

PROGETTAZIONE - RTP

STUDIO D' INGEGNERIA ASSOCIATO
ISOLA-BOASSO & ASSOCIATI S.r.l.
Dott. Ing. Renzo ISOLA
Dott. Ing. Riccardo ISOLA
Dott. Ing. Paolo BOASSO
Dott. Ing. Fabrizio RABAGLIO

C.so M. Prestinari n° 86
VERCELLI

STUDIO D' INGEGNERIA
Dott. Ing. Achille PARMIGIANI

Via Monte Bianco n° 24
CAMERI

Vs. Rif. arch.:

Riproduzione o consegna a terzi
solo dietro specifica autorizzazione

Ente destinatario:

-



ACQUA
NOVARA.VCO
S.p.A.

Via Triggiani, 9 - 28100 NOVARA (NO)
Tel. 0321/413111 - Fax. 0321/413196

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

oggetto

COSTRUZIONE NUOVO SERBATOIO
PER ACQUA POTABILE
IN COMUNE DI STRESA
LOCALITA' CARCIANO

—INTEGRAZIONE DOCUMENTAZIONE—

Data: Giugno 2017

Rif. archivio: 011.16

Scala

—

TAV. n° ID.01.013

Rev.

AGGIORNAMENTI

DATA

Contenuto degli Elaborati

RELAZIONE IDRAULICA INTEGRATIVA SUL FOSSO DEL RODDO

Il Responsabile
Dott. Ing. Riccardo ISOLA

Visto

* Riservato all'Amministrazione

Indice:

1. PREMESSA	2
1.1 DISPOSIZIONI LEGISLATIVE E RICHAMI NORMATIVI.....	2
2. PROCEDURA PER LA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLE ASTE TORRENTIZIE CONSIDERATE	3
2.1 SINTETICO INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEI LUOGHI OGGETTO DI STUDIO.	3
2.2 PROCEDIMENTO SEGUITO PER LE SIMULAZIONI IDRAULICHE	3
2.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI CORSI D'ACQUA NEI TRATTI INDAGATI.	4
2.4 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEI CORSI D'ACQUA.....	4
2.4.1 <i>Analisi idrologica degli eventi estremi del Fosso del Roddo</i>	4
2.5 PRESENZA DI OPERE DI DIFESA	5
2.6 PRESENZA IN ALVEO DI MANUFATTI INTERFERENTI.....	5
2.7 SIMULAZIONE NUMERICA.....	6
2.7.1 <i>Metodo di calcolo: Uso del software Hec-Ras</i>	6
2.7.1.1 Descrizione del modello di simulazione idraulica.....	6
2.7.1.2 Calcolo del profilo di moto permanente.....	7
2.7.1.3 Perdite di carico dovute alle pile dei ponti	13
2.7.1.4 Flusso regolare al disotto dell'intradosso.....	13
2.7.1.5 Condizioni al contorno per la simulazione.....	15
2.7.1.6 Dati inseriti	17
2.7.1.7 Opzioni di calcolo	18
2.7.1.8 Aree inefficaci.....	19
2.7.1.9 Condizioni di simulazione	19
2.7.1.10 Condizioni al contorno.....	19
2.7.1.11 Coefficiente di scabrezza	20
2.7.1.12 Effetto di rigurgito provocato da restringimenti e da pile	20
2.7.1.13 Erosioni localizzate attorno alle fondazioni (scalzamento).....	21
3. SIMULAZIONE DI STATO ATTUALE DELL'ASTA IN MOTO PERMANENTE DEL FOSSO DEL	22
RODDO NELLA ZONA DI INTERESSE	22
3.1.1 <i>Condizioni di simulazione</i>	23
3.1.2 <i>Risultati Ottenuti</i>	25
ALLEGATO 1: FOSSO DEL RODDO - SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE DELLO STATO ATTUALE: SEZIONI	
TRASVERSALI E RELATIVI TABULATI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE	

1. PREMESSA

La presente relazione concerne le integrazioni idrologiche ed idrauliche relativa al progetto esecutivo delle “Opere di realizzazione del nuovo serbatoio di Stresa”, a seguito della richiesta della Regione Piemonte OOPP, con lettera prot. 13.160.70/ATZVI_1817/A18000/1654/2017C/A18000 del 21.06.2017, in fase di approvazione del progetto.

In particolare il presente studio ottempera alle richieste della citata nota, per la parte inerente le verifiche idrauliche del rio Fosso del Roddo (talvolta denominato Rio Molinaccio o Rio Selvalunga).

Il presente rapporto concerne le verifiche idrauliche eseguite per verificare gli effetti sulle portate di piena.

La risposta alle restanti richieste di detta nota è contenuta invece nelle integrazioni Geologiche a cura del Dott. Geol. Italo Isoli, presentate con rapporto separato.

La relazione si completa con il rilievo del rio nei pressi delle opere e le sezioni trasversali del rio.

1.1 Disposizioni legislative e richiami normativi

I riferimenti legislativi in ambito idraulico che sono stati presi in considerazione risultano:

- **Autorità di Bacino del fiume Po** “*Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell’assetto idraulico, all’eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione*” (piano stralcio PS 45); con riferimento specifico al punto 7.9.2.4 “Norme per gli attraversamenti interferenti con la rete idrografica”.
- **Autorità di Bacino del fiume Po** “*Piano stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino del fiume Po*” Allegato 4.3 Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi. Bacini del Piemonte e della Valle d’Aosta. Bozza di discussione”.
- **Autorità di Bacino del fiume Po** “*Piano stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino del fiume Po*” – “Direttiva tecnica relativa ai criteri generali e alle prescrizioni per la verifica dei ponti”.
- Deliberazione 11 Maggio 1999 dell’Autorità di Bacino del Fiume Po dal titolo: “*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B dei corsi d’acqua interessati dal piano stralcio delle fasce fluviali*”, pubblicata in G.U. n.225 del 24 Settembre 1999 (Direttiva 4);

2. PROCEDURA PER LA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLE ASTE TORRENTIZIE CONSIDERATE

La procedura di simulazione del fiume in oggetto si articola secondo i seguenti punti:

- Sintetico inquadramento territoriale dei luoghi oggetto di studio;
- Caratteristiche geometriche del corso d'acqua nel tratto di attraversamento;
- Caratteristiche morfologiche dell'alveo;
- Caratteristiche idrologiche del corso d'acqua;
- Caratterizzazione dell'assetto delle opere di difesa esistenti nel tratto di corso d'acqua soggetto all'attraversamento;
- Individuazione dei manufatti interferenti, presenti sul tronco di corso d'acqua analizzato;
- Modalità di deflusso in piena;
- Simulazione numerica in moto permanente dello stato attuale e di progetto.

2.1 Sintetico inquadramento territoriale dei luoghi oggetto di studio.

Il territorio comunale di Stresa è prevalentemente collinare e si sviluppa a partire dalla quota di 200 metri s.l.m. in fregio al Lago Maggiore sino alla quota di 600 metri s.l.m. (frazioni più elevate).

La zona in esame appartiene all'unità nota come "Serie dei Laghi", la quale è suddivisa a sua volta in due subunità, gli "Scisti dei Laghi" e la "Zona Strona-Ceneri", separate dalla Zona Marginale della Strona Ceneri costituita da anfiboliti e paragneiss anfibolitici; tutta l'unità è poi attraversata da corpi di ortogneiss di forma, estensione e composizione variabile.

Le rocce costituenti la Serie dei Laghi sono state intruse in età permiana da batoliti granitici (Graniti dei Laghi), il più esteso dei quali occupa la porzione sommitale del M. Mottarone. Nell'area esaminata sono presenti gli "Scisti dei Laghi" e i "Graniti dei Laghi" (estratto dalla relazione geologica preliminare redatta da Dott. Geol. Italo Isoli con studio in Verbania).

Le aree oggetto degli interventi si trovano ad nord-ovest dell'abitato Stresa provincia di Verbania. Le opere interessano un serbatoio posto in area boscata, in fregio a strade urbane e nuove condotte precisamente lungo le vie Selvalunga e per Stresa. Nella Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 i siti compaiono nella sezione 073110.

L'area interessata dal serbatoio Carciano esistente si presenta come un versante posto al margine superiore dell'abitato, orientato a Sud Est. Il versante è marcatamente inciso da riali pressoché paralleli che seguono la direzione della massima pendenza con orientamento Nord Est.

Il Fosso del Roddo scorre ai piedi del versante su cui insiste, pochi metri al di sopra, il serbatoio esistente.

2.2 Procedimento seguito per le simulazioni idrauliche

Lo schema del lavoro seguito per lo studio delle modalità di deflusso in piena è il seguente:

- Sopralluogo sui tratti di asta fluviale in oggetto;
- Indagine delle carte delle piene storiche (se esistenti);
- Studio idrologico per la scelta delle portate di simulazione con i vari tempi di ritorno oppure indagine della documentazione in merito già disponibile e validata;
- Rilievo Topografico di Dettaglio;
- Esame delle geometrie d'alveo rilevate;

- Inserimento delle geometrie d'alveo nel modello numerico di simulazione;
- Scelta delle condizioni al contorno per la simulazione, delle scabrezze da utilizzare nelle sezioni ecc;
- Prime simulazioni per la taratura del modello;
- Simulazioni di "assestamento" e definitive, stampa dei tabulati di calcolo.

2.3 Caratteristiche geometriche dei corsi d'acqua nei tratti indagati.

La descrizione geometrica dell'alveo, funzionale allo studio idraulico, è effettuata sulla base di un supporto planimetrico da Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, integrata da un rilievo topografico aggiornato al 2016, integrato nel Giugno 2017 espressamente per le presenti integrazioni.

Le sezioni topografiche rappresentano dettagliatamente la geometria attuale dei tratti di rio oggetto dello studio, con particolare riferimento alla zona del nuovo serbatoio.

Le sezioni sono posizionate in modo tale da rappresentare le singolarità presenti e la variazione delle dimensioni dell'alveo lungo il tratto.

Si è provveduto, in funzione alle esigenze di dettaglio dei calcoli idraulici, a definire l'estensione di tratto di fiume da rilevare topograficamente, considerando un deflusso in corrente veloce.

Il rilievo topografico si estende per tutto il tratto di asta in esame (vedasi tavole di rilievo) e risulta, sia come estensione che come numero di sezioni, sicuramente adatto per lo studio di compatibilità idraulica in esame, in quanto fedele riproduzione della realtà morfologica ed idraulica del tratto di corso d'acqua interessato.

L'estensione trasversale delle sezioni è adeguata alle esigenze di calcolo.

Nelle tavole grafiche allegate sono riportate le planimetrie e le sezioni del corso d'acqua analizzato.

2.4 Caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua

Trattandosi di valutazioni idrauliche relative alla valutazione degli effetti che le opere in progetto hanno sulla situazione idraulica dell'asta considerata, lo scenario idrologico di interesse riguarda maggiormente le portate di piena che non quelle di magra.

La piena di riferimento utilizzata è quella duecentenaria. Tale valore è cautelativo, in quanto ai sensi delle norme PAI, in caso di alveo non fasciato, sarebbe sufficiente la piena centenaria.

Nel caso in esame in fatti, si ritiene di utilizzare tale tempo di ritorno in considerazione dell'importanza e della strategicità dell'opera.

2.4.1 Analisi idrologica degli eventi estremi del Fosso del Roddo

L'attività di indagine idrologica, nel caso in esame, è consistita nella ricerca di dati disponibili e certificati in ambito idraulico, al fine di una generale coerenza delle simulazioni effettuate con le simulazioni e le fasciature già approvate per la zona in esame.

In particolare sono stati reperiti gli studi:

- Interventi di sistemazione idrogeologica torrente Selvalunga, Dott. M. Coretta, dicembre 2011;

- Realizzazione nuova passerella pedonale sul Rio Roddo in località Carciano, Dott. I. Isoli febbraio 2016.

Nel caso specifico il Dott. Geol. Italo Isoli ha effettuato delle analisi di dettaglio per meglio individuare le portate di piena e di deflusso solido associate alla piena duecentenaria di riferimento, che sono riportate nella allegata relazione geologica integrativa.

Le portate di piena duecentenaria simulate, sono state quindi desunte dal citato studio, e sono relative a due condizioni particolarmente gravose:

- Caso denominato Q200 detritica: relativo ad una piena duecentenaria con grande contributo di trasporto solido, particolarmente eccezionale, non considerando l'effetto di trattenimento di una briglia esistente a monte delle zone di intervento, a valle autostrada (v. relazione geologica integrativa per maggiori dettagli). La portata liquida associata a tale evento è pari a 18 mc/s, per complessivi 76 mc/s inclusivi del trasporto solido movimentato dalla piena (portata totale oltre 4 volte quella liquida);
- Caso denominato Q200 debrisflood: relativo alla medesima piena duecentenaria, ma considerando l'effetto di trattenimento della briglia esistente a monte delle zone di intervento, a valle autostrada. In tal caso la portata associata a questo evento è pari a 25 mc/s inclusivi del trasporto solido.

2.5 Presenza di opere di difesa

Nel tratto in esame, a seguito di attenti e ripetuti sopralluoghi, sono stati rilevati tratti di difese in massi e briglie esistenti, che sono stati accuratamente inseriti nelle sezioni rilevate ed a sua volta nelle parti di modello pertinenti. Tali difese sono state tenute in conto nelle simulazioni idrauliche, in termini di scabrezza superficiale assegnata e geometrie rilevate.

2.6 Presenza in alveo di manufatti interferenti

Nei tratti di corso d'acqua in esame, sono presenti diversi manufatti interferenti, costituiti da briglie esistenti con pettini metallici per il trattenimento del trasporto solido.

Tali manufatti, ancora in buono stato, sono stati adeguatamente rilevati ed inseriti nelle geometrie di modello. Una immagine di tali manufatti è riportata qui di seguito.



2.7 Simulazione numerica

Al fine di ottenere risultati utili per le verifiche idrauliche delle opere è stato utilizzato un software di calcolo in moto permanente molto diffuso nella pratica ingegneristica, denominato Hec-Ras.

2.7.1 Metodo di calcolo: Uso del software Hec-Ras

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS[®] ed è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Di seguito viene presentata una descrizione del software ed i suoi fondamenti teorici.

2.7.1.1 *Descrizione del modello di simulazione idraulica*

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:

- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

E' rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per

tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA).

Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso. Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;
- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

2.7.1.2 Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 2.7.1.2.1).

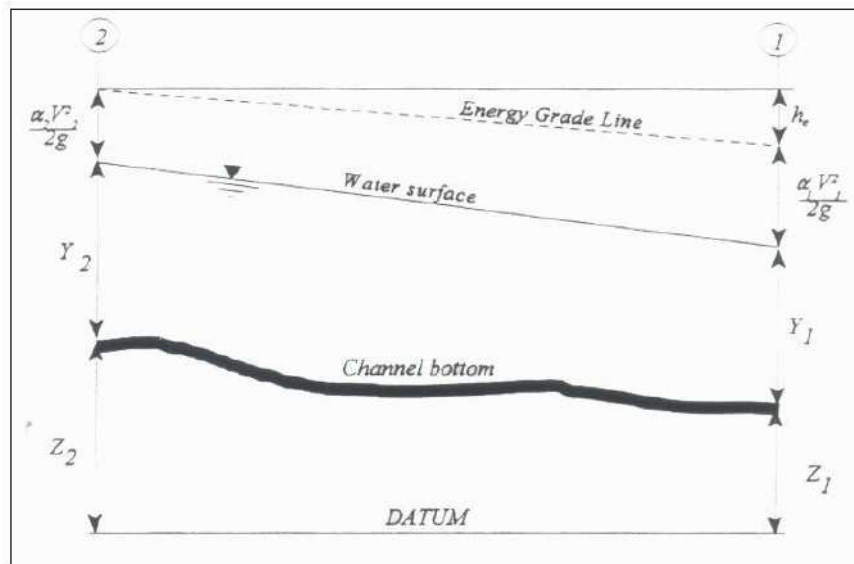


fig. 2.7.1.2.1: Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot Sf + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS_1, WS_2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

V_1, V_2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.2.7.1.2.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il canale di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

tab. 2.7.1.2.1: Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

TRANSITION CLASS	CONTRACTION	EXPANSION
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze progressive dall'ascissa $x = 0$) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo. In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2.7.1.2.2).

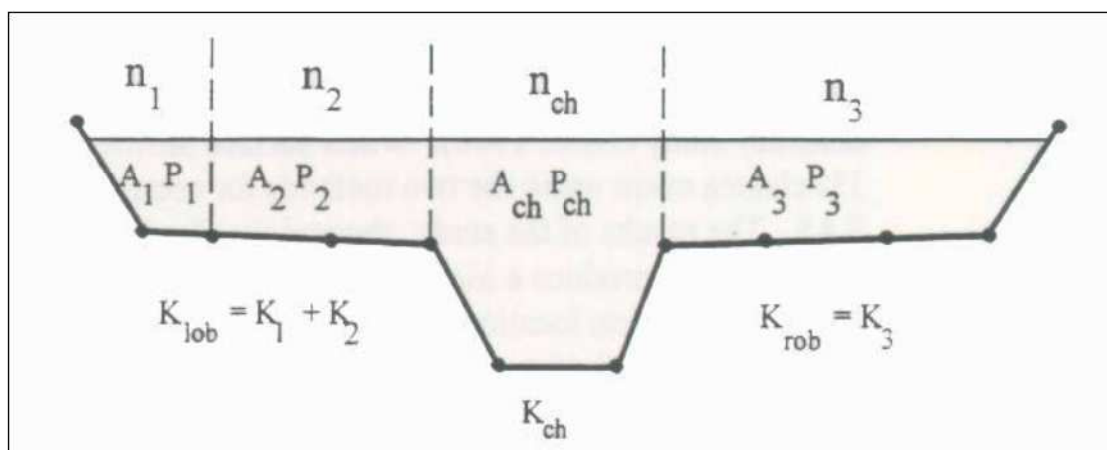


fig. 2.7.1.2.2: Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso.

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} a R^{2/3}$$

dove

- Q : portata per unità elementare;
- K : capacità di deflusso per unità elementare;
- n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;
- a : area di deflusso dell'unità elementare;
- R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.2.7.1.2.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.

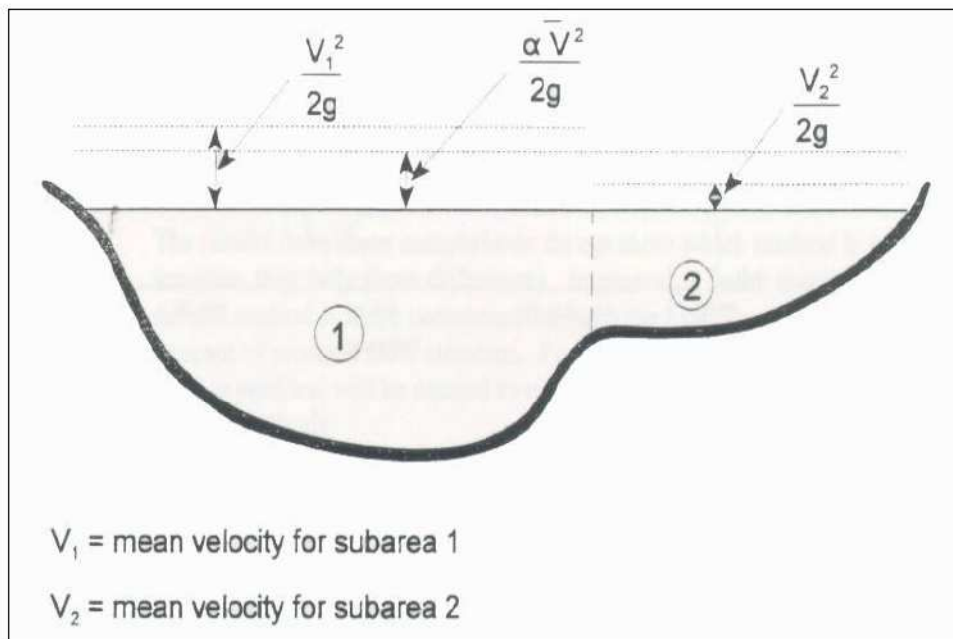


fig. 2.7.1.2.3: Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale.

Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

Dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione (vedi tab. 2.7.1.2.1).

La determinazione della profondità critica, che corrisponde alla situazione di minima energia (vedi fig. 2.7.1.2.4) si ottiene in maniera iterativa ricercando appunto la condizione di minimo dell'energia, ossia ricercando il minimo della funzione

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

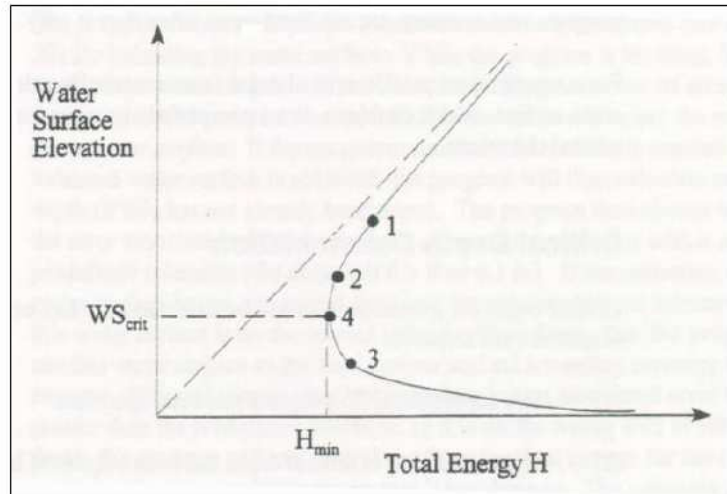


fig. 2.7.1.2.4: Diagramma carico-altezza del pelo libero.

La ricerca della profondità critica viene eseguita secondo due metodi numerici: parabolici o delle secanti.

In particolare, in caso di regime misto, cioè in caso di corrente lenta e veloce con presenza quindi di risalto idraulico (situazione simulata nel nostro modello), non è più possibile utilizzare le equazioni menzionate in precedenza perché siamo in presenza di moto vario e non permanente in corrispondenza dei risalti. Occorre allora applicare l'equazione di momento $\sum F_x = m \cdot a$ ad un elemento di corrente fluida in movimento (fig. 2.7.1.2.5).

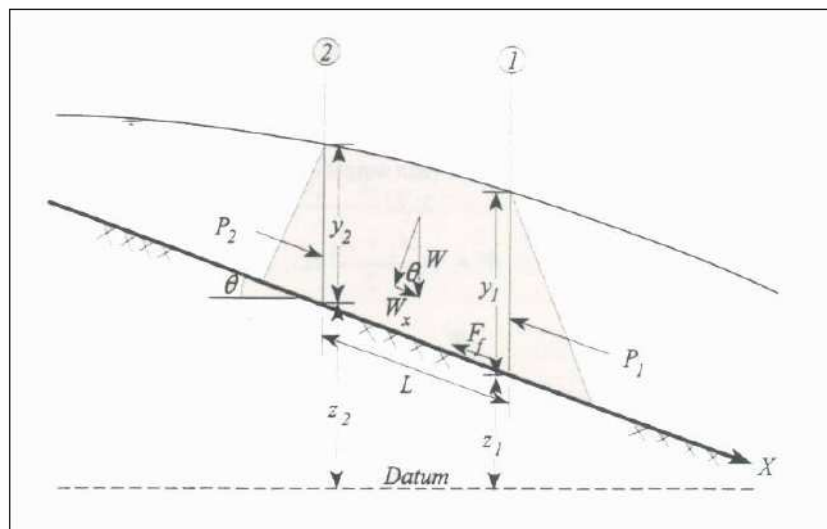


fig. 2.7.1.2.5: Applicazione dell'equazione di momento.

Si ottiene l'equazione:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove

- P : forze risultanti della pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;
- W_x : componente nell'asse x della forza peso della massa d'acqua considerata;
- F_f : forza di attrito esterno tra le sezioni 1 e 2;
- Q : portata defluente;
- ρ : densità dell'acqua;

ΔV_x : componente nella direzione dell'asse x della differenza di velocità tra la sezione 2 e la 1.

Sostituendo nella precedente le espressioni delle varie grandezze e trascurando la forza di attrito (si può considerarla piccola se l'elemento considerato è piccolo) si ottiene la formulazione risolutiva

$$\frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 = \frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2$$

dove

Q : portata della sezione;

β : coefficiente di momento (simile ad α);

A : area totale di efflusso;

\bar{Y} : profondità del pelo libero dal baricentro dell'area;

g : accelerazione di gravità.

I due membri dell'equazione sono analoghi, potendosi quindi rappresentare come una funzione generale, del tipo

$$SF = \frac{Q^2 \beta}{g A} + A \bar{Y}$$

Questa è la nota funzione G di risalto idraulico, chiamata anche forza specifica (*specific force*): il primo termine rappresenta il momento della corrente esercitato sulla sezione per unità di tempo, è cioè la componente dinamica della spinta, mentre il secondo termine rappresenta la componente statica, cioè l'azione esercitata dalla pressione idrostatica. Entrambi i termini hanno le dimensioni di una forza per unità di peso di acqua considerata.

La procedura di calcolo in generale può essere pertanto riassunta nelle seguenti fasi:

- Definizione della altezza d'acqua alla sezione di partenza;
- Calcolo della velocità e della capacità totale di trasporto in funzione della quota definita del pelo libero;
- Risoluzione dell'equazione esprimente le perdite energetiche e definizione della pendenza media tramite i valori determinati al punto precedente;
- Calcolo della quota del pelo libero alla sezione incognita con i valori ottenuti dai 2 punti precedenti;
- Confronto tra il valore WS2 calcolato e i valori adottati all'inizio.

Nel caso di regime misto, al fine di individuare i risalti idraulici, rientrano nel processo appena descritto anche i seguenti passi:

- Viene calcolato il profilo in condizioni subcritiche, in corrente lenta cioè, a partire dalla condizione al contorno di valle (che vanno preventivamente inserite); in questa fase vengono calcolate le altezze critiche che saranno poi verificate per localizzare il risalto;
- Viene calcolato il profilo in condizioni supercritiche, in corrente veloce, a partire dalla condizione al contorno di monte;
- Il calcolo del profilo in condizioni supercritiche prosegue da monte verso valle, fino a quando si trova una sezione nella quale è possibile sia una situazione supercritica che subcritica (calcolata in precedenza), cioè un possibile passaggio allo stato critico;
- a questo punto si valuta quale è la forza specifica SF maggiore: quella darà la giusta situazione in quella sezione. Ad esempio se la condizione supercritica ha forza specifica

- maggiore il programma assegna questa condizione alla sezione e prosegue alla sezione immediatamente a valle;
- quando viene trovata una forza specifica maggiore per il profilo subcritico, a quella sezione viene assegnato tale profilo, e viene localizzato il risalto tra questa sezione e la precedente.
 - Il calcolo riparte verso valle fino a trovare un passaggio allo stato critico.

2.7.1.3 Perdite di carico dovute alle pile dei ponti

Le perdite di carico causate da queste strutture eventualmente presenti, sono calcolate in due tempi e modalità. Inizialmente si determinano le perdite dovute ad espansione e restringimento della sezione trasversale nelle parti di valle e monte della struttura con il metodo implementato (Standard Step Method) per il calcolo della quota del pelo libero.

In un secondo tempo le perdite sono integrate dal calcolo delle perdite di carico che si verificano nell'attraversamento della struttura, queste ultime determinate con le relative opzioni di calcolo.

Il modello distingue quattro tipi di deflusso possibile in corrispondenza dei ponti:

- Flusso regolare al disotto dell'intradosso;
- Moto in pressione;
- Vena liquida stramazzone sul piano rotabile;
- Deflusso combinato (combinazione dei tre precedenti).

2.7.1.4 Flusso regolare al disotto dell'intradosso

Viene ora posta l'attenzione sulla procedura di simulazione del flusso attraverso le pile del ponte. Il flusso viene considerato suddiviso in ulteriori sottoclassi a seconda che il ponte sia dotato o meno di pile e del livello raggiunto dal pelo libero (superiore o inferiore all'altezza critica).

L'equazione utilizzata è quella proposta da Koch-Carstanjen, basata sulla risoluzione della seguente equazione di momento:

$$m_1 - m_{p1} + Q^2 / g A_1^2 (A_1 - C_D \cdot A_{p1} / 2) = m_2 + Q^2 / g A_2 = m_3 - m_{p3} + Q^2 / g A_3$$

dove:

- A_1, A_3 : aree liquide alle sezioni di monte e valle, rispettivamente (fig. 2.7.1.4.1)
- A_2 : area liquida relativa ad una sezione ubicata entro il restringimento dovuto alla struttura (area totale - area occupata dalle pile);
- A_{p1}, A_{p3} : area ostruita alle sezioni di monte e valle, rispettivamente;
- Y_1, Y_2, Y_3 : distanza verticale dal pelo libero al baricentro delle aree A_1, A_2, A_3 ;
- $m_1, m_2, m_3 = A_1 Y_1, A_2 Y_2, A_3 Y_3$ rispettivamente;
- $m_{p1}, m_{p3} = A_{p1} Y_{p1}, A_{p3} Y_{p3}$, rispettivamente;
- C_D : coefficiente di ingombro legato alla forma delle pile (vedi tab. 2.7.1.4.1);
- Y_{p1}, Y_{p3} : distanza verticale dal pelo libero al baricentro delle aree A_{p1}, A_{p3} rispettivamente;
- Q : portata;
- g : accelerazione di gravità.

tab. 2.7.1.4.1: Tabella di riferimento dei coefficienti di forma delle pile C_D .

PIER SHAPE	C_D
Circular pier	1,20
Elongated piers with semi-circular ends	1,33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0,60
90° triangular nose and tail	1,60
Square nose and tail	1,72

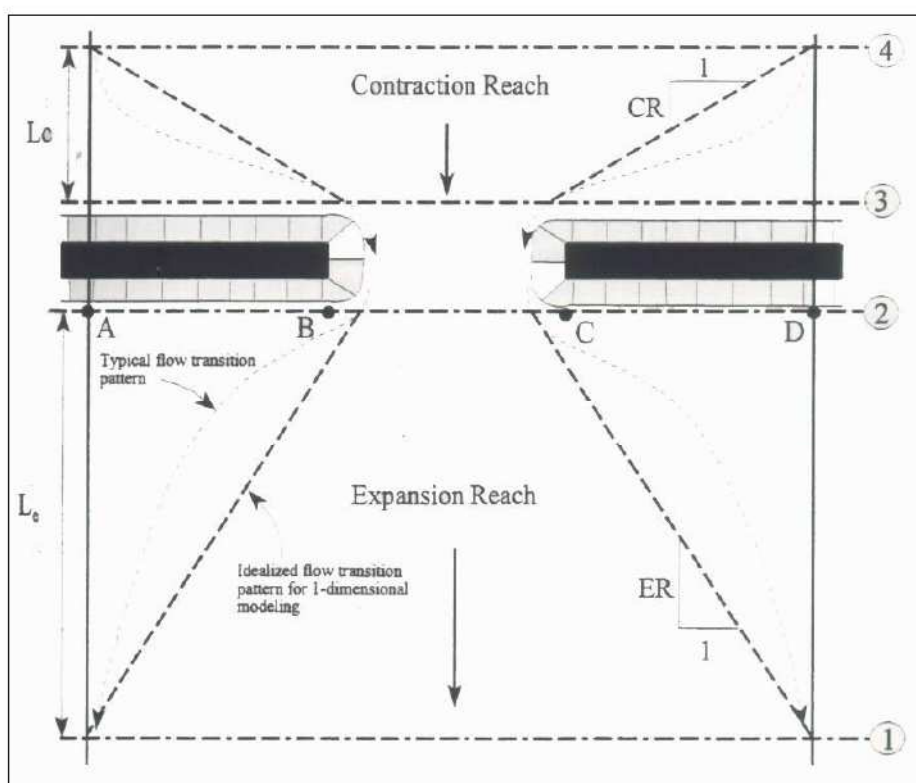


fig. 2.7.1.4.1: Localizzazione delle sezioni in corrispondenza di un ponte.

I tre termini dell'equazione di momento rappresentano il momento totale nella strozzatura del tratto in esame, espresso in termini di morfologia del corso d'acqua e profondità della corrente a monte, sul restringimento e a valle del restringimento stesso.

Nel caso in cui la quota del pelo libero si mantenga superiore a quella dell'altezza critica, per determinare la differenza di quota risultante dall'attraversamento della struttura viene utilizzata l'equazione di Yarnell:

$$H_{3-2} = 2 \cdot K \cdot (K + 10\omega - 0,6) \cdot (\alpha + 15 \cdot \alpha^4) \cdot V_2^2 / 2g$$

dove:

H_{3-2} : differenza di carico fra le sezioni di monte e valle della struttura;

K : coefficiente relativo alla forma delle pile di Yarnell (vedi tab. 2.7.1.4.2);

ω : rapporto velocità/profondità a valle della struttura;

α : area ostruita/area libera;

V_3 : velocità a valle della struttura.

tab. 2.7.1.4.2: Tabella di riferimento dei coefficienti di forma delle pile K di Yarnell.

PIER SHAPE	K
Semicircular nose and tail	0,09
Twin-cylinder piers with connections diaphragm	0,95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1,05
90° triangular nose and tail	1,05
Square nose and tail	1,25

L'equazione di calcolo delle perdite di carico si ottiene dall'applicazione della equazione dell'energia in punti situati immediatamente a valle del ponte e a monte.

2.7.1.5 Condizioni al contorno per la simulazione

Tra le varie condizioni al contorno necessarie, fondamentale importanza assume la quota iniziale del pelo libero: essa può essere assunta seguendo diversi criteri.

Il più comune è tracciare la scala di deflusso relativamente alla sezione di partenza del profilo tenendo conto dell'interazione eventuale con altri corsi d'acqua e della situazione idraulica delle aree circostanti provvedendo alle maggiorazioni del caso sulla quota qualora intervengano fattori condizionanti di tale entità.

Qualora vi siano manufatti tali da condizionare la relazione portata defluente-carico, sarà l'esame delle quote che possano verificarsi in alveo a fornire le indicazioni sulla quota di partenza per il tracciamento del profilo.

Altre metodologie più raffinate sono basate sul metodo delle secanti per definire la quota di tolleranza nella differenza tra quota presunta e calcolata.

I dati necessari affinché il modello possa produrre l'output desiderato (cioè la quota del pelo libero alle sezioni trasversali desiderate e il profilo di moto permanente) comprendono:

- tipo di corrente (lenta, veloce, mista);
- quota iniziale del pelo libero;
- valore/i di portata;
- coefficienti rappresentativi delle perdite;
- geometria delle sezioni trasversali;
- distanze (golene e alveo principale) tra le sezioni trasversali.

Le opzioni di calcolo riguardano la determinazione del profilo in caso di presenza di strutture in alveo e simulazioni di interventi nelle aree golenali con deviazioni del corso d'acqua o costruzione di arginature.

Determinato il tipo di corrente, la quota iniziale del pelo libero, i valori di portata per cui occorre tracciare i profili di moto permanente, è necessario definire i valori di scabrezza. Il modello utilizzato nelle elaborazioni consente molteplici soluzioni per definire la scabrezza delle singole sezioni trasversali, la qual cosa permette di ridurre moltissimo i margini di dubbio e incertezza legati all'individuazione di questo coefficiente particolarmente importante.

Oltre alle perdite di carico valutate attraverso il coefficiente "n" di Manning, e all'equazione di Manning descritta in precedenza, è possibile valutare le perdite di transizione per allargamento/restringimento attraverso i coefficienti di espansione/contrazione, le perdite che si originano nell'attraversamento di ponti e tombini in seguito alla forma del manufatto, alla configurazione delle pile, al tipo di moto e alle condizioni di imbocco/sbocco. Come accennato in precedenza, il coefficiente di scabrezza può assumere diversi valori in una singola sezione trasversale, al fine di poter rappresentare realisticamente la morfologia della stessa.

Oltre a definire un valore di scabrezza per ciascuna suddivisione (golene, alveo principale) è possibile definire la scabrezza in funzione della progressiva della singola sezione trasversale oppure in funzione della quota raggiunta dal pelo libero.

Nella determinazione dei valori del parametro scabrezza si cerca di correlare quella che è la situazione appurata in situ del corso d'acqua con i risultati delle esperienze condotte dai ricercatori.

La geometria delle sezioni trasversali e la conoscenza del territorio circostante l'area inondabile, unite alla completa definizione dei manufatti che il corso d'acqua incontra lungo il suo percorso, sono sfruttate al meglio dal modello per riprodurre fedelmente le condizioni che in realtà si verificano al defluire della portata in esame.

La collocazione delle sezioni trasversali lungo il corso d'acqua è quindi volta ad individuare le aree effettive di deflusso per distinguerle da quelle ineffettive o che possono venire attivate sotto un determinato carico idraulico.

Tra le varie opzioni di calcolo di cui è dotato il modello numerico in questione è disponibile l'organizzazione dei dati in modo da specificare dette aree inefficaci al deflusso, sia che esse si trovino nelle aree golenali sia che si trovino nel canale principale sotto forma di sedimenti o ostruzioni di qualsivoglia forma.

Le sezioni trasversali sono quindi ubicate in modo da rappresentare non solo l'area immediatamente circostante il corso d'acqua, ma anche la probabile via di piena.

In generale la disposizione planimetrica delle sezioni è effettuata tenendo conto di:

- variazioni nella portata;
- modifiche sostanziali della pendenza di fondo;
- cambiamenti della morfologia del corso d'acqua;
- mutamenti rilevanti nella granulometria e nella copertura vegetale;
- presenza di ponti, traverse, tombini, ostruzioni artificiali.

La distanza fra le varie sezioni trasversali viene specificata come distanza fra le golene (destra e sinistra) e lungo il canale principale di deflusso. La distanza viene stabilita in modo da poter individuare le variazioni delle dimensioni trasversali del corso d'acqua nel caso queste si verifichino.

A seconda della morfologia del corso d'acqua e dei manufatti in alveo la presenza delle sezioni può essere o meno infittita.

Il modello numerico è in grado di produrre una notevole quantità di dati di output, mirati a rendere efficace e completa sotto tutti i punti di vista l'analisi del corso d'acqua. I dati di output di maggiore interesse sono quelli relativi alle sezioni trasversali, per le quali è previsto un elenco standard di quaranta variabili per singola sezione volte a definire completamente i parametri fisici.

Il notevole numero di dati permette di avere sotto controllo l'intera fenomenologia idraulica e strutturale che ne deriva. Tra i valori riportati figurano:

Q : portata totale;

Q_{LOB} , Q_{CH} , Q_{ROB} : portata, così ripartita: golena sinistra, canale principale, golena destra;

DEPTH : profondità, misurata come differenza di quota fra pelo libero e punto più depresso nella sezione;

CWSEL : quota calcolata del pelo libero;

CRIWS : quota dell'altezza critica;
 WSELK : quota dell'altezza d'acqua, quando costituisce dato di input;
 EG : quota dei carichi totali (gradiente energetico);
 V_{LOB} , V_{CH} , V_{ROB} : velocità media, così riferita: golena sinistra, canale principale, golena destra;
 A_{LOB} , A_{CH} , A_{ROB} : area liquida, così riferita: golena sinistra, canale principale, golena destra;
 X_{NL} , X_{NCH} , X_{NR} : coefficiente "n" di Manning riferito rispettivamente a: golena sinistra, canale principale, golena destra;
 SLOPE : pendenza della linea dei carichi nella sezione di calcolo;
 TOPWIDTH : ampiezza del pelo libero;
 L-BANK ELEV : quota della sponda sinistra;
 R-BANK ELEV : quota della sponda destra.

I dati raccolti mostrano la distribuzione della massa liquida nelle tre suddivisioni principali della singola sezione trasversale: golena sinistra, alveo (o canale) principale, golena destra.

Il modello è in grado inoltre di fornire:

- stampa delle sezioni, nelle quali viene evidenziato il profilo del terreno così come descritto nel file di input, la quota del pelo libero, la quota dell'altezza critica, la quota della linea dei carichi, la rappresentazione delle strutture in alveo;
- stampa del profilo di moto permanente, creato a partire dalla geometria delle sezioni trasversali, nel quale sono riportati la collocazione delle sezioni trasversali, le distanze progressive, quota del fondo misurata lungo l'alveo principale secondo la linea di thalweg, quota del pelo libero, quota dell'altezza critica, quota della linea dei carichi, quota delle sponde dell'alveo principale, quota del punto più basso tra i punti che individuano la geometria delle sezioni trasversali.

Un ulteriore contributo alla comprensione del fenomeno fisico studiato è fornito dalla creazione di tabelle riassuntive contenenti una notevole quantità di informazioni.

Oltre a tabelle predefinite per l'output di parametri idraulici e morfologici e alla possibilità di selezionare fra una vasta quantità di variabili relative a condizioni particolari di deflusso (manufatti presenti in alveo), sono disponibili tavole redatte dai maggiori enti statunitensi per il controllo del rischio idraulico (Flood Insurance Study, Guidelines and Specifications, U.S. Department of Housing and Urban Development, Federal Insurance Administration).

Per le condizioni al contorno per le simulazioni in esame, fare riferimento allo specifico capitolo.

2.7.1.6 Dati inseriti

Per ottenere le informazioni che andranno a costituire i dati di input del modello numerico è necessario eseguire un accurato studio del corso d'acqua.

In particolare è necessario un esame approfondito delle aree non solo pertinenti ad alveo e golene, ma anche delle aree ad esse circostanti, al fine di poter individuare al meglio le zone maggiormente soggette a rischio idraulico e consentire una progettazione integrata al meglio con il territorio.

L'ubicazione delle sezioni trasversali nasce da considerazioni di carattere pratico, relative cioè alla situazione attuale di utilizzazione del corso d'acqua e interazione con l'ambiente circostante, e da considerazioni teoriche mirate a compiere un dettagliato studio idraulico del fenomeno di piena ai fini della progettazione delle strutture in alveo.

Per la loro individuazione si è proceduto con la seguente metodologia:

- disposizione planimetria dei manufatti in alveo e in golena;
- determinazione delle caratteristiche morfologiche del tratto di corso d'acqua in studio;
- individuazione di aree omogenee in relazione al parametro scabrezza, determinato in funzione del tipo di materiale lapideo in alveo e della copertura vegetale;
- individuazione di tratti caratterizzati dai valori omogenei di pendenza del fondo alveo e altri parametri idraulici.

Nella scelta dell'ubicazione planimetrica delle sezioni è stata valutata la distanza fra sezioni successive in modo da poter fornire una serie di dati significativi al modello anche nel senso dello sviluppo longitudinale. Infatti è necessario tenere in conto anche la variazione della scabrezza non solo entro una singola sezione trasversale, ma fornire una valida descrizione della sua variazione fra sezione e sezione.

Per quanto riguarda la pendenza di fondo del corso d'acqua, il modello numerico è in grado di determinare questa grandezza secondo procedura di calcolo automatica in funzione della geometria delle sezioni trasversali e della distanza tra sezioni successive.

La pendenza di fondo calcolata e che viene riportata sul profilo di moto permanente è da intendersi riferita alla linea di thalweg.

I calcoli del profilo sono comunque svolti anche in funzione della pendenza di fondo delle aree golenali in quanto le elaborazioni numeriche prevedono la suddivisione del corso d'acqua in tre aree distinte, ma omogenee, al fine del calcolo del profilo e dei parametri idraulici relativi che sono la golena di destra, di sinistra e il canale principale.

La suddivisione delle sezioni trasversali mediante una griglia di punti (x, y) ripartita nelle tre zone fondamentali di calcolo consente l'individuazione dei principali parametri (portata, velocità, scabrezza) in queste aree di deflusso il che permette di definire completamente le caratteristiche salienti del moto entro l'intera via di piena consentendo di intervenire globalmente e puntualmente.

La determinazione delle aree soggette ad esondazione consente di porre particolare cura nell'individuazione di eventuali vie preferenziali di propagazione della portata defluente.

2.7.1.7 Opzioni di calcolo

Il modello è dotato di numerose opzioni che permettono di determinare la via di piena (zona maggiormente interessata dal deflusso idrico) nonché calcolare le perdite di energia dovute alla presenza di ostruzioni come soglie di sfioro, tombini e ponti e definire i miglioramenti apportabili con rimodellamenti in alveo.

Possono essere selezionate diverse equazioni al fine di calcolare le perdite di carico, determinare l'altezza critica, calcolare la scabrezza secondo formule dirette.

Il modello può inoltre generare automaticamente sezioni trasversali in un tronco di calcolo interpolando i dati tra le due sezioni di estremità, definire le aree ineffettive al deflusso, analizzare le zone di confluenza fra corsi d'acqua, calcolare l'influenza di un'eventuale copertura di ghiaccio sul pelo libero.

Con un'unica elaborazione si possono calcolare più profili variando la quota iniziale del pelo libero e/o la portata per ciascun profilo di calcolo. Così operando è possibile stabilire, note condizioni iniziali e al contorno, quando il profilo di corrente raggiunge la profondità che gli compete a prescindere dalle quote di tentativo imposte alla sezione iniziale del tracciamento.

2.7.1.8 Aree inefficaci

Come opzione sono definibili ad esempio le “aree inefficaci al deflusso”. Questa opzione è indispensabile quando occorre rimodellare la sezione trasversale per confinare il deflusso entro vincoli (artificiali o naturali) presenti entro lo sviluppo della sezione trasversale.

In questo modo si possono specificare le ostruzioni dovute a sedimenti, gli innalzamenti causati dall'aumento della quota degli argini eventualmente presenti a protezione delle sponde, analizzare gli effetti di sbarramenti golenali e di tutto quanto ubicato nella sezione in studio tale da condizionare il deflusso verso aree preposte.

2.7.1.9 Condizioni di simulazione

Le condizioni di simulazione sono limitate alla situazione dell'alveo attuale e di progetto. Preliminarmente è stata effettuata una taratura del modello.

2.7.1.10 Condizioni al contorno

Una volta realizzato al calcolatore il modello numerico, è stato utilizzato per simulare il comportamento idraulico delle aste torrentizie schematizzate, al defluire della portata di piena indagate in precedenza.

Nel caso in esame, si è scelto di utilizzare il modello in regime di corrente mista, lenta o veloce, che viene calcolata automaticamente dal programma simulatore, anche se coerentemente con le pendenze in gioco ci si attende ovviamente un regime di corrente veloce.

Sono quindi necessarie due tipi di condizioni al contorno, sia di monte sia di valle.

La tipologia di condizioni al contorno utilizzata a monte ed a valle è stata quella di pendenza di moto uniforme (*normal depth*) che è stata assunta coincidente con la pendenza dell'alveo nel tratto finale o iniziale, mancando in questo caso sicuri riferimenti di portata e corrispondente livello idrico da precedenti studi di riferimento.

Tali valori hanno riscontrato, durante le prove effettuate una buona rispondenza con profili idraulici di calcolo coerenti.

Si tenga conto infatti che le zone estreme del modello, sono lontane dalla zona di interesse, e che le simulazioni, che verranno descritte nel seguito, hanno evidenziato la predominanza dei parametri di scabrezza e di geometria della sezione rispetto alle condizioni al contorno puramente idrauliche, che influiscono viceversa solo in parti limitate agli estremi del modello, pertanto la zona centrale del modello è sostanzialmente insensibile alle variazioni delle condizioni al contorno: il modello cioè si autoequilibra, il che garantisce quindi già di per sé dei risultati attendibili.

2.7.1.11 Coefficiente di scabrezza

Per il calcolo dei coefficienti di scabrezza si è fatto riferimento al punto 4.8.4 della bozza di discussione del “PIANO STRALCIO PER LA DIFESA IDROGEOLOGICA E DELLA RETE IDROGRAFICA DEL BACINO DEL FIUME PO”, “Direttiva tecnica relativa ai criteri generali e alle prescrizioni per la verifica idraulica dei ponti” redatto dalla **AUTORITA’ DI BACINO DEL FIUME PO**. Con riferimento alla tabella 1 e 2 di tale punto sono stati assunti due valori di scabrezza, uno relativo all’alveo principale, l’altro relativo golene laterali ed alle aree di espansione laterale. Sono stati raggiunti i seguenti risultati, utilizzando in alternativa la formulazione proposta di $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$ oppure la tabella 2.

I valori di scabrezza utilizzati per il Fosso del Roddo sono i seguenti:

Alveo principale in terra		
n0:	0.020	(Terra)
n1:	0.000	(Trascurabile)
n2:	0.000	(Graduale)
n3:	0.006	(Trascurabile)
n4:	0.004	(Basso)
m5:	1.000	(Modesto)
n:	0.030	1/n= 33.33

Golene laterali, argini in terra, area di espansione laterale, scarpate in terra		
n0:	0.028	(Alluvione grossolana)
n1:	0.010	(Moderata)
n2:	0.005	(Variazione occasionalmente)
n3:	0.020	(Apprezzabile)
n4:	0.037	(Alto)
m5:	1.000	(Modesto)
n:	0.100	1/n= 10.00

Questi valori sono stati poi ulteriormente ridotti per tenere conto che le portate simulate tengono conto del trasporto solido risultando di fatto cautelativi. Si rimanda agli specifici capitoli di simulazione per la descrizione delle scabrezze utilizzate.

2.7.1.12 Effetto di rigurgito provocato da restringimenti e da pile

L’effetto di rigurgito provocato da eventuali restringimenti della sezione di efflusso causati dai manufatti interferenti in alveo con pile, sono calcolati con il modulo di calcolo di Hec-Ras, che permette l’utilizzo di diverse formule sperimentali adatte allo svolgimento di questi calcoli e di scegliere quella che meglio si adatta al caso in esame.

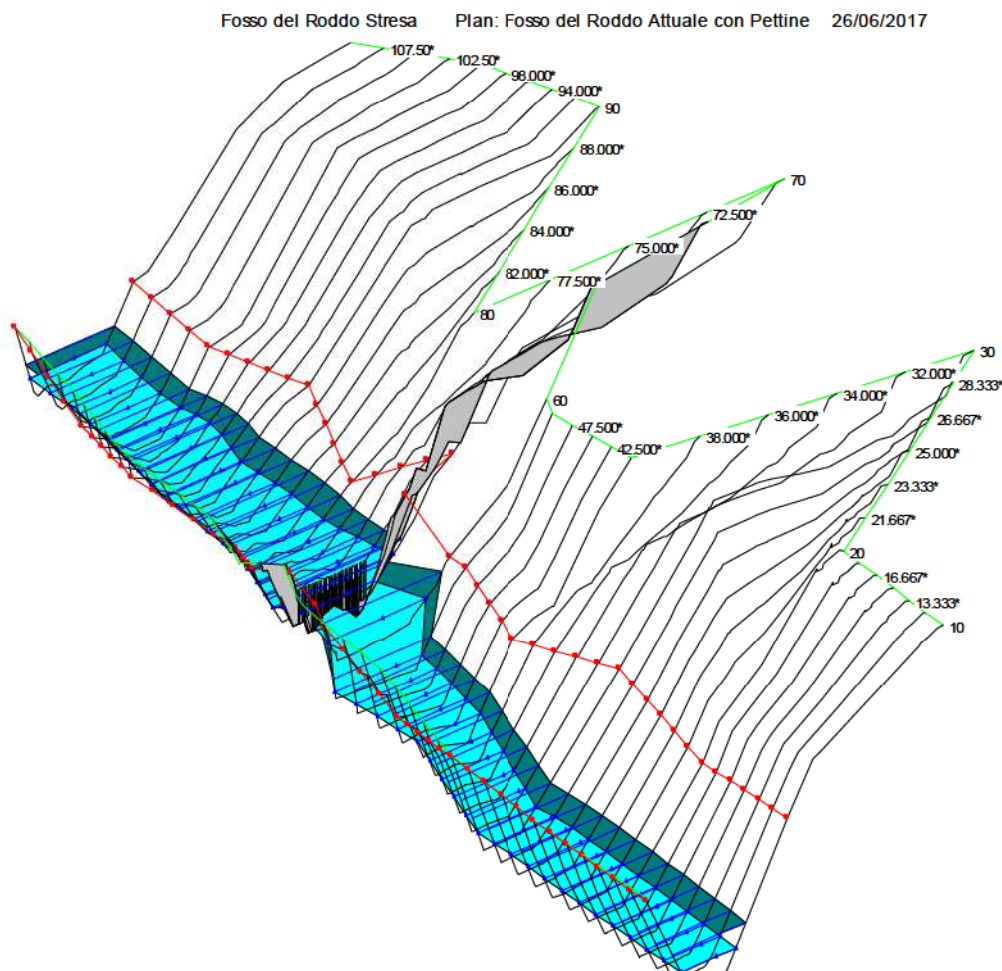
2.7.1.13 Erosioni localizzate attorno alle fondazioni (scalzamento)

L'erosione è provocata dal restringimento che il flusso della corrente d'acqua subisce, per effetto della restrizione dell'area di efflusso causata dalla presenza delle pile, ed anche ed anche l'erosione provocata dalla turbolenza che si crea per effetto delle pile che ostacolano l'efflusso dell'acqua.

Nel caso in esame non sono presenti pile in alveo in progetto.

3. SIMULAZIONE DI STATO ATTUALE DELL'ASTA IN MOTO PERMANENTE DEL FOSSO DEL RODDO NELLA ZONA DI INTERESSE

Sulla base di quanto espresso in precedenza, sui rilievi integrativi effettuati e sulle informazioni da inserire nel programma di simulazione, è stato costruito il modello numerico di moto permanente. Una immagine globale del modello è visibile nella seguente rappresentazione (vista da valle).



Le sezioni utilizzate sono quelle numerate dalla 10 alla 110 (da valle verso monte). Altre sezioni duplicate sono state utilizzate per la corretta simulazione di dettaglio.

Sulle sezioni 10 e 110 vengono impostate le condizioni al contorno di moto permanente.

L'estensione delle sezioni idrauliche è adeguata longitudinalmente visto l'alveo a forte pendenza, e comprende generalmente i limiti golenali ed i principali terrazzi morfologici che contengono il deflusso delle piene, anche a carattere cinquecentenario.

Il sistema altimetrico è il medesimo adottato nel progetto delle opere, ed è coerente con la CTR Regionale.

Dopo numerosi sopralluoghi in sito sul Fosso del Roddo, effettuati per integrare e verificare le sezioni rilevate ed osservare compiutamente lo stato dei luoghi, è stato quindi possibile controllare e revisionare le geometrie dell'alveo in esame.

Sono state inserite le sezioni trasversali rilevate, le 3 distanze longitudinali tra loro, misurate in maniera curvilinea, in asse all'alveo, in golena destra ed in golena sinistra, in maniera da descrivere compiutamente la reciproca giacitura. Sono stati altresì inseriti i coefficienti di scabrezza ed i coefficienti di contrazione / espansione del flusso idrico tra una sezione e l'altra. Esempi di sezioni inserite sono visibili nelle figure 3.1.1.

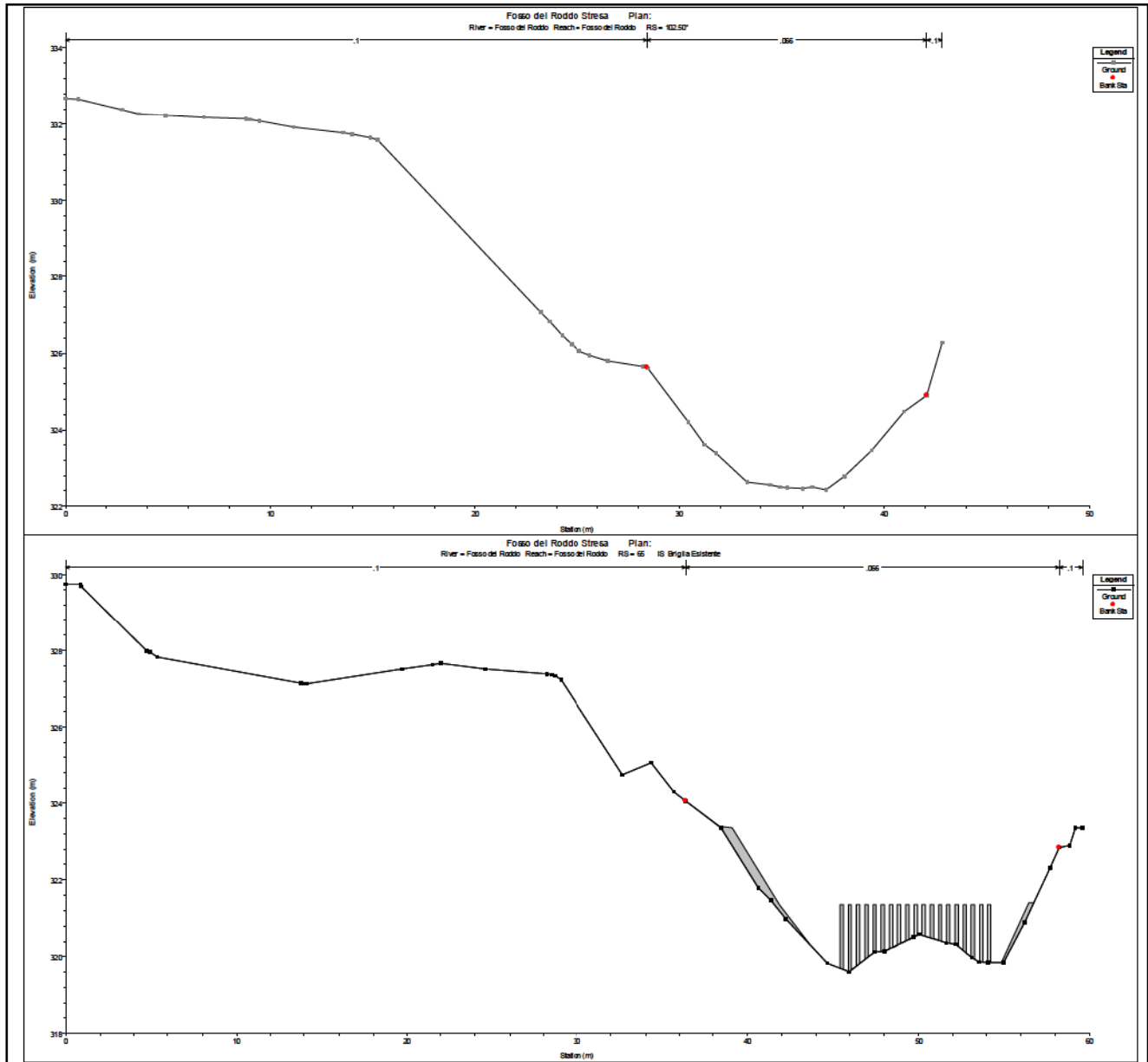


fig. 3.1.1: Alcuni esempi di sezioni trasversali inserite.

3.1.1 Condizioni di simulazione

Oltre a quanto già riportato nei precedenti paragrafi, si evidenzia che le scabrezze utilizzate nel modello di simulazione sono state corrette per tenere conto delle portate con colate detritiche simulate.

In accordo con il documento *Best methods and inherent limitations of bulked flow modeling with HEC-RAS*, di Brent Travis, Martin Teal, e Jake Gusman, WEST Consultants, Arizona e California,

Maggio 2012, per la correzione delle scabrezze e dei coefficienti di contrazione-espansione sono disponibili formulazioni empiriche in letteratura.

Nel caso in esame, l'applicazione di tali metodi avrebbe portato, secondo gli scriventi, ad una scelta poco cautelativa dei parametri di scabrezza (poca differenza tra le scabrezze per acqua pulita e acqua con trasporto solido), con un aumento limitato della scabrezza.

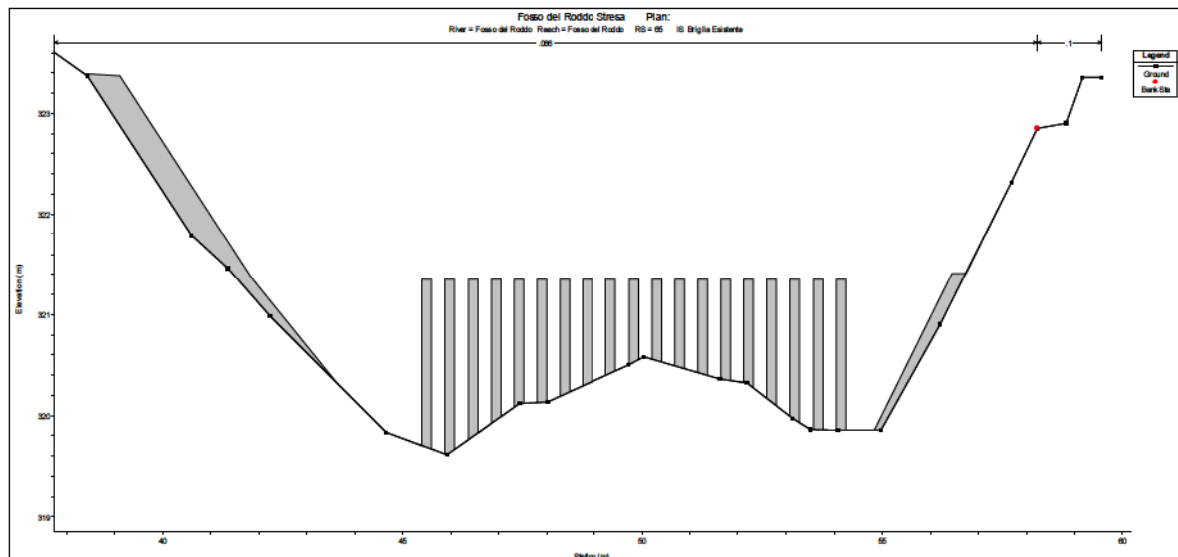
A favore di sicurezza, per ottenere tiranti idrici superiori a quelli nel caso di acqua pulita, si è scelto quindi di variare la scabrezza nell'alveo attivo, passando dal valore di $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (v. par. 2.7.1.11) al valore di $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, ovvero un aumento del 55% del valore di scabrezza (superficie più rugosa).

Il corrispondente valore di Manning associato è pari a $0.0666 \text{ s/m}^{1/3}$.

Per le golene si mantiene il valore di Strickler $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, pari a $0.1 \text{ s/m}^{1/3}$ di Manning.

La simulazione effettuata tiene conto inoltre:

- della presenza del pettine di trattenimento del materiale flottante esistente;
- del materiale depositatosi nel tempo, presente in alveo a monte della briglia.



Le situazioni simulate sono quindi cautelative. Si evidenzia comunque che è stato indagato con varie prove l'effetto della presenza del pettine di trattenimento. In effetti l'influenza è limitata, in quanto in corrispondenza della briglia si ha comunque il passaggio allo stato critico che determina un profilo di richiamo della corrente.

Come detto, le portate di piena duecentenaria simulate, sono relative a due condizioni particolarmente gravose:

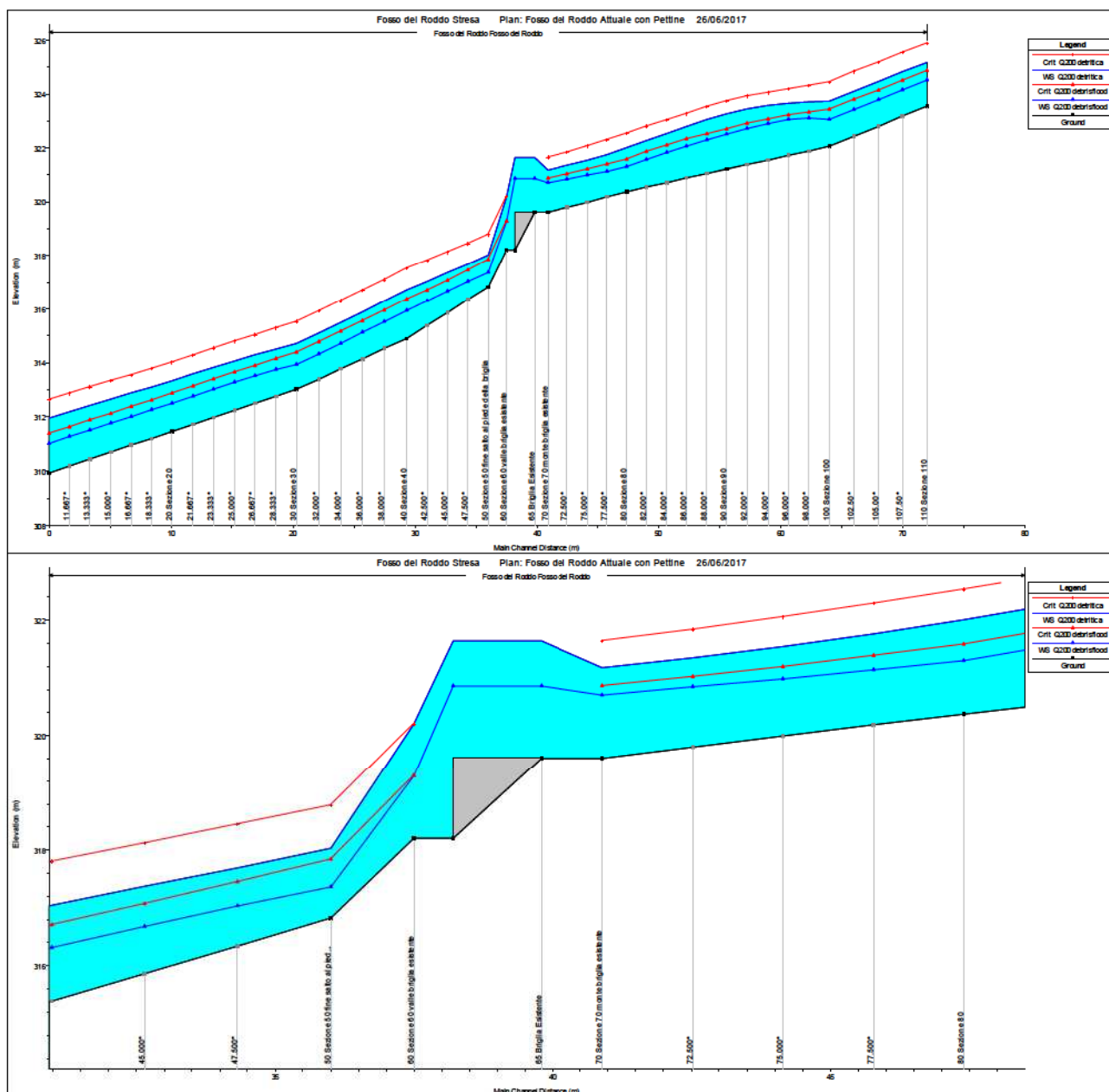
- Caso denominato Q200 detritica: relativo ad una piena duecentenaria con grande contributo di trasporto solido, particolarmente eccezionale, non considerando l'effetto di trattenimento di una briglia esistente a monte delle zone di intervento, a valle autostrada (v. relazione geologica integrativa per maggiori dettagli). La portata liquida associata a tale evento è pari a 18 mc/s , per complessivi 76 mc/s inclusivi del trasporto solido movimentato dalla piena (portata totale oltre 4 volte quella liquida);
- Caso denominato Q200 debrisflood: relativo alla medesima piena duecentenaria, ma considerando l'effetto di trattenimento della briglia esistente a monte delle zone di intervento, a valle autostrada. In tal caso la portata associata a questo evento è pari a 25 mc/s inclusivi del trasporto solido.

3.1.2 Risultati Ottenuti

Dopo aver realizzato il modello di simulazione, esso è stato tarato con varie prove, cambiando le condizioni al contorno. In tutti i casi si è visto, come già evidenziato, che le zone estreme del modello, sono lontane dalla zona di interesse, e si è notata la predominanza dei parametri di scabrezza e di geometria della sezione rispetto alle condizioni al contorno puramente idrauliche, che influiscono viceversa solo in parti limitate agli estremi del modello, pertanto la zona centrale del modello è sostanzialmente insensibile alle variazioni delle condizioni al contorno: il modello cioè si autoequilibra, il che garantisce quindi già di per sé dei risultati attendibili.

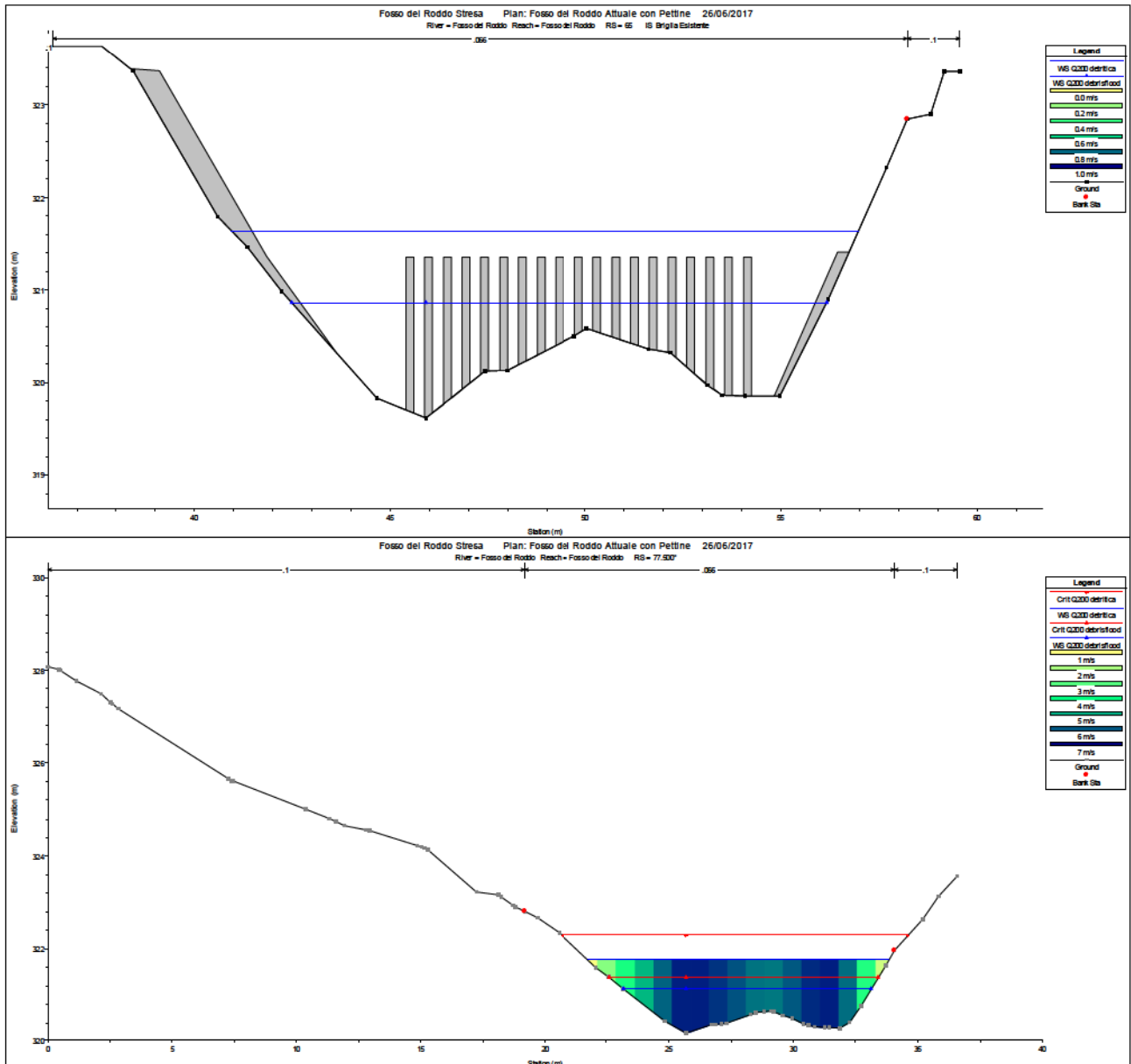
Le condizioni al contorno finali utilizzate sono quelle descritte in precedenza (*normal depth*).

Il profilo idraulico ottenuto nelle due condizioni di portata simulate, è riportato nella seguente figura.



Si nota che a monte della briglia, vista la presenza del pettine, si ha un rallentamento della corrente ed un risalto idraulico con conseguente innalzamento del tirante e dissipazione di energia. Sulla briglia si ha poi nuovamente il passaggio allo stato critico e successivo velocizzarsi della corrente fino a numeri di Froude maggiori di 1 (corrente veloce).

I tiranti idrici, viste le pendenze esistenti, mediamente intorno al 15%, sono limitati, e caratterizzati da discrete velocità, vedere anche le seguenti figure.



Le portate liquide e solide sono sempre contenute nell'alveo attivo del rio.

A titolo riassuntivo, le condizioni idrauliche estreme che si riscontrano nelle simulazioni sono le seguenti:

- Q200 detritica con 76 mc/s: velocità massime 7 m/s e tiranti massimi pari a circa 2.10 m;
- Q200 debris flood con 25 mc/s: velocità massime 5 m/s e tiranti massimi pari a circa 1.35 m.

In nessun caso le sezioni di scavo di progetto del nuovo serbatoio vengono interessate dai livelli di piena, in quanto permane sempre una rilevante porzione di sponda indisturbata dagli scavi, a protezione degli stessi.

Permanendo ampie porzioni di sponda non interessate dagli scavi, e visto che le portate sono sempre contenute nell'alveo attivo, anche con valori particolarmente cautelativi come nel caso della Q200detritica, nella relazione geologica integrativa si conclude che non risultano necessarie opere di protezione del corso d'acqua o delle scarpate del rio.

In effetti tale considerazione è dettata anche dal fatto che si ritiene ragionevole, dato che non sussiste la necessità, di non alterare lo stato dei luoghi dell'alveo del rio, per non innescare nessun fenomeno di movimentazione del materiale d'alveo, per non indebolire le sponde ecc.

Dato che non sono previste opere in alveo, non sono necessarie simulazioni dello stato di progetto del rio.

In caso di piene con forte componente di trasporto solido, la briglia con pettine tratterrà parte del materiale flottante. Tale briglia necessita da parte degli enti competenti di una manutenzione costante.

ALLEGATO 1:

FOSSO DEL RODDO - SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE DELLO STATO ATTUALE: SEZIONI TRASVERSALI E RELATIVI TABULATI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

LEGENDA:

PROFILO

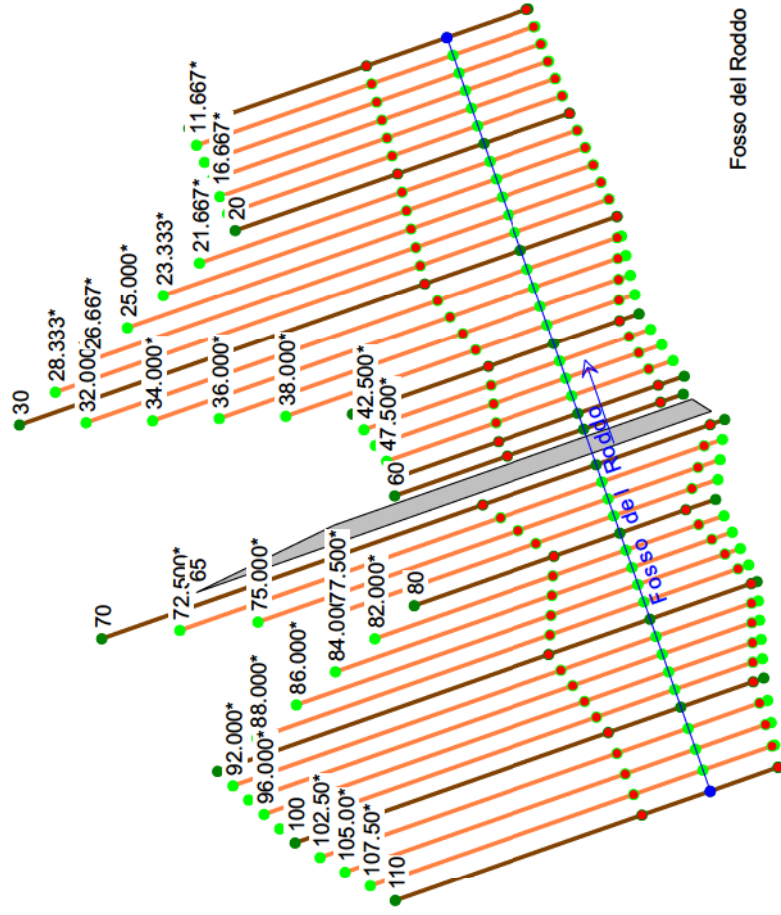
Reach	: nome corso d'acqua
River Sta	: n° sezione trasversale
Q Total	: portata defluente
Min Ch El	: quota più bassa del fondo del canale di deflusso principale
W S El	: quota del pelo libero
Crit W S	: quota dell'altezza critica
E G Elev	: quota del piano dei carichi totali
E G Slope	: pendenza della linea dei carichi totali
Vel Chnl	: velocità media nel canale di deflusso principale
Flow Area	: area liquida di deflusso
Top Width	: larghezza del pelo libero in sommità
Froude # XS	: numero di Froude medio della corrente dell'intera sezione
Froude # Chnl	: numero di Froude medio della corrente del solo canale principale

SEZIONI

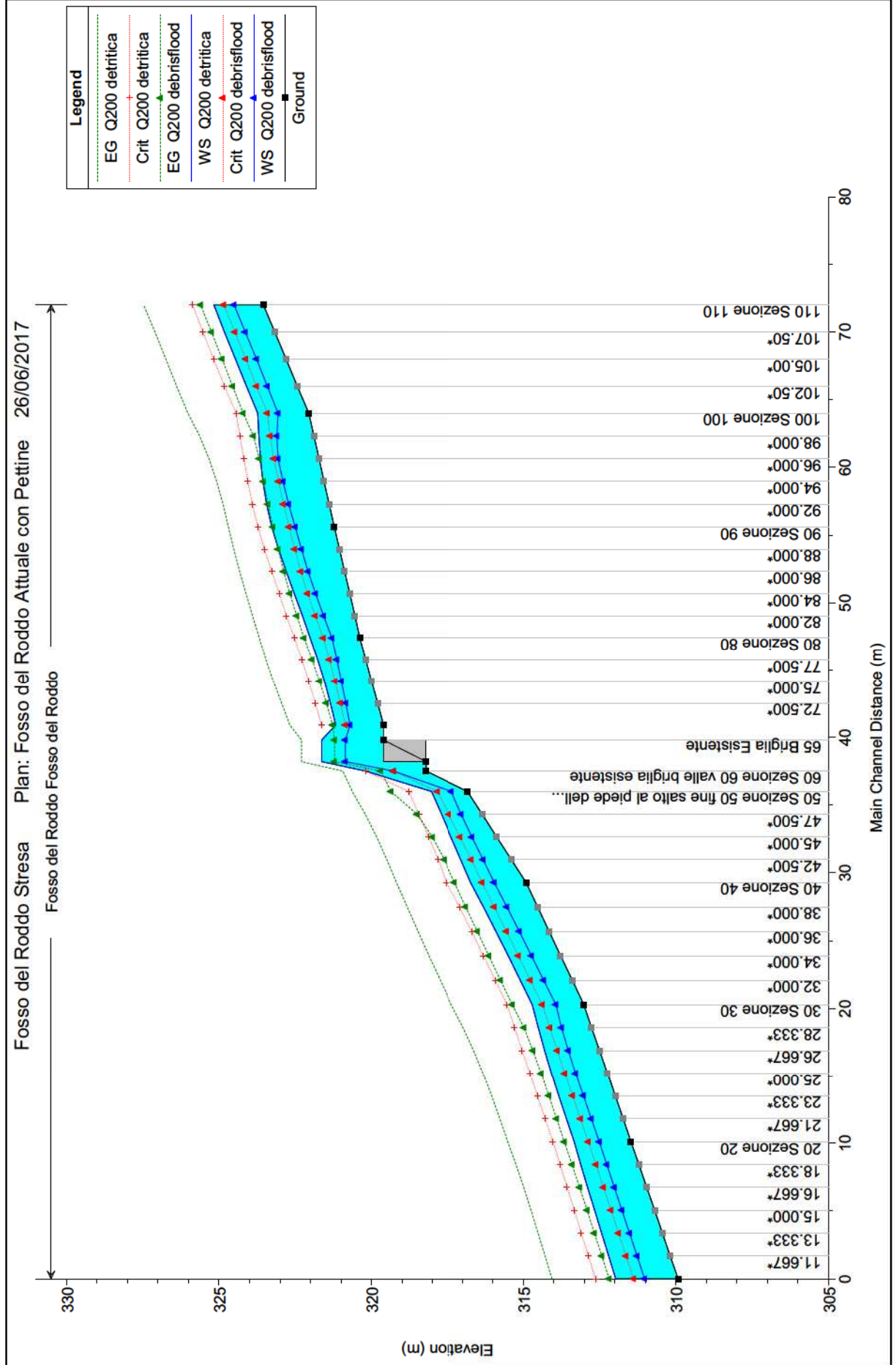
N.B. Alcune grandezze sono visualizzate anche separate, relative cioè a golena di sinistra, canale principale e golena di destra

Profile	: tipo di portata defluente (es. Q500 = cinquecentenaria ecc.)
Vel Head	: altezza cinetica della corrente
Vel total	: velocità dell'acqua media nella sezione trasversale
Max Chl Dpth	: profondità massima dell'acqua nella sezione
Conv Total	: indice di resistenza idraulica
Lenght Wtd	: lunghezza pesata del canale principale e delle golene laterali
Alpha	: coefficiente α moltiplicativo dell'altezza cinetica
Frctn Loss	: perdite di carico distribuite parziali
C & E Loss	: perdite parziali dovute a contrazione ed espansione della corrente
Wt n-val	: coefficiente n di manning medio
Reach Len	: distanza parziale tra 2 sezioni consecutive
Flow	: portata transitante nelle golene laterali e nel canale principale
Avg. Vel	: velocità media della corrente
Hydr Depth	: profondità della corrente
Wetted Per	: perimetro bagnato
Shear	: forza di taglio dovuta alla pressione idrostatica
Stream power	: potenza della corrente
Cum Volume	: volume cumulato di acqua nella direzione del flusso
Cum SA	: superficie d'acqua cumulata

Planimetria, Profilo Longitudinale e relativi tabulati



Foso del Roddo



HEC-RAS Plan: Fosso Roddo Attuale con Pettine River: Fosso del Roddo Reach: Fosso del Roddo

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	Max Chl Dpth (m)
Fosso del Roddo	110	Q200 detritca	76.00	323.55	325.17	325.88	327.48	0.186398	6.72	11.30	9.61	1.98	1.62
Fosso del Roddo	110	Q200 debris flood	25.00	323.55	324.51	324.85	325.61	0.186283	4.64	5.38	8.34	1.85	0.96
Fosso del Roddo	107.50*	Q200 detritca	76.00	323.18	324.82	325.53	327.10	0.179091	6.69	11.36	9.60	1.96	1.65
Fosso del Roddo	107.50*	Q200 debris flood	25.00	323.18	324.14	324.48	325.25	0.175033	4.66	5.36	7.94	1.81	0.96
Fosso del Roddo	105.00*	Q200 detritca	76.00	322.81	324.47	325.18	326.75	0.177678	6.69	11.36	9.67	1.97	1.66
Fosso del Roddo	105.00*	Q200 debris flood	25.00	322.81	323.78	324.13	324.90	0.170866	4.70	5.32	7.69	1.81	0.97
Fosso del Roddo	102.50*	Q200 detritca	76.00	322.43	324.11	324.83	326.39	0.180156	6.70	11.34	9.85	1.99	1.67
Fosso del Roddo	102.50*	Q200 debris flood	25.00	322.43	323.42	323.77	324.56	0.171315	4.73	5.29	7.65	1.82	0.99
Fosso del Roddo	100	Q200 detritca	76.00	322.06	323.74	324.44	326.03	0.185897	6.71	11.33	10.15	2.03	1.68
Fosso del Roddo	100	Q200 debris flood	25.00	322.06	323.06	323.42	324.21	0.178082	4.74	5.27	7.88	1.85	1.00
Fosso del Roddo	98.000*	Q200 detritca	76.00	321.89	323.70	324.32	325.64	0.153684	6.18	12.30	10.90	1.86	1.81
Fosso del Roddo	98.000*	Q200 debris flood	25.00	321.89	323.10	323.33	323.87	0.105018	3.89	6.42	8.70	1.45	1.21
Fosso del Roddo	96.000*	Q200 detritca	76.00	321.72	323.64	324.19	325.33	0.129622	5.75	13.21	11.48	1.71	1.92
Fosso del Roddo	96.000*	Q200 debris flood	25.00	321.72	323.06	323.20	323.68	0.076833	3.47	7.20	9.14	1.25	1.34
Fosso del Roddo	94.000*	Q200 detritca	76.00	321.56	323.57	324.06	325.08	0.112935	5.45	13.95	11.84	1.60	2.01
Fosso del Roddo	94.000*	Q200 debris flood	25.00	321.56	322.91	323.05	323.54	0.081320	3.54	7.06	9.08	1.28	1.35
Fosso del Roddo	92.000*	Q200 detritca	76.00	321.39	323.45	323.91	324.87	0.102703	5.29	14.37	11.80	1.53	2.06
Fosso del Roddo	92.000*	Q200 debris flood	25.00	321.39	322.72	322.89	323.40	0.087213	3.64	6.87	8.89	1.32	1.33
Fosso del Roddo	90	Q200 detritca	76.00	321.22	323.28	323.73	324.70	0.100924	5.28	14.40	11.63	1.52	2.06
Fosso del Roddo	90	Q200 debris flood	25.00	321.22	322.50	322.70	323.24	0.095619	3.79	6.59	8.54	1.38	1.28
Fosso del Roddo	88.000*	Q200 detritca	76.00	321.05	323.05	323.52	324.52	0.110016	5.37	14.14	11.98	1.58	2.00
Fosso del Roddo	88.000*	Q200 debris flood	25.00	321.05	322.30	322.52	323.07	0.104902	3.89	6.42	8.62	1.44	1.24
Fosso del Roddo	86.000*	Q200 detritca	76.00	320.88	322.79	323.28	324.33	0.120171	5.48	13.87	12.30	1.65	1.91
Fosso del Roddo	86.000*	Q200 debris flood	25.00	320.88	322.08	322.32	322.88	0.115816	3.97	6.29	8.88	1.51	1.19
Fosso del Roddo	84.000*	Q200 detritca	76.00	320.72	322.53	323.03	324.12	0.126773	5.57	13.64	12.31	1.69	1.82
Fosso del Roddo	84.000*	Q200 debris flood	25.00	320.72	321.84	322.10	322.68	0.130118	4.06	6.15	9.22	1.59	1.12
Fosso del Roddo	82.000*	Q200 detritca	76.00	320.55	322.27	322.80	323.90	0.128535	5.66	13.45	12.11	1.70	1.72

HEC-RAS Plan: Fosso Roddo Attuale con Pettine River: Fosso del Roddo Reach: Fosso del Roddo (Continued)

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	Max Chl Dpth (m)
Fosso del Roddo	82.000*	Q200 debris/flood	25.00	320.55	321.57	321.85	322.45	0.141047	4.16	6.02	9.23	1.64	1.02
Fosso del Roddo	80	Q200 detrit/ca	76.00	320.38	322.01	322.53	323.68	0.127903	5.73	13.33	11.87	1.70	1.63
Fosso del Roddo	80	Q200 debris/flood	25.00	320.38	321.30	321.58	322.21	0.148717	4.23	5.91	9.04	1.67	0.92
Fosso del Roddo	77.500*	Q200 detrit/ca	76.00	320.19	321.76	322.29	323.46	0.142691	5.77	13.16	12.09	1.77	1.58
Fosso del Roddo	77.500*	Q200 debris/flood	25.00	320.19	321.14	321.38	321.95	0.138032	3.99	6.26	9.96	1.61	0.95
Fosso del Roddo	75.000*	Q200 detrit/ca	76.00	319.99	321.54	322.06	323.22	0.149486	5.73	13.27	12.81	1.80	1.55
Fosso del Roddo	75.000*	Q200 debris/flood	25.00	319.99	320.99	321.20	321.71	0.128629	3.76	6.65	10.98	1.54	0.99
Fosso del Roddo	72.500*	Q200 detrit/ca	76.00	319.80	321.35	321.84	322.95	0.150398	5.60	13.58	13.63	1.79	1.55
Fosso del Roddo	72.500*	Q200 debris/flood	25.00	319.80	320.84	321.02	321.48	0.119638	3.54	7.06	12.07	1.48	1.04
Fosso del Roddo	70	Q200 detrit/ca	76.00	319.61	321.18	321.64	322.68	0.149232	5.43	14.00	14.62	1.77	1.57
Fosso del Roddo	70	Q200 debris/flood	25.00	319.61	320.71	320.86	321.28	0.111697	3.34	7.48	13.17	1.42	1.10
Fosso del Roddo	65		Inl Struct										
Fosso del Roddo	60	Q200 detrit/ca	76.00	318.21	320.20	320.20	320.95	0.042830	3.82	19.89	13.39	1.00	1.99
Fosso del Roddo	60	Q200 debris/flood	25.00	318.21	319.29	319.29	319.70	0.050744	2.86	8.76	10.68	1.01	1.08
Fosso del Roddo	50	Q200 detrit/ca	76.00	316.83	318.03	318.78	320.63	0.253831	7.14	10.64	10.58	2.27	1.20
Fosso del Roddo	50	Q200 debris/flood	25.00	316.83	317.37	317.84	319.36	0.573607	6.25	4.00	9.50	3.08	0.54
Fosso del Roddo	47.500*	Q200 detrit/ca	76.00	316.35	317.70	318.45	320.20	0.223046	7.00	10.85	9.95	2.14	1.35
Fosso del Roddo	47.500*	Q200 debris/flood	25.00	316.35	317.04	317.45	318.50	0.316682	5.35	4.67	8.81	2.35	0.69
Fosso del Roddo	45.000*	Q200 detrit/ca	76.00	315.87	317.37	318.12	319.83	0.203709	6.94	10.95	9.39	2.05	1.50
Fosso del Roddo	45.000*	Q200 debris/flood	25.00	315.87	316.69	317.08	318.00	0.241577	5.07	4.93	8.11	2.08	0.82
Fosso del Roddo	42.500*	Q200 detrit/ca	76.00	315.39	317.05	317.81	319.50	0.191690	6.92	10.98	8.93	1.99	1.66
Fosso del Roddo	42.500*	Q200 debris/flood	25.00	315.39	316.32	316.71	317.61	0.215009	5.03	4.97	7.45	1.97	0.93
Fosso del Roddo	40	Q200 detrit/ca	76.00	314.91	316.73	317.53	319.18	0.185612	6.93	10.97	8.60	1.96	1.82
Fosso del Roddo	40	Q200 debris/flood	25.00	314.91	315.95	316.35	317.26	0.201240	5.06	4.94	6.88	1.91	1.04
Fosso del Roddo	38.000*	Q200 detrit/ca	76.00	314.53	316.31	317.09	318.83	0.193462	7.04	10.80	8.61	2.01	1.78
Fosso del Roddo	38.000*	Q200 debris/flood	25.00	314.53	315.54	315.95	316.89	0.208044	5.15	4.86	6.80	1.95	1.01

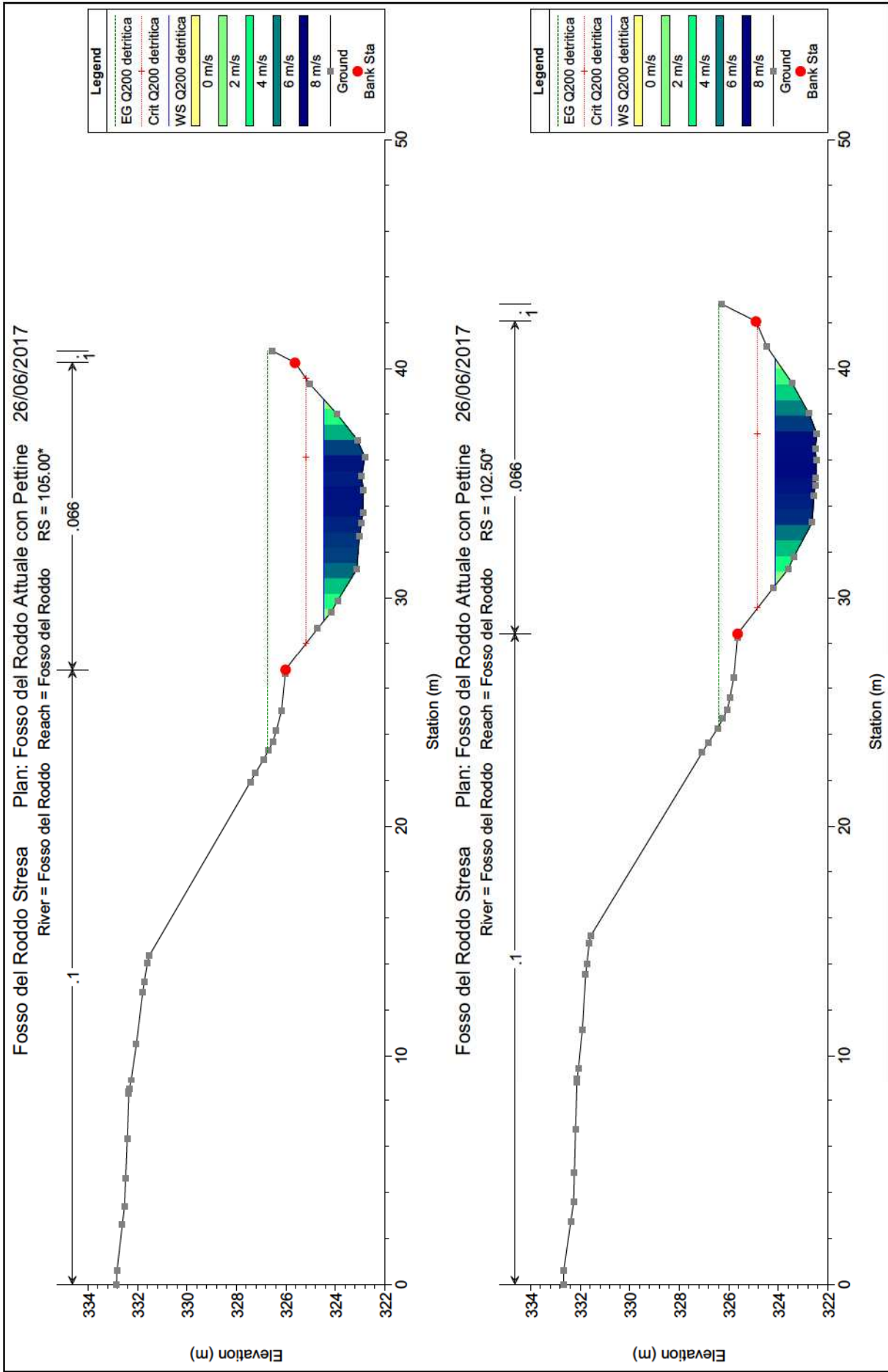
HEC-RAS Plan: Fosso Roddo Attuale con Pettine River: Fosso del Roddo Reach: Fosso del Roddo (Continued)

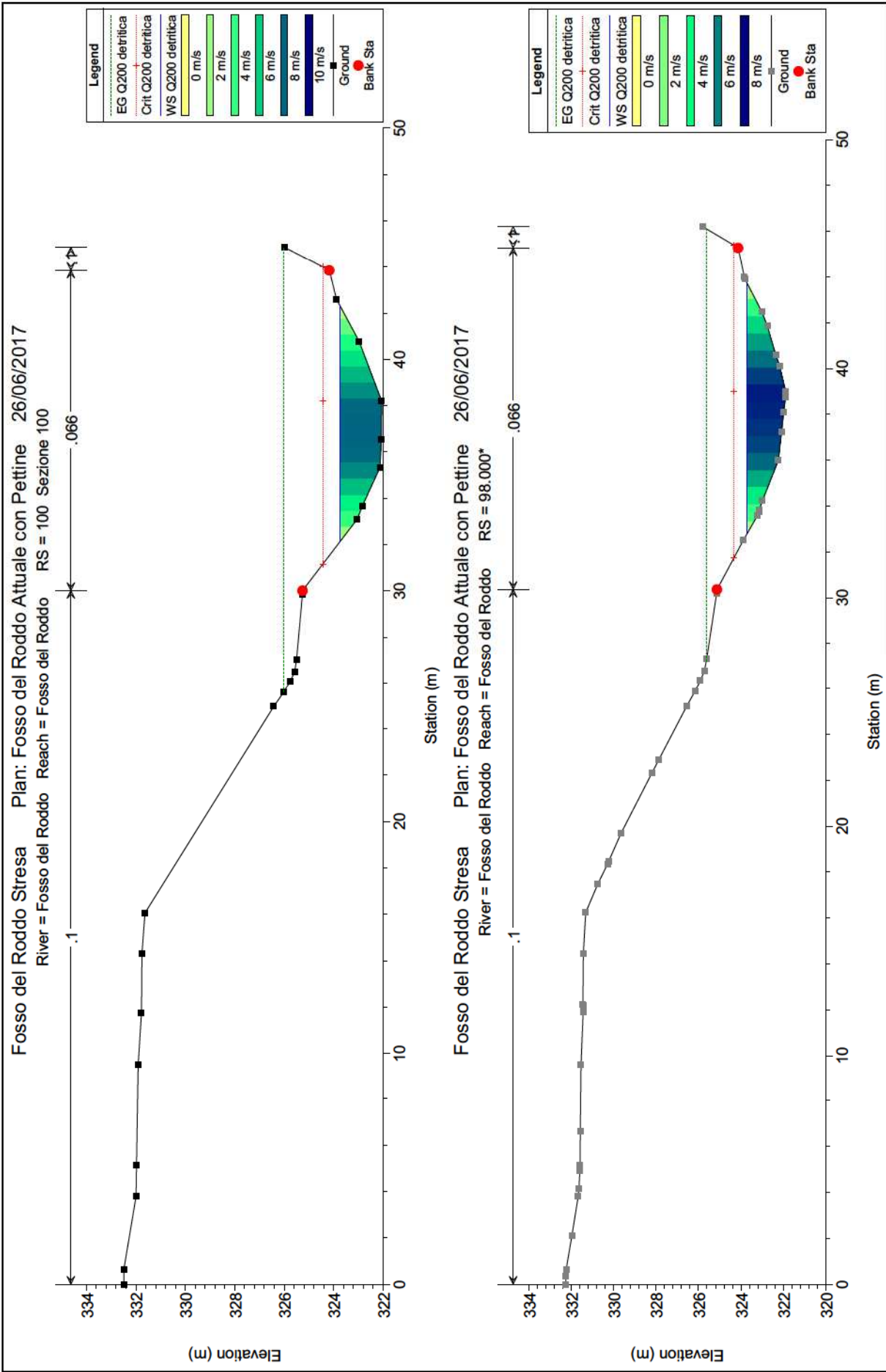
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Max Chl Dpth (m)
Fosso del Roddo	36.000*	Q200 detritca	76.00	314.15	315.90	316.69	318.47	0.198911	7.11	10.69	8.62	2.04	1.74
Fosso del Roddo	36.000*	Q200 debris/flood	25.00	314.15	315.13	315.55	316.51	0.211222	5.20	4.80	6.72	1.97	0.98
Fosso del Roddo	34.000*	Q200 detritca	76.00	313.78	315.49	316.31	318.11	0.202879	7.16	10.61	8.60	2.06	1.72
Fosso del Roddo	34.000*	Q200 debris/flood	25.00	313.78	314.73	315.16	316.13	0.211608	5.24	4.77	6.64	1.97	0.95
Fosso del Roddo	32.000*	Q200 detritca	76.00	313.40	315.10	315.91	317.74	0.205098	7.20	10.56	8.59	2.07	1.70
Fosso del Roddo	32.000*	Q200 debris/flood	25.00	313.40	314.33	314.77	315.75	0.211445	5.27	4.75	6.55	1.98	0.93
Fosso del Roddo	30	Q200 detritca	76.00	313.02	314.71	315.53	317.37	0.206761	7.22	10.52	8.56	2.08	1.69
Fosso del Roddo	30	Q200 debris/flood	25.00	313.02	313.94	314.38	315.36	0.211020	5.29	4.72	6.46	1.98	0.92
Fosso del Roddo	28.333*	Q200 detritca	76.00	312.76	314.51	315.29	316.98	0.185324	6.95	10.93	8.71	1.98	1.75
Fosso del Roddo	28.333*	Q200 debris/flood	25.00	312.76	313.75	314.14	314.98	0.170186	4.91	5.09	6.62	1.79	0.99
Fosso del Roddo	26.667*	Q200 detritca	76.00	312.50	314.30	315.04	316.63	0.171760	6.77	11.23	8.80	1.91	1.80
Fosso del Roddo	26.667*	Q200 debris/flood	25.00	312.50	313.53	313.89	314.68	0.154867	4.76	5.25	6.69	1.71	1.03
Fosso del Roddo	25.000*	Q200 detritca	76.00	312.25	314.08	314.79	316.32	0.162981	6.64	11.44	8.86	1.87	1.83
Fosso del Roddo	25.000*	Q200 debris/flood	25.00	312.25	313.29	313.64	314.42	0.149626	4.70	5.31	6.69	1.69	1.04
Fosso del Roddo	23.333*	Q200 detritca	76.00	311.99	313.84	314.54	316.04	0.157607	6.57	11.57	8.89	1.84	1.85
Fosso del Roddo	23.333*	Q200 debris/flood	25.00	311.99	313.03	313.39	314.16	0.149012	4.71	5.31	6.67	1.68	1.05
Fosso del Roddo	21.667*	Q200 detritca	76.00	311.73	313.59	314.28	315.77	0.155034	6.53	11.63	8.88	1.82	1.86
Fosso del Roddo	21.667*	Q200 debris/flood	25.00	311.73	312.77	313.13	313.91	0.148571	4.71	5.31	6.62	1.68	1.05
Fosso del Roddo	20	Q200 detritca	76.00	311.47	313.34	314.03	315.51	0.153771	6.53	11.65	8.86	1.82	1.87
Fosso del Roddo	20	Q200 debris/flood	25.00	311.47	312.51	312.87	313.65	0.149298	4.74	5.28	6.56	1.69	1.04
Fosso del Roddo	18.333*	Q200 detritca	76.00	311.21	313.12	313.79	315.24	0.146604	6.45	11.78	8.74	1.77	1.90
Fosso del Roddo	18.333*	Q200 debris/flood	25.00	311.21	312.26	312.62	313.40	0.146806	4.73	5.29	6.47	1.67	1.05
Fosso del Roddo	16.667*	Q200 detritca	76.00	310.96	312.89	313.56	314.99	0.141861	6.41	11.86	8.60	1.74	1.94
Fosso del Roddo	16.667*	Q200 debris/flood	25.00	310.96	312.02	312.37	313.16	0.145070	4.73	5.28	6.38	1.66	1.06
Fosso del Roddo	15.000*	Q200 detritca	76.00	310.70	312.66	313.33	314.75	0.139148	6.40	11.88	8.46	1.72	1.96
Fosso del Roddo	15.000*	Q200 debris/flood	25.00	310.70	311.77	312.12	312.91	0.143702	4.74	5.28	6.29	1.65	1.07
Fosso del Roddo	13.333*	Q200 detritca	76.00	310.44	312.43	313.10	314.52	0.137203	6.39	11.89	8.31	1.71	1.99

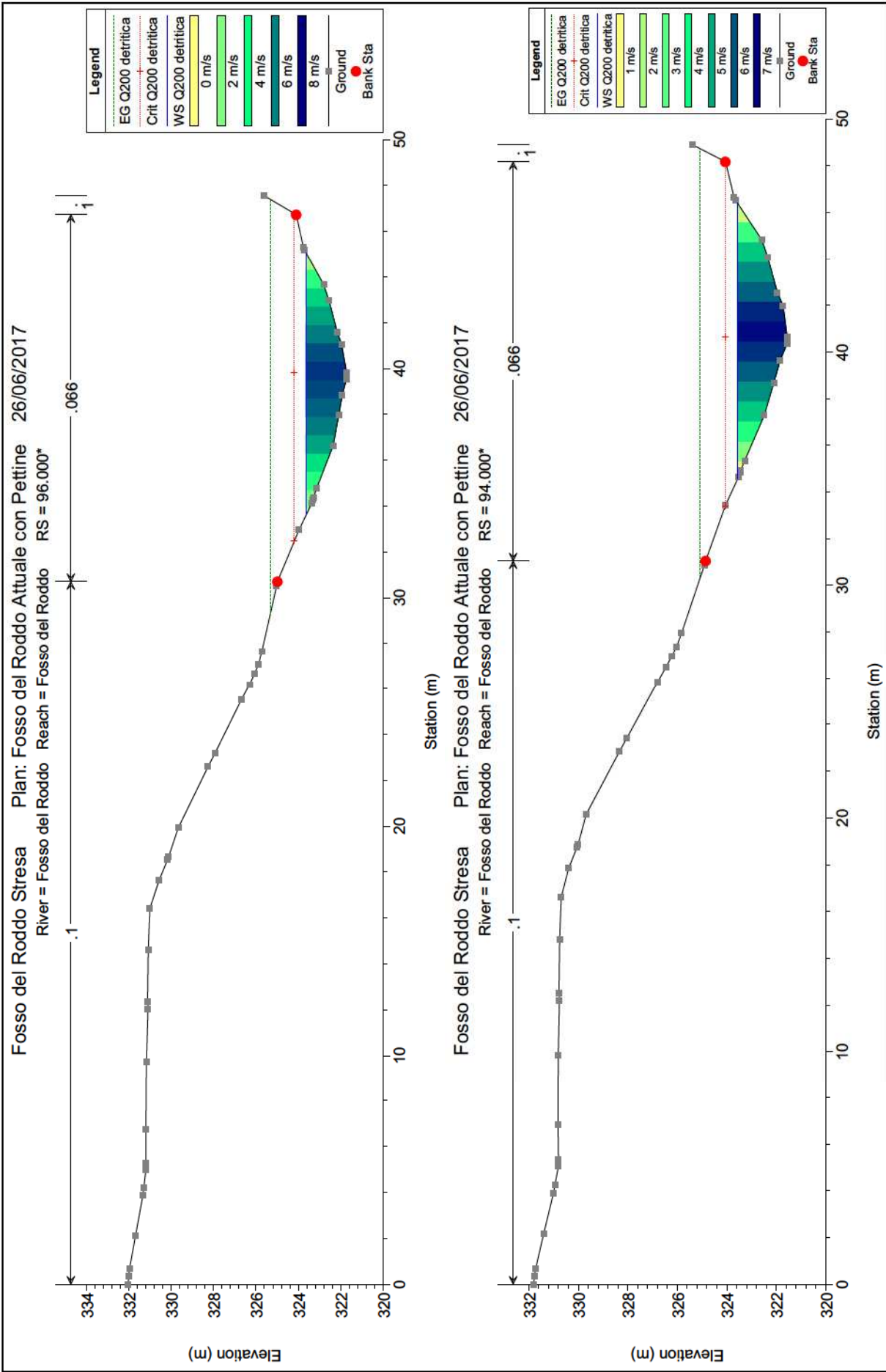
HEC-RAS Plan: Fosso Roddo Attuale con Pettine River: Fosso del Roddo Reach: Fosso del Roddo (Continued)

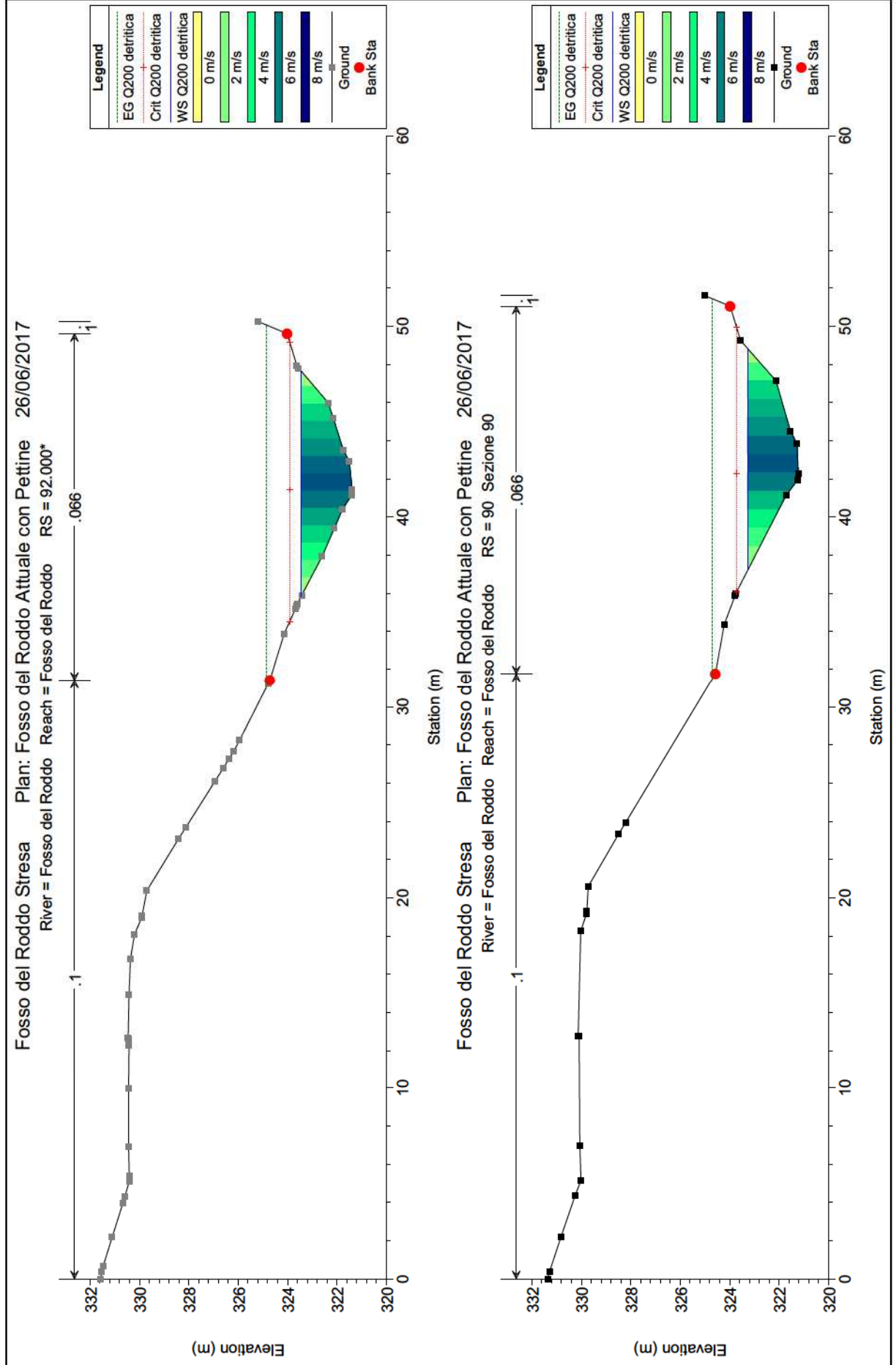
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Max Chl Dpth (m)
Fosso del Roddo	13.333*	Q200 debris/flood	25.00	310.44	311.52	311.88	312.67	0.142503	4.75	5.27	6.20	1.64	1.08
Fosso del Roddo	11.667*	Q200 detrit/ca	76.00	310.19	312.20	312.86	314.29	0.135618	6.40	11.88	8.17	1.69	2.02
Fosso del Roddo	11.667*	Q200 debris/flood	25.00	310.19	311.27	311.63	312.43	0.142057	4.76	5.25	6.10	1.64	1.09
Fosso del Roddo	10	Q200 detrit/ca	76.00	309.93	311.97	312.63	314.06	0.134313	6.40	11.88	8.03	1.68	2.04
Fosso del Roddo	10	Q200 debris/flood	25.00	309.93	311.03	311.39	312.19	0.141822	4.78	5.23	6.01	1.64	1.10

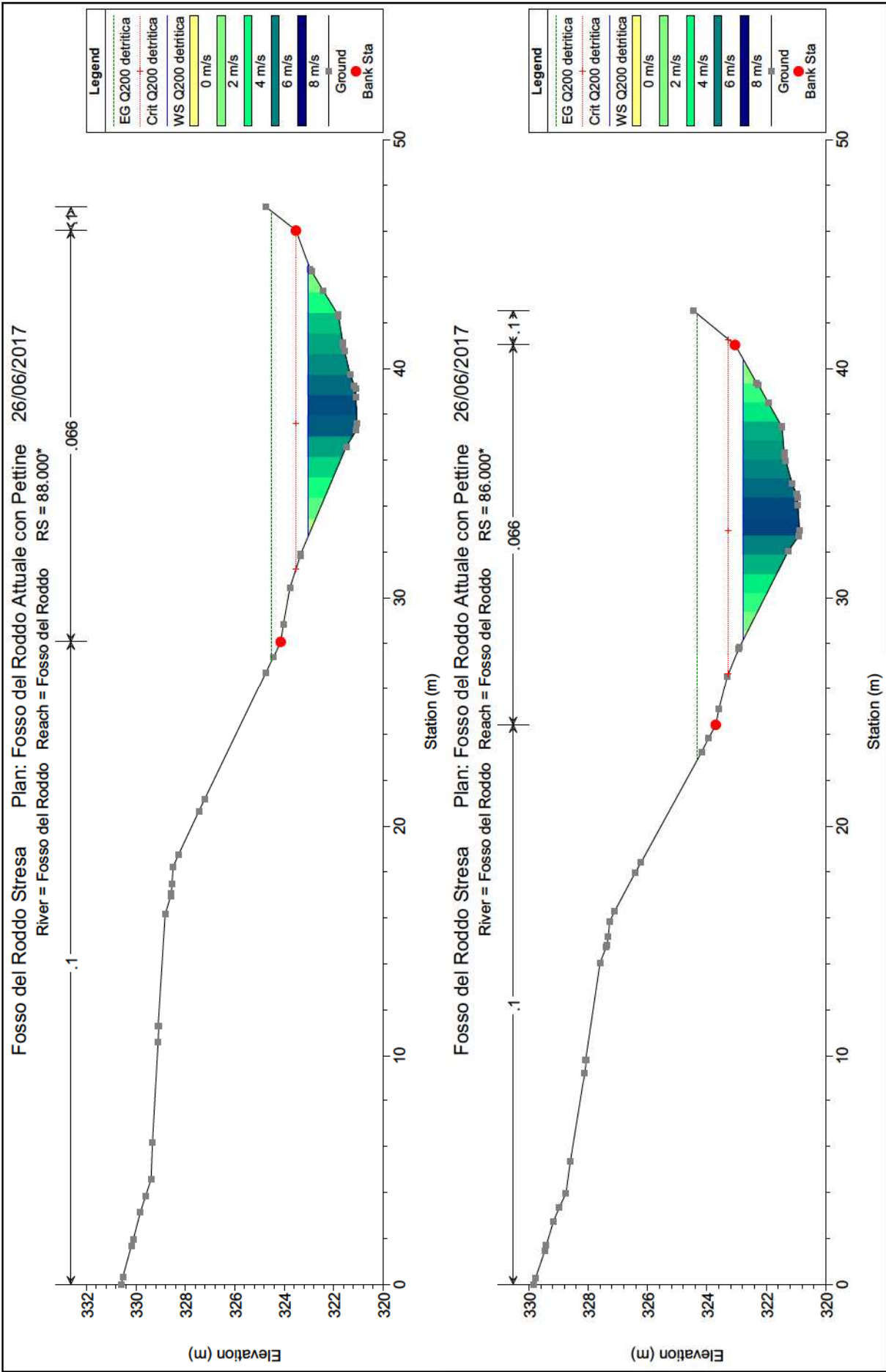
Sezioni Trasversali

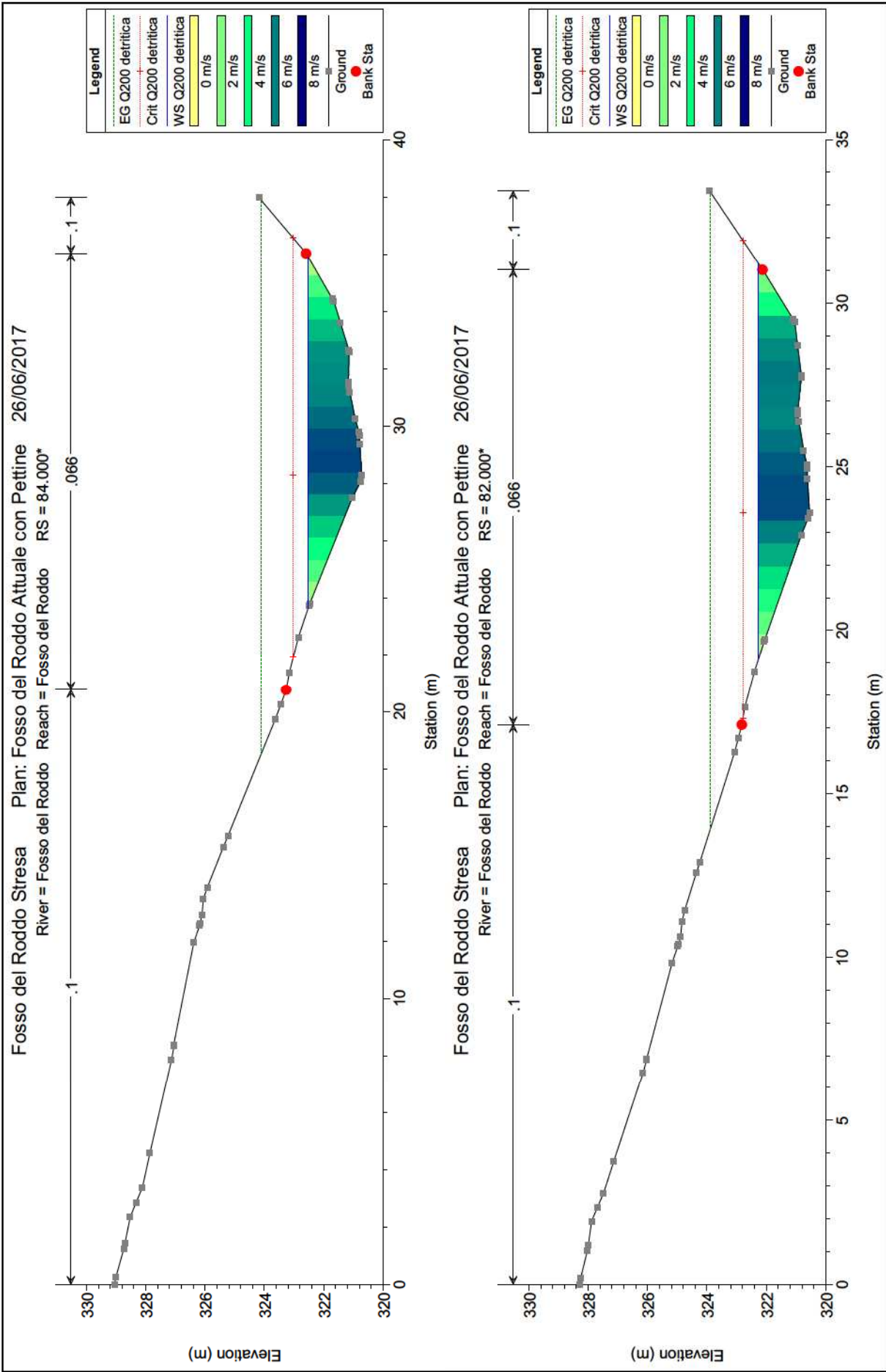


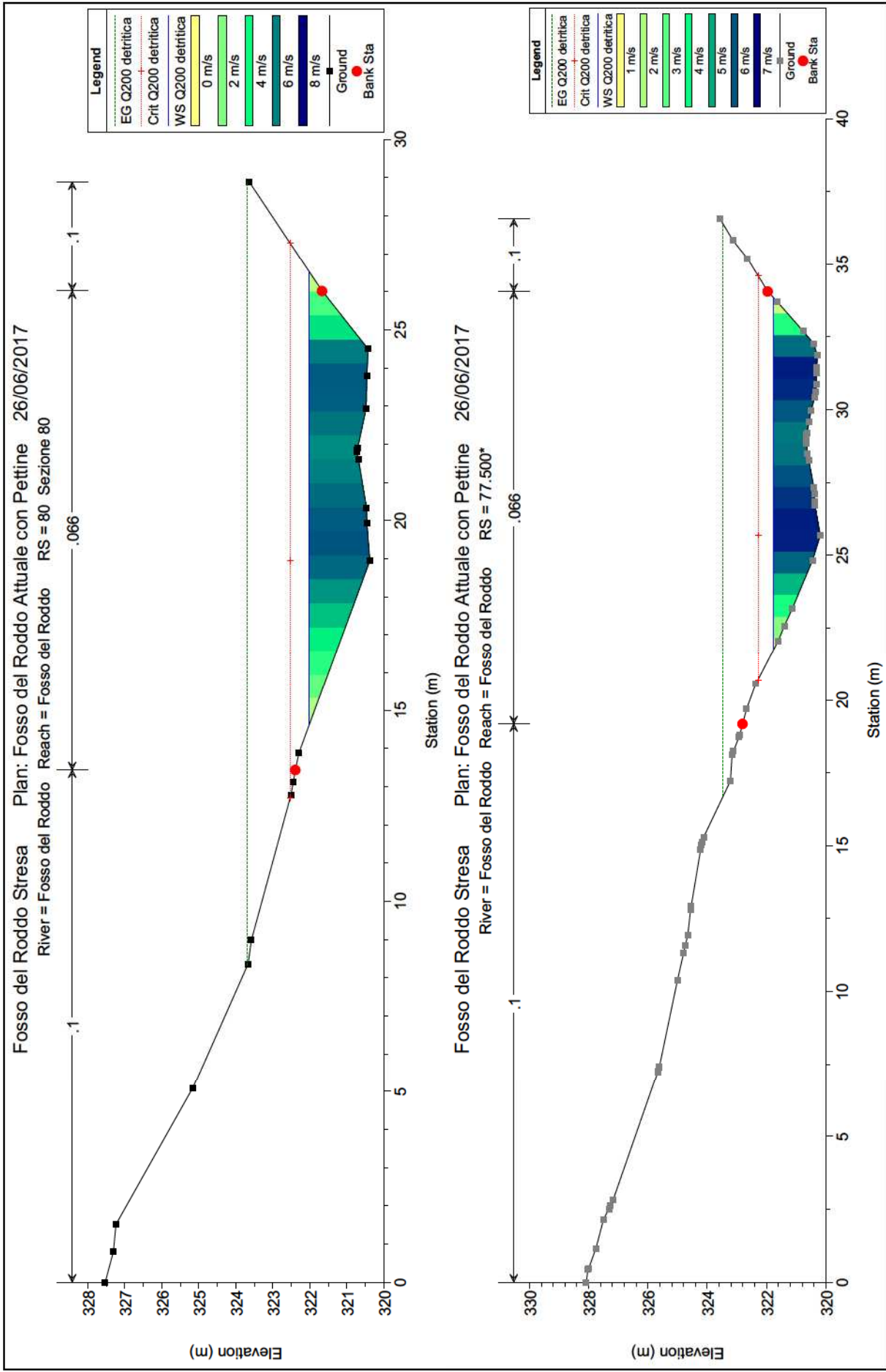


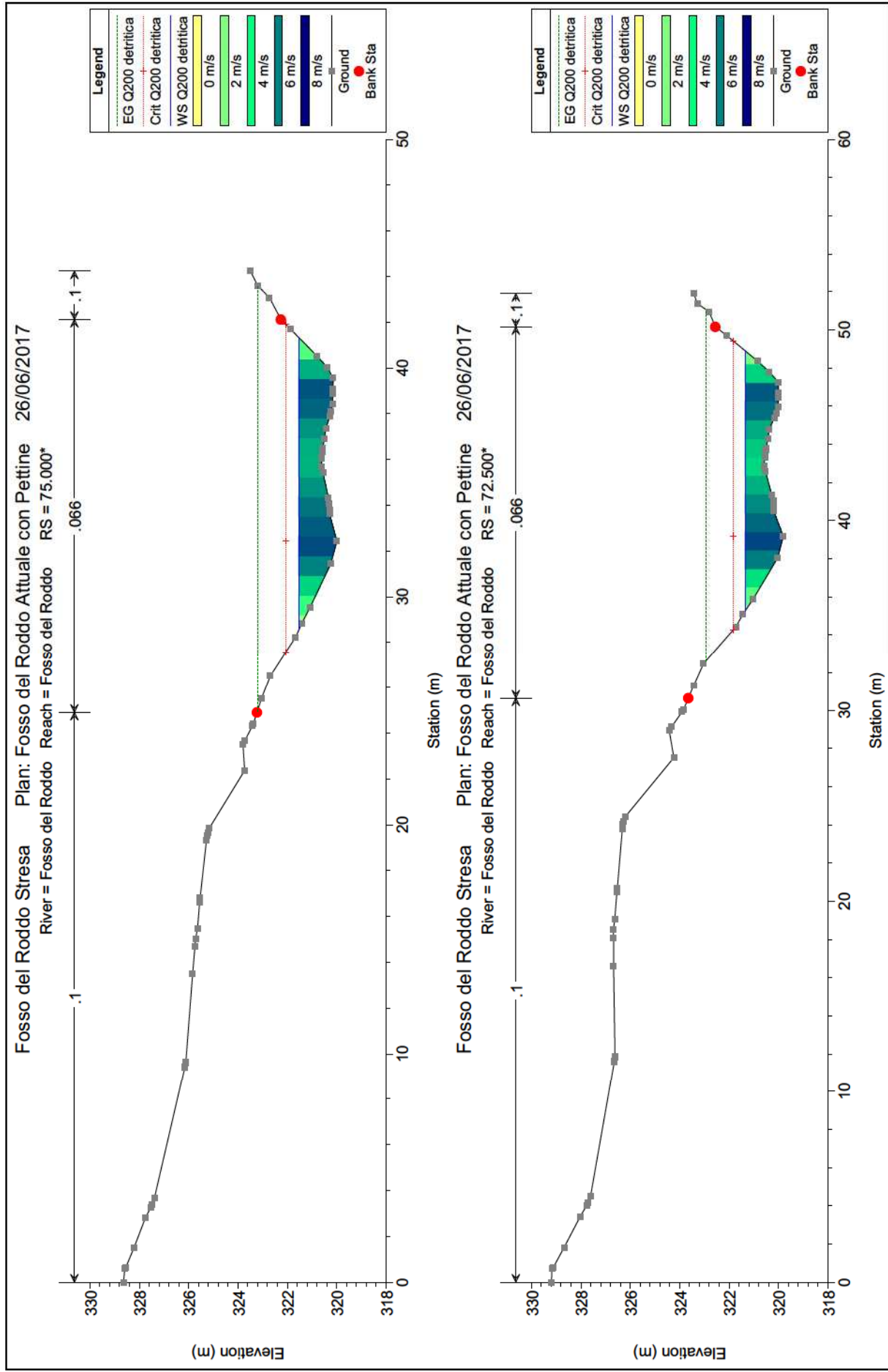


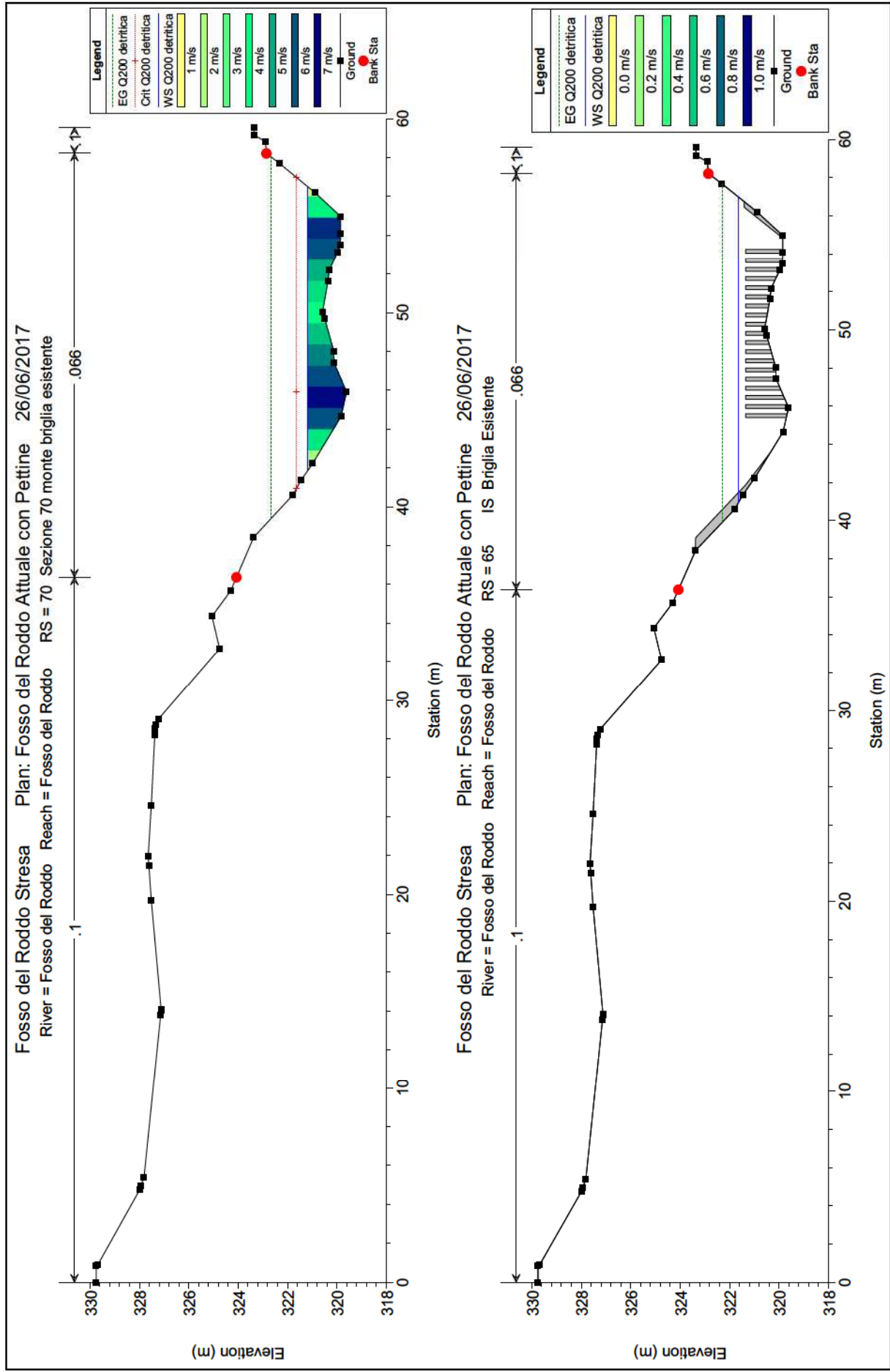


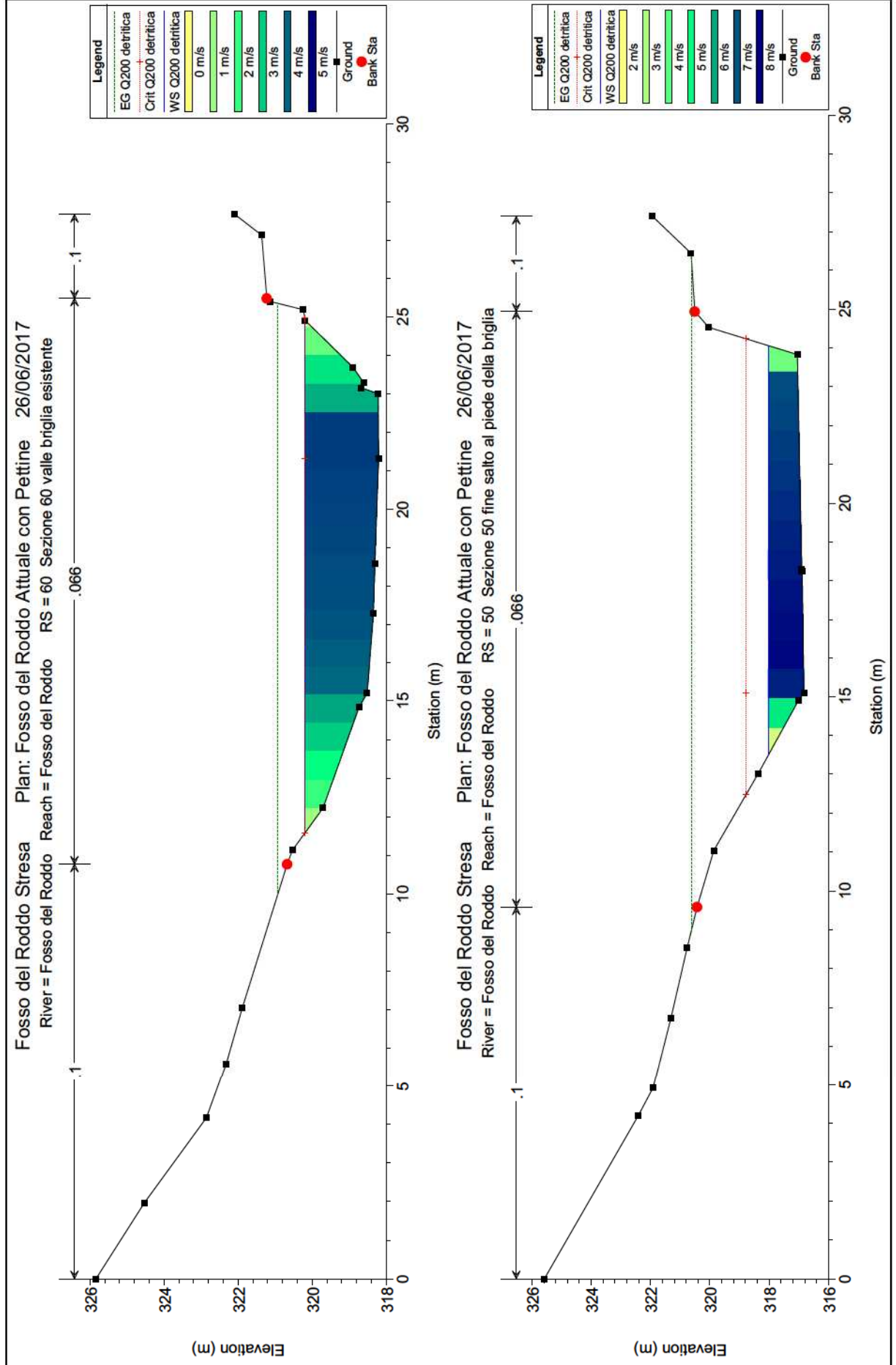


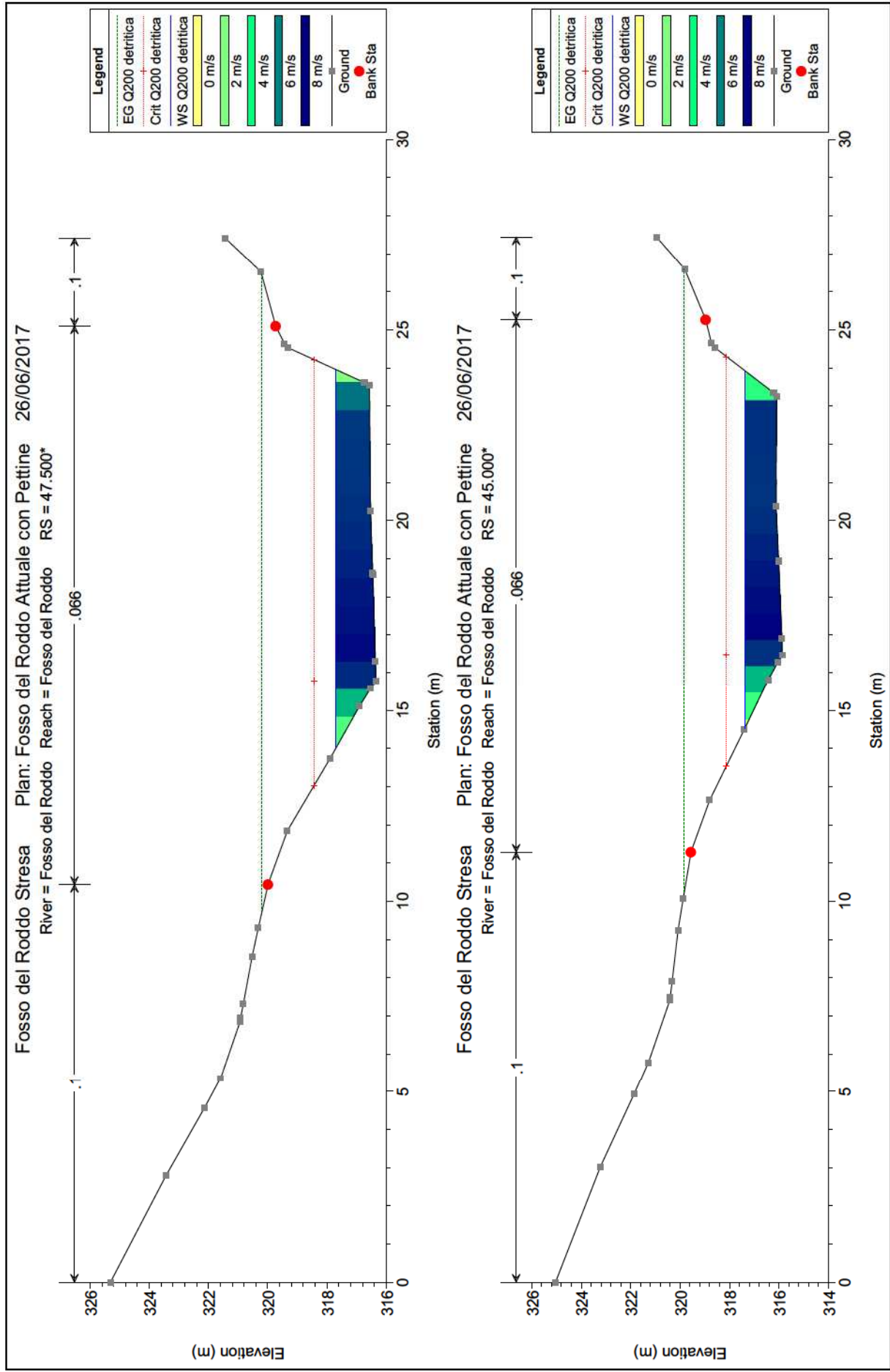






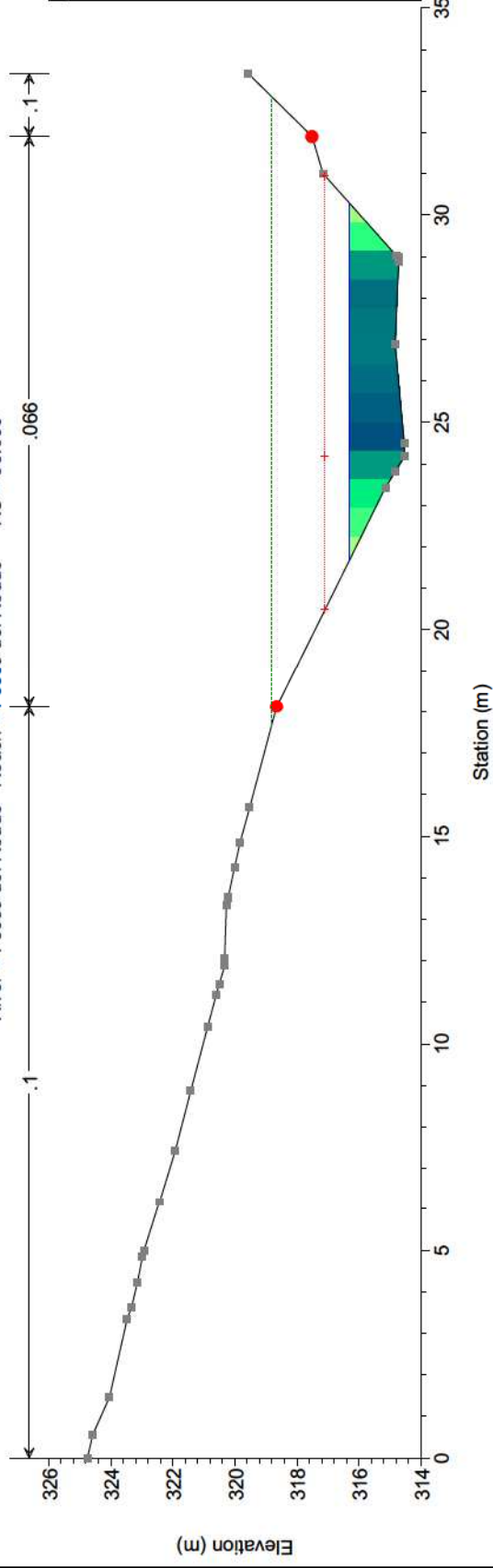






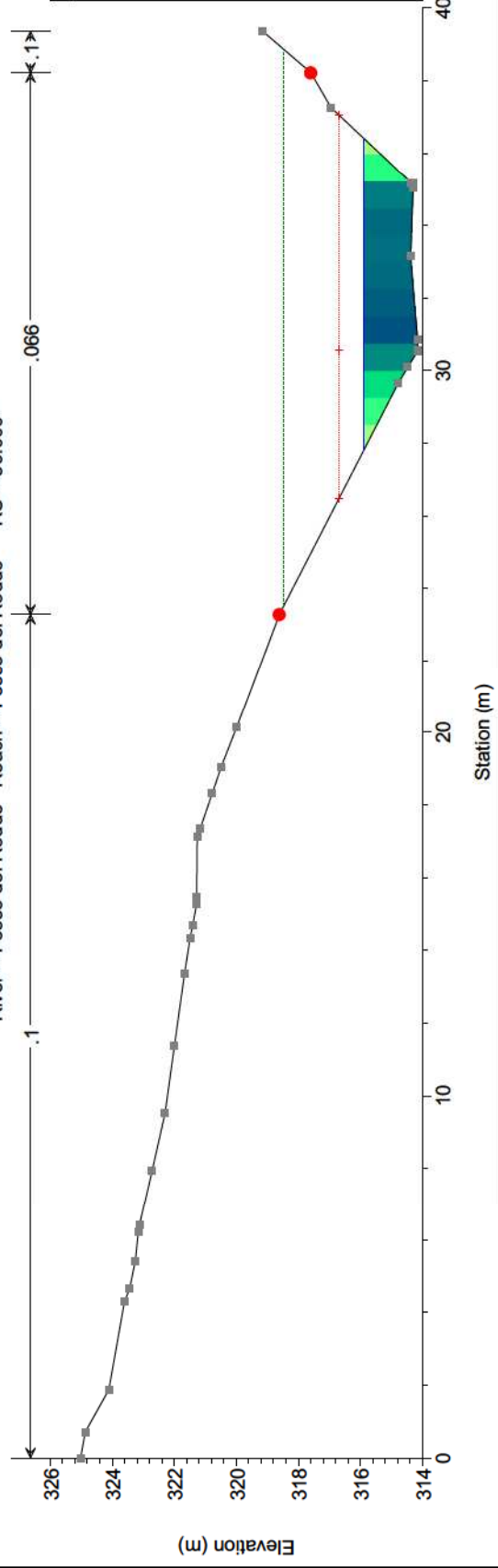
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 38.000*



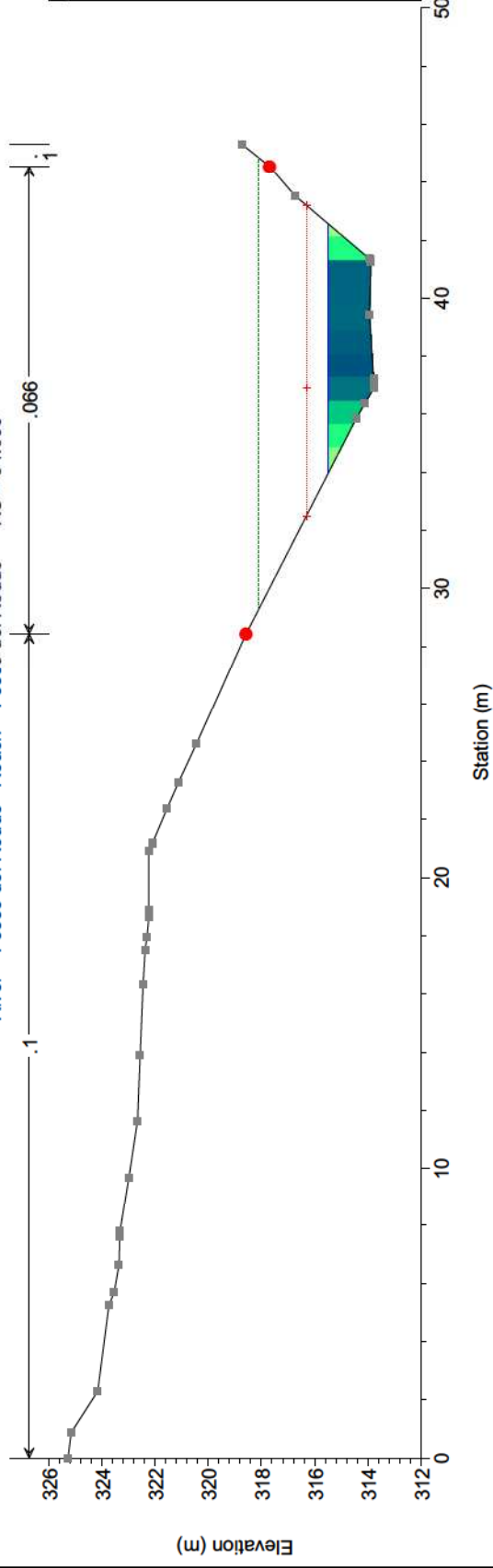
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 36.000*



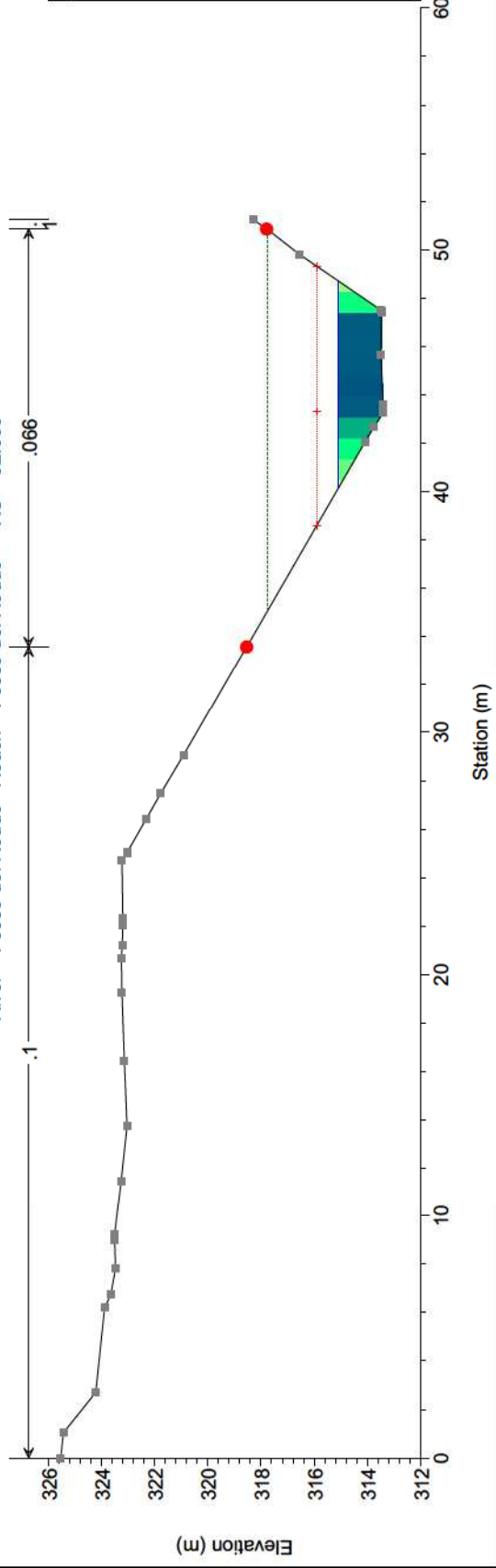
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

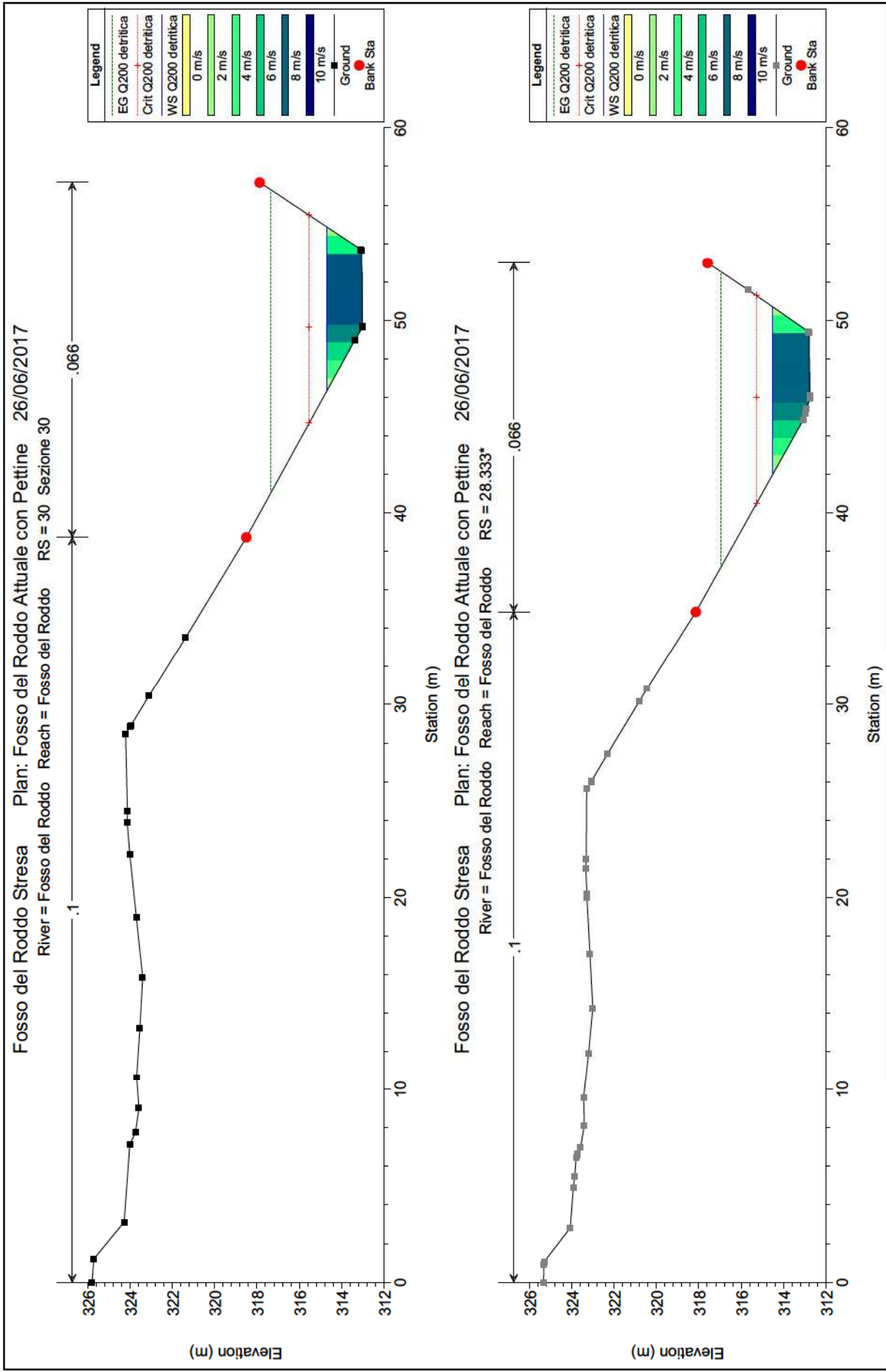
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 34.000*

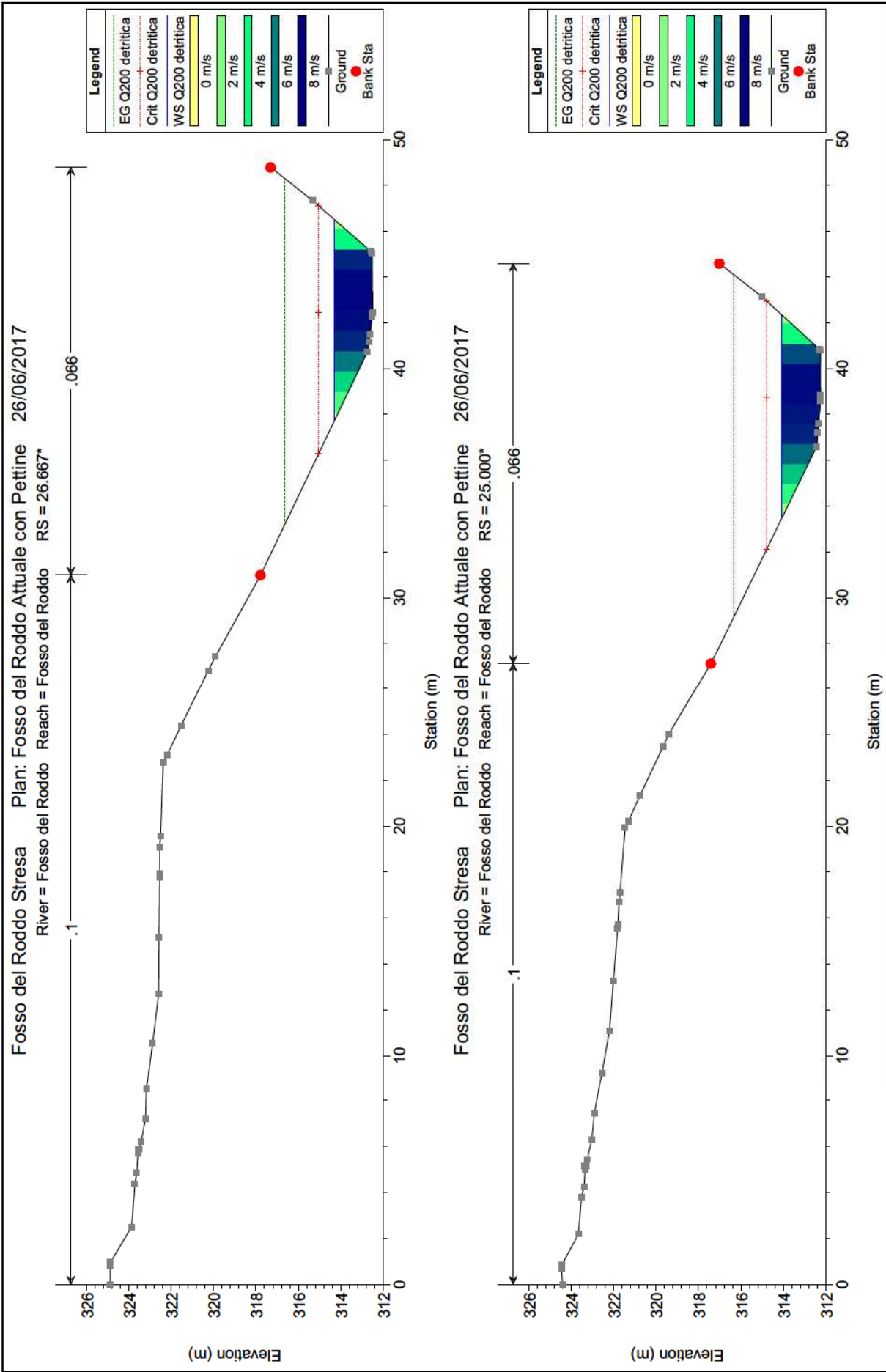


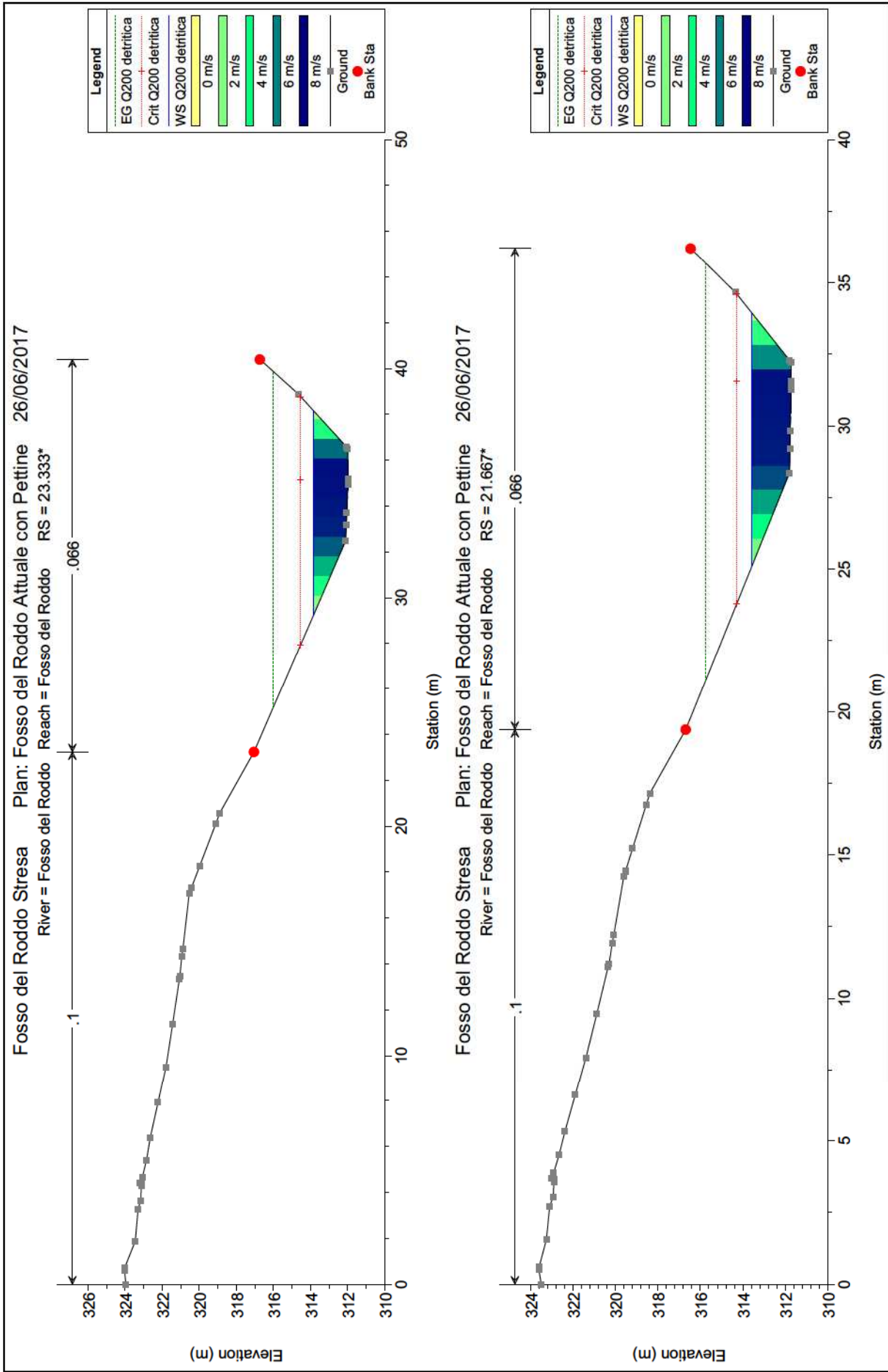
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

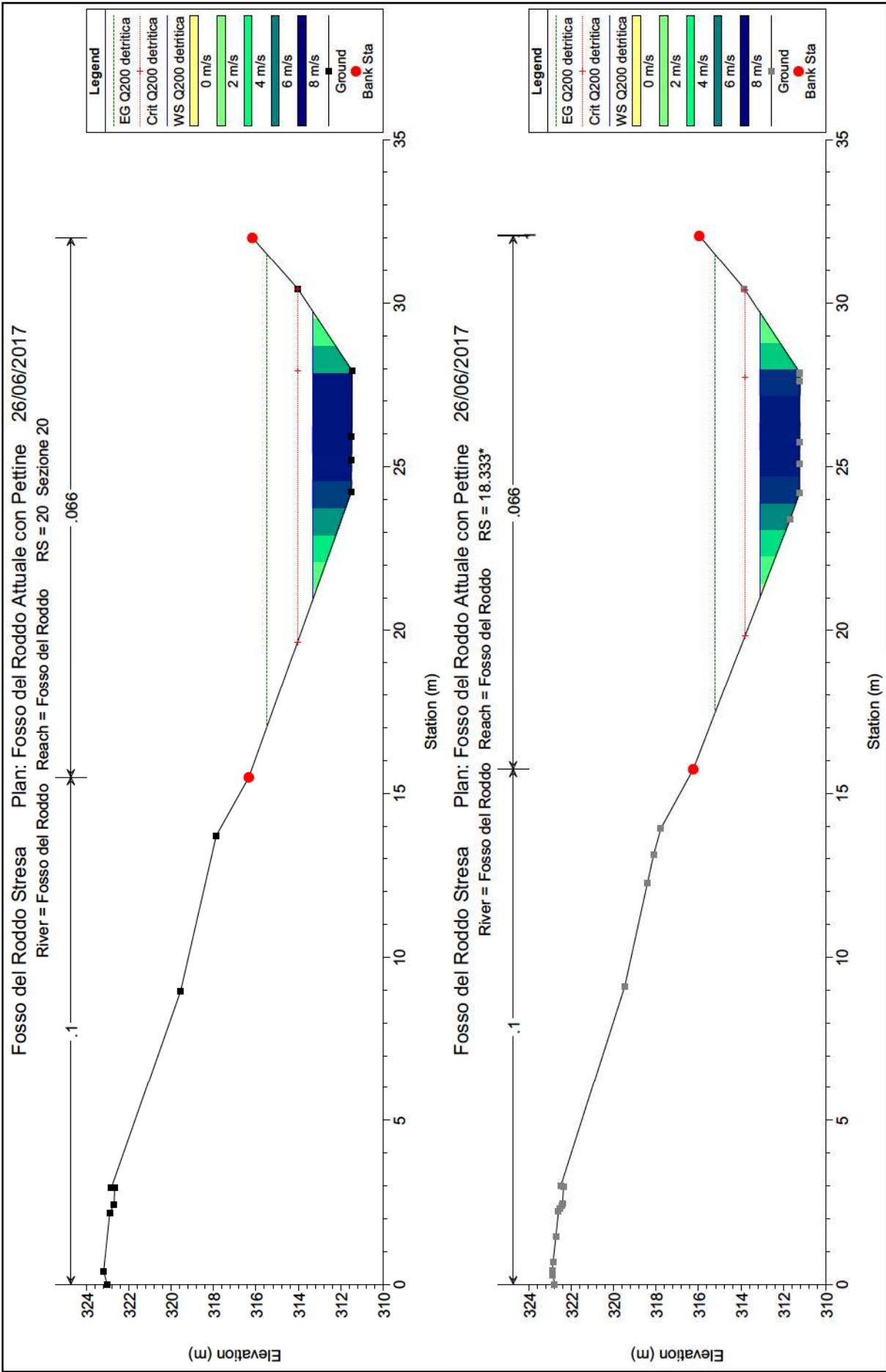
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 32.000*





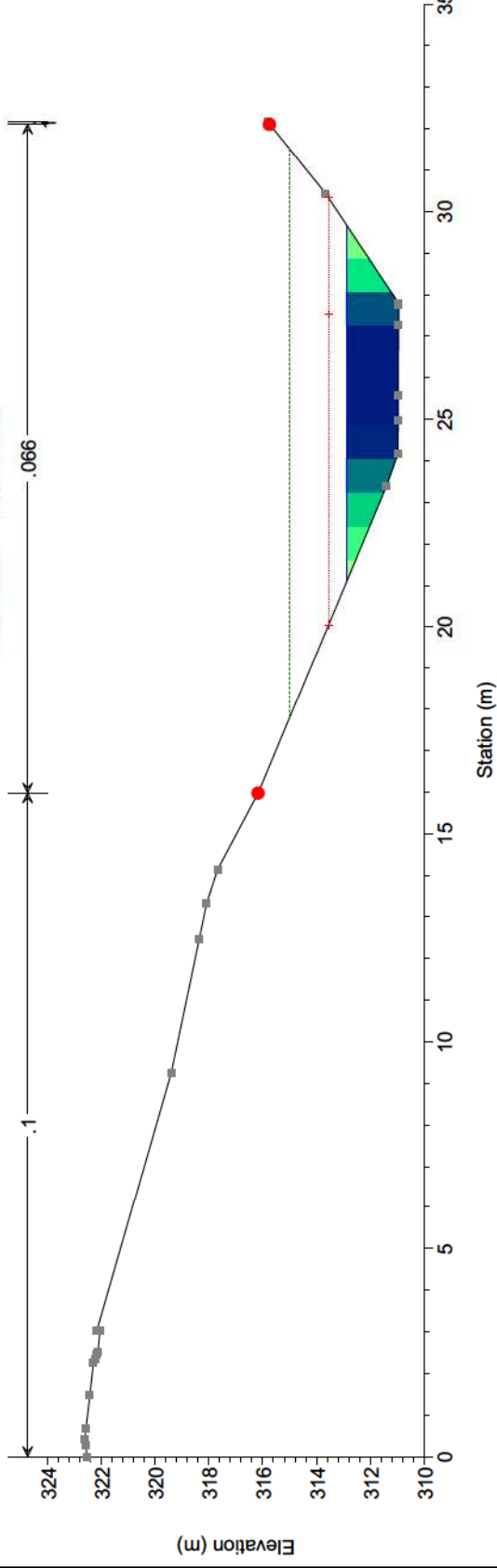






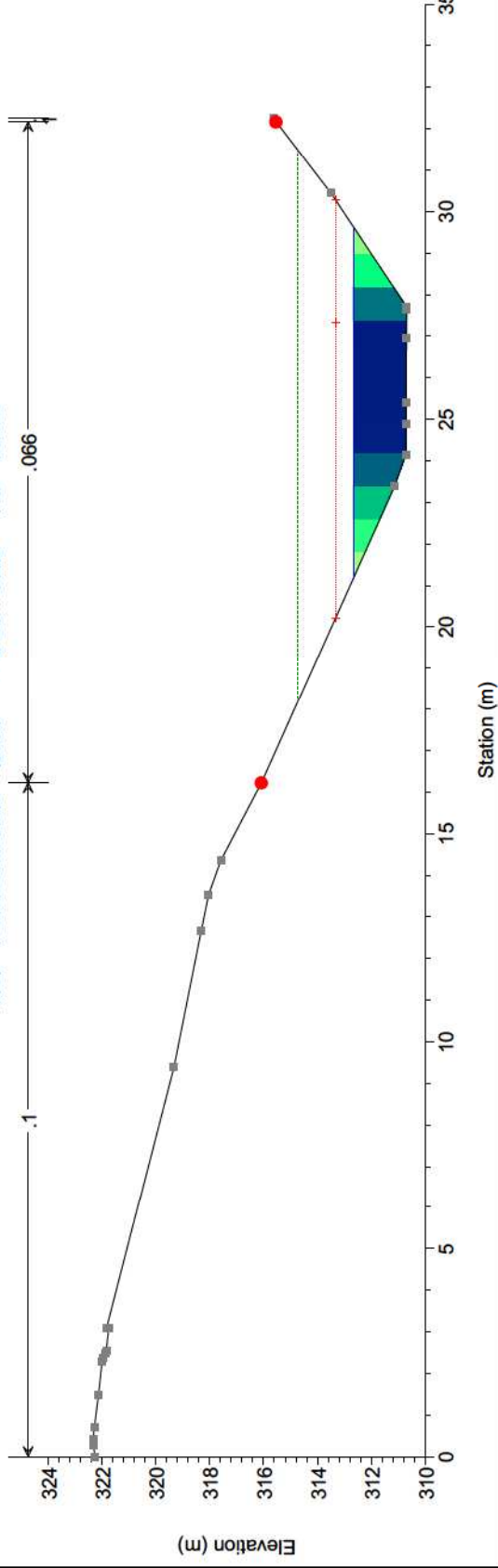
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

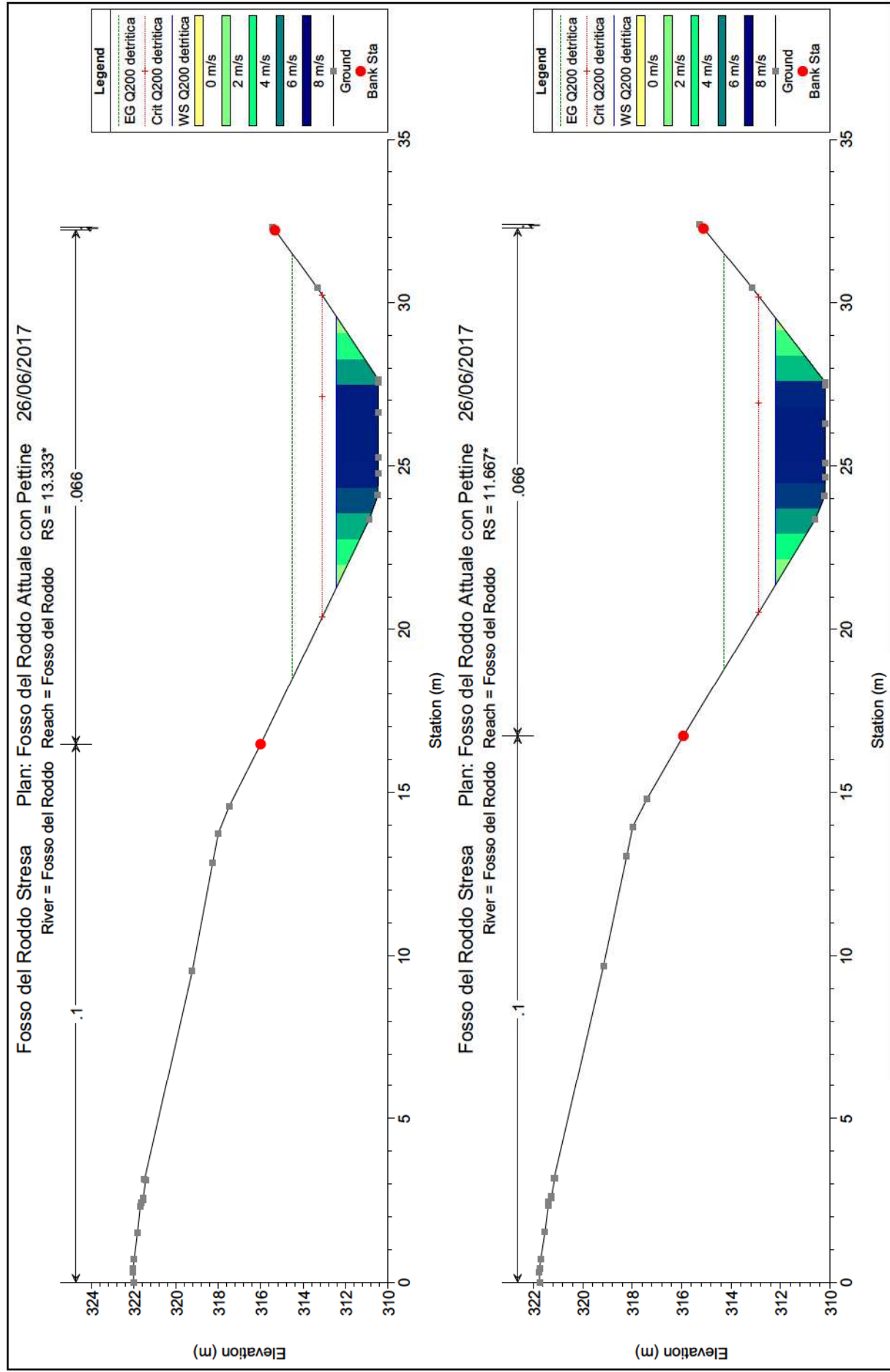
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 16.667*



Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

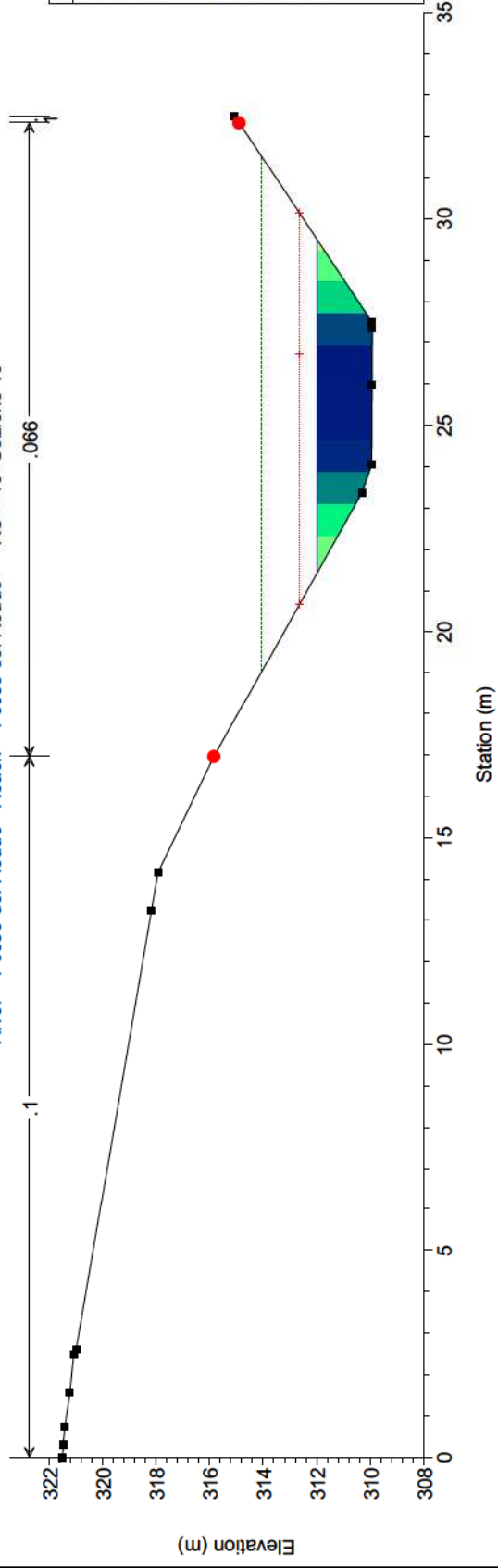
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 15.000*

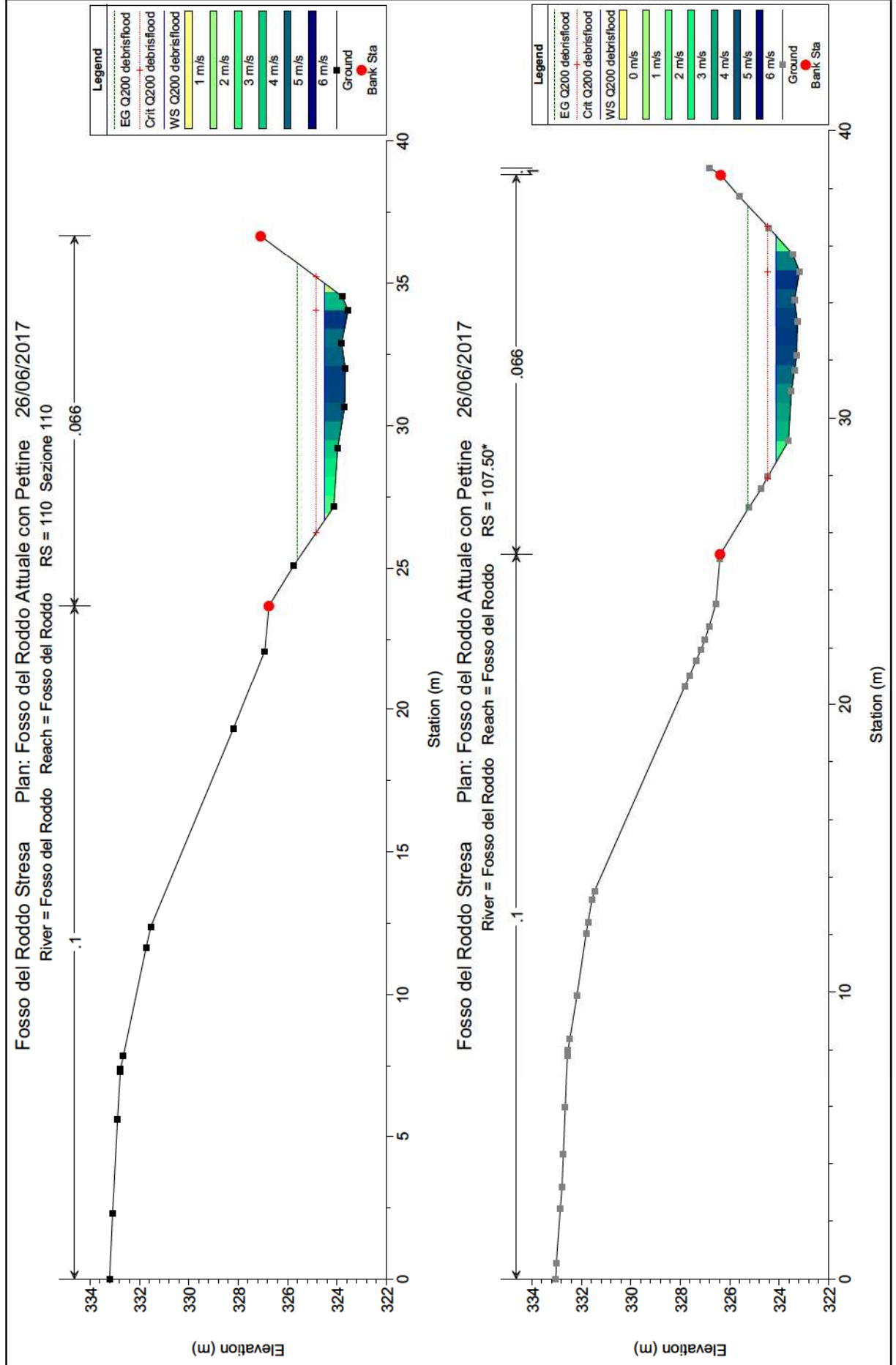


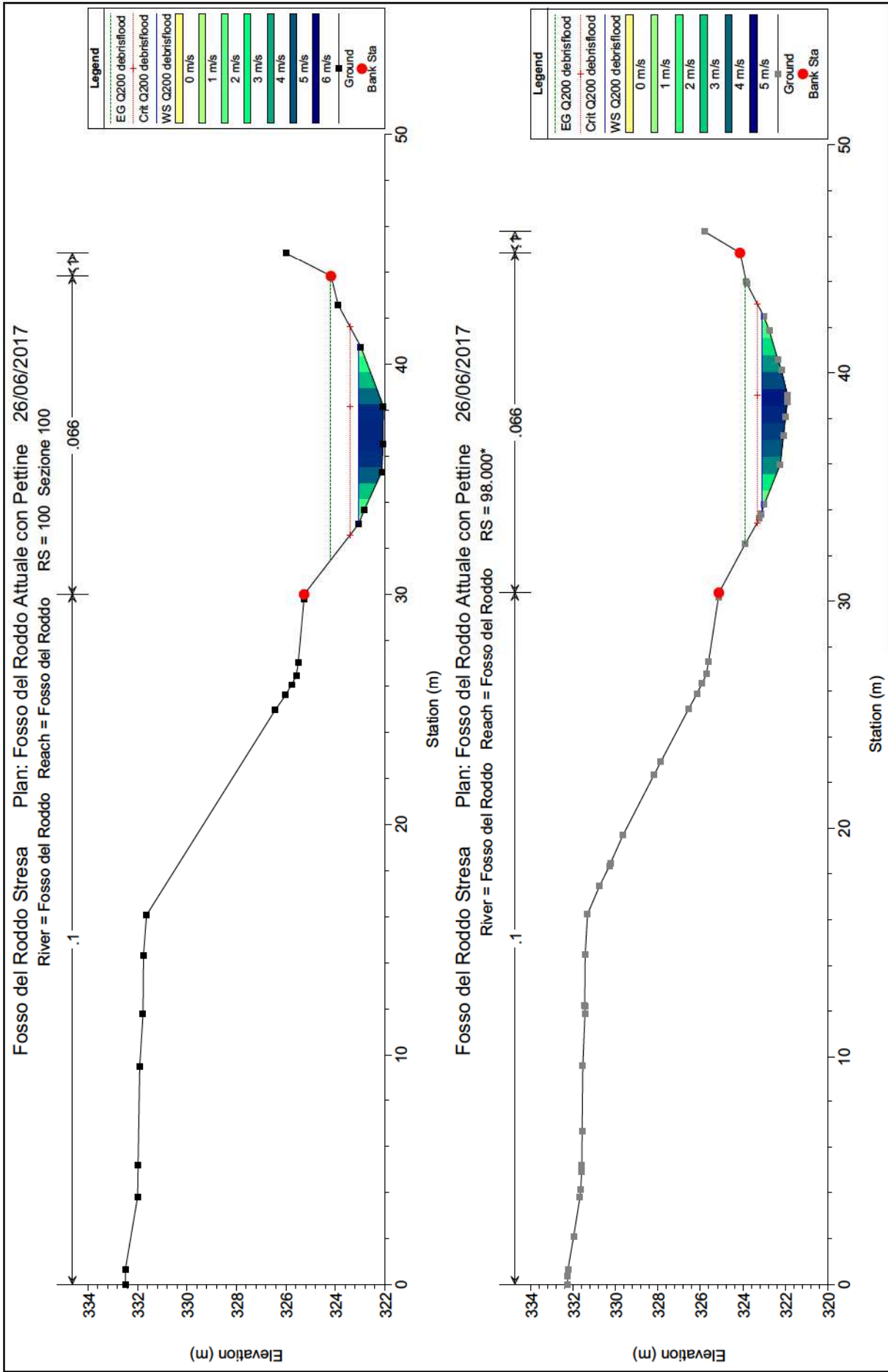


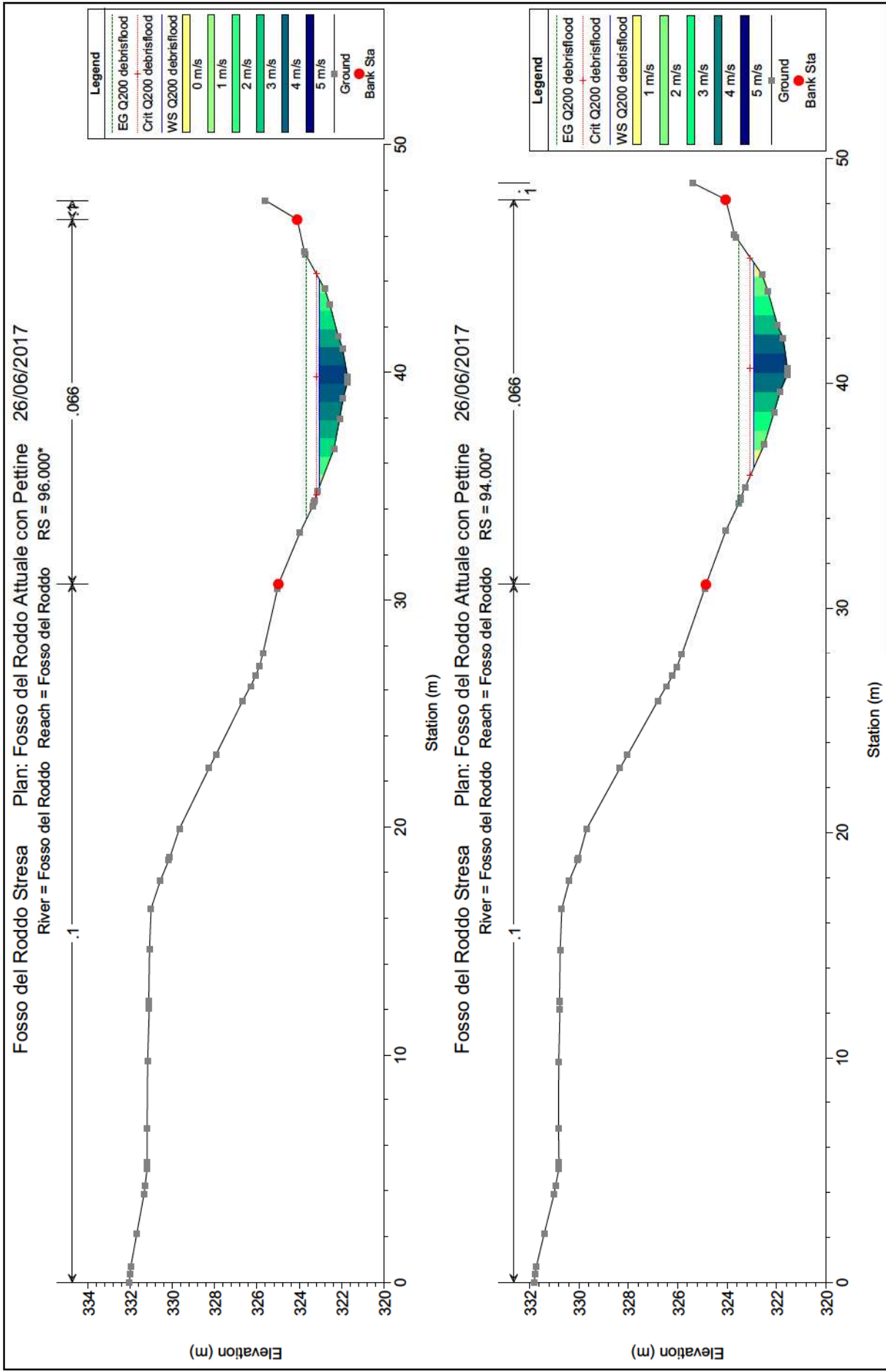
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

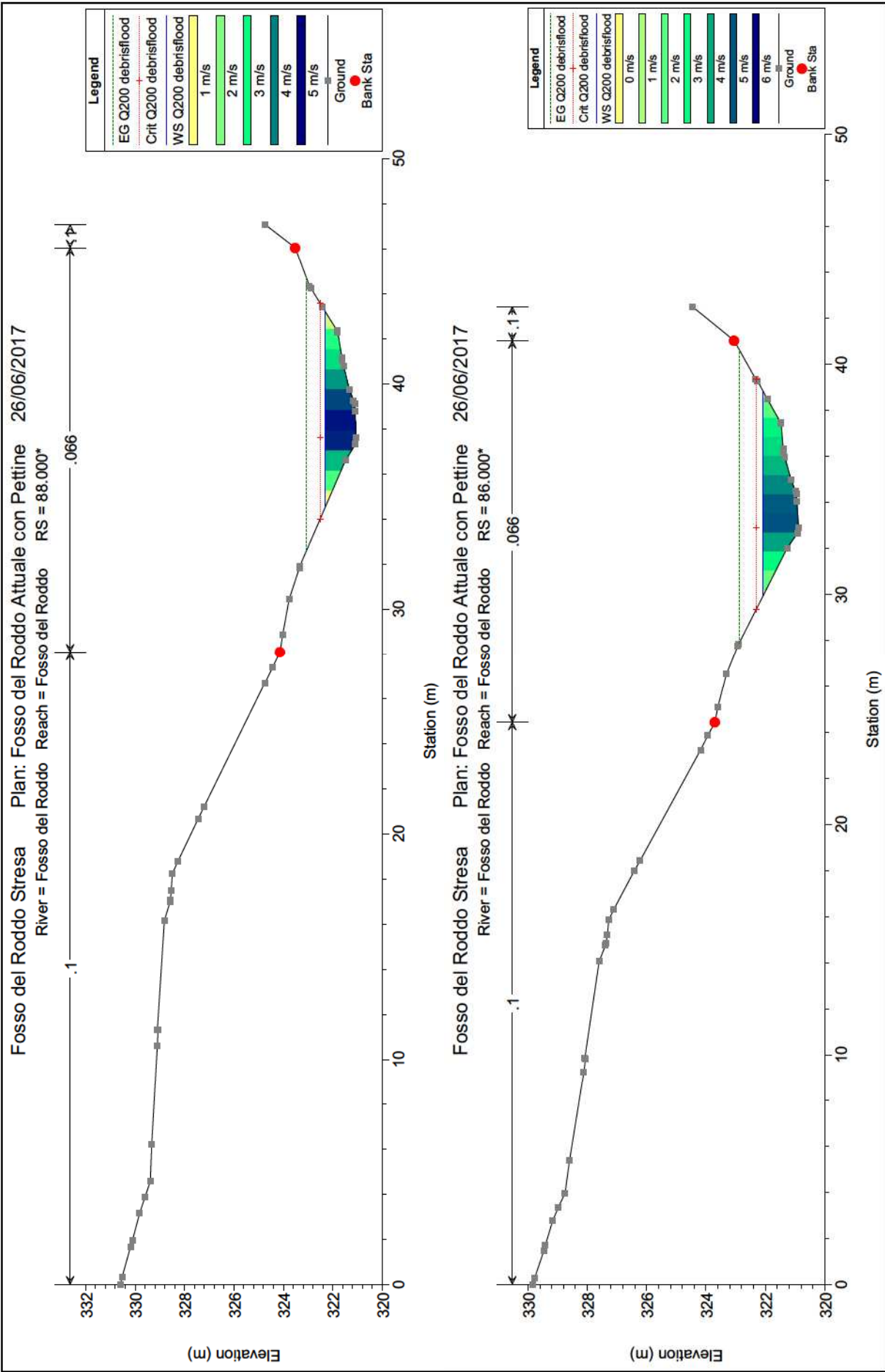
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 10 Sezione 10

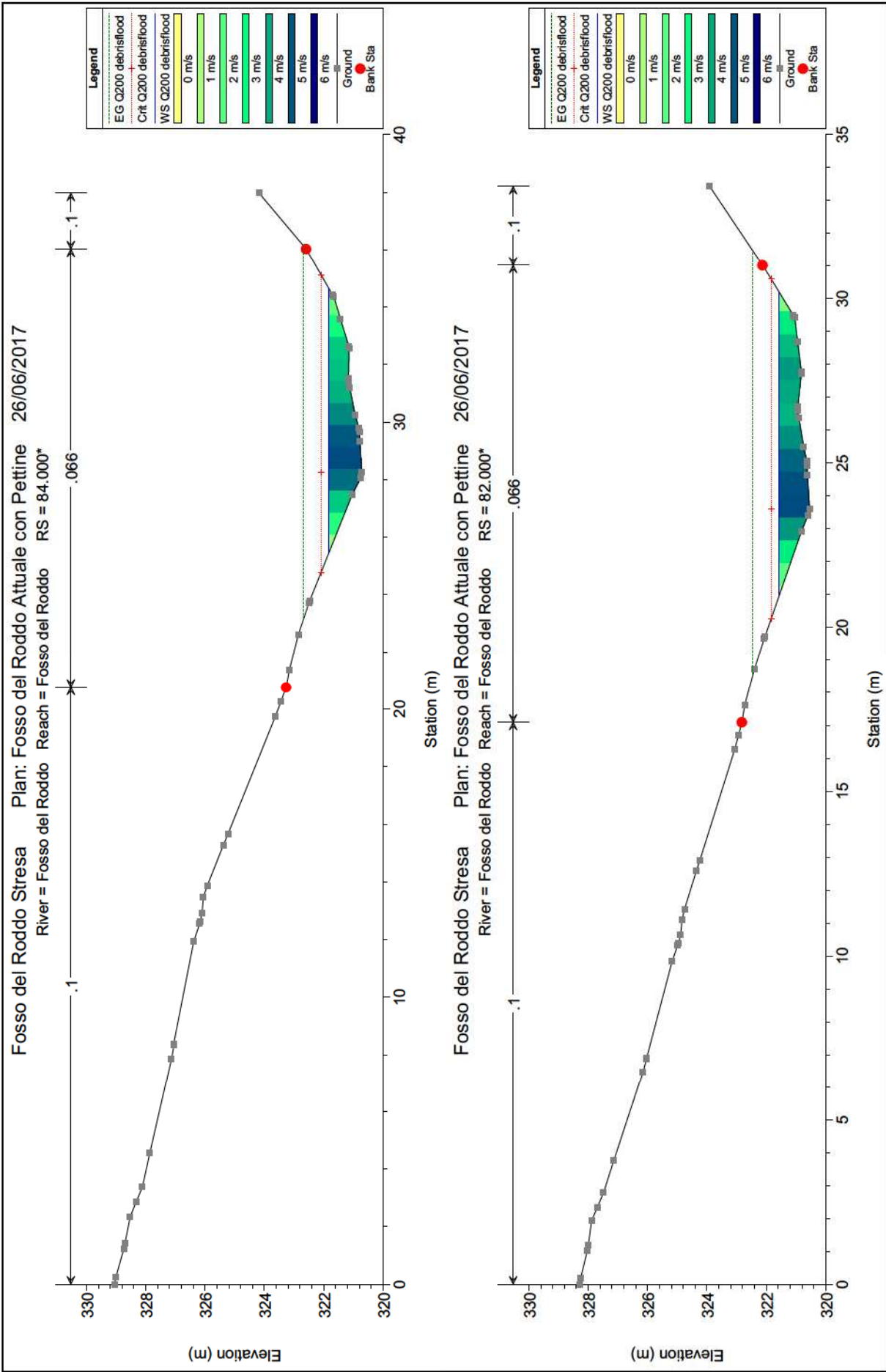


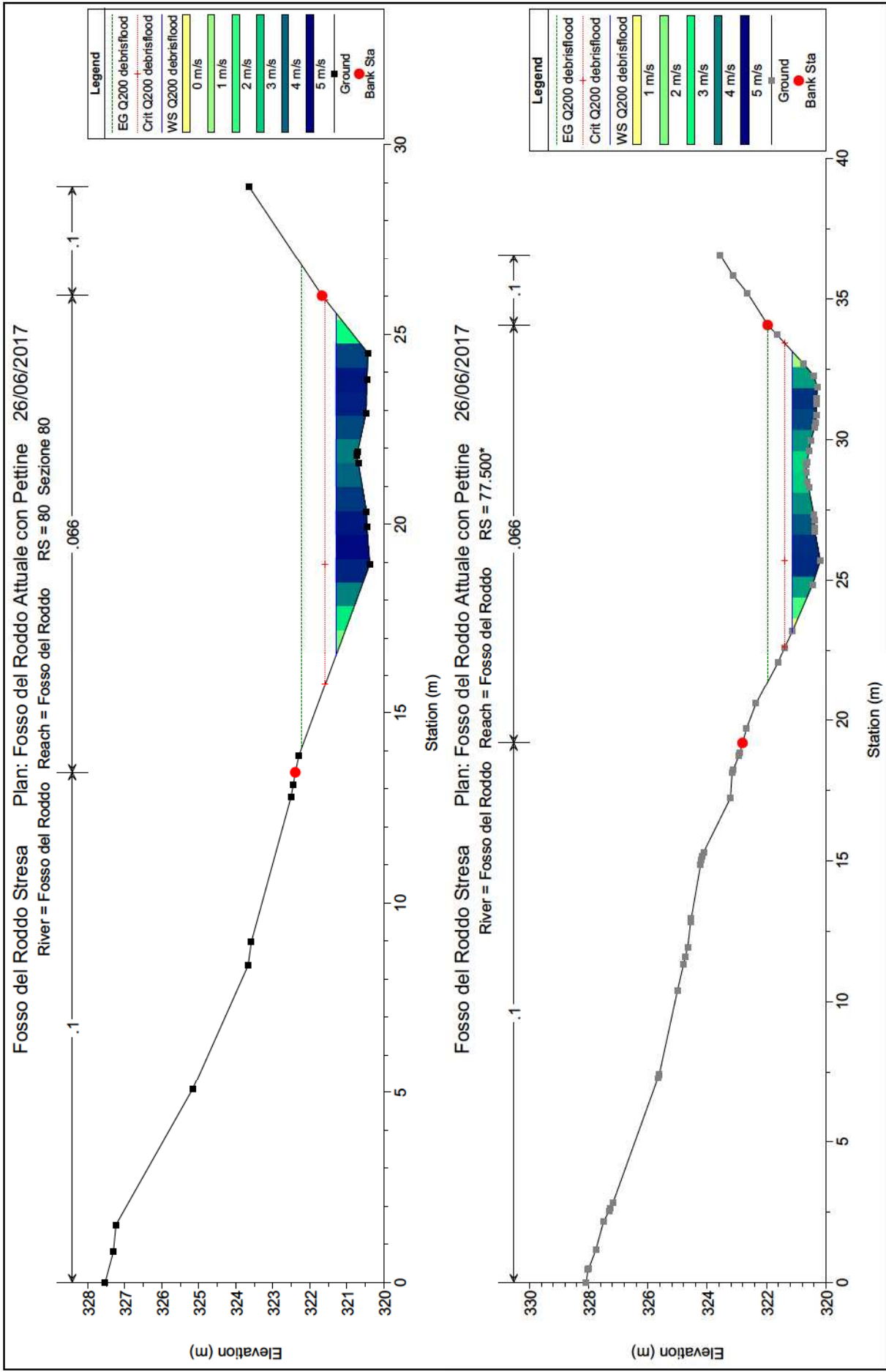


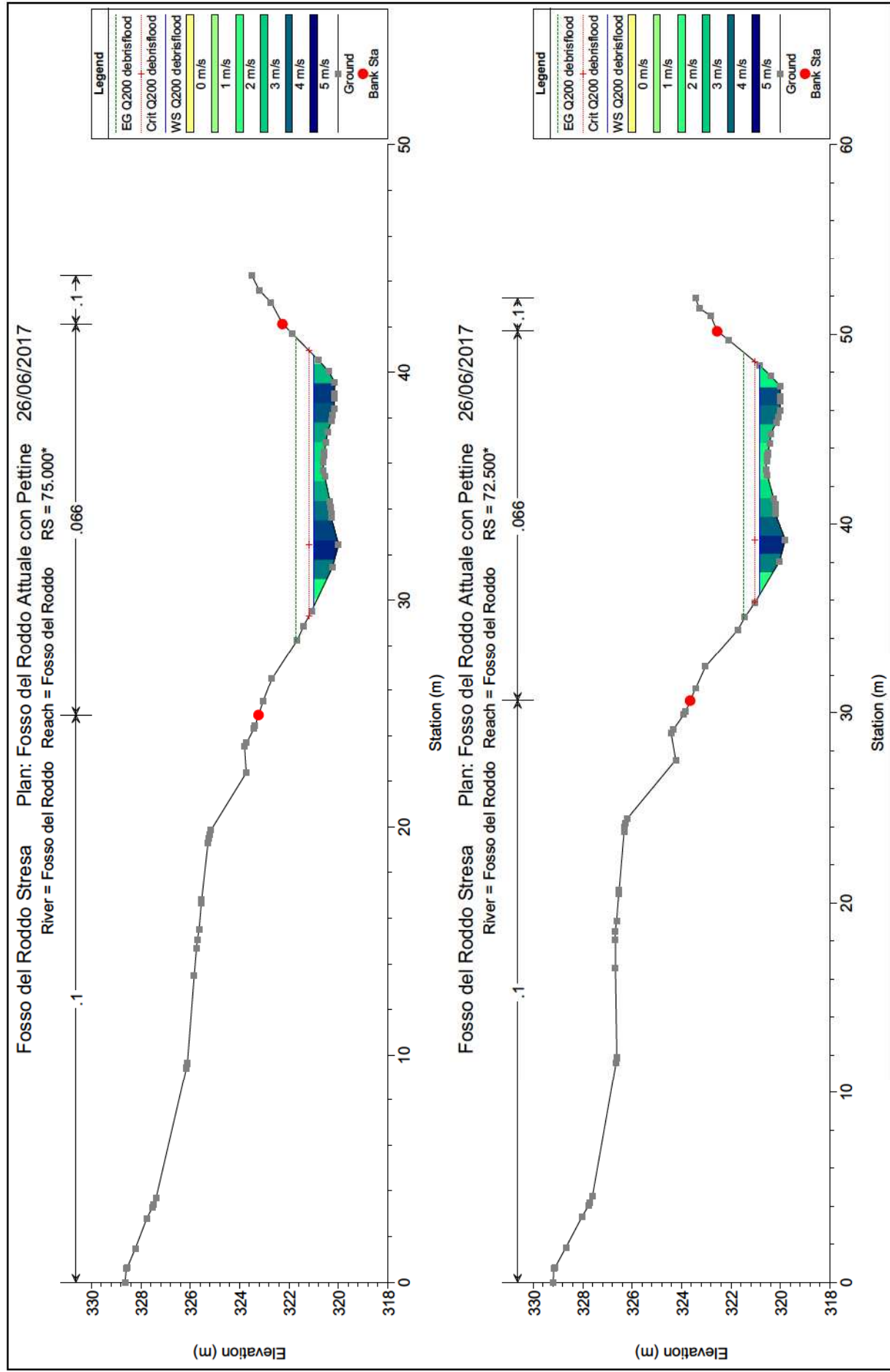


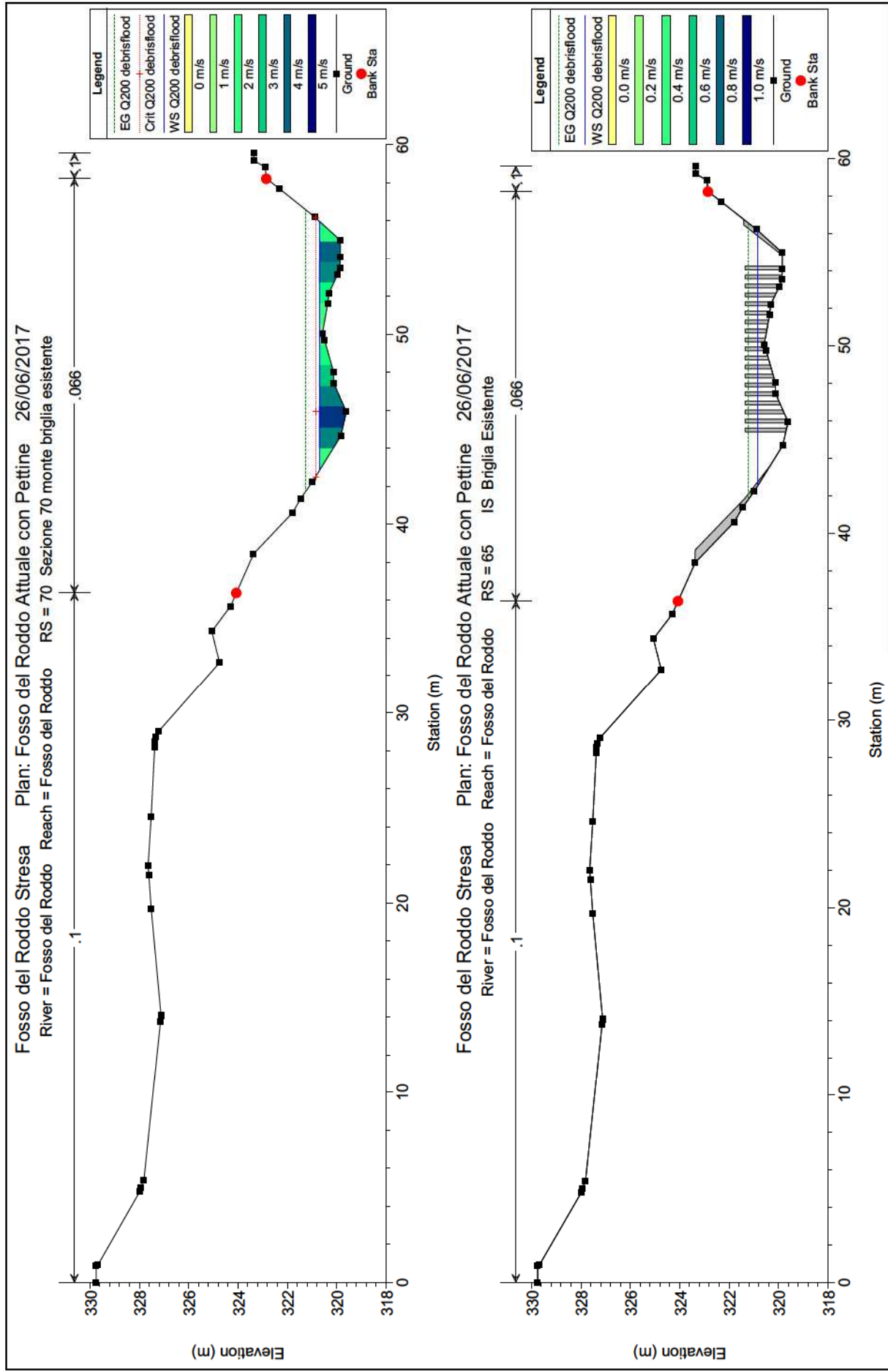


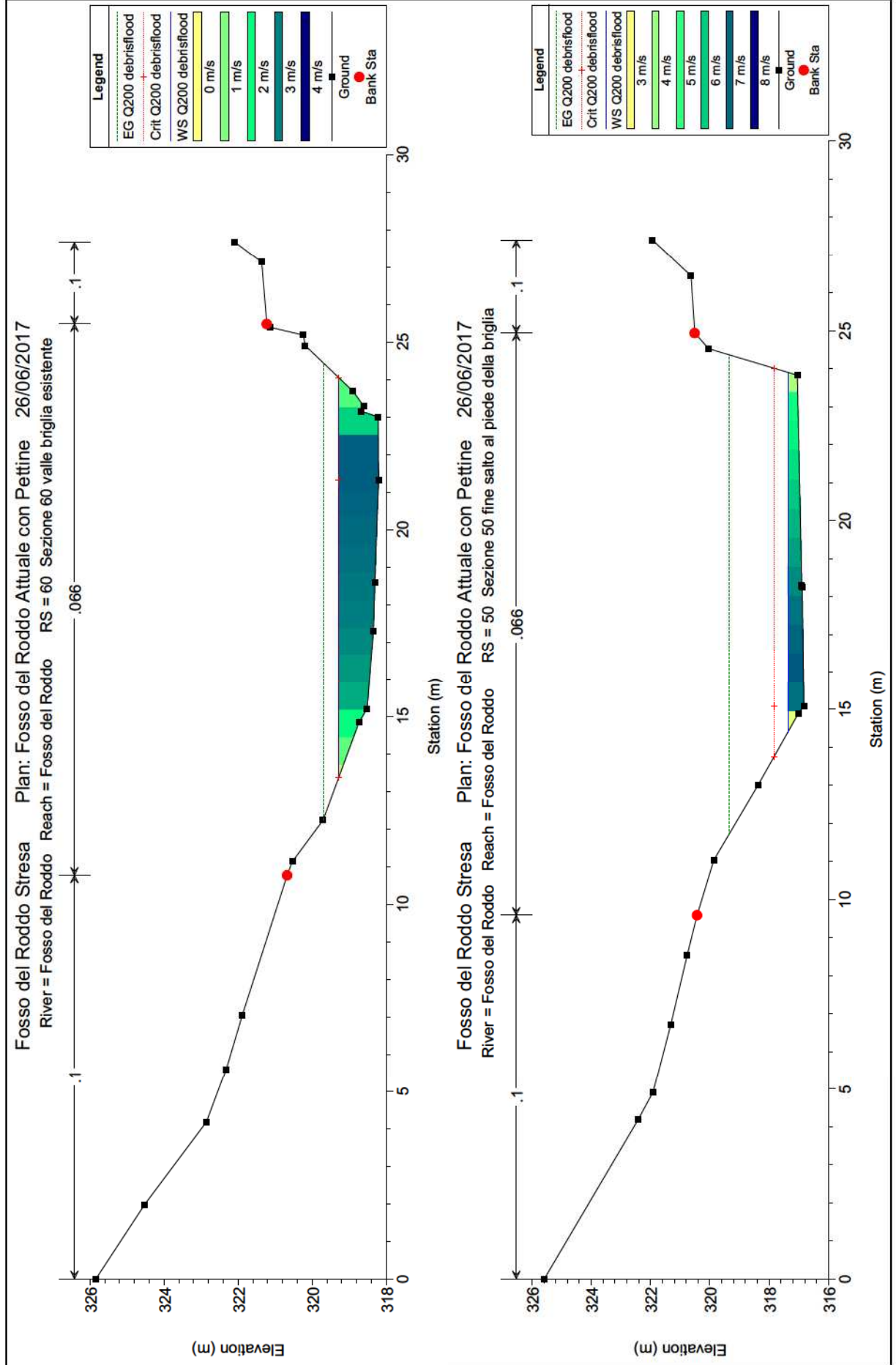


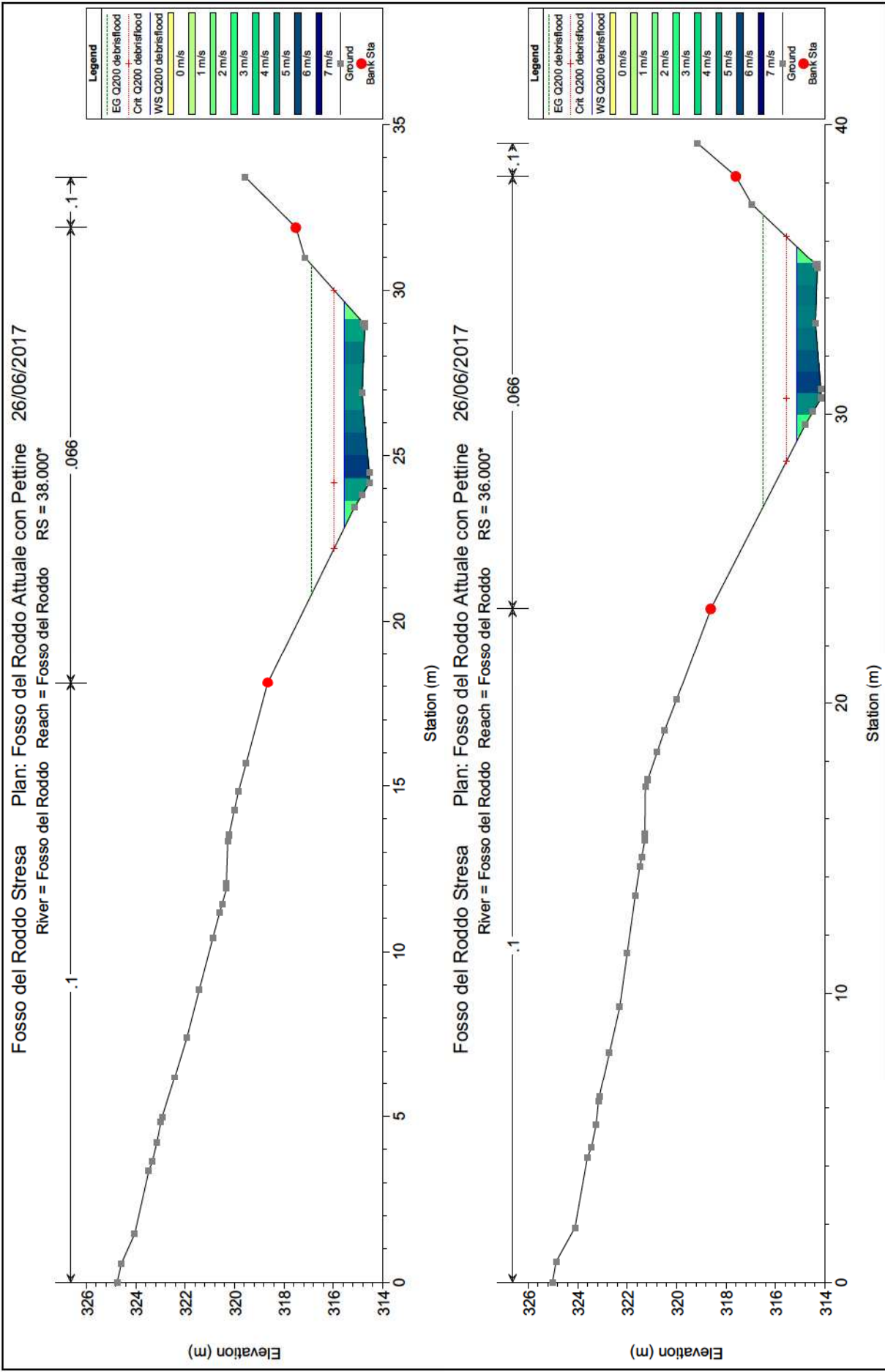


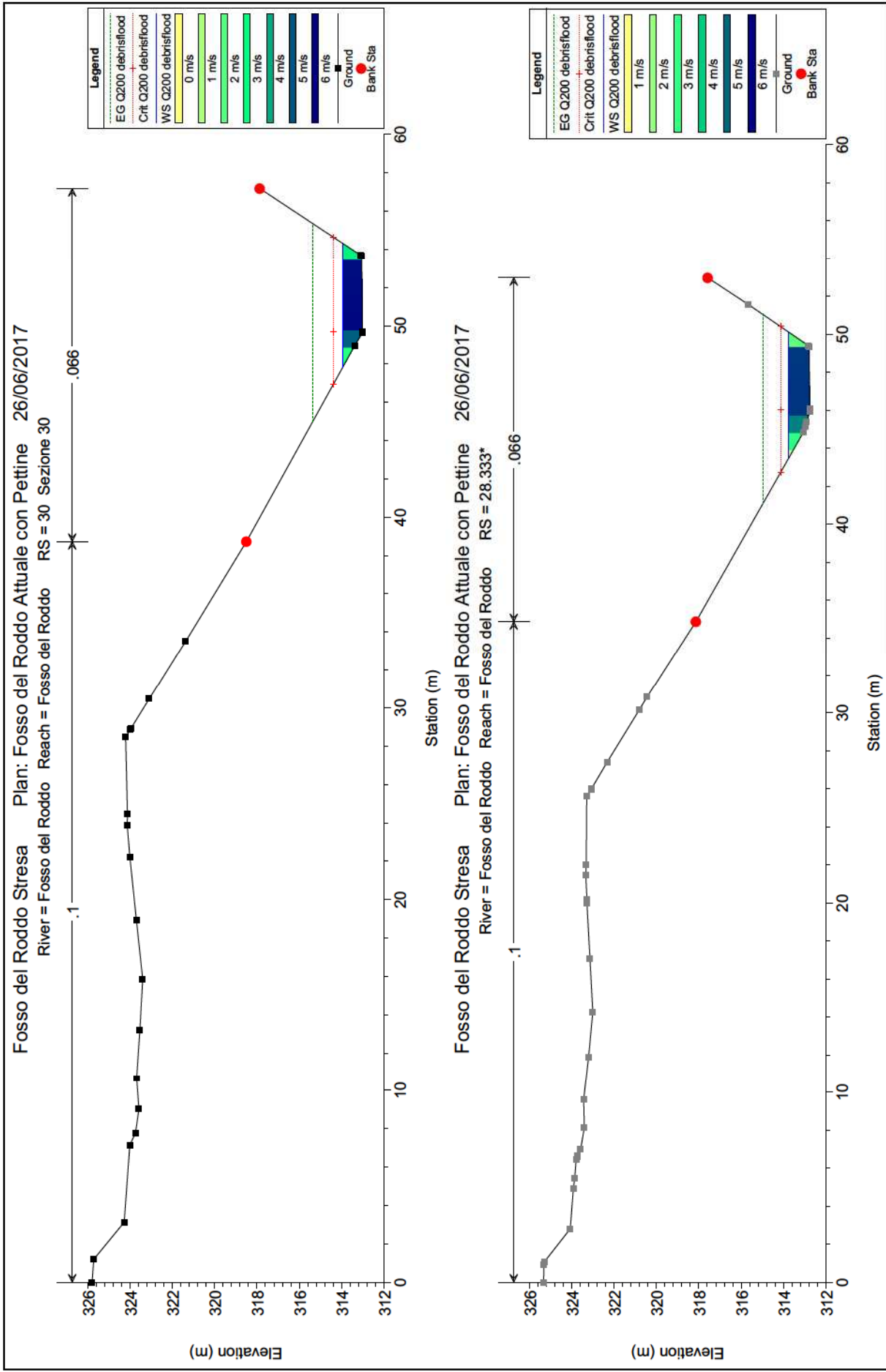


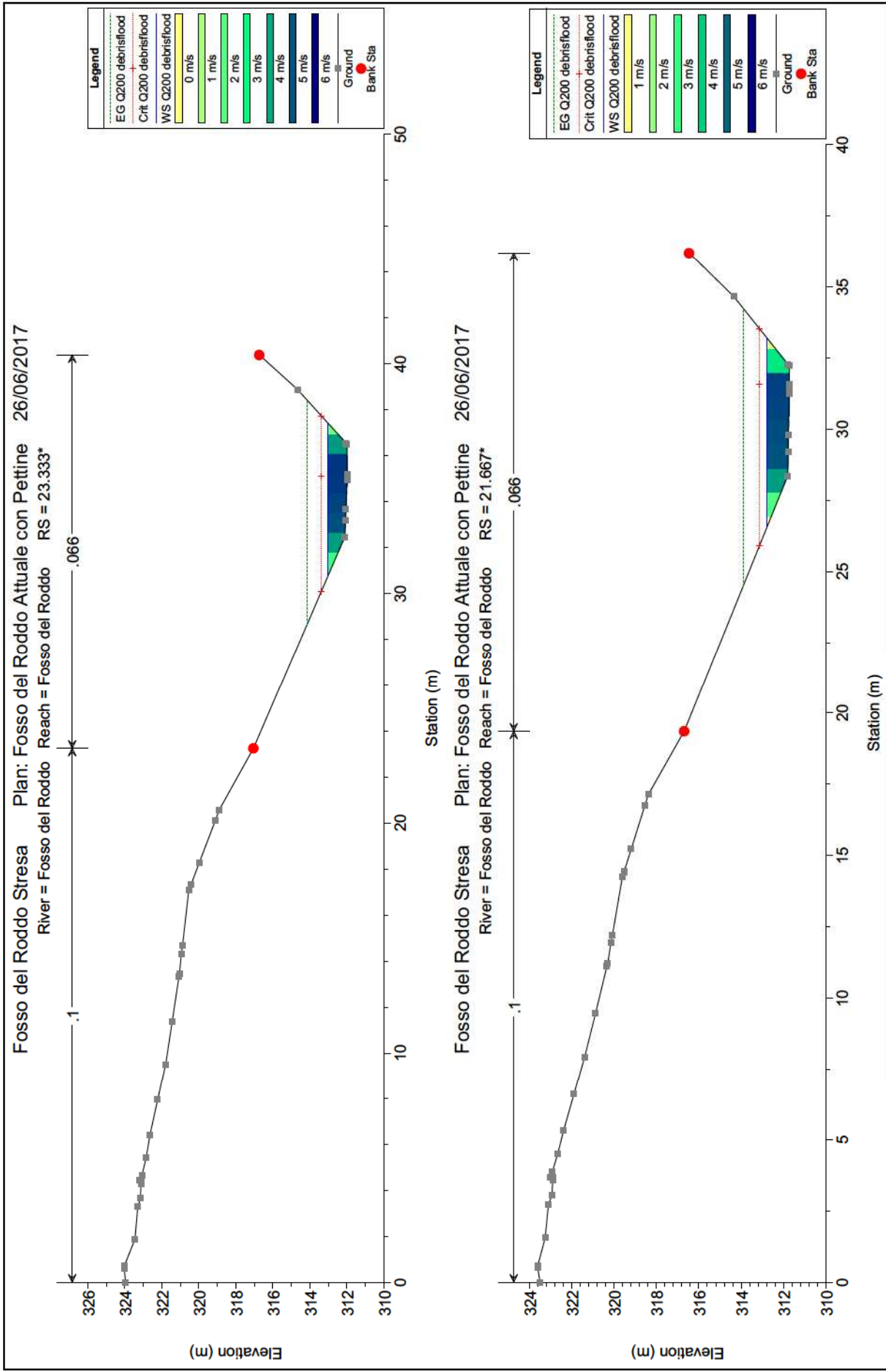


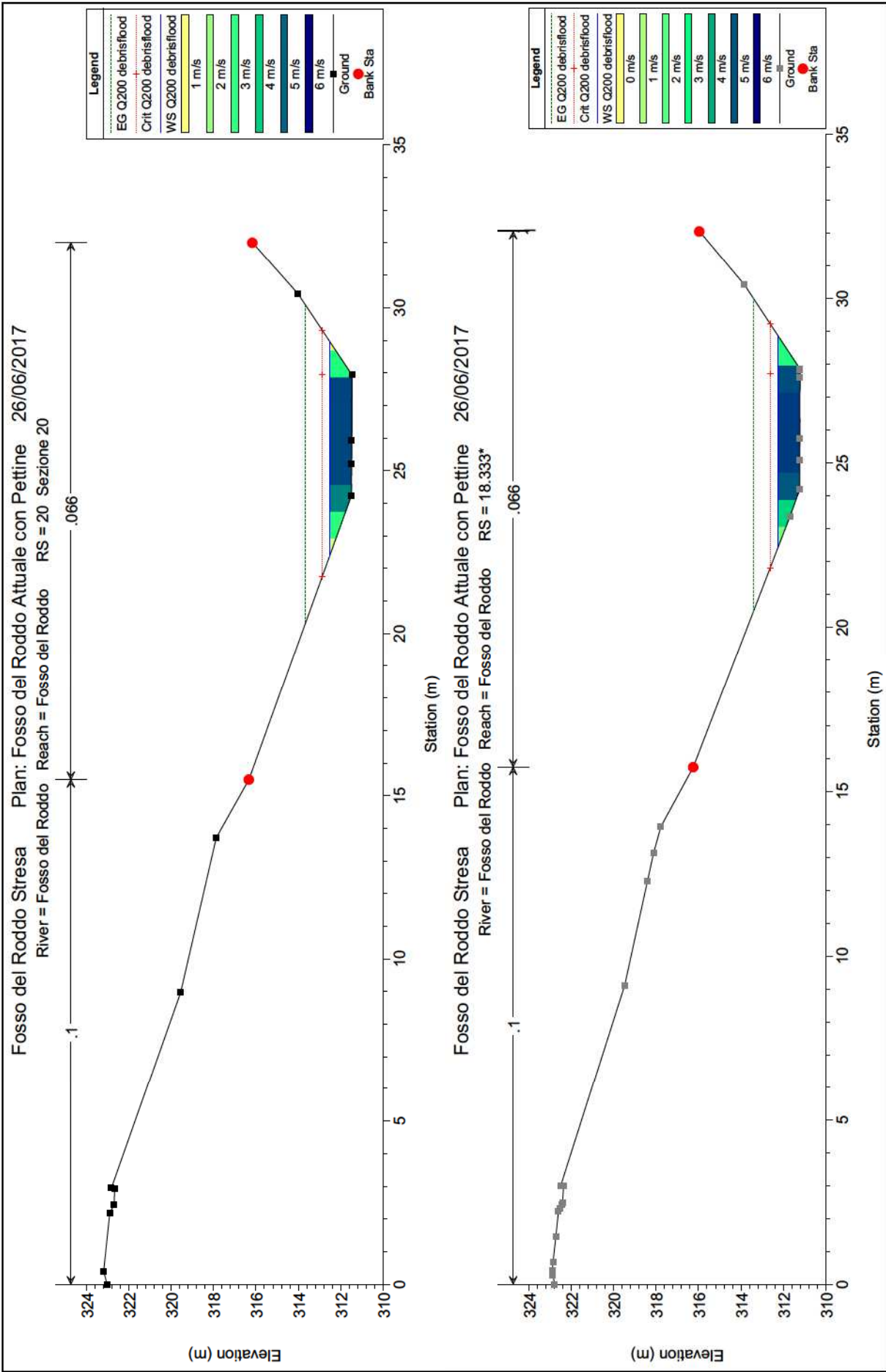






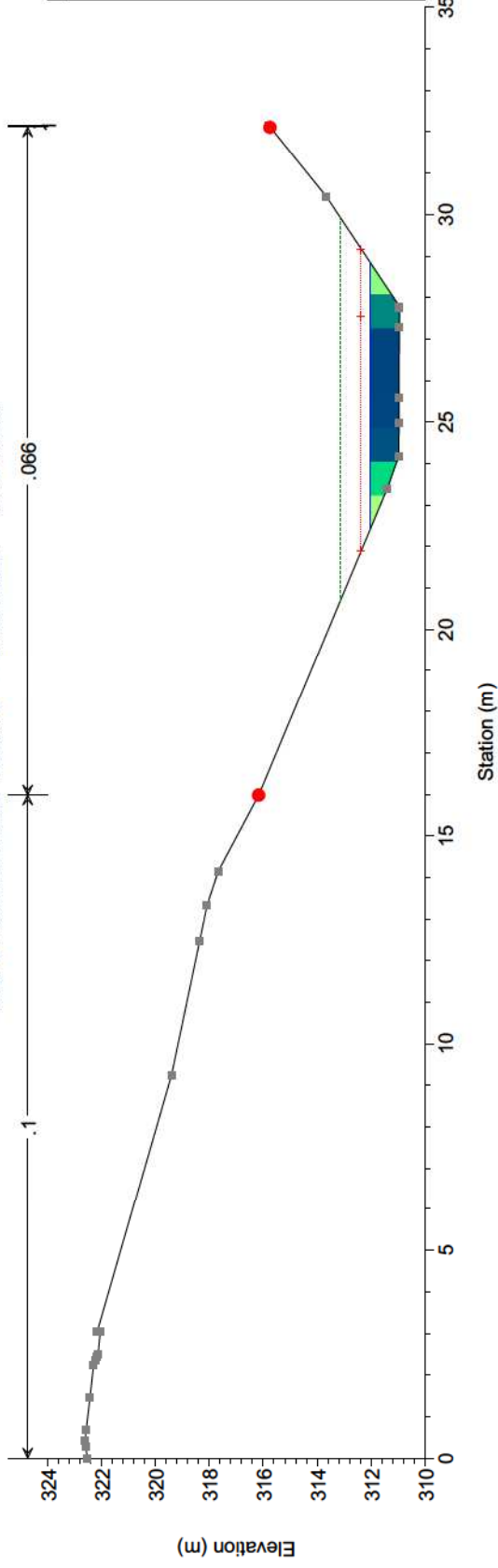






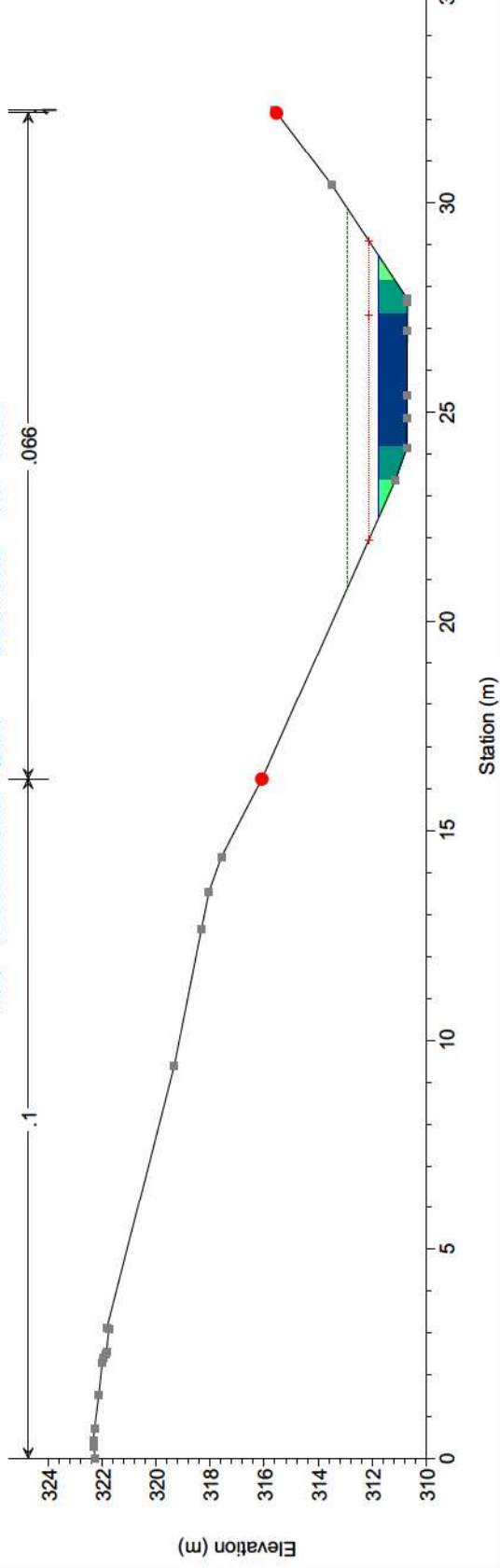
Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

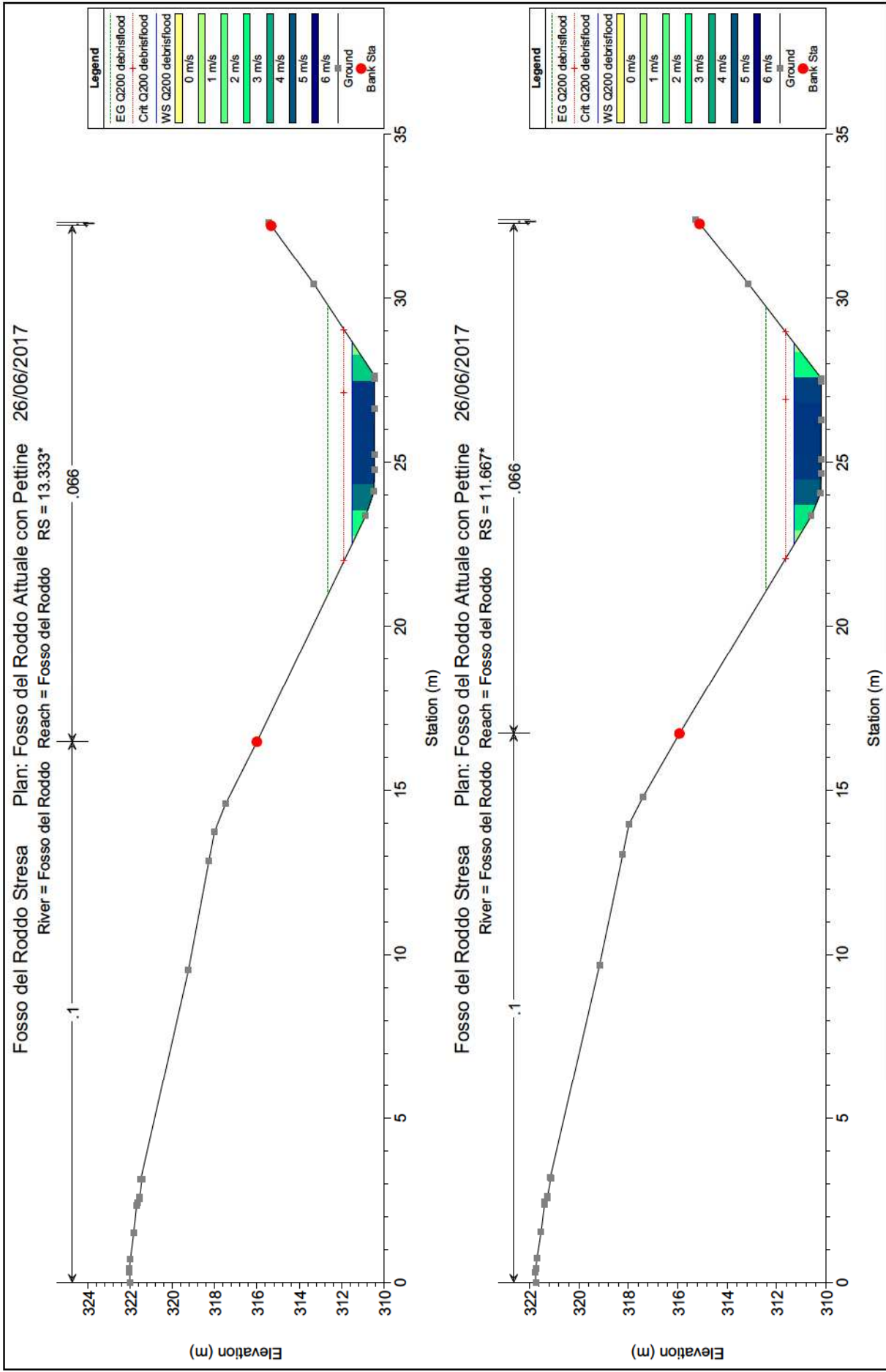
River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 16.667*



Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 15.000*





Fosso del Roddo Stresa Plan: Fosso del Roddo Attuale con Pettine 26/06/2017

River = Fosso del Roddo Reach = Fosso del Roddo RS = 10 Sezione 10

