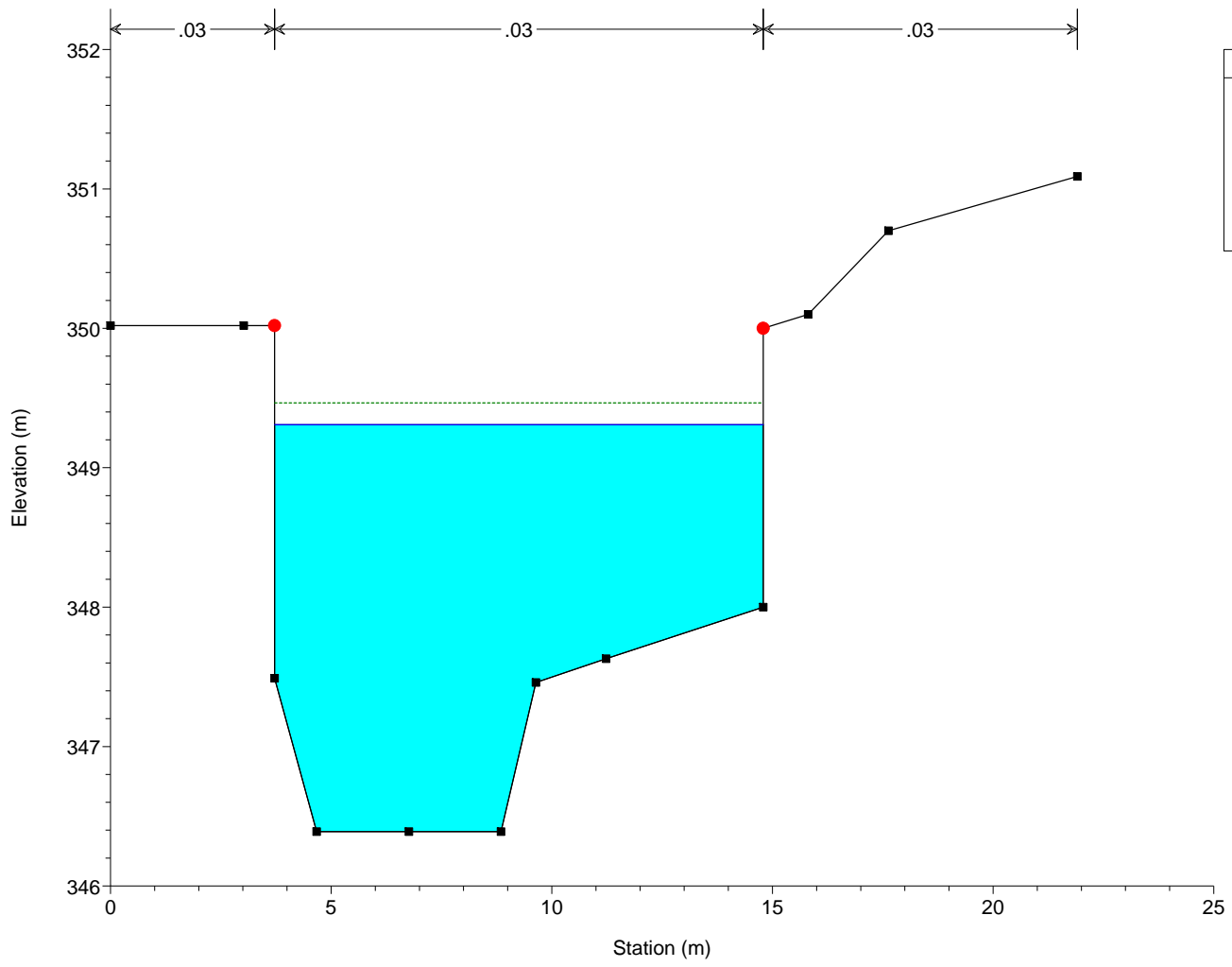
Morsina Plan: Morsina
RS = 9.1 Culv PONTE n.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 9 SEZIONE A2

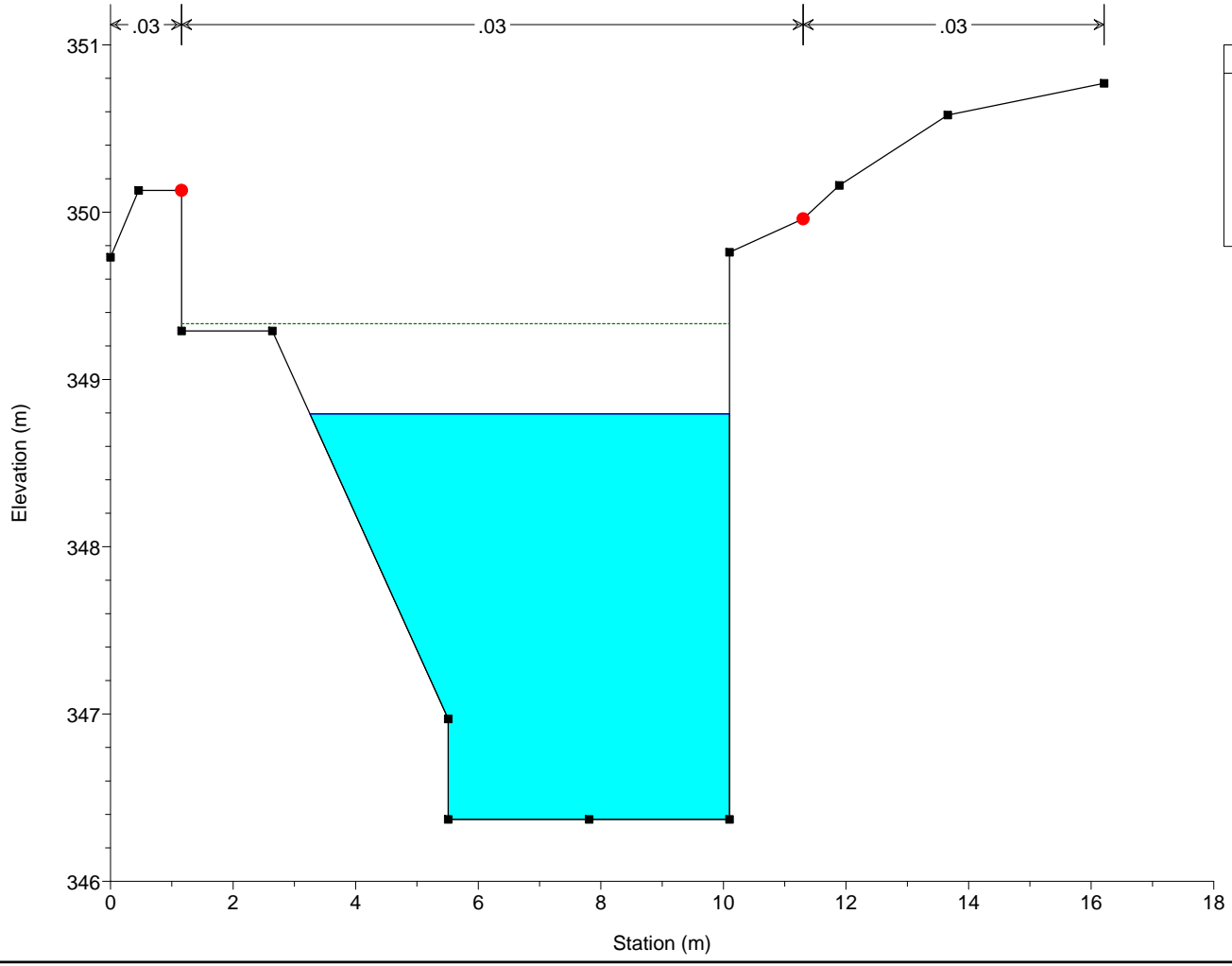


Morsina Plan: Morsina
RS = 8.2 SEZIONE A3



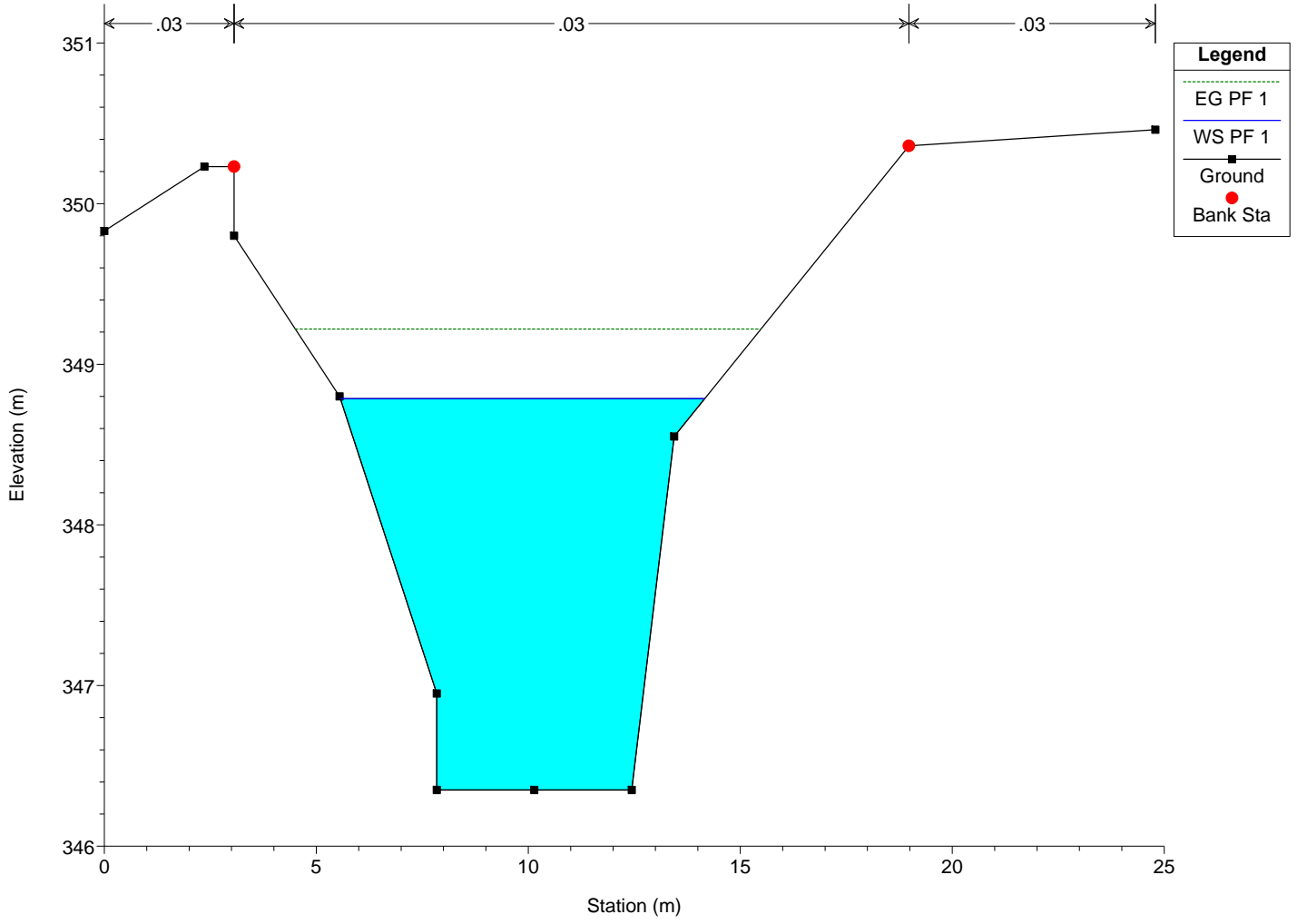
Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 8.1 SEZIONE A4

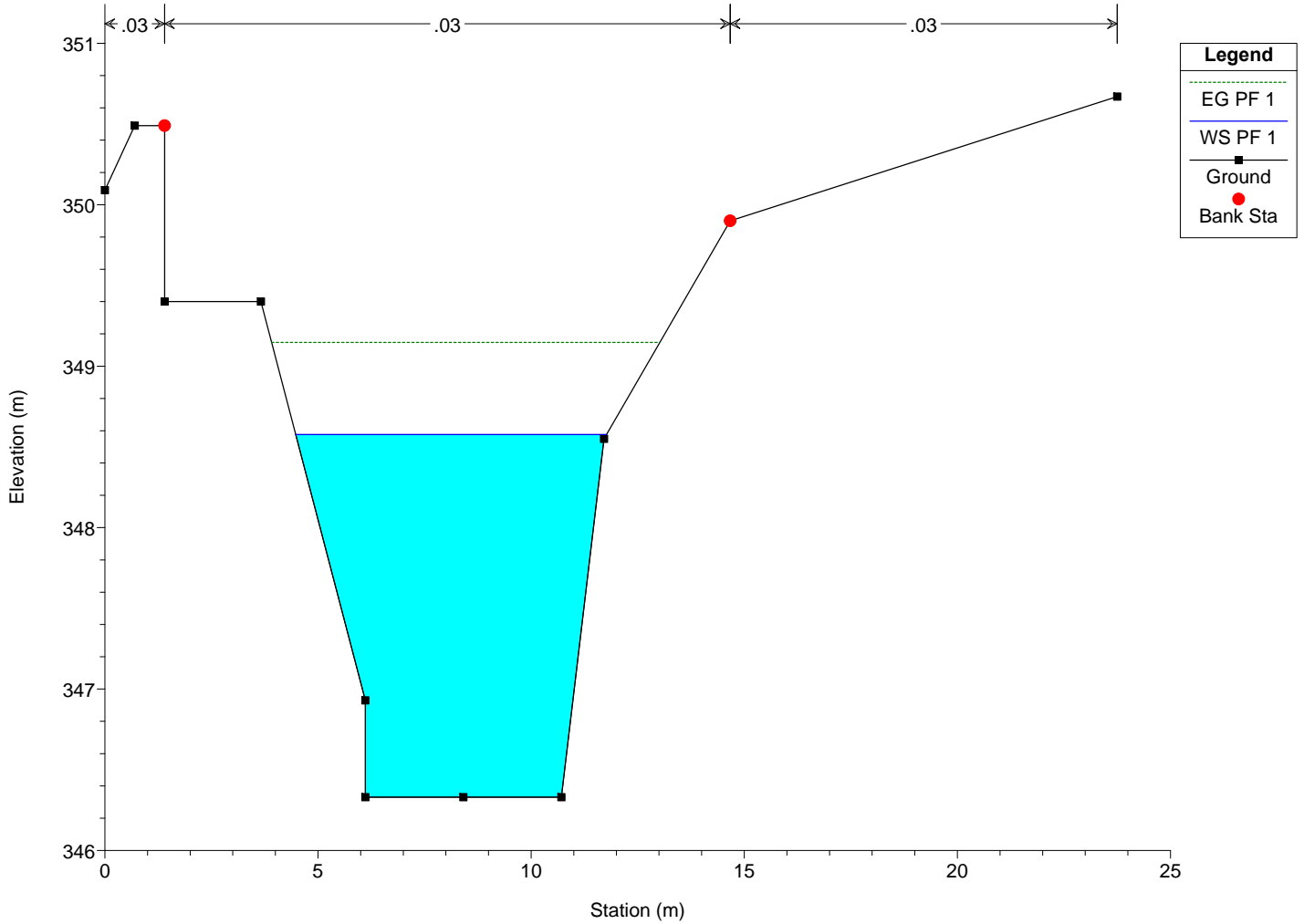


Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

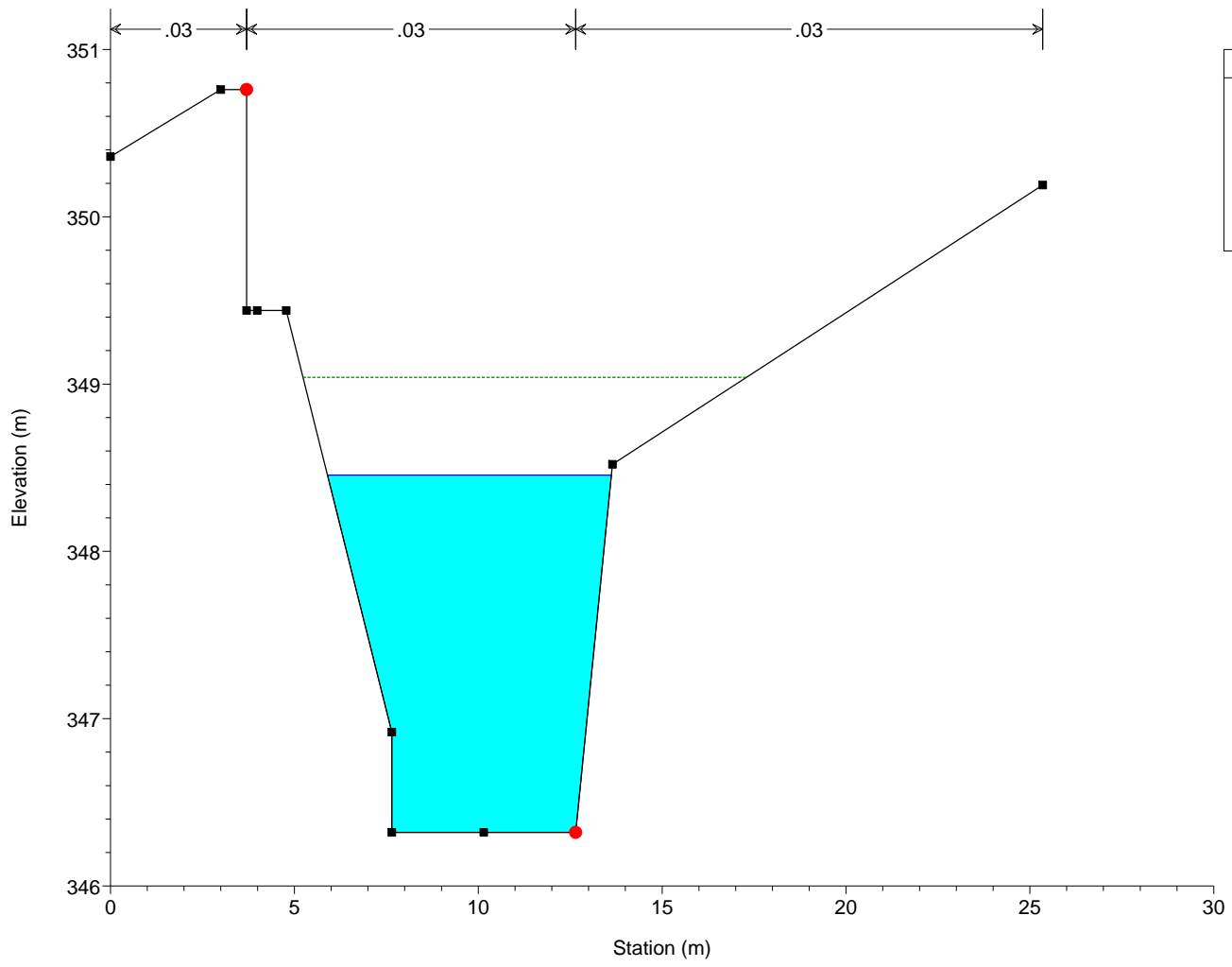
Morsina Plan: Morsina
RS = 8 SEZIONE A5



Morsina Plan: Morsina
RS = 7.1 SEZIONE A6

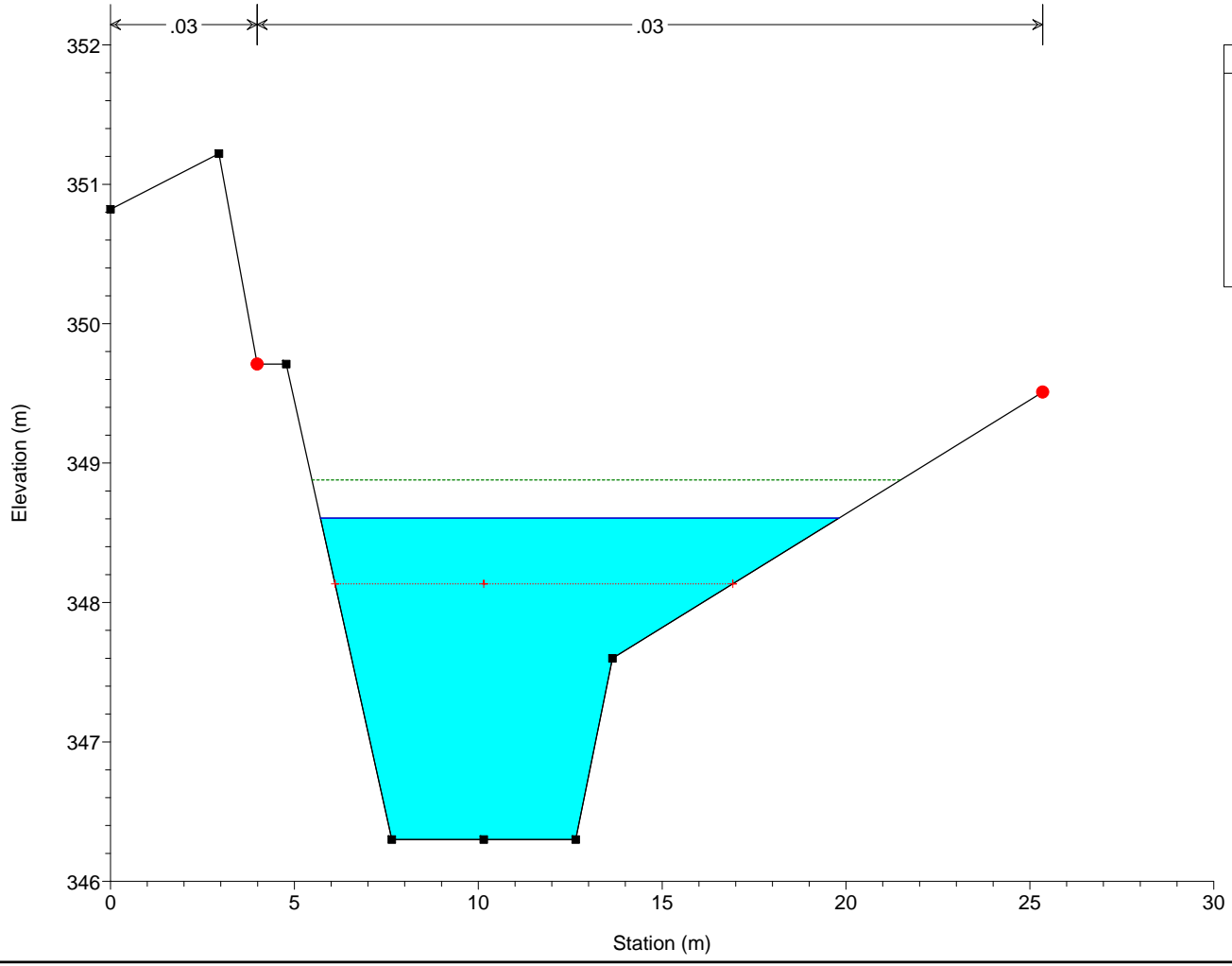


Morsina Plan: Morsina
RS = 7 SEZIONE A7



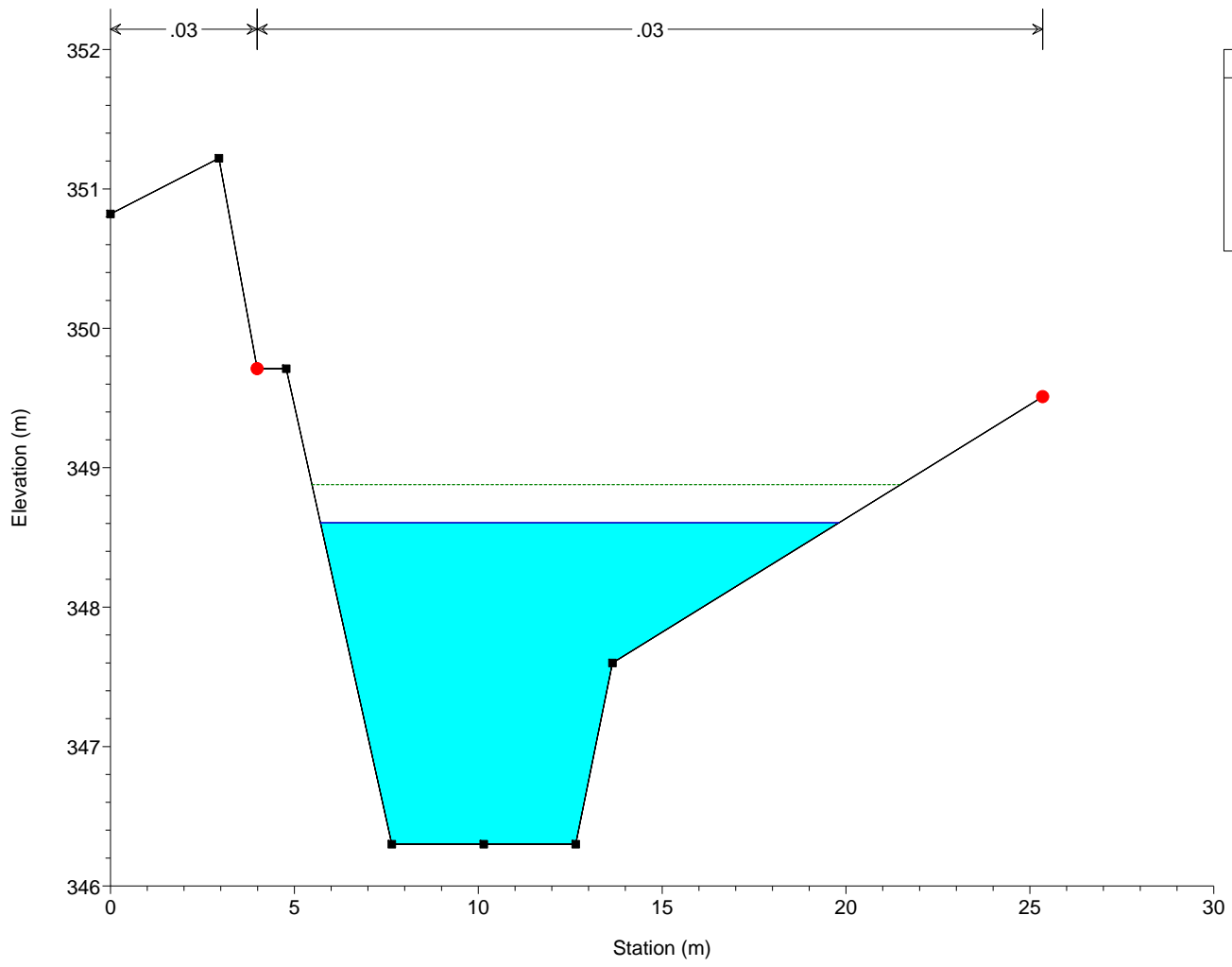
Legend	
EG PF 1	(Dotted Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Solid Black Line with Square)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 6.2 SEZIONE A8



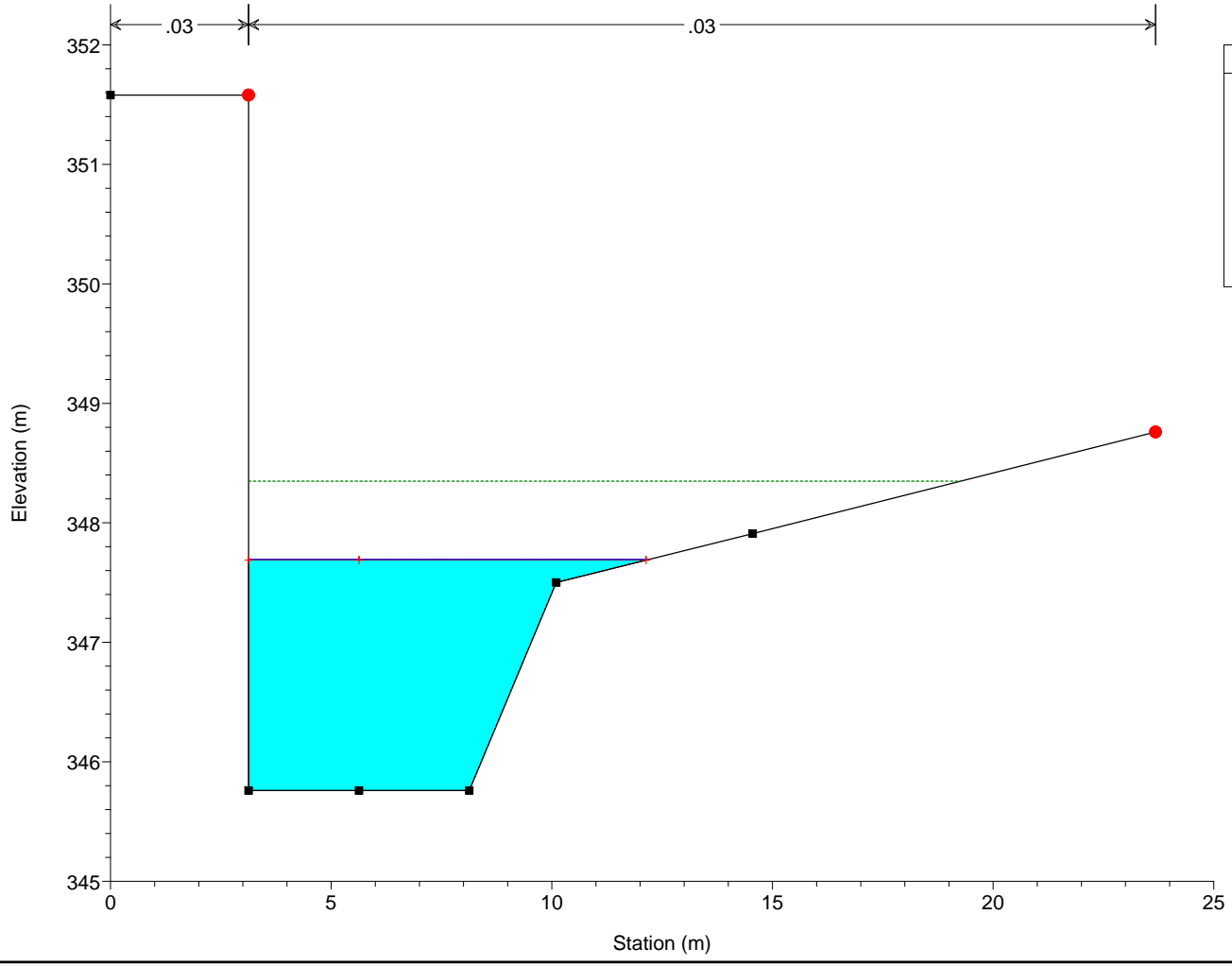
Legend	
EG PF 1	(Dotted Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Crit PF 1	(Dotted Red Line with '+')
Ground	(Solid Black Line with Square)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 6.1 IS BRIGLIA N.3



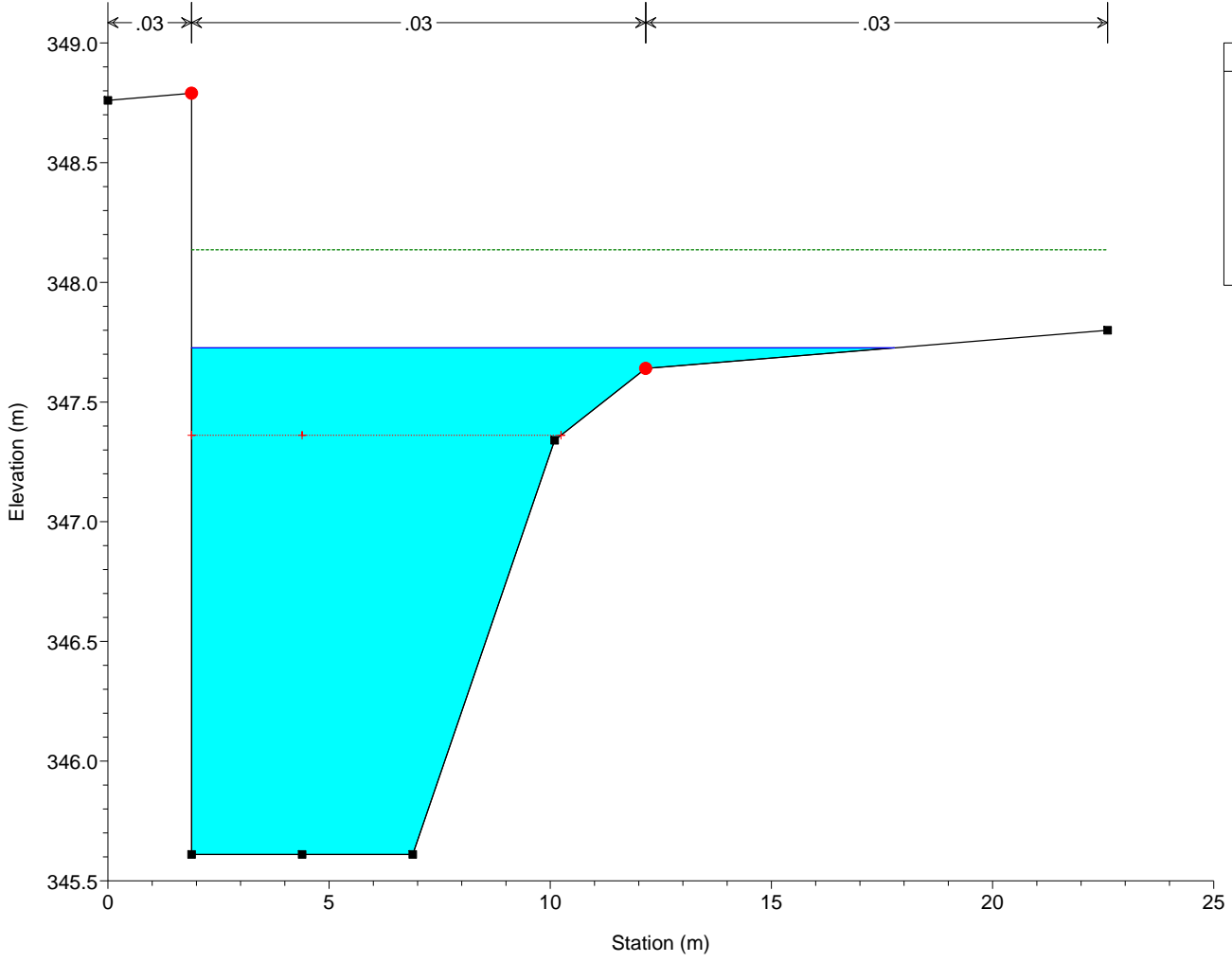
Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 6 SEZIONE A9



Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Crit PF 1	(Red dotted line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

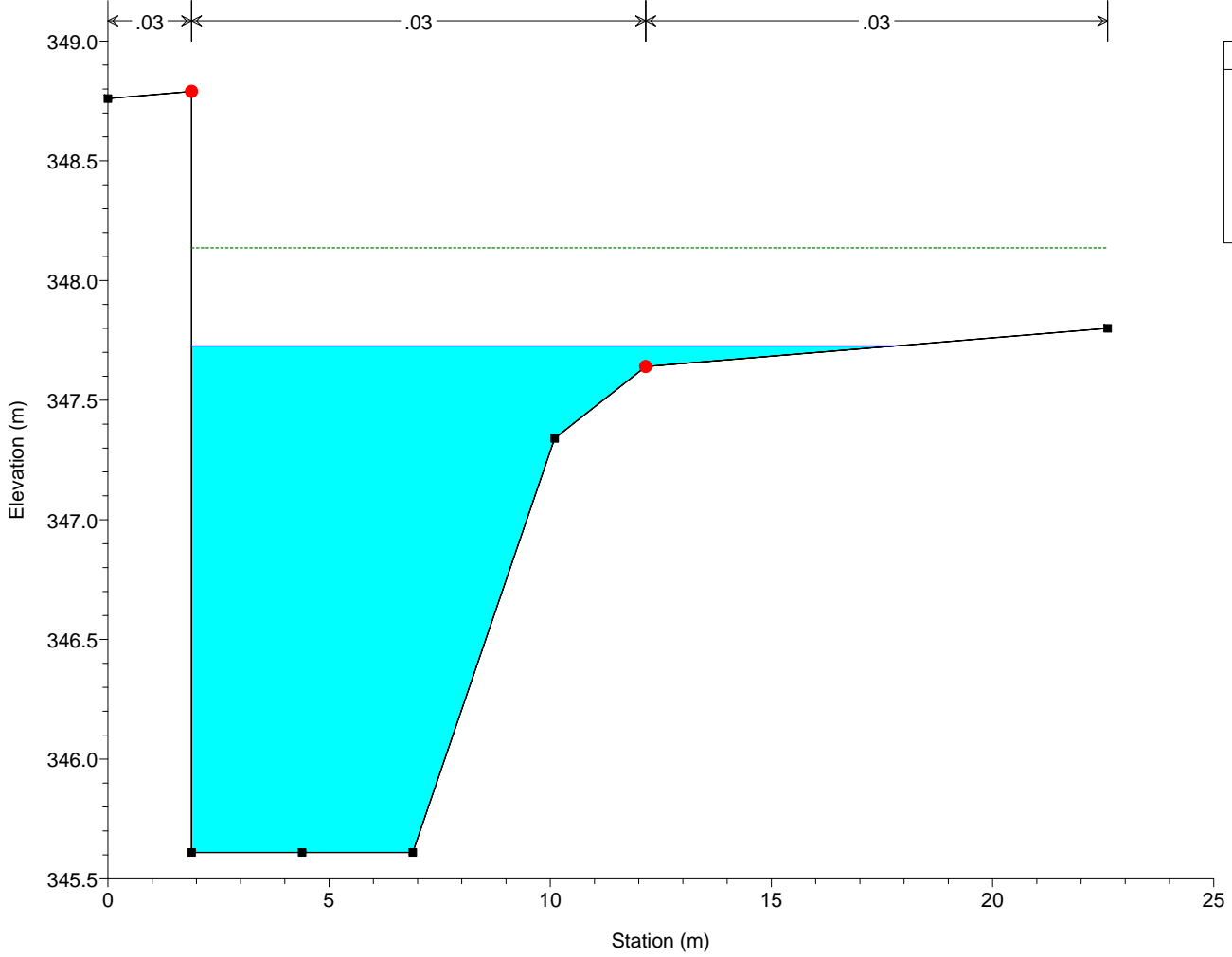
Morsina Plan: Morsina
RS = 5 SEZIONE A10



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

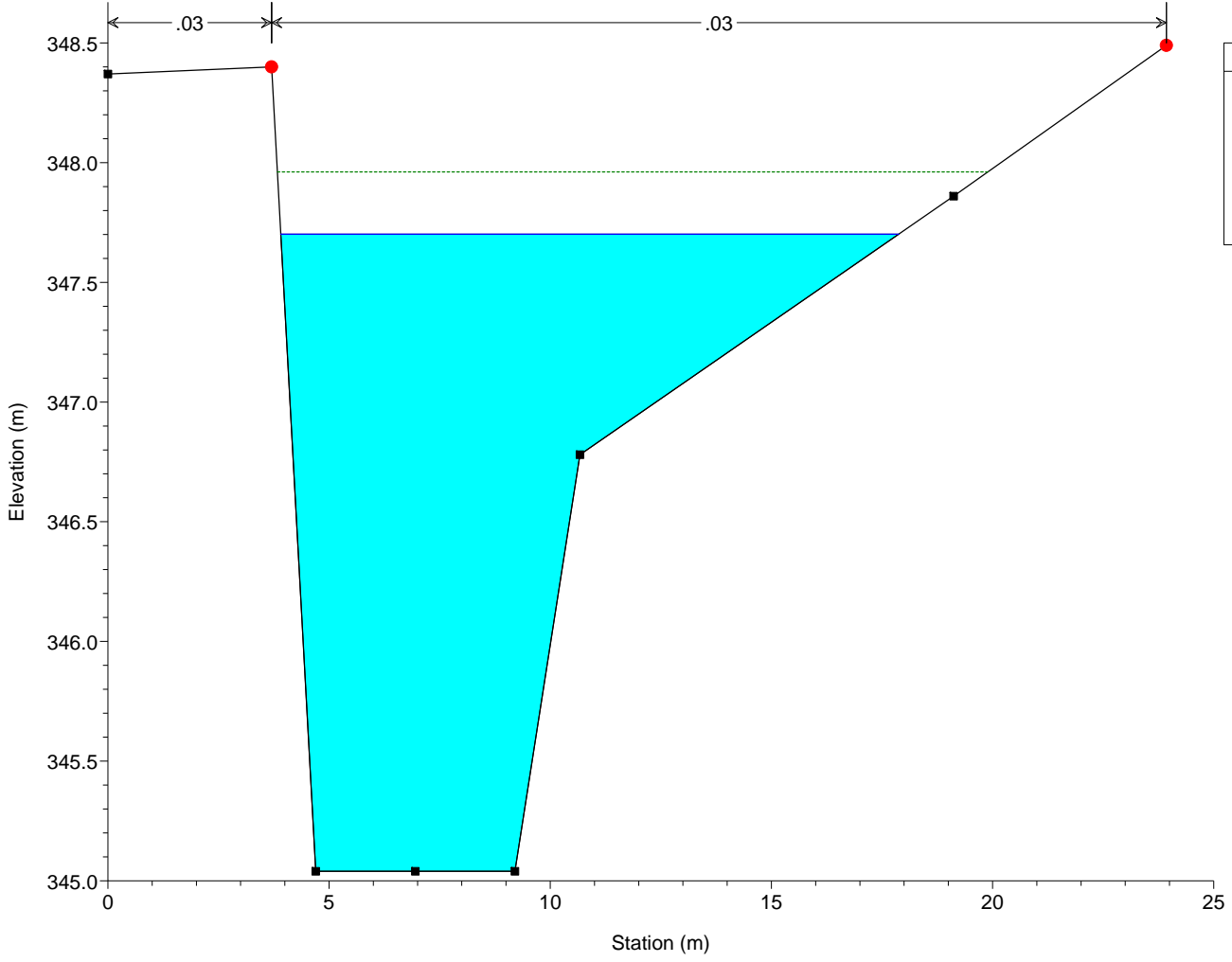
Morsina Plan: Morsina
RS = 4.1 IS BRIGLIA N.2



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

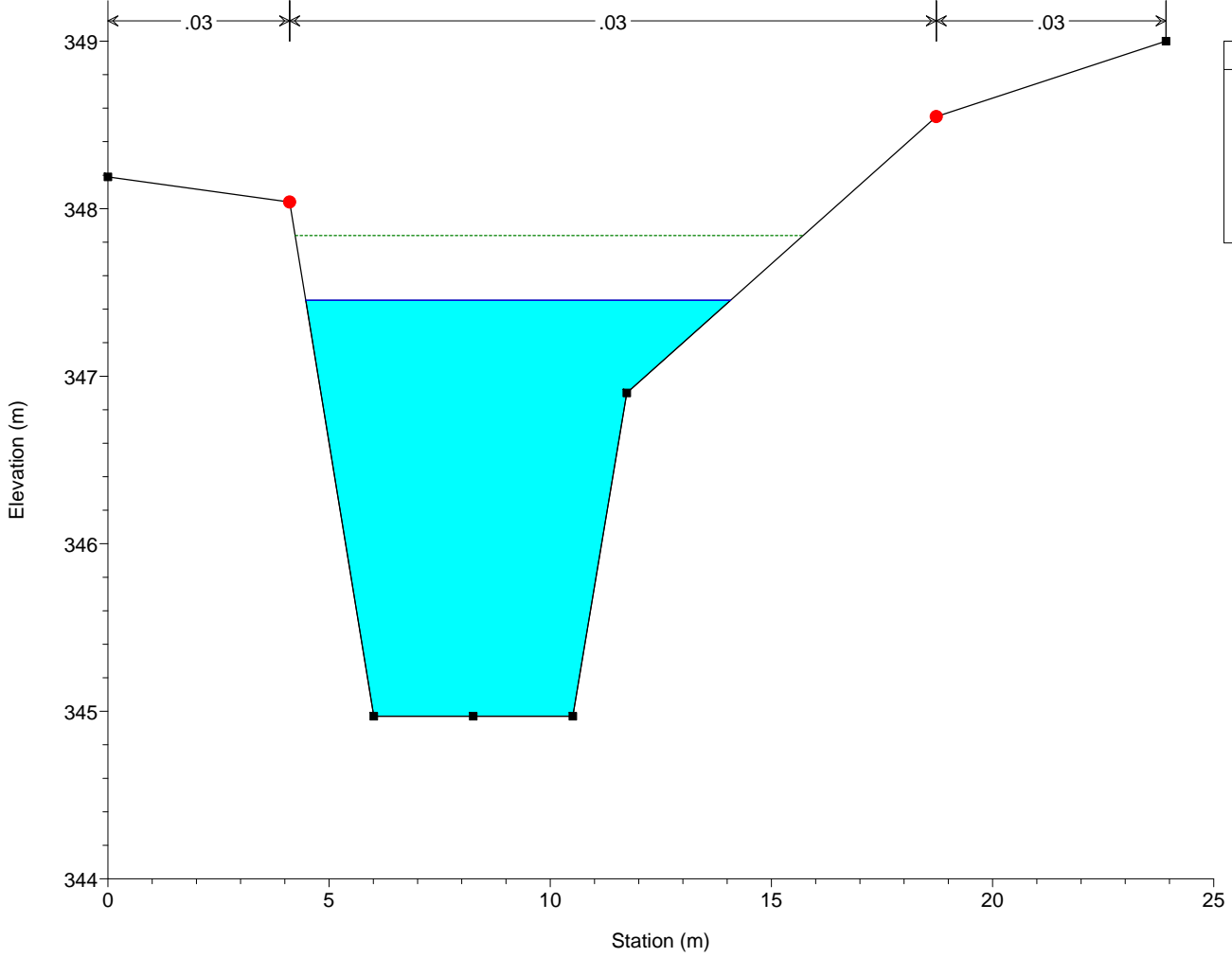
Morsina Plan: Morsina
RS = 4 SEZIONE A11



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

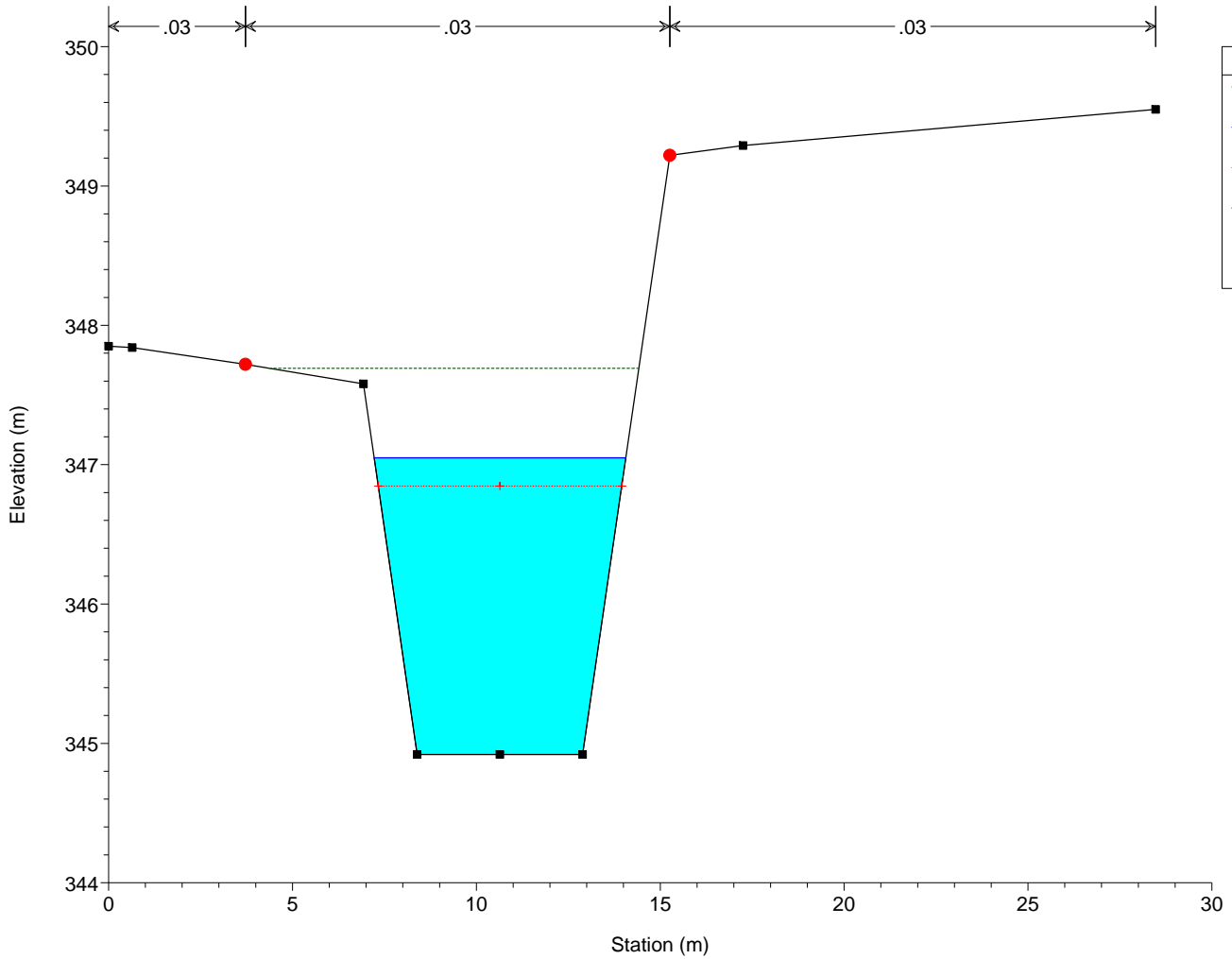
Morsina Plan: Morsina
RS = 3.1 SEZIONE A12



Legend

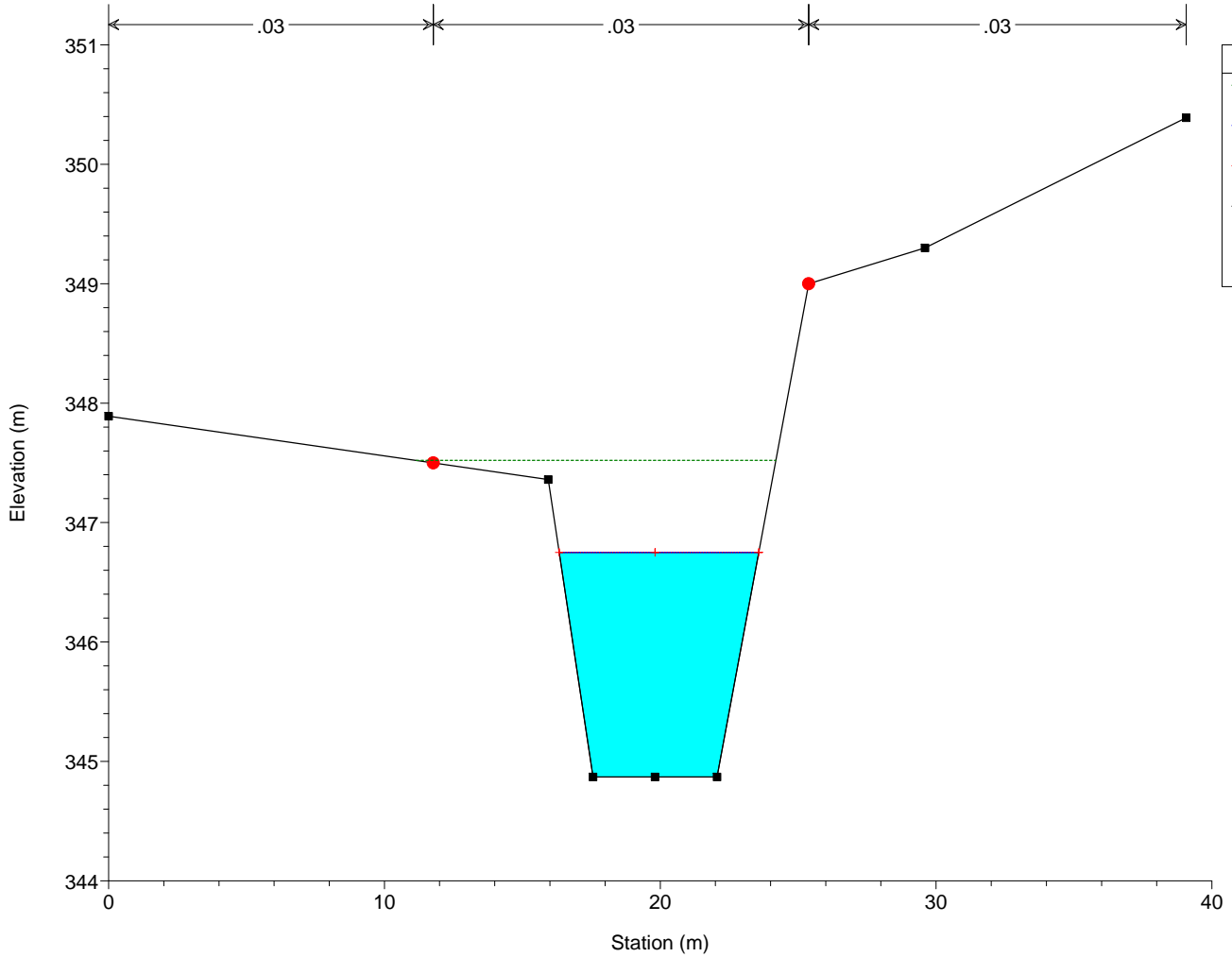
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 3 SEZIONE A13



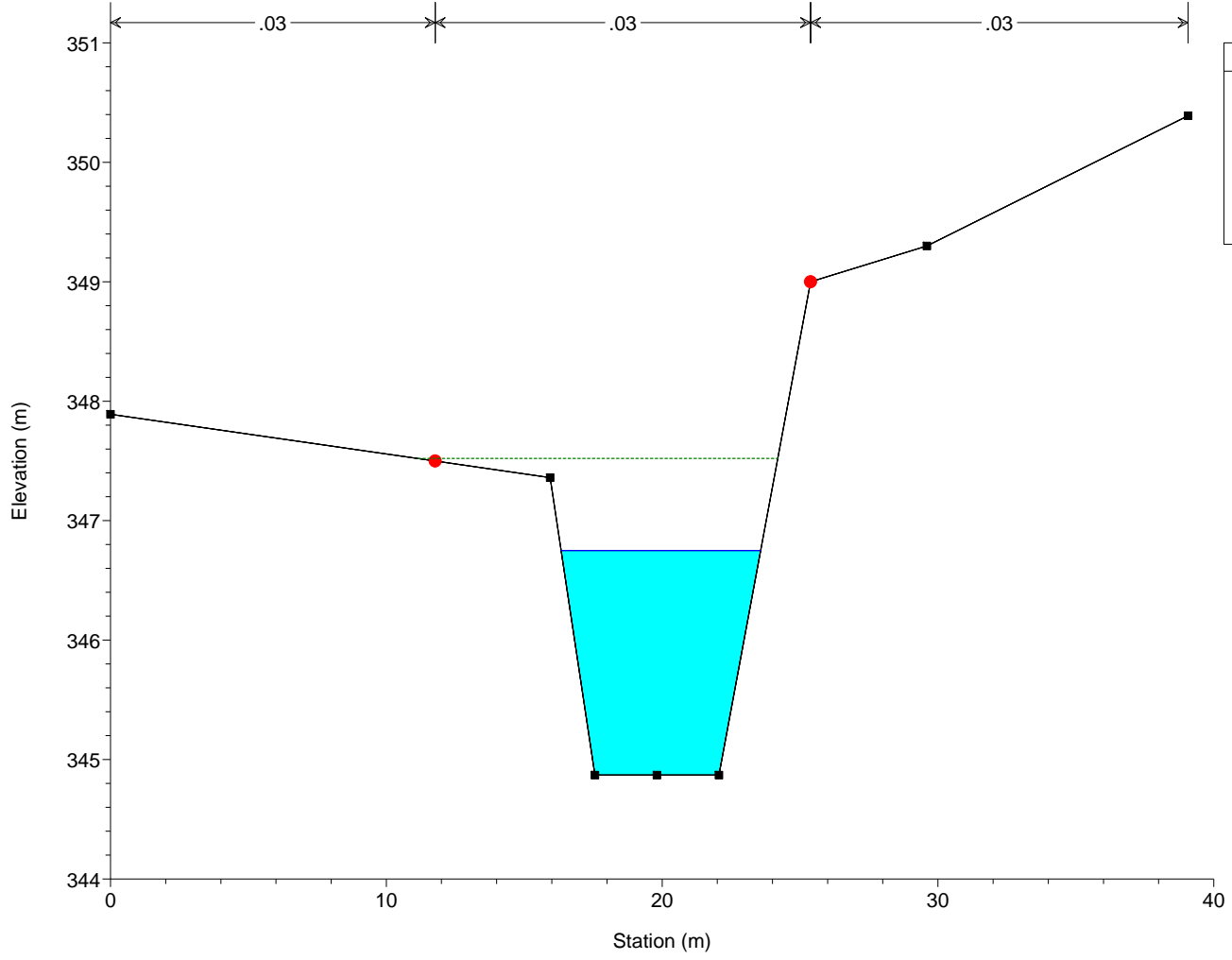
Legend	
EG PF 1	Green dashed line
WS PF 1	Blue solid line
Crit PF 1	Red dotted line with cross
Ground	Black solid line with square
Bank Sta	Red solid circle

Morsina Plan: Morsina
RS = 2.2 SEZIONE A14



Legend	
EG PF 1	Green dashed line
WS PF 1	Blue solid line
Crit PF 1	Red dotted line with cross
Ground	Black solid line with square
Bank Sta	Red solid circle

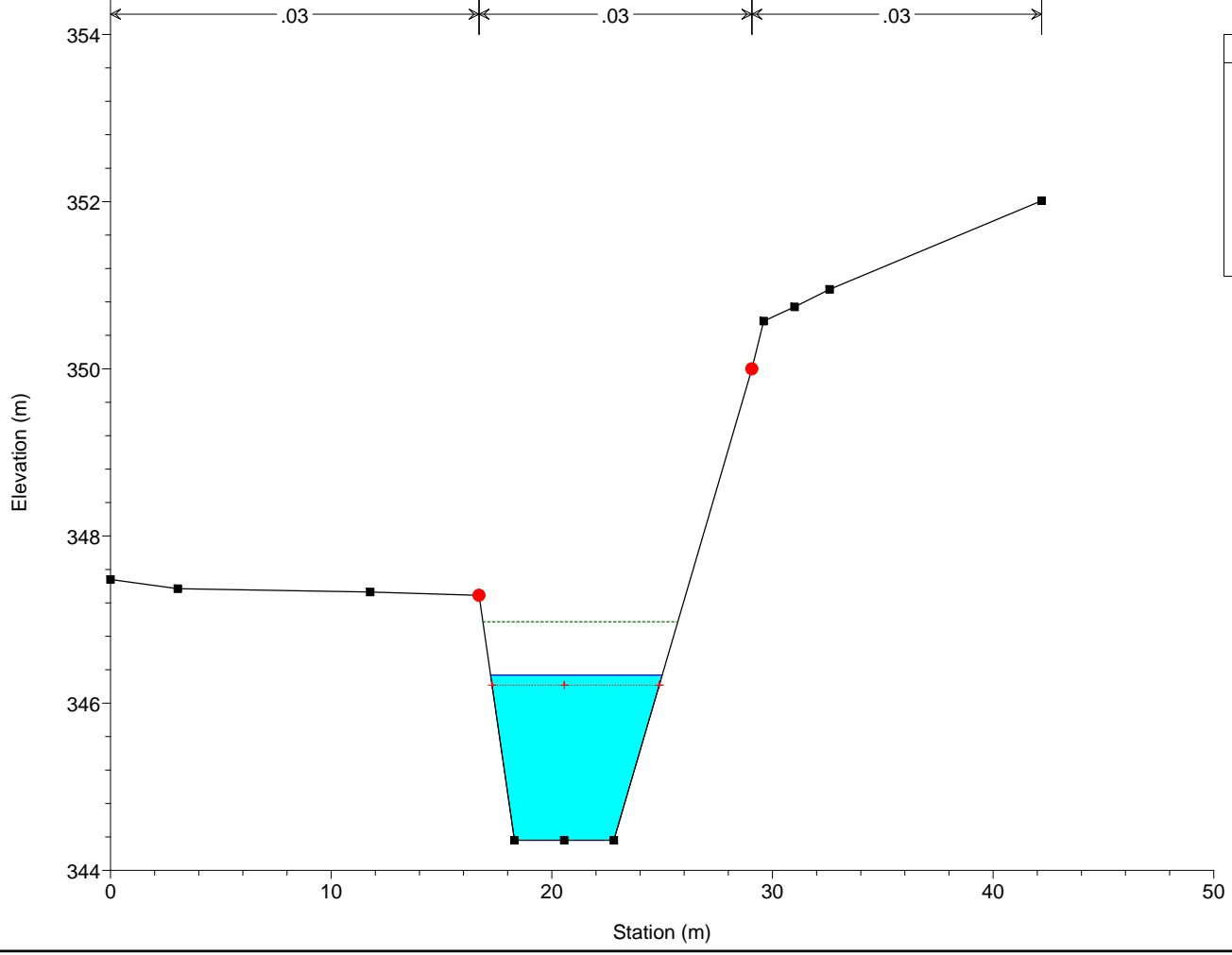
Morsina Plan: Morsina
RS = 2.1 IS BRIGLIA N.1



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

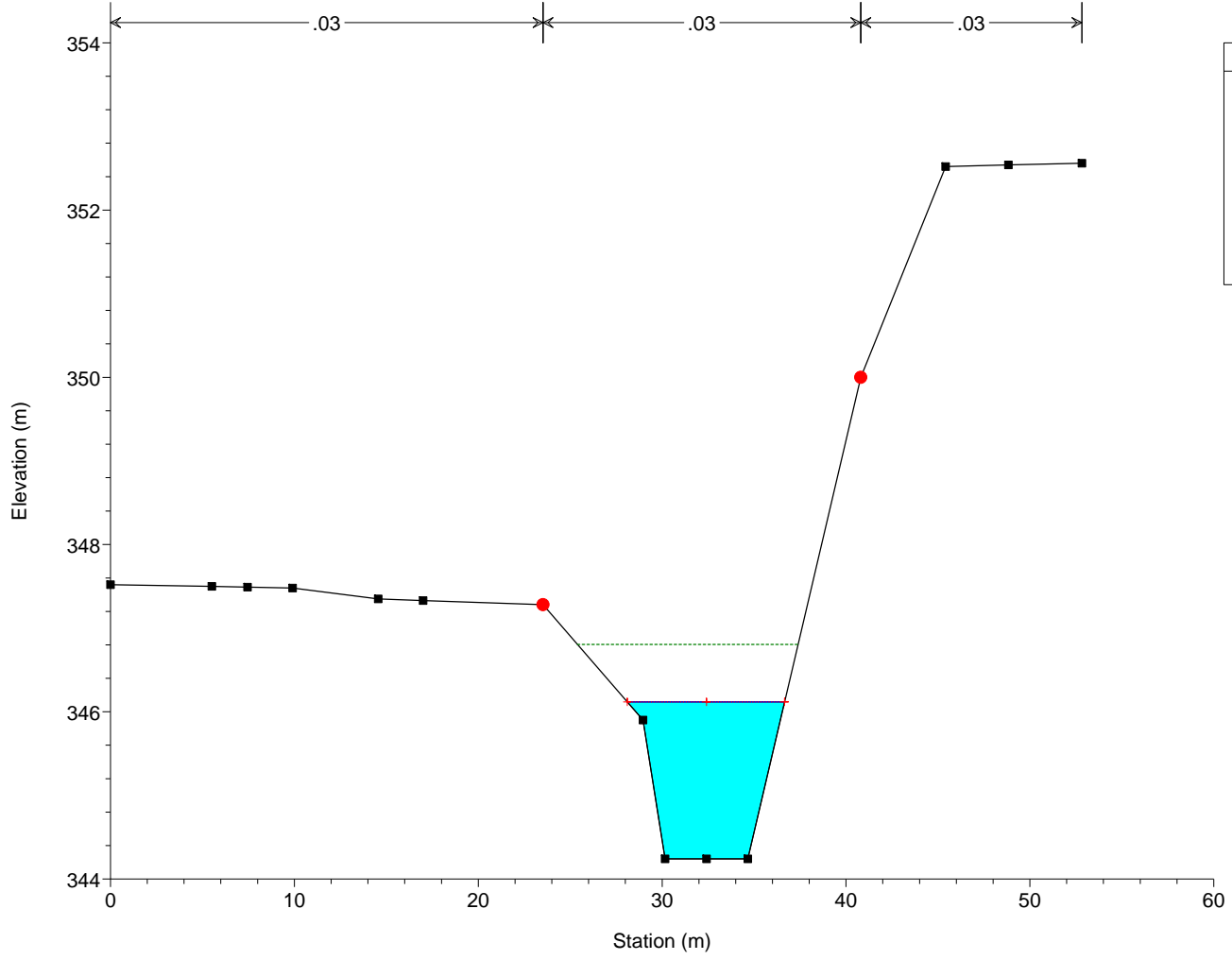
Morsina Plan: Morsina
RS = 2 SEZIONE A15



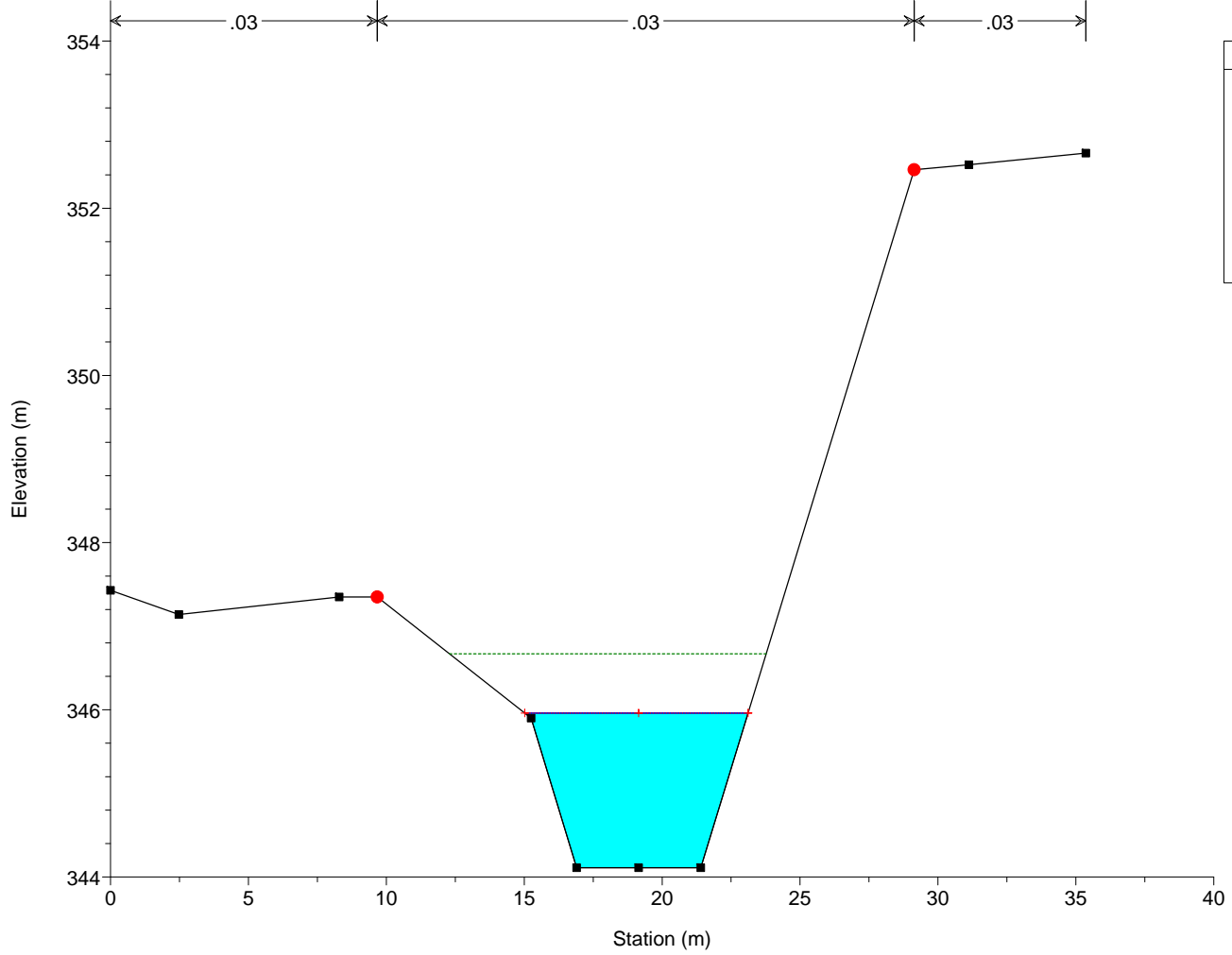
Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

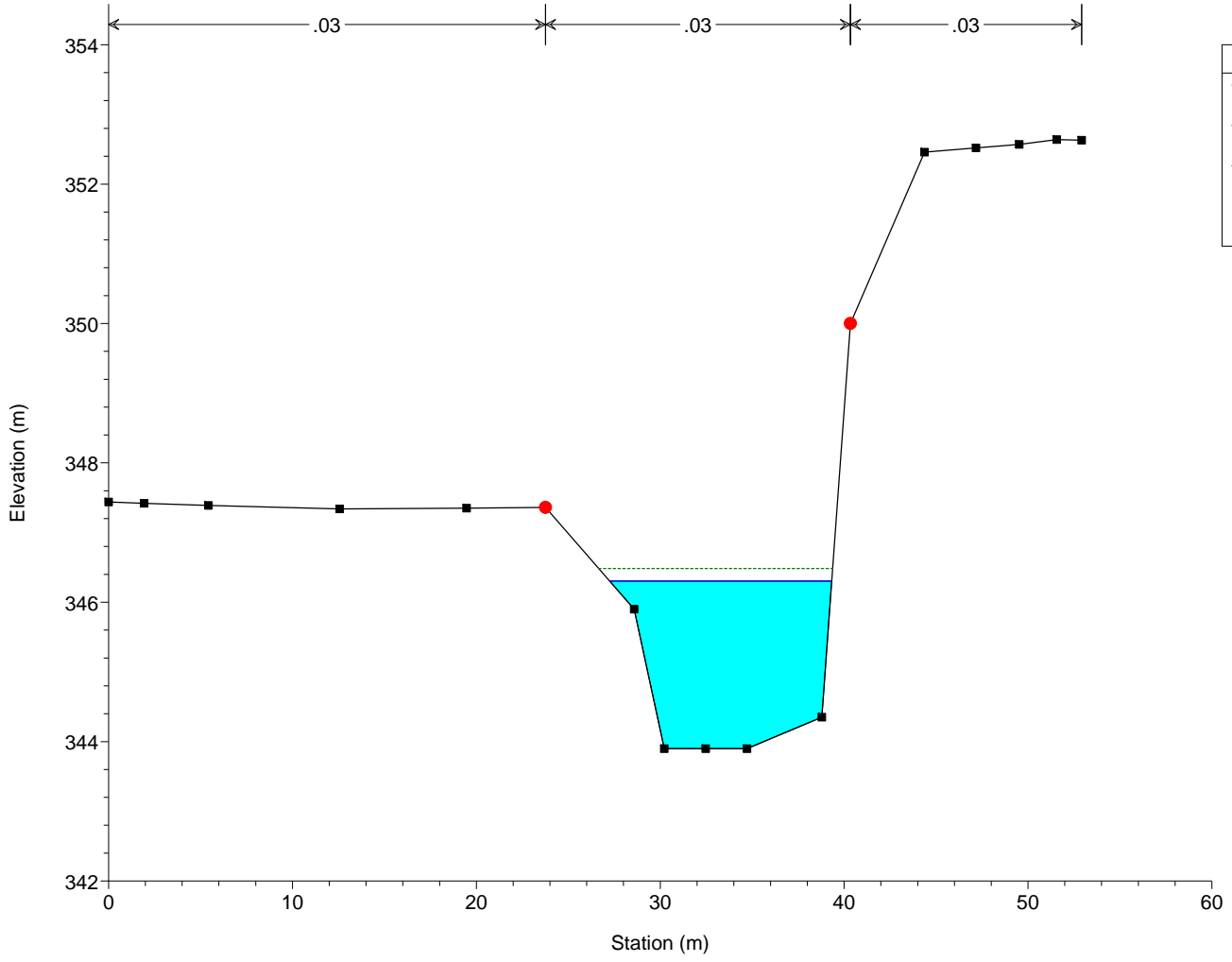
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.7 SEZIONE A15.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 1.6 SEZIONE A16

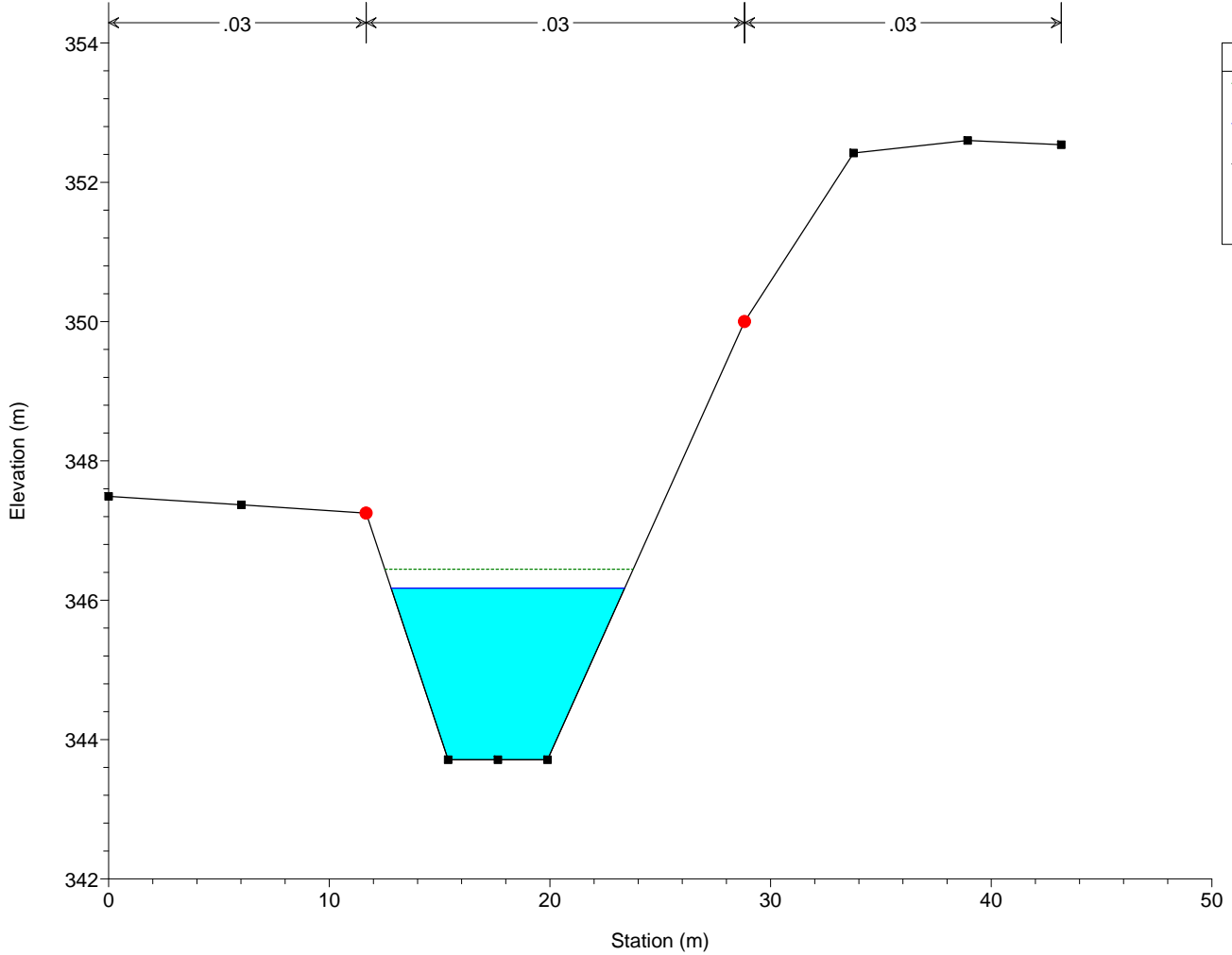


Morsina Plan: Morsina
RS = 1.5 SEZIONE A 16.1



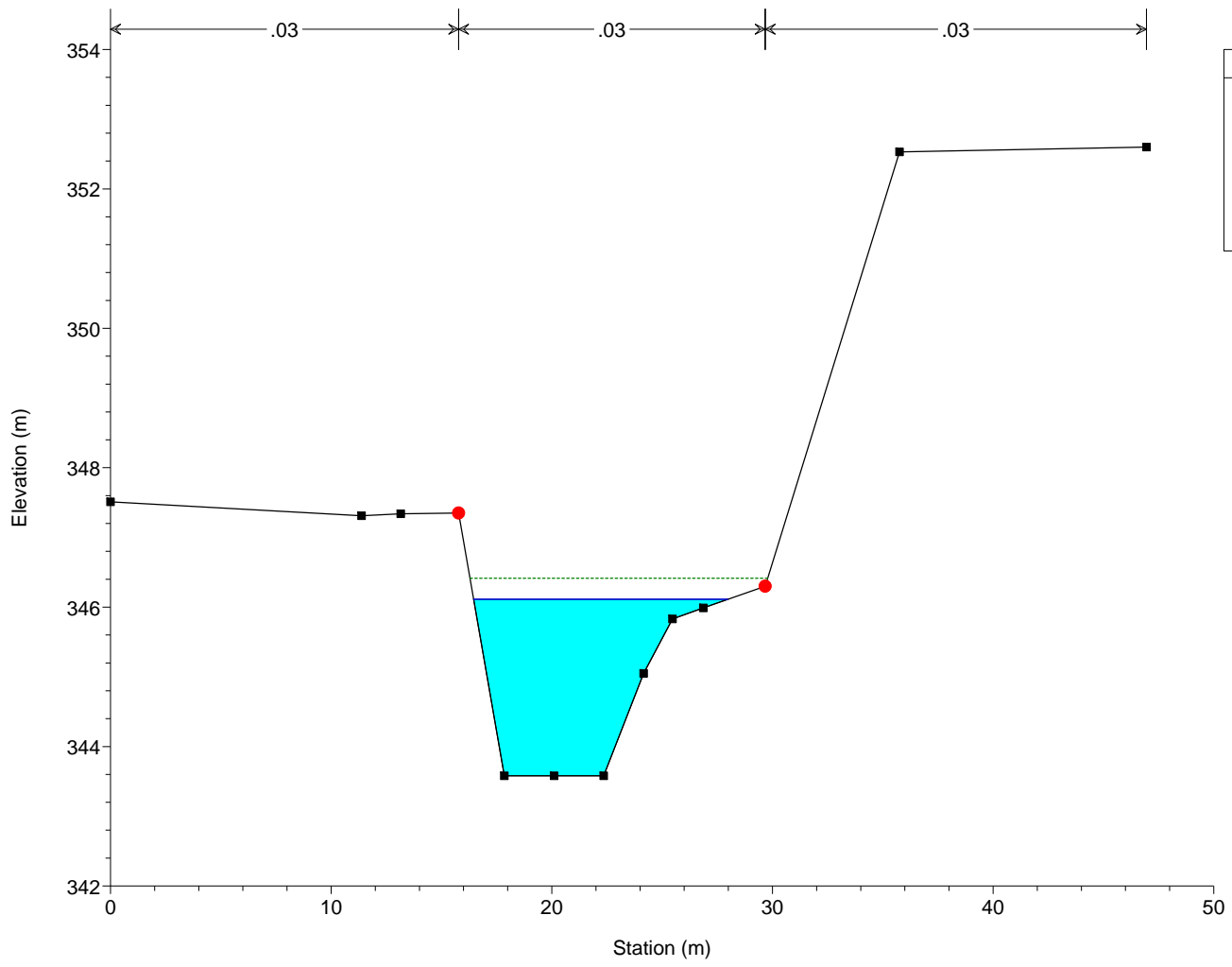
Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Square marker)
Bank Sta	(Red circle marker)

Morsina Plan: Morsina
RS = 1.4 SEZIONE A 17



Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Square marker)
Bank Sta	(Red circle marker)

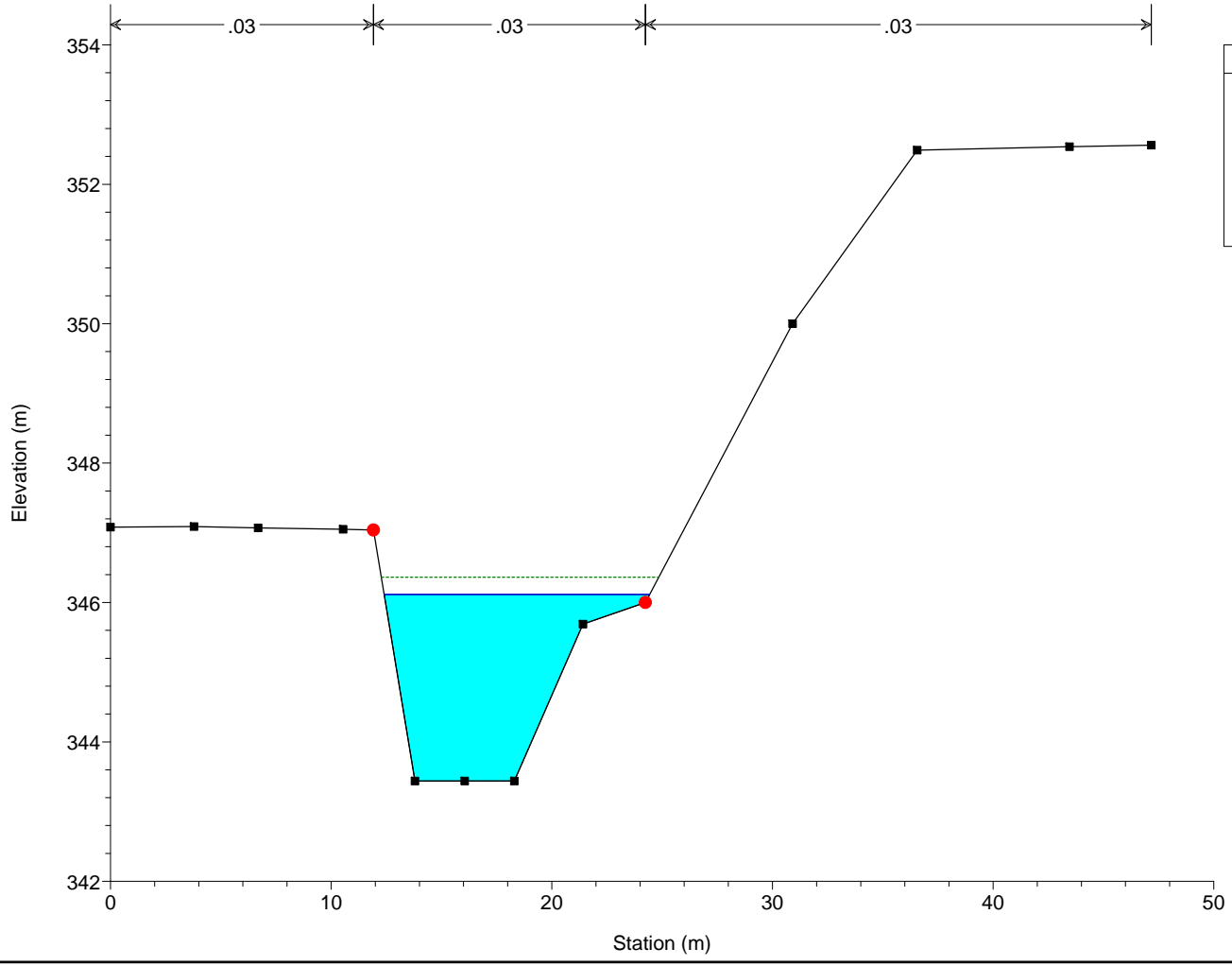
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.3 SEZIONE A18



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

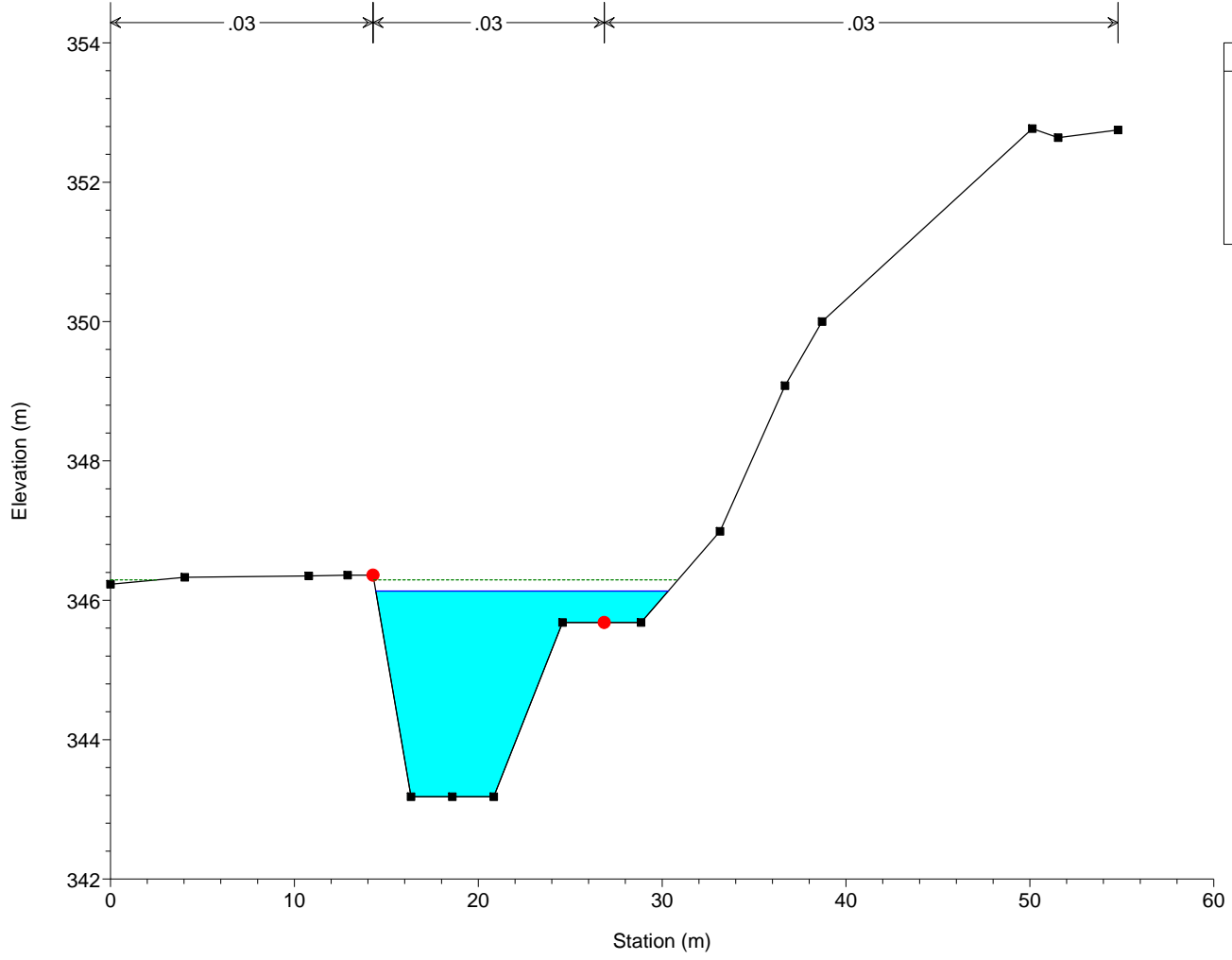
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.2 SEZIONE A19



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

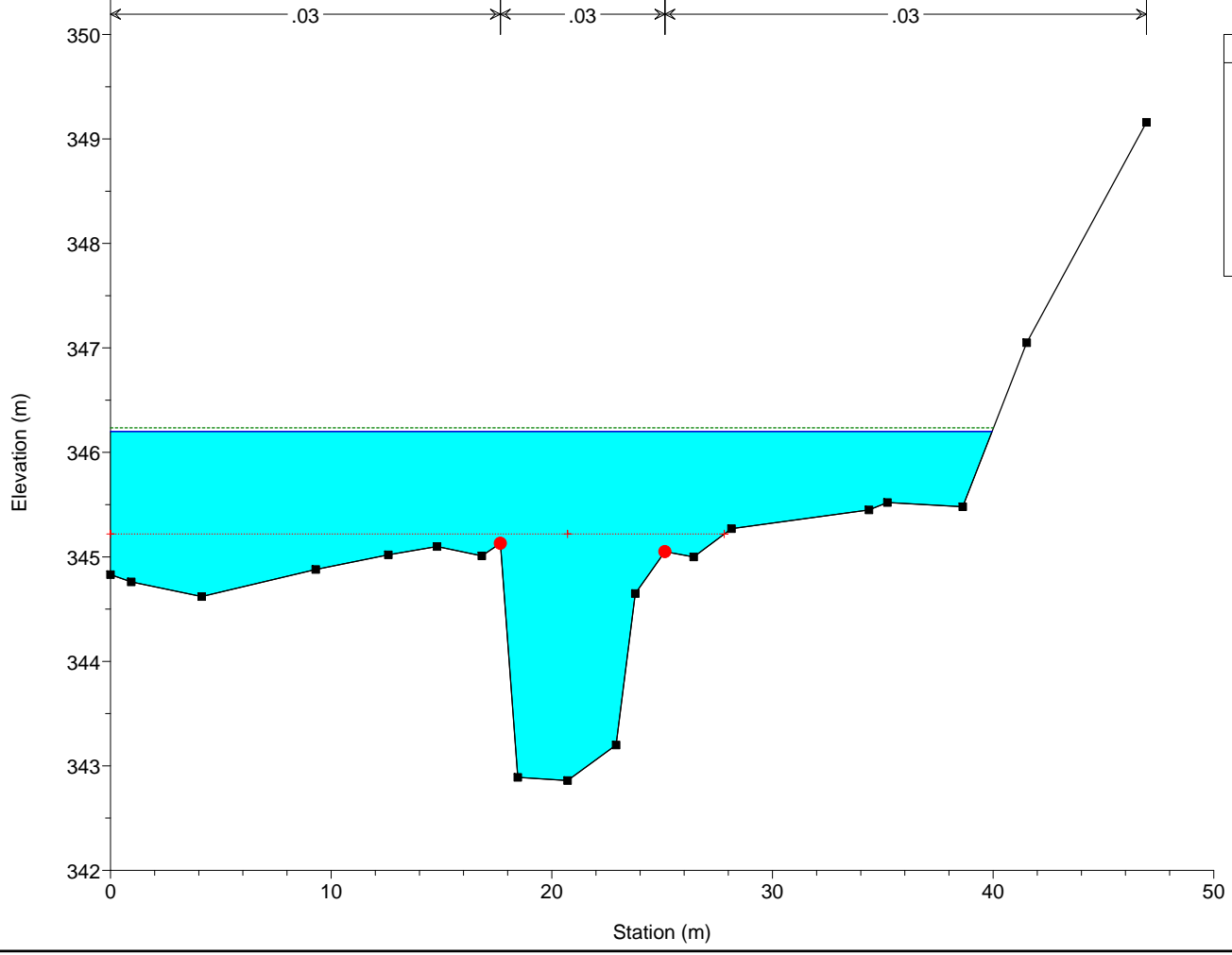
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.1 SEZIONE 20



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 1 SEZIONE A21

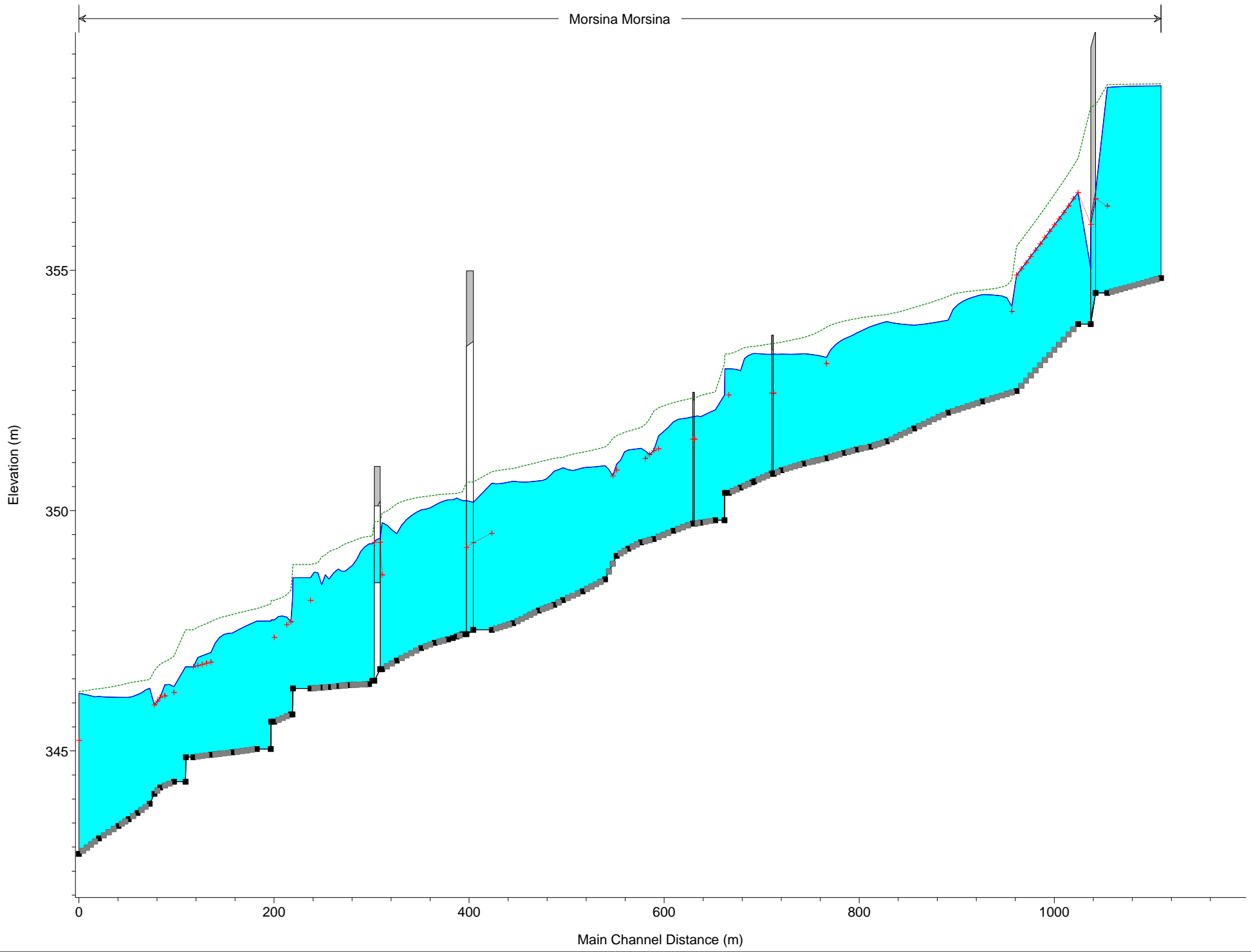


Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

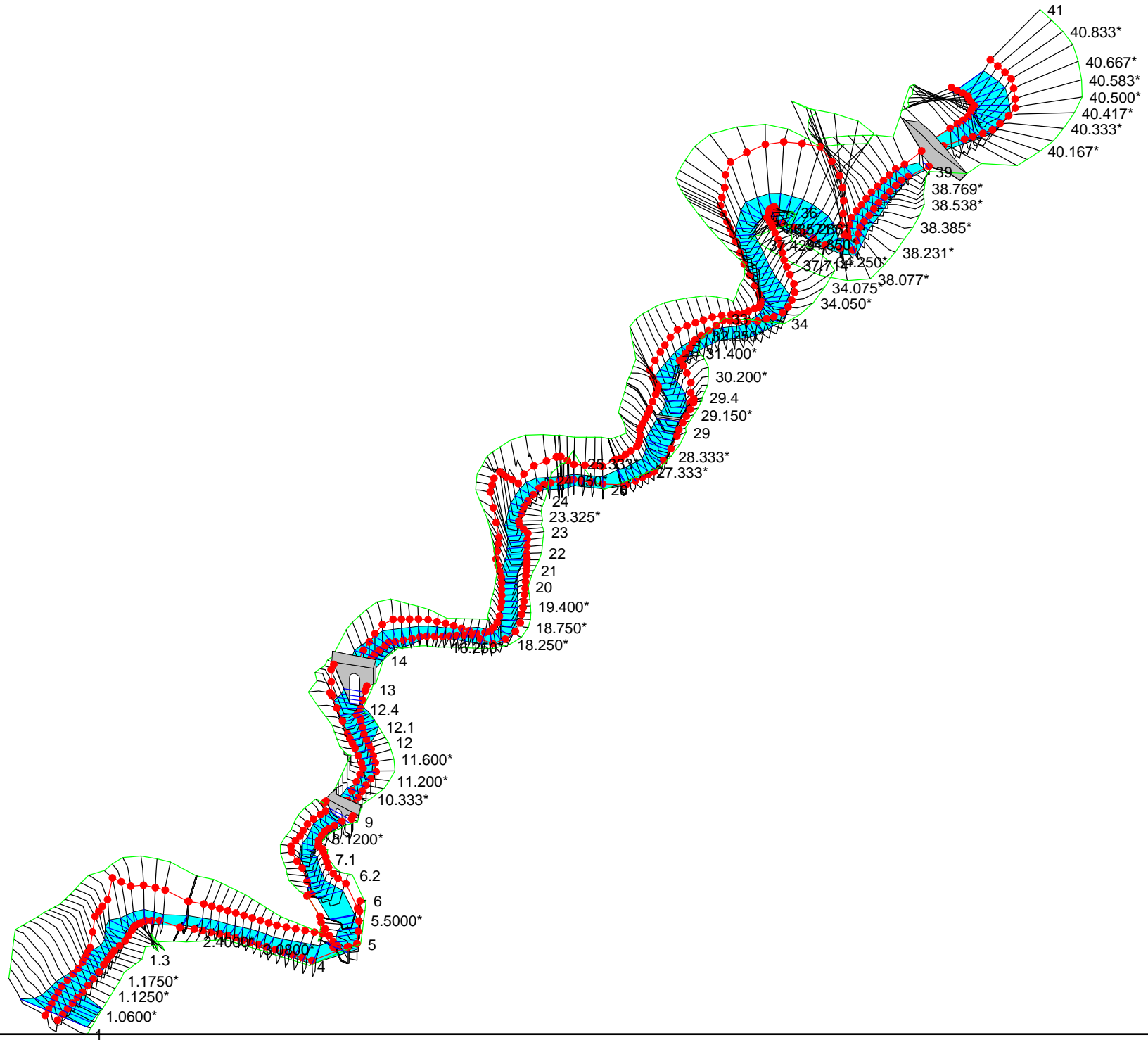
Morsina Plan: Morsina

Morsina Morsina



Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	

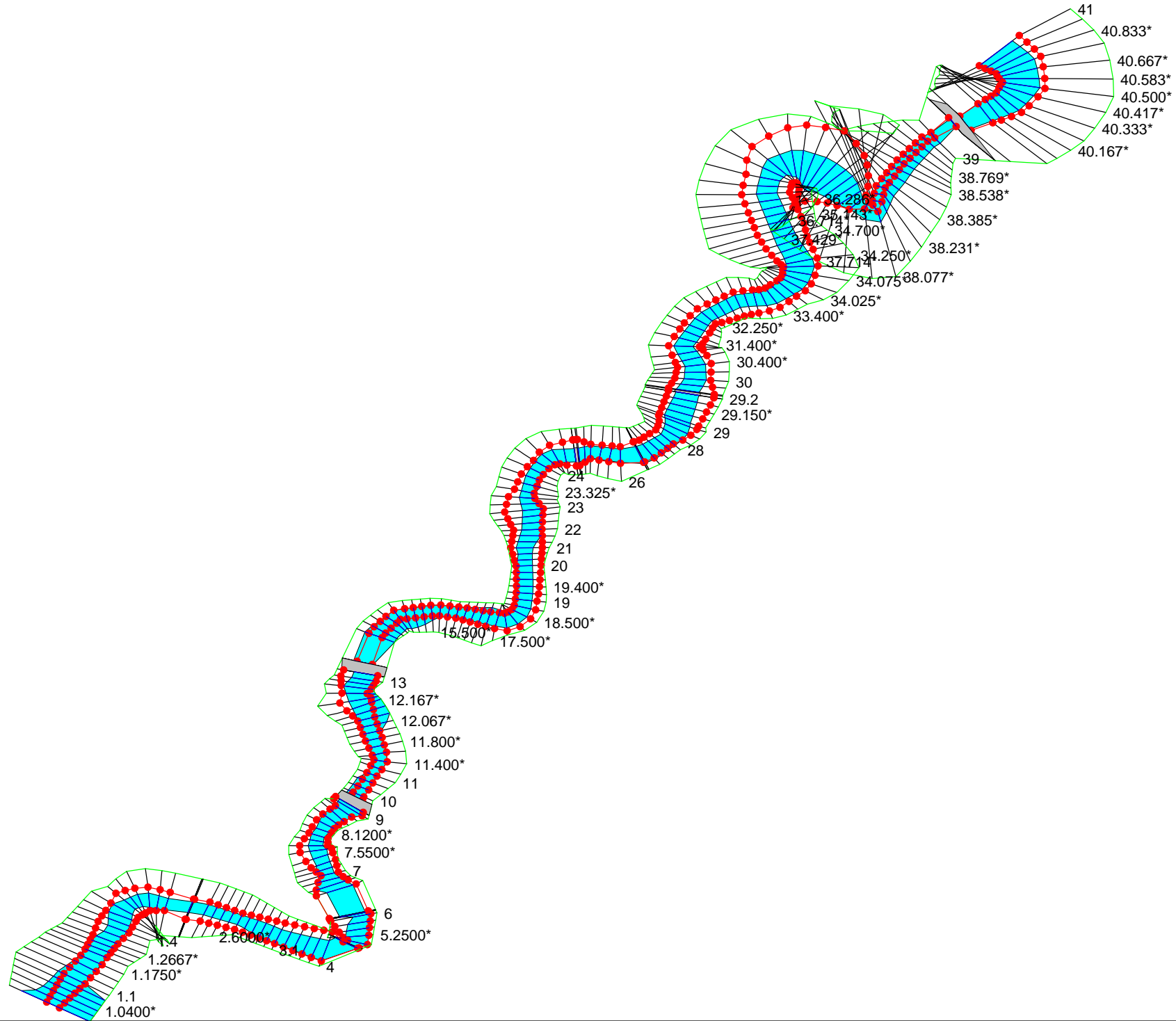
Morsina Plan: Morsina



Legend

- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta
- Ground

Morsina Plan: Morsina



Legend

- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta
- Ground

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Morsina	41	PF 1	42.88	354.84	358.84		358.88	0.000317	0.91	46.95	22.28	0.20
Morsina	40	PF 1	42.88	354.53	358.81	356.34	358.86	0.000329	1.05	40.79	13.55	0.19
Morsina	39.1		Culvert									
Morsina	39	PF 1	42.88	353.88	356.62	356.62	357.33	0.010101	3.92	12.04	8.43	0.80
Morsina	38	PF 1	42.88	352.49	354.90	354.90	355.50	0.008119	3.58	13.56	12.05	0.77
Morsina	37	PF 1	42.88	352.27	354.50		354.59	0.001211	1.36	31.58	24.37	0.38
Morsina	36	PF 1	42.88	352.04	353.97		354.46	0.006821	3.12	13.75	10.28	0.86
Morsina	35	PF 1	42.88	351.71	353.86		354.23	0.004550	2.70	15.89	10.80	0.71
Morsina	34.1	PF 1	42.88	351.44	353.93		354.08	0.001479	1.69	25.34	15.33	0.42
Morsina	34	PF 1	42.88	351.33	353.83		354.04	0.002115	2.05	20.92	11.43	0.48
Morsina	33.1	PF 1	42.88	351.27	353.70		354.00	0.003055	2.43	17.65	9.55	0.57
Morsina	33	PF 1	42.88	351.20	353.57		353.94	0.004183	2.70	15.91	8.80	0.64
Morsina	32	PF 1	42.88	351.09	353.19	353.06	353.82	0.008133	3.52	12.19	7.77	0.90
Morsina	31	PF 1	42.88	350.98	353.27		353.60	0.003658	2.58	16.62	9.55	0.62
Morsina	30	PF 1	42.88	350.84	353.26		353.51	0.002499	2.20	19.45	11.09	0.53
Morsina	29.4	PF 1	42.88	350.77	353.26	352.44	353.48	0.002161	2.08	20.66	11.60	0.50
Morsina	29.3		Bridge									
Morsina	29.2	PF 1	42.88	350.77	353.25		353.47	0.002179	2.08	20.59	11.59	0.50
Morsina	29.1	PF 1	42.88	350.61	353.27		353.42	0.001536	1.71	25.03	14.16	0.41
Morsina	29	PF 1	42.88	350.59	353.26		353.42	0.001552	1.73	24.79	13.80	0.41
Morsina	28	PF 1	42.88	350.48	352.91		353.36	0.005980	2.97	14.71	10.17	0.75
Morsina	27	PF 1	42.88	350.37	352.95	352.41	353.26	0.003850	2.46	17.53	11.57	0.62
Morsina	26.1		Inl Struct									
Morsina	26	PF 1	42.88	349.80	352.10		352.47	0.004067	2.71	15.82	8.78	0.64
Morsina	25	PF 1	42.88	349.75	351.95		352.40	0.005041	2.94	14.56	8.22	0.71
Morsina	24.3	PF 1	42.88	349.73	351.96	351.48	352.35	0.004269	2.75	15.58	8.95	0.67
Morsina	24.2		Bridge									
Morsina	24.1	PF 1	42.88	349.73	351.95		352.34	0.004365	2.77	15.45	8.92	0.67
Morsina	24	PF 1	42.88	349.58	351.85		352.25	0.004442	2.81	15.26	8.47	0.67
Morsina	23.1	PF 1	42.88	349.41	351.25	351.25	352.07	0.011587	4.02	10.68	6.61	1.01
Morsina	23	PF 1	42.88	349.34	351.30		351.73	0.005454	2.92	14.70	10.02	0.77
Morsina	22	PF 1	42.88	349.21	351.26		351.65	0.004647	2.76	15.51	10.10	0.71
Morsina	21	PF 1	42.88	349.06	350.97	350.84	351.56	0.007933	3.40	12.61	8.55	0.89
Morsina	20	PF 1	42.88	348.57	350.94		351.32	0.004476	2.76	15.54	8.14	0.64
Morsina	19	PF 1	42.88	348.32	350.89		351.21	0.003468	2.52	17.02	8.24	0.56
Morsina	18	PF 1	42.88	348.14	350.89		351.11	0.001980	2.08	20.66	9.84	0.46
Morsina	17	PF 1	42.88	348.04	350.82		351.09	0.002391	2.30	19.32	11.55	0.50
Morsina	16	PF 1	42.88	347.92	350.62		351.01	0.004327	2.76	15.52	7.24	0.60
Morsina	15	PF 1	42.88	347.66	350.61		350.88	0.002636	2.35	19.92	13.80	0.47
Morsina	14	PF 1	42.88	347.52	350.57	349.53	350.81	0.001925	2.22	21.38	16.32	0.45
Morsina	13.1		Culvert									
Morsina	13	PF 1	42.88	347.43	350.21		350.39	0.001627	1.91	22.51	11.20	0.43
Morsina	12.4	PF 1	42.88	347.38	350.26		350.36	0.000740	1.41	30.90	14.91	0.31
Morsina	12.3	PF 1	42.88	347.35	350.22		350.35	0.001096	1.65	27.76	14.83	0.35
Morsina	12.2	PF 1	42.88	347.32	350.22		350.35	0.000916	1.58	28.63	15.09	0.34
Morsina	12.1	PF 1	42.88	347.25	350.11		350.32	0.001847	2.07	22.65	16.80	0.45
Morsina	12	PF 1	42.88	347.14	350.02		350.28	0.002597	2.29	18.73	8.18	0.48
Morsina	11	PF 1	42.88	346.88	349.52		350.14	0.007822	3.48	12.32	5.32	0.73
Morsina	10	PF 1	42.88	346.70	349.75	348.66	349.95	0.001773	2.08	22.03	8.99	0.40
Morsina	9.1		Culvert									
Morsina	9	PF 1	42.88	346.46	349.31		349.47	0.002008	1.77	24.19	15.57	0.45
Morsina	8.2	PF 1	42.88	346.39	349.31		349.47	0.001477	1.75	24.45	11.07	0.38
Morsina	8.1	PF 1	42.88	346.37	348.79		349.33	0.007038	3.25	13.19	6.85	0.75
Morsina	8	PF 1	42.88	346.35	348.79		349.22	0.005377	2.91	14.71	8.59	0.71
Morsina	7.1	PF 1	42.88	346.33	348.58		349.15	0.007258	3.35	12.81	7.29	0.81
Morsina	7	PF 1	42.88	346.32	348.46		349.04	0.006100	3.44	13.06	7.72	0.82
Morsina	6.2	PF 1	42.88	346.30	348.61	348.13	348.88	0.003940	2.32	18.51	14.10	0.65
Morsina	6.1		Inl Struct									
Morsina	6	PF 1	42.88	345.76	347.69	347.69	348.35	0.011190	3.59	11.96	9.06	1.00
Morsina	5	PF 1	42.88	345.61	347.73	347.36	348.14	0.005851	2.84	15.33	15.89	0.75
Morsina	4.1		Inl Struct									
Morsina	4	PF 1	42.88	345.04	347.70		347.96	0.003908	2.26	18.98	13.97	0.62
Morsina	3.1	PF 1	42.88	344.97	347.45		347.84	0.004866	2.75	15.59	9.61	0.69
Morsina	3	PF 1	42.88	344.92	347.05	346.85	347.69	0.008076	3.55	12.08	6.84	0.85
Morsina	2.2	PF 1	42.88	344.87	346.75	346.75	347.52	0.010618	3.89	11.03	7.23	1.01
Morsina	2.1		Inl Struct									
Morsina	2	PF 1	42.88	344.36	346.34	346.22	346.97	0.008336	3.53	12.14	7.78	0.90
Morsina	1.7	PF 1	42.88	344.24	346.12	346.12	346.80	0.010095	3.67	11.68	8.56	1.00
Morsina	1.6	PF 1	42.88	344.11	345.96	345.96	346.67	0.009984	3.73	11.49	8.10	1.00
Morsina	1.5	PF 1	42.88	343.90	346.30		346.48	0.001763	1.88	22.78	12.08	0.44
Morsina	1.4	PF 1	42.88	343.71	346.17		346.45	0.002777	2.31	18.59	10.59	0.56
Morsina	1.3	PF 1	42.88	343.58	346.11		346.41	0.003818	2.43	17.65	11.52	0.63
Morsina	1.2	PF 1	42.88	343.44	346.12		346.36	0.002854	2.20	19.51	12.03	0.55
Morsina	1.1	PF 1	42.88	343.18	346.13		346.29	0.001554	1.79	24.75	15.91	0.42
Morsina	1	PF 1	42.88	342.86	346.20	345.22	346.24	0.000344	0.98	55.58	39.95	0.19

COMUNE DI SANT'ANGELO IN VADO (PU)

*MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO: MESSA IN SICUREZZA DEL TRATTO LUNGO IL
TORRENTE MORSINA ED APSA*

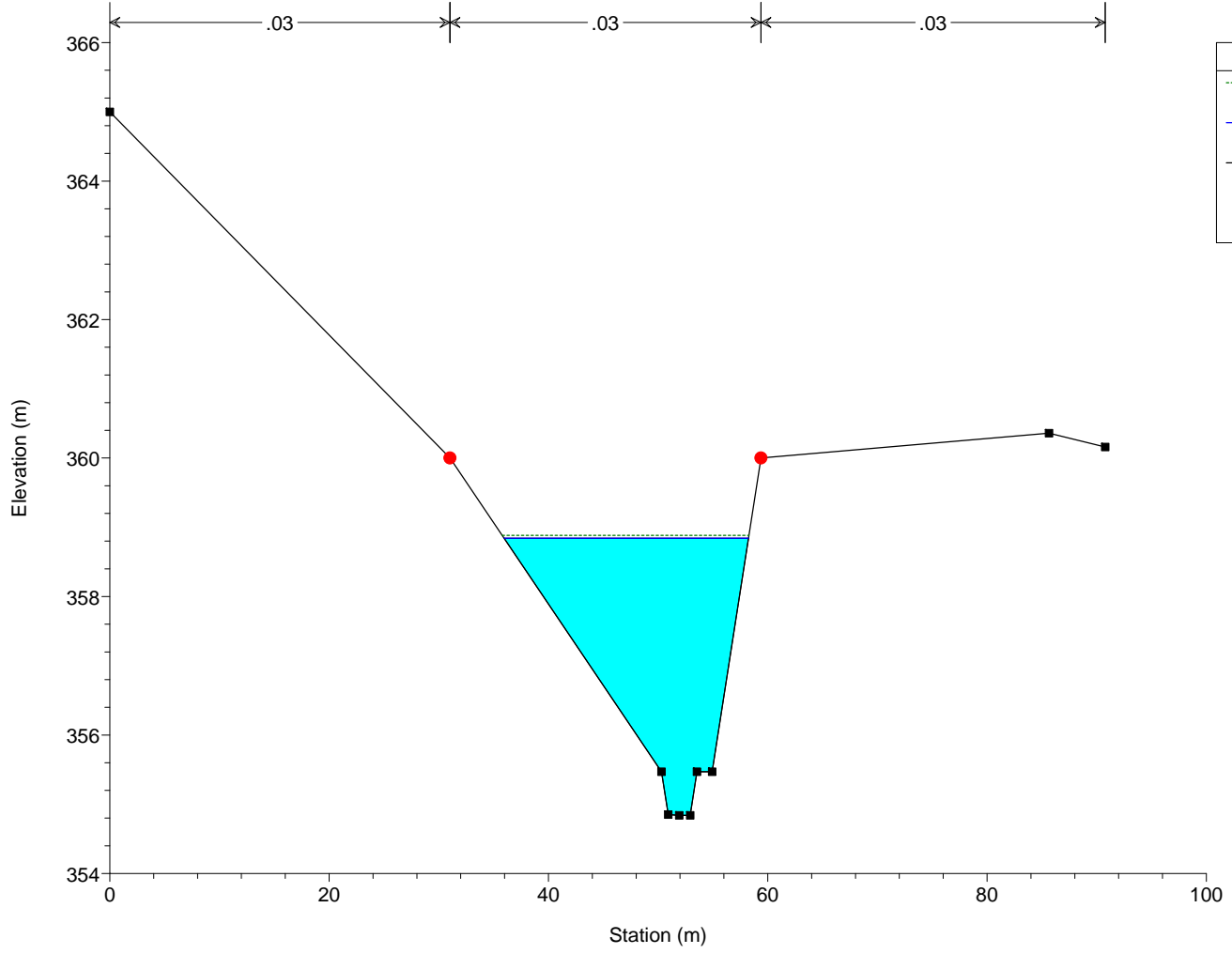
*Interventi relativi al primo stralcio funzionale: sistemazione tratto terminale torrente Morsina e messa in sicurezza
versante in destra idraulica torrente Apsa - Lotto 1*

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

ALLEGATO.04

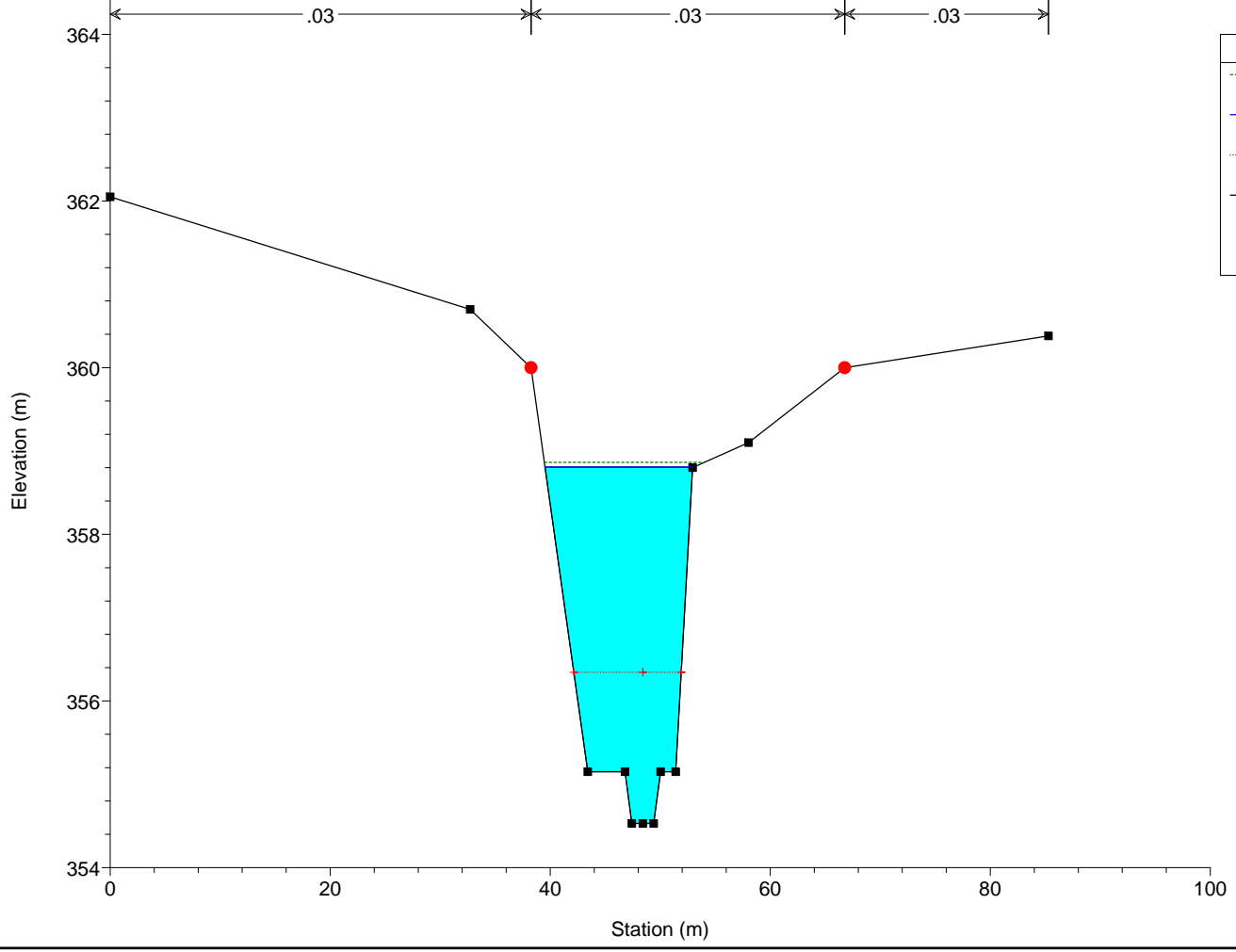
SEZIONI, GRAFICI E TABELLE DEI RISULTATI DELLA VERIFICA IDRAULICA – POST-OPERAM

Morsina Plan: Morsina
RS = 41 SEZIONE 1



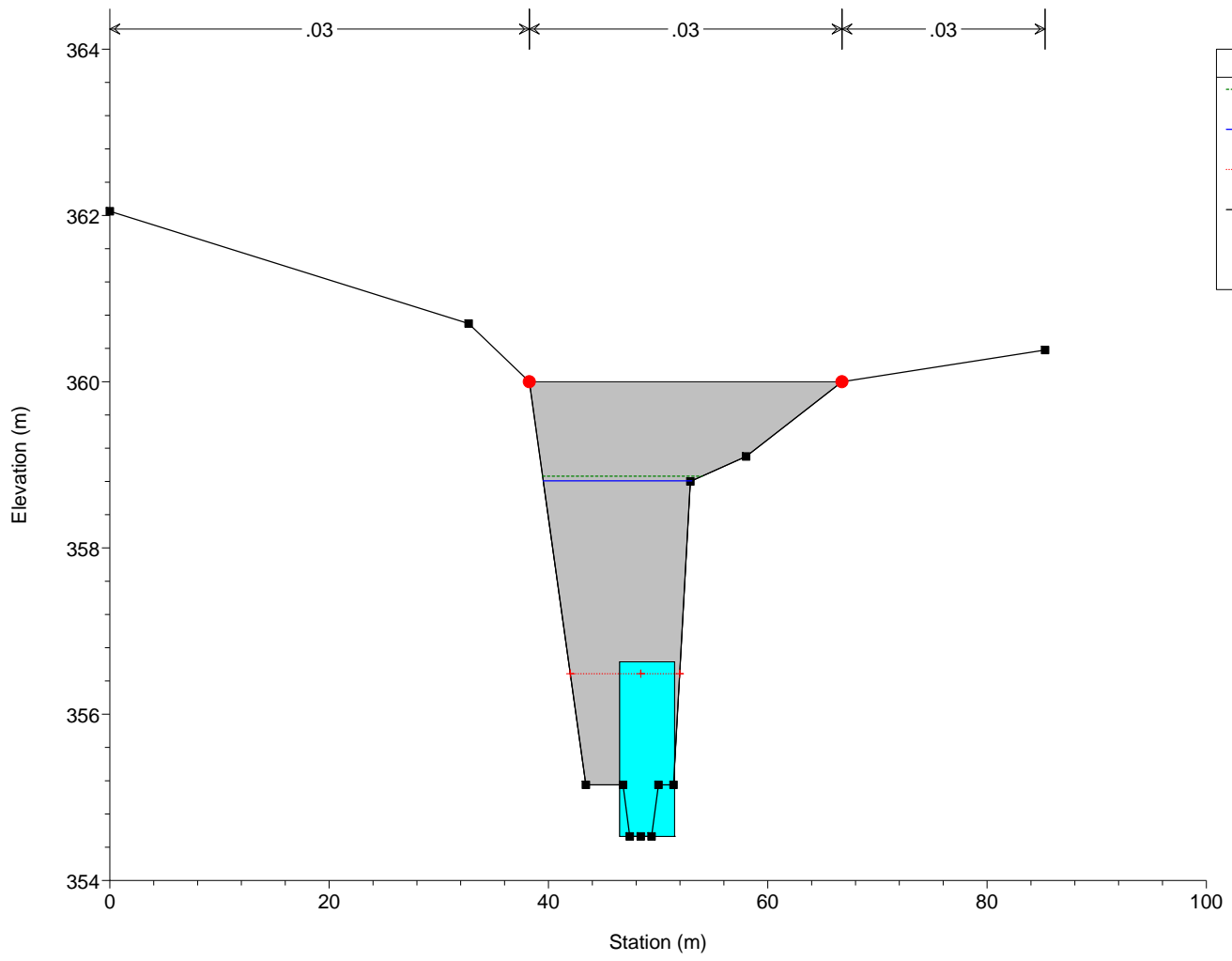
Legend	
EG PF 1	(Dotted line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Solid black line with square marker)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 40 SEZIONE 2



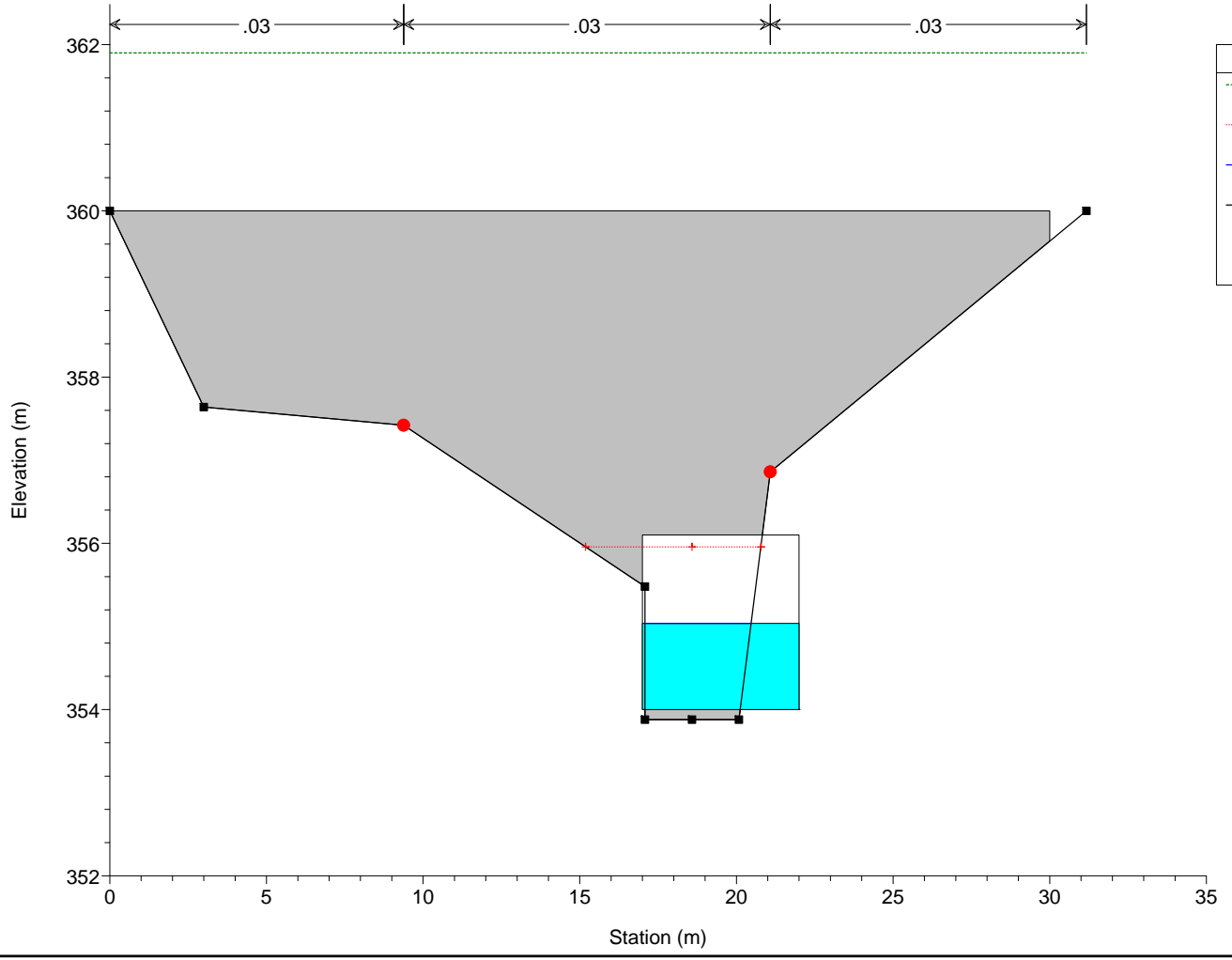
Legend	
EG PF 1	(Dotted line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Crit PF 1	(Dotted red line with crosshair)
Ground	(Solid black line with square marker)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 39.1 Culv PONTE n.3



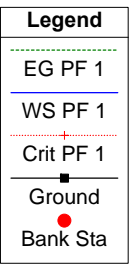
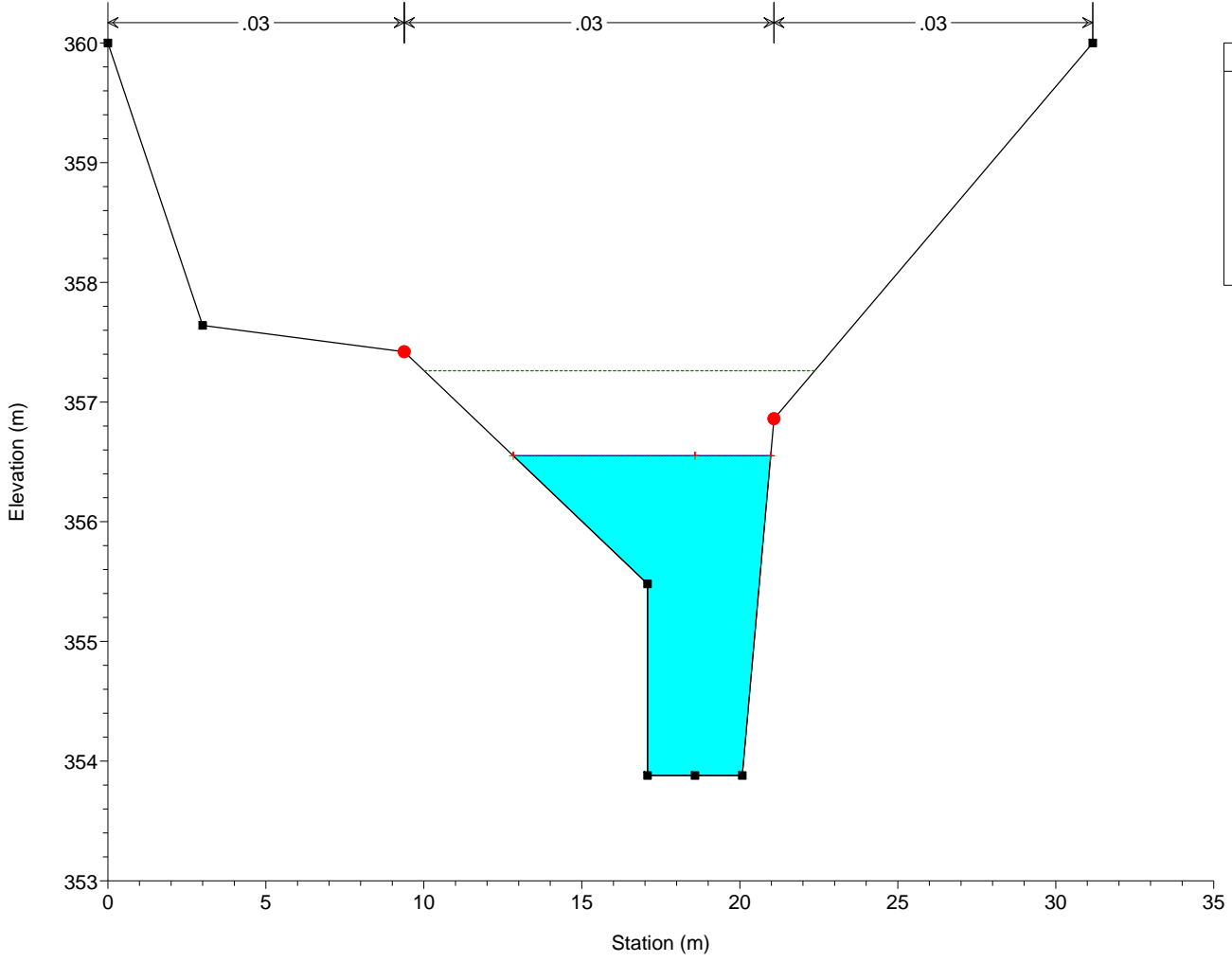
Legend	
EG PF 1	---
WS PF 1	—
Crit PF 1	-+ -
Ground	—■—
Bank Sta	●

Morsina Plan: Morsina
RS = 39.1 Culv PONTE n.3

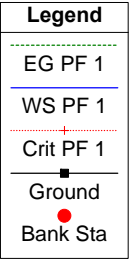
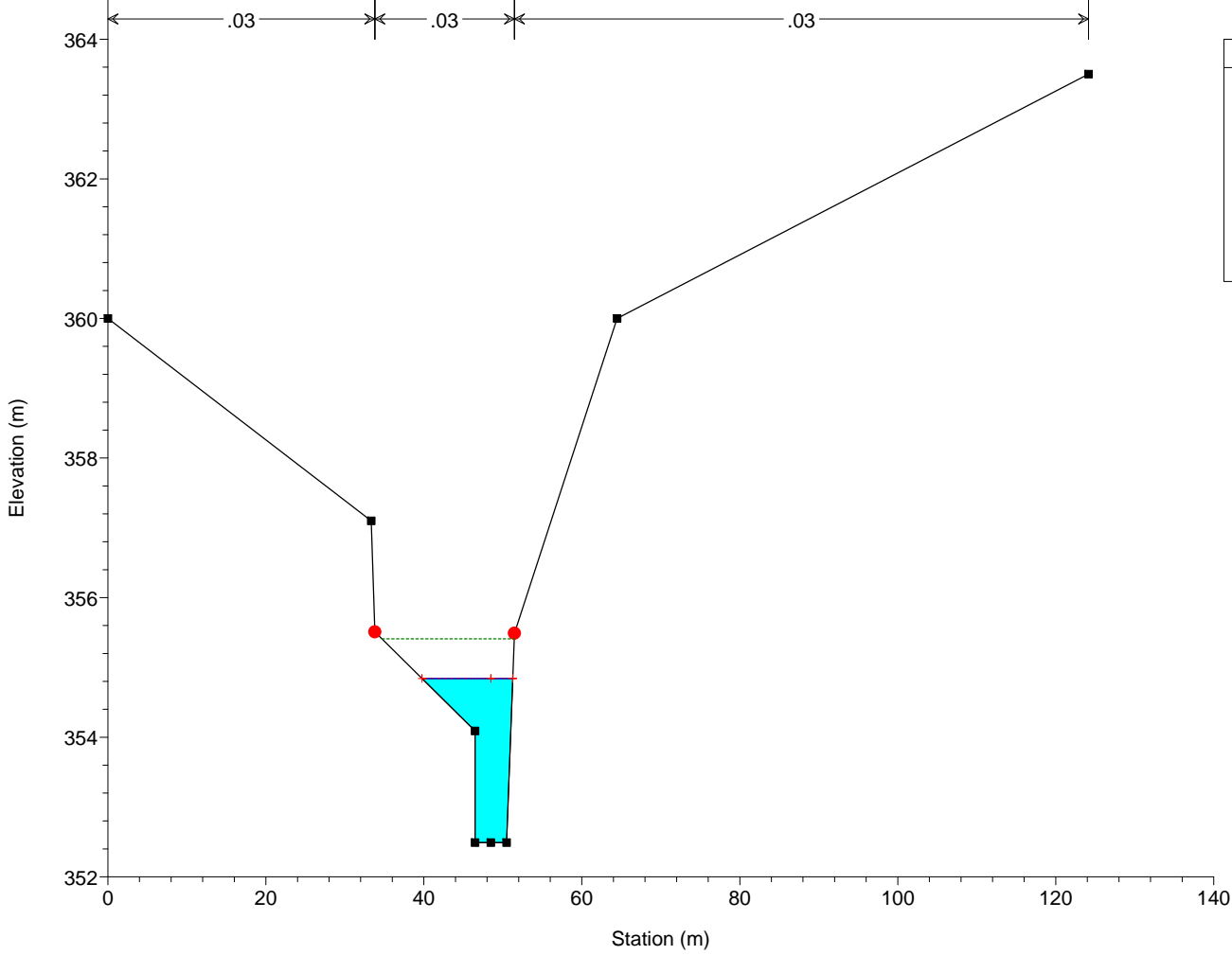


Legend	
EG PF 1	---
Crit PF 1	-+ -
WS PF 1	—
Ground	—■—
Bank Sta	●

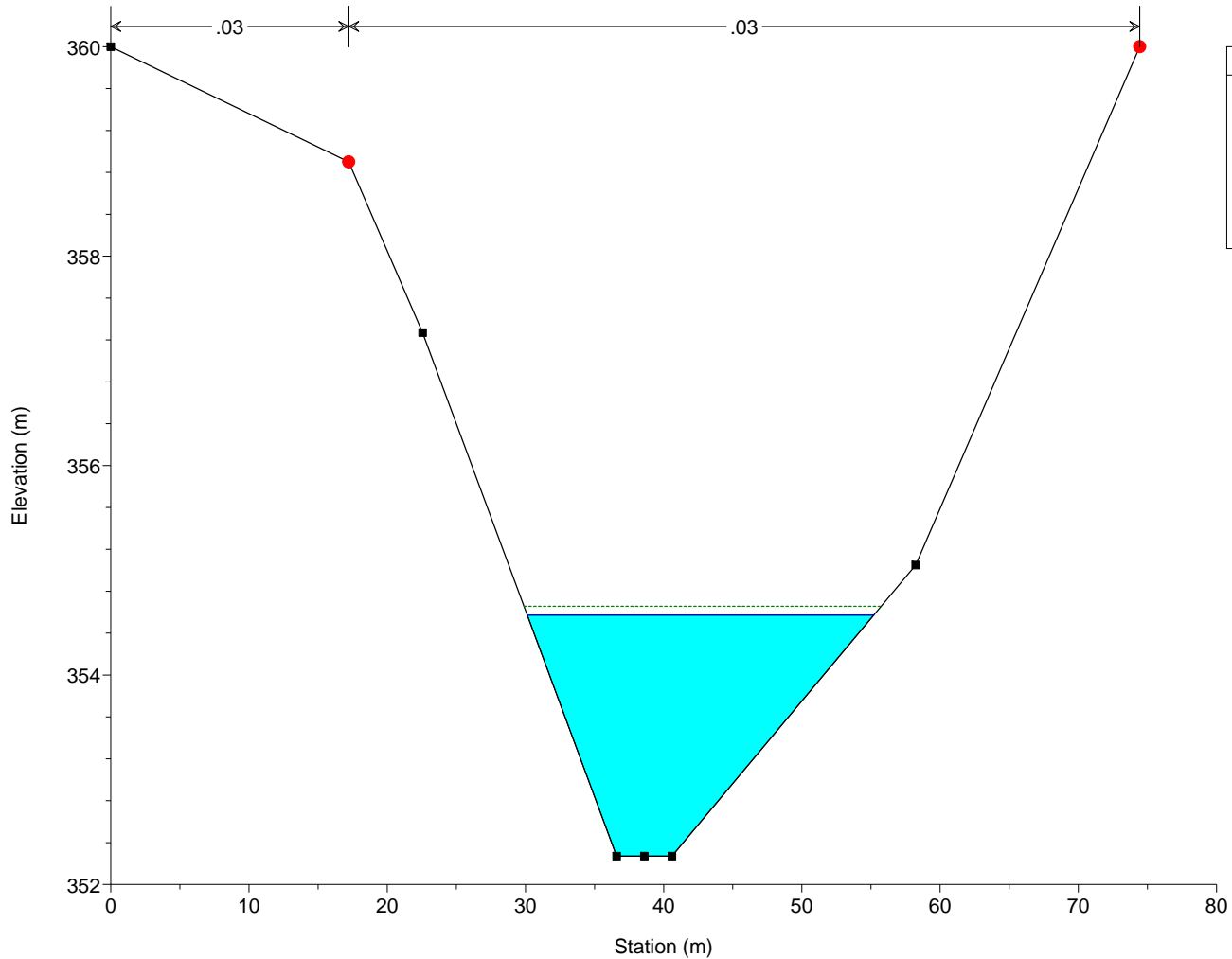
Morsina Plan: Morsina
RS = 39 SEZIONE 3



Morsina Plan: Morsina
RS = 38 SEZIONE 4

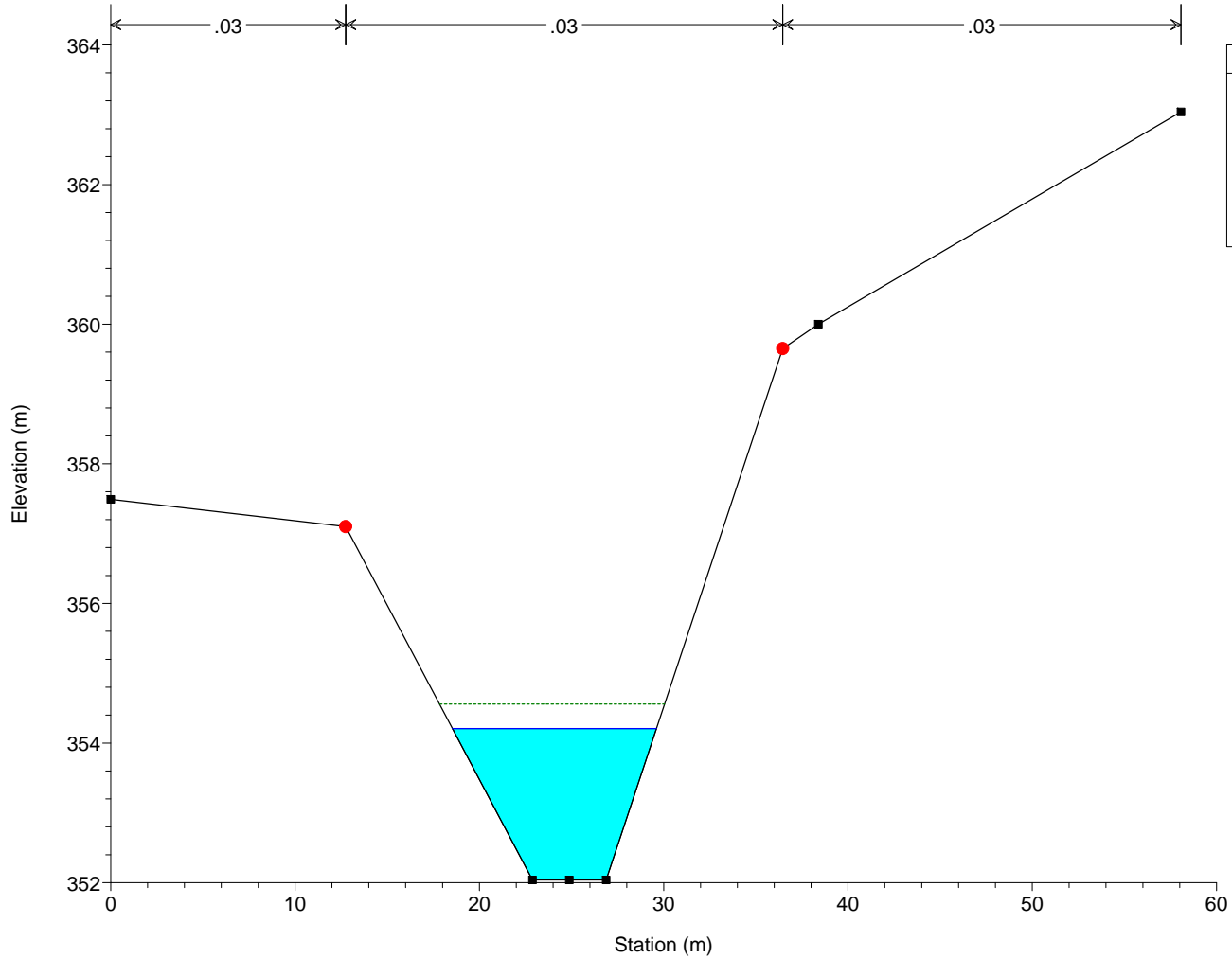


Morsina Plan: Morsina
RS = 37 SEZIONE 5



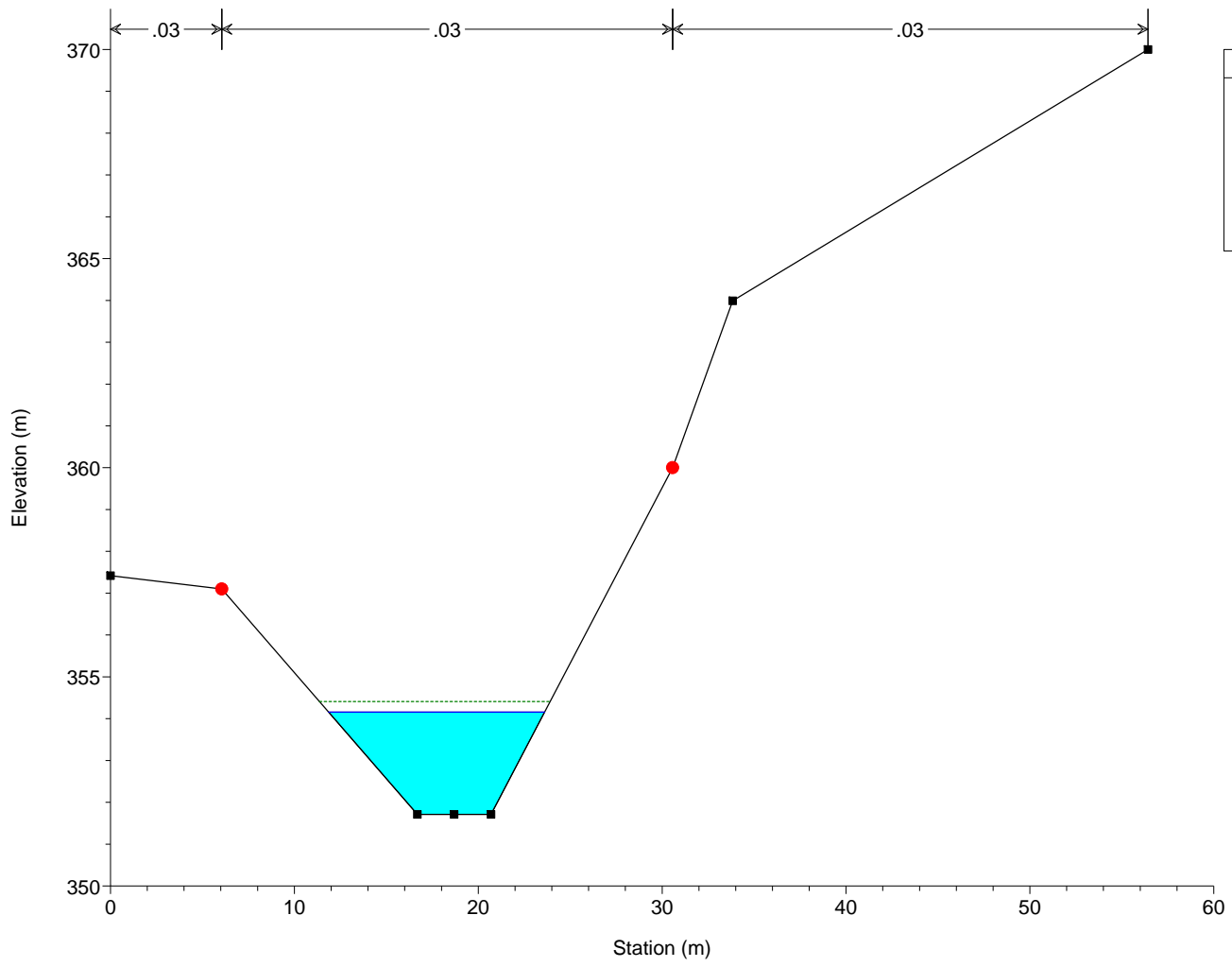
Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 36 SEZIONE 6



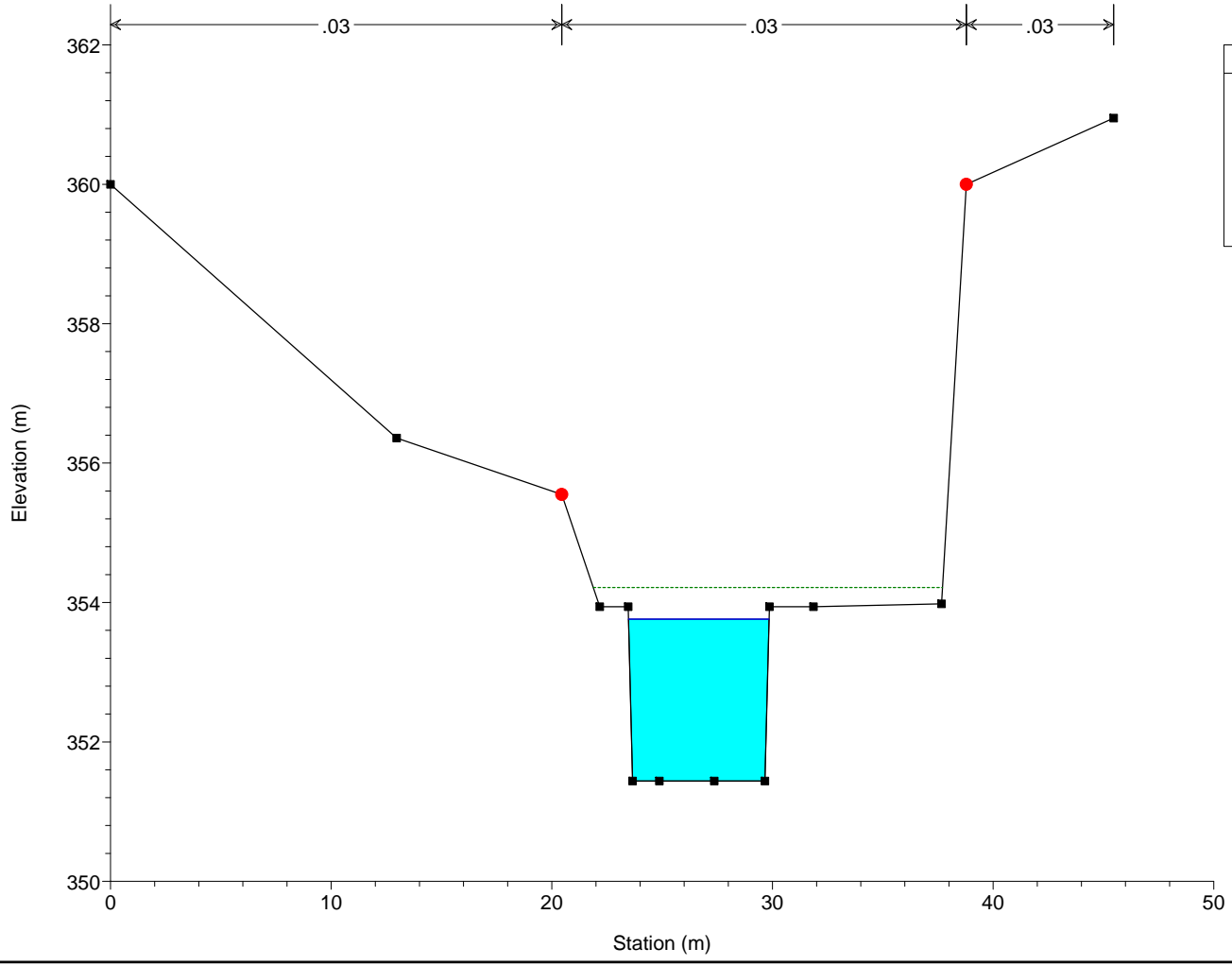
Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 35 SEZIONE 7



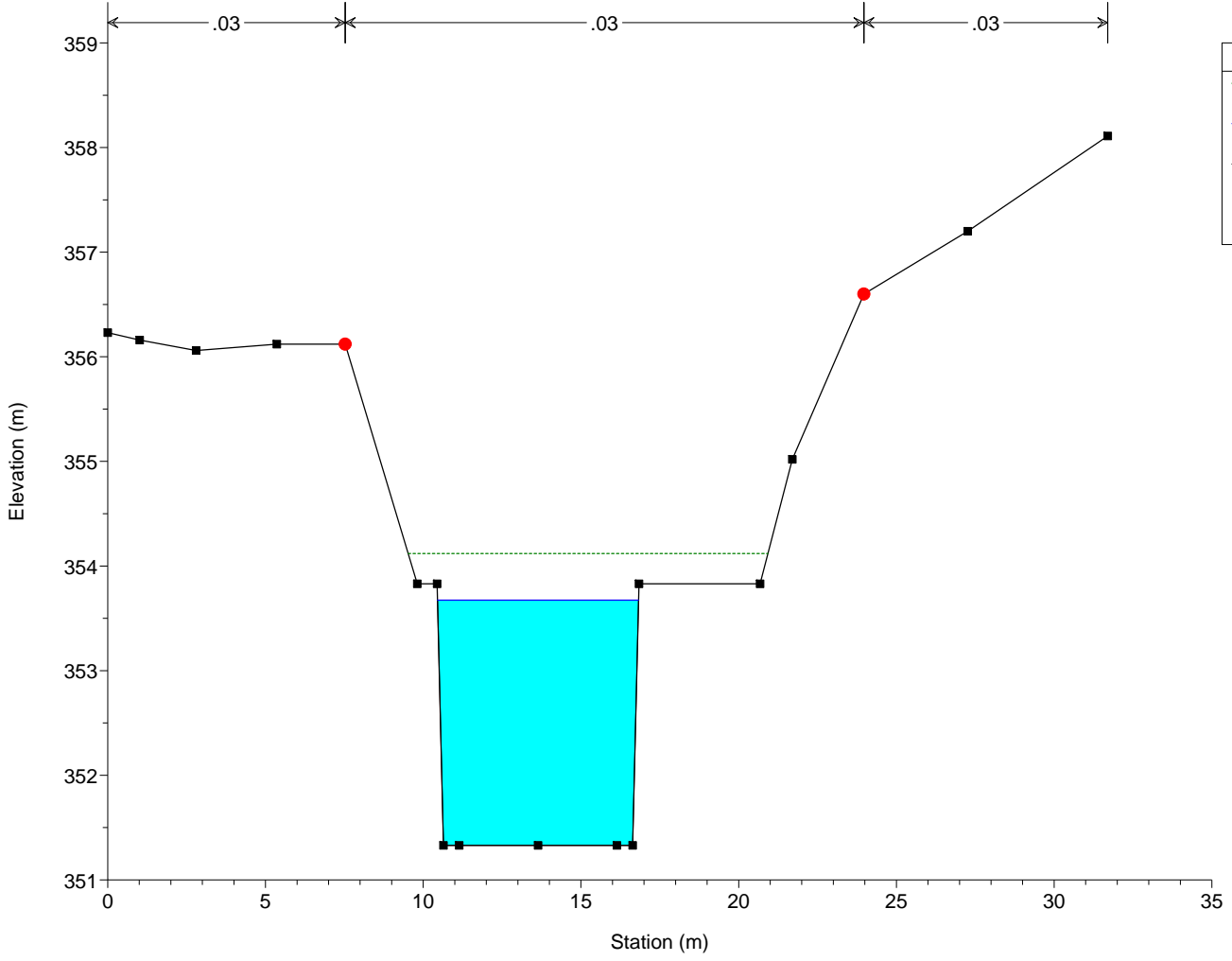
Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Square marker)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 34.1 SEZIONE B1

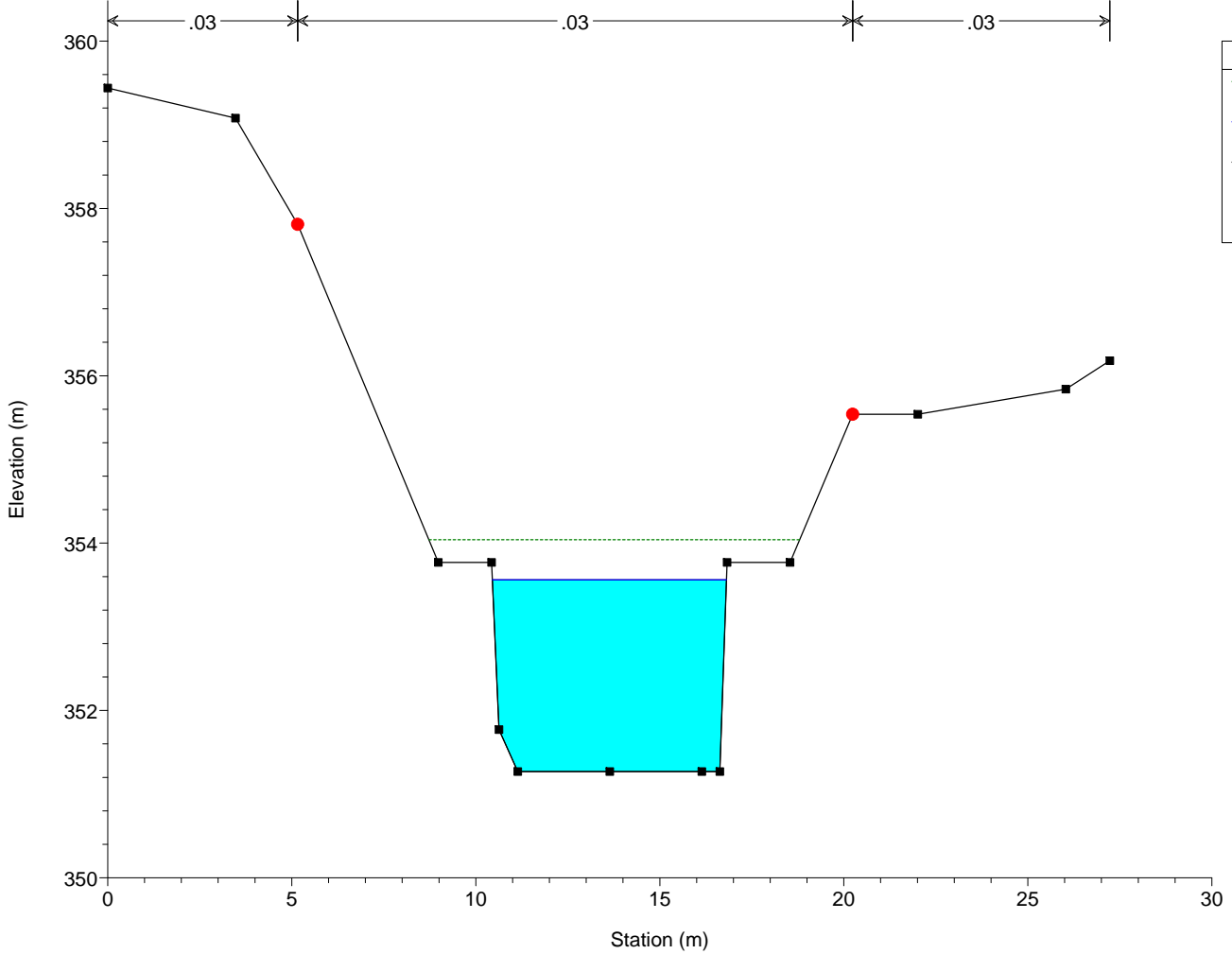


Legend	
EG PF 1	(Dashed line)
WS PF 1	(Solid line)
Ground	(Square marker)
Bank Sta	(Red dot)

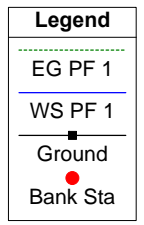
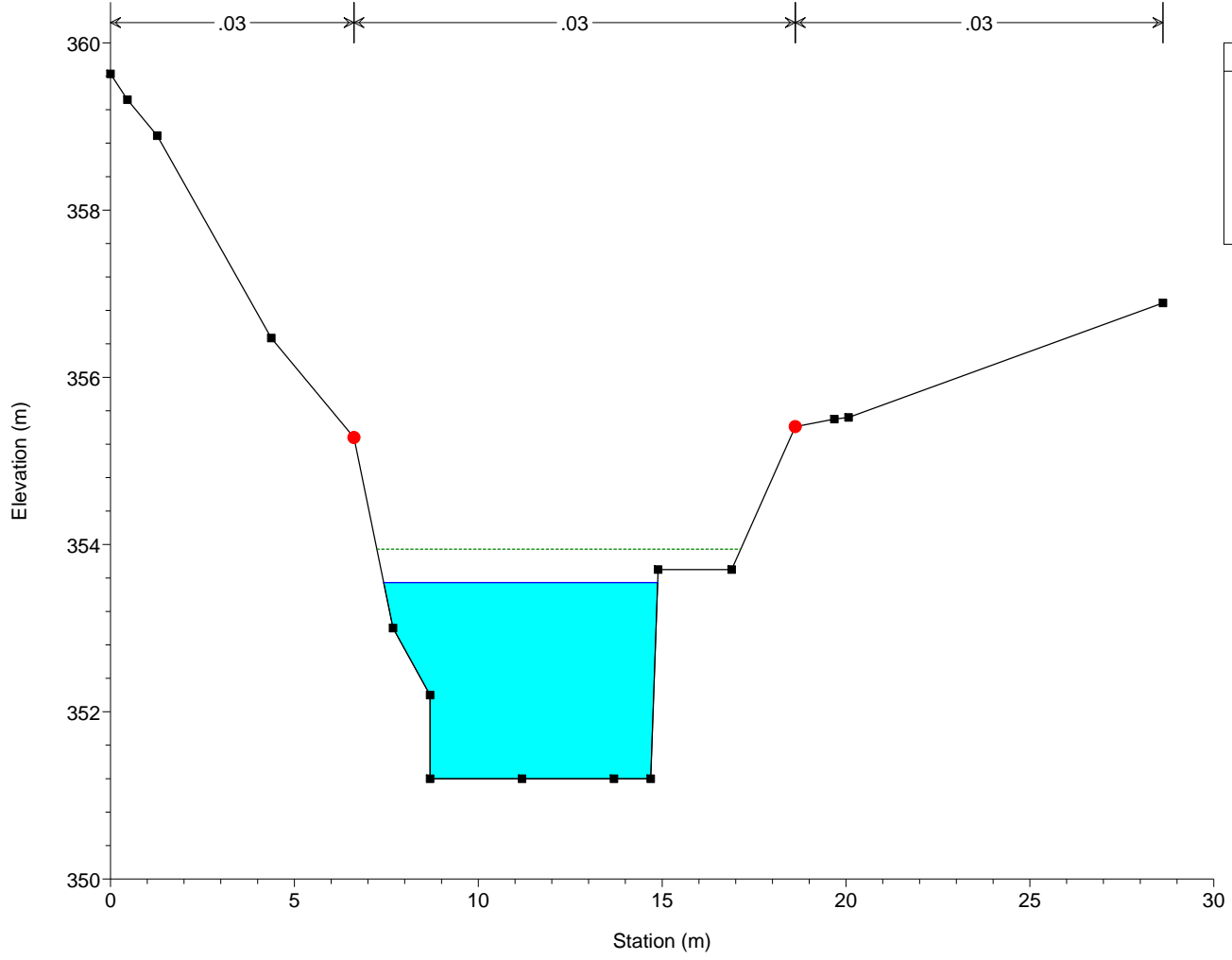
Morsina Plan: Morsina
RS = 34 SEZIONE B2



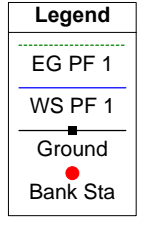
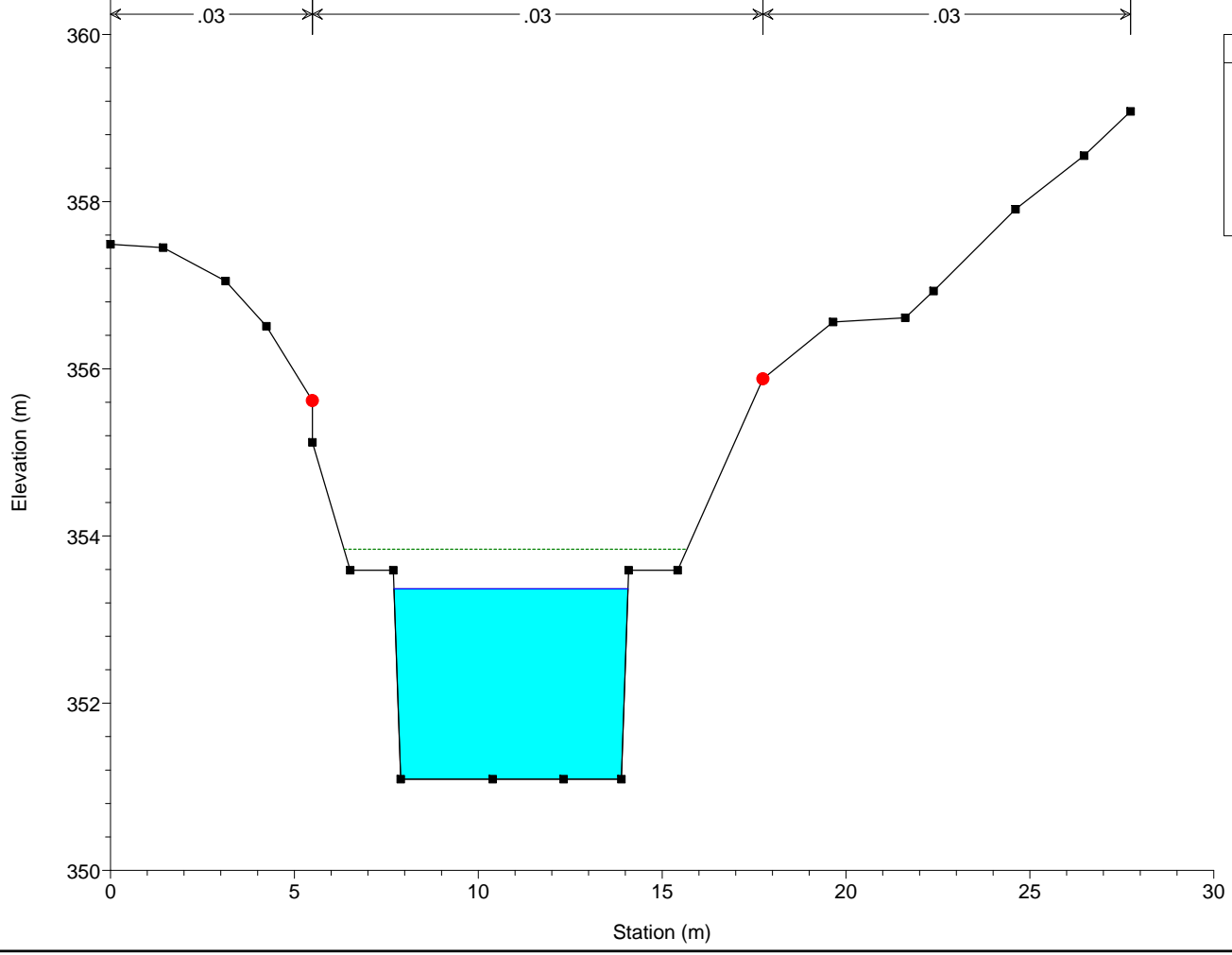
Morsina Plan: Morsina
RS = 33.1 SEZIONE B3



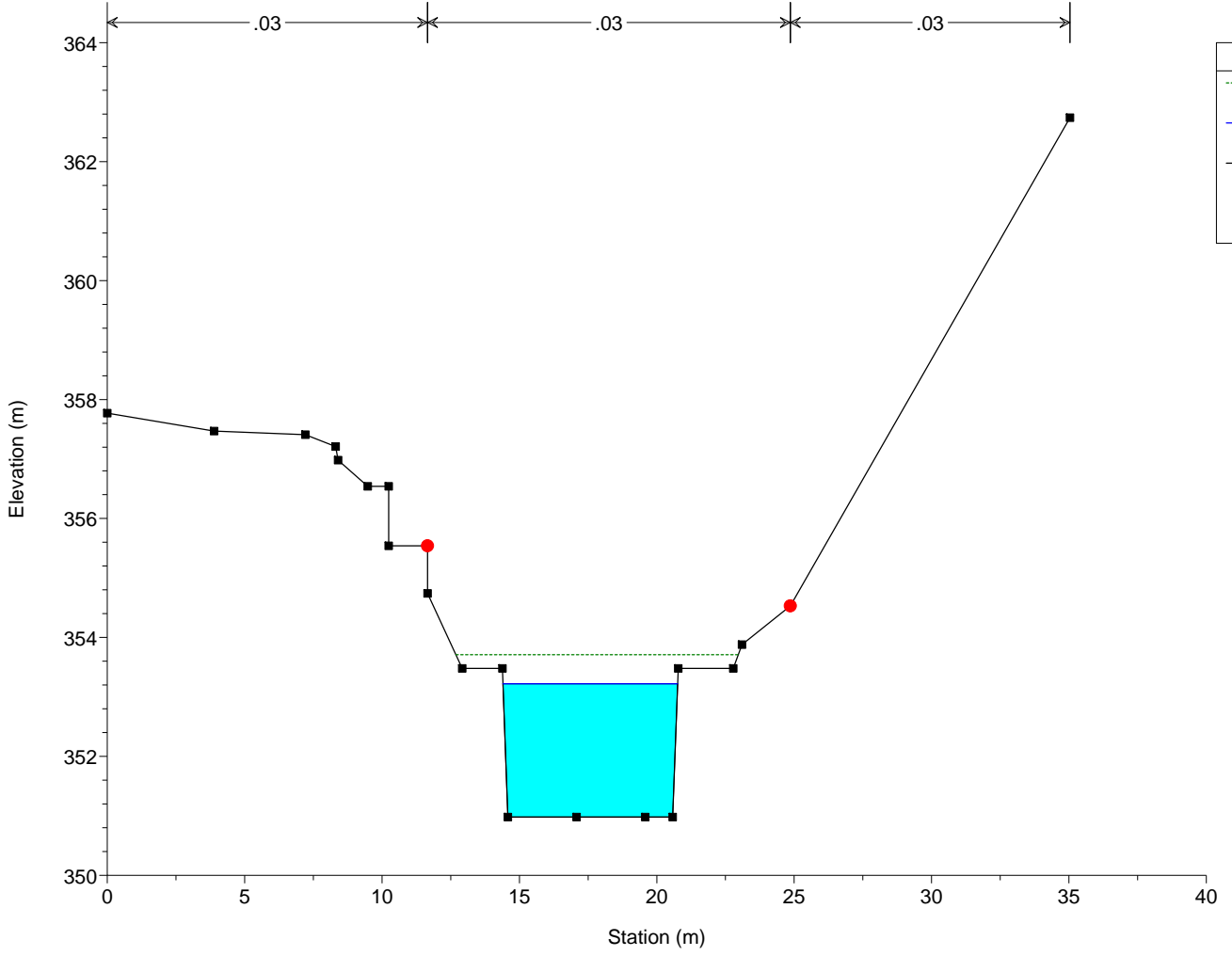
Morsina Plan: Morsina
RS = 33 SEZIONE B4



Morsina Plan: Morsina
RS = 32 SEZIONE B5

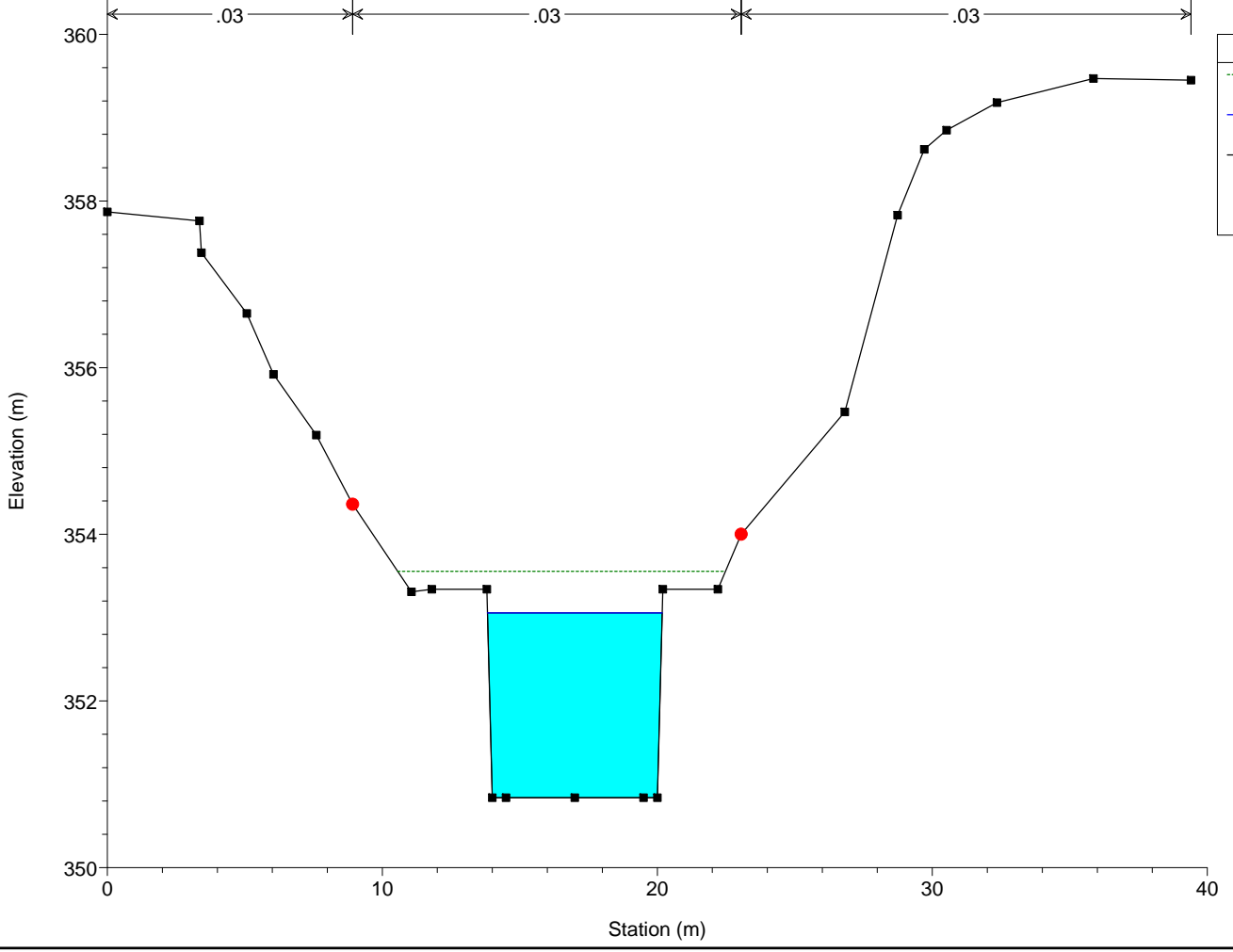


Morsina Plan: Morsina
RS = 31 SEZIONE B6



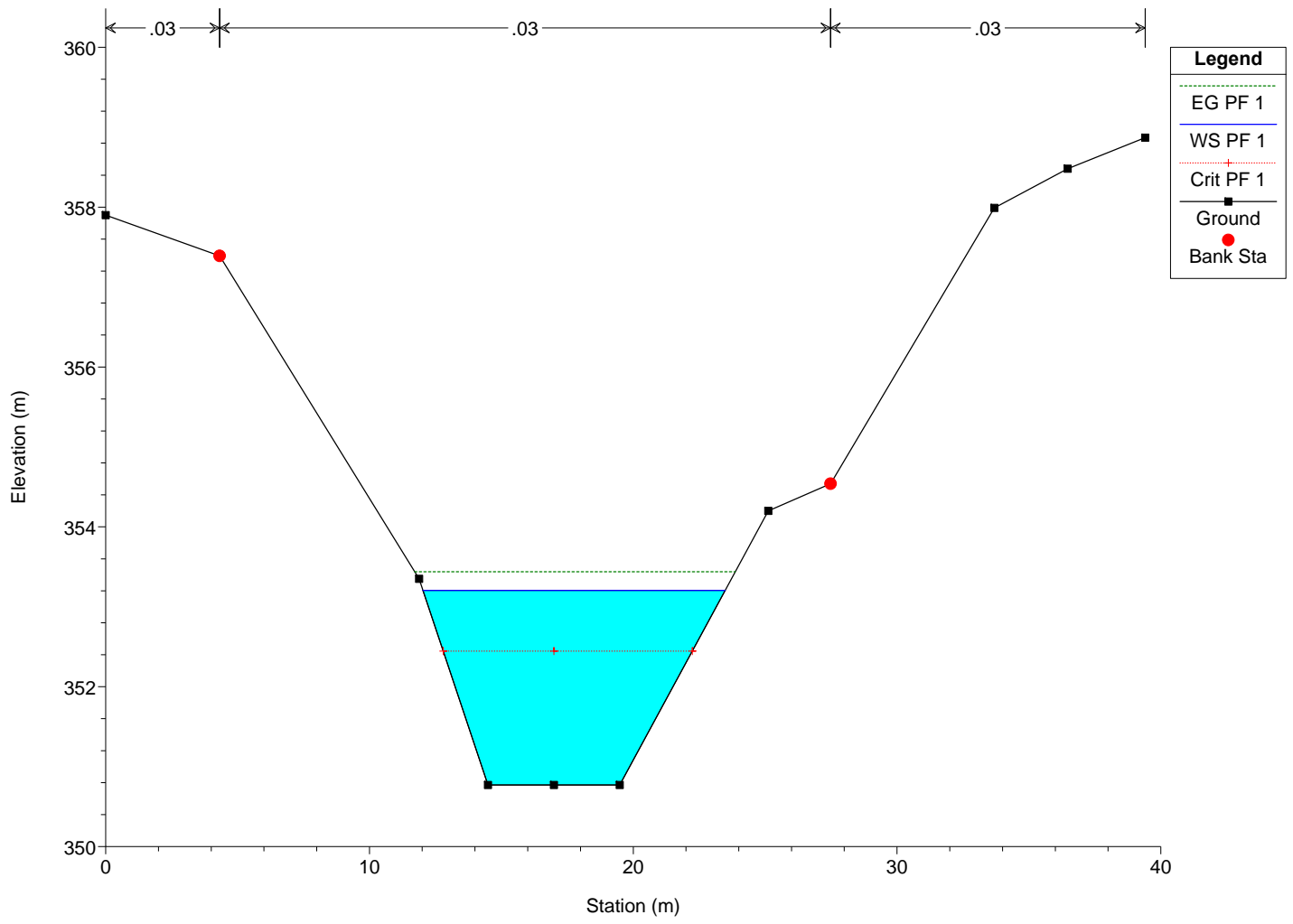
Legend	
EG PF 1	(Dotted Green Line)
WS PF 1	(Blue Line)
Ground	(Black Line with Square Marker)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 30 SEZIONE B7

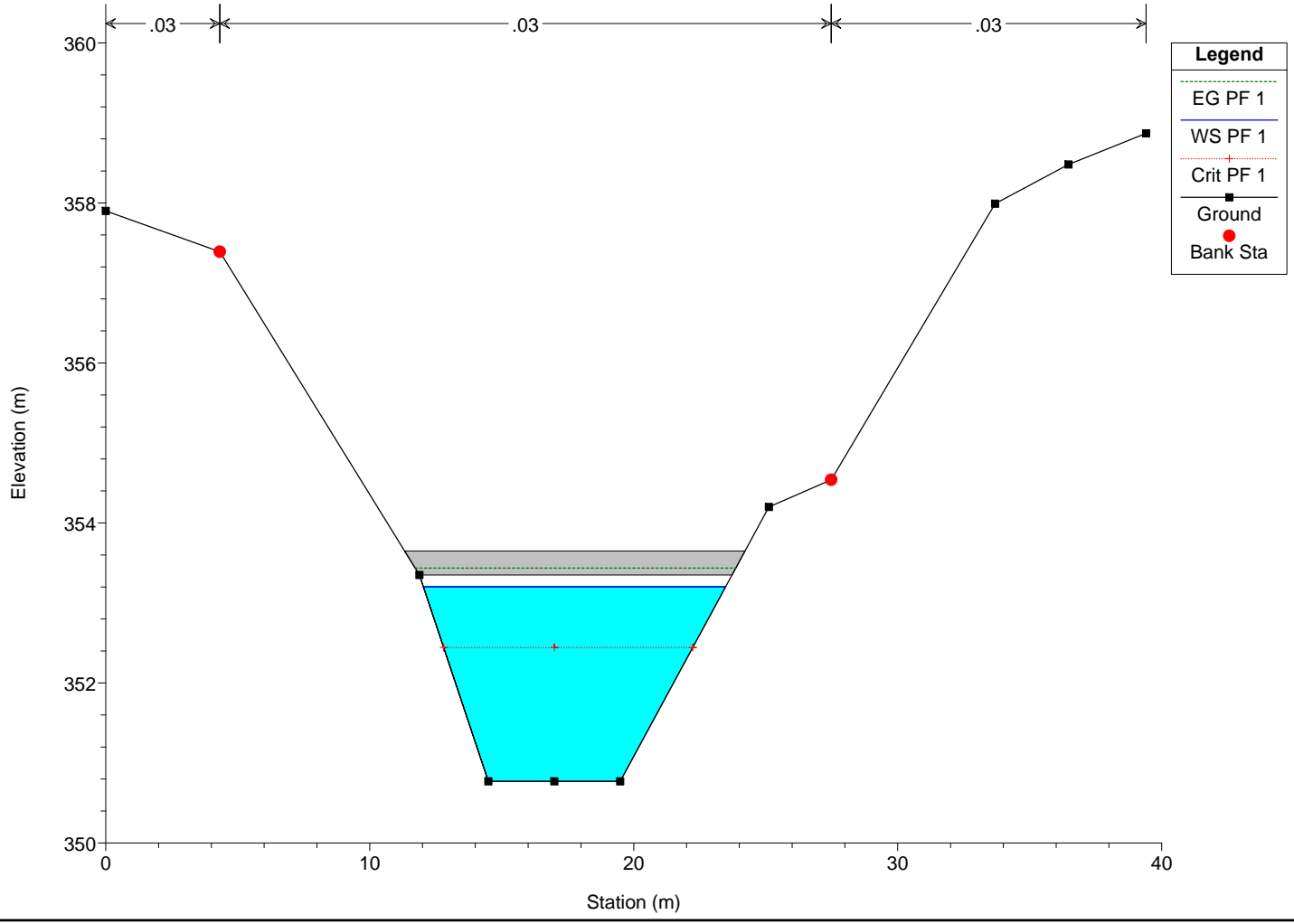


Legend	
EG PF 1	(Dotted Green Line)
WS PF 1	(Blue Line)
Ground	(Black Line with Square Marker)
Bank Sta	(Red Dot)

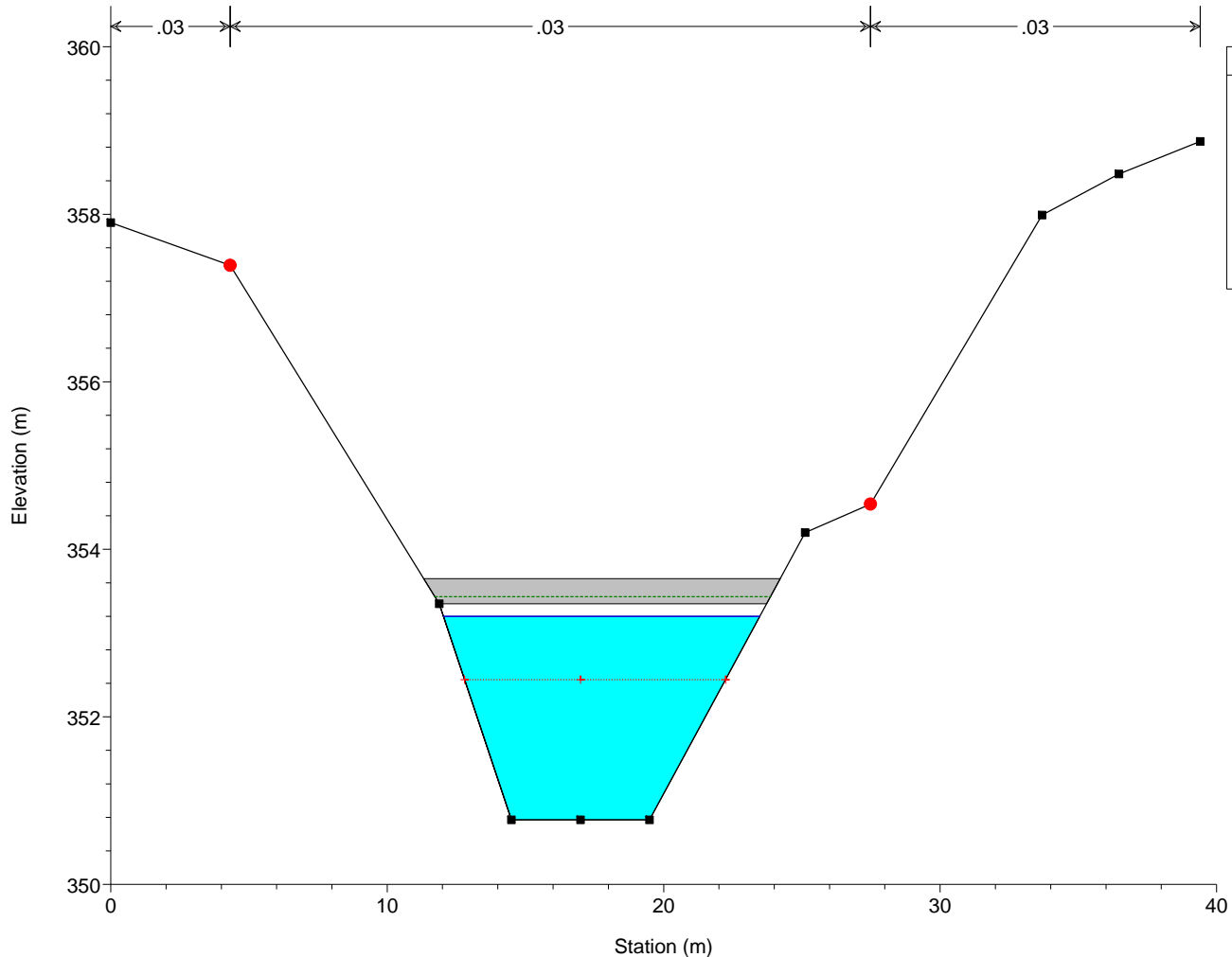
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.4 SEZIONE B8



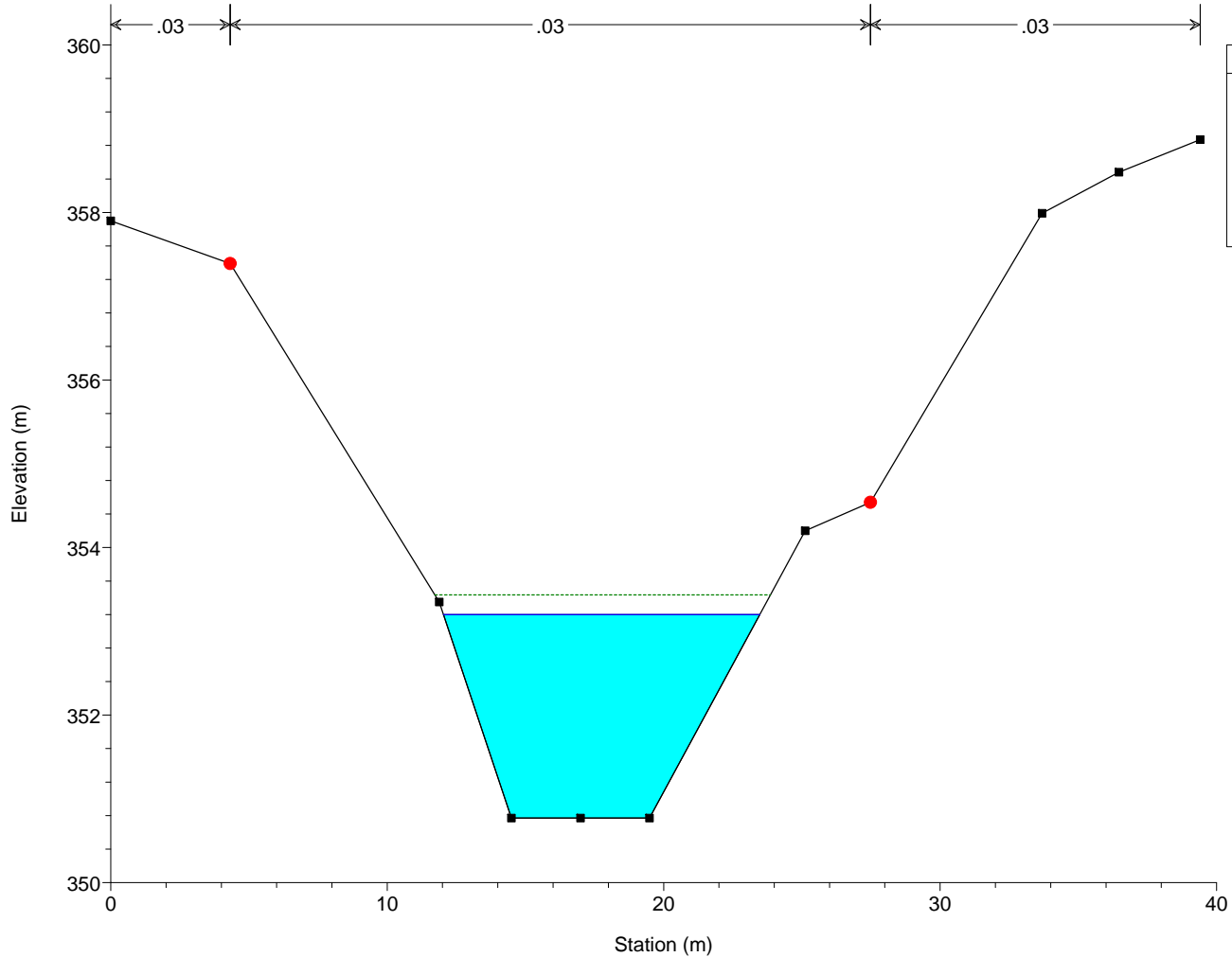
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.3 BR PASSERELLA n.1



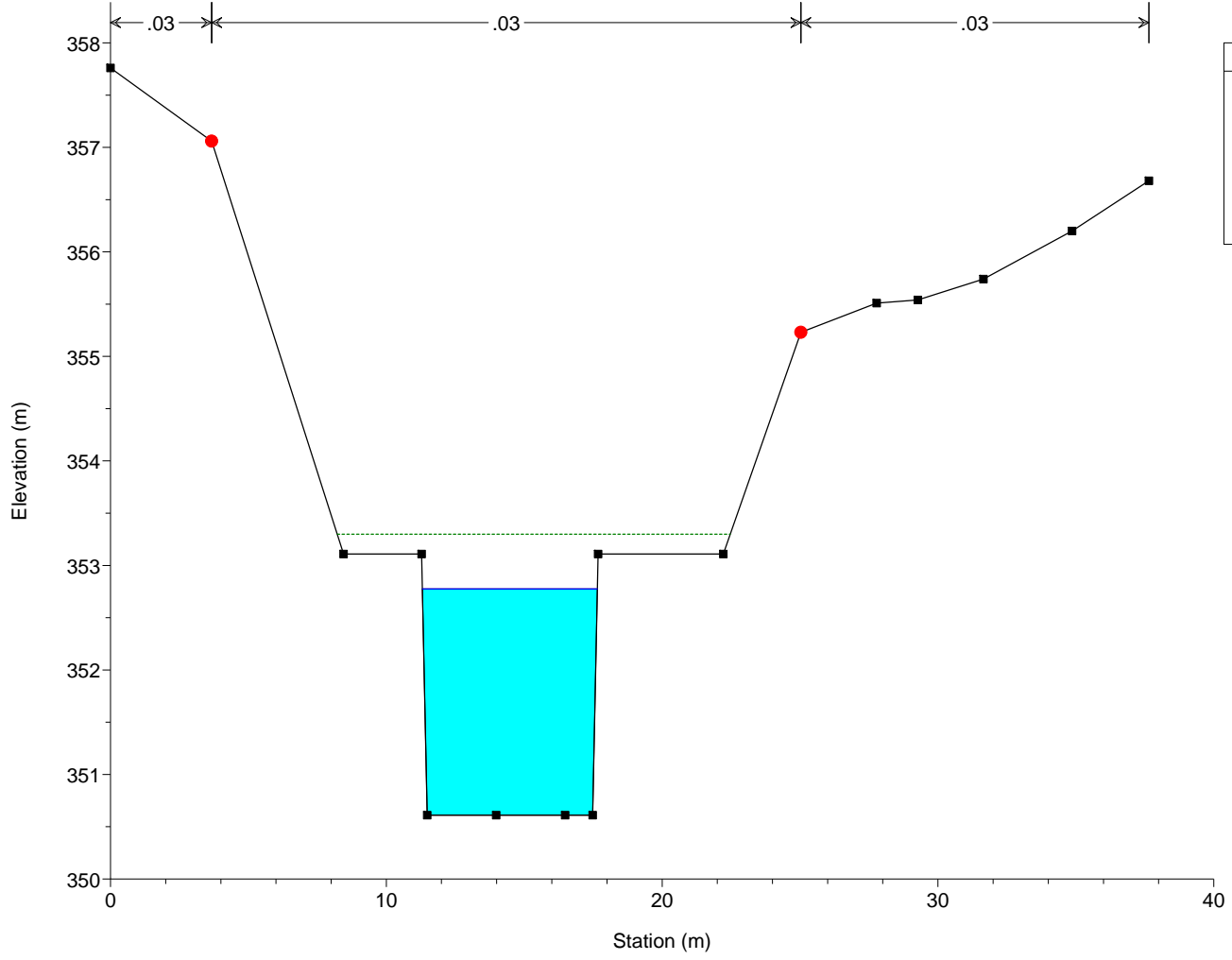
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.3 BR PASSERELLA n.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 29.2 SEZIONE B9.1



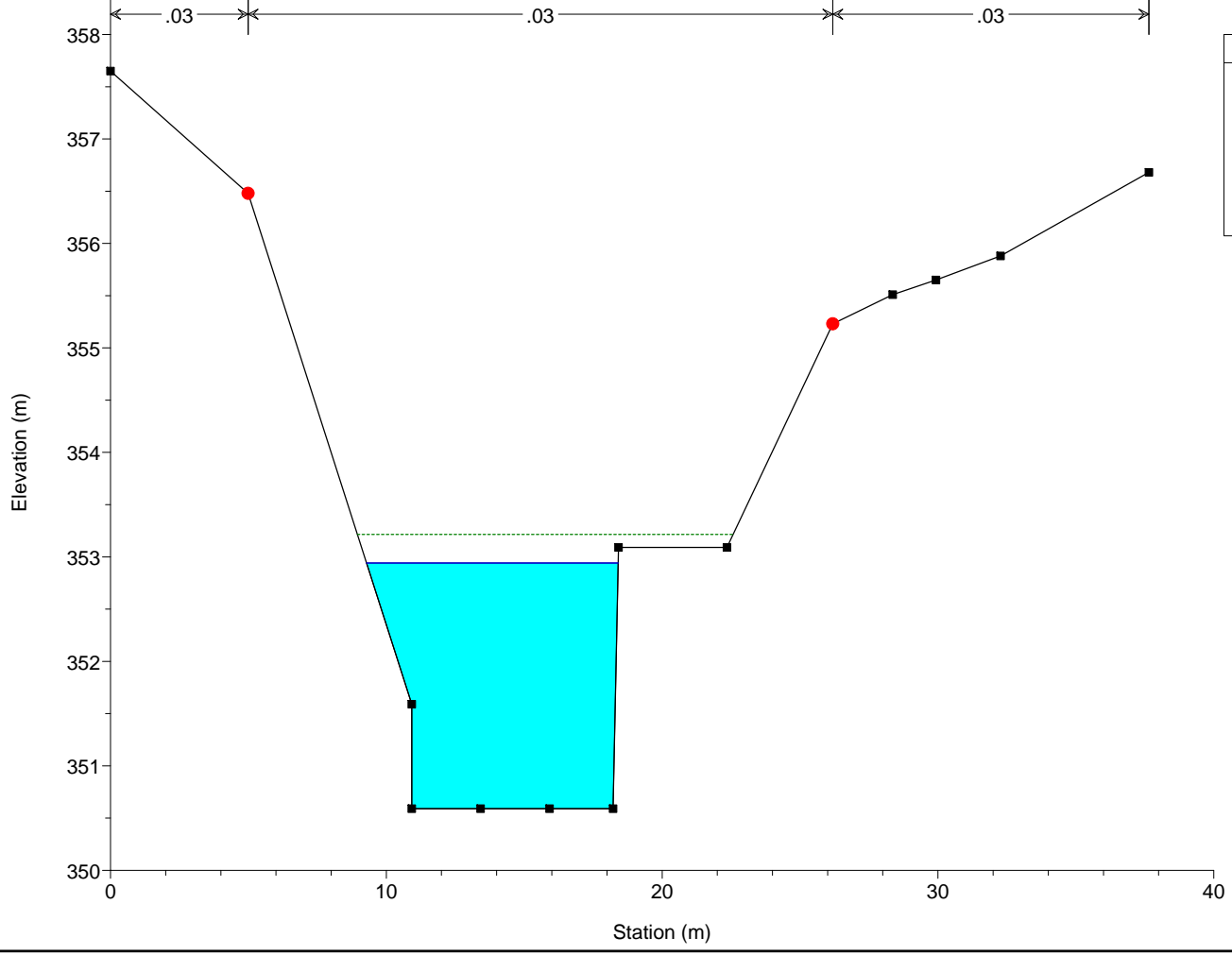
Morsina Plan: Morsina
RS = 29.1 SEZIONE B9



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

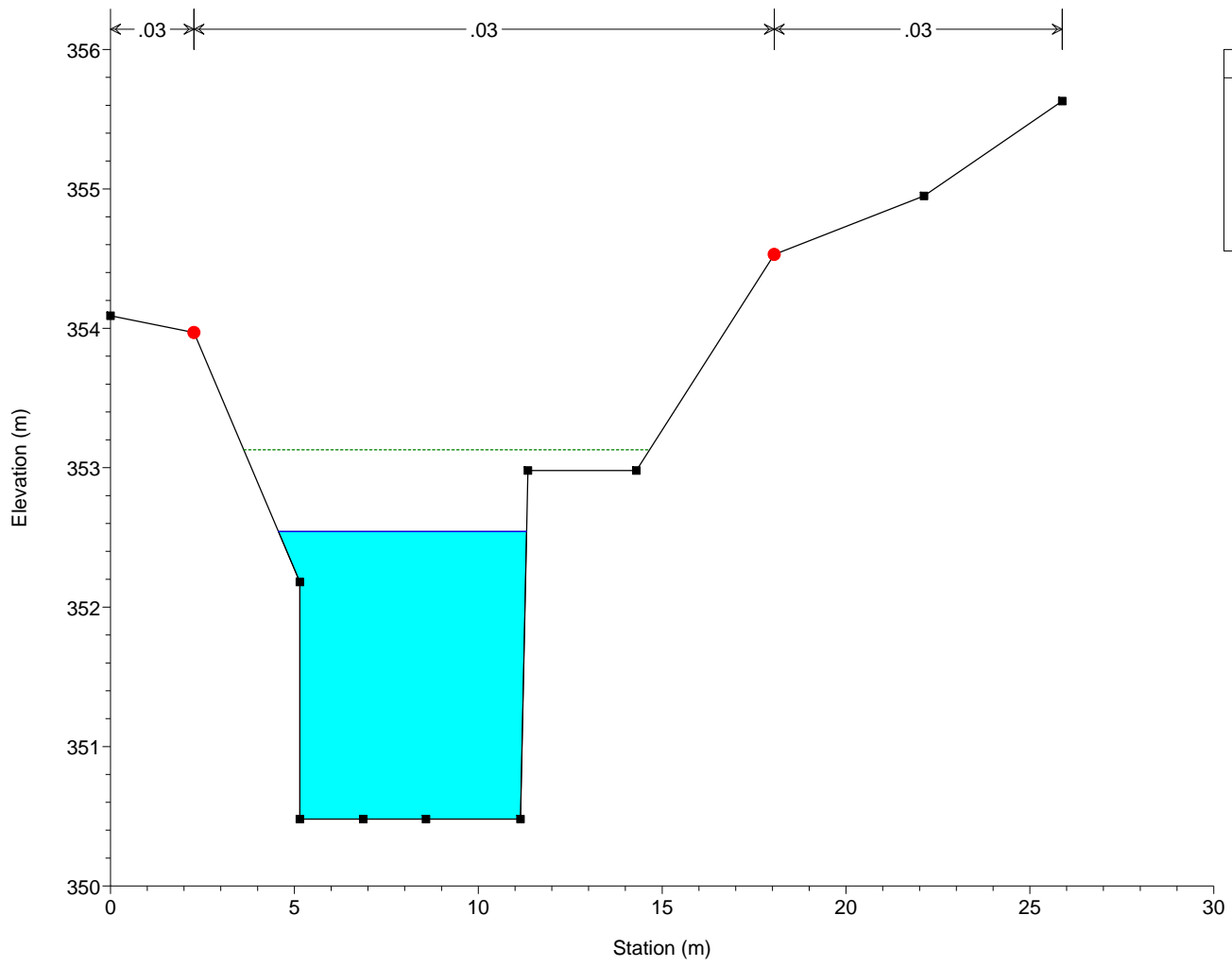
Morsina Plan: Morsina
RS = 29 SEZIONE B10



Legend

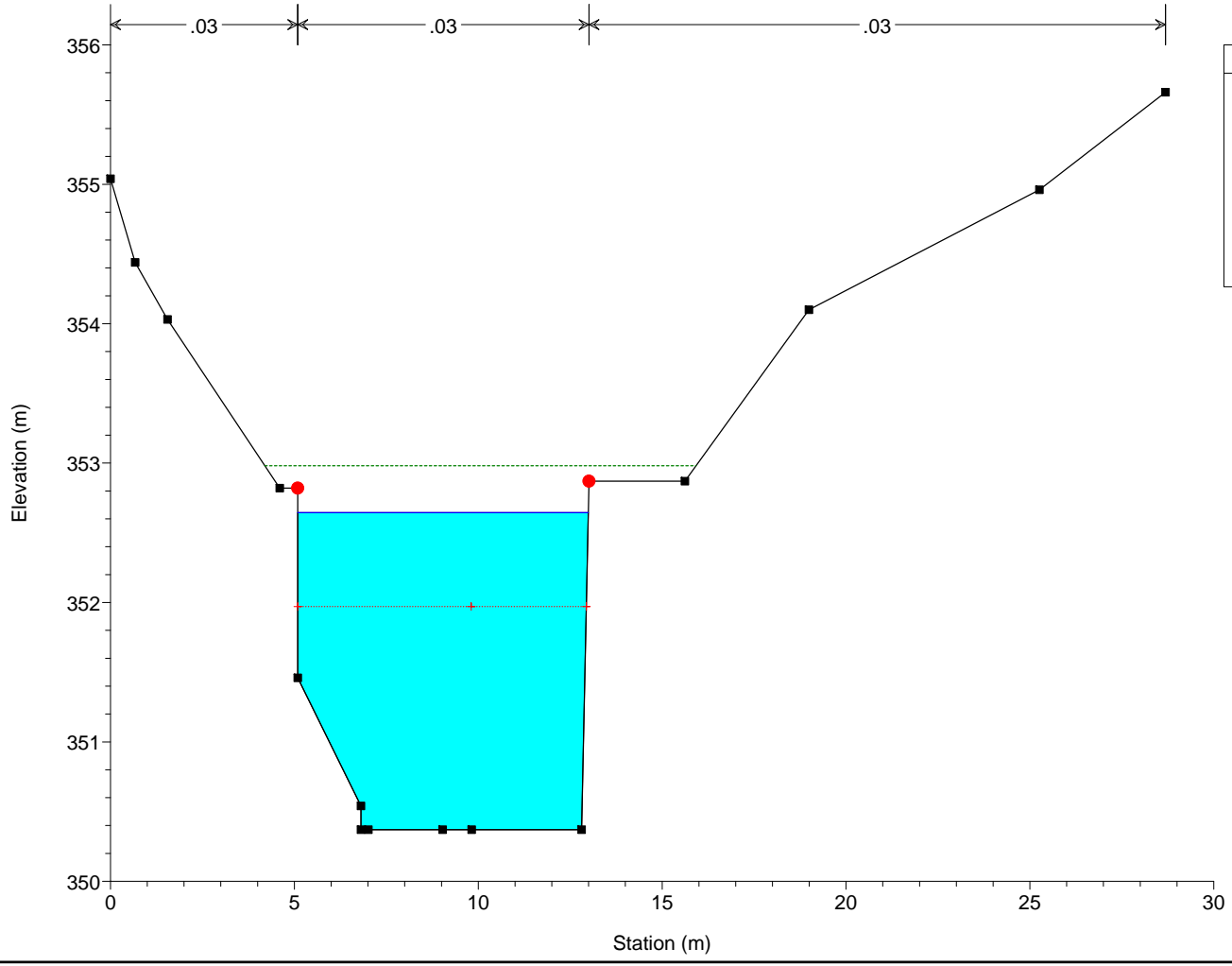
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 28 SEZIONE B11



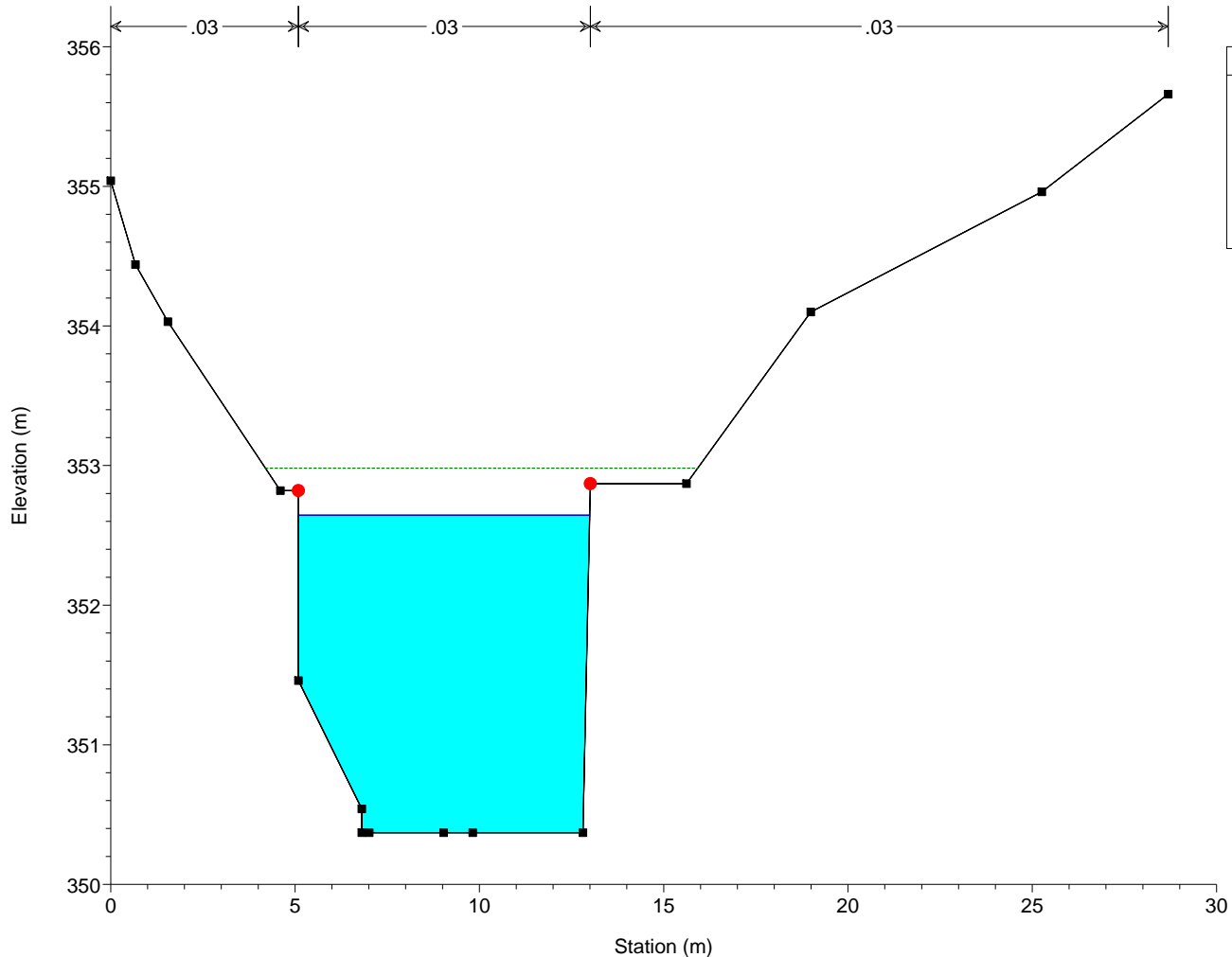
Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 27 SEZIONE B12

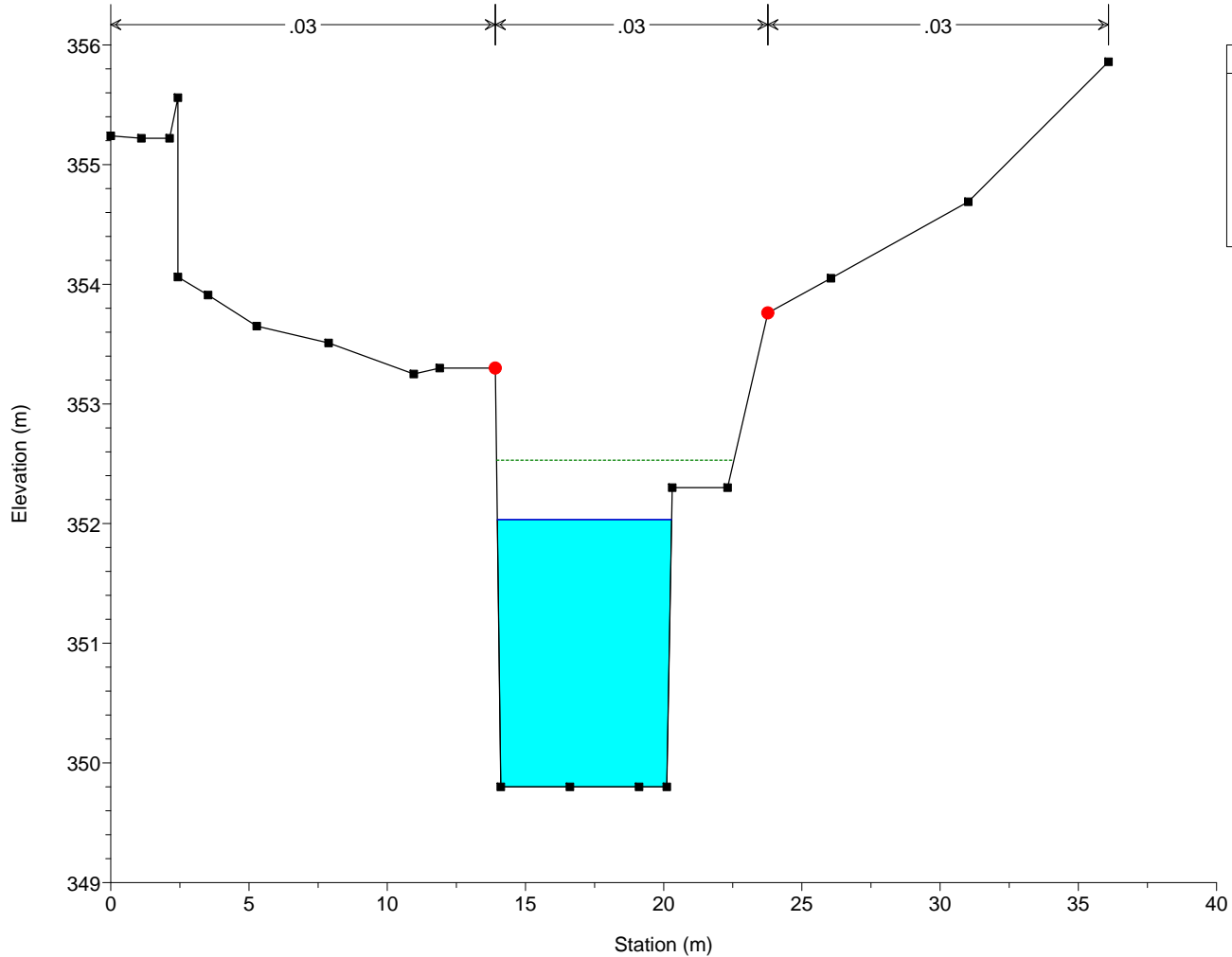


Legend	
EG PF 1	(Dashed green line)
WS PF 1	(Solid blue line)
Crit PF 1	(Dashed red line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red dot)

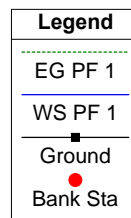
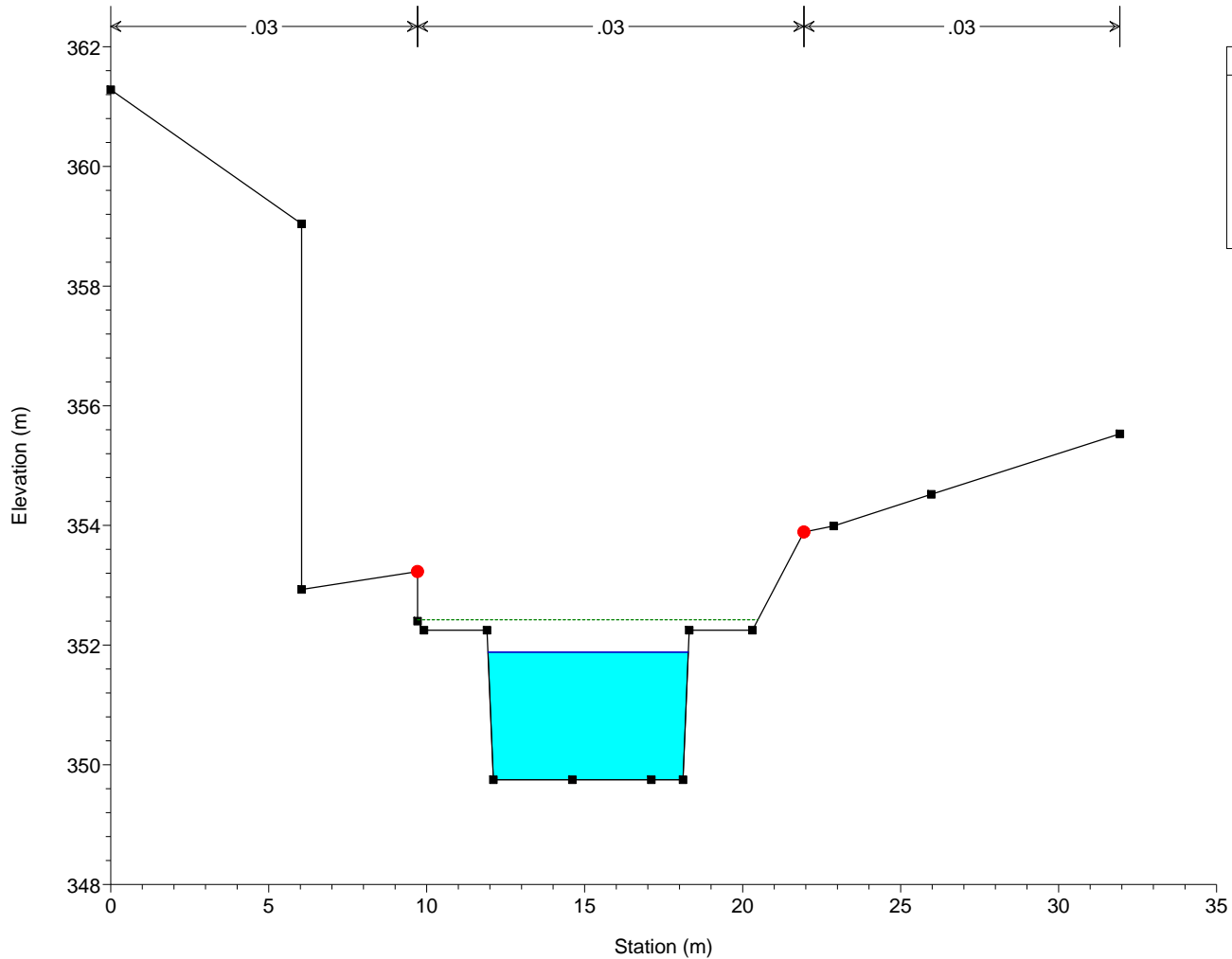
Morsina Plan: Morsina
RS = 26.1 IS BRIGLIA N.4



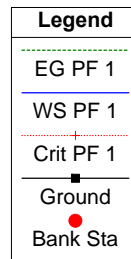
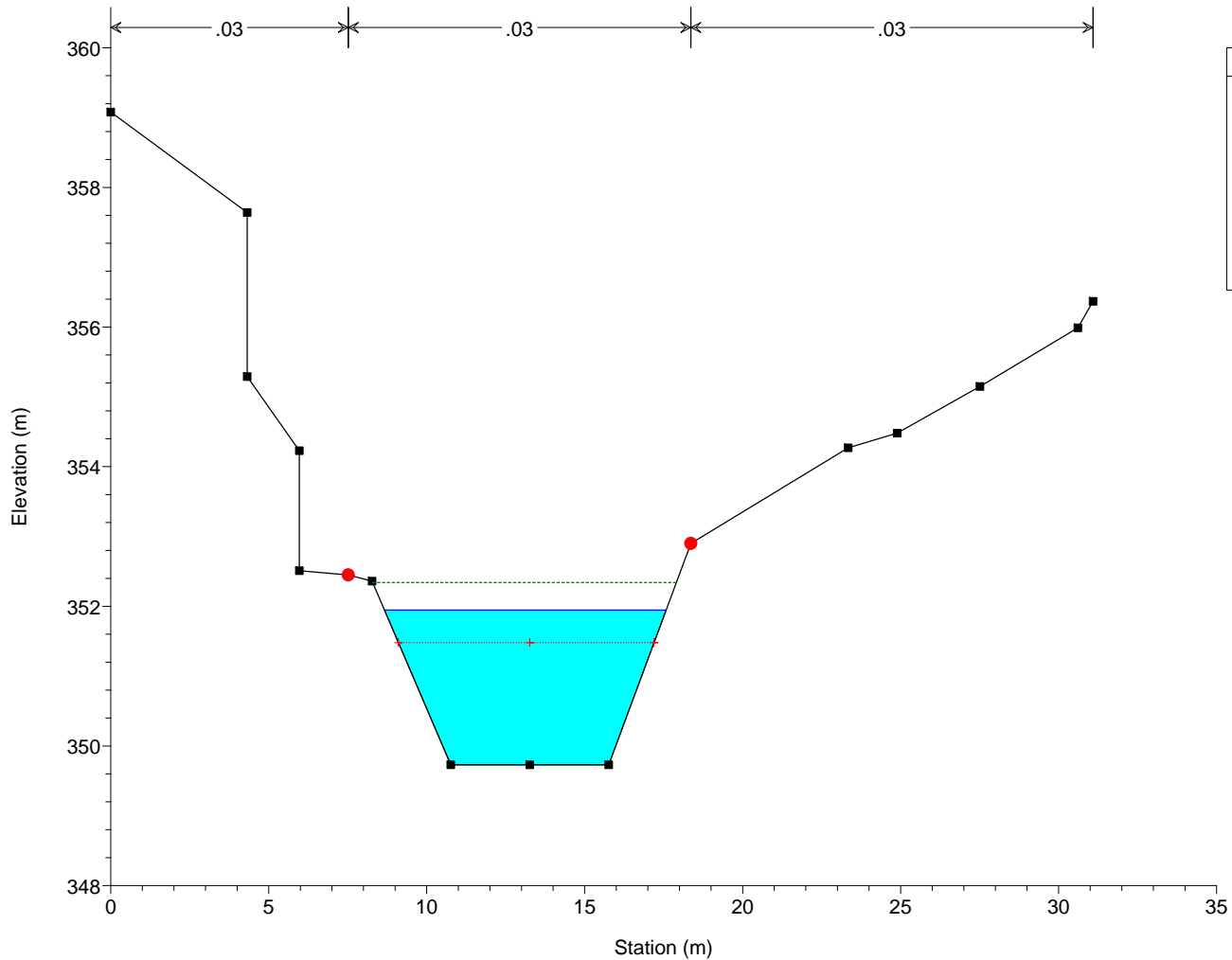
Morsina Plan: Morsina
RS = 26 SEZIONE B13



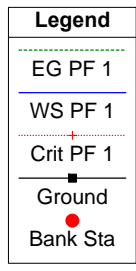
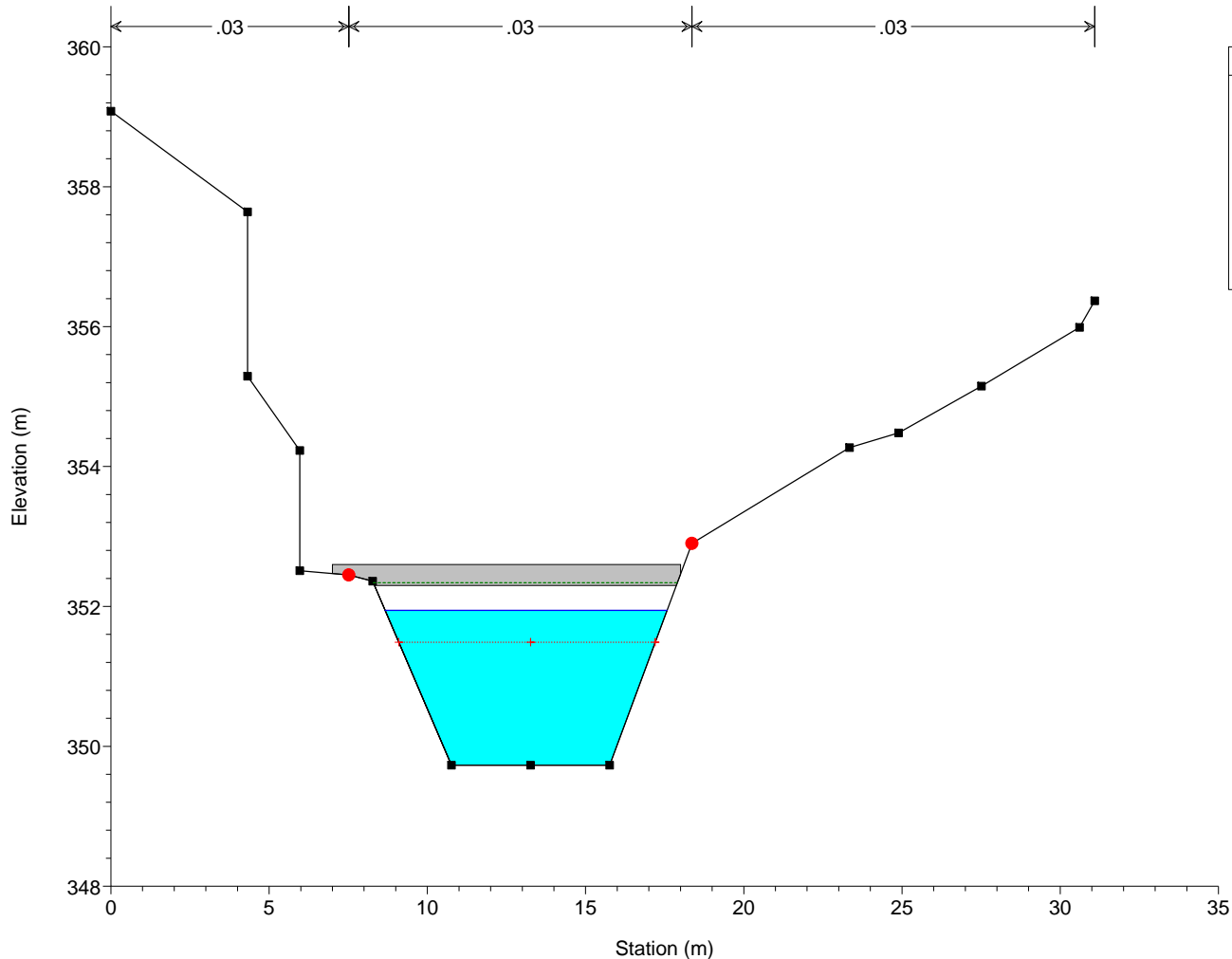
Morsina Plan: Morsina
RS = 25 SEZIONE B14



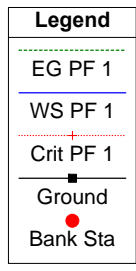
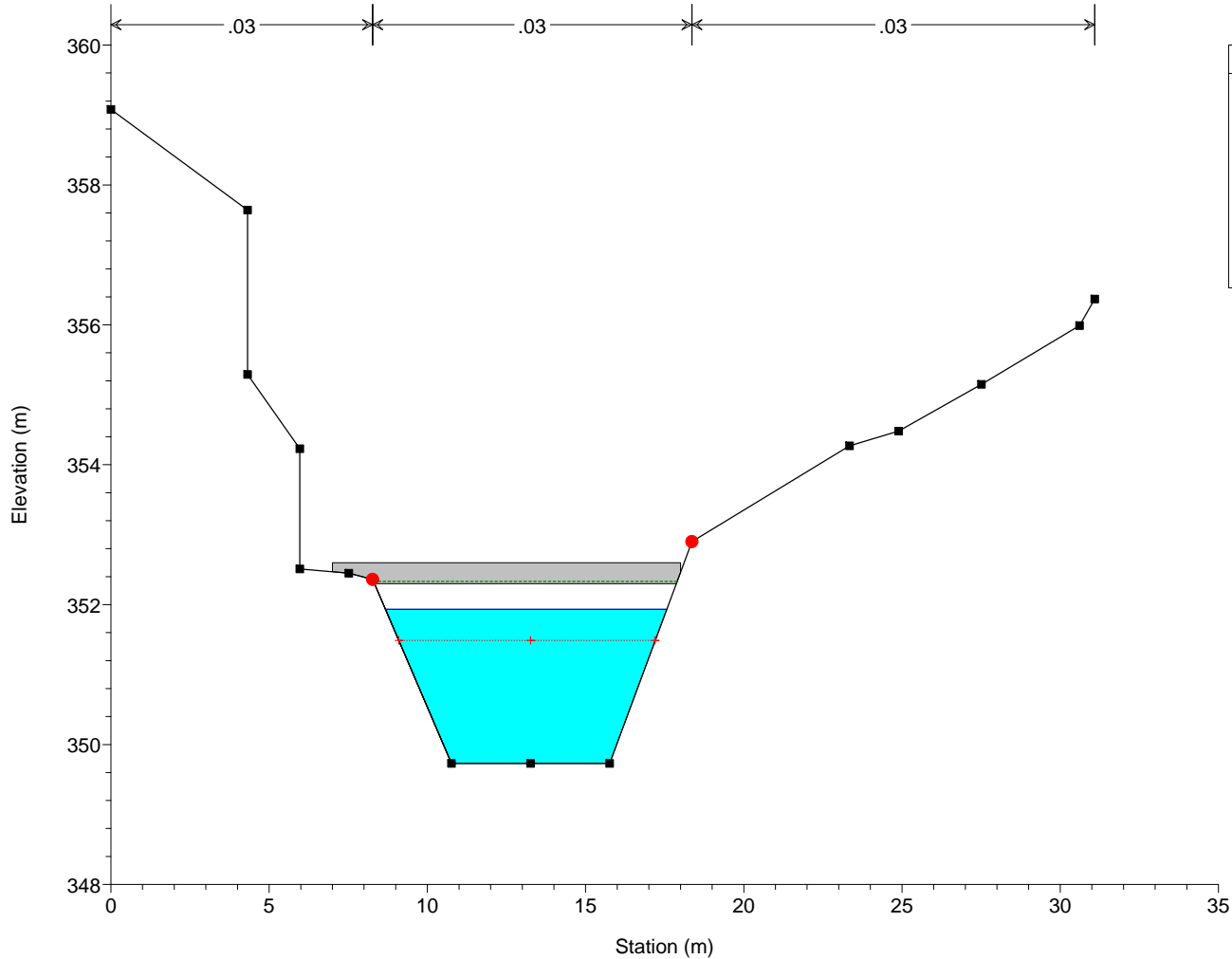
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.3 SEZIONE B15.1



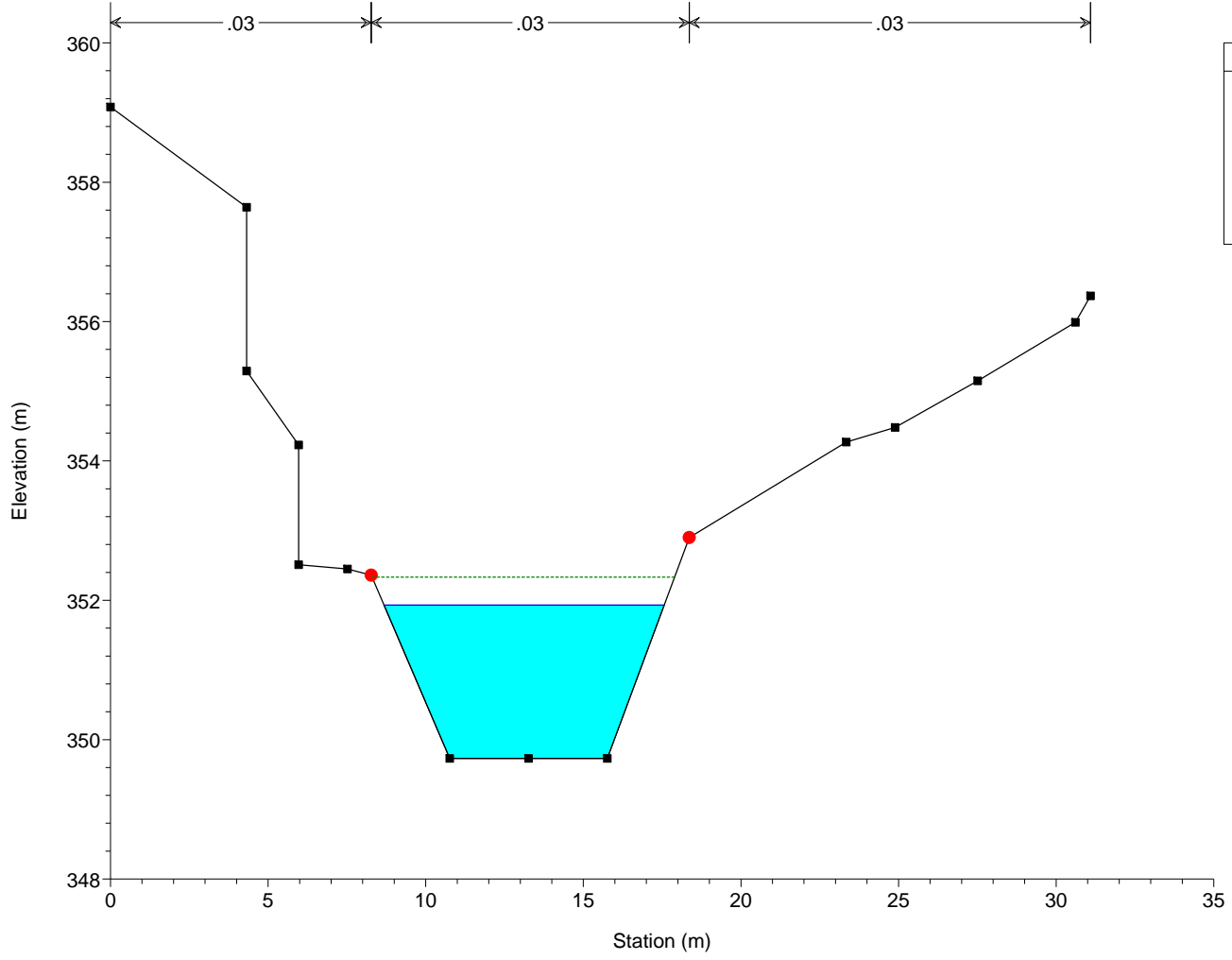
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.2 BR PASSERELLA n.2



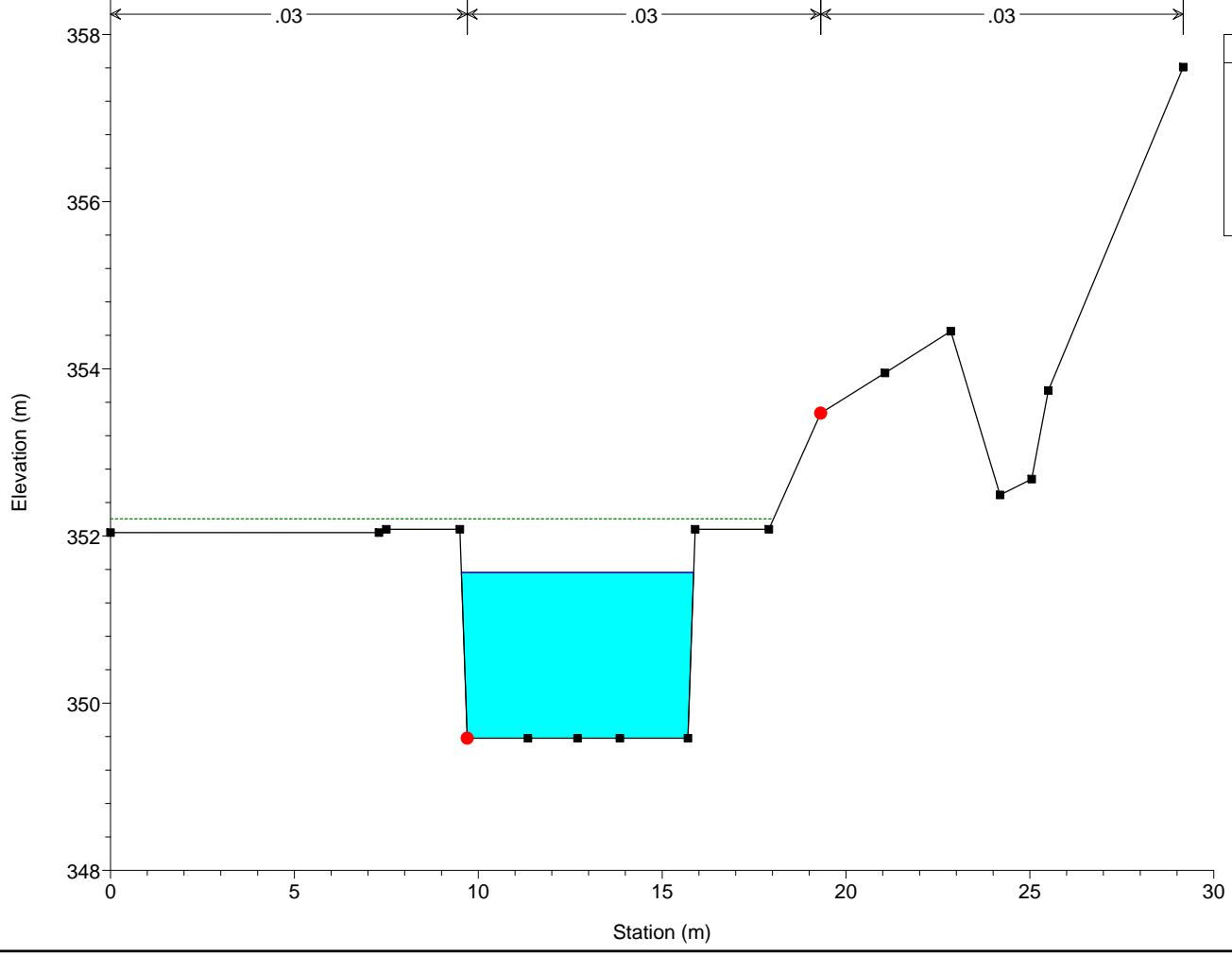
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.2 BR PASSERELLA n.2



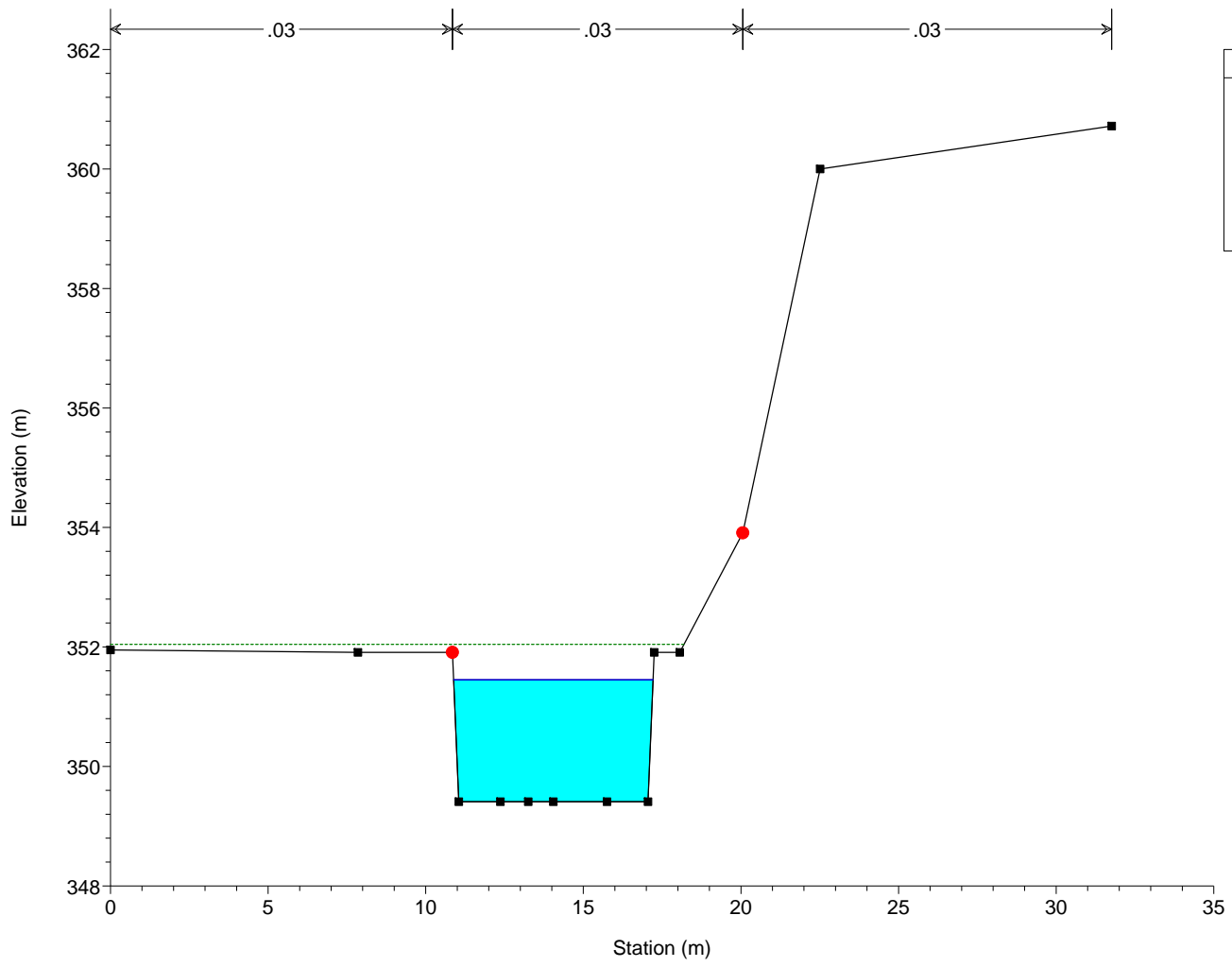
Morsina Plan: Morsina
RS = 24.1 SEZIONE B15



Morsina Plan: Morsina
RS = 24 SEZIONE B16



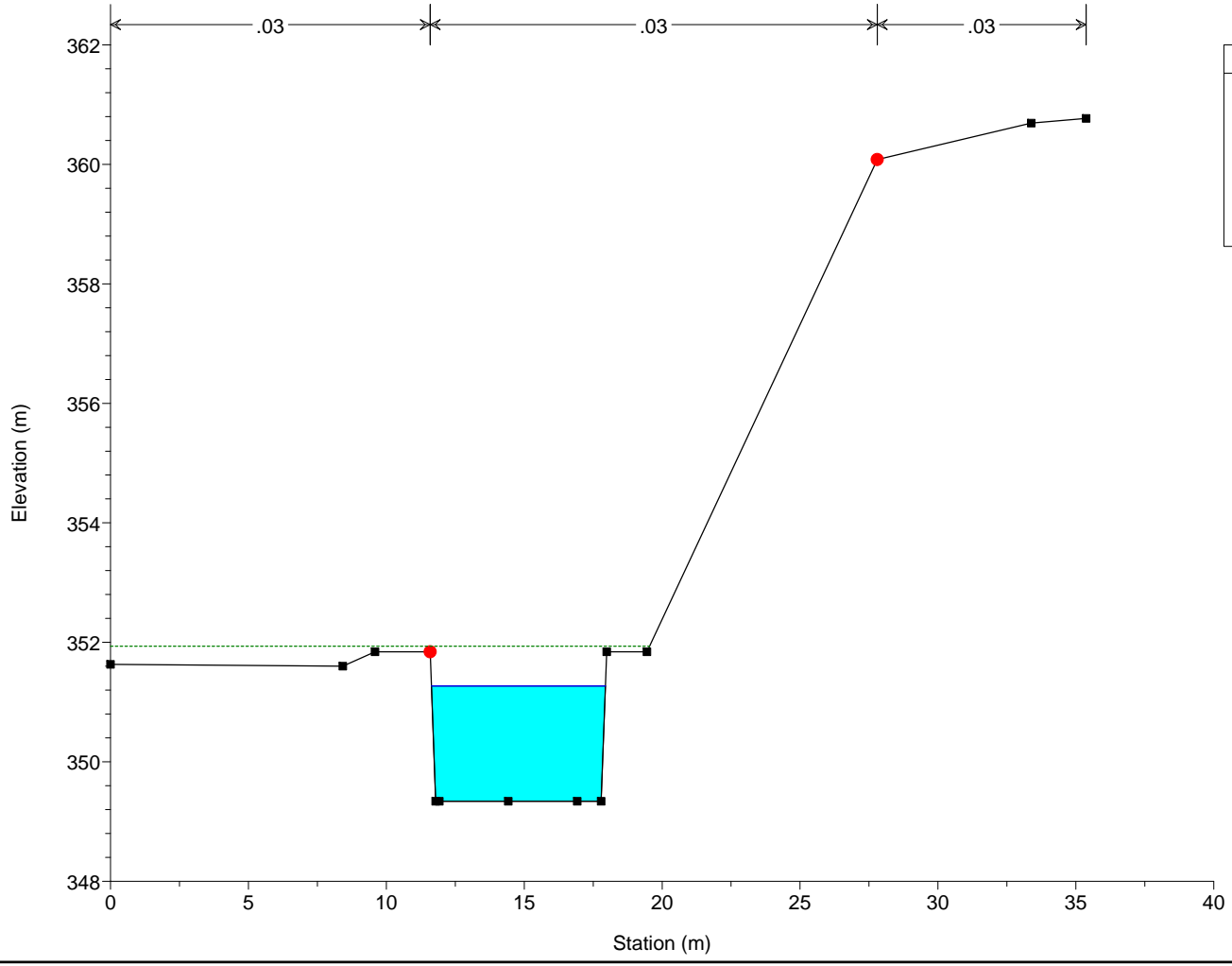
Morsina Plan: Morsina
RS = 23.1 SEZIONE B17



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

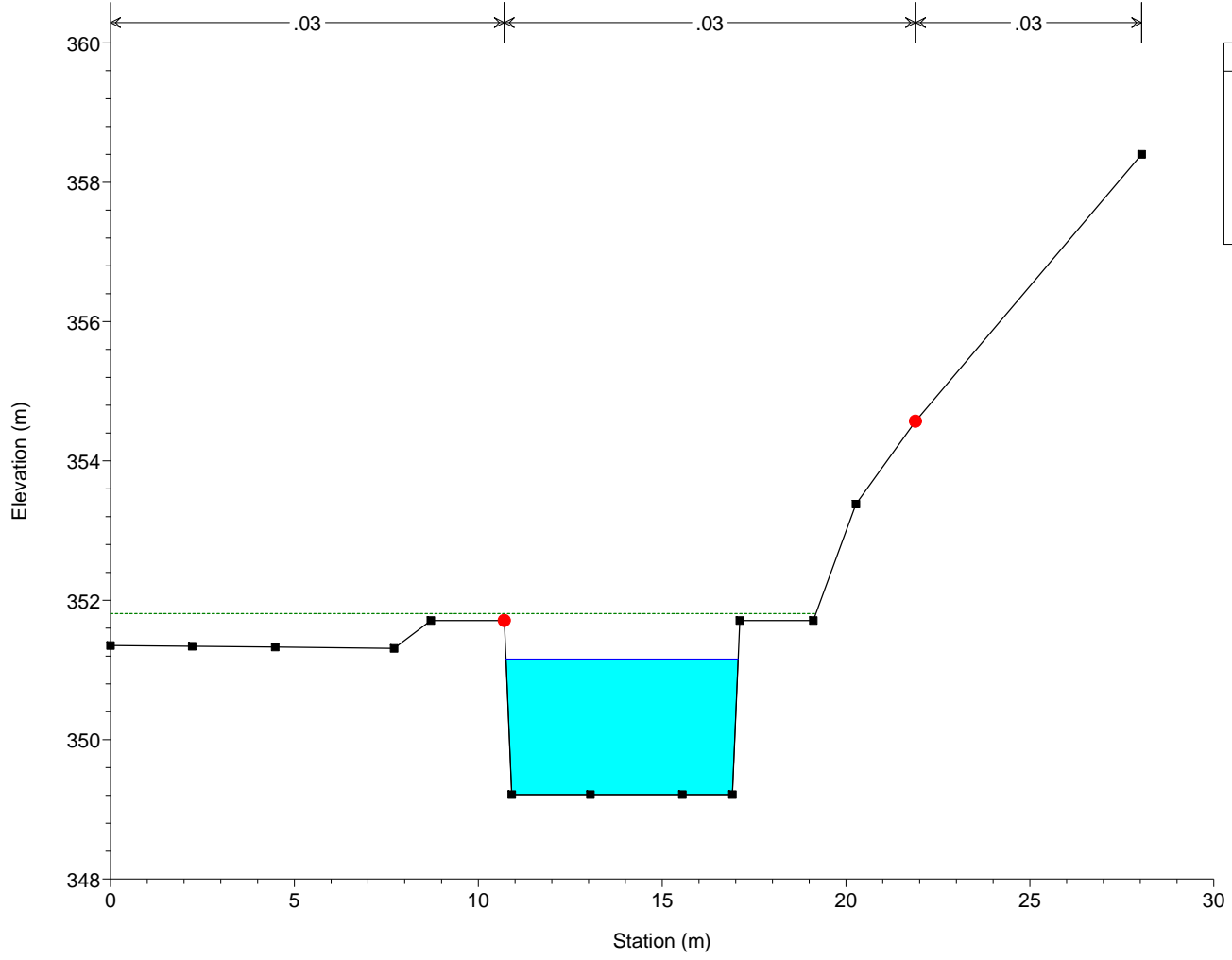
Morsina Plan: Morsina
RS = 23 SEZIONE B18



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

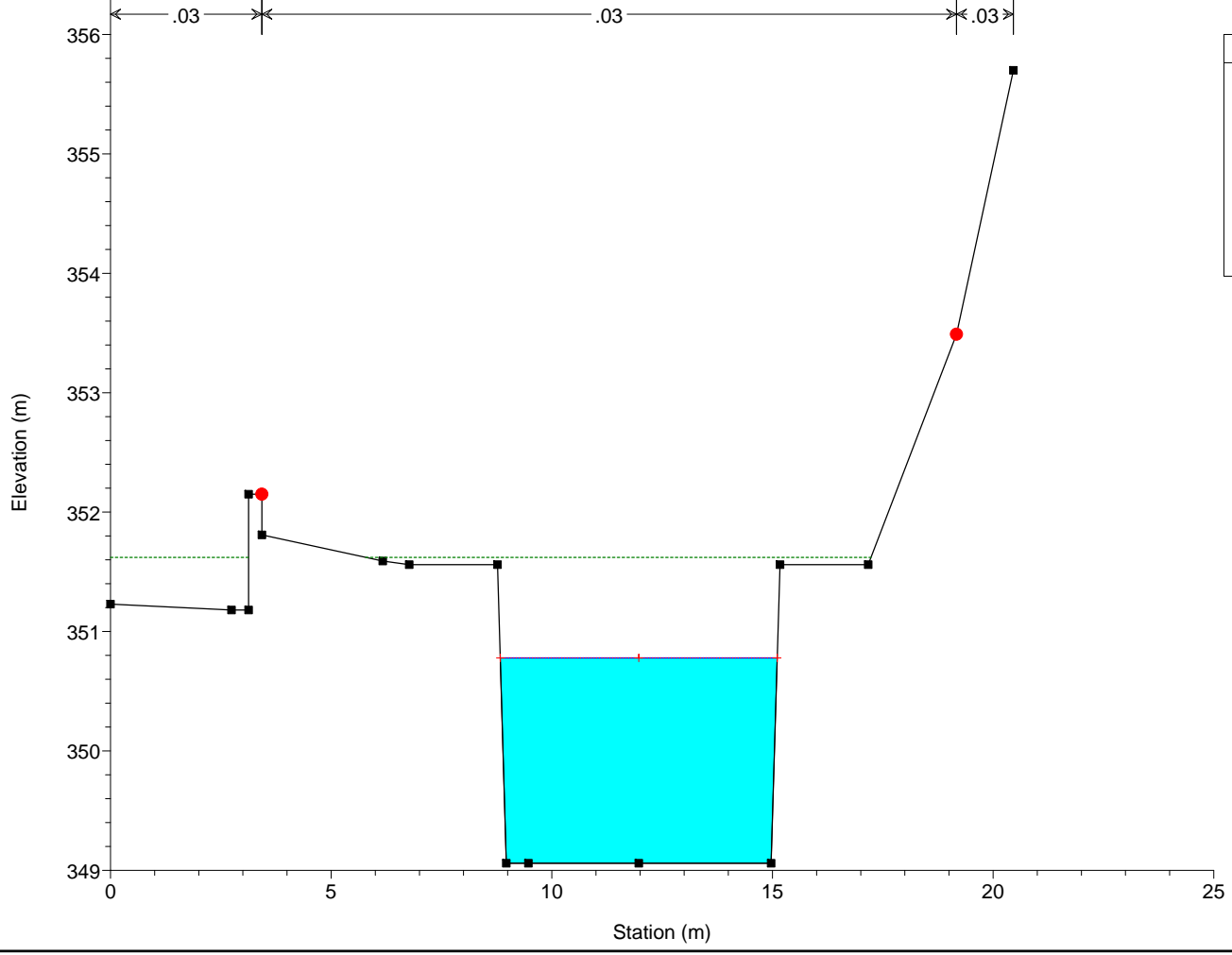
Morsina Plan: Morsina
RS = 22 SEZIONE B19



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

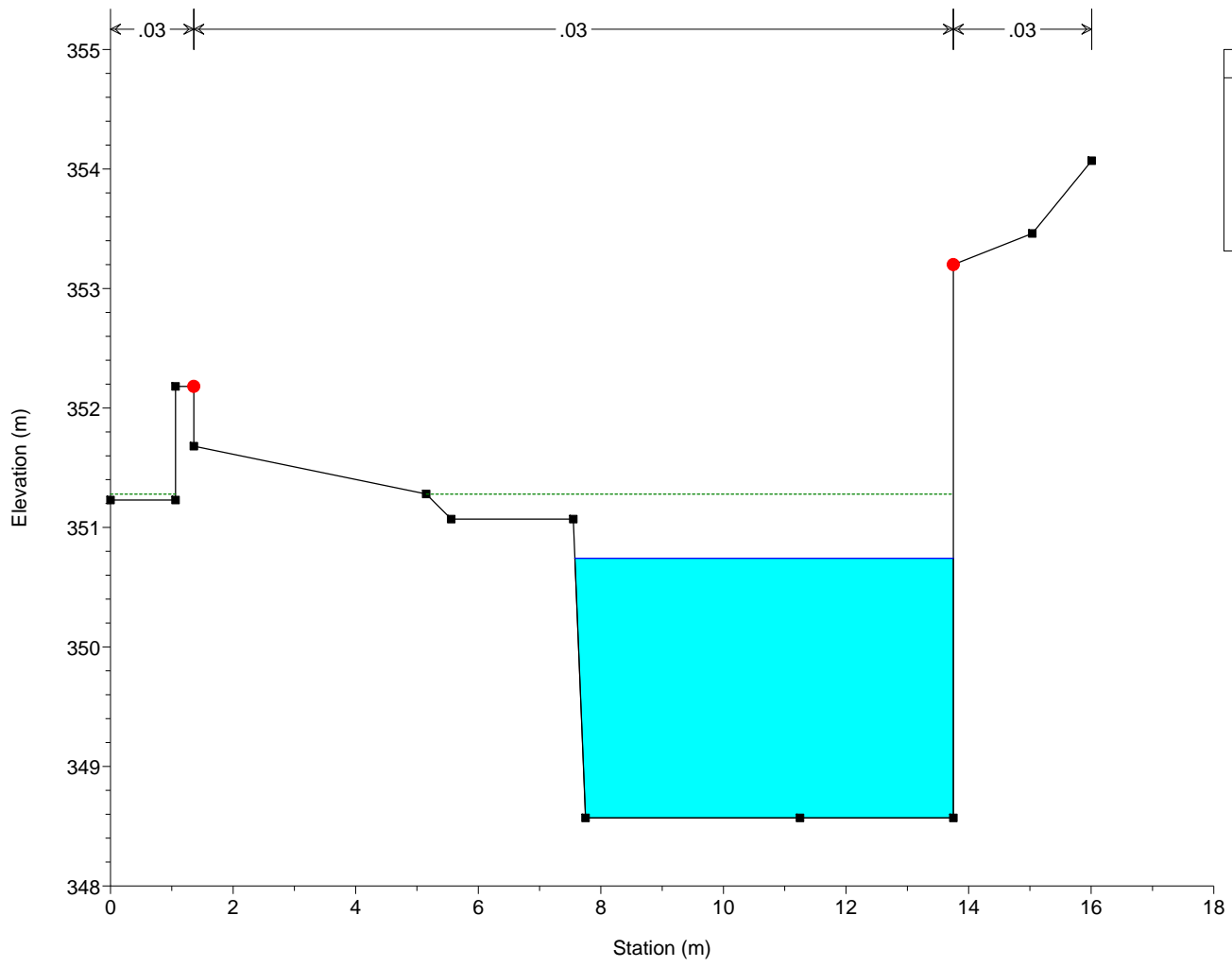
Morsina Plan: Morsina
RS = 21 SEZIONE B20



Legend

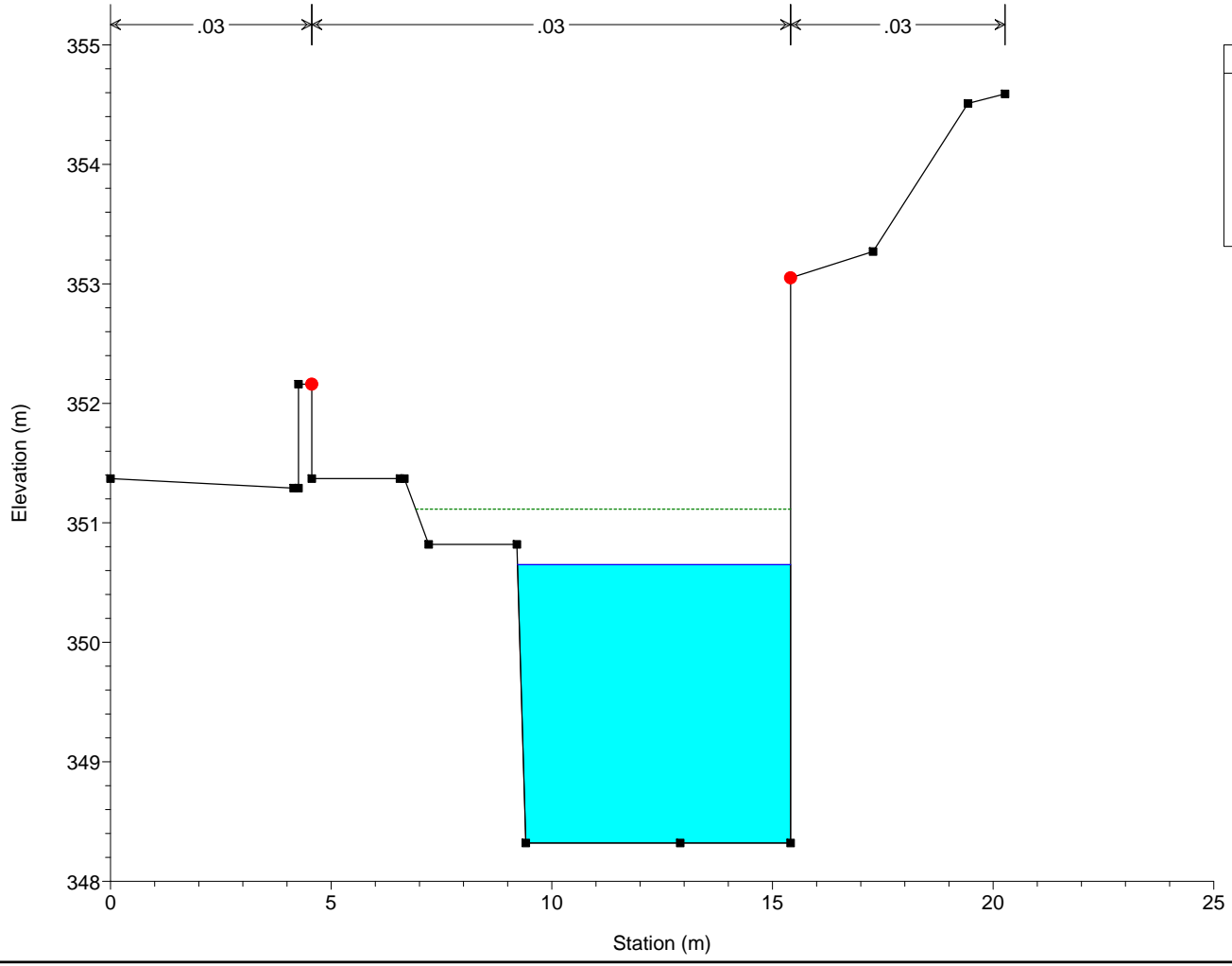
- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 20 SEZIONE B21



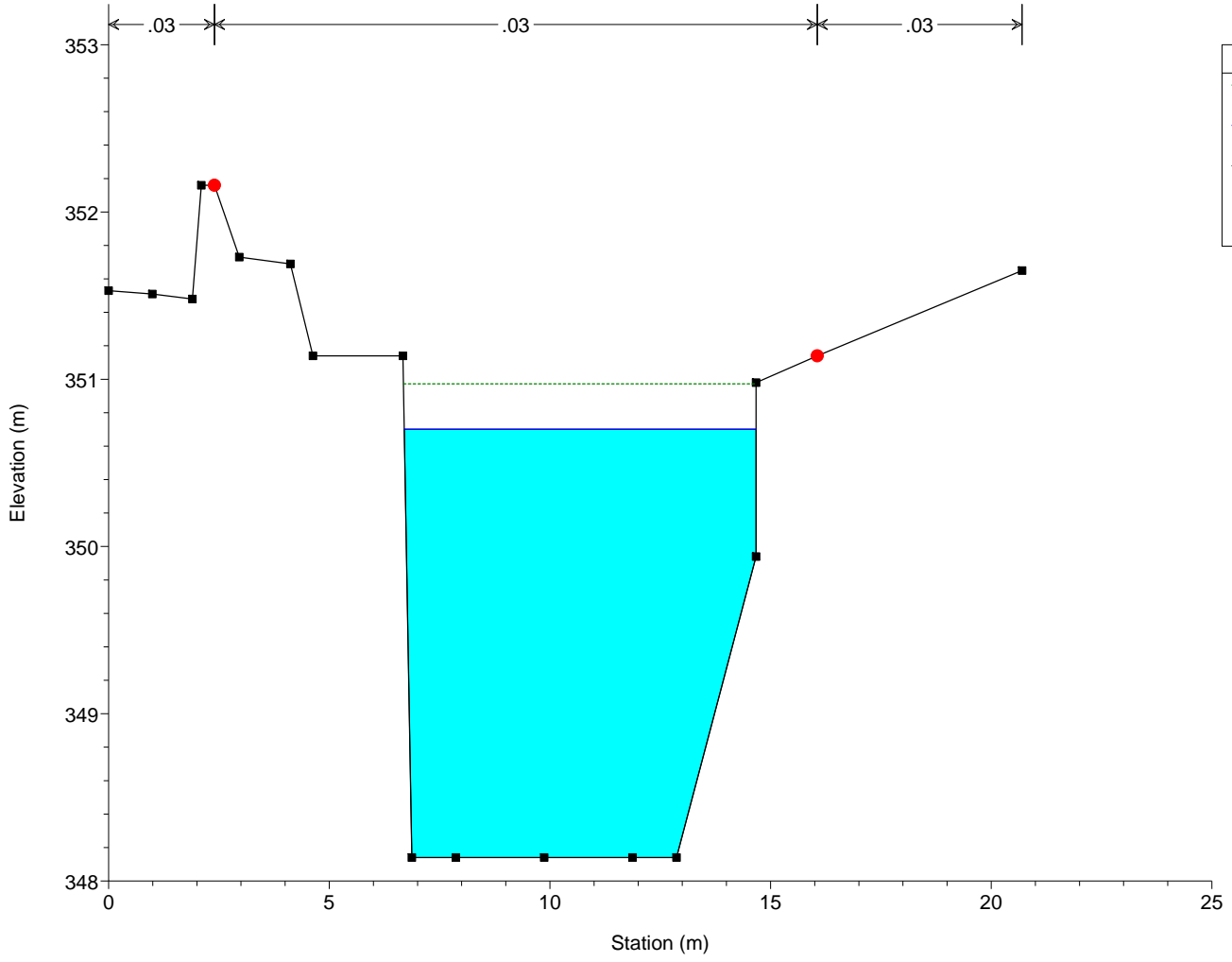
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 19 SEZIONE B22

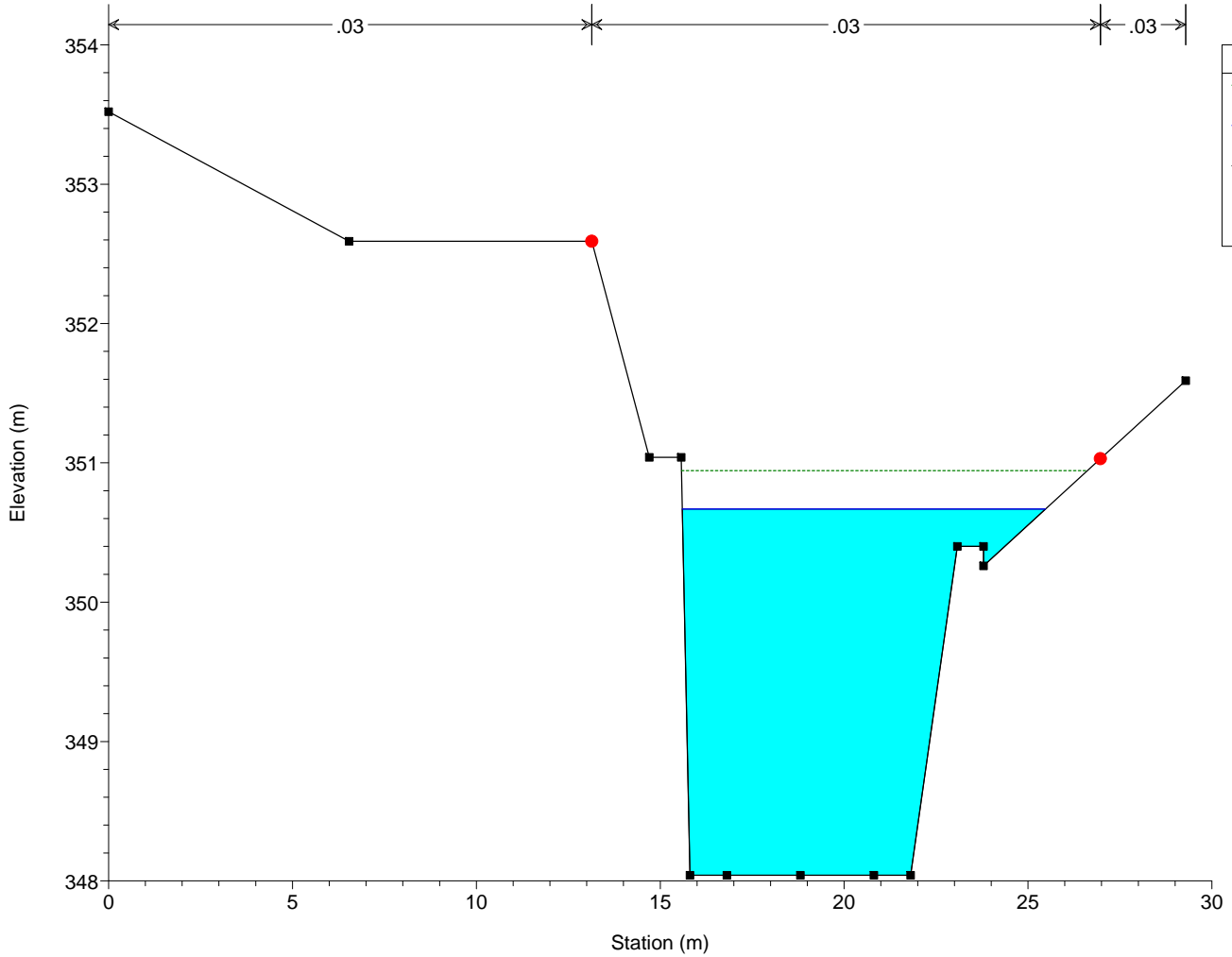


Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

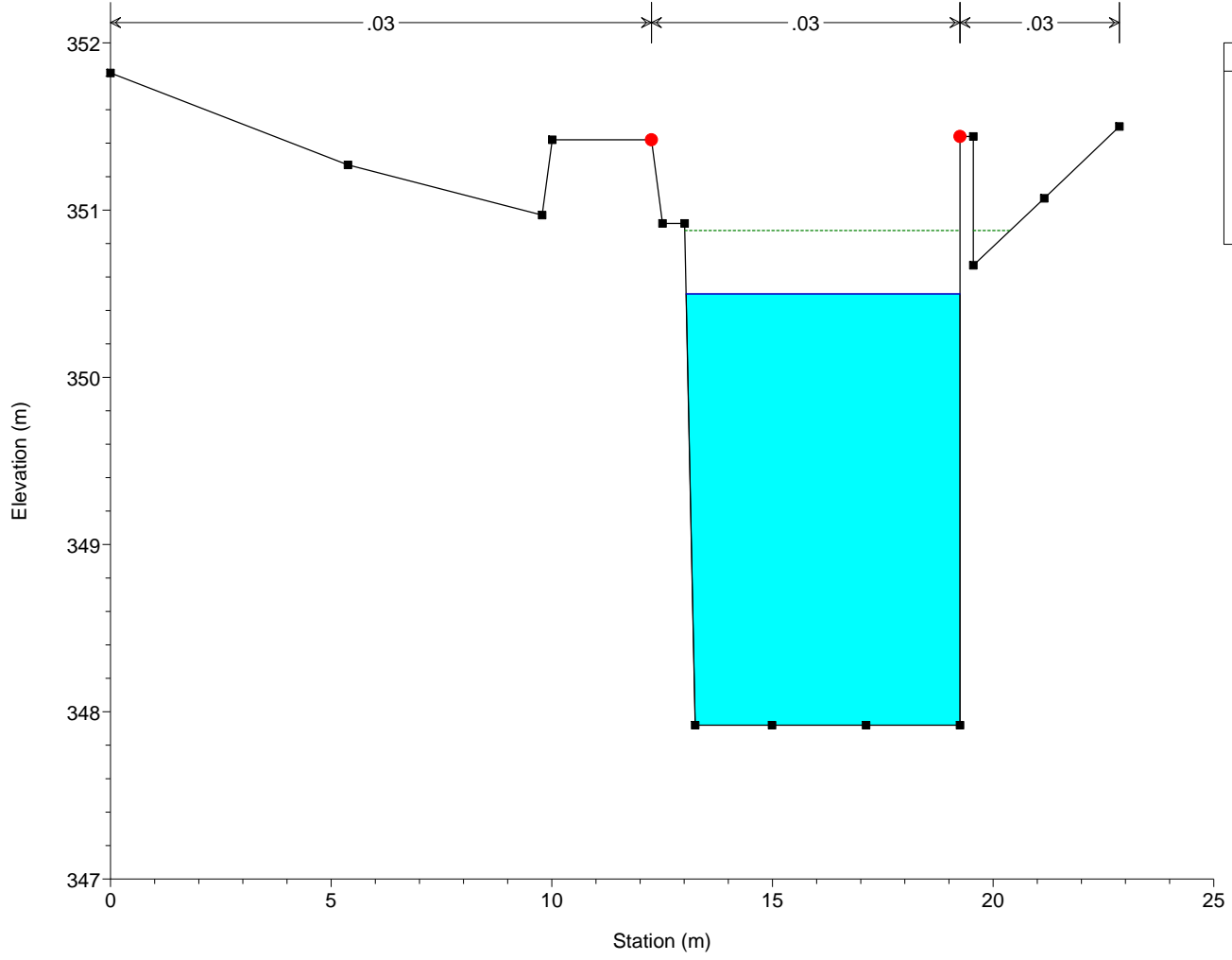
Morsina Plan: Morsina
RS = 18 SEZIONE B23



Morsina Plan: Morsina
RS = 17 SEZIONE B24



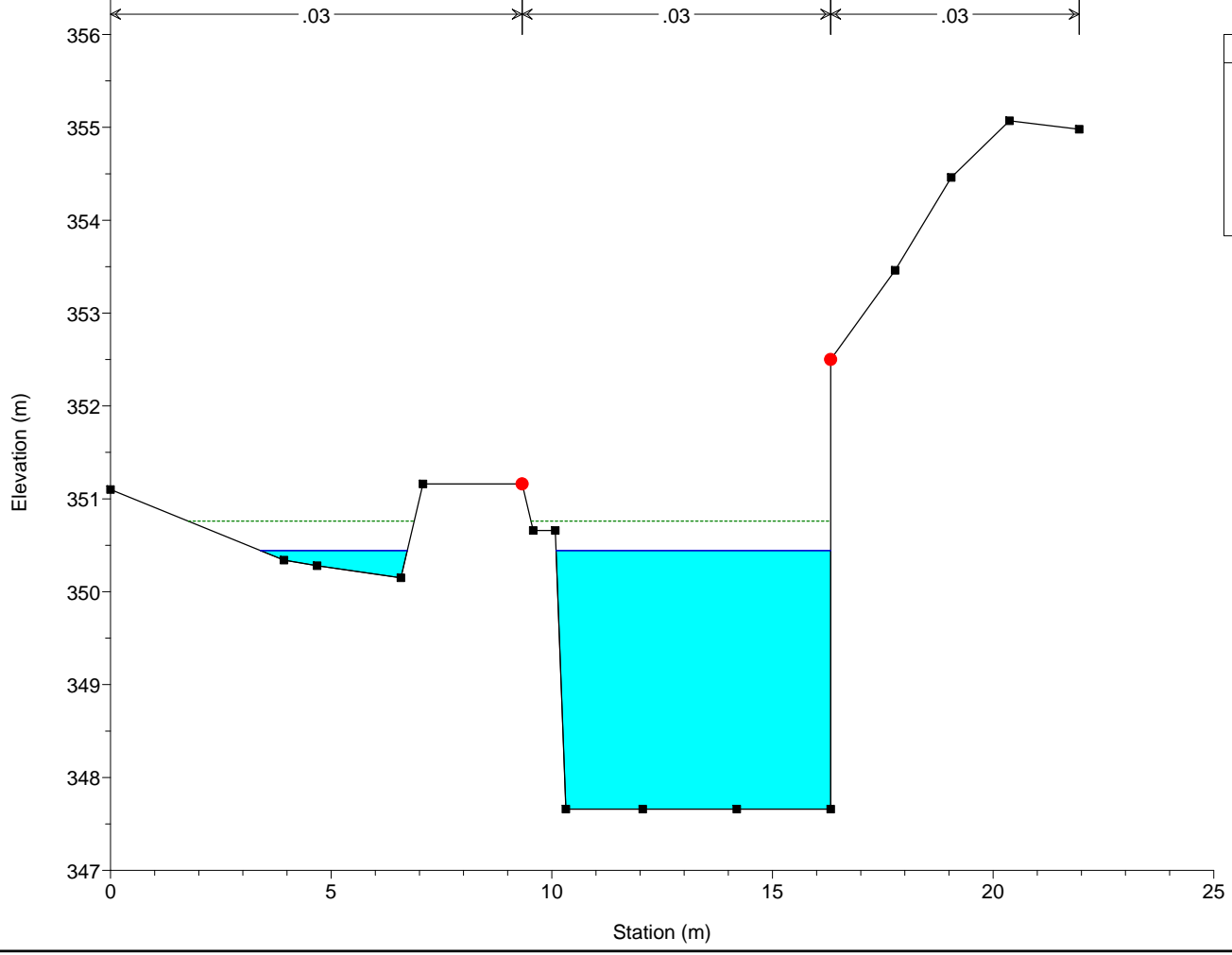
Morsina Plan: Morsina
RS = 16 SEZIONE B25



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

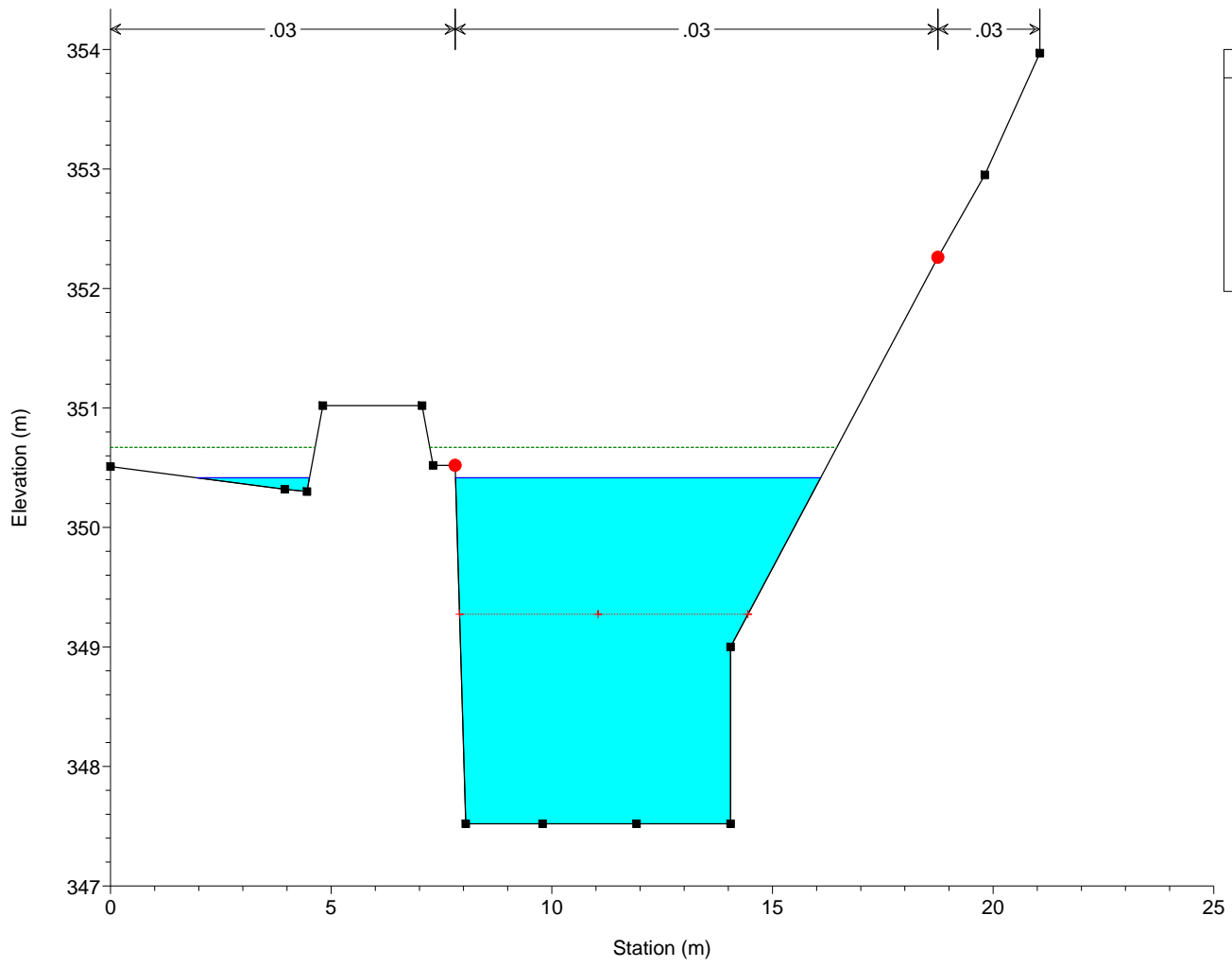
Morsina Plan: Morsina
RS = 15 SEZIONE B26



Legend

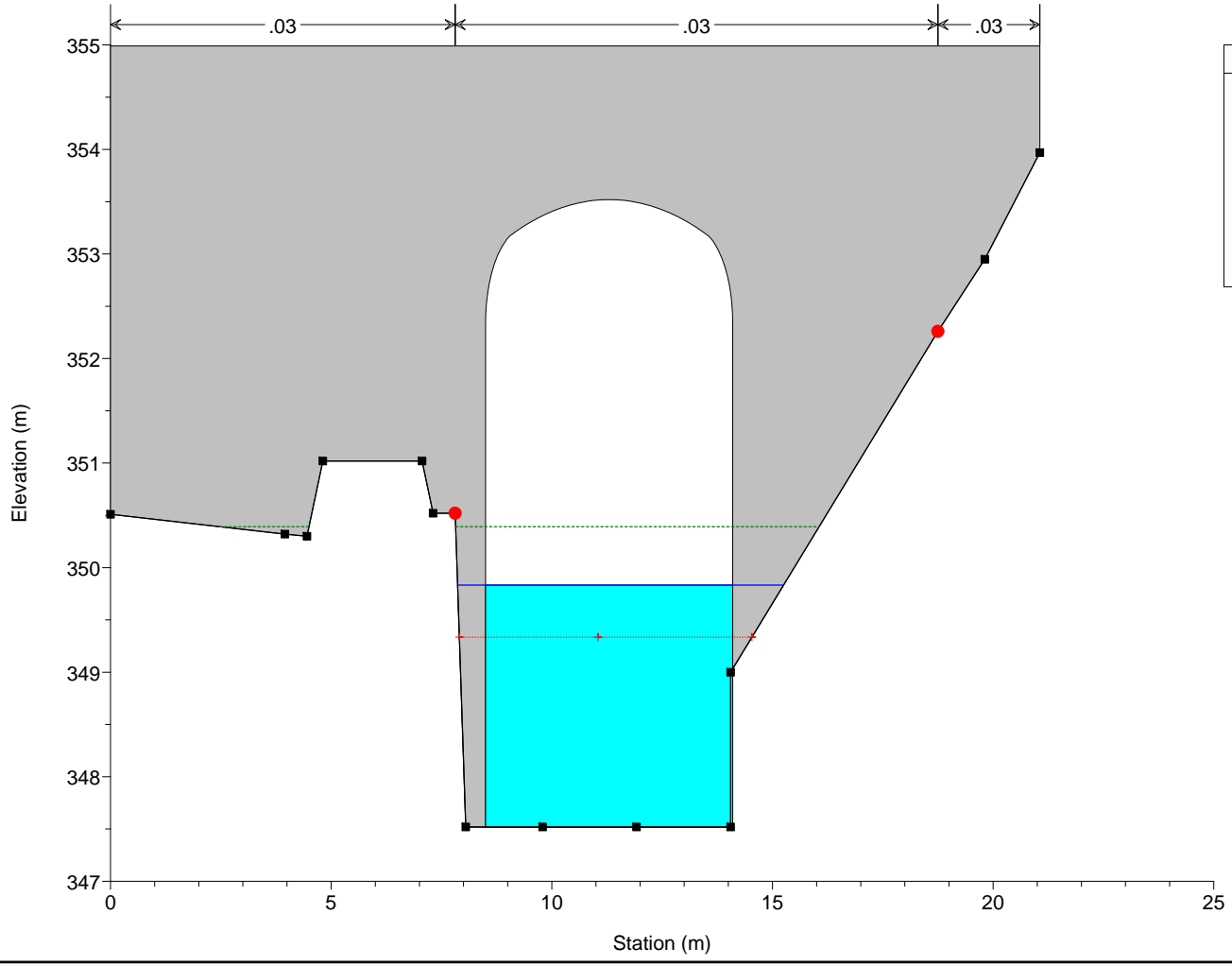
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 14 SEZIONE B27



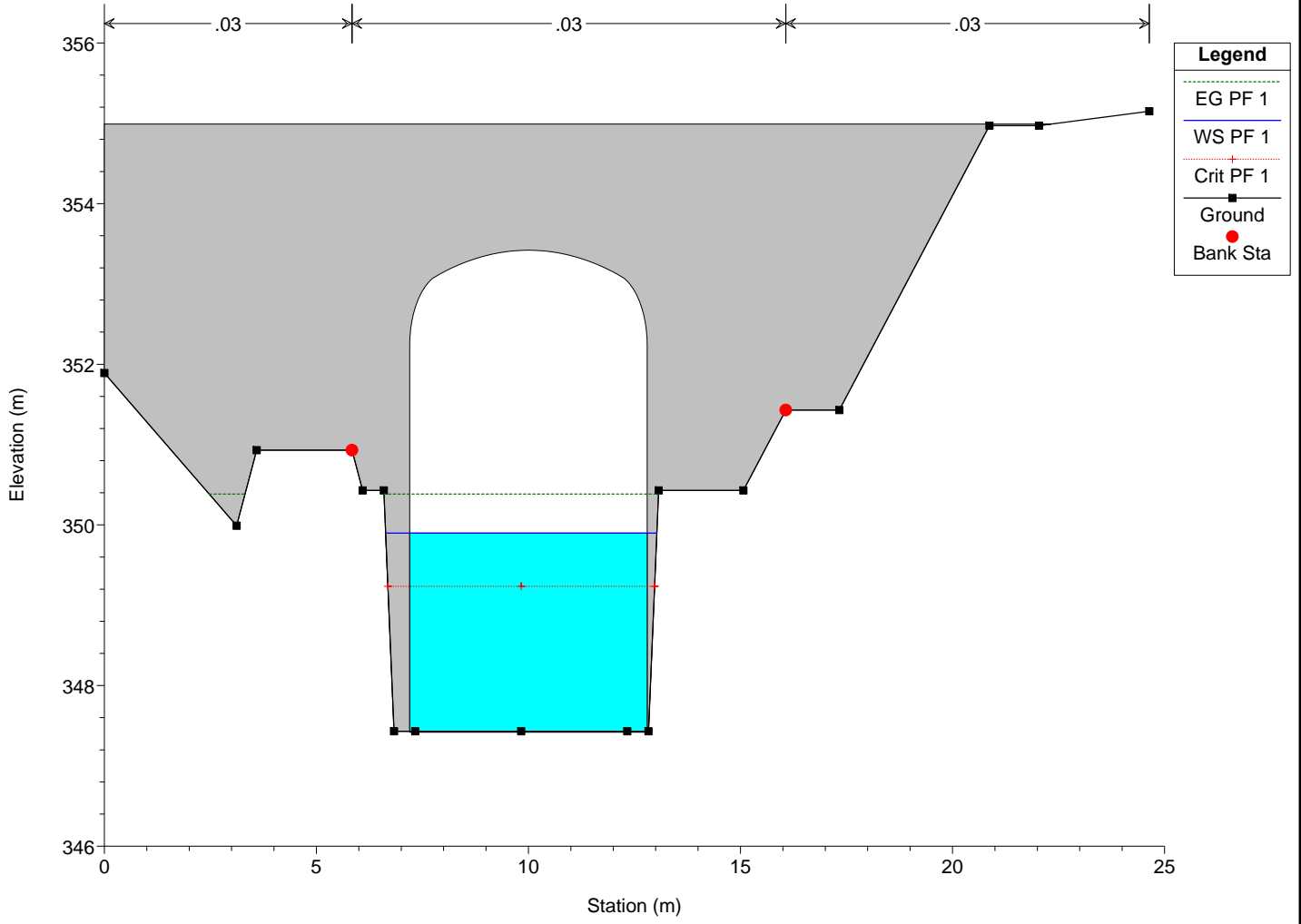
Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Bank Sta	

Morsina Plan: Morsina
RS = 13.1 Culv PONTE n.2

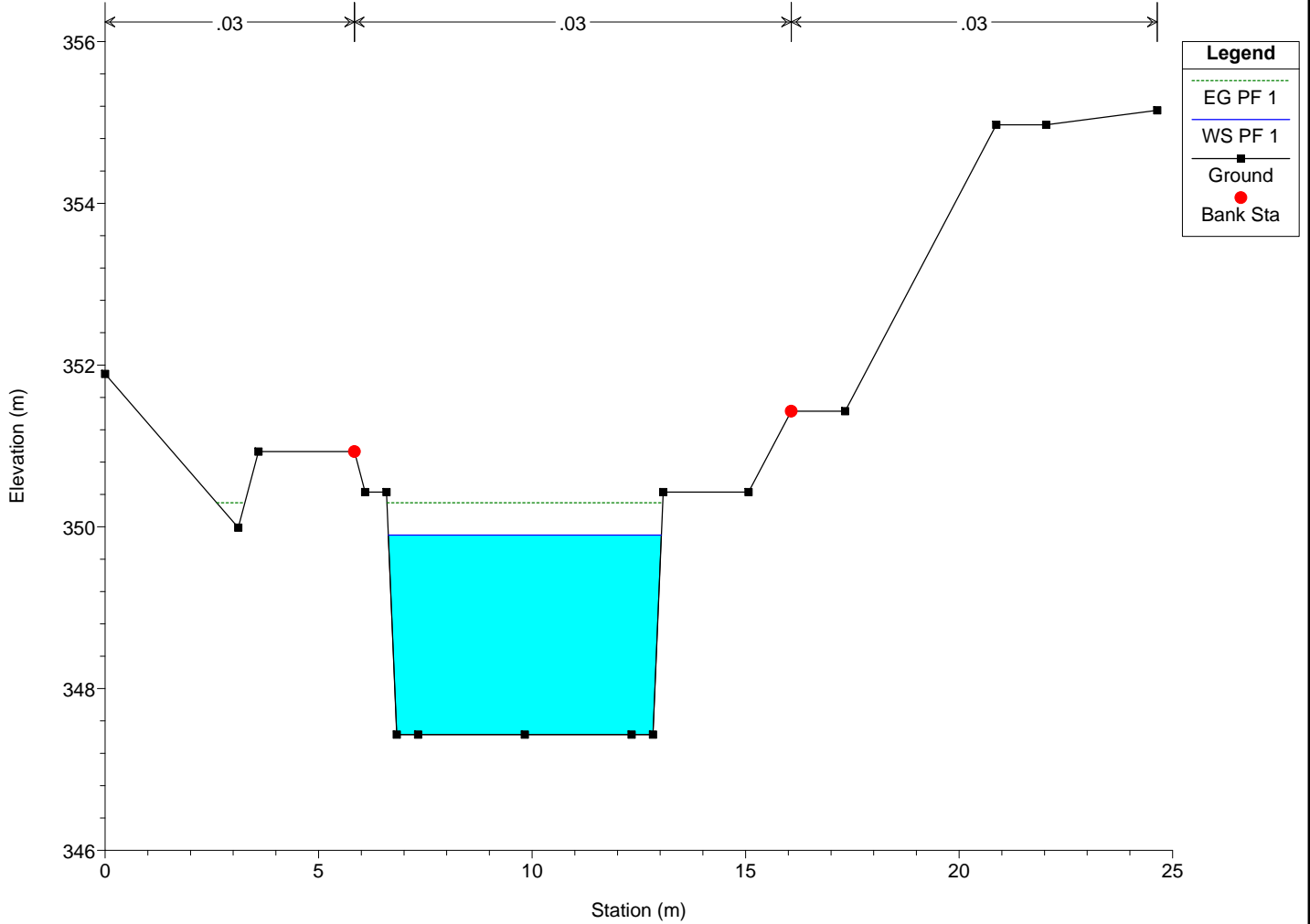


Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Bank Sta	

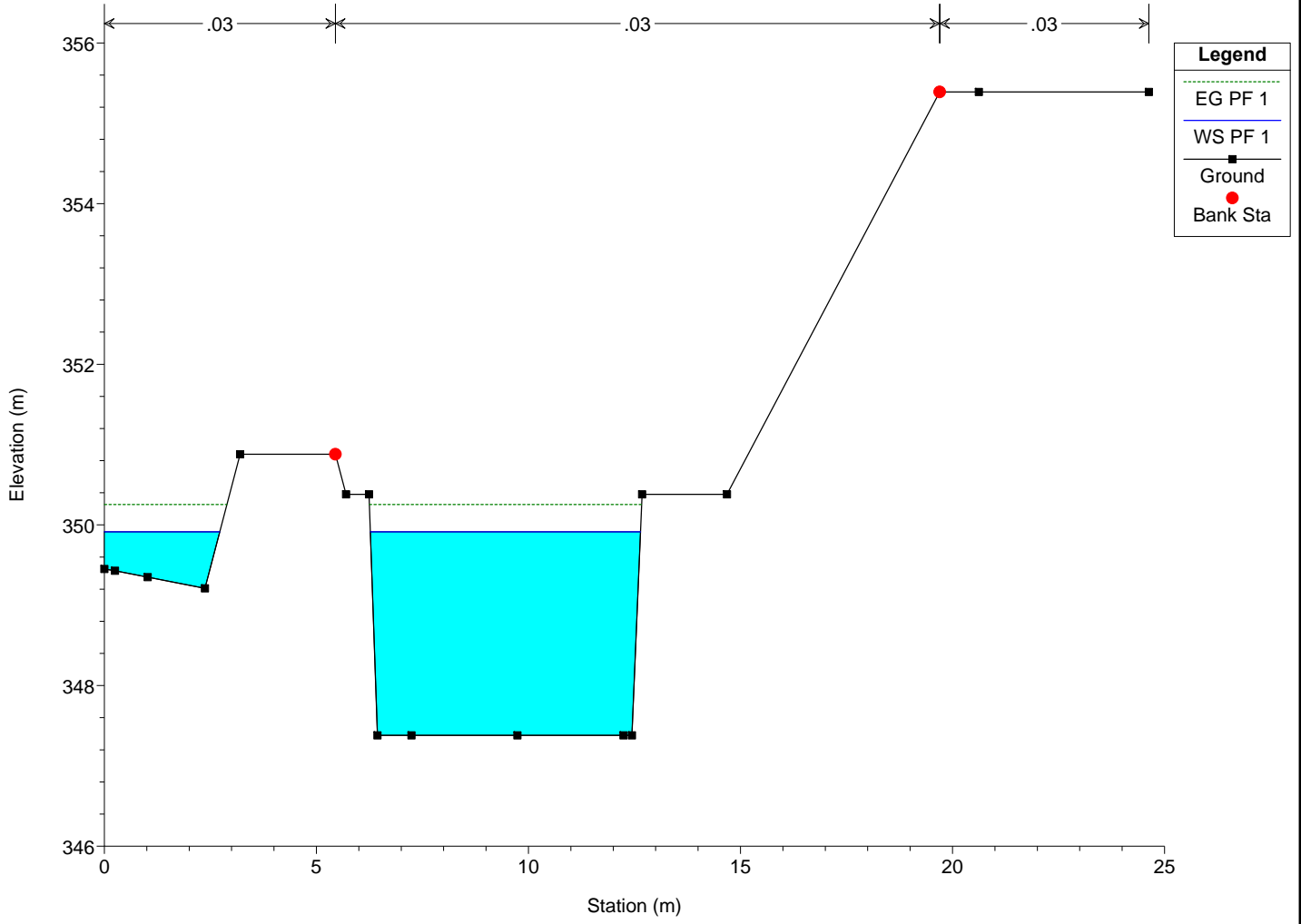
Morsina Plan: Morsina
RS = 13.1 Culv PONTE n.2



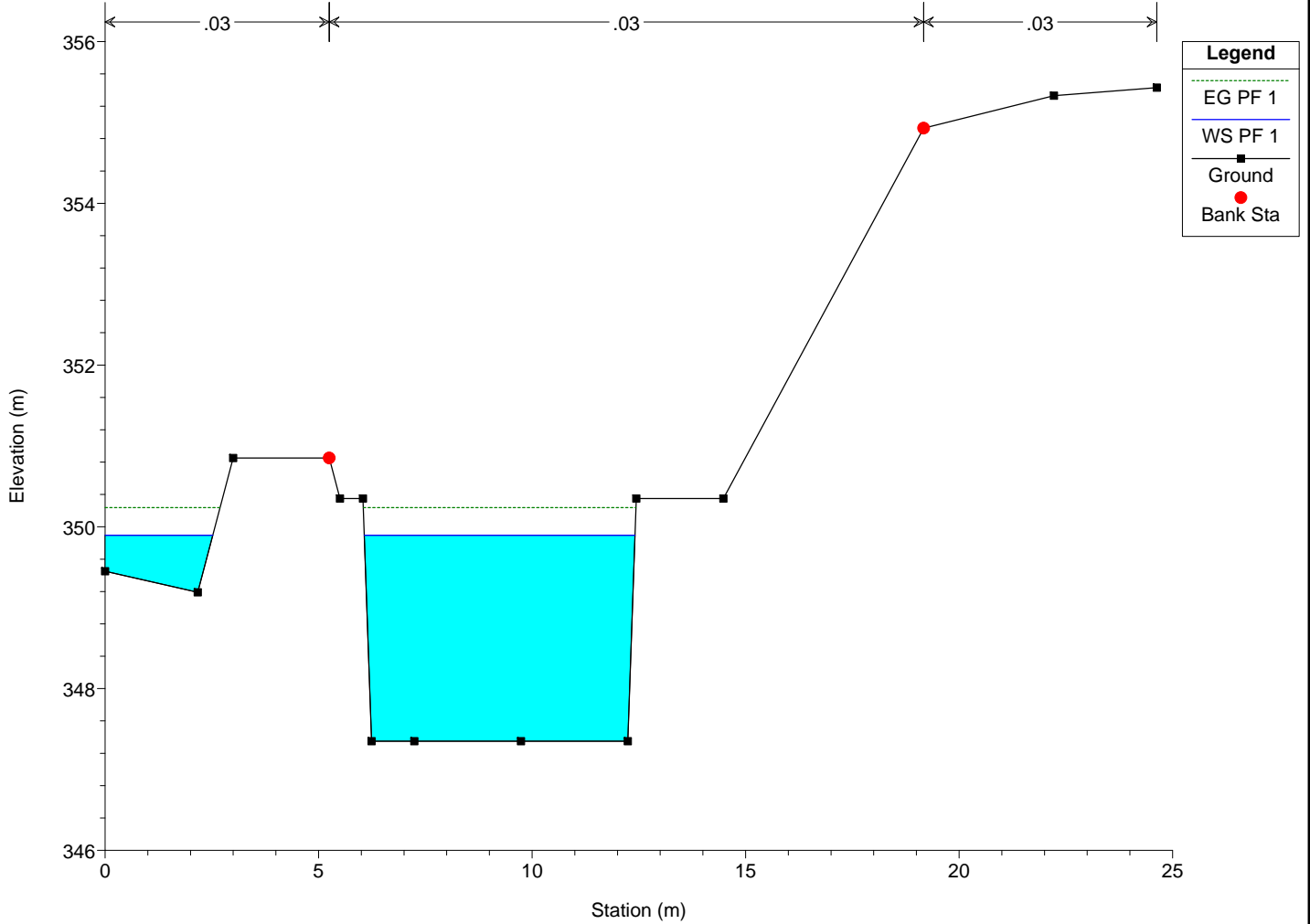
Morsina Plan: Morsina
RS = 13 SEZIONE B29



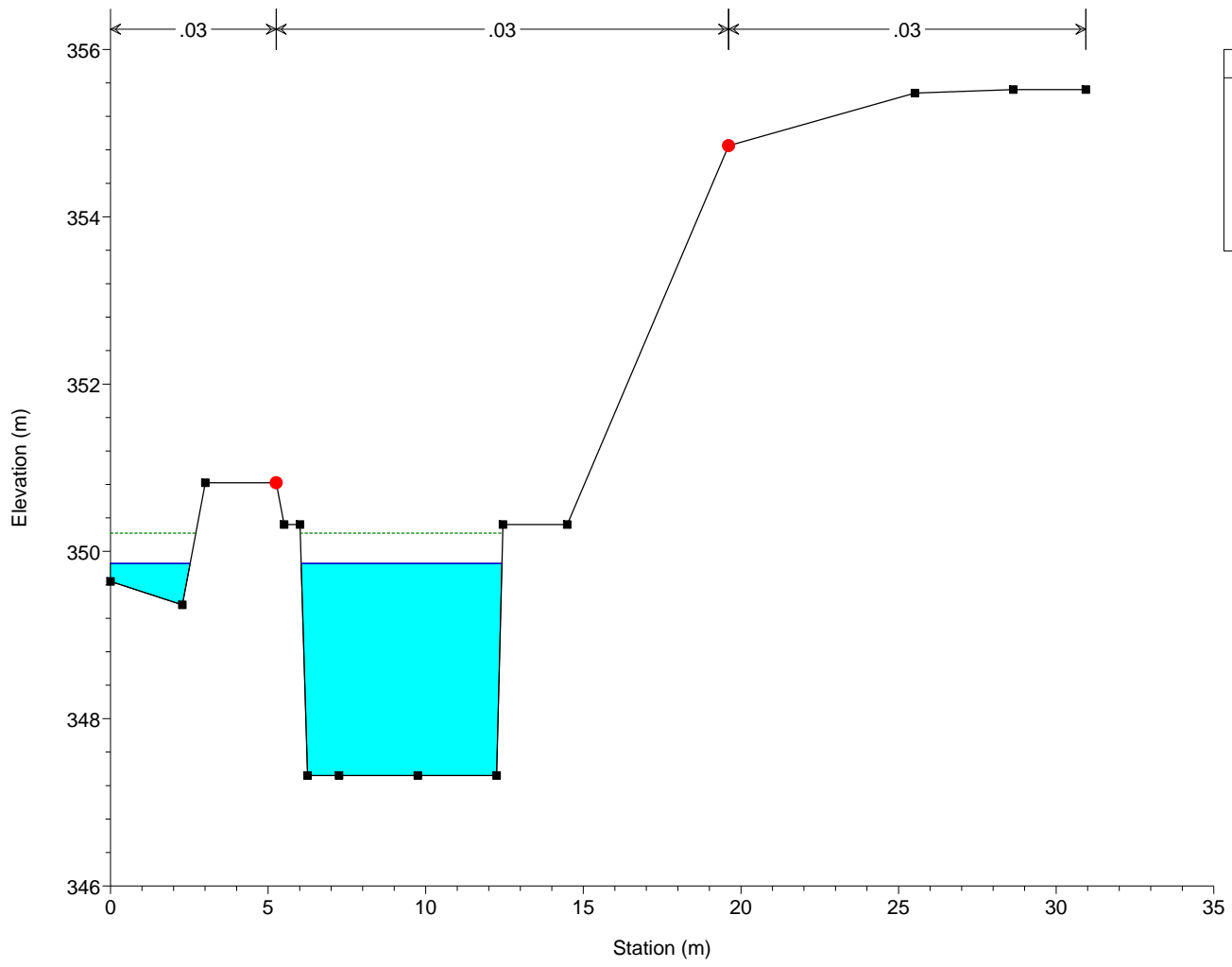
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.4 SEZIONE B30



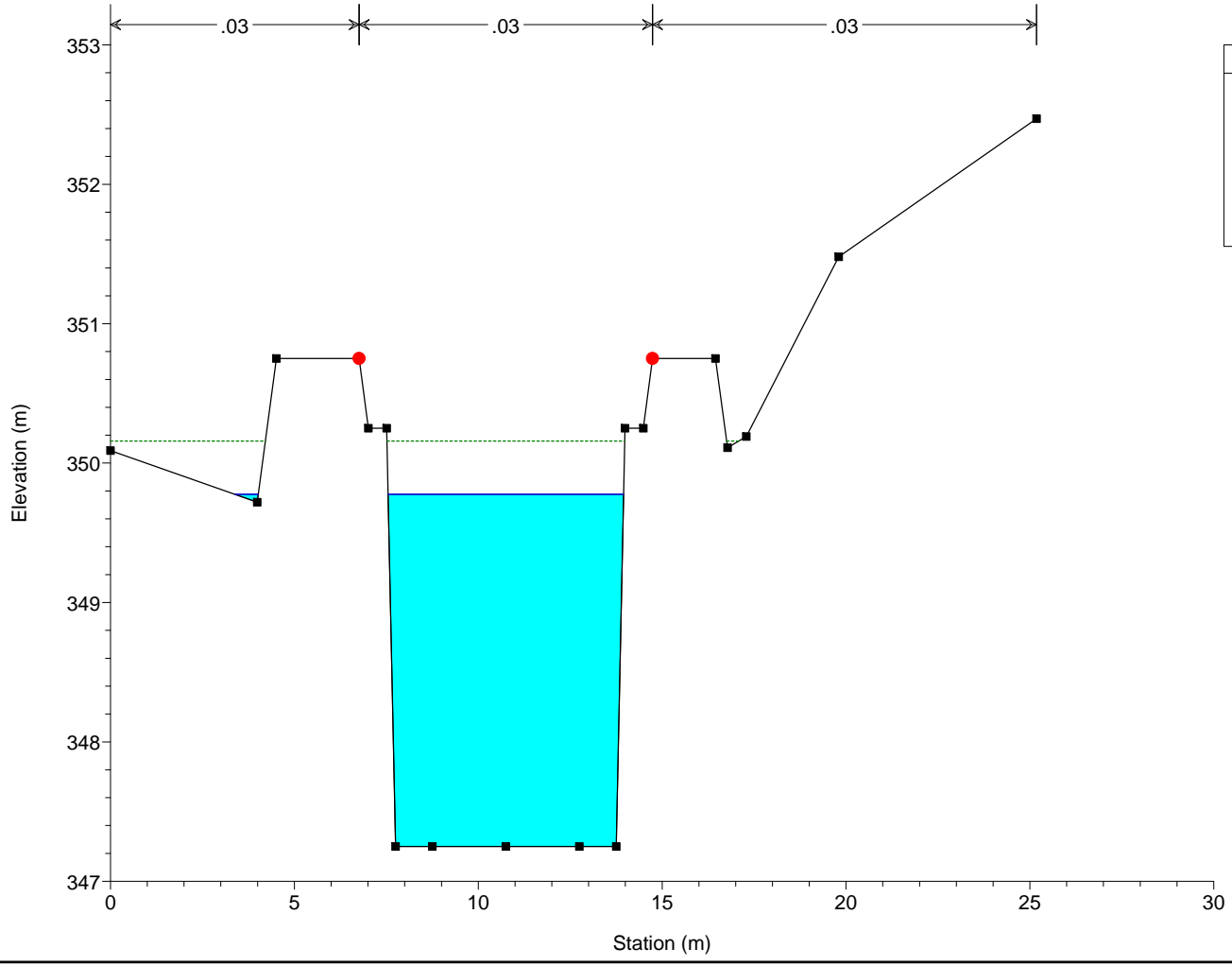
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.3 SEZIONE B31



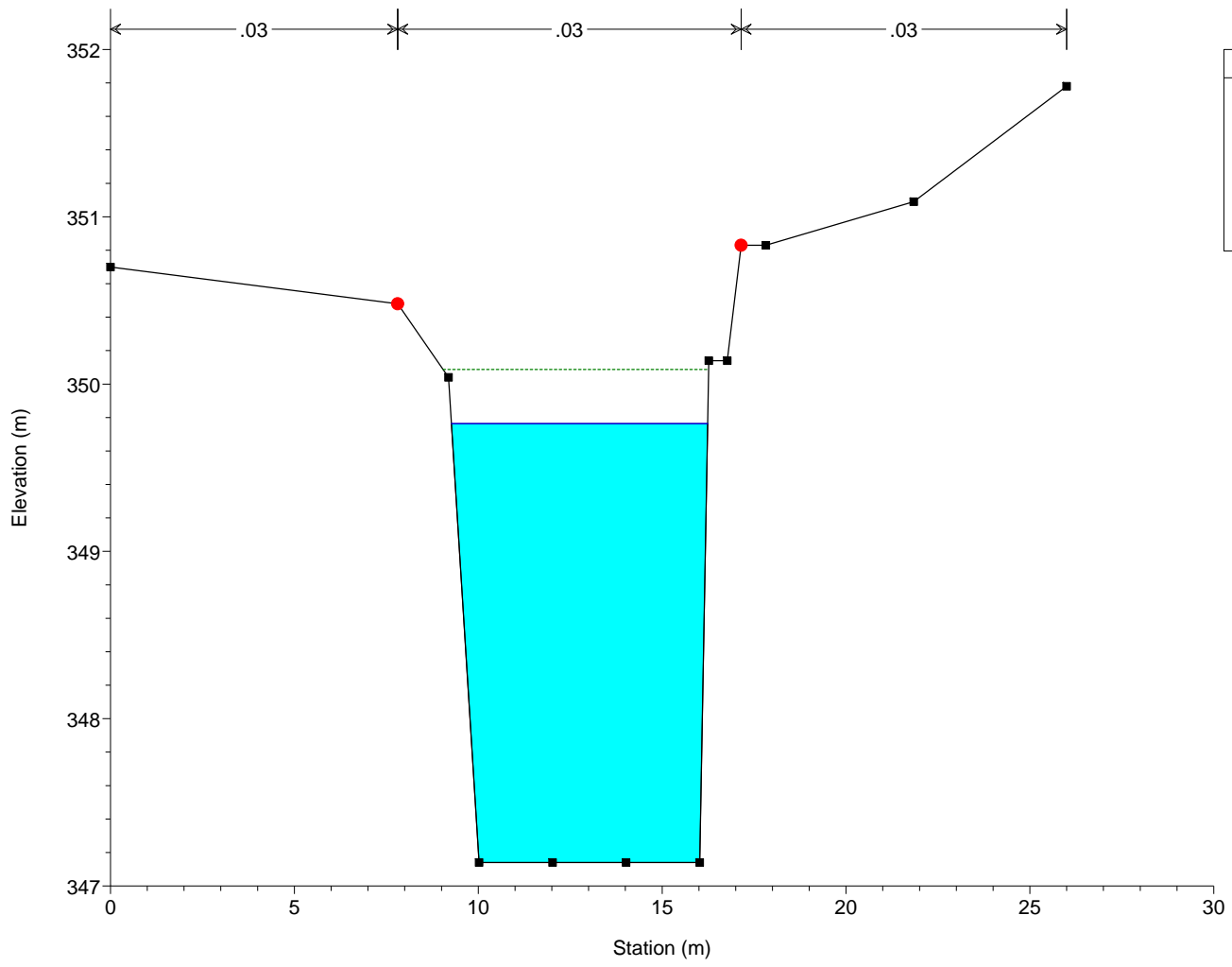
Morsina Plan: Morsina
RS = 12.2 SEZIONE B32



Morsina Plan: Morsina
RS = 12.1 SEZIONE B33

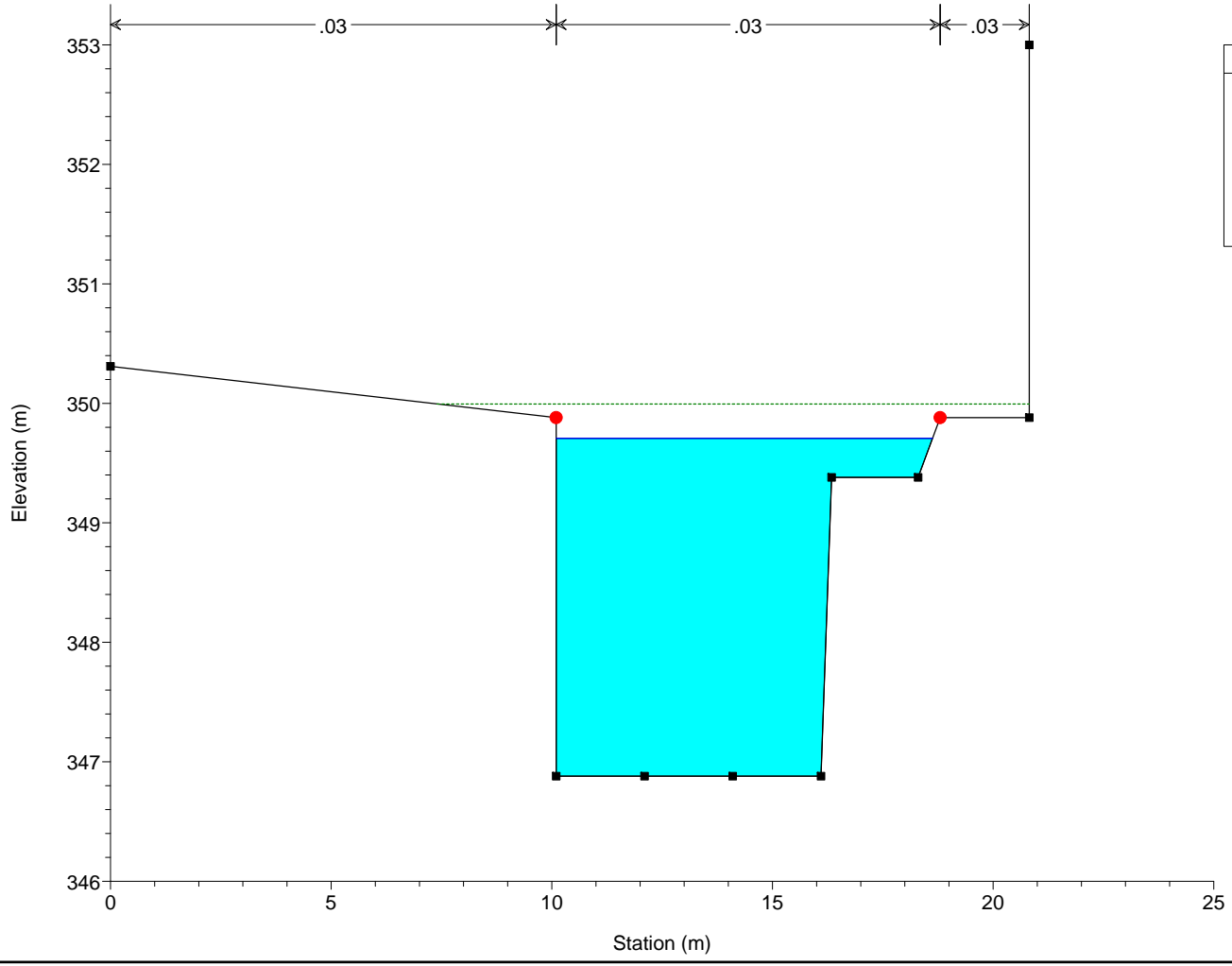


Morsina Plan: Morsina
RS = 12 SEZIONE B34



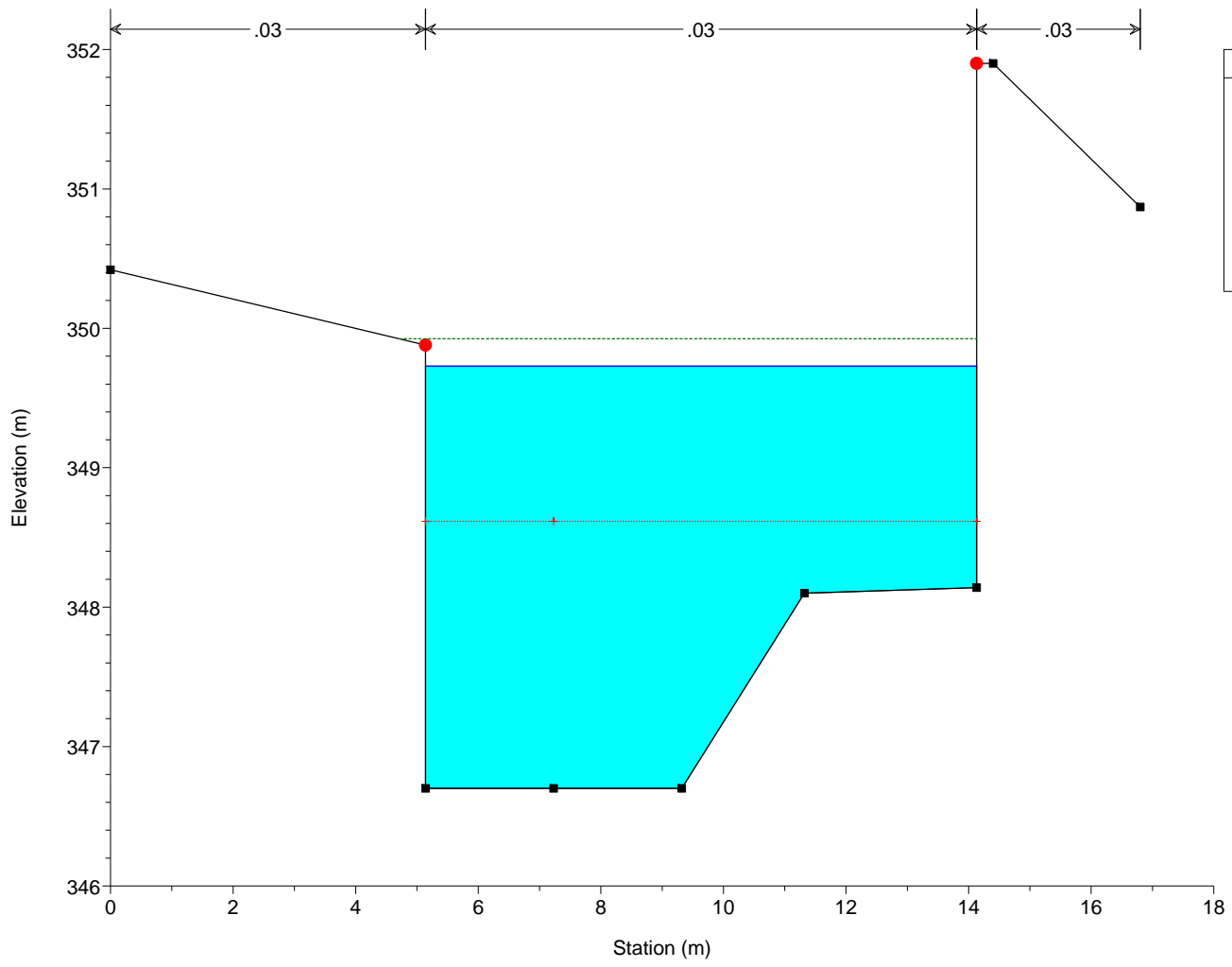
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Solid Black Line)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 11 SEZIONE B35



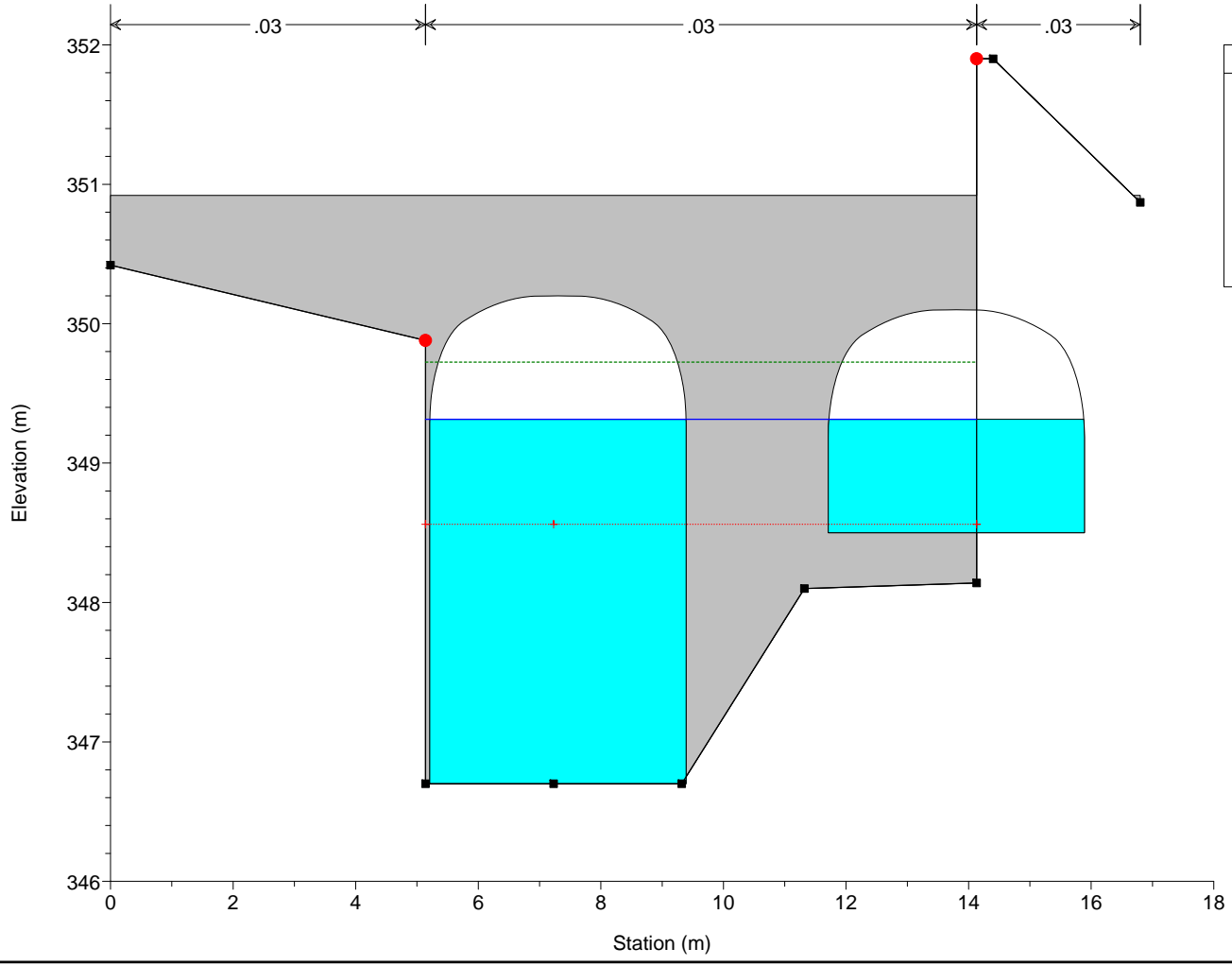
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Solid Black Line)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 10 SEZIONE B36



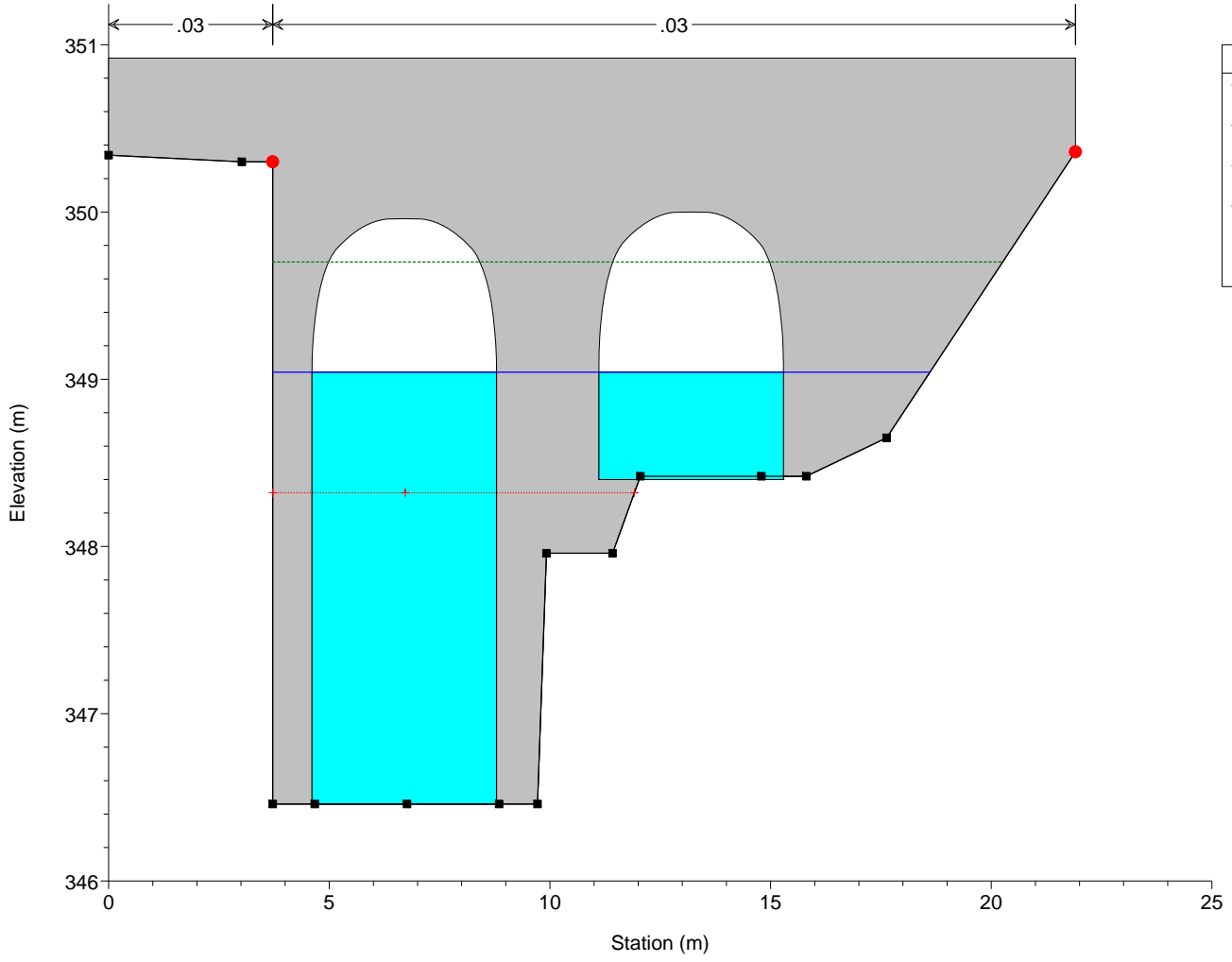
Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Bank Sta	

Morsina Plan: Morsina
RS = 9.1 Culv PONTE n.1

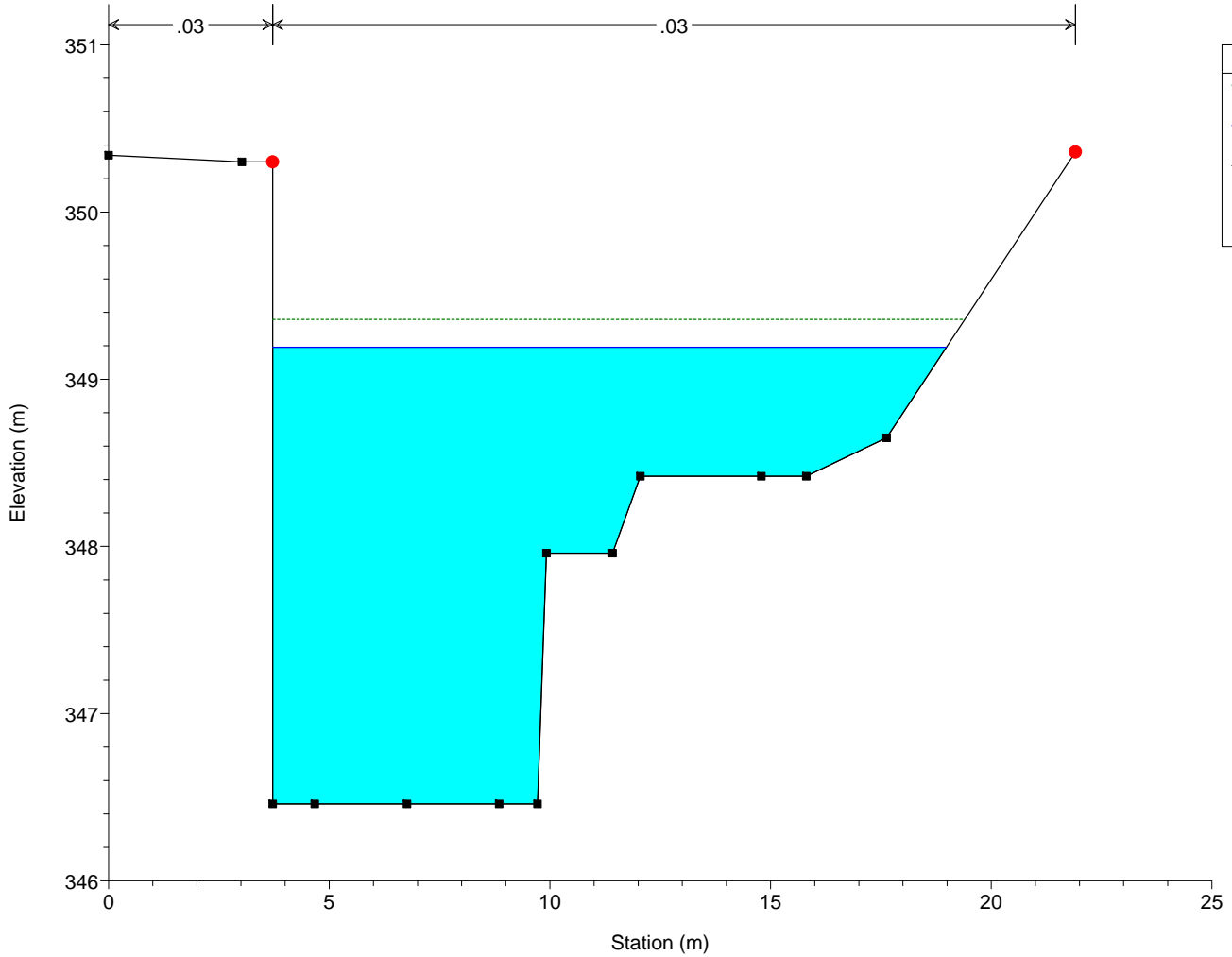


Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Bank Sta	

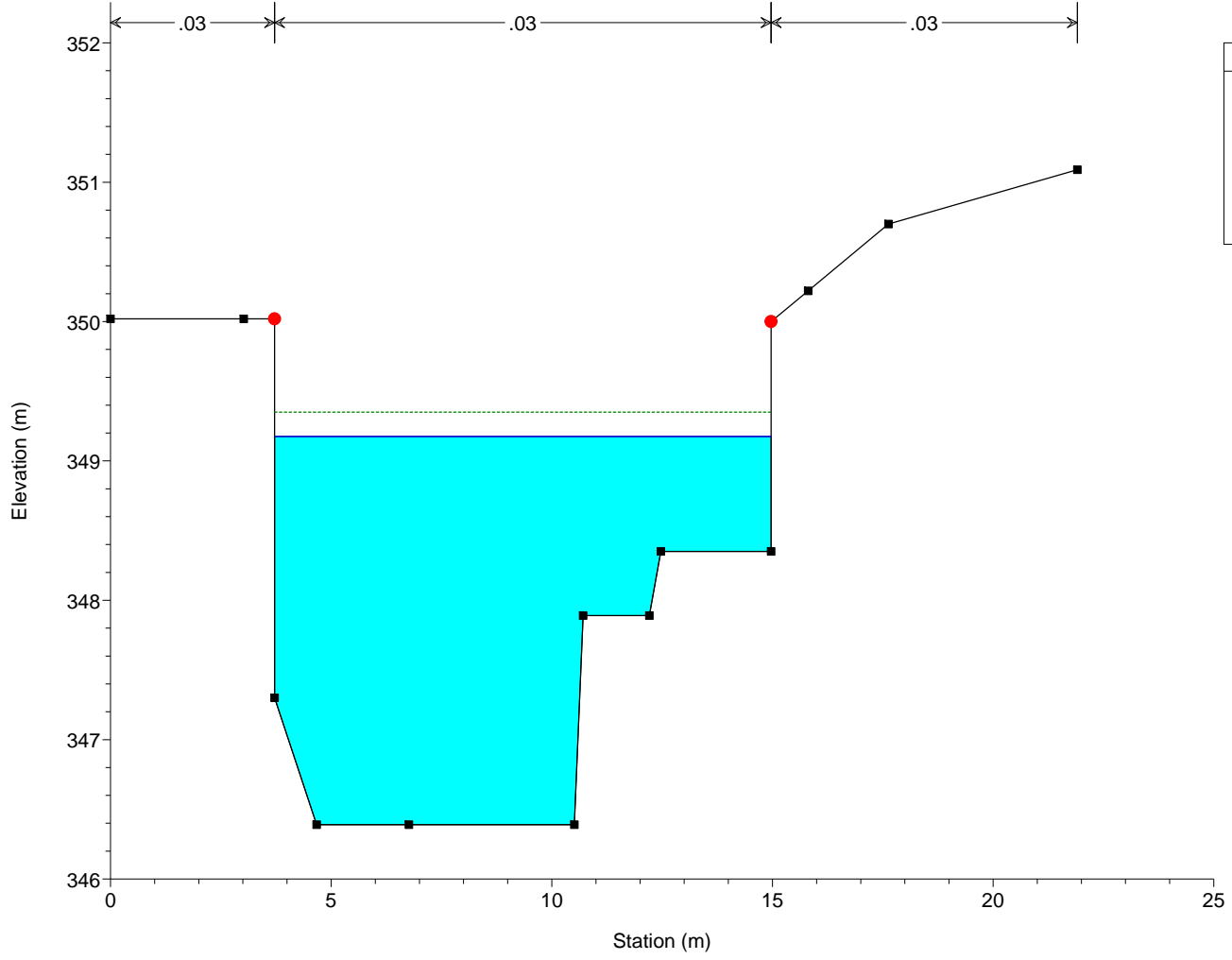
Morsina Plan: Morsina
RS = 9.1 Culv PONTE n.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 9 SEZIONE A2



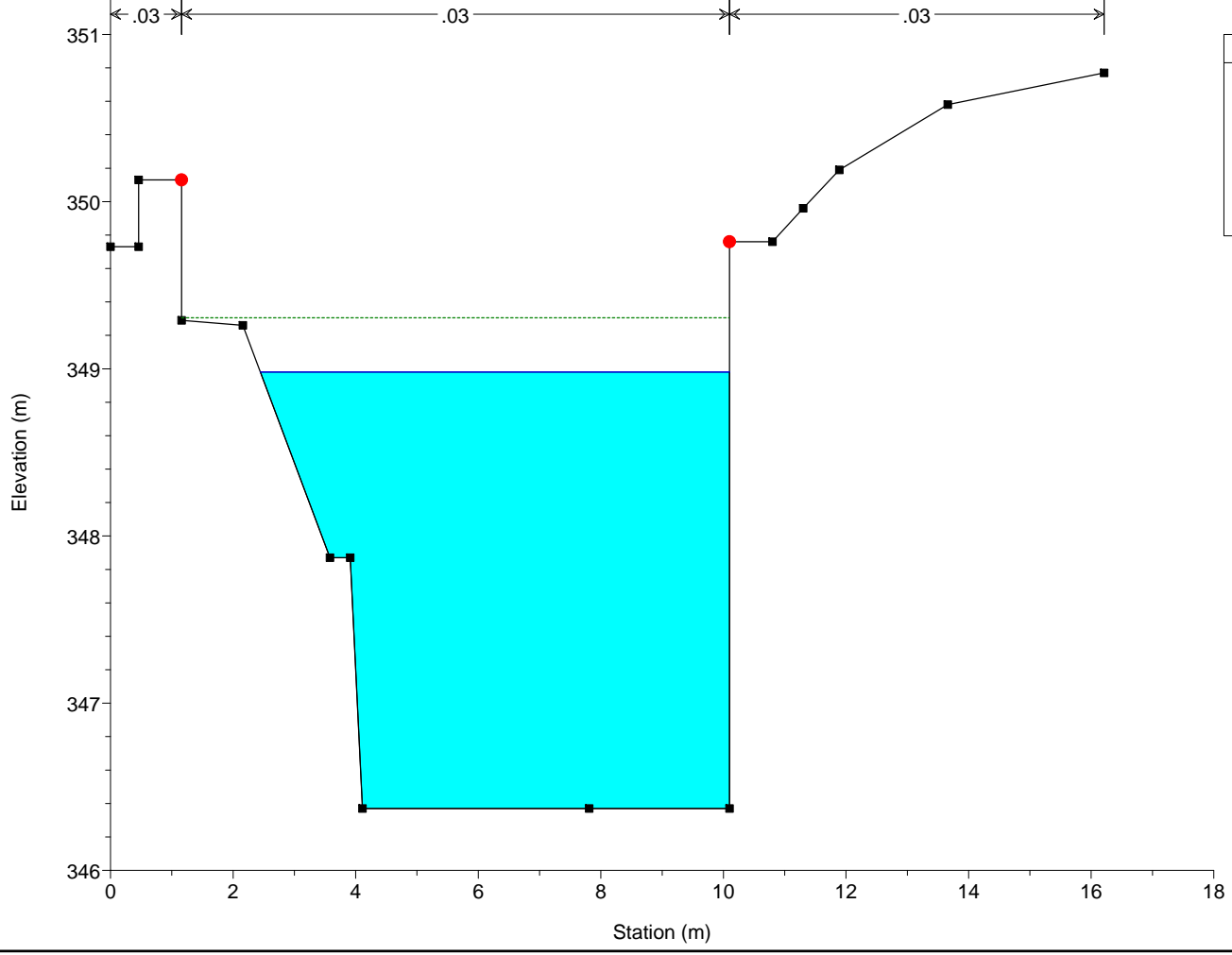
Morsina Plan: Morsina
RS = 8.2 SEZIONE A3



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

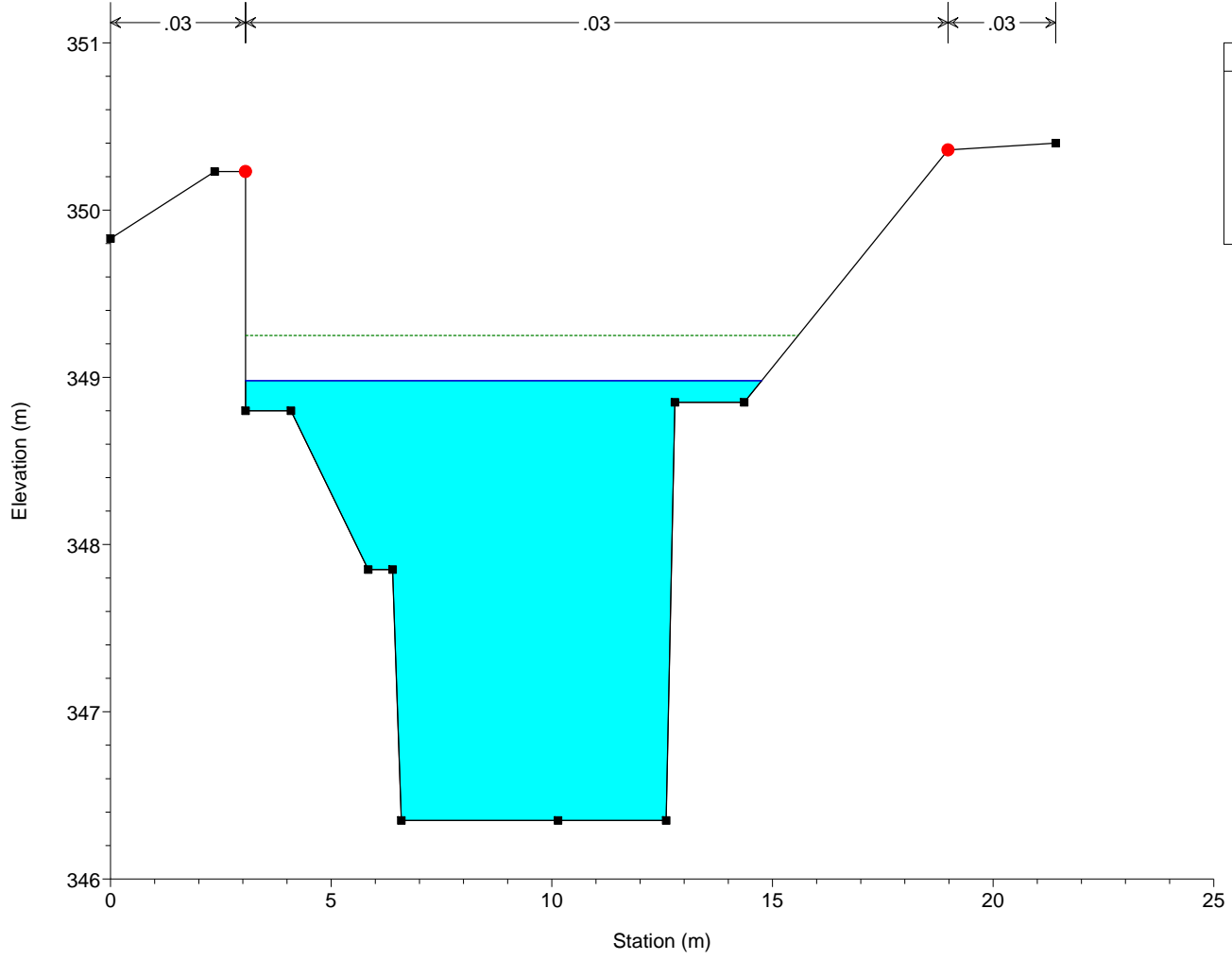
Morsina Plan: Morsina
RS = 8.1 SEZIONE A4



Legend

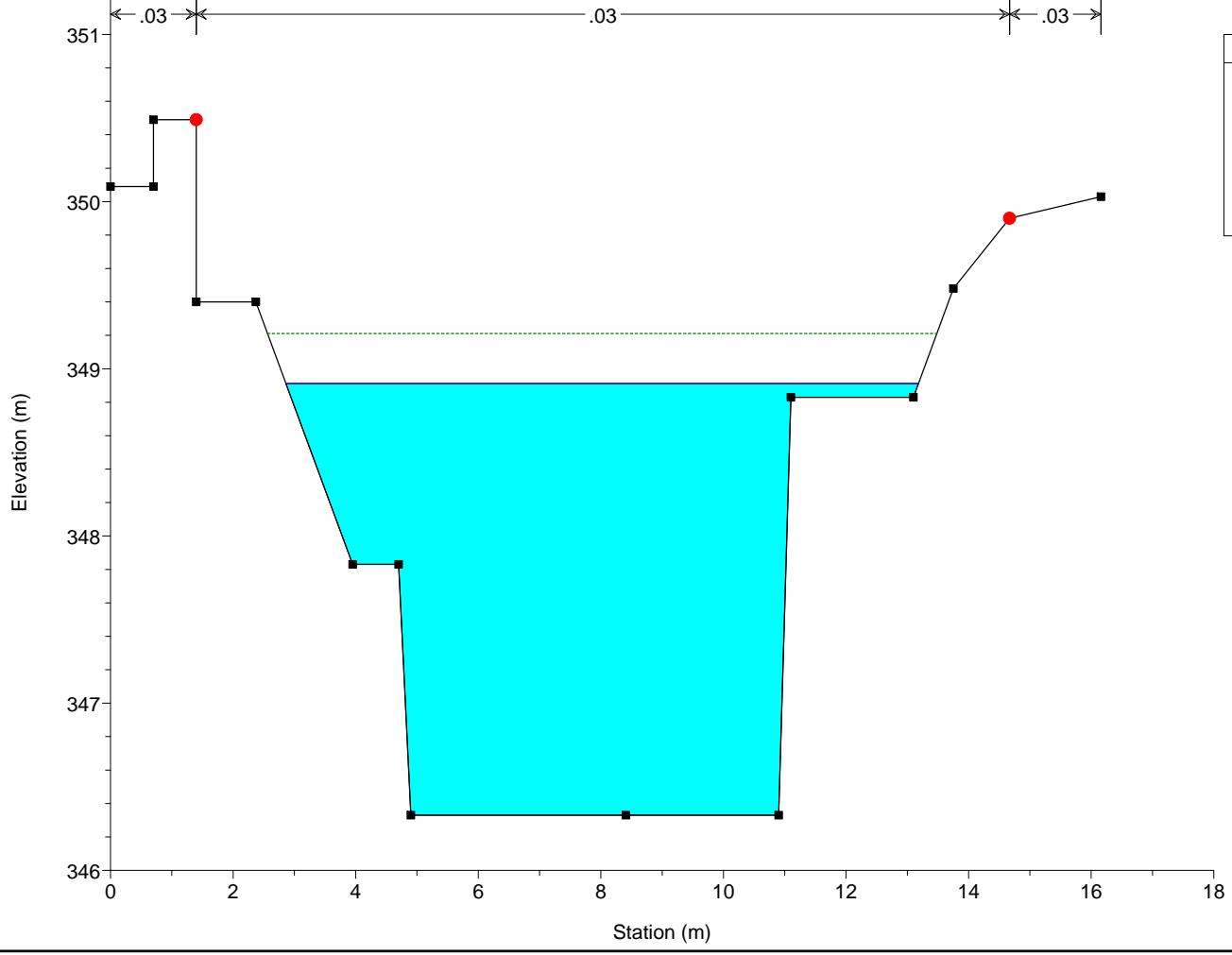
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 8 SEZIONE A5



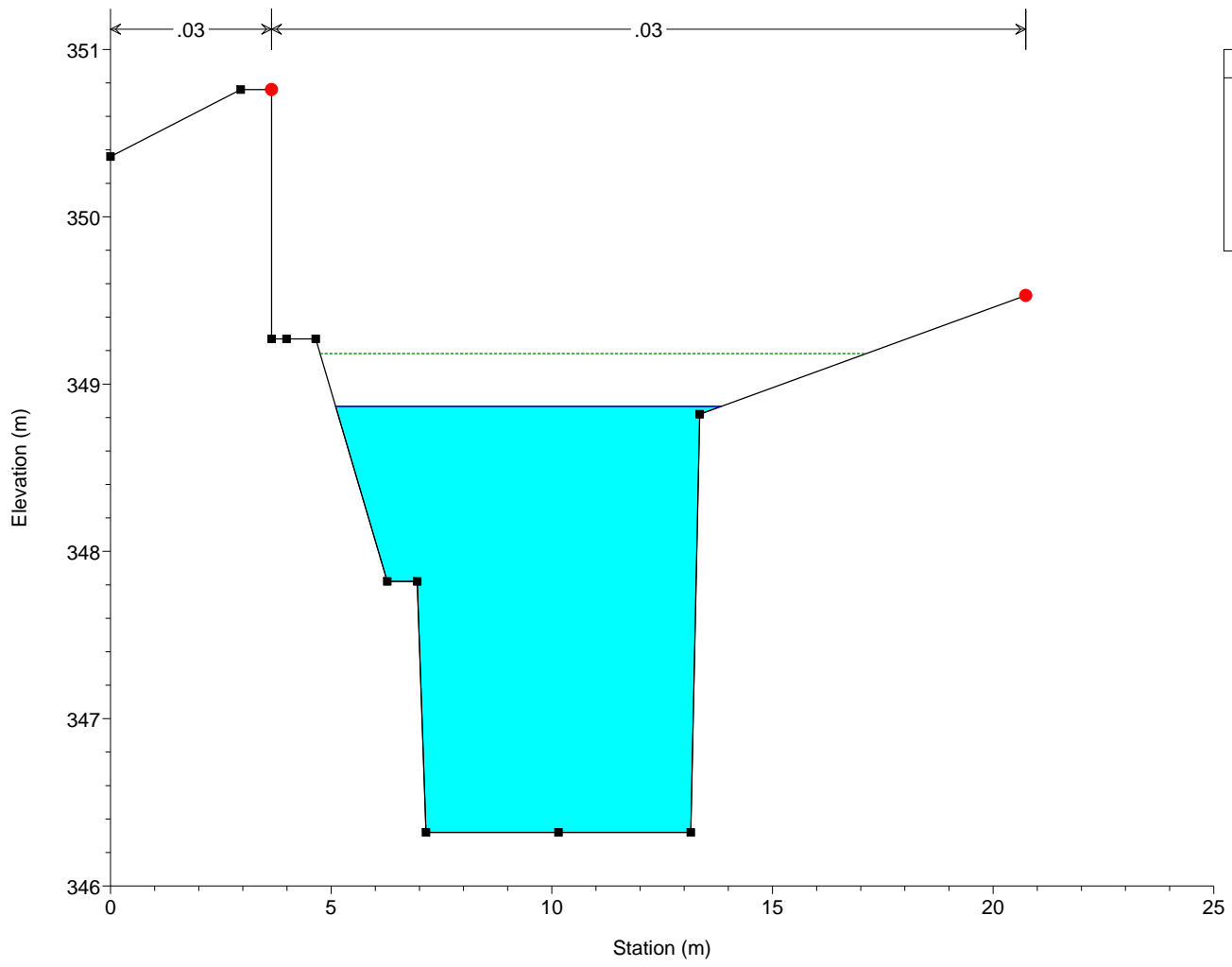
Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 7.1 SEZIONE A6

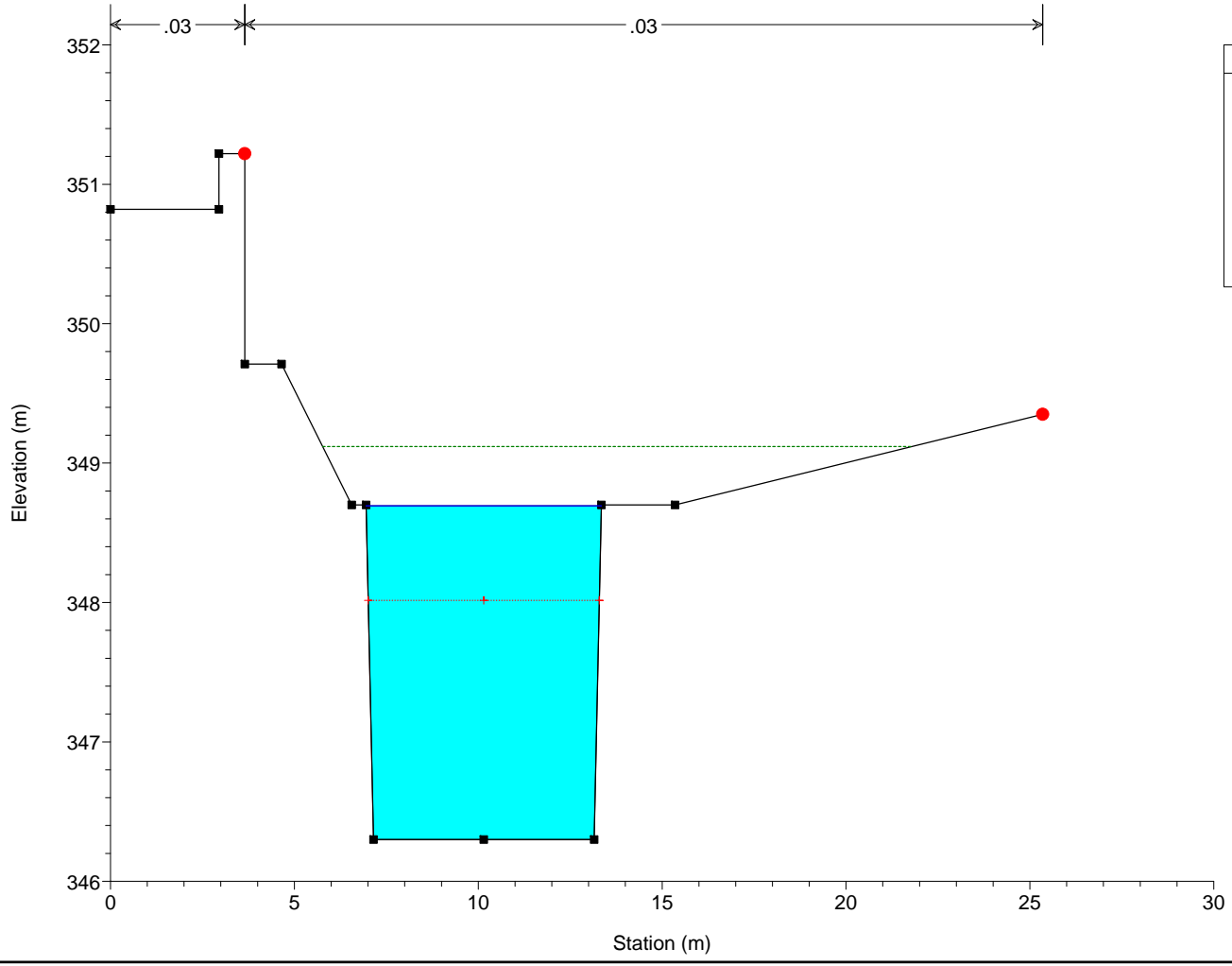


Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

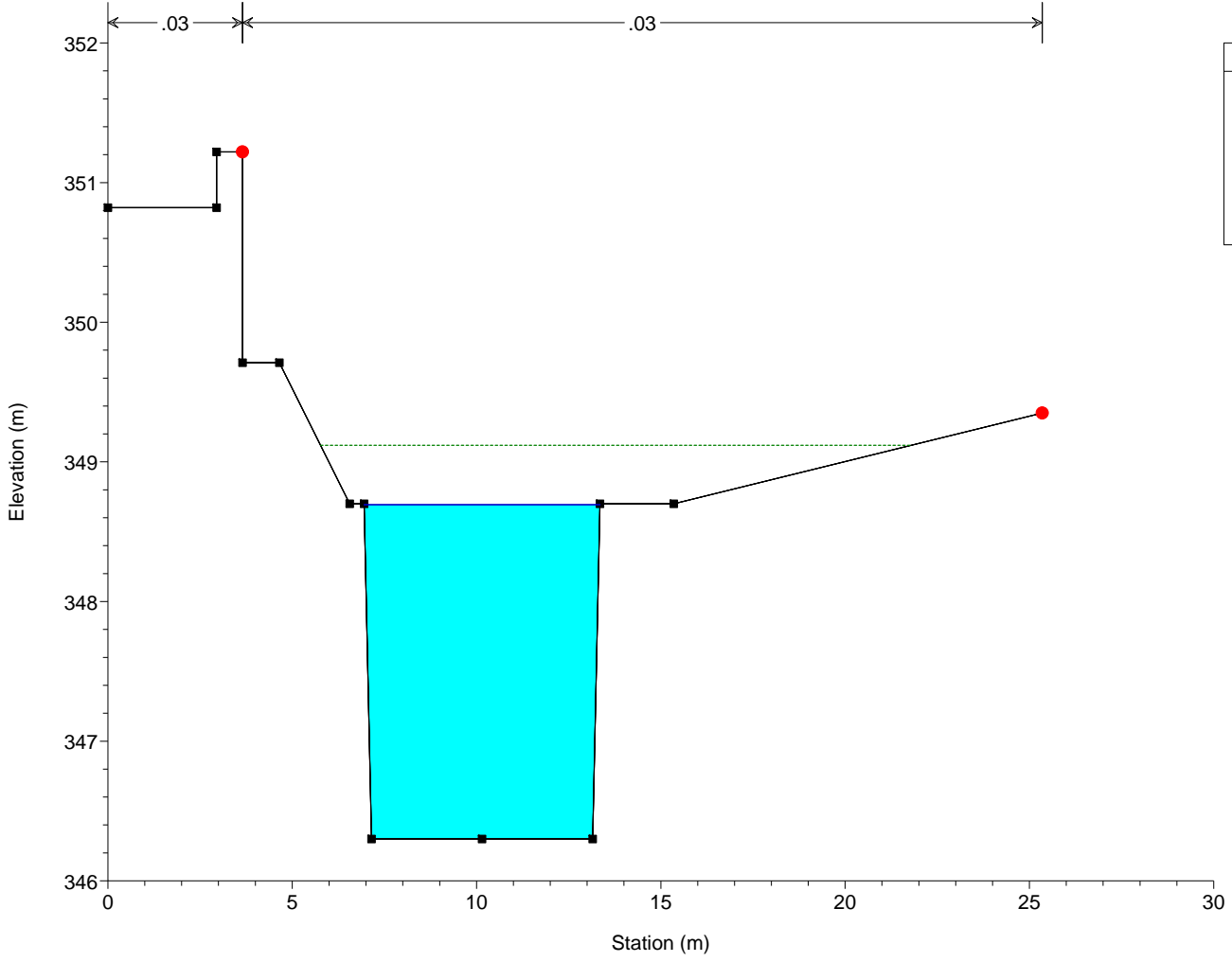
Morsina Plan: Morsina
RS = 7 SEZIONE A7



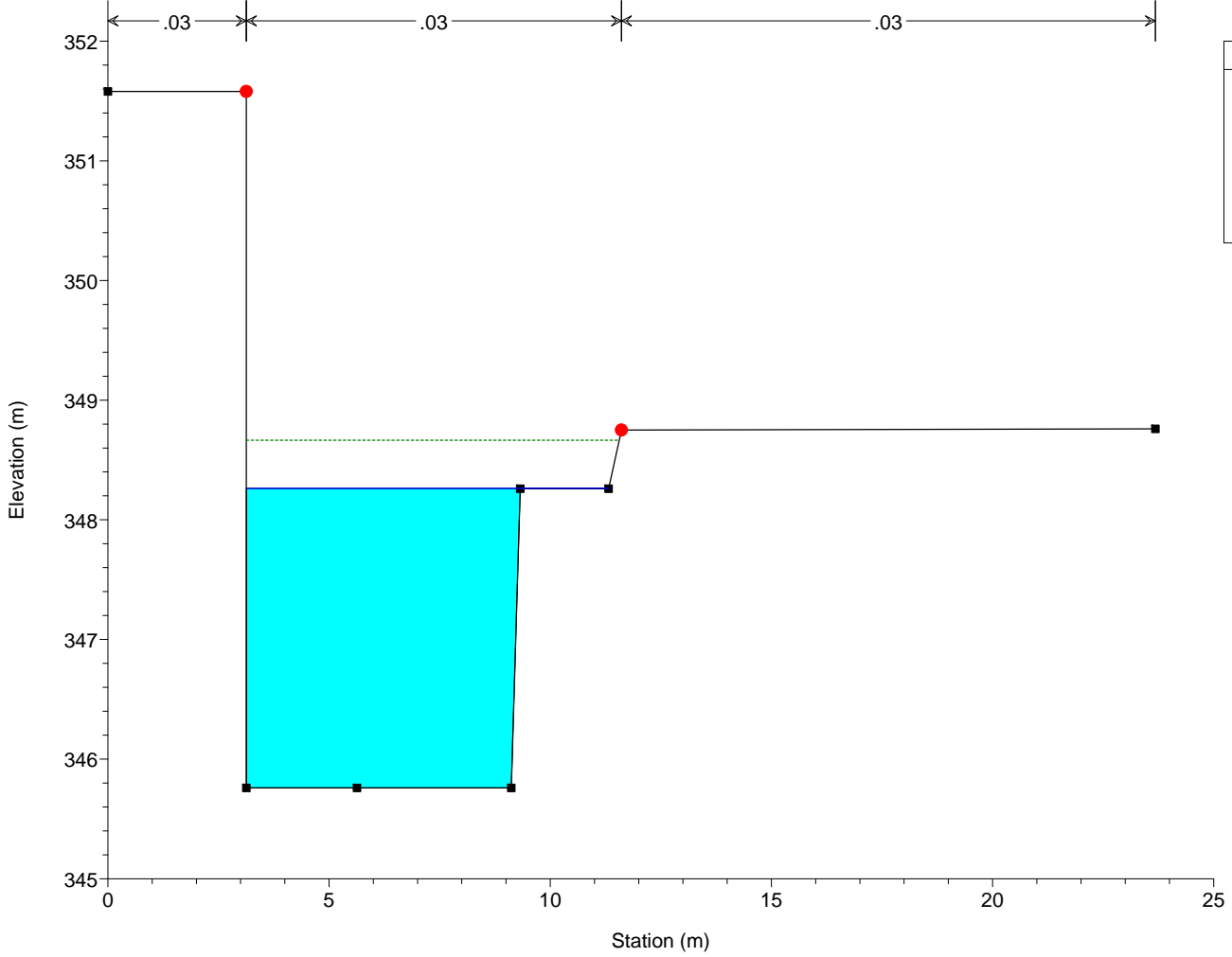
Morsina Plan: Morsina
RS = 6.2 SEZIONE A8



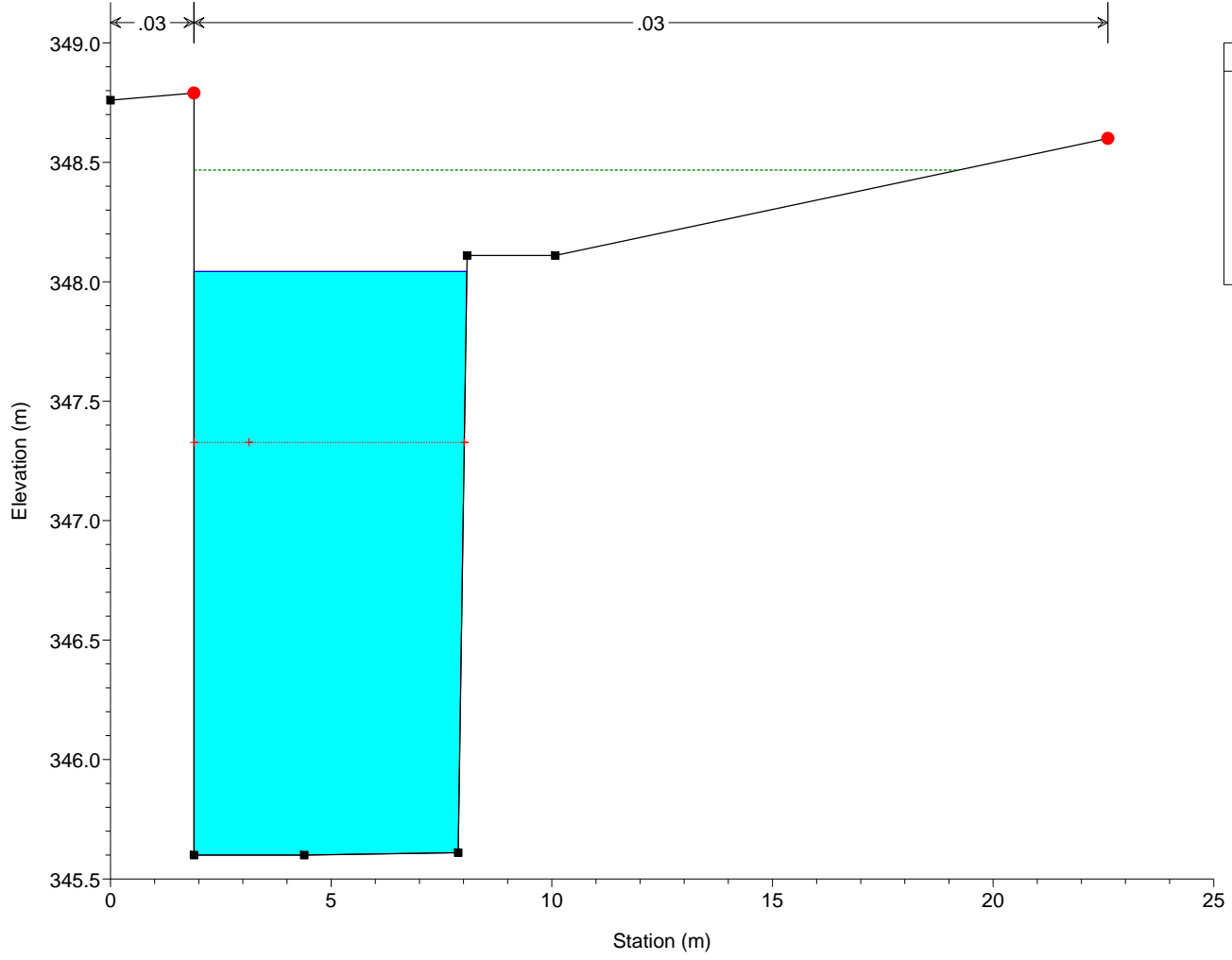
Morsina Plan: Morsina
RS = 6.1 IS BRIGLIA N.3



Morsina Plan: Morsina
RS = 6 SEZIONE A9



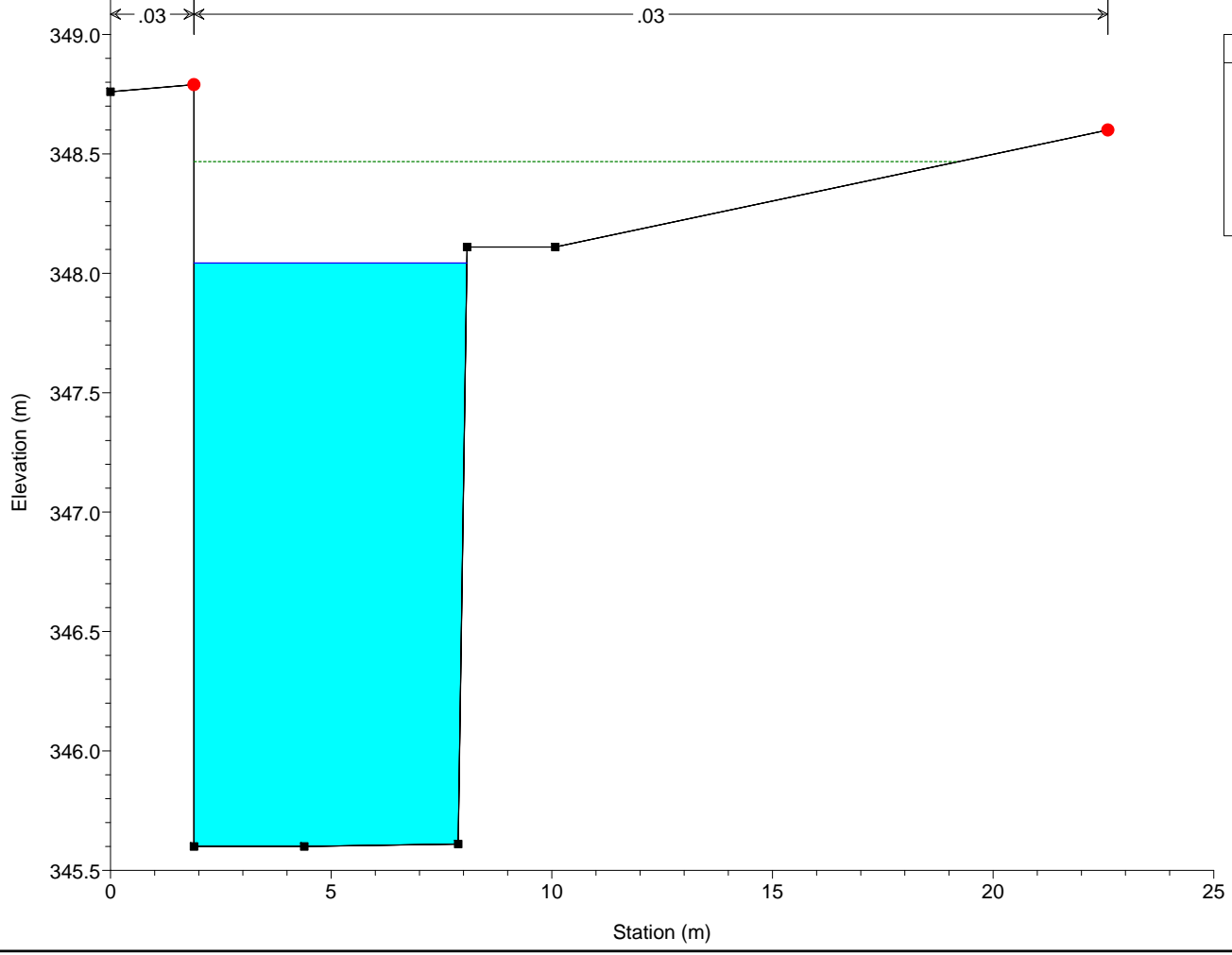
Morsina Plan: Morsina
RS = 5 SEZIONE A10



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

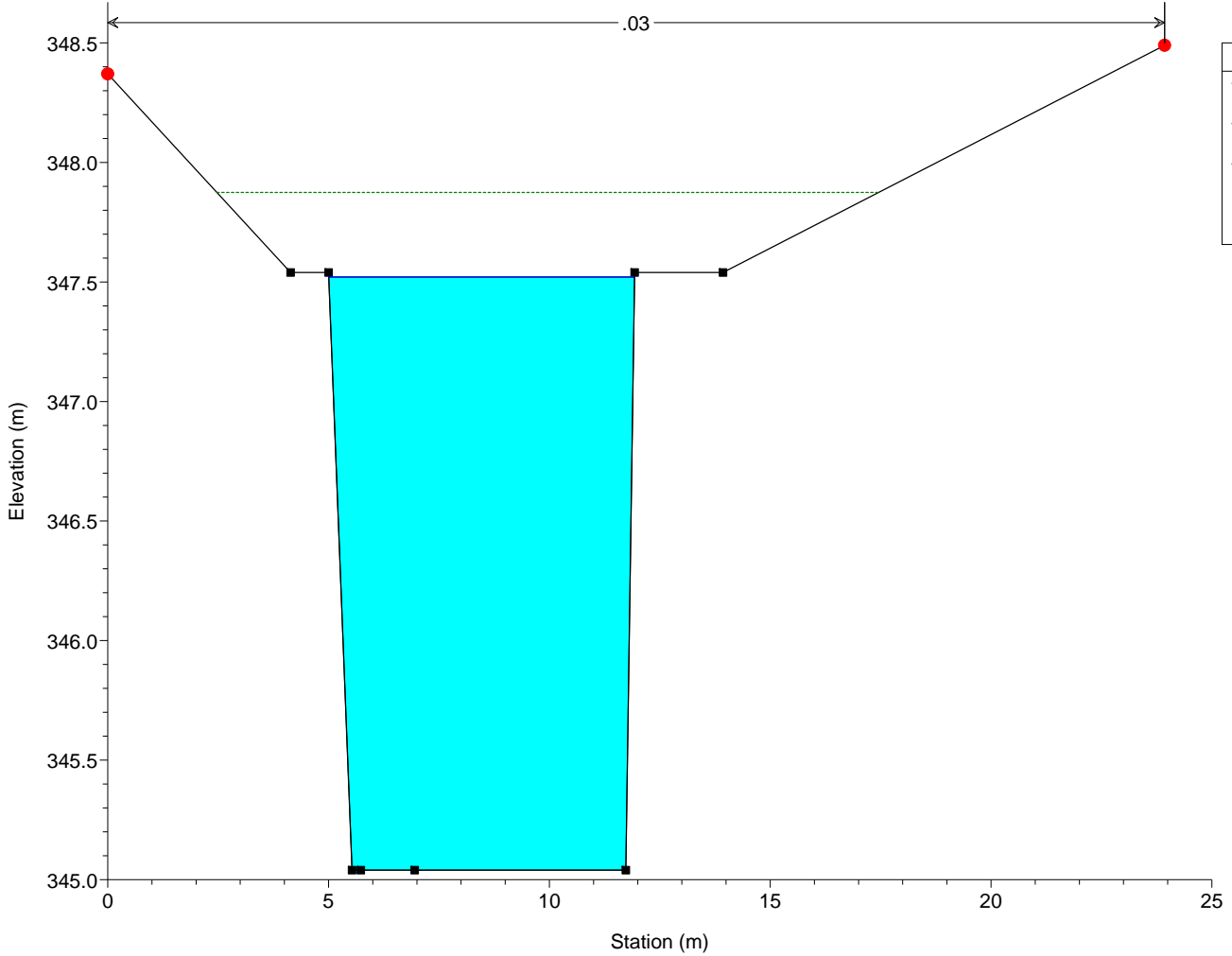
Morsina Plan: Morsina
RS = 4.1 IS BRIGLIA N.2



Legend

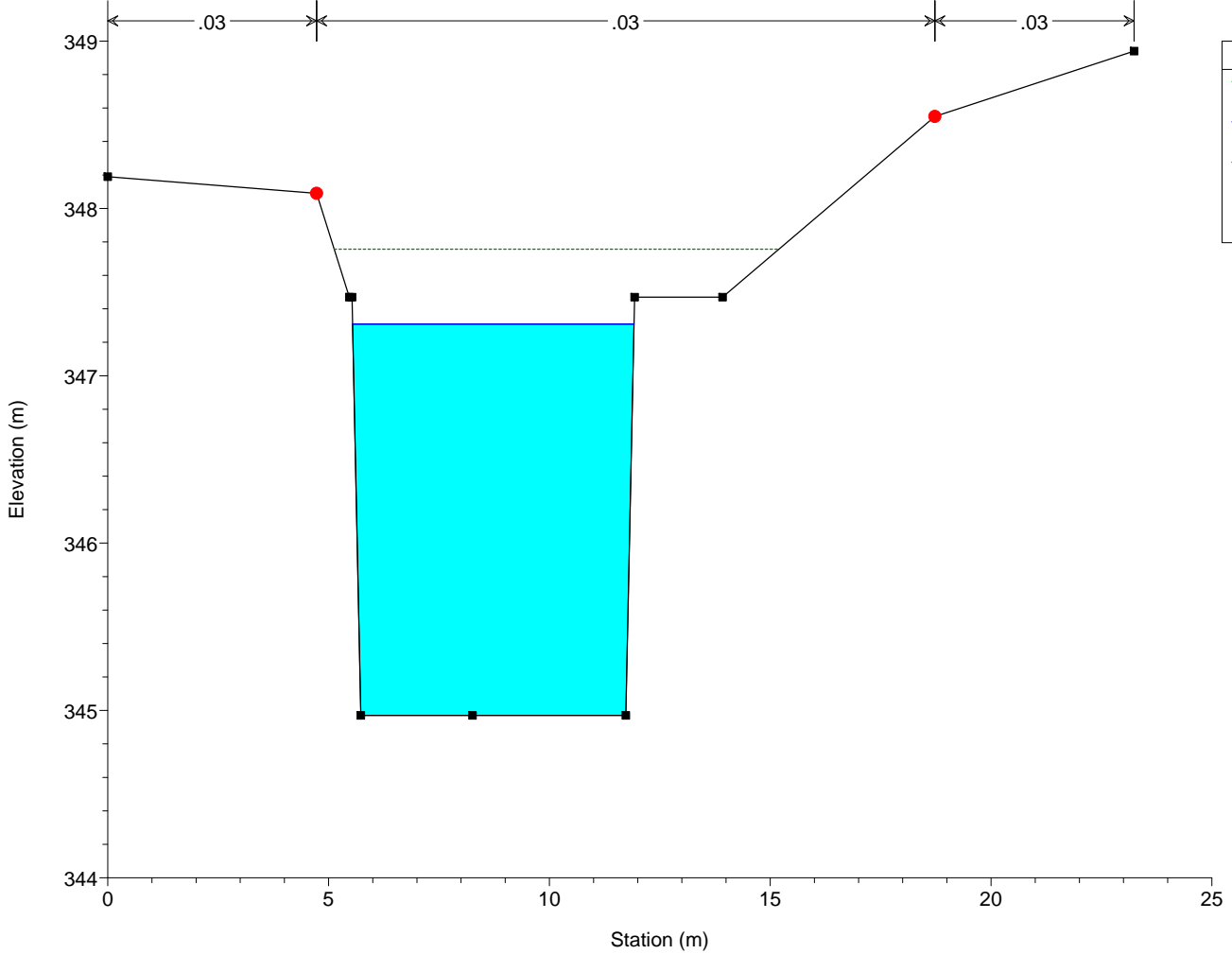
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 4 SEZIONE A11



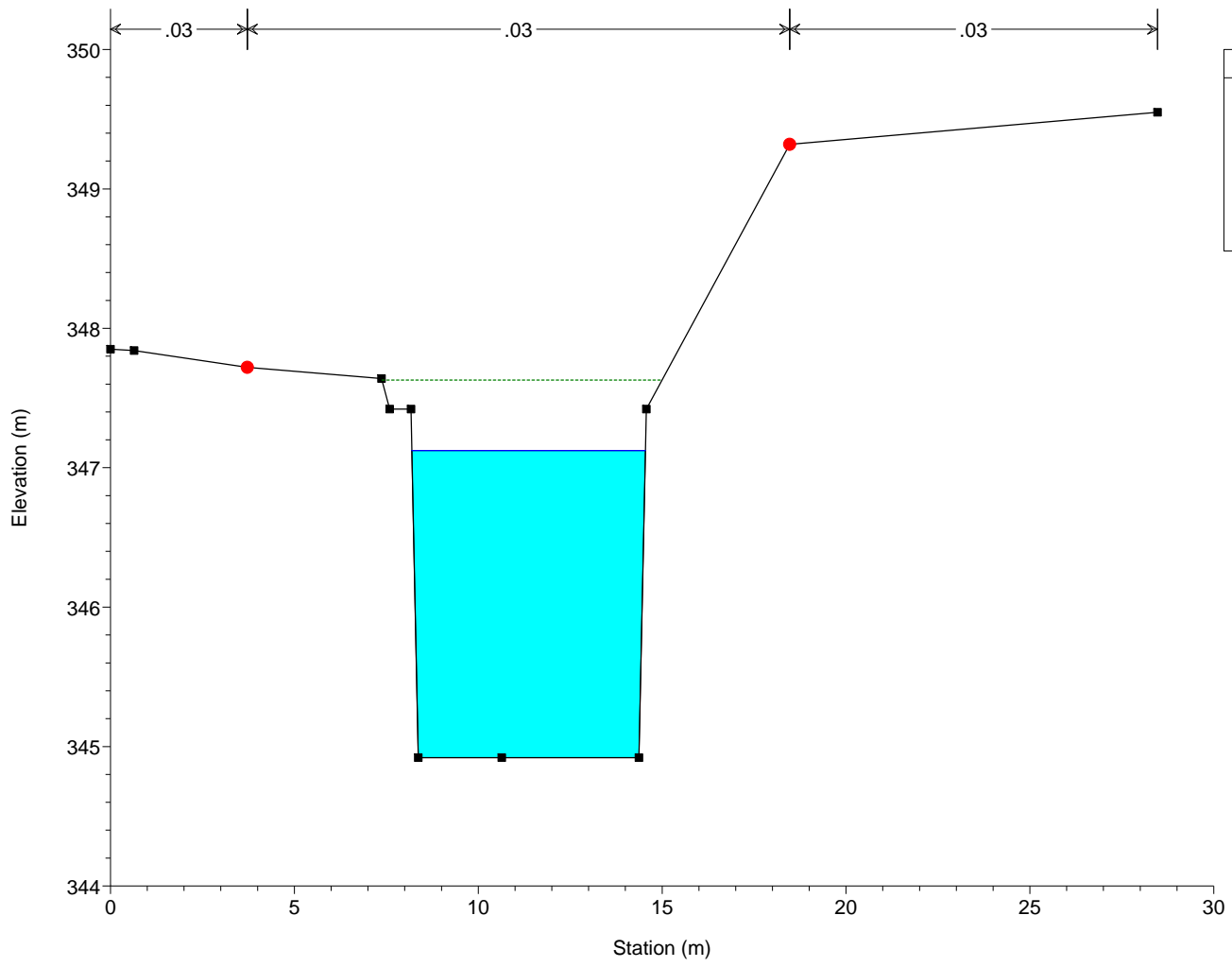
Legend	
EG PF 1	(Dotted green line)
WS PF 1	(Solid black line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 3.1 SEZIONE A12



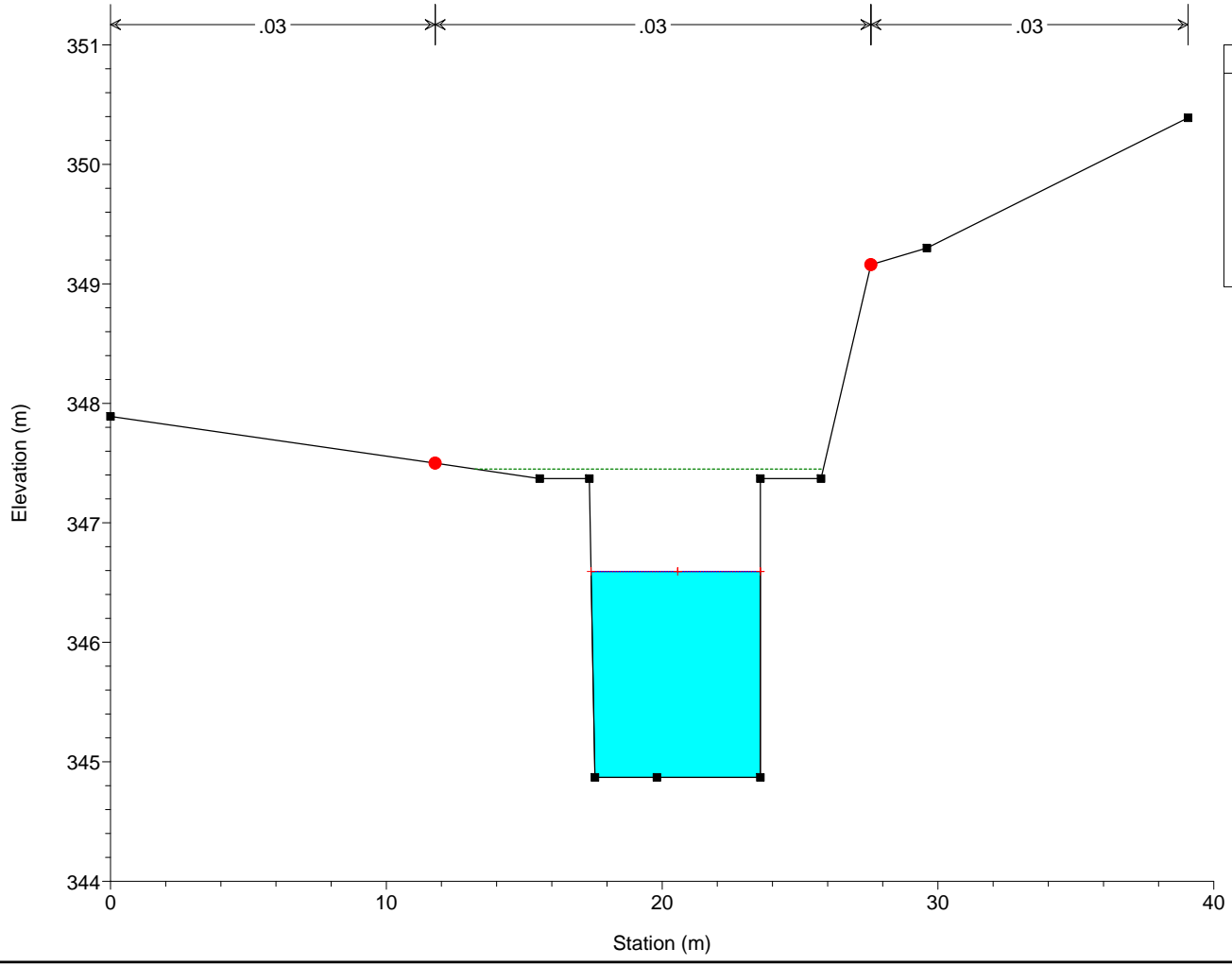
Legend	
EG PF 1	(Dotted green line)
WS PF 1	(Solid black line)
Ground	(Black square)
Bank Sta	(Red circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 3 SEZIONE A13



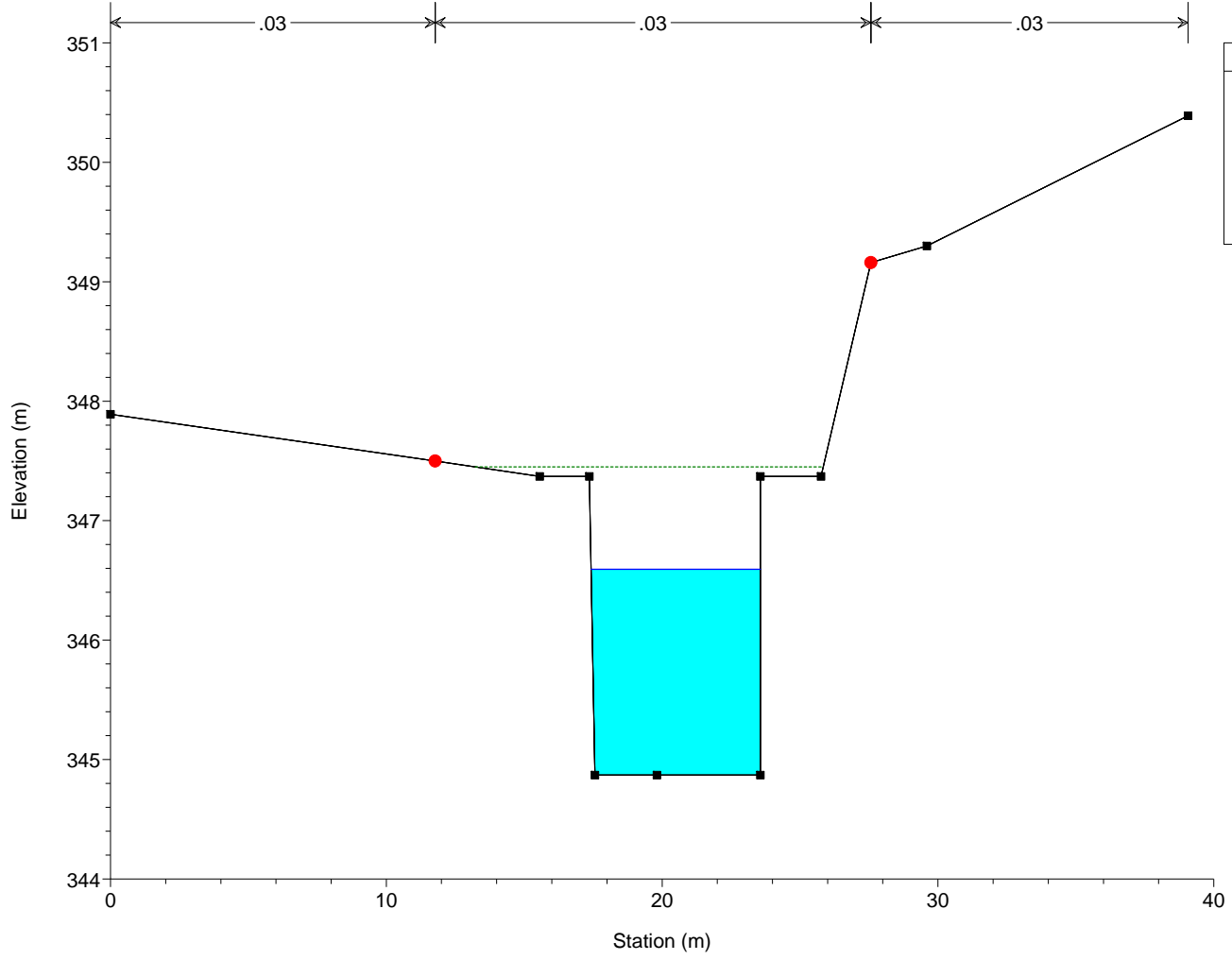
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

Morsina Plan: Morsina
RS = 2.2 SEZIONE A14

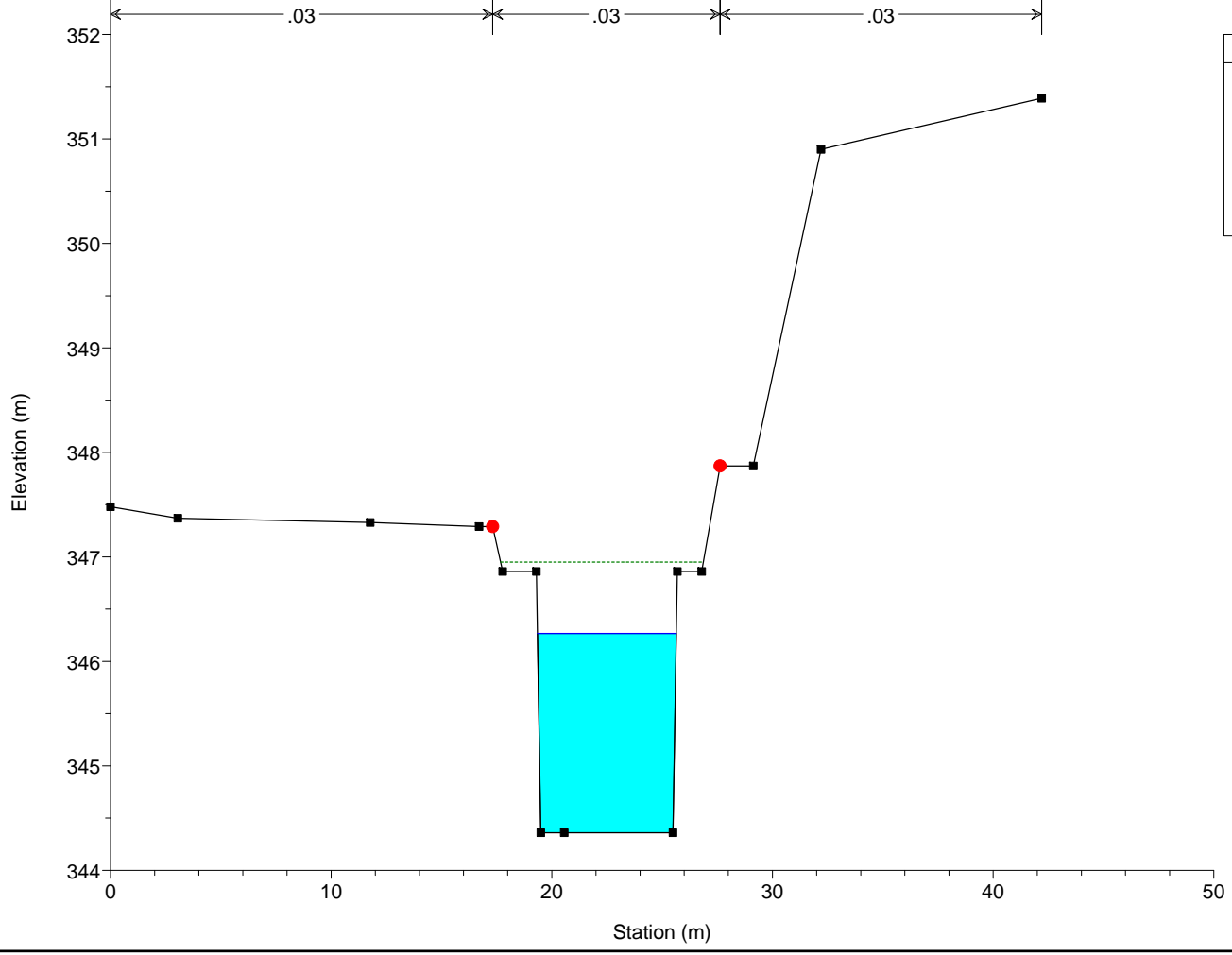


Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Crit PF 1	(Red Dotted Line with Cross)
Ground	(Black Square)
Bank Sta	(Red Circle)

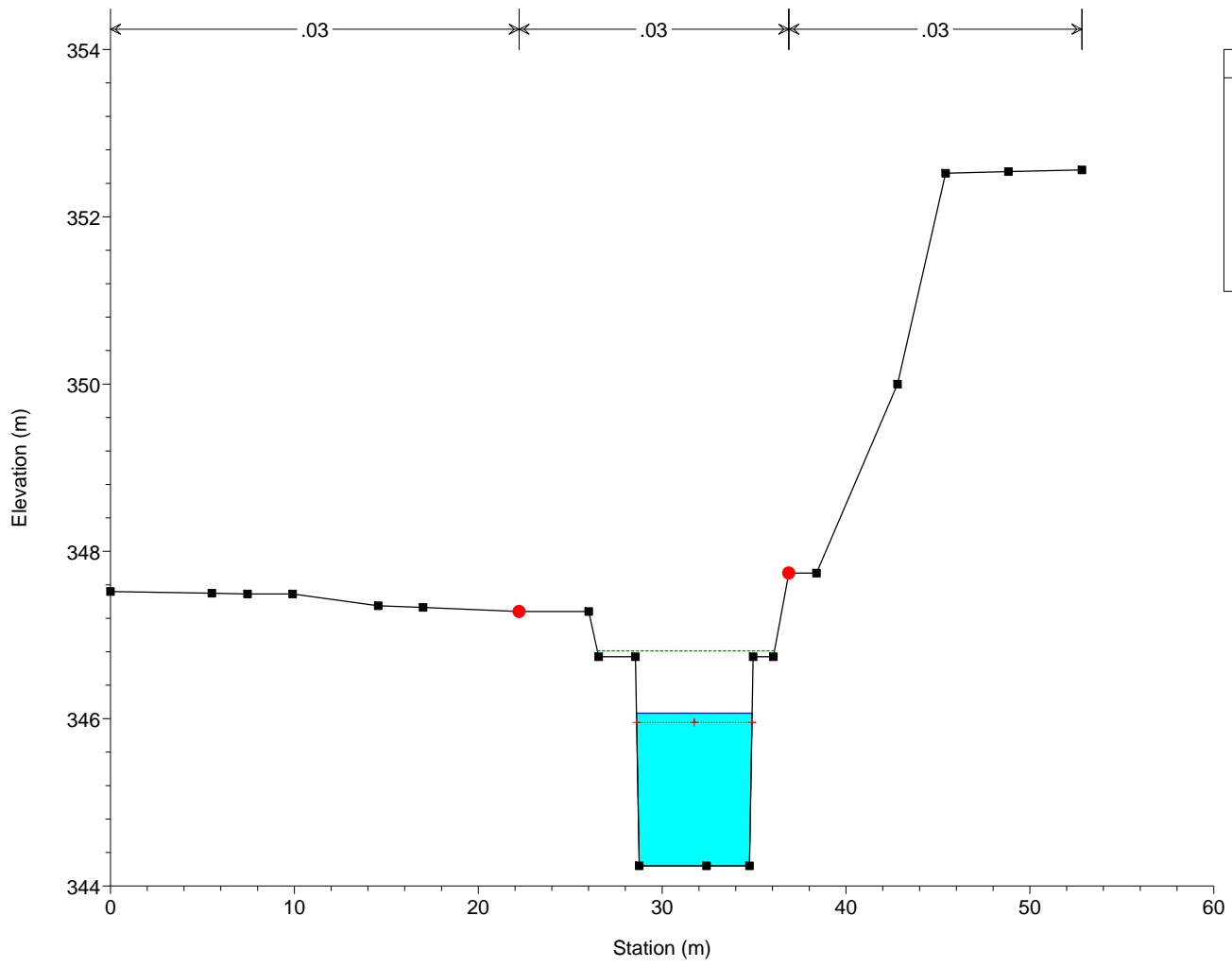
Morsina Plan: Morsina
RS = 2.1 IS BRIGLIA N.1



Morsina Plan: Morsina
RS = 2 SEZIONE A15



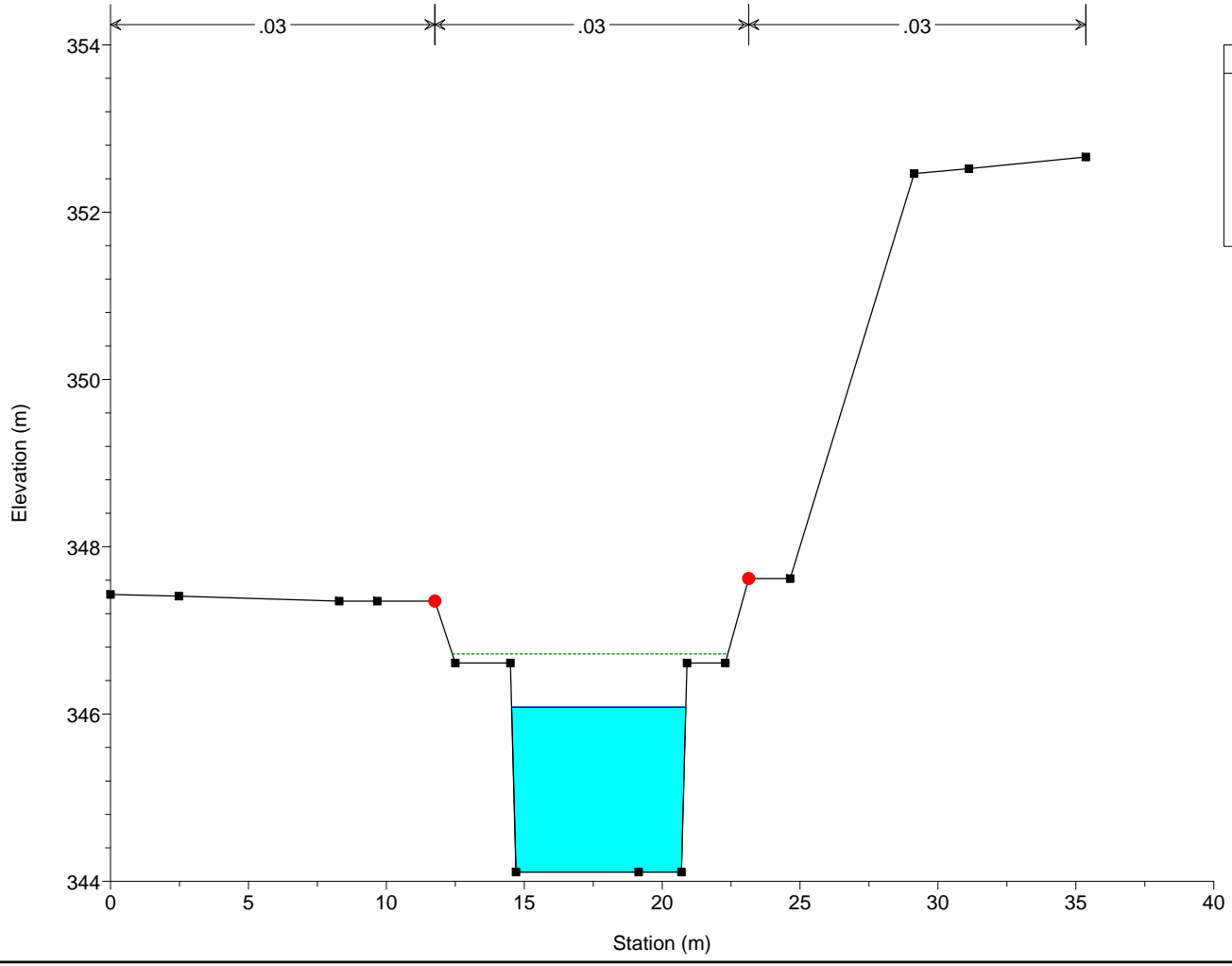
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.7 SEZIONE A15.1



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

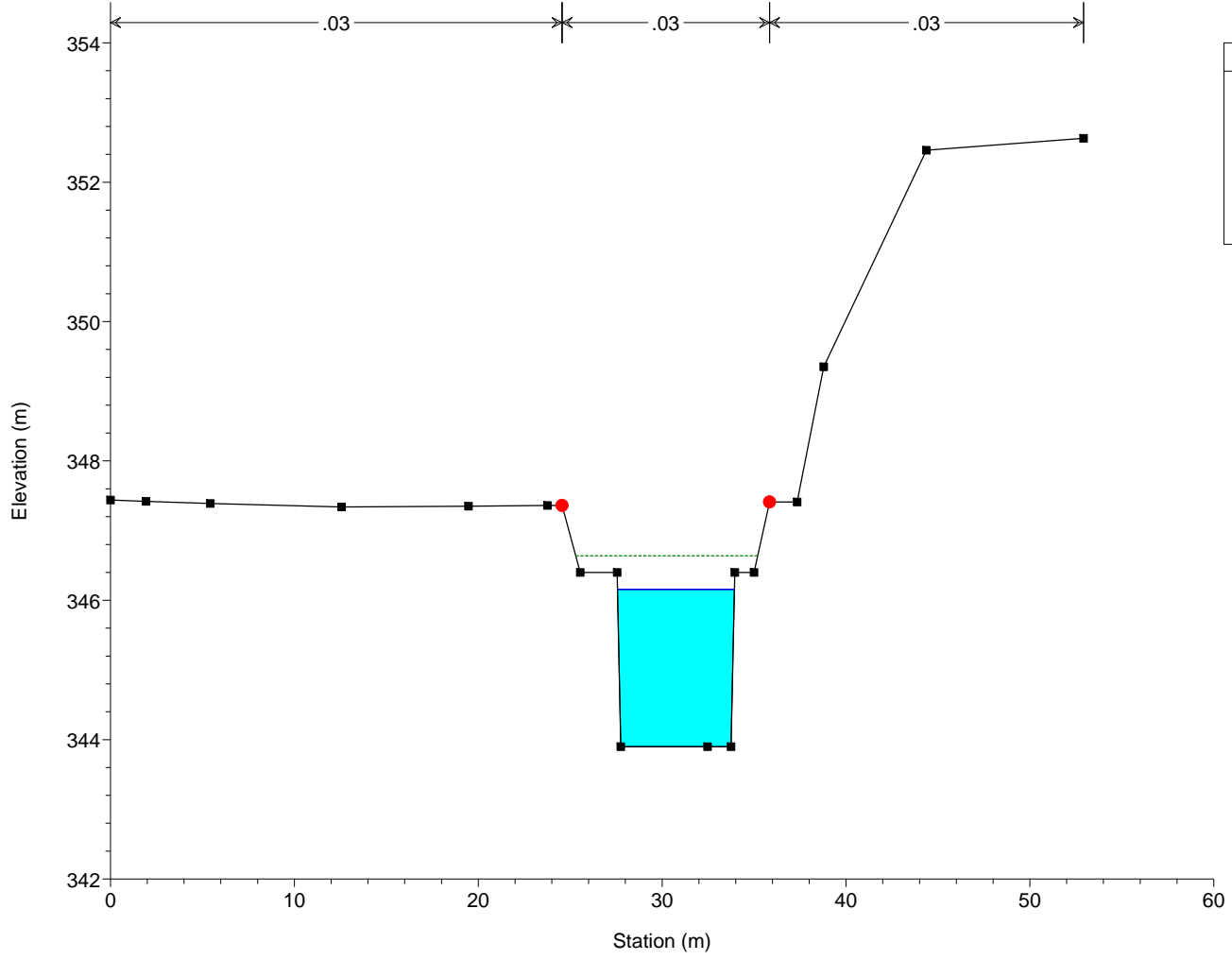
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.6 SEZIONE A16



Legend

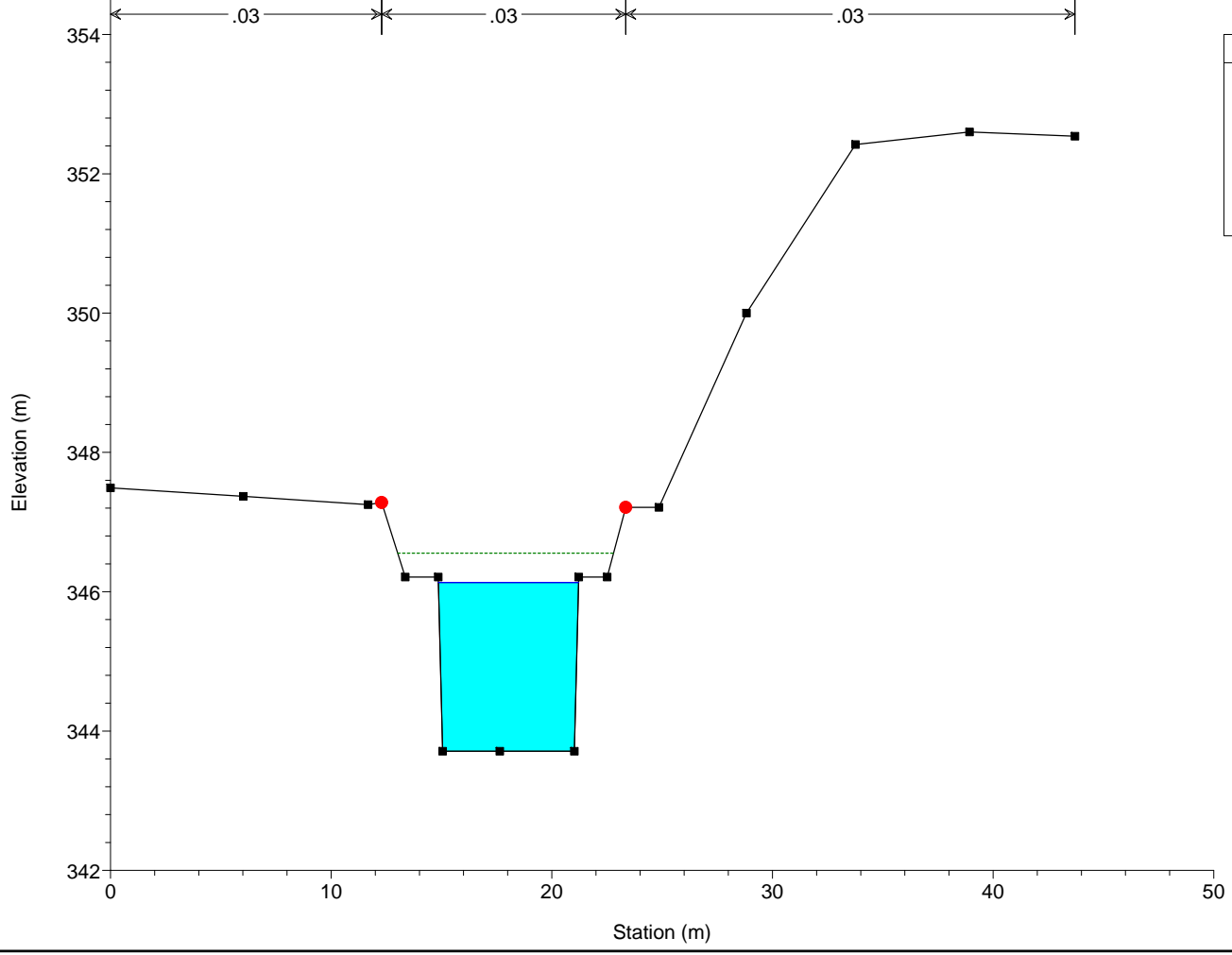
- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 1.5 SEZIONE A16.1



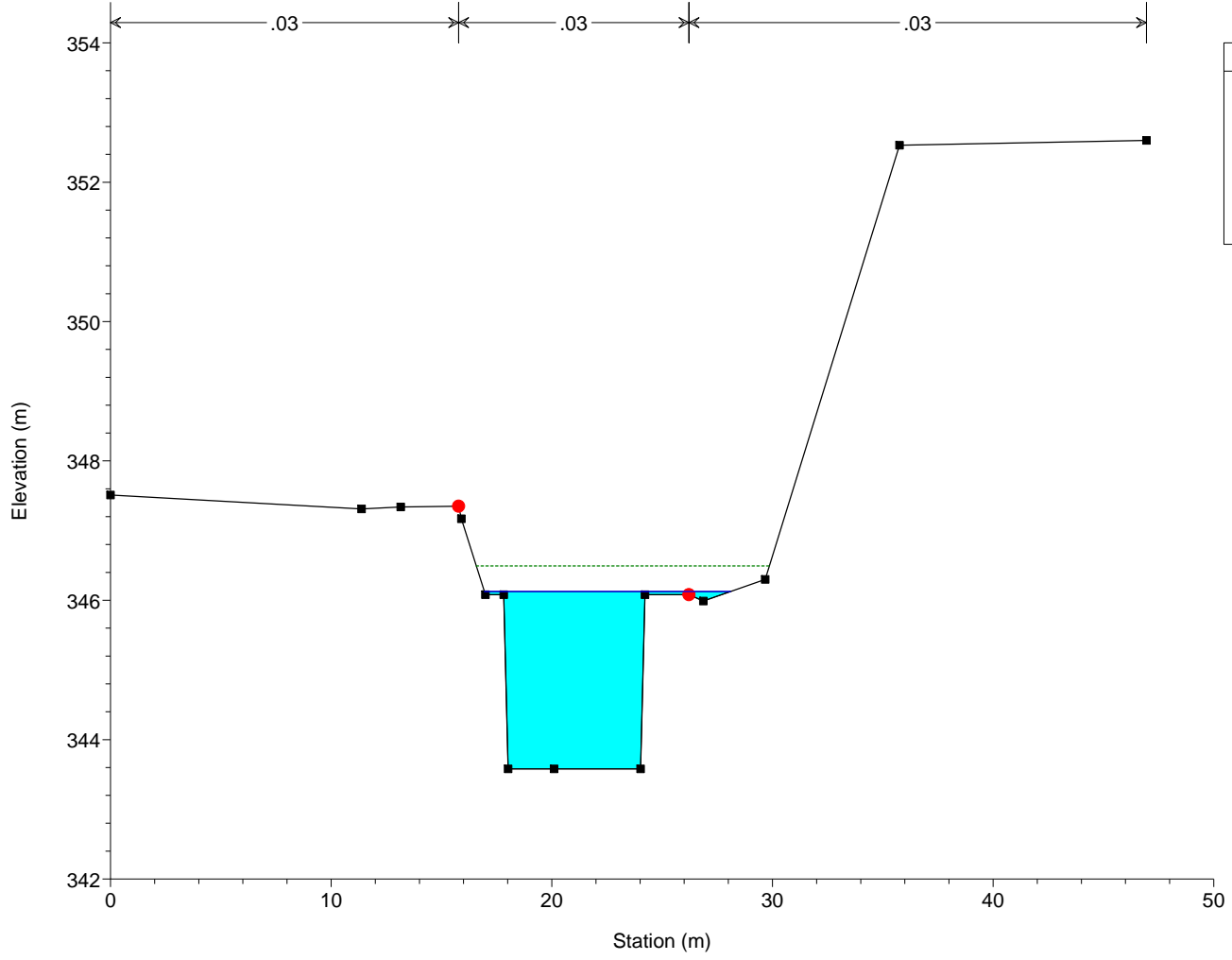
Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Line with Square Markers)
Bank Sta	(Red Dot)

Morsina Plan: Morsina
RS = 1.4 SEZIONE A17

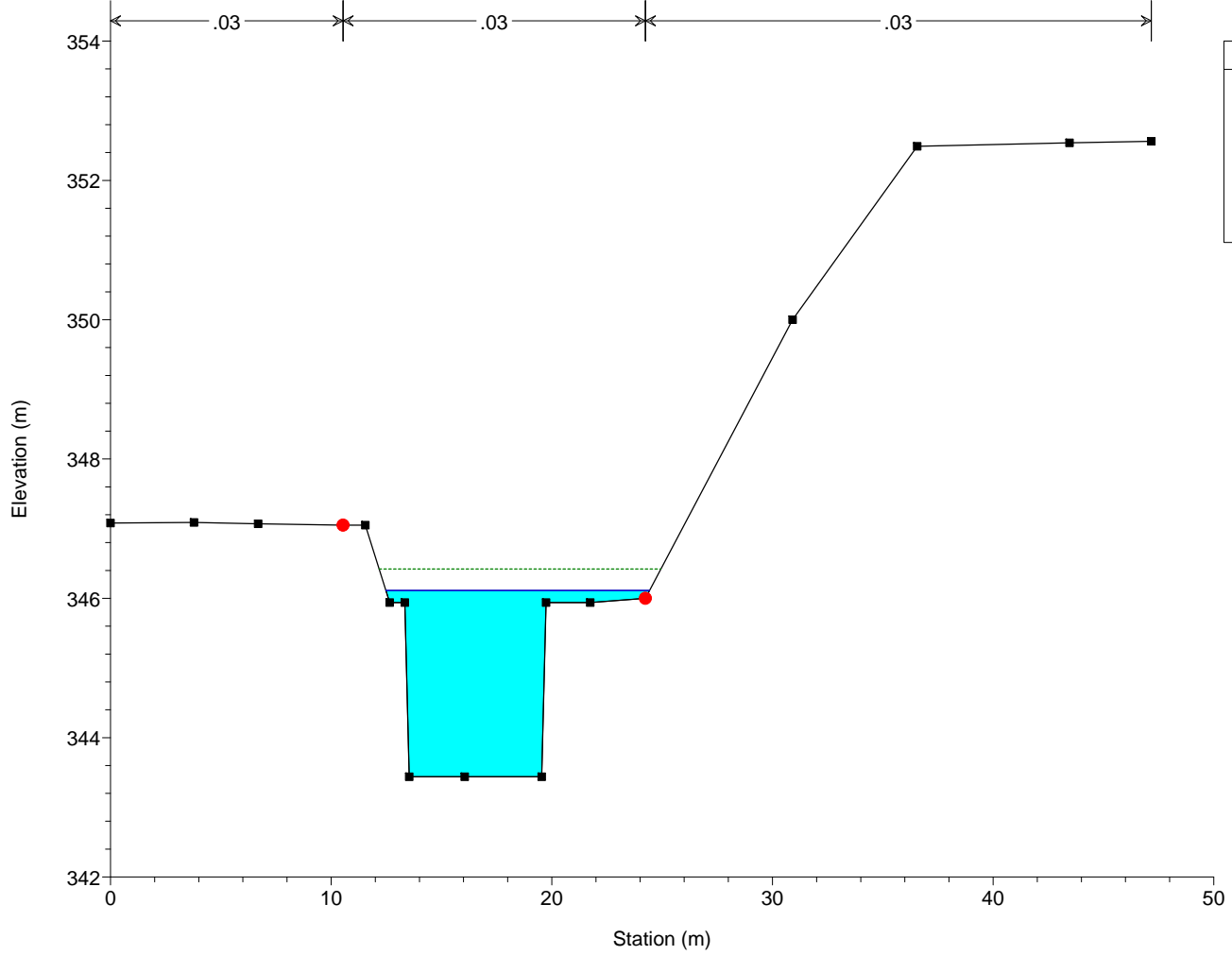


Legend	
EG PF 1	(Dashed Green Line)
WS PF 1	(Solid Blue Line)
Ground	(Black Line with Square Markers)
Bank Sta	(Red Dot)

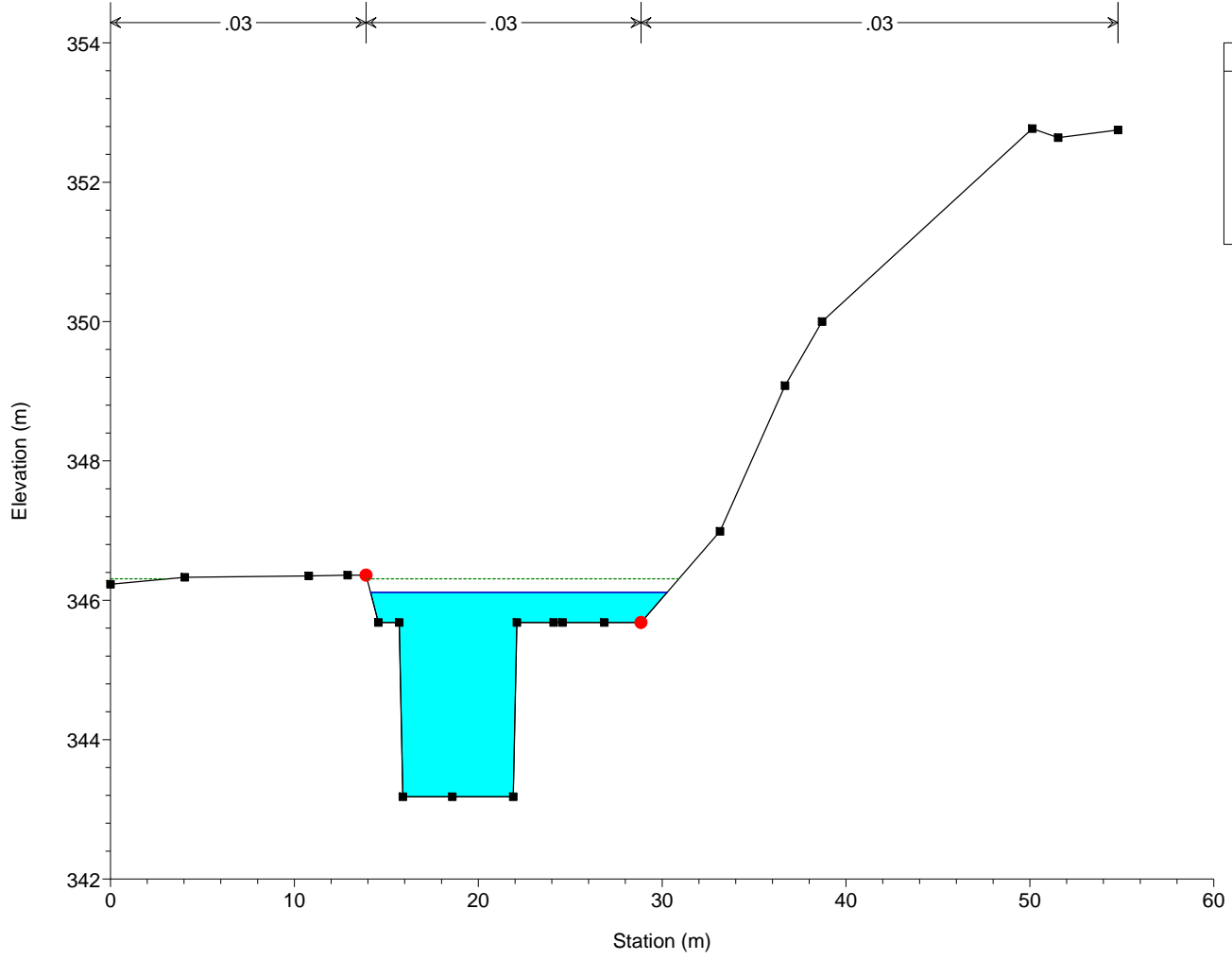
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.3 SEZIONE A18



Morsina Plan: Morsina
RS = 1.2 SEZIONE A19



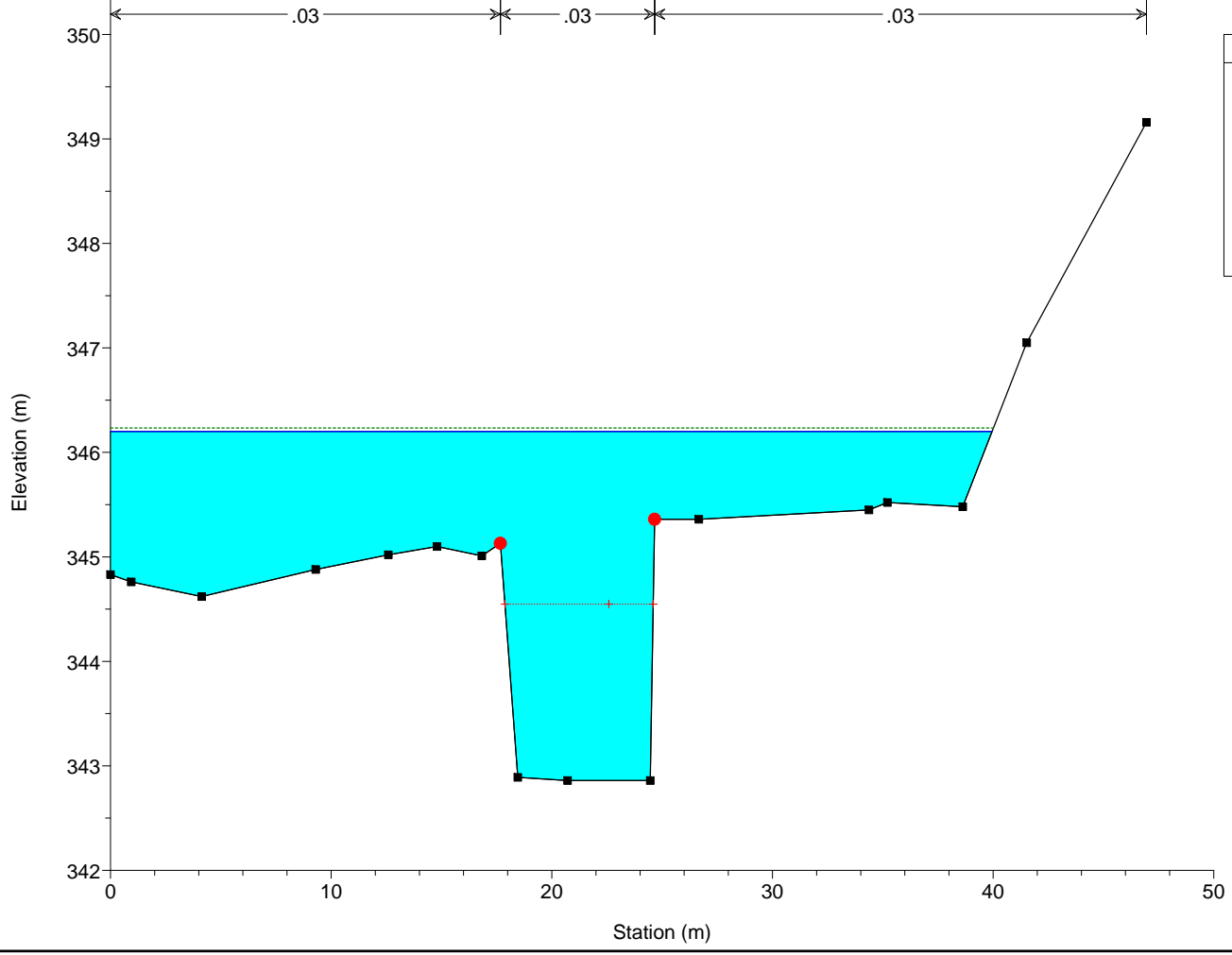
Morsina Plan: Morsina
RS = 1.1 SEZIONE A20



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina
RS = 1 SEZIONE A21

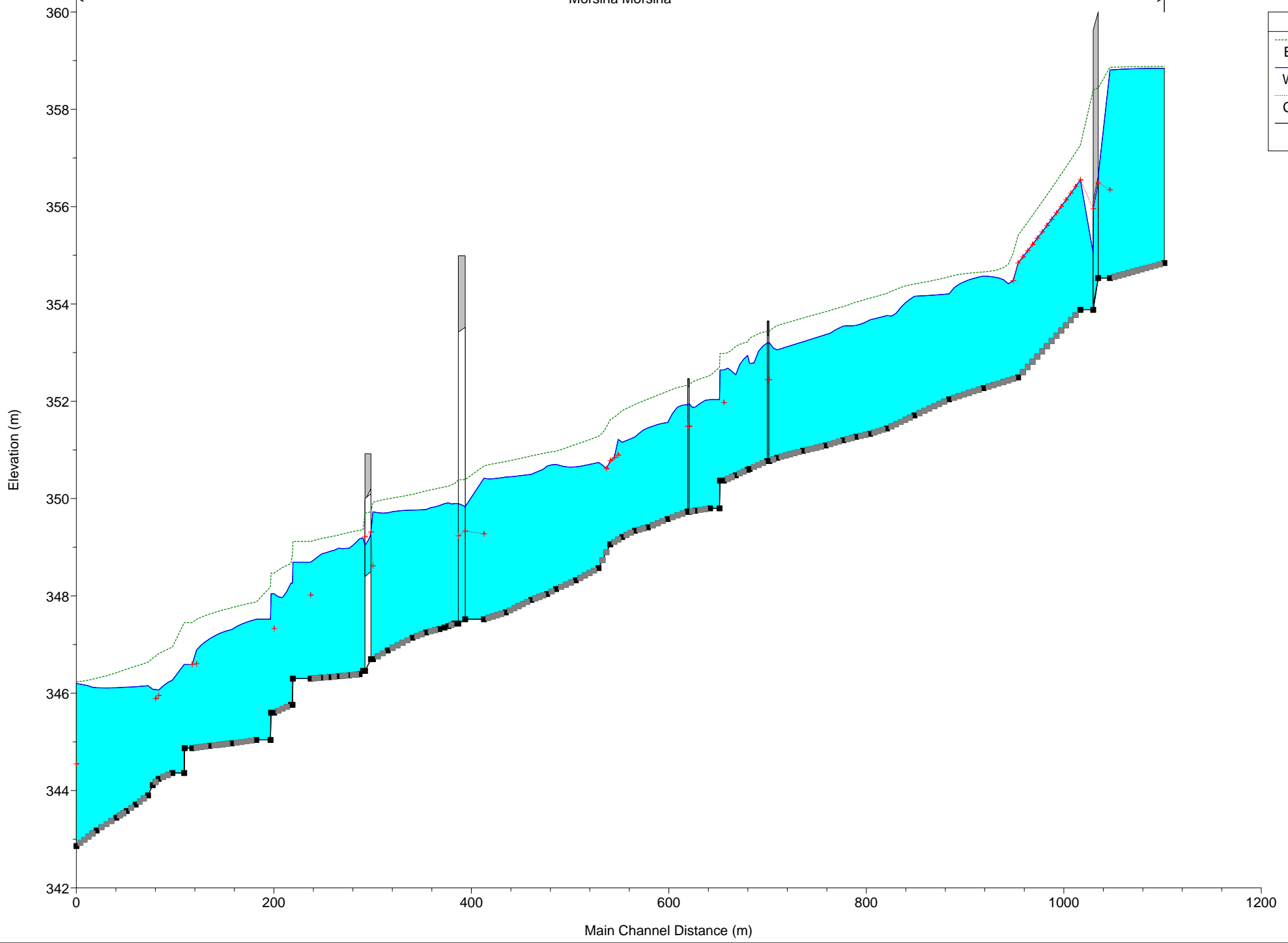


Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

Morsina Plan: Morsina

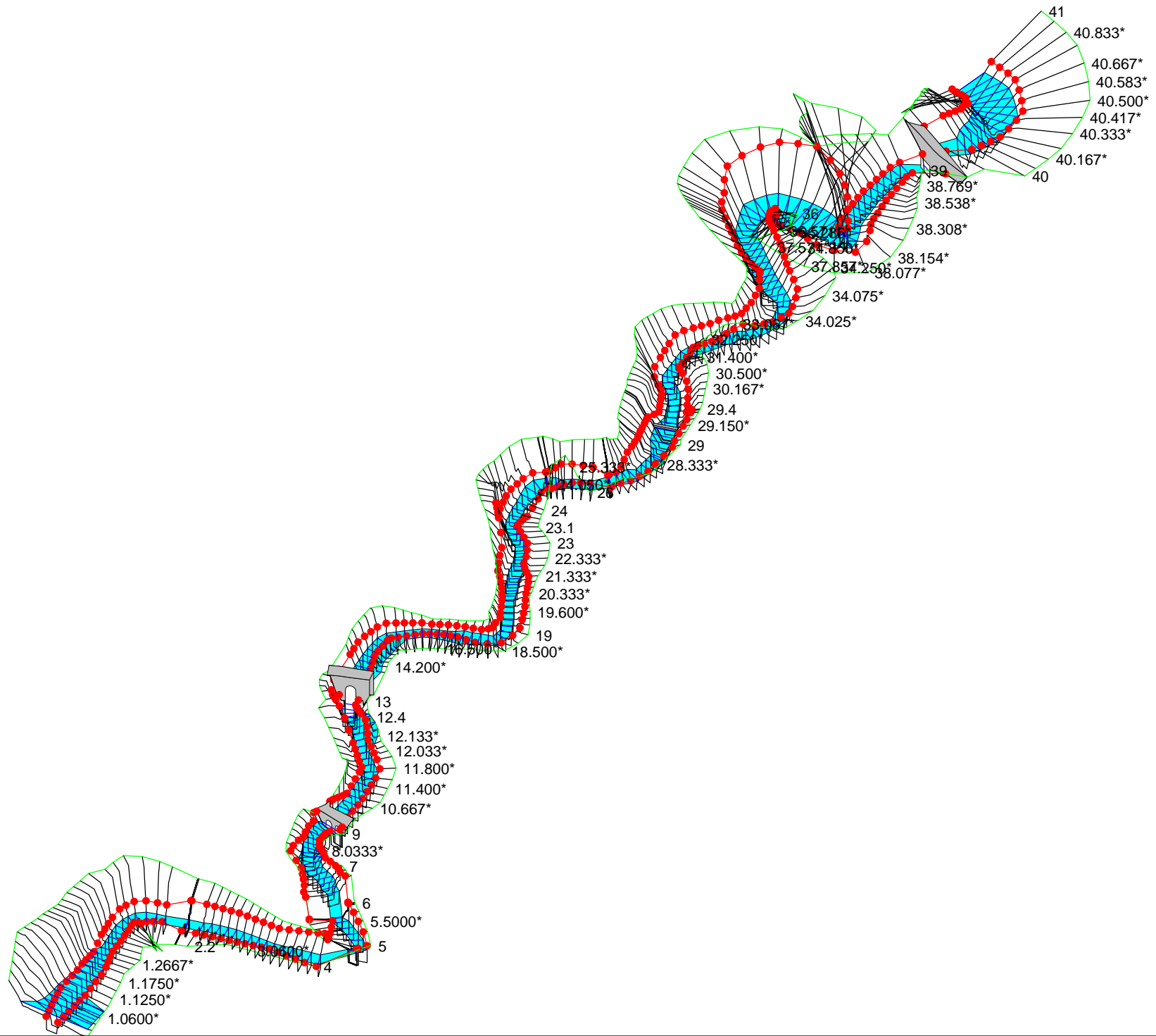
Morsina Morsina



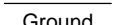


Legend

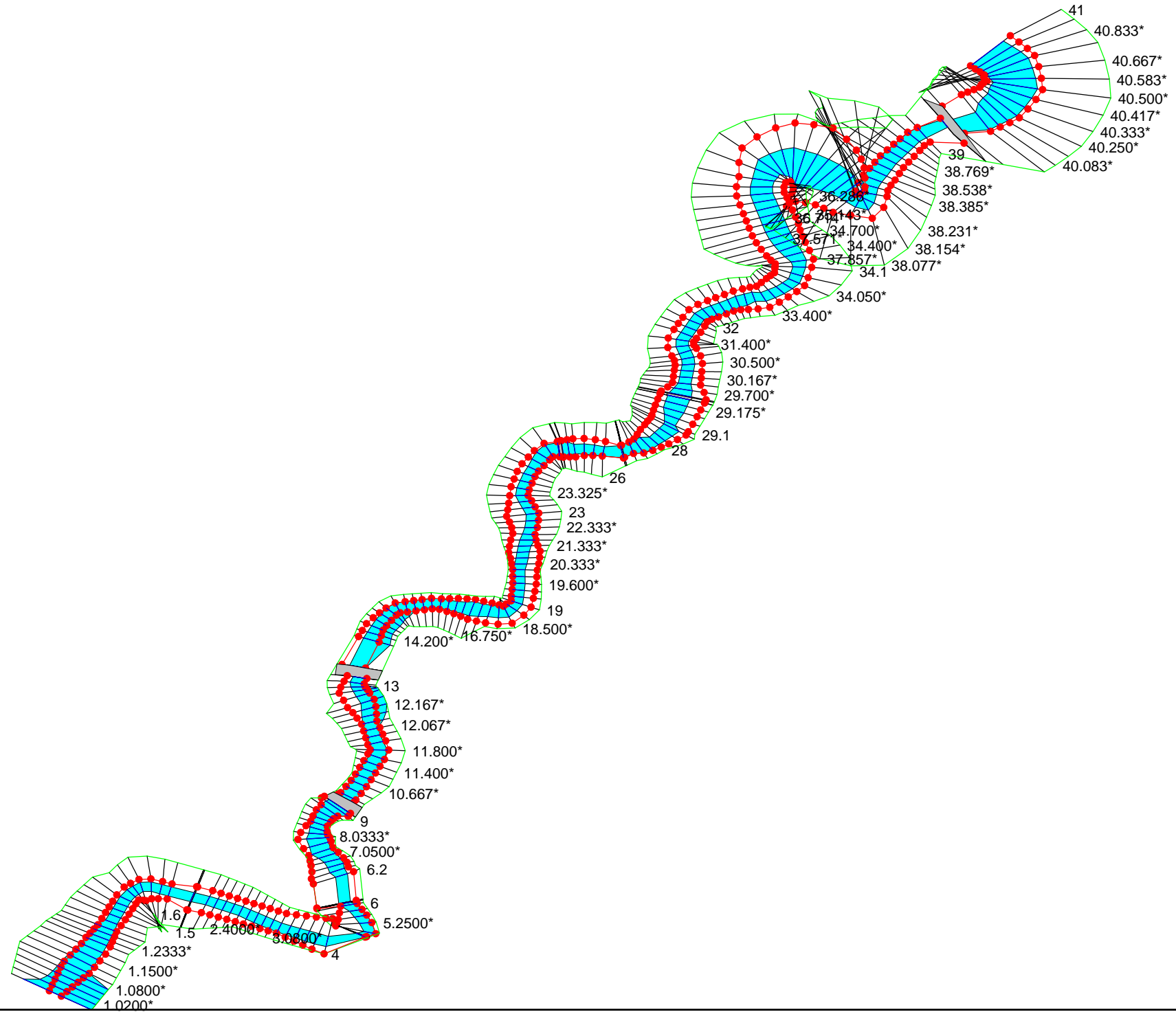
- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground

Morsina Plan: Morsina



Legend	
	WS PF 1
	Bank Sta
	Ground

Morsina Plan: Morsina



Legend

- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta
- Ground

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Morsina	41	PF 1	42.88	354.84	358.84		358.88	0.000316	0.91	47.01	22.29	0.20
Morsina	40	PF 1	42.88	354.53	358.81	356.34	358.86	0.000333	1.05	40.79	13.55	0.19
Morsina	39.1		Culvert									
Morsina	39	PF 1	42.88	353.88	356.55	356.55	357.26	0.012998	3.73	11.49	8.15	1.00
Morsina	38	PF 1	42.88	352.49	354.84	354.84	355.41	0.012127	3.34	12.85	11.50	1.01
Morsina	37	PF 1	42.88	352.27	354.57		354.66	0.001035	1.28	33.47	25.07	0.35
Morsina	36	PF 1	42.88	352.04	354.21		354.56	0.004269	2.63	16.33	11.07	0.69
Morsina	35	PF 1	42.88	351.71	354.16		354.41	0.002694	2.22	19.28	11.75	0.55
Morsina	34.1	PF 1	42.88	351.44	353.76		354.22	0.005397	2.99	14.36	6.37	0.64
Morsina	34	PF 1	42.88	351.33	353.67		354.12	0.005245	2.96	14.51	6.37	0.63
Morsina	33.1	PF 1	42.88	351.27	353.56		354.04	0.005628	3.07	13.99	6.36	0.66
Morsina	33	PF 1	42.88	351.20	353.55		353.94	0.004671	2.80	15.32	7.45	0.62
Morsina	32	PF 1	42.88	351.09	353.37		353.84	0.005692	3.04	14.08	6.36	0.65
Morsina	31	PF 1	42.88	350.98	353.22		353.71	0.005956	3.09	13.85	6.36	0.67
Morsina	30	PF 1	42.88	350.84	353.06		353.56	0.006157	3.13	13.69	6.35	0.68
Morsina	29.4	PF 1	42.88	350.77	353.20	352.44	353.44	0.002348	2.14	20.04	11.46	0.52
Morsina	29.3		Bridge									
Morsina	29.2	PF 1	42.88	350.77	353.20		353.43	0.002371	2.15	19.97	11.44	0.52
Morsina	29.1	PF 1	42.88	350.61	352.77		353.30	0.006587	3.21	13.36	6.35	0.71
Morsina	29	PF 1	42.88	350.59	352.94		353.22	0.002956	2.32	18.50	9.13	0.52
Morsina	28	PF 1	42.88	350.48	352.54		353.13	0.008020	3.39	12.65	6.75	0.79
Morsina	27	PF 1	42.88	350.37	352.64	351.97	352.98	0.003659	2.57	16.68	7.90	0.57
Morsina	26.1		Inl Struct									
Morsina	26	PF 1	42.88	349.80	352.03		352.53	0.006107	3.12	13.74	6.31	0.68
Morsina	25	PF 1	42.88	349.75	351.88		352.42	0.006892	3.26	13.15	6.34	0.72
Morsina	24.3	PF 1	42.88	349.73	351.95	351.48	352.34	0.004399	2.78	15.41	8.91	0.68
Morsina	24.2		Bridge									
Morsina	24.1	PF 1	42.88	349.73	351.93		352.33	0.004504	2.81	15.28	8.89	0.68
Morsina	24	PF 1	42.88	349.58	351.56		352.20	0.006551	3.55	12.21	6.32	0.81
Morsina	23.1	PF 1	42.88	349.41	351.45		352.04	0.007787	3.41	12.59	6.33	0.77
Morsina	23	PF 1	42.88	349.34	351.27		351.93	0.009195	3.61	11.86	6.31	0.84
Morsina	22	PF 1	42.88	349.21	351.16		351.81	0.008953	3.58	11.98	6.31	0.83
Morsina	21	PF 1	42.88	349.06	350.78	350.78	351.62	0.012832	4.06	10.55	6.27	1.00
Morsina	20	PF 1	42.88	348.57	350.74		351.28	0.006823	3.24	13.23	6.17	0.71
Morsina	19	PF 1	42.88	348.32	350.65		351.11	0.005613	3.02	14.19	6.19	0.64
Morsina	18	PF 1	42.88	348.14	350.70		350.97	0.002641	2.31	18.57	7.97	0.48
Morsina	17	PF 1	42.88	348.04	350.67		350.94	0.003352	2.33	18.42	9.88	0.54
Morsina	16	PF 1	42.88	347.92	350.50		350.88	0.004227	2.72	15.74	6.21	0.55
Morsina	15	PF 1	42.88	347.66	350.44		350.76	0.003371	2.50	17.59	9.55	0.48
Morsina	14	PF 1	42.88	347.52	350.42	349.27	350.67	0.002647	2.24	19.31	10.83	0.47
Morsina	13.1		Culvert									
Morsina	13	PF 1	42.88	347.43	349.90		350.30	0.004535	2.80	15.29	6.39	0.58
Morsina	12.4	PF 1	42.88	347.38	349.91		350.25	0.003905	2.62	17.18	9.09	0.53
Morsina	12.3	PF 1	42.88	347.35	349.90		350.24	0.003923	2.63	17.08	8.86	0.53
Morsina	12.2	PF 1	42.88	347.32	349.86		350.22	0.004071	2.68	16.57	8.90	0.55
Morsina	12.1	PF 1	42.88	347.25	349.78		350.16	0.004241	2.74	15.69	7.04	0.56
Morsina	12	PF 1	42.88	347.14	349.76		350.09	0.003338	2.52	17.01	6.97	0.52
Morsina	11	PF 1	42.88	346.88	349.71		350.00	0.003549	2.38	18.03	8.53	0.52
Morsina	10	PF 1	42.88	346.70	349.73	348.62	349.93	0.001928	1.96	21.83	8.99	0.40
Morsina	9.1		Culvert									
Morsina	9	PF 1	42.88	346.46	349.19		349.36	0.002276	1.81	23.72	15.26	0.46
Morsina	8.2	PF 1	42.88	346.39	349.17		349.35	0.001871	1.85	23.15	11.25	0.41
Morsina	8.1	PF 1	42.88	346.37	348.98		349.31	0.003606	2.52	17.01	7.65	0.54
Morsina	8	PF 1	42.88	346.35	348.98		349.25	0.003827	2.30	18.61	11.70	0.58
Morsina	7.1	PF 1	42.88	346.33	348.91		349.21	0.004024	2.42	17.70	10.32	0.59
Morsina	7	PF 1	42.88	346.32	348.87		349.18	0.003731	2.49	17.23	8.73	0.57
Morsina	6.2	PF 1	42.88	346.30	348.69	348.02	349.12	0.004926	2.89	14.83	6.40	0.61
Morsina	6.1		Inl Struct									
Morsina	6	PF 1	42.88	345.76	348.26		348.67	0.005759	2.81	15.25	8.19	0.66
Morsina	5	PF 1	42.88	345.60	348.04	347.33	348.47	0.004952	2.89	14.85	6.18	0.60
Morsina	4.1		Inl Struct									
Morsina	4	PF 1	42.88	345.04	347.52		347.87	0.003803	2.63	16.28	6.92	0.55
Morsina	3.1	PF 1	42.88	344.97	347.31		347.76	0.005280	2.96	14.47	6.37	0.63
Morsina	3	PF 1	42.88	344.92	347.12		347.63	0.006261	3.15	13.61	6.35	0.69
Morsina	2.2	PF 1	42.88	344.87	346.59	346.59	347.45	0.013227	4.10	10.46	6.14	1.00
Morsina	2.1		Inl Struct									
Morsina	2	PF 1	42.88	344.36	346.27		346.95	0.009518	3.66	11.72	6.30	0.86
Morsina	1.7	PF 1	42.88	344.24	346.06	345.95	346.81	0.010783	3.82	11.22	6.29	0.91
Morsina	1.6	PF 1	42.88	344.11	346.08		346.72	0.008606	3.53	12.15	6.32	0.81
Morsina	1.5	PF 1	42.88	343.90	346.16		346.64	0.005855	3.08	13.94	6.36	0.66
Morsina	1.4	PF 1	42.88	343.71	346.13		346.55	0.004836	2.87	14.93	6.36	0.60
Morsina	1.3	PF 1	42.88	343.58	346.13		346.49	0.005438	2.69	16.06	11.15	0.66
Morsina	1.2	PF 1	42.88	343.44	346.11		346.42	0.005030	2.46	17.45	11.95	0.64
Morsina	1.1	PF 1	42.88	343.18	346.11		346.31	0.002992	1.96	22.07	16.12	0.51
Morsina	1	PF 1	42.88	342.86	346.20	344.55	346.23	0.000321	0.96	56.97	39.95	0.17