

S.S. 89 "GARGANICA"
LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA VIABILITA' DI SAN GIOVANNI ROTONDO E
REALIZZAZIONE DELL'ASTA DI COLLEGAMENTO DA SAN GIOVANNI ROTONDO AL
CAPOLUOGO DAUNO

1° stralcio - Manfredonia (km 172+000) - Aeroporto militare di Amendola (km 186+000)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. BA28

PROGETTAZIONE: ANAS - STRUTTURA TERRITORIALE PUGLIA

IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Alberto SANCHIRICO

IL GEOLOGO

Dott. Pasquale SCORCIA

L'ARCHEOLOGA: Dott.ssa Grazia SAVINO

Elenco MIBACT n. 3856 – archeologa di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Rocco LAPENTA



IDROLOGIA E IDRAULICA

Verifica di compatibilità Idraulica fiume Candelaro

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	T00_ID00_IDR_RE03_A			
STBA0028	D	21	CODICE ELAB.	T00ID00IDRRE03	A	-
A	EMISSIONE PER CDS		Apr. 2021	Ing. V. Vitucci	Arch. R. Sanseverino	Ing. A. Sanchirico
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Nuovo viadotto sul torrente Candelaro della S.S. 89 "Garganica"

Verifica di compatibilità idraulica

SOMMARIO

1	Introduzione	3
	Intervento di progetto	3
2	Pianificazione idraulica	5
	Piano di Assetto Idrogeologico	5
	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	10
3	Caratterizzazione idrologica.....	15
	Valori di portata derivanti dalla Regionalizzazione delle portate VAPI	16
	Valori di portata adottati nel PGRA.....	20
	Idrogramma di riferimento (DAM).....	21
4	Scenari di riferimento.....	23
	Opere in corrispondenza dell'attraversamento della S.S. 89 Garganica.....	23
	Configurazioni di simulazione	25
5	Modello idraulico	29
	Codice di calcolo HEC-RAS.....	29
	Modello matematico di moto permanente	29
	Calcolo della cadente media	35
	Condizioni al contorno.....	37
	Modello di moto vario.....	37
6	Risultati	41
	Scenario ante operam (moto permanente, portate PGRA).....	42
	Scenario post operam (moto permanente, portate PGRA).....	49
	Scenario post operam con rimozione del guado (moto permanente, portate PGRA).....	55
	Scenario di moto vario (idrogramma fornito dal DAM).....	56
	Confronto tra le diverse configurazioni	62
7	Scalzamento delle pile.....	64

1 INTRODUZIONE

La presente relazione descrive lo studio idrologico e idraulico condotto per l'analisi delle condizioni del deflusso relative all'intervento di modifica della S.S. 89 Garganica in corrispondenza dell'attraversamento sul torrente Candelaro, che avviene tra le progressive 182+268 e 182+435 del progetto di ammodernamento della suddetta infrastruttura.

Per la risoluzione dell'interferenza è prevista la realizzazione di una nuova struttura, in sostituzione del viadotto esistente, che comporta il rifacimento dell'impalcato e il riposizionamento e rifacimento di tutte le opere di sostegno.

Nella relazione vengono definiti i contenuti relativi ai seguenti temi:

- gli elementi della pianificazione di bacino, con riferimento al Piano di Assetto Idrogeologico ed al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (capitolo 2);
- la caratterizzazione idrologica degli scenari di riferimento, in accordo con quanto previsto dalle norme (capitolo 3) e quanto indicato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale;
- la definizione delle configurazioni di riferimento considerate (capitolo 4) e delle relative condizioni al contorno;
- la descrizione del modello idraulico utilizzato per le simulazioni (capitolo 5);
- una sintesi dei risultati ottenuti (capitolo 6 ed appendici di calcolo).

Intervento di progetto

Il progetto prevede la razionalizzazione e l'ampliamento in sede della S.S. 89 "Garganica" da Manfredonia al villaggio Amendola alla tipologia "B" delle "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", in accordo con il DM del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n° 6792 del 5 Novembre 2001.

La S.S. 89, che collega Manfredonia con il capoluogo di provincia, viene ampliata prevalentemente in sede, nel tratto tra il Km 172+000, località Masseria Pariti e poco prima dello svincolo Sud di

Manfredonia, ed il Km 186+400 in corrispondenza dell'aeroporto militare in prossimità del villaggio Amendola.

Il tracciato si collega ad ovest dell'attuale svincolo in località Siponto realizzando la futura separazione fisica delle carreggiate mediante la nuova transizione tra barriere esistenti e barriere in progetto. Al km 172 dell'attuale S.S. 89 inizia l'intervento di effettivo ampliamento della piattaforma stradale fino al km 186 per un totale quindi di circa 14 km.

In corrispondenza del Viadotto Candelaro è prevista una variante piano altimetrica rispetto all'infrastruttura esistente. Il tracciato è stato concepito con la doppia finalità di salvaguardare due opere di interesse storico: la prima (posta dal lato della carreggiata ovest) è la "Taverna Candelaro" al km 182+100 (della quale si è garantito l'accesso), la seconda (posta dal lato della carreggiata est) è costituita dall'opera di rilevanza storica della strada statale ricostruita dopo la seconda guerra mondiale (vecchio ponte ad archi, stemma Manfredonia). E' stato studiato un sistema di viabilità di servizio che garantisce l'accessibilità ai vari fondi e alle strutture degli enti interferenti con l'infrastruttura di progetto (acquedotto). Pertanto si è resa necessaria la demolizione del Viadotto esistente sulla SS89 (viadotto di cinque campate in c.a.p) e la riprogettazione di un nuovo viadotto per entrambe le carreggiate composto da impalcati separati di larghezza 16 m ciascuno, capaci di alloggiare la semicarreggiata e la rispettiva strada di servizio utilizzata per mettere in comunicazione le strade secondarie e ricucire così la viabilità secondaria del territorio.

Il nuovo viadotto viene progettato nel rispetto delle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2018, prevedendo solo 3 campate in luogo di 5, ciascuna con luce superiore ai 40 metri richiesti dalle norme stesse.



Figura 1.1 – Ortofoto dell’attraversamento della S.S. 89 Garganica con la sovrapposizione dell’intervento in corrispondenza dell’attraversamento del torrente Candelaro.

2 PIANIFICAZIONE IDRAULICA

Dal punto di vista della Pianificazione idraulica, l’attraversamento del torrente Candelaro rientra nell’ambito delle perimetrazioni effettuate dalla ex Autorità di Bacino della Puglia (Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della AdB interregionale della Puglia) ai sensi della legge 183/1989 sulla difesa del suolo e delle modifiche introdotte dalle legge 493/93 sui piani stralcio; il bacino del Candelaro rientra inoltre nell’ambito di competenza dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale e delle misure previste nel Piano Di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) ai sensi ed in attuazione del D. Lgs. 49/2010, emanato in recepimento della Direttiva Alluvioni (2007/60/CE).

Piano di Assetto Idrogeologico

Il territorio della ex AdB Puglia comprende sia aree caratterizzate prevalentemente da bacini esoreici (il Gargano, l'Ofanto e i fiumi della Capitanata, i bacini carsici della terra di Bari, del brindisino e dell'arco ionico) e da una seconda parte a carattere endoreico che si sviluppa principalmente nel Salento e copre circa il 20% dell'intero territorio, come meglio descritto in seguito; il torrente Candelaro rientra nel primo gruppo di bacini, con manifestazioni di tipo principalmente esoreico.

Il PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia “[...] costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed 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 e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.”

Esso fornisce, tra l'altro

- “ a) il quadro conoscitivo organizzato ed aggiornato del sistema fisico, delle utilizzazioni del territorio previste dagli strumenti urbanistici comunali ed intercomunali, nonché dei vincoli, relativi al bacino, di cui al R.D. 20 dicembre 1923 ed alle leggi 1 giugno 1939 n°1089 e 29 giugno 1939 n° 1497 e successive modifiche ed integrazioni;
- b) l'individuazione e la quantificazione delle situazioni, in atto o potenziali, di degrado del sistema fisico, nonché delle relative cause;
- c) le direttive alle quali devono uniformarsi la difesa del suolo, la sistemazione idrogeologica ed idraulica e l'utilizzazione delle acque e dei suoli;
- ...
- k) l'indicazione delle zone da assoggettare a speciali vincoli e prescrizioni in rapporto alle specifiche condizioni idrogeologiche, ai fini della conservazione del suolo, della tutela dell'ambiente e della prevenzione contro presumibili effetti dannosi di interventi antropici”.

L'individuazione delle aree a pericolosità da alluvione è avvenuta nell'ambito delle procedure di adozione del PAI, adottato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 25 del 15/12/2004. Nella fase di adozione il PAI è stata effettuata la perimetrazione delle aree storicamente inondate, principalmente attraverso le informazioni archiviate dal Gruppo nazionale per la difesa delle

catastrofi idrogeologiche del Consiglio nazionale delle ricerche (GNDCI-CNR), nell'ambito del progetto Aree vulnerate italiane (AVI), con la successiva interpretazione geomorfologica. Le aree così individuate sono state ascritte alla classe più alta di pericolosità idraulica. Hanno fatto eccezione i bacini pilota dei fiumi Lato e Lenne, nell'area della provincia di Taranto, rispetto ai quali è stato effettuato uno studio idrologico ed idraulico con la definizione delle aree a pericolosità idraulica corrispondenti a diversi tempi di ritorno di riferimento, adottando questi ultimi, analogamente alla metodologia di cui sopra, congruentemente alle indicazioni fornite dal D.P.C.M. 29.09.1998.

Successivamente, il PAI è stato approvato dal Comitato Istituzionale dell'AdBP interregionale con Delibera n. 39 del 30/11/2005; in seguito, lo strumento è stato soggetto a numerosi aggiornamenti, all'occorrenza del verificarsi di modifiche significative del quadro conoscitivo ovvero dello svolgimento di ulteriori studi ed approfondimenti anche su scala locale.

A partire dalle aree perimetrare con criteri storici nel PAI approvato sono stati condotti molti studi idrologici ed idraulici per la definizione delle aree di inondazione con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni, cui corrispondono, rispettivamente, le aree di pericolosità idraulica alta (AP), media (MP) e bassa (BP). Attualmente, la cartografia delle perimetrazioni idrauliche allegata al PAI rappresenta unicamente l'estensione planimetrica delle aree a diversa pericolosità di inondazione, tuttavia, laddove corrispondano ad uno studio idrologico-idraulico, si conoscono le grandezze idrodinamiche, quali tirante, velocità e portata.

L'area in oggetto è stata oggetto di una variante al PAI della ex Autorità di Bacino della Puglia, adottata con Decreto Secretariale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale del 7 Dicembre 2017, approvata con D.P.C.M. del 19 giugno 2019 e pubblicata in Gazzetta Ufficiale il 20/08/2019.

Il PAI della Regione Puglia individua, dal punto di vista idraulico, le seguenti tipologie di aree perimetrare:

- Area ad alta pericolosità idraulica (A.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni;
- Area a media pericolosità idraulica (M.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;

- Area a bassa pericolosità idraulica (B.P.): porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni;

Gli interventi consentiti in tali aree sono stabiliti dalle norme tecniche di attuazione rispettivamente dagli articoli 7, 8 e 9.

Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.

All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Viene inoltre stabilito che "Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Per la definizione del rischio, il PAI della AdB Puglia ha previsto l'adozione di due metodi diversi: l'applicazione di un metodo "completo" e di un metodo "semplificato".

Secondo il primo metodo, la matrice che fa corrispondere le diverse classi di rischio (da R1 a R4) in funzione della pericolosità idraulica e del valore dei beni esposti è rappresentato dalla seguente tabella:

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA		
		AP	MP	BP
ELEMENTI A RISCHIO	E5	R4	R3	R2
	E4	R4	R3	R2
	E3	R3	R2	R1
	E2	R2	R2	R1
	E1	R2	R1	R1

Tabella 2.1 – matrice di assegnazione del rischio idraulico (matrice completa)

Secondo il secondo metodo, l'attribuzione semplificata del rischio avviene in accordo con la seguente tabella:

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA	
		AP	MP
ELEMENTI A RISCHIO	E5 - E4	R4	R3

Tabella 2.2 – matrice di assegnazione del rischio idraulico (matrice semplificata)

L'area in corrispondenza dell'attuale attraversamento del torrente Candelaro con la S.S. 89 è caratterizzato dalla perimetrazioni di aree a media ed alta pericolosità idraulica, come evidenziato dalla figura 2.1. Per tale motivo, l'intervento in corrispondenza del nuovo viadotto Candelaro sulla S.S.89 "Garganica" è oggetto ad approvazione da parte della competente autorità a livello regionale, ai sensi dell'articolo 6 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI della Autorità di Bacino della Puglia.

L'estratto della perimetrazione del rischio per l'area in esame è riportata nella figura 2.2 che mostra, tuttavia, l'assenza di aree soggette a perimetrazione del Rischio in corrispondenza dell'attraversamento considerato.

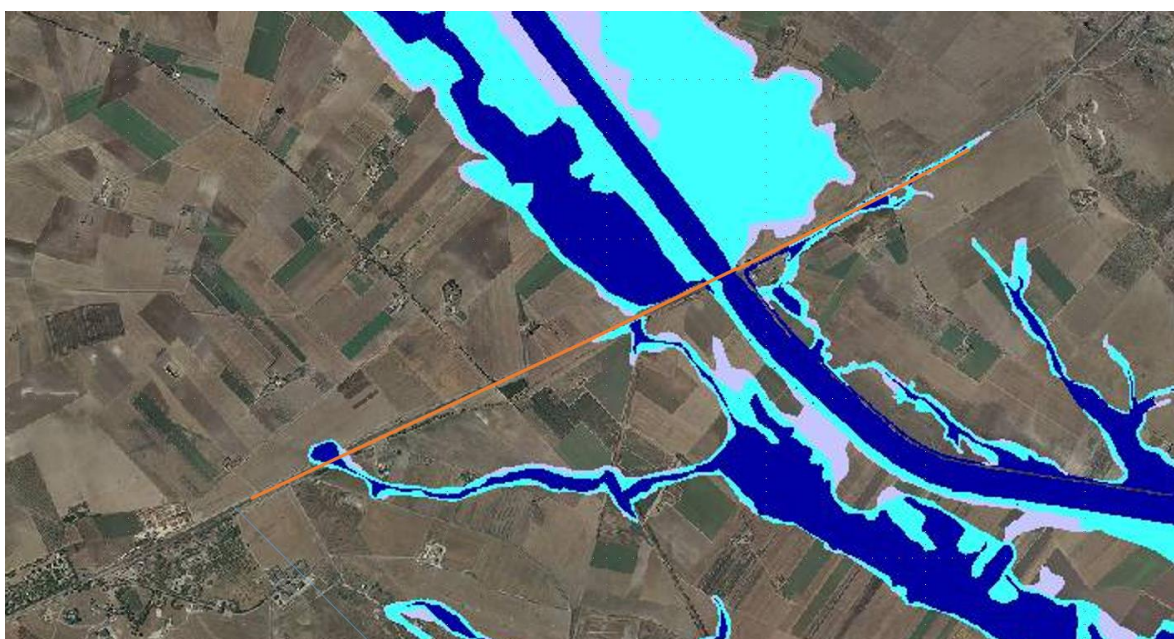




Figura 2.1 – Estratto dalla mappa della pericolosità idraulica desunta dal Piano di Assetto Idrogeologico del torrente Candelaro in corrispondenza della S.S.89 (tracciata con una spezzata di colore arancione)

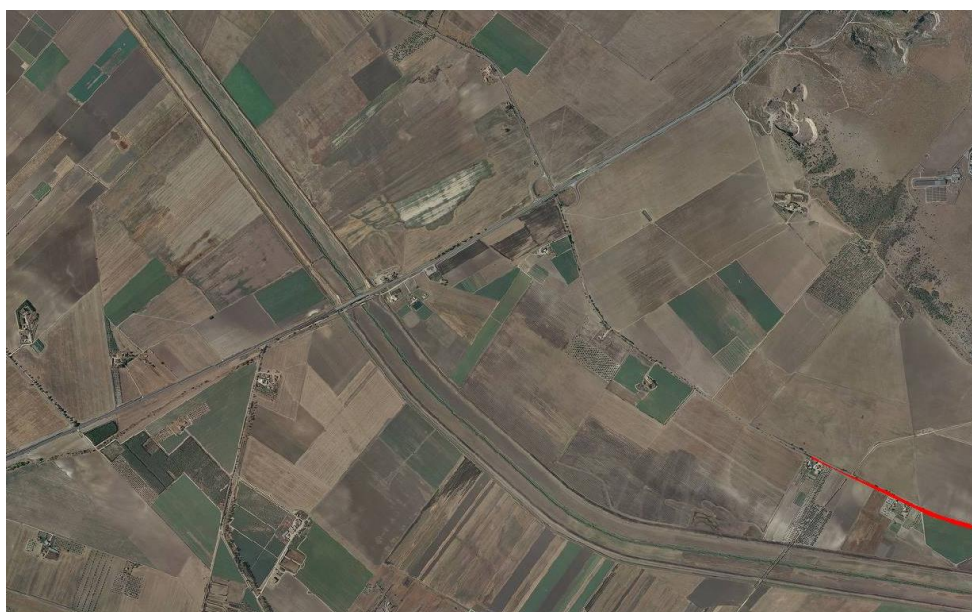


Figura 2.2 – Estratto dalla tavola del Rischio idraulico desunta dal Piano di Assetto Idrogeologico del torrente Candelaro in corrispondenza della S.S.89; l'unico elemento perimetrato è un canale secondario posto a valle dell'attraversamento, non interessato dall'infrastruttura.

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

La direttiva 2007/60 è stata recepita in Italia dal D.Lgs. 49/2010, che ha introdotto il *Piano di Gestione Rischio Alluvioni* (PGRA), da predisporre per ciascuno dei distretti idrografici individuati nell'art. 64 del D.Lgs. 152/2006, contenente il quadro di gestione delle aree soggette a pericolosità e rischio individuate nei diversi distretti, delle aree dove possa sussistere un rischio potenziale significativo di alluvioni e dove esso si possa generare in futuro, nonché delle zone costiere soggette ad erosione.

Il D.Lgs. 23 febbraio 2010 n.49 tiene conto delle Direttive comunitarie collegate e della vigente normativa nazionale riguardante sia la pianificazione dell'assetto idrogeologico (tra cui il D.Lgs. 152/2006) sia il sistema di Protezione civile. Attualmente si è concluso il primo ciclo di pianificazione con durata sestennale ed è iniziata l'attività del secondo ciclo, con la Valutazione Preliminare del Rischio.

Le scadenze del primo ciclo (2010-2015), sono state ricondotte a tre fasi così articolate:

- l'individuazione preliminare di rischio (2011) – art. 4 del D.Lgs. 49/2010;
- l'elaborazione di mappe della pericolosità e rischio (2013) – art. 6 del D.Lgs. 49/2010;
- la pubblicazione del piano (2015) – art. 7 del D.Lgs. 49/2010.

I piani contengono quanto indicato all'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 e gli elementi indicati nell'Allegato I parte A del suddetto decreto (sostanzialmente in linea con quanto indicato dall'Allegato della Direttiva 2007/60/CE). Per la redazione del PGRA nel corso del 1 ciclo di attuazione, la Competent Authority è stata l'Autorità di Bacino Interregionale della Puglia; l'elenco delle Competent Authorities è ripotato nel seguito:

UNIT OF MANAGEMENT (UOM)		COMPETENT AUTHORITY (CA)		Regioni comprese nel DAM
CODICE	NOME	CODICE	NOME	SPECIFICA
ITN005	Liri Garigliano	ITADBN902	AdB Nazionale dei fiumi Liri Garigliano e Volturno	Abruzzo, Lazio, Campania
ITN011/ITR155	Volturno/ Regionale Campania			Campania, Molise, Puglia
2 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITR171	Basento, Cavone, Agri	ITADBR171	AdB Interregionale Basilicata	Basilicata
ITI 012	Bradano			Basilicata, Puglia
ITIO29	Noce e bacini lucani tirrenici			Basilicata, Calabria
ITIO24	Sinni e San Nicola			Basilicata, Calabria
4 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITR161I020	Regionale Puglia/Ofanto	ITADBR161	AdB Interregionale Puglia	Puglia, Basilicata, Campania
1 Unit of Management (UoM)		1 Competent Authority		
ITIO15	Fortore	ITADBI902	AdB Interregionale dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore	Molise, Campania, Puglia
ITIO22	Saccione			Molise, Puglia
ITIO27	Trigno			Molise, Abruzzo
ITR141	Regionale Molise			Molise

Tabella 2.3 - Individuazione della Competent Authority e identificazione della U.o.M per il torrente Candelaro nell'ambito di quelle afferenti all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

L'art. 6 del D.Lgs. 49/2010 fornisce indicazioni sui criteri di riferimento per la determinazione dei livelli di pericolosità di cui ai comma 2, 3 e 4 del Decreto medesimo.

Le mappe della pericolosità da alluvione contengono, evidenziando le aree in cui possono verificarsi fenomeni alluvionali con elevato volume di sedimenti trasportati e colate detritiche, la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo i seguenti scenari:

- alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità);
- alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Per ogni scenario di cui al comma 2 vanno indicati almeno i seguenti elementi:

- estensione dell'inondazione;
- altezza idrica o livello;
- caratteristiche del deflusso (velocità e portata).

Per l'area ubicata in corrispondenza dell'attraversamento del Candelaro la tavola di riferimento è la numero 90 come indicato nel quadro d'insieme riportato sotto.

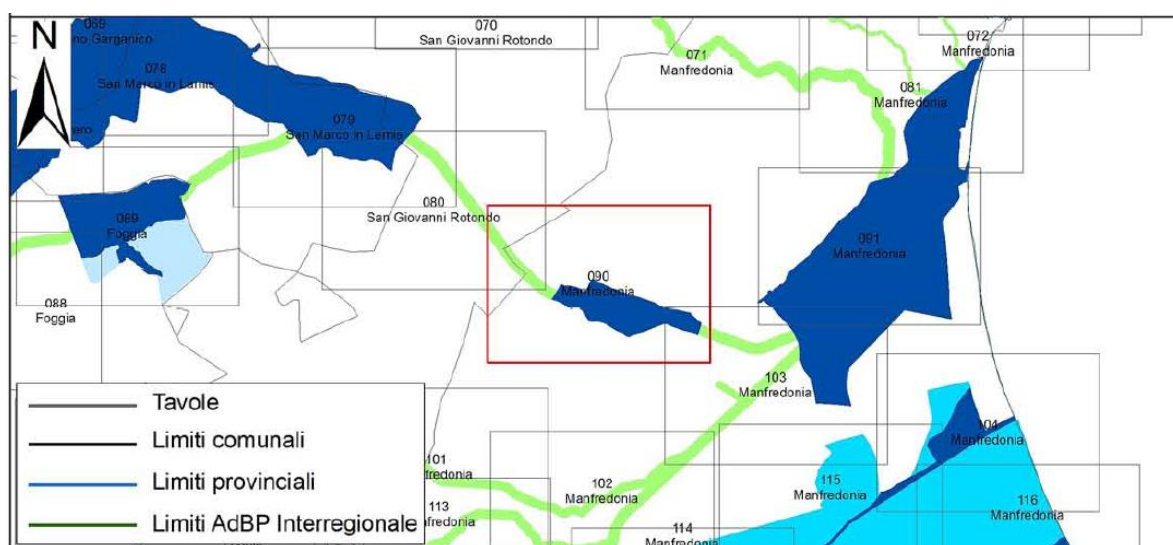


Figura 2.3 – Quadro d'insieme delle tavole del PGRA dell'Appennino Meridionale – U.o.M. AdB Interregionale Puglia con evidenziata la tavola 90.

In corrispondenza dell'attraversamento il flusso della portata per scenari di media ed elevata pericolosità appaiono contenuti all'interno della fascia fluviale, che si sovrappone al tracciato arginale, suggerendo quindi che in corrispondenza dell'attraversamento della attuale S.S.89 la piena con tempi di ritorno di 200 e 500 anni sono contenute all'interno degli argini.



Legenda

PERICOLOSITA' IDRAULICA

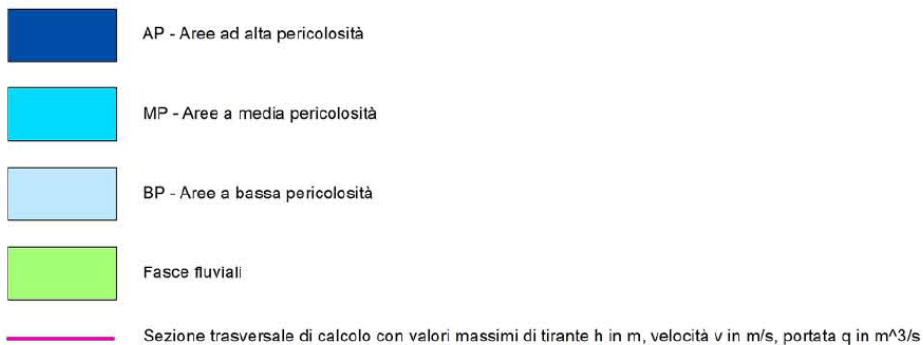


Figura 2.3 – estratto della tavola 90 della Mappa di Pericolosità Idraulica del PGRA dell'Appennino Meridionale – U.o.M. AdB Interregionale Puglia – Tavola 90

3 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

Il bacino complessivo (con foce a mare) del torrente Candelaro presenta un'area di 2665 km² e una lunghezza complessiva di circa 70 km, con direzione dell'asta principale orientata in direzione nord-ovest – sud-est. Il bacino sotteso alla sezione di chiusura della S.S. 89 Garganica ha invece un'area pari a 1778 km²; esso è stato censito nell'elenco degli attraversamenti idraulici rilevati nell'ambito dello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia" (consultabile al seguente link: <https://www.adb.puglia.it/public/page.php?109>) come attraversamento n°41.

La valutazione della portata per le simulazioni idrauliche condotte nel presente studio di compatibilità idraulica è stata effettuata sulla base (1) della Valutazione Piene VAPI del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche; (2) sulla base delle indicazioni contenute nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per la sezione considerata e infine (3) sulla base delle indicazioni pervenute ad Anas da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e relative ad un approfondimento idrologico per l'area in esame.

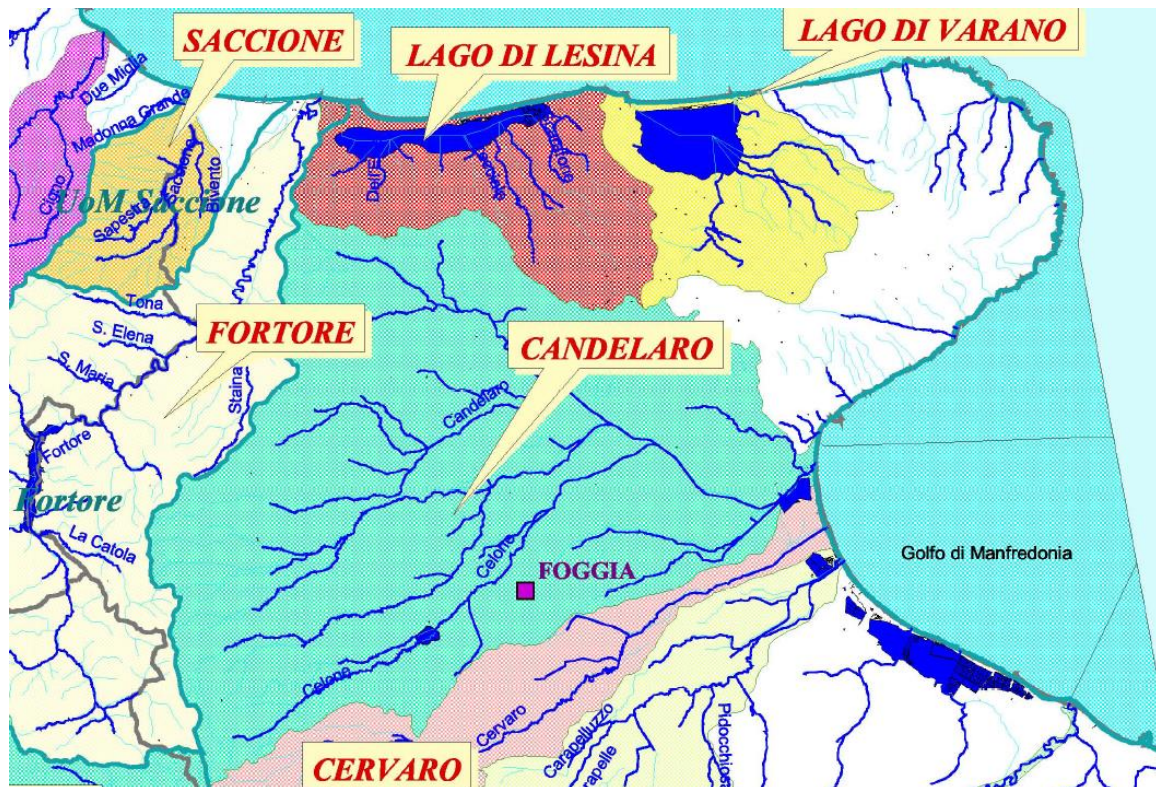


Figura 3.1 – ubicazione del bacino complessivo del torrente Candelaro fino alla foce nel Golfo di Manfredonia.

Valori di portata derivanti dalla Regionalizzazione delle portate VAPI

Si fa riferimento nel seguito all'analisi effettuata nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione Piene) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche; il rapporto per la Puglia è stato pubblicato da Copertino e Fiorentino nel 1994 (Valutazione delle piene in Puglia).

L'analisi è in particolare ai bacini compresi tra il fiume Ofanto a sud e il torrente Candelaro a nord, ed è articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione.

Per ottenere una stima di tale variabile idrologica si è fatto ricorso ad un modello concettuale di trasformazione afflussi – deflussi, vista la maggiore affidabilità della ricostruzione pluviometrica rispetto alla possibile regressione delle portate con l'area.

La trasformazione afflussi deflussi permette di stimare una valutazione dei deflussi superficiali a partire da un input pluviometrico di progetto, e in funzione delle caratteristiche geometriche e geologiche del bacino; nello specifico l'utilizzo di un modello cinematico per il deflusso dell'acqua accoppiato ad una espressione IDF tradizionale per l'intensità di precipitazione porta alla valutazione del colmo di piena attraverso la formula razionale.

Definito:

- tr il tempo di ritardo del bacino, calcolabile in prima approssimazione come $0.344 * A^{0.5}$, con A area del bacino stesso;
- $M[i(tr)]$ è il valore dell'intensità di precipitazione corrispondente al tempo di ritardo prescelto;
- C il coefficiente di deflusso in corrispondenza del colmo di piena, per la quale il rapporto VAPI Puglia fornisce una relazione in funzione della componente permeabile del bacino stesso; per il bacino del torrente Candelaro in corrispondenza della S.S. 89, tuttavia, tale valore è direttamente esplicitato dal rapporto stesso, ed assunto pertanto pari a 0,102;
- $K(A)$ il fattore di ragguglio della precipitazione con l'area del bacino, determinato anche in funzione anche della durata della pioggia assunta pari al tempo di ritardo

si può stimare il *valore medio della piena annua* tramite l'espressione

$$m(Q) = M[i(tr)] * A * C * K(A) * 0.278$$

dove il coefficiente 0.278 tiene conto delle unità di misura (aree espresse in km^2 , intensità di precipitazione espresse in mm/h).

Per il Candelaro viene assegnata dalla Regionalizzazione VAPI un valore del coefficiente C pari a 0,102 (la sezione è quella indicata dal cerchio rosso nella figura 3.2).

Il valore è riportato nelle tabelle direttamente indicate nella procedura di Regionalizzazione, dove l'attraversamento in oggetto è indicato come "Candelaro alla strada di bonifica 24").

Per il coefficiente di ragguglio con l'area e la durata della pioggia si è utilizzata l'espressione

$$KA = 1 - \exp(-1.1 * (tr^{0.25})) + \exp(-1.1 * tr^{0.25} - 0.01A)$$

I valori del coefficiente di crescita della portata con la rarità (tempo di ritorno) sono pari a 4,39 per $TR=200$ anni, 5,22 per $TR=500$ anni e 5,84 per $TR=1000$ anni.

Si ottengono i seguenti valori (indicati in tabella)

area del bacino	A	km ²	1778
tempo di ritardo	tr	ore	14.5
media della precipitazione per durata pari al tempo di ritardo	$M[I(tr)]$ mm/h	mm/h	2.78
parametro di calcolo stima VAPI	$A * M[I(tr)] / 3.6$	m ³ /s	1384
coefficiente proporzionale in funzione della geologia	C	-	0.108
coefficiente di ragguglio con l'area	KA	-	0.87
portata con TR= 200 anni	Q_{200}	m ³ /s	539
portata con TR= 500 anni	Q_{500}	m ³ /s	641
portata con TR= 1000 anni	Q_{1000}	m ³ /s	717

Tabella con i valori ottenuti per la regionalizzazione VAPI



Figura 3.2 – progetto VAPI – ubicazione delle stazioni utilizzate per la regionalizzazione delle portate al colmo; in rosso è segnalata la stazione del Candelaro alla strada di bonifica 24

Tabella 2 – Coefficienti di riduzione della portata in funzione del tempo di ritorno, distribuzione di probabilità delle portate assegnata tramite modello GEV

Cod.	Sezione	Area (Km ²)	m(Q) (m ³ /s)	t _p (A) (h)	p.p.	m[I(t _p)] (mm/h)	C*	$\frac{A \cdot m[I(t_p)]}{3.6}$
1.0	Ofanto a S.Samuale di Caferio	2702.8	517.60	17.93	0.62	3.70	0.185	2793.5
1.1	Ofanto a Cairano	266.4	208.00	5.67	0.15	5.36	0.513	405.3
1.2	Atella a P.te sotto Atella	175.9	61.30	4.32	0.45	7.09	0.197	311.2
1.4	Ofanto a Rocchetta S. Antonio	1111.0	436.70	11.52	0.25	2.78	0.505	864.1
1.5	Arcidiaconata a P. Rap.-Lavello	123.9	44.90	3.83	0.83	7.97	0.164	274.4

1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	28.5	10.40	1.87	0.38	14.74	0.086	120.8
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	204.0	39.90	4.88	0.83	6.29	0.114	350.9
1.8	Venosa a P.te S. Angelo	263.0	55.80	5.56	0.80	5.48	0.140	397.6
1.9	Locone a P.te Brandi	219.4	43.30	5.09	0.87	6.01	0.118	365.8
2.0	Carapelle a Carapelle	714.9	283.70	9.23	0.54	3.31	0.428	662.4
3.0	Cervaro ad Incoronata	539.3	215.80	7.99	0.37	3.78	0.381	566.5
4.0	Candelaro a Str. Bonifica N.24	1777.9	140.70	14.55	0.86	2.79	0.102	1384.2
4.1	Celone a S. Vincenzo	92.5	31.80	3.19	0.61	9.70	0.138	231.1
4.3	Celone a P.te Foggia-S. Severo	233.5	45.70	5.50	0.84	5.44	0.118	386.8
4.4	Vulgano a P.te Troia-Luccera	94.1	74.70	3.34	0.67	8.98	0.319	234.5
4.5	Salsola a Casanova	44.1	45.50	2.26	0.72	13.63	0.279	163.2
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	57.3	27.50	2.49	0.64	12.28	0.154	178.4
4.7	Salsola a P.te Foggia-S. Severo	455.4	76.10	7.40	0.83	3.94	0.150	506.4
4.8	Triolo a P. Lucera-Torremagg.	55.9	36.50	2.52	0.82	17.04	0.143	254.6
4.9	Canale S. Maria	58.1	18.90	2.66	0.94	11.43	0.100	189.8

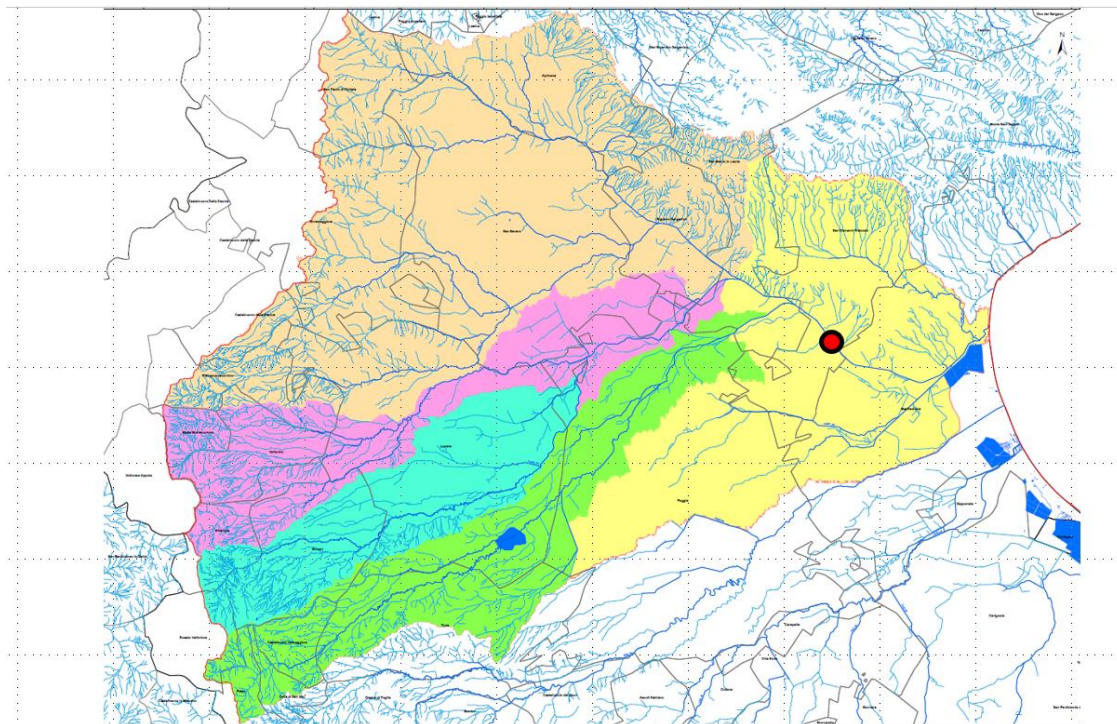


Figura 3.3 – Ubicazione della sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento della S.S. 89 sul torrente Candelaro.

Valori di portata adottati nel PGRA

Per la definizione delle portate di riferimento corrispondenti ad elevati tempi di ritorno per il torrente Candelaro, ed utilizzati nelle simulazioni successive, sono stati assunti i valori indicati nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), con riferimento al I ciclo di pianificazione. Nel PGRA relativo a tale ciclo sono state indicate, in accordo con quanto previsto dall'articolo 6 della Direttiva Alluvioni, le mappe di pericolosità e rischio relative a diversi scenari (scarsa, media, ed elevata probabilità di alluvioni).

In corrispondenza di tali scenari, l'Autorità Competente fornisce anche i valori della portata della piena e della profondità delle acque (in accordo con l'articolo 6, comma 4 della suddetta Direttiva).

Per il fiume Candelaro alla sezione della S.S. 89 Garganica tali valori risultano

- Per lo scenario di media probabilità, che è stato caratterizzato attraverso il tempo di ritorno di 200 anni, da una portata pari a $499 \text{ m}^3/\text{s}$
- Per lo scenario di elevata probabilità, che è stato caratterizzato attraverso il tempo di ritorno di 500 anni, da una portata pari a $586 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tali valori risultano leggermente inferiori a quelle determinati nella procedura Valutazione Piene, ed inferiori anche alle indicazioni fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale di cui al paragrafo successivo; i valori derivanti dal PGRA sono stati implementati nelle simulazioni idrauliche di cui al successivi paragrafi 4, 5 e 6; resta inteso, tuttavia, che le verifiche idrauliche sono state eseguite anche con riferimento ai parametri più stringenti della nota dell'AdBDAM, e rispetto a questi valori si sono fatte le verifiche dei franchi di legge .

In ogni caso le simulazioni sono state condotte fino alla portata massima contenuta in argine con un franco di 50 centimetri nella sezione più critica; tale portata è risultata pari a $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ che, sulla base di una stima idrologica per elevato tempo di ritorno, risulta decisamente superiore alla portata con tempo di ritorno di 1000 anni definita attraverso la procedura VAPI.

h30 [m]	= 4.45
h200 [m]	= 4.95
h500 [m]	= 5.17
v30 [m/s]	= 1.61
v200 [m/s]	= 1.62
v500 [m/s]	= 1.64
q30 [m ³ /s]	= 322.8
q200 [m ³ /s]	= 499.09
q500 [m ³ /s]	= 585.82

Figura 3.3 – portate, tiranti e velocità indicate nella sezione in corrispondenza del ponte della S.S. 89 sul torrente Candelaro indicati nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (I ciclo di pianificazione).

Idrogramma di riferimento (DAM)

Con nota n° prot. 12701 del 13/11/2018 l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (sede Puglia) ha trasmesso ad Anas s.p.a i risultati di un approfondimento idrologico e idraulico, condotto da parte della ex Autorità di Bacino Puglia, che ha interessato un ampio areale della provincia di Foggia. La nota in oggetto è riportata nell'appendice A.

L'approfondimento ha riguardato lo studio idrologico propedeutico ad una proposta di variante al Piano di Assetto Idrogeologico approvata successivamente dalla Conferenza Istituzionale Permanente con delibera del 14/12/2017.

In allegato alla suddetta nota, l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale ha fornito un idrogramma di piena relativo ad una sezione del torrente Candelaro idrologicamente molto prossima all'attraversamento da parte della S.S. 89 Garganica e l'individuazione planimetrica della relativa sezione di riferimento in formato *.shp*. Data la prossimità della sezione fornita (circa 950 metri) alla sezione di interesse per il nuovo attraversamento della S.S. 89 Garganica, il presente studio idraulico ha tenuto conto dell'idrogramma di portata con tempo di ritorno bicentenario fornito e assunto come riferimento nelle successive calcolazioni idrauliche, anche in considerazione del suo maggior grado di cautela.

L'idrogramma in questione fornito è riportato nella seguente figura:

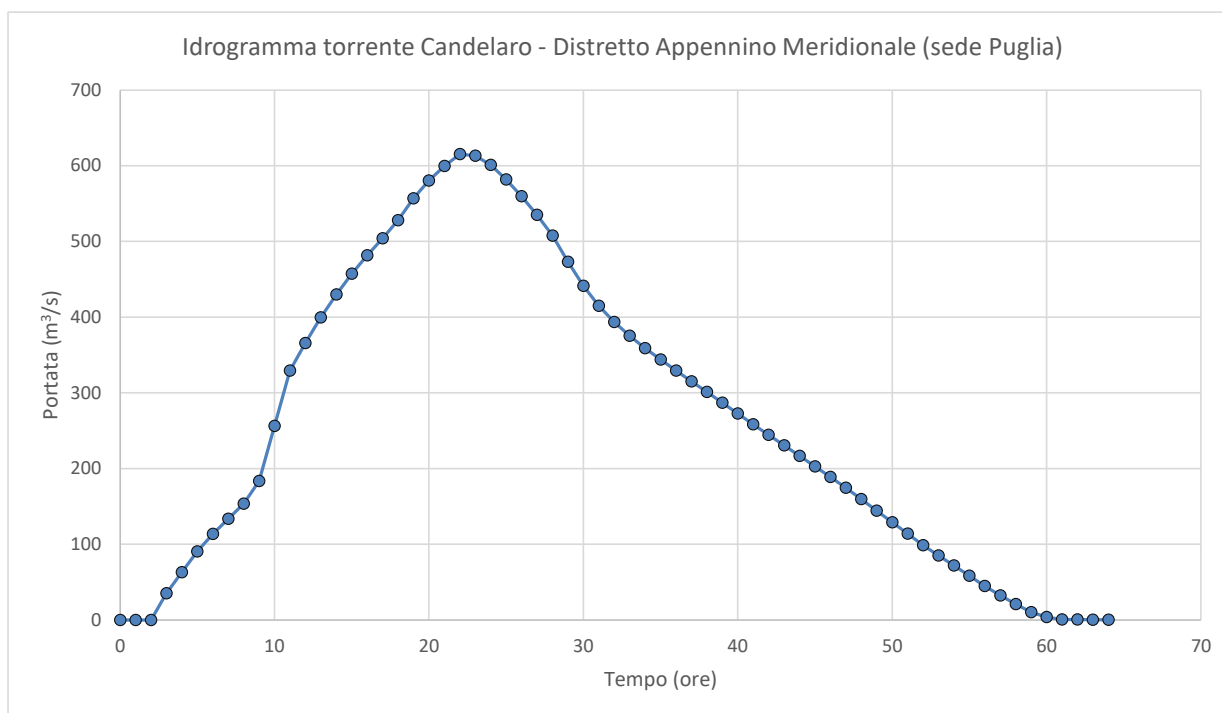


Figura 3.4 – Idrogramma di piena con tempo di ritorno bicentenario per il torrente Candelaro alla sezione della S.S.89

Poiché il valore massimo al colmo dell'idrogramma fornito risulta pari a $615 \text{ m}^3/\text{s}$ ed è superiore al massimo valore indicato nel PGRA (I ciclo), è stata condotta anche una simulazione in moto vario monodimensionale rispetto alla quale calcolare i necessari franchi di legge.

Il valore del picco viene raggiunto circa all'ora 23 dall'inizio dell'idrogramma di simulazione.

4 SCENARI DI RIFERIMENTO

Opere in corrispondenza dell'attraversamento della S.S. 89 Garganica

Il progetto della nuova S.S. 89 "Garganica" prevede la realizzazione di un nuovo viadotto per lo scavalco del torrente Candelaro posto in corrispondenza del viadotto esistente. Il nuovo viadotto, con un impalcato a sezione più larga dell'esistente, verrà realizzato parzialmente in ombra all'ingombro di quello esistente, eccedendo rispetto a questo in modo asimmetrico: per circa 2 metri verso monte e per circa 6 metri sul lato di valle.

Il ponte esistente è con trave in calcestruzzo armato precompresso, con quattro opere di sostegno costituite da pile a setto, a 5 campate di luce diseguale (pari a circa 26 metri la luce centrale, 21 metri le luci mediane e 20 metri le luci esterne).

Il ponte di progetto è invece un ponte a 3 campate, di cui la centrale ha luce pari a circa 50 metri e le laterali pari a circa 49 metri. Le opere di sostegno sono costituite da pile circolari con diametro

pari a 3 metri. Le spalle sono ubicate in posizione leggermente arretrata rispetto alle spalle del viadotto esistente.

Oltre al viadotto che attualmente serve la S.S. 89 "Garganica", immediatamente a valle è posta una struttura, per l'attraversamento del fiume, in disuso, composta dai seguenti elementi:

- una struttura in calcestruzzo, interferente con il corso d'acqua per basse fluenze, costituita da quattro aperture circolari inserite nell'alveo attivo del torrente, e con un estradosso piano che collega le due golene a formare un guado (nel seguito indicato appunto come "guado");
- un ponte con una combinazione di campate quadrangolari e luci ad arco, opere di sostegno in muratura e calcestruzzo, ed impalcato in calcestruzzo ad eccezione della luce centrale solcata da una trave metallica (nel seguito indicato come "ponte relitto")

La figura 4.1 mostra una vista dell'attraversamento presa da valle, con in primo piano il guado ed il ponte relitto, mentre a tergo è visibile l'impalcato del ponte della strada attuale.

Nella figura 4.2 invece riportati il prospetto, la sezione trasversale e la pianta del viadotto di progetto.



Figura 4.1 – vista dell’attraversamento presa da valle, con in primo piano il guado ed il ponte relitto, mentre a tergo è visibile l’impalcato del ponte della strada attuale

Configurazioni di simulazione

Al fine di individuare le condizioni di deflusso nelle condizioni attuali e future dell’attraversamento sul nuovo viadotto della S.S.89, vengono studiati 3 scenari di riferimento:

- A. condizioni ante operam (stato attuale, con presenza del ponte attuale della S.S.89, del guado a valle e del ponte relitto);
- B. condizioni post operam 1, senza rimozione del guado, (ponte di progetto della S.S.89, presenza del guado a valle e del ponte relitto);
- C. condizioni post operam 2, con rimozione del guado (ponte di progetto della S.S.89, presenza del solo ponte relitto e rimozione del guado).

La soluzione C è stata studiata per valutare l’ipotesi di una modifica della configurazione della struttura a valle del futuro passaggio, contestuale alla realizzazione dei nuovi viadotti.

La tabella successiva indica in maniera schematica le condizioni studiate per l'attraversamento.

	Viadotto esistente SS 89	Nuovo viadotto di progetto	Guado	Ponte con travatura reticolare
Configurazione A	X		X	X
Configurazione B		X	X	X
Configurazione C		X		X

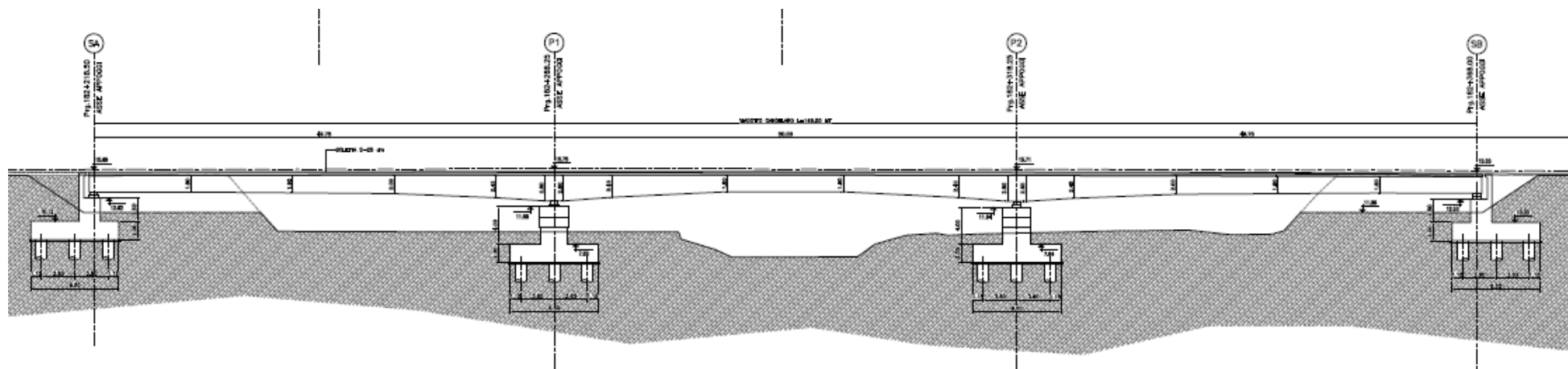
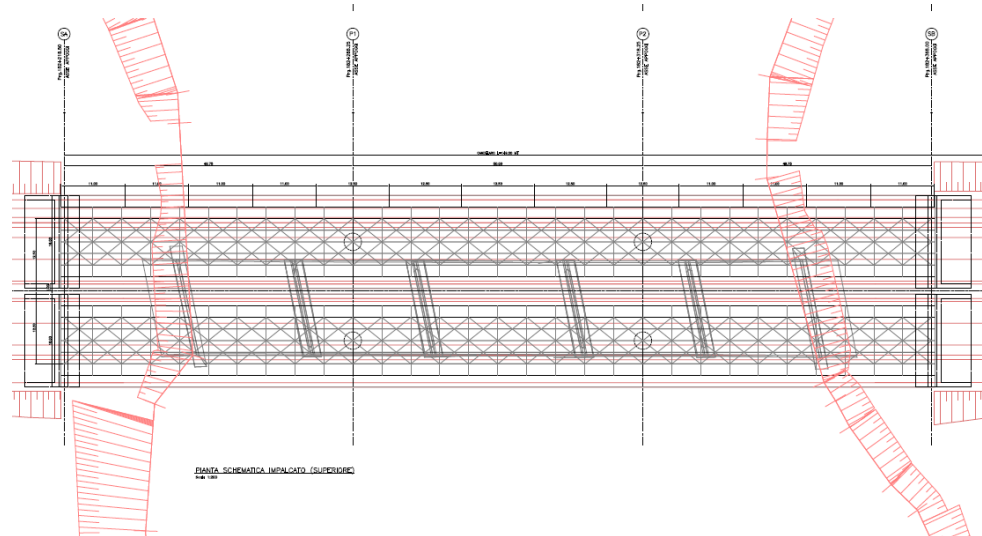


Figura 4.2 – Prospetto dell'impalcato del viadotto di progetto



SEZIONE SCHEMATICA IMPALCATO

Scala 1:200

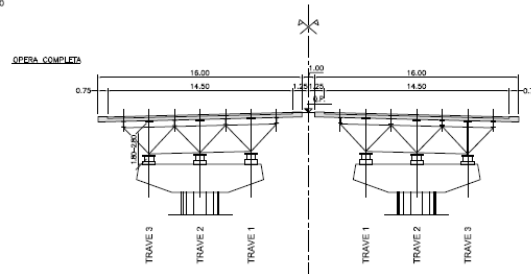


Figura 4.2 –stralcio planimetrico e sezione del viadotto di progetto

5 MODELLO IDRAULICO

Codice di calcolo HEC-RAS

L'analisi delle diverse configurazioni è stata effettuata con un modello idraulico monodimensionale sia in condizioni di moto permanente sia in condizioni di moto vario utilizzando il codice River Analysis System messo a punto dall'Hydrologic Engineering Corp (HEC-RAS) negli Stati Uniti (versione 5.0.5).

Il codice HEC-RAS è un modello progettato per il calcolo idraulico in simulazione monodimensionale di una rete di canali naturali e/o artificiali. Le principali potenzialità di HEC-RAS riguardano:

- il calcolo di profili di corrente gradualmente variata in condizioni stazionarie (steady flow water surface profiles), per corrente lenta, veloce o mista (lenta e veloce);
- la simulazione di flussi di piena in condizioni non stazionarie per regimi in corrente lenta;

In quanto segue, per brevità, si riferisce solo in modo schematico delle procedure di calcolo principali adottate nel codice HEC-RAS in condizioni di moto stazionario, rinviando per maggiori ragguagli sulle basi teoriche e sulla costruzione dei processi di simulazione, ai relativi manuali.

Per la simulazione in moto vario condotta sull'idrogramma di piena fornito dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale è stato applicato lo stesso codice nella sua opzione in moto vario; per una breve integrazione rispetto a quanto descritto e valido per il modo permanente si rimanda al paragrafo relativo.

Modello matematico di moto permanente

Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato da HEC-RAS mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo

iterativo denominato standard step method. Indicate con 1, 2 rispettivamente le sezioni di monte e di valle, l'equazione dell'energia è scritta nella seguente forma:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (5.1)$$

dove:

Y_1, Y_2 sono il tirante idrico;

Z_1, Z_2 sono le quote topografiche;

V_1, V_2 sono le velocità medie (portata totale / area di flusso totale);

α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;

g è l'accelerazione di gravità;

h_e è la perdita di carico totale nel tratto;

Le perdite di carico fra due sezioni successive, h_e , sono comprensive delle perdite continue dovute all'attrito e di quelle dovute all'espansione e contrazione della vena e sono così rappresentabili:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (5.2)$$

con

L lunghezza del tratto mediata sulle portate;

\bar{S}_f cadente della linea dei carichi totali;

C coefficiente di espansione/contrazione.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata al moto in tre zone principali perpetuando la convenzione introdotta con HEC-2: zona golenale sinistra (left overbank, lob), alveo ordinario (channel, ch), zona golenale di destra (right overbank, rob). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente in golena sinistra (lob), nel canale ordinario (ch) e nella golena destra (rob). La lunghezza mediata del tratto L è calcolata quindi nel seguente modo:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (5.3)$$

con

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}

lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra (*lob*), al canale principale (*ch*) e all'area golenale destra (*rob*);

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

La determinazione della conveyance (conduttanza idraulica) della sezione e del coefficiente α di ragguglio delle altezze cinetiche richiede di norma una maggior suddivisione del flusso in porzioni di sezione all'interno delle quali la velocità possa ritenersi uniformemente distribuita. Nelle zone golenali, l'approccio usato da HEC-RAS (o meglio l'approccio di default, ma il programma ne contempla anche altri di carattere opzionale) consiste nell'assumere come base della suddivisione linee verticali, in corrispondenza dei punti di discontinuità nel valore della scabrezza n . La valutazione della conveyance per ogni elemento viene quindi effettuata con la formula di Manning scritta per unità di misura del sistema internazionale:

$$Q = K \cdot S_f^{1/2},$$

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (5.4)$$

con i parametri:

K = conveyance (conduttanza idraulica per unità di pendenza longitudinale) (m^3/s)

n = coefficiente di scabrezza di Manning ($m^{-1/3}s$)

A = area di flusso (m^2)

R = raggio idraulico (m)

tutti riferiti alla singola porzione di flusso. Le conveyance parziali di ogni area golenale vengono quindi sommate per ottenere infine i due valori di conveyance relativi rispettivamente alla golena destra e sinistra. Di norma, il canale principale è invece trattato come un unico elemento dotato di un solo valore di conveyance. Il valore finale unico di K per l'intera sezione è ottenuto come somma dei tre contributi parziali (*lob*, *ch*, *rob*).

Per ciò che concerne invece il coefficiente di ragguglio α , poiché HEC-RAS consente la simulazione di soli profili di corrente 1-D, ad ogni sezione resterà associata una sola superficie libera e di conseguenza una sola altezza cinetica. Pertanto, per un dato valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica viene calcolata come un valor medio pesato sulla portata fra quelli

associati alle tre sottosezioni: golena sinistra, canale, golena destra. In pratica l'altezza cinetica è calcolata mediante la seguente relazione generale:

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}} \quad (5.5)$$

da cui α risulta:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q \cdot \bar{V}^2} \quad (5.5.1)$$

Il programma considera, riguardo alle perdite di carico concentrate, una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa per l'espansione.

La modalità attraverso cui il programma calcola per ogni sezione il valore incognito dell'altezza della superficie libera, a partire da dati geometrici e di portata assegnati in input, è costituita da una soluzione iterativa delle equazioni dell'energia e delle perdite di carico. La procedura di calcolo consiste, più in dettaglio, nei seguenti passi:

- 1 scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera (WS_1 , water surface) in corrispondenza della sezione di monte, per correnti lente, o di valle, per correnti veloci;
- 2 calcolo, a partire dal valore assunto al passo 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;
- 3 stima di \bar{S}_f e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h_e ;
- 4 soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS_2 ;
- 5 confronto fra il valore di WS_2 calcolato ed il valore assunto al passo 1 e reiterazione dei passi 1-5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a 0,003 m (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall'utente).

La scelta del valore dell'altezza della superficie libera di partenza viene effettuata con metodi che variano fra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell'altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo viene incrementato del 70% dell'errore ($WS_{calcolata} - WS_{assunta}$) relativo al primo step; infine il terzo tentativo e seguenti sono basati sul metodo "secante", che proietta il valore della differenza fra quota calcolata e quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{dif}} \quad (5.6)$$

Con

WS_i = valore di WS assunto al passo i -esimo

WS_{i-1} = valore di WS assunto nella $(i-1)$ -esima iterazione

WS_{i-2} = valore di WS assunto nella $(i-2)$ -esima iterazione

Err_{i-2} = errore relativo alle due iterazioni precedenti ($WS_{calcolato, i-2} - WS_{i-2}$);

Err_{ass} = $WS_{i-2} - WS_{i-1}$;

Err_{dif} = $WS_{i-1} - WS_{calcolato, i-1} + Err_{i-2}$

La variazione di WS fra un tentativo e il successivo è vincolata ad un massimo di $\pm 50\%$ del valore assunto allo step precedente. Il numero massimo delle iterazioni risulta comunque limitato (per default pari a 20) e nel corso di esse il programma tiene traccia del valore di WS che produce il minimo errore fra valore assunto e valore calcolato, indicato come "superficie libera di minimo errore". Qualora il massimo delle iterazioni venga eguagliato prima del raggiunto bilanciamento, il programma calcola l'altezza critica e verifica se l'errore associato alla superficie libera di minimo errore è inferiore ad una prefissata tolleranza. Se questo accade e se tale superficie è ben posta rispetto all'altezza critica calcolata (ovvero è maggiore dell'altezza critica per corrente lenta e minore per corrente veloce), allora il programma assume proprio tale valore come risposta finale del processo iterativo, altrimenti adotta l'altezza critica, producendo in entrambi i casi una nota informativa. L'incapacità di bilanciare l'equazione dell'energia entro il dato numero di iterazioni è generalmente da imputarsi ad un inadeguato numero di sezioni. L'altezza critica viene assunta anche ogniqualvolta la superficie libera calcolata risulta "mal posta" rispetto ad essa, ovvero quando risulta al di sotto dell'altezza critica per correnti lente e al di sopra per correnti veloci. HEC-RAS

calcola l'altezza critica mediante un processo iterativo in cui viene assunto un valore di WS cui corrisponde il valore minimo del carico totale H .

I metodi impiegati per sviluppare tale processo sono due: il metodo "parabolico" ed il metodo "secante". Il primo risulta più veloce a livello computazionale, ma in grado di localizzare un solo punto di minimo. Dal momento che per la maggior parte delle sezioni esiste un solo minimo del carico totale, il metodo parabolico rappresenta il metodo di default di HEC-RAS, riservandosi il programma la facoltà di passare al metodo secante qualora il primo non converga.

Il passaggio attraverso l'altezza critica rende tuttavia inapplicabile l'equazione dell'energia, la quale si basa sull'ipotesi di condizioni di flusso gradualmente variato.

Tutti i fenomeni che producono una transizione corrente lenta - corrente veloce e viceversa, quali variazioni di pendenza, costrizioni associate alla presenza di un ponte, confluenze, ecc., sono quindi affrontati da HEC-RAS col ricorso all'equazione dei momenti.

La forma generale dell'equazione dei momenti applicata alla porzione di flusso compresa fra due sezioni 1 e 2 è la seguente:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (5.7)$$

dove:

$P_{1,2}$ = spinta idrostatica in corrispondenza delle sezioni 1 e 2

W_x = componente della forza peso nella direzione di moto

F_f = forza resistente dovuta all'attrito

Q = portata

ρ = densità dell'acqua

ΔV_x = variazione di velocità fra le sezioni 1 e 2 nella direzione di moto

Esplicitando i vari termini si ottiene la forma funzionale dell'equazione dei momenti utilizzata dal programma:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1 \quad (5.8)$$

con

$A_{1,2}$ = area bagnata relativa alle sezioni 1 e 2;

L = distanza fra le sezioni 1 e 2 misurata lungo la direzione x ;

$\beta_{1,2}$ =coefficiente di ragguglio che tiene conto delle variazioni nella distribuzione della velocità in canali irregolari (permette di modellare il problema in termini dei valori medi di V);

S_0 = pendenza del canale;

$\overline{S_f}$ = cadente della linea dei carichi totali;

L'equazione precedente si specifica poi ulteriormente per l'analisi di particolari condizioni idrauliche quali confluenze, ponti, ecc.

Un'ultima considerazione deve essere rivolta alle procedure disponibili in HEC-RAS per la modellazione idraulica dei ponti. HEC-RAS dispone di un'ampia serie di routine per l'analisi del flusso attraverso ponti. Senza entrare nel dettaglio e rimandando per maggiori raggugli ai manuali tecnici, si richiamano brevemente i principali metodi a disposizione. HEC-RAS è in grado di modellare situazioni di flusso così definite:

- *low flow*: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO.
- *weir flow*: si innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;
- *pressure flow*: si verifica quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.
- *high flow*: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l'equazione dell'energia.

Calcolo della cadente media

Le perdite di carico continue vengono valutate come prodotto tra il valore medio della pendenza della linea dei carichi totali tra due sezioni contigue, $\overline{S_f}$, e l'interasse, L, tra le due sezioni. In corrispondenza di una sezione, la cadente $\overline{S_f}$, detta anche pendenza d'attrito, viene valutata con l'equazione di Manning, tarata in condizioni di moto uniforme:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (5.9)$$

Il programma HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare la pendenza d'attrito media \bar{S}_f :

- media della *conveyance* valutate nelle sezioni 1, 2, con $S_f = \bar{S}_f$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K + K_2} \right)^2 \quad (5.10)$$

- media aritmetica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f,1} + S_{f,2}}{2} \quad (5.11)$$

- media geometrica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f,1} \cdot S_{f,2}} \quad (5.12)$$

- media armonica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f,1} \cdot S_{f,2}}{S_{f,1} + S_{f,2}} \quad (5.13)$$

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, a meno di indicazioni diverse specificate nel file input. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente come indicato nella tabella 6.1.

Tabella 6.1 - HEC-RAS: Criteri di scelta dell'equazione per la pendenza d'attrito media.

Tipo di profilo	La S_f nella sezione corrente è più grande che non in quella precedente?	Equazione impiegata
Corrente lenta	Si	Media aritmetica
Corrente lenta	No	Media armonica
Corrente veloce	Si	Media aritmetica
Corrente veloce	No	Media geometrica

Condizioni al contorno

Come condizione al contorno idraulica di valle è stata adottata l'altezza di moto uniforme relativa alla pendenza media stimata, con un gradiente della linea dei carichi pari a 0,0012 m/m.

Come condizione al contorno di monte è stata impostata l'altezza critica; tale condizione risulta di fatto irrilevante ai fini del calcolo, perché il calcolo del profilo, condotto da valle verso monte, assegna alla sezione più a monte un livello di corrente lenta.

La scelta dei coefficienti di scabrezza di Manning è stata effettuata sulla base di un'analisi qualitativa della tipologia di materiale presente in alveo e nelle golene. Tale analisi ha evidenziato la presenza in alveo di sedimenti di pezzatura media, e la presenza di vegetazione. Le golene risultano caratterizzate prevalentemente da campi coltivati e vegetazione arbustiva molto rada. Per la golena è stato assunto un valore del coefficiente di scabrezza di Manning pari a $0,05 \text{ sm}^{-1/3}$, mentre per l'alveo un valore pari a $0,035 \text{ sm}^{-1/3}$. Tale valore risulta quello massimo indicato nel documento "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste Joniche e Salentine della Regione Puglia" nell'ambito del P.O. Fesr 2007-2013.

I valori scelti per le aree golenali sono congruenti con quelli suggeriti dalle note tecniche del codice di calcolo tratti dal testo "Open-Channel Hydraulics" [Chow,1959].

Modello di moto vario

Il modello di moto vario è stato applicato utilizzando le stesse sezioni utilizzate per il modello di moto permanente; come condizione al contorno di valle è stata utilizzata la stessa del moto permanente, mentre come condizione al contorno di monte è stata impostato l'idrogramma descritto al capitolo 3.

Per la modellazione in moto vario vengono adottate le seguenti ipotesi, ottenendo a partire dalle equazioni differenziali di continuità e di conservazione della massa per moto monodimensionale, le equazioni di De Saint Venant.

- La distribuzione delle pressioni è di tipo idrostatico (ipotesi valida se le linee di flusso non presentano curvatura accentuata);
- La pendenza del fondo alveo è minima, tale che la sezione trasversale normale alla corrente si confonda con la sezione verticale;
- Alveo prismatico, laddove le variazioni nella sezione trasversale e nella pendenza di fondo possono essere prese in considerazione approssimando il corso d'acqua con una serie di tratti prismatici;
- Le perdite di carico possono essere espresse tramite una delle classiche formule adottate per il moto uniforme (si utilizza l'equazione di Manning); con questa ipotesi si assume che in regime di moto vario ad una data velocità V della corrente si abbiano le stesse perdite di carico che si avrebbero in moto uniforme con la stessa velocità;
- La velocità e le accelerazioni lungo la verticale sono trascurabili rispetto alle analoghe grandezze in direzione del moto;
- Le variazioni della densità del fluido sono trascurabili.

Nel caso di alvei a sezione composta le aree golenali esterne al canale vengono considerate come aree di accumulo o di espansione. Quindi, per i due flussi vengono sviluppate le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto ipotizzando che la WS sia definita da un'unica superficie orizzontale in modo tale che lo scambio di quantità di moto tra il channel e le aree golenali (foodplain) sia trascurabile e la portata sia distribuita nell'intera sezione.

Di seguito vengono riportate le equazioni di De Saint Venant in forma differenziale:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} x_e + \frac{\Delta A_f}{\Delta x_f} x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} x_f - \bar{Q}_{lat} = 0$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(QV\beta)}{\Delta x_e} + g\bar{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \bar{S}_f \right) = 0 \quad (5.14)$$

dove Δx_e è l'equivalent flow path , cioè un contorno bagnato equivalente dove vengono considerati i contributi di resistenza generati dalle golene laterali sul flusso.

Nell'ambito del software HEC-RAS, la risoluzione del sistema non lineare di equazioni differenziali viene sviluppata mediante la linearizzazione proposta da Preissmann-Cunge-Chen mediante uno schema di calcolo implicito a 4 punti (box scheme), illustrato in figura:

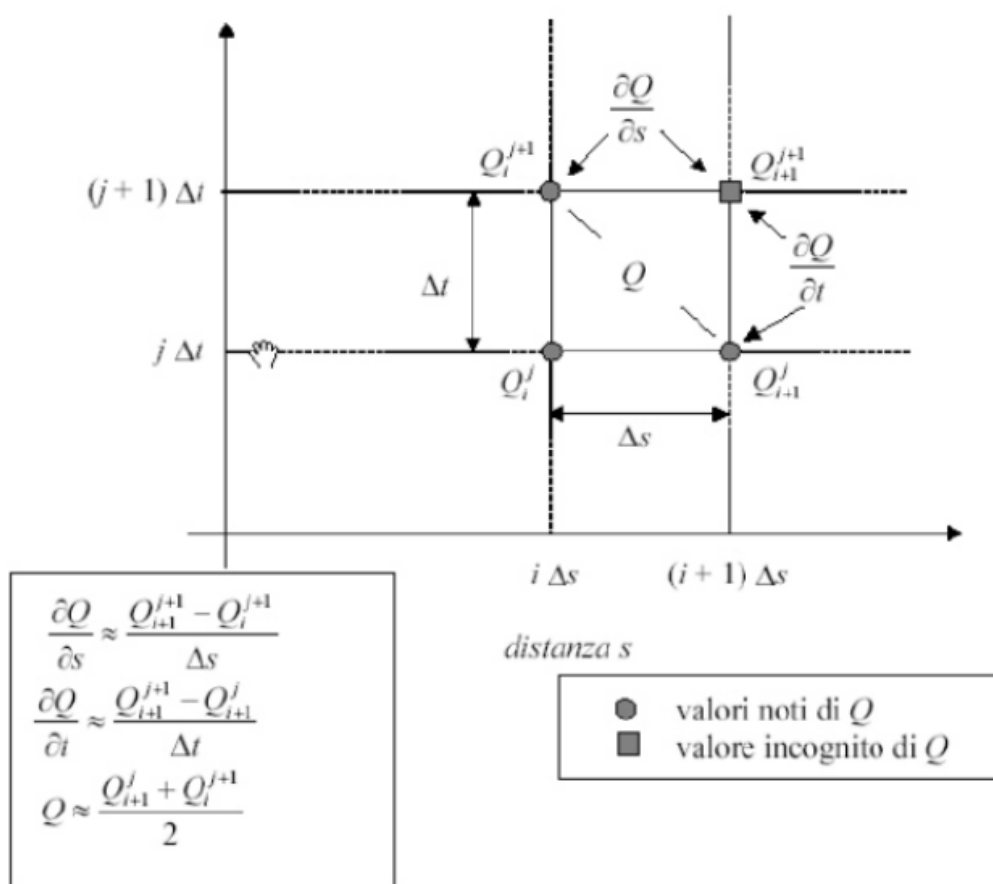


Figura 5.1 – schema di risoluzione del sistema non lineare di equazioni differenziali linearizzato con il metodo di Cunge-Chen

Le equazioni di bilancio della massa e della quantità di moto vengono scritte come:

- $CQ1_j \Delta Q_j + CZ1_j \Delta z_j + CQ2_j \Delta Q_{j+1} + CZ2_j \Delta Z_{j+1} = CB_j$

- $MQ1_j \Delta Q_j + MZ1_j \Delta z_j + MQ2_j \Delta Q_{j+1} + MZ2_j \Delta Z_{j+1} = MB_j$

(5.15)

avendo diviso ogni tronco fluviale in N-1 tratti con 2N incognite (Q e Z negli N nodi) e 2N-2 equazioni. L'analisi di stabilità della soluzione con Von Neumann mostra che lo schema implicito è teoricamente incondizionatamente stabile per $0,5 < \theta \leq 1$, condizionatamente stabile per $\theta = 0,5$ e instabile per $\theta < 0,5$.

6 RISULTATI

Il modelli di moto permanente e vario monodimensionali descritti nel capitolo 5 sono stati implementati su un tratto del torrente Candelaro esteso 290 verso monte e 260 verso valle. La regolarità della sezione e l'assenza di modifiche rilevanti poste a monte o a valle del tratto indagato per almeno 2 km garantiscono da effetti sul profilo di rigurgito provocati da modifiche geometriche esterne al tratto modellato.

Per ciascuna configurazione vengono riportati nelle appendici:

- il profilo di rigurgito sul tratto modellato, in forma grafica;
- l'output numerico del codice Hec Ras, in forma di tabella;
- le sezioni con i livelli di riferimento derivanti dal modello di moto permanente per le portate con tempo di ritorno di 200 anni e 500 anni in accordo con il PGRA (I ciclo di pianificazione) e per la portata pari a $1020 \text{ m}^3/\text{s}$, che è una portata totalmente contenuta entro gli argini. Essa corrisponde ad una portata con tempo di ritorno largamente eccedenti il tempo di ritorno di 1000 anni; tali verifiche in moto permanente sono riportate per esteso nell'appendice B.
- le velocità in alveo e in golena su ciascuna sezione, in formato grafico tali verifiche in moto permanente sono riportate per esteso nell'appendice B.
- le sezioni con i livelli di riferimento derivanti dal modello di moto vario per l'idrogramma fornito dal Distretto dell'Appennino Meridionale con tempo di ritorno di 200; tali verifiche in moto permanente sono riportate per esteso nell'appendice C.

Lo studio di compatibilità analizza quindi le modifiche indotte sul deflusso dal cambio di configurazione conseguente alla nuova opera di attraversamento.

Scenario ante operam (moto permanente, portate PGRA)

La posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nella modellazione ante operam è riportata nella figura 6.1

In condizioni ante operam (stato attuale) il deflusso avviene in condizioni di corrente lenta su ciascuna sezione e per tutti gli scenari di portata. La quota corrispondente alla piena con tempo di ritorno di 200 anni è pari a 10,62 metri, mentre la piena con tempo di ritorno di 500 anni transita nella sezione a monte del ponte ad una quota idrica di 10,84 metri. La portata di 1020 m³/s transita invece ad una quota di 12,30, lasciando un franco rispetto all'intradosso del ponte esistente comunque superiore a 2 metri.

La sezione di riferimento per il viadotto esistente ed il relativo calcolo del franco è rappresentata – per ciascuna configurazione di progetto - dalla sezione 4-75U che rappresenta i livelli a filo ponte, lato monte.

Nella rappresentazione del ponte relitto, sovrapponendosi questo, dal punto di vista altimetrico, alle luci della sottostante opera di guado, si è dovuto optare per la modellazione delle due strutture come un'unica opera, ponendo particolare attenzione alla riproduzione delle linee di intradosso e rinunciando a rappresentare la travatura metallica del ponte relitto stesso, che resta comunque non interessata dal deflusso (come si deduce dalla figura 6.4). Inoltre la sezione di guado, e le due immediatamente precedente e successiva, sono state simulate inserendo una "normal blocked obstruction" per tenere conto della possibile ostruzione dovuta al materiale sedimentato sul fondo delle luci del guado stesso (figura 6.4).

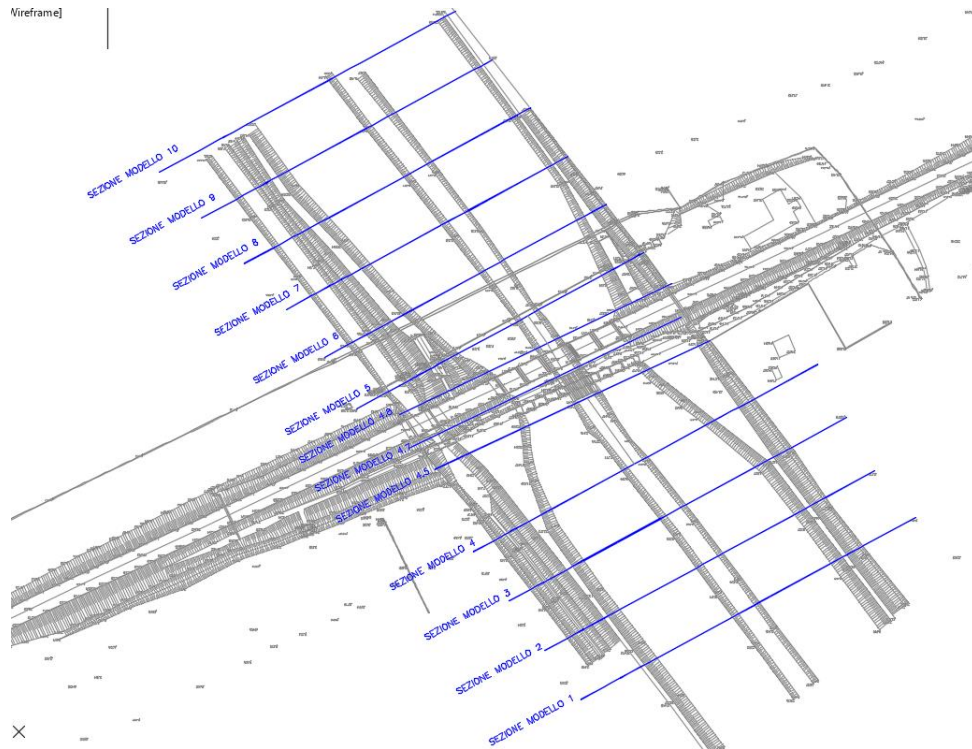


Figura 6.1 – posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nell'implementazione del modello idraulico (ante operam)

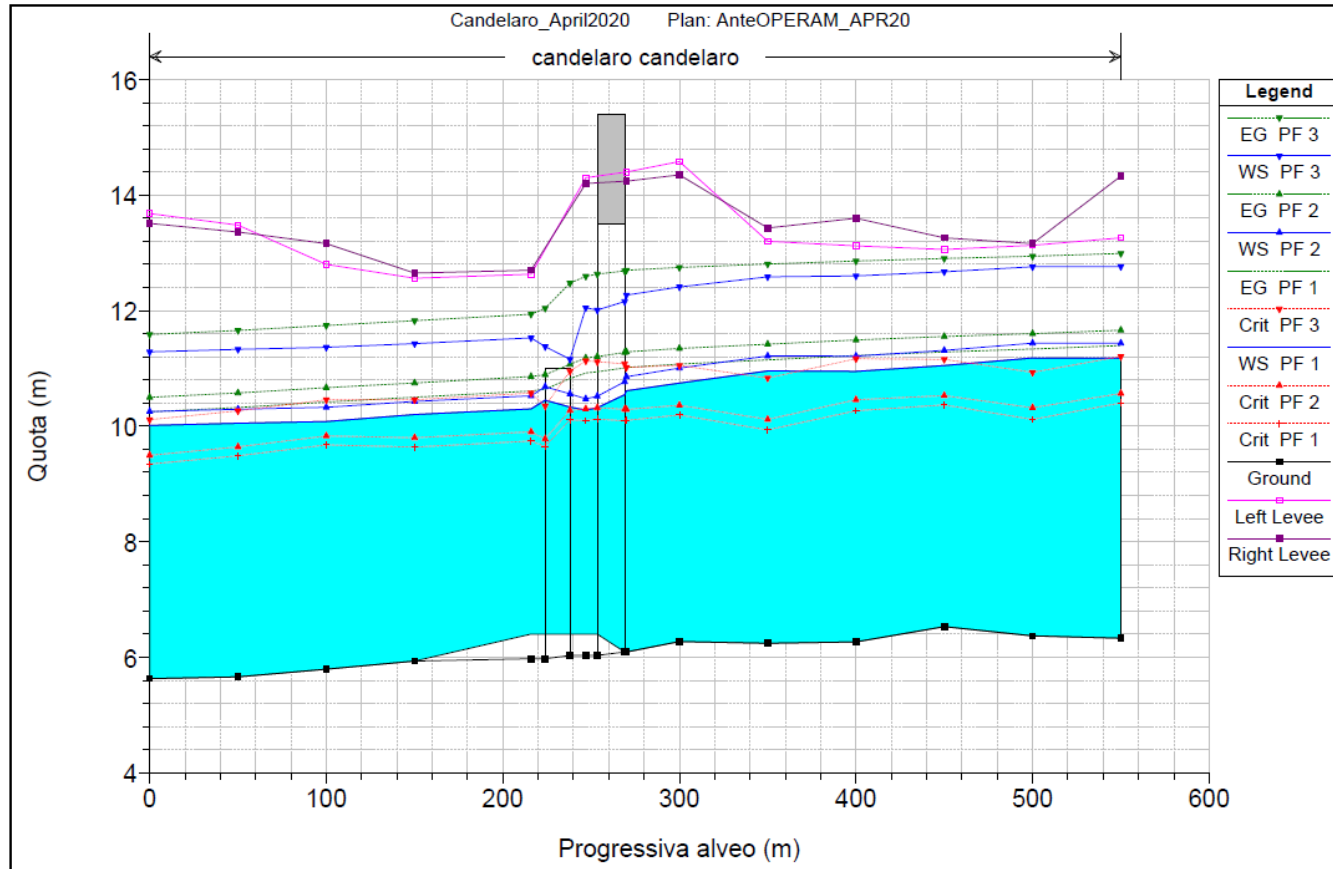


Figura 6.2 – profilo del tratto modellato del torrente Candelaro, condizioni ante operam; sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA ($499 \text{ m}^3/\text{s}$, segnalata dal profilo WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore ciano piena), 500 anni ($585 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ (WS PF3, indicato

dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso), i livelli dei carichi (linee verdi) e le quote arginali.

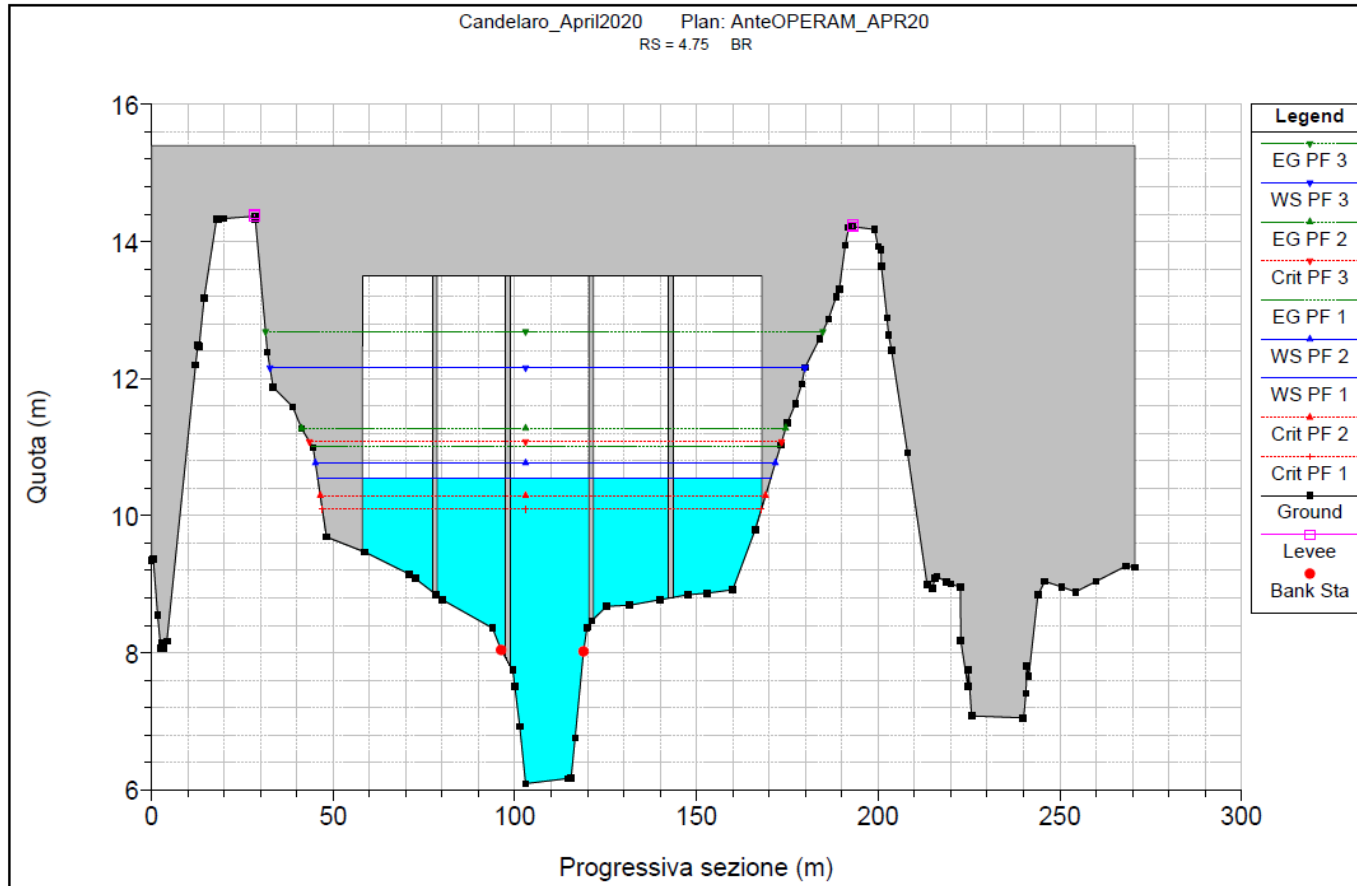


Figura 6.3 – Sezione in corrispondenza del viadotto esistente (lato monte); sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA (499 m³/s, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni (585 m³/s, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di 1020 m³/s (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

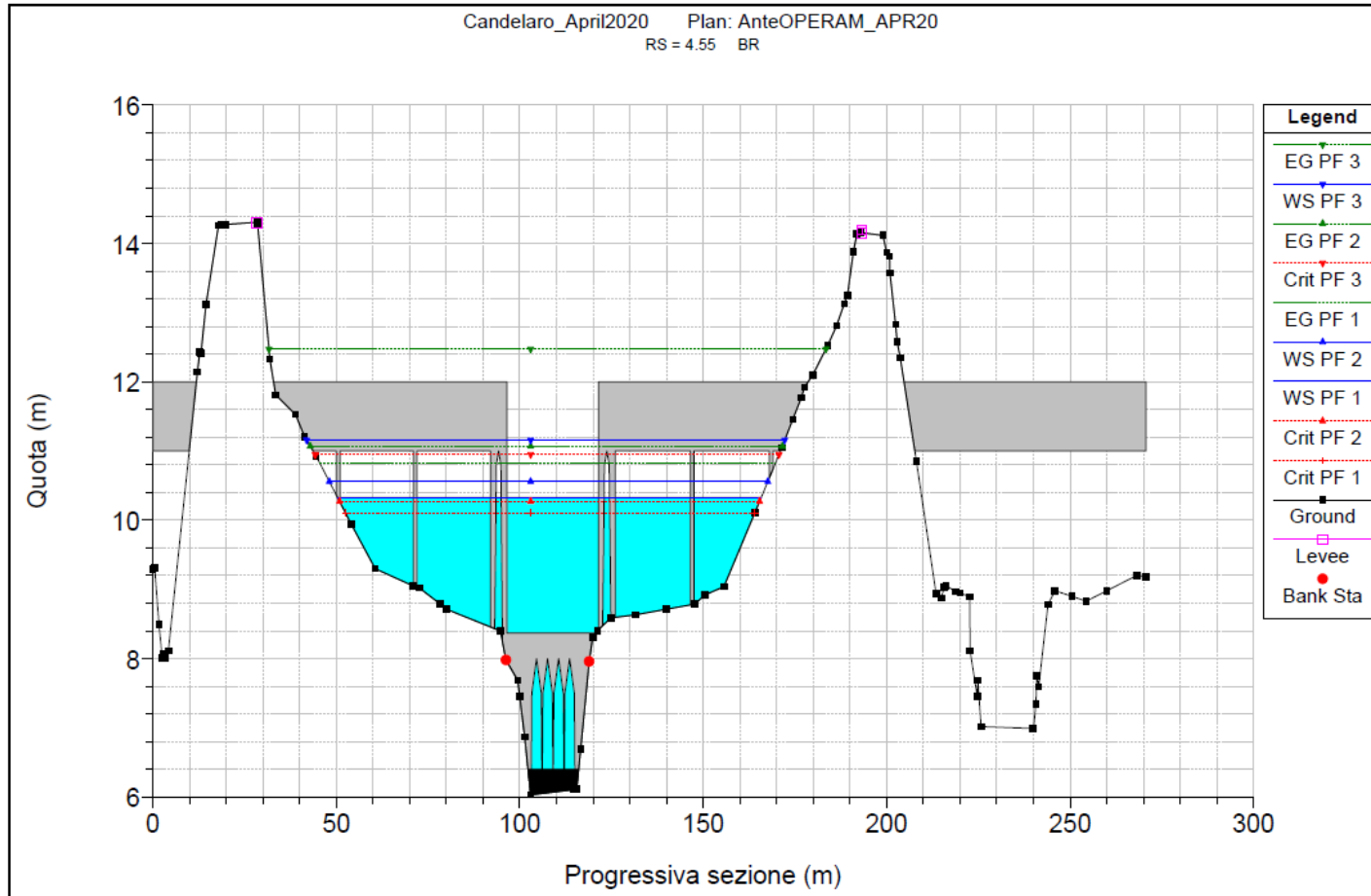


Figura 6.4 – Sezione in corrispondenza del ponte relitto (lato monte); sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA ($499 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni ($585 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF2, indicato

dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di 1020 m³/s (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

Scenario post operam (moto permanente, portate PGRA)

La posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nella modellazione post operam è riportata nella figura 6.5

In condizioni post operam (stato successivo alla realizzazione dell'infrastruttura e sostituzione del viadotto) il deflusso avviene ancora in condizioni di corrente lenta per ciascuna sezione e per ogni scenario di portata. La quota corrispondente alla piena con tempo di ritorno di 200 anni assunta pari a $499 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 10,62 metri, mentre la piena con tempo di ritorno di 500 anni assunta pari a $585 \text{ m}^3/\text{s}$ transita nella sezione a monte del ponte ad una quota idrica di 10,85 metri. La portata di $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ transita invece ad una quota di 12,27 metri.

Adottando il valore di portata indicato nel PGRA, il franco minimo della piena duecentennale rispetto al punto più basso dell'intradosso del nuovo viadotto Candelaro è pari a 1,68 metri. Considerando, tuttavia, che la forte curvatura dell'intradosso dell'impalcato genera un notevole abbassamento dello stesso solo in corrispondenza degli appoggi sulle pile, è rilevante considerare che il franco reale dell'intradosso rispetto al livello della piena duecentennale PGRA è pari a 2,25 metri per almeno il 90% dell'impalcato stesso. Le variazioni rispetto alle condizioni ante operam sono inferiori, come ordine di grandezza, all'accuratezza ottenibile con la modellazione idraulica e si ritengono, pertanto, trascurabili.

Anche nella situazione post operam, nella rappresentazione del ponte relitto, sovrapponendosi questo, dal punto di vista altimetrico, alle luci della sottostante opera di guado, si è dovuto optare per la modellazione delle due strutture come un'unica opera, ponendo particolare attenzione alla riproduzione delle linee di intradosso e rinunciando a rappresentare la travatura metallica del ponte relitto stesso, che resta comunque non interessata dal deflusso (figura 6.8). Inoltre nella sezione di guado, e le due immediatamente precedente e successiva, è stata aggiunta una "normal blocked obstruction" per tenere conto della possibile ostruzione dovuta al materiale sedimentato sul fondo delle luci del guado stesso (figura 6.8).

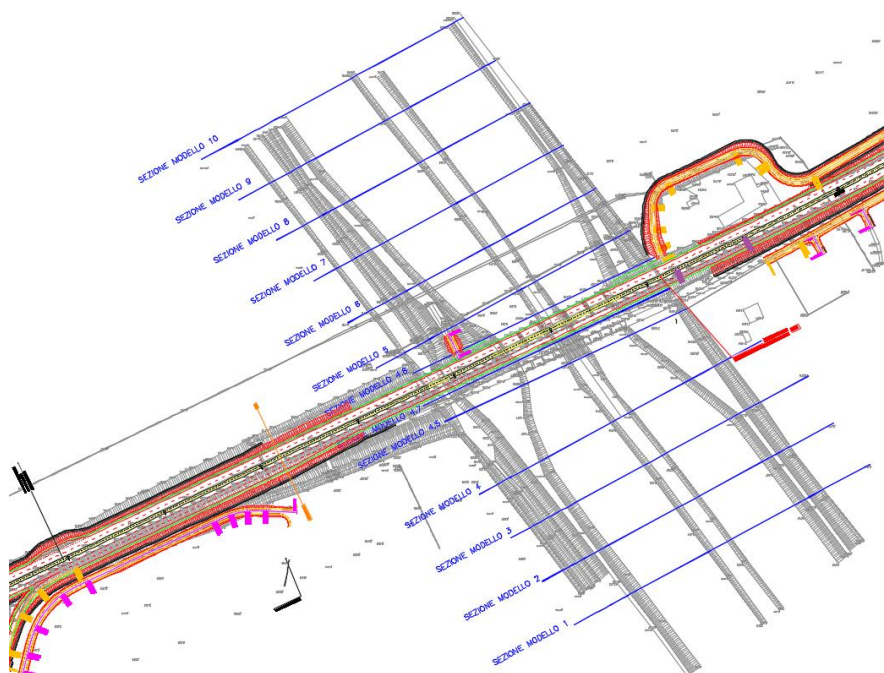


Figura 6.5 – posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nell'implementazione del modello idraulico (ante operam)

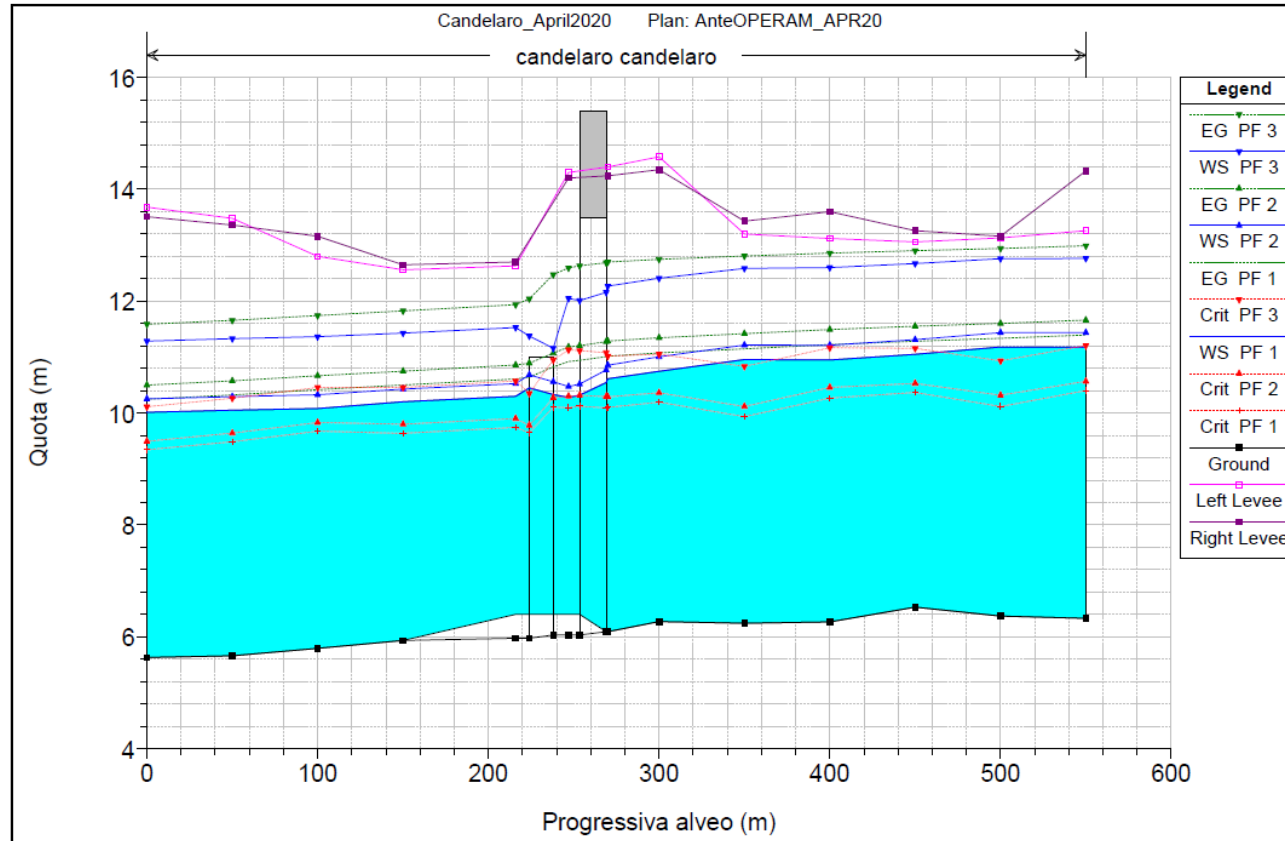


Figura 6.6 – profilo del tratto modellato del torrente Candelaro, condizioni post operam; sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA(499 m³/s, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni (585 m³/s,

WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di 1020 m³/s (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso), i livelli dei carichi (linee verdi) e le quote arginali.

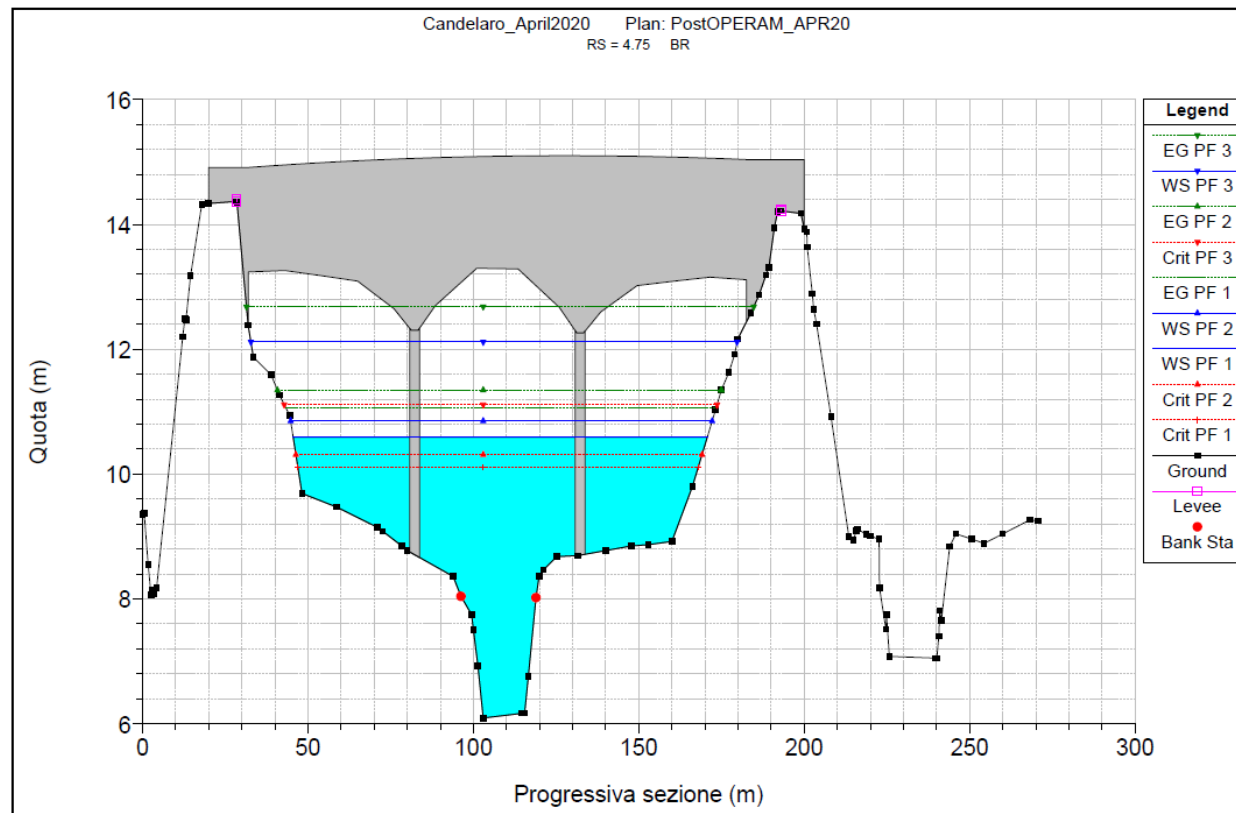


Figura 6.7 – Sezione in corrispondenza del viadotto di progetto (lato monte); sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA (499 m³/s, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni (585 m³/s, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di 1020 m³/s (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

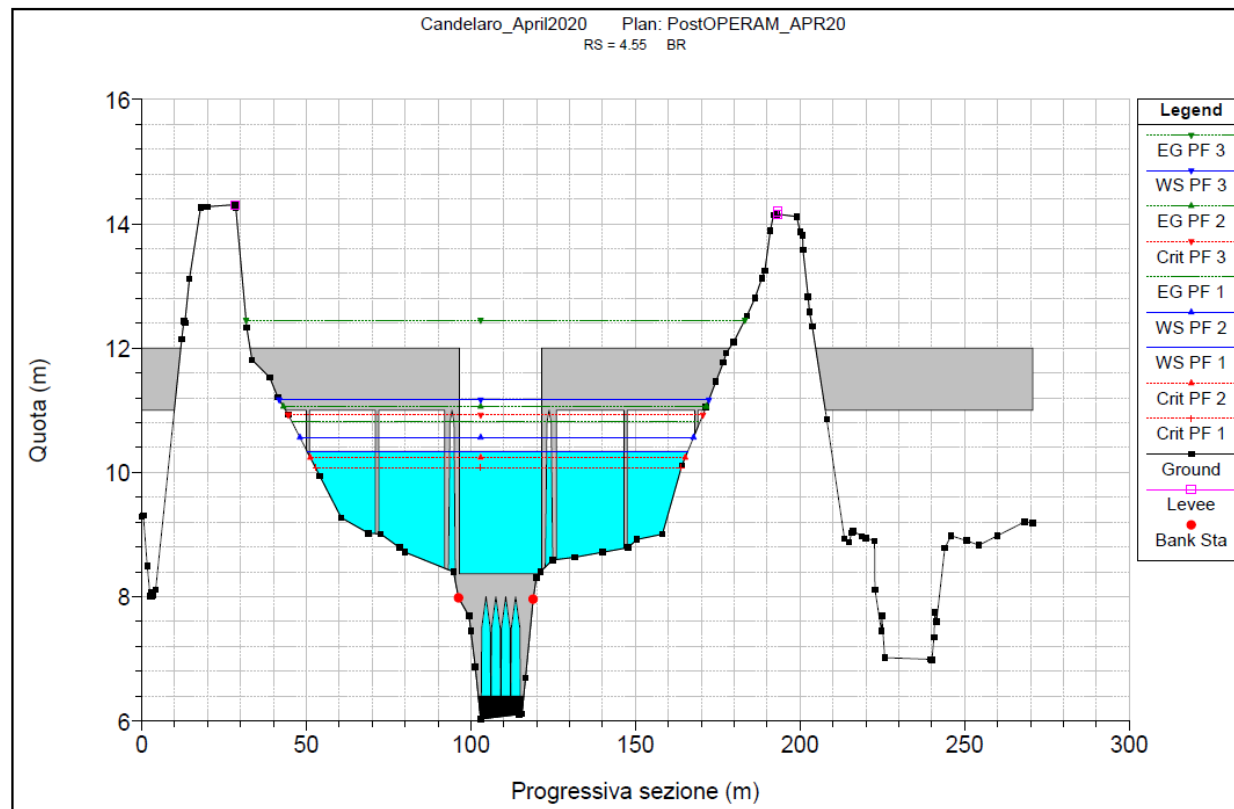


Figura 6.8 – Sezione in corrispondenza del ponte relitto (lato monte) nelle condizioni post operam; sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni indicata nel PGRA(499 m³/s, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni (585 m³/s, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di 1020 m³/s (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

Scenario post operam con rimozione del guado (moto permanente, portate PGRA)

È stato anche considerata l'opzione di poter rimuovere il guado esistente in alveo, per consentire la realizzazione di una sezione di deflusso più libera a valle del ponte di progetto.

L'effetto della rimozione del guado posto sotto l'esistente ponte relitto è stato valutato nel rispetto delle condizioni al contorno indicate nelle simulazioni precedenti. Le condizioni di deflusso in corrispondenza della S.S. 89 e del ponte relitto stesso sono indicate rispettivamente nelle figure 6.9 e 6.10.

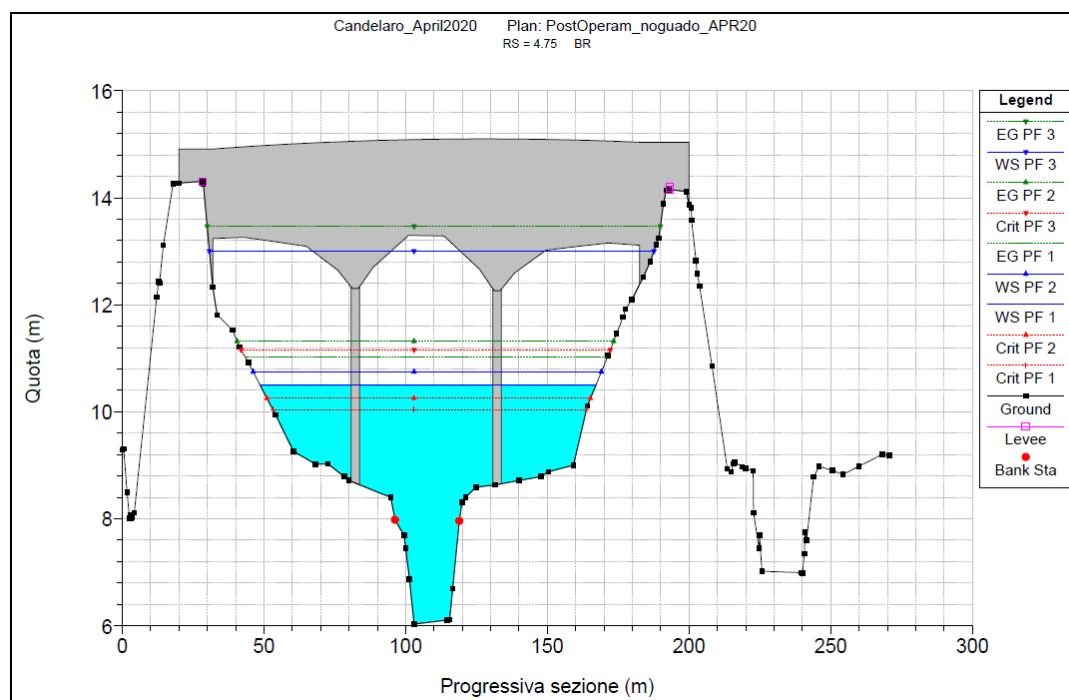


Figura 6.9 – Sezione in corrispondenza del viadotto di progetto (lato monte) nelle condizioni post operam e con la rimozione del guado; sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni PGRA ($499 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni PGRA ($585 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

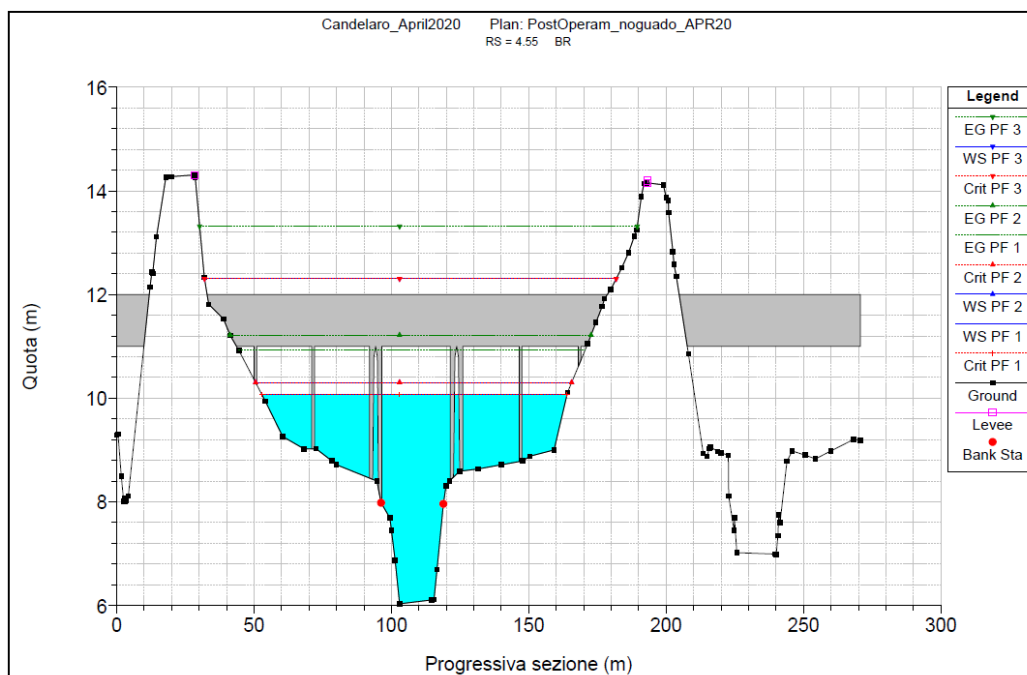


Figura 6.10 – Sezione in corrispondenza del ponte relitto (lato monte) nelle condizioni post operam con rimozione del guado; sono indicati i livelli raggiunti per la portata con tempo di ritorno di 200 anni ($499 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno), 500 anni ($585 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF2, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso l'alto) e per una portata di $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ (WS PF3, indicato dalla linea blu con triangoli a vertice verso il basso). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (linee verdi).

Scenario di moto vario (idrogramma fornito dal DAM)

Le verifiche eseguite con modello di moto vario monodimensionale sono riportate per esteso nell'appendice C. Vengono qui riportati i risultati principali.

Condizioni ante operam

La posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nella modellazione ante operam è quella riportata nella figura 6.1. La portata al colmo dell'idrogramma è pari a $615 \text{ m}^3/\text{s}$, dunque leggermente superiore alla portata assunta come cinquecentennale nel PGRA ($585 \text{ m}^3/\text{s}$)

In condizioni ante operam (stato attuale) la simulazione con l'idrogramma fornito dall'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale mostra che il deflusso avviene in condizioni di corrente lenta su ciascuna sezione. La quota corrispondente alla piena con tempo di ritorno di 200

anni è pari a 10,92 metri, mentre in corrispondenza del ponte relitto il livello con la portata di 615 m³/s (portata di picco) transita con un livello pari a 10,74 metri.

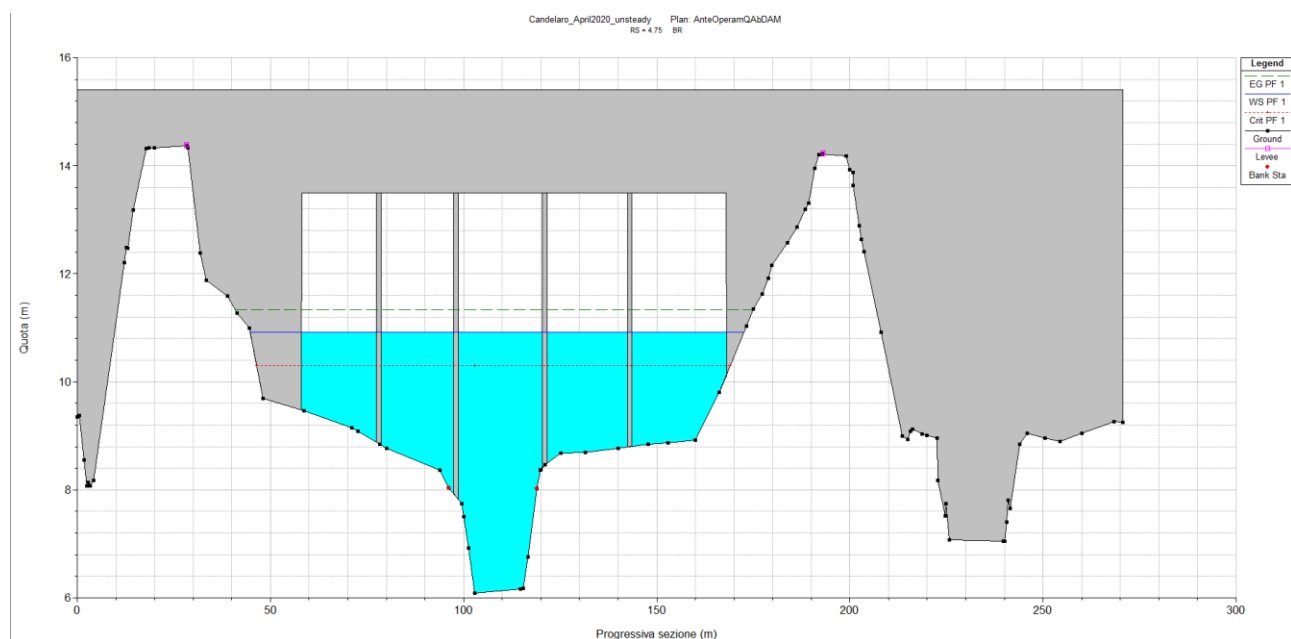


Figura 6.11 – Sezione in corrispondenza del viadotto esistente (lato monte); è indicato il livello raggiunto al picco dell'idrogramma di piena fornito dal DAM, per la portata con tempo di ritorno di 200 anni a 23 ore dall'inizio della simulazione (615 m³/s, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno). Sono riportate anche la rispettiva altezza critica (in rosso) e il livello dei carichi (in verde).

Condizioni post operam

La posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nella modellazione post operam è la stessa già indicata nella figura 6.5

In condizioni post operam (stato successivo alla realizzazione dell'infrastruttura e sostituzione del viadotto) il deflusso avviene per tutti i tempi di simulazione considerati ancora in condizioni di corrente lenta in corrispondenza dell'attraversamento di progetto. La quota corrispondente all'istante di colmo della piena con tempo di ritorno di 200 anni relativo al colmo dell'idrogramma (istante di picco con portata di 615 m³/s) è pari a **10,92 metri**.

Considerando che la curvatura dell'intradosso dell'impalcato genera un abbassamento dello stesso solo in corrispondenza degli appoggi sulle pile, è rilevante considerare che il franco presenta le seguenti caratteristiche:

- Il franco di legge di 1,5 metri è garantito su una estensione pari a 44,3 metri su 50 metri di luce complessiva per la campata centrale (pari ad un franco assicurato per l'88,6% della sua estensione complessiva);
- Il franco di legge di 1,5 metri è garantito su una estensione pari a 46,2 metri su 49,7 metri di luce complessiva per le due campate laterali (pari ad un franco assicurato per circa il 93% della sua estensione complessiva).

Le variazioni rispetto alle condizioni ante operam sono inferiori, come ordine di grandezza, all'accuratezza ottenibile con la modellazione idraulica e si ritengono, pertanto, trascurabili.

Anche nella situazione post operam, nella rappresentazione del ponte relitto, sovrapponendosi questo, dal punto di vista altimetrico, alle luci della sottostante opera di guado, si è dovuto optare per la modellazione delle due strutture come un'unica opera, ponendo particolare attenzione alla riproduzione delle linee di intradosso e rinunciando a rappresentare la travatura metallica del ponte relitto stesso, che resta comunque non interessata dal deflusso.

Inoltre la sezione di guado, e le due immediatamente precedente e successiva, sono state simulate aggiungendo una "normal blocked obstruction" per tenere conto della possibile ostruzione dovuta al materiale sedimentato sul fondo delle luci del guado stesso.

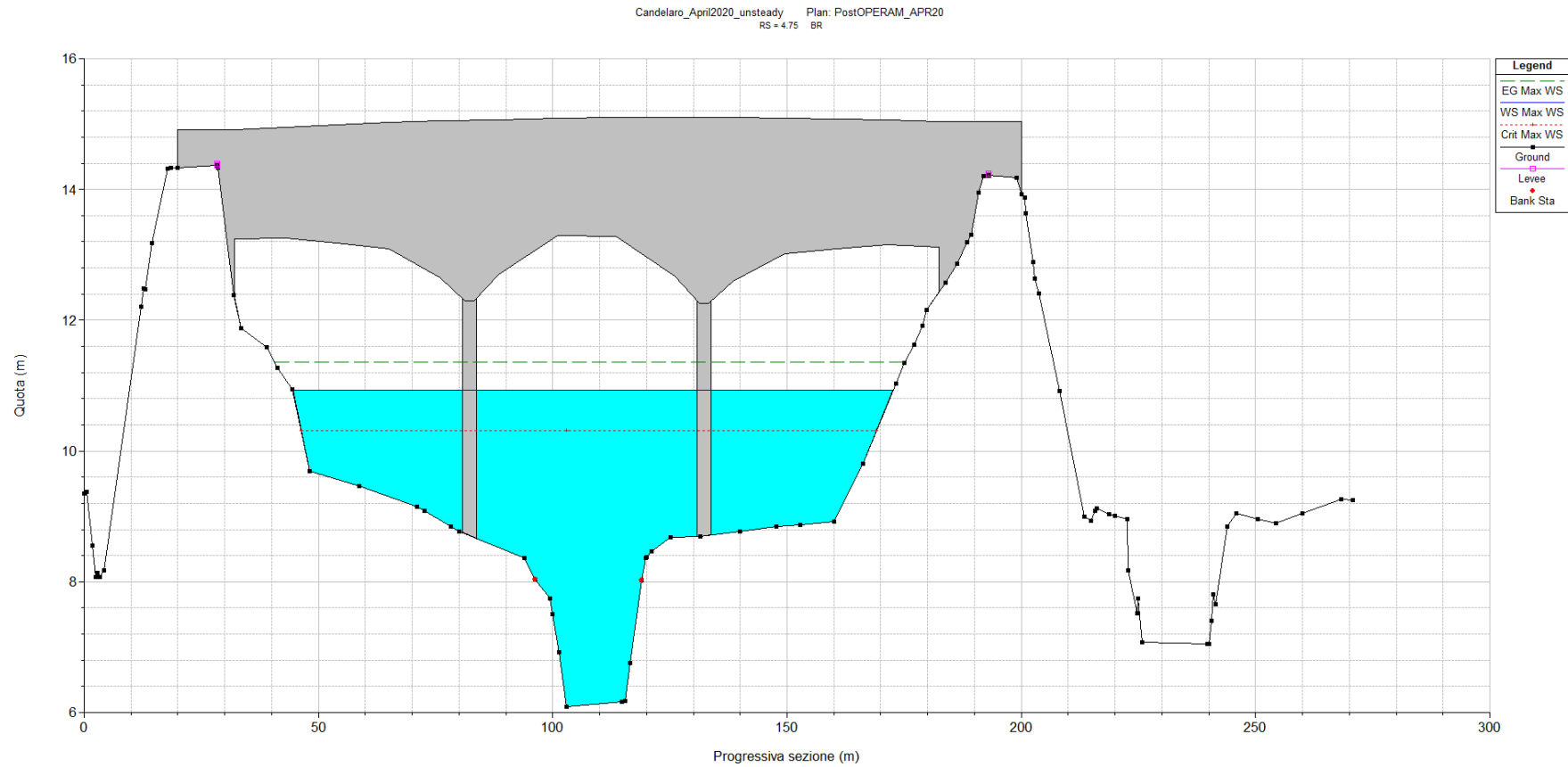


Figura 6.12 – Sezione in corrispondenza del viadotto di progetto (lato monte) nella configurazione post operam; è indicato il livello raggiunto al picco dell'idrogramma di piena fornito dal DAM, per un tempo di ritorno di 200 anni ($615 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (in verde).

Condizioni post operam con rimozione del guado

La posizione planimetrica delle sezioni utilizzate nella modellazione post operam con rimozione del guado è la stessa già indicata nella figura 6.5. In condizioni post operam con rimozione del guado (stato successivo alla realizzazione dell'infrastruttura e sostituzione del viadotto e rimozione delle luci sotto al ponte relitto) il deflusso avviene per tutti i tempi di simulazione considerati ancora in condizioni di corrente lenta in corrispondenza dell'attraversamento di progetto. La quota corrispondente all'istante di colmo della piena con tempo di ritorno di 200 anni relativo al colmo dell'idrogramma (istante di picco con portata di $615 \text{ m}^3/\text{s}$) è pari a 10,94 metri, mentre in corrispondenza del ponte relitto è pari a 10,38 metri (si ha quindi un abbassamento di circa 30 centimetri rispetto alla condizioni post operam mantenendo il guado).

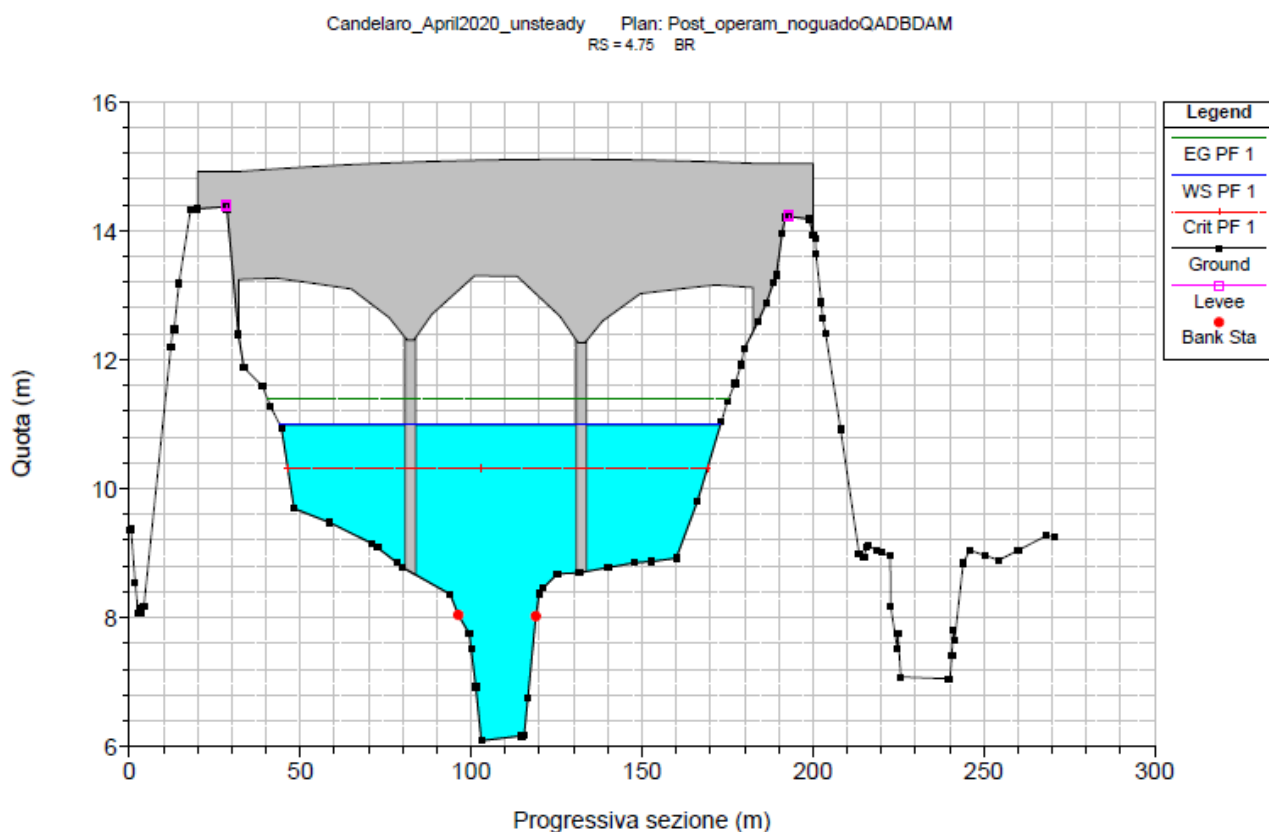


Figura 6.13 – Sezione in corrispondenza del viadotto di progetto (lato monte) nelle condizioni post operam con rimozione del guado; è indicato il livello raggiunto al picco dell'idrogramma di piena fornito dal DAM, per un tempo di ritorno di 200 anni ($615 \text{ m}^3/\text{s}$, WS PF1, indicato con il profilo in blu cui è sottesa l'area a colore pieno). Sono riportate anche le rispettive altezze critiche (in rosso) e i livelli dei carichi (in verde).

Confronto tra le diverse configurazioni

Un confronto di sintesi dei livelli in corrispondenza della S.S. 89 e del ponte relitto nelle diverse configurazioni è riportato nella seguente tabella 6.1.

Essa indica che – con tutti i modelli utilizzati e per tutte le configurazioni - la modifica dell'opera (realizzazione del nuovo viadotto) non comporta alcun incremento dei livelli in corrispondenza dei due ponti (ponte SS89 e ponte relitto); si può concludere quindi che la realizzazione della nuova opera non comporta alcun incremento della pericolosità idraulica rispetto alla configurazione attuale.

Risulta inoltre che:

- il franco previsto per l'opera di progetto, nella configurazione più sfavorevole (idrogramma di piena TR=200 fornito dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale) è superiore al valore di norma previsto (1,5 metri) per l'88,6% della campata centrale e per il 93% delle campate laterali del nuovo ponte;
- la distanza tra il fondo dell'alveo e l'impalcato è superiore a 6 metri per tutta l'estensione di quest'ultimo;
- La quota di sottotrave è superiore alla quota delle arginature.

Inoltre, salvo il fatto che i franchi sono garantiti, nelle estensioni percentuali indicati, in qualsiasi configurazione simulata, la rimozione del guado comporterebbe un miglioramento solo contenuto delle condizioni di deflusso in corrispondenza del ponte relitto, mentre non apporterebbe un miglioramento delle condizioni idrauliche in corrispondenza dell'opera di progetto.

Per tali ragioni, in considerazione del fatto che non si conosce l'interferenza strutturale tra il ponte storico relitto con il guado sottostante, per non alterare la statica dell'opera esistente, si ritiene che l'opera possa essere integralmente mantenuta.

Tabella 6.1 – Quota di massima piena per i tempi di ritorno di 200 e 500 anni (portate PAI) e 200 anni (portate nota AdBDAM) nelle diverse configurazioni di progetto

	Livello a monte SS 89			Livello a monte ponte relitto		
	TR=200 (portata PGRA)	TR=500 (portata PGRA)	TR=200 (portata nota AdBDAM)	TR=200 (portata PGRA)	TR=500 (portata PGRA)	TR=200 (portata nota AdBDAM)
Portata (m ³ /s)	499	585	615	499	585	615
	Livelli in metri	Livelli in metri	Livelli in metri	Livelli in metri	Livelli in metri	Livelli in metri
Ante operam	10,62	10,84	10,92	10,43	10,66	10,74
Post operam con guado	10,62	10,85	10,92	10,43	10,66	10,68
Post operam senza guado	10,62	10,88	10,95	10,11	10,32	10,38

7 SCALZAMENTO DELLE PILE

La stima della profondità di scavo attorno alle pile dei viadotti è essenziale per accompagnare la progettazione delle fondazioni delle opere in alveo. Una sottostima degli effetti dello scalzamento locale che si verifica in corrispondenza delle pile in alveo può condurre infatti ad una crisi dell'intera opera di attraversamento. L'attenzione su questo problema ha ricevuto una attenzione crescente nelle ultime decadi; per questo motivo, soprattutto negli ultimi 40 anni, sono stati sviluppati numerosi modelli previsionali e proposte diverse formule per la stima dello scavo locale alla base delle pile. Tali formule sono basate generalmente sulla regressione della profondità di scavo in funzione di parametri idrodinamici, geometrici dell'opera e granulometrici del fondo alveo, desunte nella maggior parte dei casi da un numero limitato di esperienza di laboratorio e in condizioni sperimentali di prototipo.

Purtroppo l'applicazione dei risultati di laboratorio ai casi reali non è sempre agevole e diretta, a causa delle semplificazioni insite nelle esperienze sperimentali, quali ad esempio la schematizzazione della forma della sezione e delle caratteristiche dei materiali con cui vengono ricostruite le sponde dell'alveo, che, nel tentativo di fornire un approccio generale al problema, vengono riprodotte in modo estremamente semplificato.

Lo scavo locale che si verifica per elevate portate di progetto intorno alla pila di un ponte è un fenomeno molto complesso che deriva dall'interazione tra il flusso attorno alla pila e il letto erodibile che la circonda, qualora questo non sia costituito da fondo roccioso.

Da un punto di vista idraulico, la presenza di una pila in alveo causa infatti un aumento localizzato della velocità in corrispondenza della pila stessa. Si ha l'addensamento delle linee di corrente e la formazione di un grosso vortice – che generalmente assume una forma a ferro di cavallo - che interessa planimetricamente tutta l'area circostante la pila fino alla linea di separazione del vortice, il quale è il principale responsabile dell'erosione.

Nel presente progetto l'argomento è stato affrontato in dettaglio, utilizzando i risultati ottenuti attraverso l'analisi di ciascuna pila prevista dal progetto definitivo e interessata dal deflusso in base

alle risultanze del capitolo 6, tramite l'applicazione della formula di Breusers (Breusers, 1977), che ha il vantaggio di un approccio parsimonioso e robusto,

Assunta come riferimento una pila di forma generica, la profondità di scavo d_s può essere descritta come funzione delle seguenti variabili (Breusers e al., 1977):

$$\frac{d_s}{s} = f \left\{ \frac{v_0}{v_c(d_{50})}, \frac{l}{s}, \text{forma}, \alpha \right\}$$

essendo:

d S la profondità di scavo misurata a partire dal fondo dell'alveo indisturbato;

s l la larghezza della pila di lunghezza;

v v_0 la velocità media della corrente indisturbata;

v $v_c(d)$ la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media della corrente alla quale inizia il movimento del materiale del fondo d'assegnato diametro d ;

d d_{50} la dimensione mediana del materiale in alveo;

α α l'angolo che la corrente indisturbata forma con la pila.

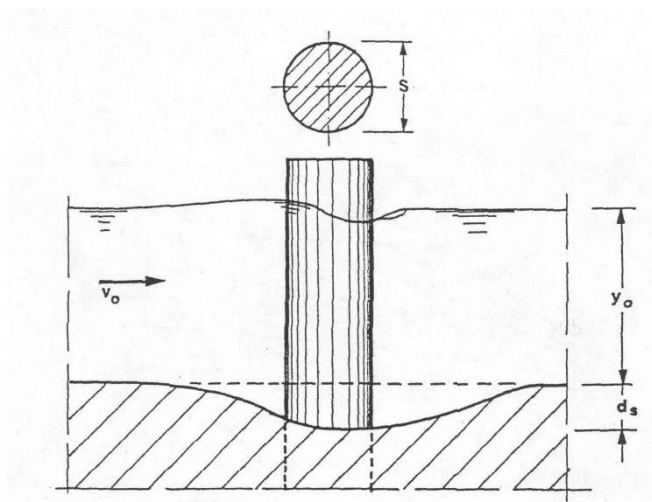


Figura 4.2.1 –schematizzazione delle variabili geometriche nella formula di Breusers

Nelle verifiche fatte si è utilizza comunemente la seguente formula sperimentale:

$$\frac{d_s}{s} = f_1\left(\frac{v_0}{v_c}\right) \cdot \left[2 \tanh\left(\frac{y_0}{s}\right)\right] \cdot f_2(forma) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{l}{s}\right)$$

nella quale:

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_c}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{v_0}{v_c} \leq 0,5;$$

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_c}\right) = 2 \frac{v_0}{v_c} - 1 \quad \text{per } 0,5 < \frac{v_0}{v_c} \leq 1,0;$$

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_c}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{v_0}{v_c} > 1,0;$$

$$f_2(forma) = 1,00 \quad \text{per pile circolari o con fronti arrotondate;}$$

$$f_2(forma) = 0,75 \quad \text{per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;}$$

$$f_2(forma) = 1,30 \quad \text{per pile rettangolari;}$$

$$f_3\left(\alpha, \frac{l}{s}\right) \quad \text{ricavabile dal grafico della figura seguente}$$

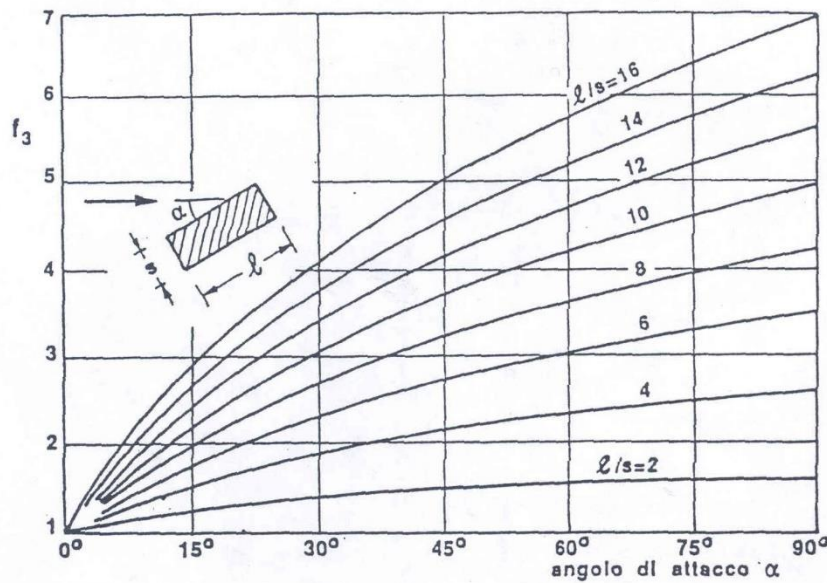


Figura 4.2.2 –effetto dell'angolo di attacco in funzione delle caratteristiche della pila nella formula di Breusers

Per i terreni eterogenei si adotta $d=d_{50}$; la velocità critica v_c si può ottenere dalla:

$$v_c = 0,85 \sqrt{2g d_{50} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}$$

ove si è indicato con γ_s il peso specifico del materiale di fondo (per il quale è stato assunto il valore di 2600 kg/m^3) e con γ quello dell'acqua.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrauliche (v_0 ed y_0) si sono prese quelle relative ad un tempo di ritorno di 200 anni. Si è assunto per ciascuna pila il tirante risultante dalle condizioni di moto permanente, adottando il valore massimo tra il tirante a monte e quello a valle. Anche la velocità è stata calcolata come valore massimo tra la velocità nella sezione di monte del ponte e in quella di valle.

La verifica viene eseguita sulla base della geometria della pila come definita nelle tavole relative alle opere. Si è tenuto conto del fatto che è stata prevista una protezione della fondazione con pietrame di diametro mediano pari a 0,5 metri; a vantaggio di sicurezza il calcolo è stato fatto usando un valore del diametro mediano di 0,4 metri.

I risultati dell'applicazione sono riportati nella tabella seguente; il significato delle diverse grandezze è quello precedentemente indicato.

Grandezza	simbolo	u.m.	valore	
			Candelaro pila 1	Candelaro pila 2
velocità di riferimento	v	[m/s]	1.36	1.42
peso specifico materiale	γ	[kg/m ³]	2600	2600
diametro medio del pietrame di rivestimento	D	[m]	0.4	0.4
velocità di movimentazione	v_{cr}	[m/s]	3.01	3.01
fattore di velocità	f_1		0.5	0.5
tirante massimo sulla sezione			2.27	2.23
fattore di forma	f_2	circolari arrotondate	1	1
		profilate	0.75	0.75
		rettangolari	1.33	1.33
spessore pila	s	[m]	3	3

Grandezza	simbolo		u.m.	valore	valore
				Candelaro pila 1	Candelaro pila 2
<i>lunghezza pila</i>	<i>l</i>		<i>[m]</i>	3	3
<i>rapporto</i>	<i>l/s</i>			1	1
<i>angolo</i>	<i>α</i>		<i>[gradi]</i>	5	5
	<i>f3</i>			1	1
$\Delta s/s$				0.64	0.63
Δs			<i>[m]</i>	1.92	1.89

Appendice A

**Nota prot. 12701 del 13711/2018 dell'Autorità di Bacino
Distrettuale dell'Appennino Meridionale**



Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

Autorità di Bacino della Puglia
PROTOCOLLO GENERALE

adbp A00_AFF_GEN

0012701

U 13/11/2018 12:30:03

Sede Puglia

ANAS S.p.A.
PEC: anas@postacert.stradeanas.it
c.a. Ing. Vincenzo Marzi

Oggetto: "S.S. n. 89 "Garganica" – Lavori di adeguamento del tratto compreso tra il km 172+00 ed il km 186+400 - Progetto definitivo. Richiesta dati per studio Compatibilità idraulica" – Trasmissione dati

Si riscontra la nota di pari oggetto, prot. CDG-03444549-P del 27/06/2018, acquisita al prot. n. 8078 del 23/07/2018, con la quale sono stati richiesti dati relativamente ad un tratto del torrente Candelaro, al confine tra i territori di San Giovanni Rotondo e Manfredonia, all'intersezione con la S.S. 89 "Garganica".

Il tratto in esame del torrente Candelaro, è stato oggetto di approfondimenti idraulici, da parte dell'Autorità di Bacino Puglia, che hanno interessato un ampio areale della provincia di Foggia. La proposta di variante al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) risultante da detti approfondimenti, è stata approvata dalla Conferenza Istituzionale Permanente (CIP) con Delibera n. 6 del 14/12/2017. Sono in corso le procedure in capo all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (DAM) e agli altri enti territorialmente competenti per il completamento dell'iter di approvazione.

Occorre rappresentare che i predetti studi sono stati realizzati con la finalità di definire la pericolosità idraulica su ampiezze territoriali di notevole estensione e sono dunque basati su modelli di propagazione delle piene implementati con celle di dimensione per tale scopo congrua, variabile a seconda dei casi specifici. Pertanto detti studi non possono avere caratteristiche sufficienti per procedere alla progettazione di interventi alla scala locale, rispetto alla quale, tuttavia, possono essere di utile supporto nelle attività di verifica di conformità ai dettami del PAI. Si specifica inoltre che gli studi in esame, restituiscono parametri connessi alle piene "idrauliche" del sistema esistente, ovvero al netto dei fenomeni esondativi, e non quelli relativi alle piene idrologiche.

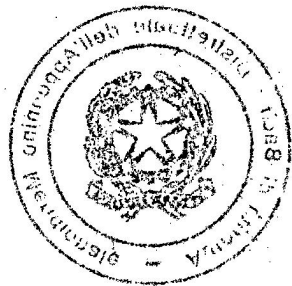
Ciò premesso, questa Autorità trasmette in allegato gli idrogrammi di piena bidentaria in formato .xls in prossimità dell'intersezione della strada in esame con il torrente Candelaro, nel campo monodimensionale e bidimensionale, e la relativa traccia delle sezioni in formato .shp. Codesta Struttura dovrà comunque procedere, anche sulla base di rilievi topografici e geometrici del complesso territoriale e delle opere di sistemazione idraulica esistenti, a svolgere studi idrologici e idraulici di dettaglio sia per completare il proprio quadro conoscitivo, sia per definire compiutamente gli interventi alla scala richiesta dalla progettazione, in conformità con i dettami delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI. Si precisa a tale ultimo riguardo che, ai fini di una progressiva messa in sicurezza del territorio, per come definita all'art. 36 delle NTA del PAI, i nuovi interventi dovranno essere progettati sulla base delle portate idrologiche attese per tempi di ritorno di 200 anni, e che in rapporto alle condizioni di pericolosità attuali e alle relative portate idrauliche, dovrà essere basata ogni attività rivolta alla gestione in sicurezza delle opere esistenti.

Il Dirigente Tecnico
dott. *Genaro Capasso*

Referente pratica:
Ing. Stefano Pagano
081 9182258
L.S



Il Segretario Generale
dott.ssa geol. *Vera Corbelli*



Appendice B

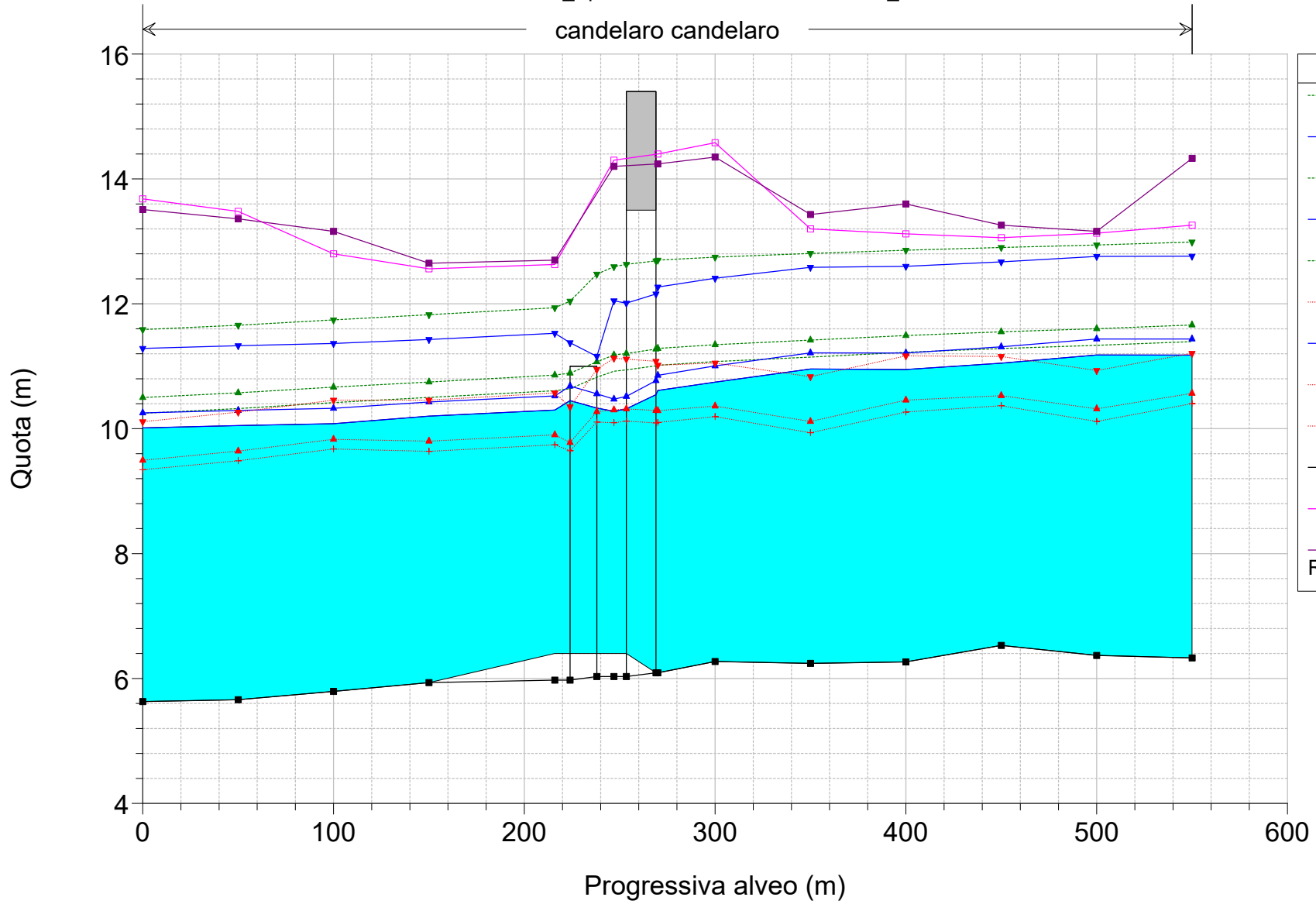
Verifiche di moto permanente

Torrente Candelaro

Attraversamento S.S. 89 "Garganica"

**Risultati delle simulazioni ante operam
(condizioni attuali)**

candelaro candelaro



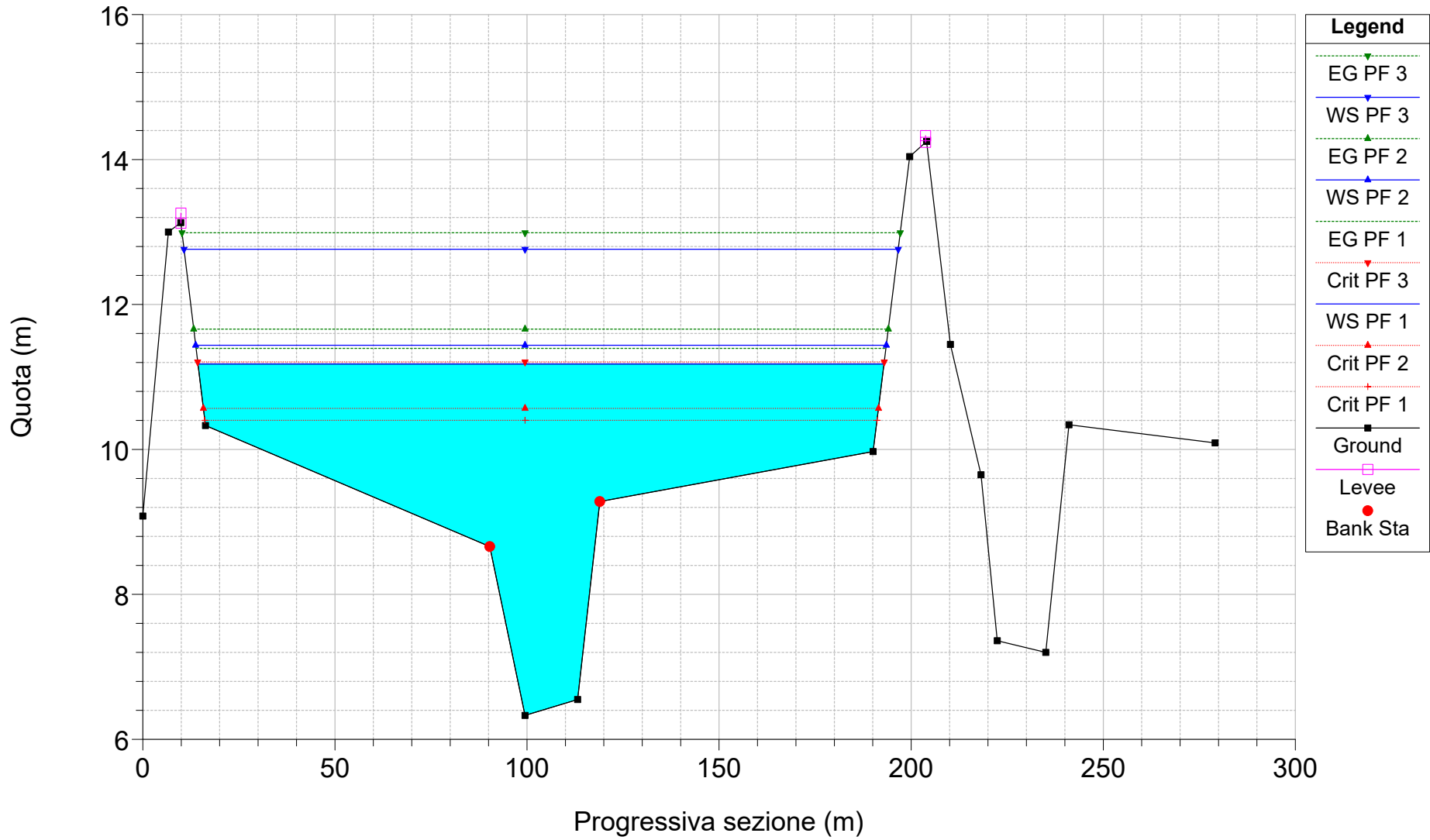
- EG PF 3
- WS PF 3
- EG PF 2
- WS PF 2
- EG PF 1
- Crit PF 3
- WS PF 1
- Crit PF 2
- Crit PF 1
- Ground
- Left Levee
- Right Levee

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 # Ch
candelaro	10	PF 1	499	6.33	11.18	10.4	11.39	0.000939	2.56	355.13	178.58	0.4
candelaro	10	PF 2	585	6.33	11.44	10.57	11.66	0.000934	2.66	401.44	179.77	0.41
candelaro	10	PF 3	1020	6.33	12.76	11.21	12.99	0.000755	2.86	643.85	185.91	0.38
candelaro	9	PF 1	499	6.37	11.18	10.12	11.34	0.000705	2.26	405.55	182.17	0.35
candelaro	9	PF 2	585	6.37	11.44	10.32	11.6	0.000716	2.37	452.47	183.36	0.36
candelaro	9	PF 3	1020	6.37	12.76	10.93	12.94	0.000621	2.62	698.86	189.46	0.35
candelaro	8	PF 1	499	6.53	11.05	10.37	11.28	0.001068	2.75	345.7	177.31	0.43
candelaro	8	PF 2	585	6.53	11.31	10.53	11.55	0.001046	2.84	392.48	178.48	0.43
candelaro	8	PF 3	1020	6.53	12.67	11.16	12.9	0.0008	2.97	639.29	184.4	0.4
candelaro	7	PF 1	499	6.27	10.95	10.27	11.22	0.001179	2.94	324.87	169.77	0.45
candelaro	7	PF 2	585	6.27	11.21	10.46	11.49	0.001154	3.03	370.12	170.92	0.45
candelaro	7	PF 3	1020	6.27	12.6	11.17	12.86	0.000867	3.14	611.47	177.19	0.41
candelaro	6	PF 1	499	6.24	10.96	9.94	11.15	0.000895	2.6	365.84	160.43	0.4
candelaro	6	PF 2	585	6.24	11.21	10.12	11.42	0.00091	2.73	407.6	161.78	0.41
candelaro	6	PF 3	1020	6.24	12.58	10.83	12.81	0.000771	2.98	633.97	168.54	0.39
candelaro	5	PF 1	499	6.27	10.75	10.19	11.07	0.00159	3.19	280.47	140.95	0.52
candelaro	5	PF 2	585	6.27	11.01	10.36	11.35	0.001568	3.3	317.2	142.31	0.52
candelaro	5	PF 3	1020	6.27	12.41	11.05	12.75	0.001178	3.49	522.59	152.23	0.47
candelaro	4.8	PF 1	499	6.09	10.61	10.1	11.02	0.001803	3.46	253.13	125.27	0.55
candelaro	4.8	PF 2	585	6.09	10.85	10.29	11.29	0.001843	3.64	283.68	127.33	0.57
candelaro	4.8	PF 3	1020	6.09	12.27	11.02	12.7	0.001428	3.88	479.1	148.62	0.52
candelaro	4.75		Bridge									
candelaro	4.7	PF 1	499	6.4	10.28	10.1	10.92	0.003154	4.23	200.79	114.6	0.72

candelaro	4.7	PF 2	585	6.4	10.47	10.3	11.18	0.003339	4.51	223.36	118.01	0.75
candelaro	4.7	PF 3	1020	6.4	12.05	11.13	12.59	0.00191	4.32	431.47	146.44	0.6
candelaro	4.55		Bridge									
candelaro	4.5	PF 1	499	6.4	10.3	9.74	10.61	0.001661	3.2	288.37	148.24	0.53
candelaro	4.5	PF 2	585	6.4	10.53	9.9	10.86	0.001691	3.36	322.46	151.01	0.54
candelaro	4.5	PF 3	1020	6.4	11.53	10.57	11.94	0.001697	3.91	478.68	159.55	0.56
candelaro	4	PF 1	499	5.93	10.2	9.64	10.5	0.001504	3.13	297.39	151.38	0.51
candelaro	4	PF 2	585	5.93	10.43	9.8	10.75	0.001535	3.28	331.94	152.83	0.52
candelaro	4	PF 3	1020	5.93	11.43	10.46	11.83	0.001579	3.85	487.84	159.18	0.54
candelaro	3	PF 1	499	5.79	10.08	9.67	10.42	0.0017	3.25	290.27	166.86	0.54
candelaro	3	PF 2	585	5.79	10.33	9.83	10.67	0.001651	3.35	331.4	168.26	0.53
candelaro	3	PF 3	1020	5.79	11.37	10.46	11.74	0.00152	3.74	509.43	174.19	0.53
candelaro	2	PF 1	499	5.66	10.05	9.49	10.32	0.001359	2.94	316.72	169.48	0.48
candelaro	2	PF 2	585	5.66	10.29	9.64	10.57	0.001344	3.05	358.08	170.72	0.48
candelaro	2	PF 3	1020	5.66	11.33	10.27	11.66	0.001301	3.49	537.55	176.04	0.49
candelaro	1	PF 1	499	5.63	10.01	9.34	10.25	0.0012	2.78	334.38	169.46	0.45
candelaro	1	PF 2	585	5.63	10.25	9.5	10.5	0.001202	2.89	375.34	170.64	0.46
candelaro	1	PF 3	1020	5.63	11.29	10.11	11.59	0.001201	3.36	554.05	175.7	0.47

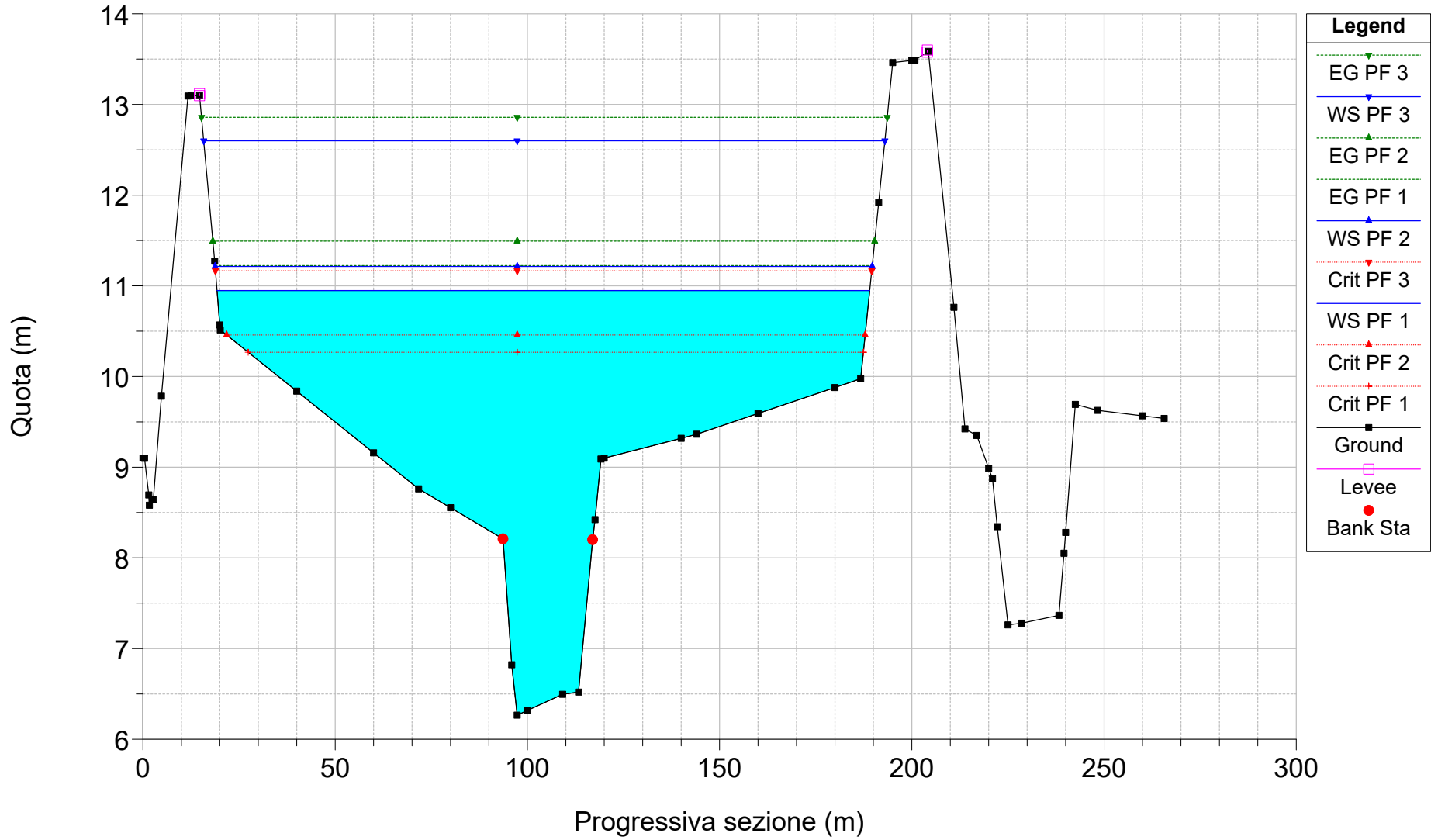
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



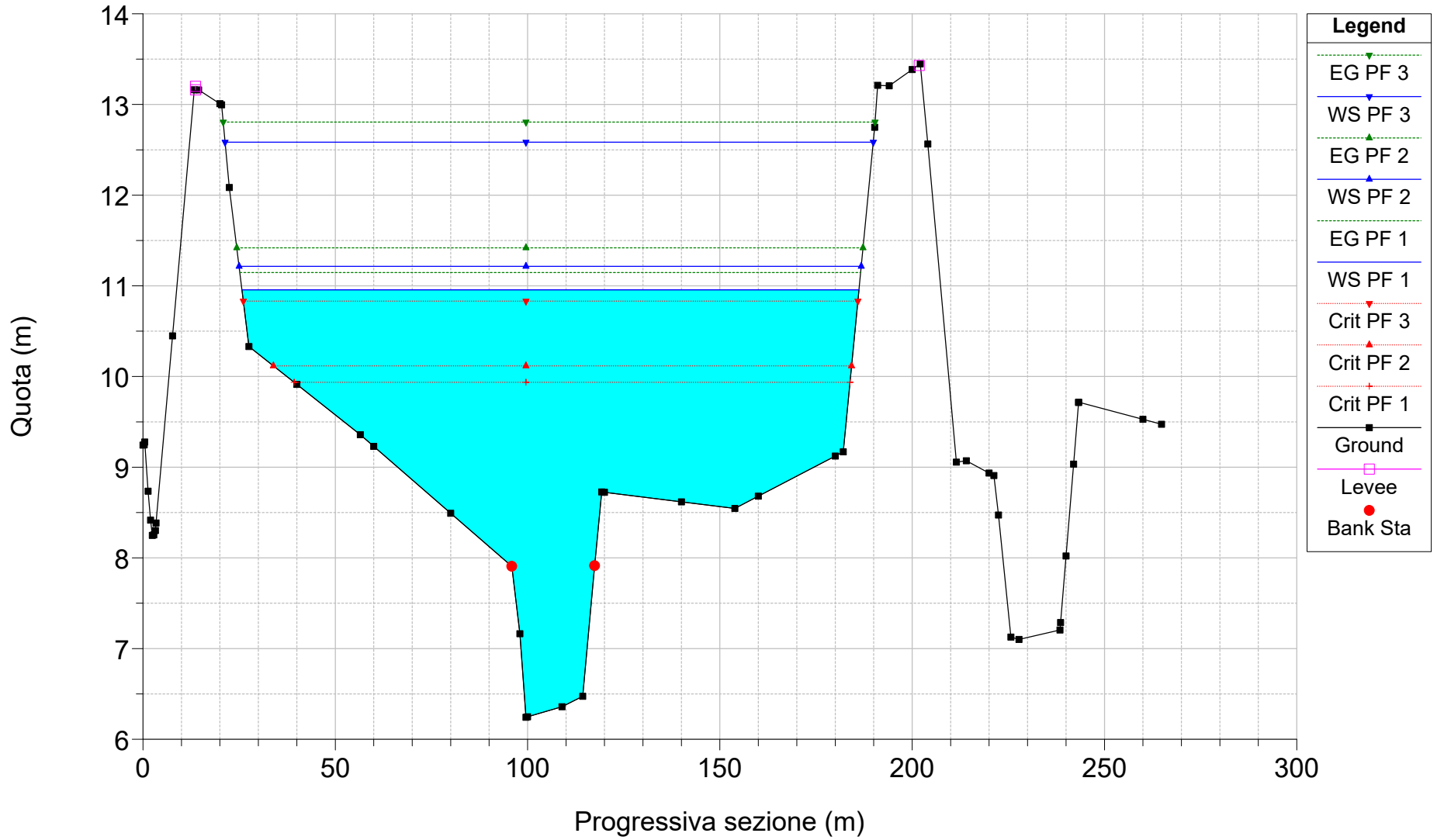
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 7 sez_rilev_04



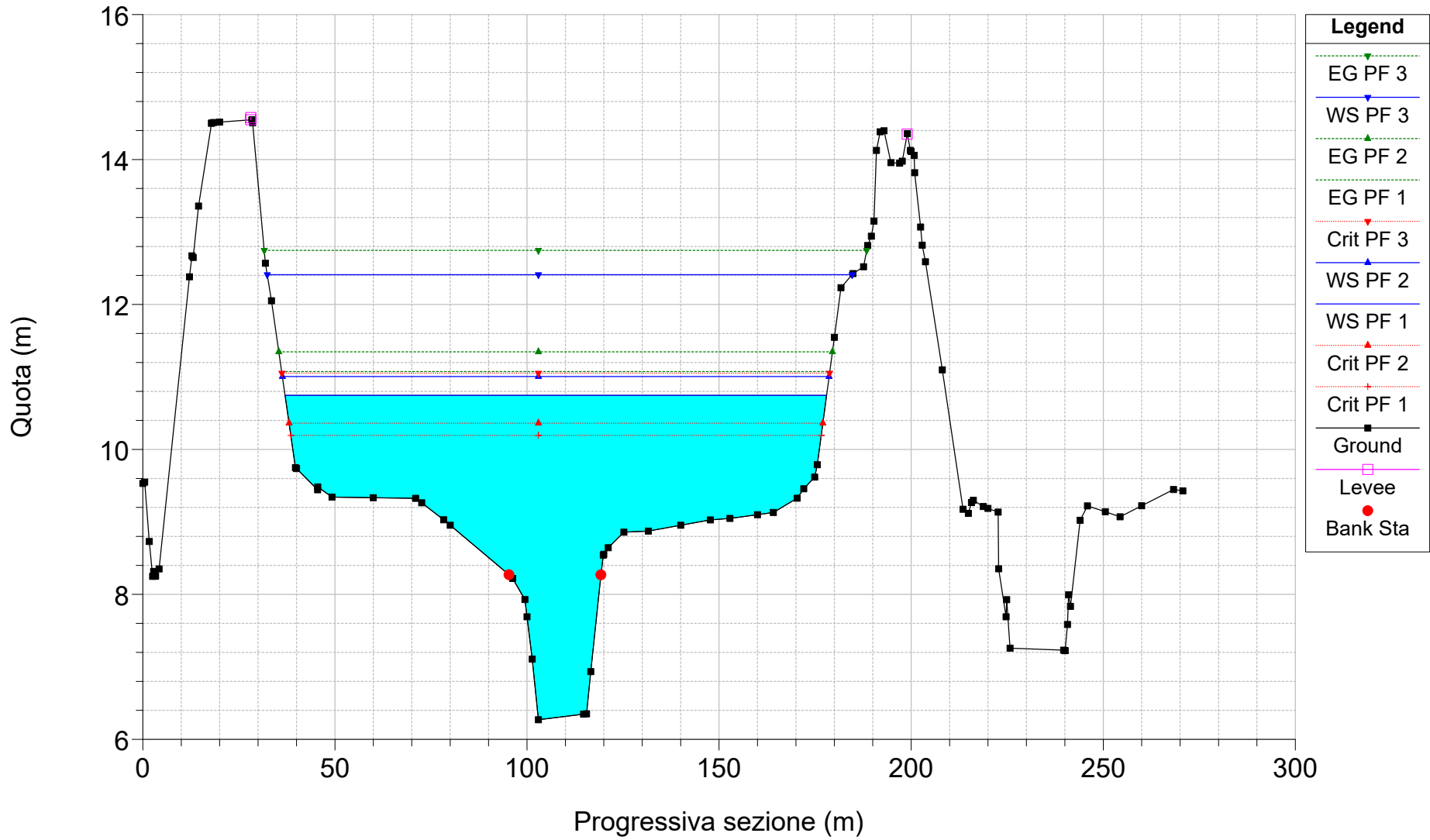
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 6 sez_rilev_05

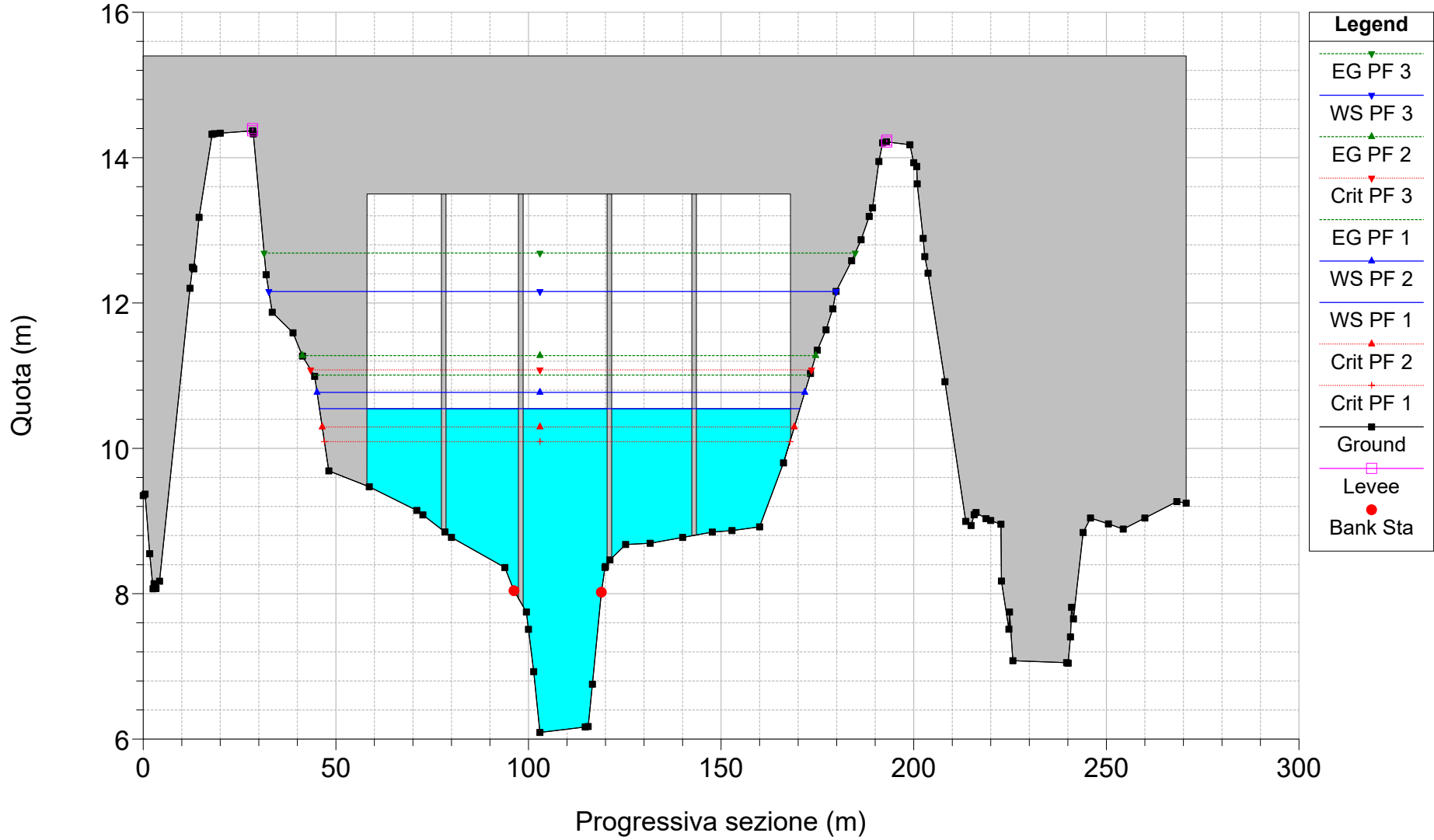


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

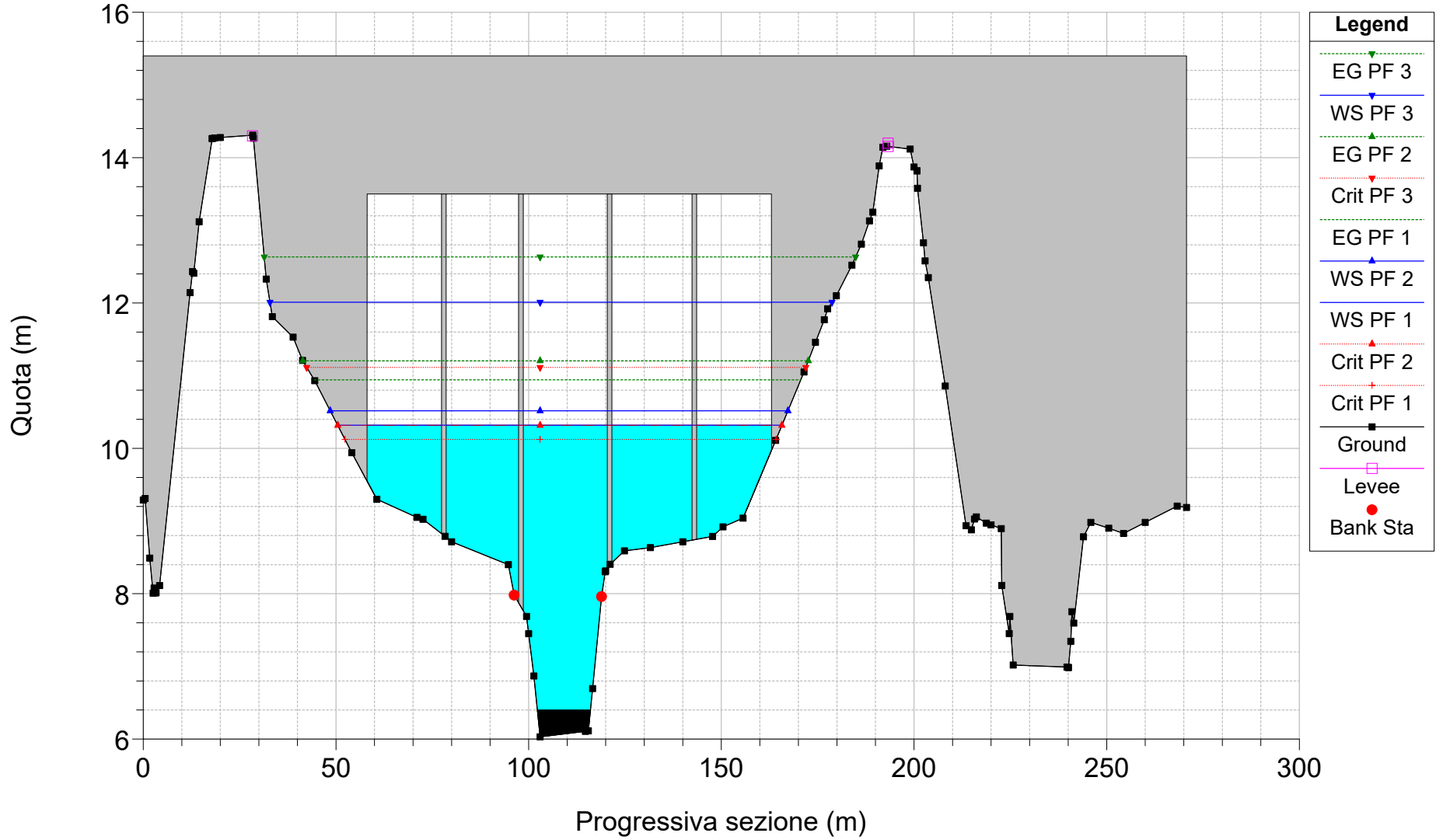
RS = 5 sez_rilev_06



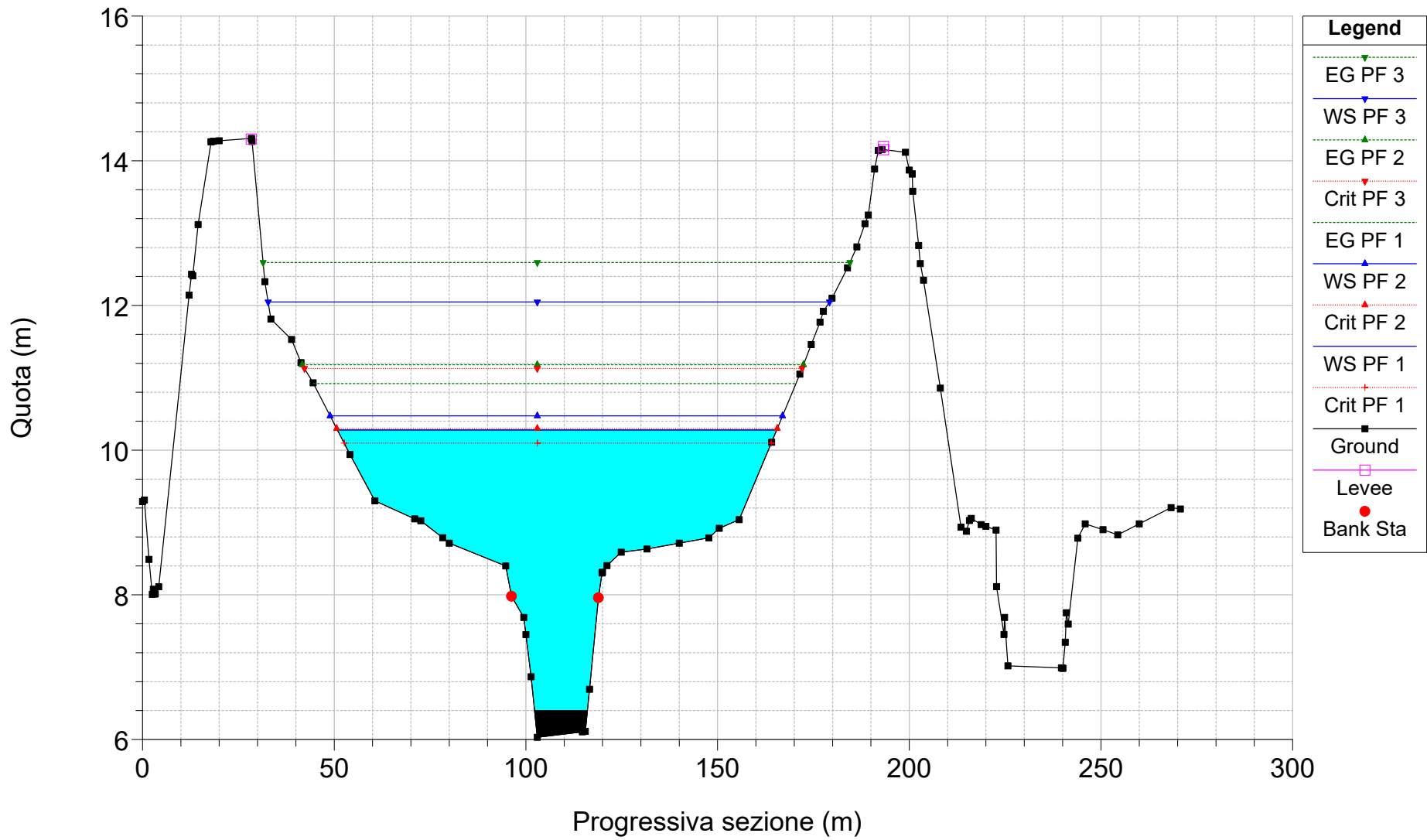
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR



Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR

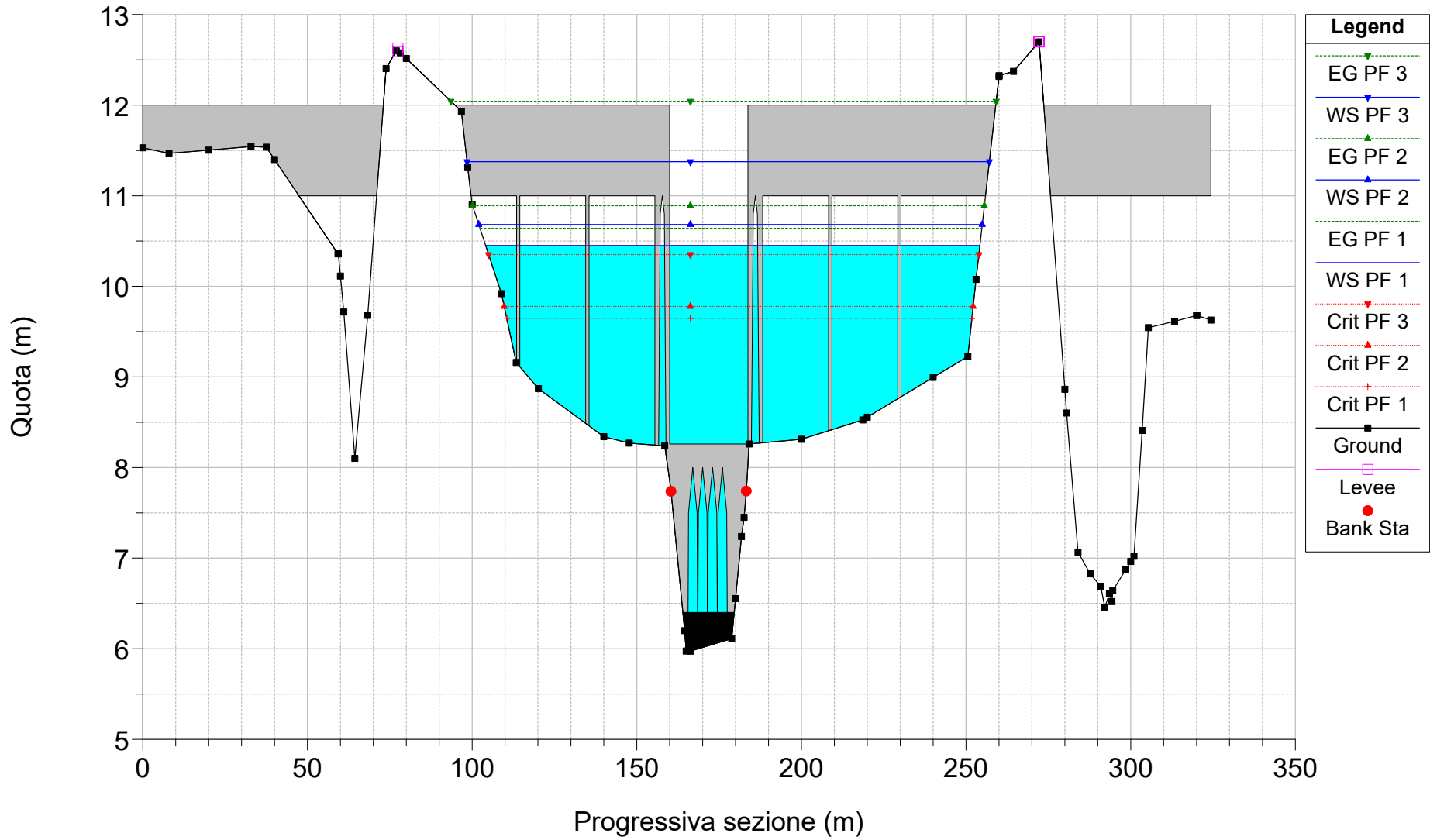


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.7

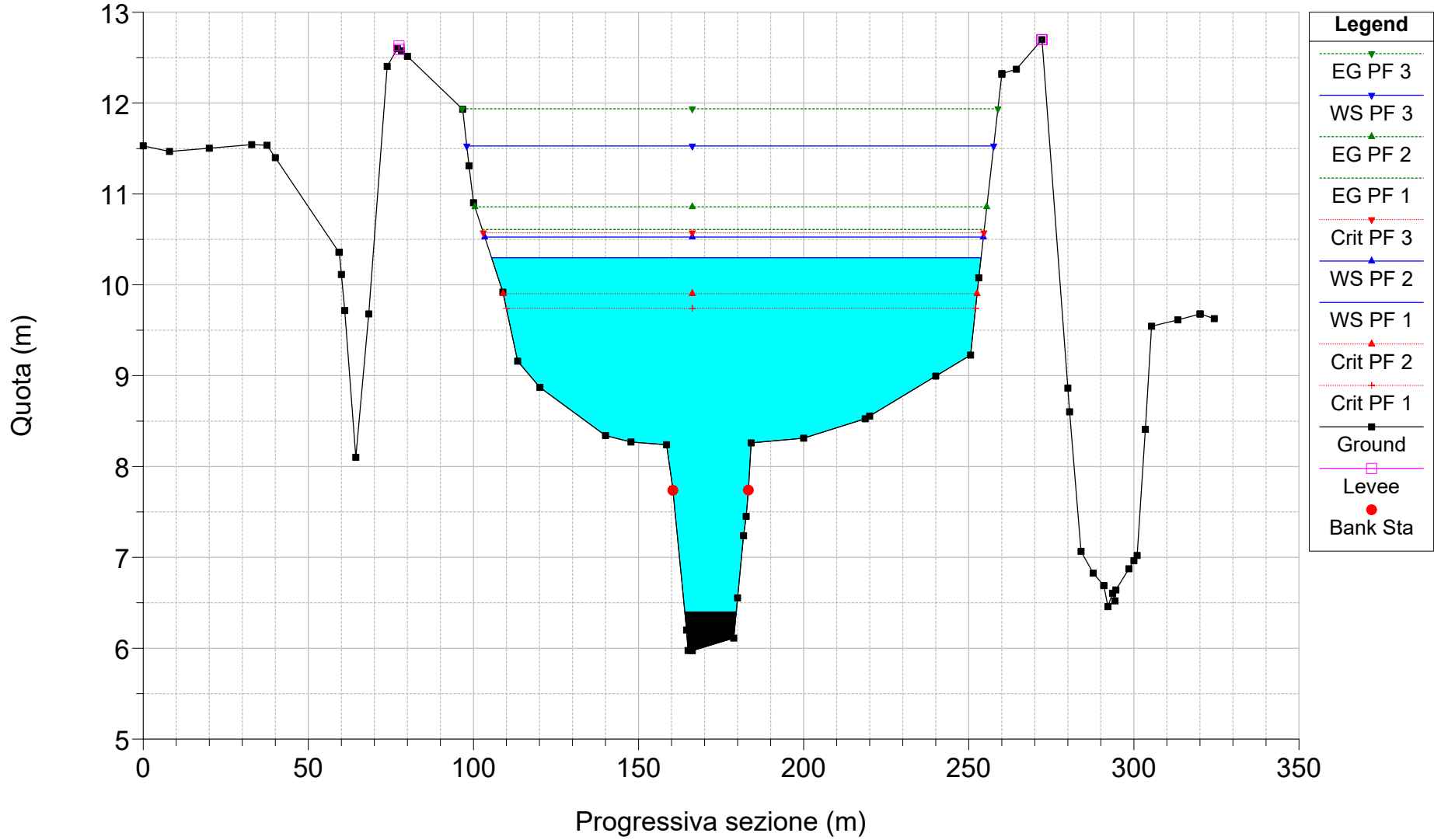


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4.55 BR

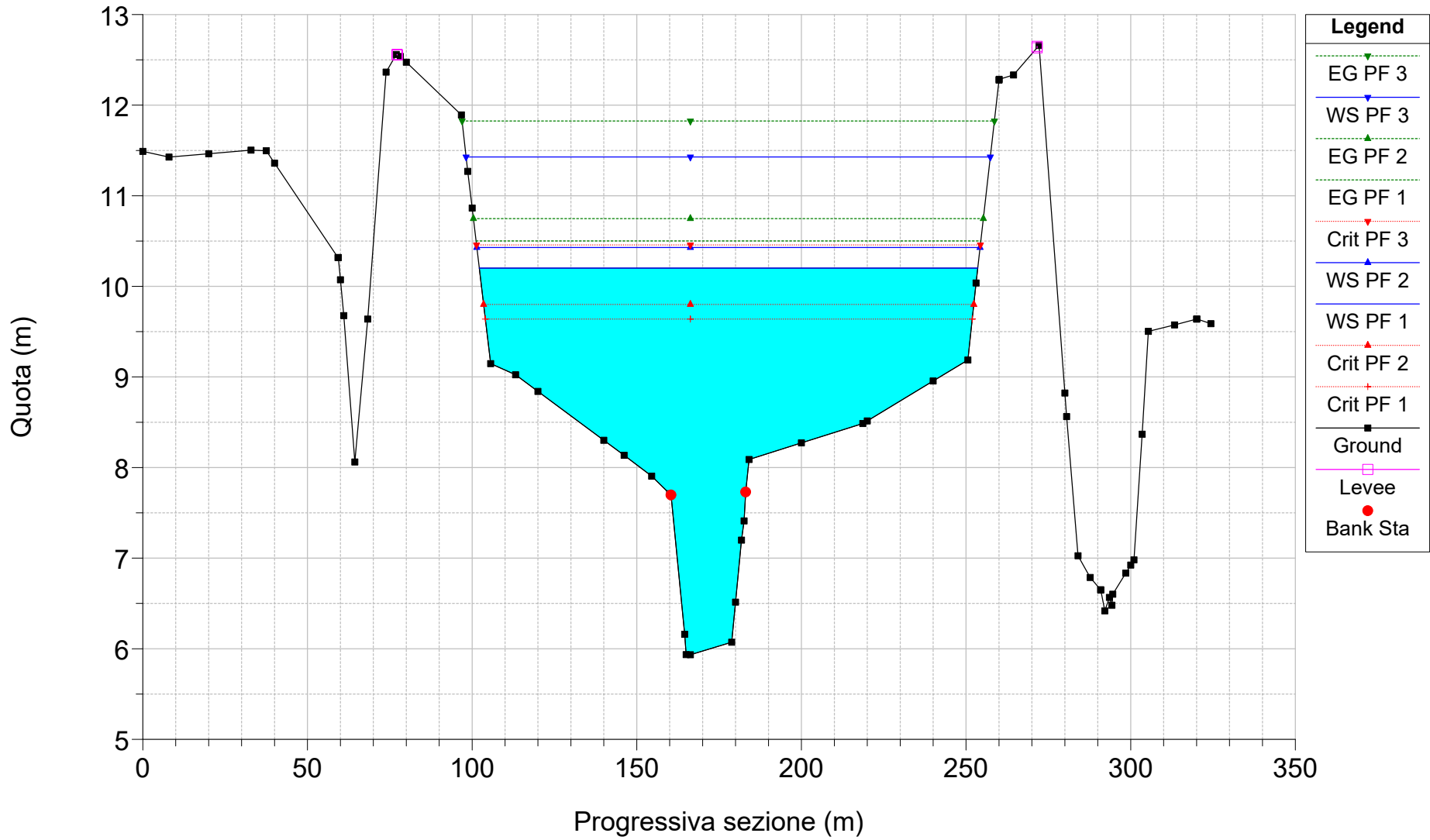


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.5



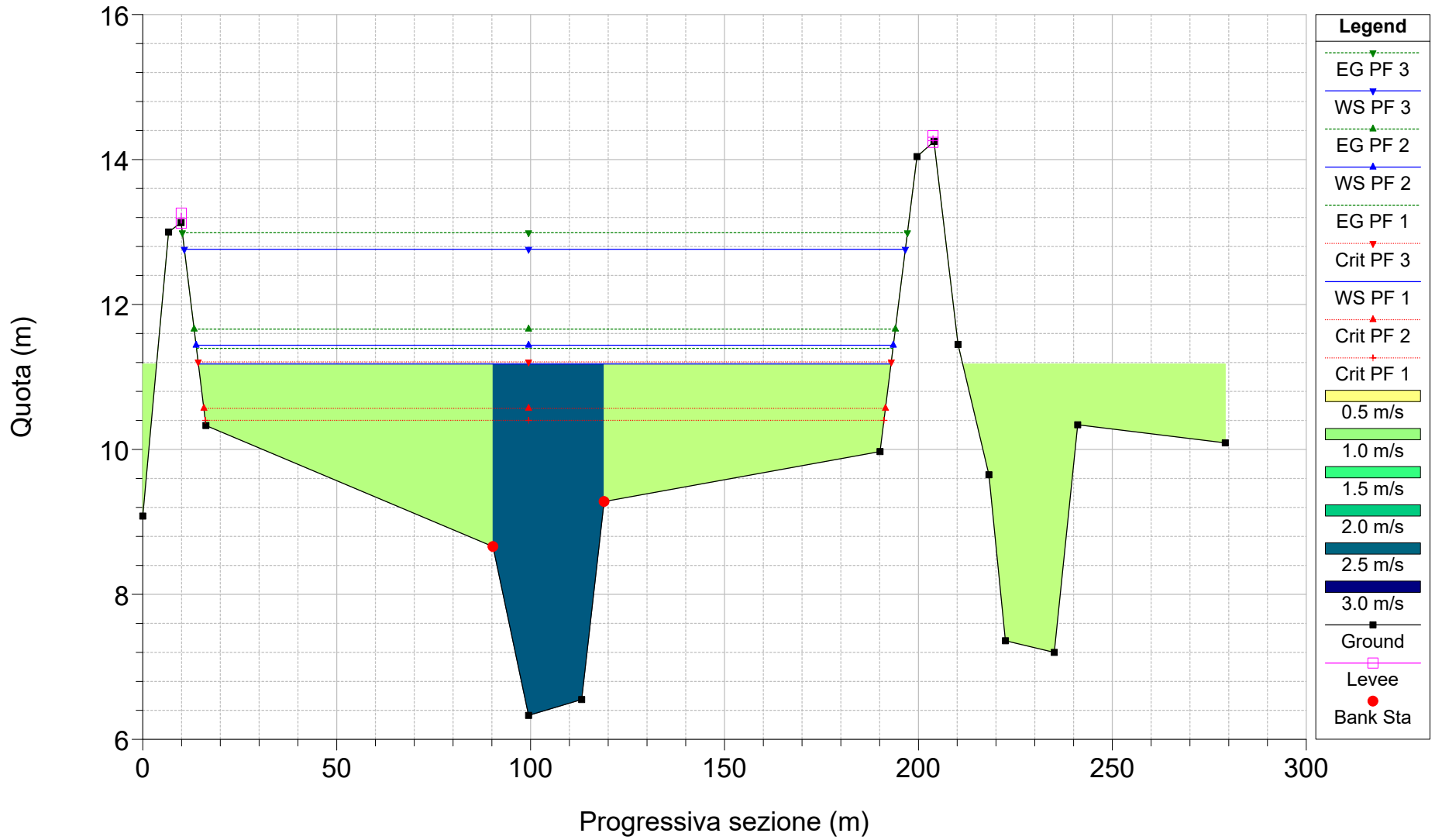
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4 sez_rilev_07

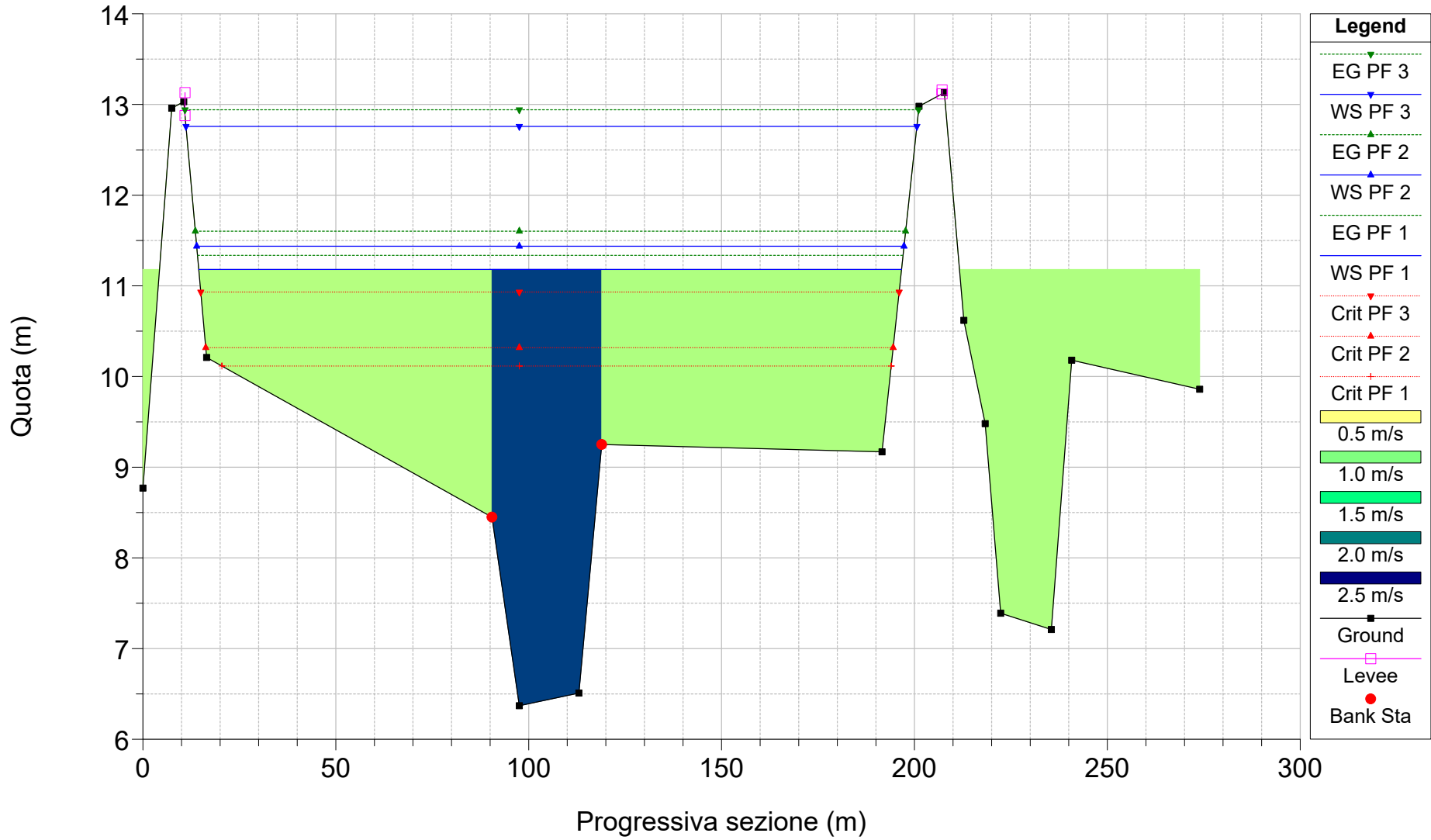


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

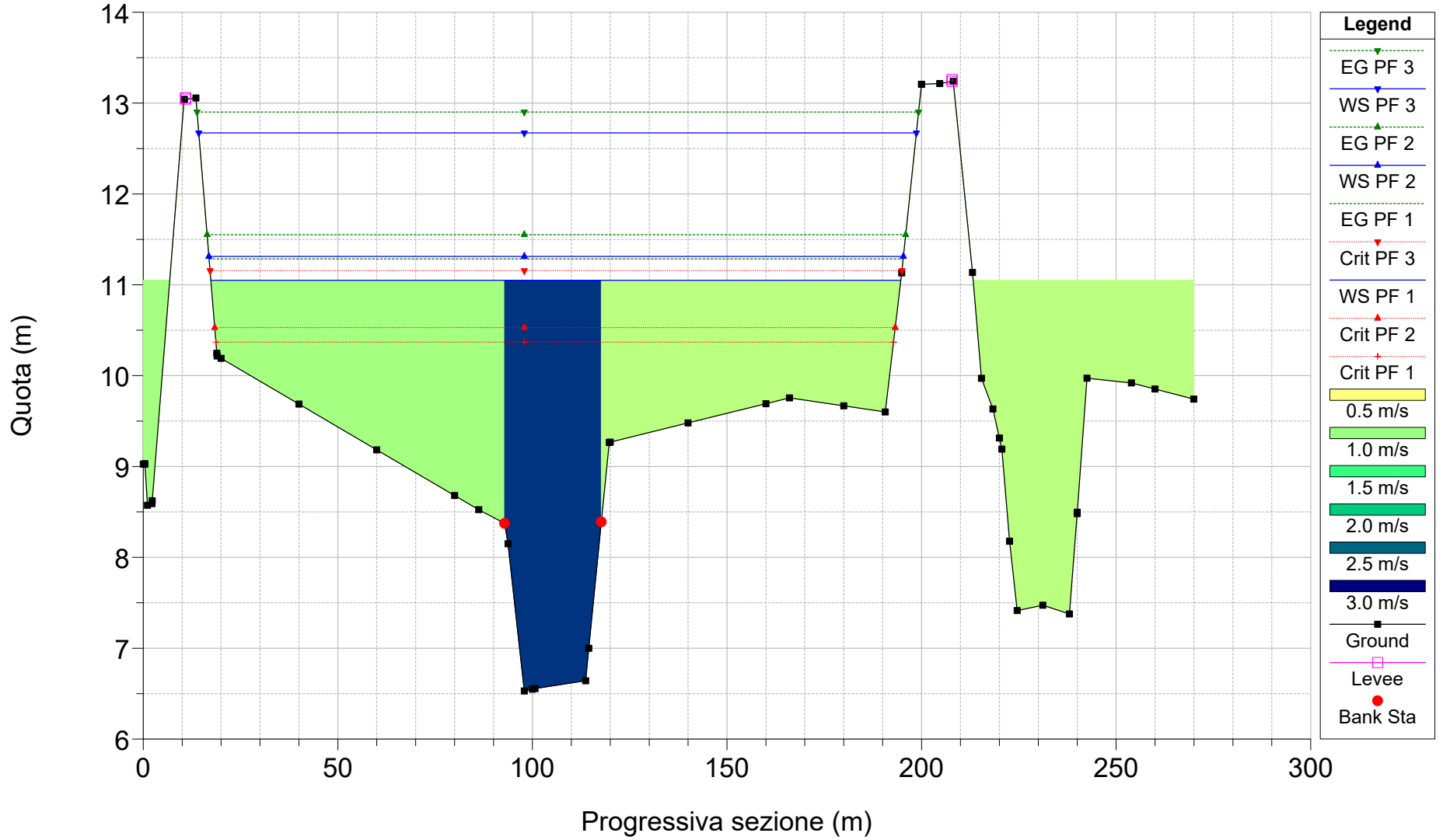
RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 9 sez_rilev_02

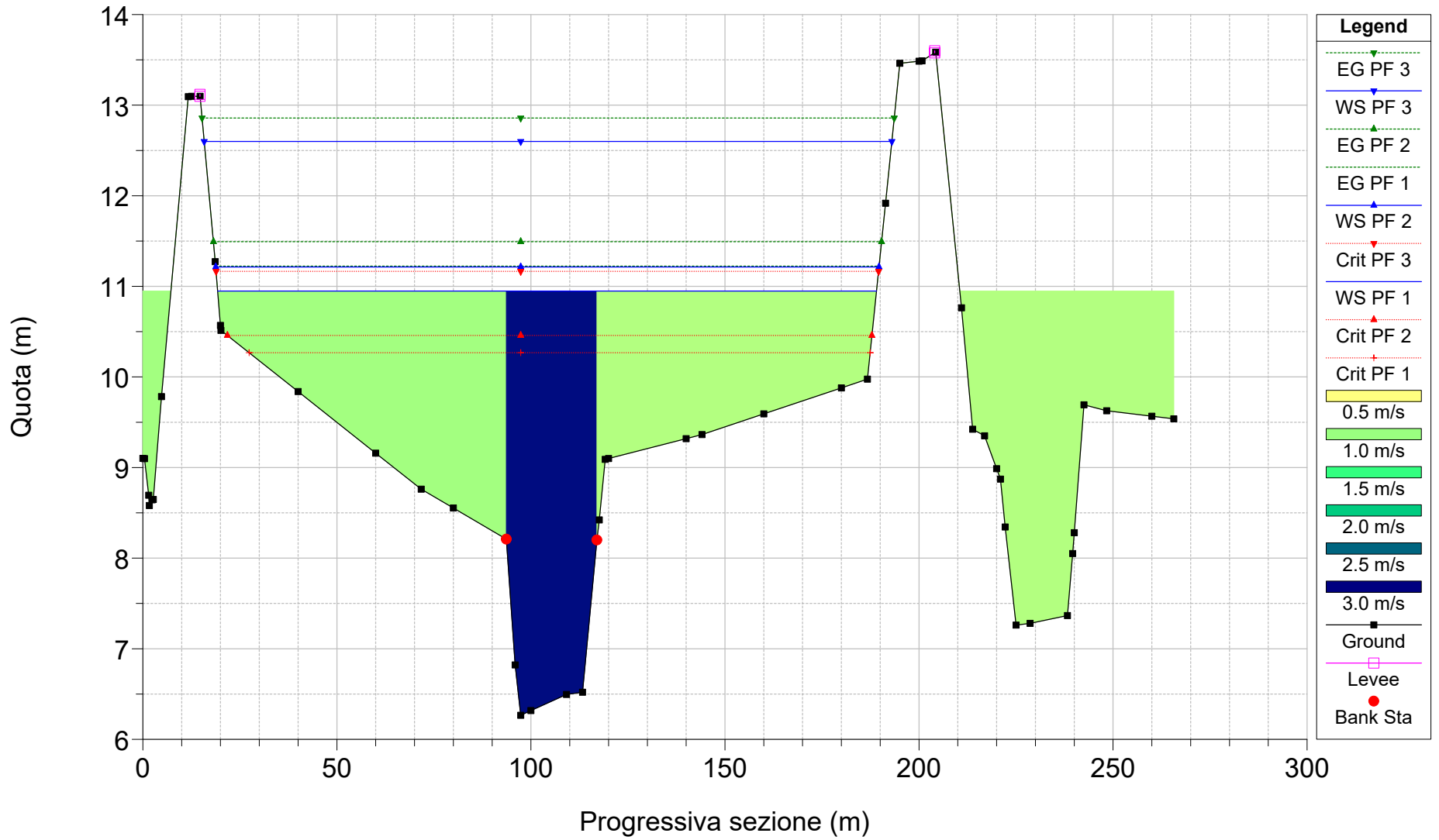


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
 RS = 8 sez_rilev_03



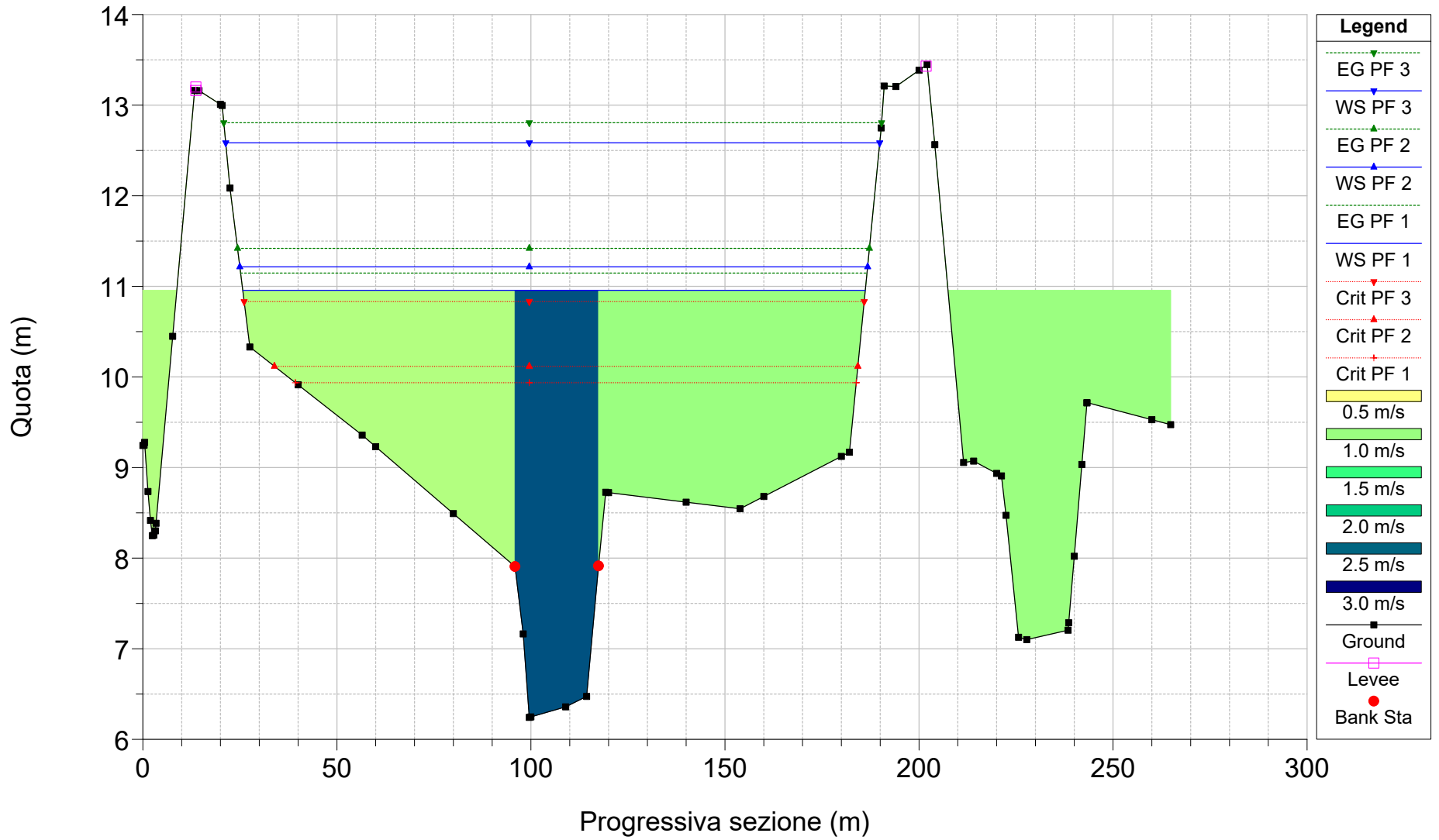
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 7 sez_rilev_04



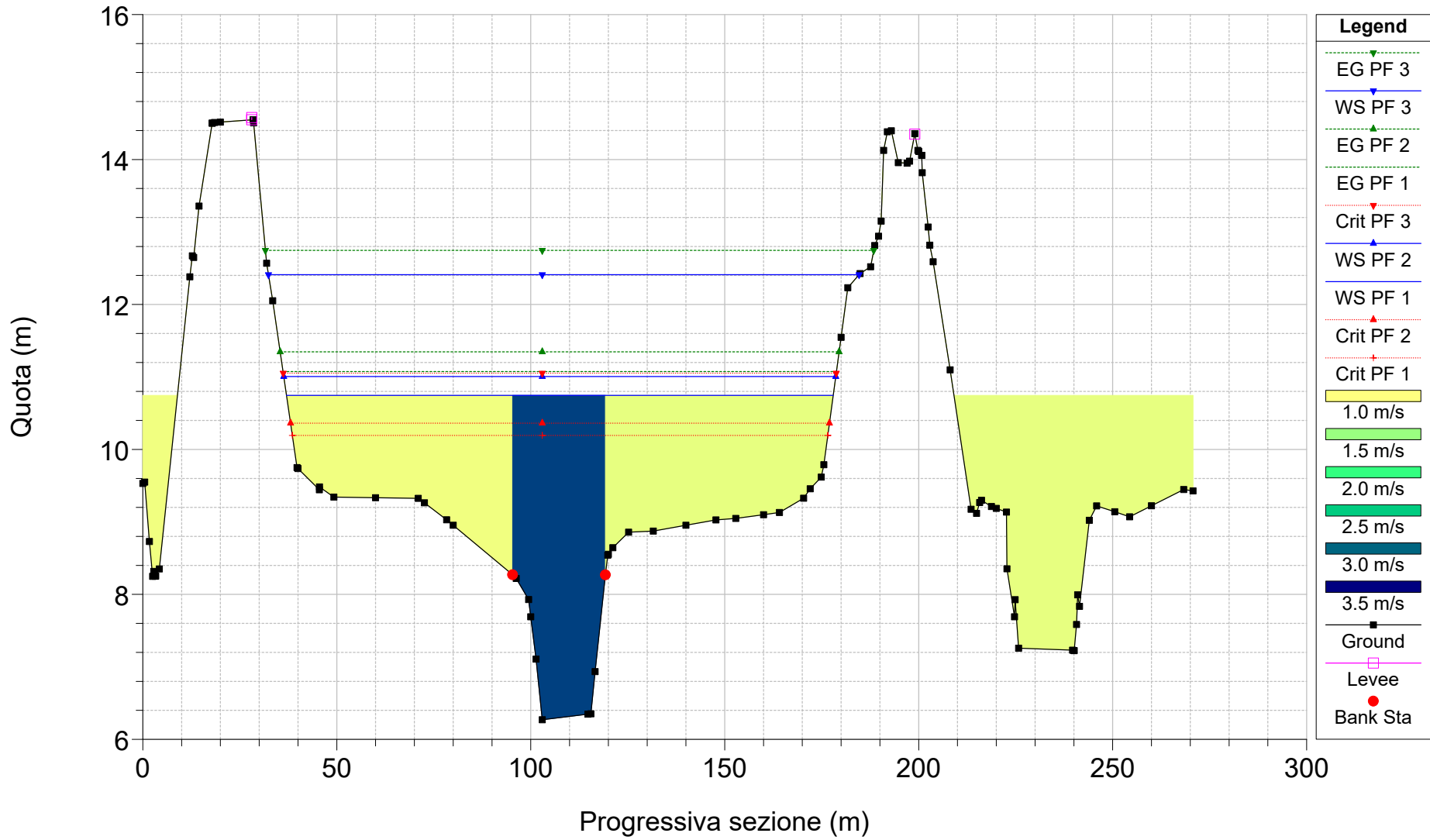
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

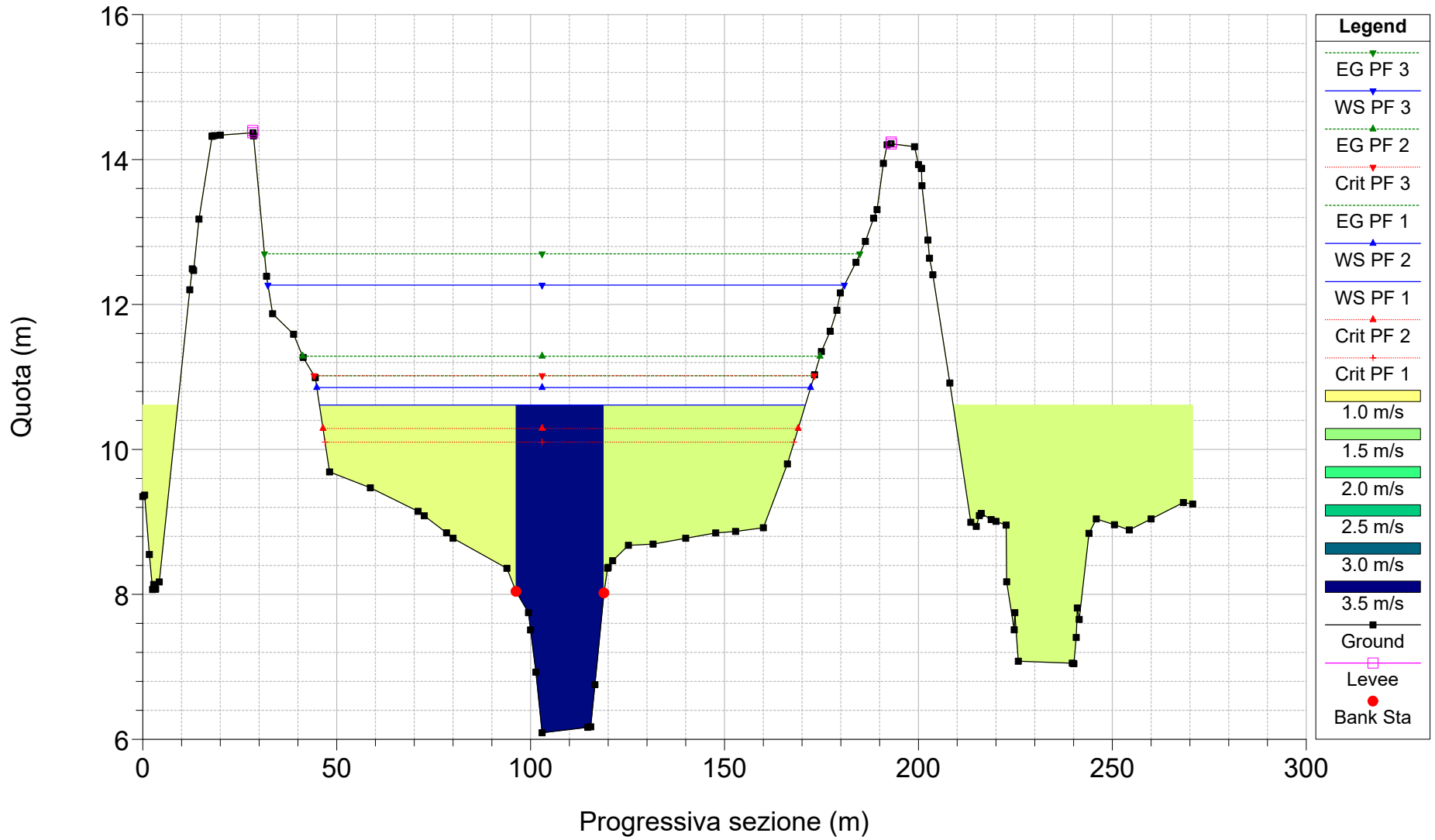
RS = 6 sez_rilev_05



Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

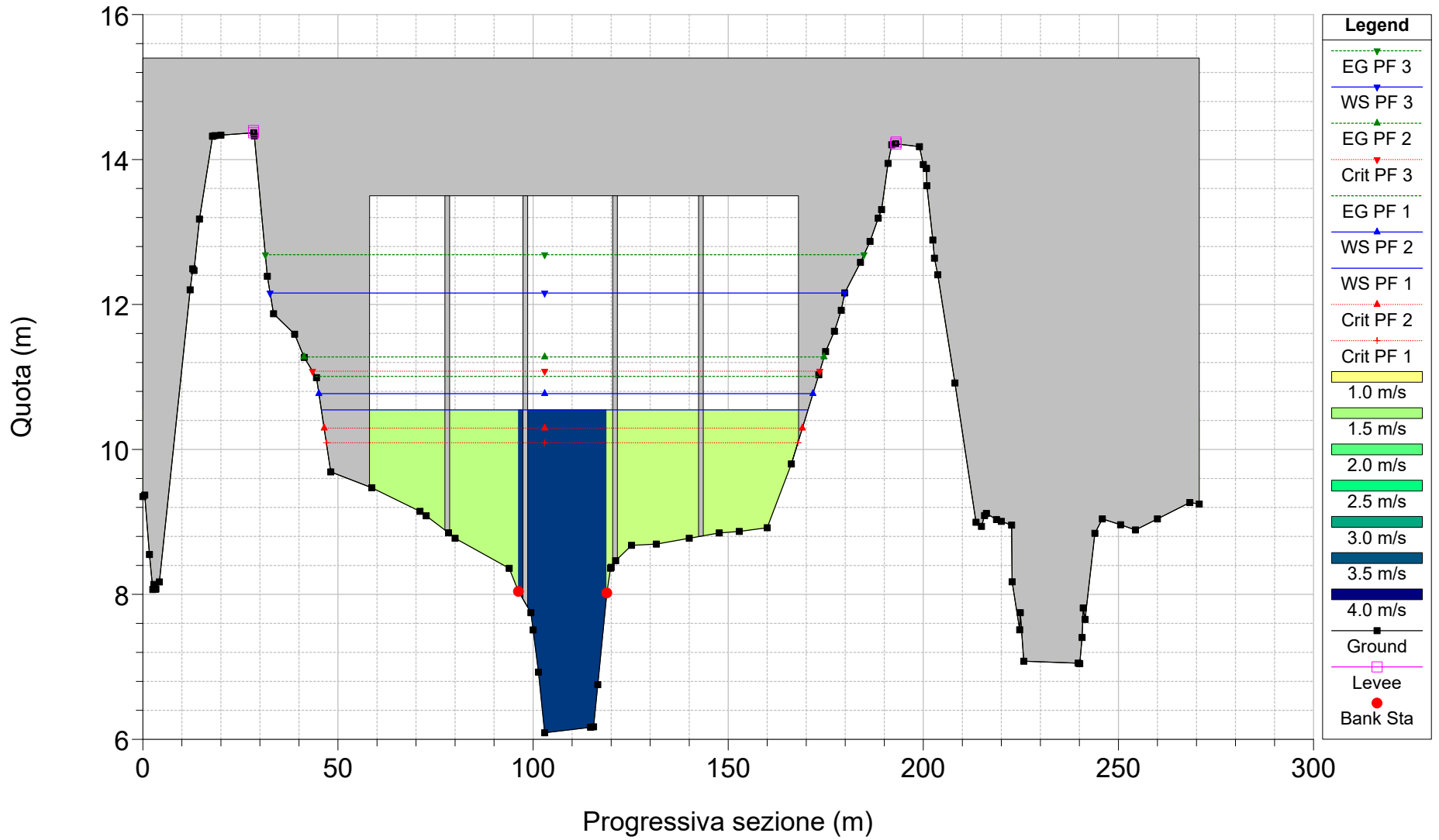
RS = 5 sez_rilev_06





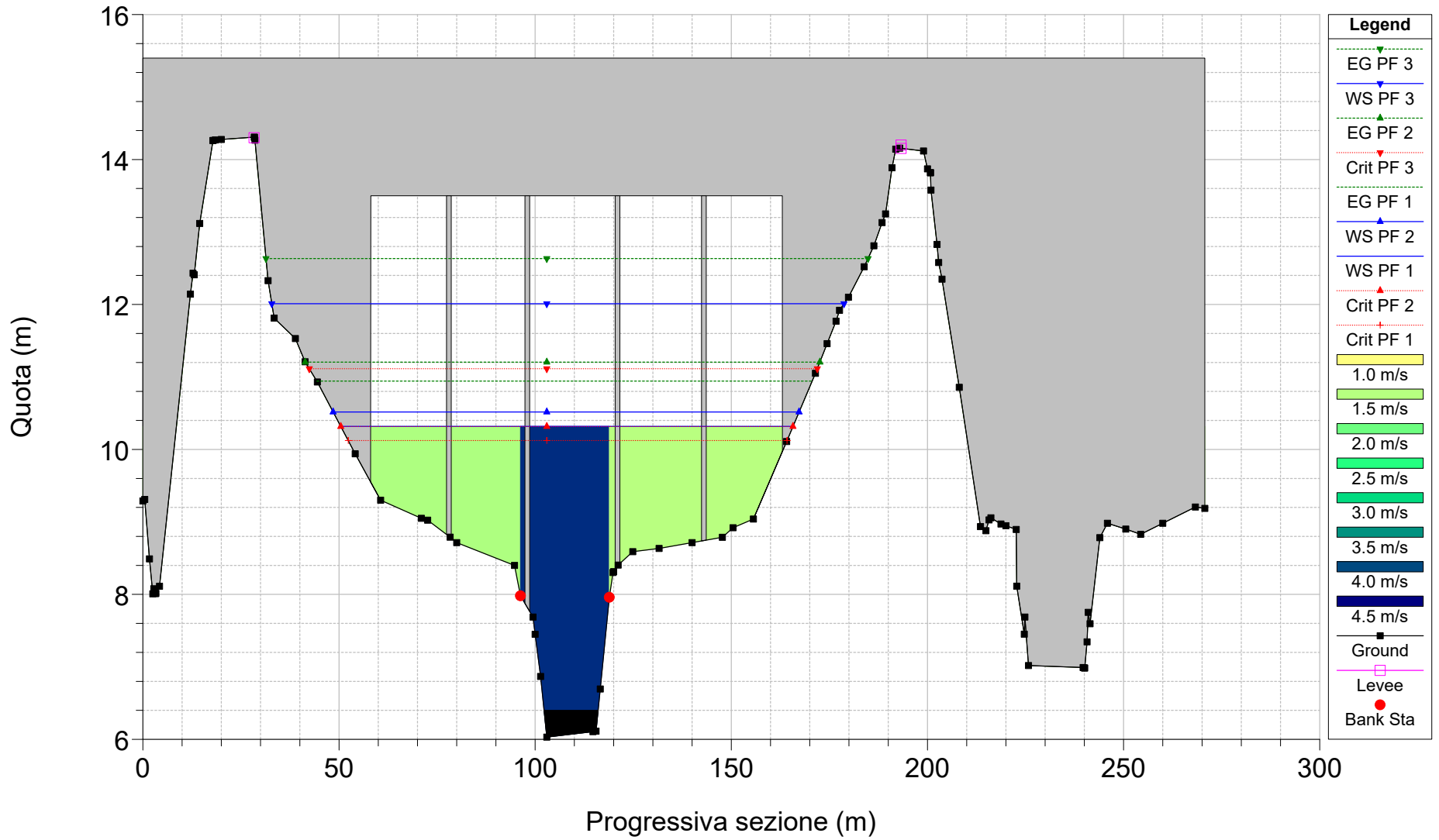
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4.75 BR

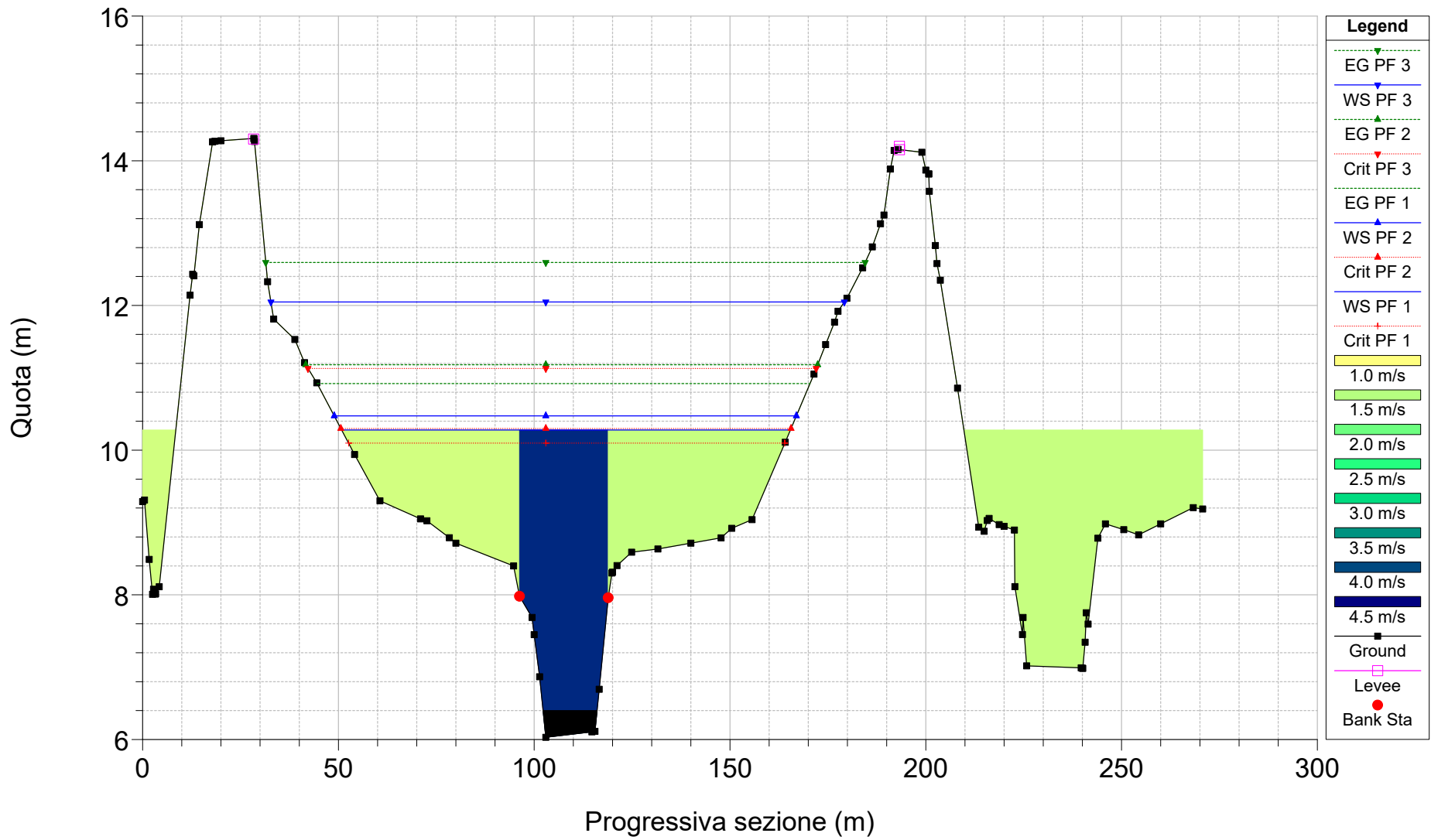


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4.75 BR

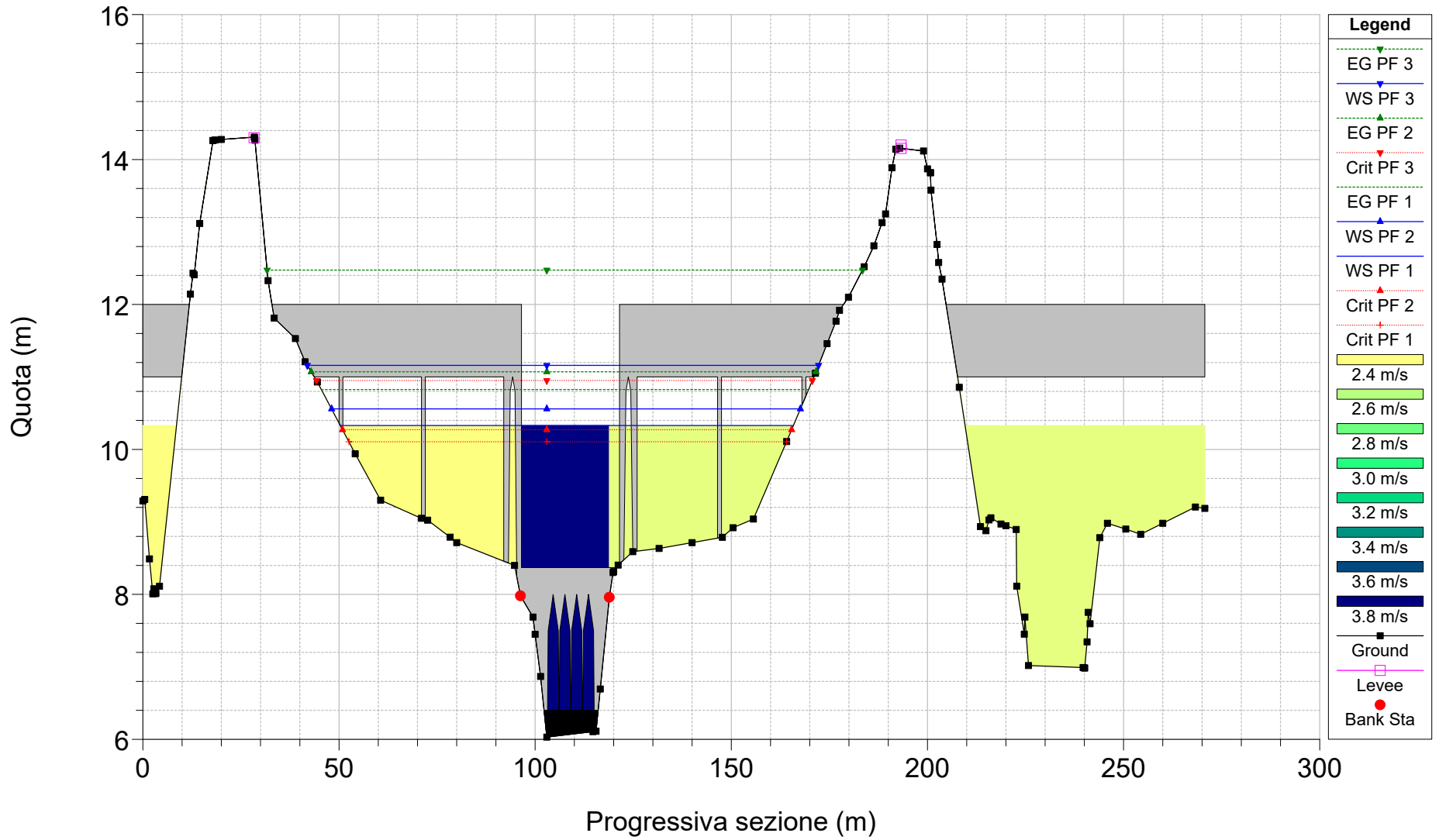


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.7



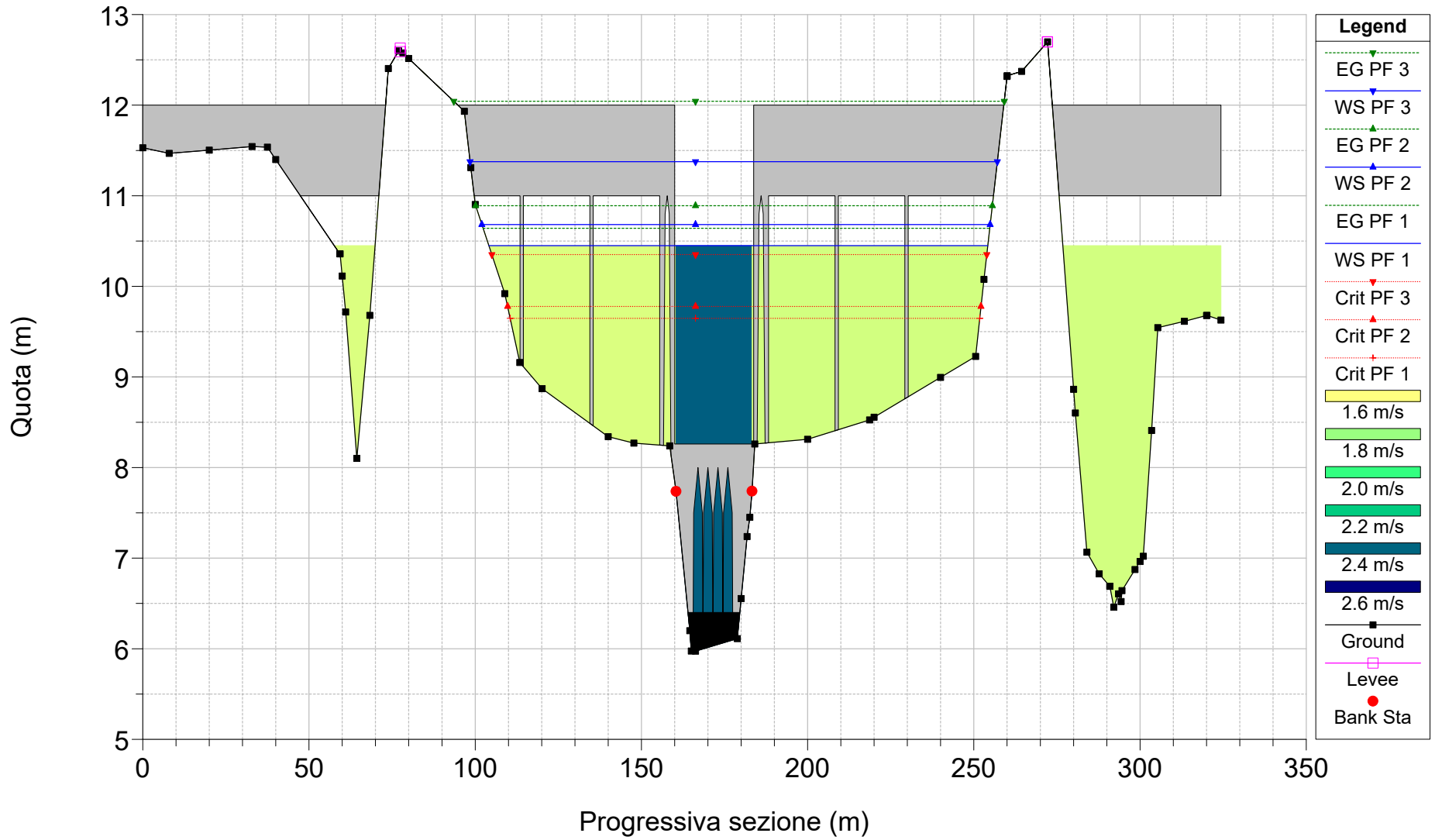
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4.55 BR

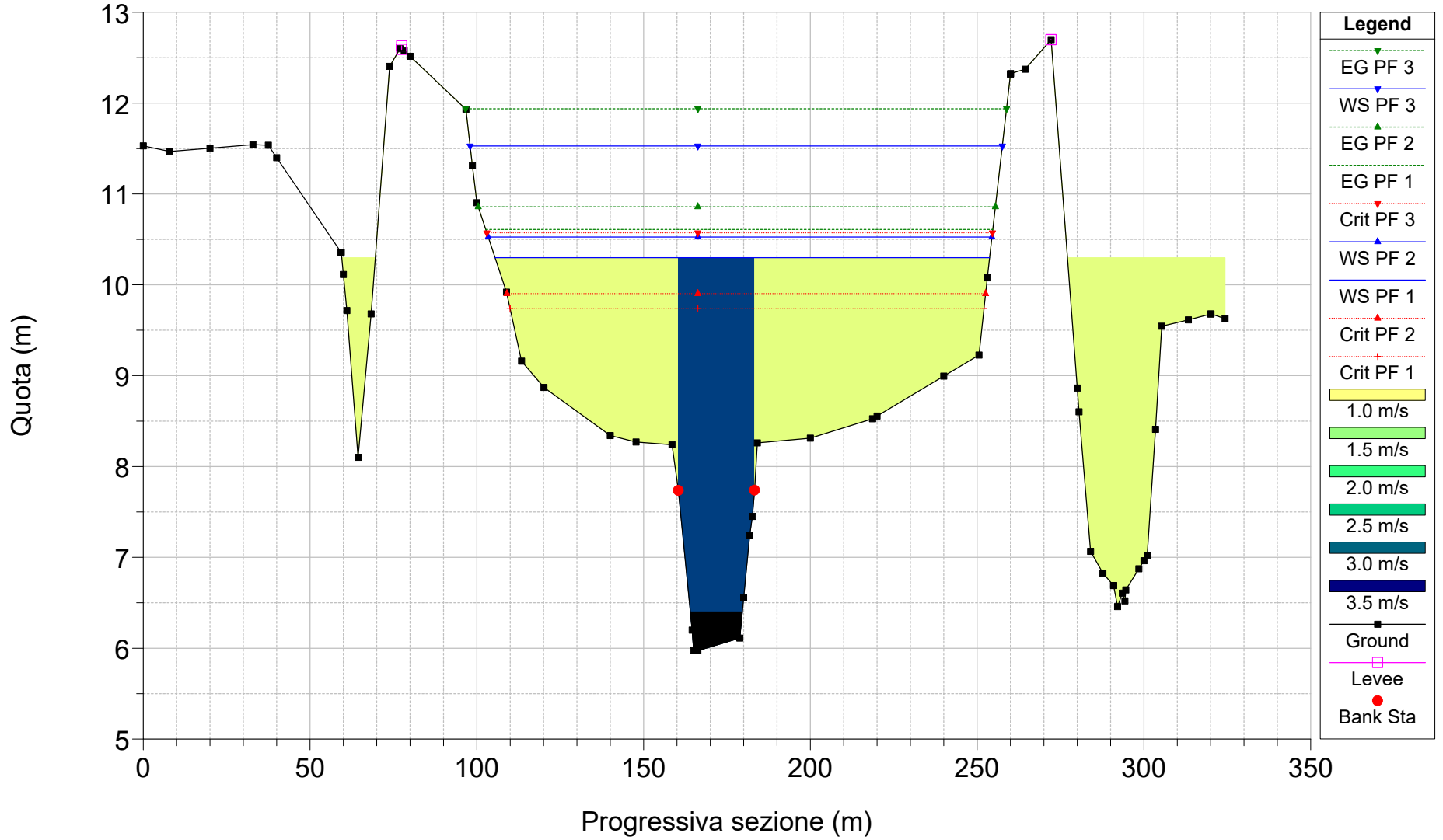


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4.55 BR

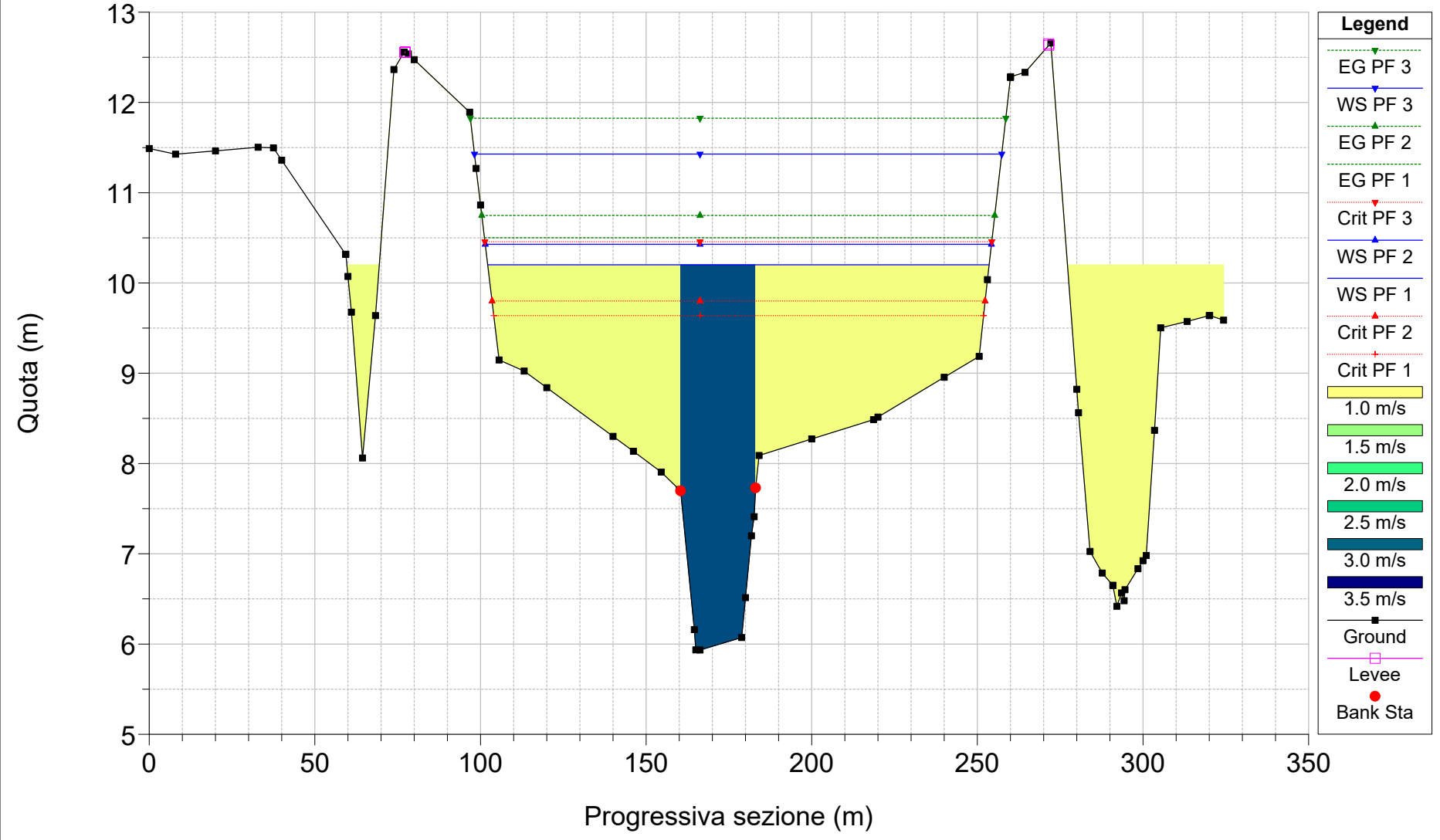


Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20
RS = 4.5



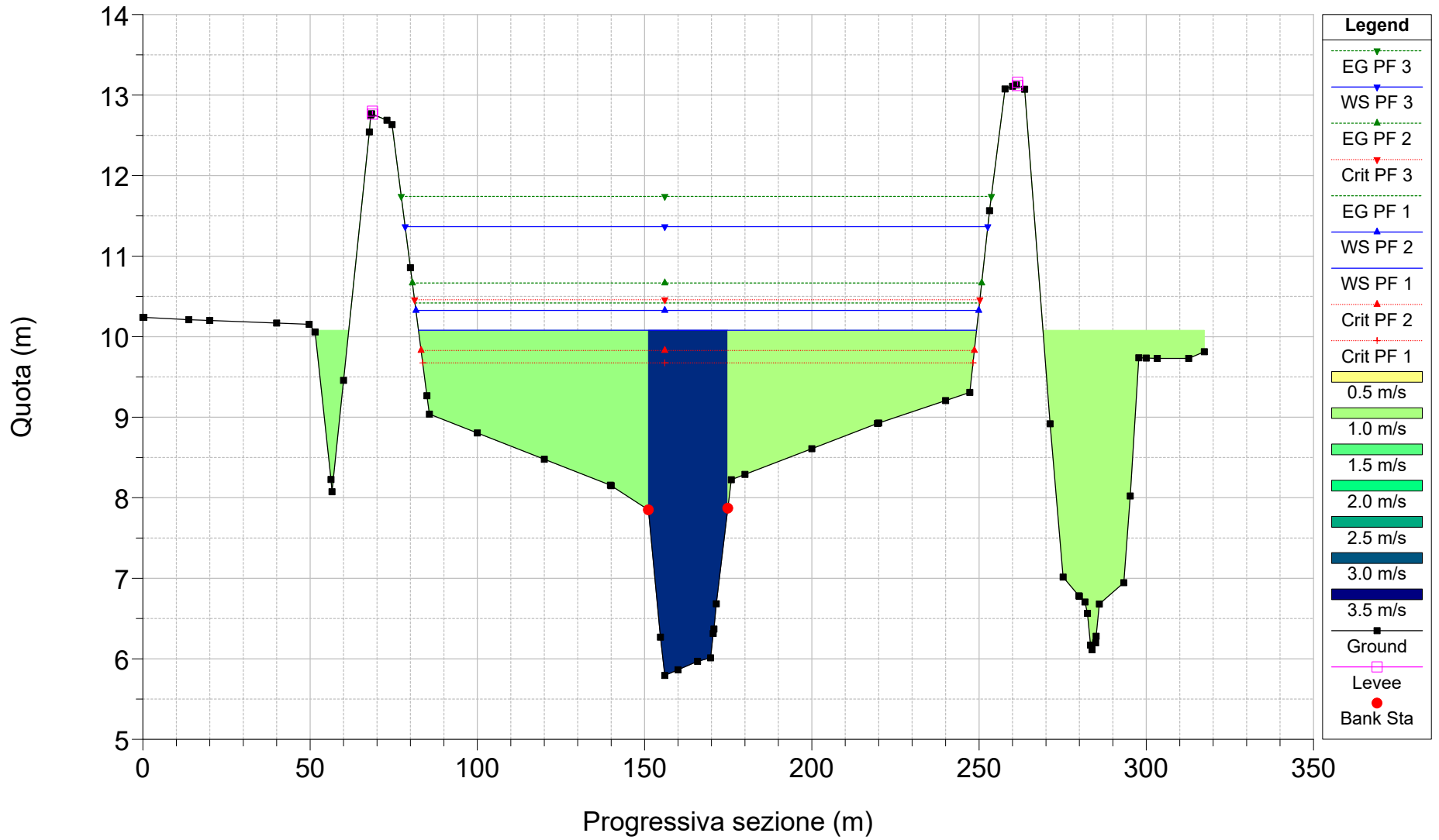
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 4 sez_rilev_07



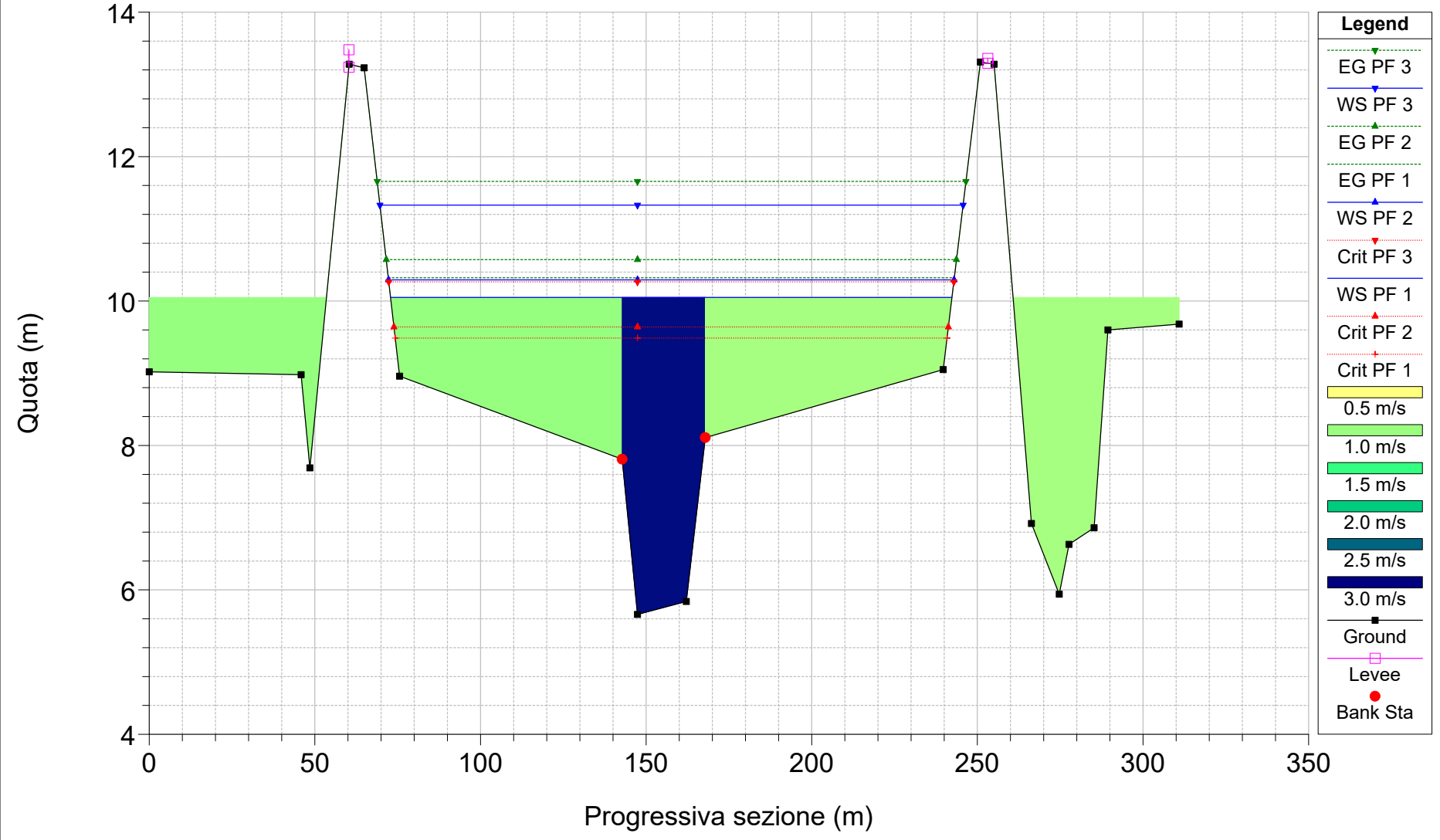
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 3 sez_rilev_08



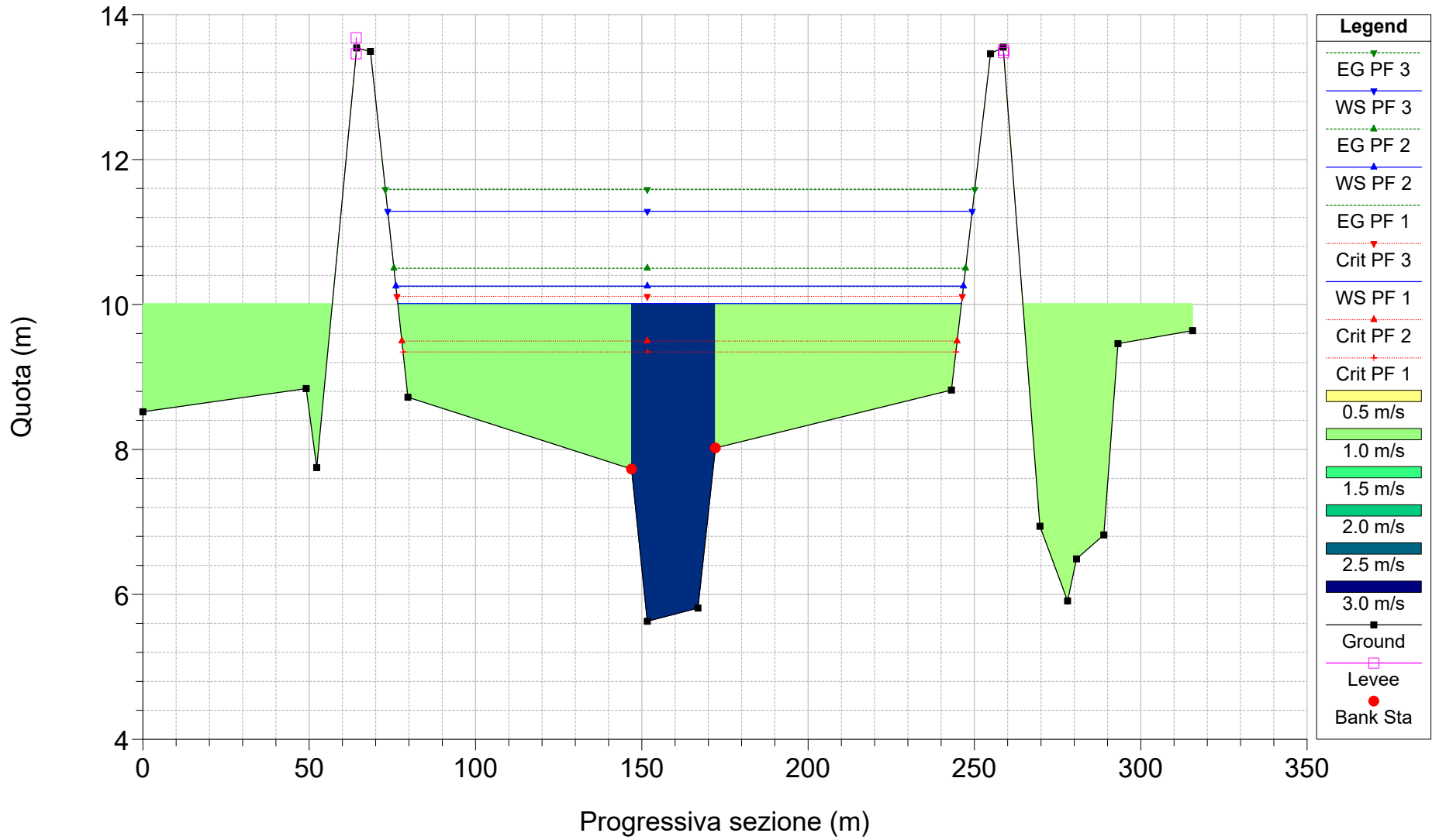
Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 2 sez_rilev_09



Candelaro_April2020 Plan: AnteOPERAM_APR20

RS = 1 sez_rilev_10_(valle)



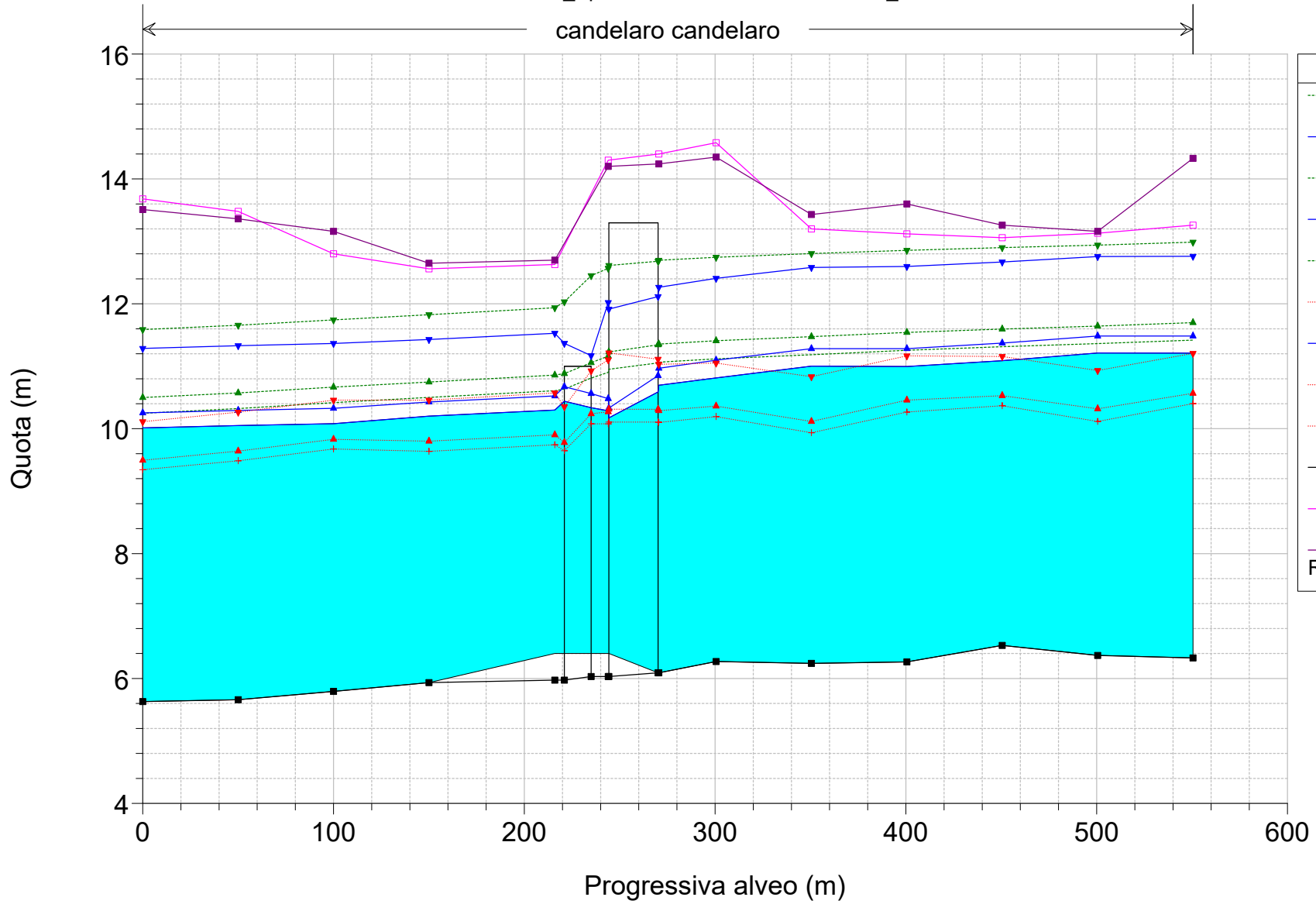
Torrente Candelaro

Attraversamento S.S. 89 "Garganica"

**Risultati delle simulazioni post operam
(nuovo viadotto a 3 luci)**

← candelaro candelaro →

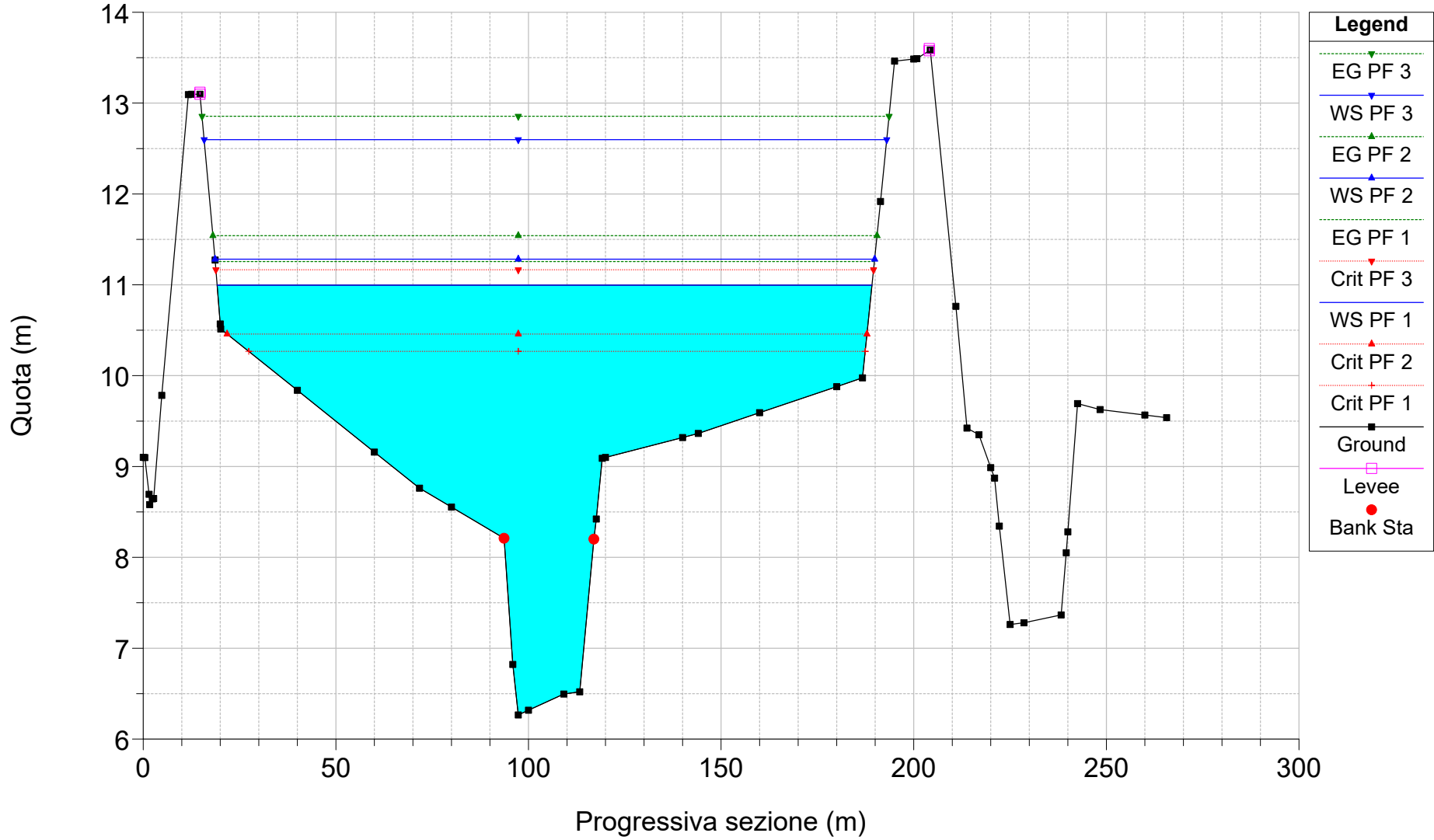
Legend	
EG PF 3	▲ (green dashed)
WS PF 3	▼ (blue solid)
EG PF 2	▲ (green dotted)
WS PF 2	▼ (blue solid)
EG PF 1	▲ (green dotted)
Crit PF 3	▼ (red dotted)
WS PF 1	▼ (blue solid)
Crit PF 2	▲ (red dotted)
Crit PF 1	▲ (red dotted)
Ground	■ (black solid)
Left Levee	□ (magenta solid)
Right Levee	■ (magenta solid)



Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
candelaro	10	PF 1	499	6.33	11.21	10.4	11.42	0.000901	2.52	360.85	178.73	0.4
candelaro	10	PF 2	585	6.33	11.49	10.57	11.7	0.000881	2.61	410.18	180	0.4
candelaro	10	PF 3	1020	6.33	12.76	11.21	12.99	0.000756	2.86	643.49	185.9	0.38
candelaro	9	PF 1	499	6.37	11.21	10.12	11.36	0.000679	2.22	411.33	182.32	0.35
candelaro	9	PF 2	585	6.37	11.49	10.32	11.64	0.000678	2.32	461.33	183.58	0.35
candelaro	9	PF 3	1020	6.37	12.76	10.93	12.94	0.000622	2.62	698.49	189.45	0.35
candelaro	8	PF 1	499	6.53	11.09	10.37	11.31	0.001012	2.69	352.84	177.5	0.42
candelaro	8	PF 2	585	6.53	11.37	10.53	11.6	0.000974	2.76	402.99	178.74	0.42
candelaro	8	PF 3	1020	6.53	12.67	11.16	12.9	0.000802	2.97	638.9	184.39	0.4
candelaro	7	PF 1	499	6.27	11	10.27	11.26	0.001106	2.87	333.14	169.98	0.44
candelaro	7	PF 2	585	6.27	11.28	10.46	11.54	0.001062	2.93	381.93	171.22	0.44
candelaro	7	PF 3	1020	6.27	12.6	11.17	12.86	0.000869	3.14	611.06	177.18	0.41
candelaro	6	PF 1	499	6.24	11	9.94	11.19	0.000846	2.55	373.38	160.67	0.39
candelaro	6	PF 2	585	6.24	11.28	10.12	11.47	0.000844	2.65	418.53	162.13	0.39
candelaro	6	PF 3	1020	6.24	12.58	10.83	12.8	0.000772	2.99	633.58	168.53	0.39
candelaro	5	PF 1	499	6.27	10.81	10.19	11.12	0.001453	3.08	290.03	141.3	0.5
candelaro	5	PF 2	585	6.27	11.1	10.36	11.41	0.001402	3.17	330.41	142.8	0.49
candelaro	5	PF 3	1020	6.27	12.41	11.05	12.75	0.001181	3.49	522.2	152.18	0.47
candelaro	4.8	PF 1	499	6.09	10.7	10.1	11.07	0.001623	3.33	263.73	126.1	0.53
candelaro	4.8	PF 2	585	6.09	10.97	10.29	11.36	0.001616	3.46	298.41	128.64	0.53
candelaro	4.8	PF 3	1020	6.09	12.27	11.03	12.7	0.00143	3.88	478.93	148.59	0.52
candelaro	4.75		Bridge									
candelaro	4.7	PF 1	499	6.4	10.29	10.08	10.9	0.00305	4.16	204.19	114.74	0.71

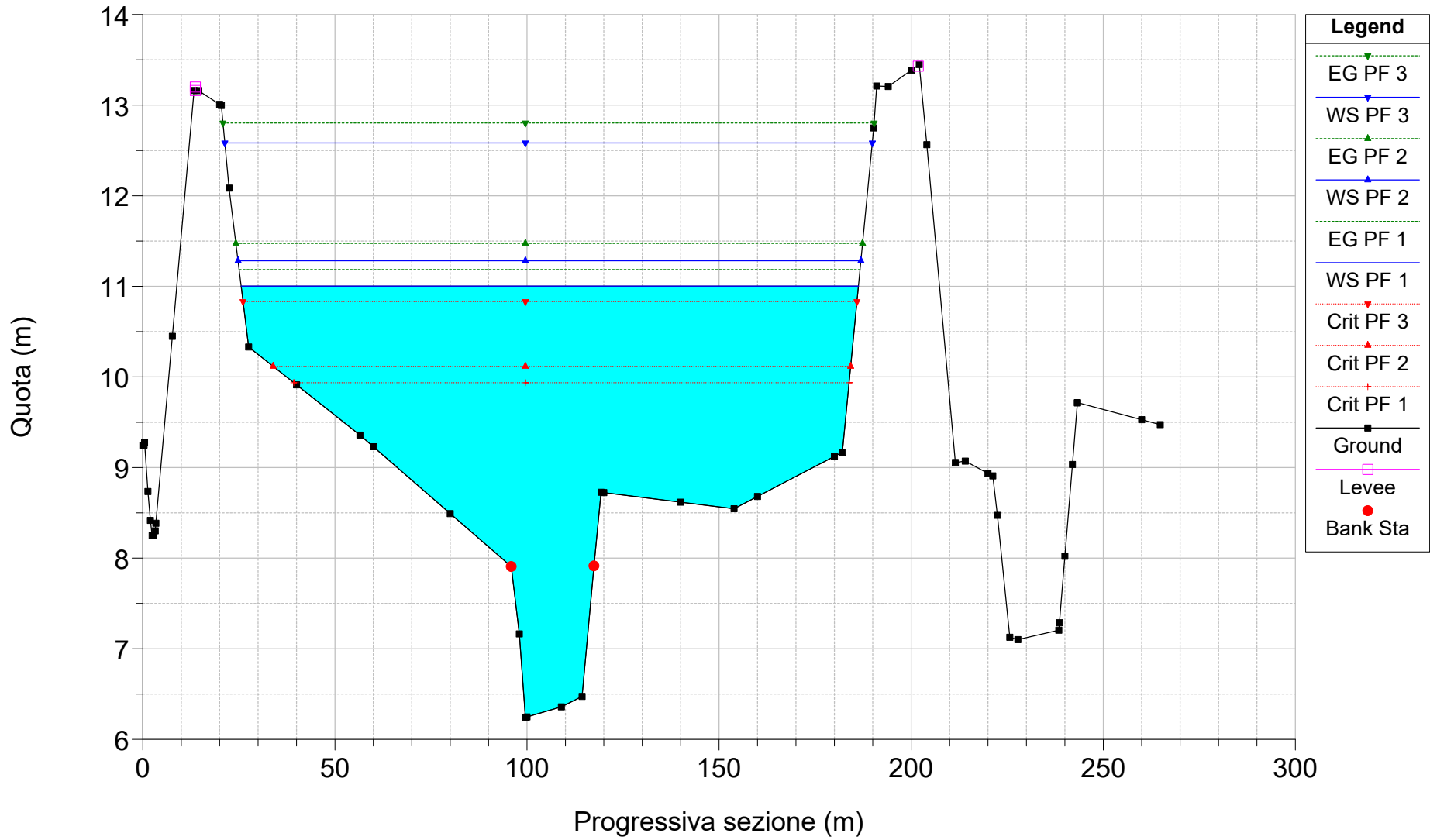
candelaro	4.7	PF 2	585	6.4	10.48	10.27	11.16	0.00323	4.44	226.96	118.17	0.74
candelaro	4.7	PF 3	1020	6.4	12.02	11.1	12.57	0.001932	4.33	429.92	146	0.6
candelaro	4.55		Bridge									
candelaro	4.5	PF 1	499	6.4	10.3	9.74	10.61	0.001661	3.2	288.37	148.24	0.53
candelaro	4.5	PF 2	585	6.4	10.53	9.9	10.86	0.001691	3.36	322.43	151.01	0.54
candelaro	4.5	PF 3	1020	6.4	11.53	10.57	11.94	0.001696	3.91	478.69	159.55	0.56
candelaro	4	PF 1	499	5.93	10.2	9.64	10.5	0.001504	3.13	297.39	151.38	0.51
candelaro	4	PF 2	585	5.93	10.43	9.8	10.75	0.001535	3.28	331.91	152.82	0.52
candelaro	4	PF 3	1020	5.93	11.43	10.46	11.83	0.001579	3.85	487.85	159.18	0.54
candelaro	3	PF 1	499	5.79	10.08	9.67	10.42	0.0017	3.25	290.27	166.86	0.54
candelaro	3	PF 2	585	5.79	10.33	9.83	10.67	0.001652	3.35	331.35	168.26	0.53
candelaro	3	PF 3	1020	5.79	11.37	10.46	11.74	0.00152	3.74	509.44	174.19	0.53
candelaro	2	PF 1	499	5.66	10.05	9.49	10.32	0.001359	2.94	316.72	169.48	0.48
candelaro	2	PF 2	585	5.66	10.29	9.64	10.57	0.001345	3.05	358.03	170.72	0.48
candelaro	2	PF 3	1020	5.66	11.33	10.27	11.66	0.001301	3.49	537.57	176.04	0.49
candelaro	1	PF 1	499	5.63	10.01	9.34	10.25	0.0012	2.78	334.38	169.46	0.45
candelaro	1	PF 2	585	5.63	10.25	9.5	10.5	0.001202	2.89	375.34	170.64	0.46
candelaro	1	PF 3	1020	5.63	11.29	10.11	11.59	0.001201	3.36	554.05	175.7	0.47

Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 7 sez_rilev_04



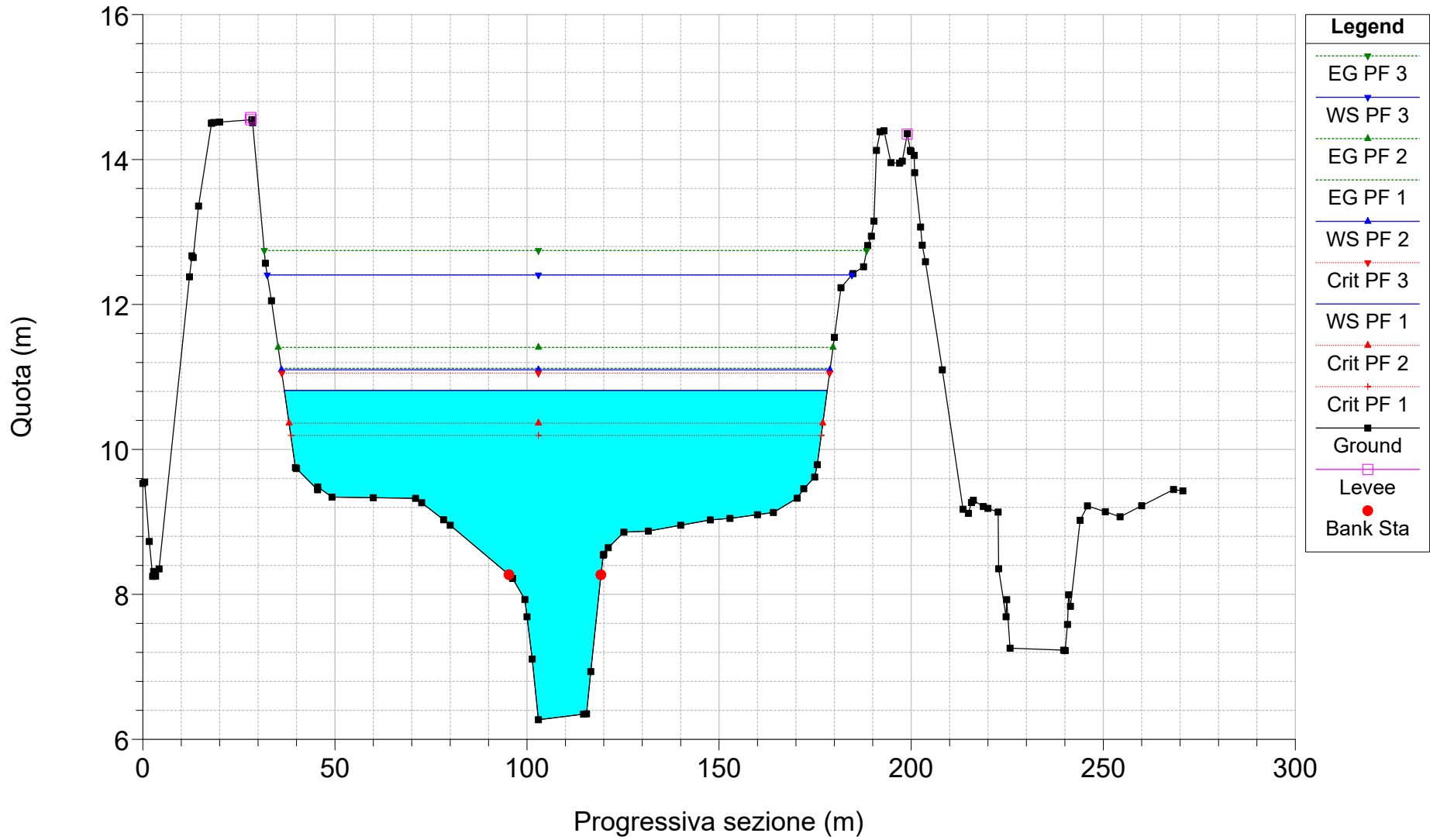
Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 6 sez_rilev_05

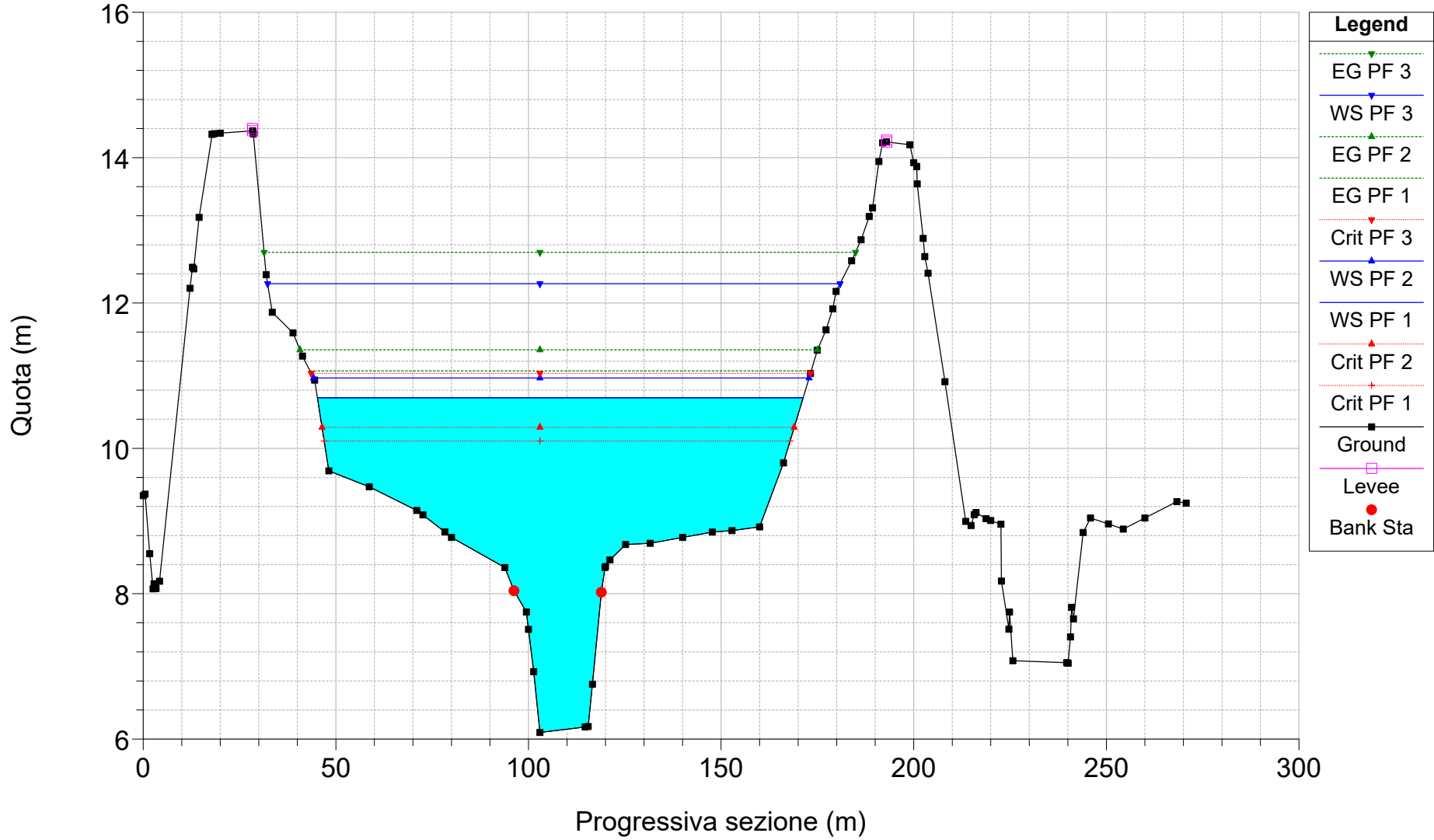


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

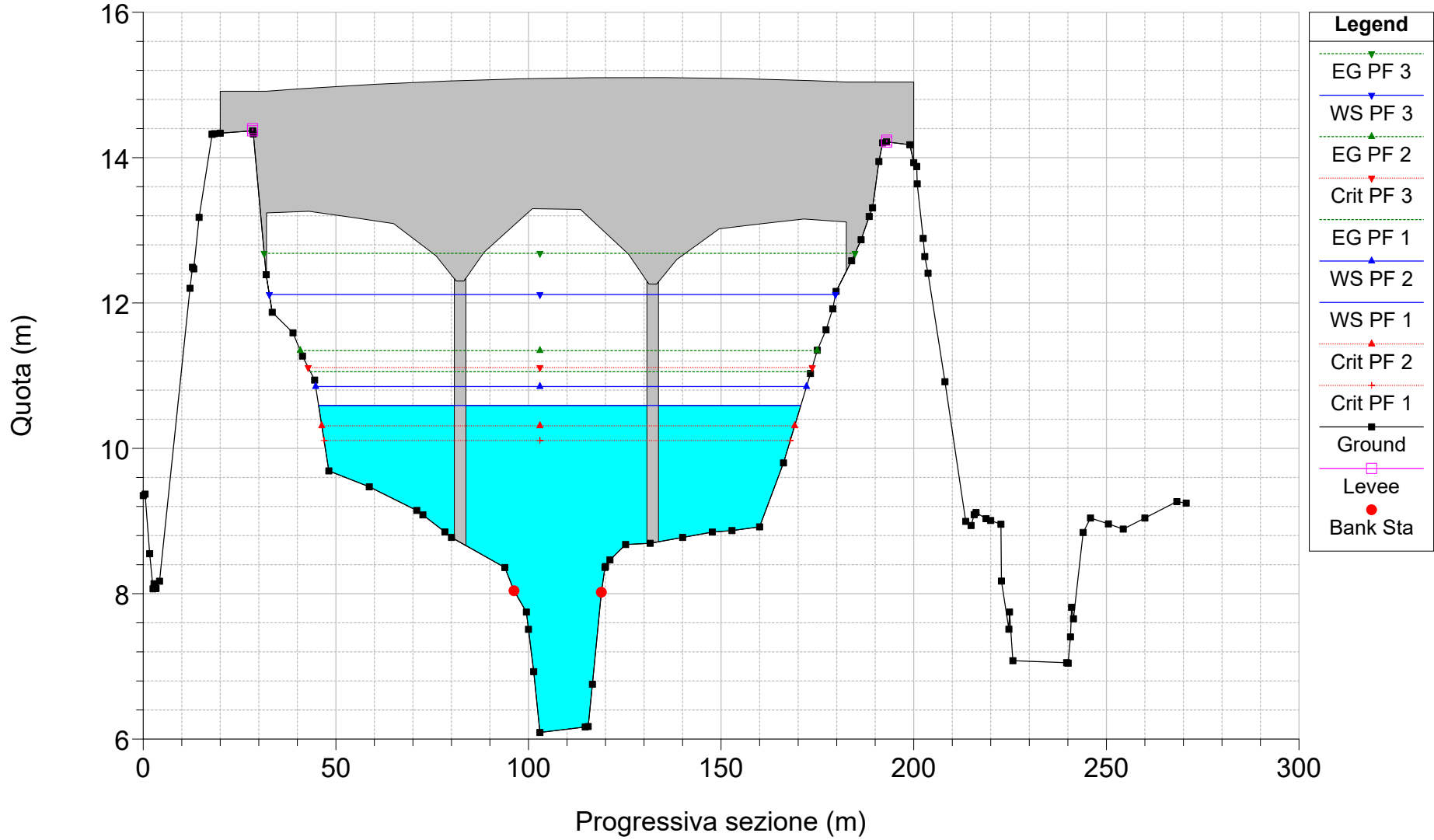
RS = 5 sez_rilev_06



Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.8

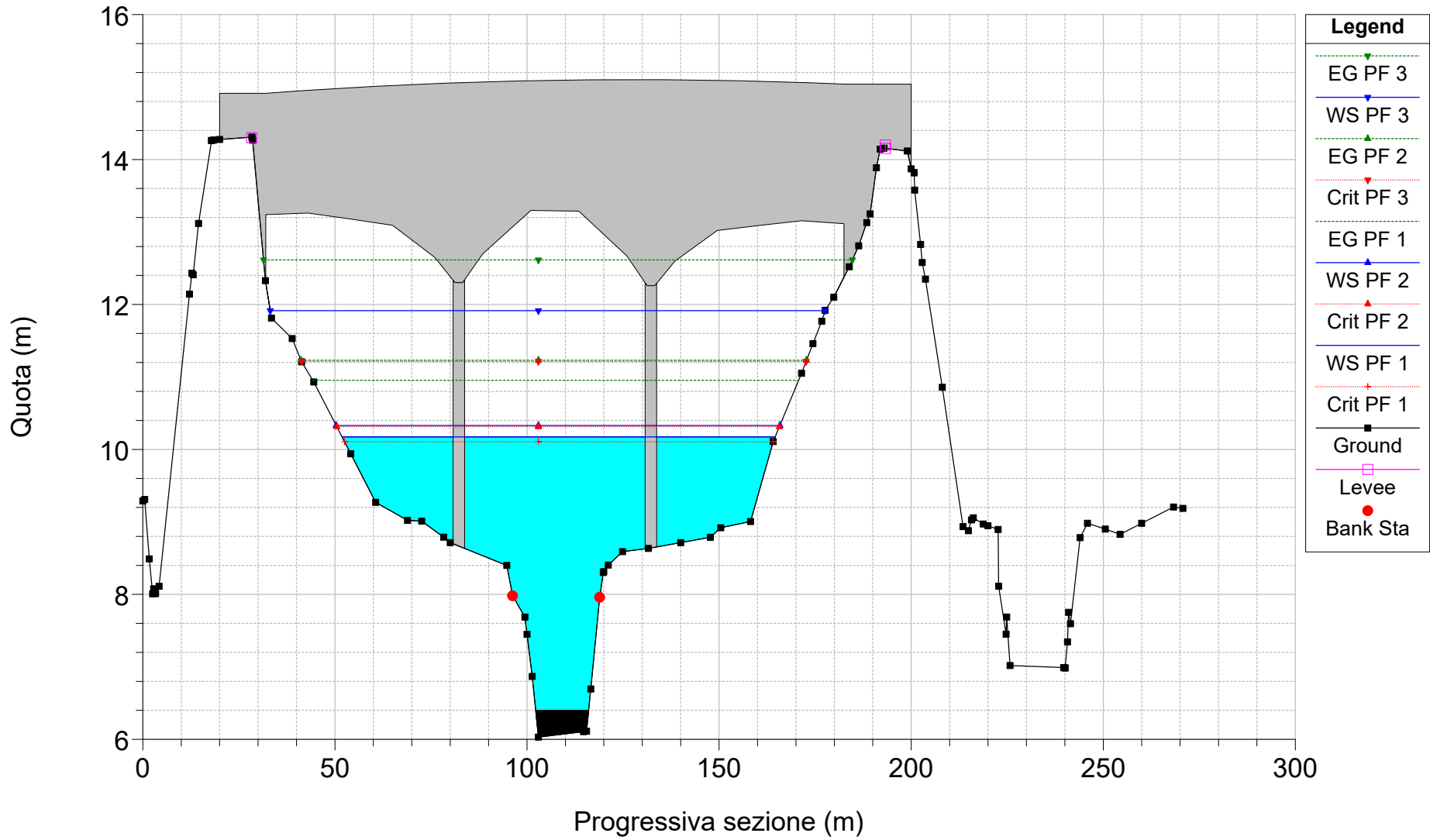


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR

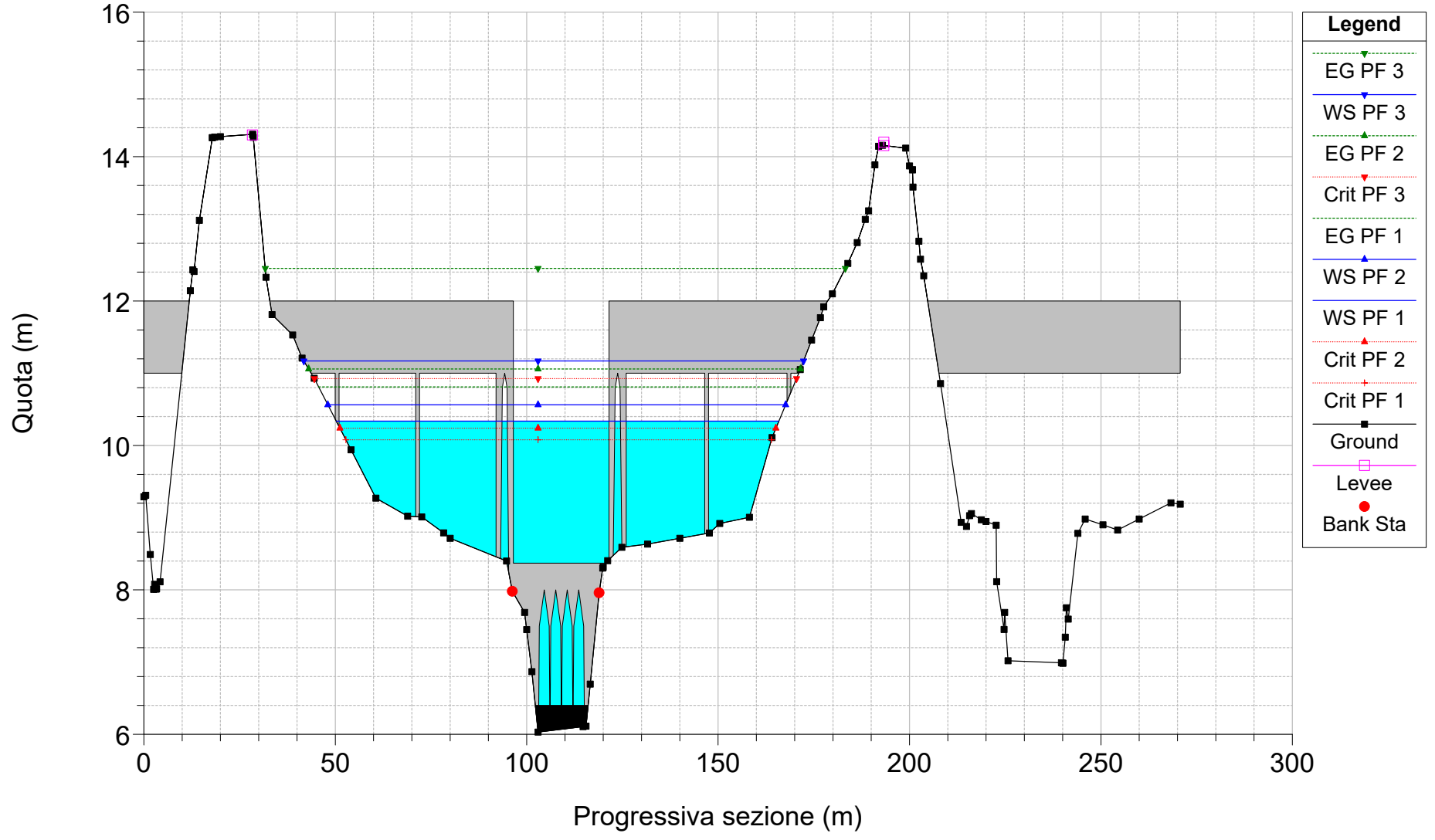


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 4.75 BR

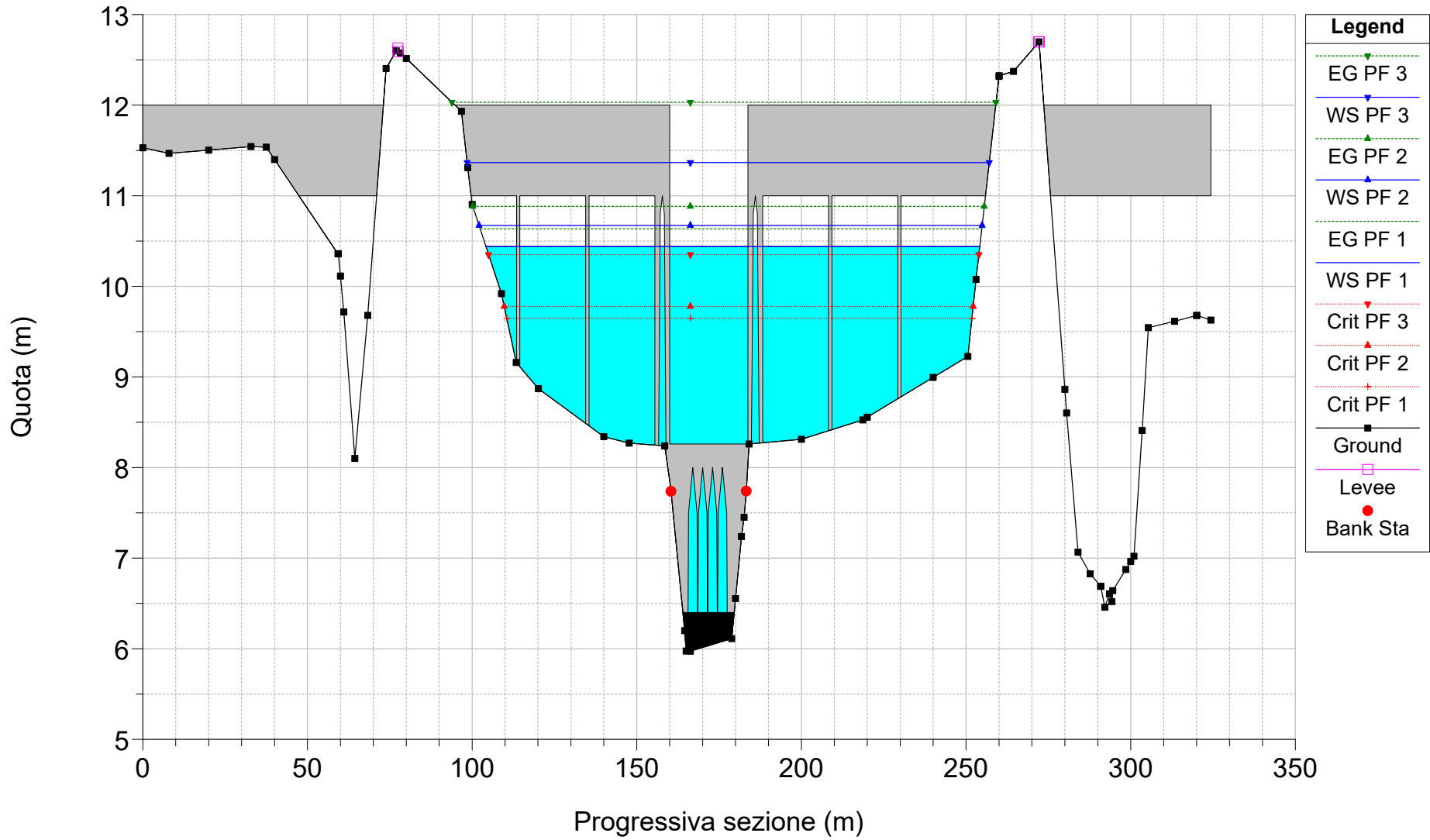


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.55 BR

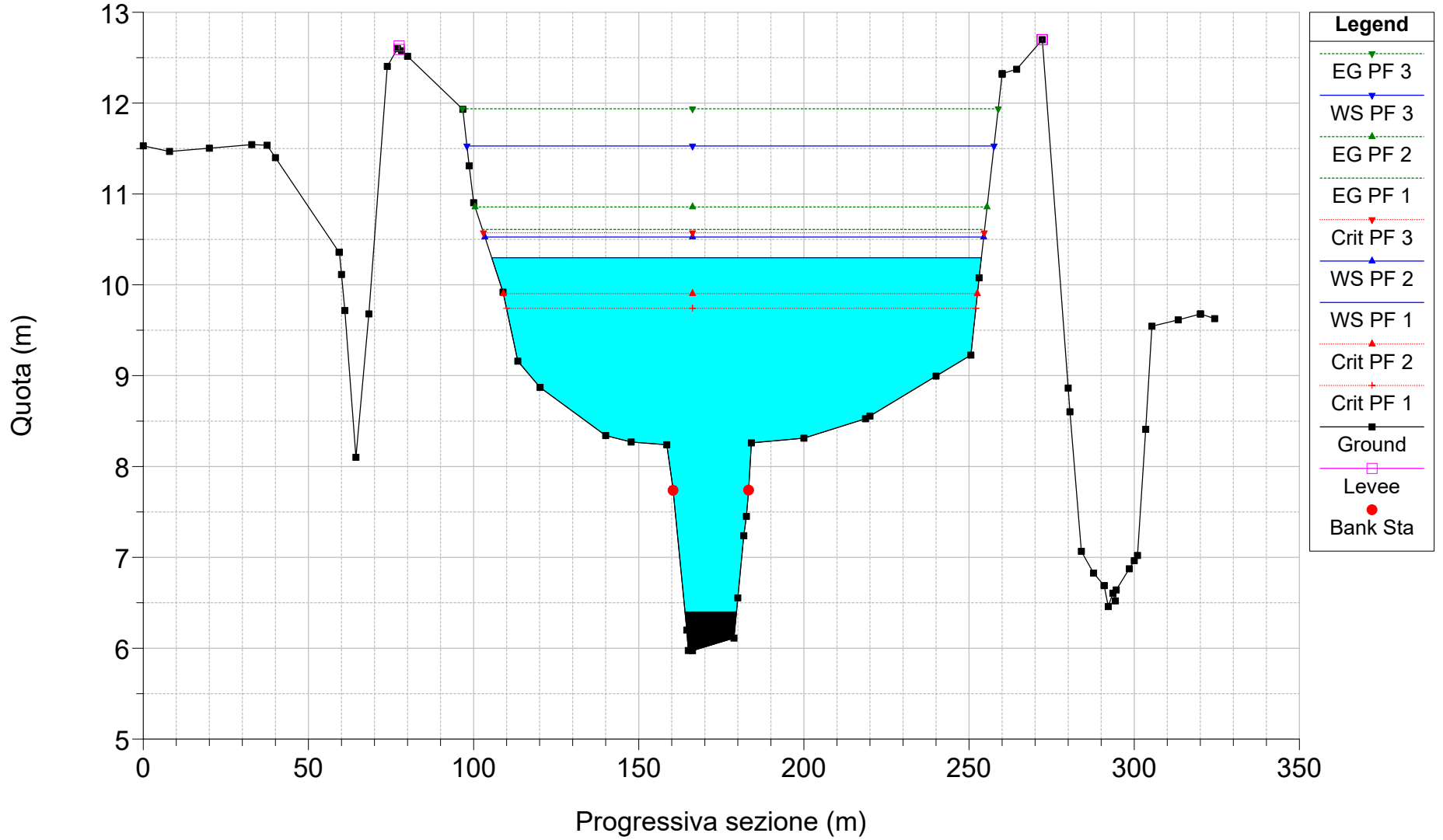


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

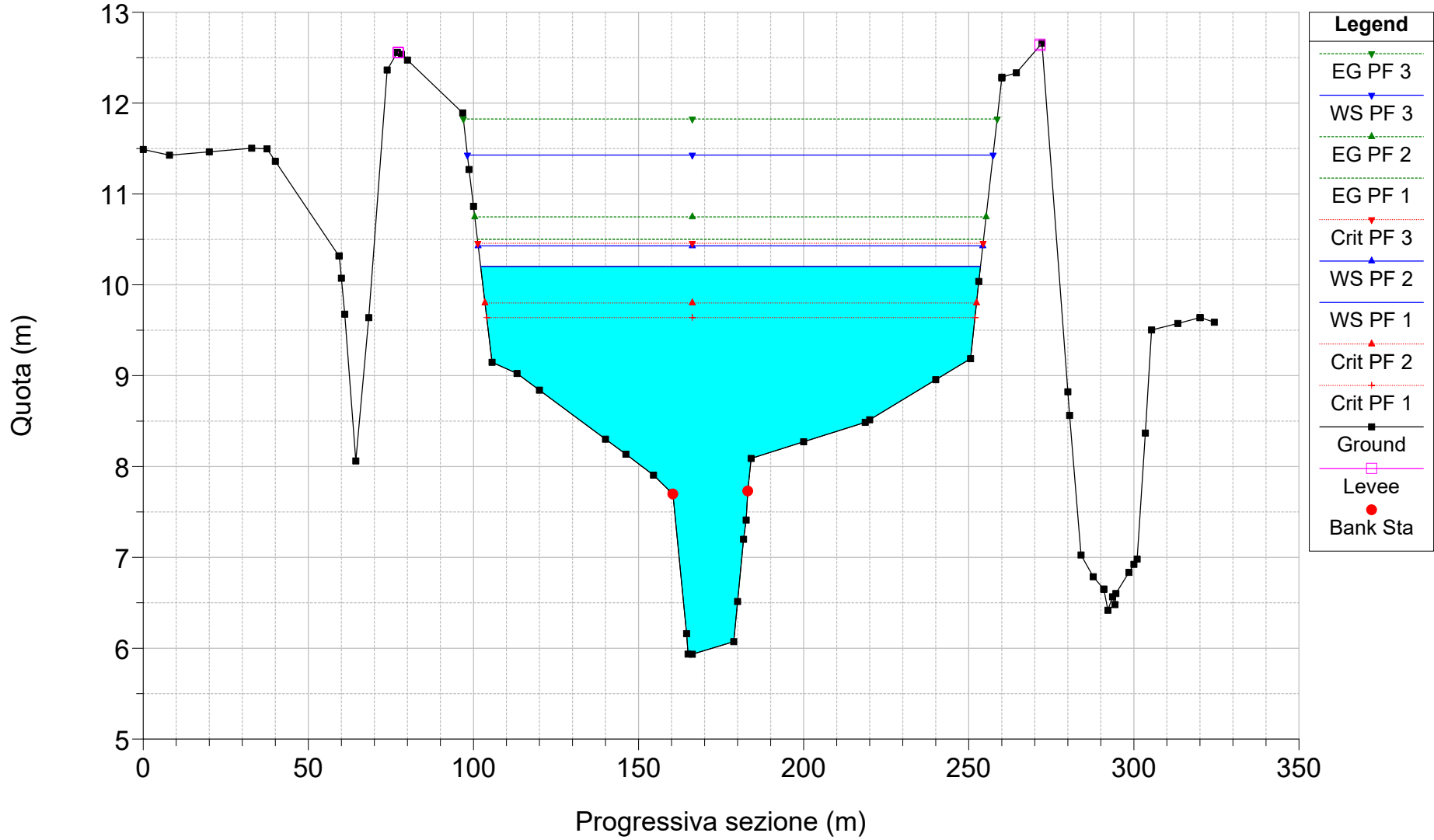
RS = 4.55 BR



Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.5

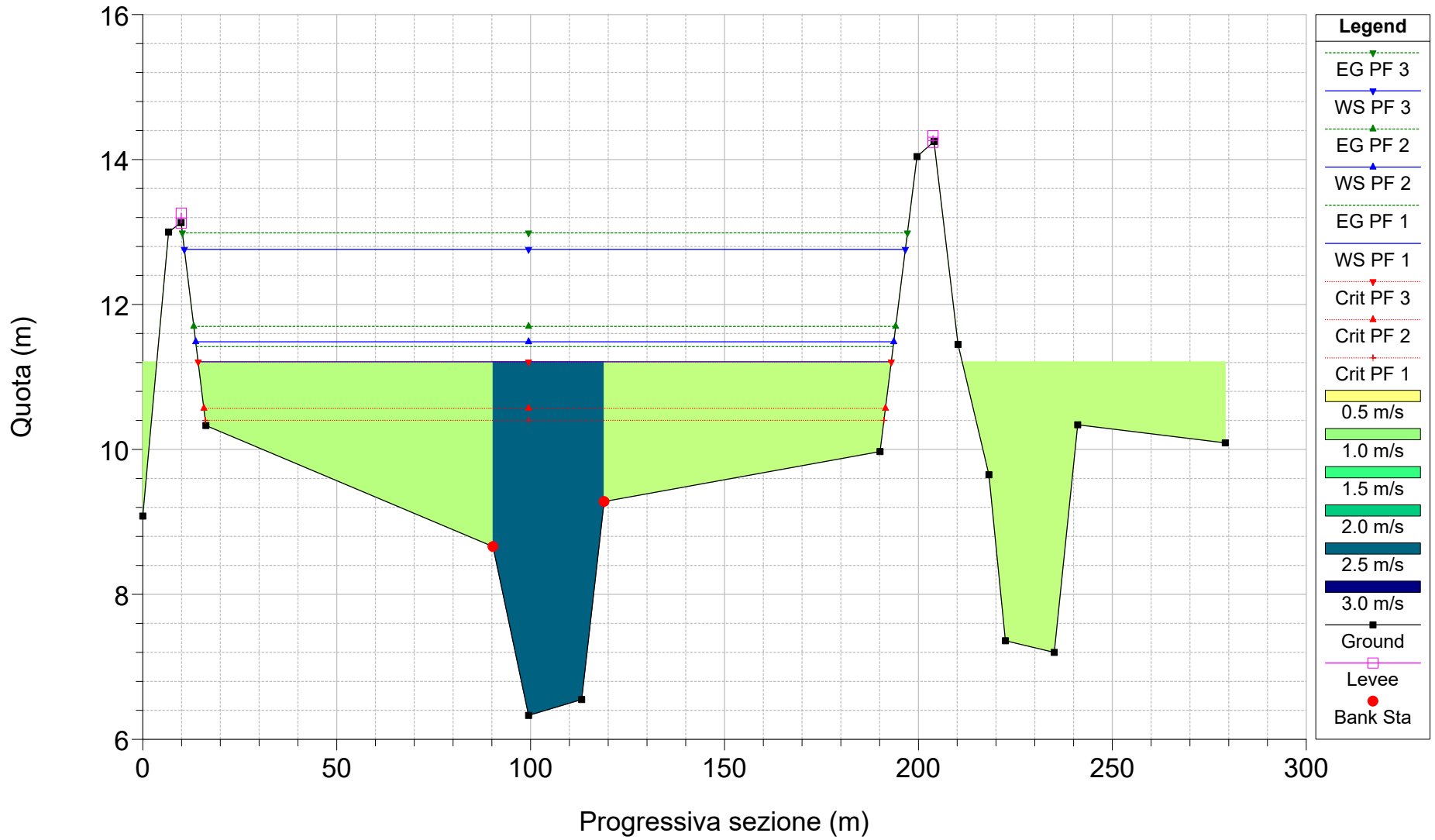


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4 sez_rilev_07

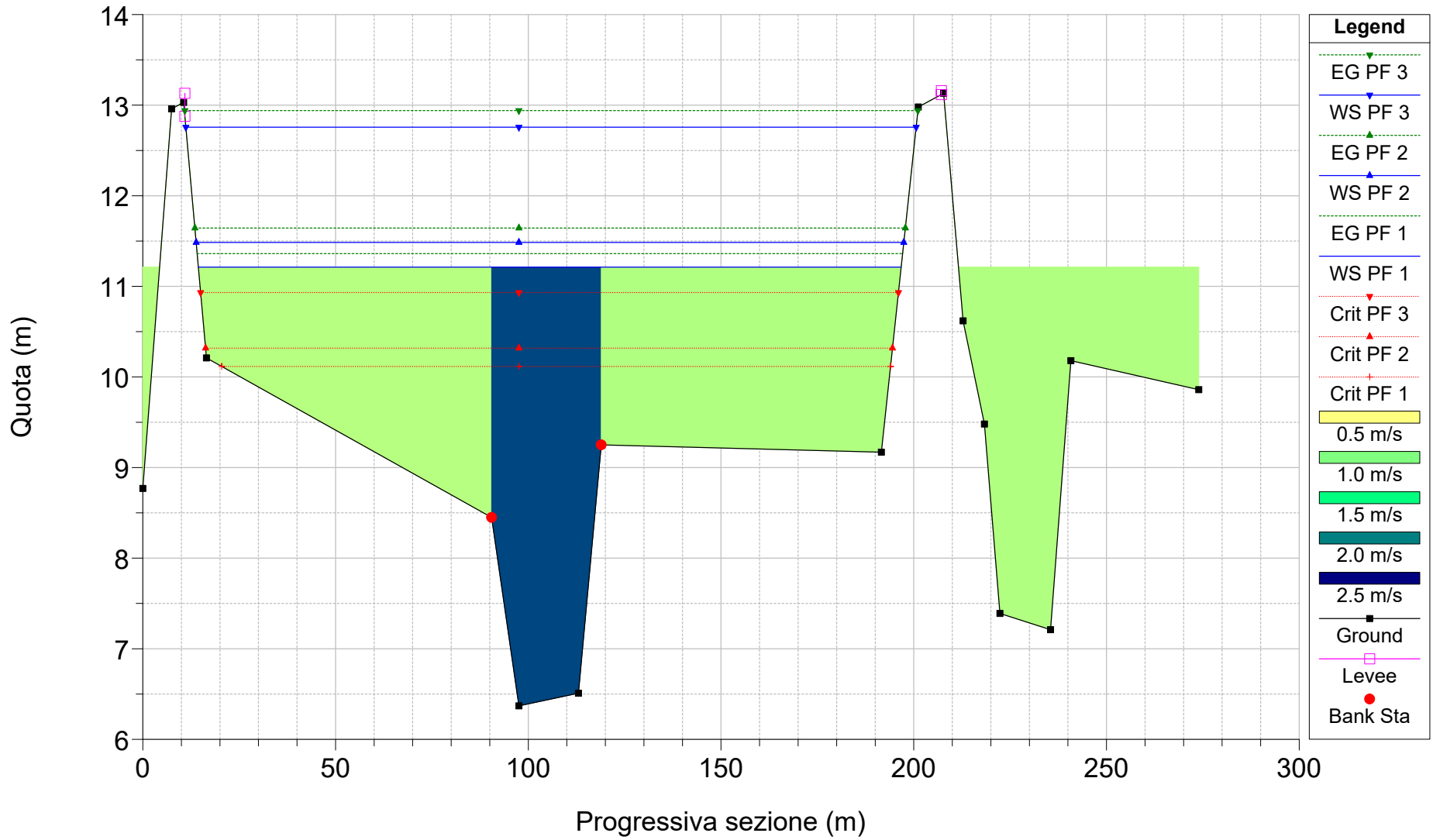


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 10 sez_rilev_01_(monte)

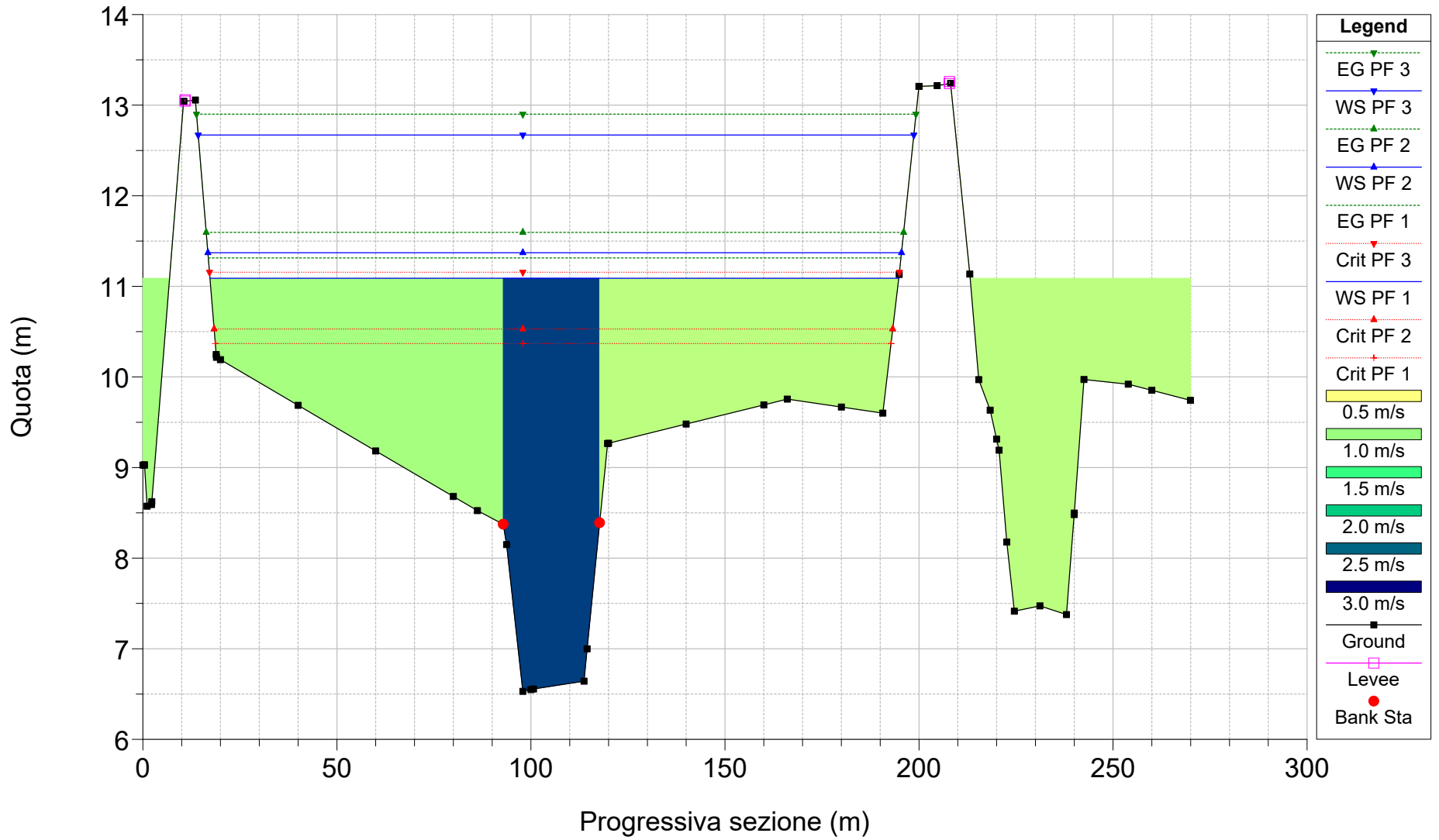


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 9 sez_rilev_02

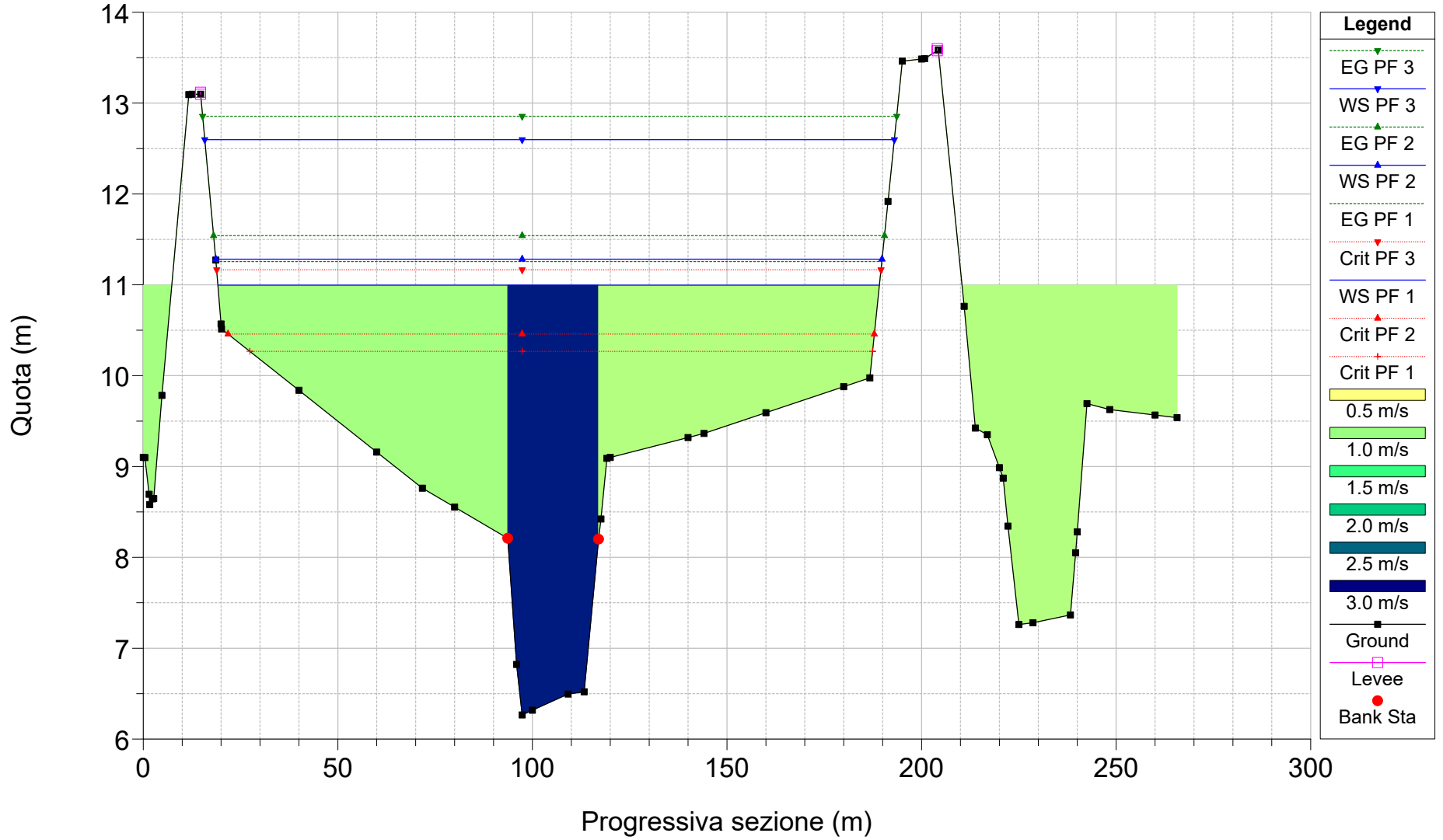


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 8 sez_rilev_03

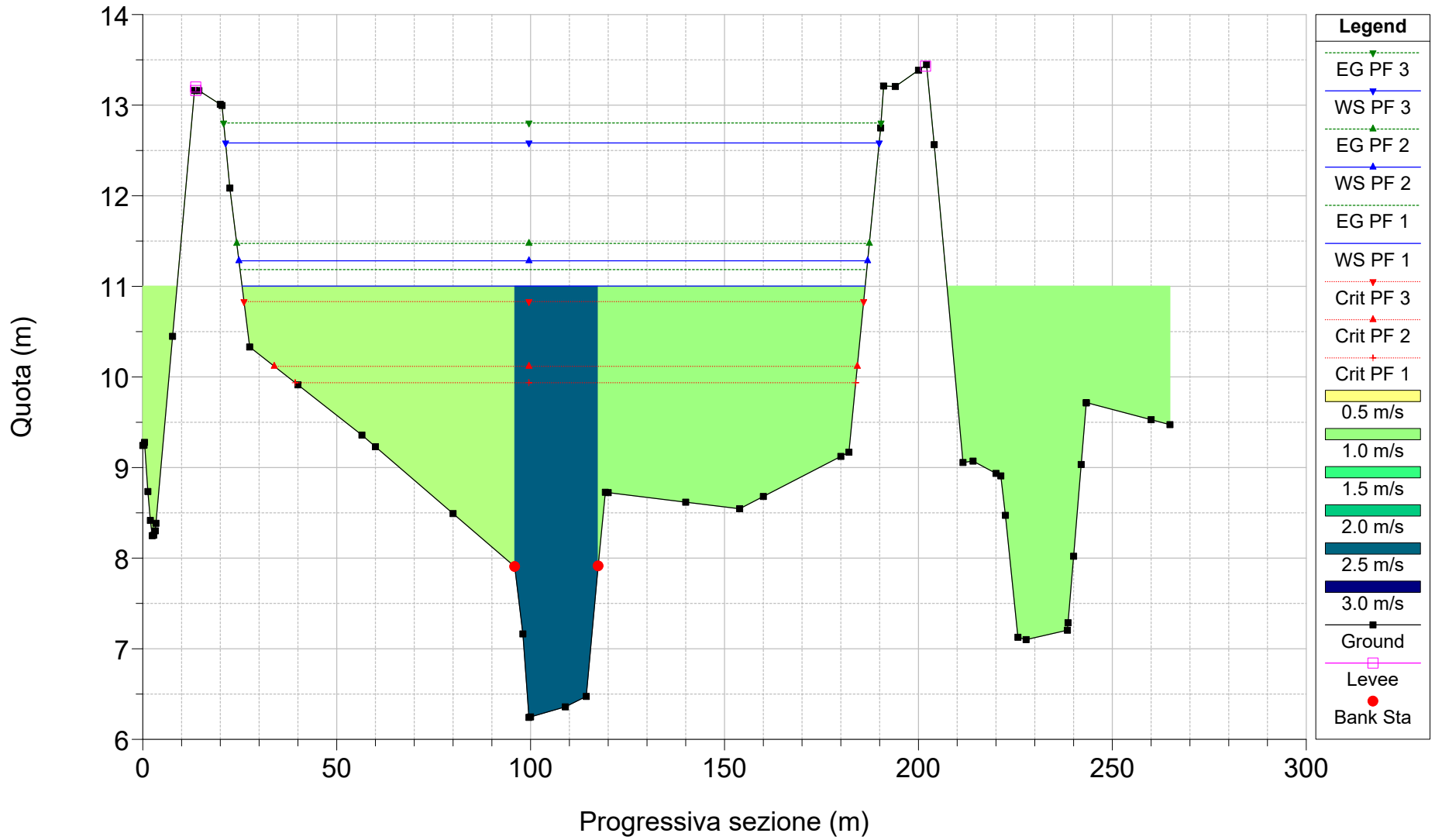


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
 RS = 7 sez_rilev_04

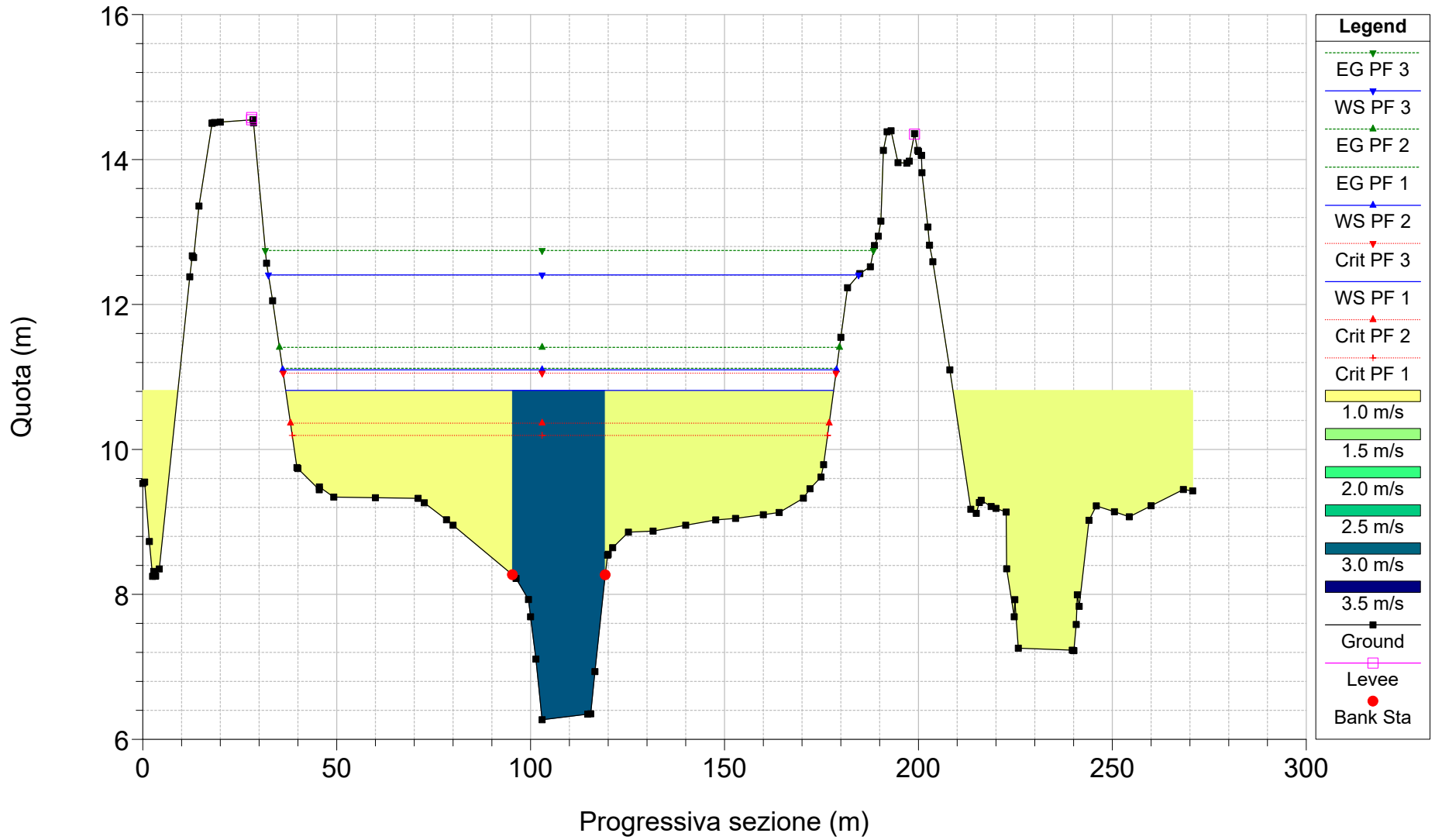


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

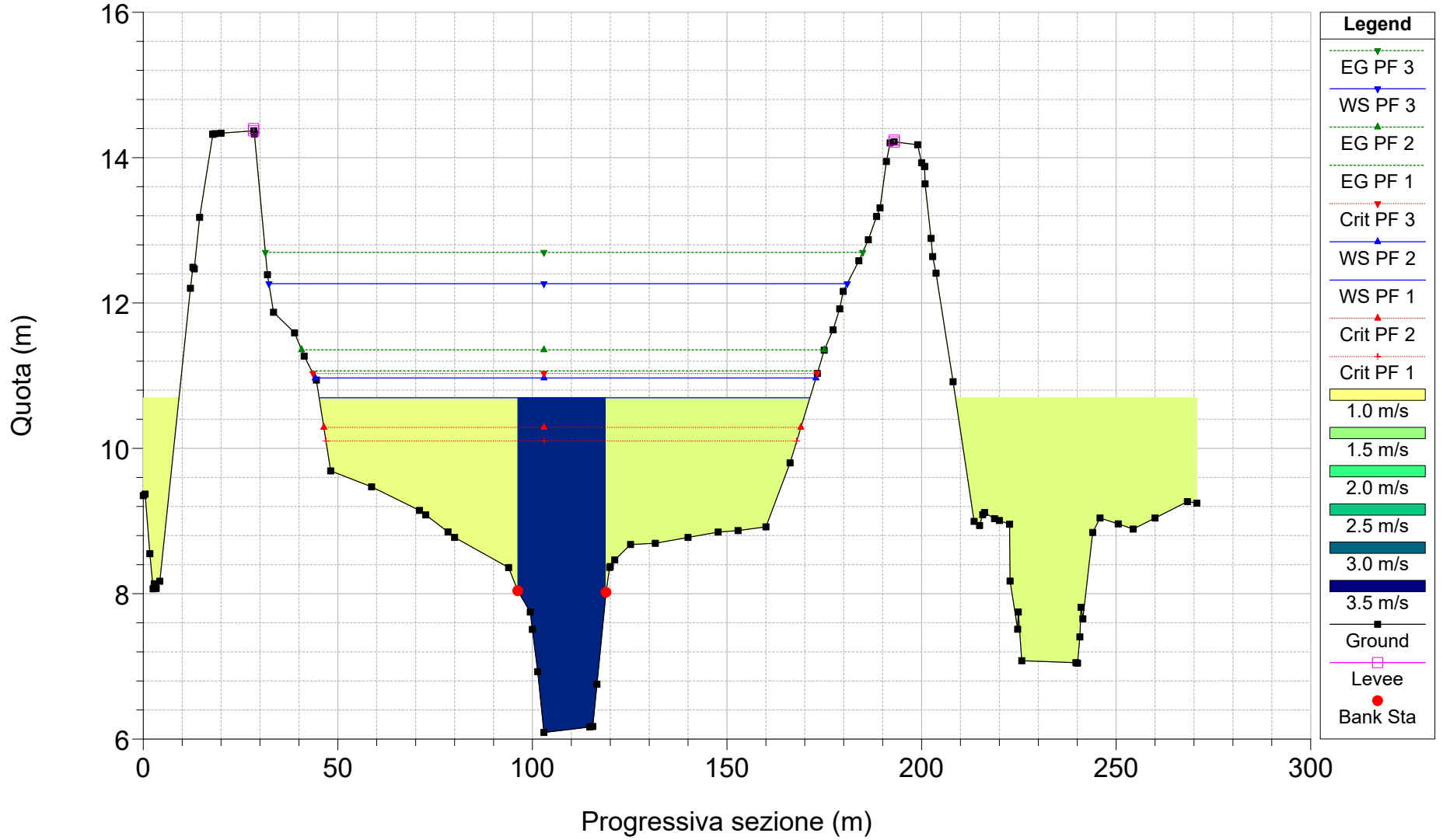
RS = 6 sez_rilev_05



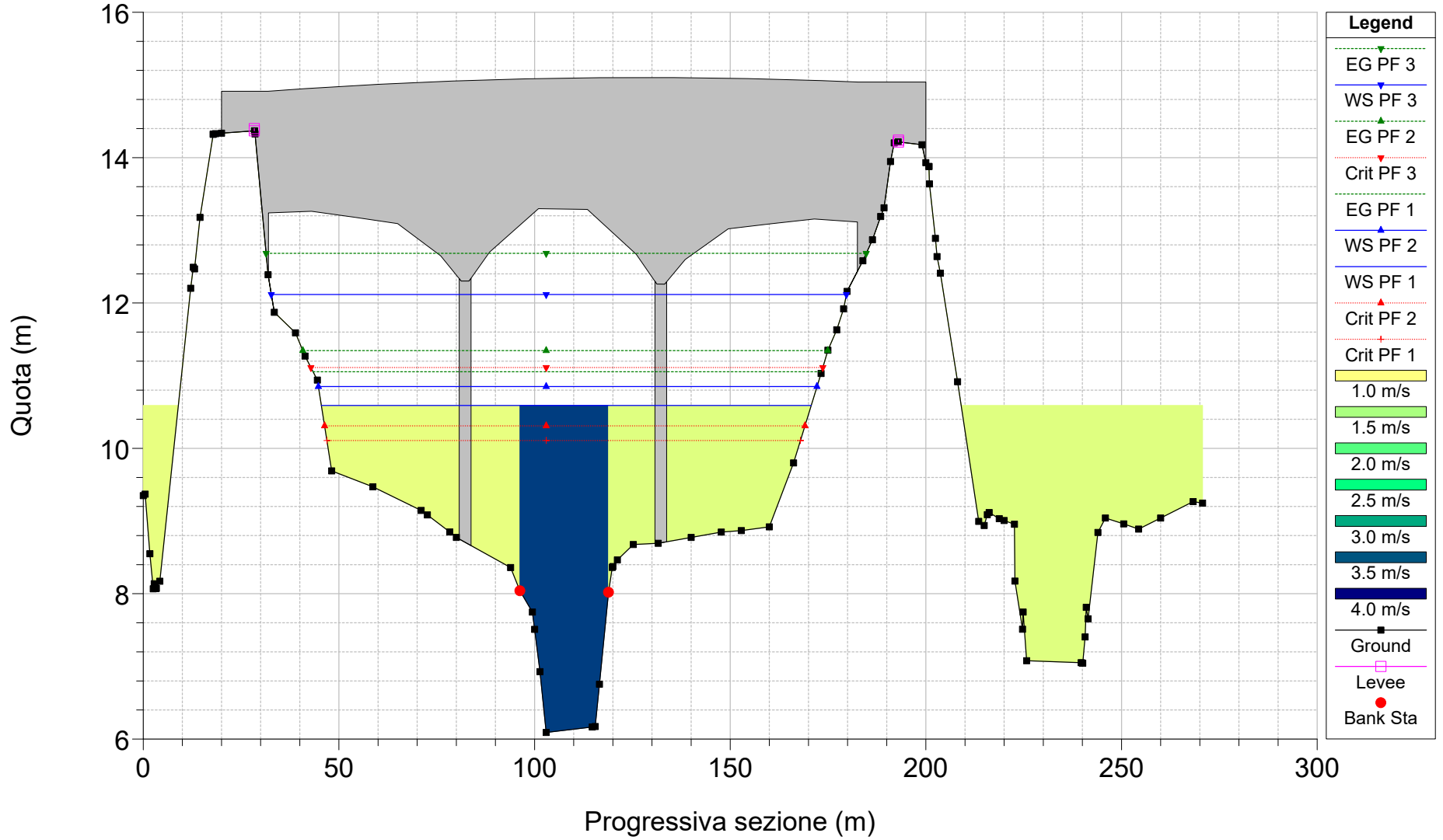
Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 5 sez_rilev_06



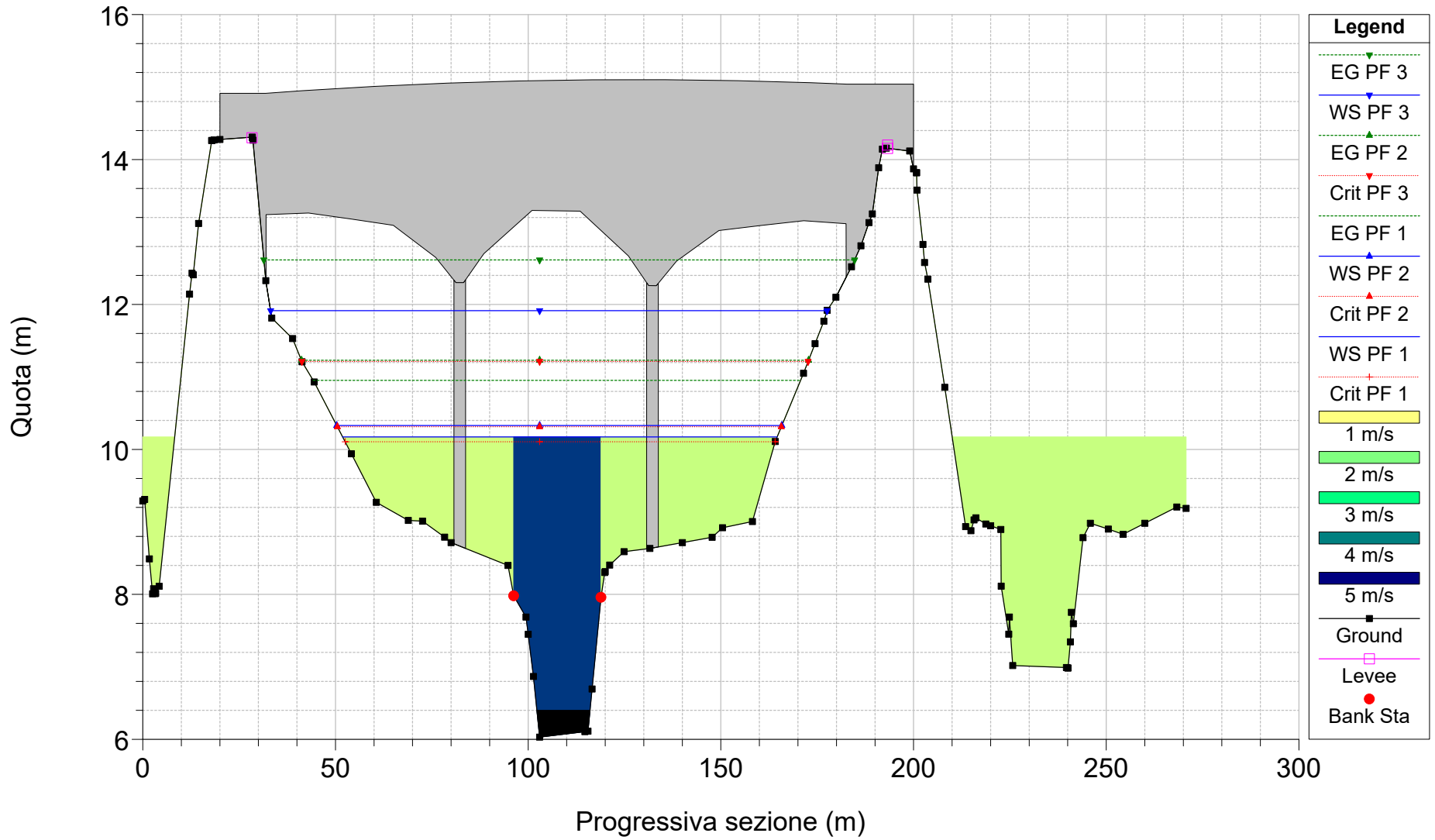
Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.8



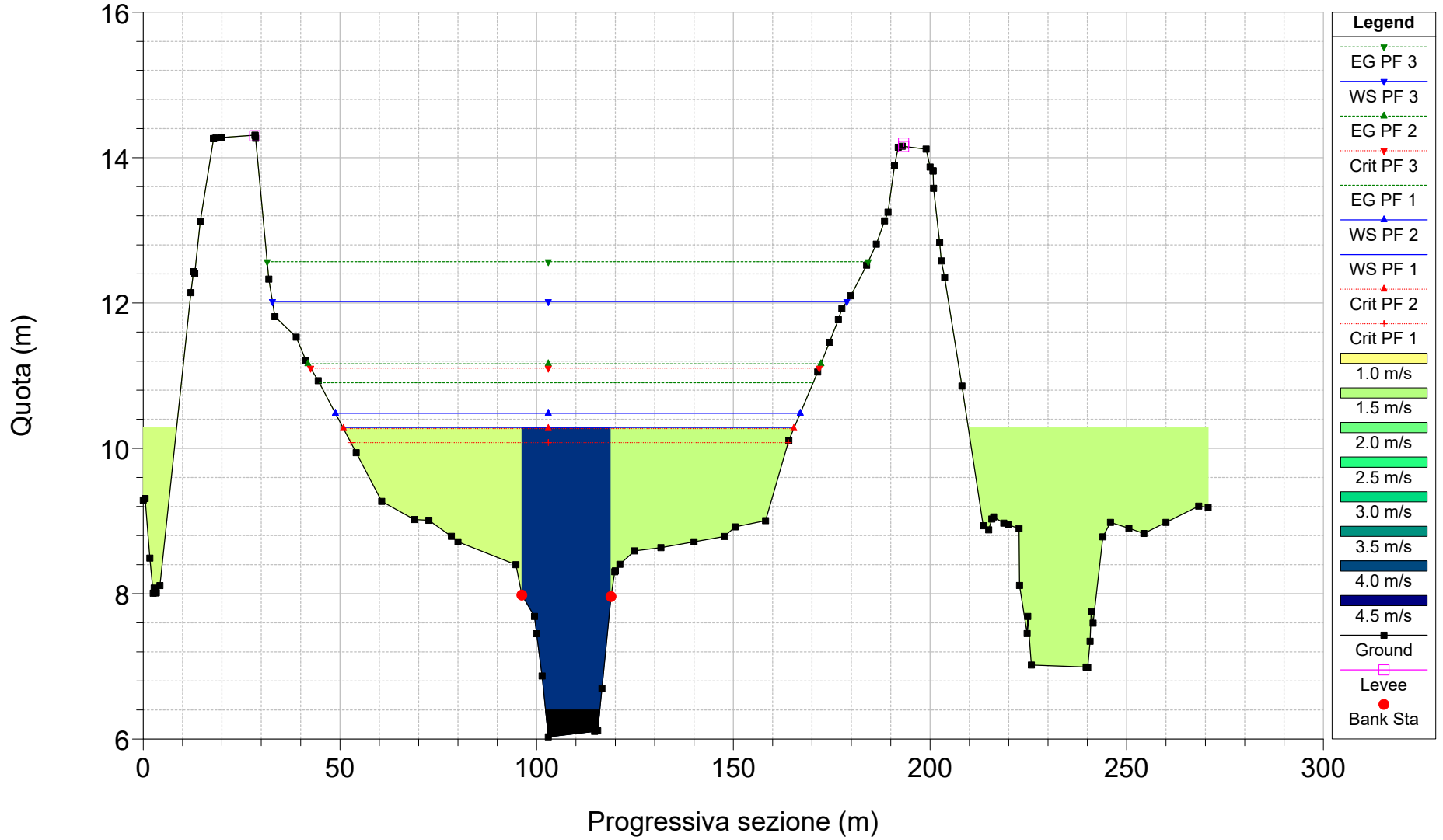
Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR



Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR

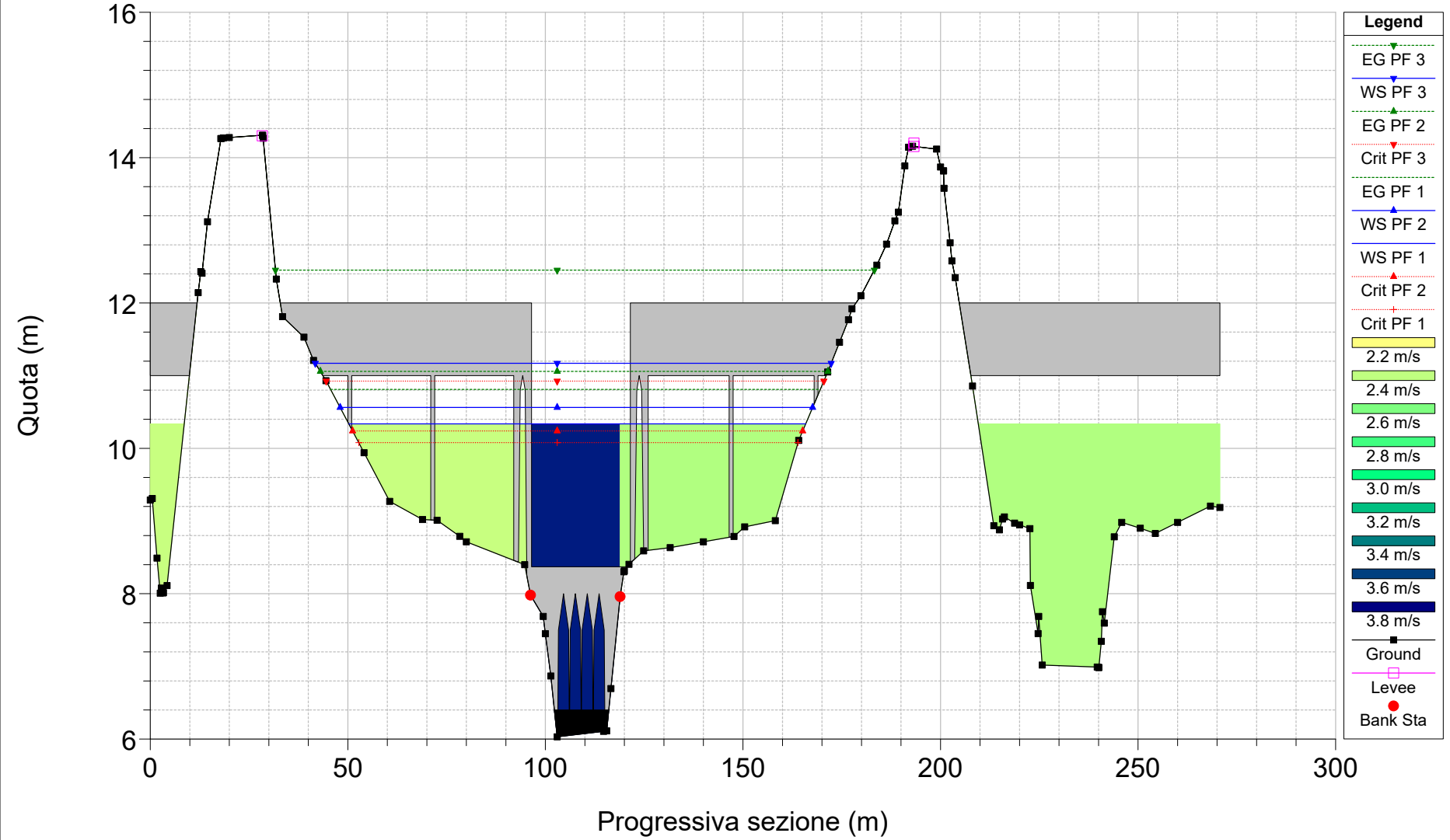


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.7



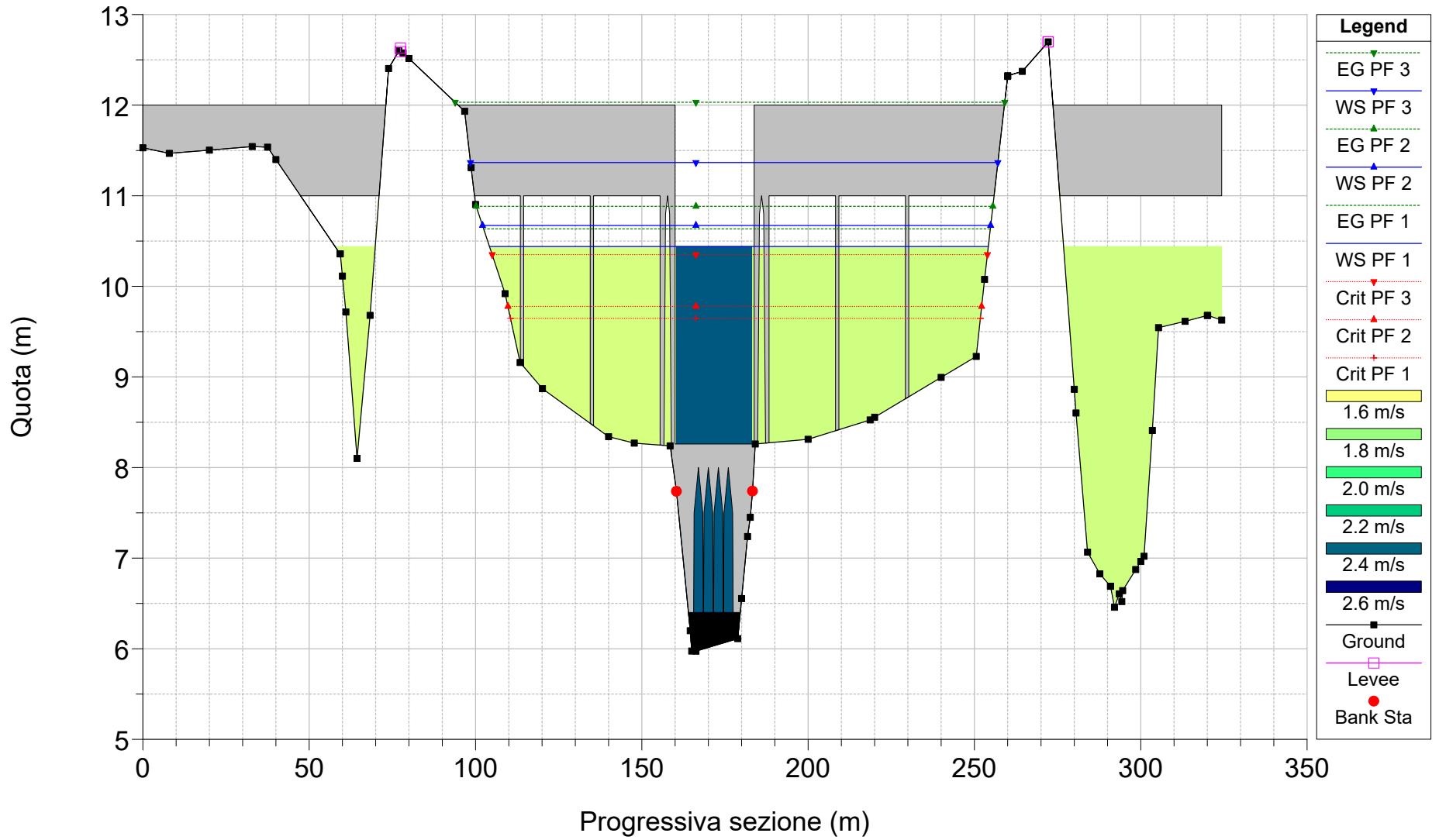
Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 4.55 BR

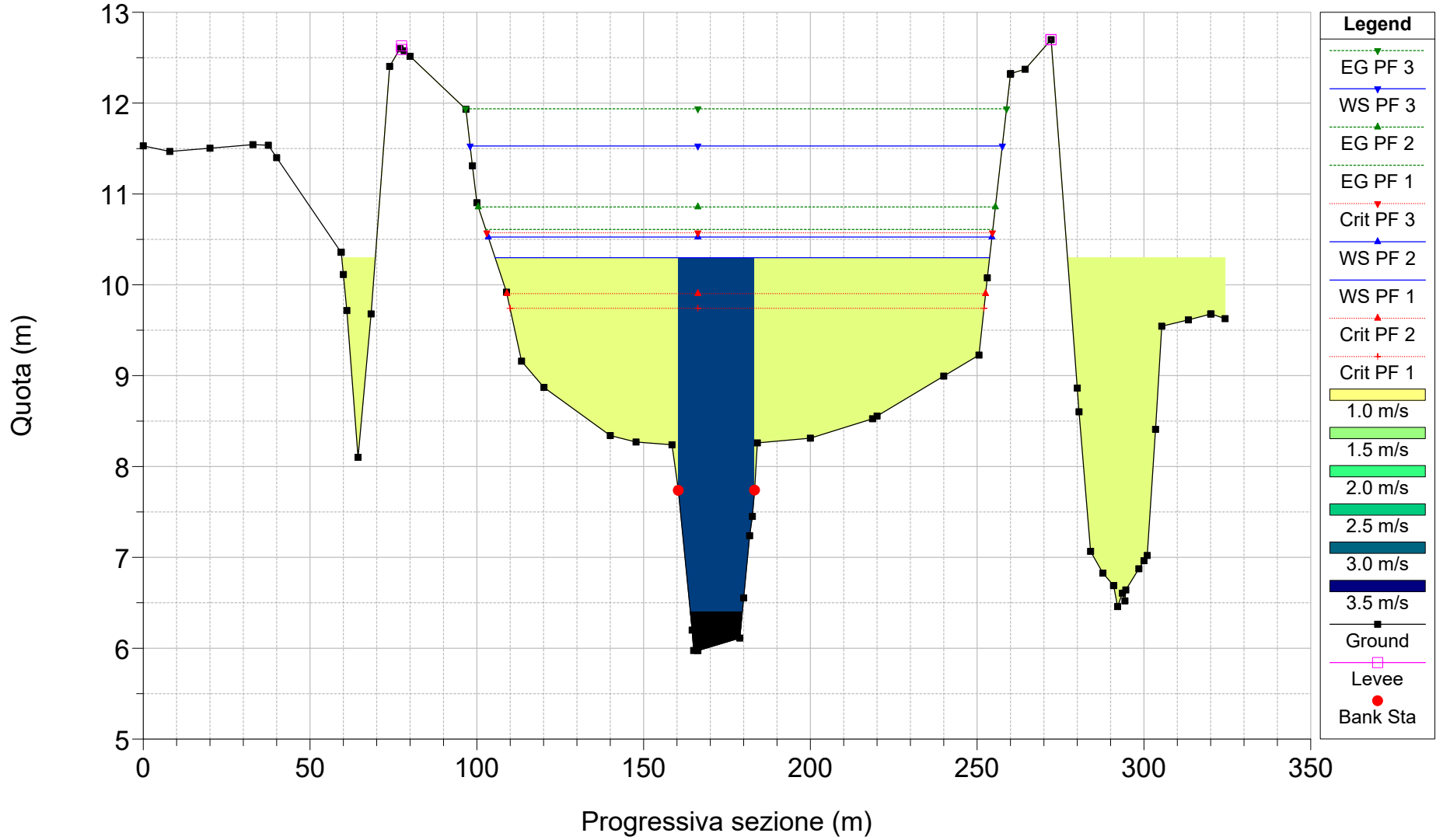


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

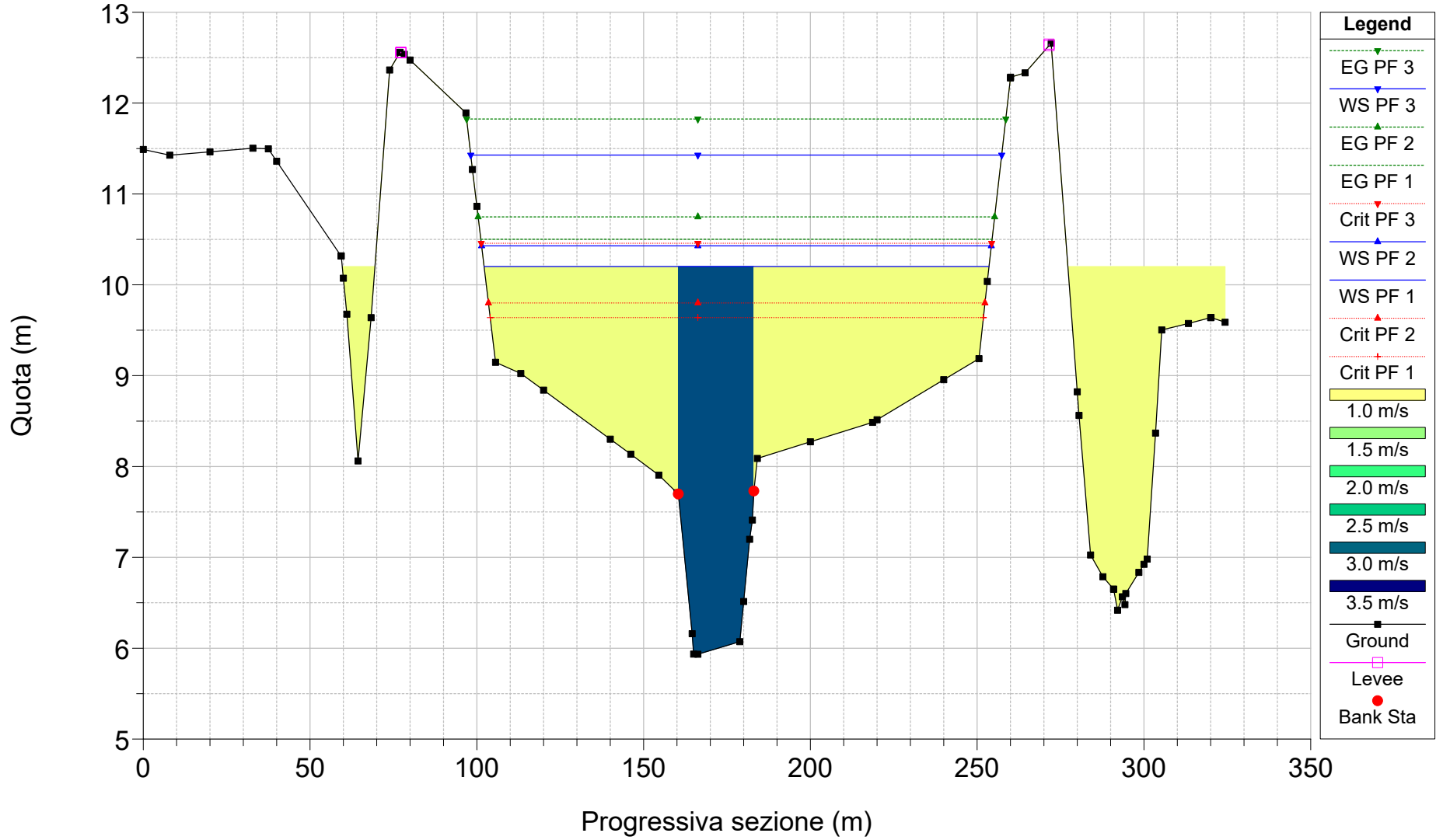
RS = 4.55 BR



Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.5

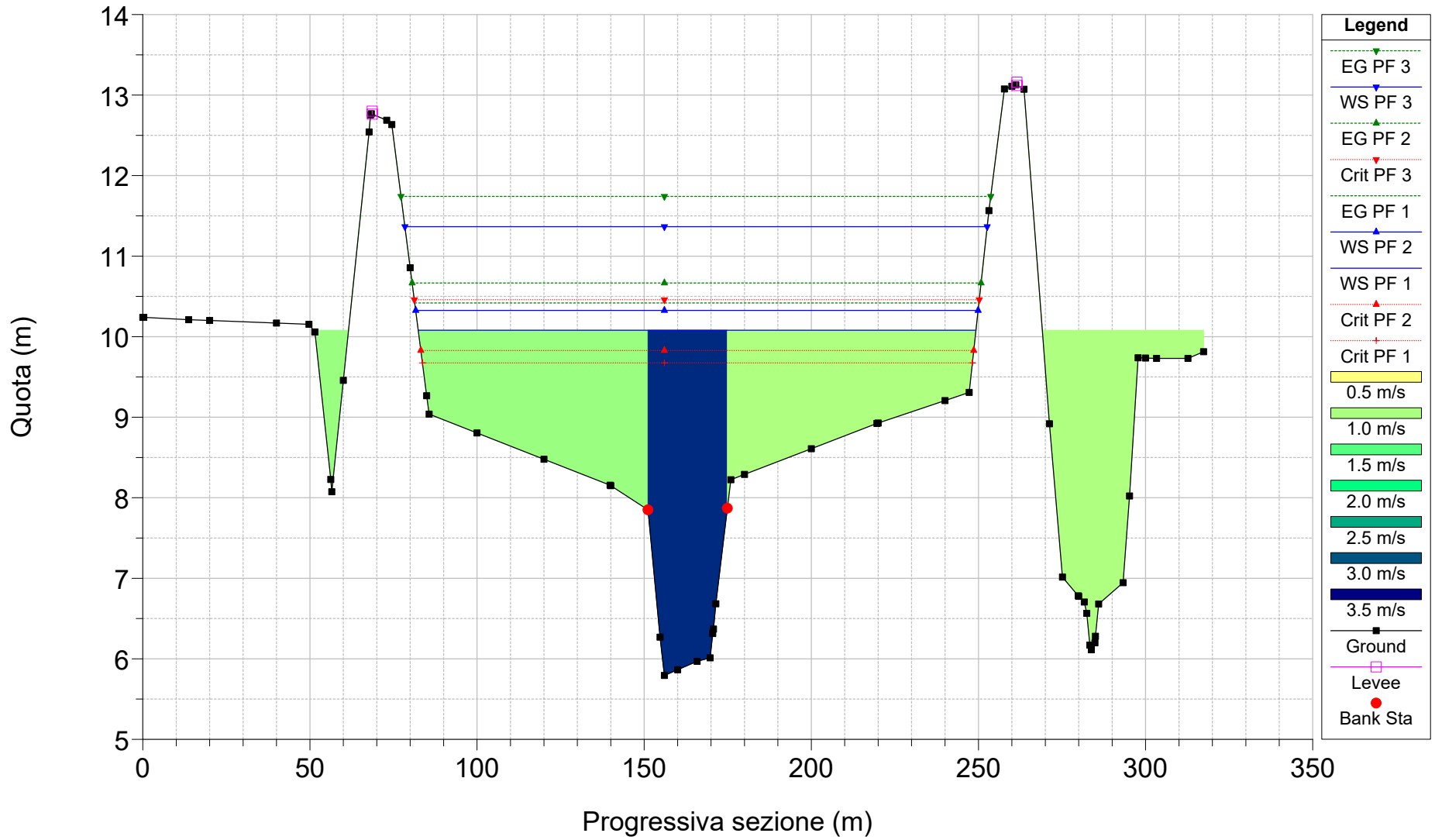


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4 sez_rilev_07

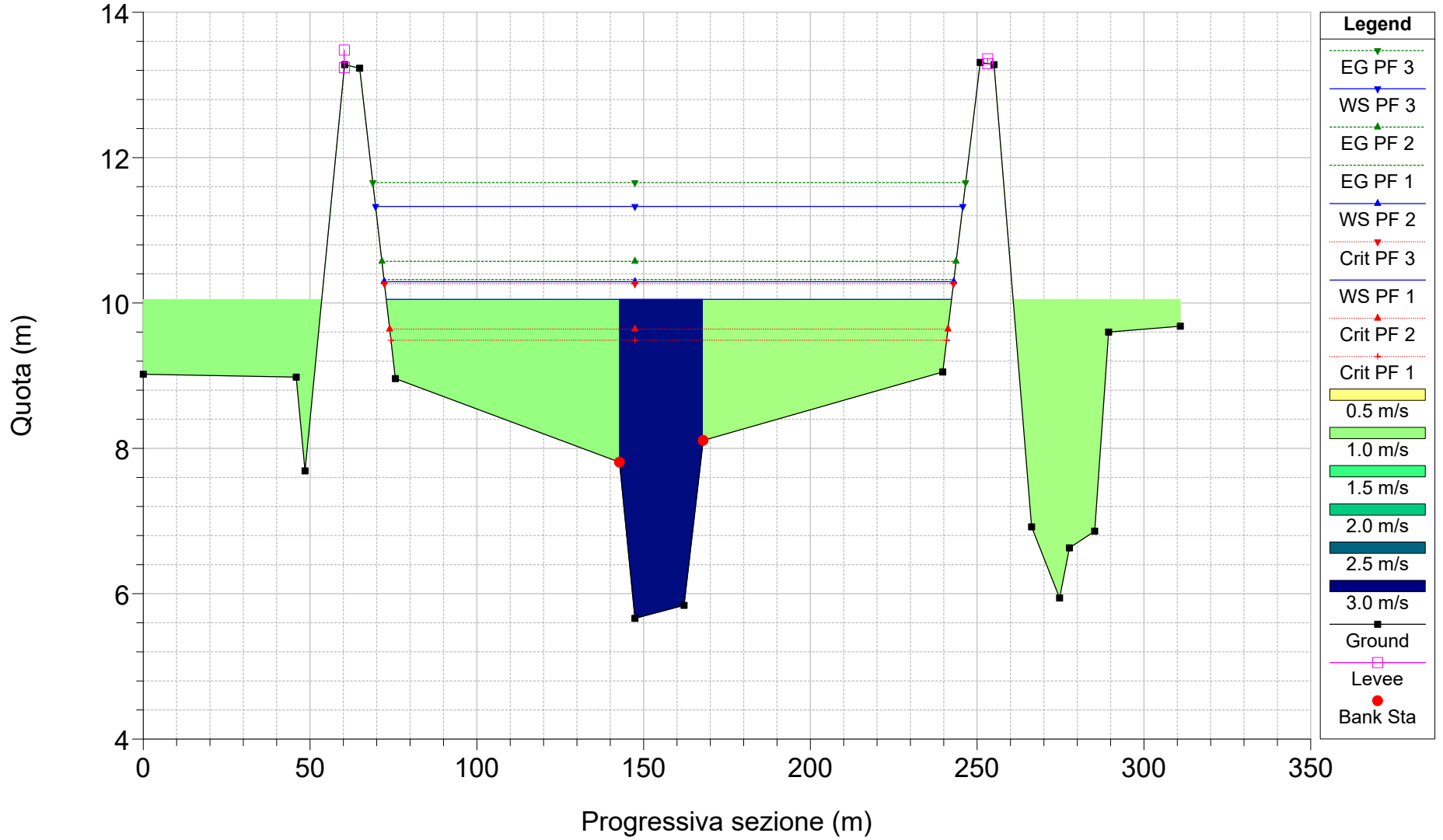


Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20

RS = 3 sez_rilev_08



Candelaro_April2020 Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 2 sez_rilev_09

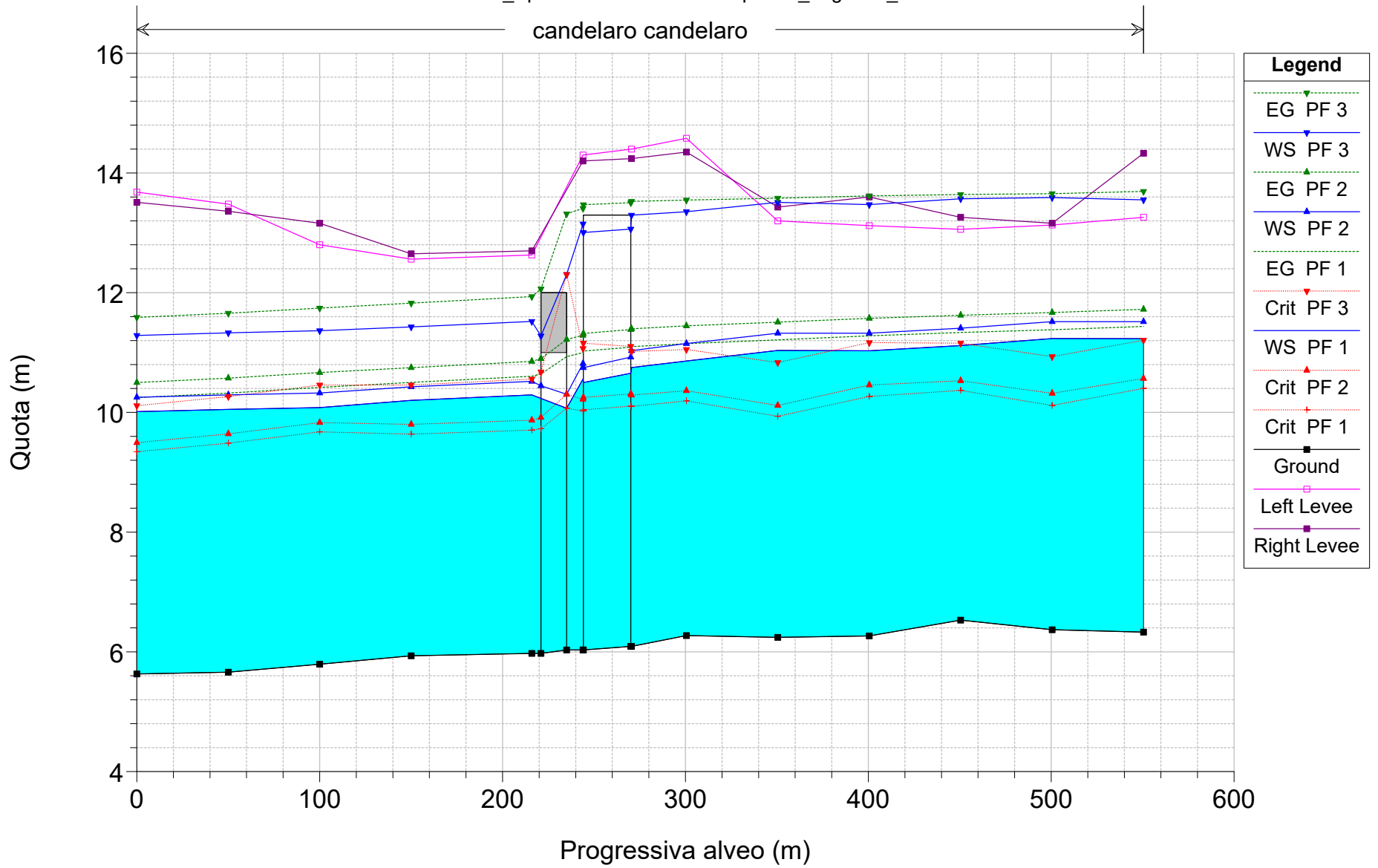


Torrente Candelaro

Attraversamento S.S. 89 "Garganica"

**Risultati delle simulazioni post operam
(nuovo viadotto a 3 luci, rimozione del guado)**

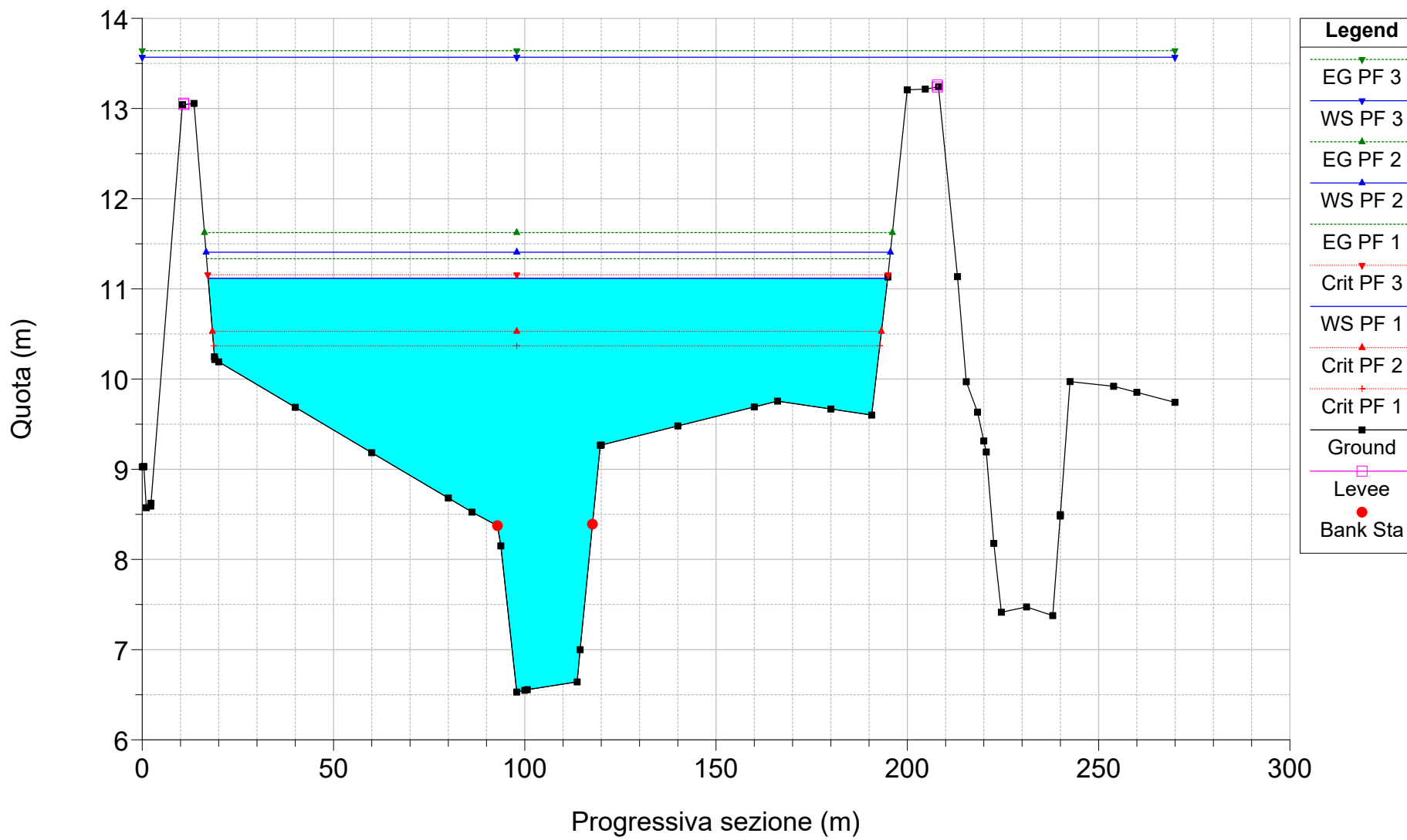
candelaro candelaro



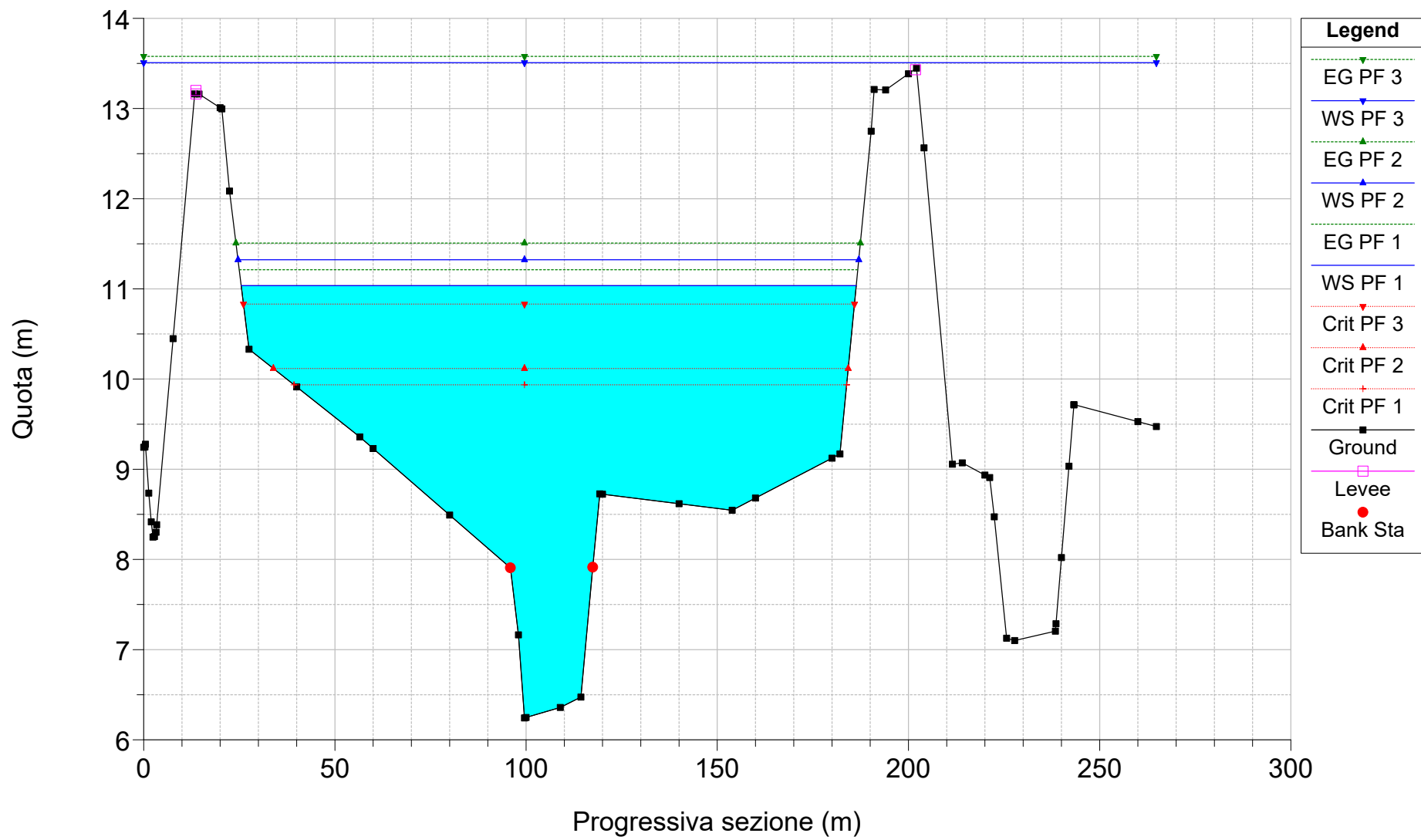
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
candelaro	10	PF 1	499	6.33	11.23	10.4	11.44	0.000874	2.5	364.95	178.83	0.39
candelaro	10	PF 2	585	6.33	11.52	10.57	11.72	0.00085	2.57	415.66	180.14	0.39
candelaro	10	PF 3	1020	6.33	13.55	11.21	13.69	0.000416	2.31	809.95	198.48	0.29
candelaro	9	PF 1	499	6.37	11.23	10.12	11.38	0.00066	2.2	415.48	182.43	0.34
candelaro	9	PF 2	585	6.37	11.52	10.32	11.67	0.000655	2.29	466.88	183.72	0.34
candelaro	9	PF 3	1020	6.37	13.59	10.93	13.65	0.000222	1.71	1158.53	273.95	0.21
candelaro	8	PF 1	499	6.53	11.12	10.37	11.33	0.000975	2.66	357.86	177.64	0.41
candelaro	8	PF 2	585	6.53	11.41	10.53	11.62	0.000933	2.72	409.46	178.9	0.41
candelaro	8	PF 3	1020	6.53	13.57	11.16	13.64	0.000258	1.86	1104.94	269.95	0.23
candelaro	7	PF 1	499	6.27	11.03	10.27	11.28	0.001058	2.82	338.84	170.13	0.43
candelaro	7	PF 2	585	6.27	11.32	10.46	11.57	0.001011	2.88	389.04	171.41	0.43
candelaro	7	PF 3	1020	6.27	13.47	11.17	13.62	0.000439	2.45	804.33	197.07	0.3
candelaro	6	PF 1	499	6.24	11.04	9.94	11.21	0.000814	2.51	378.6	160.84	0.38
candelaro	6	PF 2	585	6.24	11.32	10.12	11.51	0.000808	2.61	425.15	162.34	0.38
candelaro	6	PF 3	1020	6.24	13.51	10.83	13.58	0.000248	1.86	1119.34	264.84	0.23
candelaro	5	PF 1	499	6.27	10.86	10.19	11.15	0.001372	3.02	296.35	141.54	0.48
candelaro	5	PF 2	585	6.27	11.15	10.36	11.45	0.001317	3.1	338.03	143.07	0.48
candelaro	5	PF 3	1020	6.27	13.35	11.05	13.55	0.000579	2.71	671.12	159.9	0.34
candelaro	4.8	PF 1	499	6.09	10.75	10.1	11.1	0.00152	3.25	270.39	126.44	0.51
candelaro	4.8	PF 2	585	6.09	11.03	10.29	11.4	0.001506	3.38	306.41	129.2	0.52
candelaro	4.8	PF 3	1020	6.09	13.3	11.02	13.53	0.000652	2.93	637.5	158.87	0.36
candelaro	4.75		Bridge									
candelaro	4.7	PF 1	499	6.03	10.56	10.02	11	0.001918	3.57	241.29	119.55	0.57

candelaro	4.7	PF 2	585	6.03	10.82	10.22	11.29	0.001945	3.75	272.9	124.13	0.58
candelaro	4.7	PF 3	1020	6.03	13.15	11.07	13.41	0.000738	3.09	607.49	158.08	0.39
candelaro	4.55		Bridge									
candelaro	4.5	PF 1	499	5.97	10.29	9.71	10.6	0.0015	3.15	292.98	148.18	0.51
candelaro	4.5	PF 2	585	5.97	10.52	9.87	10.85	0.001546	3.32	326.89	150.94	0.52
candelaro	4.5	PF 3	1020	5.97	11.52	10.56	11.94	0.001601	3.9	482.88	159.5	0.55
candelaro	4	PF 1	499	5.93	10.2	9.64	10.5	0.001504	3.13	297.39	151.38	0.51
candelaro	4	PF 2	585	5.93	10.43	9.8	10.75	0.001535	3.28	331.89	152.82	0.52
candelaro	4	PF 3	1020	5.93	11.43	10.46	11.83	0.001579	3.85	487.84	159.18	0.54
candelaro	3	PF 1	499	5.79	10.08	9.67	10.42	0.0017	3.25	290.27	166.86	0.54
candelaro	3	PF 2	585	5.79	10.33	9.83	10.67	0.001652	3.35	331.32	168.26	0.53
candelaro	3	PF 3	1020	5.79	11.37	10.46	11.74	0.00152	3.74	509.43	174.19	0.53
candelaro	2	PF 1	499	5.66	10.05	9.49	10.32	0.001359	2.94	316.72	169.48	0.48
candelaro	2	PF 2	585	5.66	10.29	9.64	10.57	0.001345	3.05	358	170.72	0.48
candelaro	2	PF 3	1020	5.66	11.33	10.27	11.66	0.001301	3.49	537.55	176.04	0.49
candelaro	1	PF 1	499	5.63	10.01	9.34	10.25	0.0012	2.78	334.38	169.46	0.45
candelaro	1	PF 2	585	5.63	10.25	9.5	10.5	0.001202	2.89	375.34	170.64	0.46
candelaro	1	PF 3	1020	5.63	11.29	10.11	11.59	0.001201	3.36	554.05	175.7	0.47

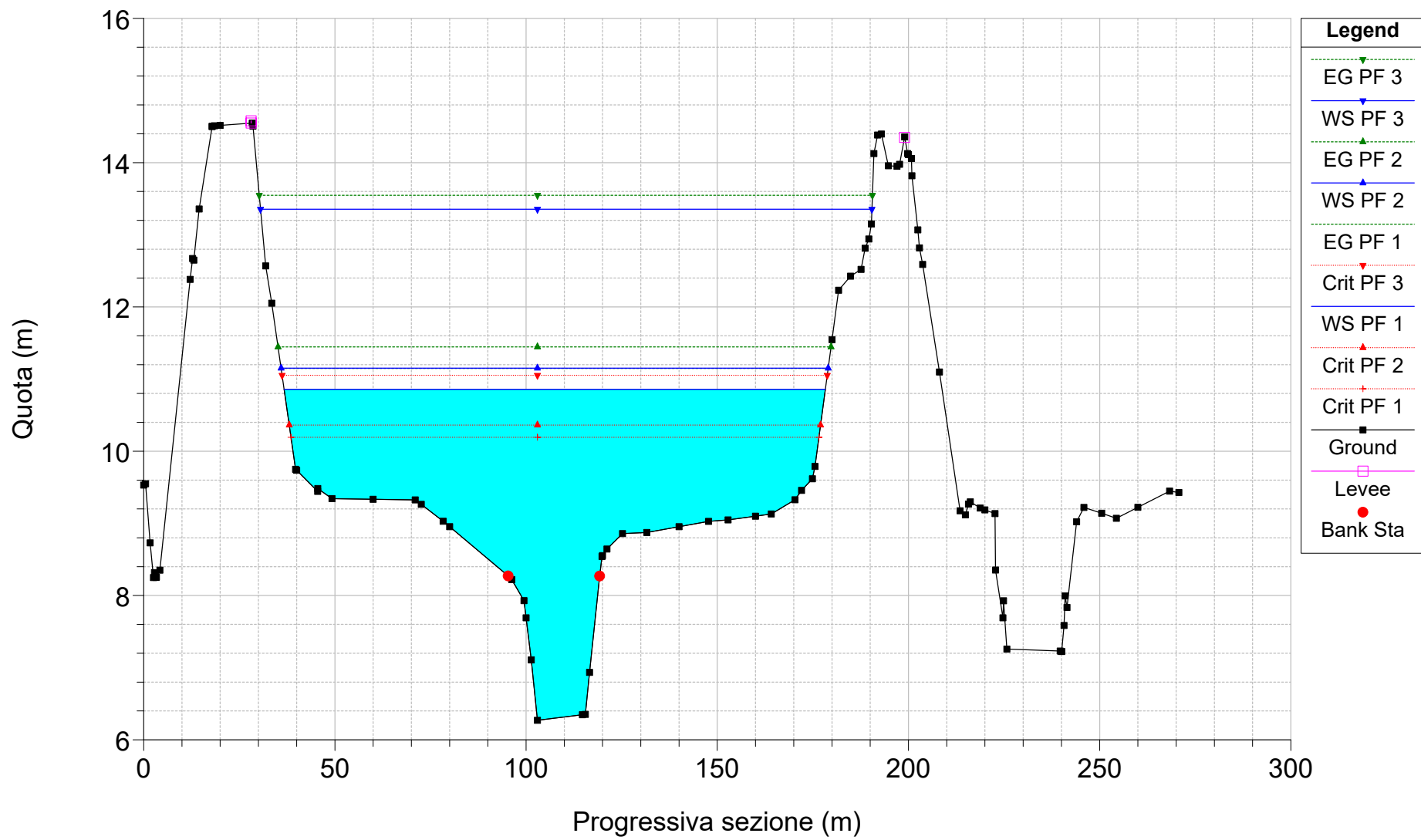
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 8 sez_rilev_03



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 6 sez_rilev_05



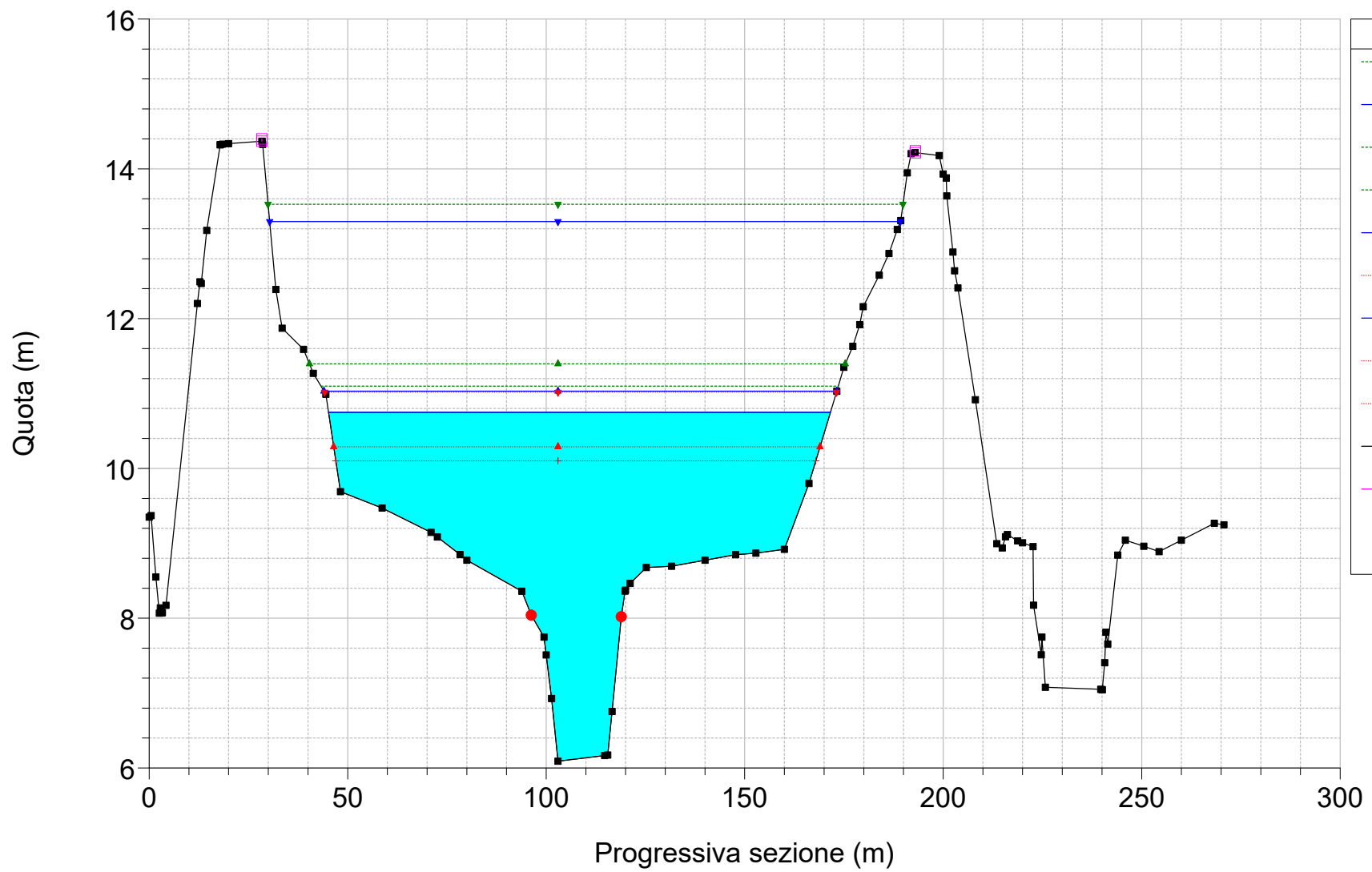
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 5 sez_rilev_06



Candelaro_April2020

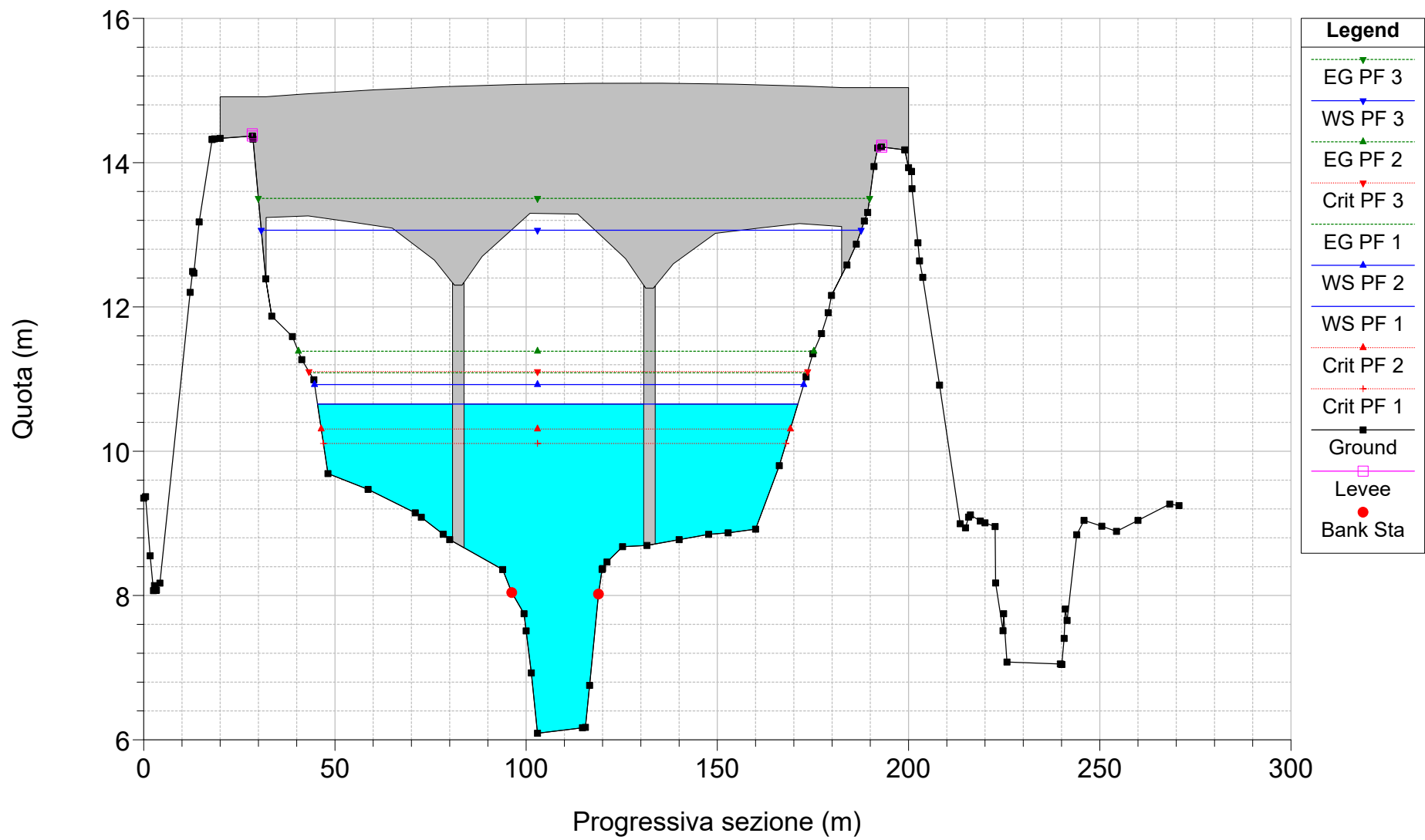
Plan: PostOperam_noguado_APR20

RS = 4.8

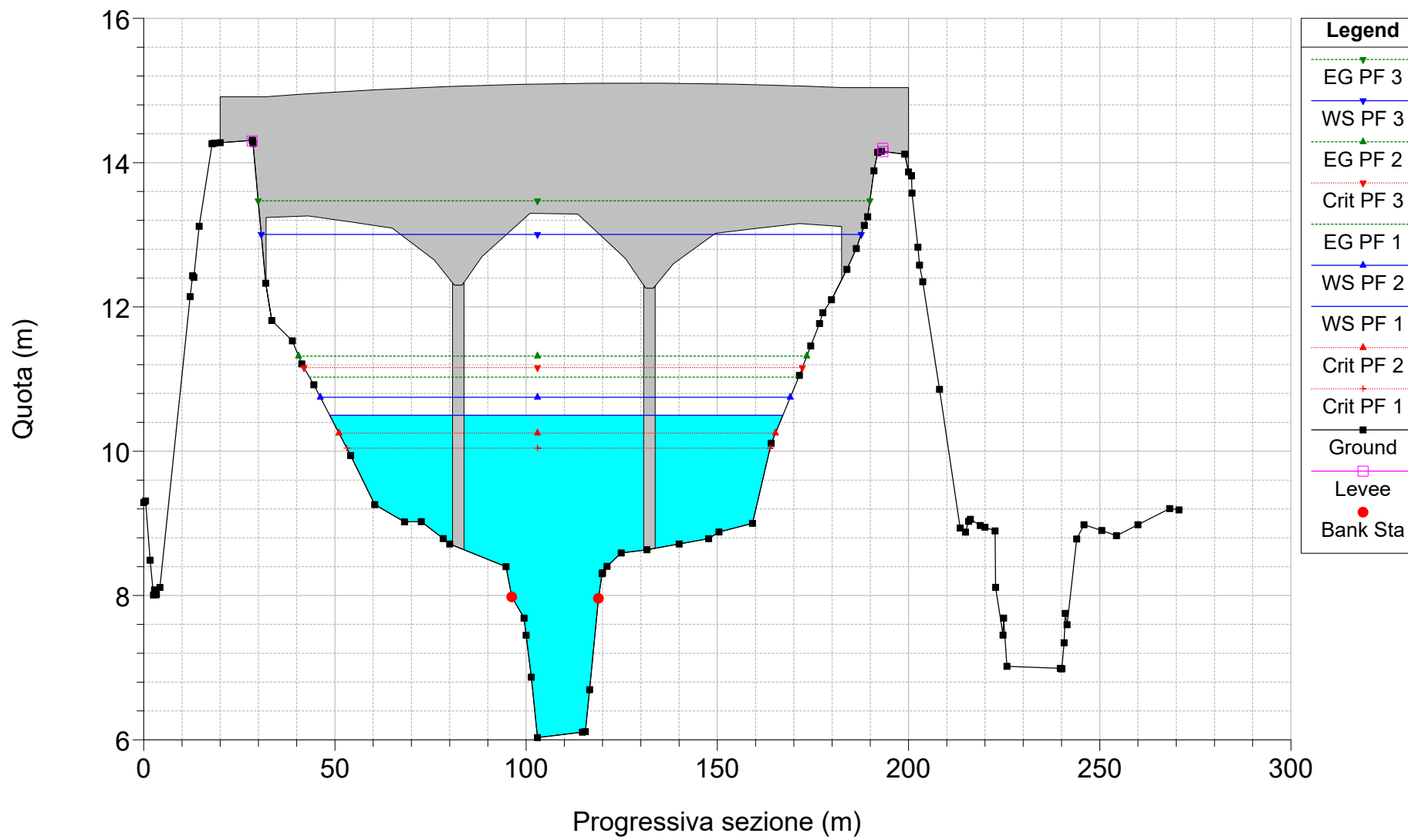


Legend	
EG PF 3	▼
WS PF 3	▼
EG PF 2	▲
EG PF 1	▼
WS PF 2	▲
Crit PF 3	▼
WS PF 1	▲
Crit PF 2	▲
Crit PF 1	+
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.75 BR



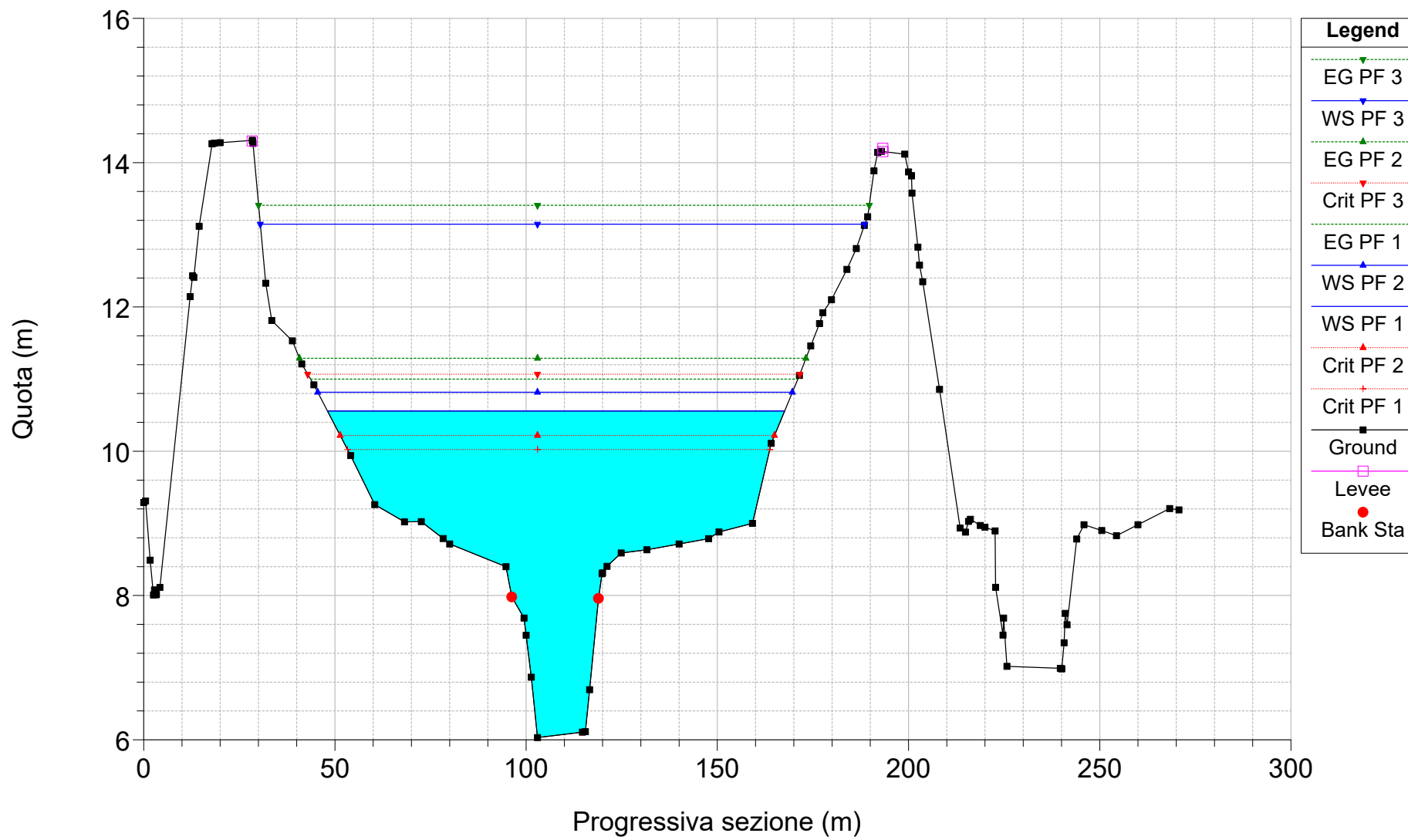
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.75 BR



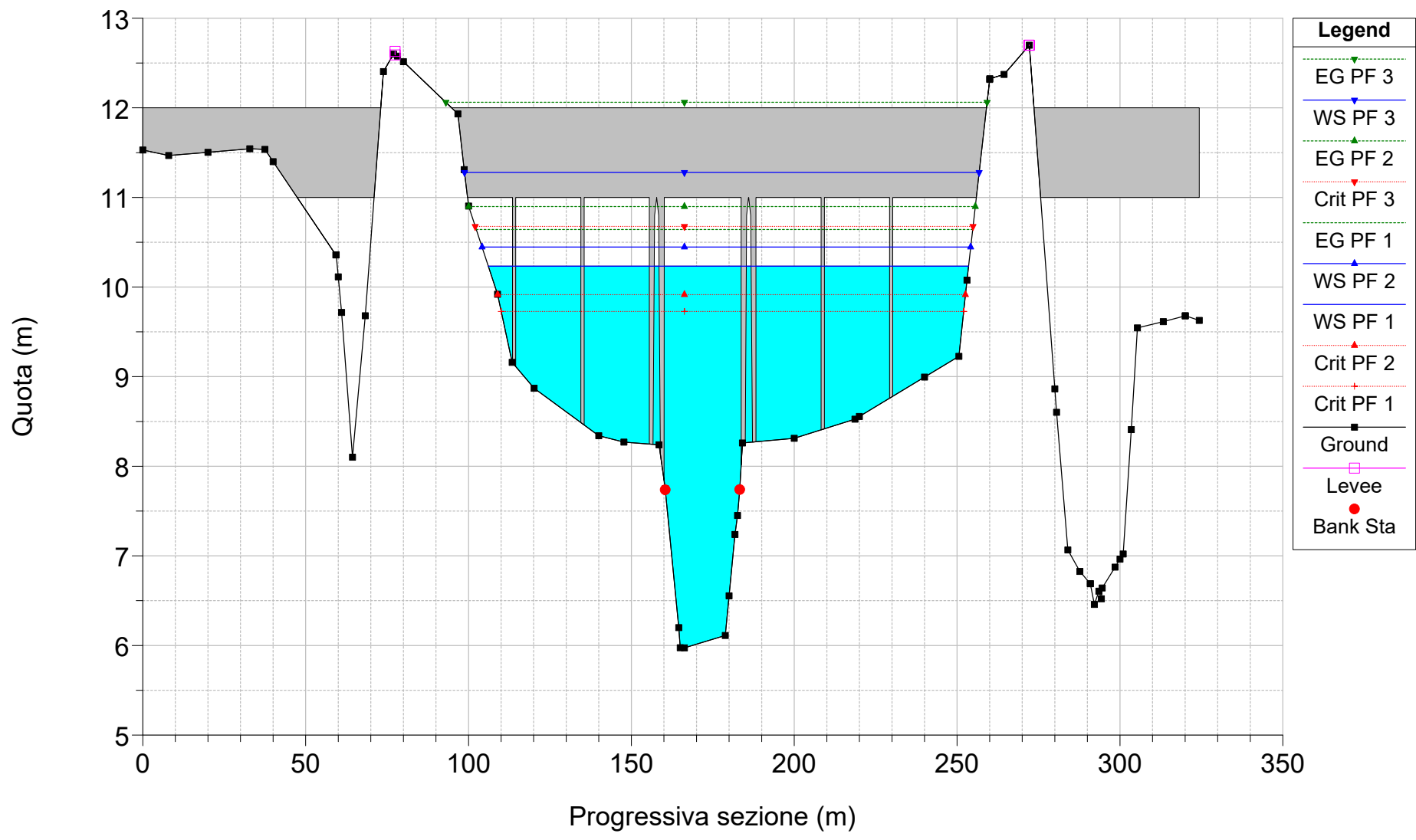
Candelaro_April2020

Plan: PostOperam_noguado_APR20

RS = 4.7



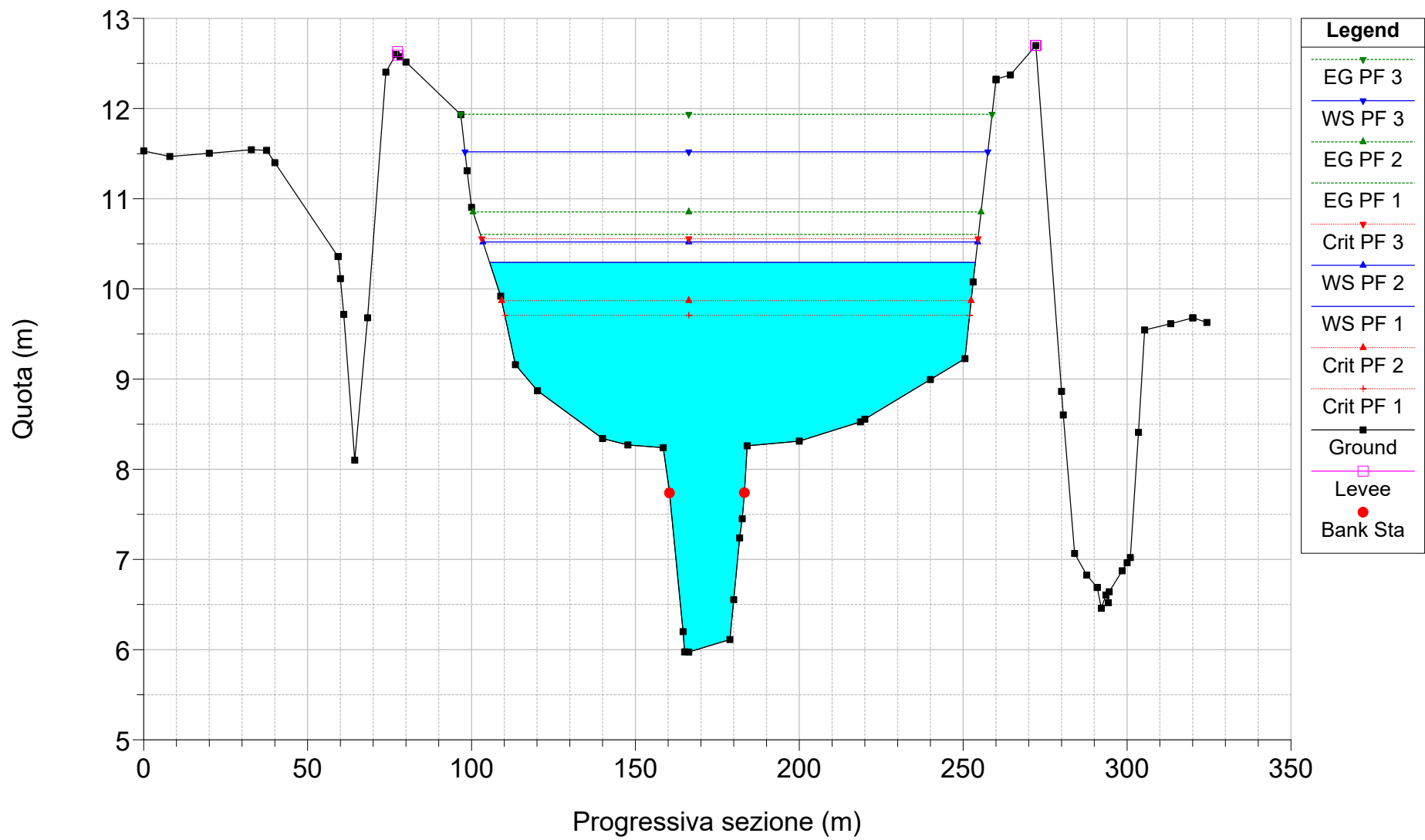
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.55 BR



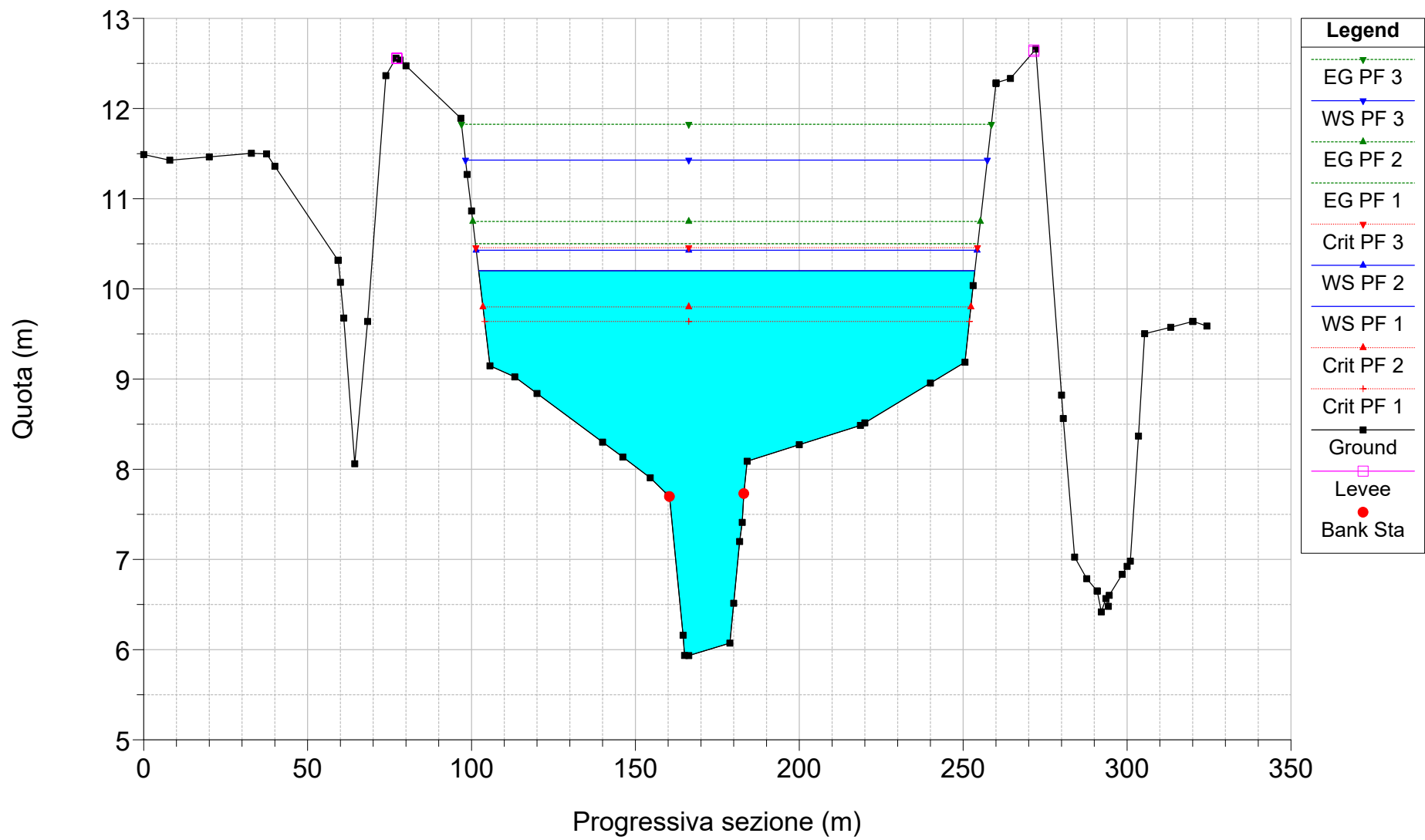
Candelaro_April2020

Plan: PostOperam_noguado_APR20

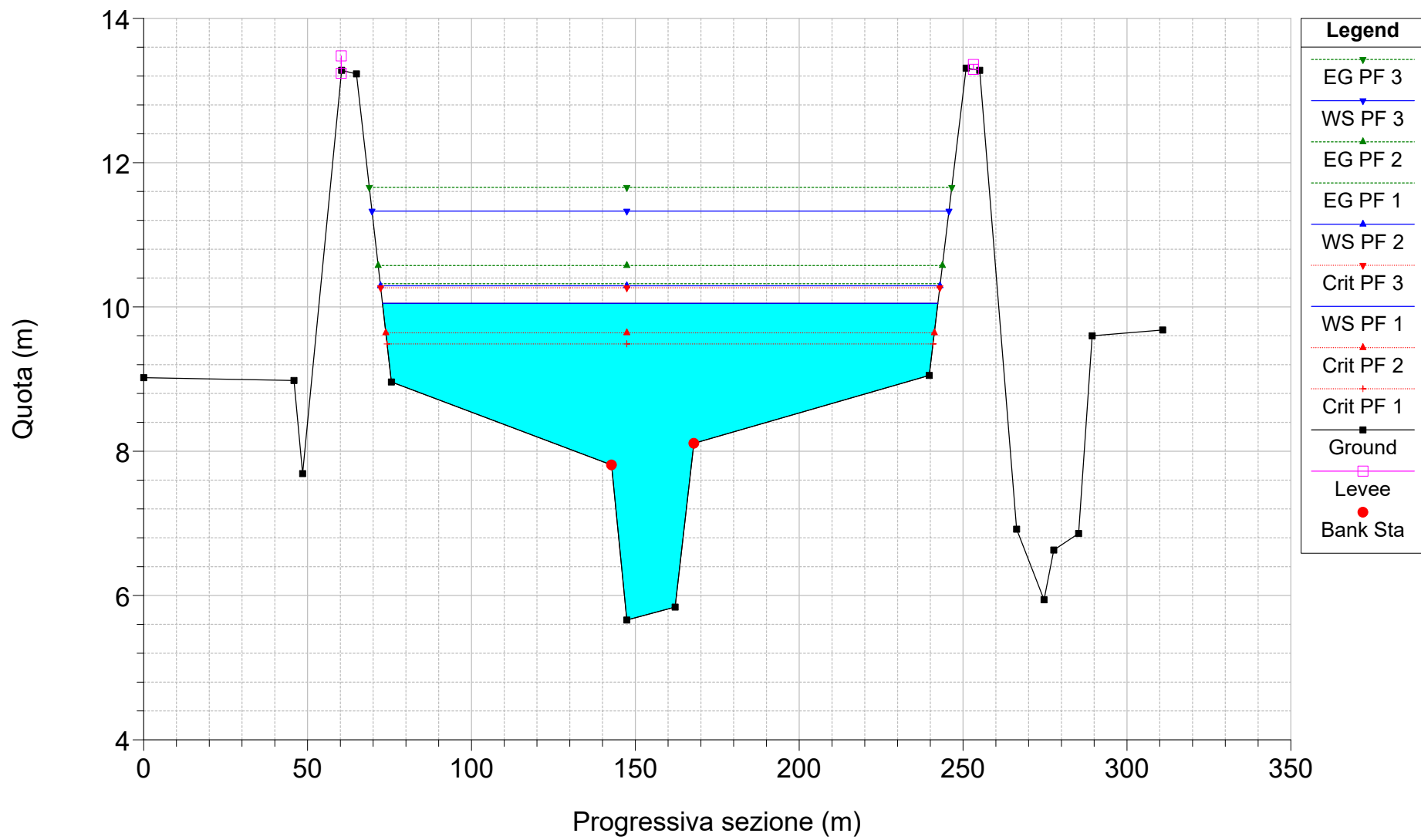
RS = 4.5



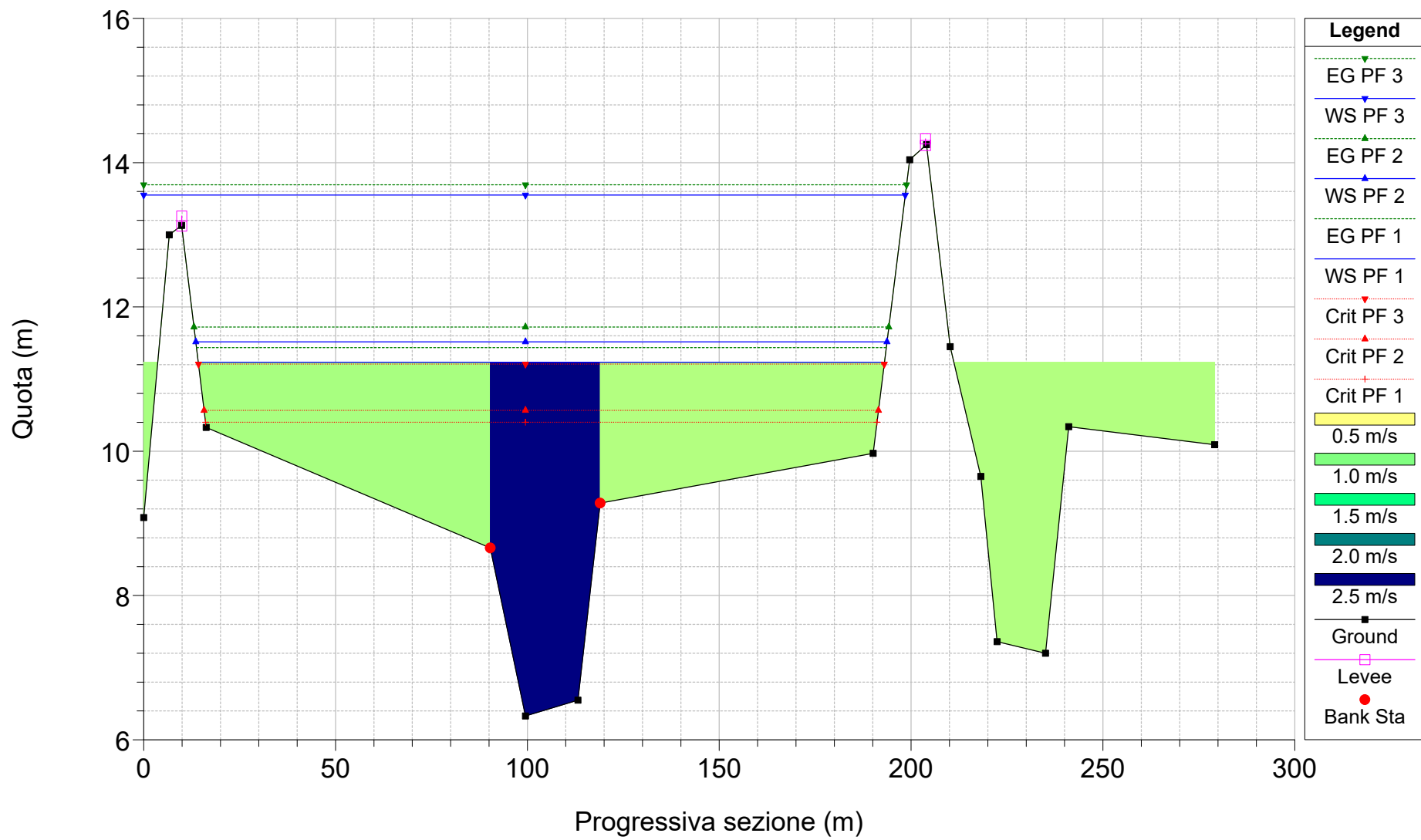
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 4 sez_rilev_07



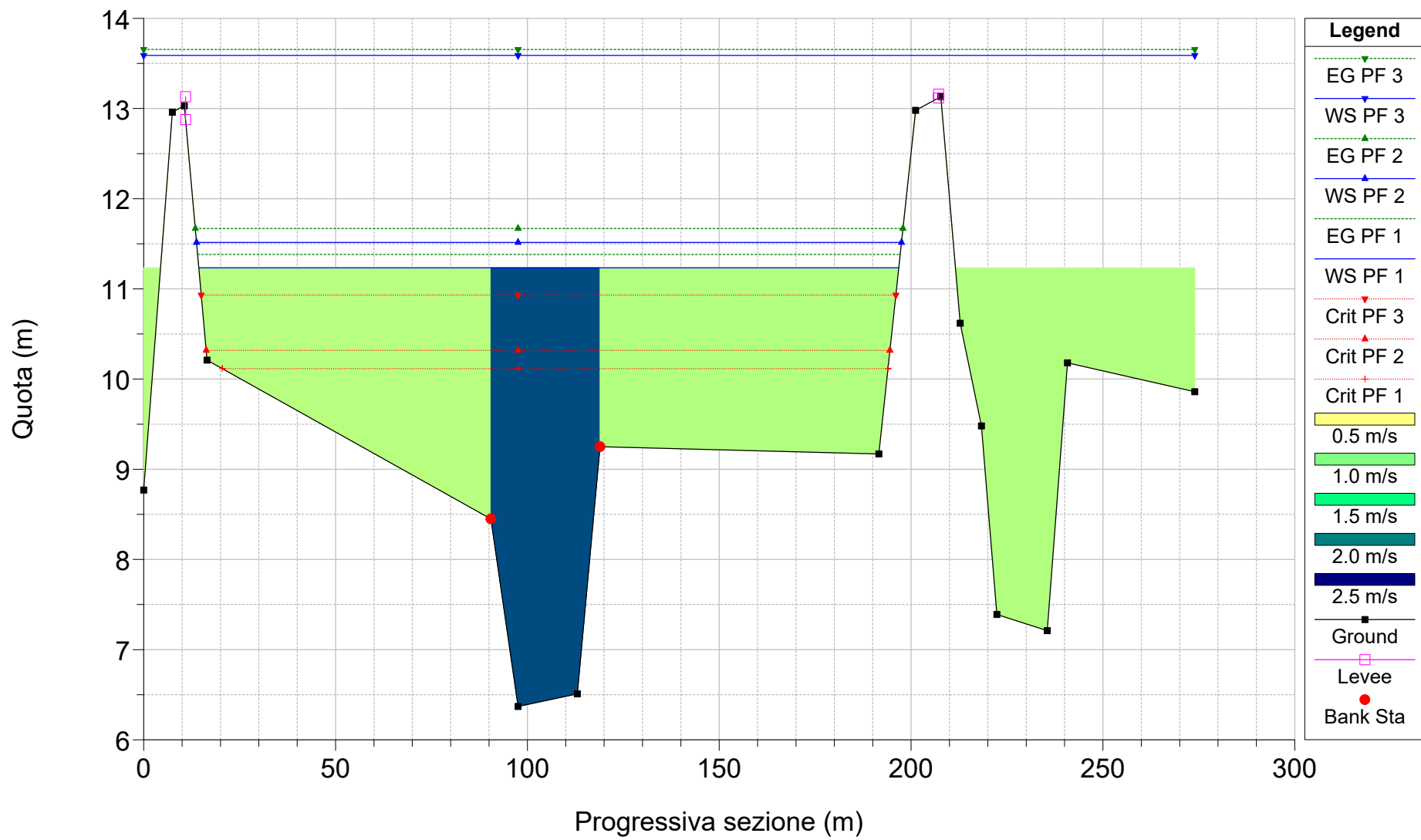
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 2 sez_rilev_09



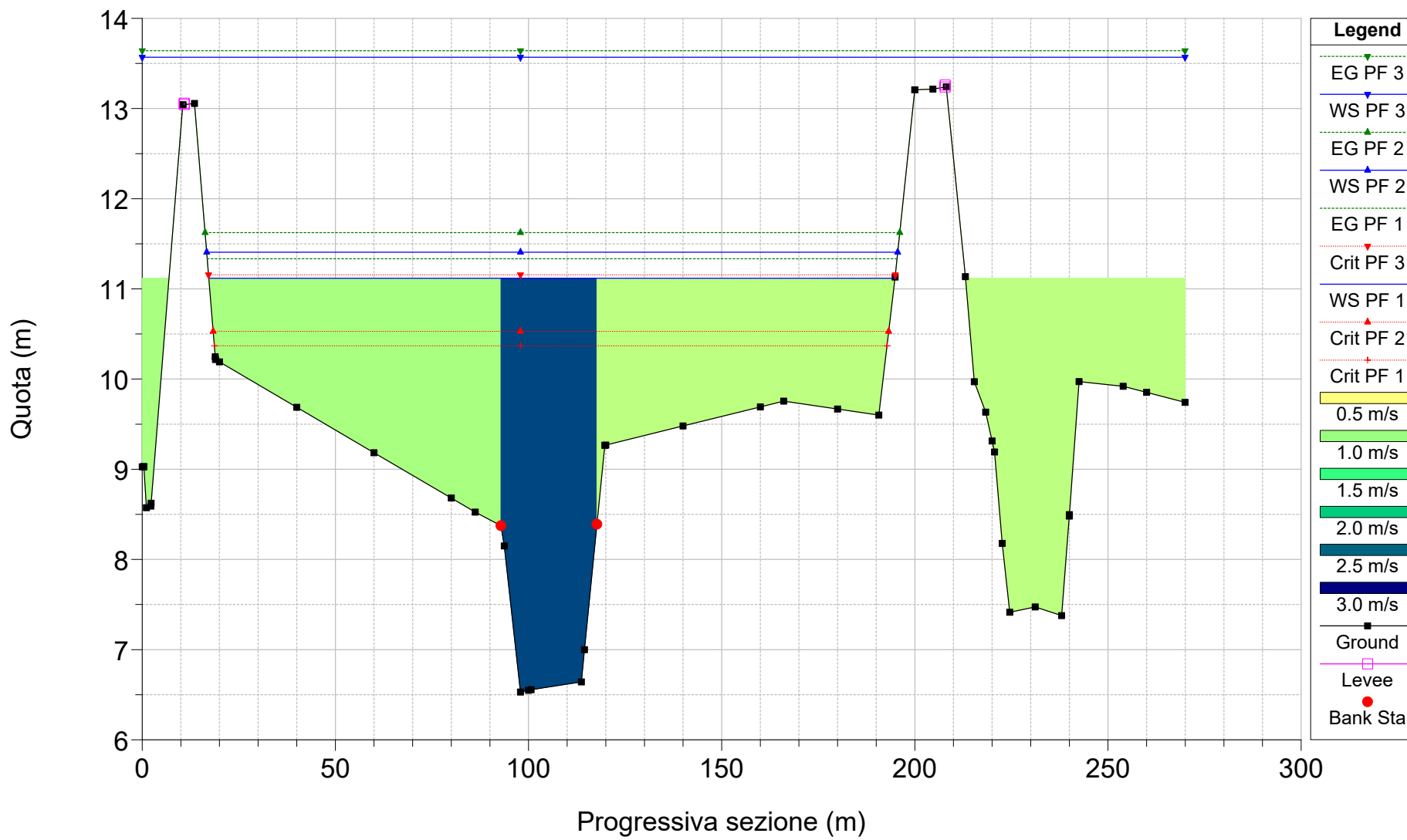
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



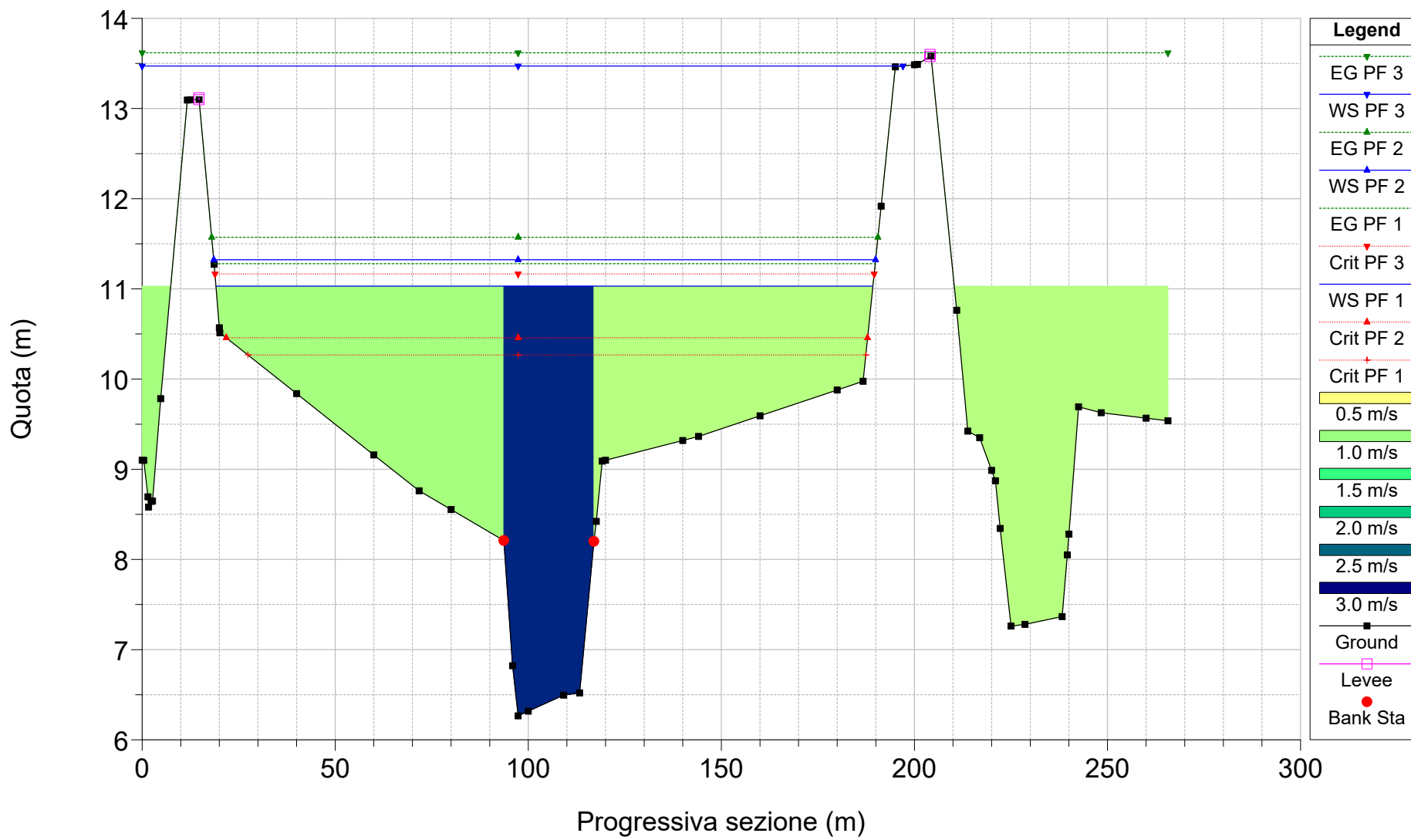
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 9 sez_rilev_02



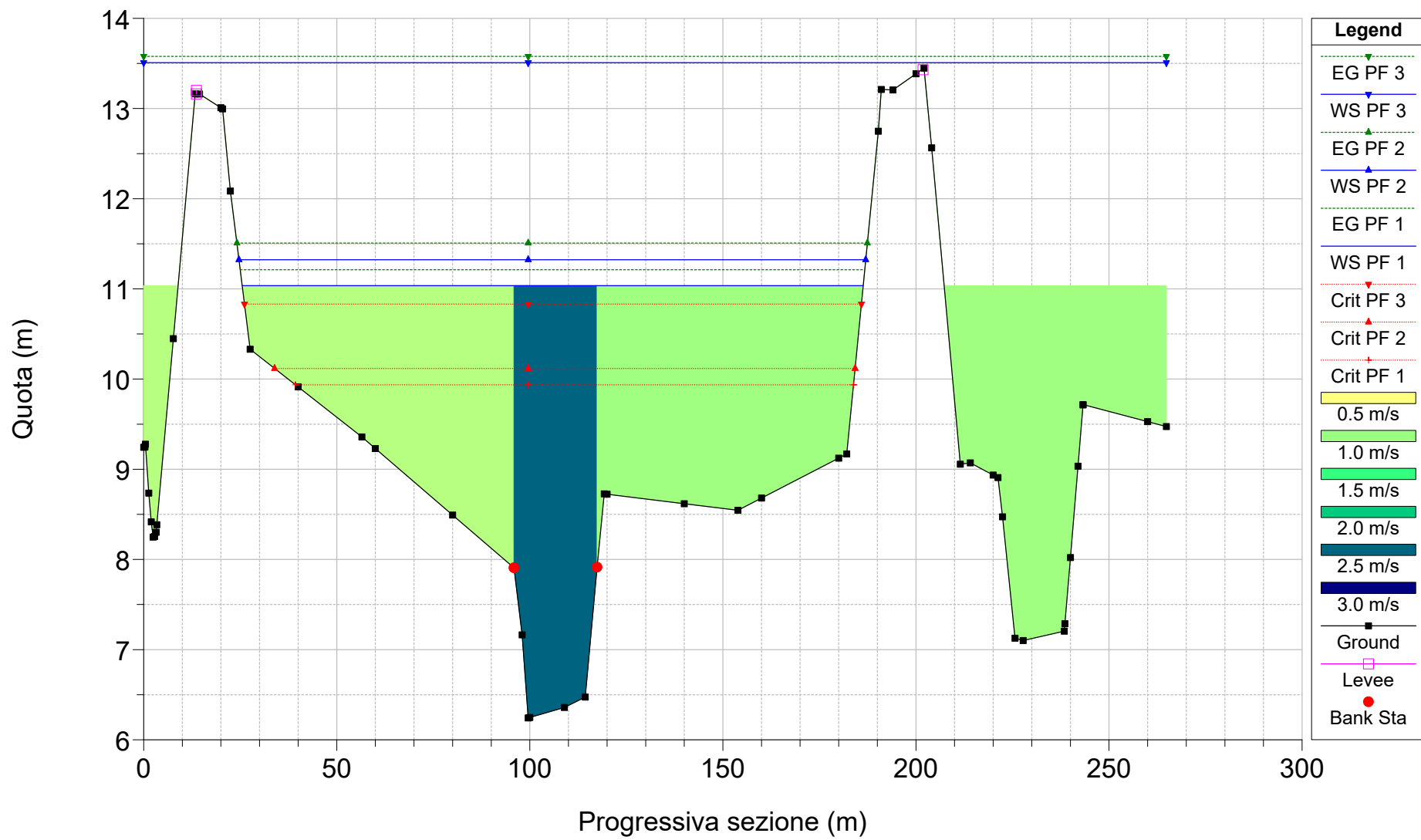
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 8 sez_rilev_03



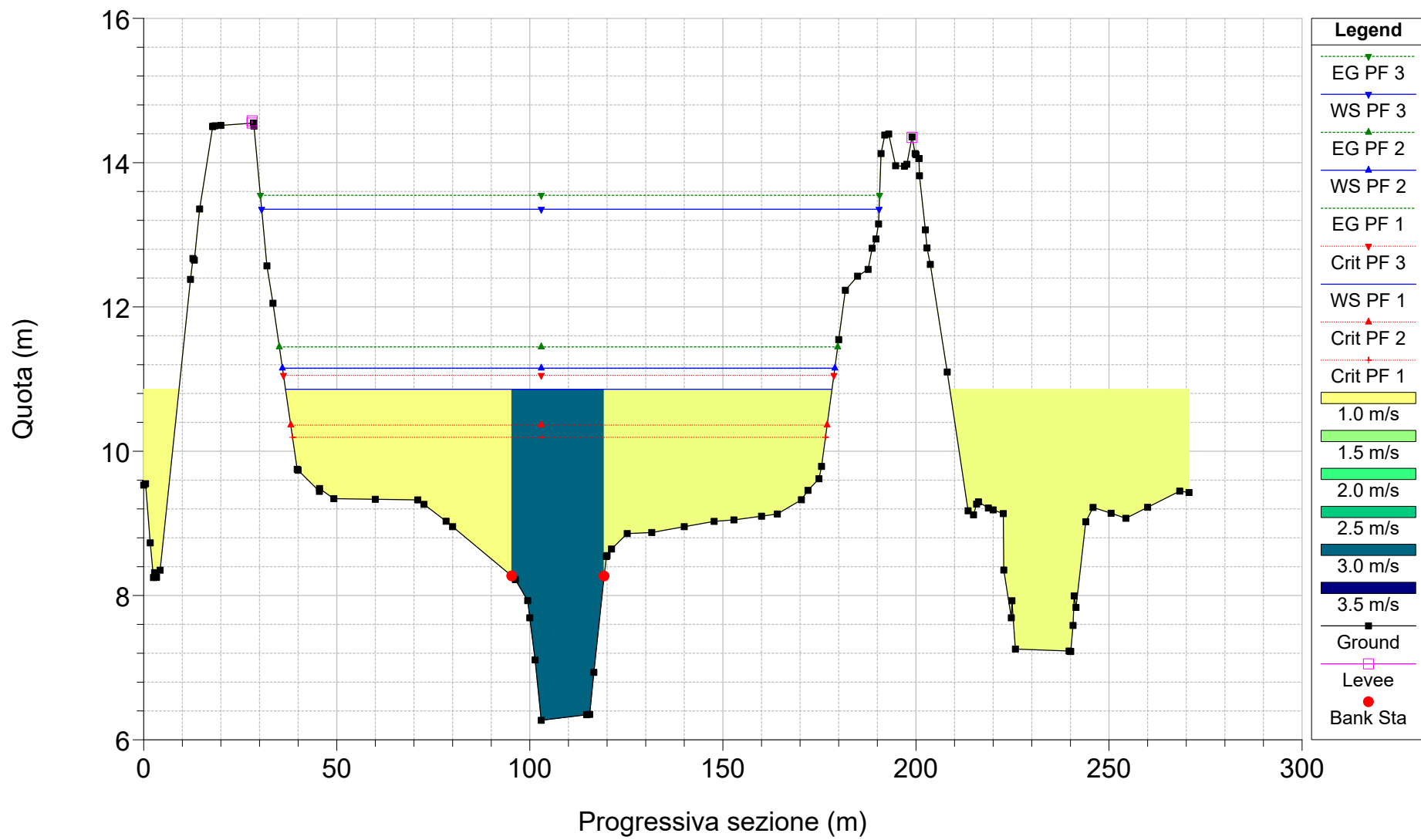
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 7 sez_rilev_04



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 6 sez_rilev_05



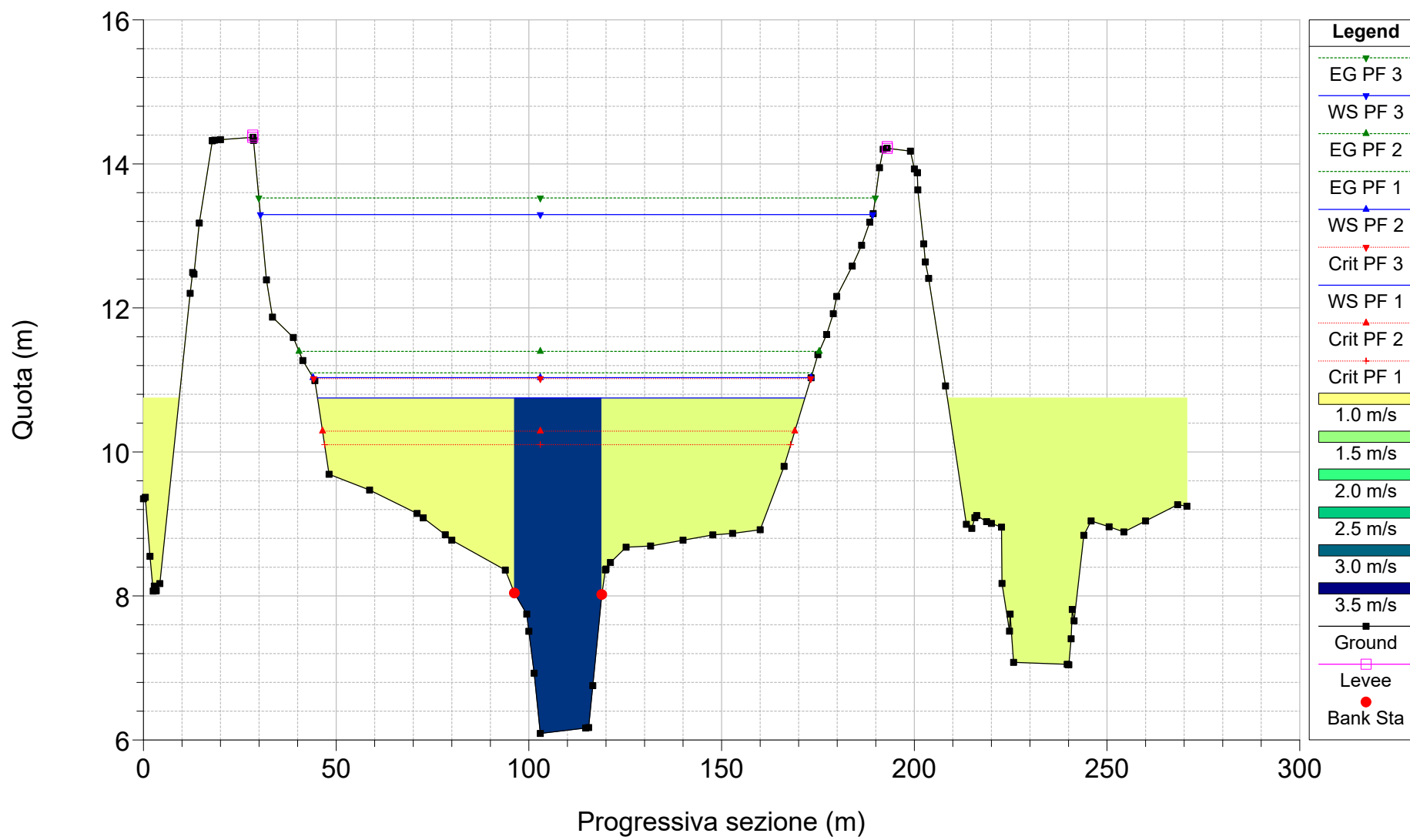
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 5 sez_rilev_06



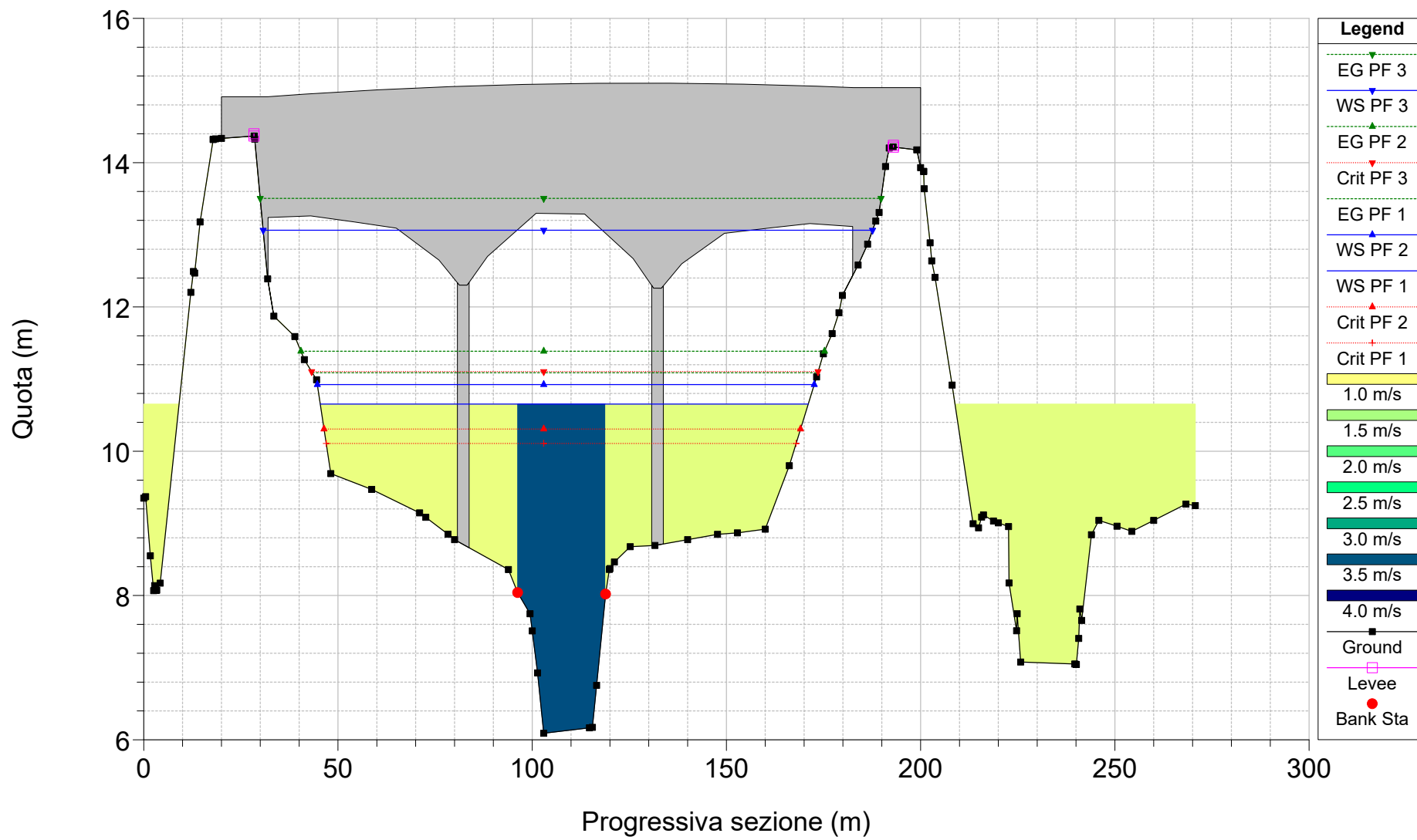
Candelaro_April2020

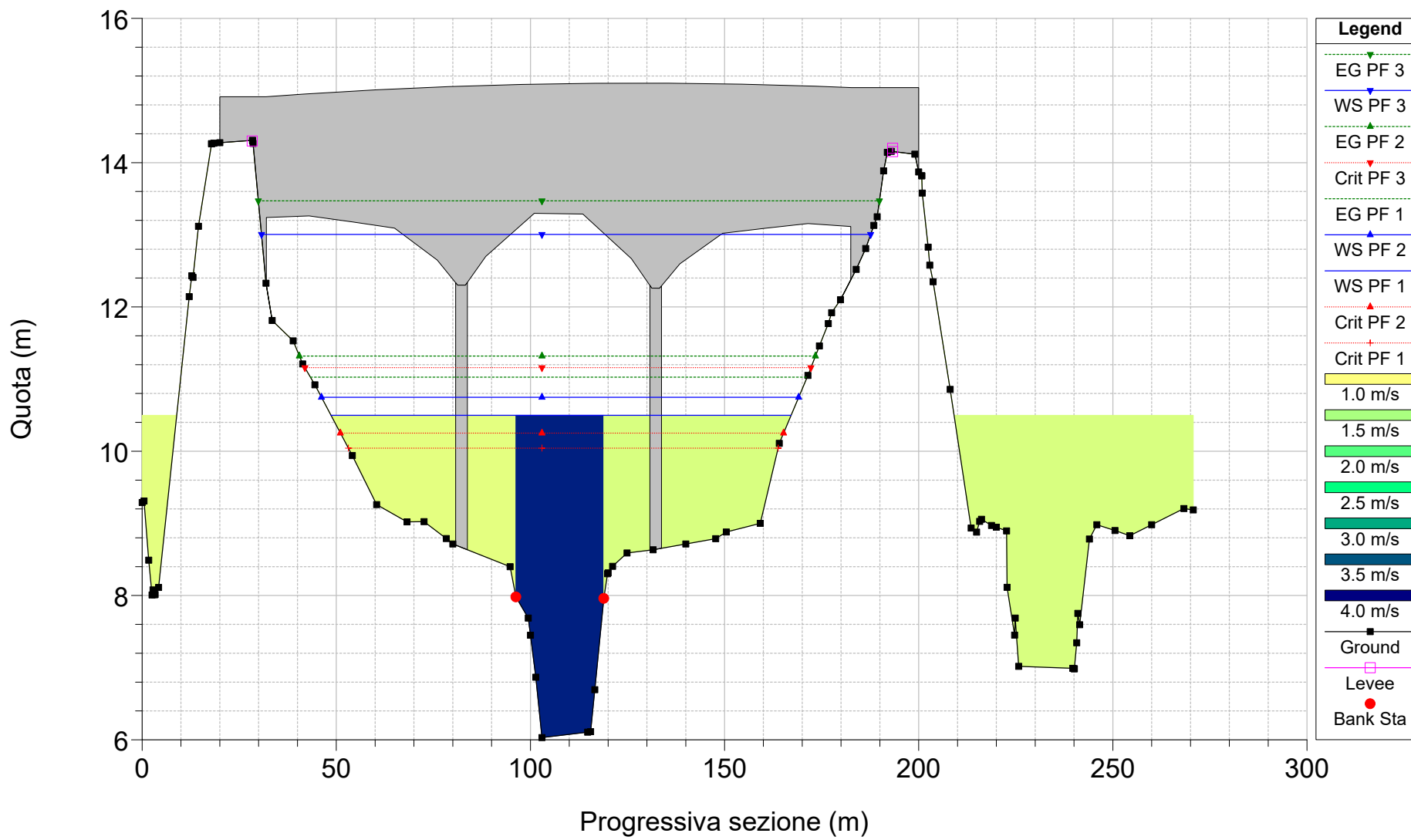
Plan: PostOperam_noguado_APR20

RS = 4.8



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.75 BR

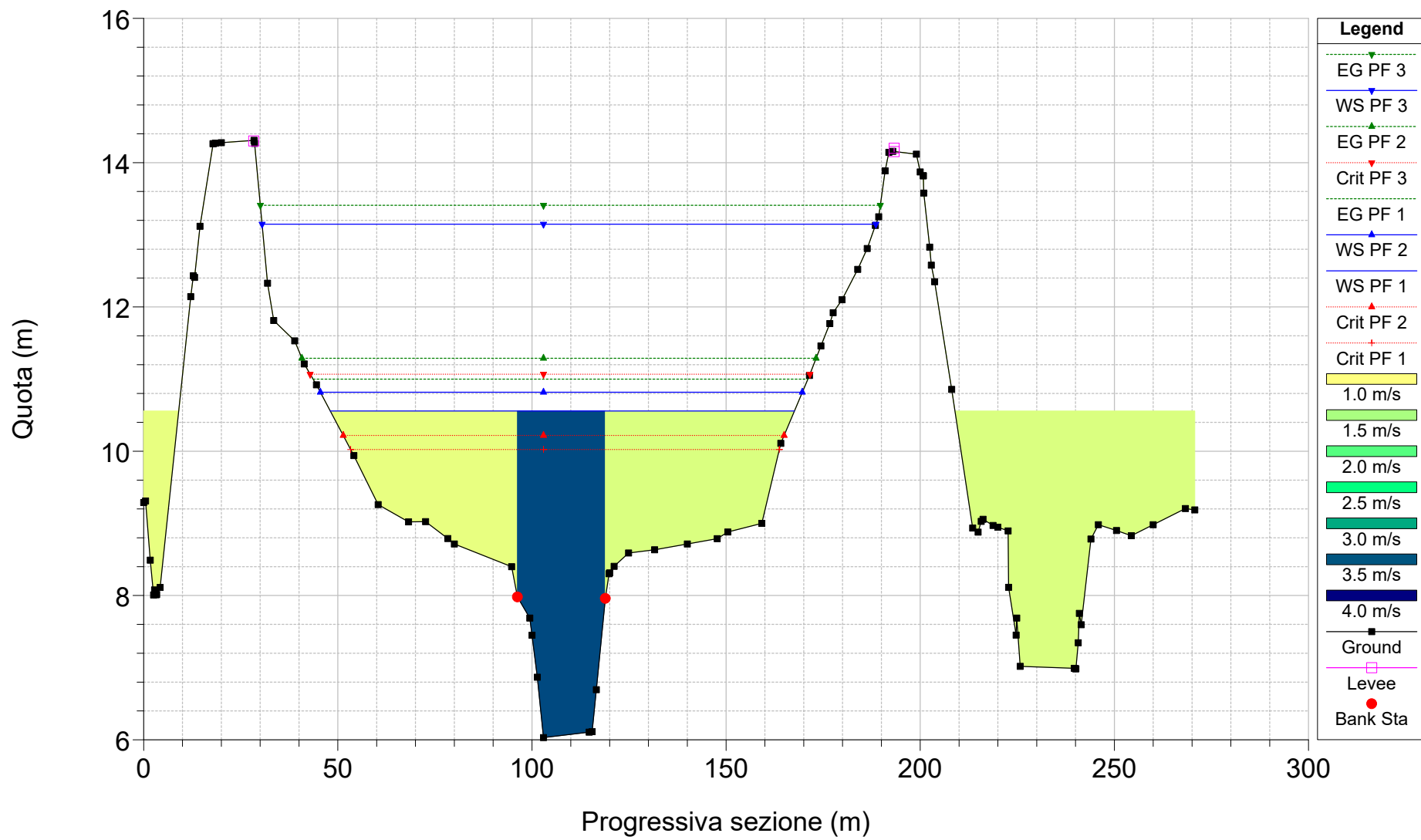




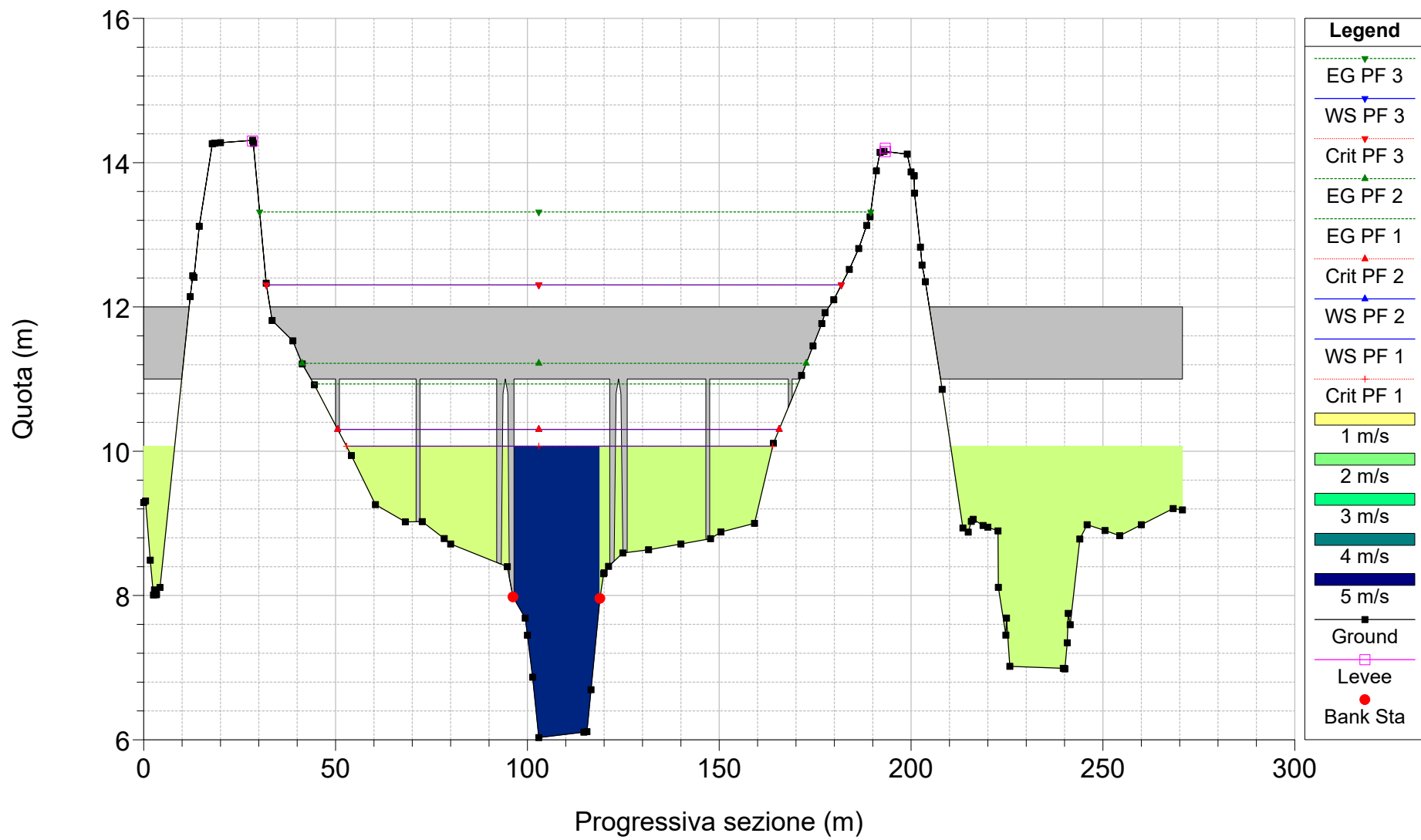
Candelaro_April2020

Plan: PostOperam_noguado_APR20

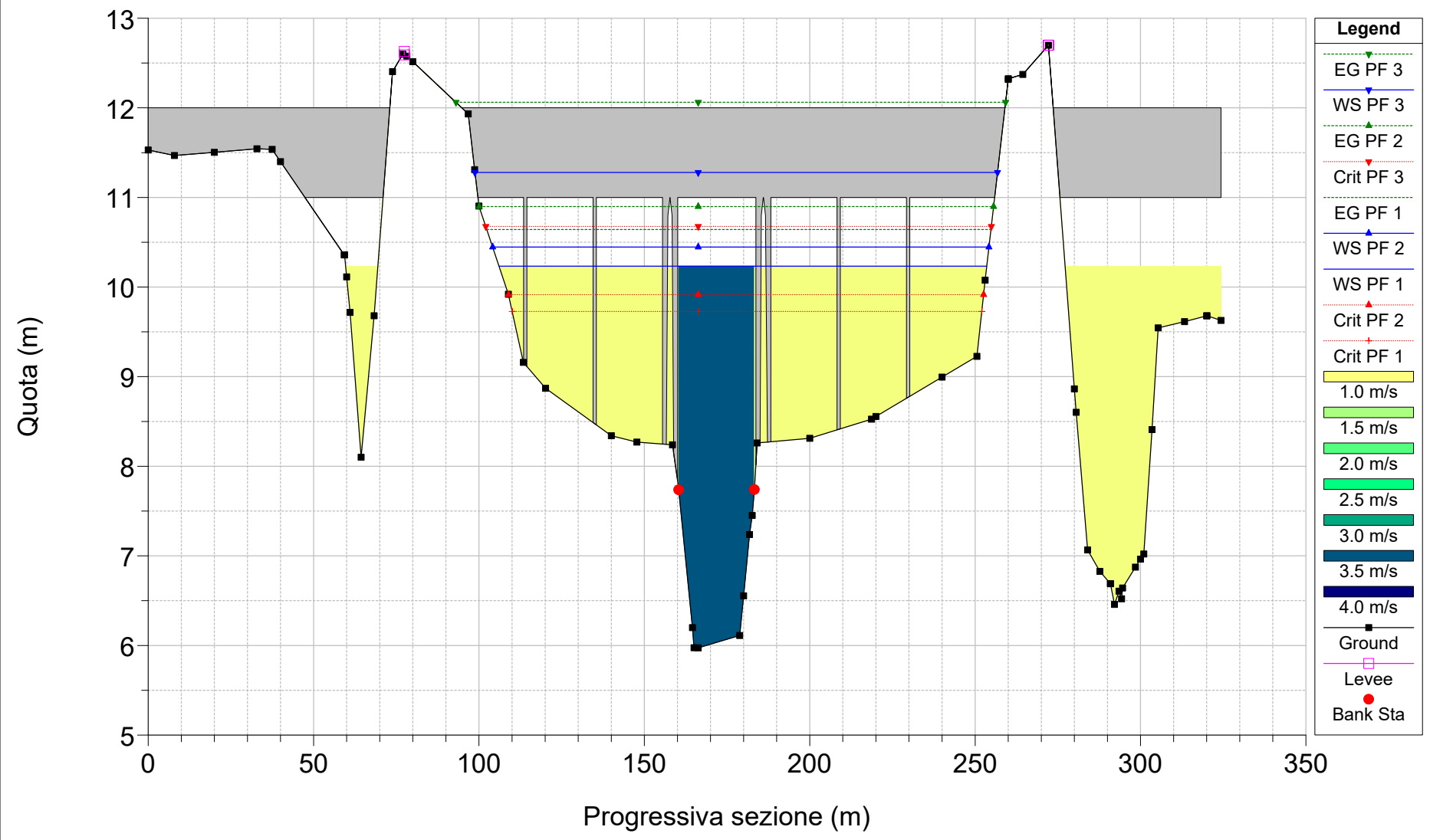
RS = 4.7



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.55 BR

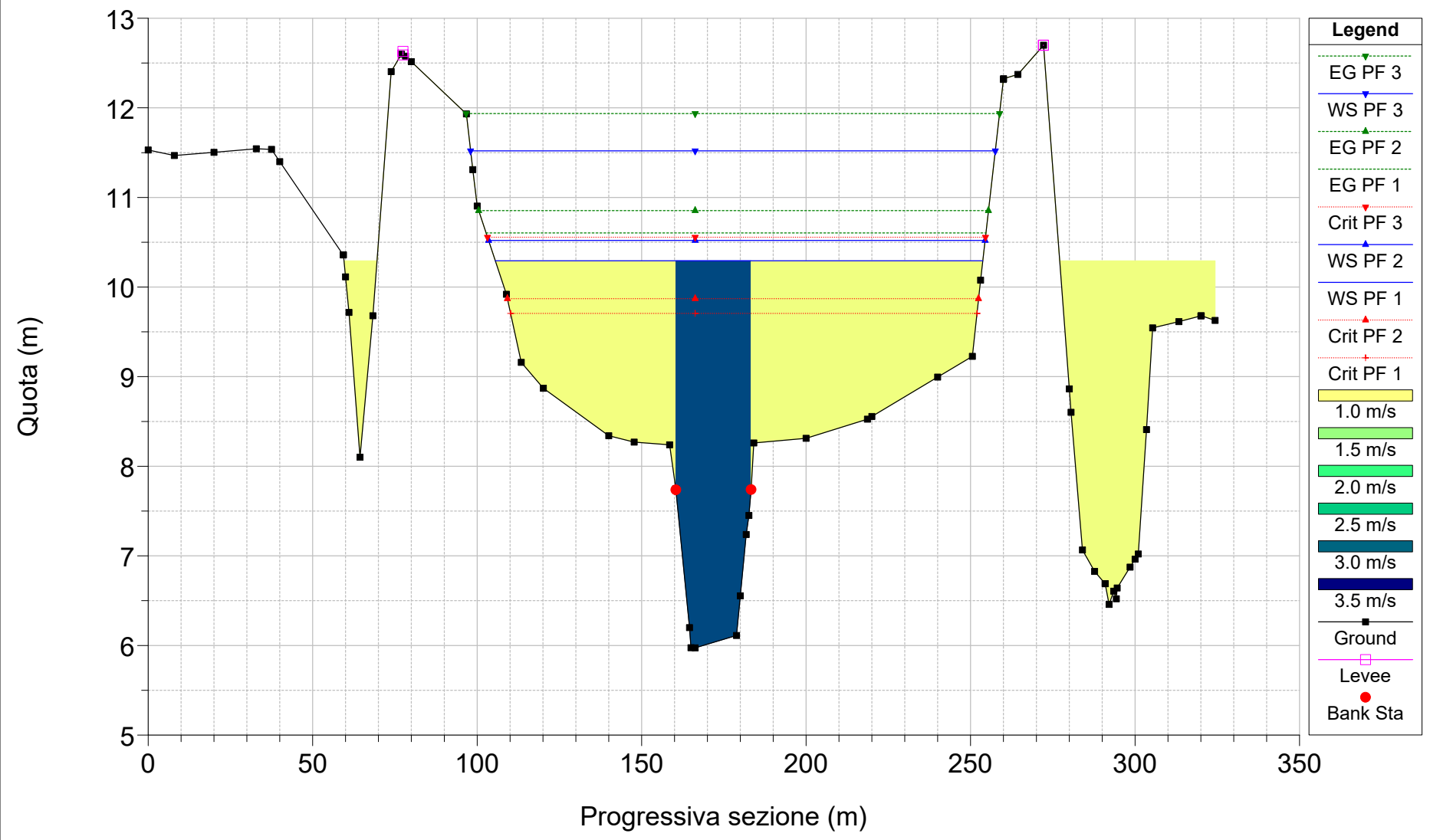


Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 4.55 BR



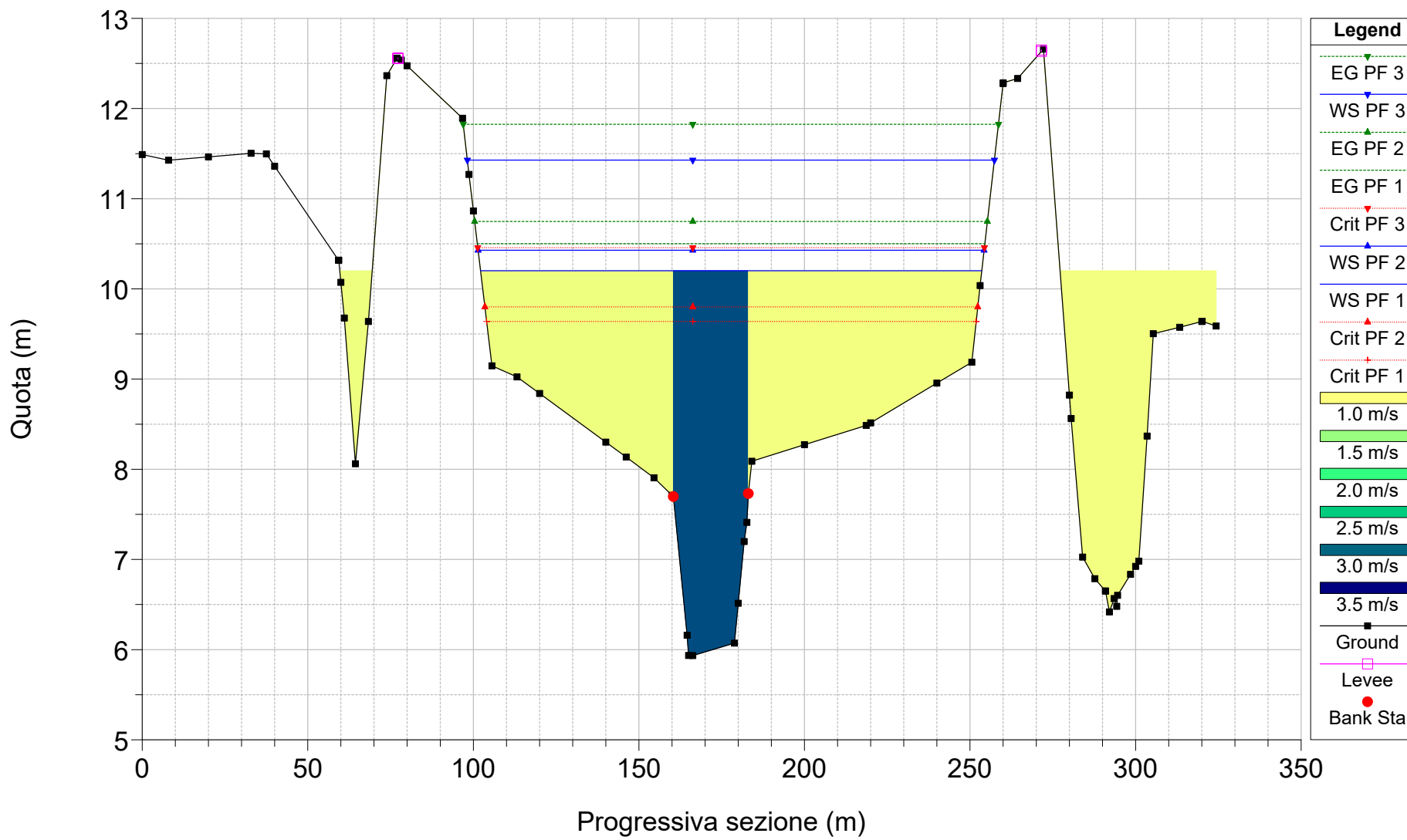
- Legend**
- EG PF 3
 - WS PF 3
 - EG PF 2
 - Crit PF 3
 - EG PF 1
 - WS PF 2
 - WS PF 1
 - Crit PF 2
 - Crit PF 1
 - 1.0 m/s
 - 1.5 m/s
 - 2.0 m/s
 - 2.5 m/s
 - 3.0 m/s
 - 3.5 m/s
 - 4.0 m/s
 - Ground
 - Levee
 - Bank Sta

Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4.5

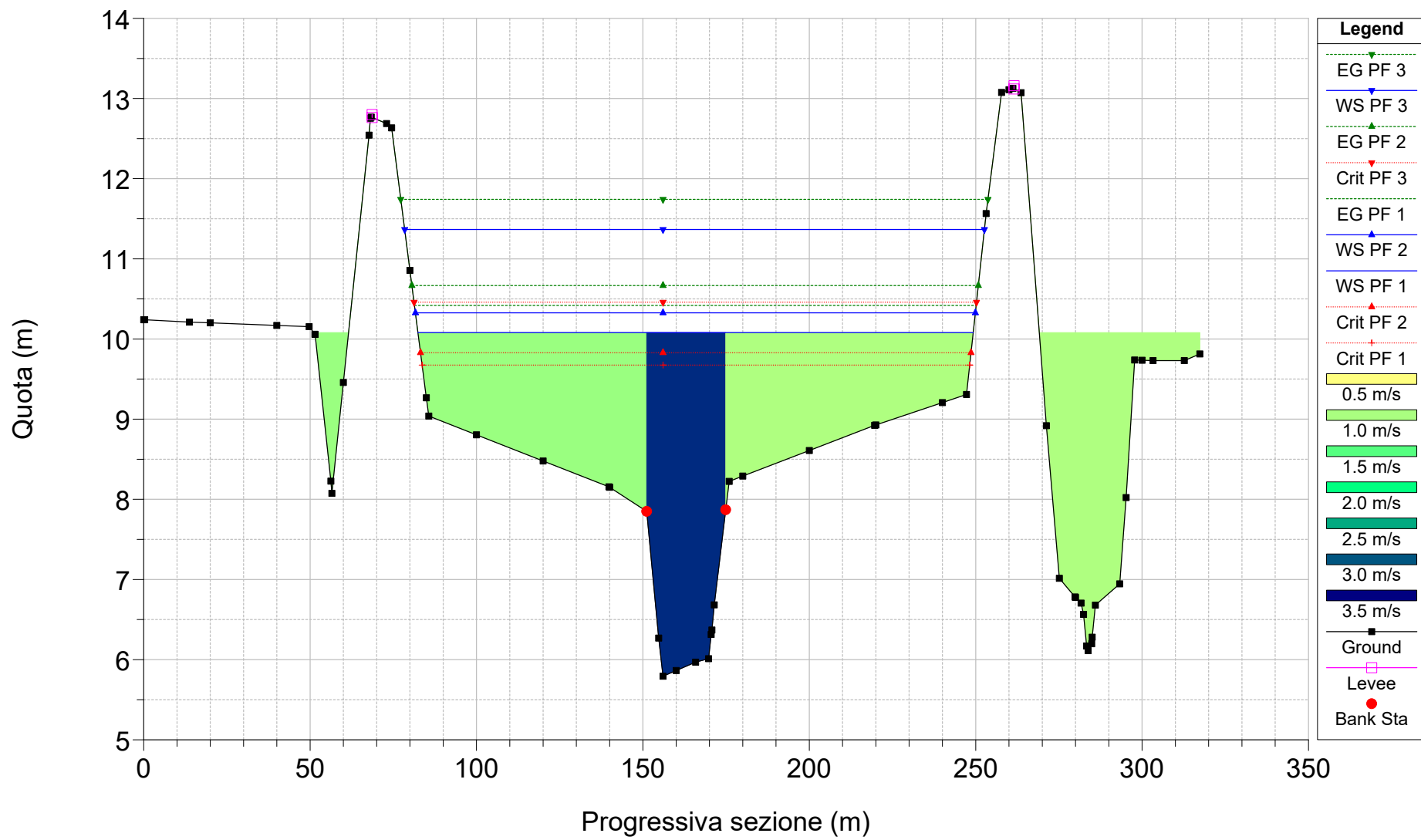


- Legend**
- EG PF 3
 - WS PF 3
 - EG PF 2
 - EG PF 1
 - Crit PF 3
 - WS PF 2
 - WS PF 1
 - Crit PF 2
 - Crit PF 1
 - 1.0 m/s
 - 1.5 m/s
 - 2.0 m/s
 - 2.5 m/s
 - 3.0 m/s
 - 3.5 m/s
 - Ground
 - Levee
 - Bank Sta

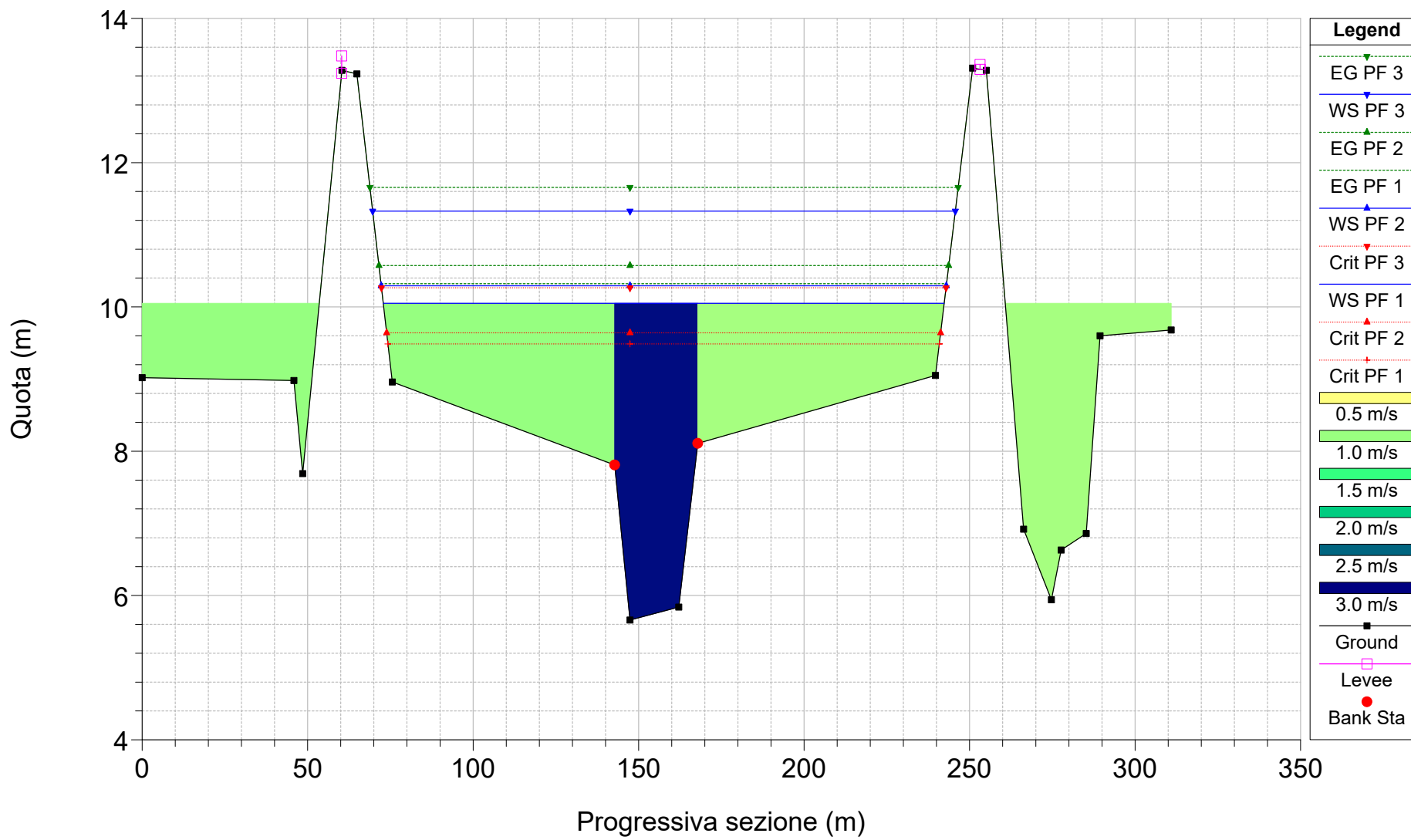
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 4 sez_rilev_07



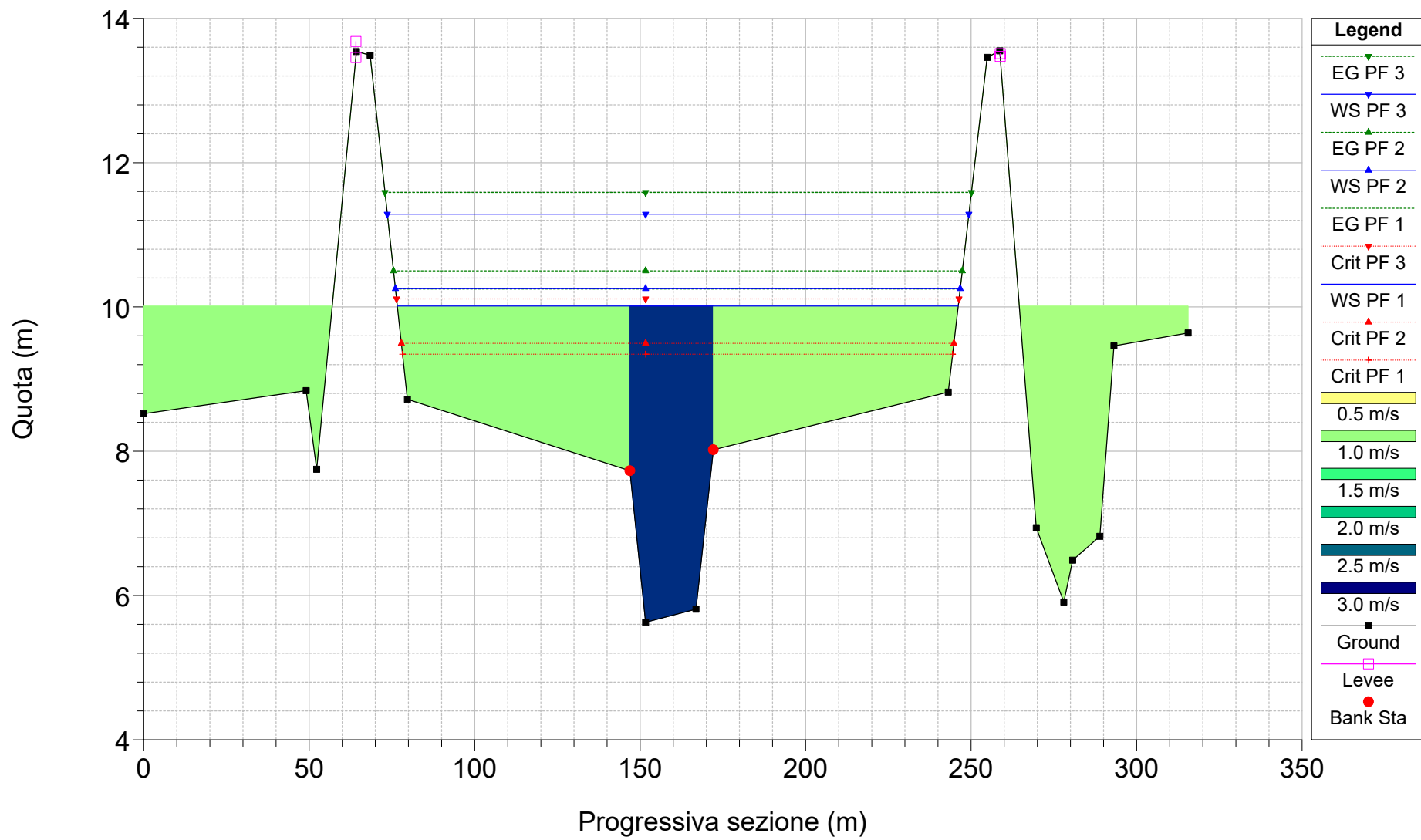
Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 3 sez_rilev_08



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
RS = 2 sez_rilev_09



Candelaro_April2020 Plan: PostOperam_noguado_APR20
 RS = 1 sez_rilev_10_(valle)



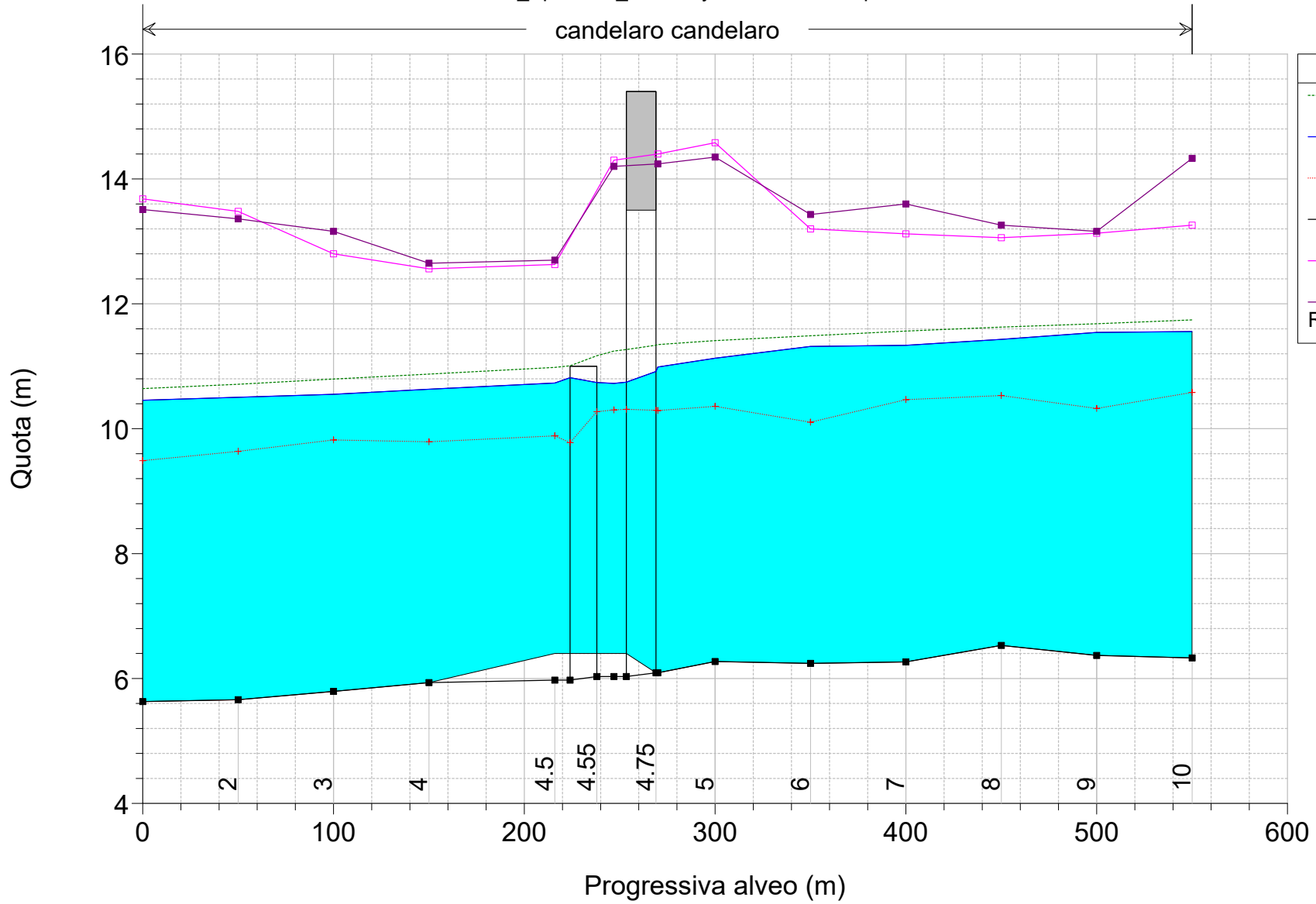
Appendice C

Verifiche di moto vario

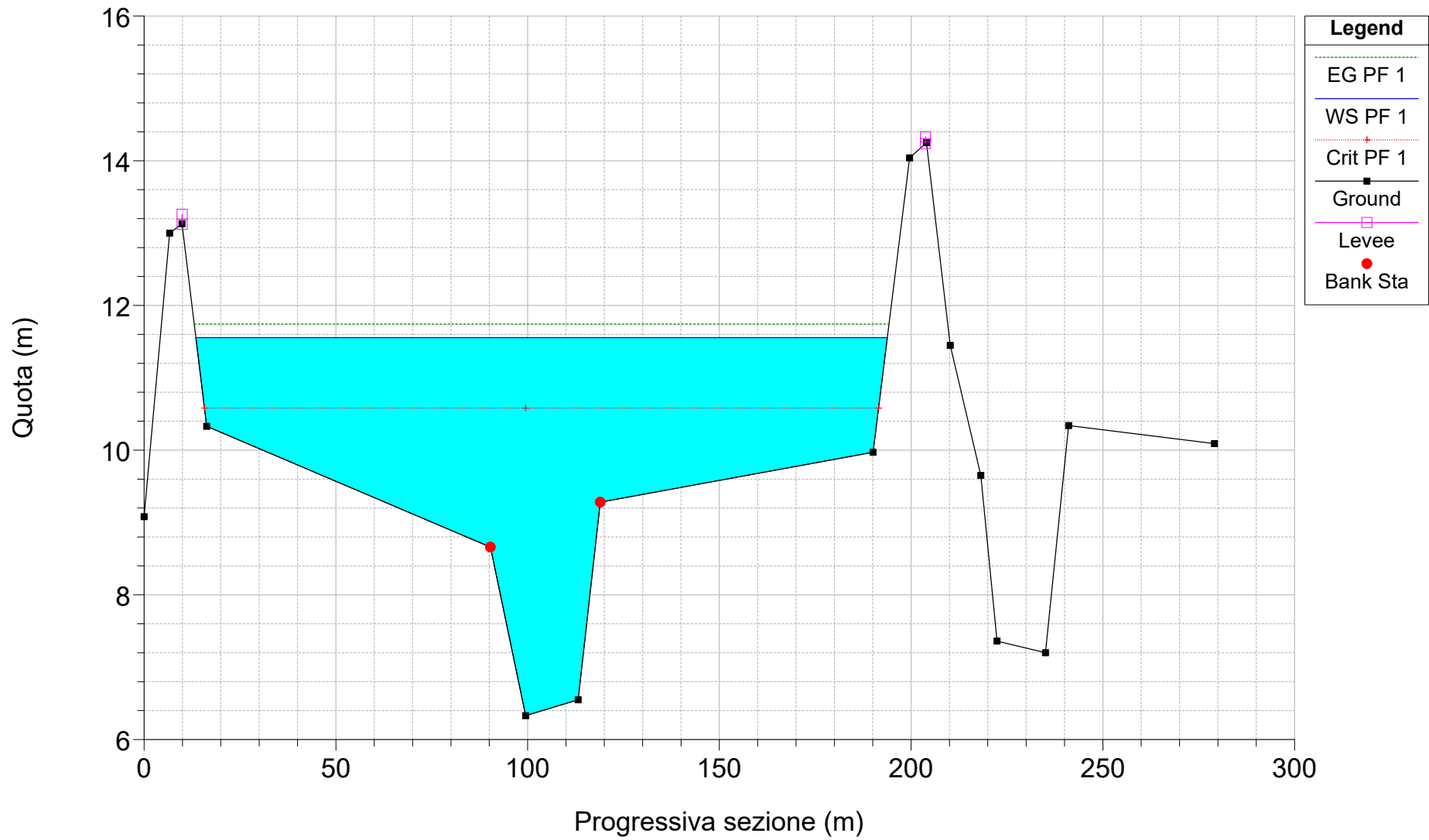
Condizioni ante operam
(portata al colmo di piena, 615 m³/s)

candelaro candelaro

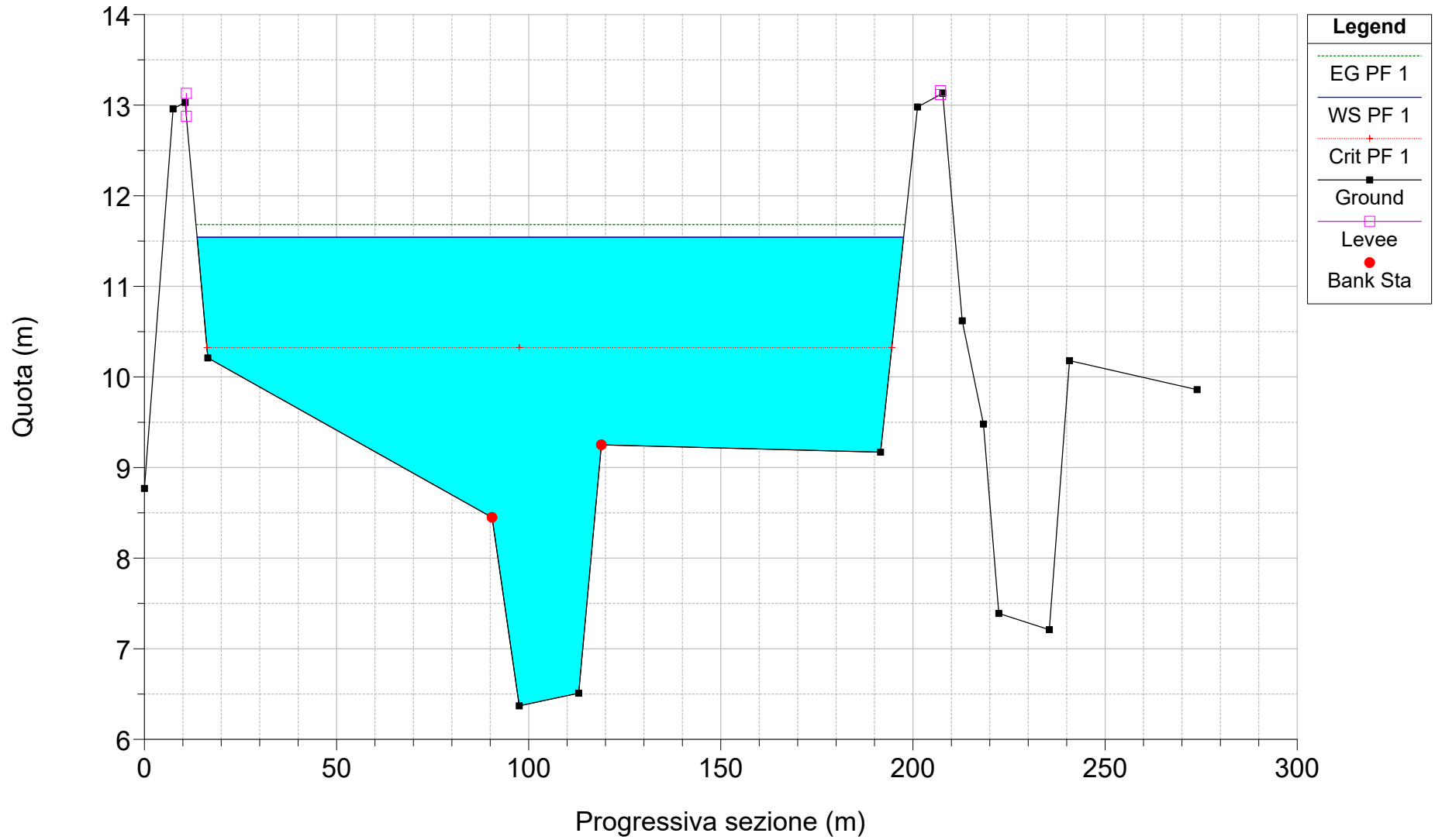
Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Left Levee	
Right Levee	



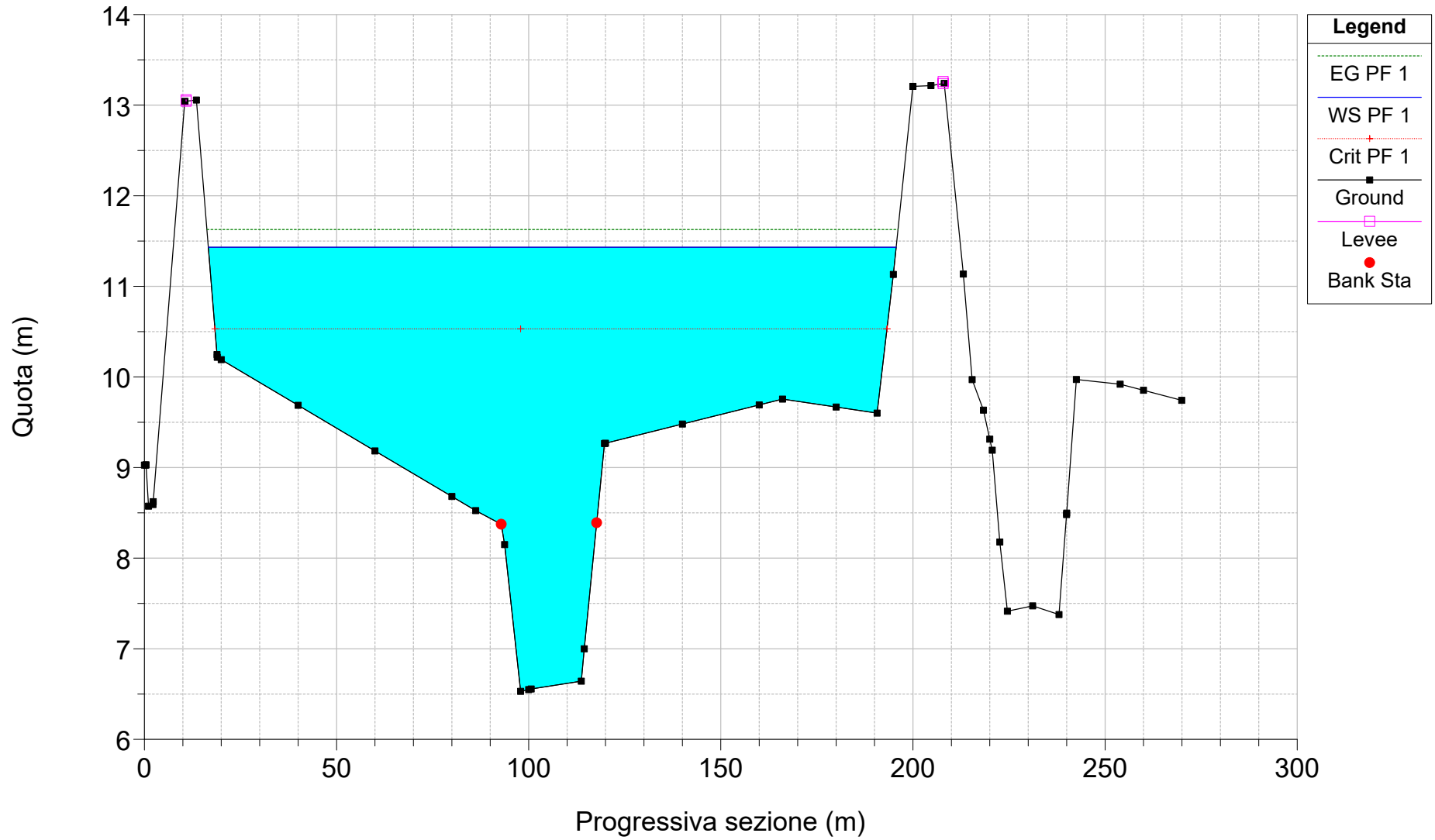
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



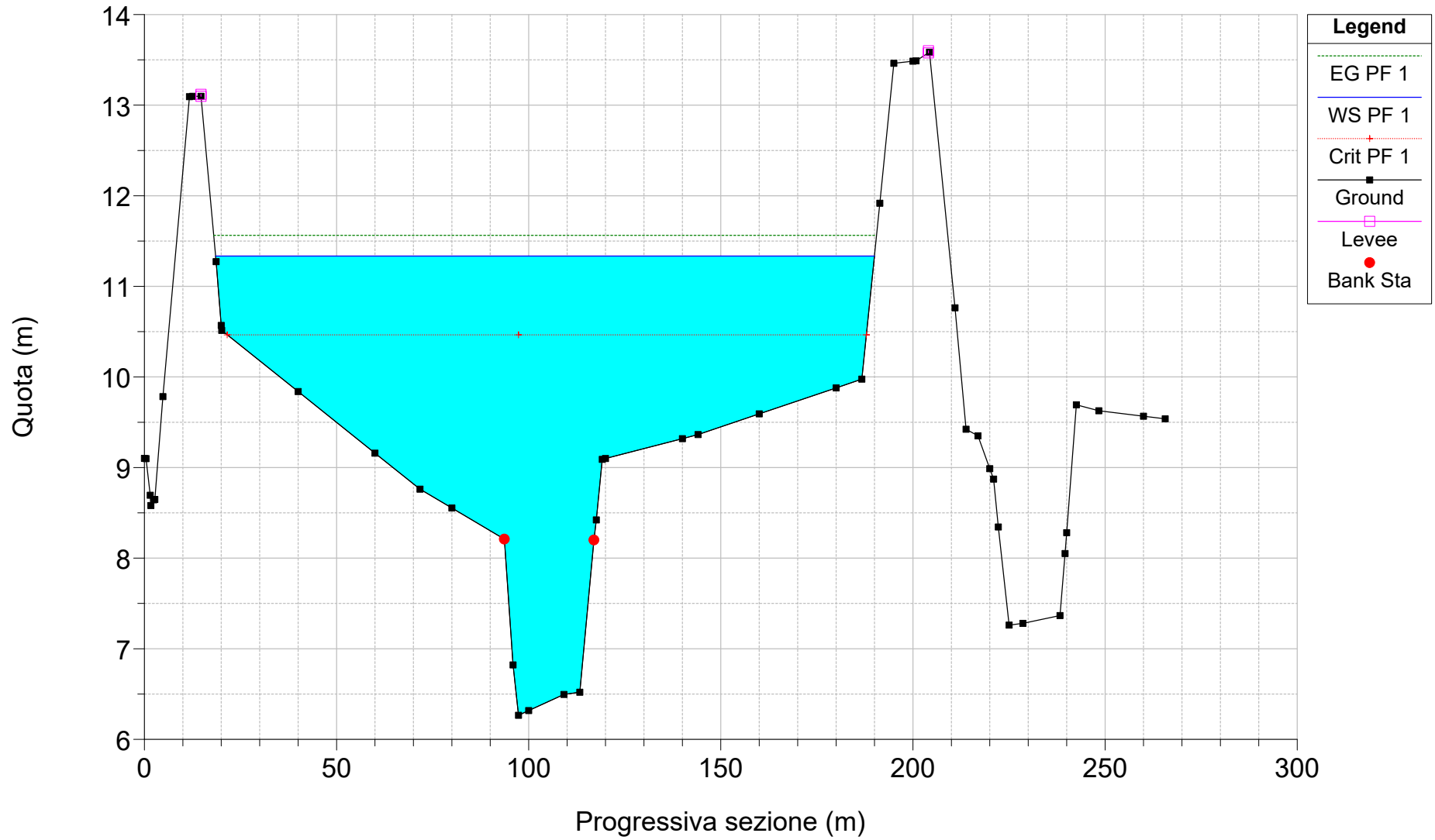
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 9 sez_rilev_02



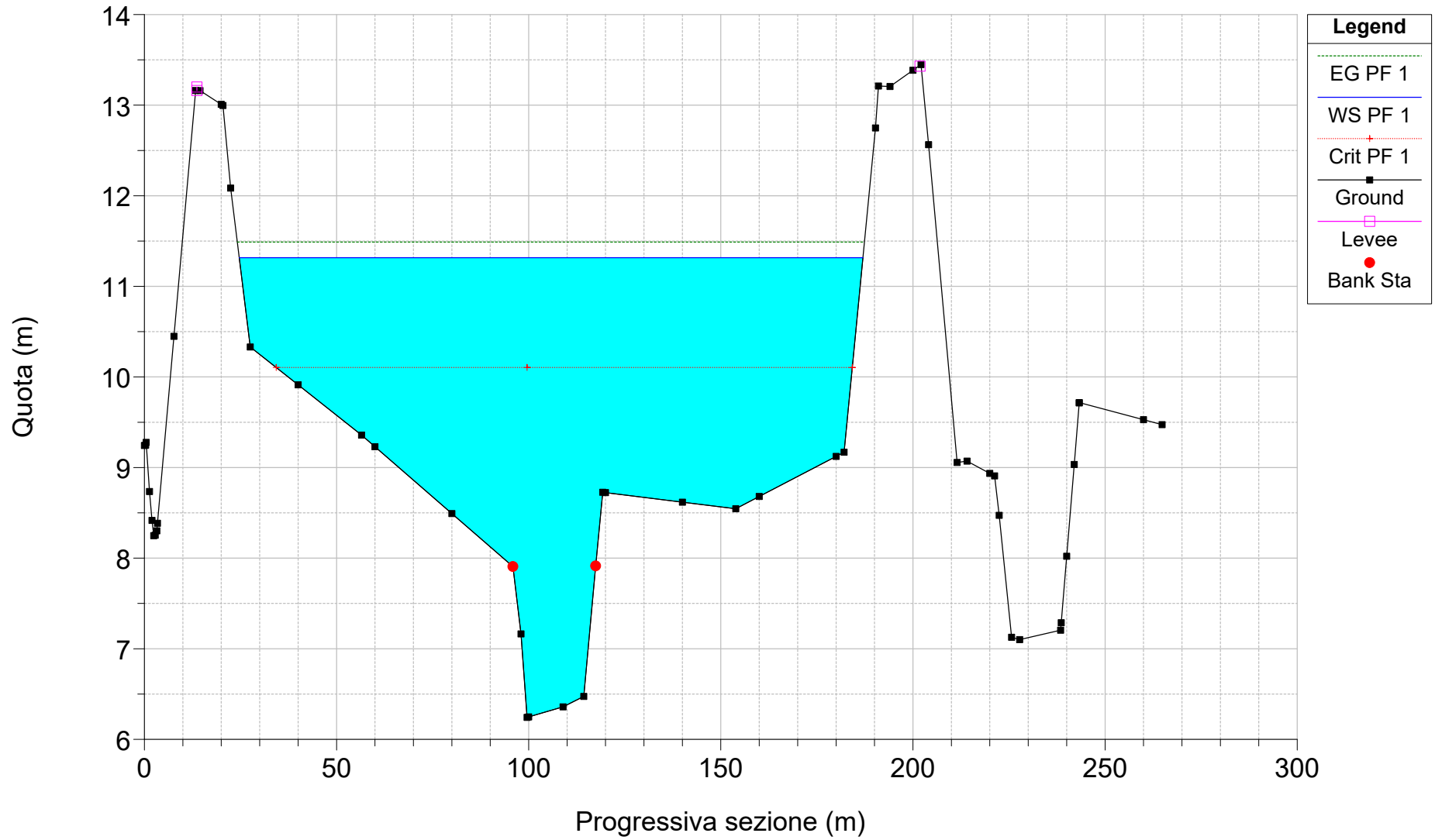
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 8 sez_rilev_03



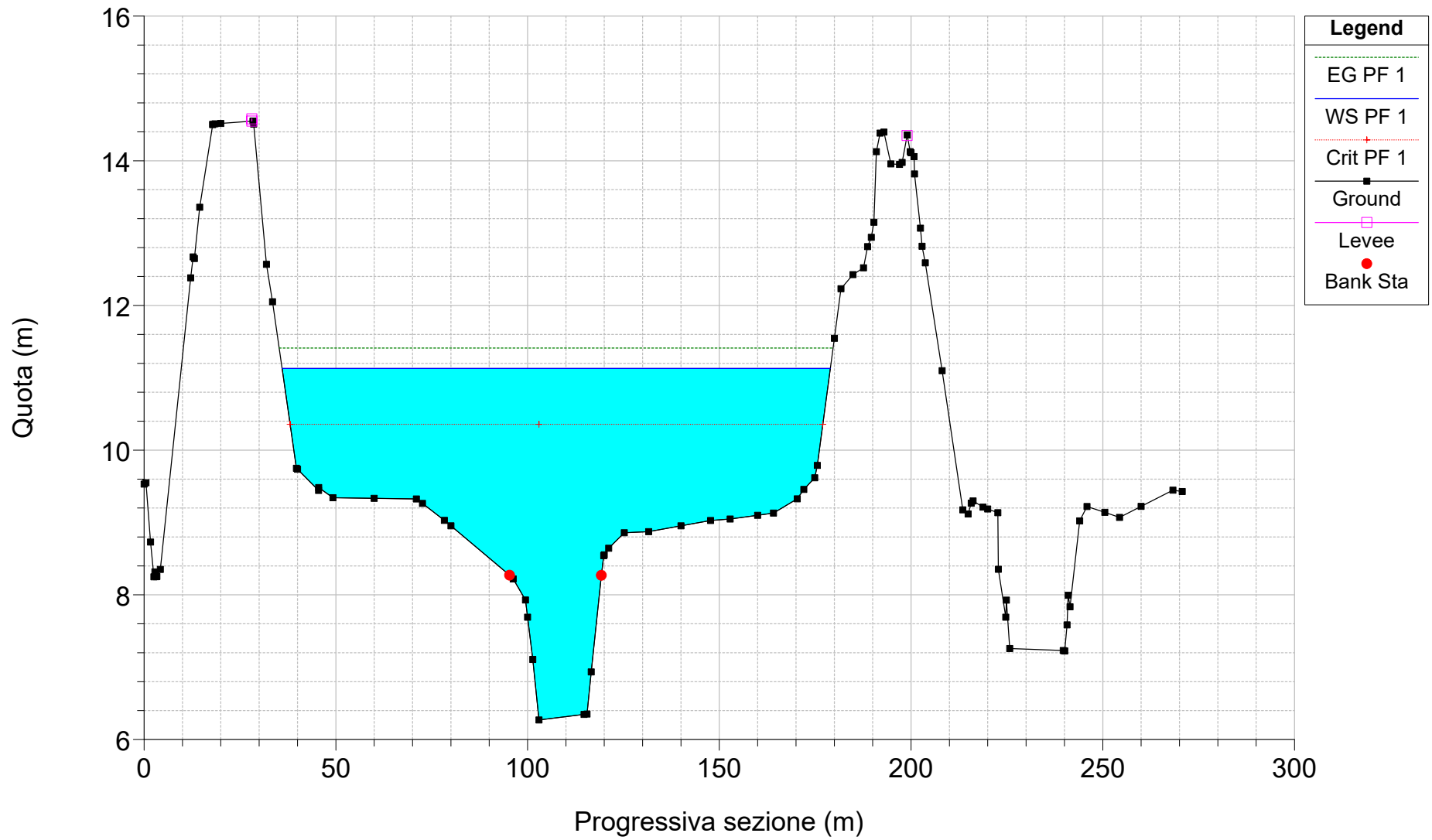
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 7 sez_rilev_04



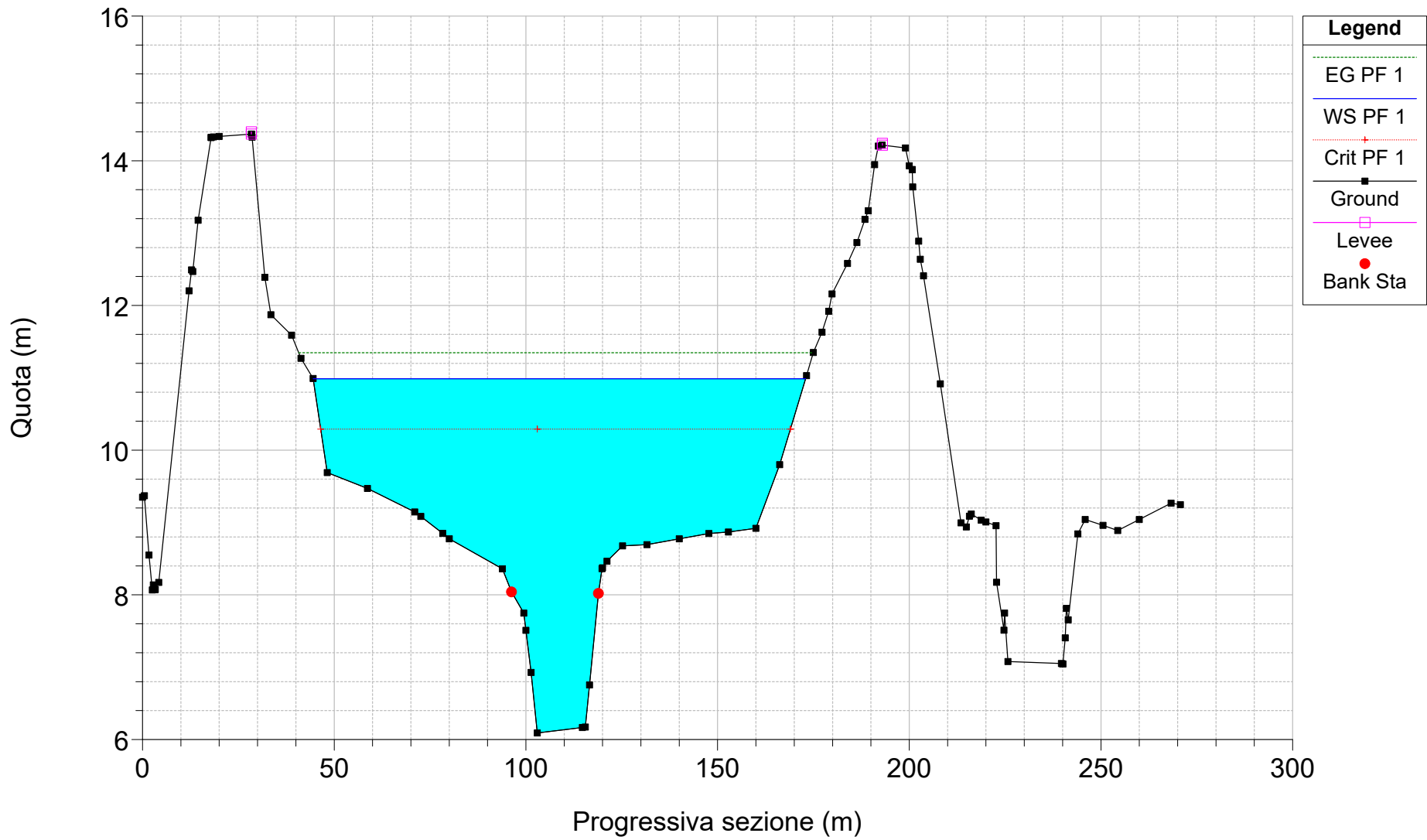
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 6 sez_rilev_05



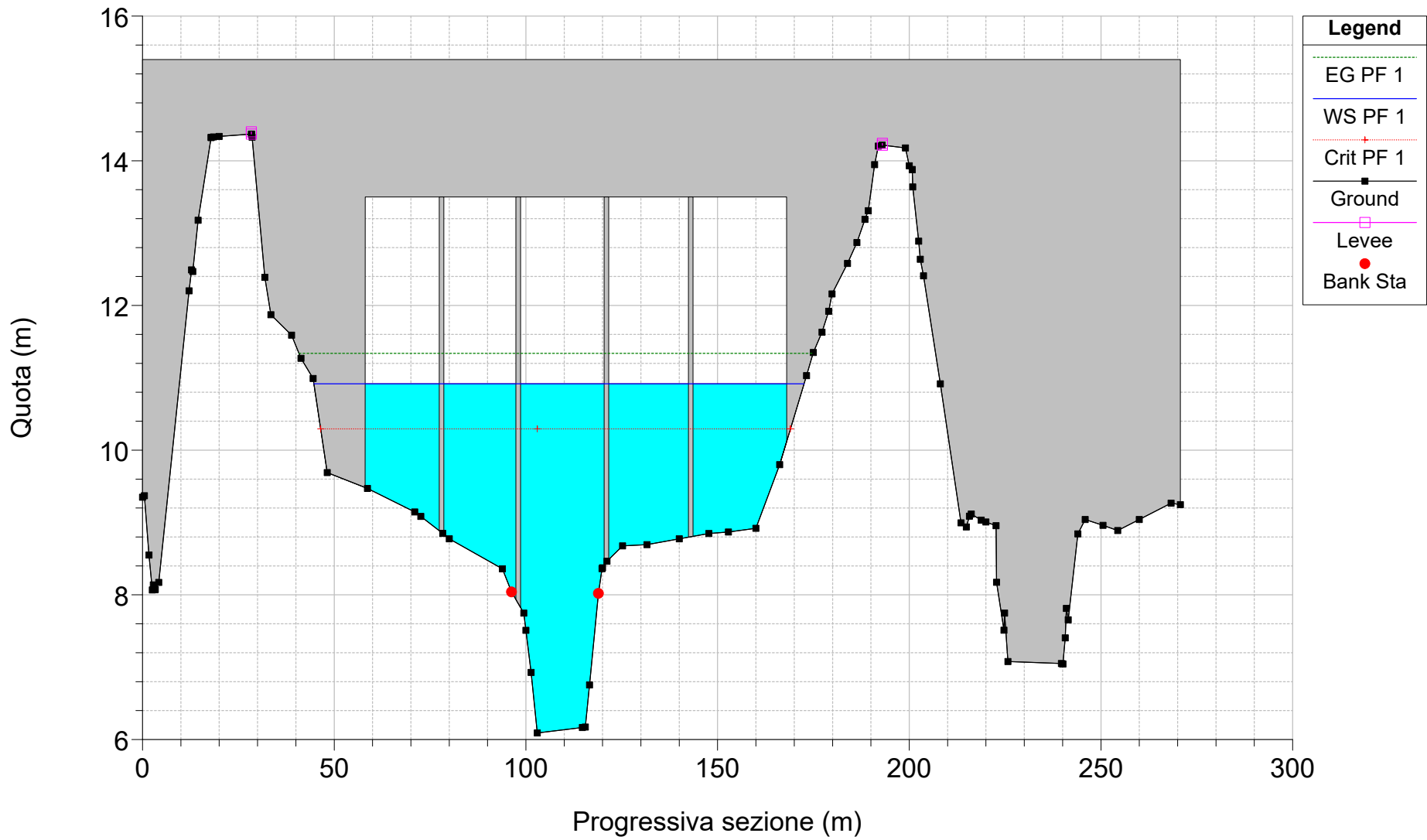
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 5 sez_rilev_06



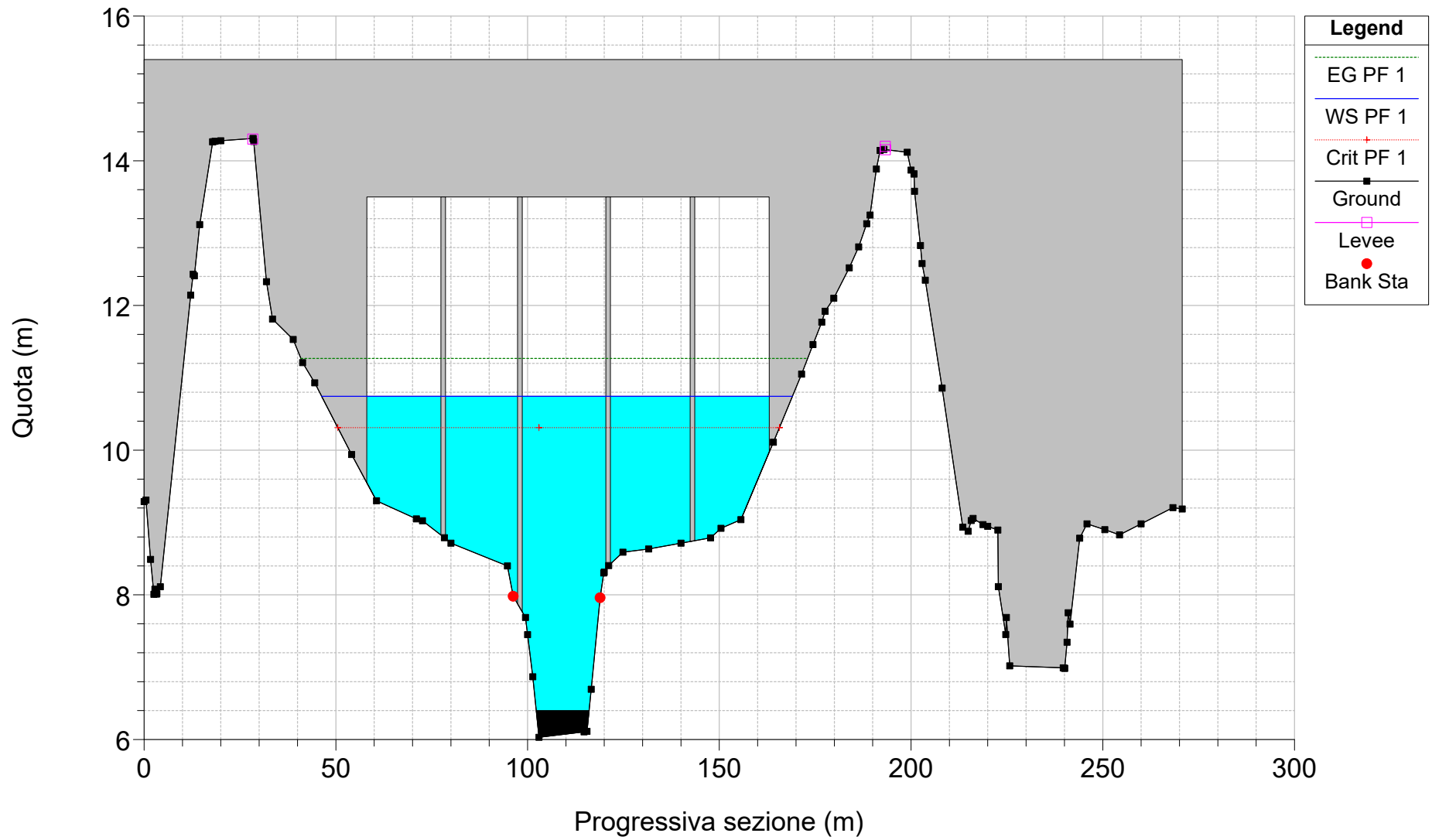
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.8



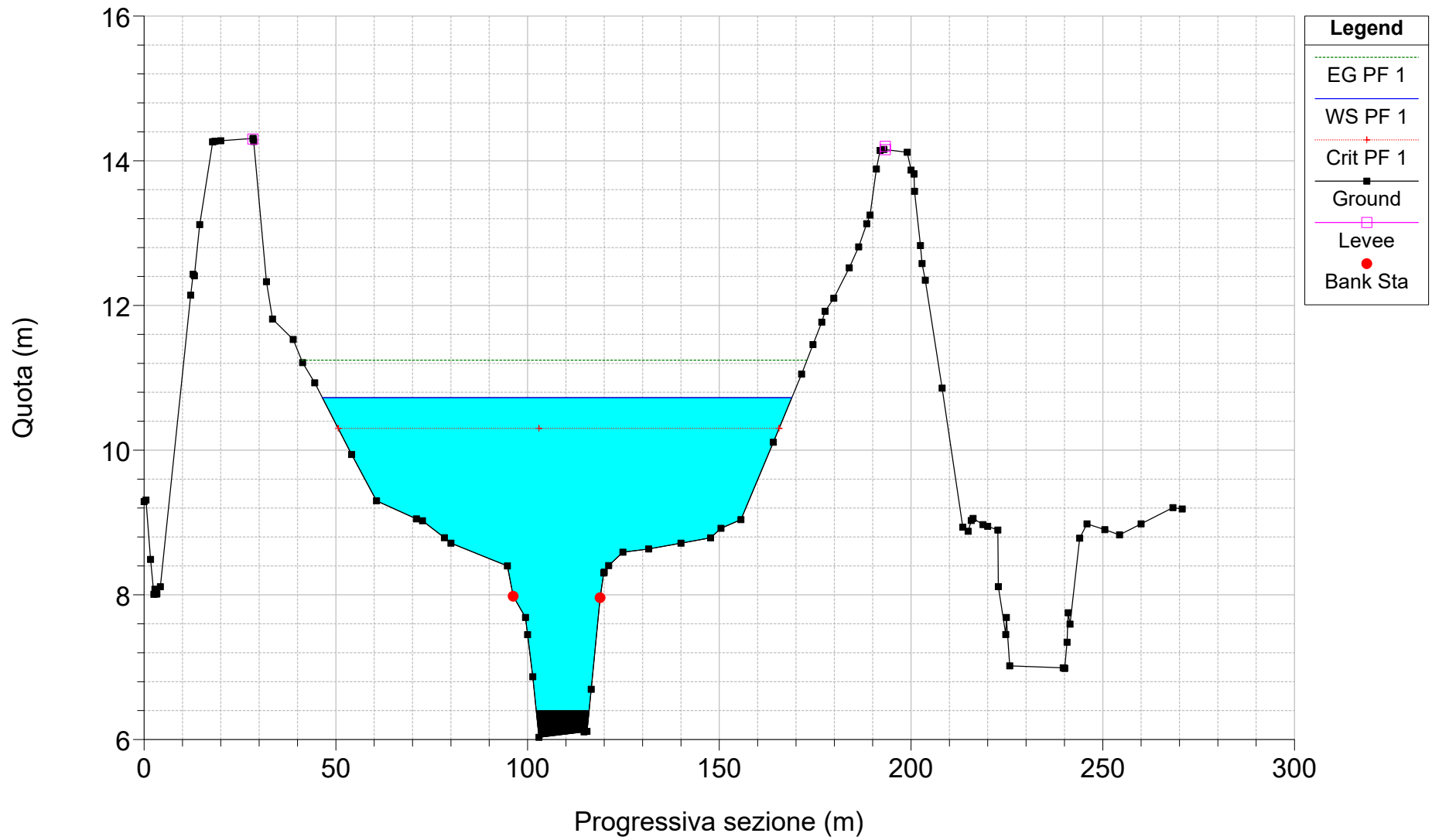
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.75 BR



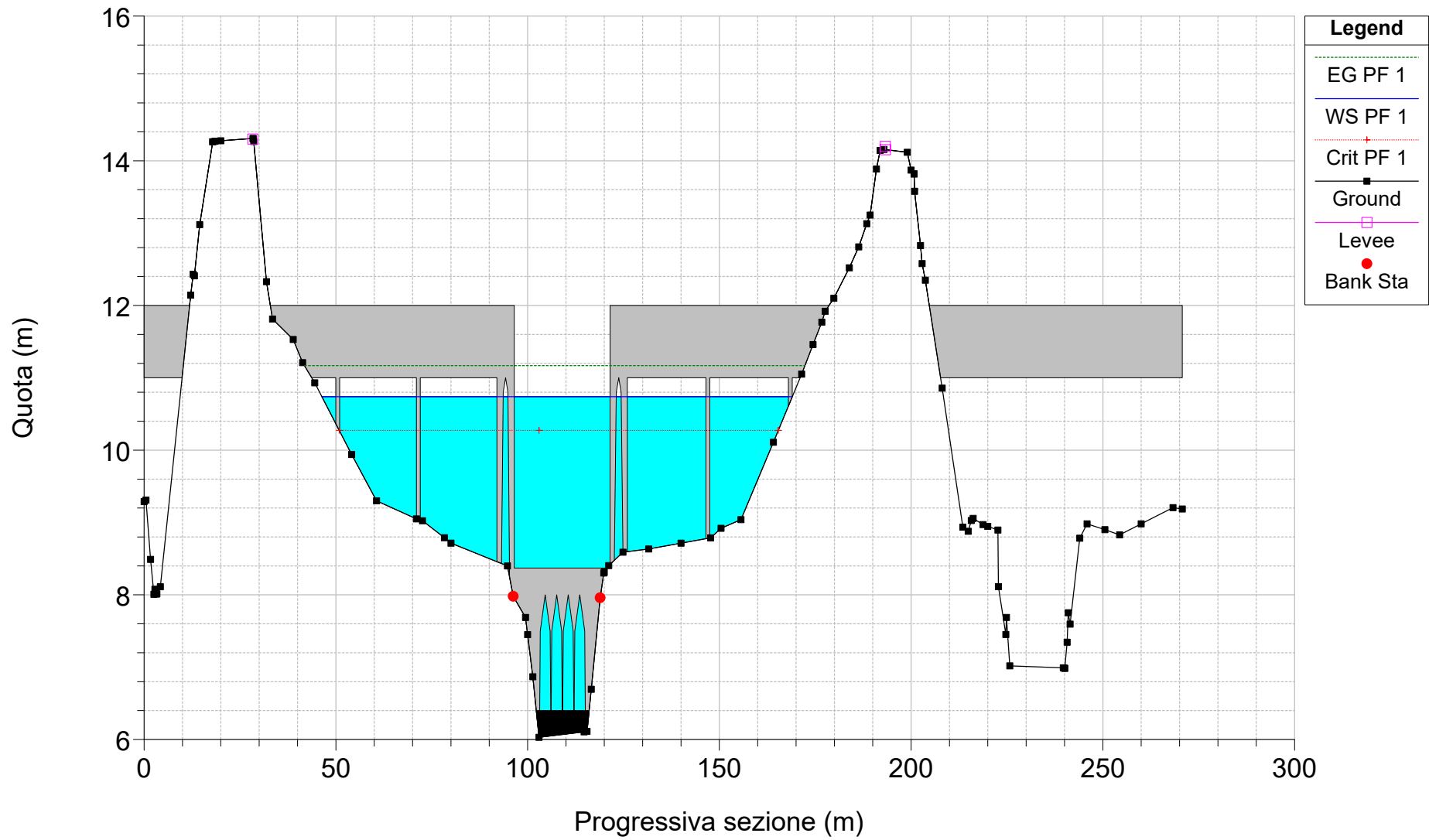
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.75 BR



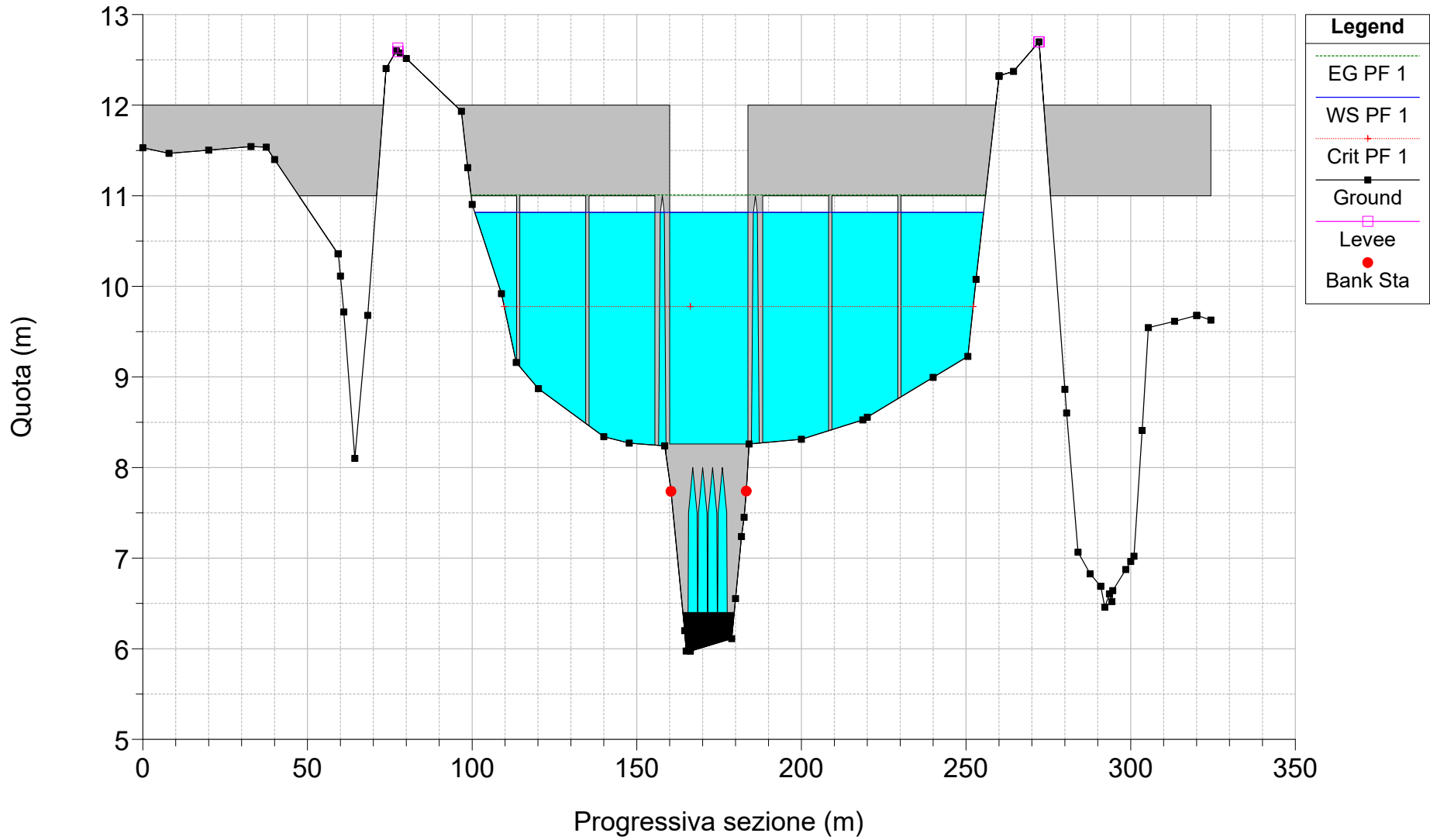
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.7



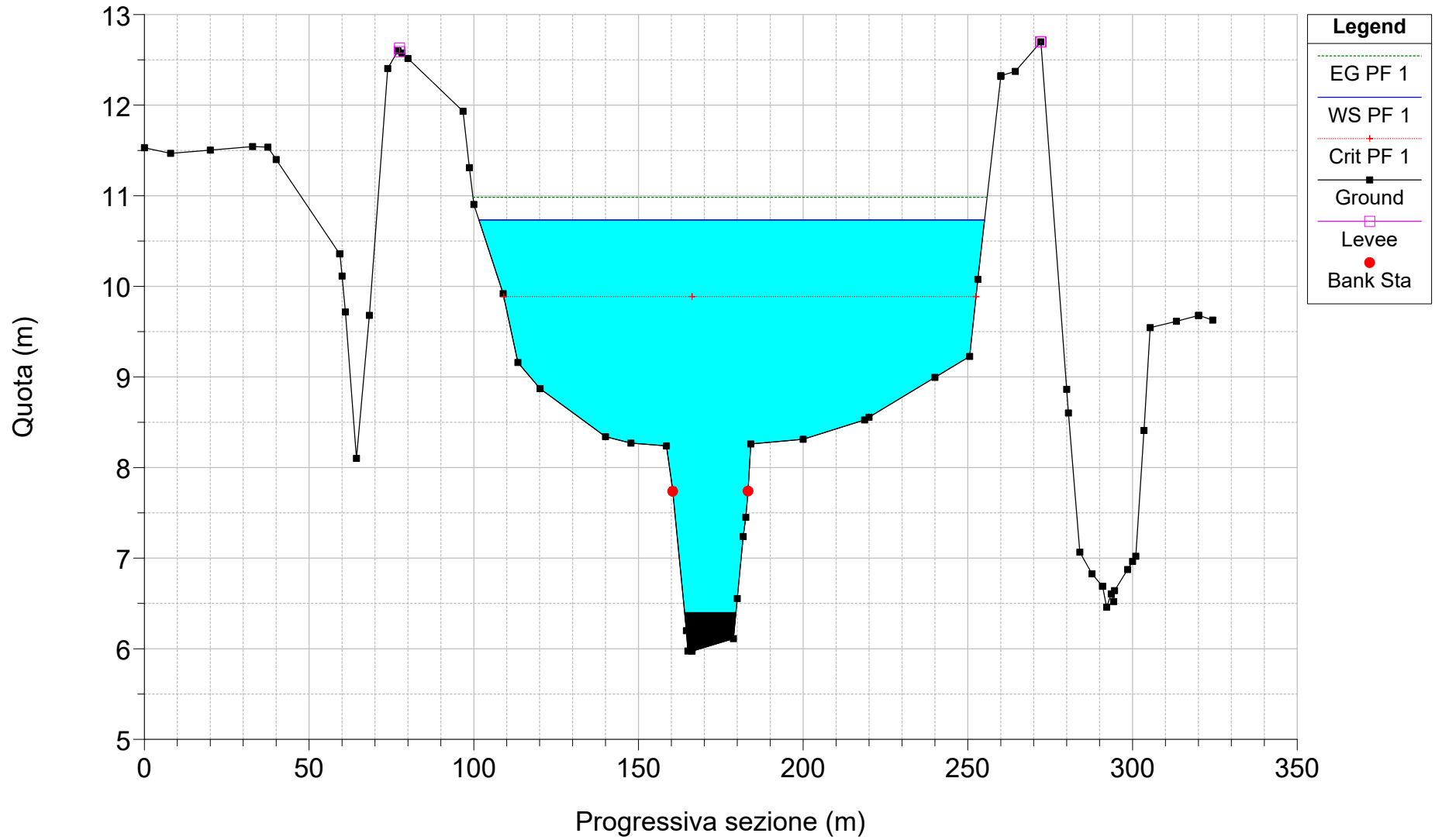
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.55 BR



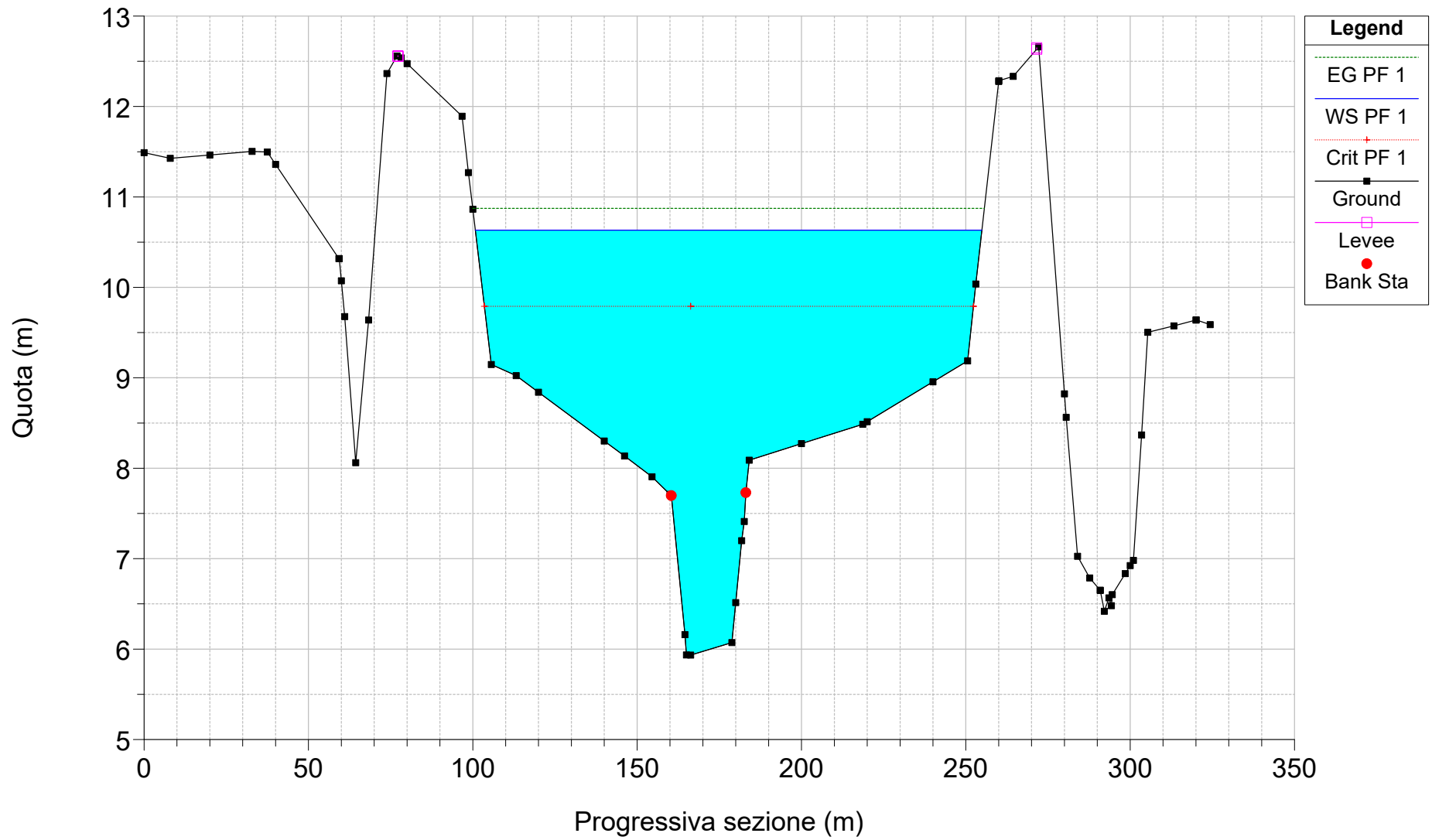
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.55 BR



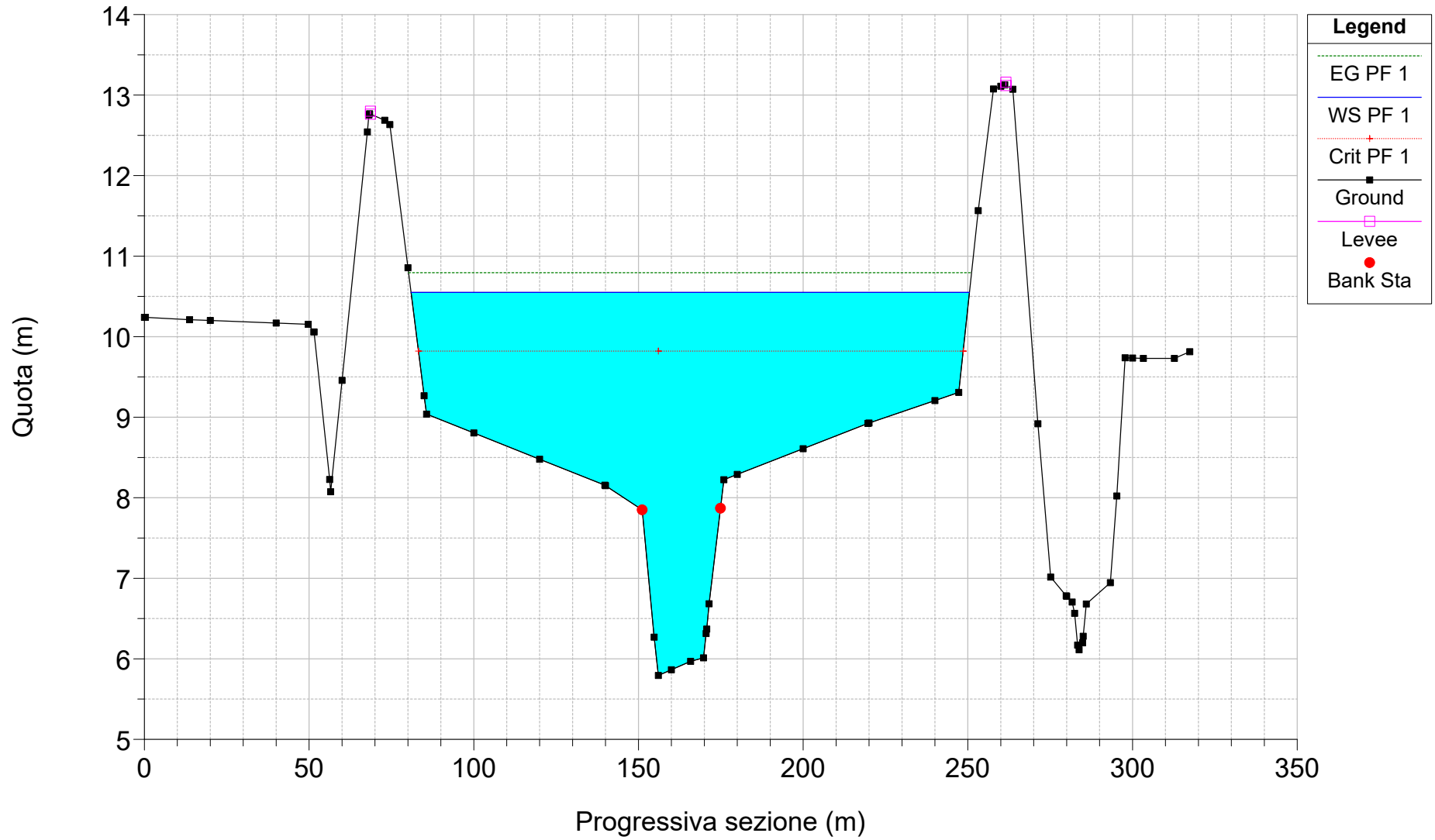
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4.5



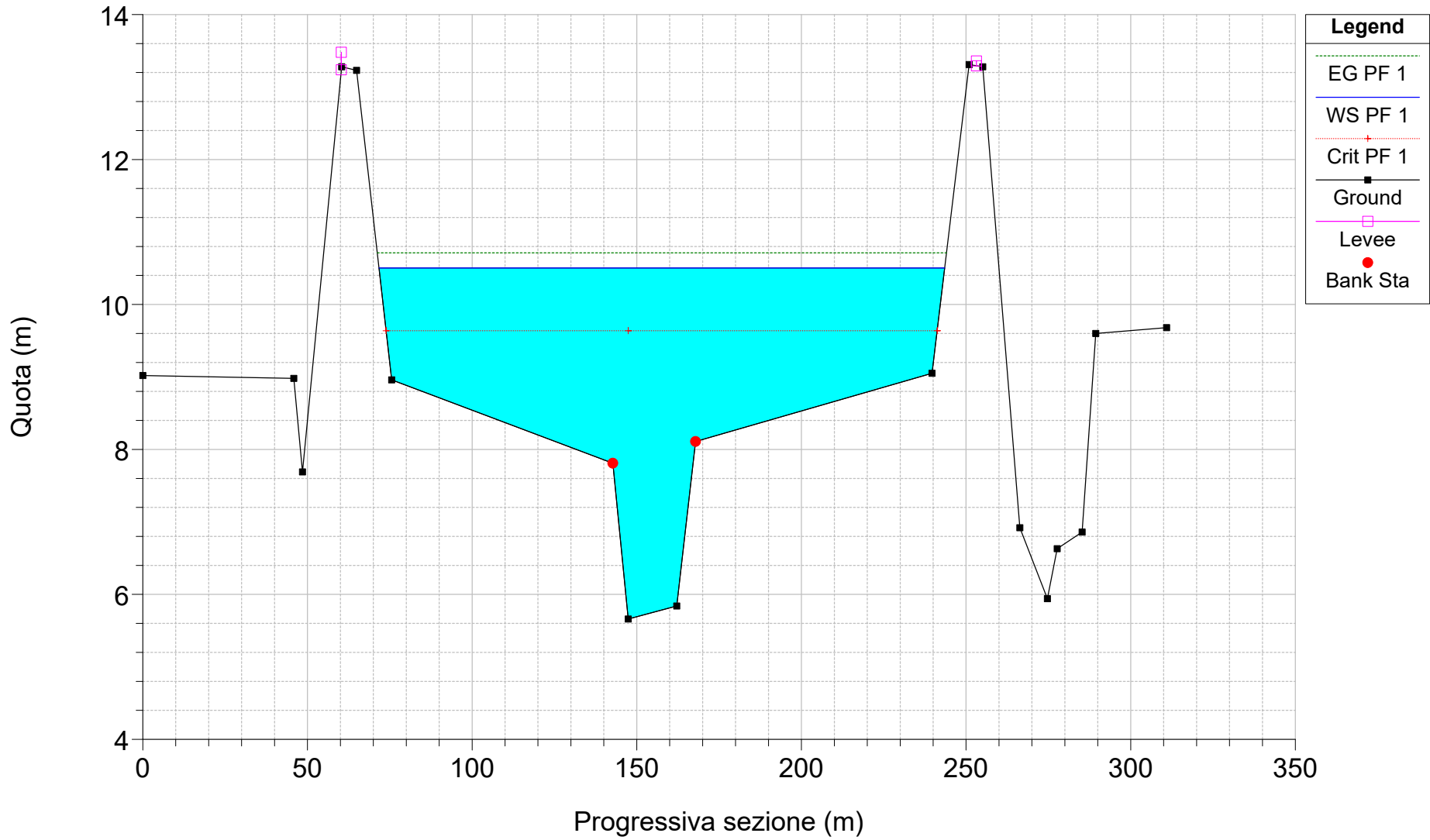
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 4 sez_rilev_07



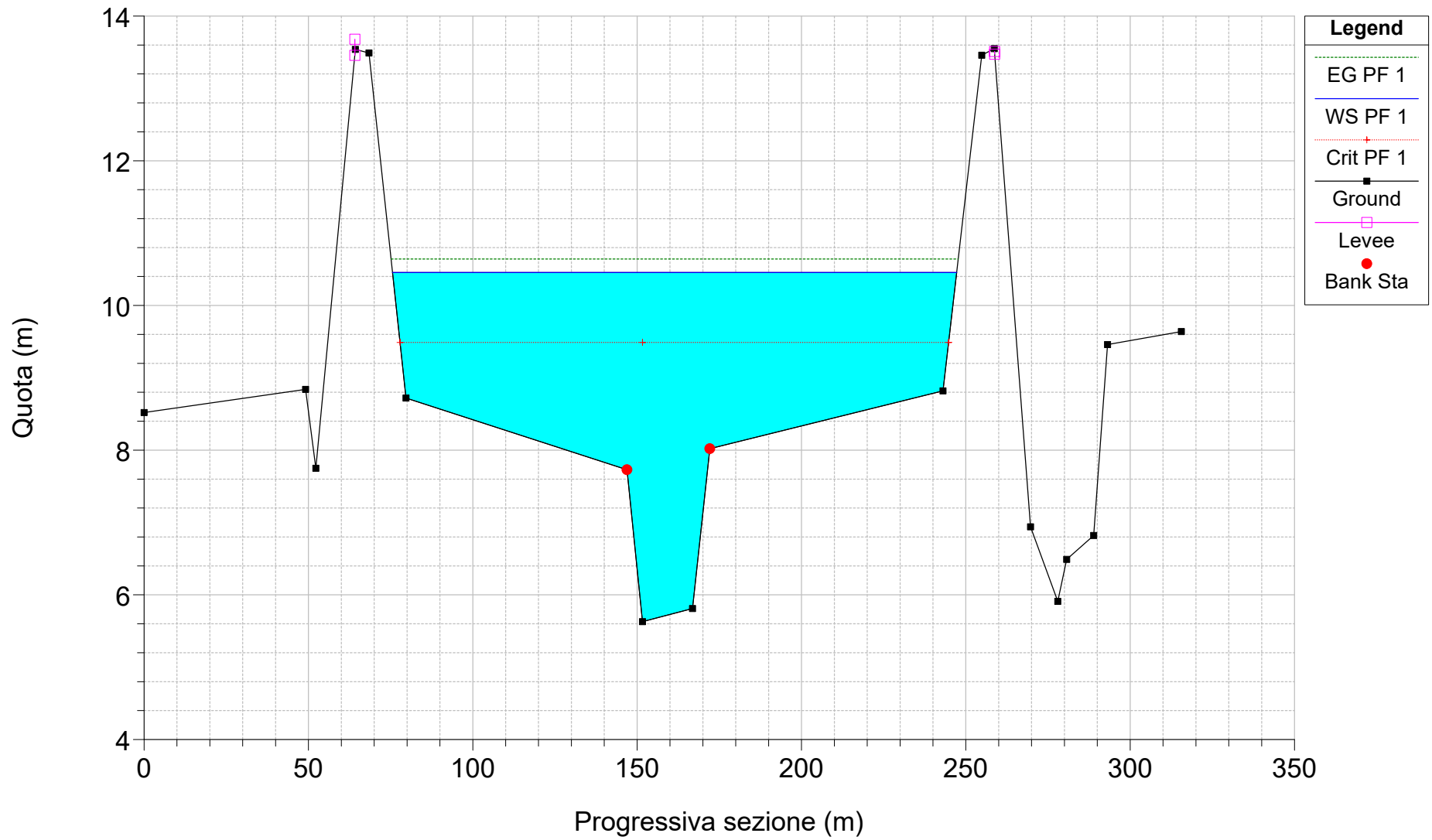
Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 3 sez_rilev_08



Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 2 sez_rilev_09

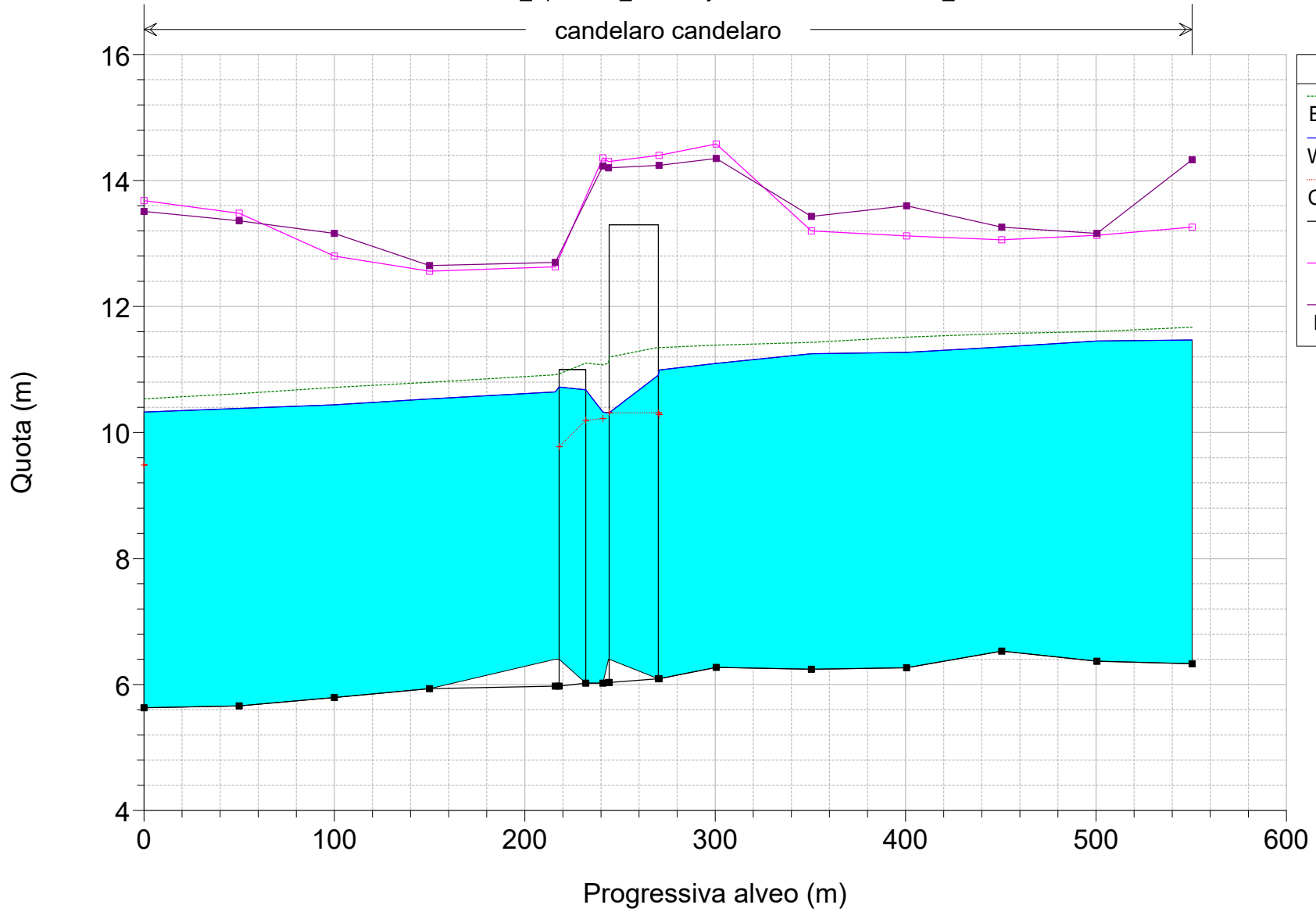
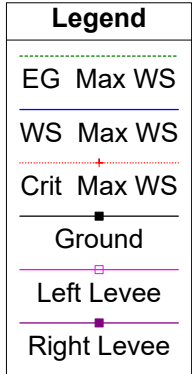


Candelaro_April2020_unsteady Plan: AnteOperamQAbDAM
RS = 1 sez_rilev_10_(valle)



Condizioni post operam
(portata al colmo di piena, 615 m³/s)

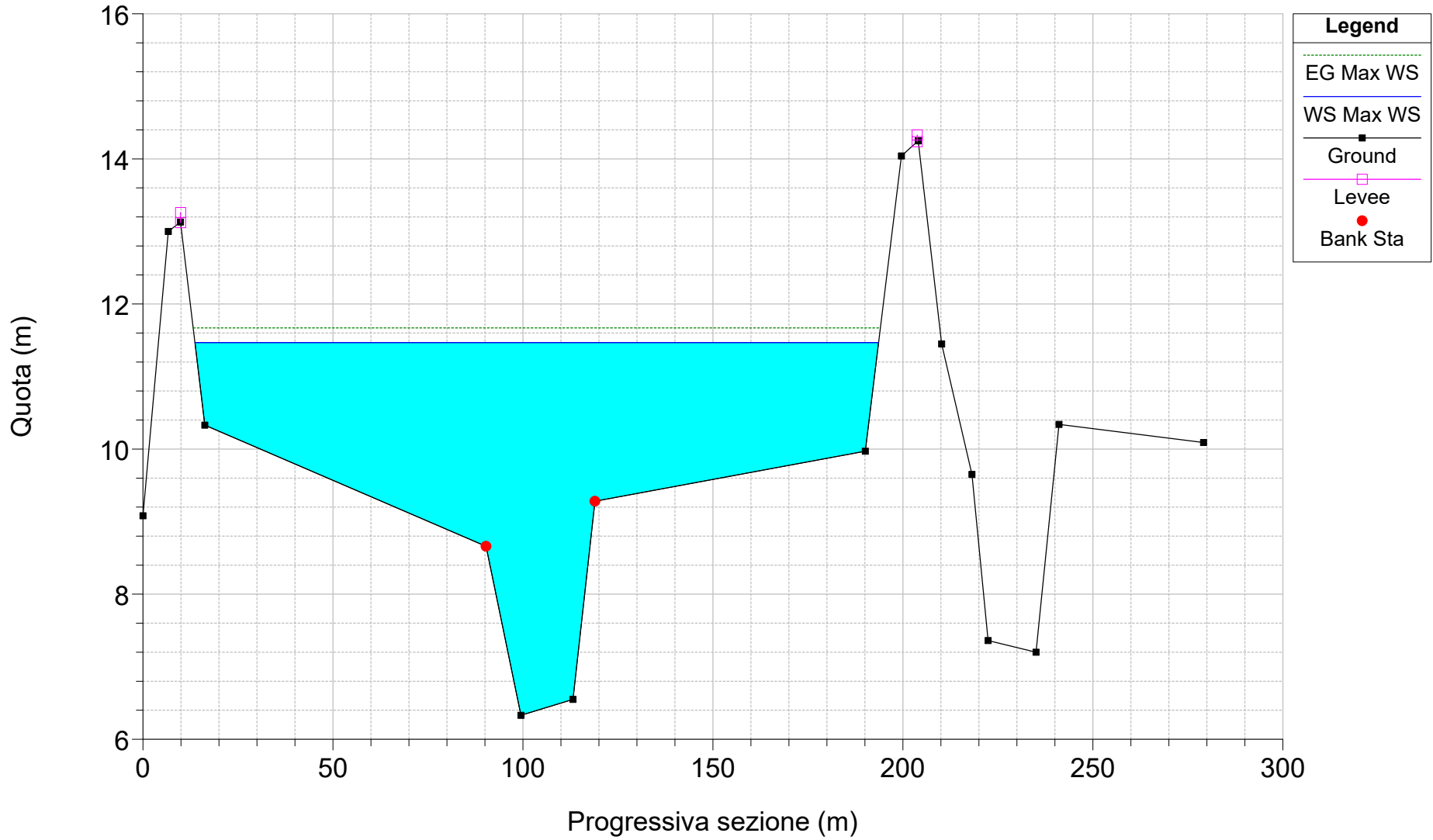
candelaro candelaro



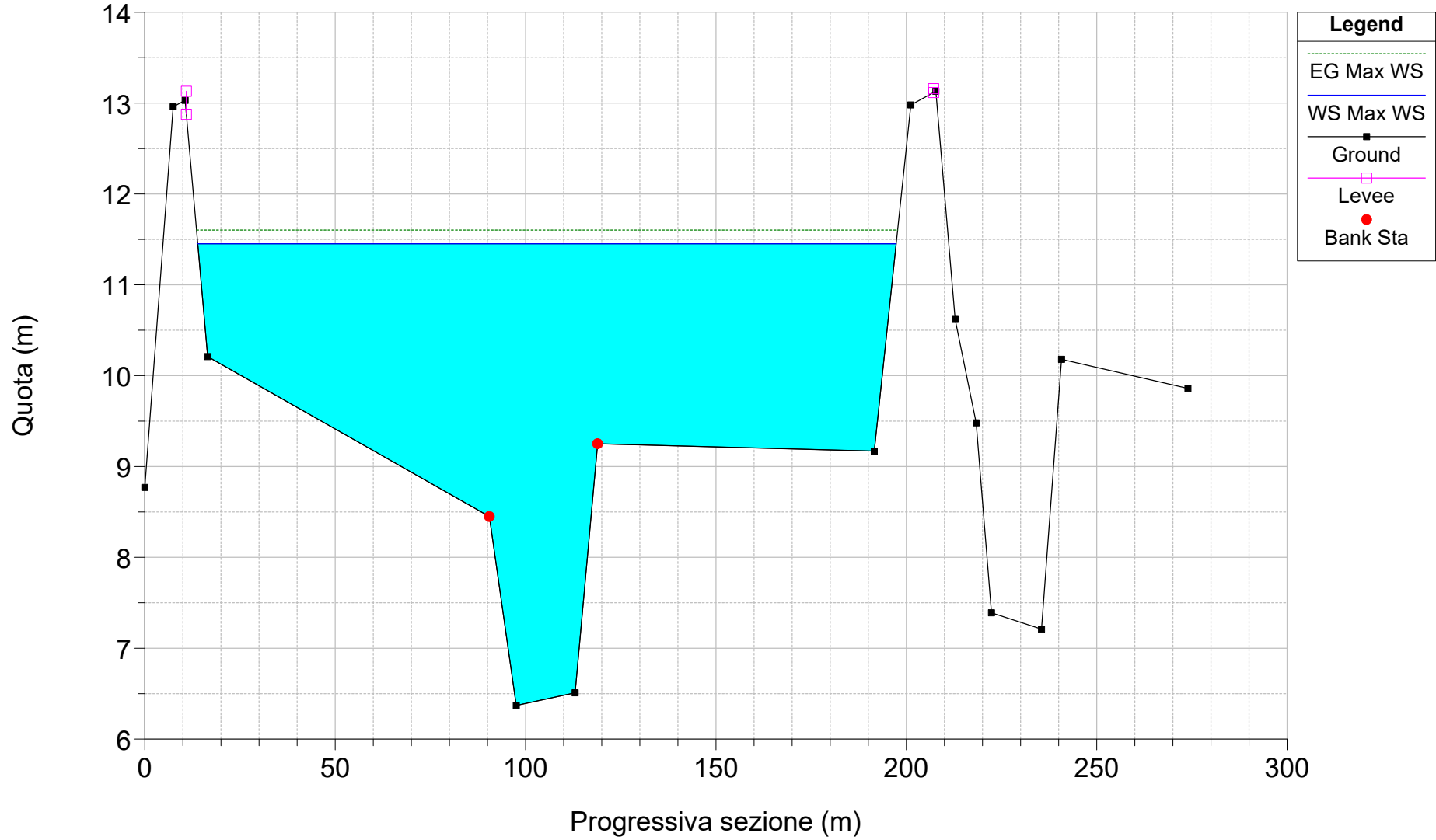
HEC-RAS Plan: PostOPERAM_A River: candelaro Reach: candelaro Profile: Max WS

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
candelaro	10	Max WS	615.00	6.33	11.47		11.68	0.001168	2.57	408.09	179.95	0.39
candelaro	9	Max WS	614.99	6.37	11.46		11.61	0.000900	2.28	456.16	183.45	0.34
candelaro	8	Max WS	614.97	6.53	11.36		11.57	0.001268	2.70	401.67	178.71	0.41
candelaro	7	Max WS	614.96	6.27	11.28		11.52	0.001387	2.87	380.98	171.20	0.43
candelaro	6	Max WS	614.95	6.24	11.25		11.44	0.001102	2.59	414.00	161.98	0.38
candelaro	5	Max WS	614.94	6.27	11.10		11.39	0.001812	3.09	331.03	142.82	0.48
candelaro	4.8	Max WS	614.93	6.09	11.00	10.29	11.35	0.002055	3.36	302.05	129.07	0.52
candelaro	4.75		Bridge									
candelaro	4.7	Max WS	614.93	6.40	10.32		11.11	0.005420	4.78	207.55	115.25	0.81
candelaro	4.6	Max WS	614.93	6.02	10.33	10.23	11.08	0.004733	4.62	214.51	115.65	0.76
candelaro	4.55		Bridge									
candelaro	4.5	Max WS	614.93	6.40	10.65		10.92	0.001859	3.08	341.22	152.51	0.49
candelaro	4	Max WS	614.92	5.93	10.54		10.80	0.001724	3.03	348.58	153.52	0.47
candelaro	3	Max WS	614.89	5.79	10.44		10.72	0.001826	3.07	351.22	168.93	0.48
candelaro	2	Max WS	614.89	5.66	10.39		10.62	0.001541	2.84	373.92	171.20	0.44
candelaro	1	Max WS	614.89	5.63	10.33	9.49	10.54	0.001403	2.71	388.22	171.01	0.42

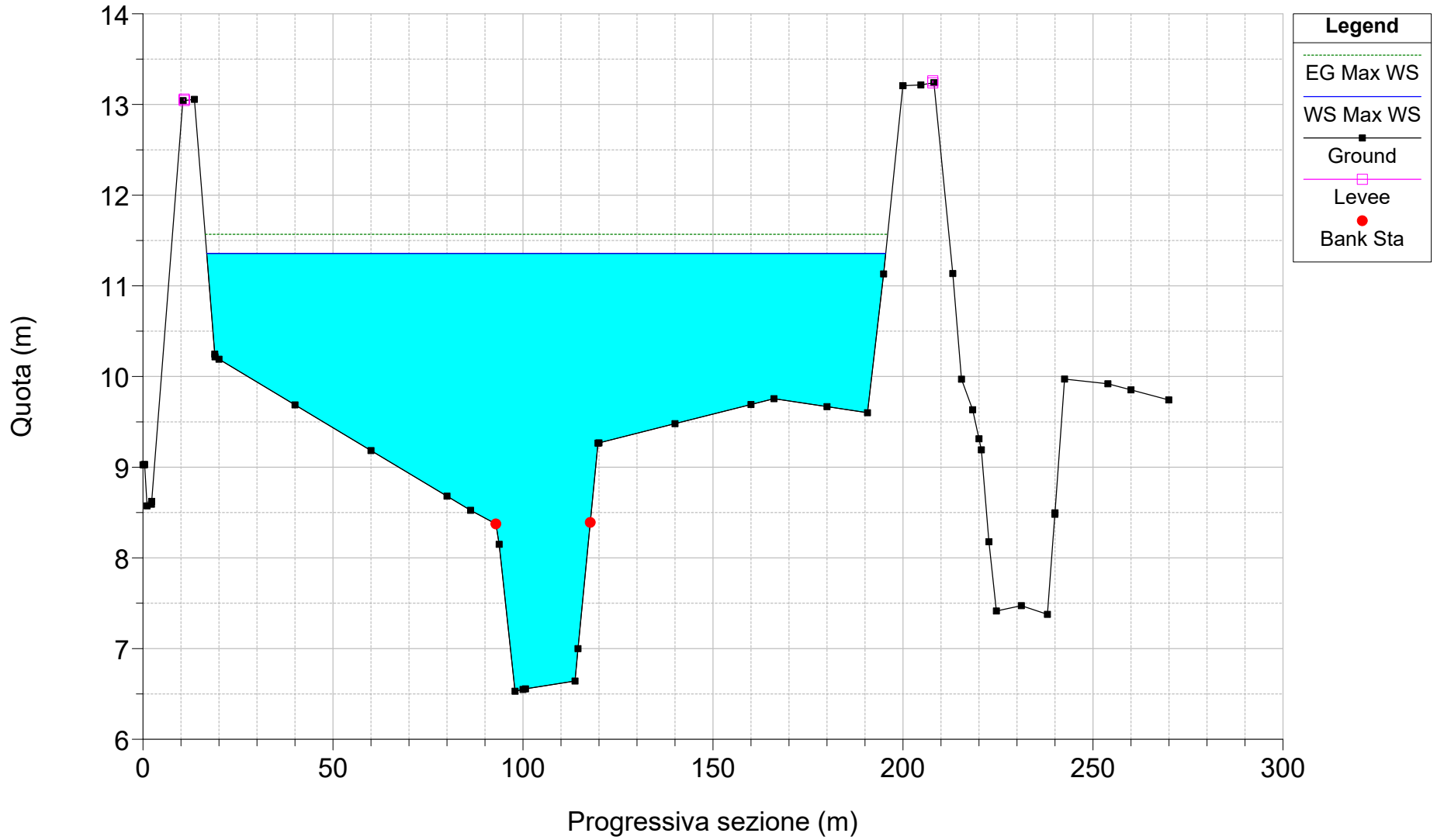
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



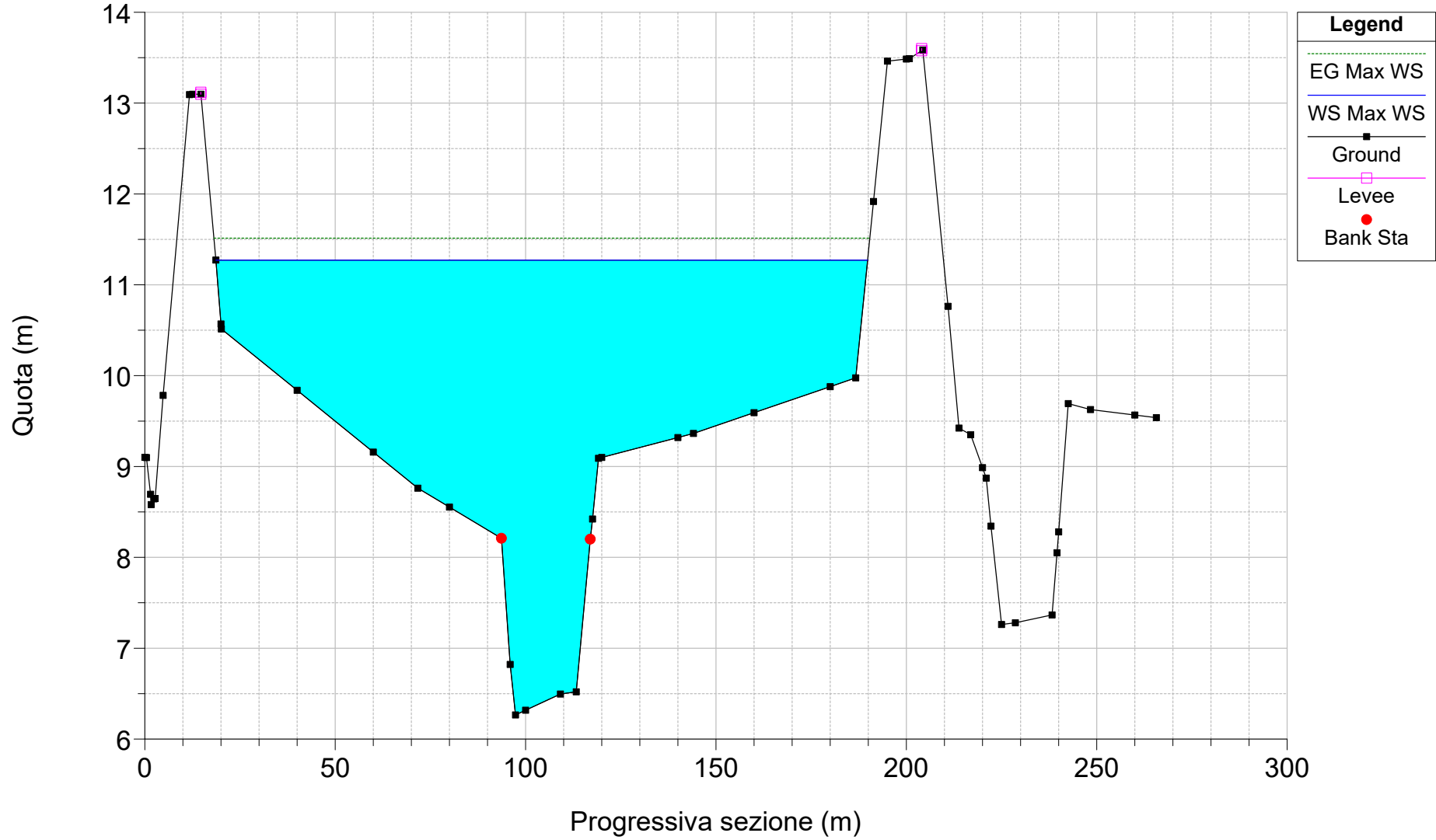
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 9 sez_rilev_02



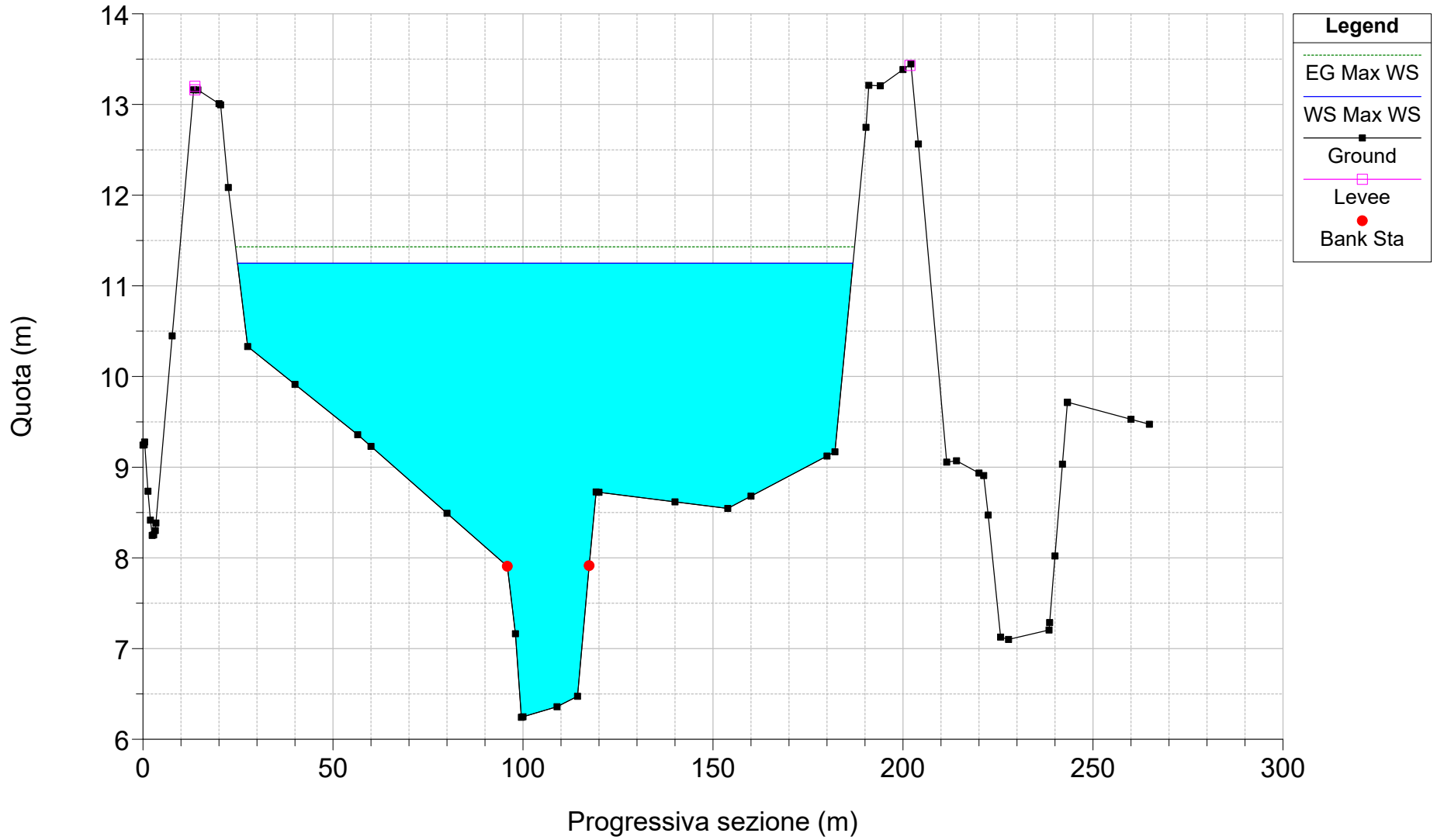
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 8 sez_rilev_03



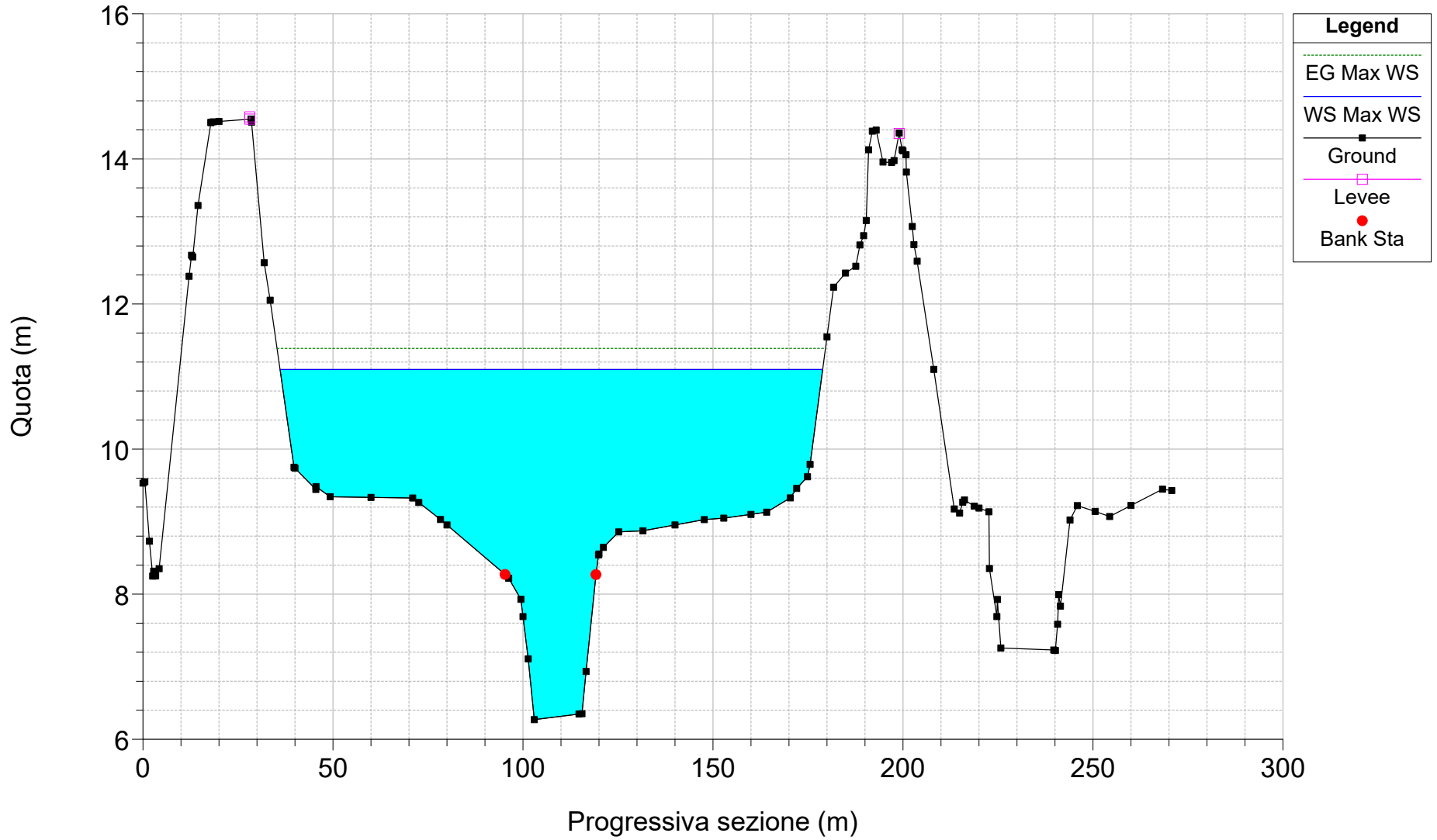
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 7 sez_rilev_04



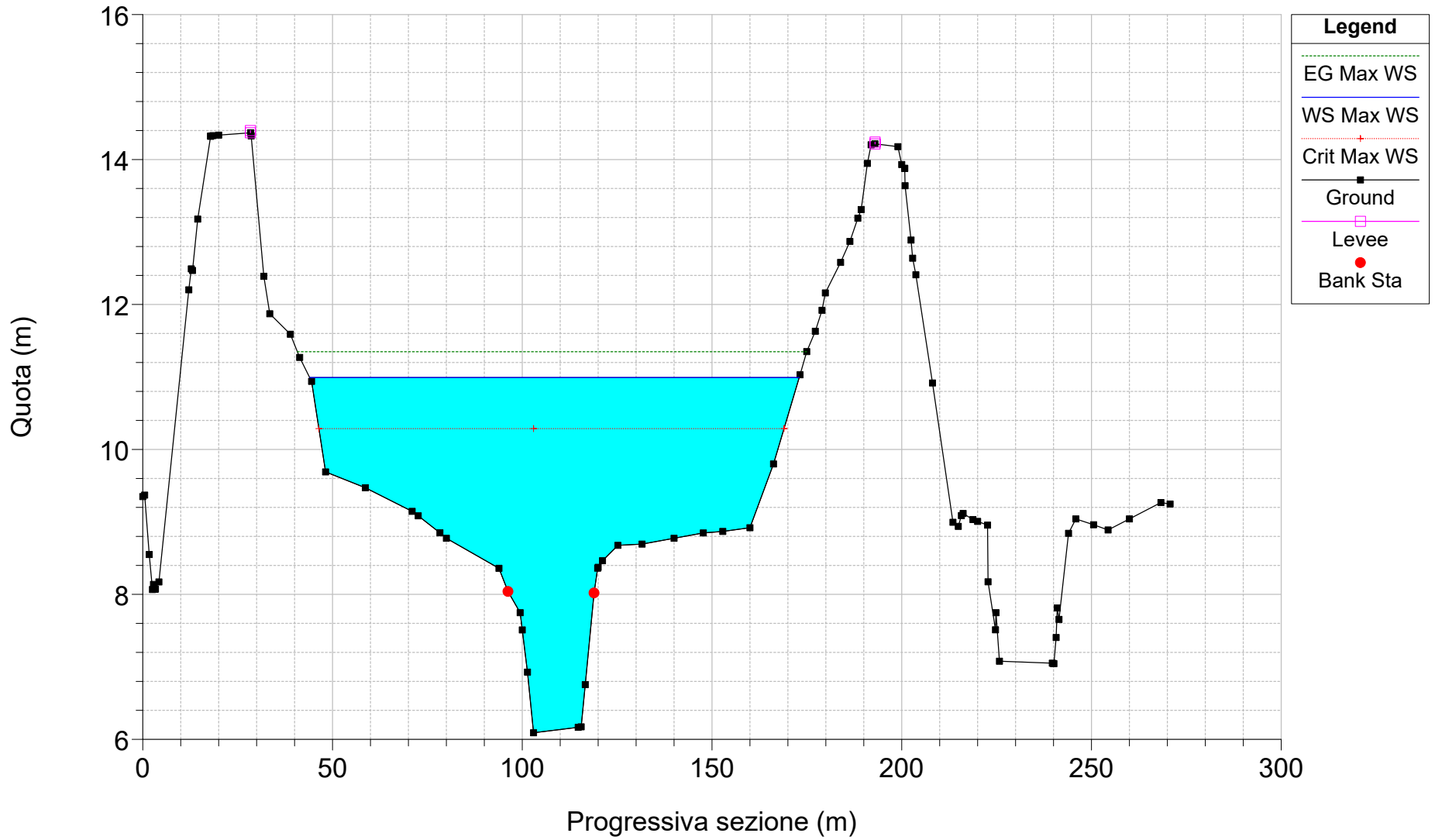
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 6 sez_rilev_05



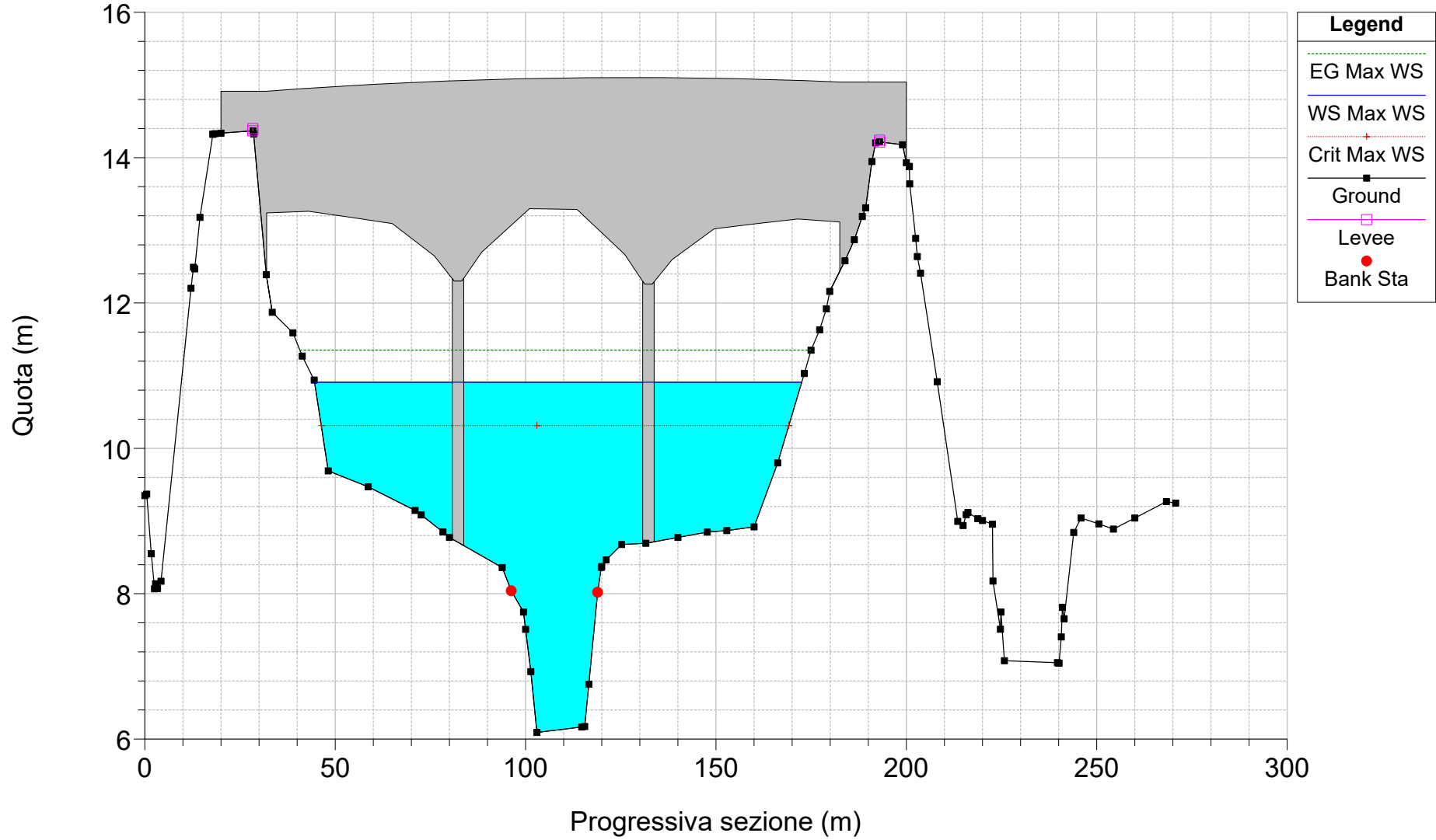
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 5 sez_rilev_06



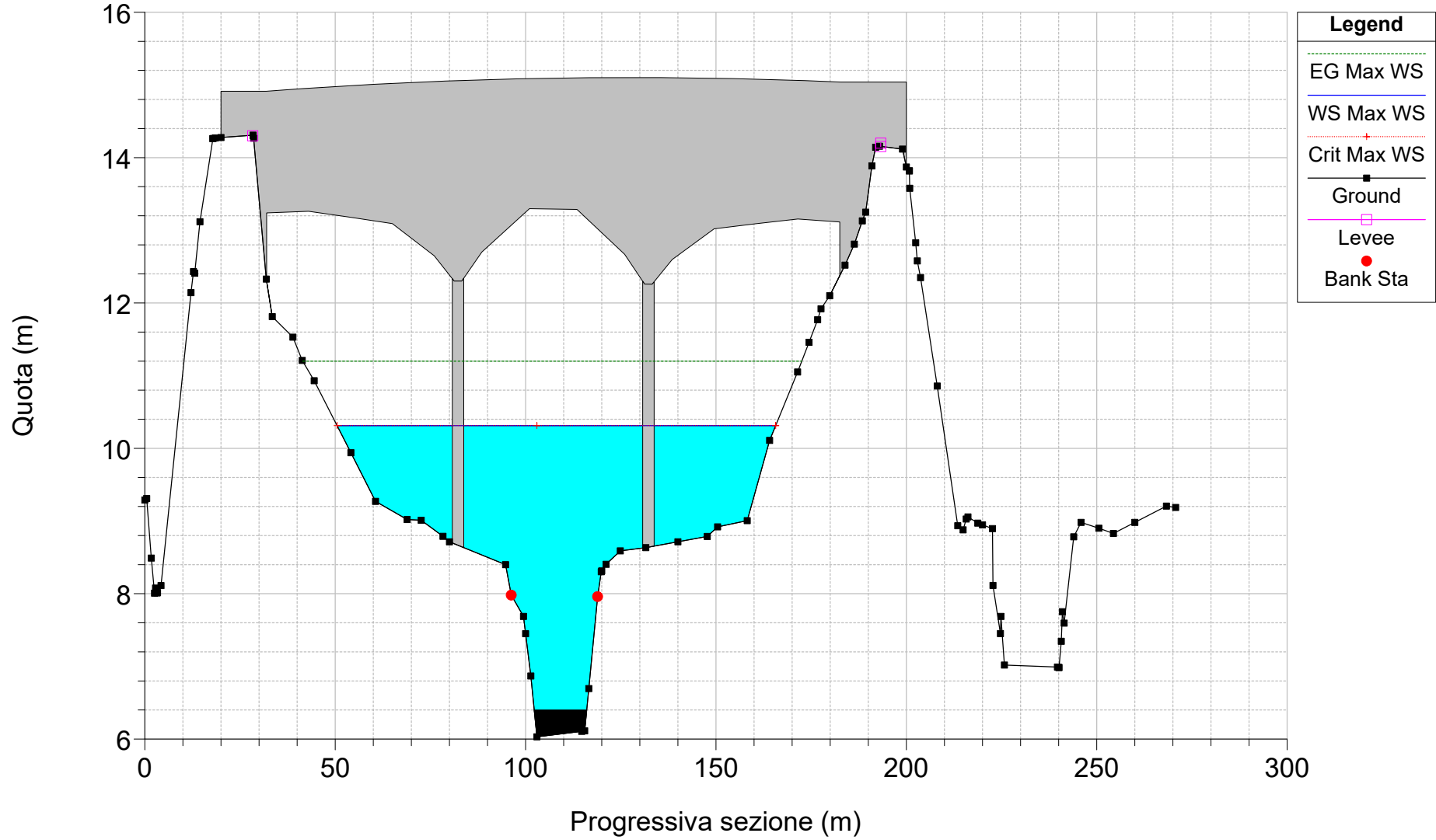
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.8



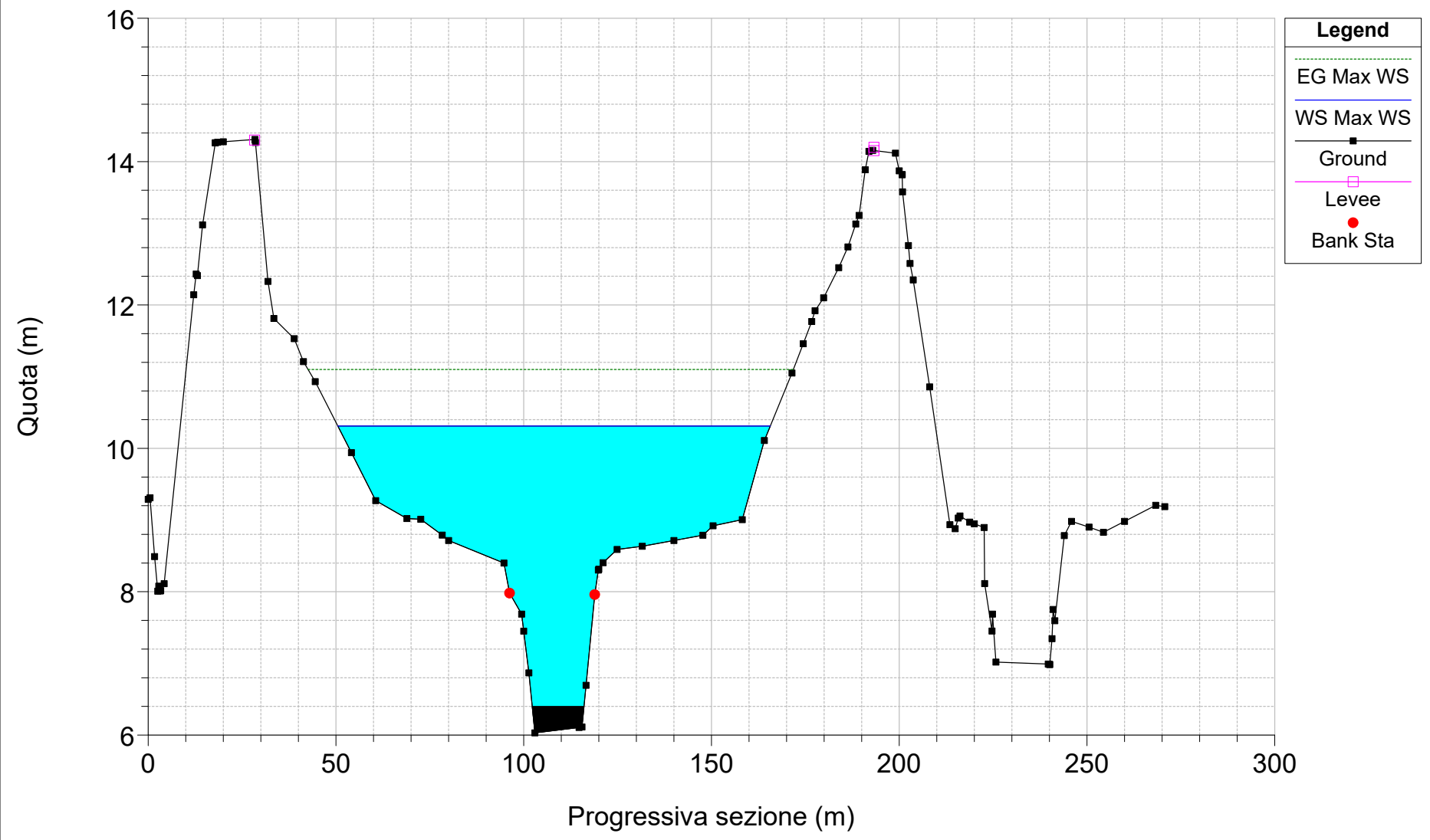
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR



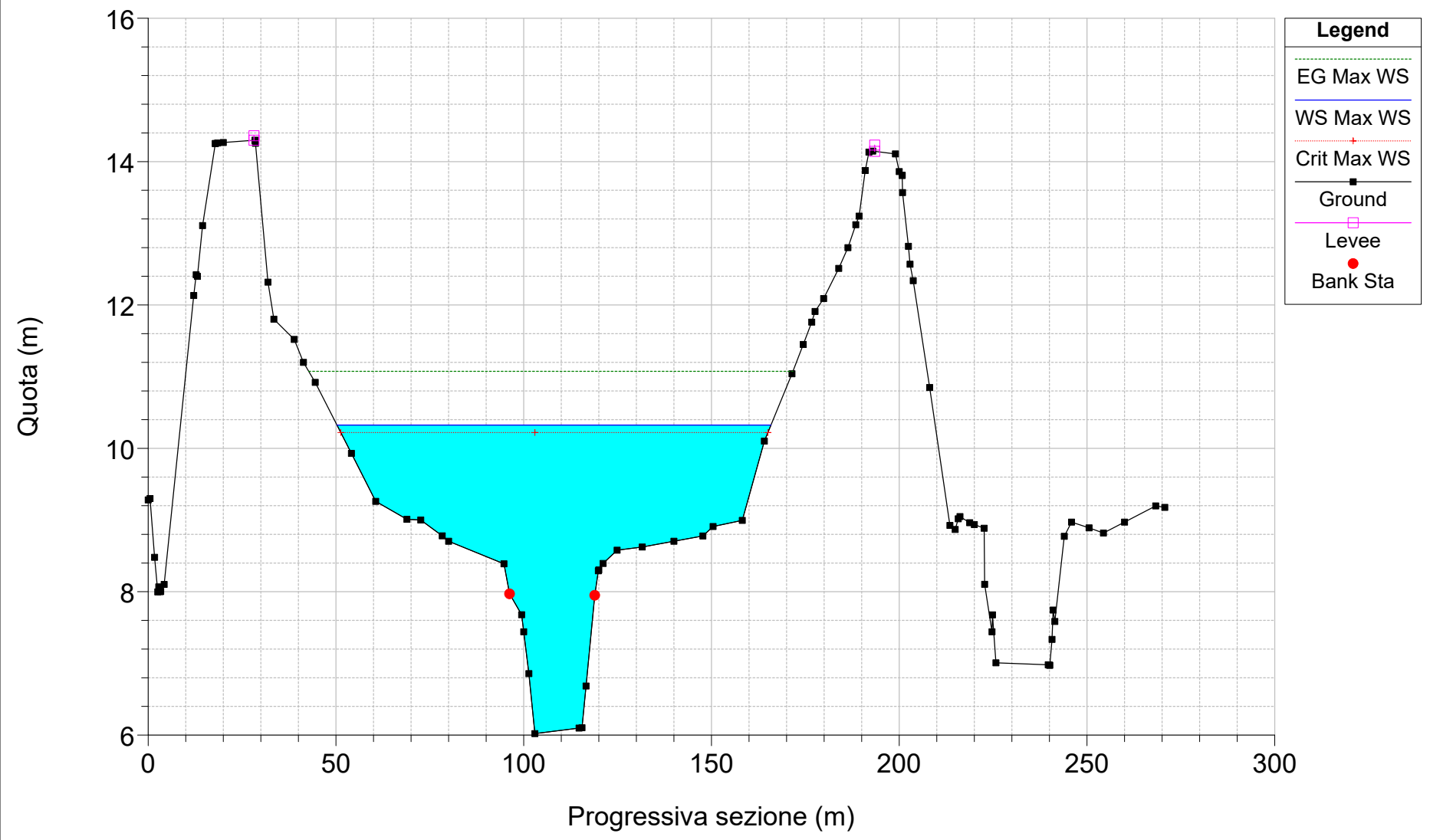
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.75 BR



Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.7



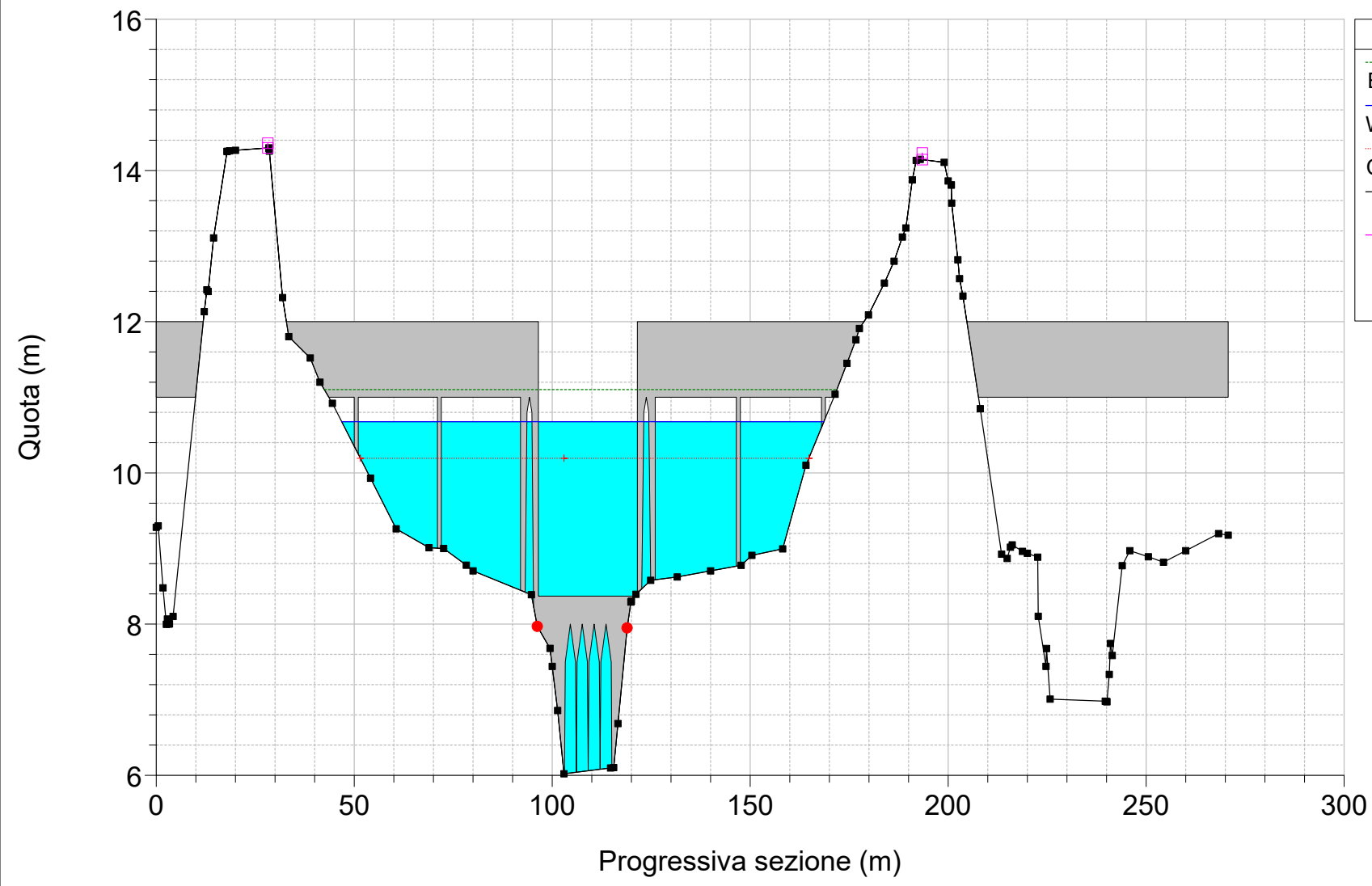
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.6



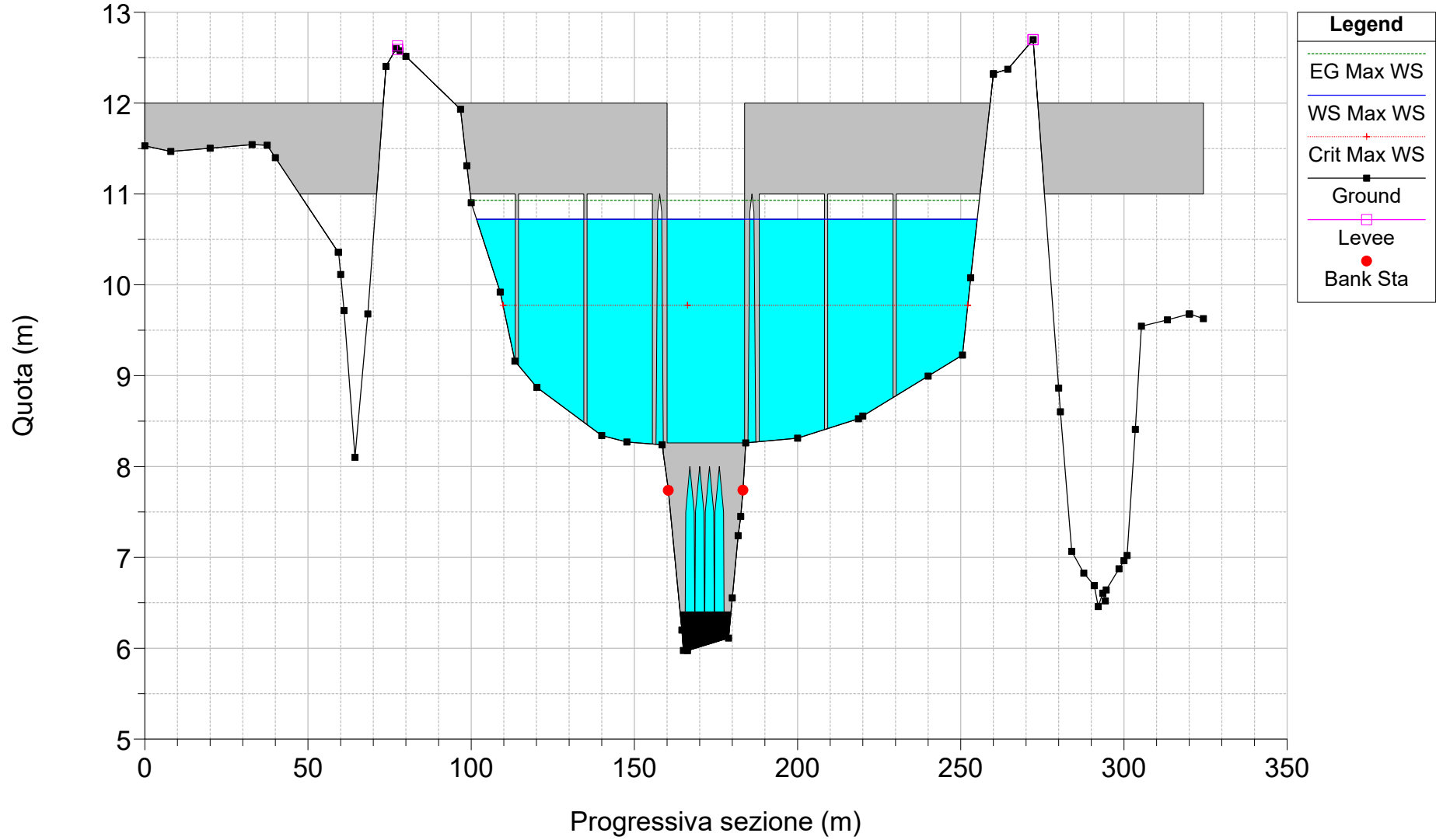
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.55 BR

Legend

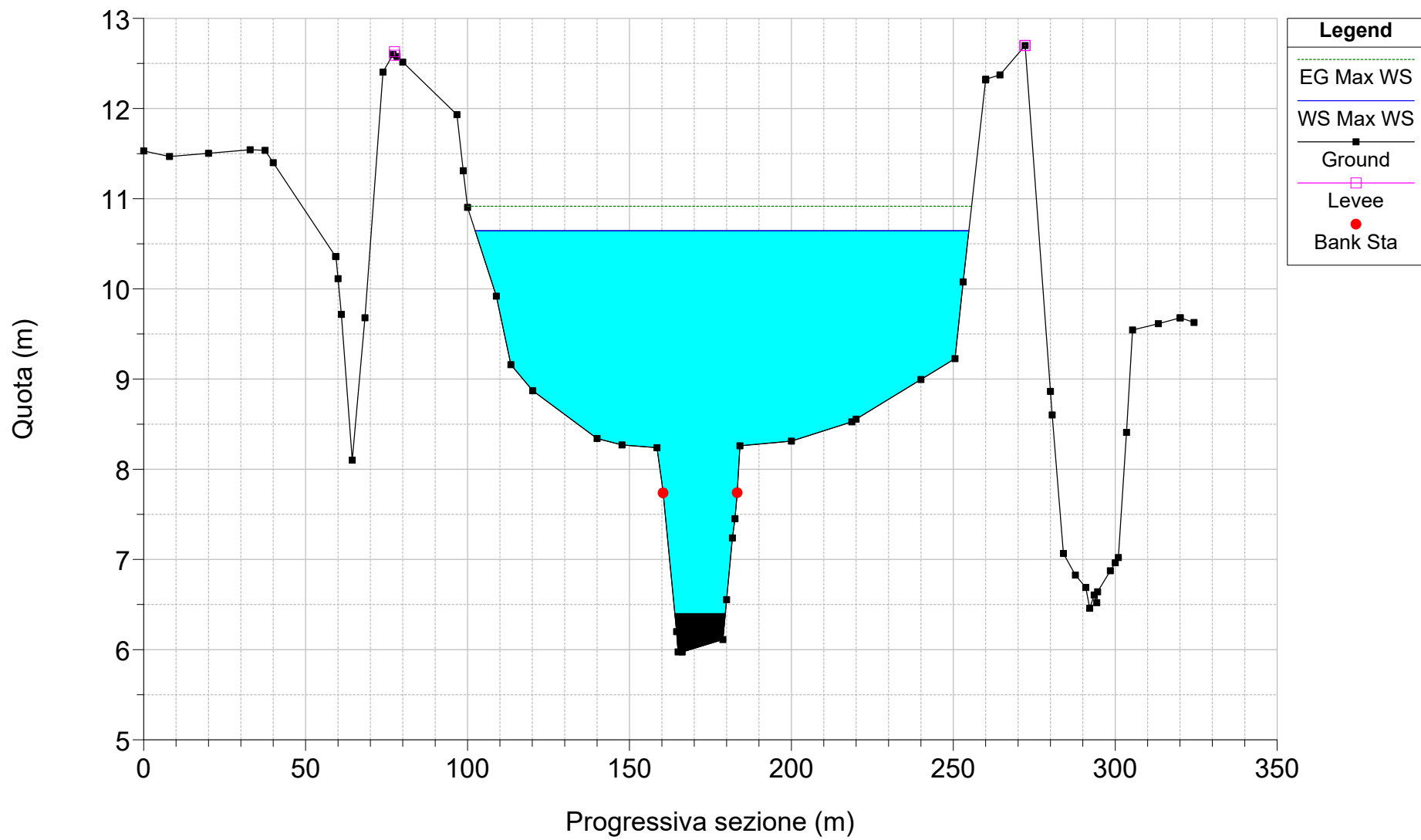
- EG Max WS
- WS Max WS
- Crit Max WS
- Ground
- Levee
- Bank Sta



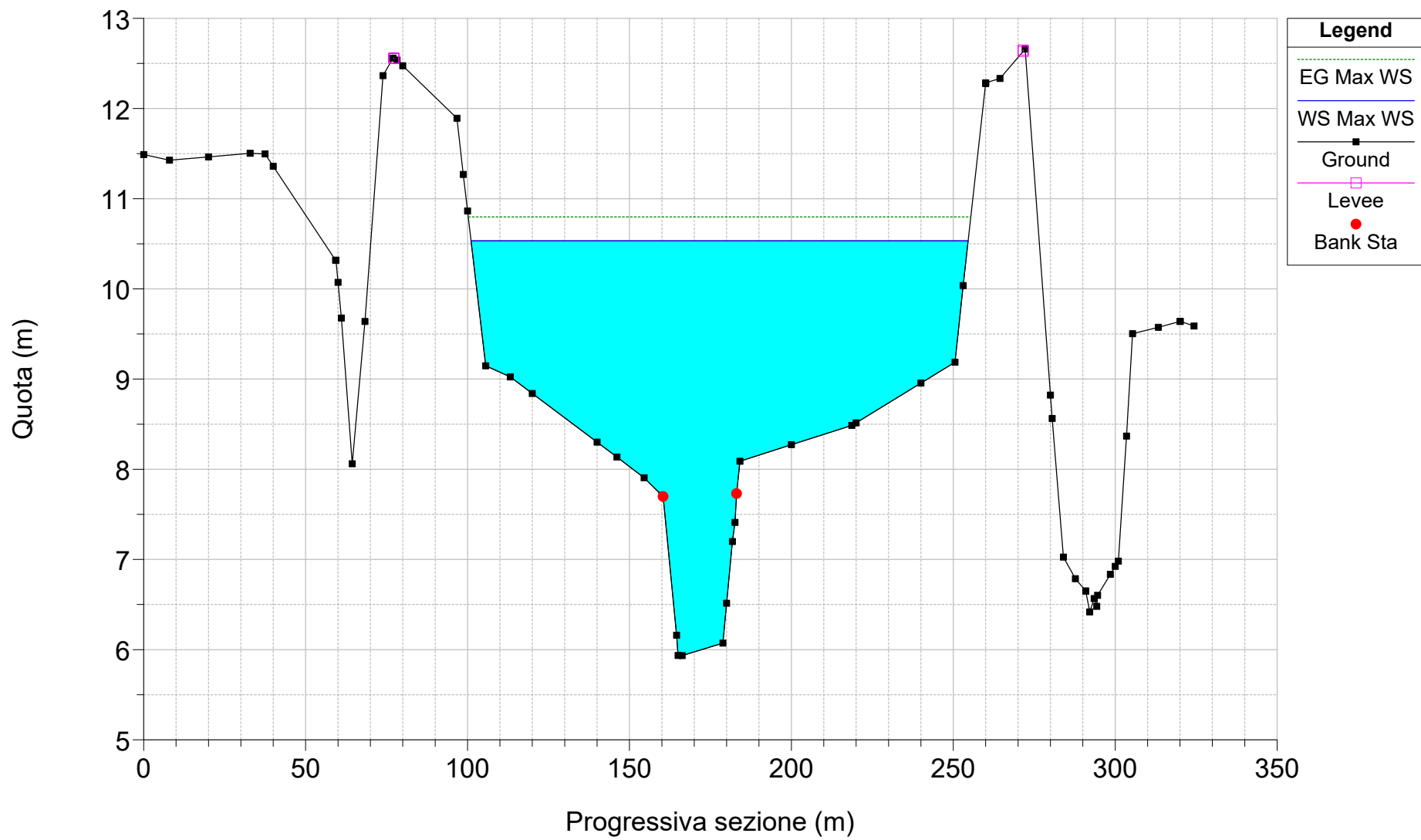
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.55 BR



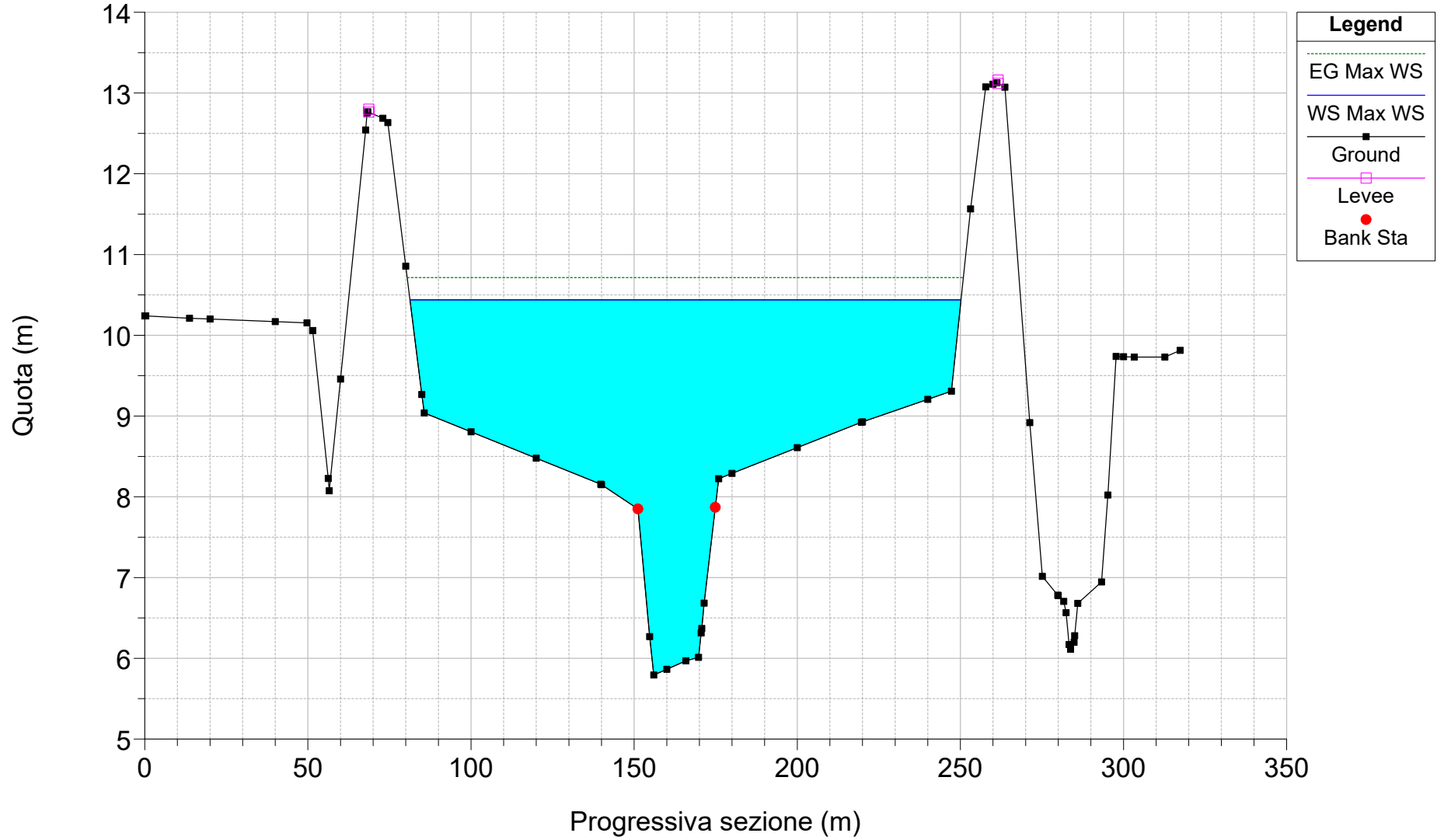
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4.5



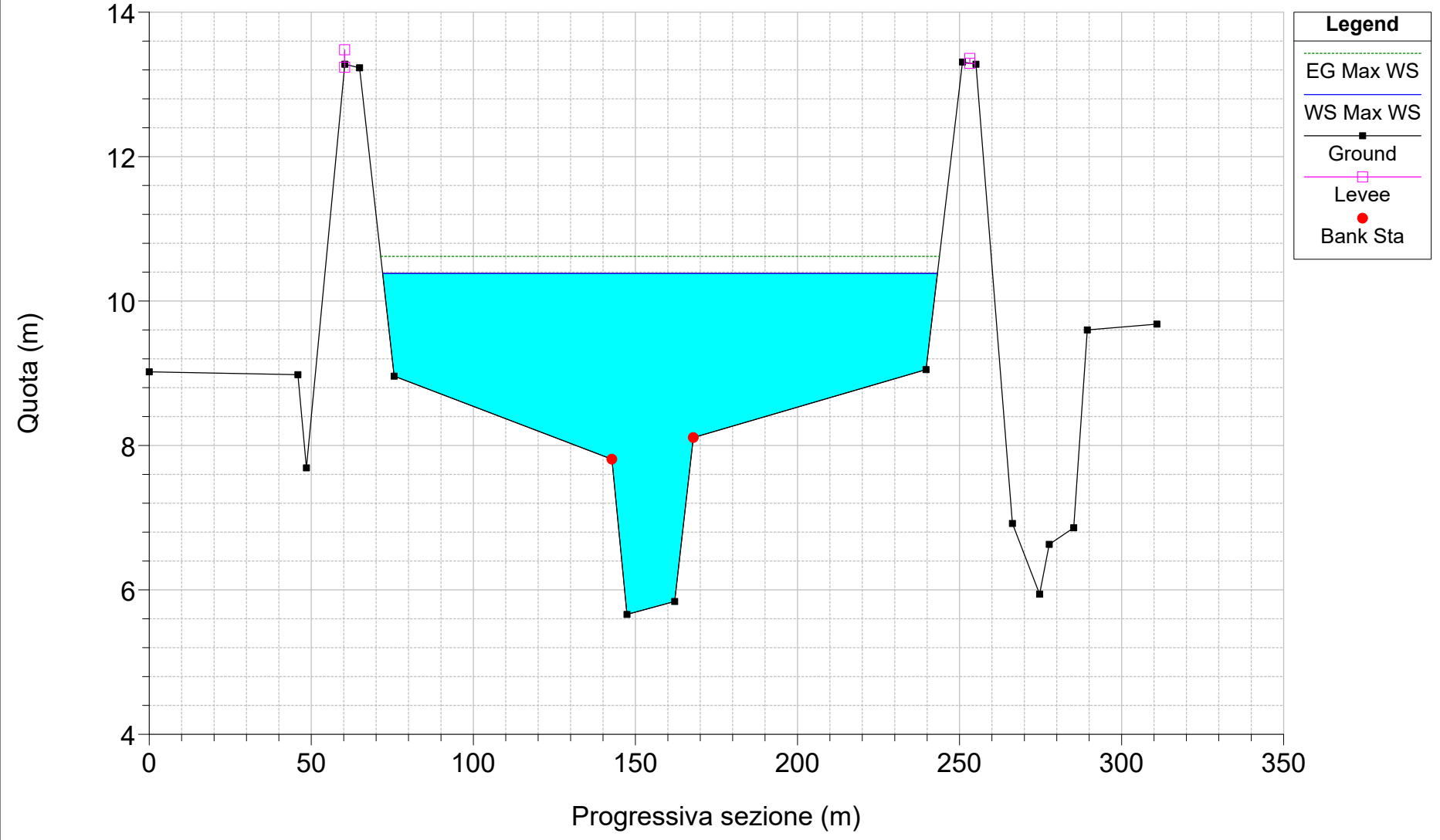
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 4 sez_rilev_07



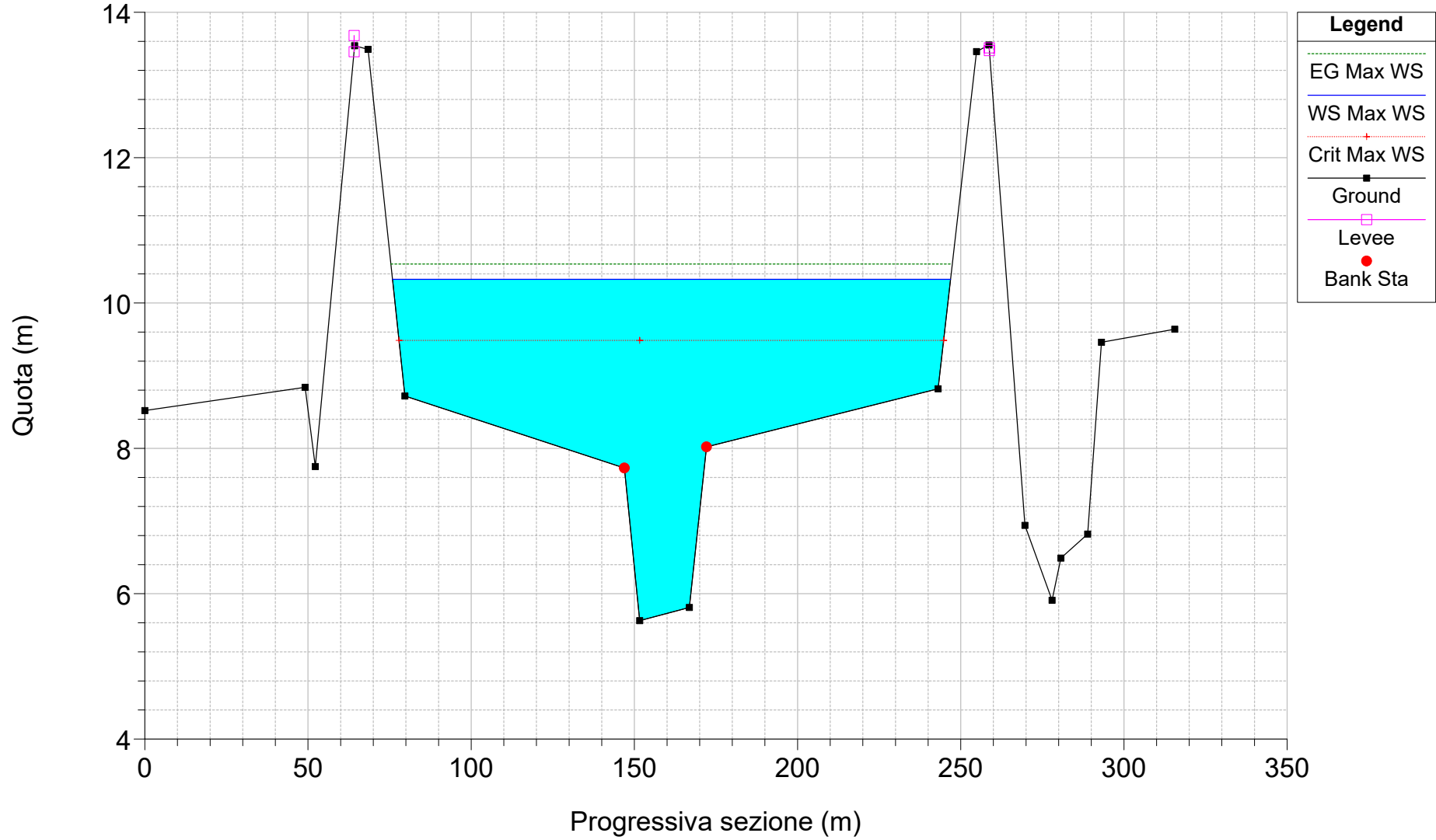
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 3 sez_rilev_08



Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 2 sez_rilev_09



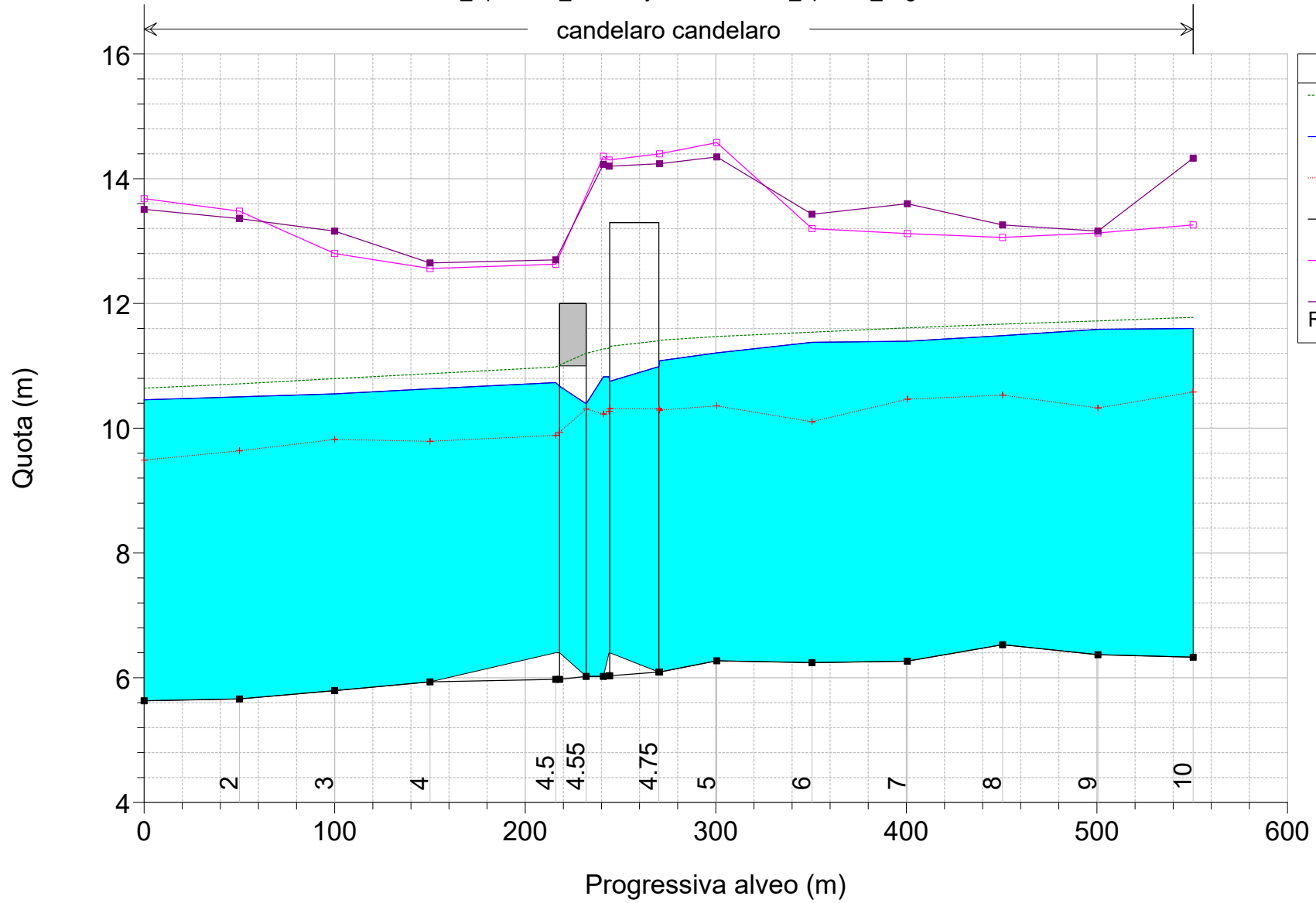
Candelaro_April2020_unsteady Plan: PostOPERAM_APR20
RS = 1 sez_rilev_10_(valle)



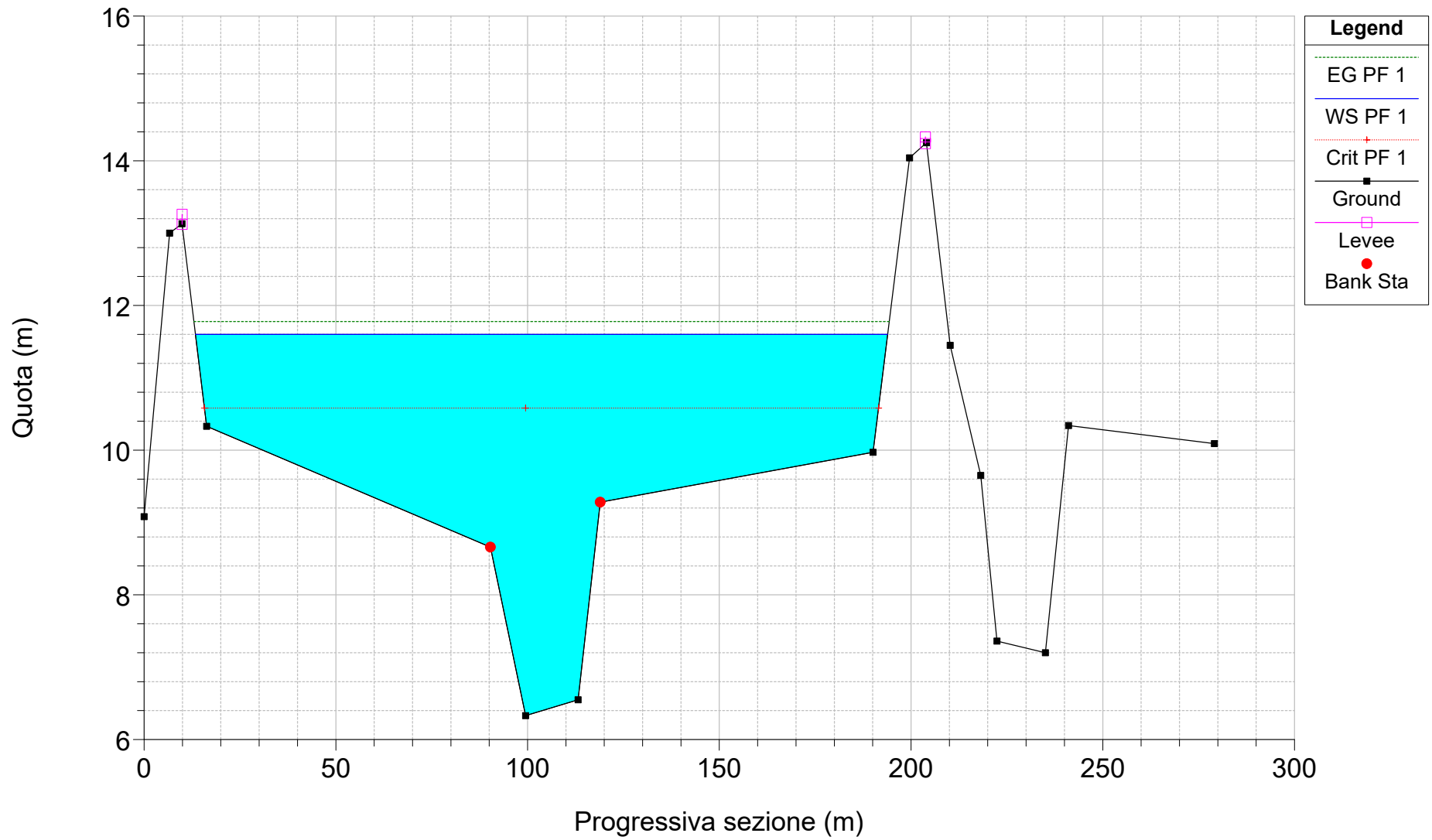
**Condizioni post operam senza guado
(portata al colmo di piena, 615 m³/s)**

candelaro candelaro

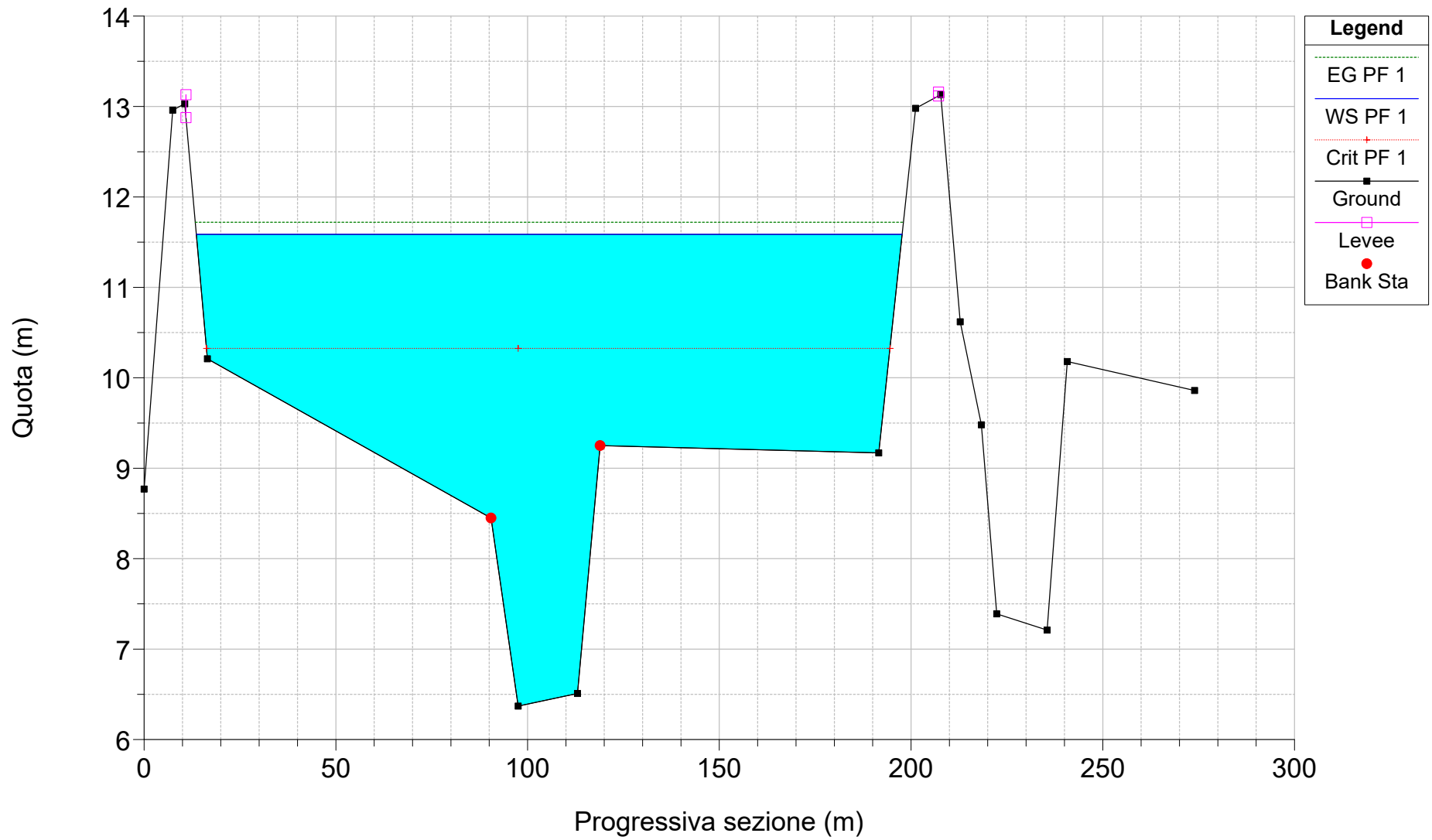
Legend	
EG PF 1	
WS PF 1	
Crit PF 1	
Ground	
Left Levee	
Right Levee	



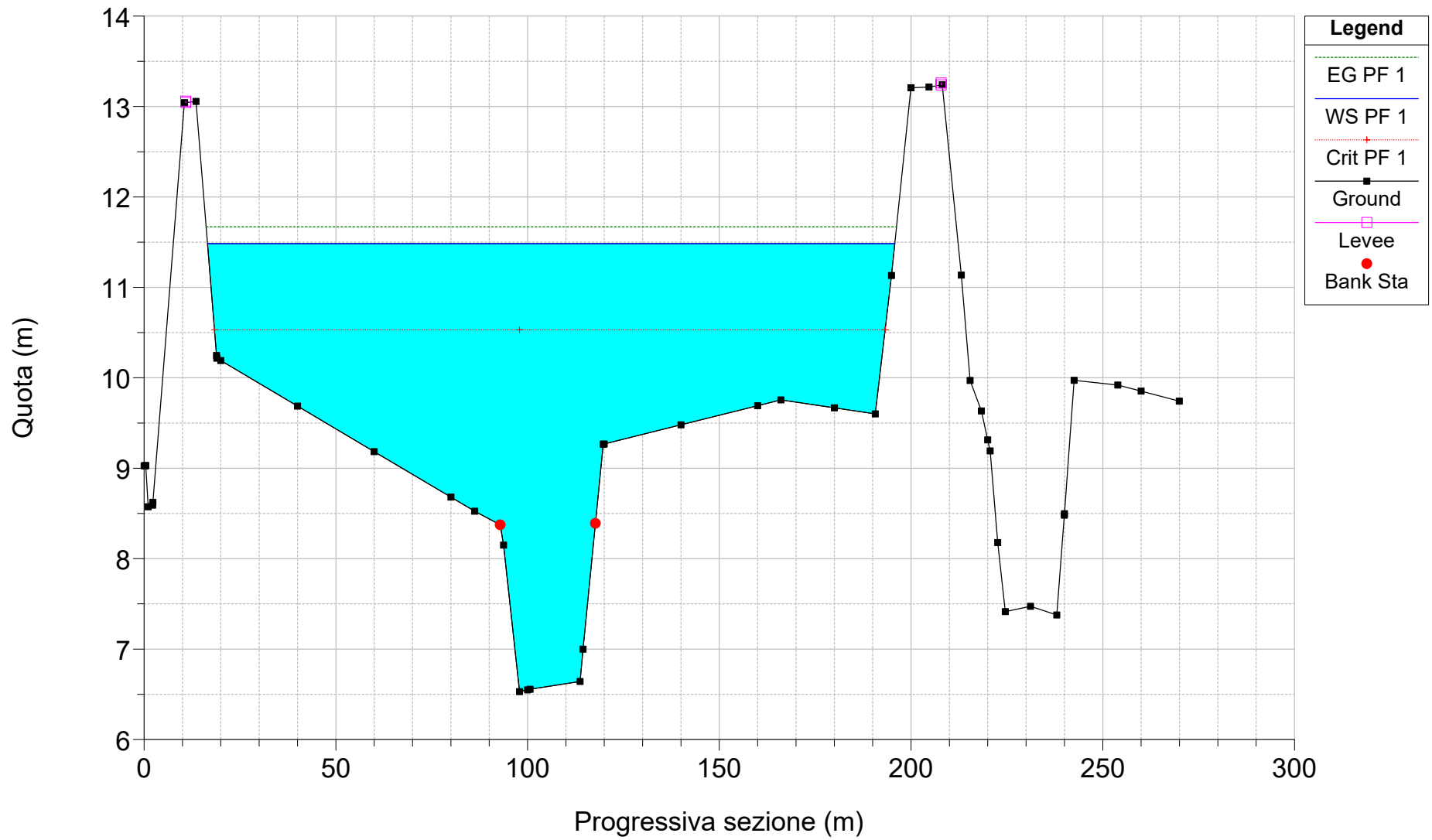
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 10 sez_rilev_01_(monte)



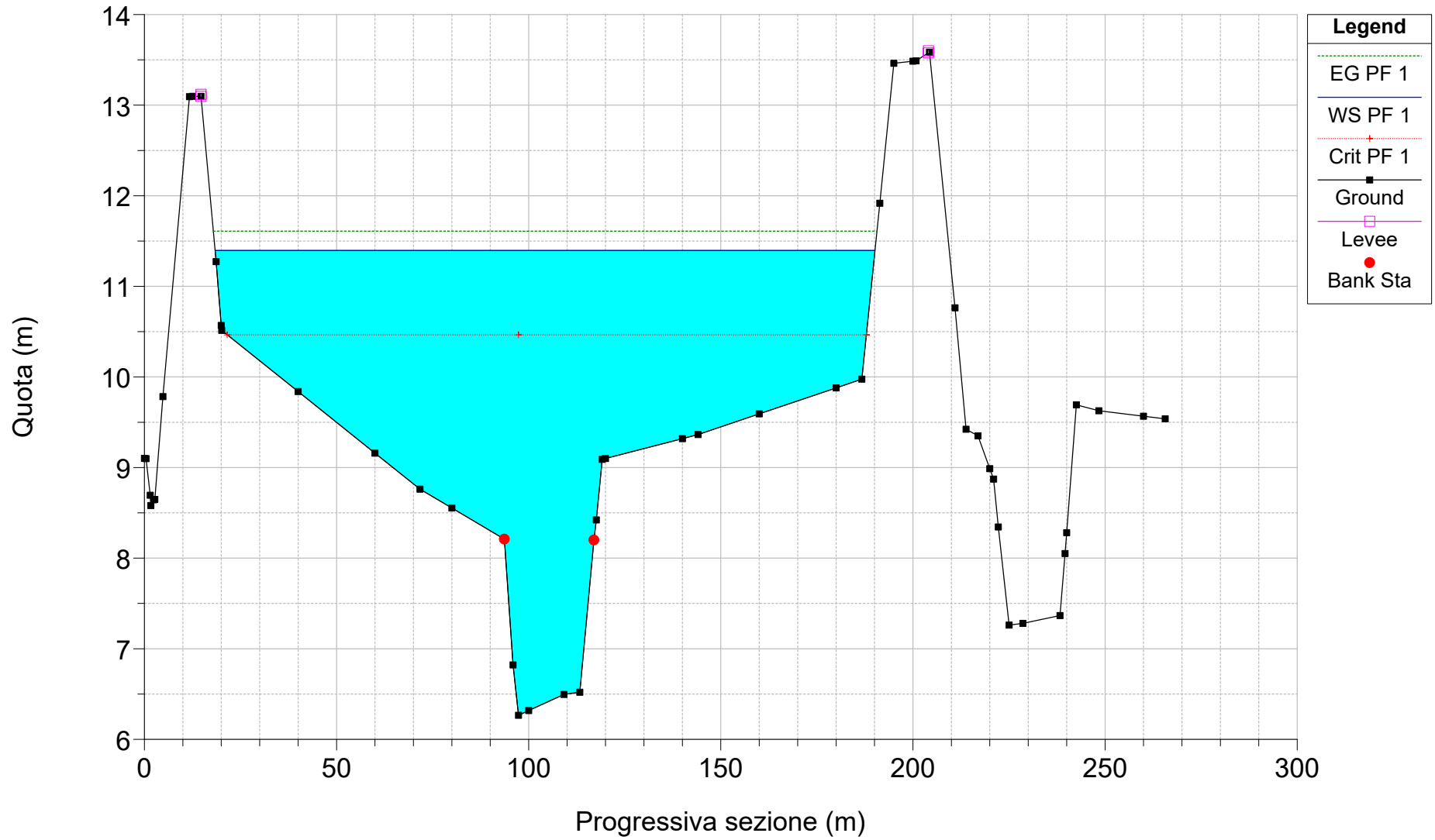
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 9 sez_rilev_02



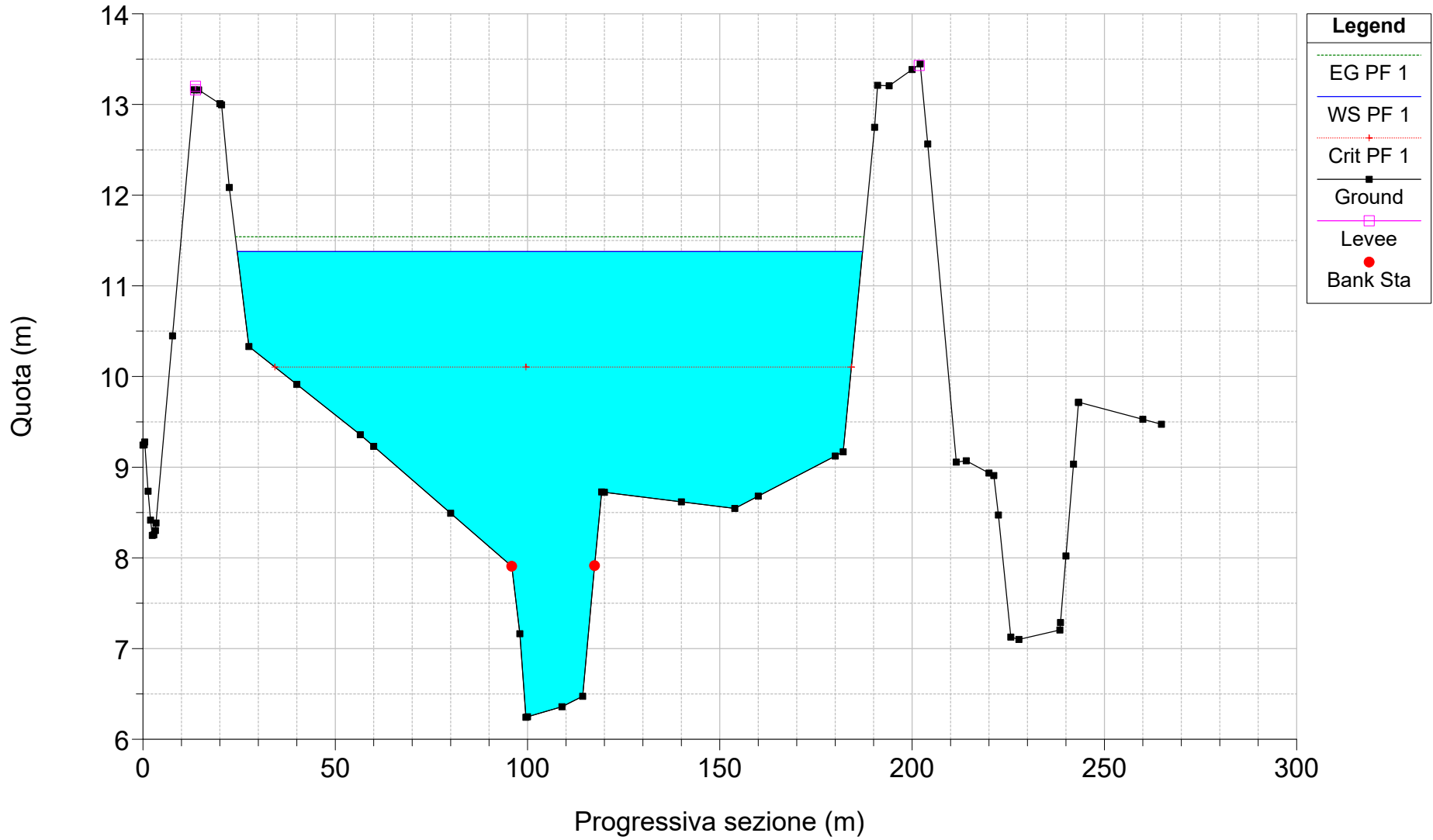
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 8 sez_rilev_03



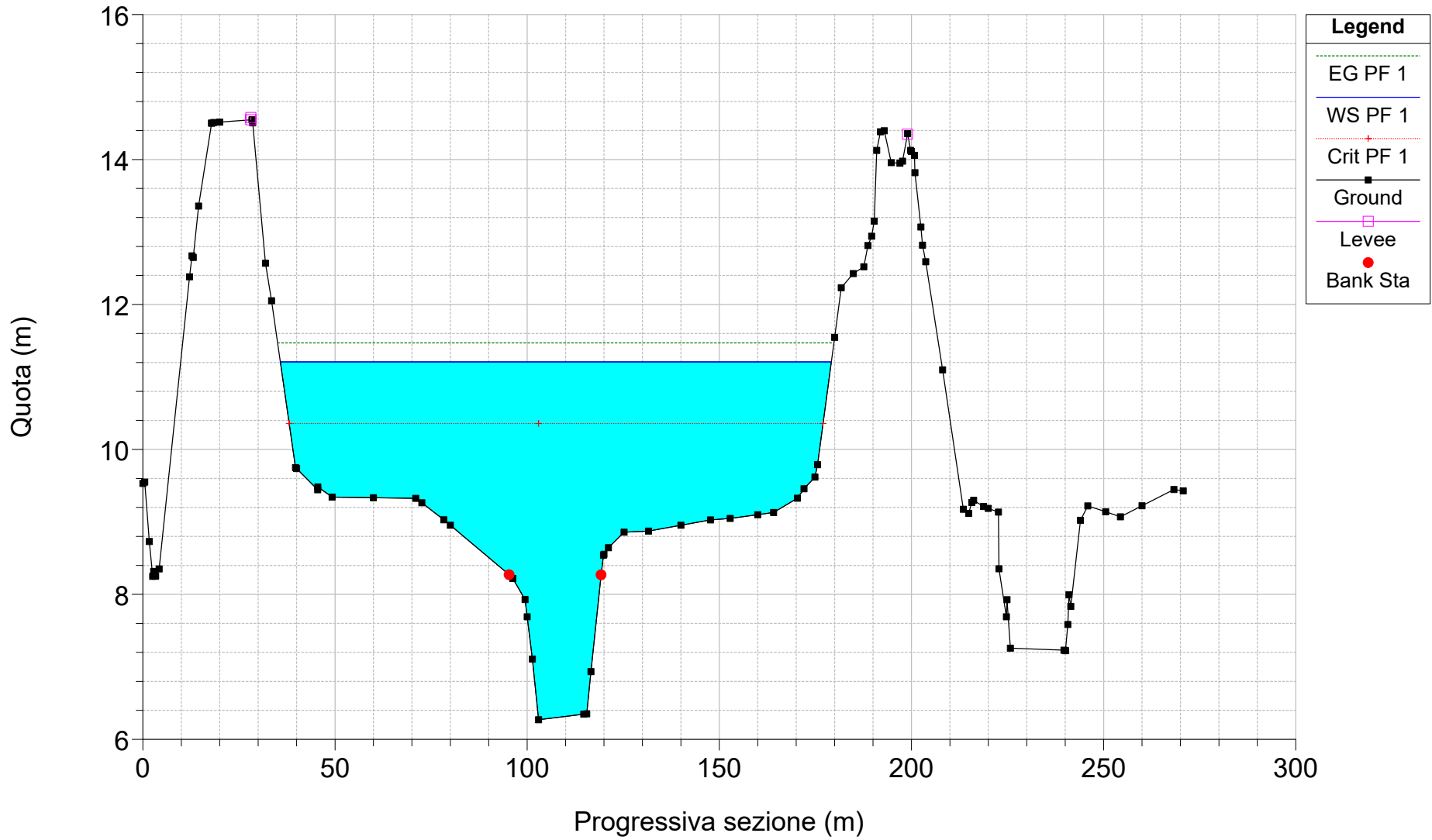
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 7 sez_rilev_04



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 6 sez_rilev_05



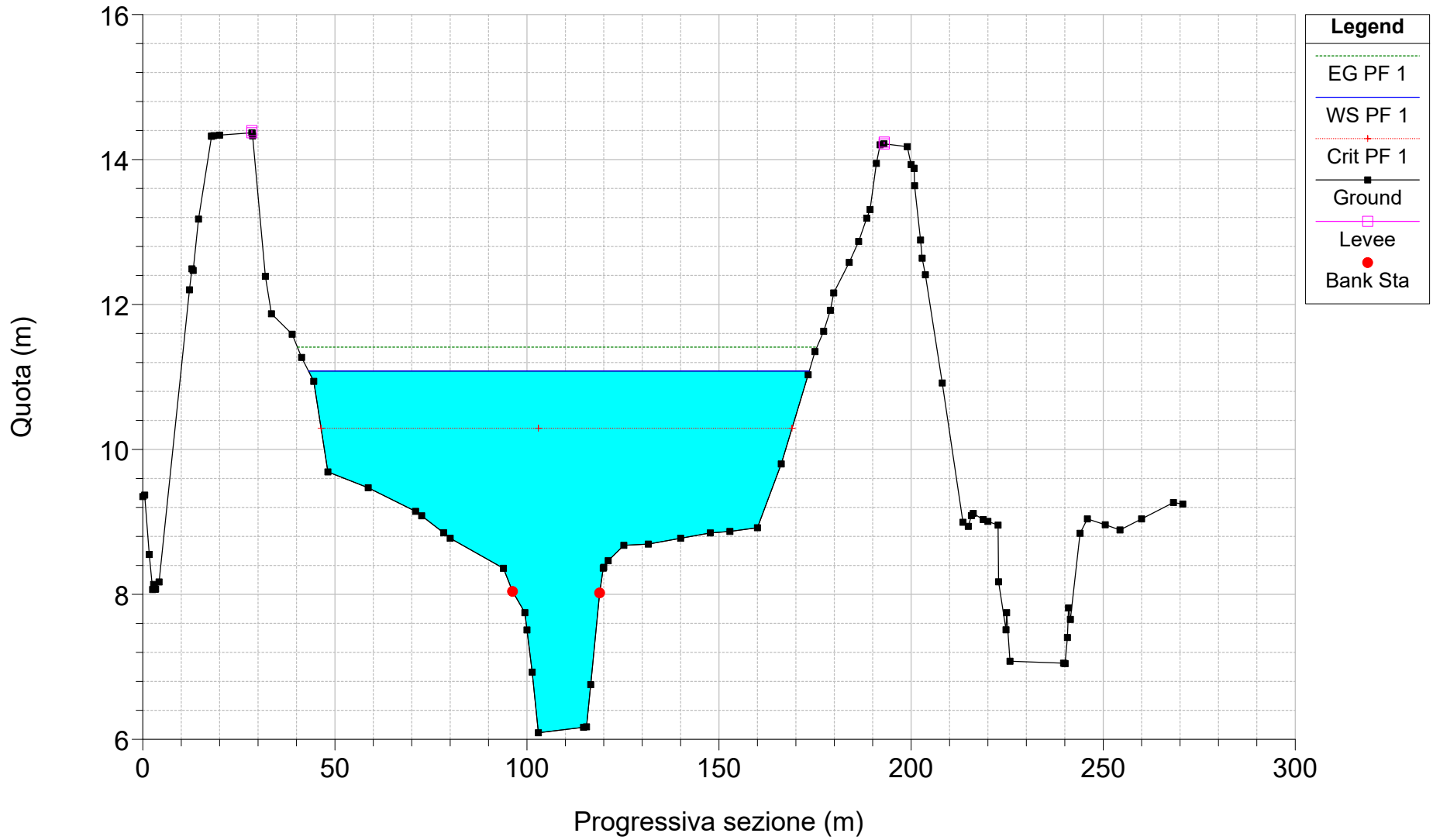
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 5 sez_rilev_06



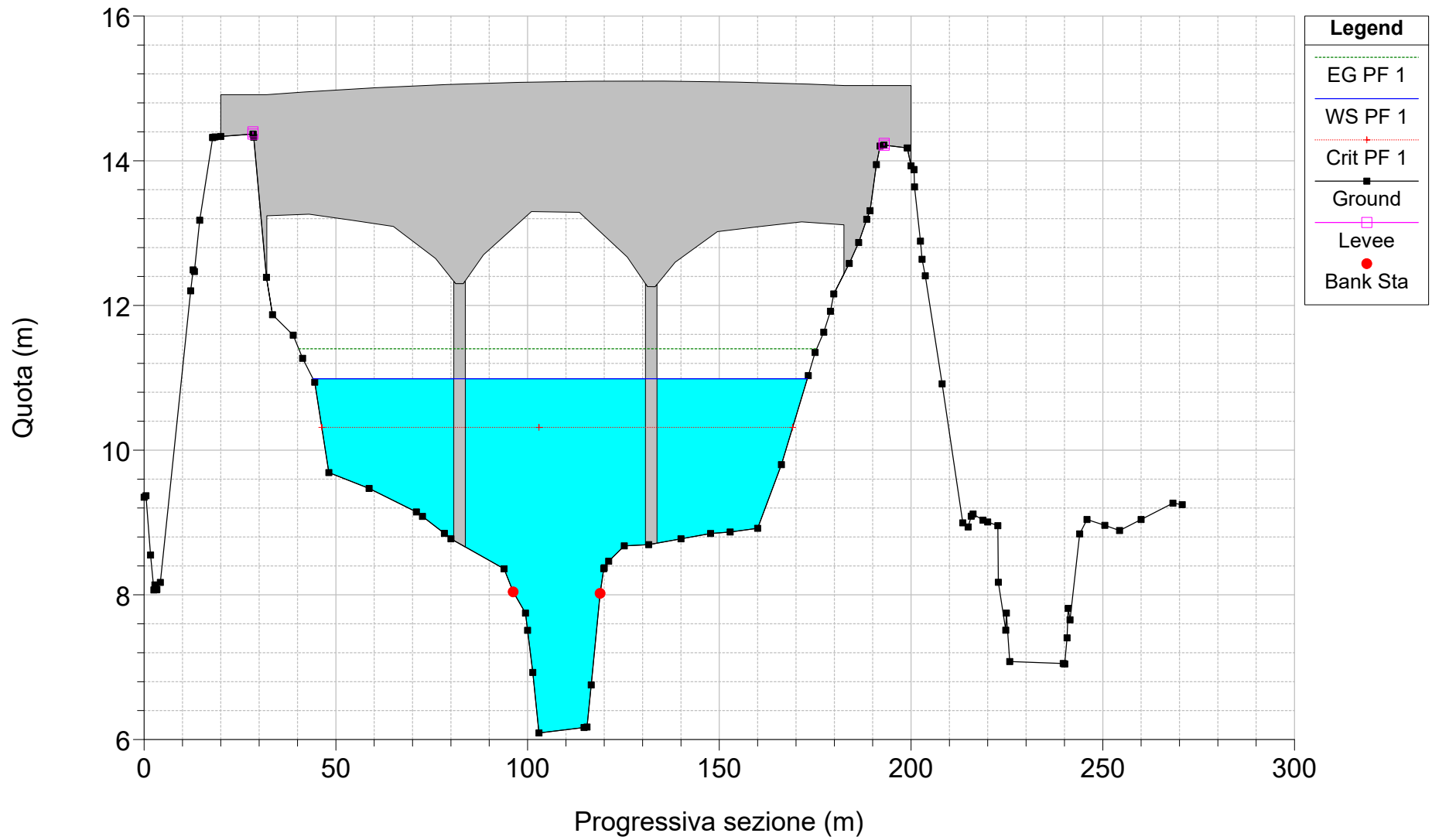
Candelaro_April2020_unsteady

Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM

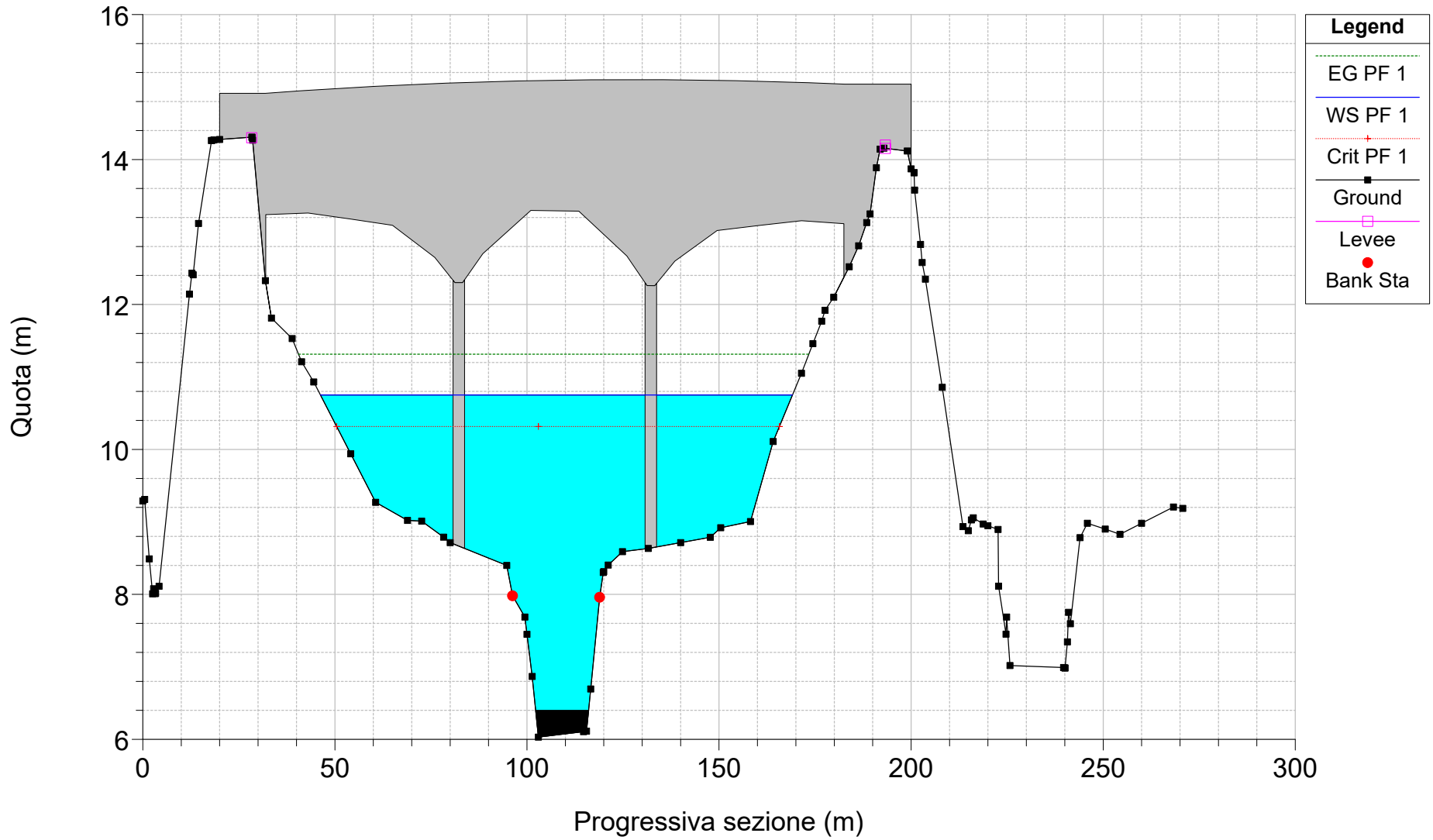
RS = 4.8



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 4.75 BR



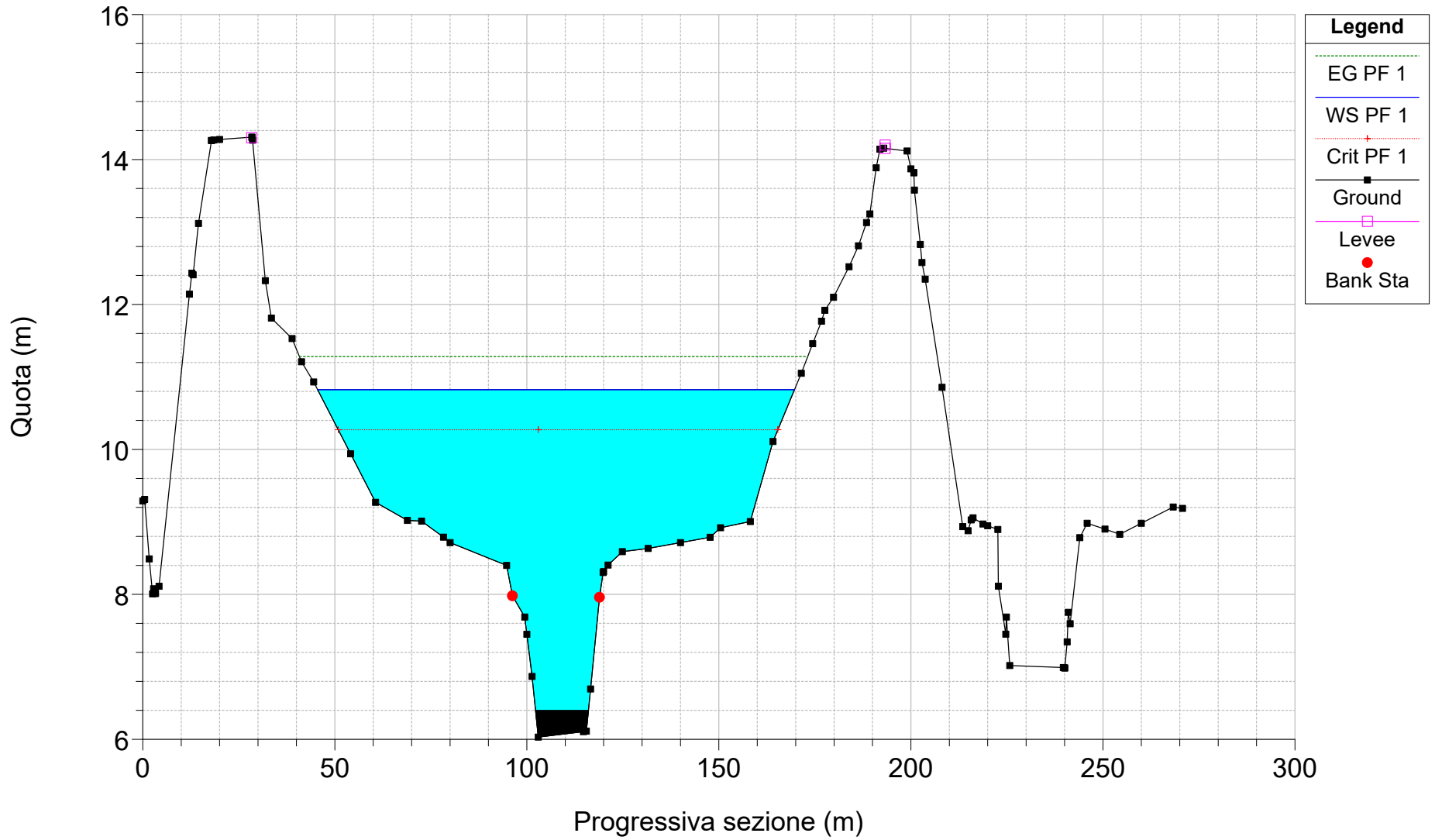
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 4.75 BR



Candelaro_April2020_unsteady

Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM

RS = 4.7



Candelaro_April2020_unsteady

Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM

RS = 4.6

Legend

EG PF 1

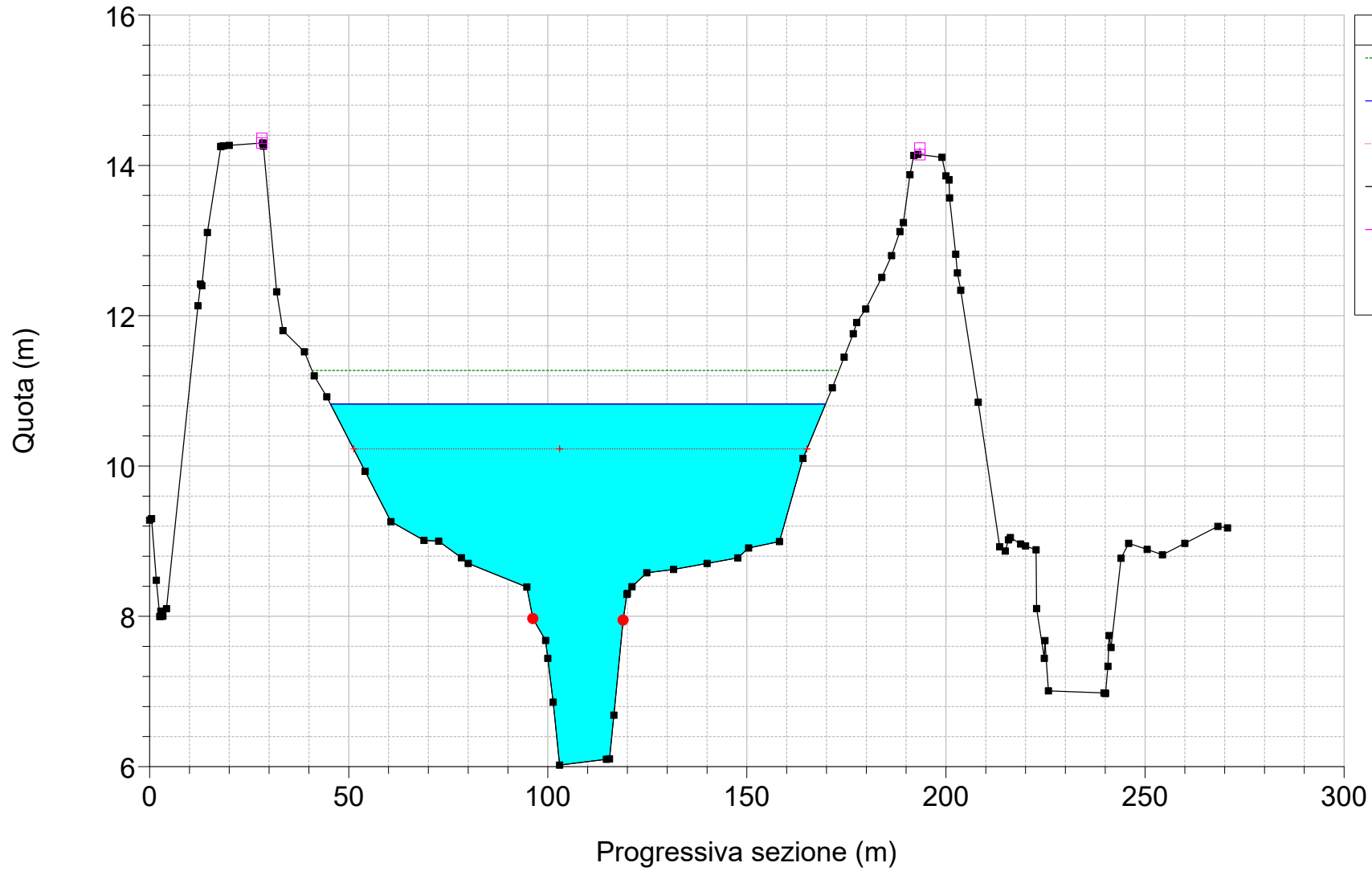
WS PF 1

Crit PF 1

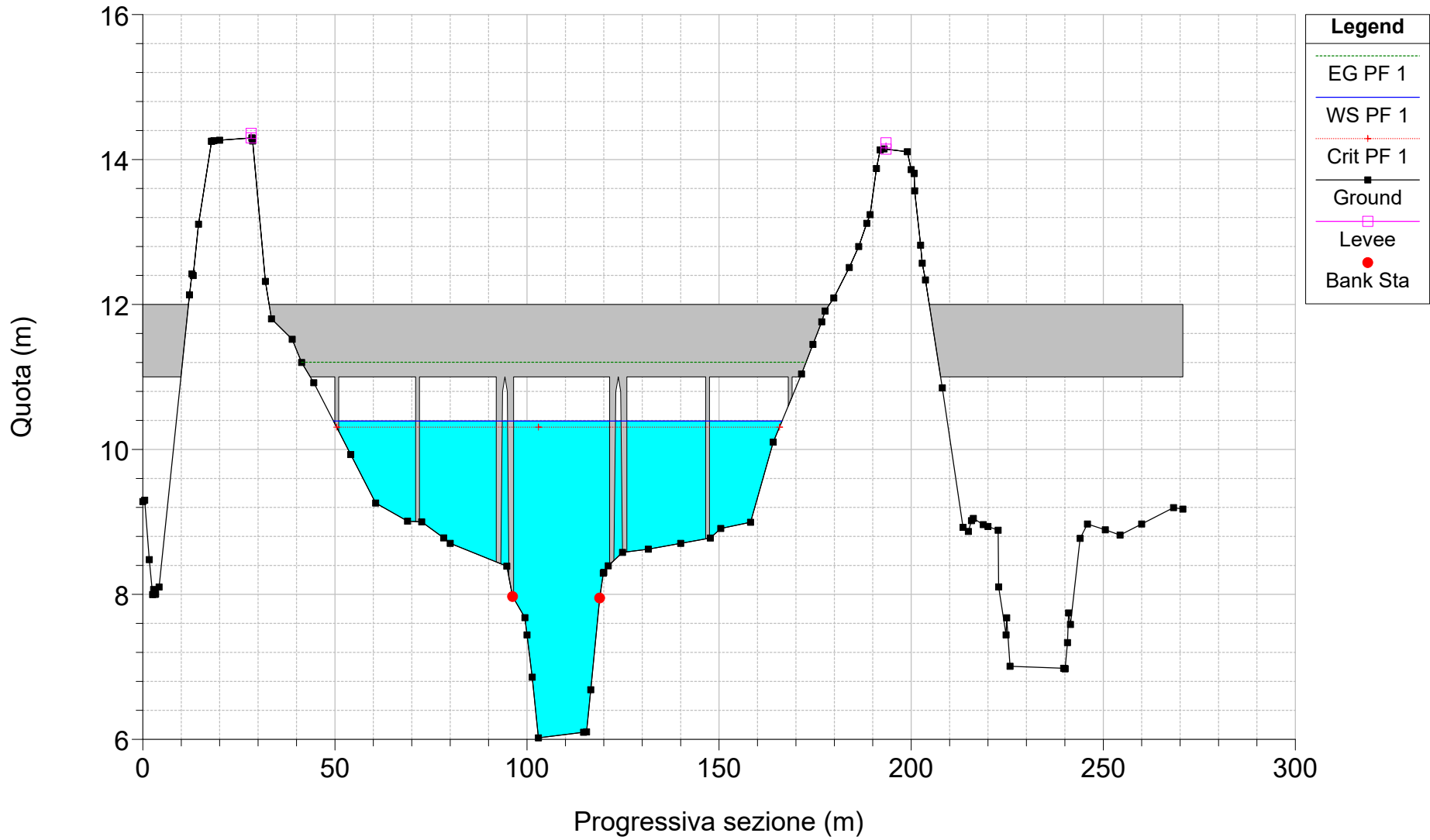
Ground

Levee

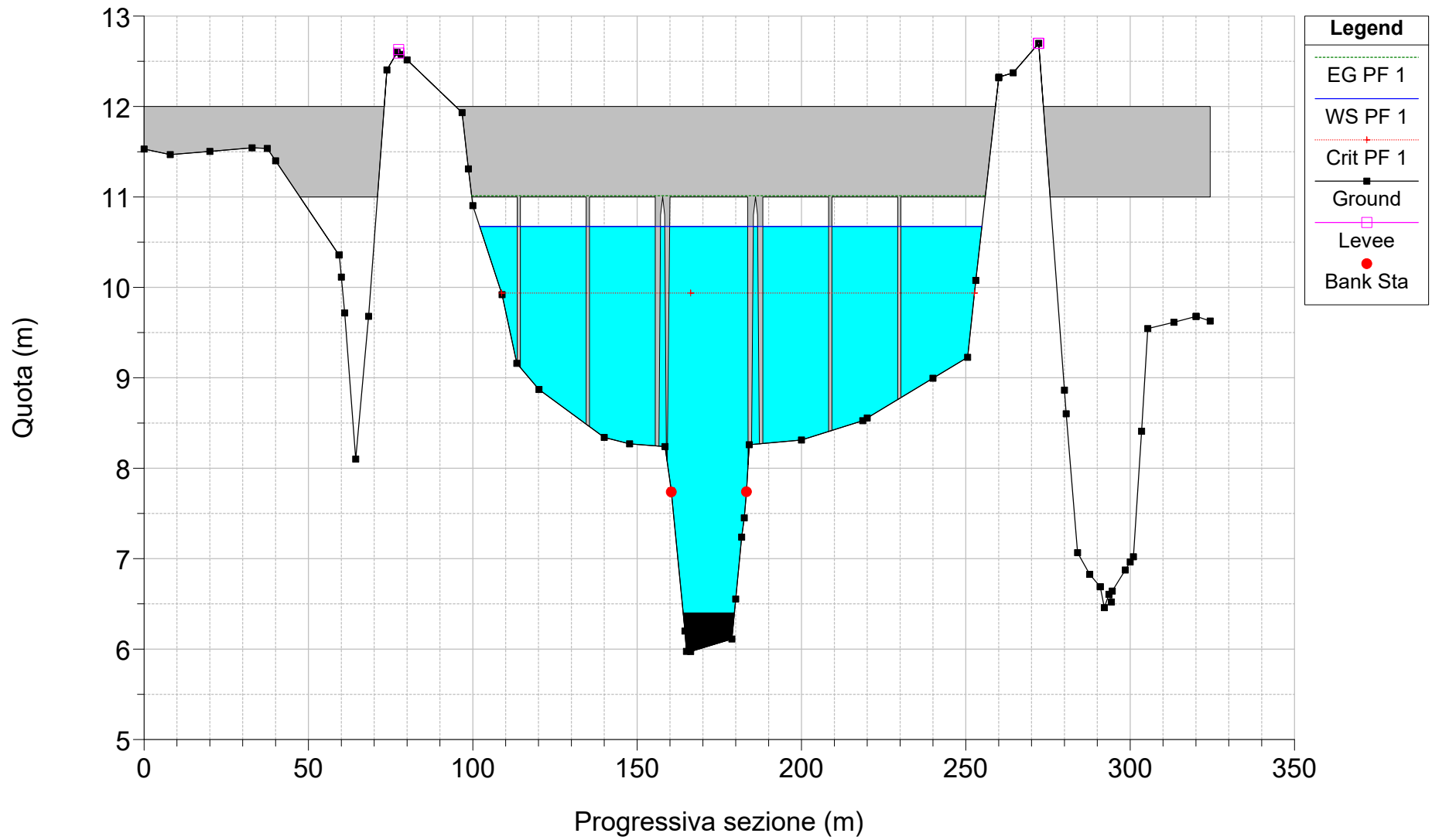
Bank Sta



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 4.55 BR



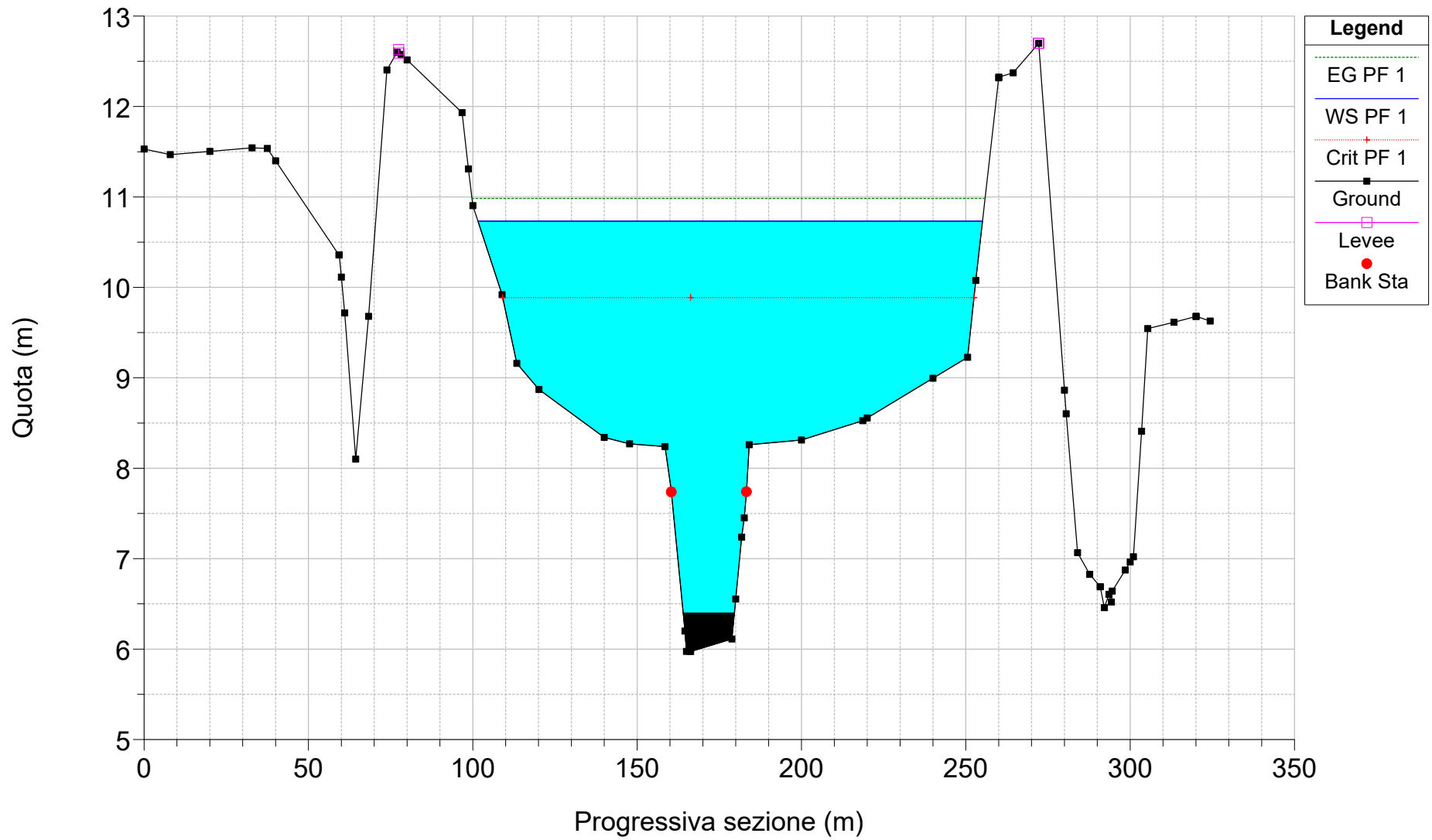
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 4.55 BR



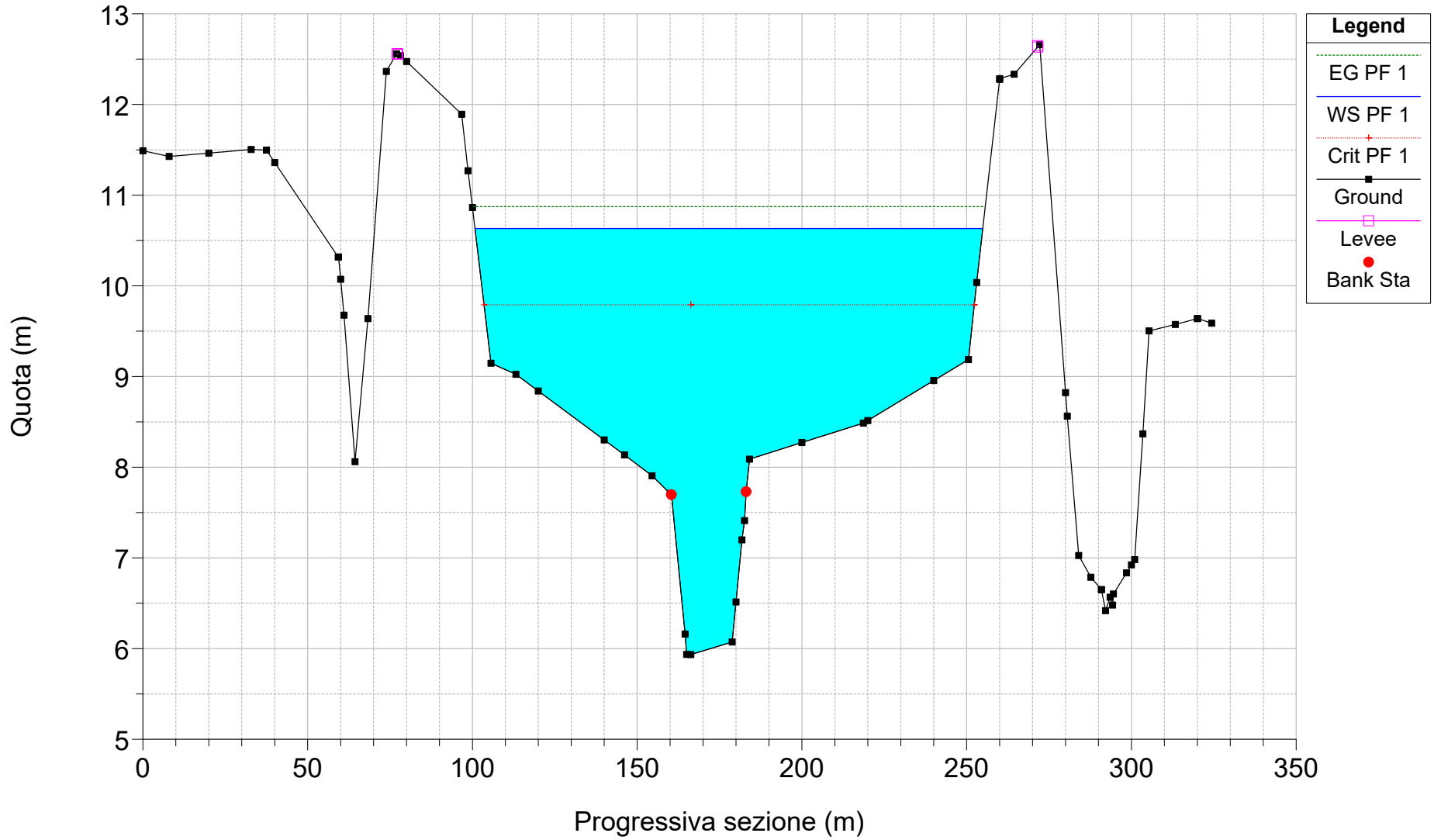
Candelaro_April2020_unsteady

Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM

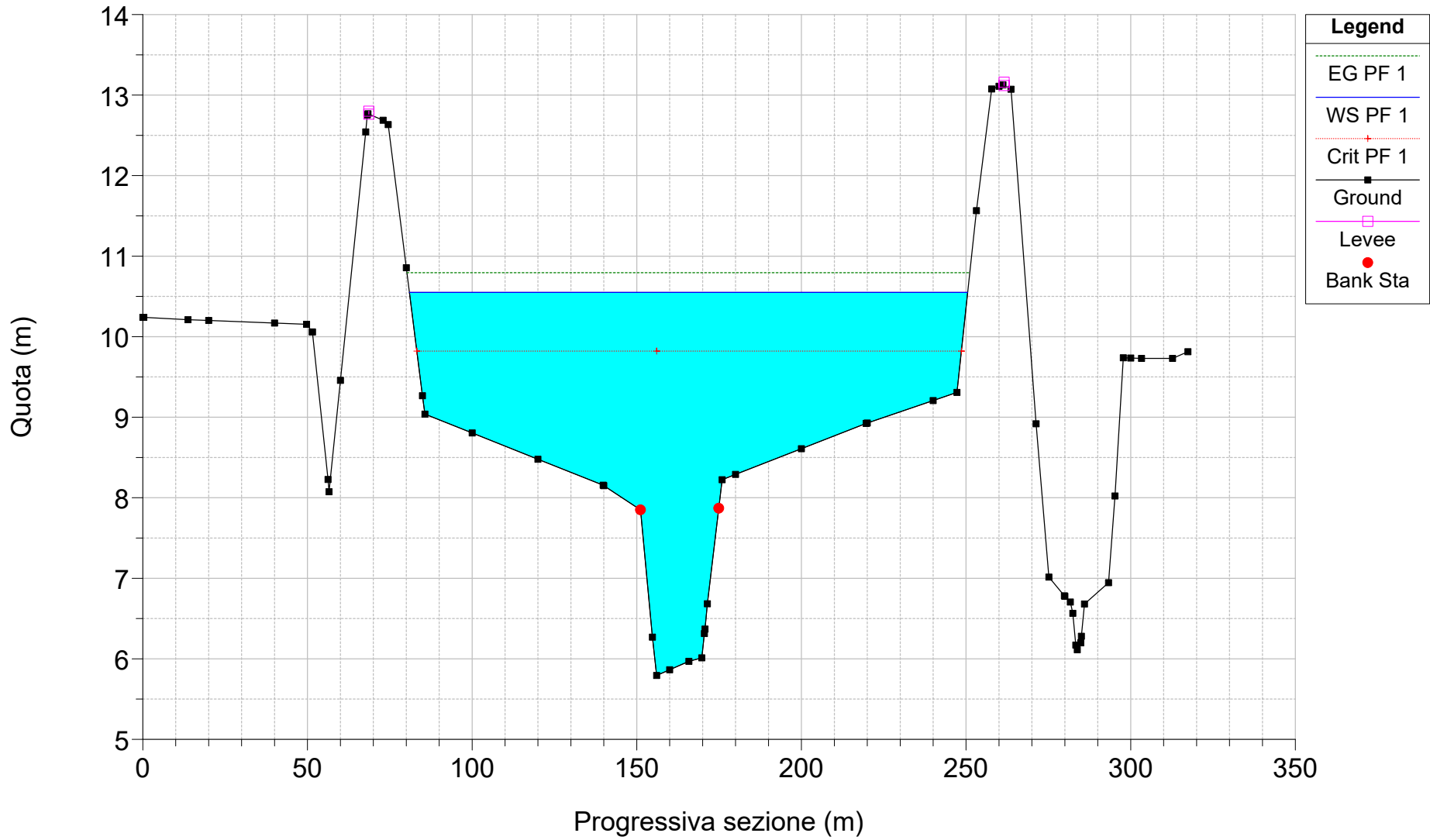
RS = 4.5



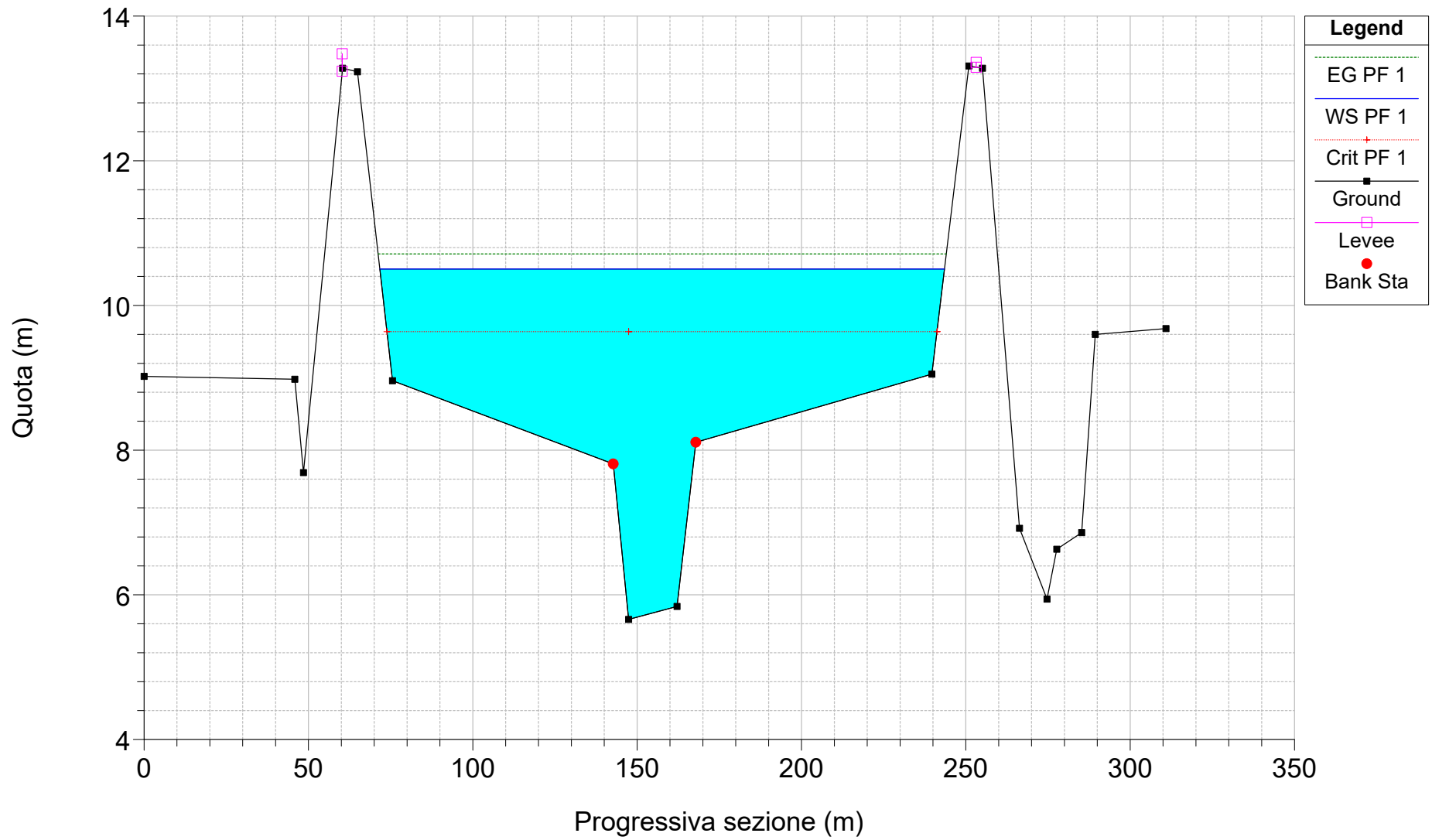
Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 4 sez_rilev_07



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 3 sez_rilev_08



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 2 sez_rilev_09



Candelaro_April2020_unsteady Plan: Post_operam_noguadoQADBDAM
RS = 1 sez_rilev_10_(valle)

