



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero delle
Infrastrutture e dei
Trasporti



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Comune di Volpiano

Provincia di Torino

Regione Piemonte



TORRENTE BENDOLA - VIA BANNA - BENDOLA MANUTENZIONE STRAORDINARIA

CUP J77H22001170001

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

2. STUDI AMBIENTALI, GEOLOGICI - GEOTECNICI E IDRAULICI

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

RUP

Responsabile Unico di Progetto: arch. Monica VERONESE

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.

STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO

VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI

TEL. +39 011 43 77 242

studiorosso@legalmail.it

info@sria.it

www.sria.it

ing. Luca MAGNI
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.10941V

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	
DATA	APR/2024	
COD. LAVORO	637/SR	
TIPOL. LAVORO	E	
LOTTO	-	
STRALCIO	-	
SETTORE	2	
TIPOL. ELAB.	RI	
TIPOL. DOC.	E	
ID ELABORATO	05	
VERSIONE	0	

REDATTO

ing. Gianluca COLOMBO

CONTROLLATO

ing. Chiara AMORE

APPROVATO

ing. Luca MAGNI

ELABORATO

E-2.5

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	3
2.3 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	4
2.4 INQUADRAMENTO MORFO-IDRAULICO	5
3. PRINCIPALI STUDI E LAVORI SVOLTI IN PRECEDENZA	10
4. INQUADRAMENTO DELLA PIANIFICAZIONE IDRAULICA	11
4.1 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	11
4.1.1 Obiettivi	11
4.1.2 Misure di base strutturali e non strutturali	12
4.1.3 Misure supplementari strutturali e non strutturali	12
4.1.4 Perimetrazione della pericolosità nel tratto in studio	12
5. ANALISI IDROLOGICA	14
5.1 INFORMAZIONI IDROLOGICHE DISPONIBILI	14
5.2 DEFINIZIONE DEI PRINCIPALI NODI IDRAULICI	17
5.3 FUNZIONAMENTO DEL CANALE SCOLMATORE DI BALANGERO	19
5.4 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA ADOTTATE PER LE VERIFICHE IDRAULICHE	22
6. ANALISI IDRAULICA	24
6.1 APPROCCIO METODOLOGICO	24
6.2 MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA	24
6.2.1 Descrizione del codice numerico utilizzato	24
6.2.2 Condizioni al contorno	26
6.2.3 Modalità di presentazione dei risultati	28
6.3 ANALISI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE	29
6.3.1 Area di intervento SOGLIA	29
6.3.1 Area di intervento SACRIMA	32
6.4 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI	36
6.4.1 Verifica secondo l'analisi di moto incipiente	37
6.4.2 Metodologia proposta da Pilarczyk (1997)	39
6.4.3 Formulazioni empiriche di Neill e Bogardi	40

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Planimetria di ubicazione delle sezioni di calcolo
- ALLEGATO 2 – Sezioni di calcolo SDF e PRG
- ALLEGATO 3 – Profili di moto SDF e PRG
- ALLEGATO 4 – Risultati tabellari delle simulazioni per SDF e PRG



1. PREMESSA

La presente relazione generale è parte integrante del Progetto esecutivo per gli interventi aventi titolo “*Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria*” in Comune di Volpiano (TO).

L'intervento in oggetto è destinatario del finanziamento a valere sul PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) - Missione 2 - Componente 4 - Investimento 2.2 – Medie opere “*Interventi per la resilienza, la valorizzazione del territorio e l'efficienza energetica dei comuni*”. CIG A01F306F71 - CUP J77H22001170001.

Gli interventi in progetto, finalizzati alla prevenzione e mitigazione dei rischi connessi al rischio idrogeologico e alla messa in sicurezza dei centri abitati, si concretizzano nell'esecuzione di opere funzionali alla stabilizzazione del fondo alveo del torrente Banna – Bendola e alla riduzione del rischio idraulico legato ai fenomeni di erosione e divagazione fluviale, prevedendo interventi di manutenzione straordinaria sulle soglie, scogliere e sponde esistenti anche mediante la costituzione di nuove difese spondali in ingegneria naturalistica e alla riprofilatura del fondo alveo nei tratti maggiormente interessati da deposito e approfondimento dell'alveo con connessa riduzione della sezione di deflusso e erosione al piede di sponda.

Il presente elaborato si articola con un inquadramento territoriale, morfo-idraulico e idrografico del bacino del T. Bendola in analisi, riportando gli studi pregressi sul territorio e i dati conoscitivi di base a livello idrologico per la stima delle portate di piena.

Si procede con la valutazione della portata assunta in progetto e con l'allestimento del modello di simulazione idraulica monodimensionale riportando i principali risultati utili alla verifica idraulica delle opere in progetto.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Gli interventi in progetto sono localizzati in Comune di Volpiano, lungo l'asta del torrente Banna – Bendola, nella zona ovest del territorio del concentrico comunale, come mostrato nella immagine da ortofoto seguente.

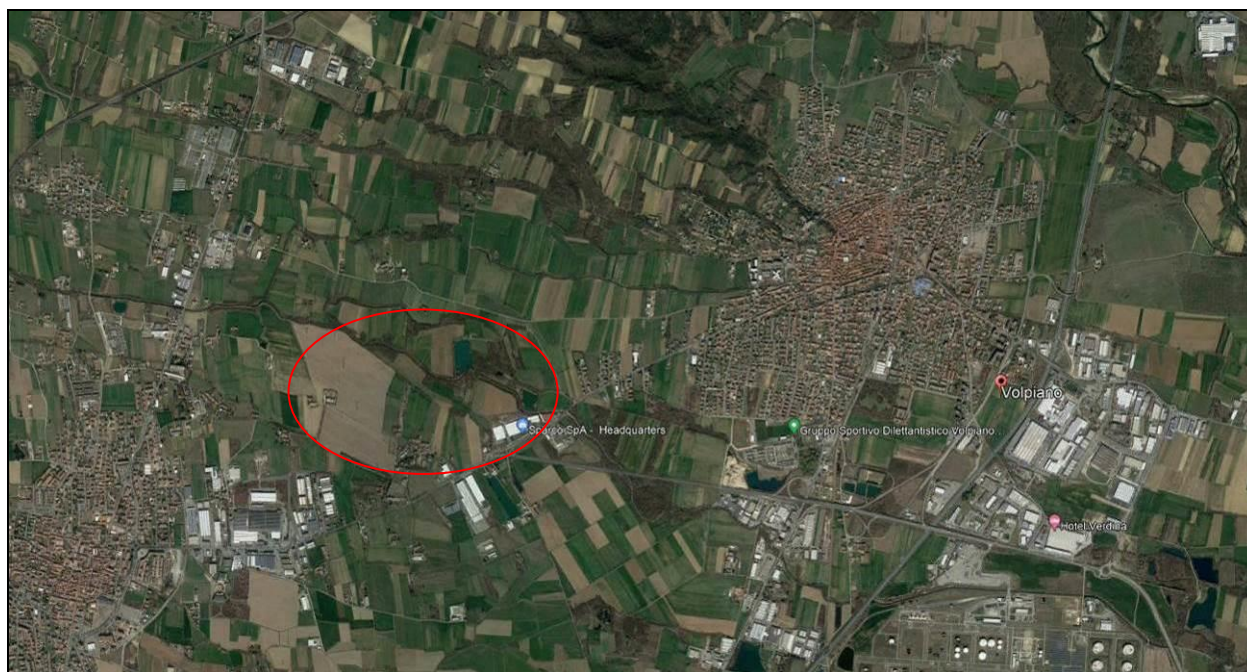


Figura 1 – Localizzazione dell'area di intervento su ortofoto

2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il torrente Banna - Bendola scorre interamente in Provincia di Torino ed è un affluente di destra del torrente Malone, nel quale confluisce in corrispondenza del centro urbano di Brandizzo (TO). Poco a valle, ancora in comune di Brandizzo, il torrente Malone confluisce a propria volta nel fiume Po dalla sinistra idrografica.

Il bacino idrografico si estende nel territorio dei seguenti Comuni, elencati da monte a valle:

- Coassolo Torinese,
- Corio;
- Lanzo;
- Balangero;
- Mathi;
- Grosso;
- Nole;
- San Carlo Canavese;
- Ciriè;



- San Francesco al Campo;
- San Maurizio Canavese;
- Leini;
- Volpiano;
- Brandizzo.

Nel comune di Volpiano il torrente interessa aree poco antropizzate nella parte est dei territori comunali, scorrendo all'interno di un alveo poco inciso con sponde in parte emergenti rispetto al piano campagna circostante. Prosegue a nord dello stabilimento Sparco, lambendone i muri e le difese a protezione degli insediamenti esistenti, supera la viabilità di via Leini e della SP40 e scorre in prossimità degli insediamenti industriali posti a ridosso dell'intersezione tra la SP40 (Corso Europa) e la SP3 (strada Cebrosa), caratterizzati dalla presenza dei complessi produttivi della SPEA, per poi proseguire in direzione Brandizzo a valle del ponte della SP3.

2.3 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il dominio geomorfologico che caratterizza il territorio in cui si inquadra la zona di intervento è quello peculiare del basamento paleozoico. Metamorfiti terrigene di alto grado metamorfico (paragneiss con subordinati livelli di quarziti) e rocce granitoidi (Unità Intrusiva di Bitti) a composizione granodioritica e granodioritico-tonalitica, rappresentano i principali tipi litologici affioranti nel territorio in esame. Queste formazioni rocciose, dopo essere state sospinte verso l'alto da complesse sollecitazioni verticali, ed aver subito una accentuata degradazione erosiva da parte degli agenti esogeni, tale da essere ridotte a "penepiani", hanno dato origine agli altopiani di Alà dei Sardi, di Buddusò e di Bitti.

L'andamento generale della morfologia è quello tipico della media collina, con forme piuttosto dolci e coperture alteritiche deboli. Nel complesso le pendenze si mantengono medio-basse (fino al 35%) tranne che in alcune aree dove affiorano i litotipi maggiormente resistenti all'azione degli agenti morfogenetici, nelle quali le pendenze si accentuano (maggiori del 50%), e conferiscono al paesaggio una morfologia particolarmente frastagliata. Ciò si traduce, in termini di processi geomorfologici, con la possibilità che si verifichino fenomeni di ruscellamento diffuso sulla superficie del rilievo in occasione di venute meteoriche di particolare intensità e con la possibilità che, nelle medesime occasioni, si possano verificare, lungo le principali linee di impluvio, fenomeni di ruscellamento concentrato.

Si segnala inoltre la presenza di alcune valli dal profilo a V, di origine tettonica (orientate secondo le principali direttrici dell'area), dai versanti ripidi e con pendenze medie superiori al 35%. Laddove predominano i termini granodioritici la morfologia tende ad addolcirsi, e il paesaggio risulta formato da tutta una serie di rilievi collinari e altopiani granitoidi dalle forme progressivamente più arrotondate, cupoliformi, e dalle acclività decrescenti. Nelle zone dalle basse pendenze vanno a scomparire i processi erosivi, ed è possibile distinguere le tipiche forme relitte del complesso granitoide (derivanti da processi di idrolisi dei silicati), caratterizzate dalla concentrazione di toralternati a caos di blocchi sferoidali.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



L'abitato di Bitti sorge alla base del M. S.Elia (685 m s.l.m.) e del M.te S. Anna (721 m s.l.m.); i due rilievi, i quali rappresentano i confini naturali dell'abitato in direzione Sud, presentano pendenze medie piuttosto elevate, che vanno da circa 40-45° fino ad un massimo di 90°. In direzione Nord il paese si estende su rilievi più dolci, i quali si raccordano con l'altopiano granitico di Bitti-Buddusò. Il centro abitato è ubicato al passaggio tra la fascia collinare-montana (a Sud) e quella collinare e medio-valliva (a Nord), e risulta compreso tra le quote (s.l.m.) 570 m e 690 m. È evidente come la natura del substrato litologico abbia fortemente influenzato lo sviluppo urbanistico dell'abitato: decisi dislivelli tra abitazioni adiacenti o strade parallele, così come le scalinate che attraversano alcuni rioni, testimoniano la necessità di adattare le superfici urbane alla naturale morfologia del substrato litoide.

2.4 INQUADRAMENTO MORFO-IDRAULICO

Il torrente Banna-Bendola ha origine sul monte Pian della Rossa, a quota 1308 m s.l.m., e la sezione di chiusura è posta a Brandizzo alla quota di 190 m s.l.m. poco a valle del territorio comunale di Volpiano (TO).

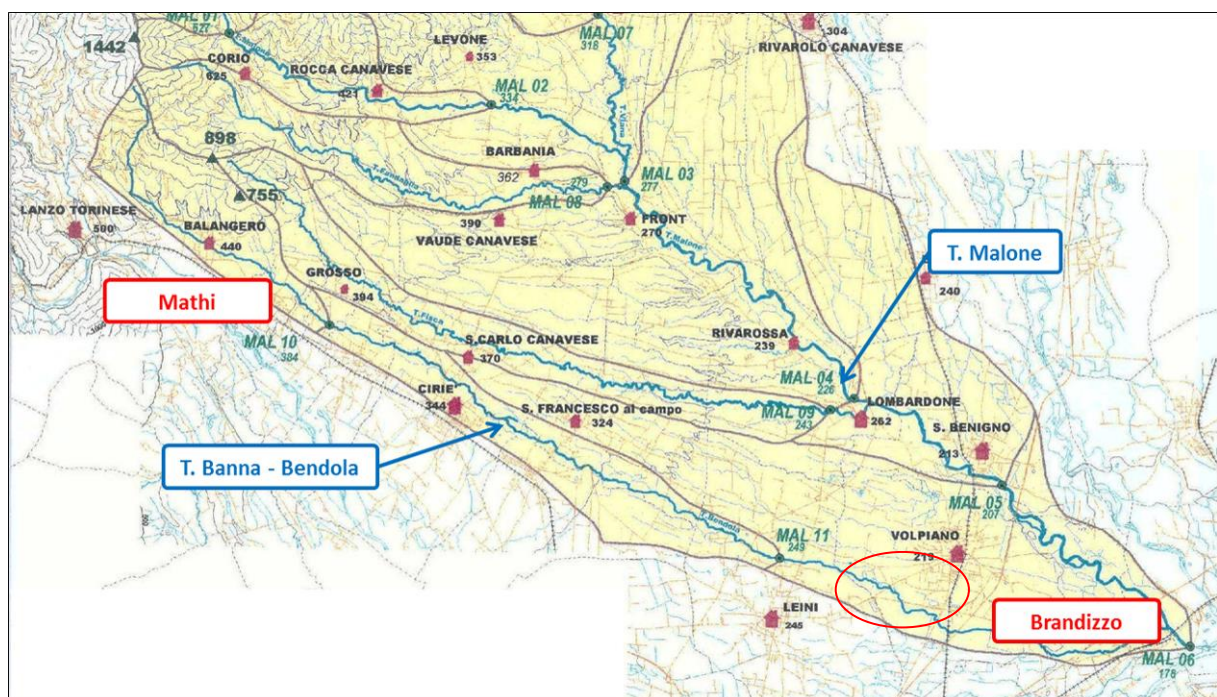


Figura 2 – Parte meridionale del Bacino idrografico del Torrente Malone (Provincia di Torino, 1999).

Il torrente drena un bacino idrografico che si estende per circa 50 km², è caratterizzato da una quota media di 396 m s.l.m. ed è a tutti gli effetti un sotto-bacino del t. Malone (Figura 2) drenandone la porzione di territorio più meridionale.

La forma del bacino è decisamente peculiare, essendo molto stretta ed allungata lungo l'asse del corso d'acqua: presenta infatti larghezza generalmente inferiore a 2 km e lunghezza di oltre 35 km.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

L'alveo segue un andamento da nord-ovest a sud-est e si sviluppa sub-parallelamente al t. Malone, salvo convergere verso quest'ultimo nel tratto di valle, dando origine alla confluenza.

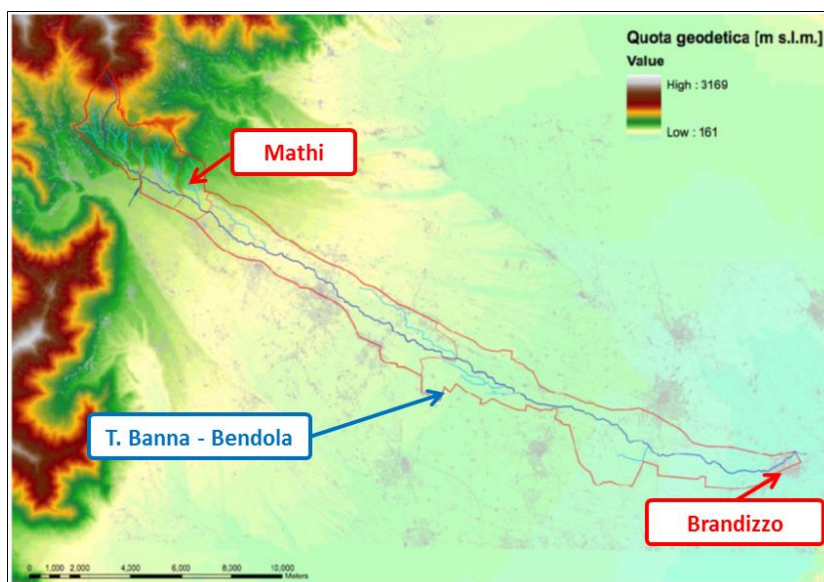


Figura 3 – Il bacino del Torrente Banna-Bendola, tracciato su base DTM.

Nella parte superiore del bacino, in sinistra idrografica, si trova la piccola area endoreica corrispondente al bacino dell'Amiantifera di Balangero (Figura 4). Si tratta di un invaso artificiale di superficie di circa 110'000 m² e volume di circa 750'000 m³. Lo scarico di superficie di tale bacino è collocato a quota 661.7 m s.l.m.



Figura 4 – Lago dell'Amiantifera sul Monte San Vittore, vista da foto aerea (sinistra) e relativo scarico di superficie (destra).

La morfologia di questa conca evidenzia come essa non sia considerevole contribuente al deflusso del bacino a valle, salvo casi estremi e comunque dando contributi poco rilevanti. Infatti, il piccolo lago formatosi nell'area di cava non ha praticamente alcun bacino contribuente salvo la propria area di coltivazione.



Osservando la Figura 3 in cui l'asta fluviale e il bacino idrografico sono stati sovrapposti ad una rappresentazione del territorio basata sull'elaborazione del modello digitale del terreno (DTM) si nota che si può effettuare una netta suddivisione del bacino in due parti.

Nella zona di monte, la forma geometrica del bacino risulta essere quella tipica di un bacino pedemontano, con un reticolo idrografico sviluppato sia in termini di asta principale che di aste secondarie. Le aste fluviali, pur sottoposte a regimazione, seguono ancora planimetricamente il loro sviluppo naturale, quest'area è caratterizzata da una pendenza media dell'asta fluviale del 5% e dei versanti del 20%. L'idrografia della rete secondaria è caratterizzata da una serie di rii affluenti in sponda sinistra, i principali sono il Rio Pilatu, il Rio Bettola, il Rio Pramollo (che drena l'Amiantifera), il Rio San Biagio, il Rio del Milon e il Rio Prasecco.

Dalla sezione idraulica posta a valle del cimitero di Mathi, proseguendo lungo l'asta principale, il bacino residuo presenta invece caratteristiche completamente diverse da quella di monte: infatti si registra una pendenza media dell'asta fluviale dello 0,7% e del territorio drenato del 2%. L'idrografia della rete secondaria è fortemente influenzata dalla presenza di una fitta rete di canali di irrigazione e di drenaggio artificiali. Molti di questi canali, ad esempio, pur essendo irrigui, durante fenomeni meteo-idrologici intensi possono agire da collettori sia per le acque meteoriche, sia per quelle eventualmente esondate dal t. Banna, convogliandole anche in aree che naturalmente non sarebbero interessate dai deflussi di piena del corso d'acqua principale.

Tale dinamica, aggravata dalla quasi totale assenza di organi di regolazione alle opere di presa dei canali irrigui, è evidente anche dai resoconti relativi agli eventi alluvionali che hanno colpito il bacino idrografico.

Ad esempio, l'evento alluvionale verificatosi tra il 4 e il 7 novembre 1994 determinò ampie esondazioni del torrente Banna-Bendola con il conseguente allagamento di estese aree nei territori attraversati (Figura 5).

L'evento, caratterizzato da un tempo di ritorno inferiore a 20 anni, per durate di precipitazione inferiori alle 3 ore, e prossimo a 200 anni per durate prossime alle 24 ore, dimostrò che la morfologia del torrente Banna-Bendola era (e lo è tuttora) insufficiente a convogliare portate di piena ancorché modeste.

Ciò è evidente dall'analisi della tavola 6g *"Carta dell'evento alluvionale del novembre 1994"* allegata al P.R.G.C. del comune di Volpiano (Figura 3), dove si rileva che le aree oggetto di intervento del presente progetto sono state interessate da fenomeni di esondazione connessi con il reticolato idrografico del torrente Banna-Bendola.

Durante tale evento alluvionale l'esondazione del torrente è avvenuta ben più a monte dal punto di interesse del presente progetto, determinando un'esondazione incontrollata interessante i territori periferiali.

Ciò da evidenza di come la sezione idraulica sia insufficiente per il convogliamento complessivo delle portate di piena e da ciò si deduce che la portata idraulica che può transitare internamente all'alveo e pertanto giungere sino all'area di intervento risulta certamente inferiore a quella stimabili dai consueti modelli idrologici.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

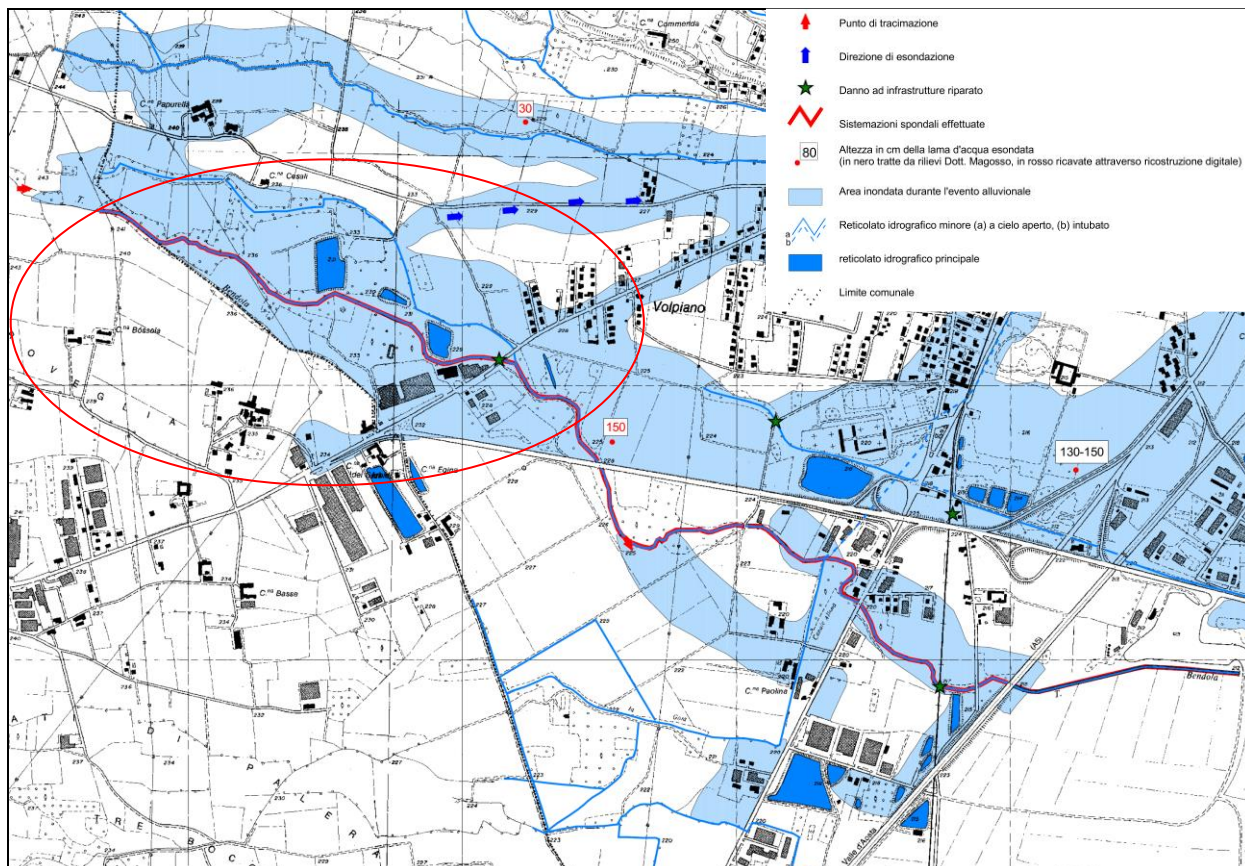


Figura 5 - Carta degli effetti dell'evento alluvionale del novembre 1994. Variante strutturale n. 6 del PRGC

Infatti, sempre relativamente all'evento alluvionale di novembre 1994, per esempio dall'esame delle tavole redatte dal comune di Balangero riportanti le aree allagate e di esondazione del torrente, di cui, in Figura 6, si evidenzia il principio dell'esondazione del corso d'acqua.

Il torrente cominciò ad esondare all'altezza della località Chiesa dei Martiri a monte dell'abitato di Balangero, allagando il territorio in sponda destra. Le portate così esondate, attraversata la campagna, giunsero a Balangero dove il torrente esondò in ulteriori punti. Nei comuni più a valle la situazione fu poco diversa: alle portate in arrivo da monte, si sommarono quelle convogliate dal reticolo idrografico secondario.

Proprio l'evento alluvionale del 1994 fece sì che tutti i comuni attraversati dal torrente Banna-Bendola aderissero al Consorzio committente del presente progetto, che ha come scopo statutario proprio quello di realizzare una serie organica di interventi di protezione idraulica del territorio.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

SRIA
s.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

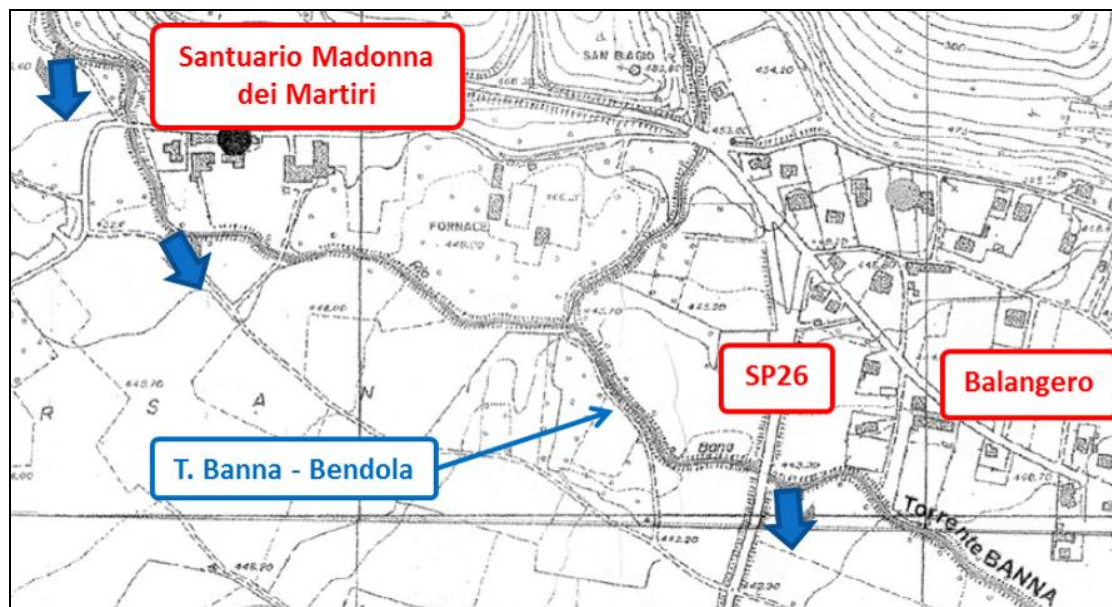


Figura 6 – Stralcio della documentazione riportante le aree allagate e i punti di esondazione a monte dell'abitato di Balangero durante l'evento del 1994.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



3. PRINCIPALI STUDI E LAVORI SVOLTI IN PRECEDENZA

Il contesto territoriale di interesse è stato oggetto nel tempo di numerosi studi e progetti volti alla mitigazione del rischio idraulico agente sul bacino idrografico.

Gli Scriventi hanno potuto esaminare i contenuti di alcuni di essi, messi a disposizione dal Consorzio (cfr. Tabella 1). Sono stati inoltre ricostruiti i principali contenuti di altri lavori, non integralmente a disposizione, sulla base di singoli elaborati o di citazioni incrociate (cfr. Tabella 2).

Tabella 1 – Lavori precedenti analizzati nel corso dell'analisi delle analisi preliminari

ID	DATA	COMMITTENTE	TIPO PROGETTO	TITOLO	PROGETTISTI
1	dic-96	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	Progetto Preliminare	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola	Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca
2	apr-98	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	progetto preliminare di variante	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola	Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca
3	nov-98	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	progetto generale	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola	Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca (idrologia Ing. Martina e Visconti)
4	2002	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	Progetto definitivo - variante	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola V lotto cassa di espansione in territorio di Mathi e Balangero	Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca Polithema studio associato (Ing. Martina/Ing. Visconti/Ing. Angelino)
5	mag-04	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	progetto esecutivo	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola V lotto cassa di espansione in territorio di Mathi e Balangero	Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca Polithema studio associato (Ing. Martina/Ing. Visconti/Ing. Angelino)
6	nov-04	Consorzio (Comune di Leini)	progetto definitivo	Completamento sistemazione Torrente Banna e Bendola a valle S.P. 267	Canavese Progetti Engineering (Ing. Marchetto/Arch. Giordano/Arch. Grassi)
7	apr-05	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	studio idraulico	Canale di Grosso	Ing. Peccia Galletto
8	2008	Comune di Balangero	studio idrologico	Torrente Banna in territorio di Balangero	Prof. Anselmo
9	2009	?	studio idrologico-idraulico	Esame funzionale e valutazione di efficienza di interventi per la messa in sicurezza idraulica del Torrente Banna-Bendola	POLITO (Prof. Claps/Prof. Poggi/Ing. Miotto/Ing. Radice e Ing. Periale)
10	2010	Comune di Balangero	studio idrologico-idraulico	Asta del Banna-Bendola sul territorio di Balangero	Prof. Anselmo
11	prima versione 02/2014 revisione 13/01/2016	Società Enodrink snc	studio idraulico	Riqualificazione locale commerciale sito in Str. Ciriè n.120 (comune di S. Carlo Canavese)	Ing. Truffa Giachet

Tabella 2 – Lavori precedenti il cui contenuto non è integralmente a disposizione degli scriventi

ID	DATA	COMMITTENTE	TIPO PROGETTO	TITOLO	PROGETTISTI
a	2000	Consorzio di difesa del Banna-Bendola	Progetto di fattibilità	lavori di sistemazione del Torrente Banna-Bendola V lotto cassa di espansione in territorio di Mathi e Balangero	(Ing. Battini/Ing. Magnetti/Ing. Vaudagna/Arch. Musso/Arch. Perucca)?
b	2000	Comune di Balangero	Relazione idraulica	verifica dei corsi d'acqua interferenti con la zona del centro storico (Comune di Balangero)	
c	2003	Grosso Nicolin	Relazione idrologico-idraulica	Canale di Balangero nell'ambito delle verifiche di compatibilità idraulica	
d	2003	?	Perizia idrologica ed idraulica	Torrente Banna-Bendola	
e	2003	?	Relazione Idraulica	Opere di completamento canale scolmatore del T. Banna	
f	2007	R.S.A.	Studio di fattibilità	attingimento di acqua irrigua dal lago dell'amiantifera	

In particolare, lo studio idrologico – idraulico di dettaglio redatto dal Politecnico di Torino nel 2009 dal titolo “Esame funzionale e valutazione di efficienza di interventi per la messa in sicurezza idraulica del Torrente Banna – Bendola” affronta l’analisi idrologica a scala di bacino del Bendola sino a Brandizzo e pertanto si fa riferimento a tale analisi per la stima delle portate idrologica di piena.



4. INQUADRAMENTO DELLA PIANIFICAZIONE IDRAULICA

Il torrente Banna-Bendola non risulta tra i corsi d'acqua fasciati ai sensi del Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del fiume Po, ma è inserito nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

4.1 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il PGRA è lo strumento previsto dalla Direttiva europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D. Lgs. 49/2010, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni per ridurre gli impatti negativi delle alluvioni sulla salute, l'economia e l'ambiente e favorire, dopo un evento alluvionale, un tempestivo ritorno alla normalità. Il Piano, approvato dall'Autorità di Bacino del fiume Po nella seduta del Comitato Istituzionale del 3 marzo 2016 riguarda tutto il distretto e è sviluppato con il coordinamento fra l'Autorità di bacino e le Regioni territorialmente interessate e le Regioni e il Dipartimento nazionale di Protezione Civile.

Il piano definisce la strategia generale a livello di distretto, individua gli obiettivi distrettuali e le misure per rientrare e fare convergere verso il comune obiettivo della sicurezza delle popolazioni e del territorio tutti gli strumenti di pianificazione distrettuale, territoriale e di settore vigenti compresa la pianificazione di emergenza di competenza del sistema della Protezione Civile. Definisce inoltre le priorità d'azione per le Aree a Rischio Potenziale Significativo, le infrastrutture strategiche, i beni culturali e le aree protette esposte a rischio, per i quali gli obiettivi generali di distretto devono essere declinati per mitigare da subito le criticità presenti con specifiche misure.

4.1.1 Obiettivi

Gli obiettivi perseguiti dal PGRA devono essere coordinati con quelli fissati dalla Direttiva quadro sulle acque e già definiti per il distretto padano nel PDGPO.

Il PGRA definisce tre scenari di pericolo, in sostituzione delle preesistenti fasce fluviali del PAI, per i diversi tempi di ritorno:

- **SCENARIO H:** per aree interessate da “alluvioni frequenti”, legate a piene con un tempo di ritorno pari a 20 anni;
- **SCENARIO M:** per aree interessate da “alluvioni poco frequenti”, legate a piene con un tempo di ritorno pari a 200 anni;
- **SCENARIO L:** per aree interessate da “alluvioni rare”, legate a piene con un tempo di ritorno pari a 500 anni.

Il PGRA è rivolto a salvaguardare la vita umana e mitigare gli effetti degli eventi alluvionali sui beni esposti. Esso agisce in un'ottica di integrazione e sinergia da un lato con la pianificazione di bacino vigente riconducibile al PAI e alla Programmazione regionale dedicata, e dall'altro con la pianificazione di emergenza della Protezione civile – in attuazione della normativa nazionale ed europea.



Le misure sono riconducibili alle due principali tipologie di *misure strutturali* e *misure non strutturali* e queste ultime sono ulteriormente distinte in *misure di tipo estensivo* e *misure di tipo intensivo*. Anche il PAI contiene un quadro dettagliato di misure di tipo strutturale e non strutturale finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di Piano definite applicando criteri di carattere generale alle specifiche situazioni critiche.

Avendo accertato, nel corso dell'articolato processo di attuazione della Direttiva alluvioni, la coerenza dei criteri generali e delle misure del PAI con gli obiettivi del PGRA e tenuto conto dei risultati delle analisi di pericolosità e rischio rappresentati nelle Mappe, sono state in linea generale confermare tutte le misure di prevenzione, protezione, preparazione e ritorno alla normalità già previste dal PAI.

Le misure che fanno esplicito riferimento alla pianificazione di bacino vigente sono definite misure di base mentre quelle integrative necessarie per assicurare la piena rispondenza alla direttiva con particolare riferimento alle aree a rischio significativo di alluvione sono definite misure supplementari.

4.1.2 Misure di base strutturali e non strutturali

Si tratta di azioni già previste nella pianificazione e programmazione di bacino in gran parte realizzate e da completare nel territorio del distretto padano così come di seguito specificato:

- Misure non strutturali vigenti riguardanti prevenzione e preparazione all'evento (Piani territoriali, piani urbanistici, piani di settore rivolti alla diminuzione del rischio, piani di protezione civile, sistemi di monitoraggio esistenti e/o in fase di implementazione, etc.);
- Misure strutturali previste nel PAI "limiti B di progetto" e linee di assetto dei sottobacini idrografici, negli Studi di approfondimento e nei successivi documenti progettuali, opere finanziate in corso di realizzazione e completamento previste da atti amministrativi e accordi di programma che ne regolano attuazione e finanziamento.

4.1.3 Misure supplementari strutturali e non strutturali

Si tratta di nuove misure specifiche, previste per le ARS (Aree a Rischio Significativo di alluvione) o per categorie omogenee di beni esposti a rischio, necessarie per un tempestivo raggiungimento dell'obiettivo definito per l'elemento in questione, comprendono anche di azioni di rafforzamento della governance necessaria per favorire una efficace attuazione del PGRA.

In particolare per le ARS regionali e distrettuali oltre alle misure di base attuate, in corso o programmate, si prevedono misure dettagliate a complemento delle misure di base al fine di conseguire gli obiettivi di mitigazione del rischio specifici entro il ciclo di pianificazione in corso.

4.1.4 Perimetrazione della pericolosità nel tratto in studio

Il torrente Banna-Bendola è stato oggetto di perimetrazione delle fasce di pericolosità, con l'eccezione delle aree ricadenti nel territorio comunale di Mathi, come si può evincere dall'assenza di campitura nel tratto di



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



monte proprio in corrispondenza del territorio comunale, del corso d'acqua nella rappresentazione cartografica riportata di seguito.

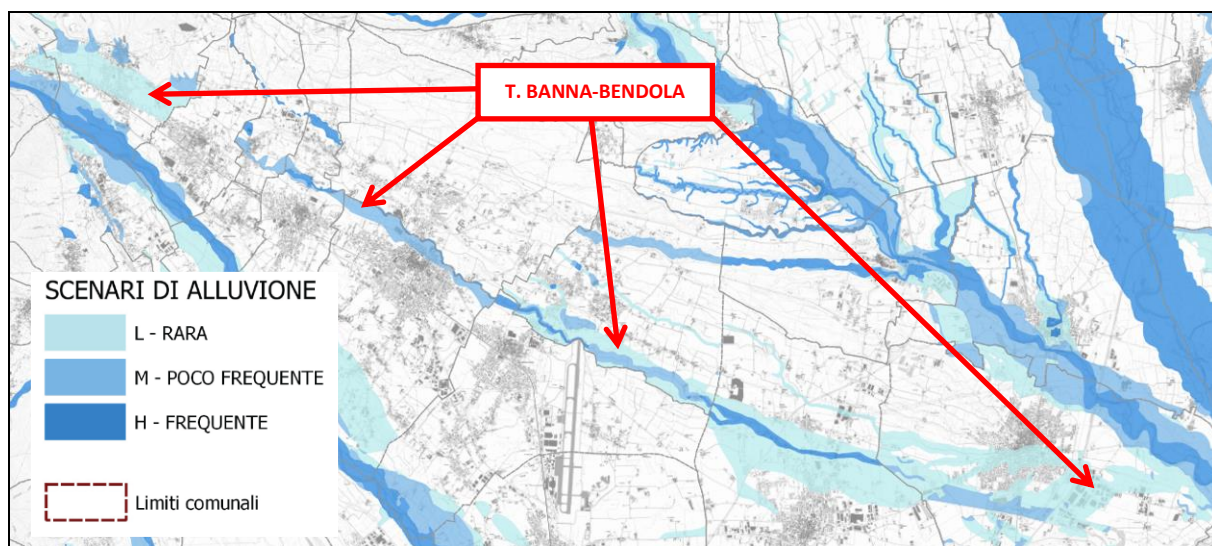


Figura 7 – Perimetrazione degli scenari di pericolosità da alluvione nell'ambito del P.G.R.A

Dall'analisi della cartografia degli scenari di pericolosità idraulica del PGRA del 2020 con rappresentazione dell'estensione dell'area allagabile per probabilità di alluvioni elevata, media e scarsa reperibili sul portale cartografico nazionale si ha una buona rispondenza con la cartografia del PRGC comunale (cfr. Figura 8).



Figura 8 - Scenari di pericolosità idraulica del PGRA del 2020

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



5. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata condotta con riferimento a quanto già approfonditamente eseguito nell'ambito dello studio del DITIC - Politecnico di Torino (2009). Si ritiene infatti che le metodologie adottate siano confacenti allo scopo e i risultati abbiano una precisione adeguata alle ipotesi assunte, così come descritto nei successivi paragrafi. Inoltre, come meglio evidenziato nel seguito della trattazione, **la portata assunta alla base delle verifiche delle opere in progetto fa riferimento alla portata idraulica e non a quella idrologica**, vale a dire alla portata che realisticamente può transitare in alveo e non quella che si può stimare con modelli idrologici, poiché, come emerso dall'analisi degli Scenari di pericolosità e dalle carte delle esondazioni relative ad eventi passati l'area inondata è ampia lungo tutta l'asta idrografica e pertanto la portata in arrivo localmente all'area di intervento nel comune di Volpiano risulta decisamente laminata.

5.1 INFORMAZIONI IDROLOGICHE DISPONIBILI

Tra i molteplici studi e progetti svolti sul torrente Banna-Bendola, le analisi tecniche condotte dal DITIC - Politecnico di Torino sono ritenute maggiormente affidabili poiché, oltre ad essere relativamente recenti ed elaborare direttamente i dati di pioggia disponibili per le stazioni pluviometriche scelte come rappresentative, assumono un comportamento realistico dell'area occupata dall'Amiantifera di Balangero e conducono al calcolo di portate di piena i cui coefficienti udometrici sono uniformi nell'ambito di studio e hanno valori compatibili con i riferimenti di letteratura. Il torrente Banna-Bendola, a seguito di valutazioni di carattere idrologico legate soprattutto alla tipologia di risposta del bacino, è stato suddiviso in sei sottobacini (cfr. Figura 9, Tabella 3).

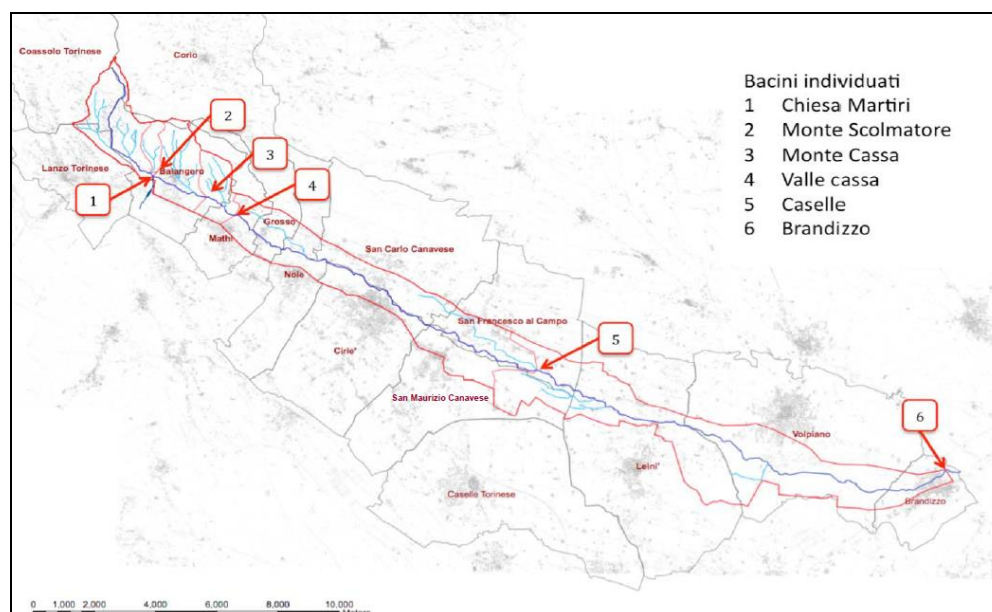


Figura 9 – Suddivisione in sottobacini del bacino idrografico del torrente Banna-Bendola (Politecnico, 2009)

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo**Tabella 3 – Caratteristiche geomorfologiche e fisiografiche dei sottobacini individuati (Politecnico, 2009)**

Posizione della sezione di chiusura	1 - Chiesa dei Martiri	2 - Monte scolmatore	3 - Monte cassa di Mathi	4 - Valle cassa di Mathi	5 - Caselle Aeroporto	6 - Brandizzo
Coord. Sez. chiusura $X_{WGS84_Zone32N}$ [m]	383'230	383'230	384'979	385'924	395'752	409'123
Coord. Sez. chiusura $Y_{WGS84_Zone32N}$ [m]	5'014'545	5'014'545	5'013'801	5'013'156	5'007'606	5'004'051
Area A [km ²]	5.12	6.02	9.91	12.42	29.72	55.12
Quota massima H_{max} [m s.l.m.]	1'211	1'211	1'211	1'211	1'211	1'211
Quota media H_{med} [m s.l.m.]	650	638	595	568	439	346
Quota minima H_{min} [m s.l.m.]	444	444	418	403	283	184
Lunghezza massima di drenaggio L [km]	5.83	5.83	7.83	9.22	23.74	41.60
Pendenza media dell'asta fluviale i_b [m/m]	0.116	0.116	0.088	0.053	0.017	0.011
Pendenza media dei versanti i_v [m/m]	0.25	0.25	0.22	0.20	0.10	0.06
Curve Number AMC II	71.2	71.4	70.3	68.8	62.9	61.4

Il bacino chiuso a Brandizzo, ossia alla confluenza con il torrente Malone, ha una sezione di chiusura posta a 184 m s.l.m. e un'altitudine media di 346 m s.l.m.

Il bacino chiuso alla sezione posta a valle della cassa di laminazione che si ipotizza di realizzare a Mathi ha una sezione di chiusura posta a 403 m s.l.m. e un'altitudine media di 568 m s.l.m.

La differenza di quota tra le due sezioni di chiusura è di soli 221 m, il che determina una pendenza media dell'asta fluviale soltanto di 0,0068 m/m, posto che la lunghezza dell'asta fluviale compresa tra le due sezioni è di 32,4 km.

Il bacino principale è pertanto suddiviso come segue:

- un'area montuosa posta a monte della sezione ove si ipotizza da tempo la realizzazione della cassa di espansione di Mathi, caratterizzata da versanti e aste fluviali con pendenze relativamente elevate;
- un'area pianeggiante posta a valle della suddetta sezione, caratterizzata da dislivelli e pendenze molto più ridotti.

L'analisi del Politecnico inizia con la ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) relative alle stazioni pluviometriche più prossime alla testata del bacino considerato, ossia quelle di Lanzo, Ciriè e Front Malone (Figura 10) e prosegue valutando la severità degli eventi pluviometrici intensi avvenuti nel recente passato all'interno del bacino. Nella fattispecie sono state analizzate la piena del novembre 1994, la piena dell'ottobre 2000 e il forte evento pluviometrico avvenuto nel settembre 2008 nell'area di Caselle.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

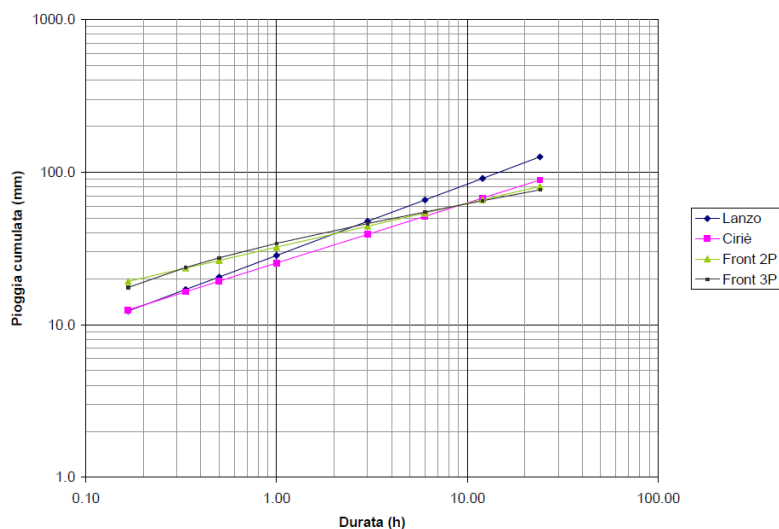


Figura 10 – CPP nelle stazioni pluviometriche di Lanzo, Ciriè e Front Malone (Politecnico, 2009).

La procedura di valutazione delle portate al colmo di piena è stata implementata mediante l'applicazione dei modelli regionali "VAPI" e "ARPIEM" alla testata del bacino in oggetto.

La ricostruzione degli idrogrammi di progetto è infine avvenuta utilizzando il modello teorico afflussi-deflussi con il supporto del codice di calcolo HEC-HMS (Figura 11).

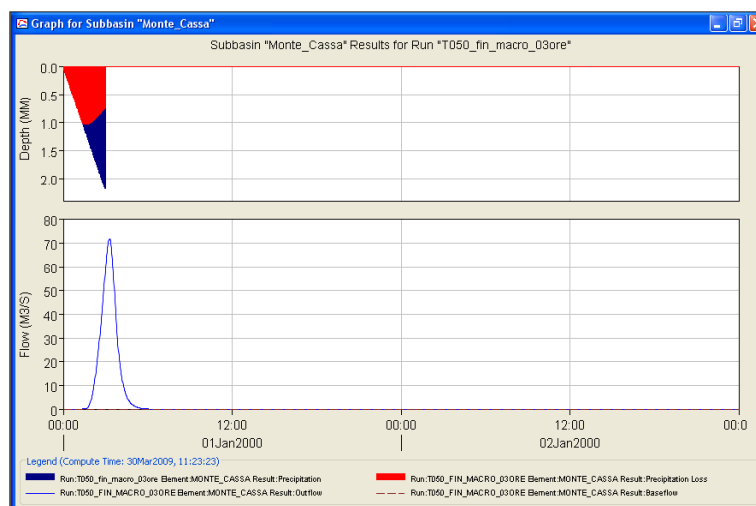


Figura 11 – Esempio di applicazione del software HEC-HMS al bacino (Politecnico, 2009).

In Tabella 4 sono riportate le portate al colmo di piena calcolate per differenti durate di pioggia e per i tempi di ritorno di 50 e 200 anni. Si sottolinea come tali portate siano quelle "idrologiche" afferenti alle sezioni di chiusura menzionate nella tabella, ossia quelle che competerebbero alle stesse sezioni se il regolare deflusso di piena non fosse interferito da ostruzioni, scolmatori, etc.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Pertanto la differenza sostanziale tra le portate di piena così calcolate e quelle effettivamente assunte dagli Scriventi per l'esecuzione delle verifiche idrauliche in oggetto riguarderà la valutazione dell'effettiva officiosità delle sezioni d'alveo e quindi dell'effettiva capacità di deflusso del torrente come descritto nel proseguo.

Tabella 4 – Risultati dell'applicazione del modello afflussi-deflussi al variare della durata della precipitazione per un periodo di ritorno $T = 50$ anni (sinistra) e $T = 200$ anni (destra), (Politecnico, 2009)

Portata al picco	1 - Chiesa dei Martiri	2 - Monte scolmatore	3 - Monte cassa di Mathi	4 - Valle cassa di Mathi	5 - Caselle Aeroporto	6 - Brandizzo	Portata al picco	1 - Chiesa dei Martiri	2 - Monte scolmatore	3 - Monte cassa di Mathi	4 - Valle cassa di Mathi	5 - Caselle Aeroporto	6 - Brandizzo
	Portata [m ³ /s]							Portata [m ³ /s]					
d = 1 ora	26.9	32.2	31.1	32.5	-	-	d = 1 ora	54.9	65.5	66.3	72.1	-	-
	Portata [m ³ /s]							Portata [m ³ /s]					
d = 3 ore	47.3	56.2	71.7	82.0	-	-	d = 3 ore	71.7	85.1	111.5	129.5	-	-
	Portata [m ³ /s]							Portata [m ³ /s]					
d = 6 ore	45.0	53.3	76.6	90.8	-	-	d = 6 ore	61.4	72.7	105.8	126.8	-	-
	Portata [m ³ /s]							Portata [m ³ /s]					
d = 12 ore	36.9	43.6	66.2	80.2	105.0	122.1	d = 12 ore	46.9	55.5	84.7	103.2	142.8	169.9
	Portata [m ³ /s]							Portata [m ³ /s]					
d = 24 ore	28.0	33.1	51.5	63.1	114.3	163.3	d = 24 ore	35.0	41.4	64.6	79.4	148.3	215.8

5.2 DEFINIZIONE DEI PRINCIPALI NODI IDRAULICI

Il maggior contributo alla formazione delle portate di piena di un bacino idrografico avente la morfologia di quello del Banna-Bendola è sicuramente offerto dalla porzione montuosa. Per tale ragione è proprio nella porzione posta a monte di Mathi che si è concentrata l'analisi volta a determinare il "funzionamento idraulico" del corso d'acqua, identificando i nodi idraulici più significativi e meritevoli di approfondimenti di studio.

Si faccia dunque riferimento allo schema mostrato in Figura 12, che rappresenta in dettaglio i contributi di portata che formano i deflussi del Banna-Bendola a valle di Mathi:

- Il bacino a monte della Chiesa dei Martiri $\rightarrow Q_A$
- Le campagne tra la Chiesa dei Martiri e la presa scolmatore $\rightarrow Q_B$
- Il bacino laterale che insiste direttamente sulla presa scolmatore (Rio San Biagio) $\rightarrow Q_C$
- Il canale scolmatore $\rightarrow Q_D$
- La parte tombinata del canale scolmatore $\rightarrow Q_B + Q_D$
- Il Banna in Balangero $\rightarrow Q_A - Q_B - Q_D + Q_C$
- Il Bacino laterale di Balangero (Rio del Milon) $\rightarrow Q_E$
- Il Banna a Mathi $\rightarrow Q_A - Q_B - Q_D + Q_C + Q_E$
- Il Bacino laterale di Mathi (Rio Prasacco) $\rightarrow Q_F$
- Il Banna a valle del cimitero di Mathi $\rightarrow Q_A - Q_B - Q_D + Q_C + Q_E + Q_F$



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

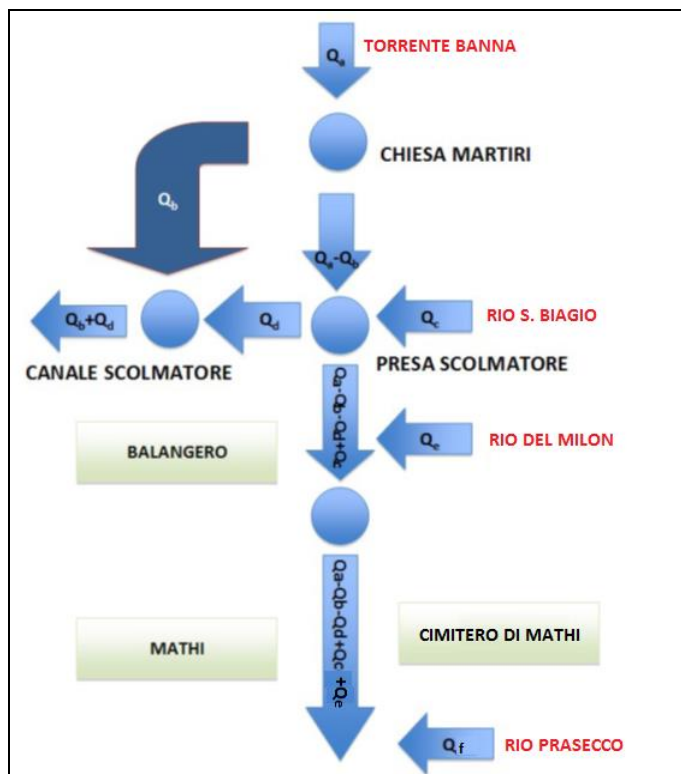


Figura 12 – Schematizzazione dei principali nodi idraulici nel tratto di monte del bacino del Banna-Bendola (Politecnico di Torino, 2009).

Più in dettaglio, per le portate di riferimento è possibile fare le seguenti considerazioni:

- La portata Q_A è la portata in arrivo dai bacini a monte della chiesa dei Martiri;
- La portata Q_B è costituita dalla quota parte che in quel tratto l'alveo del torrente non riesce a contenere. Q_B defluisce dunque sui campi a monte del canale scolmatore. In ogni caso, per la morfologia del territorio, il canale scolmatore agisce da gronda per tale contributo, convogliandolo verso la Stura di Lanzo (N.B.: il funzionamento del canale scolmatore è descritto in dettaglio nel successivo paragrafo);
- Sulla scorta delle elaborazioni numeriche svolte dal Politecnico di Torino, si può assumere che in tale tratto la massima portata in grado di defluire nell'alveo del torrente ($Q_A - Q_B$) sia pari a $50 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Q_C è il contributo di portata del bacino laterale (Rio San Biagio) e non concorre alla formazione di Q_B ;
- Q_D è la portata direttamente derivata dall'opera di presa del canale scolmatore;
- La portata complessiva di competenza del canale scolmatore è dunque pari alla somma di Q_B e Q_D . L'assunzione non tiene conto della naturale capacità di laminazione dei campi nei quali Q_B defluisce

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



dopo essere esondata dal Banna, ma l'ipotesi è a favore di sicurezza e pertanto può essere accettata nella presente schematizzazione;

- g) Il valore della portata che defluisce nel centro abitato di Balangero può dunque essere calcolato come somma algebrica delle portate precedenti, ossia $Q_A - Q_B - Q_D + Q_C$. Si segnala tuttavia che le ridotte sezioni d'alveo del torrente nell'abitato di Balangero non permettono il regolare deflusso di portate maggiori di 15-20 m³/s;
- h) La portata Q_E proviene dai bacini laterali compresi tra la presa dello scolmatore e la zona in cui si prevede la realizzazione della cassa di espansione di Mathi e viene drenata dal Rio del Milon. La portata non interessa l'abitato di Balangero ma confluisce in Banna a valle dello stesso e a monte dell'area ove è prevista la cassa di laminazione;
- i) La portata Q_F è derivante dagli afflussi insistenti sul bacino del Rio Prasecco. Tale portata si immette a valle del cimitero di Mathi ma, in caso di eventi particolarmente intensi, può generare allagamenti nell'area a monte del cimitero ove è prevista la localizzazione della cassa di laminazione;
- j) La portata a valle del cimitero di Mathi è dunque data da $Q_A + Q_C - Q_B - Q_D + Q_E + Q_F$.

5.3 FUNZIONAMENTO DEL CANALE SCOLMATORE DI BALANGERO

Il canale scolmatore, già citato in precedenza, è stato realizzato a monte del centro abitato di Balangero in seguito agli effetti dell'evento alluvionale del 1994 e riveste un ruolo fondamentale nella riduzione del rischio alluvionale negli abitati a valle dello stesso convogliando le portate in eccesso verso la Stura di Lanzo attraverso la Sturetta ove confluisce. Allo stato attuale il canale scolmatore è caratterizzato da una lunghezza totale di circa 1'080 m, di cui 342 m tombati. L'intersezione con il torrente Banna è posta a circa 400 m a monte di Balangero.

In Figura 13 si riporta una ripresa fotografica della gàveta e la schematizzazione della soglia così come rappresentata nel software Hec-Ras.

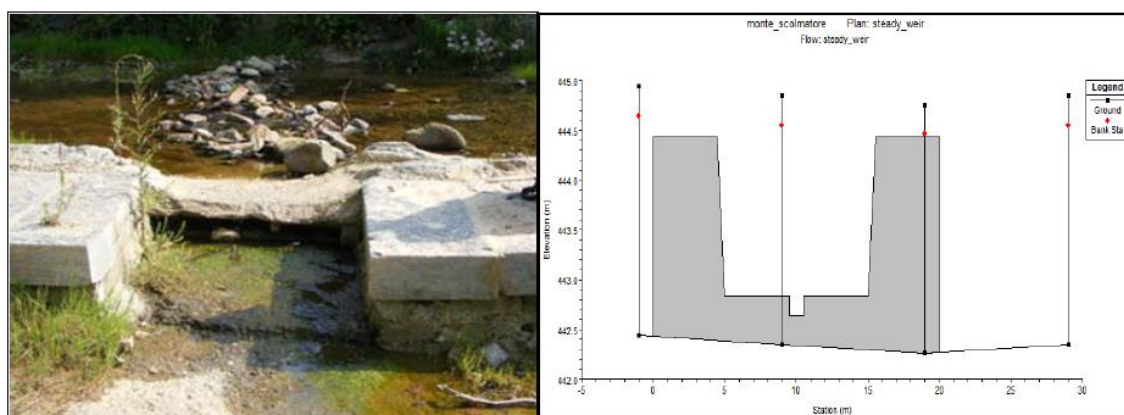


Figura 13 – Configurazione della soglia (Politecnico, 2009)



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



L'alveo del torrente Banna, nel tratto di derivazione del canale, è stato risagomato ed è stata realizzata una soglia di sfioro sulla sponda destra caratterizzata da un'altezza sul fondo di 0,4 m e una lunghezza di 10 m. La soglia è fornita inoltre di una gàveta con stramazzo a larga soglia, di lunghezza 1 m e altezza sul fondo 0,2 m.

Il canale scolmatore è caratterizzato da una sezione inizialmente larga 10 m che si restringe fino ad una larghezza di 4 m che si mantiene poi costante per tutto il suo sviluppo, fino alla confluenza nello Sturetta.

Al di là del progetto iniziale, l'effettivo funzionamento dell'opera è stato studiato sia dal Politecnico, sia dal prof. Anselmo nell'ambito degli incarichi citati al capitolo §3.

Gli studi pregressi sono concordi nello stabilire che la portata derivata dallo scolmatore di Balangero sia ottenibile quale sommatoria della portata effettivamente scolmata dall'opera e di quella dovuta ai fenomeni di esondazione che si manifestano in destra idrografica, per insufficienza idraulica dell'alveo, a monte dello stesso, che tende comunque a confluire naturalmente all'opera.

Per quanto riguarda la portata effettivamente scolmata dall'opera, i differenti autori hanno usato due approcci differenti ottenendo risultati comunque simili.

Il Ditic-Politecnico di Torino, ha realizzato un modello idraulico su HEC-RAS dell'opera di presa del canale scolmatore in cui si simulano due differenti ipotesi di manutenzione (condizione di progetto e interrita) e due differenti approcci modellistici (sfioratore laterale e opera diversiva). I risultati mostrano come la portata derivata dallo scolmatore (Figura 11) possa essere sintetizzata secondo la seguente equazione:

$$Q_{derivata} \cong \alpha \cdot Q_{ingresso} \quad \alpha \in [0.5 - 0.7]$$

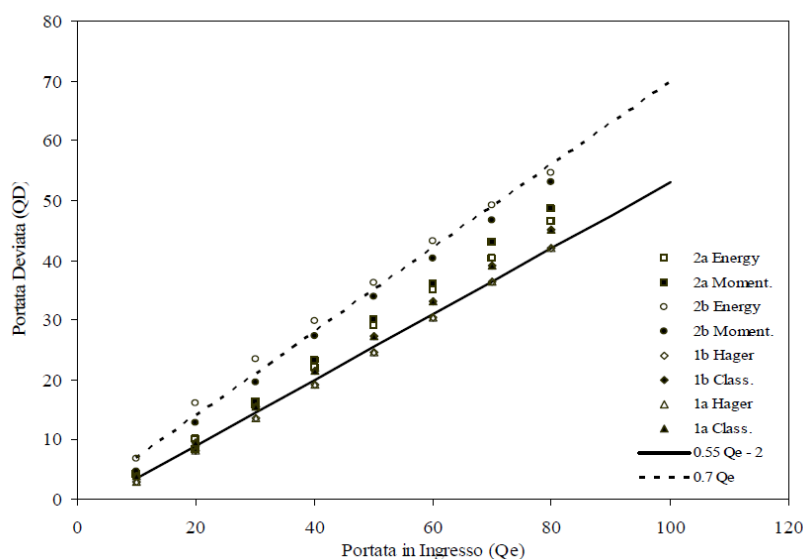


Figura 14 – Portata derivata dallo scolmatore nelle varie ipotesi modellistiche (Politecnico, 2009)

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

Il Prof. Anselmo ha realizzato invece un modello fisico dello scolmatore in scala 1:50, la cui scala di deflusso delle portate (Figura 15) conferma il fatto che possano essere derivate all'incirca il 50% delle portate defluenti lungo il Banna.

La concordanza dei risultati di entrambi gli studi permette di stabilire la quota parte delle portate scolmate dall'opera di presa, che è dunque posta pari alla metà delle portate defluenti lungo il Banna.

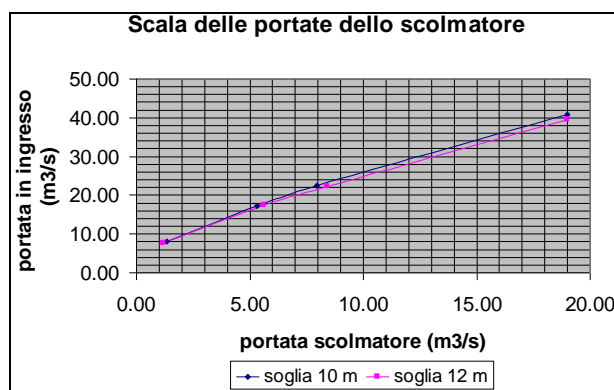


Figura 15 – Modello fisico dello scolmatore e scala di deflusso ricavata dai risultati delle simulazioni (Anselmo, 2008)

A questo proposito è utile richiamare quanto già riportato in precedenza, ossia che la massima portata smaltibile dal torrente subito a monte della presa dello scolmatore sia pari a 50 m³/s. La portata eccedente tende ad esondare in sponda destra e affluisce direttamente allo scolmatore che dunque agisce da gronda per i campi sottesi.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



5.4 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA ADOTTATE PER LE VERIFICHE IDRAULICHE

Le informazioni descritte nei precedenti paragrafi costituiscono dunque la base conoscitiva che dal punto di vista idrologico permette di stimare le portate di piena al variare del tempo di ritorno del Torrente Bendola per le diverse sezioni di chiusura ipotizzate.

La portata di progetto assunta dagli Scriventi per le simulazioni idrauliche condotte con riferimento allo Stato Attuale del territorio perfluviale sono stati ricostruiti dalle portate idrologiche al colmo di piena definitive (cfr. studio del Politecnico) e successivamente si è provveduto alla verifica idraulica della portata idraulicamente contenuta nell'alveo inciso, adottando il massimo valore della stessa.

In particolare, dalle portate idrologiche riportate nello studio del Politecnico per tempi di ritorno di 50 e 200 anni (Tabella 1), l'applicazione della tecnica di regressione logaritmica ha consentito di stimare i valori della portata di picco anche per tempi di ritorno di 20 e 100 anni, come riportato in Figura 16.

Tabella 5 – Valori definitivi delle portate stimate al colmo di piena per $T_r = 50$ e $T_r = 200$ anni per le sei sezioni considerate (cfr. Studio del Politecnico)

Portata al picco	1 - Chiesa dei Martiri	2 - Monte scolmatore	3 - Monte cassa di Mathi	4 - Valle cassa di Mathi	5 - Caselle Aeroporto	6 - Brandizzo
	Portata [m^3/s]					
$T = 50$	47.3	56.2	76.6	90.8	114.3	163.3
	Portata [m^3/s]					
$T = 200$	71.7	85.1	111.5	129.5	148.3	215.8

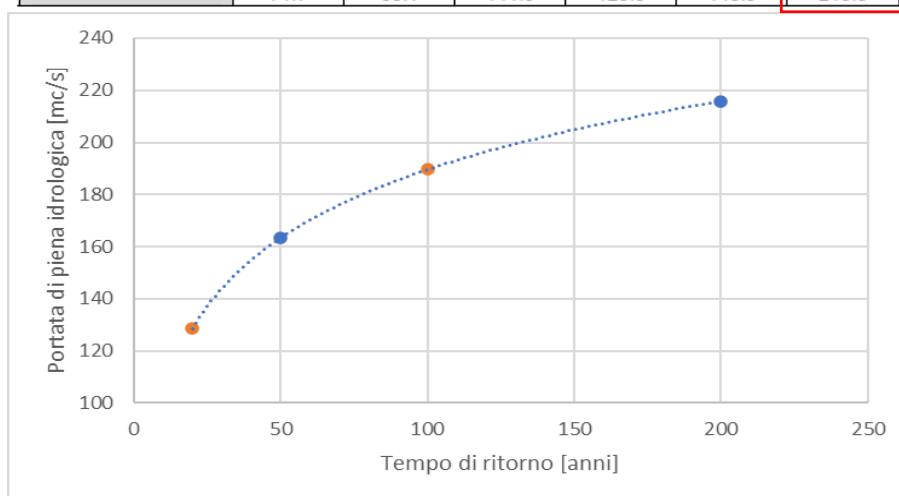


Figura 16 – Stima delle portate di picco relative a tempi di ritorno di 20 e 100 anni (valori in arancione) tramite regressione logaritmica fondata sui valori calcolati dal Politecnico di Torino delle portate associate a tempi di ritorno di 50 e 200 anni (valori in blu)



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



La determinazione delle portate di riferimento per le verifiche idrauliche dello stato di progetto è avvenuta sulla scorta di alcune valutazioni tecniche volte all'individuazione del valore massimo di portata smaltibile internamente all'alveo inciso.

A tal proposito l'esecuzione di specifiche simulazioni idrauliche, tramite il modello idrodinamico allestito e descritto in dettaglio nel § 6, ha consentito di determinare la massima capacità di deflusso del torrente Banna-Bendola all'interno delle aree di progetto.

Rinviando dunque al successivo capitolo per informazioni più approfondite, di seguito si indica la massima portata smaltibile dal t. Banna-Bendola all'interno del tronco di interesse:

- $Q_{PRG} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$;



6. ANALISI IDRAULICA

6.1 APPROCCIO METODOLOGICO

La verifica delle difese spondali in progetto, si è basata sull'allestimento di un modello numerico di simulazione idraulica in moto permanente sviluppato per i tratti di intervento e finalizzato alla definizione dei tiranti e delle velocità in alveo che si manifestano in occasione dell'evento di piena di riferimento (alveo a piene rive).

La verifica idraulica è stata condotta al fine di verificare la geometria e l'adeguatezza funzionale delle difese in progetto, anche in relazione alle problematiche evidenziate allo stato attuale, principalmente riguardanti i processi erosivi di sponda e lo scalzamento del piede di alcune difese esistenti.

Il modello quindi è stato allestito nella configurazione stato di fatto e di progetto, andando ad analizzare i battenti e le velocità che si instaurano relativamente alle sezioni di interesse per la realizzazione delle difese in progetto.

Sulla base dei livelli e delle velocità, invece, si è provveduto al dimensionamento dei massi della scogliera secondo le formulazioni di seguito descritte, considerando i valori massimi di coppia battenti-velocità rilevati nelle sezioni indagate.

L'analisi idraulica condotta ha consentito d'individuare la distribuzione delle velocità di deflusso e dei battenti idrici in condizioni di piena in corrispondenza delle sezioni ove si prevede la costruzione delle opere di difesa in progetto, in modo tale da poter verificare l'azione di trascinamento della corrente sulle stesse e determinare le dimensioni minime dei massi da utilizzare.

Nella successiva analisi si presenta il confronto tra lo stato di fatto e di progetto mentre si rimanda agli allegati alla presente per le singole simulazioni e per i dovuti approfondimenti.

6.2 MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA

La valutazione della compatibilità idraulica delle opere e degli effetti dell'intervento in condizioni di piena, è stata elaborata mediante una specifica simulazione di progetto nella quale sono state inserite le opere, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS (6.3.1).

6.2.1 Descrizione del codice numerico utilizzato

Il modello di calcolo HEC – RAS (River Analysis System), elaborato da Hydrologic Engineering Center di U.S. Army Corps of Engineers (Versione 5.0.3) è un software che consente di sviluppare i calcoli in moto permanente monodimensionale per una rete di canali (artificiali o naturali), ipotizzata la portata costante nel tempo e lungo il tratto d'alveo considerato. In particolare, risulta utile per il calcolo dei profili in moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o che interessa entrambe. La sua affidabilità è riconosciuta a livello internazionale ed è impiegato in tutto il mondo. Il modello, in aggiunta alla determinazione dei profili di superficie libera negli alvei per portate caratterizzate da tempi di ritorno rappresentativi, consente di valutare gli effetti indotti sulla corrente da ostacoli e infrastrutture presenti in alveo (ad esempio, ponti, traverse, restringimenti di sezione ...).

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

La procedura si basa sulla integrazione dell'equazione monodimensionale che rappresenta l'energia della corrente, nota come Standard Step Method. Le perdite di carico valutate sono quelle di attrito e quelle generate dalla contrazione o espansione della sezione. Imposte le condizioni al contorno (di valle o di monte, in funzione del regime che caratterizza il corso d'acqua) e la portata rispetto a cui si vuole effettuare la verifica, il modello determina il profilo longitudinale del pelo libero, a cui si aggiungono una serie di parametri che è possibile interrogare e analizzare.

Nello studio di una corrente gradualmente variata in alvei non prismatici, quali quelli naturali, la limitazione maggiore deriva dall'avere a disposizione informazioni relative solo a un numero piuttosto contenuto di sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, per questi alvei non sono applicabili le usuali procedure di calcolo che prevedono la definizione della scala di deflusso o di altri parametri ipotizzati invarianti lungo lo sviluppo longitudinale dell'alveo. Ne consegue che per determinare l'andamento del profilo del pelo libero lungo un tratto d'alveo è necessario procedere per tentativi e successive correzioni, assegnate le adeguate condizioni al contorno (di valle o di monte) in ragione del tipo di regime caratterizzante la corrente. Per determinare la profondità della corrente in ogni sezione, la procedura iterativa utilizza le seguenti relazioni:

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} + h_e + h_f$$

$$h_e = L \cdot i_f$$

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

dove: Z_1 e Z_2 rappresentano le quote assolute della superficie libera agli estremi del tratto; V_1 e V_2 la velocità media nella sezione, riferita agli estremi del tratto; g è l'accelerazione di gravità; h_e sono le perdite distribuite di energia e h_f le perdite di energia localizzate; L è la lunghezza del tratto considerato; i_f la pendenza di fondo nel tratto; C il coefficiente di perdita di carico dovuta a espansioni e/o contrazioni localizzate; α_1 e α_2 sono i coefficienti di Coriolis, funzione della distribuzione di velocità nella sezione trasversale.

Il modello di calcolo numerico, imposta la portata defluente in alveo e le condizioni al contorno, impiega il sistema di relazioni sopra esposto fra due sezioni adiacenti (iniziando da monte o da valle in funzione del regime di corrente ipotizzato) e lo risolve iterativamente, per determinare la quota h del pelo libero rispetto al fondo in ciascuna di esse. Il processo di calcolo, quindi, prosegue iterativamente alle sezioni successive, fino a interessare tutte le sezioni utilizzate per definire la geometria. In questo modo, risulta possibile determinare il profilo del pelo libero per il tratto d'alveo considerato.

Il codice di calcolo consente la suddivisione della corrente in rami paralleli, in modo da simulare il deflusso, oltre che nell'alveo, anche nelle aree golenali laterali, che possono essere caratterizzate con diversi indici di scabrezza. Nei calcoli possono, inoltre, essere considerati gli effetti dovuti alla presenza di infrastrutture "puntuali", quali i ponti, i sottopassi i manufatti luci sotto battente o a stramazzo.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

Per sviluppare un modello numerico che sia accurato, abbia sensibilità e stabilità di calcolo, occorre cercare il migliore compromesso tra i diversi parametri che rientrano nella simulazione, sempre tenendo presente quali sono i limiti delle equazioni utilizzate per simulare il moto. Tale compromesso si ottiene mediante un'opportuna analisi di sensibilità numerica.

Il modello di calcolo numerico permette di determinare diverse variabili idrauliche: il profilo longitudinale della superficie libera di deflusso, la profondità e la velocità della corrente in prossimità delle opere in progetto, l'eventuale ampiezza del rigurgito provocata dall'elemento interferente, e le principali caratteristiche idrauliche della corrente. Tutti elementi questi fondamentali per il confronto fra gli scenari di realtà diverse quella attuale e quelle possibili in presenza di interventi antropici con forme, ampiezze e caratteristiche differenti.

6.2.2 Condizioni al contorno

I dati di input per l'allestimento del modello di calcolo sono elencati di seguito:

➤ Descrizione geometrica del corso d'acqua

La descrizione geometrica del corso d'acqua nel tratto interessato dall'analisi idraulica si è basata sulla ricostruzione topografica delle sezioni di deflusso ottenute mediante rilievo topografico appositamente condotto nel mese di Novembre 2023, opportunamente integrato all'interno del DTM 1x1 disponibile.

Di seguito si riporta un'immagine complessiva del modello allestito, nella quale si può notare la base topografica, l'asta fluviale e le sezioni di calcolo adottate.

In particolare l'estensione del modello è di $\approx 2,4$ km e sono state utilizzate 58 sezioni, con interasse di 50 m andando ad infittire laddove necessario.

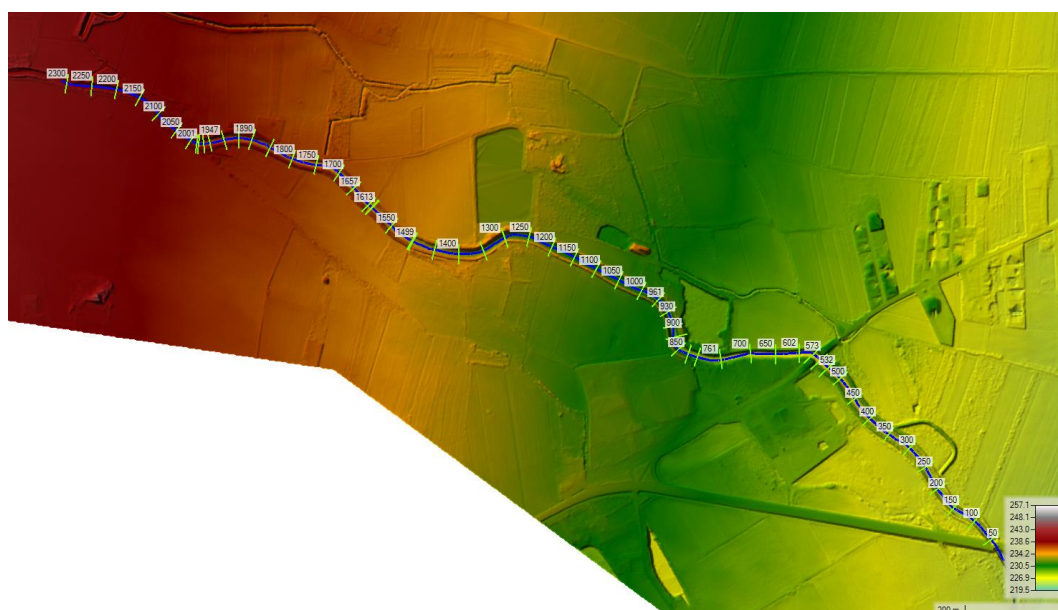


Figura 17 – modello digitale del terreno da restituzione topografica locale e ubicazione delle sezioni di calcolo.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



➤ Portate di verifica

Le portate di verifica sono in definitiva state definite con apposita metodologia descritta al capitolo precedente, dove per la sezione di interesse è stata valutata la massima portata smaltibile dalle sezioni nel tronco d'asta in analisi.

In particolare è stato simulato un set di portate al fine di identificare il limite massimo oltre al quale si evidenzia un'insufficienza arginale e pertanto esondazione.

In particolare tale limite è stato riscontrato per una portata di piena pari a $Q_{PRG} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel seguito si riporta un'immagine esemplificativa della XS 2016, sita appena a monte della soglia relativa all'Area di intervento soglia nel tronco di monte in analisi.

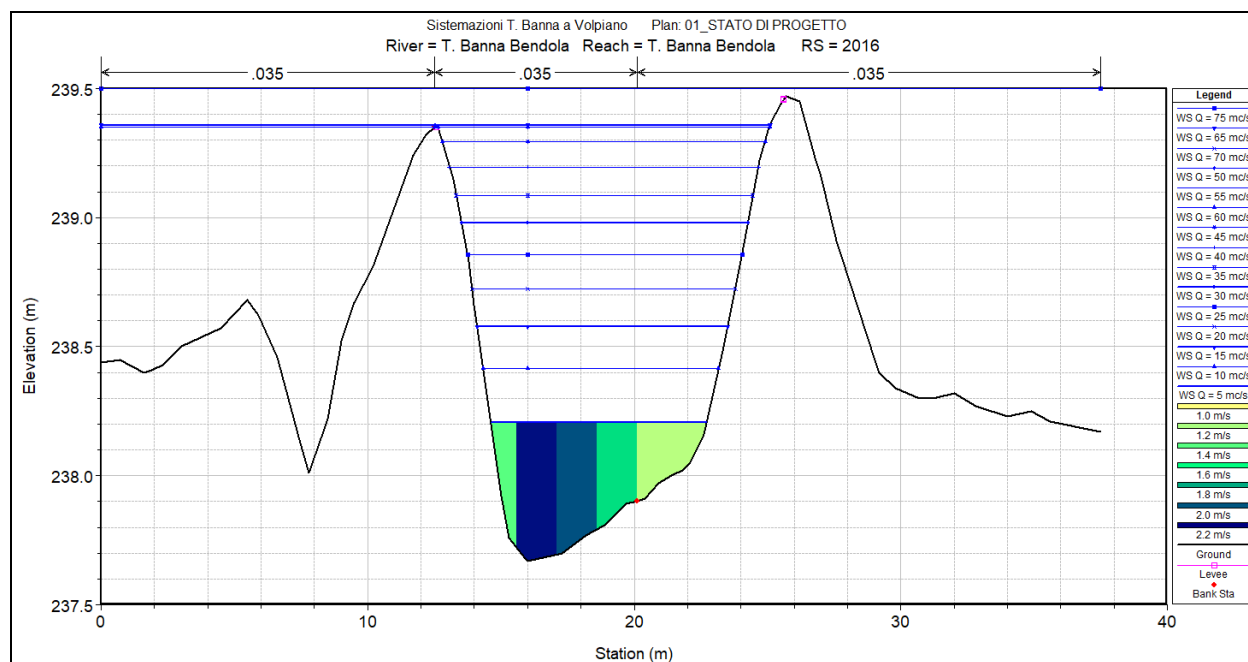


Figura 18 – Livelli calcolati al variare delle portate di piena (5 – 75 m^3/s) per la XS 2016 (a monte soglia).

➤ Resistenze al moto e condizioni al contorno

La definizione delle condizioni di resistenza al moto in alveo inciso nelle zone di esondazione esterne ad esso avviene introducendo coefficienti di scabrezza idonei, caratterizzati da adeguati valori del parametro n di Manning, espresso in $\text{s}/\text{m}^{1/3}$.

In generale, tale coefficiente dipende dalla granulometria del materiale presente in alveo, dalla regolarità delle sezioni, dall'andamento planimetrico del corso d'acqua, dalle caratteristiche idrauliche delle sponde e dalla possibilità che il materiale di fondo subisca fenomeni di trasporto.

Per il caso in esame sono stati assunti valori di scabrezza dell'alveo pari a $n = 0,035 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$



➤ Condizioni al contorno di monte e valle

Le condizioni al contorno utilizzate hanno imposto la profondità di moto uniforme sulla base della pendenza del fondo caratteristica del tratto di monte e di valle.

6.2.3 Modalità di presentazione dei risultati

I risultati ottenuti sono riportati e sintetizzati negli specifici paragrafi e in allegato.

I parametri riassunti nelle tabelle sono i seguenti:

River Sta : sezione di calcolo;

Q_{Total} (m^3/s) : portata totale (ossia, la portata di piena con tempo di ritorno di 100 anni);

Min Ch El ($m\ s.l.m.$) : quota minima della sezione (fondo alveo);

W.S. Elev. ($m\ s.l.m.$) : quota del livello della corrente;

Crit W.S. ($m\ s.l.m.$) : altezza critica della corrente;

E.G. Elev. ($m\ s.l.m.$) : carico totale per un assegnata profondità della corrente;

Vel Chnl (m/s) : velocità della corrente;

Flow Area (m^2) : area di deflusso della corrente;

Froude: numero adimensionale di Froude.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

6.3 ANALISI DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

6.3.1 Area di intervento SOGLIA

Il tronco in analisi viene distinto in due aree in funzione dell'ubicazione degli interventi in progetto; in particolare, l'area di intervento più a monte relativa alla sistemazione della soglia esistente ed alla realizzazione di nuove difese spondali oltre al ripristino del piede della fondazione di alcune opere di difesa esistenti ricade tra le sezioni di calcolo XS 2016 – XS 1850, di cui si riporta un estratto planimetrico del modello allestito:



Figura 19 – Planimetria con ubicazione delle sezioni di calcolo dell'area di intervento soglia.

La portata di progetto ($Q_{PRG} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$) defluisce nelle sezioni in approccio alla soglia in progetto con livelli saltuariamente oltre le sponde (portata limite) ed una velocità media che oscilla tra i 2 m/s ed i 4,5 m/s.

Come si evince dal profilo riportato in Figura 20, dove si evidenzia il confronto tra i livelli di piena nelle configurazioni di stato di fatto e di progetto, i risultati della simulazione idraulica sono del tutto analoghi sia a monte che a valle, con un incremento solamente a cavallo del bacino di dissipazione dove di fatto le velocità tendono a diminuire e conseguentemente i livelli ad aumentare leggermente, alla XS 1988 di $\approx 0,5 \text{ m}$. Ciò per effetto della profonda buca erosiva che si è creata immediatamente a valle della soglia e che la controbriglia in progetto prevede di colmare.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Le velocità di deflusso raggiungono il massimo valore alla tra le XS 2001 e 1988 (soglia e bacino di dissipazione) raggiungendo un valore massimo di $\approx 4,5$ m/s.

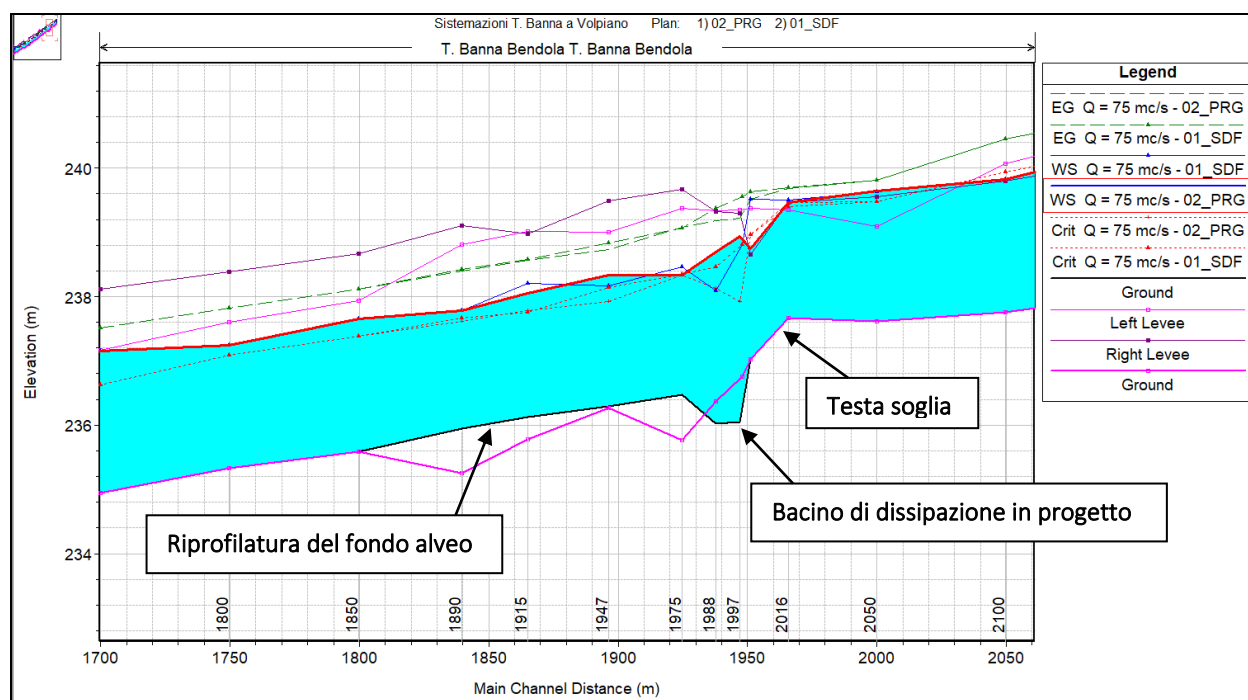


Figura 20 – Confronto tra i profili di moto permanente nelle condizioni di Stato di fatto e di progetto (rosso).

Si riporta la sezione interna al bacino di dissipazione, dove il battente registrato è di $\approx 2,7$ m.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

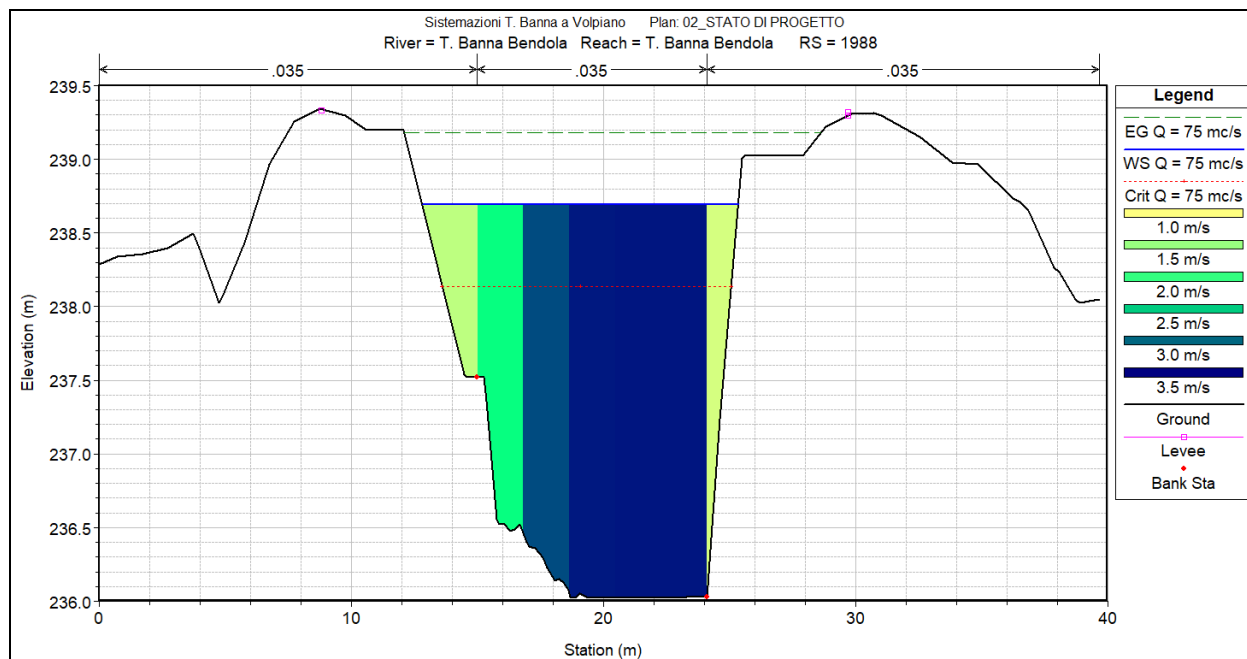


Figura 21 - Sezione idraulica di calcolo XS 1988

Proseguendo verso valle le velocità si mantengono in media tra 3 e 4 m/s ed un battente di $\approx 2,0$ m a ridosso delle scogliere in progetto in destra.

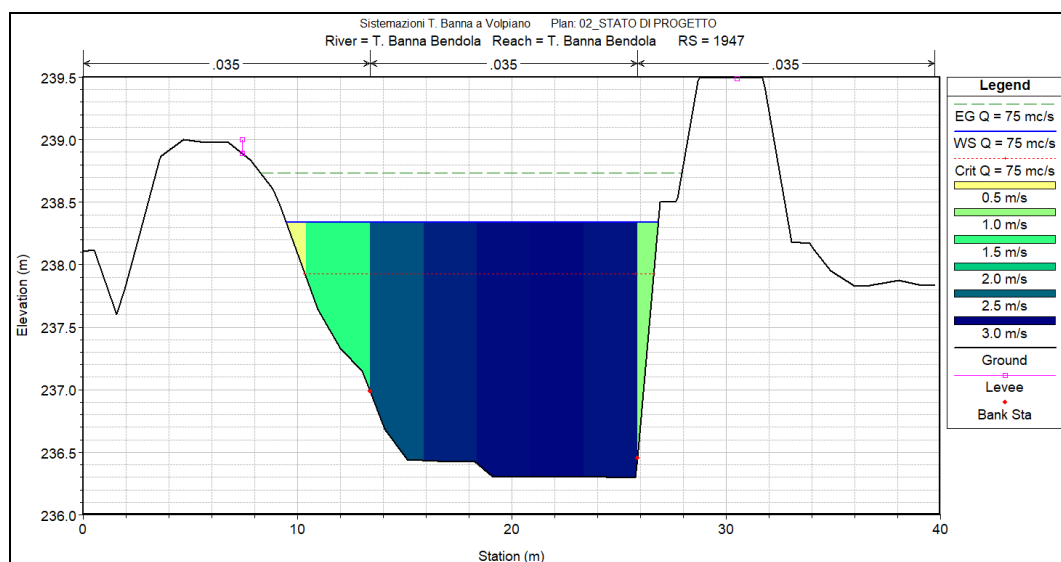


Figura 22 - Sezione idraulica di calcolo XS 1947

L'intervento relativo alla soglia, bacino di dissipazione e realizzazione di nuove scogliere in destra fanno riferimento alle sezioni dalla XS 2001 alla XS 1947.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

SRIA
s.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI



Figura 24 – Planimetria con ubicazione delle sezioni di calcolo dell'area di intervento soglia.

La portata di progetto defluisce nelle sezioni in approccio alla soglia in progetto con livelli dell'ordine di ≈ 2 m ed una velocità che si pone in media a 3,5 m/s.

Come si evince dal profilo riportato in Figura 25, dove si evidenzia il confronto tra i livelli di piena nelle configurazioni di stato di fatto e di progetto, gli stessi sono del tutto analoghi sia a monte sia a valle: alla luce di ciò è possibile asserire che gli interventi in progetto non determinano pertanto una modifica ai livelli idrometrici in alveo.

Le velocità di deflusso raggiungono il massimo valore alla tra le XS 876 e 850 (nuova scogliera in destra) raggiungendo un valore massimo di $\approx 4,0$ m/s e dove la corrente va in battuta spondale.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

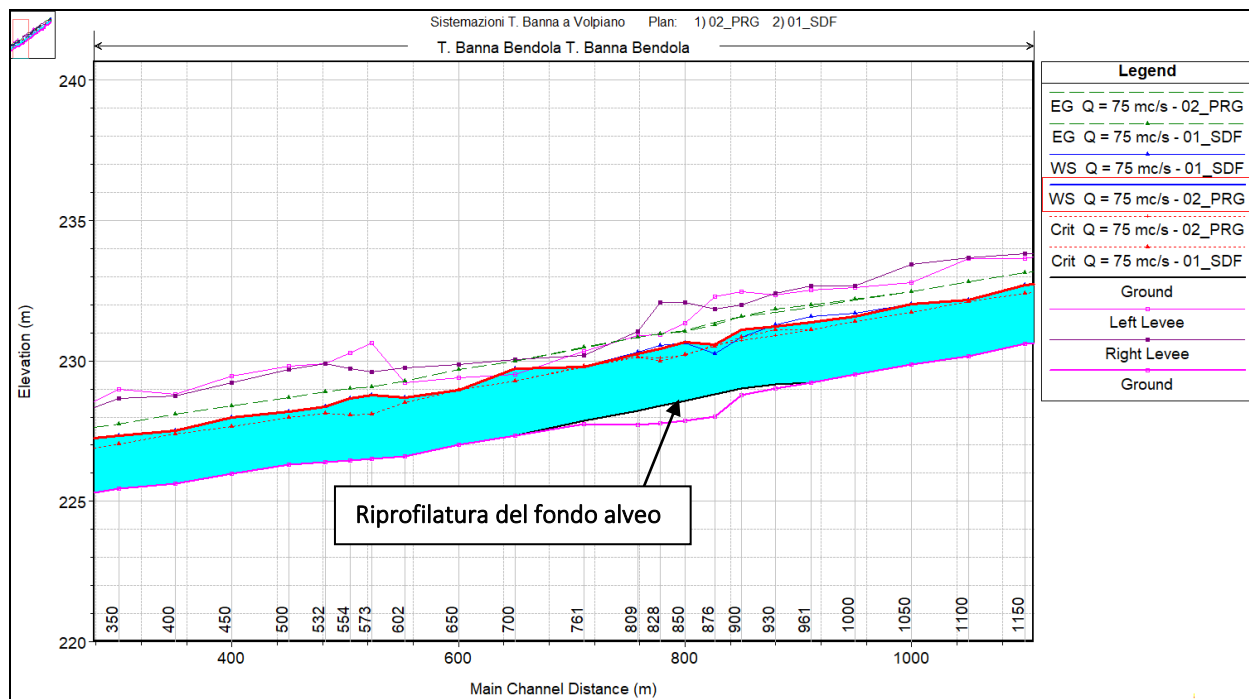


Figura 25 – Confronto tra i profili di moto permanente nelle condizioni di Stato di fatto e di progetto (rosso).

Tra le XS 961 e 900 si ha l'intervento di riprofilatura delle sponde, e riprofilatura del fondo alveo con sottofondazione del piede delle scogliere esistenti in sinistra, dove il battente risulta $\approx 2,1$ m e velocità $\approx 3,3$ m/s.

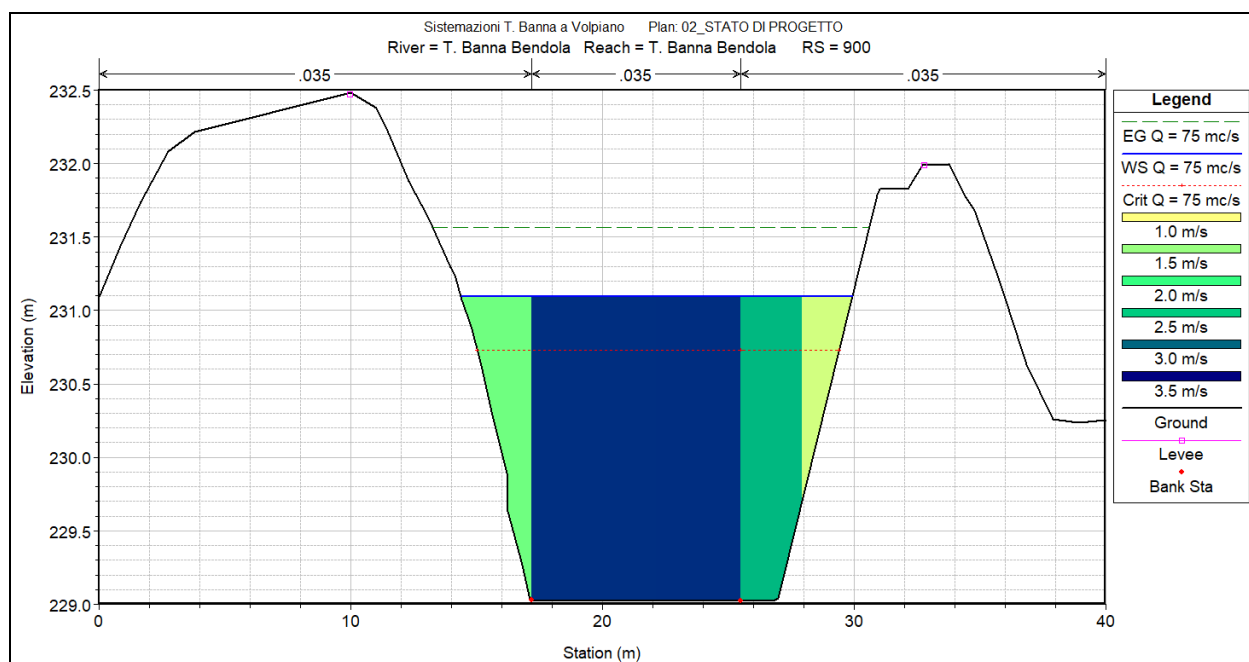


Figura 26 - Sezione idraulica di calcolo XS 1890



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Proseguendo verso valle le velocità si mantengono in media tra 3 e 4 m/s ed un battente di $\approx 2,0$ m.

In particolare a ridosso delle scogliere in progetto, di cui si riporta la sezione di calcolo nella seguente immagine, in destra si ha una velocità media pari a 4 m/s ed un battente di $\approx 1,8$ m.

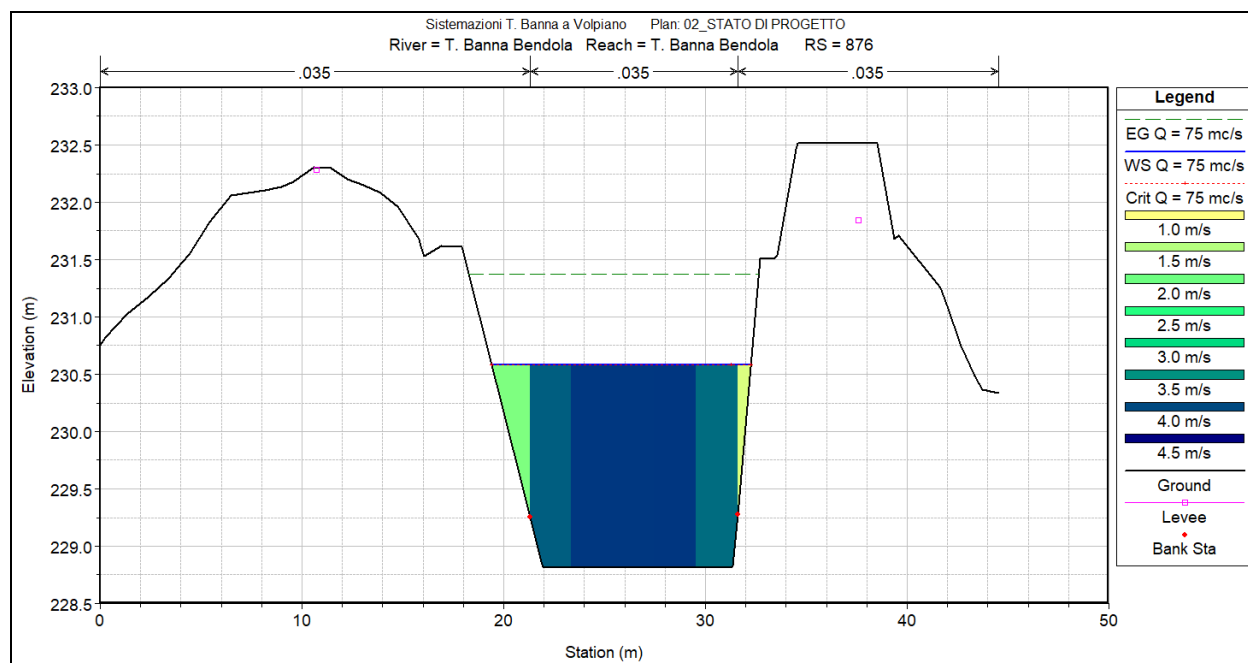


Figura 27 - Sezione idraulica di calcolo XS 1947

A valle della suddetta sezione le velocità si mantengono tra i 3 m/s ed i 45 m/s con battenti tra i 2 e 2,3 m.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

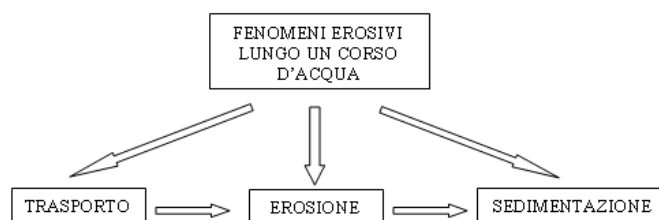
Progetto Esecutivo



6.4 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI

Il passaggio della corrente nelle condizioni di massima piena sulle sponde e sul fondo del rio potrebbe indurre un'azione erosiva potenzialmente in grado di movimentare le particelle costituenti lo strato superficiale del materiale detritico che costituisce il fondo mobile.

La valutazione del fenomeno erosivo indotto può essere condotta con ragionevole approssimazione adottando la trattazione teorica relativa al trasporto solido in condizioni di moto uniforme. In via del tutto generale, il fenomeno può essere ricondotto alla successione di tre eventi distinti, secondo la seguente schematizzazione:



I fattori predominanti che caratterizzano ciascuno dei tre equilibri idrodinamici sono costituiti dalle caratteristiche cinematiche della corrente impattante e dalla granulometria del materiale costituente il fondo dell'alveo. Il regime idrodinamico della corrente può essere espresso attraverso il valore della velocità media nella sezione di deflusso, mentre la granulometria del materiale sottoposto all'azione erosiva viene caratterizzata con il valore del diametro medio delle particelle.

Nella Figura 28 viene riportato il grafico proposto da Hjulström, che descrive il fenomeno erosivo di fondo per un corso d'acqua in funzione della velocità media della corrente e del diametro medio delle particelle costituenti l'alveo.

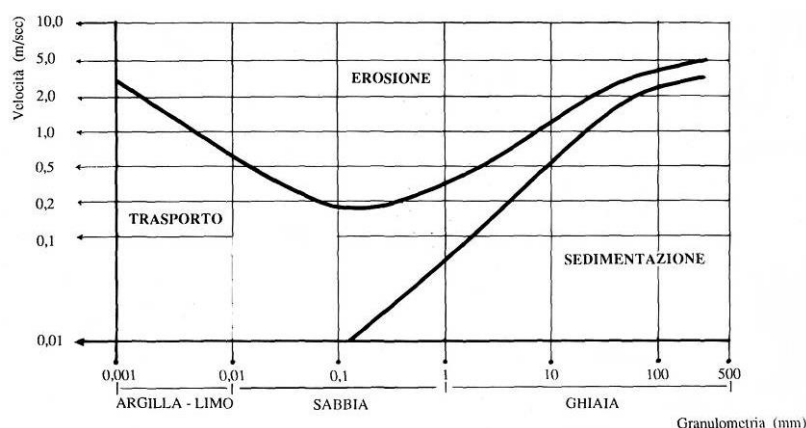


Figura 28 – Diagramma di Hjulström

Le problematiche legate al trasporto solido si riflettono sul corretto dimensionamento delle scogliere e dei massi costituenti le stesse.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

Per la verifica al trascinamento del materiale costituente le difese in progetto, occorre considerare l'azione di trascinamento della corrente e verificare la capacità di resistenza al deflusso dell'opera

Per l'analisi si possono utilizzare differenti metodologie di calcolo:

- analisi della condizione di moto incipiente, sulla base delle formulazioni di sforzo tangenziale critico proposte da Shield e poi modificate da diversi autori;
- formulazioni empiriche per le fondazioni di pietrame in scogliera tratte da "Bridge Scour" (Water Resources Publications, LLC, 2000) con particolare attenzione alla formulazione unificata proposta da Pilarczyk;
- formulazioni empiriche di Neill e Bogardi, funzioni delle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

6.4.1 Verifica secondo l'analisi di moto incipiente

L'analisi della condizione di moto incipiente è affrontata sotto l'aspetto dinamico, prendendo in considerazione l'azione di trascinamento esercitata dalla corrente sulle sponde dell'alveo. In particolare, la movimentazione del materiale sul fondo, come sulle sponde, è considerato un fenomeno dipendente dalla tensione di trascinamento τ , il cui valore minimo τ_c perché abbia inizio il suo moto, individua appunto la condizione critica.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente la sponda può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

dove:

- ✓ γ : peso specifico dell'acqua;
- ✓ R : raggio idraulico della sezione;
- ✓ i : pendenza del fondo alveo.

Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle vengono movimentate.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente il fondo dell'alveo può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot h \cdot i$$

dove:

- γ : peso specifico dell'acqua;
- h : altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- i : pendenza del fondo alveo.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle costituenti il fondo alveo (o in questo caso degli elementi costituenti la scogliera) vengono movimentate.

Nella condizione idraulica di micro-scabrezza (ovvero per tiranti idrici molto maggiori del diametro caratteristico delle particelle), il legame funzionale che esprime la tensione τ_c è:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = f(\text{Re}^*)$$

dove Re^* rappresenta il numero di Reynolds della corrente di fondo. La relazione precedente è stata ricavata da Shields (1936) ed è stata esplicitata dallo stesso autore attraverso un abaco (abaco di Shields). La funzione $f(\text{Re}^*)$ rappresenta un parametro adimensionale (parametro di Shields) dipendente dalle caratteristiche dei granuli, nonché ovviamente dal valore del numero di Re^* relativo alla velocità di attrito u^* .

In letteratura sono disponibili diverse formulazioni per la valutazione del parametro τ_c :

- Shields-Krey (1936), sviluppata per regimi di moto turbolento e in condizioni di $d \ll h$:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,06$$

- Zeller (1963), relativa a miscugli omogenei esclusivamente in regime turbolento:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,047$$

- Armanini (1990), applicabile per valori del diametro d confrontabili con il tirante idrico della corrente h (condizioni di sommergezza bassa):

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,06 \cdot \left[1 + 0,67 \left(\frac{d}{h} \right)^{0,5} \right]$$

- Egiazaroff (1950), applicabile per miscugli non omogenei in regime esclusivamente turbolento:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \frac{0,1}{\left[\text{Log} \left(19 \frac{d}{d_{50}} \right) \right]^2}$$



- Kalinske, espressione che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante un effetto di mutuo incastro delle particelle

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,116$$

Per il dimensionamento degli elementi costituenti la scogliera, la formulazione che meglio approssima le condizioni in esame è quella di Kalinske, rappresentativa del mutuo incastro delle particelle.

6.4.2 Metodologia proposta da Pilarczyk (1997)

La stabilità delle opere con massi non cementati è comunemente espressa in termini di numero di stabilità N_{sc} :

$$N_{sc} = \frac{v_{rc}^2}{g(S_s - 1)d_r}$$

dove:

- v_{rc} è la velocità critica di trascinamento del masso;
- d_r la dimensione del masso della difesa;
- S_s il peso specifico dei massi.

Esprimendo la v_{rc} con l'equazione di Manning-Strickler e la funzione di Shields; per materiale grossolano ($d_r > 6$ mm) θ_c è posta pari a 0,056 e si ha:

$$N_{sc} = 3.29 \left(\frac{d_r}{y} \right)^{-0.33}$$

I fattori principali per il dimensionamento delle opere sono la dimensione dei massi, la forma dei massi, le caratteristiche di turbolenza che presenta la corrente, la velocità di deflusso ed il battente idraulico, oltre ovviamente alla pendenza del fondo alveo. Tra tutte le formule esistenti in letteratura, la letteratura moderna (Melville B. W, 2000) consiglia di utilizzare quella più recente di Pilarczyk (1997):

$$d_n = \frac{1}{S_s - 1} \cdot \phi_c \cdot K_t \cdot \frac{0,035}{\theta_c} \cdot \frac{K_h}{K_{sl}} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

dove: d_n è il diametro caratteristico del materiale costituente la scogliera; θ_c il *critical shear stress*, pari a 0,035 per strutture in massi; ϕ_c è lo *stability factor*, che nel caso di protezioni continue ha un valore variabile tra 0,5 e 0,75; K_t è il *turbulence factor* pari a 1,00 nel caso di fiumi; K_h è il *velocity profile factor* dato da:



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



$$K_h = \left(1 + \frac{y}{d_n}\right)^{-0.2}$$

e K_{sl} è il bank slope factor, che nel caso in esame può essere assunto pari a 0,7 nel caso in esame.

Come accennato precedentemente, la Formulazione Unificata di Pilarczyk, combina numerose formulazioni empiriche per misure di protezione degli alvei. Si riporta nel seguito una tabella riassuntiva delle principali formulazioni analizzate e prese a riferimento da Pilarczyk.

6.4.3 Formulazioni empiriche di Neill e Bogardi

Una ulteriore metodologia di indagine considera l'azione di trascinamento della corrente e la capacità di resistenza al deflusso del medesimo.

La determinazione quantitativa del fenomeno erosivo lungo l'alveo di un corso d'acqua può quindi essere affrontata facendo riferimento allo studio della condizione di moto incipiente, ovvero della condizione di equilibrio limite di una particella solida sottoposta all'azione di trascinamento di una corrente.

Tale condizione può essere risolta ricorrendo a equazioni di equilibrio, in cui compaiono i valori critici delle variabili del moto: in particolare, si fa riferimento alla velocità critica della corrente V_c , definita come il valore medio della velocità della corrente che discrimina lo stato fisico di moto delle particelle solide costituenti l'alveo fluviale. In letteratura sono presenti diversi approcci per la valutazione della velocità critica di trascinamento, sostanzialmente riconducibili a due tipologie. Quello assunto alla base delle seguenti analisi fornisce una relazione analitica che, sebbene semplificata, permette di tenere in considerazione anche le caratteristiche idrodinamiche della corrente. Seguendo l'approccio analitico, è possibile ottenere un legame funzionale tra la velocità critica della corrente, le caratteristiche fisiche del materiale (peso specifico e diametro medio caratteristico) e le caratteristiche idrodinamiche (viscosità dell'acqua, altezza della corrente). Tralasciando la trattazione analitica del problema, l'espressione finale della velocità critica della corrente V_c può essere espressa mediante la seguente espressione analitica proposta da Neill nel 1967:

$$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$$

dove:

- γ_s = peso specifico delle degli elementi lapidei costituenti la scogliera;
- γ = peso specifico dell'acqua;
- h = altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- d = diametro medio delle particelle costituenti la scogliera.

COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Una seconda formulazione per il calcolo della velocità critica della corrente V_c è quella proposta da Bogardi, sintetizzando le esperienze condotte da differenti autori.

$$V_c = 6.84 \cdot h^{0.095} \cdot d^{0.405}$$

I valori dei battenti e delle velocità rappresentativi delle condizioni in corrispondenza delle sezioni di progetto si sono determinate tramite le simulazioni idrauliche condotte e descritte precedentemente. Tramite le suddette formulazioni si definisce la dimensione media dei massi da impiegare per la realizzazione ed il ripristino delle scogliere, secondo le due metodologie descritte (Tabella 7).

Tabella 6 – Caratteristiche della corrente in piena per la verifica al trascinamento dei massi

Intervento	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Hw (m)
AREA INTERVENTO SOGLIA	2001	200	75	237.03	238.74	239.52	4.44	1.51
	1975	200	75	236.47	238.33	239.08	3.99	1.75
	1915	200	75	236.12	238.06	238.57	3.26	1.91
	1890	200	75	235.95	237.78	238.4	3.58	1.83
AREA INTERVENTO SACRIMA	930	200	75	229.17	231.22	231.74	3.34	2.02
	900	200	75	229.02	231.1	231.57	3.28	2.07
	876	200	75	228.81	230.59	231.37	4	1.75
	850	200	75	228.59	230.67	231.08	2.89	2.01
	828	200	75	228.39	230.44	230.97	3.31	2.03

Tabella 7 – Verifica del diametro delle scogliere secondo le metodologie di Neill e Bogardi

SEZIONE 2001				SEZIONE 1975			
CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA				CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA			
Formula di Neill		Formula di Bogardi		Formula di Neill		Formula di Bogardi	
$V_c = \left[2.5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0.5} h^{0.1} d^{0.4}$		$V_c = 6.84 \cdot h^{0.095} \cdot d^{0.405}$		$V_c = \left[2.5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0.5} h^{0.1} d^{0.4}$		$V_c = 6.84 \cdot h^{0.095} \cdot d^{0.405}$	
VcNeill (m/s)	D tura (m)	v (m/s)	VERIF.	Vc Bogardi (m/s)	D scogliera (m)	v (m/s)	VERIF.
3.5	0.2	4.4	EROS.	3.7	0.2	4.4	EROS.
4.2	0.3	4.4	EROS.	4.4	0.3	4.4	EROS.
4.7	0.4	4.4	STAB.	4.9	0.4	4.4	STAB.
5.1	0.5	4.4	STAB.	5.4	0.5	4.4	STAB.
5.5	0.6	4.4	STAB.	5.8	0.6	4.4	STAB.
5.8	0.7	4.4	STAB.	6.2	0.7	4.4	STAB.
6.2	0.8	4.4	STAB.	6.5	0.8	4.4	STAB.
6.5	0.9	4.4	STAB.	6.8	0.9	4.4	STAB.
6.7	1	4.4	STAB.	7.1	1	4.4	STAB.
7.0	1.1	4.4	STAB.	7.4	1.1	4.4	STAB.
3.6	0.2	4.0	EROS.	5.0	0.4	4.0	STAB.
4.2	0.3	4.0	STAB.	5.4	0.5	4.0	STAB.
4.7	0.4	4.0	STAB.	5.9	0.6	4.0	STAB.
5.2	0.5	4.0	STAB.	6.2	0.7	4.0	STAB.
5.6	0.6	4.0	STAB.	6.6	0.8	4.0	STAB.
5.9	0.7	4.0	STAB.	6.9	0.9	4.0	STAB.
6.2	0.8	4.0	STAB.	7.2	1	4.0	STAB.
6.5	0.9	4.0	STAB.	7.5	1.1	4.0	STAB.
6.8	1	4.0	STAB.	7.8	1.2	4.0	STAB.
7.1	1.1	4.0	STAB.	8.0	1.3	4.0	STAB.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



SEZIONE 1915				SEZIONE 1890			
CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA				CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA			
Formula di Neill		Formula di Bogardi		Formula di Neill		Formula di Bogardi	
$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$		$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$	
VcNeill (m/s)	D tura (m)	v (m/s)	VERIF.	Vc Bogardi (m/s)	D scogliera (m)	v (m/s)	VERIF.
2.7	0.1	3.3	EROS.	2.9	0.1	3.3	EROS.
3.6	0.2	3.3	STAB.	3.8	0.2	3.3	STAB.
4.3	0.3	3.3	STAB.	4.5	0.3	3.3	STAB.
4.8	0.4	3.3	STAB.	5.0	0.4	3.3	STAB.
5.2	0.5	3.3	STAB.	5.5	0.5	3.3	STAB.
5.6	0.6	3.3	STAB.	5.9	0.6	3.3	STAB.
6.0	0.7	3.3	STAB.	6.3	0.7	3.3	STAB.
6.3	0.8	3.3	STAB.	6.6	0.8	3.3	STAB.
6.6	0.9	3.3	STAB.	7.0	0.9	3.3	STAB.
6.9	1	3.3	STAB.	7.3	1	3.3	STAB.
SEZIONE 930				SEZIONE 900			
CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA				CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA			
Formula di Neill		Formula di Bogardi		Formula di Neill		Formula di Bogardi	
$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$		$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$	
VcNeill (m/s)	D tura (m)	v (m/s)	VERIF.	Vc Bogardi (m/s)	D scogliera (m)	v (m/s)	VERIF.
2.8	0.1	3.3	EROS.	2.9	0.1	3.3	EROS.
3.6	0.2	3.3	STAB.	3.8	0.2	3.3	STAB.
4.3	0.3	3.3	STAB.	4.5	0.3	3.3	STAB.
4.8	0.4	3.3	STAB.	5.0	0.4	3.3	STAB.
5.2	0.5	3.3	STAB.	5.5	0.5	3.3	STAB.
5.6	0.6	3.3	STAB.	5.9	0.6	3.3	STAB.
6.0	0.7	3.3	STAB.	6.3	0.7	3.3	STAB.
6.3	0.8	3.3	STAB.	6.7	0.8	3.3	STAB.
6.6	0.9	3.3	STAB.	7.0	0.9	3.3	STAB.
6.9	1	3.3	STAB.	7.3	1	3.3	STAB.
SEZIONE 876				SEZIONE 850			
CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA				CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA			
Formula di Neill		Formula di Bogardi		Formula di Neill		Formula di Bogardi	
$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$		$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$	
VcNeill (m/s)	D tura (m)	v (m/s)	VERIF.	Vc Bogardi (m/s)	D scogliera (m)	v (m/s)	VERIF.
5.2	0.5	4.0	STAB.	5.4	0.5	4.0	STAB.
5.6	0.6	4.0	STAB.	5.9	0.6	4.0	STAB.
5.9	0.7	4.0	STAB.	6.2	0.7	4.0	STAB.
6.2	0.8	4.0	STAB.	6.6	0.8	4.0	STAB.
6.5	0.9	4.0	STAB.	6.9	0.9	4.0	STAB.
6.8	1	4.0	STAB.	7.2	1	4.0	STAB.
7.1	1.1	4.0	STAB.	7.5	1.1	4.0	STAB.
7.3	1.2	4.0	STAB.	7.8	1.2	4.0	STAB.
7.6	1.3	4.0	STAB.	8.0	1.3	4.0	STAB.
7.8	1.4	4.0	STAB.	8.3	1.4	4.0	STAB.
SEZIONE 850				SEZIONE 850			
CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA				CALCOLO DELLA VELOCITA' DI TRASCINAMENTO CRITICA			
Formula di Neill		Formula di Bogardi		Formula di Neill		Formula di Bogardi	
$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$		$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$		$V_c = 6,84 \cdot h^{0,095} \cdot d^{0,405}$	
VcNeill (m/s)	D tura (m)	v (m/s)	VERIF.	Vc Bogardi (m/s)	D scogliera (m)	v (m/s)	VERIF.
5.2	0.5	2.9	STAB.	5.5	0.5	2.9	STAB.
5.6	0.6	2.9	STAB.	5.9	0.6	2.9	STAB.
6.0	0.7	2.9	STAB.	6.3	0.7	2.9	STAB.
6.3	0.8	2.9	STAB.	6.7	0.8	2.9	STAB.
6.6	0.9	2.9	STAB.	7.0	0.9	2.9	STAB.
6.9	1	2.9	STAB.	7.3	1	2.9	STAB.
7.2	1.1	2.9	STAB.	7.6	1.1	2.9	STAB.
7.4	1.2	2.9	STAB.	7.9	1.2	2.9	STAB.
7.7	1.3	2.9	STAB.	8.1	1.3	2.9	STAB.
7.9	1.4	2.9	STAB.	8.4	1.4	2.9	STAB.

Come si evidenzia dalla Tabella 7 secondo le formulazioni di Neill e Bogardi si ha la verifica dei massi previsti per il dimensionamento delle scogliere con diametri caratteristici di circa 40 cm di diametro.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



In ogni caso, ai fini cautelativi, è prevista la realizzazione delle scogliere con massi di terza categoria, secondo quanto specificato nel dettaglio negli elaborati grafici di progetto.



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



ALLEGATI



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



ALLEGATO 1

– Planimetria di ubicazione delle sezioni di calcolo



COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

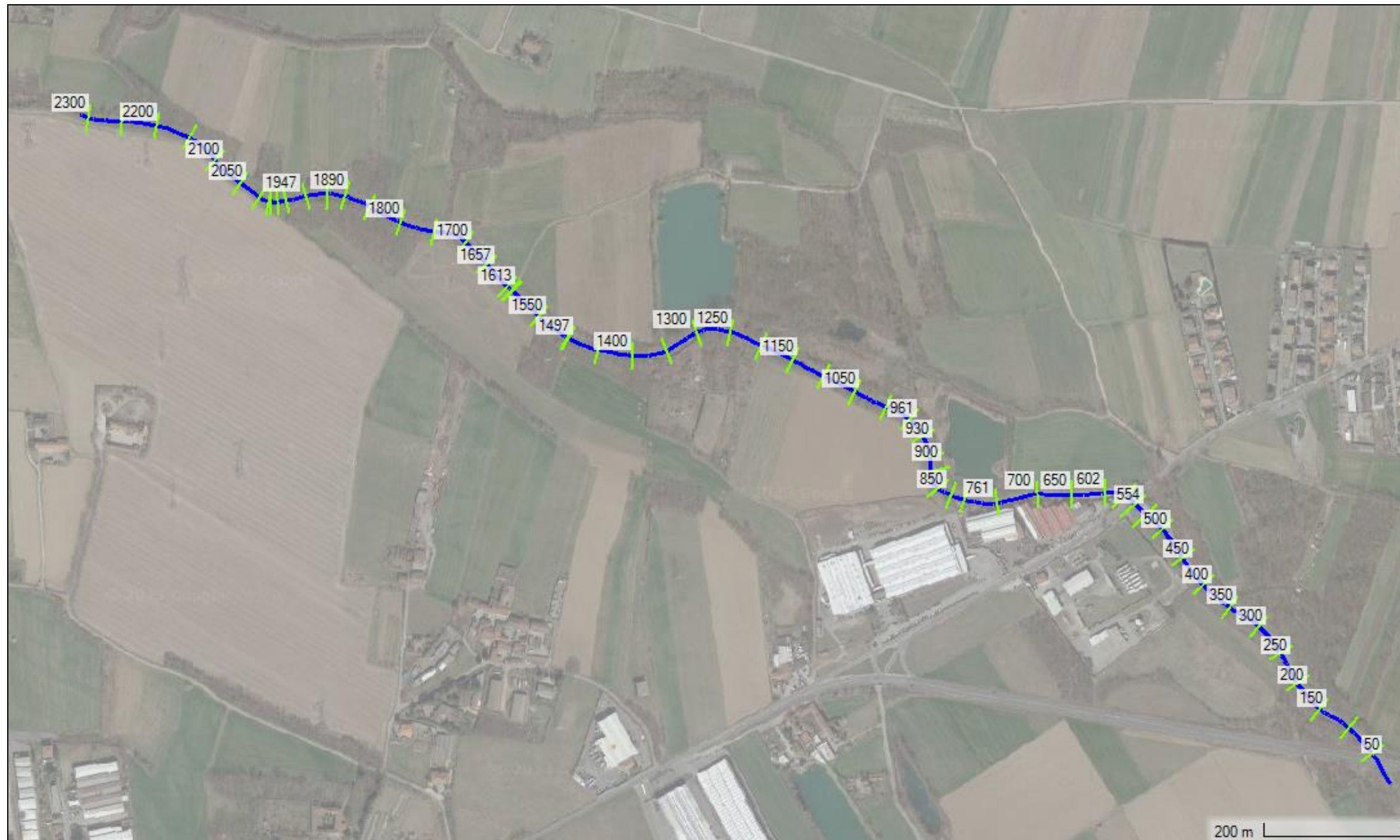
Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

SRIA
S.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO





COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo

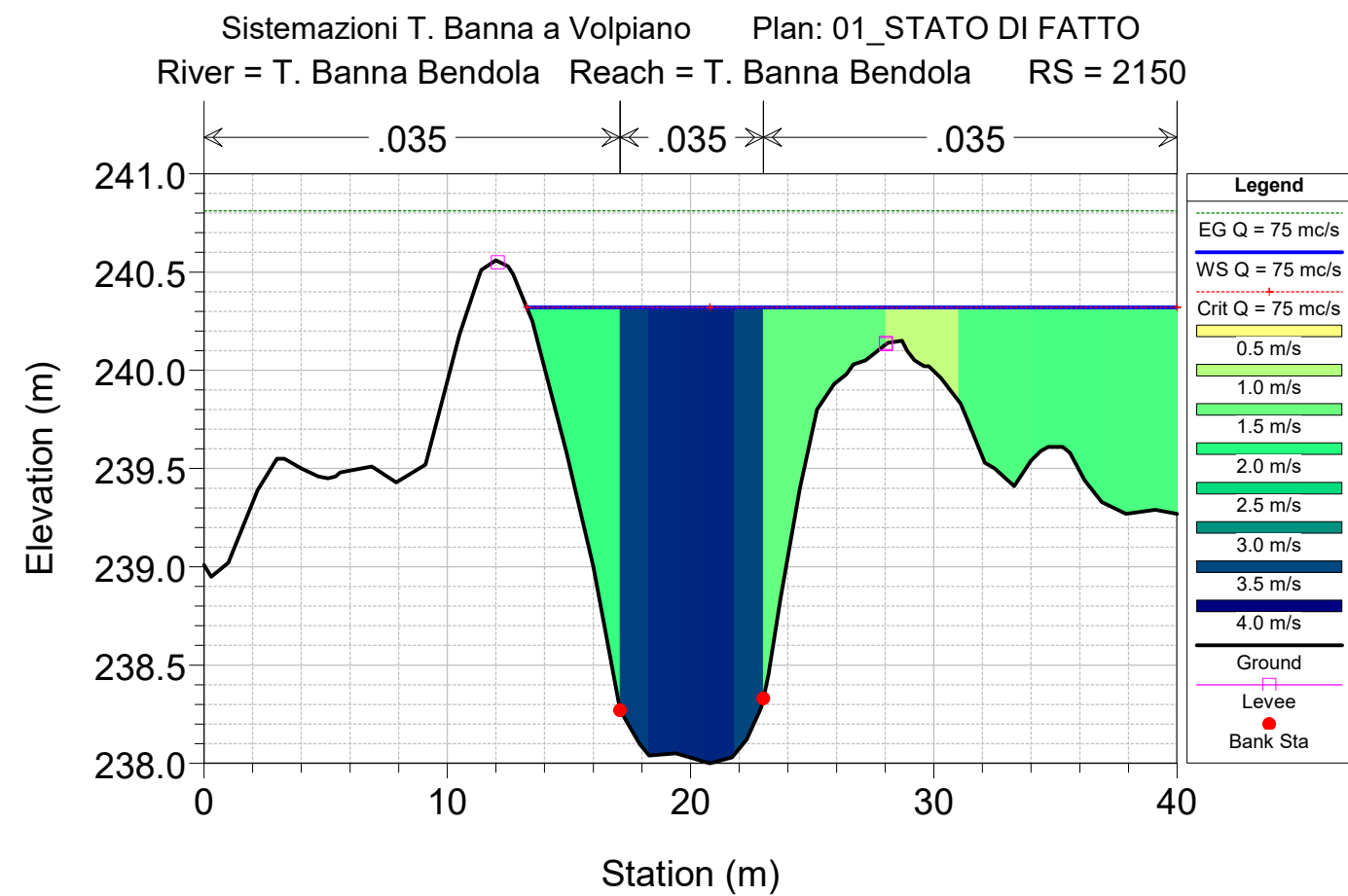
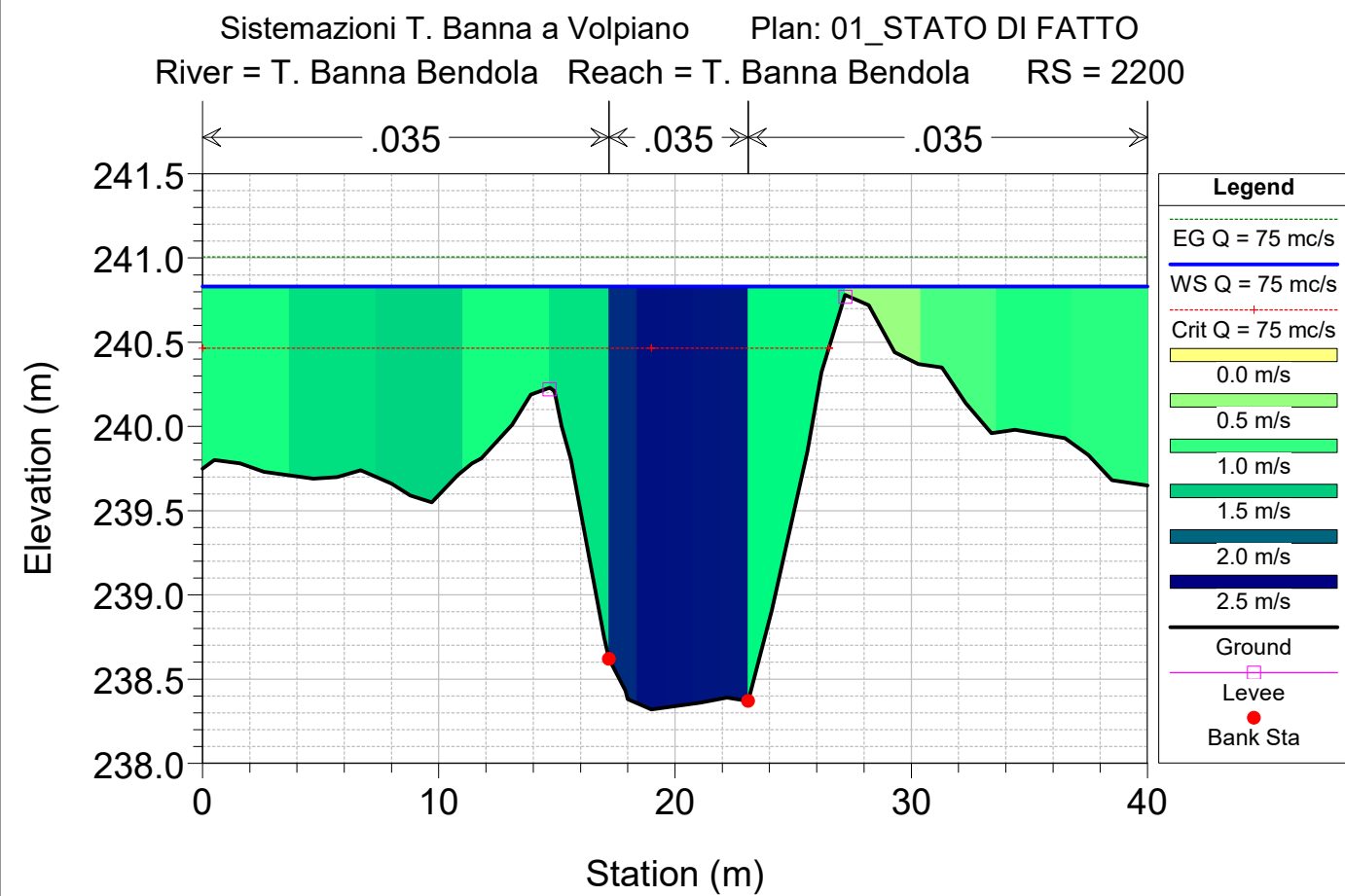
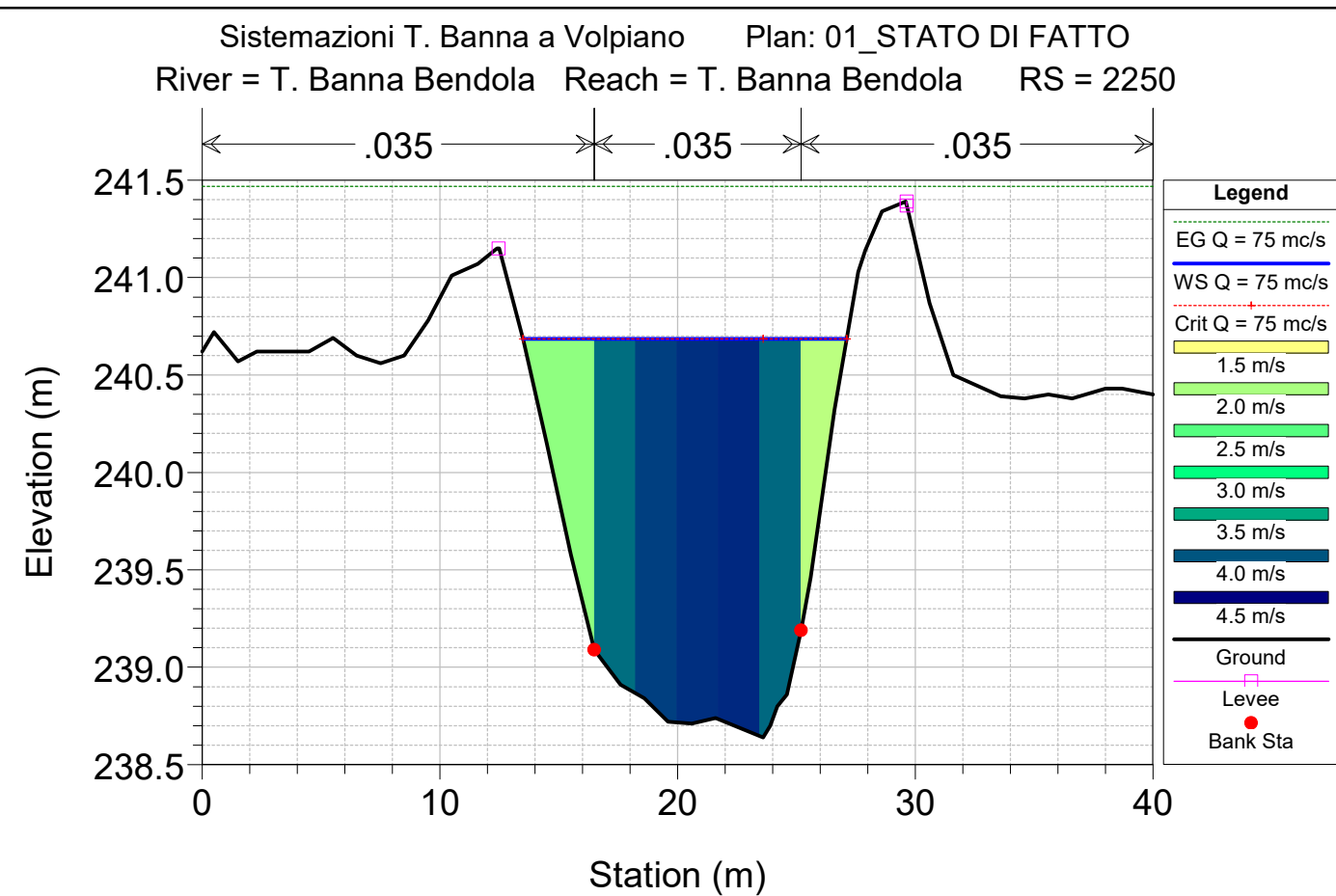
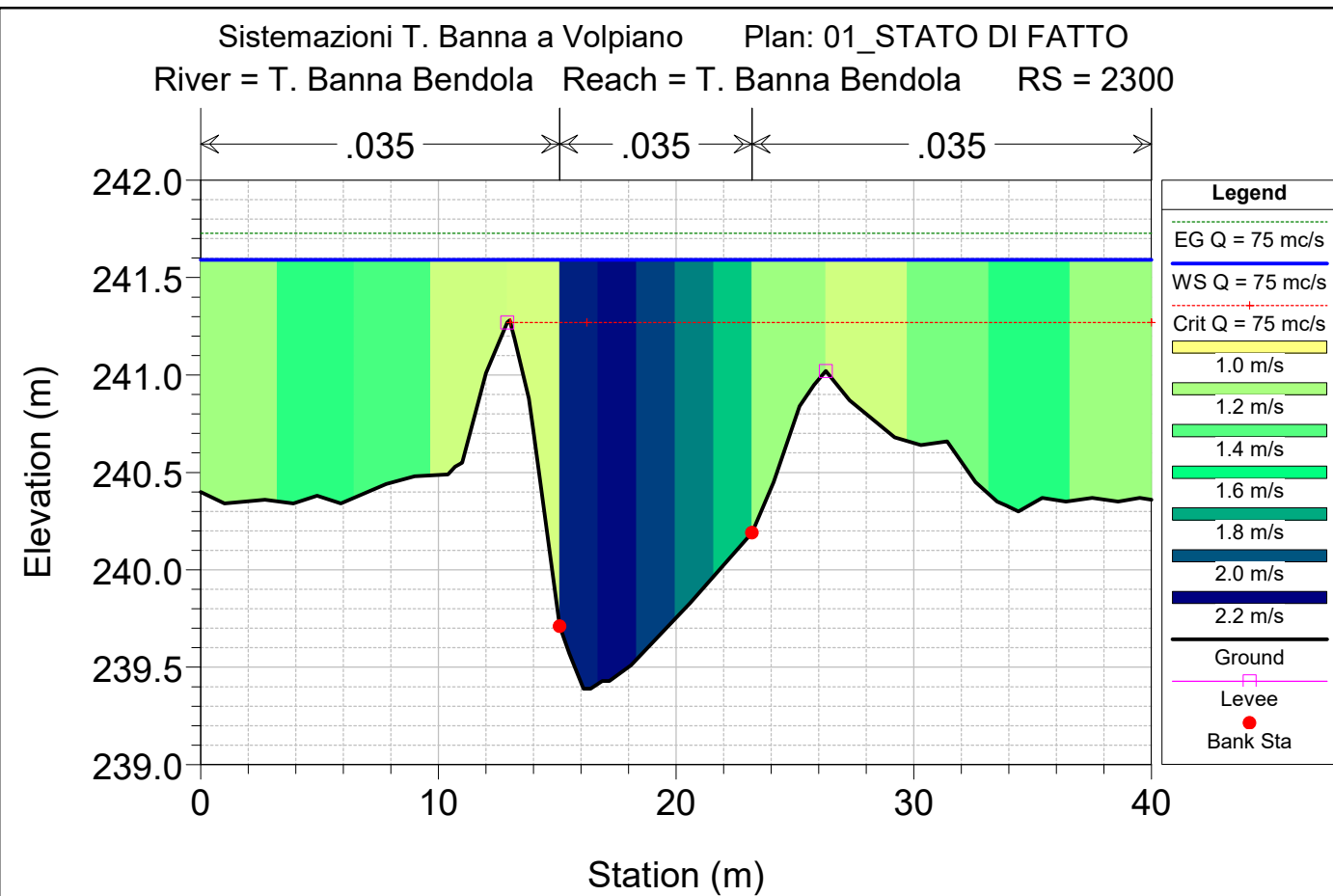


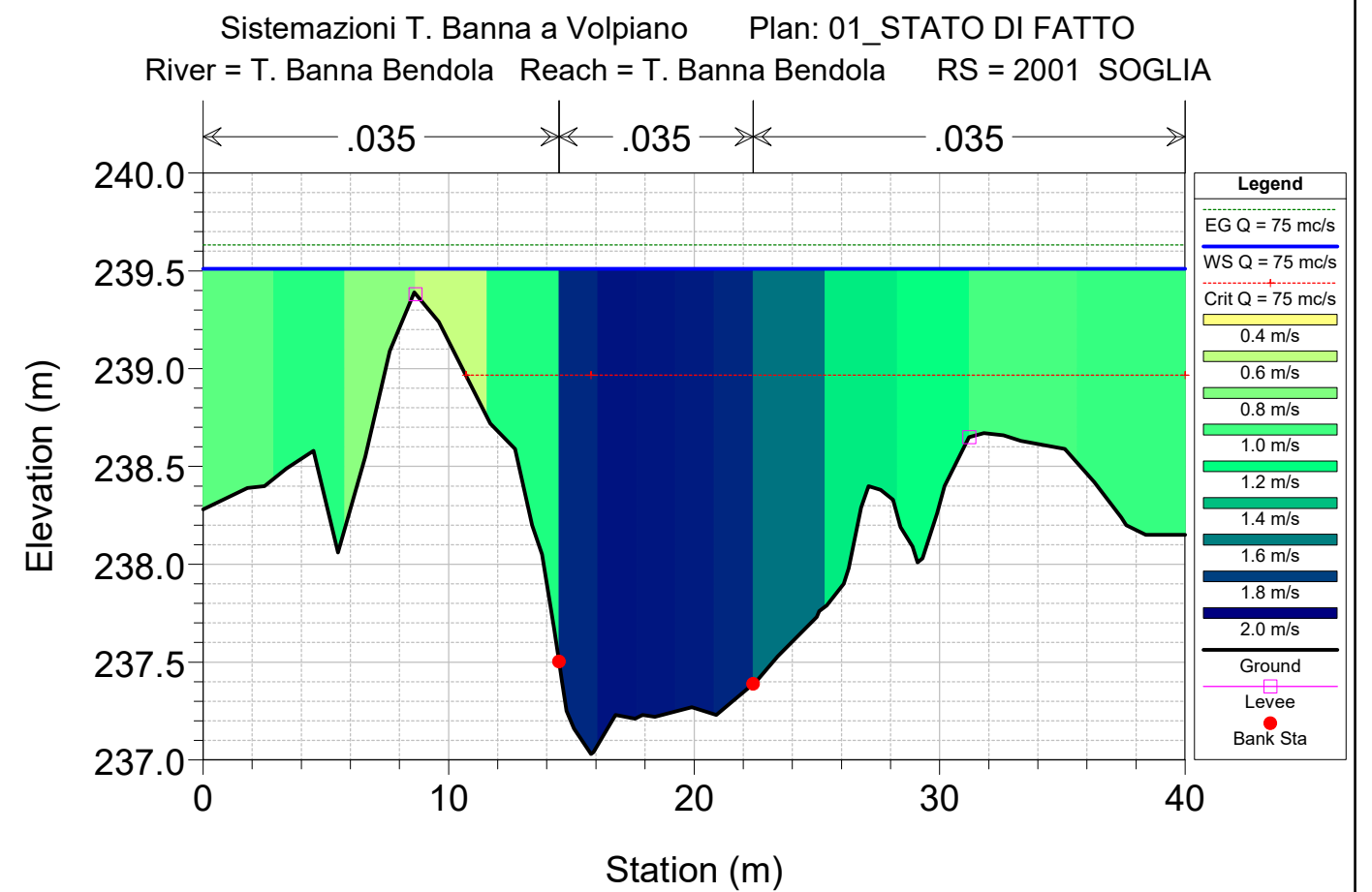
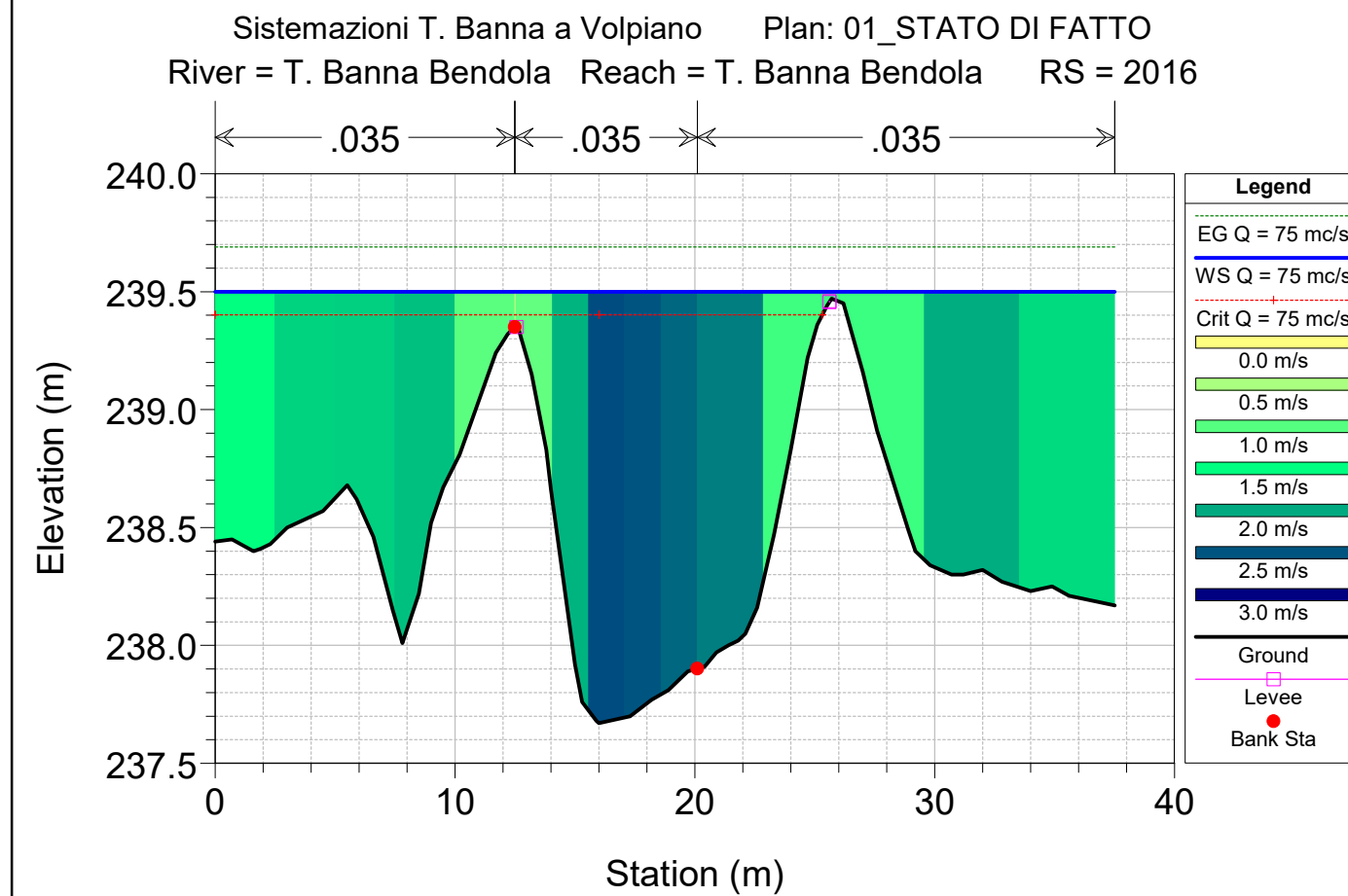
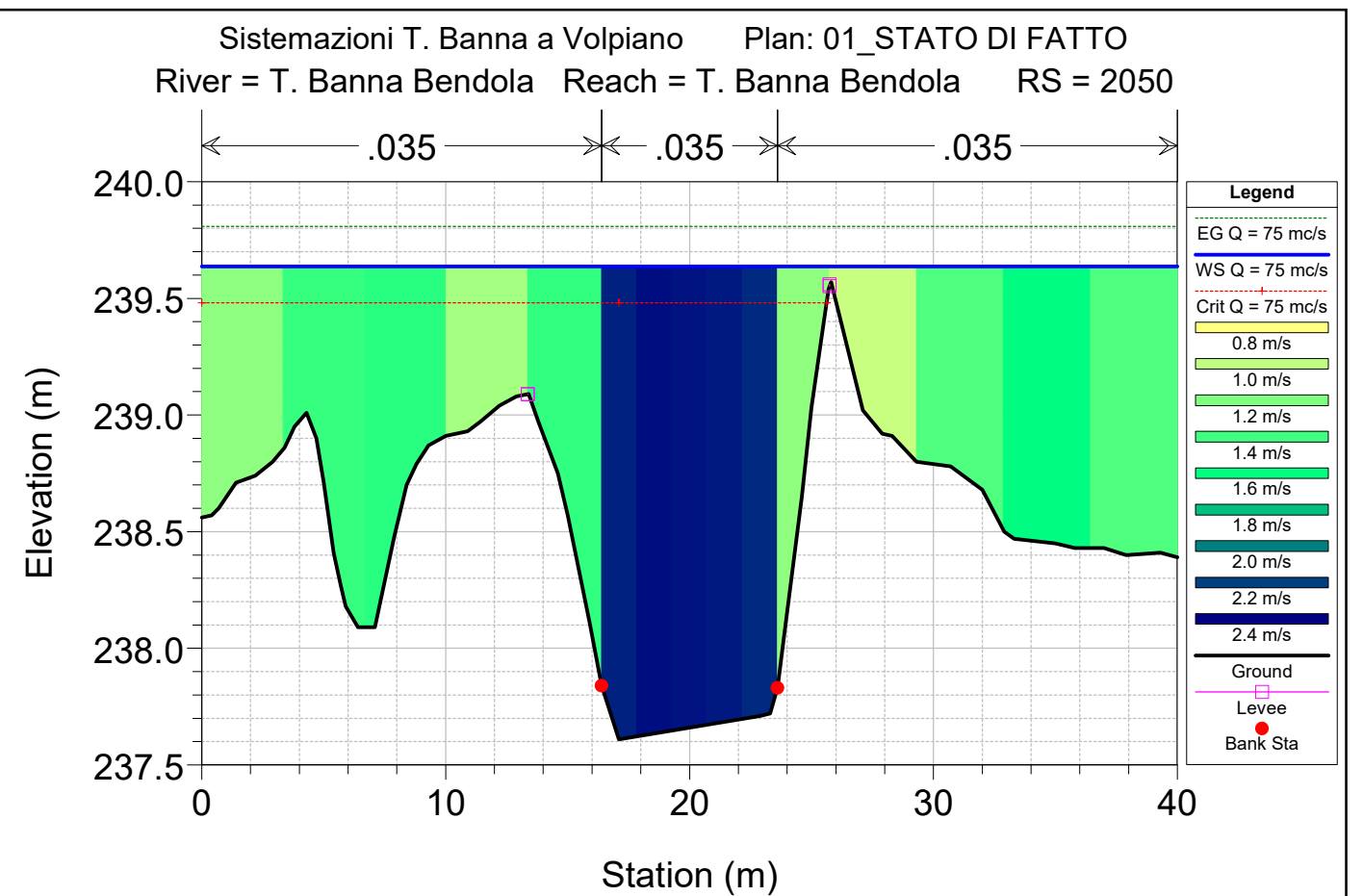
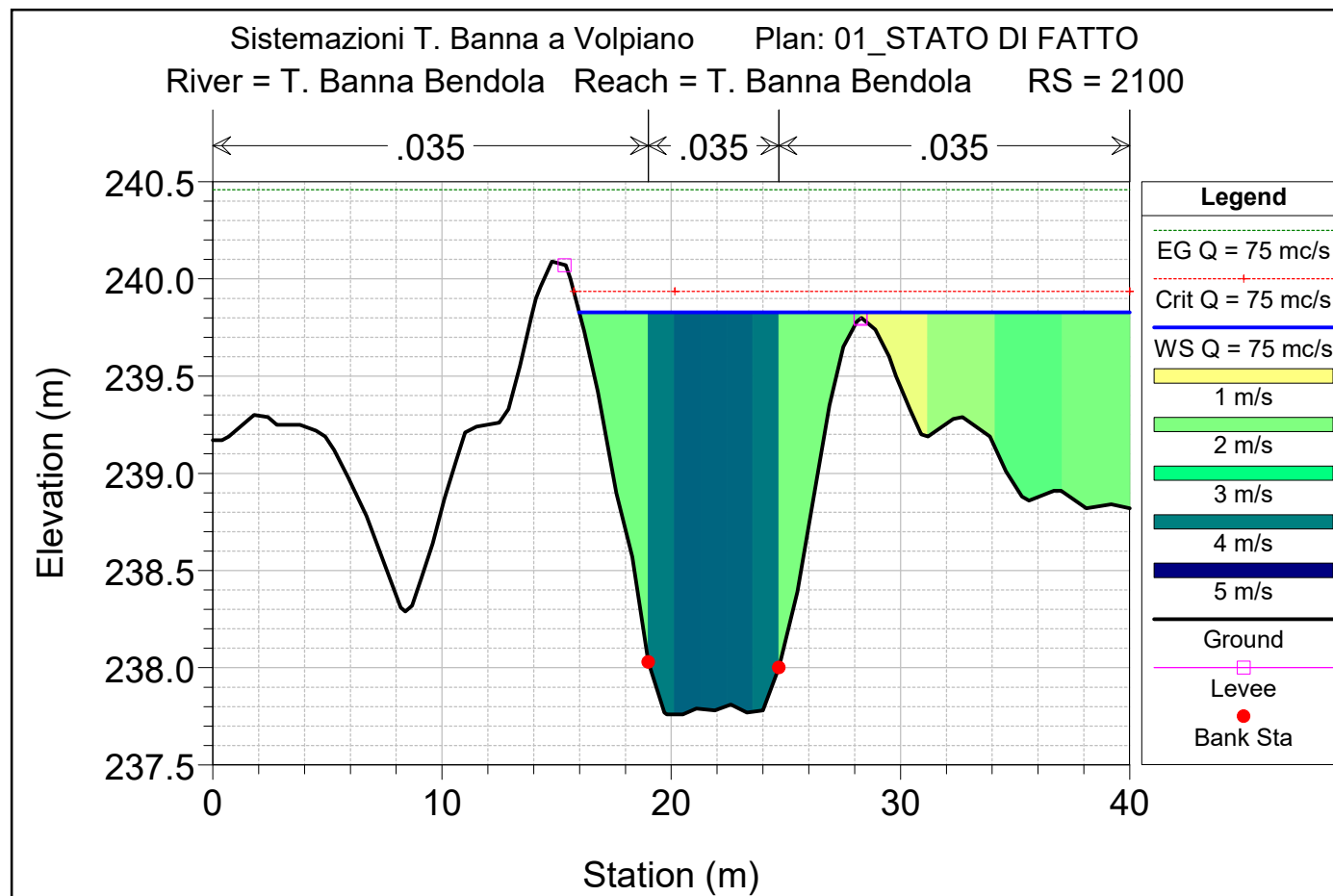
Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

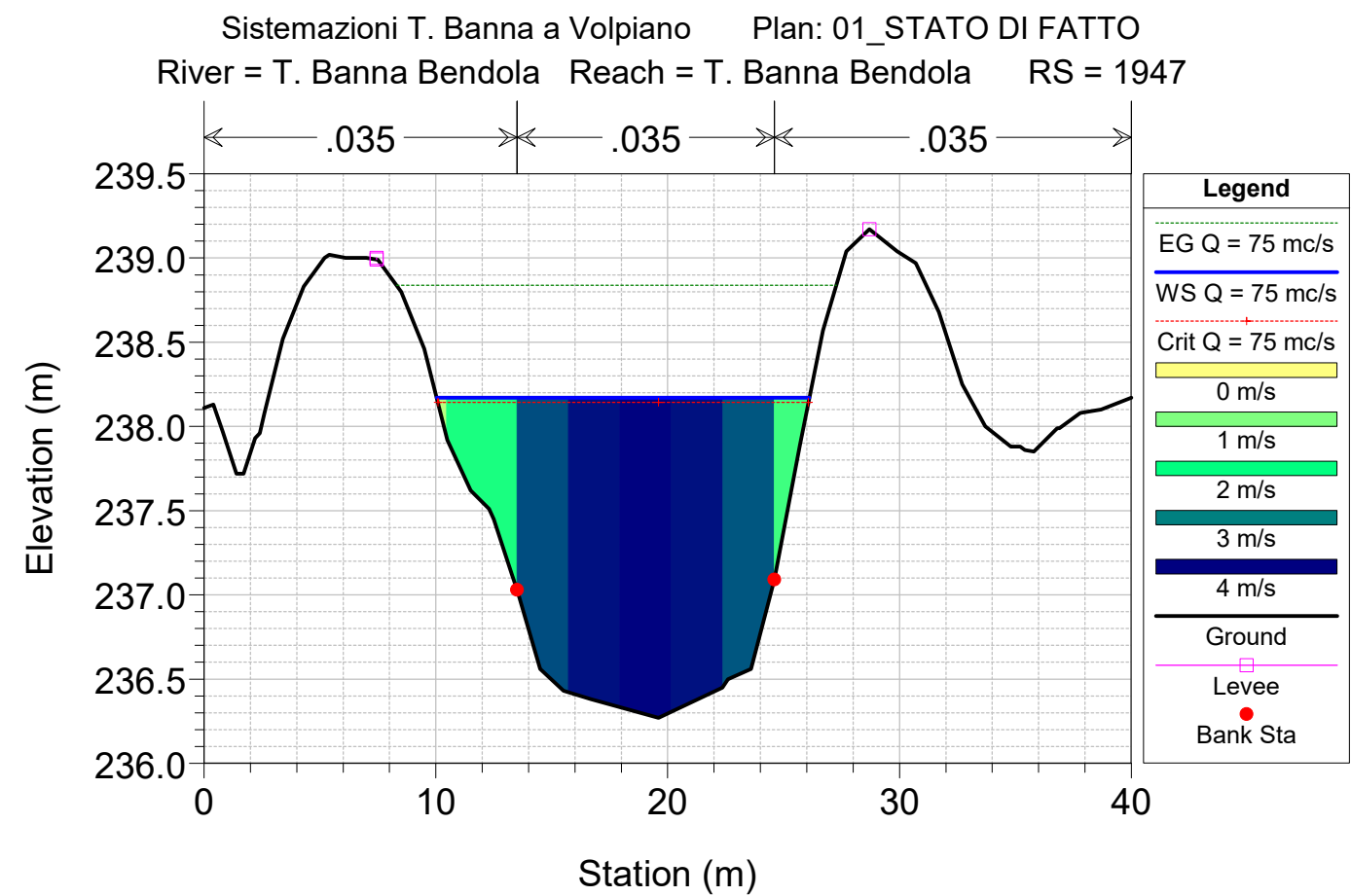
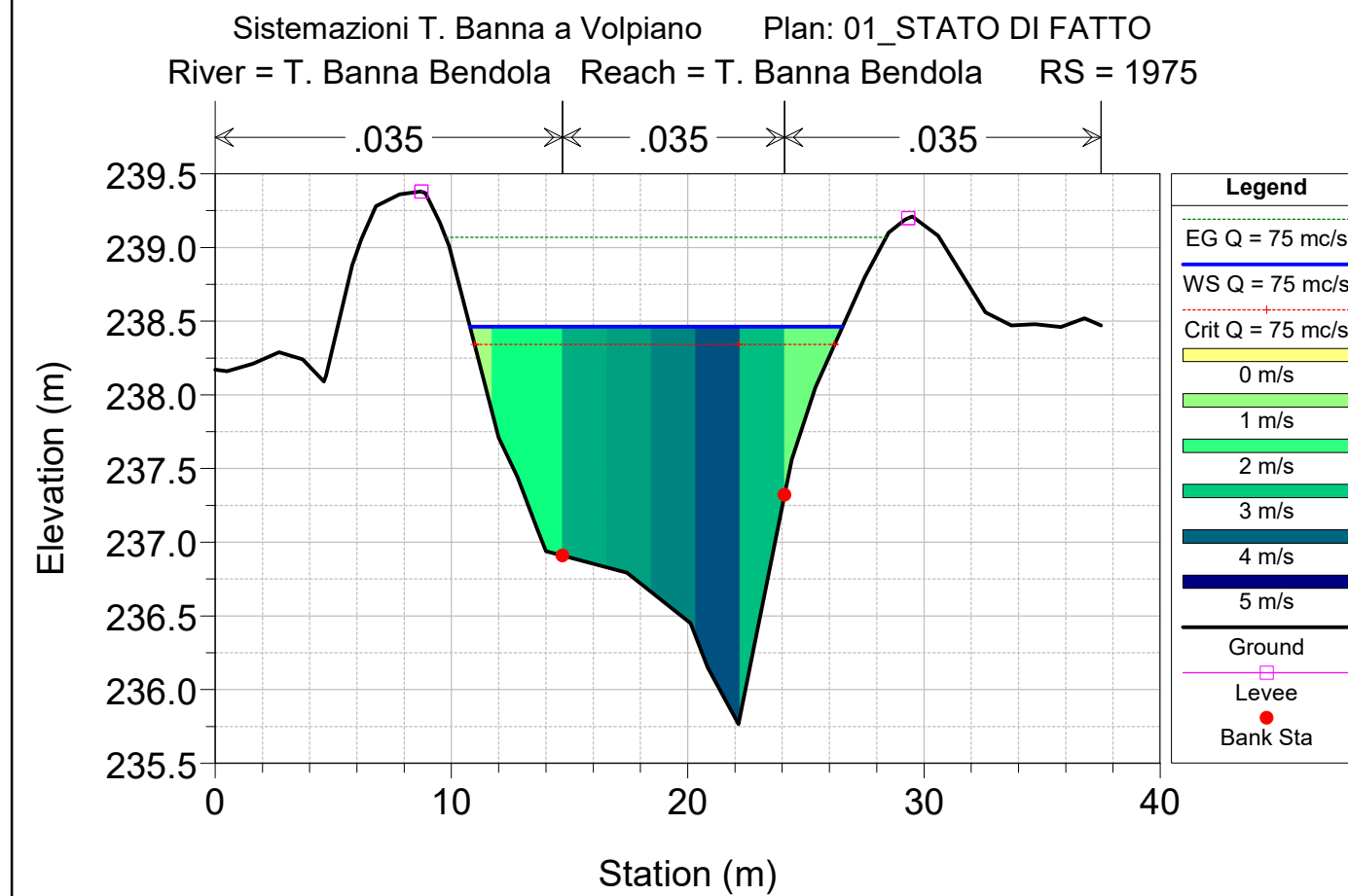
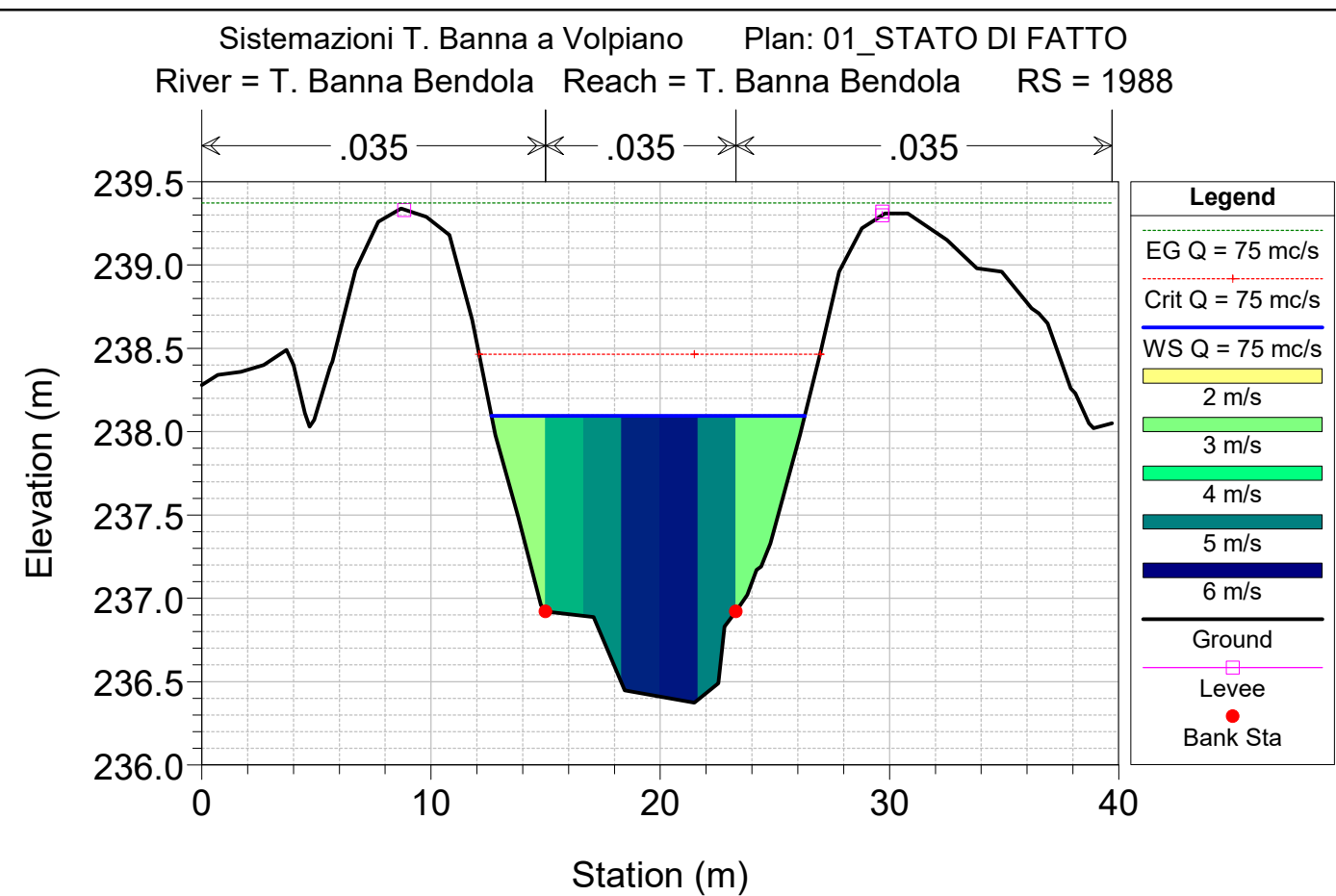
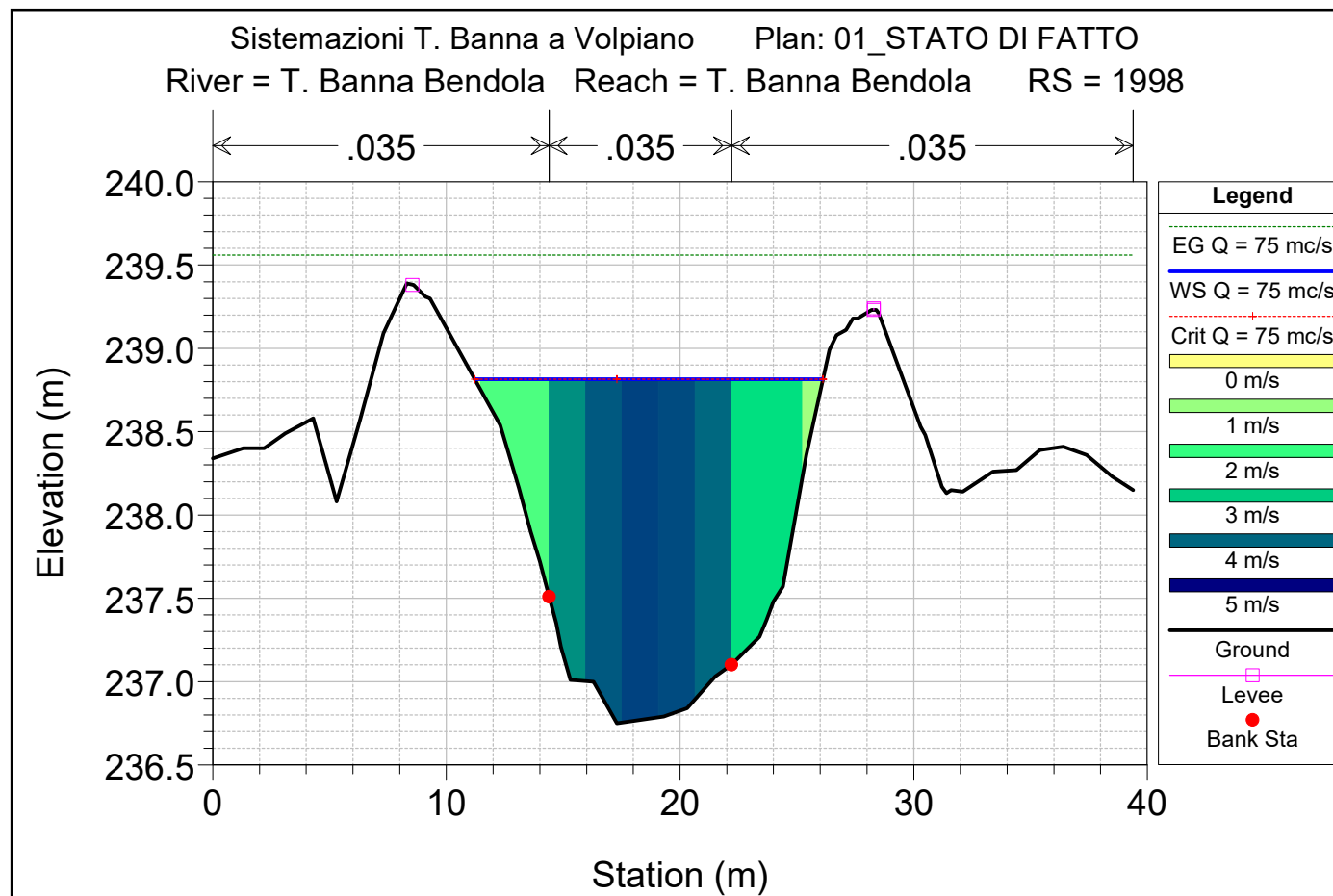


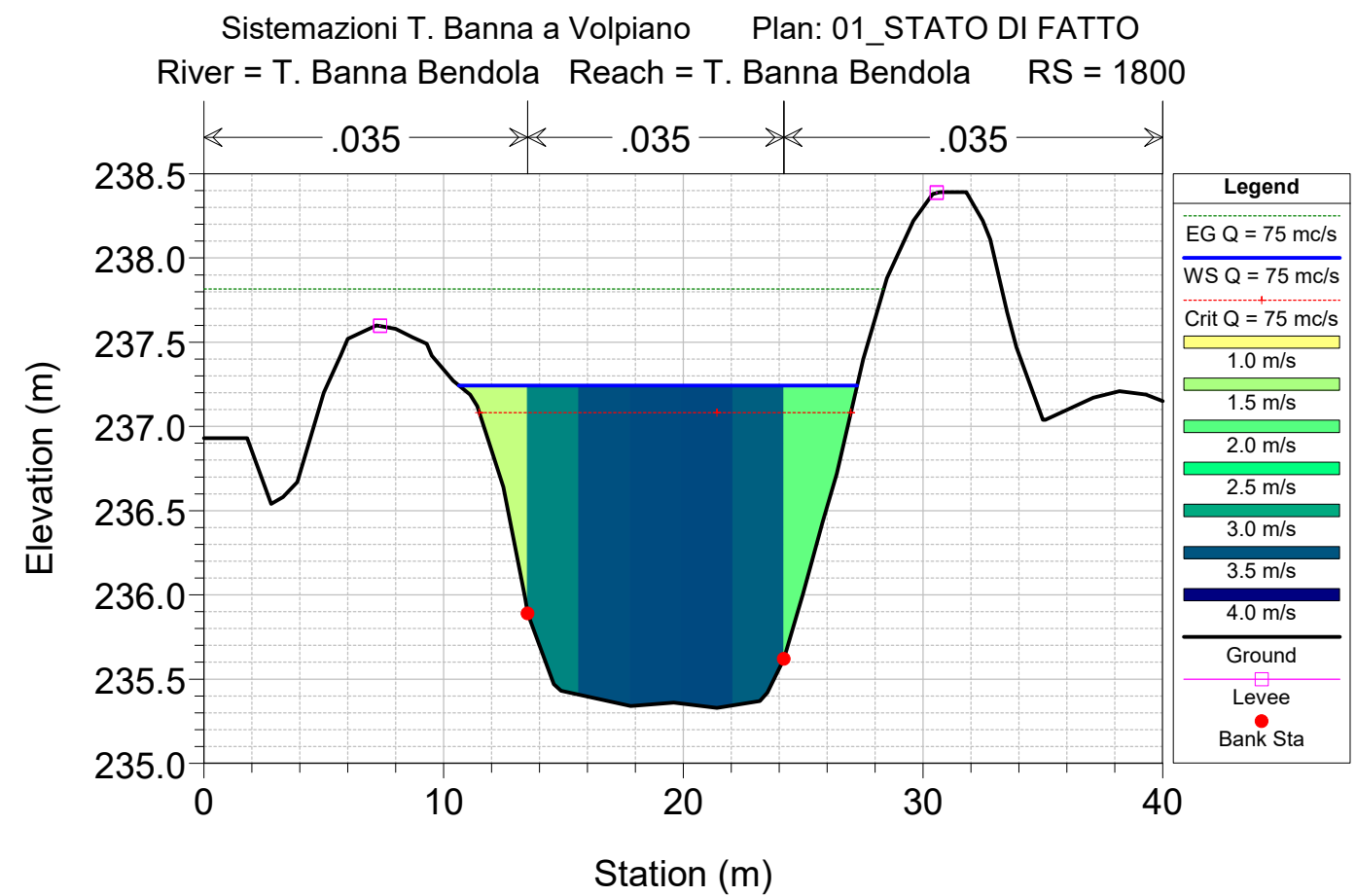
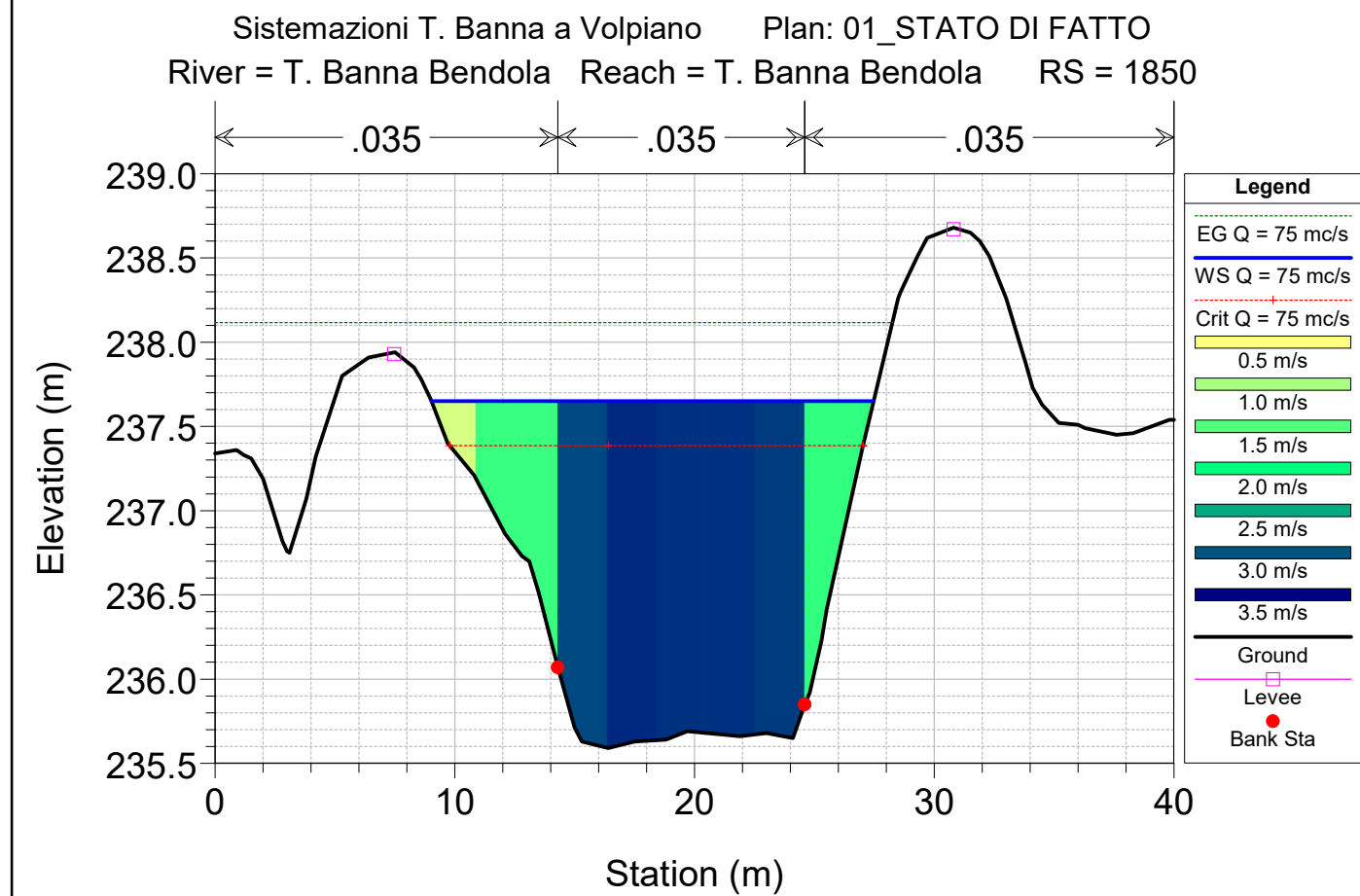
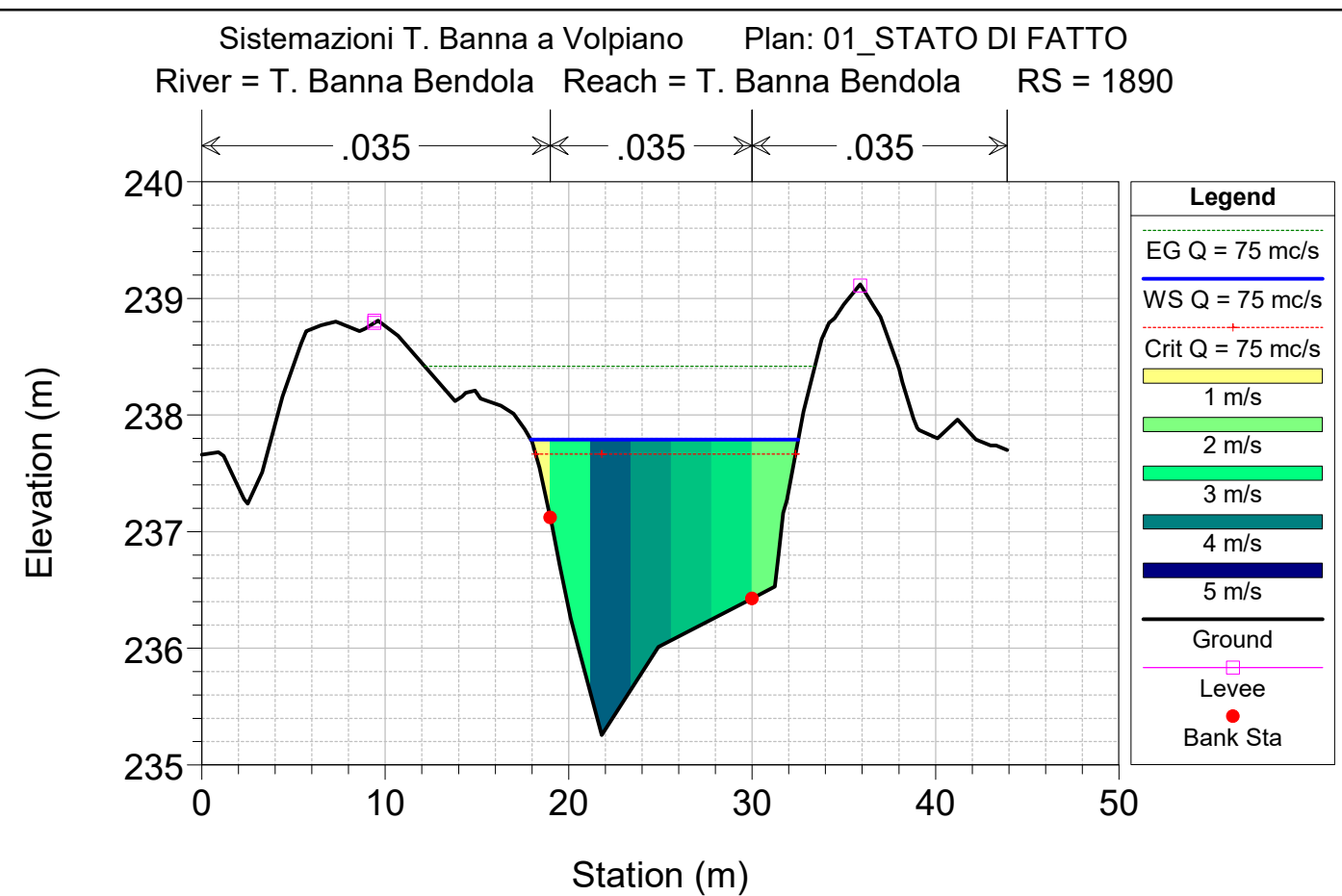
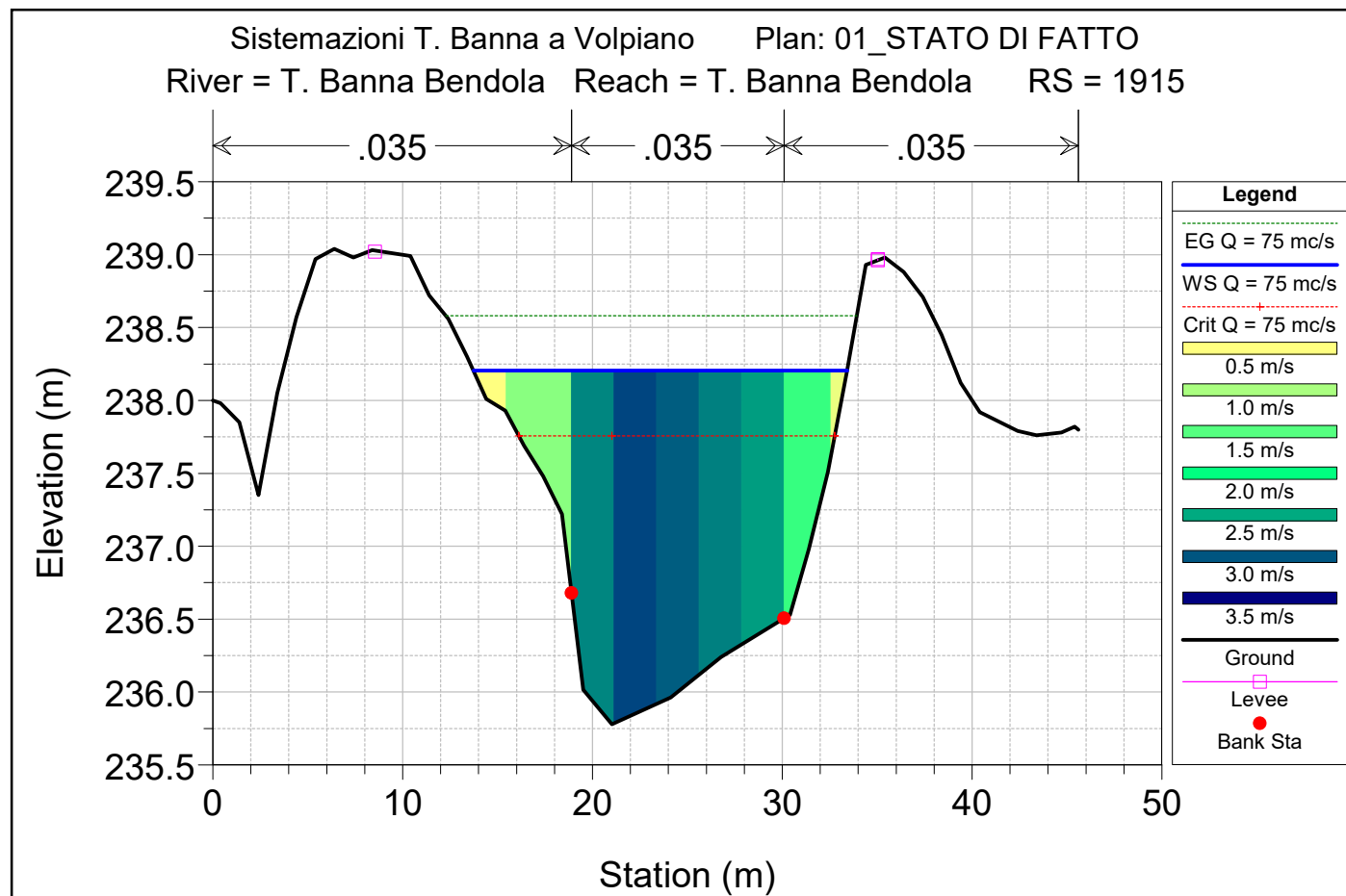
ALLEGATO 2

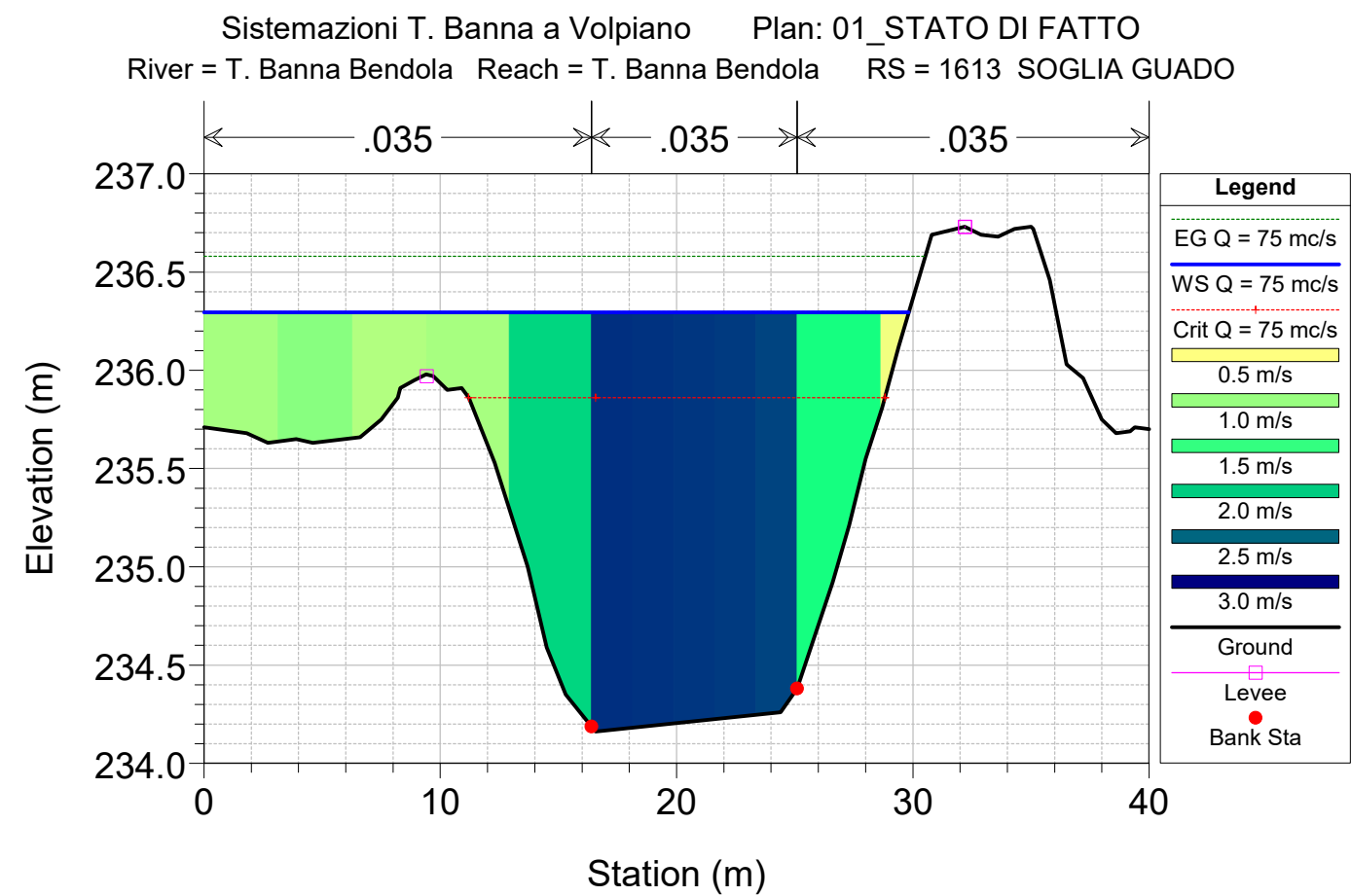
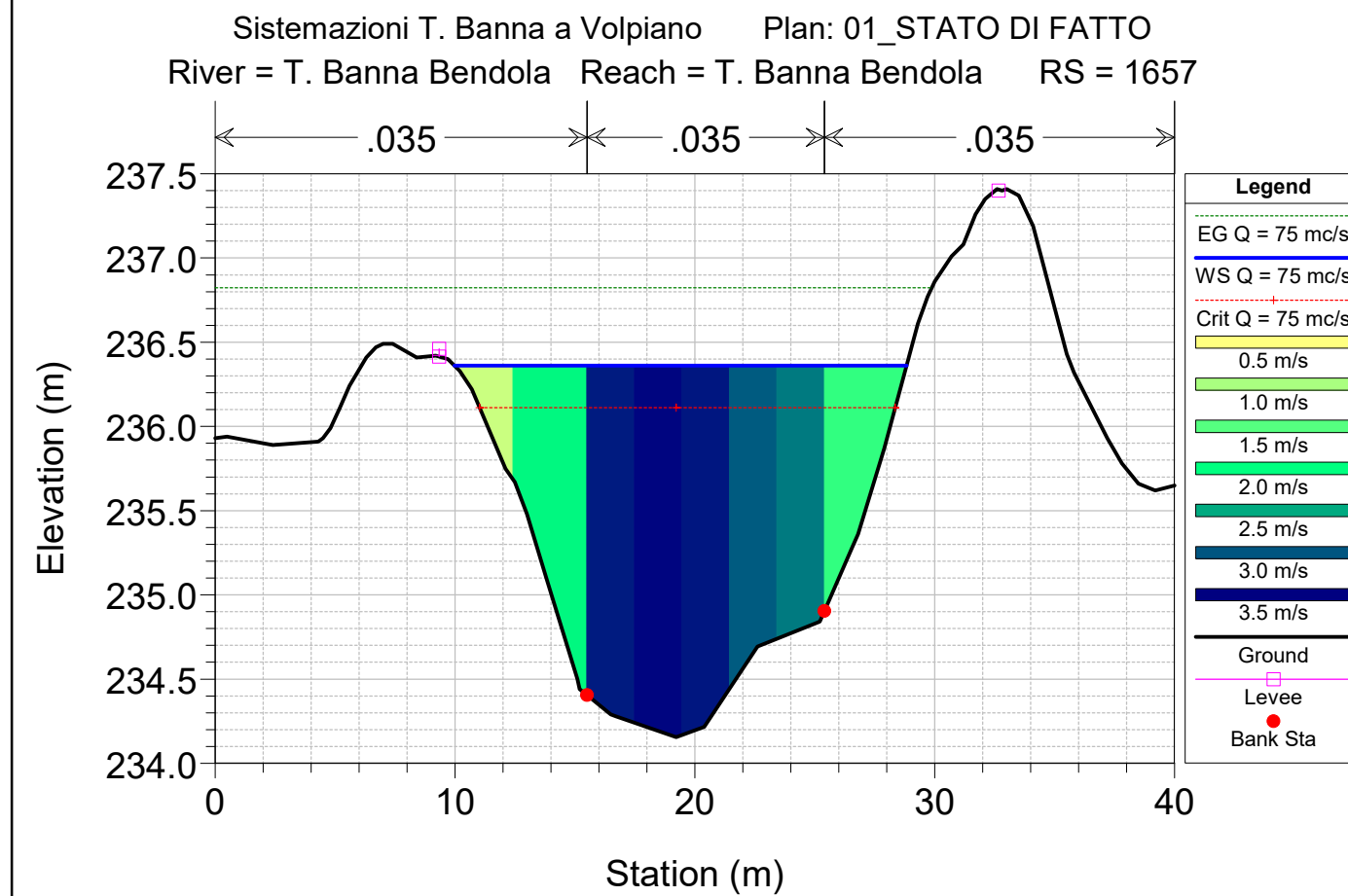
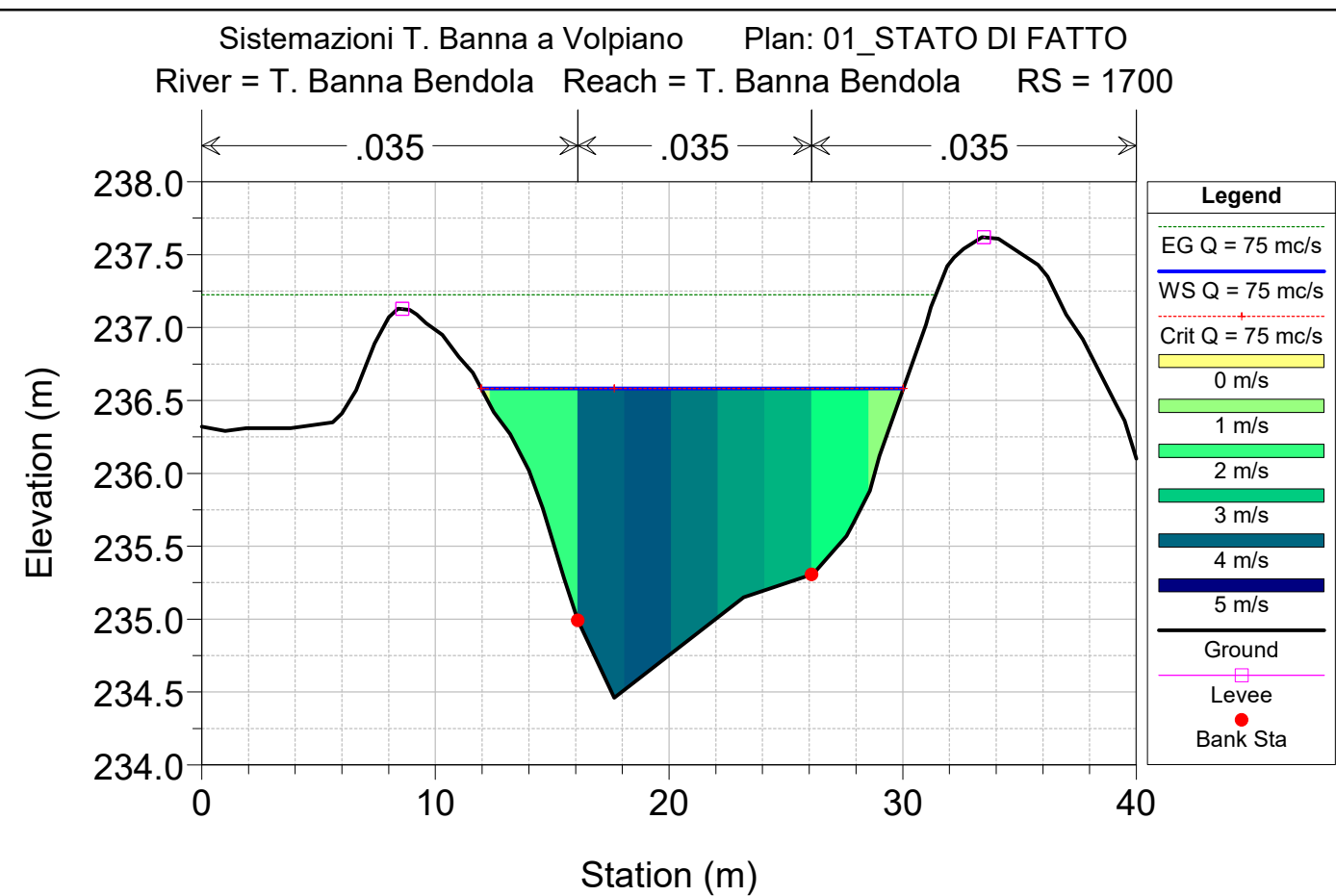
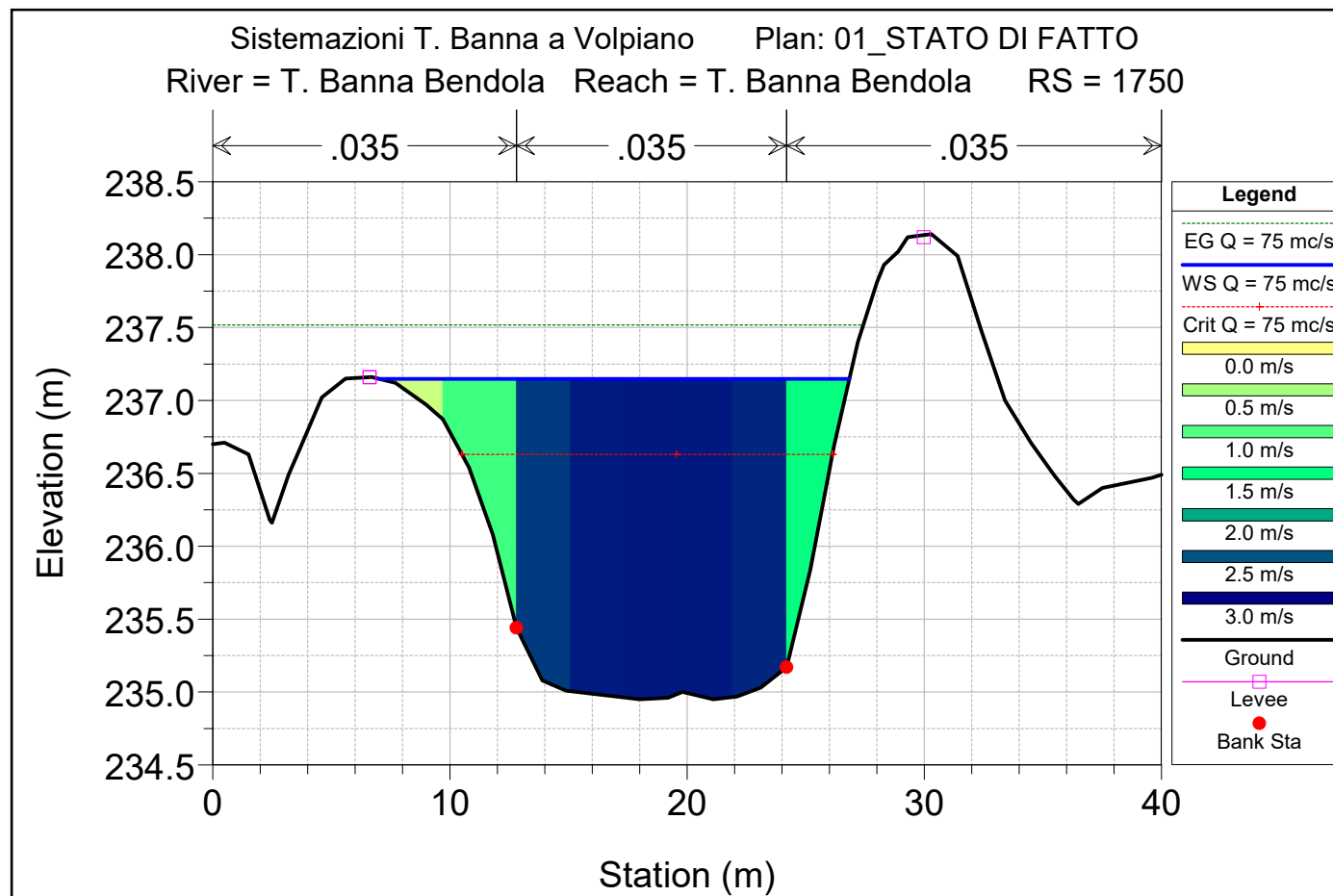
- Sezioni di calcolo SDF e PRG

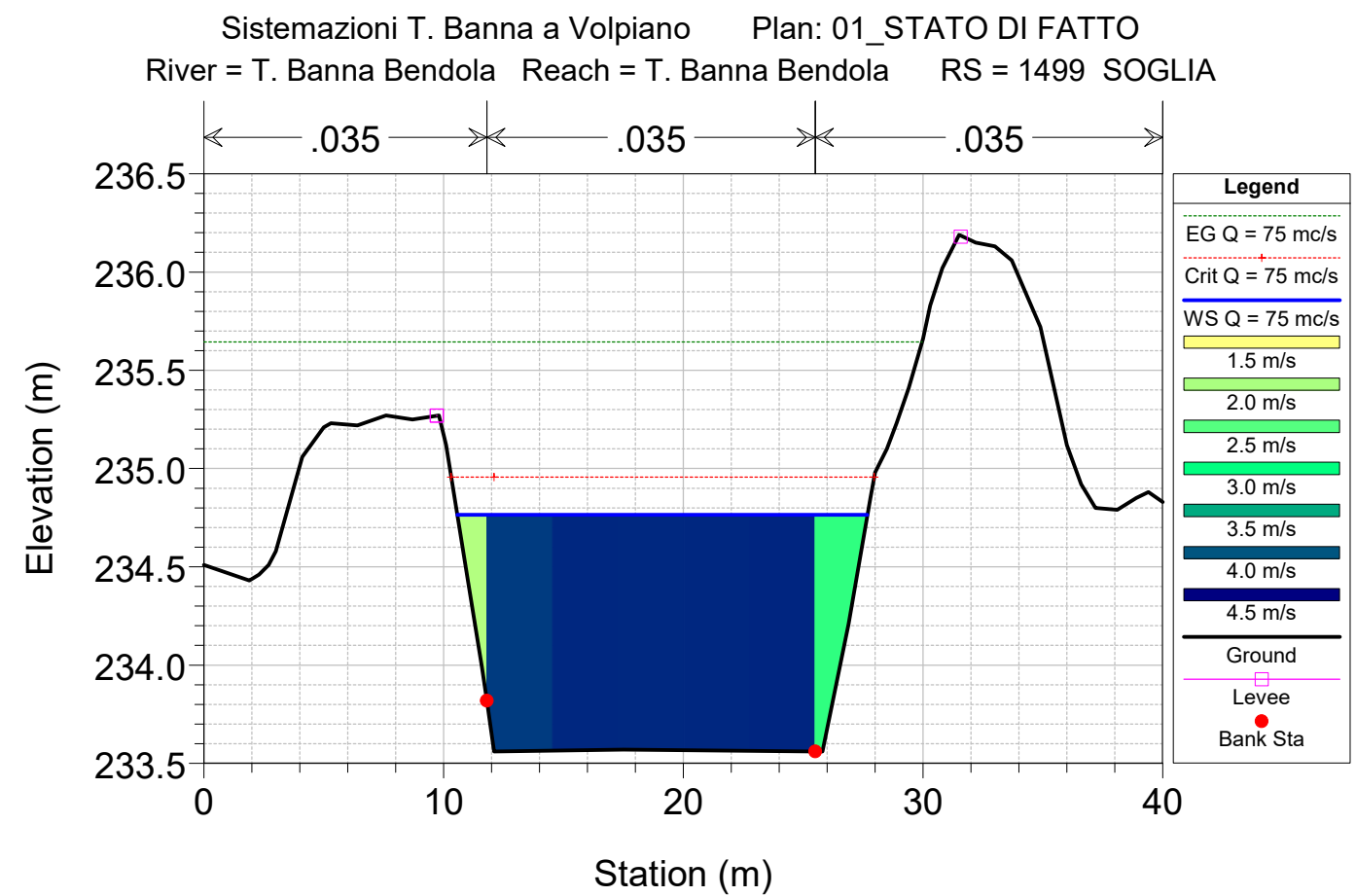
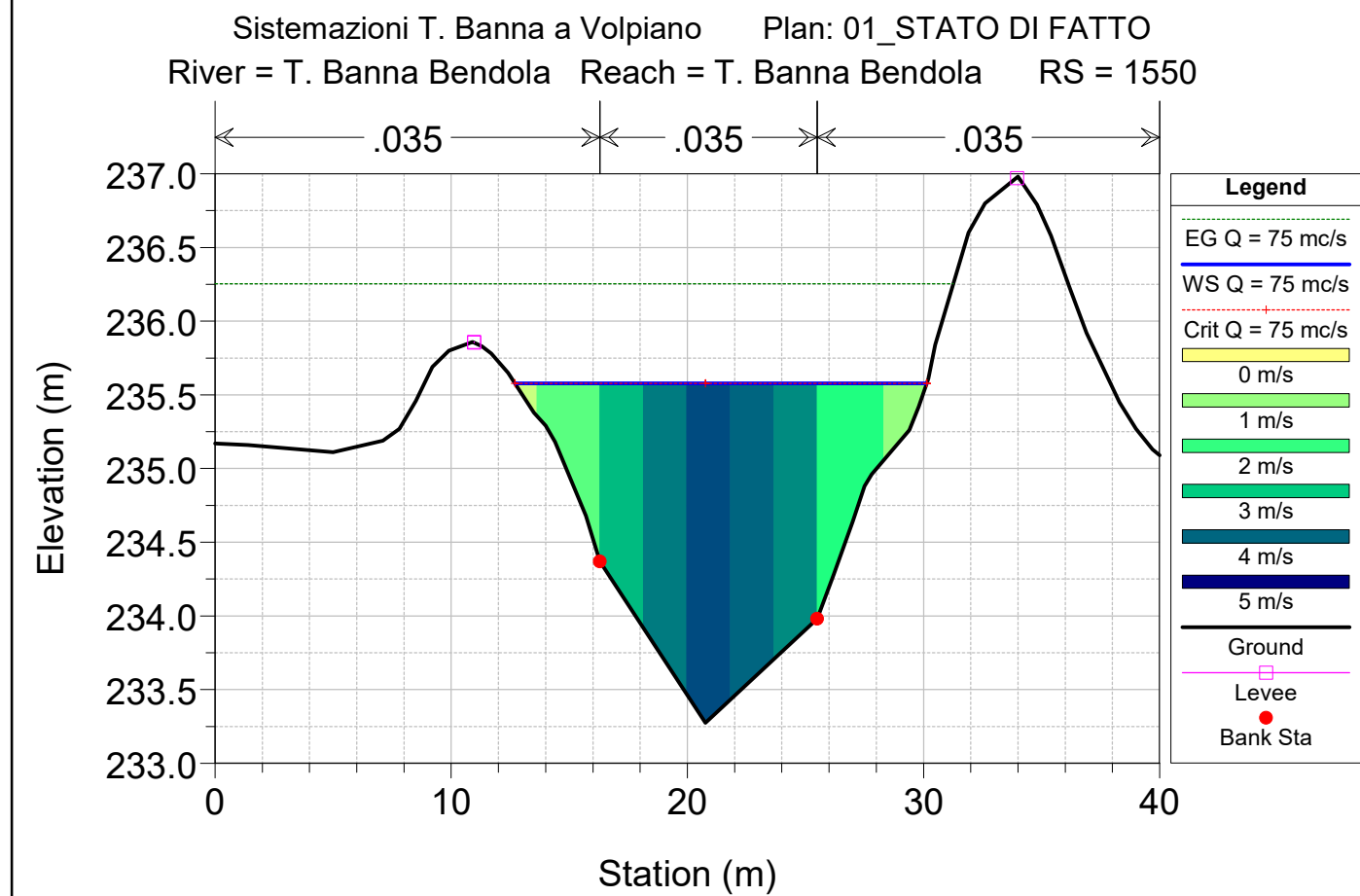
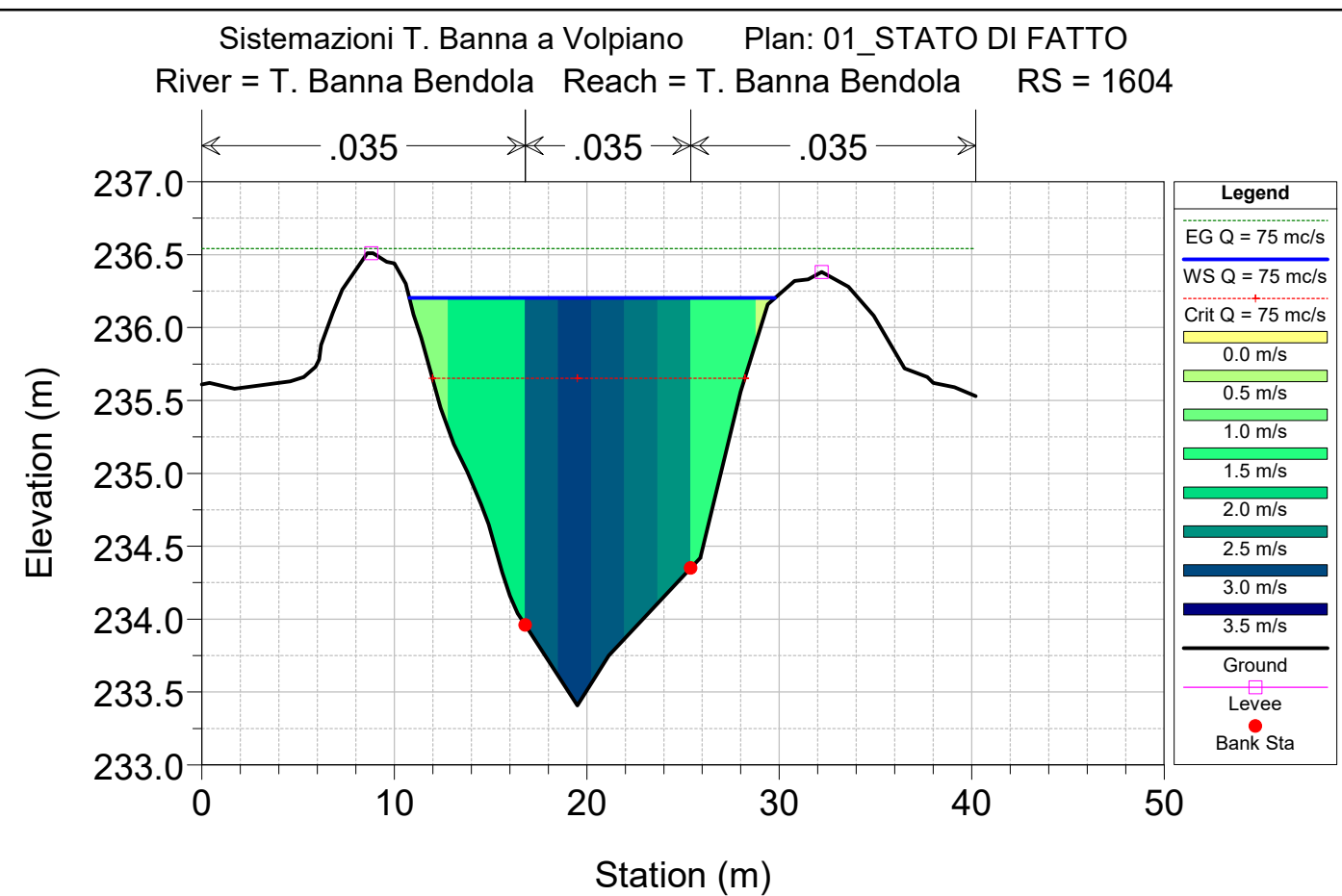
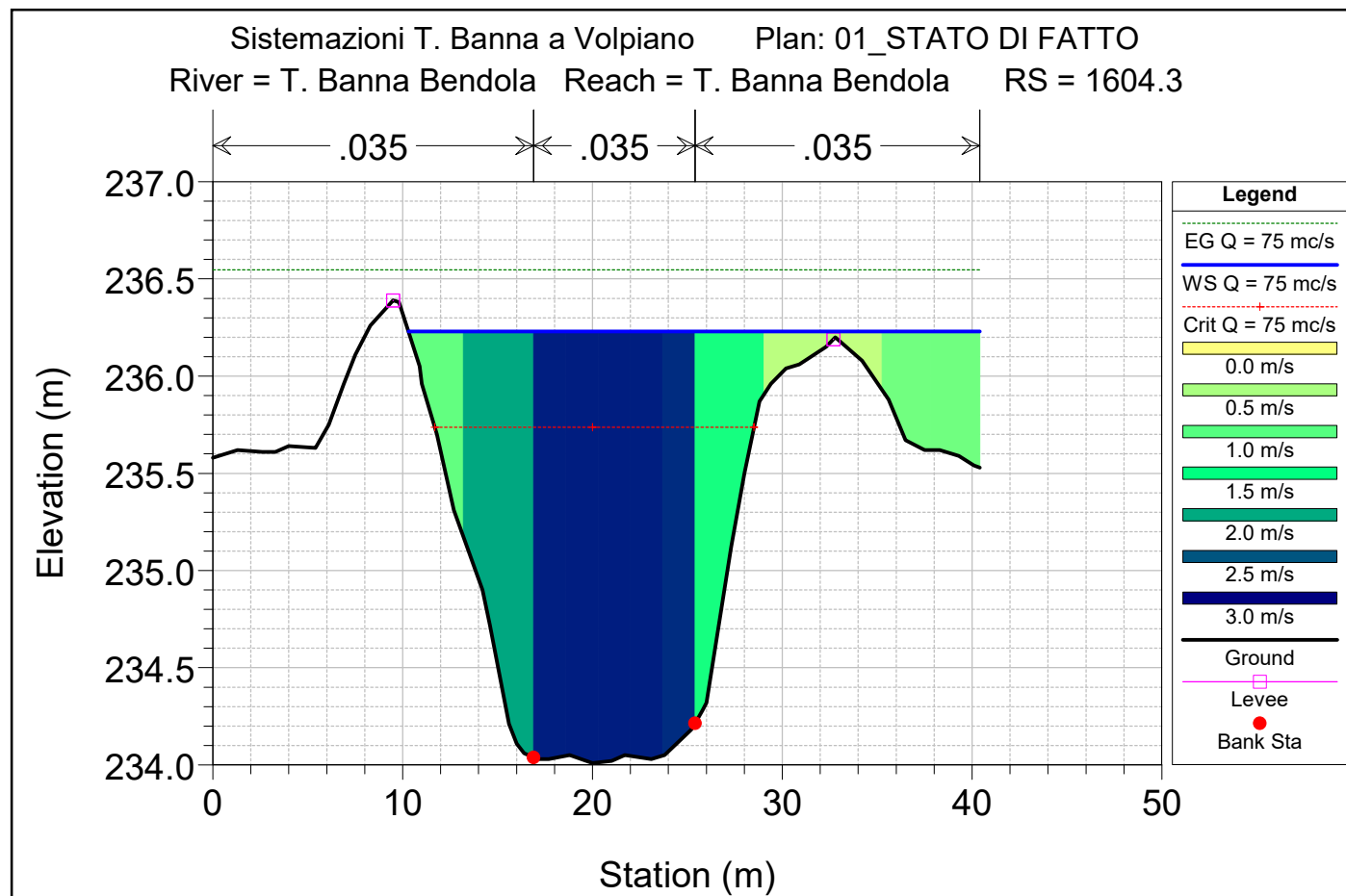


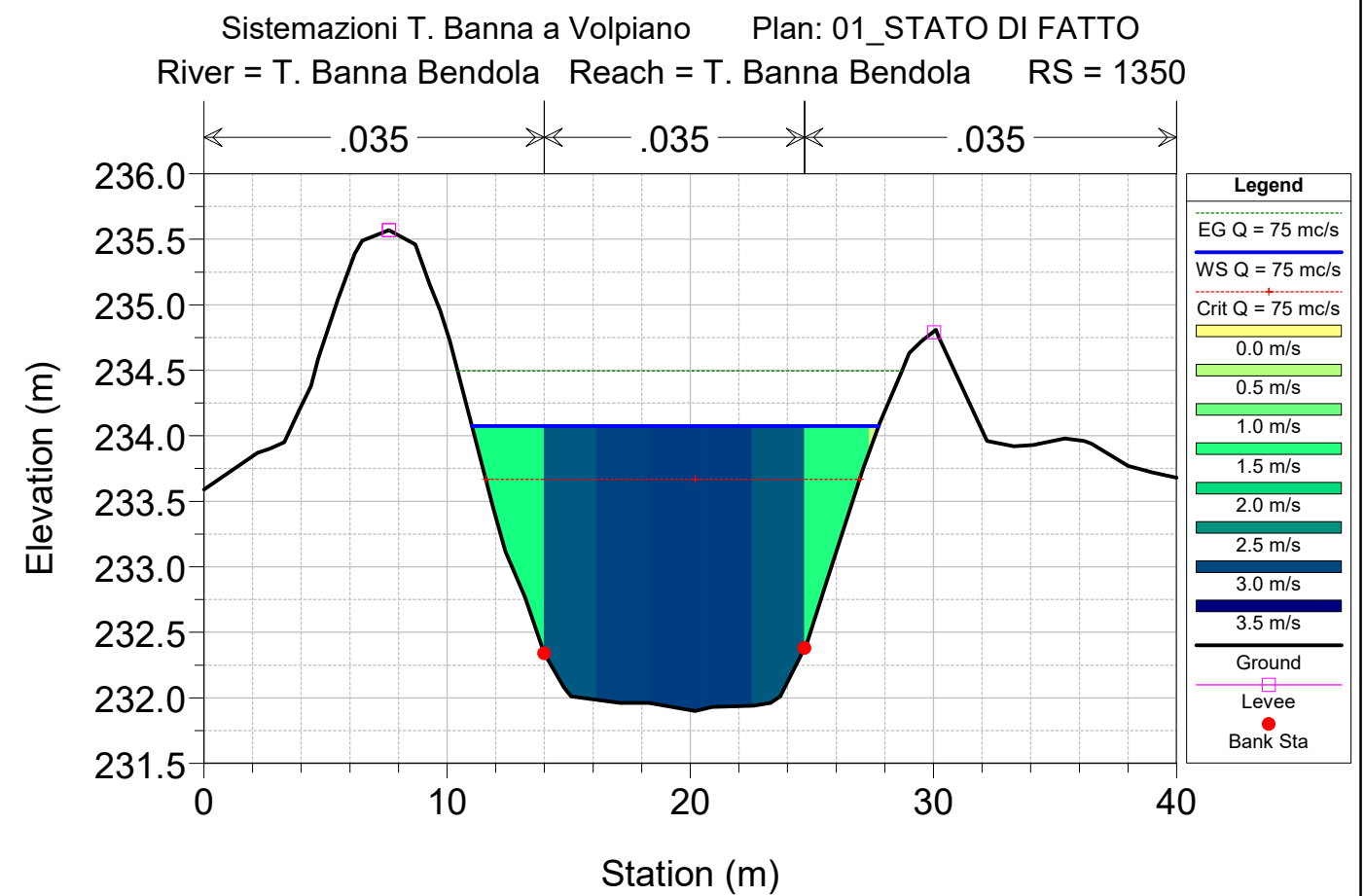
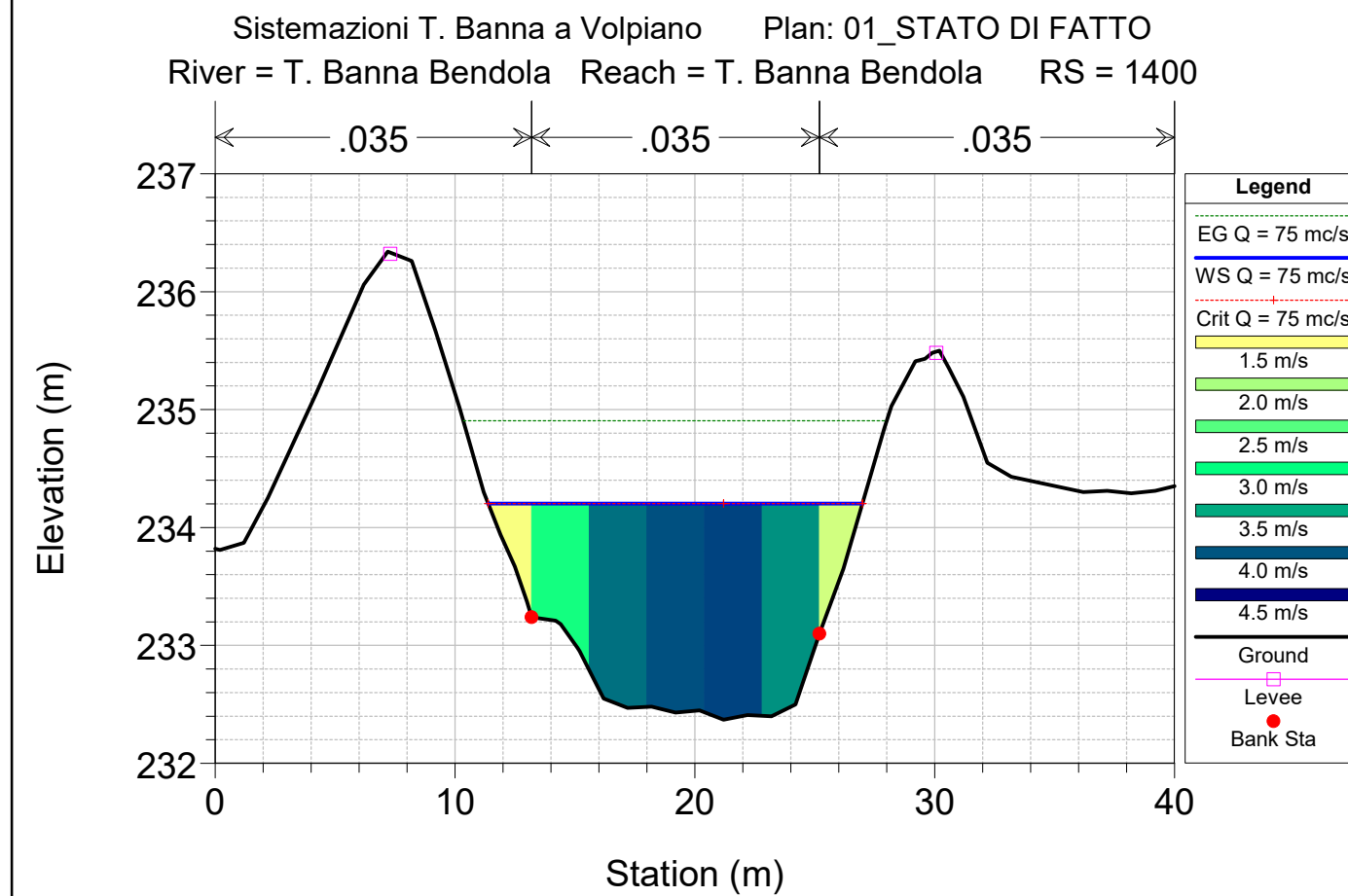
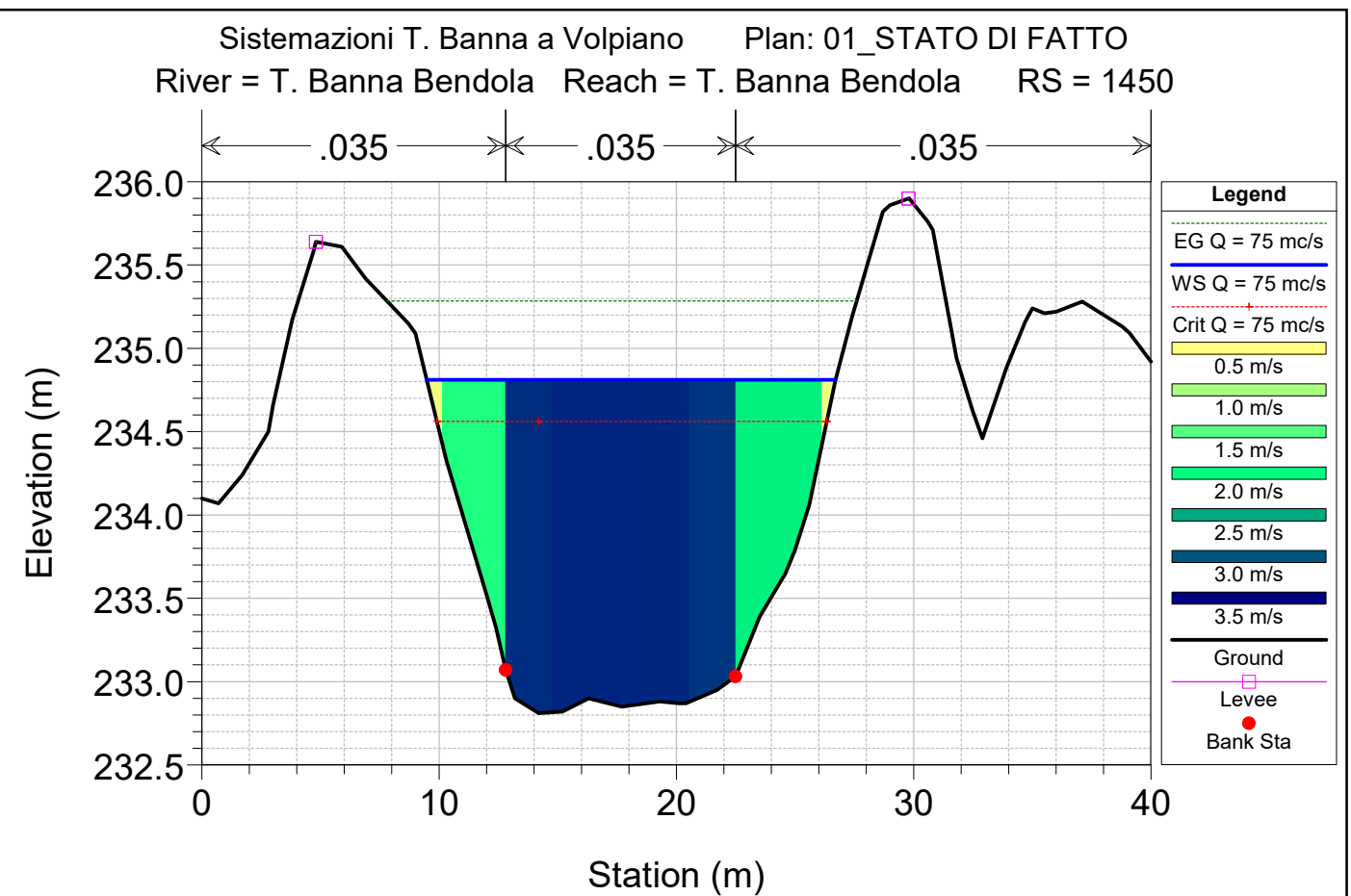
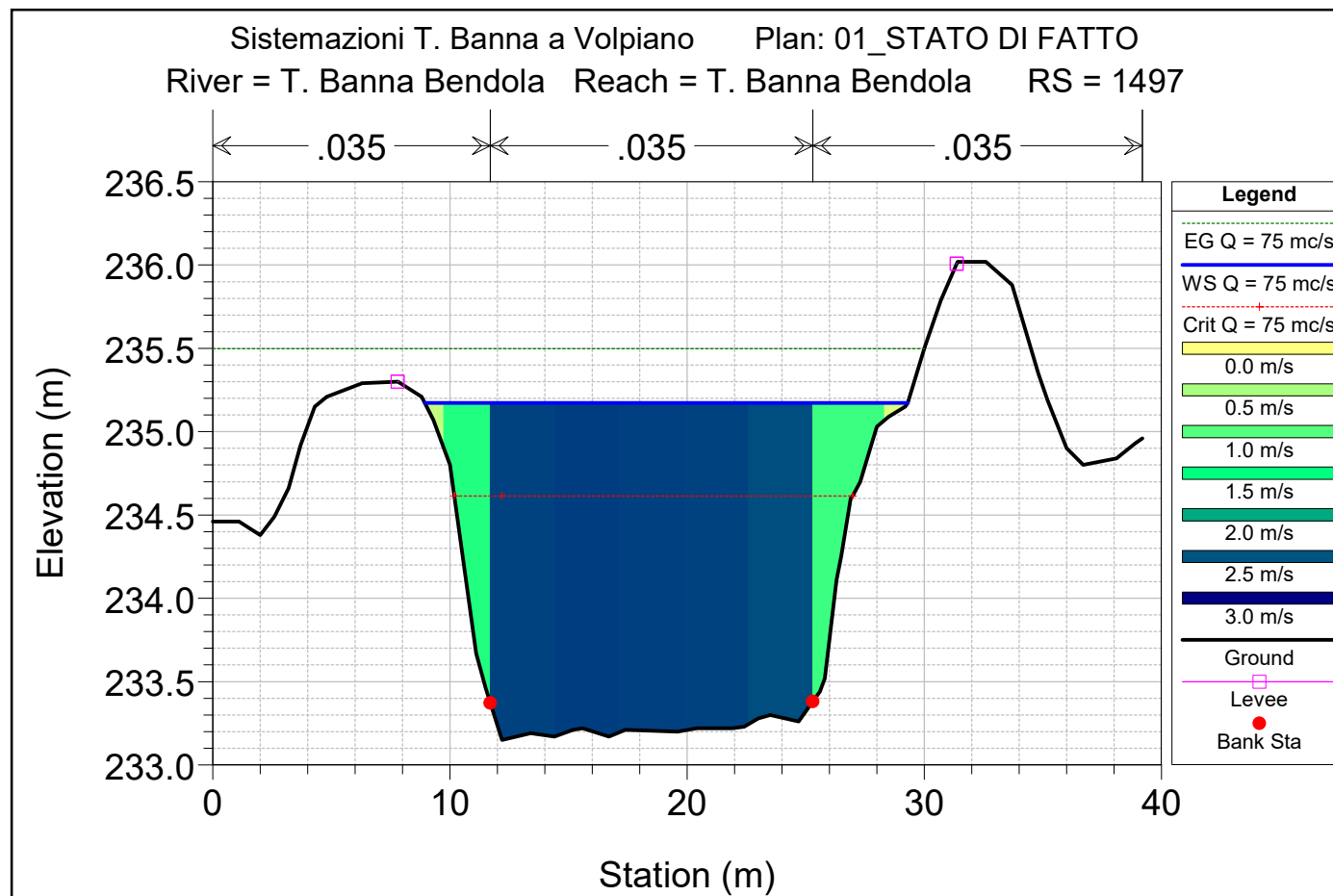


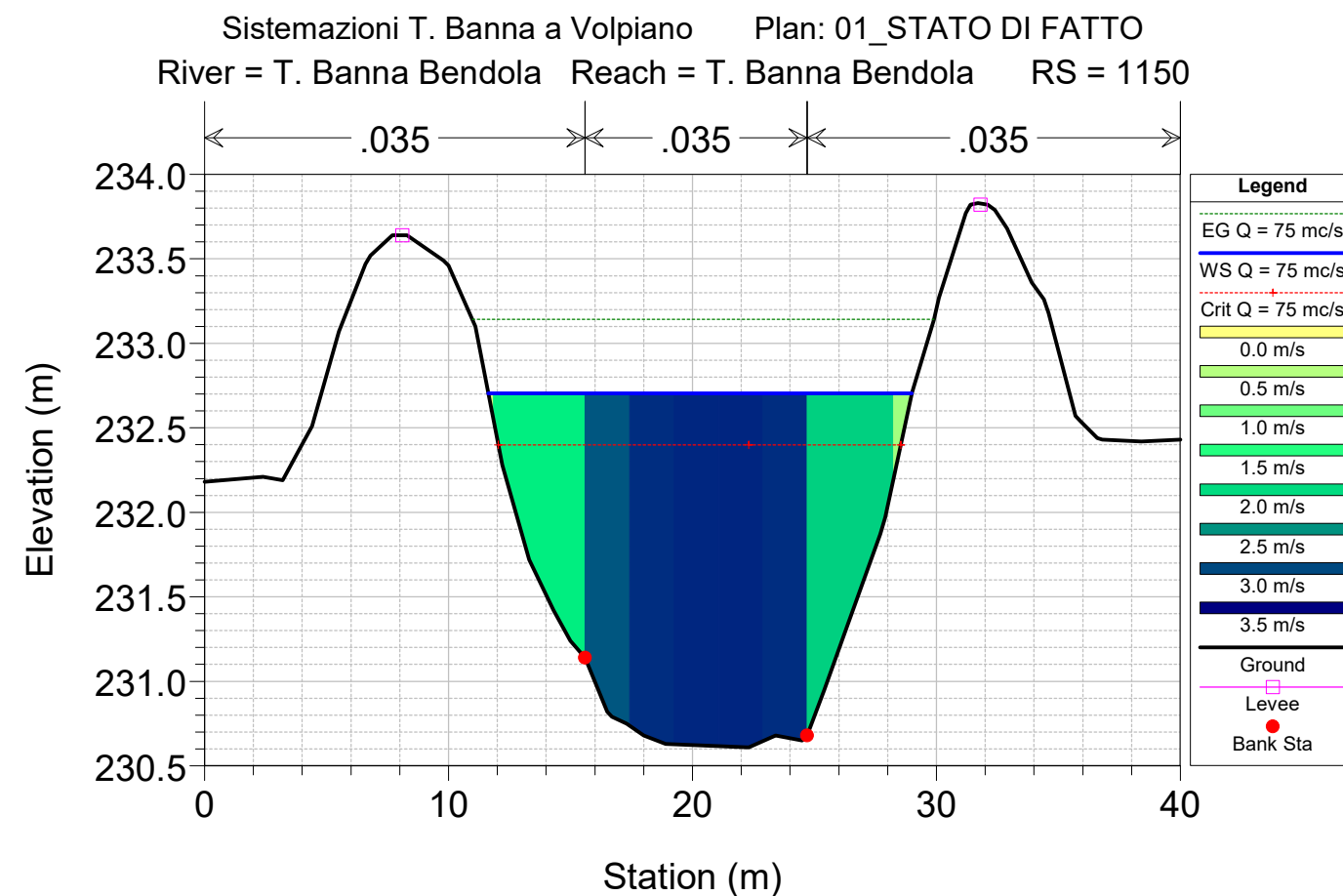
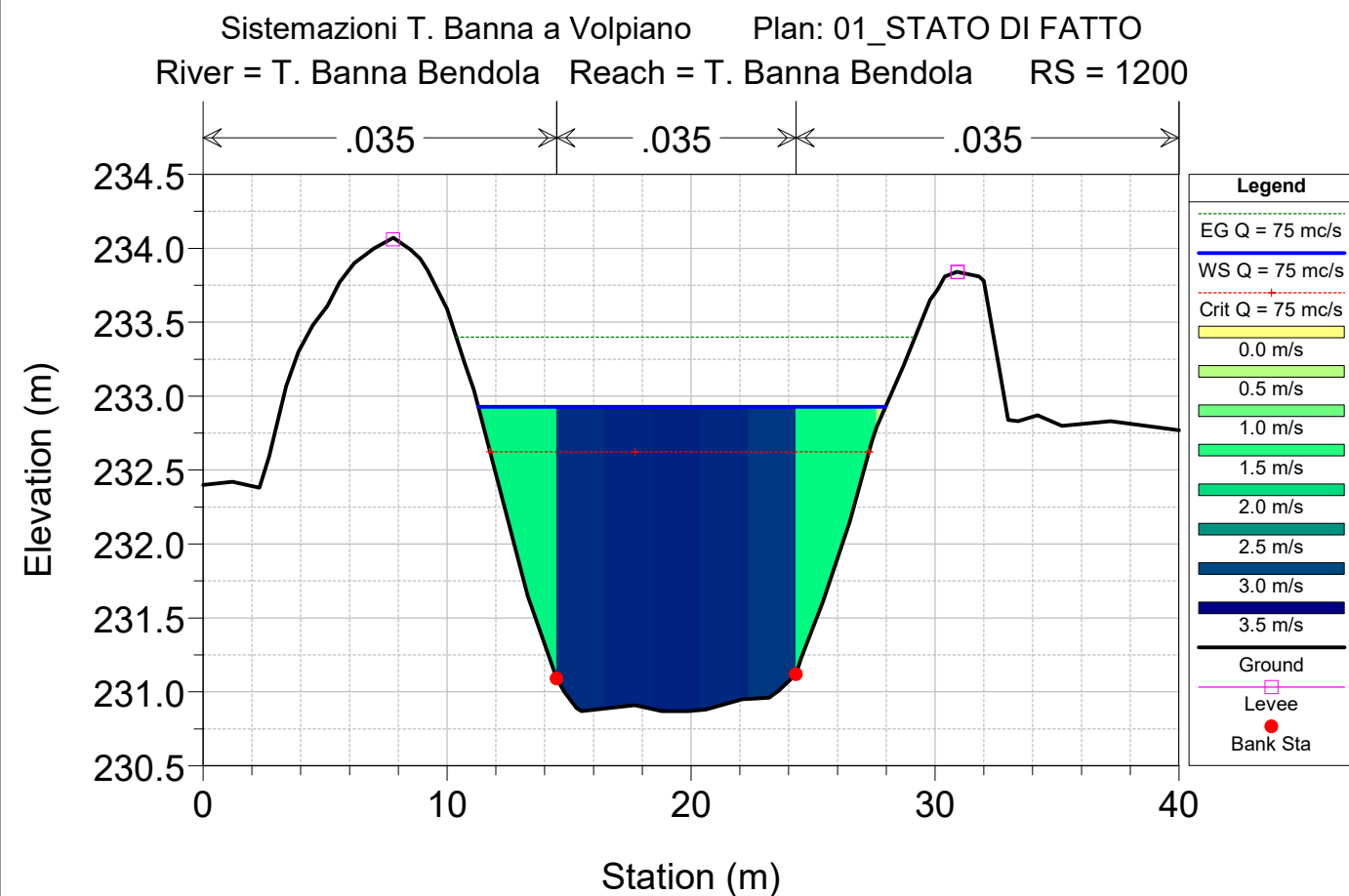
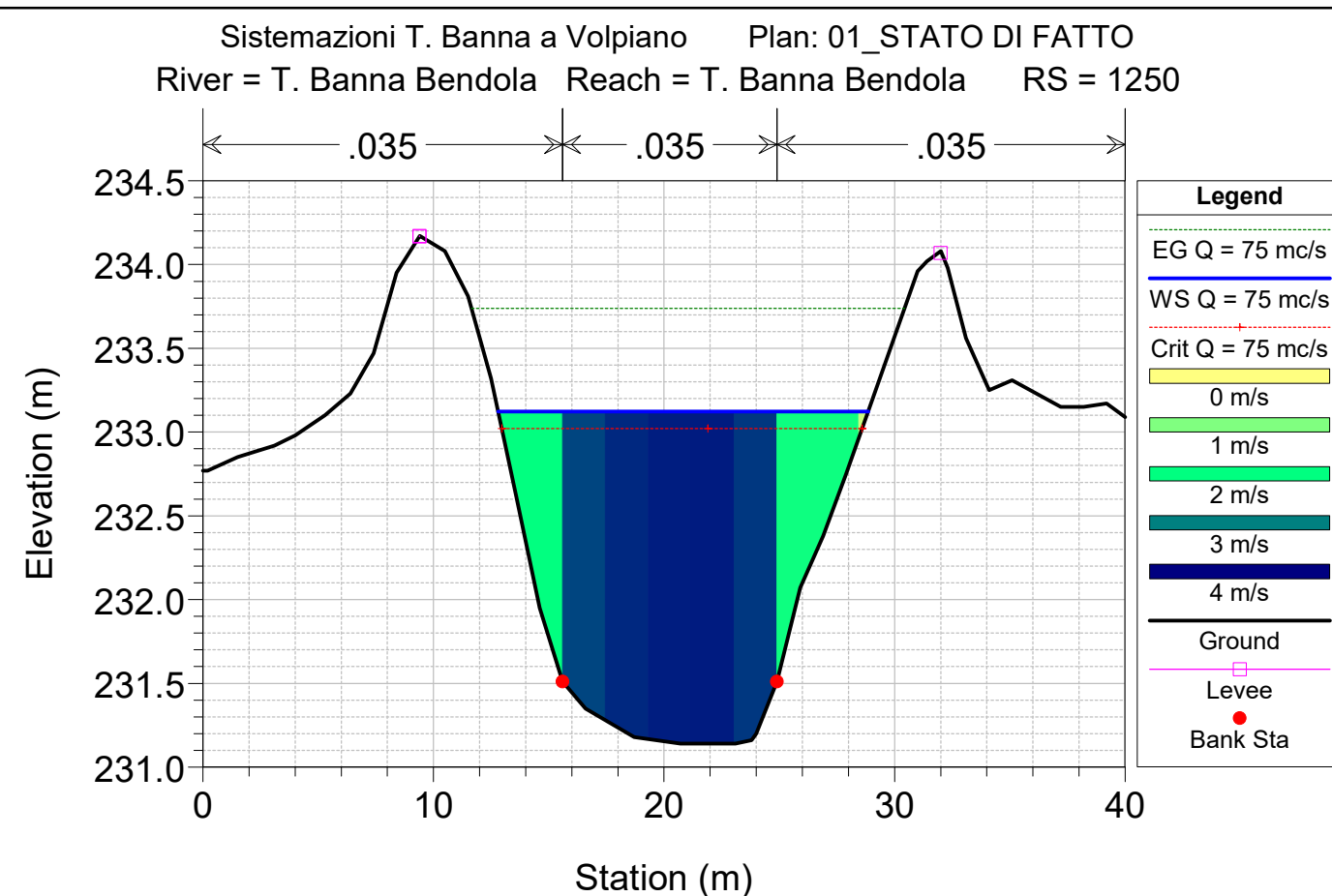
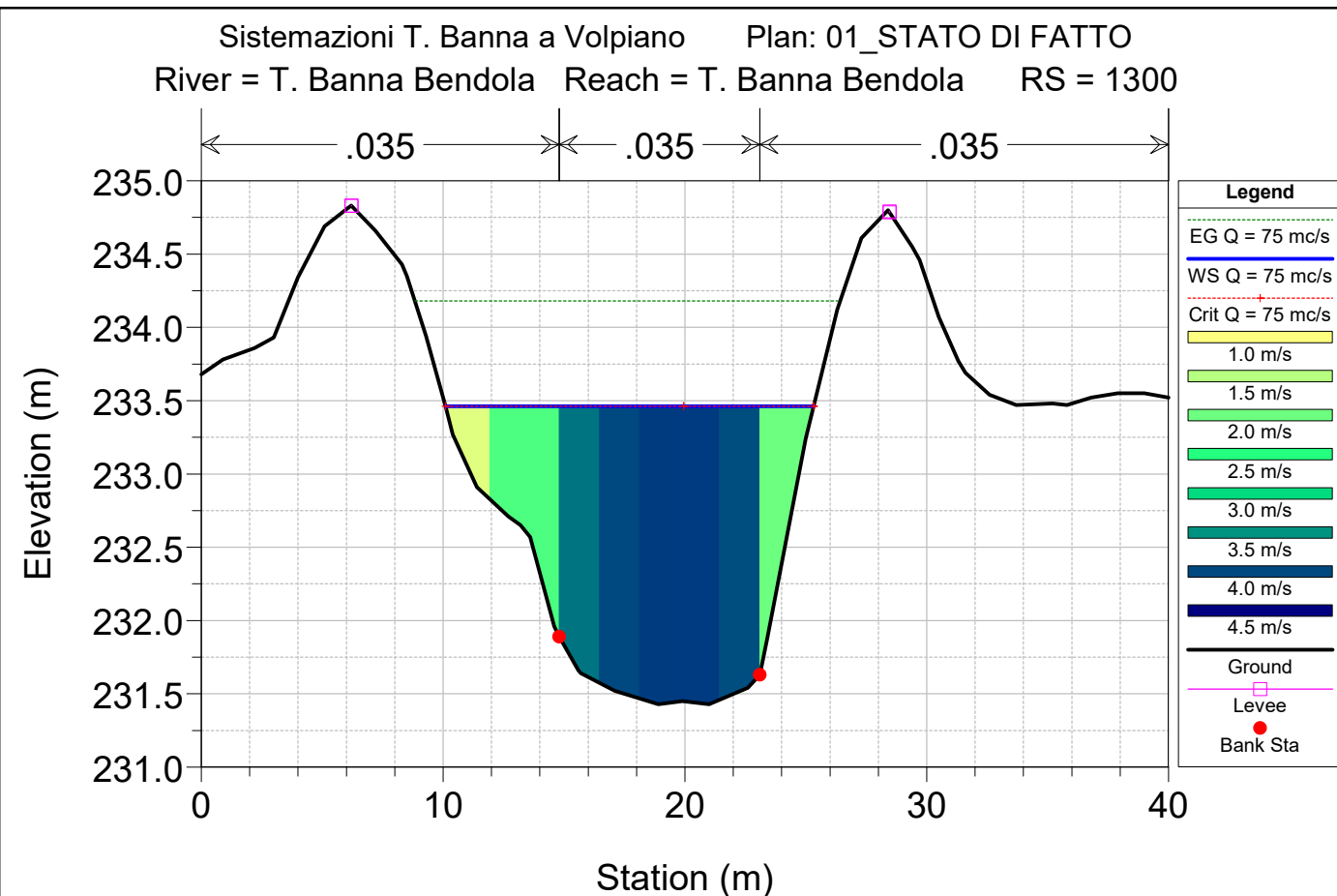


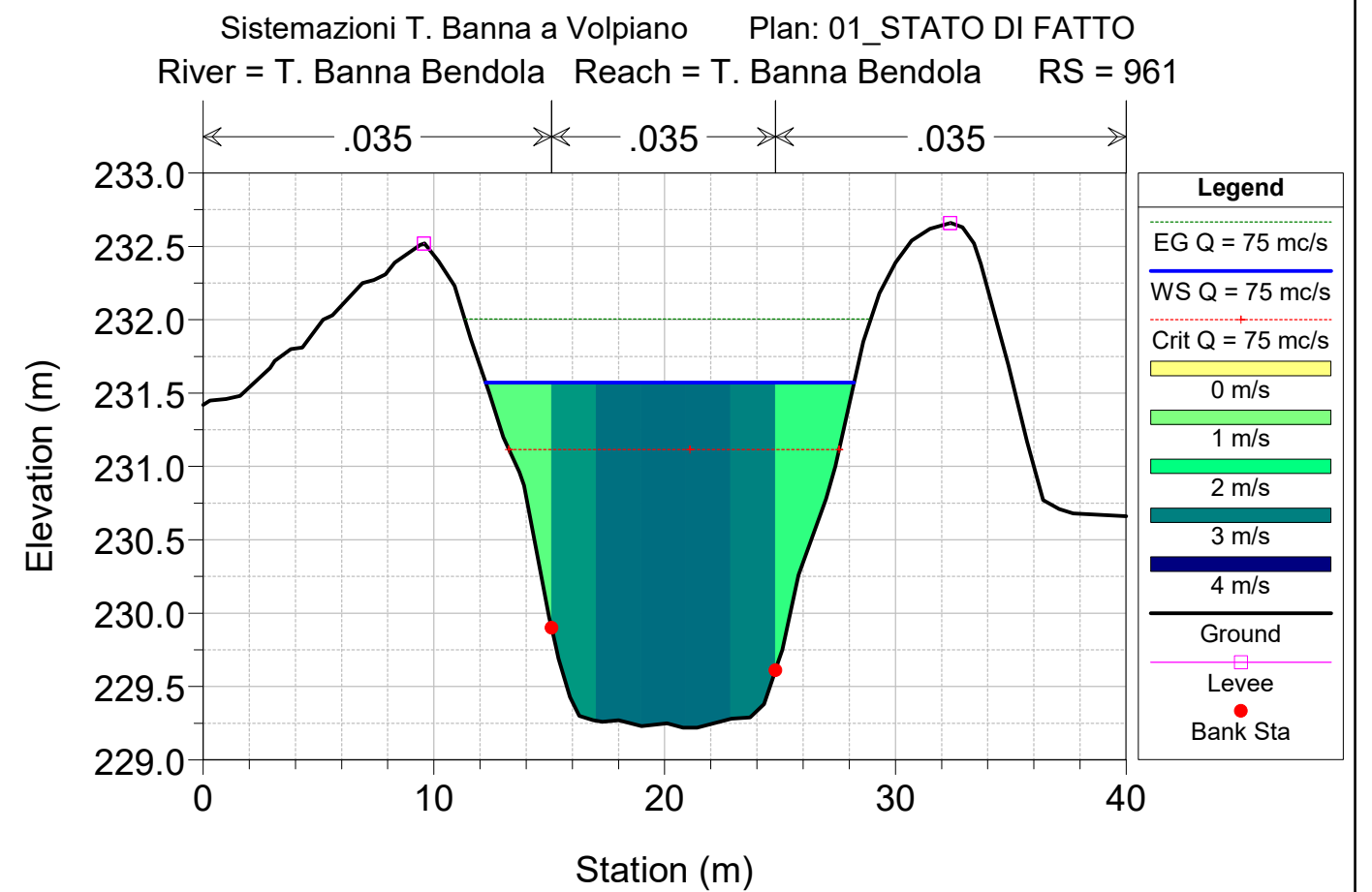
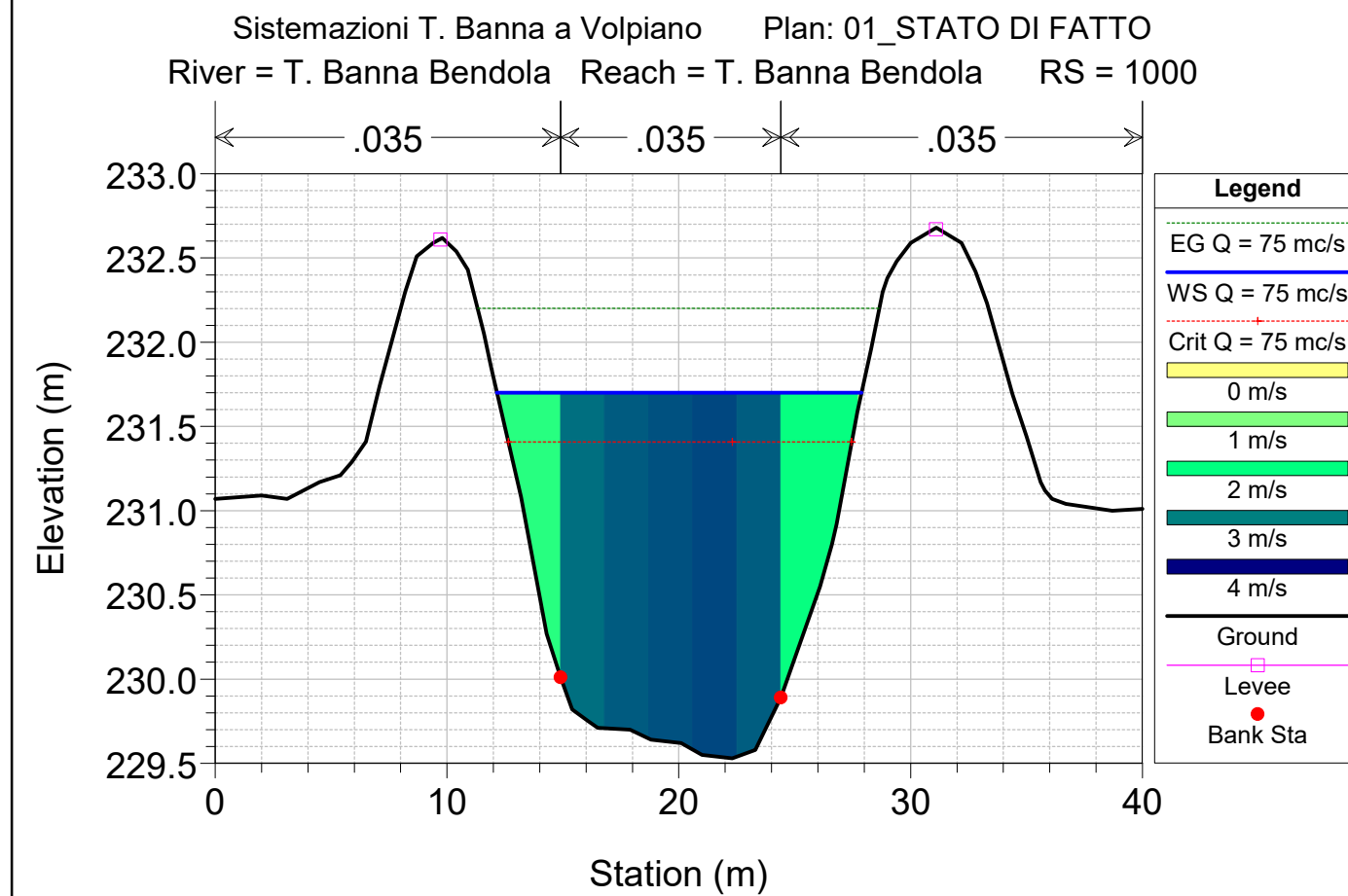
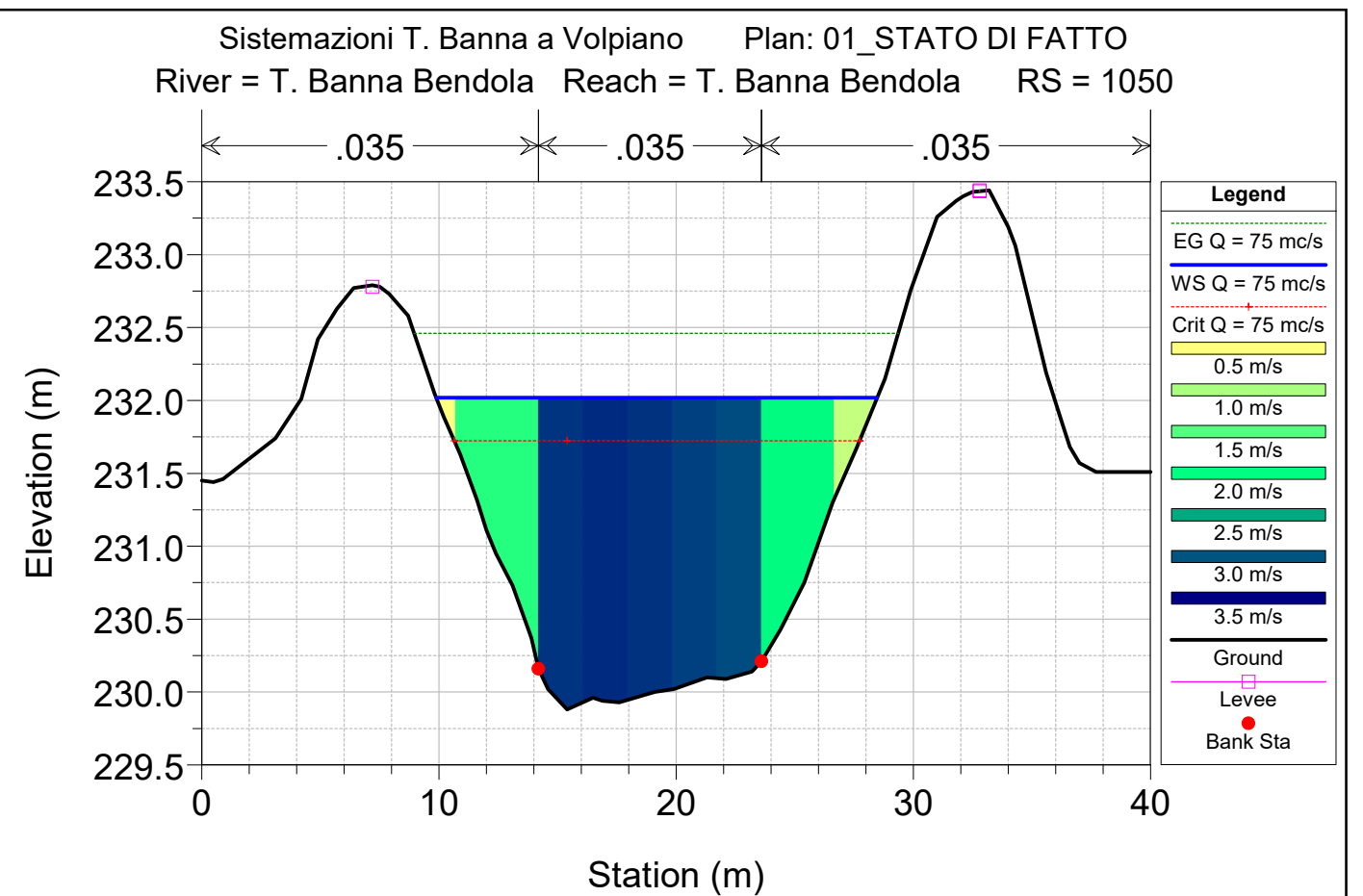
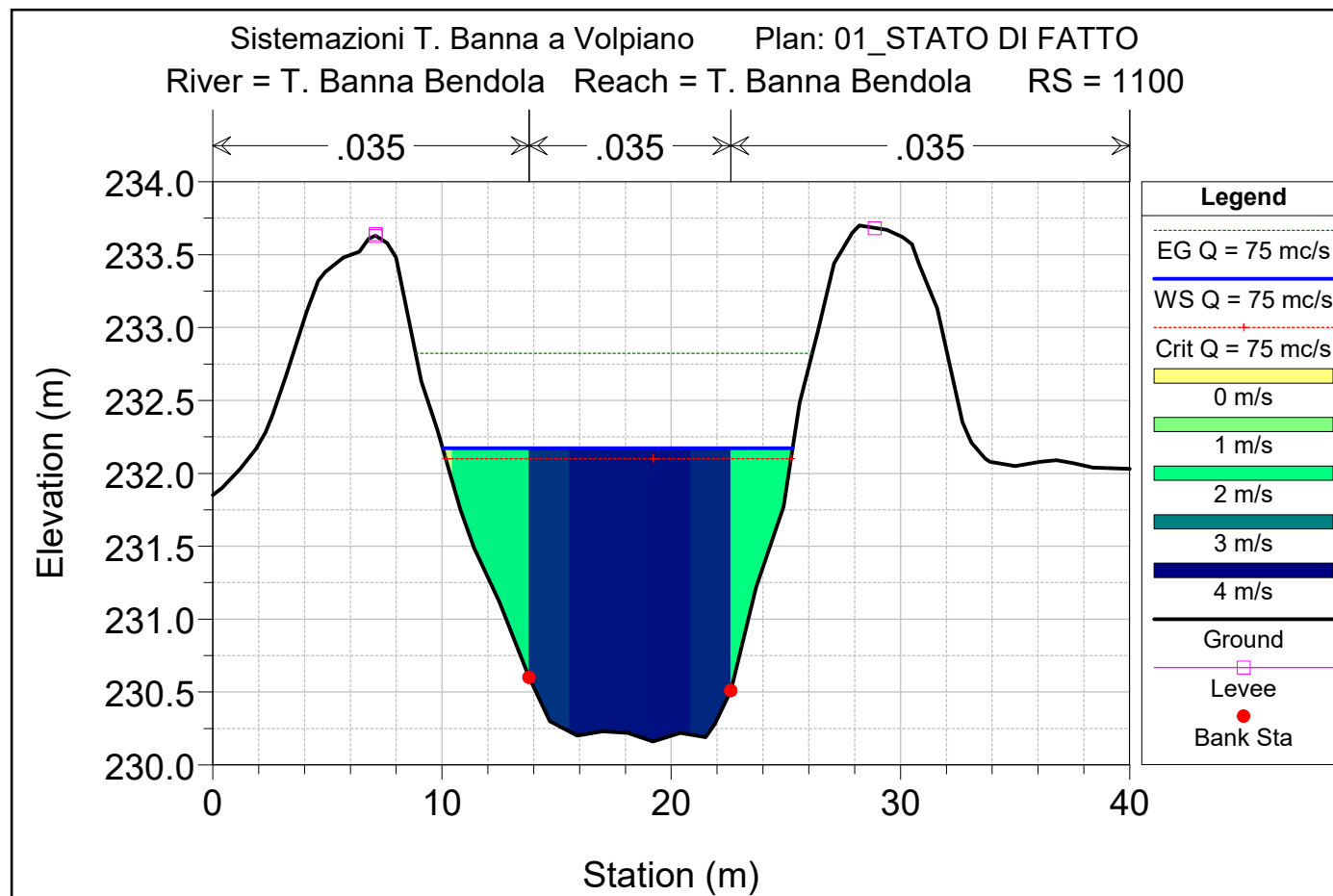


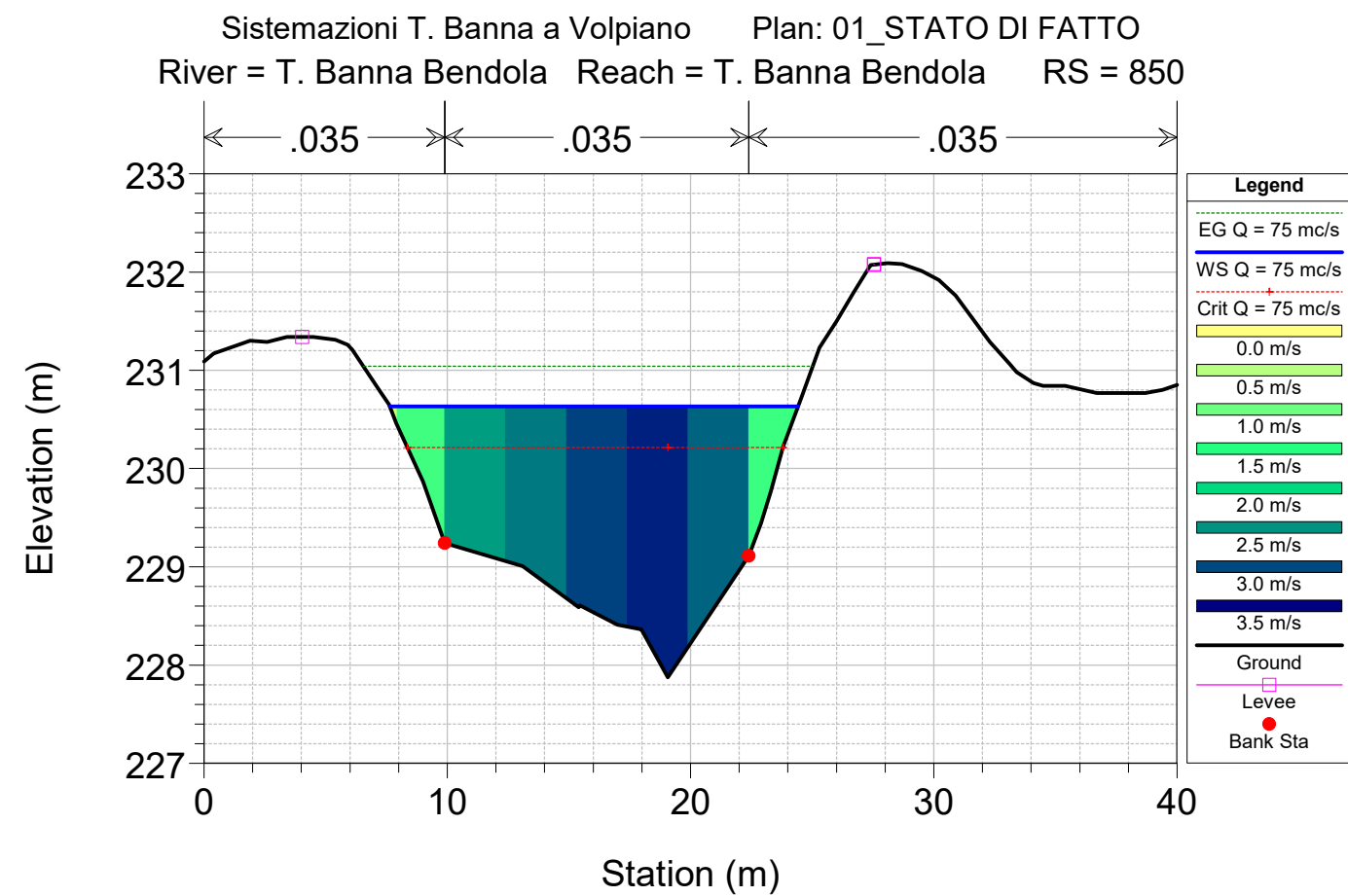
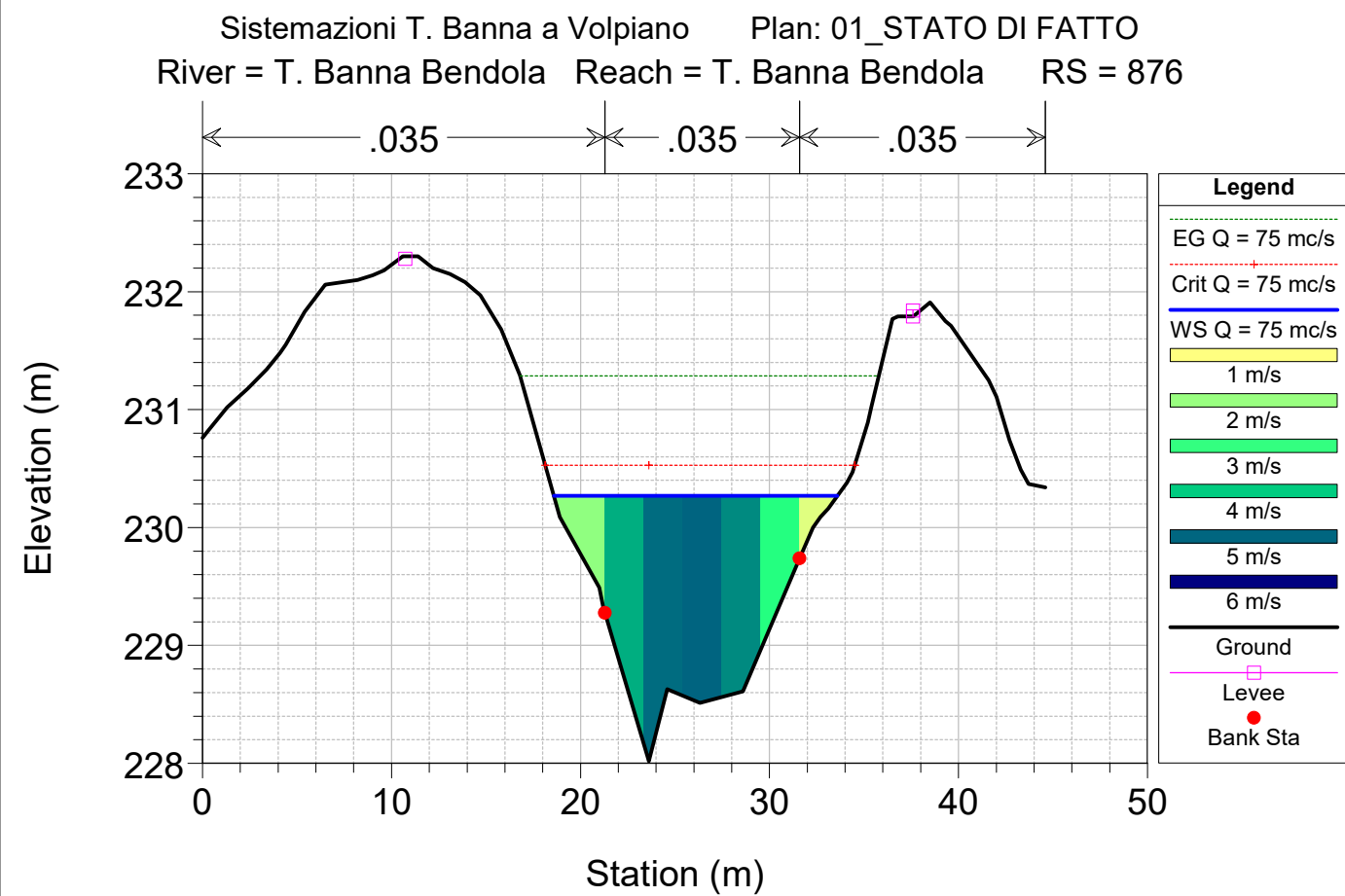
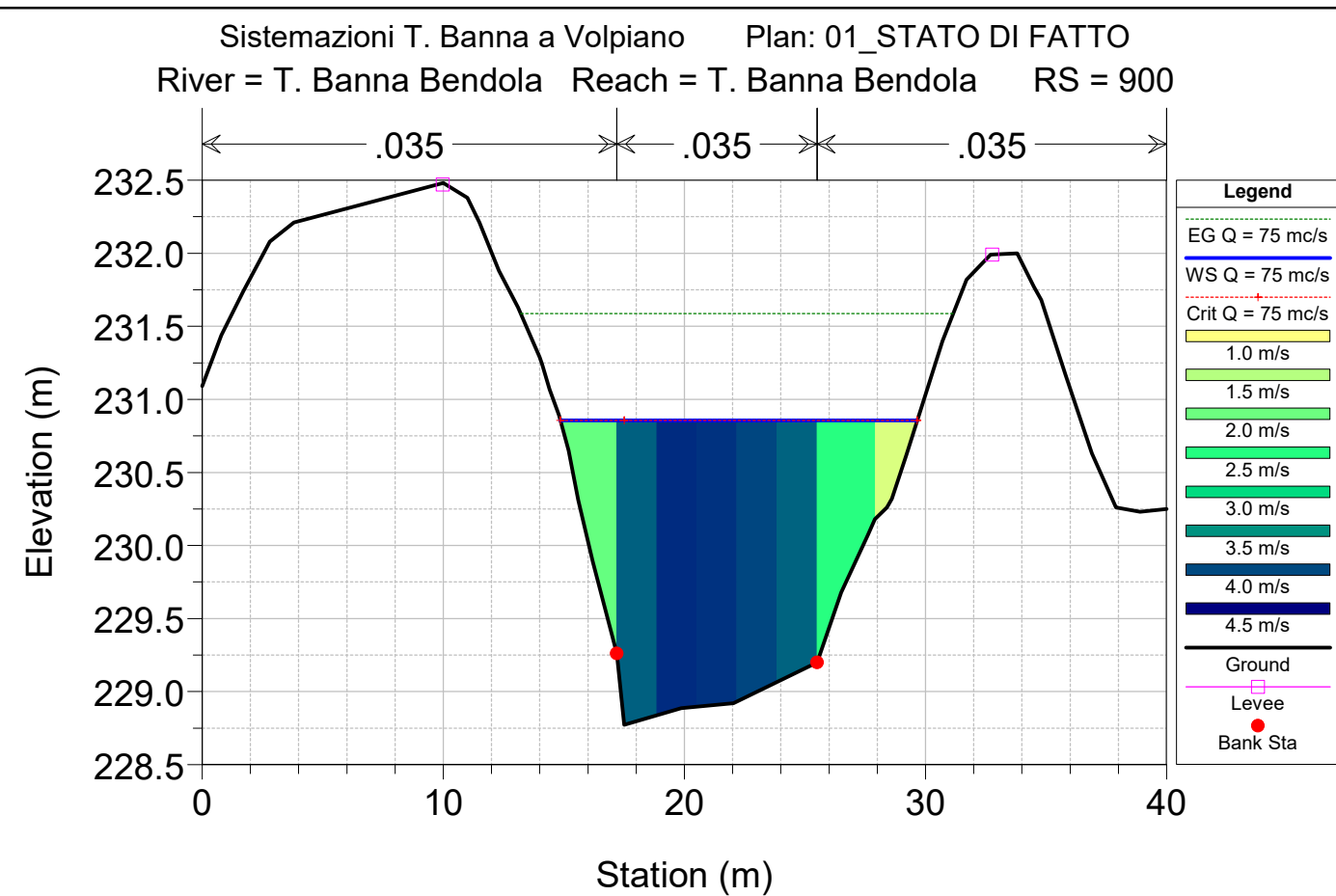
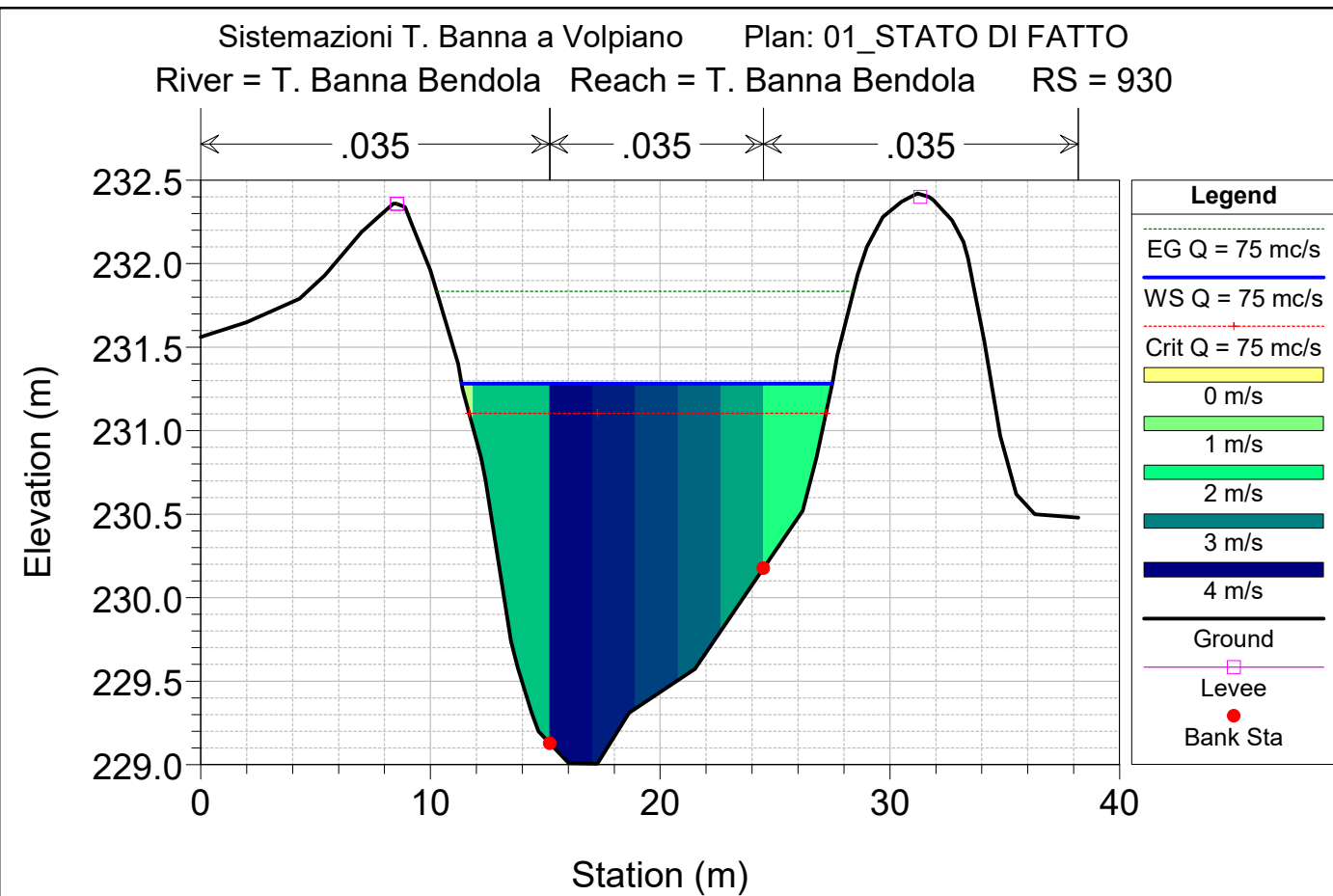


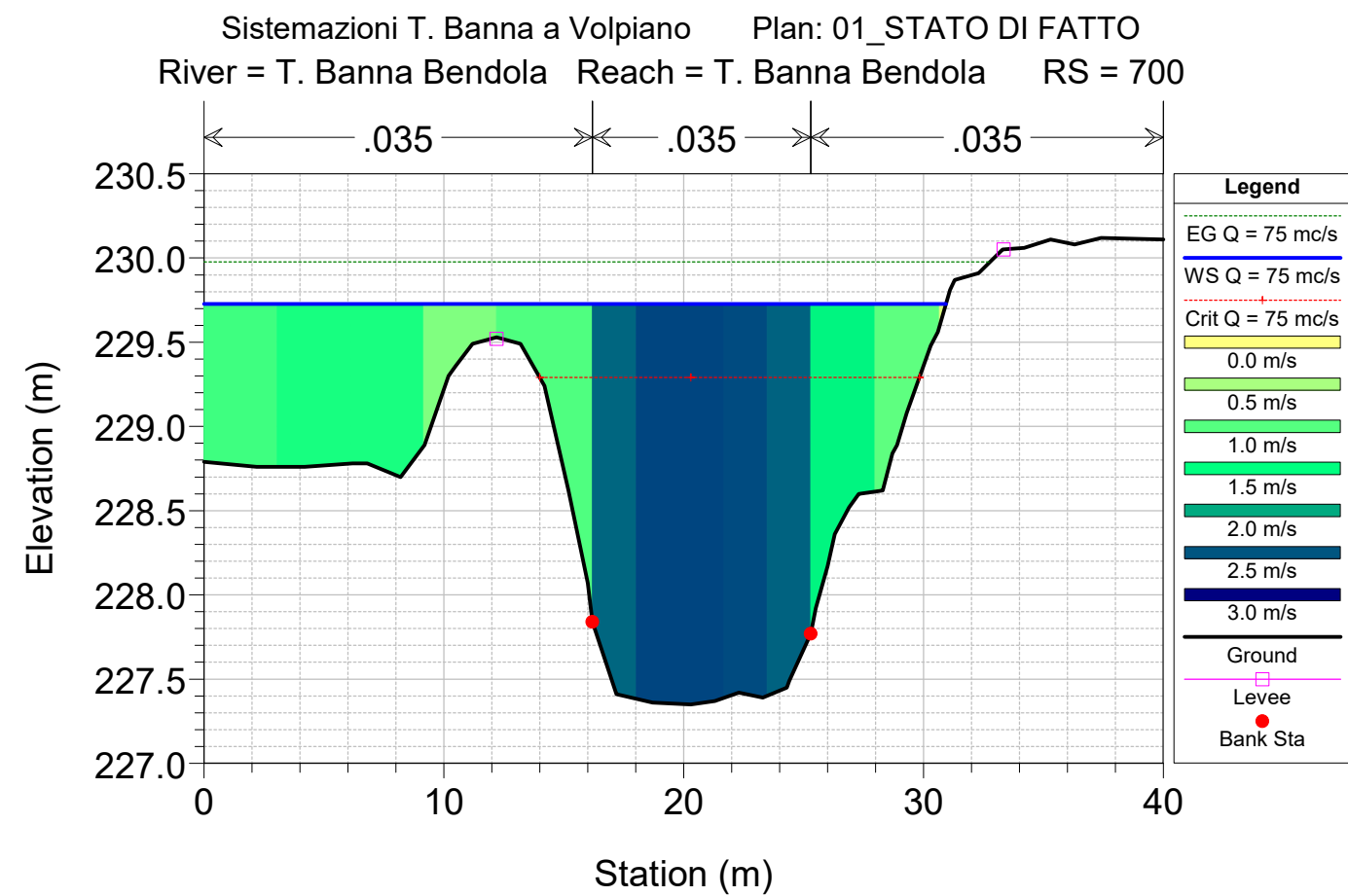
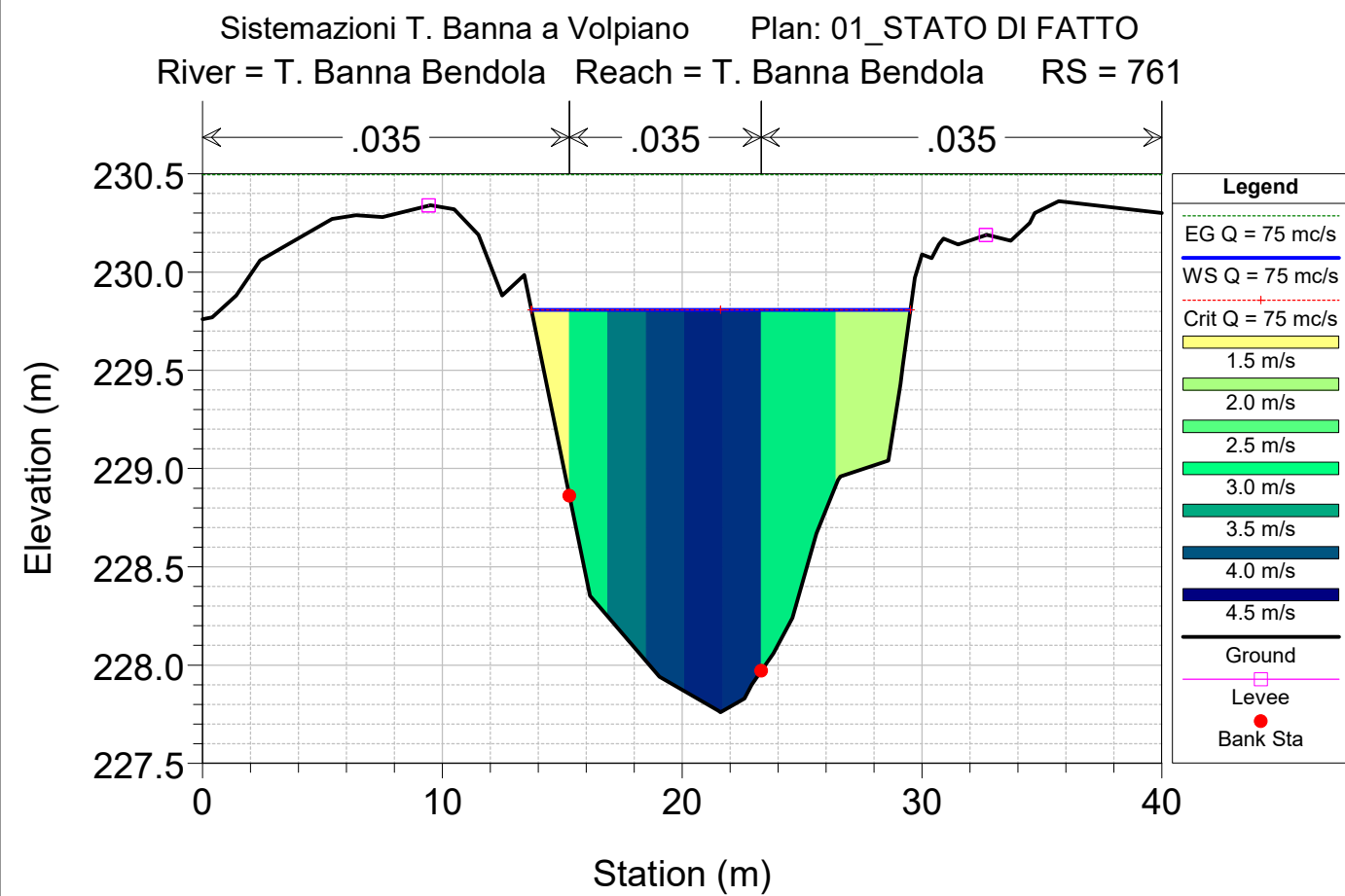
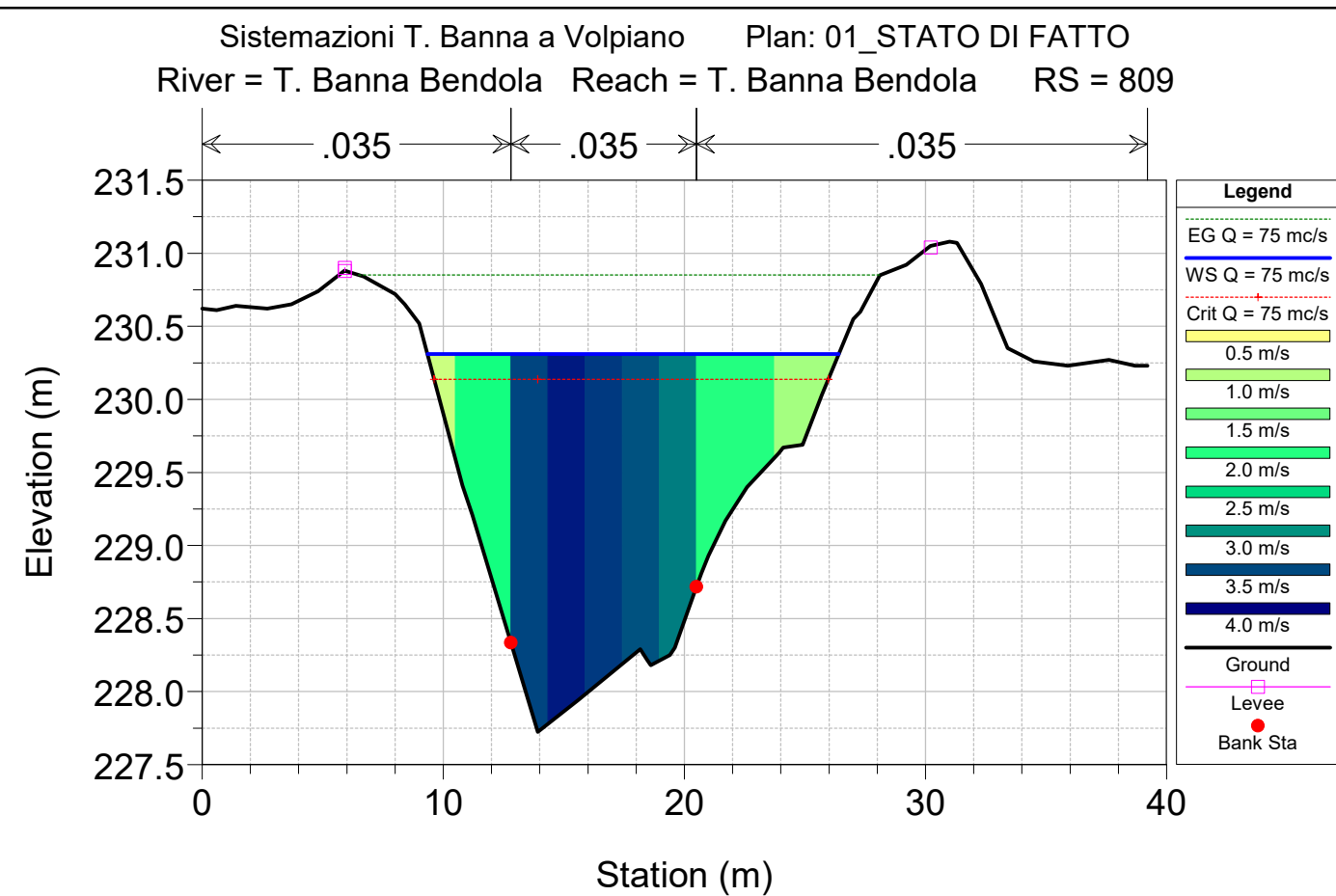
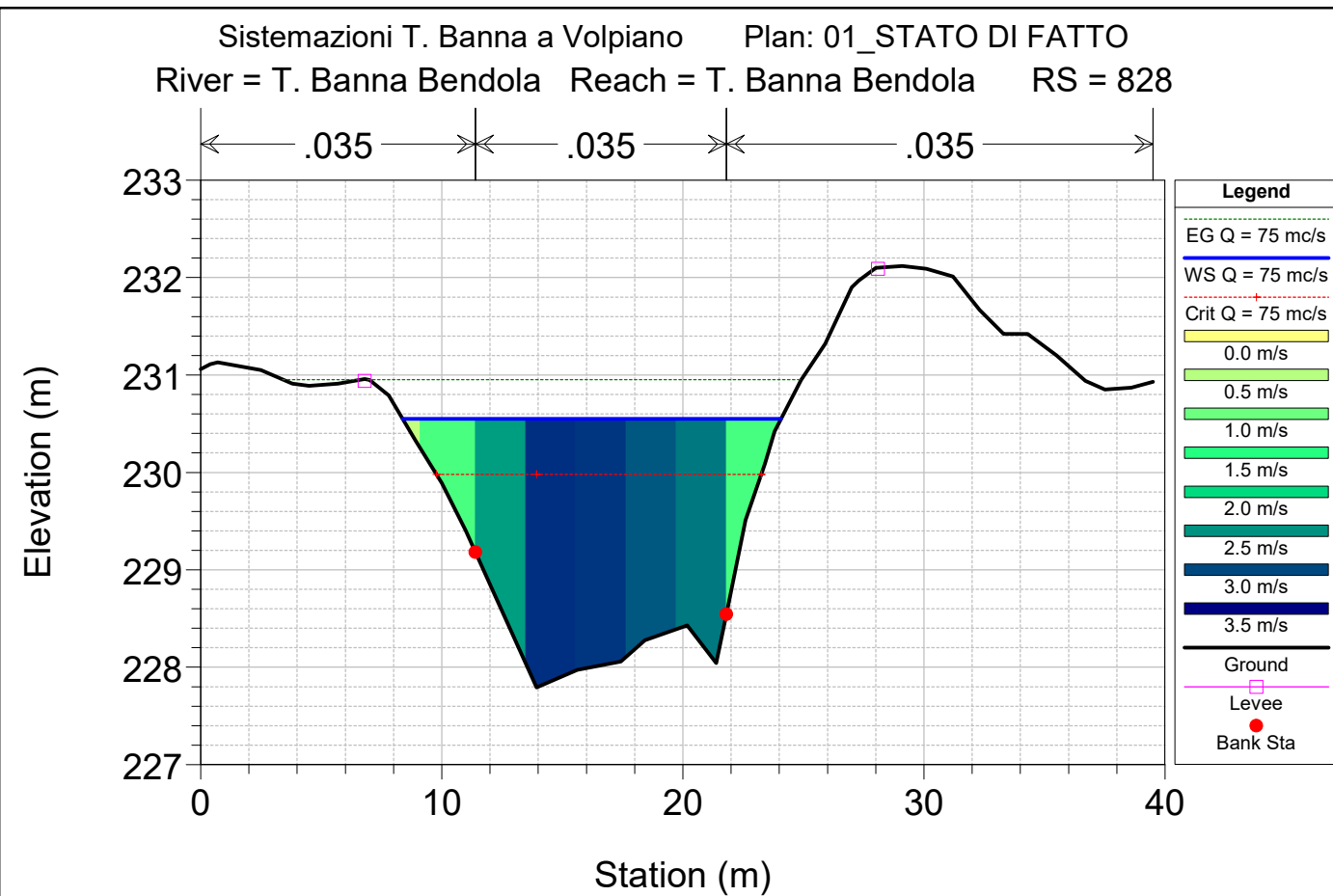


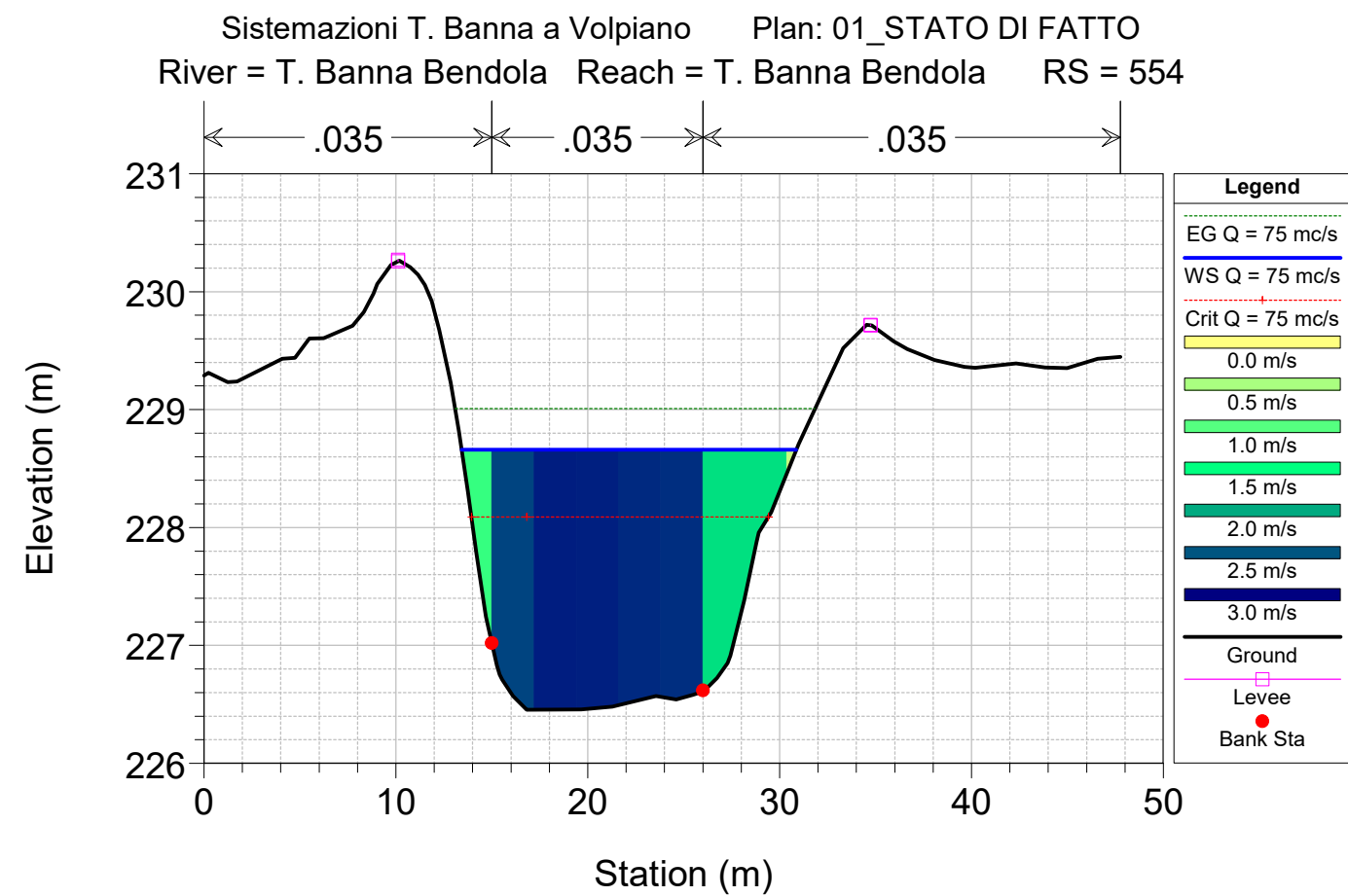
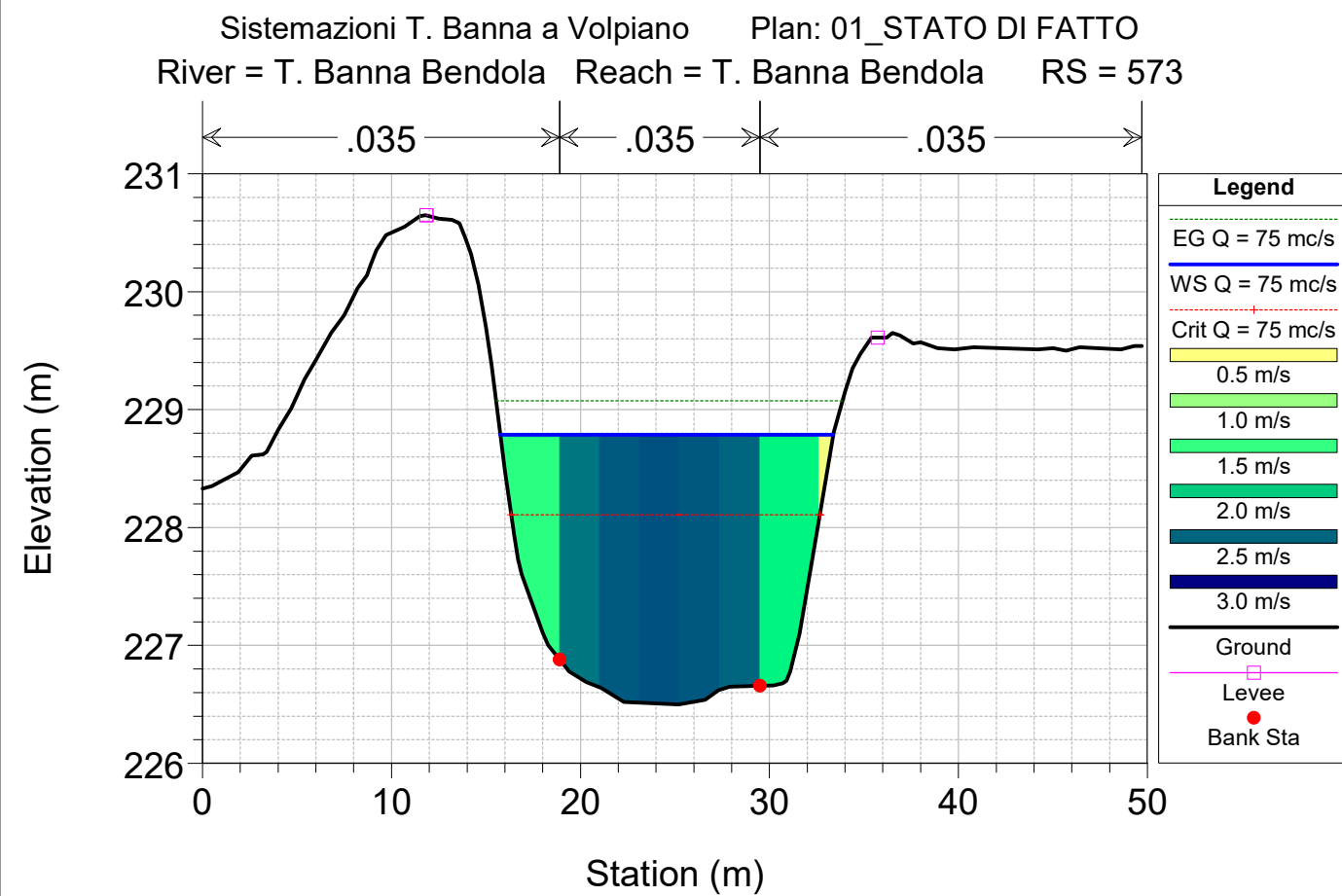
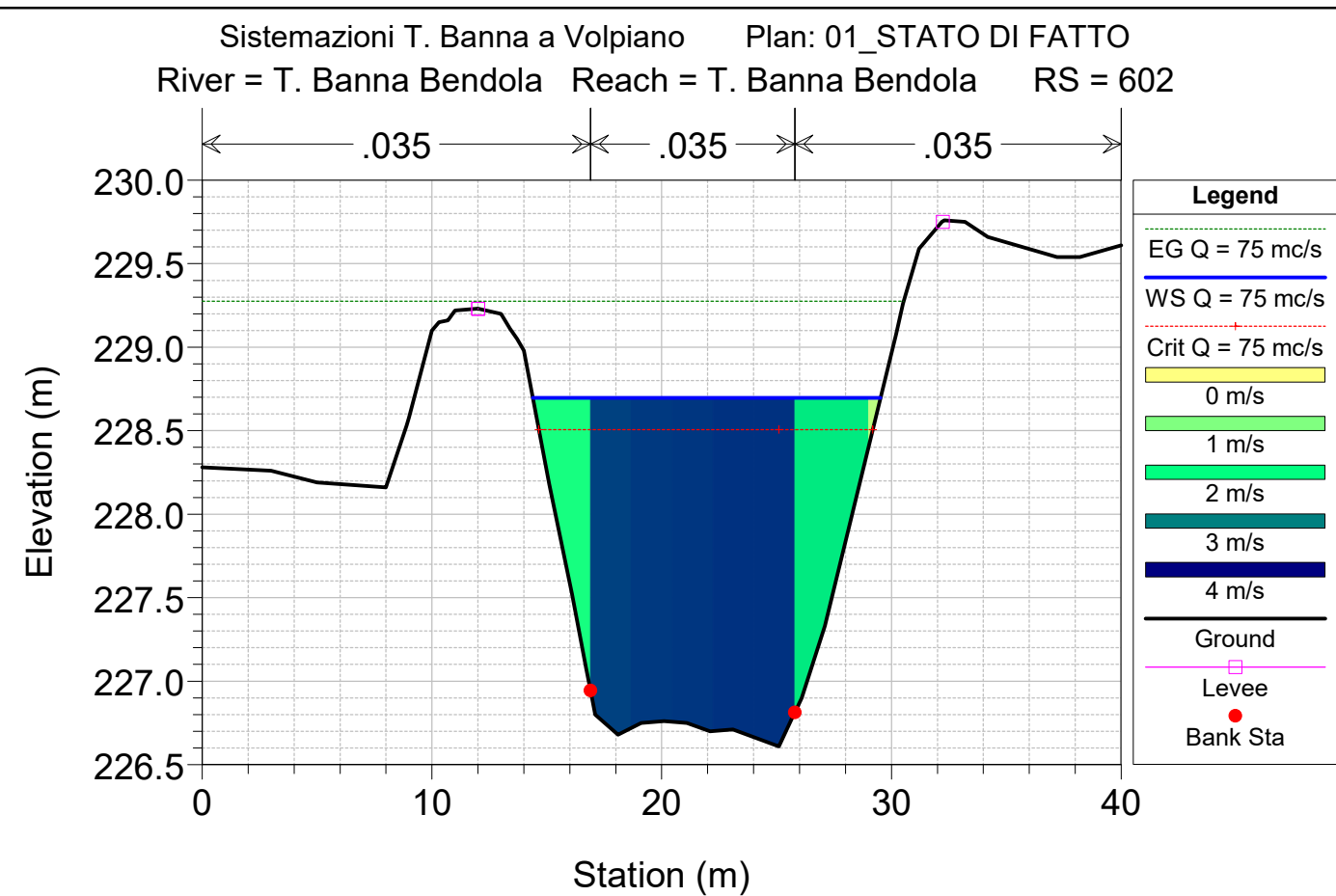
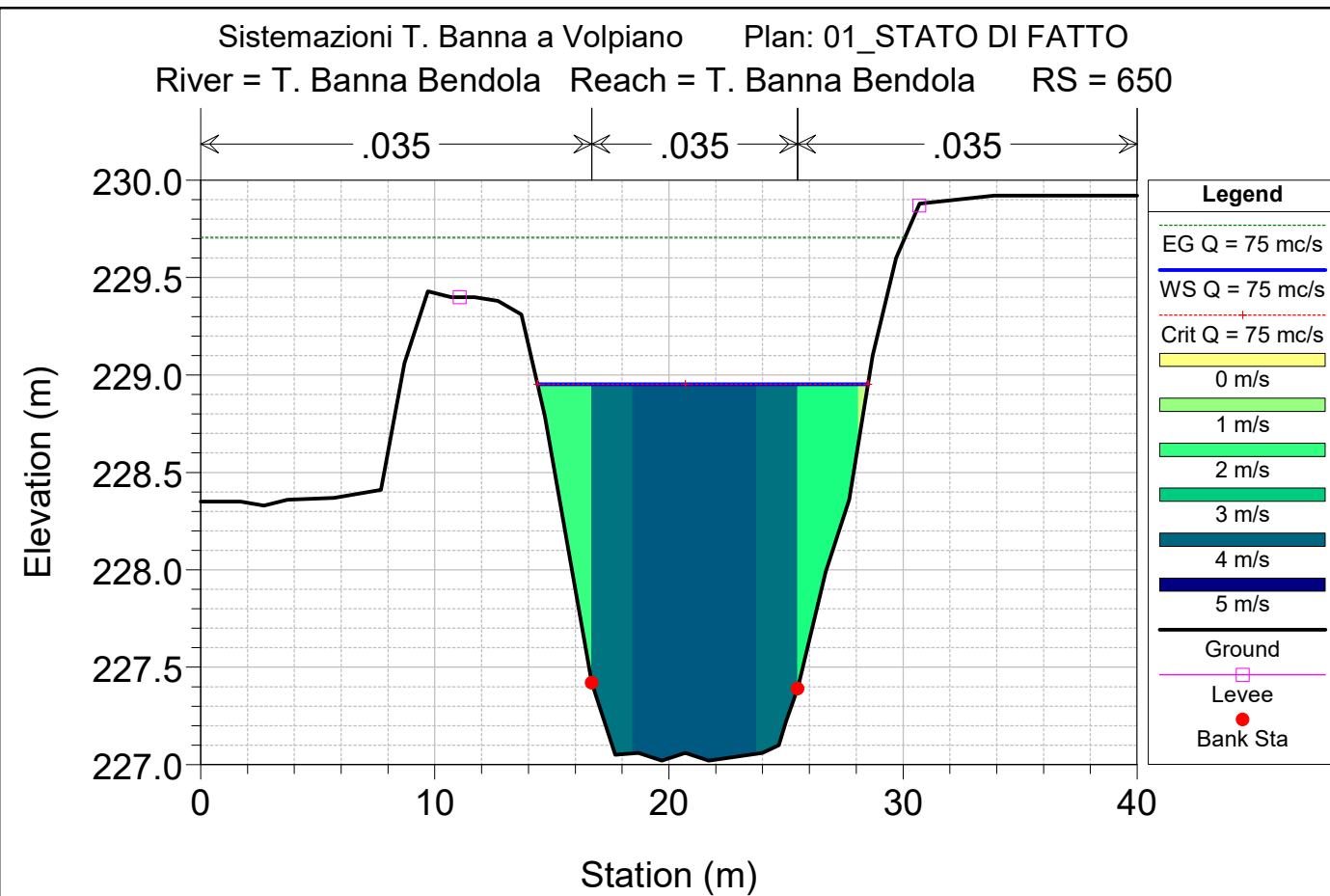


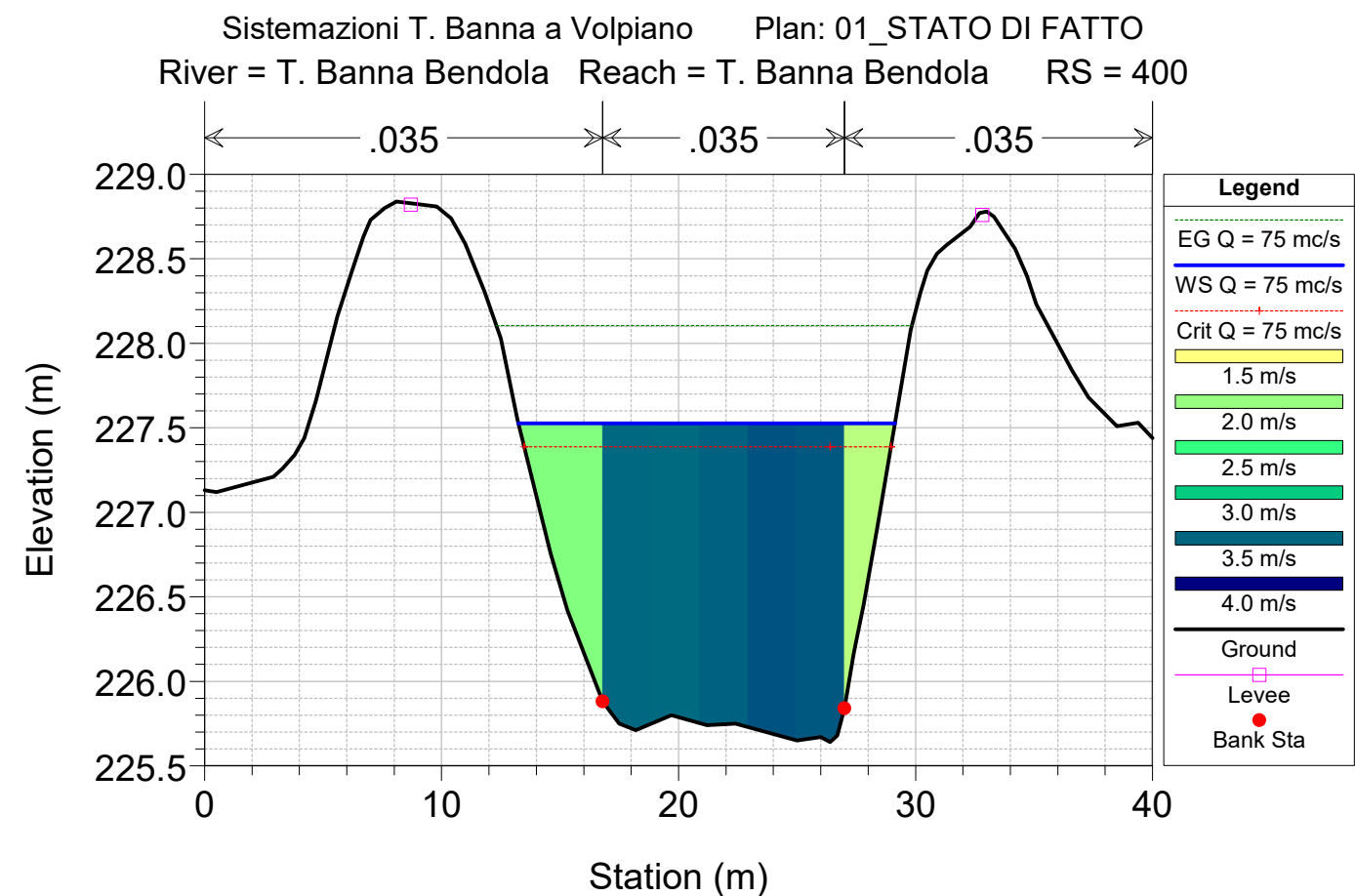
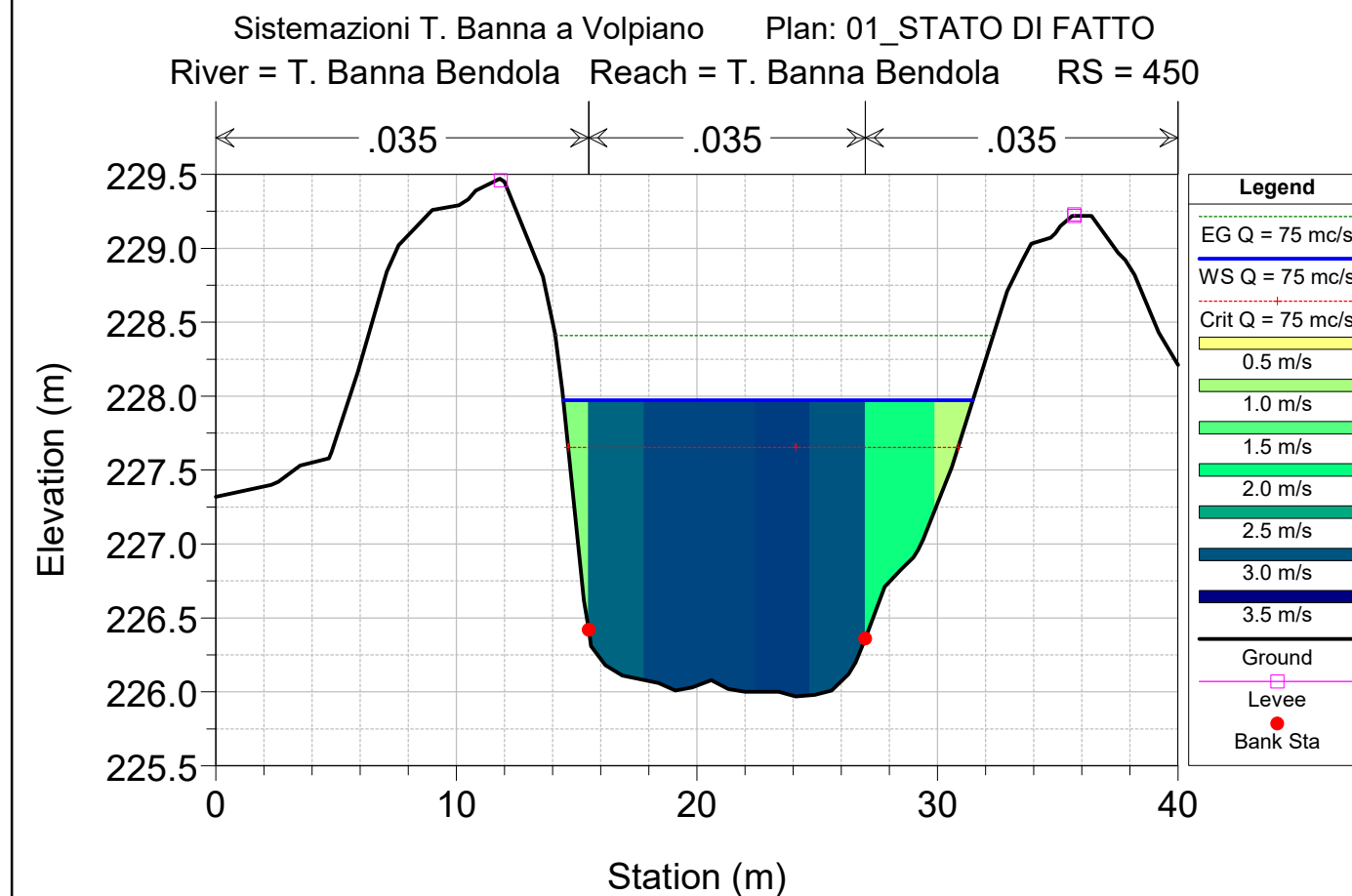
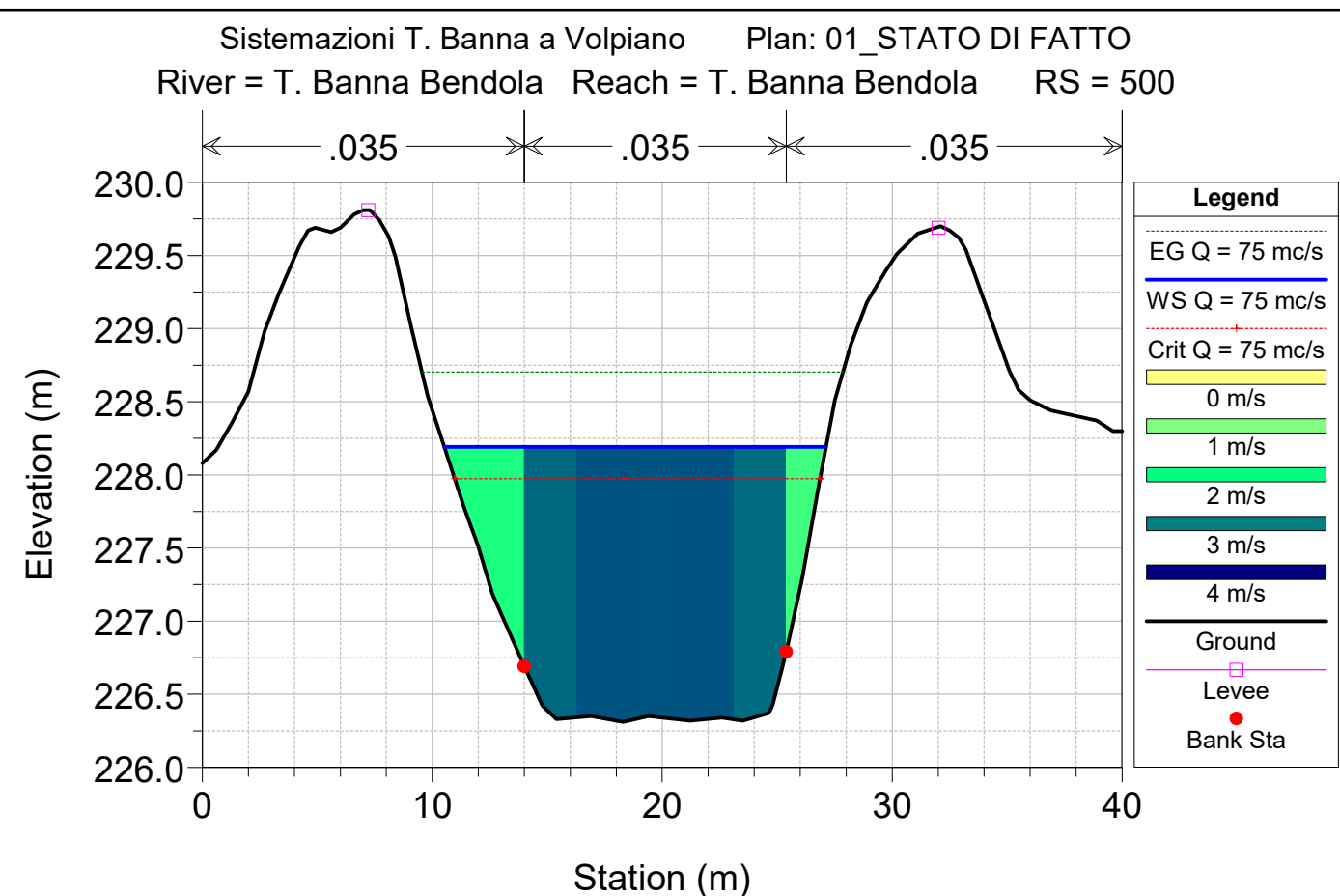
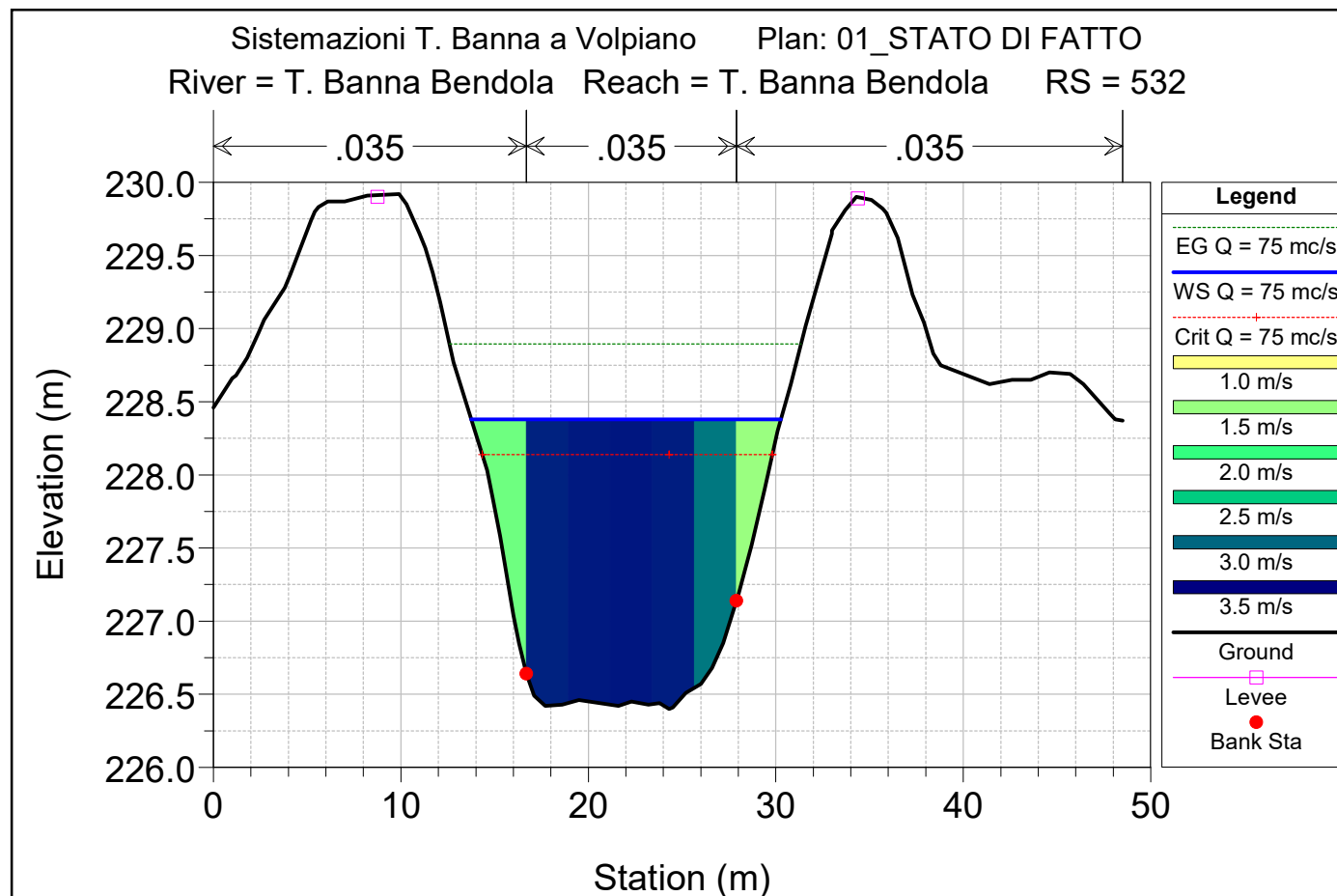


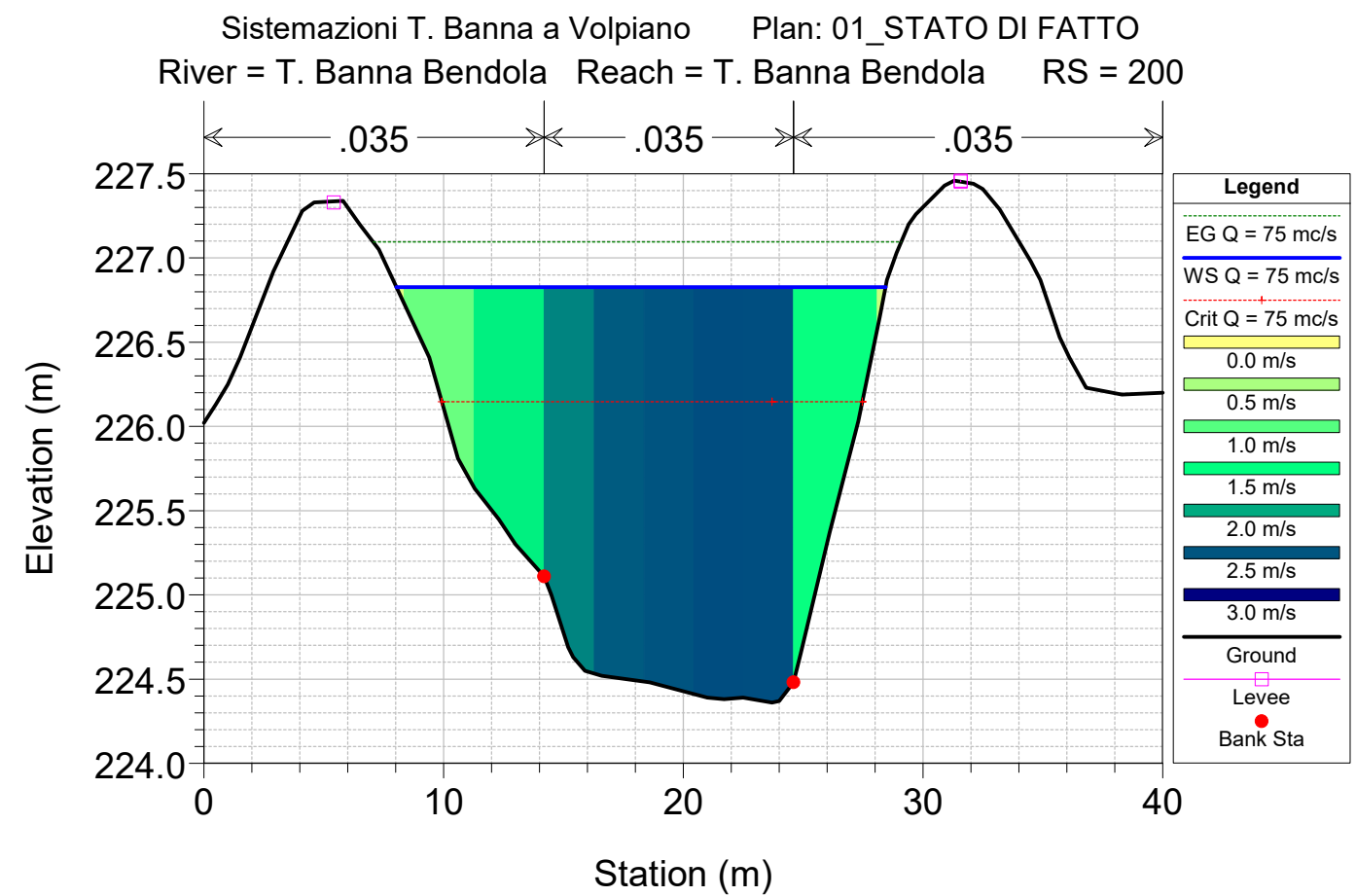
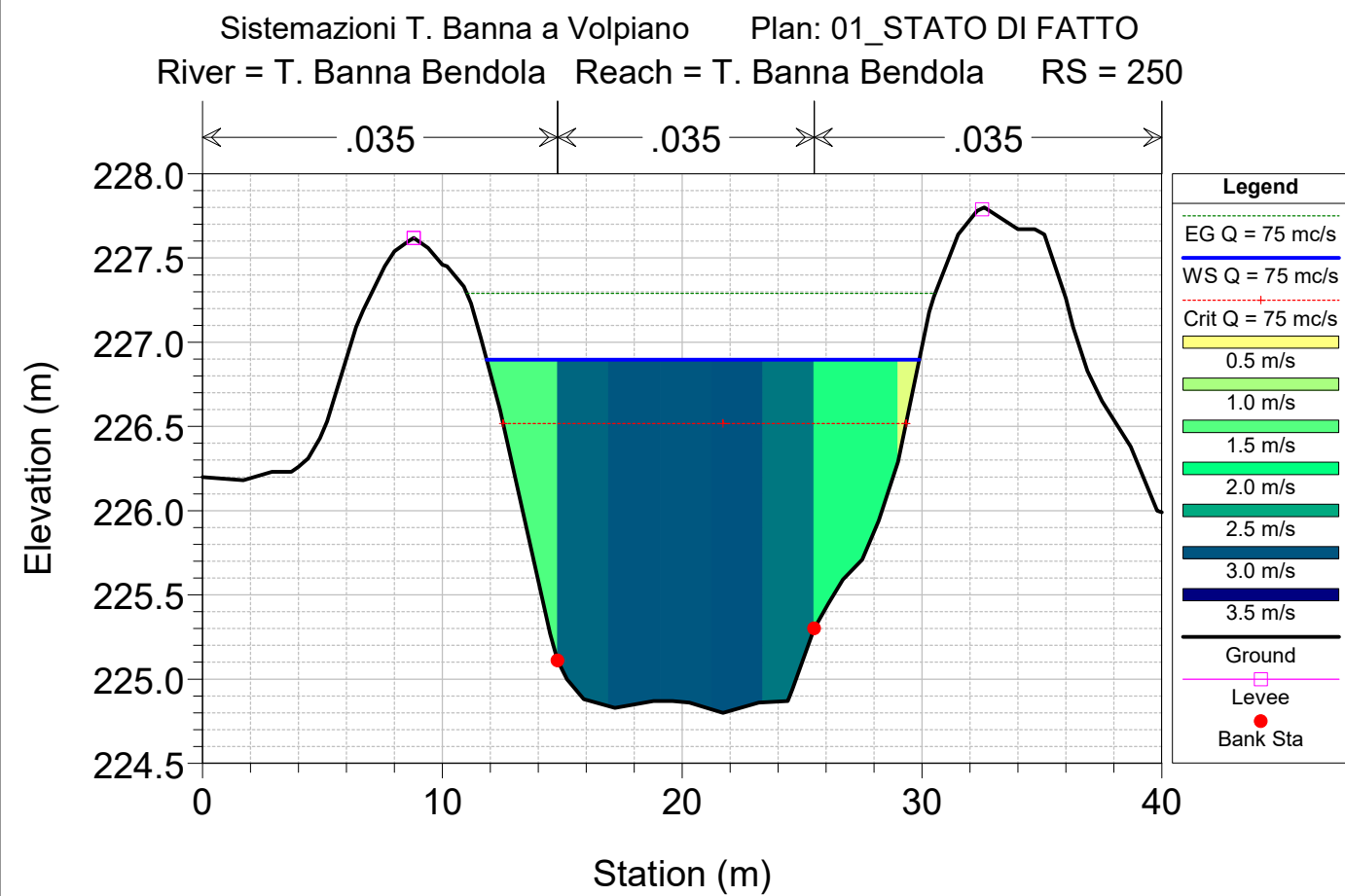
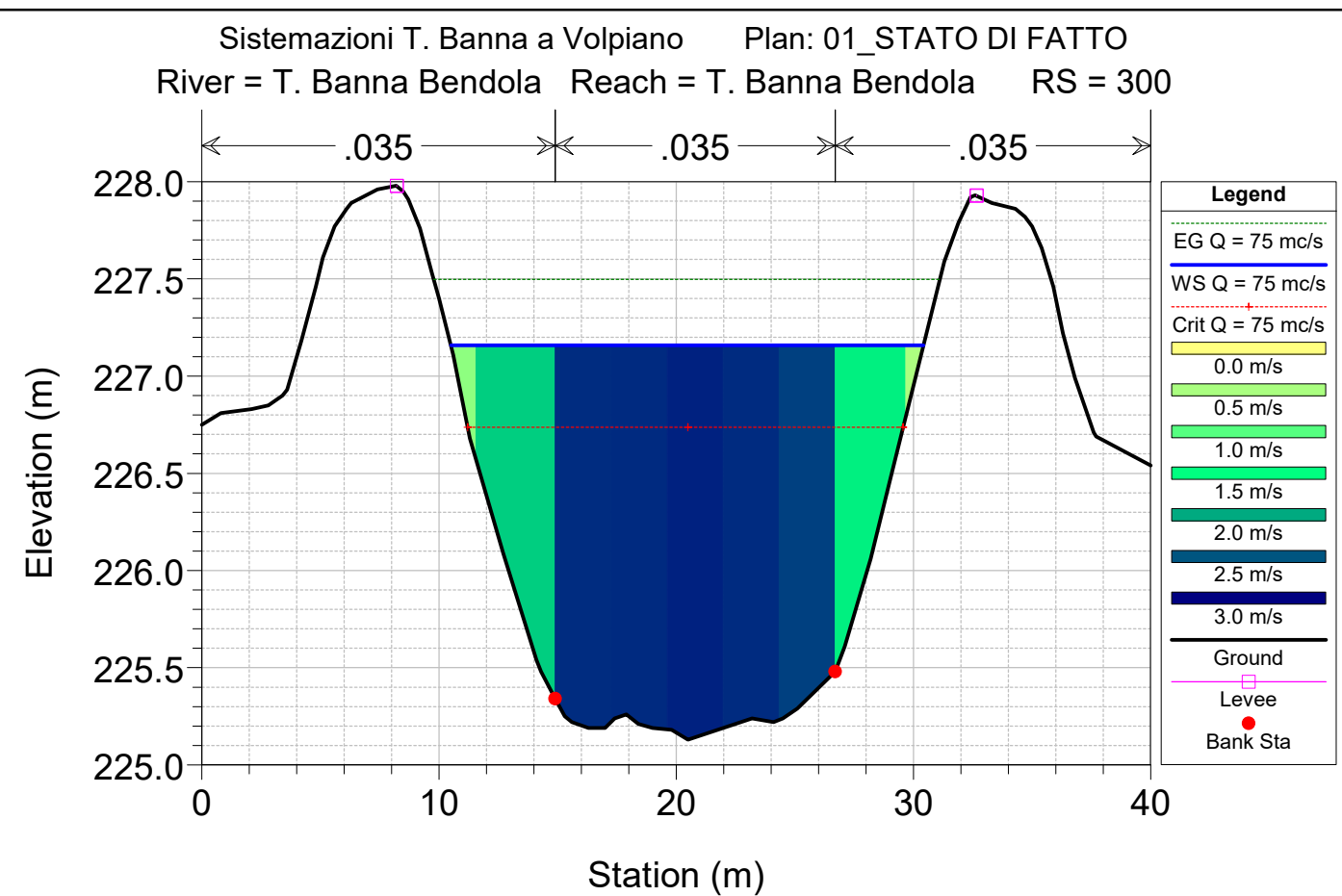
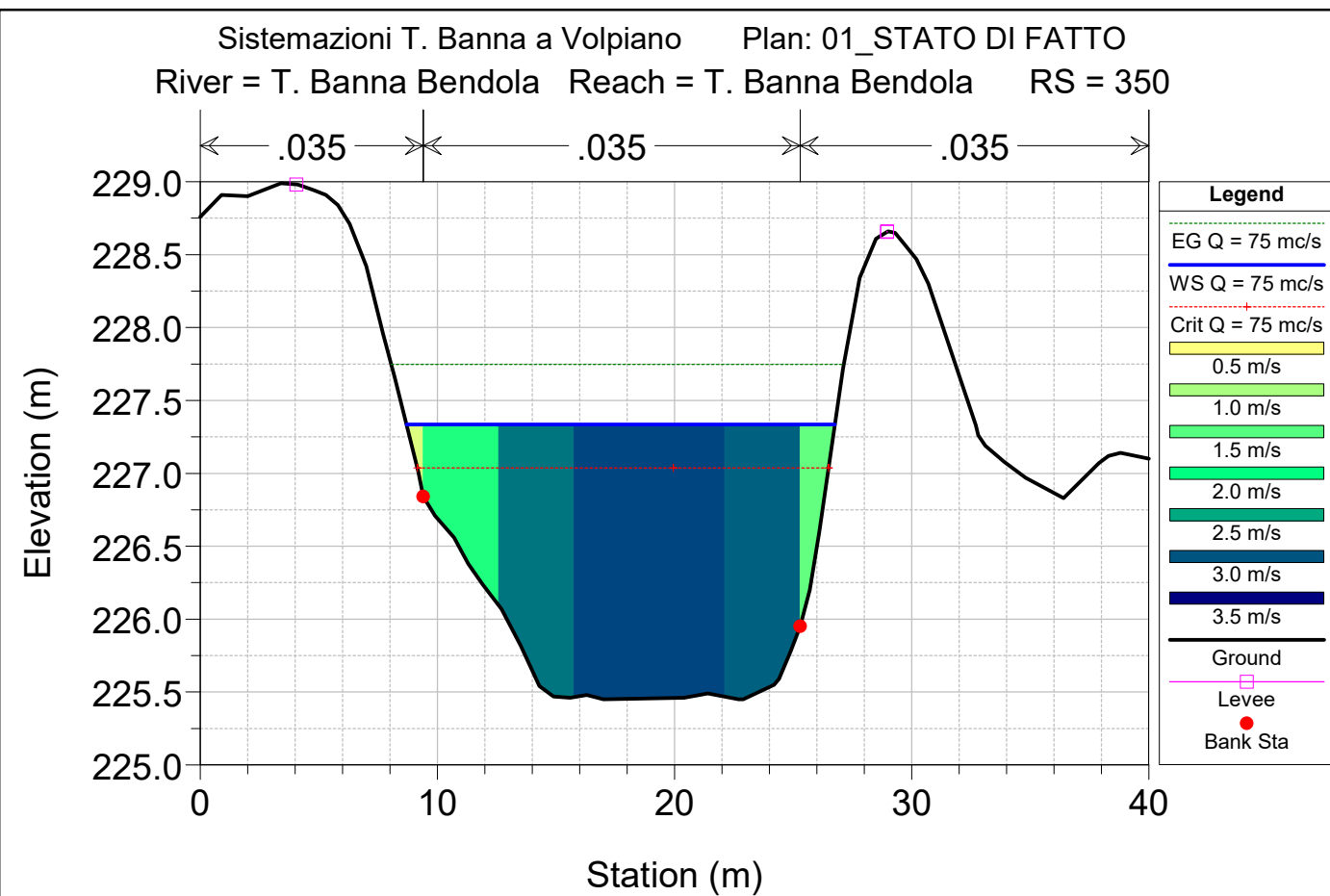


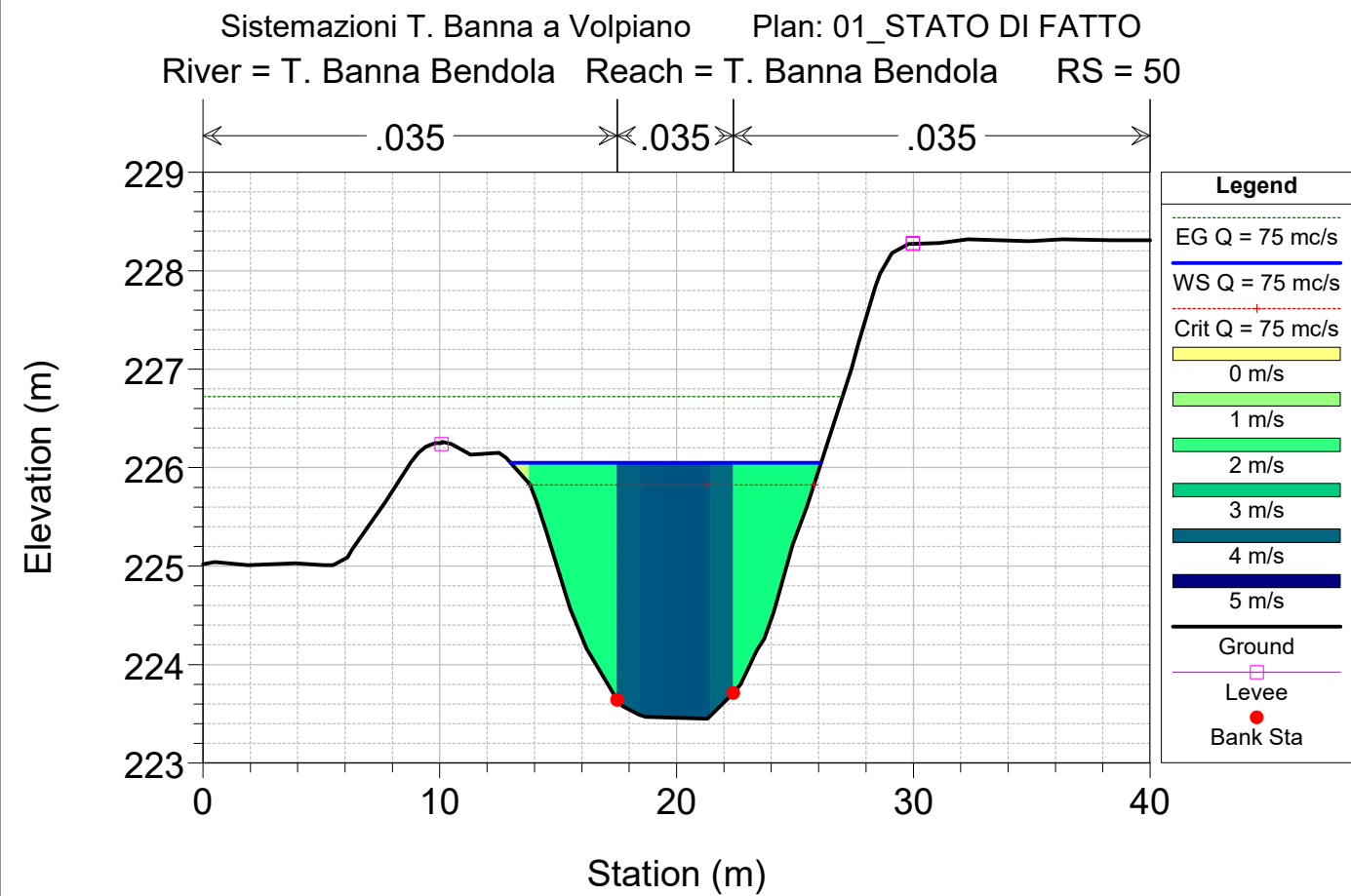
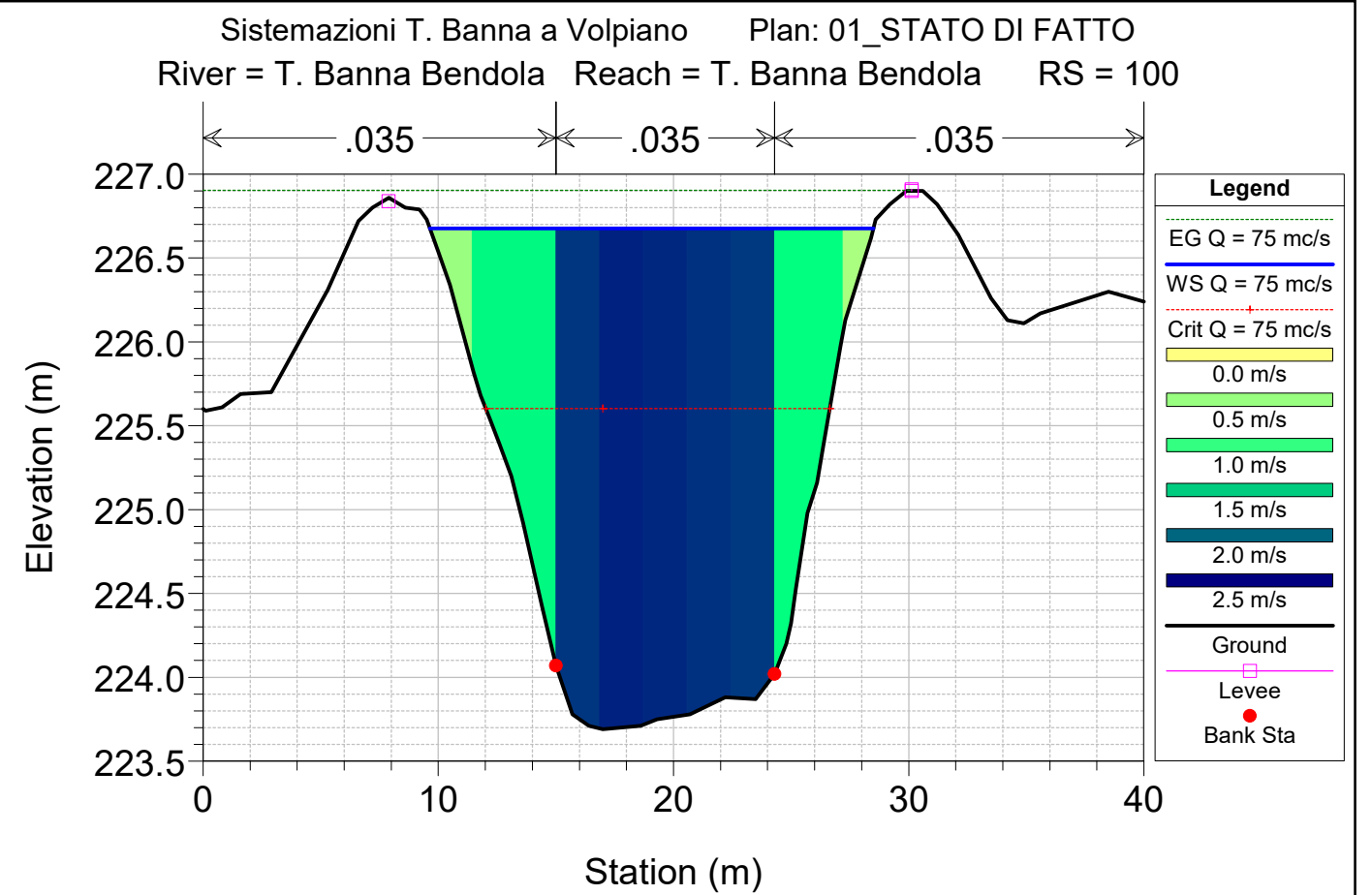
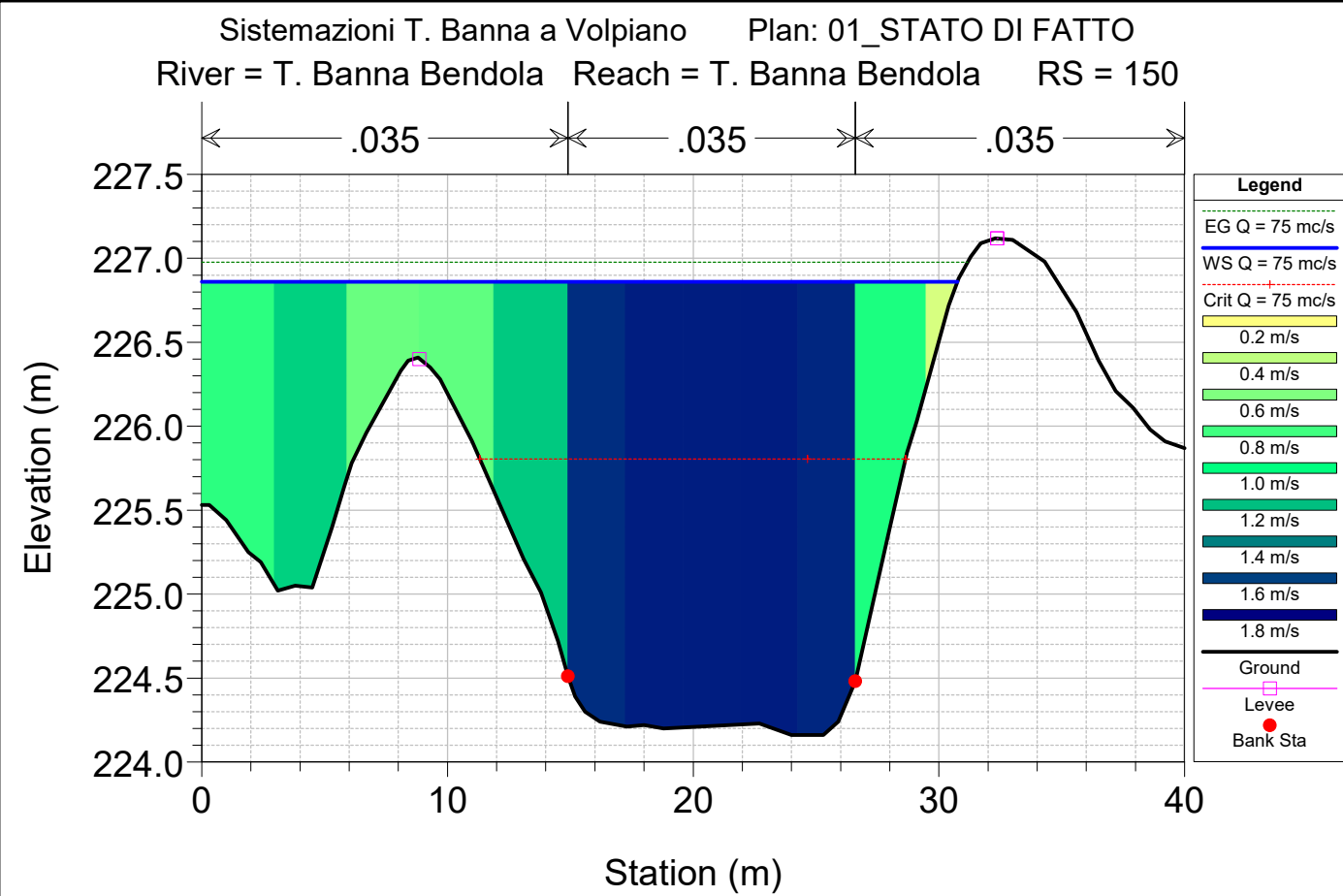


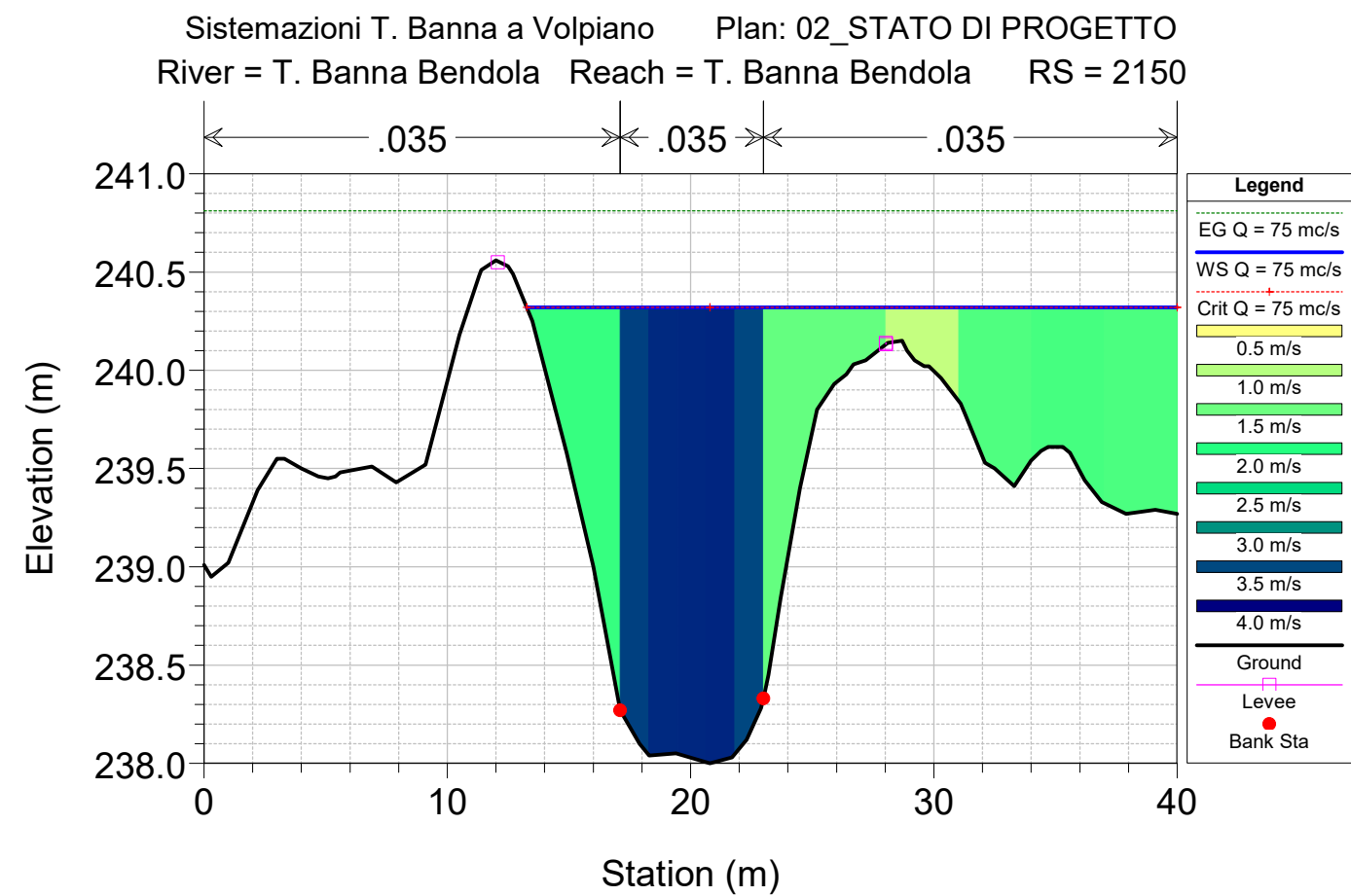
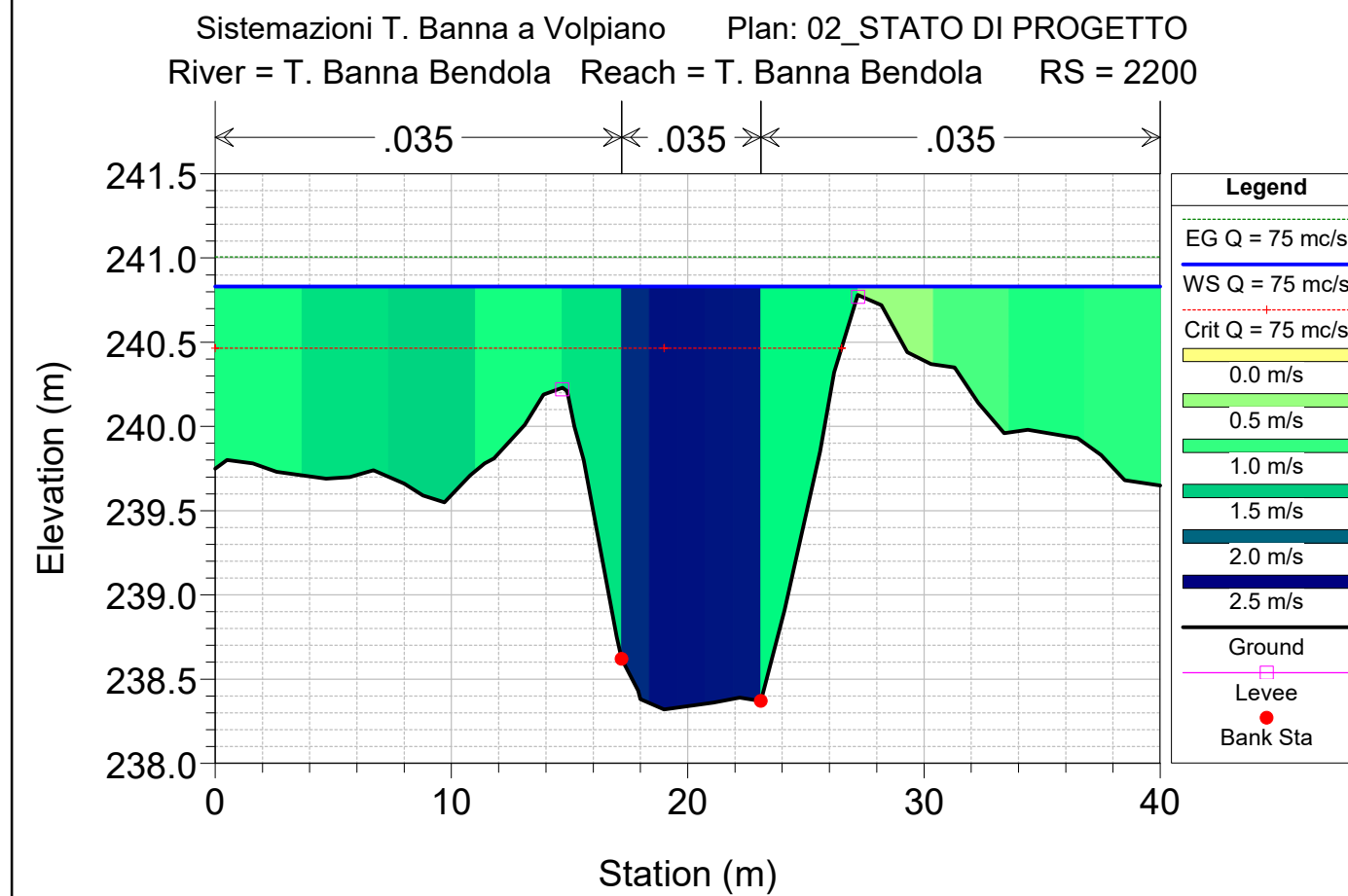
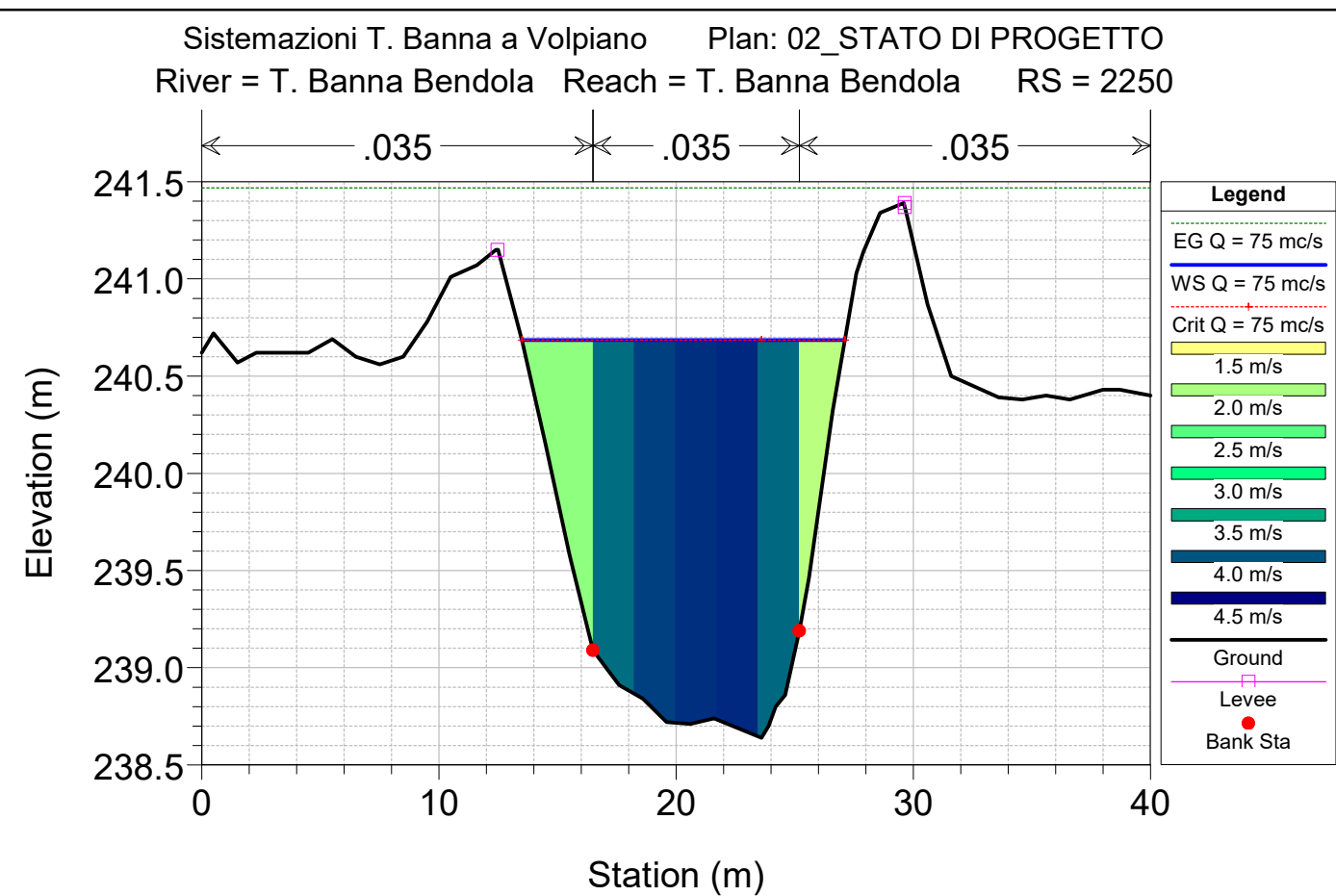
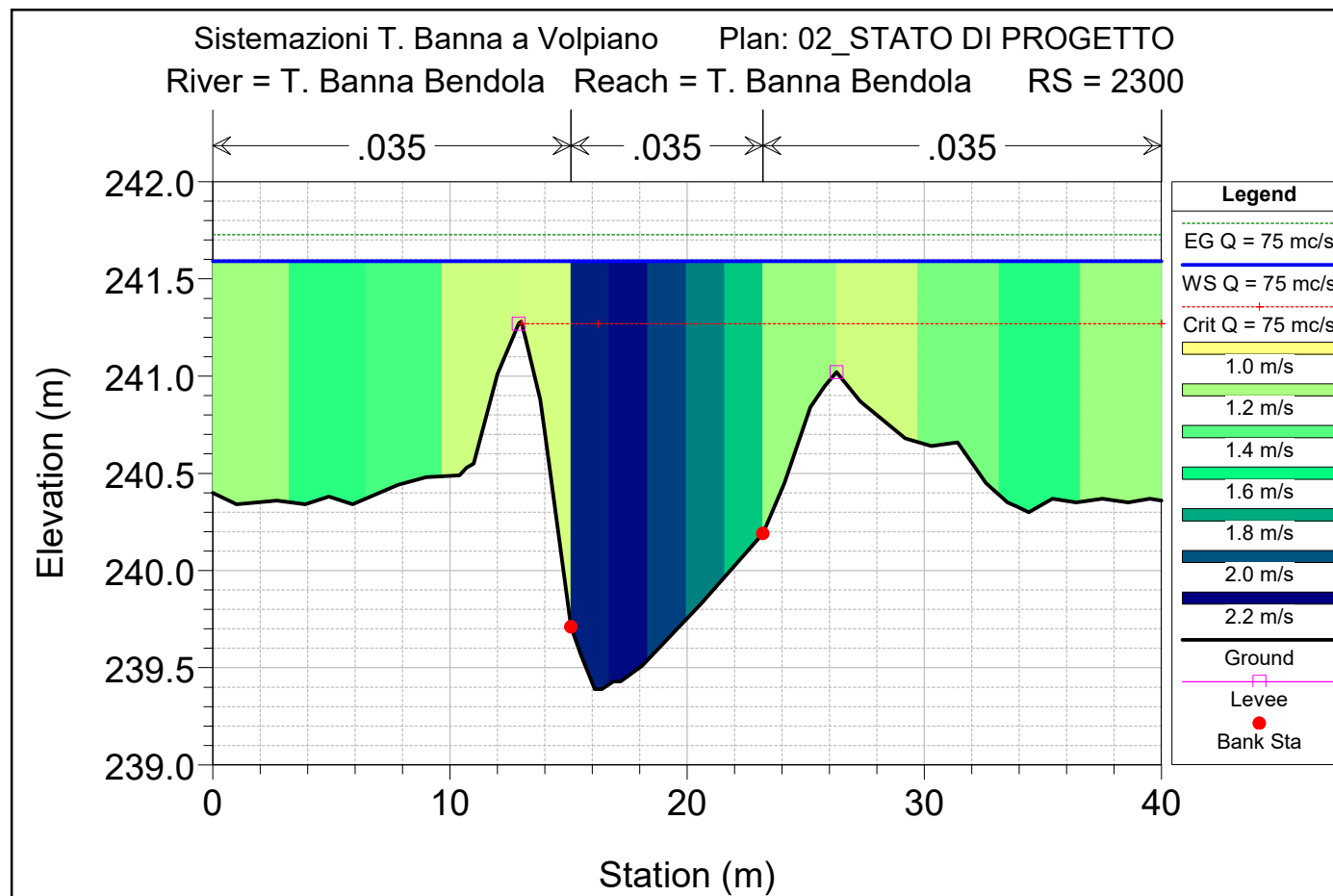


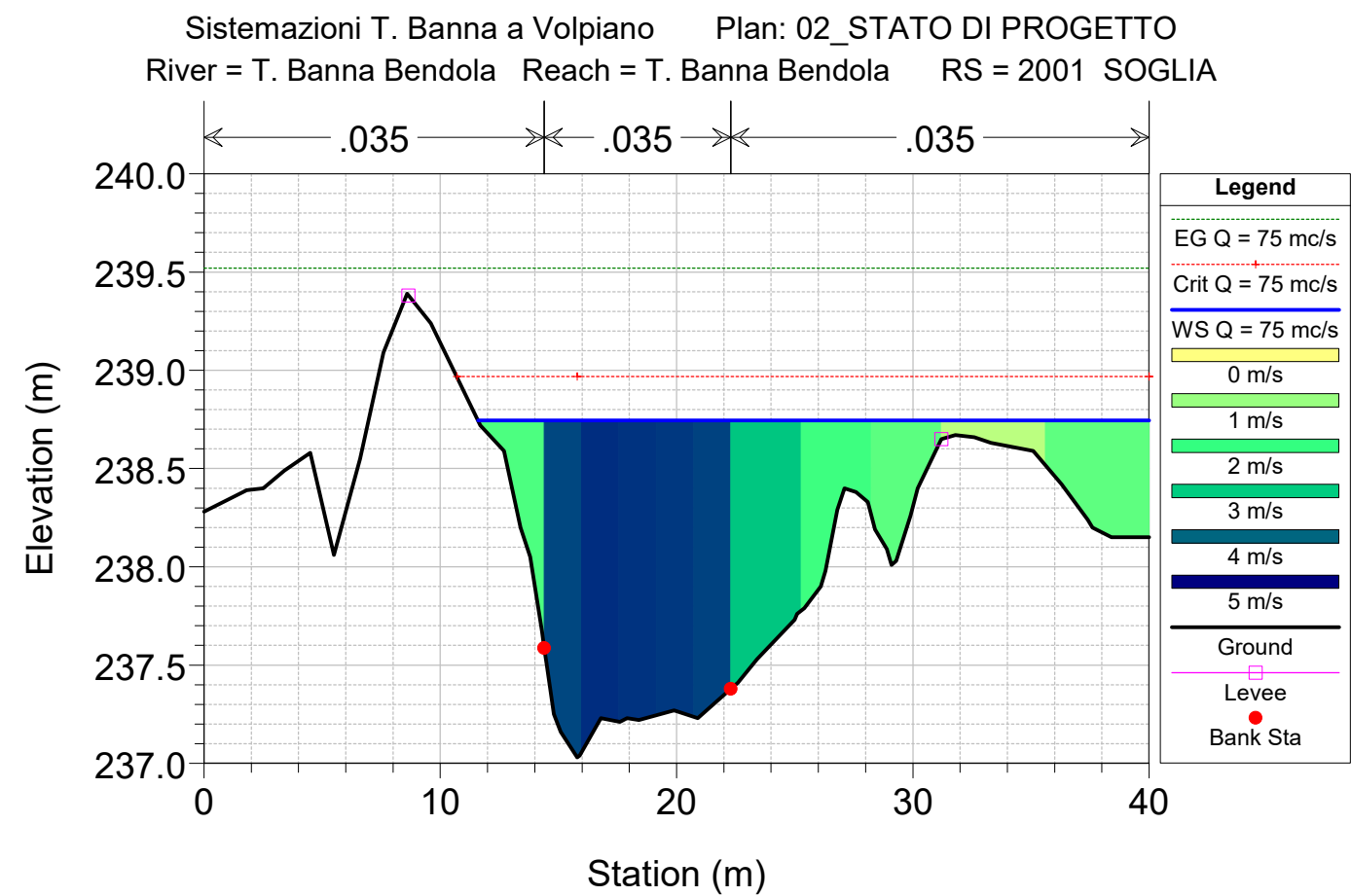
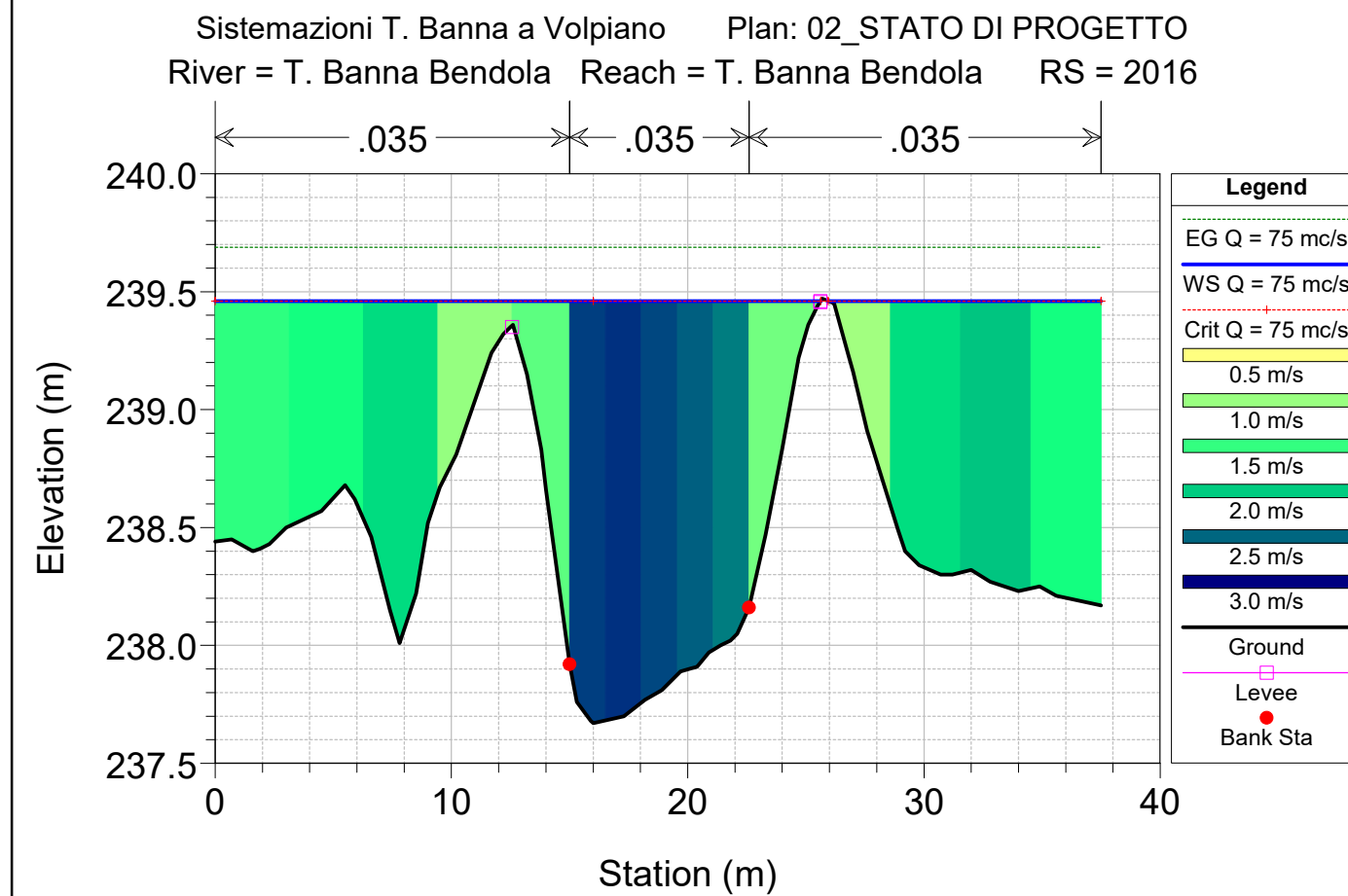
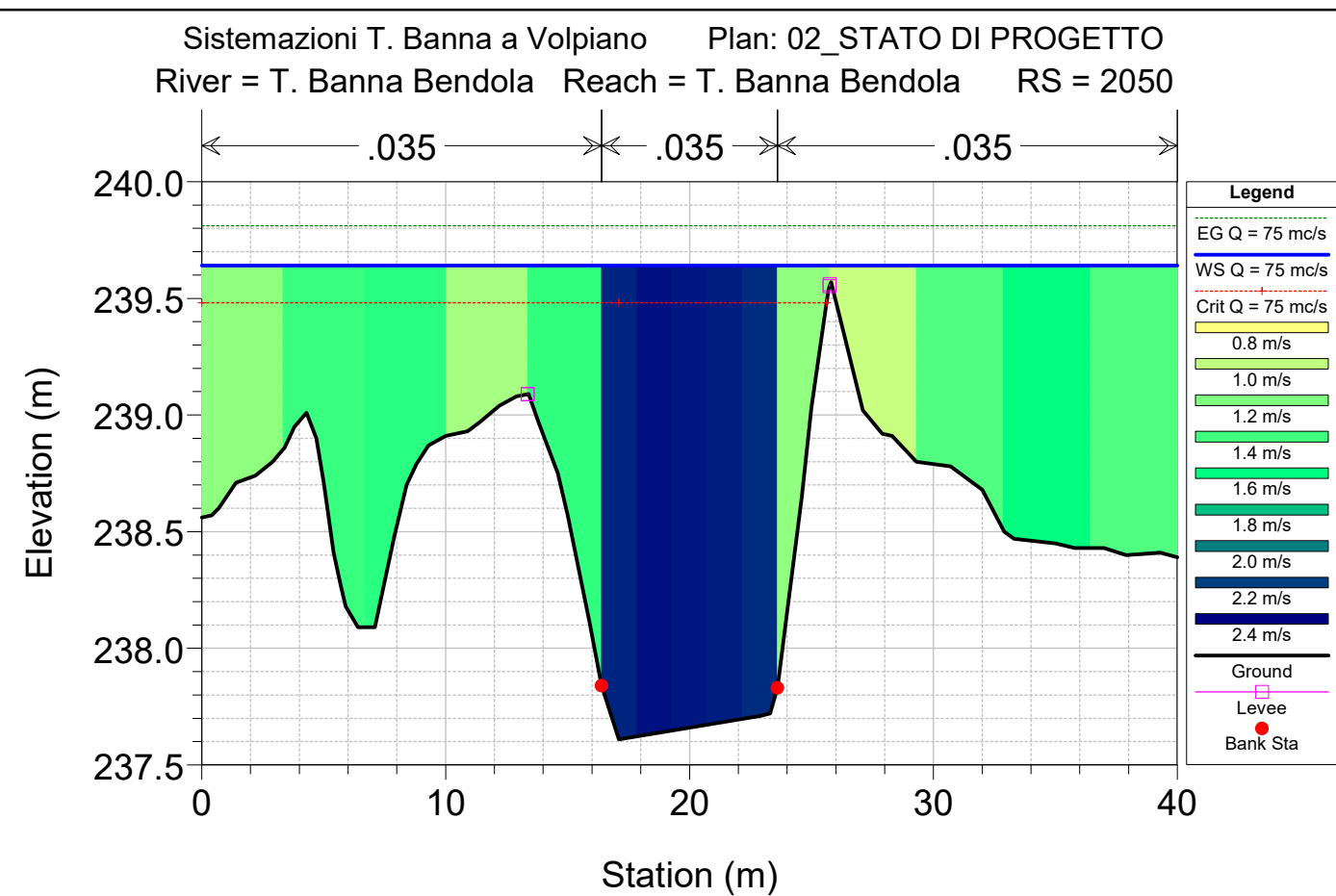
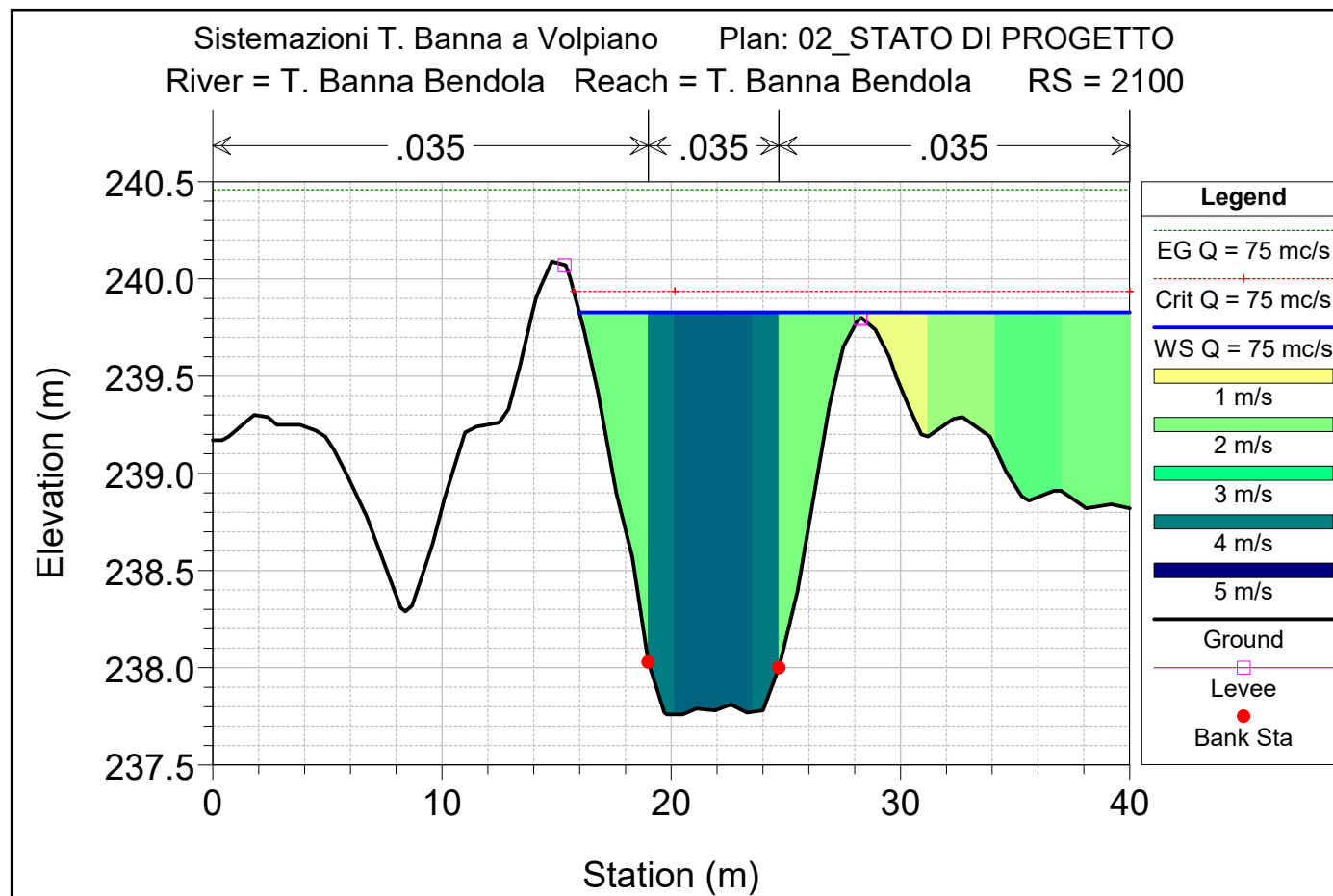


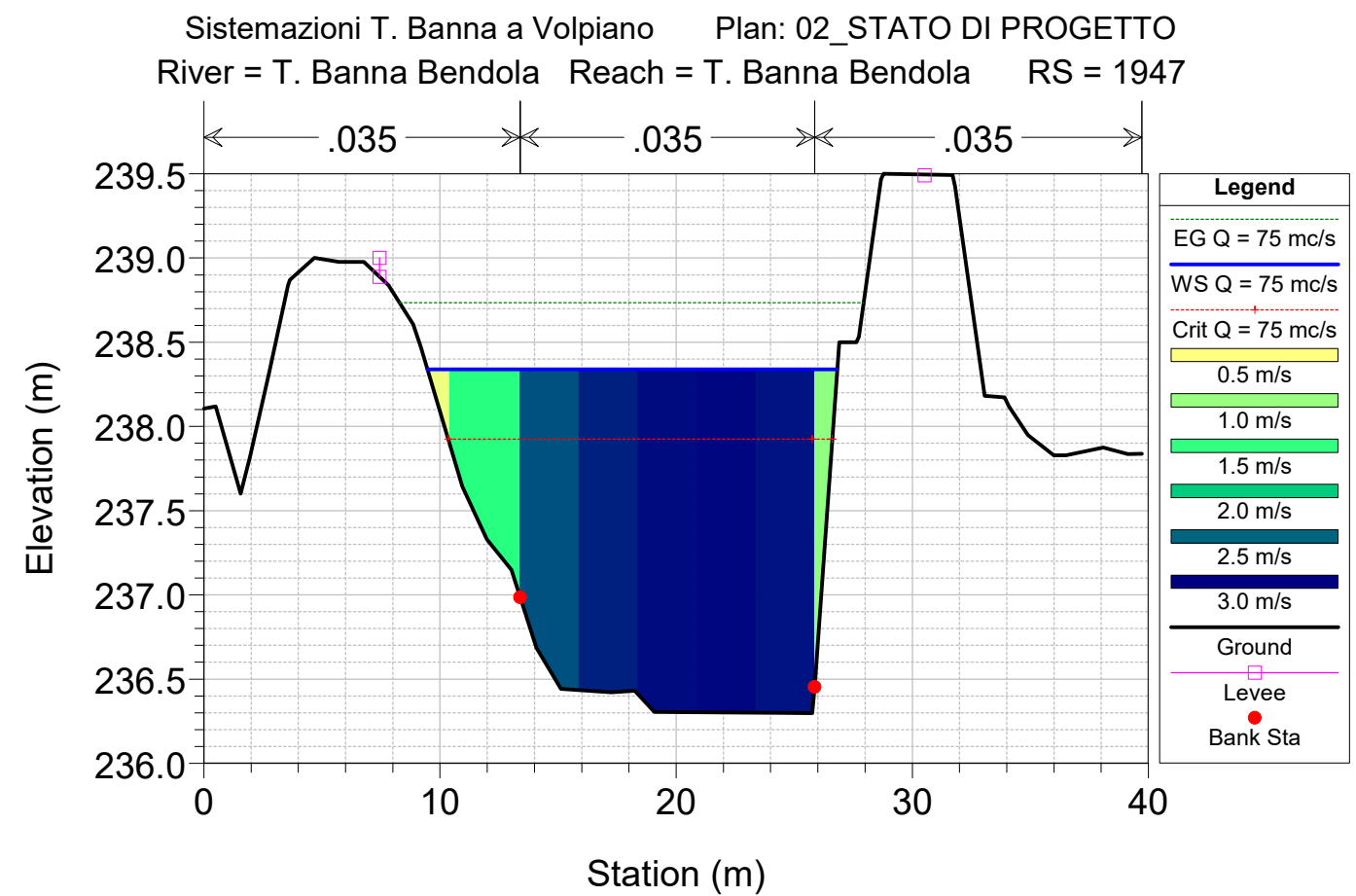
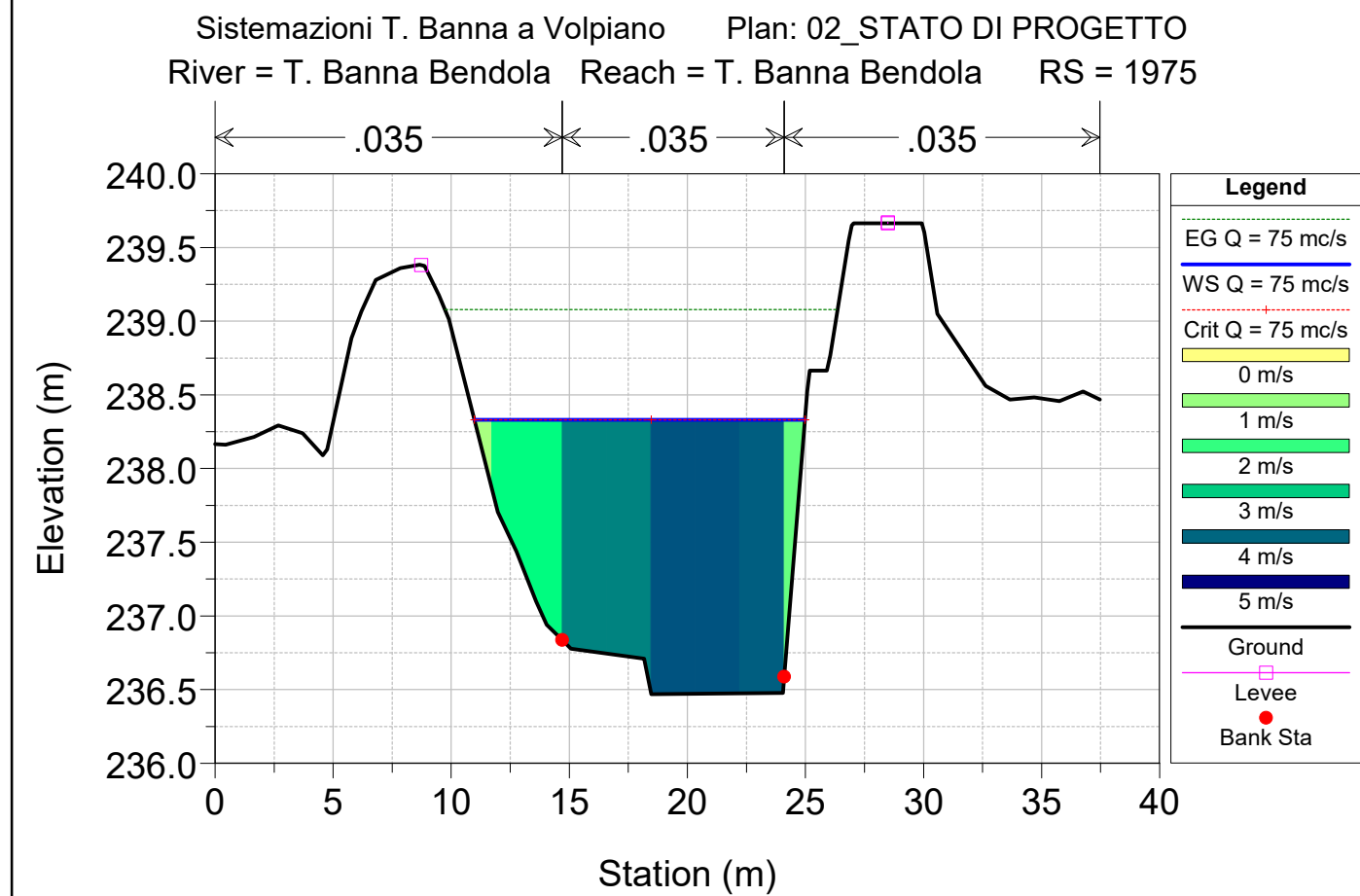
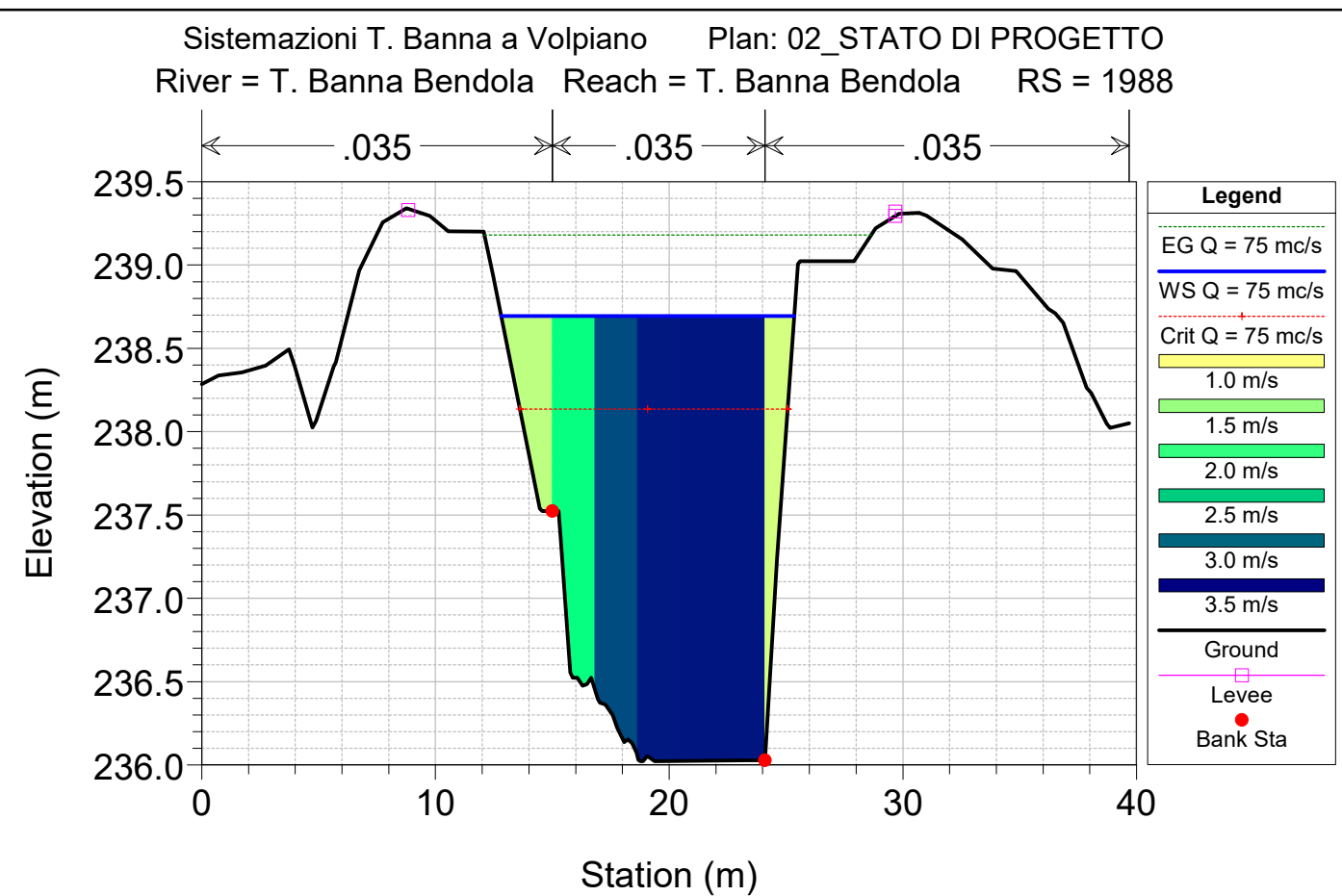
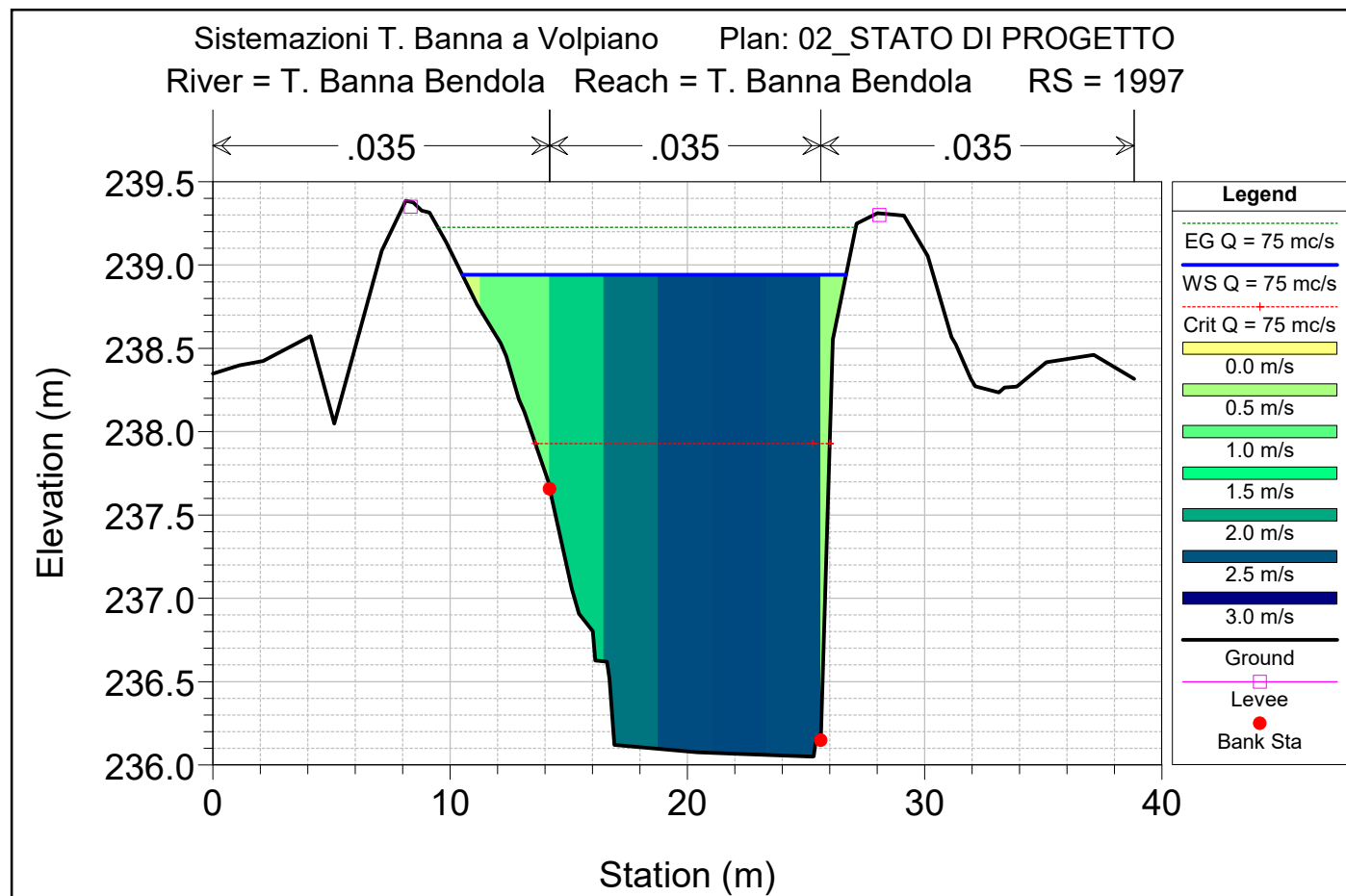


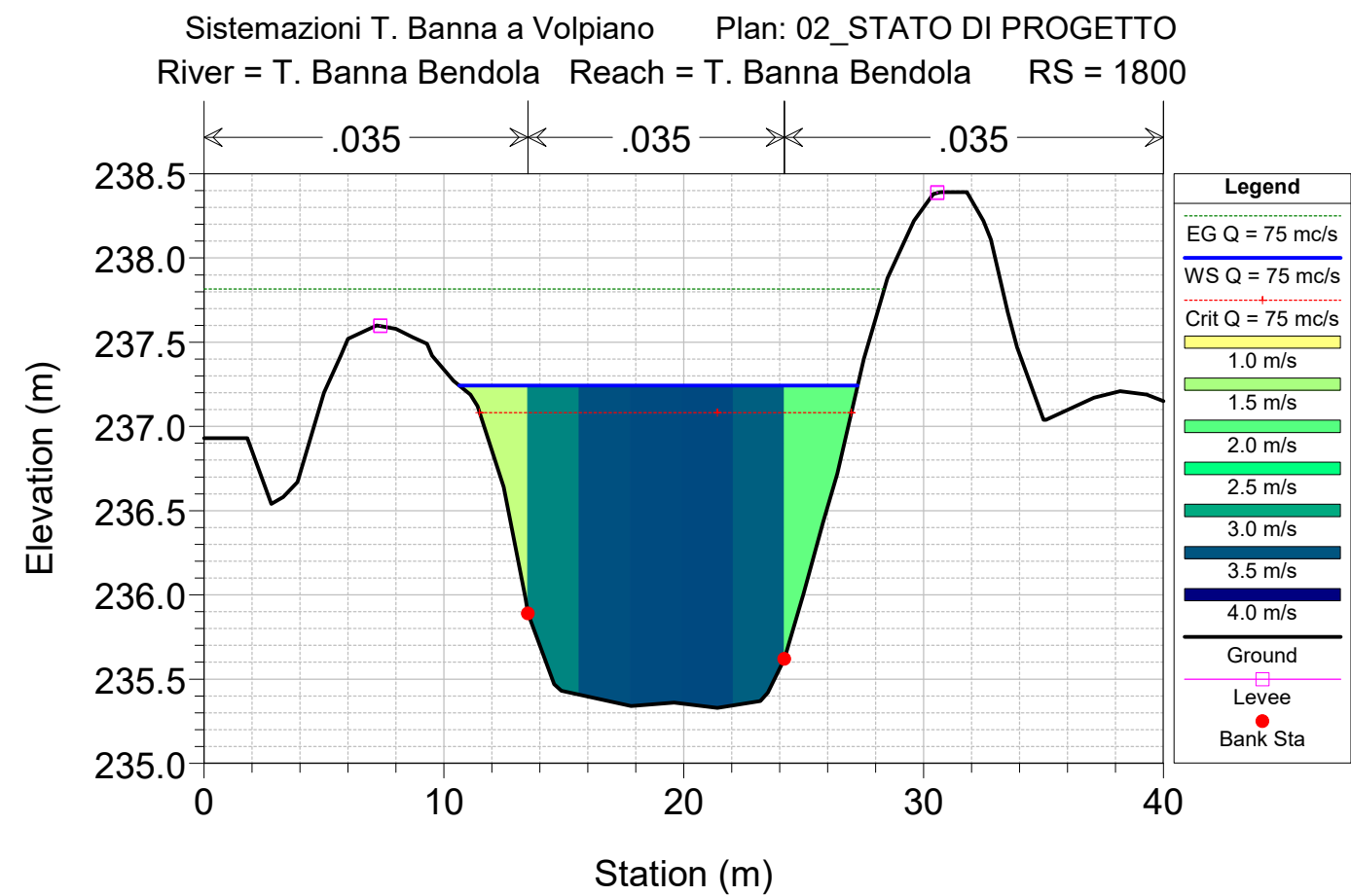
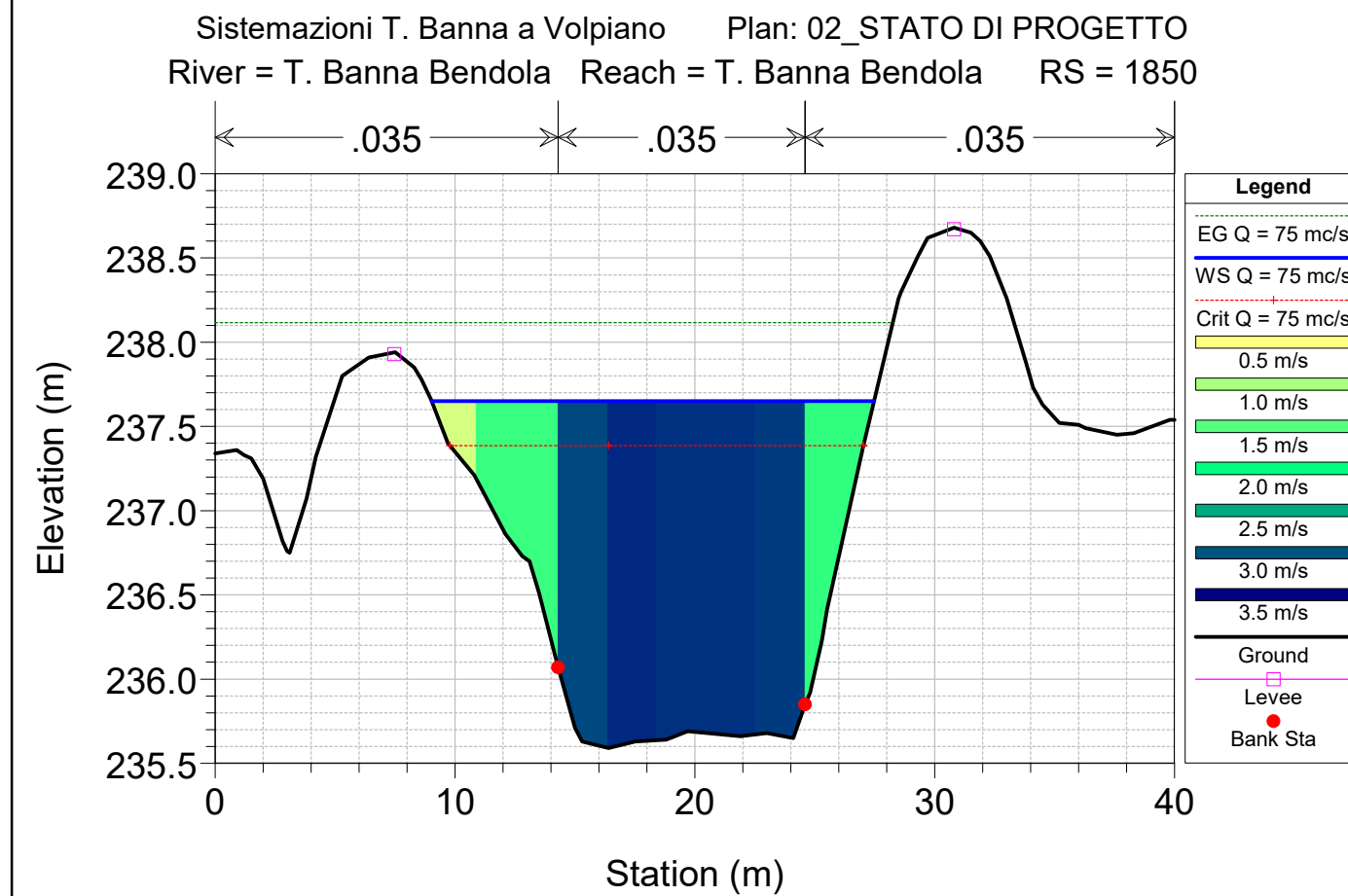
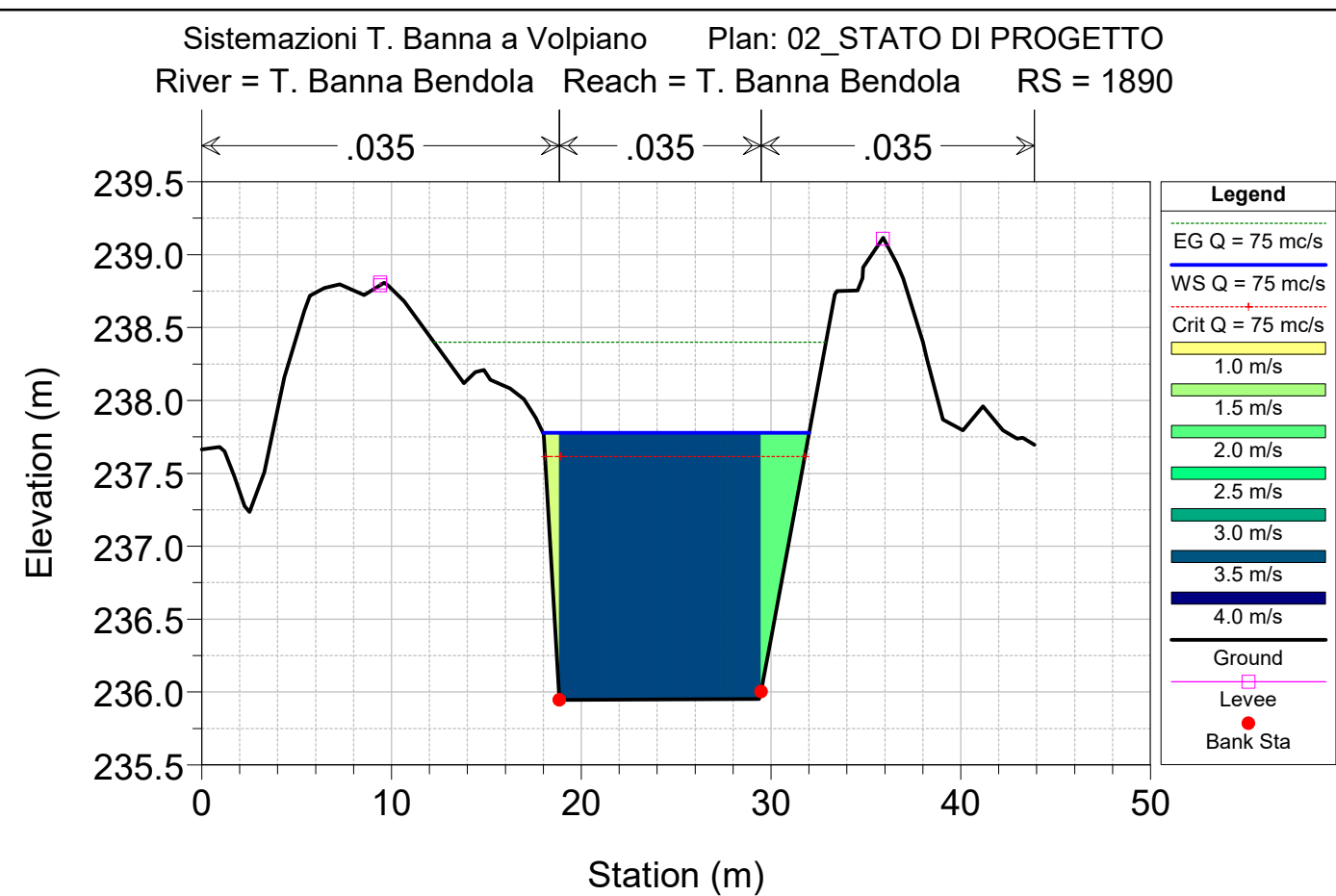
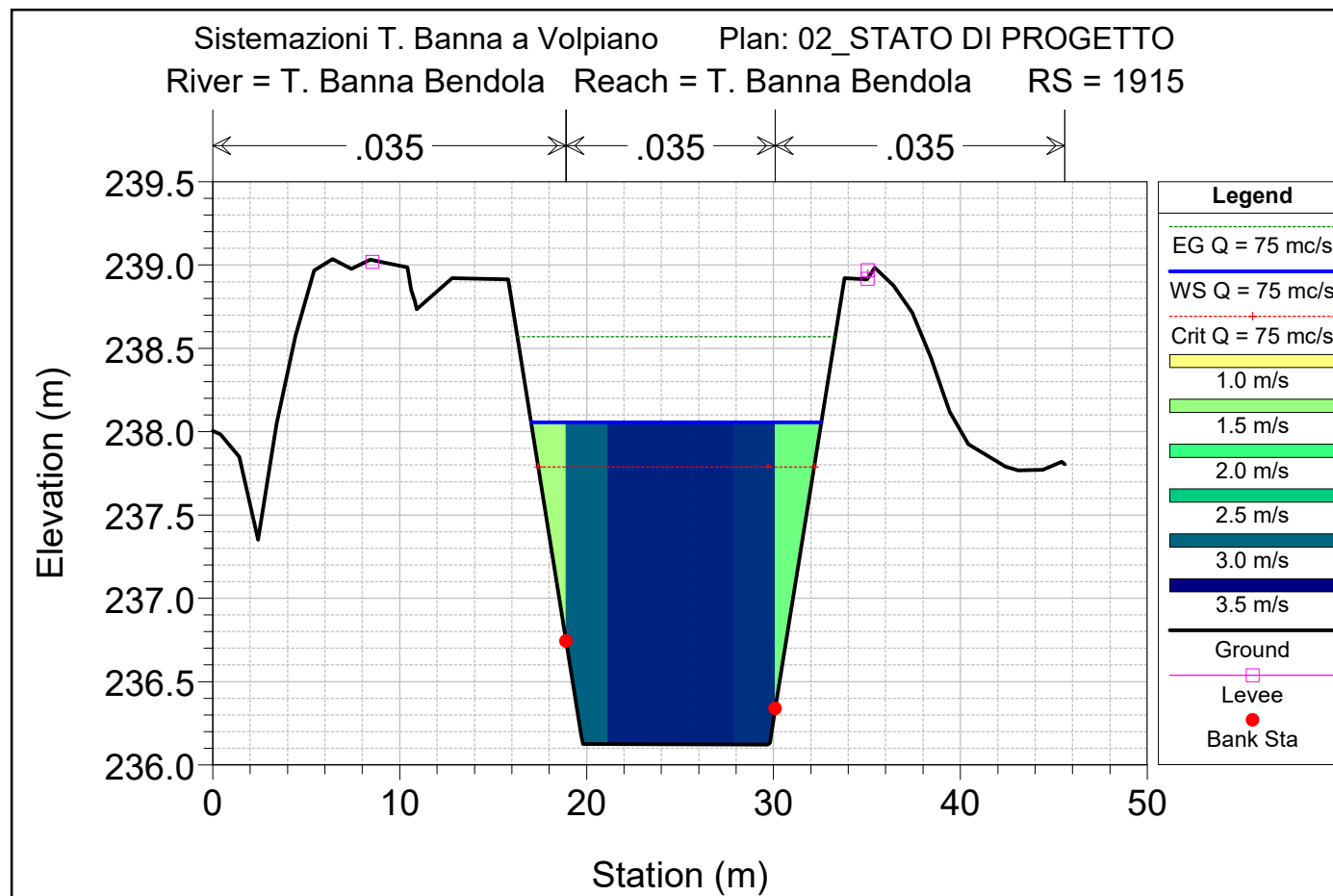


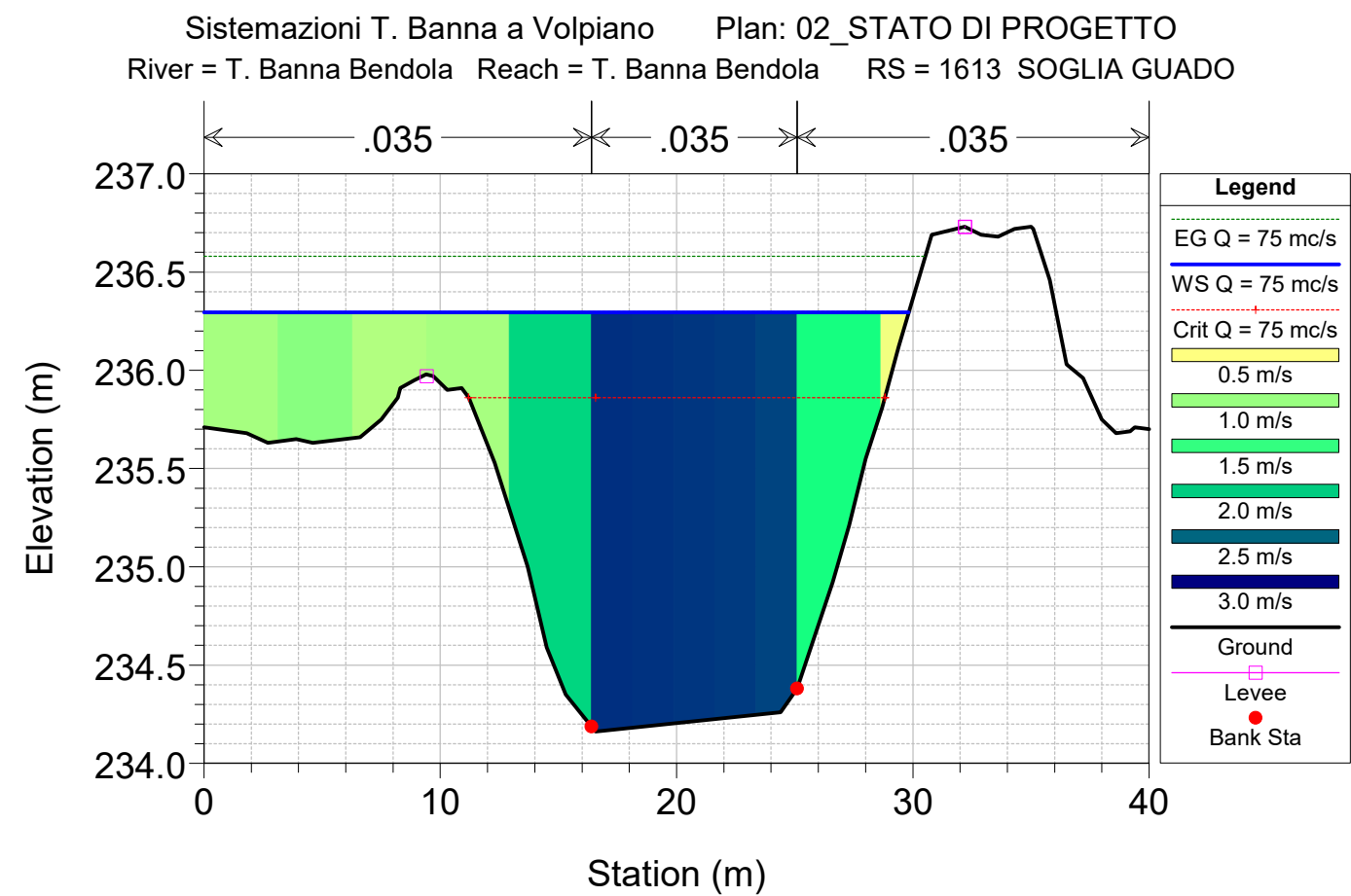
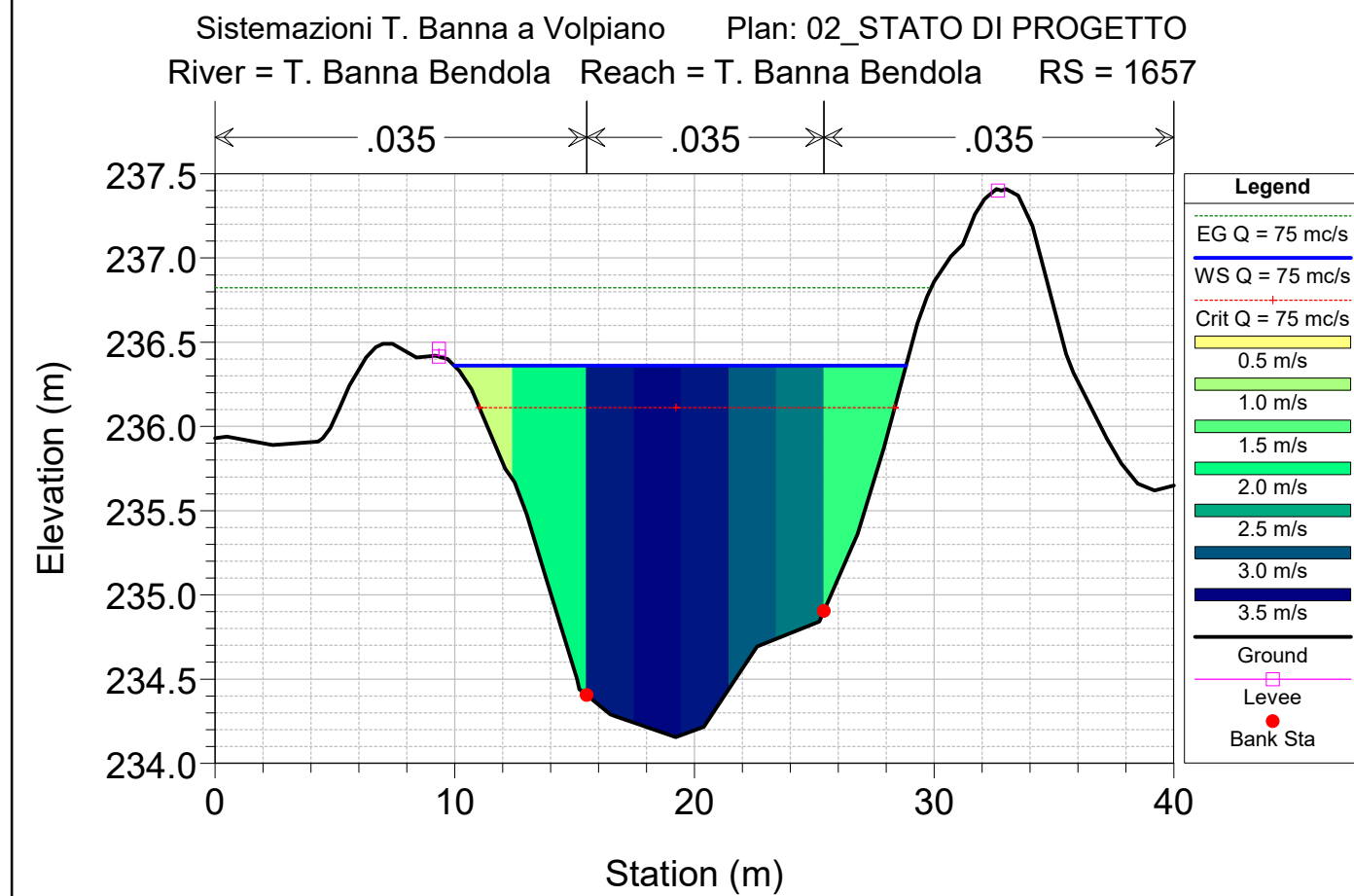
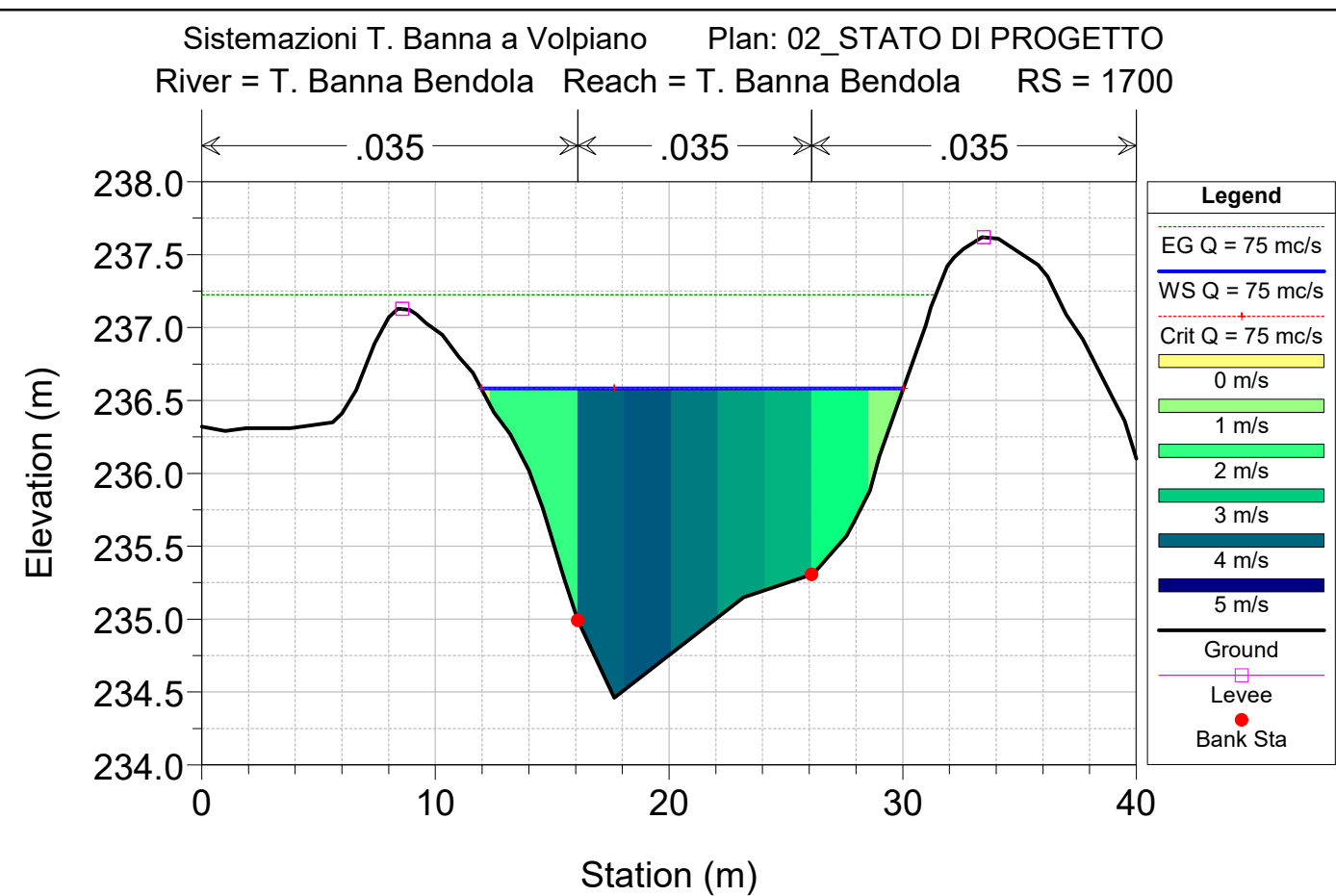
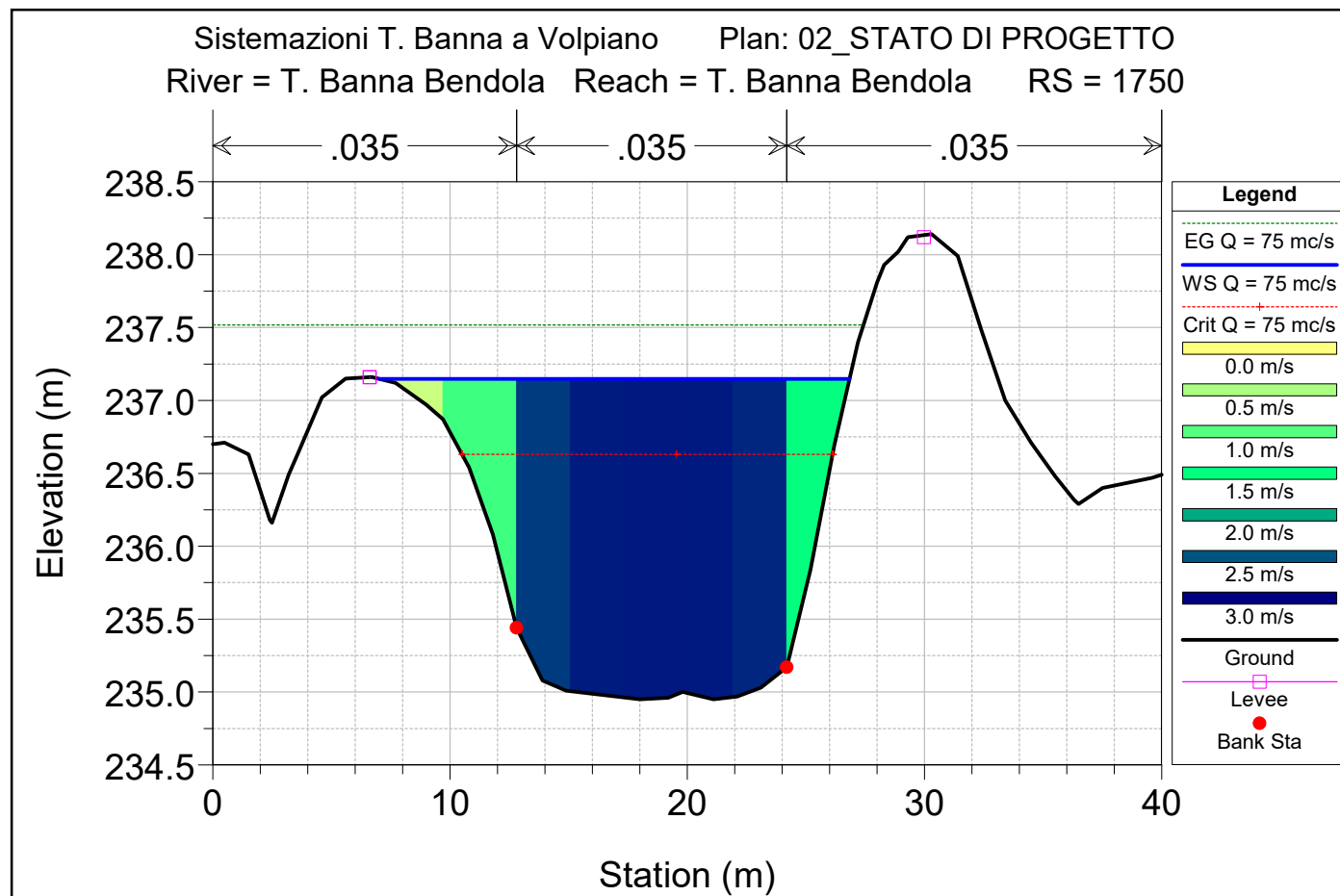


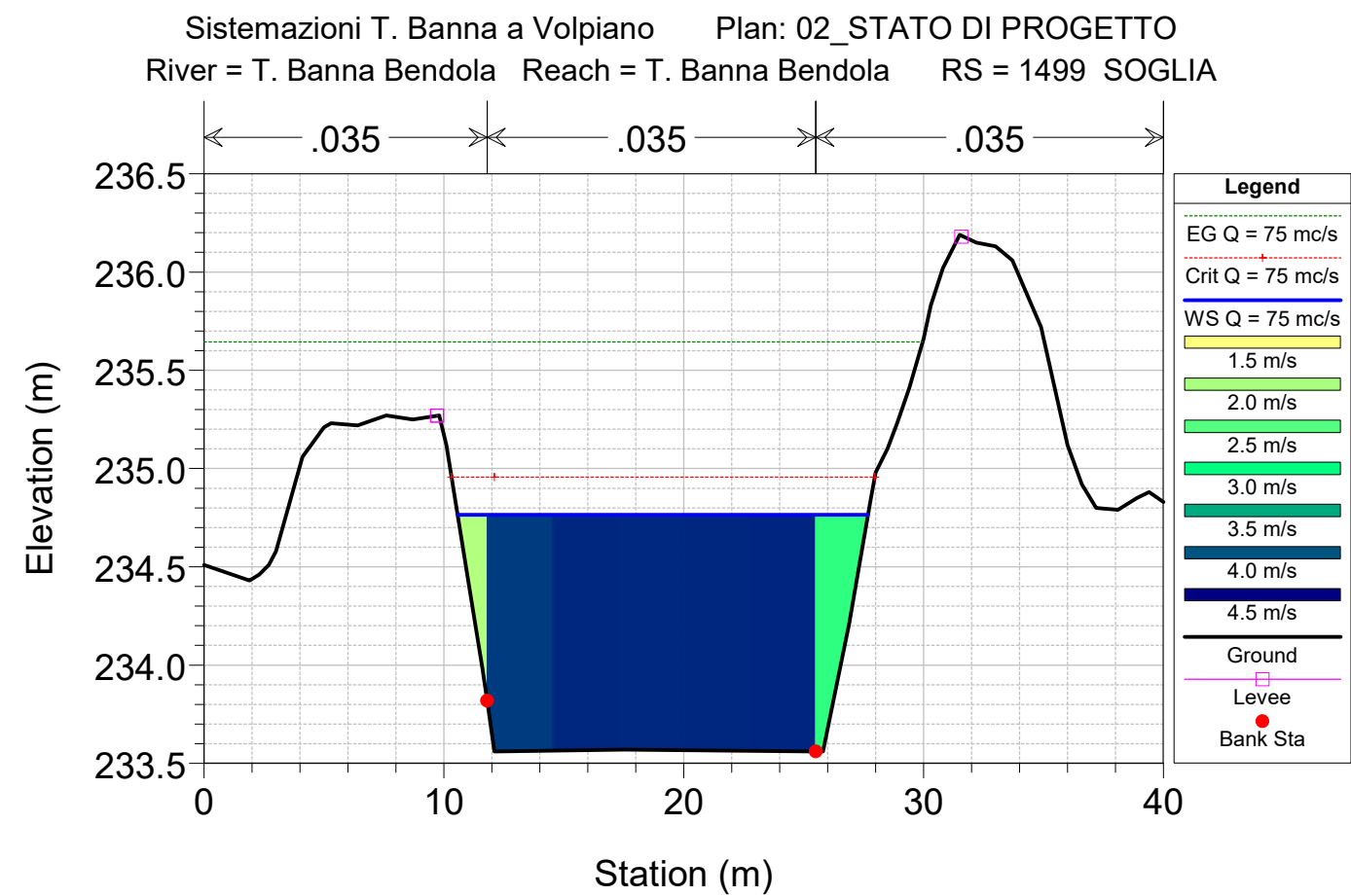
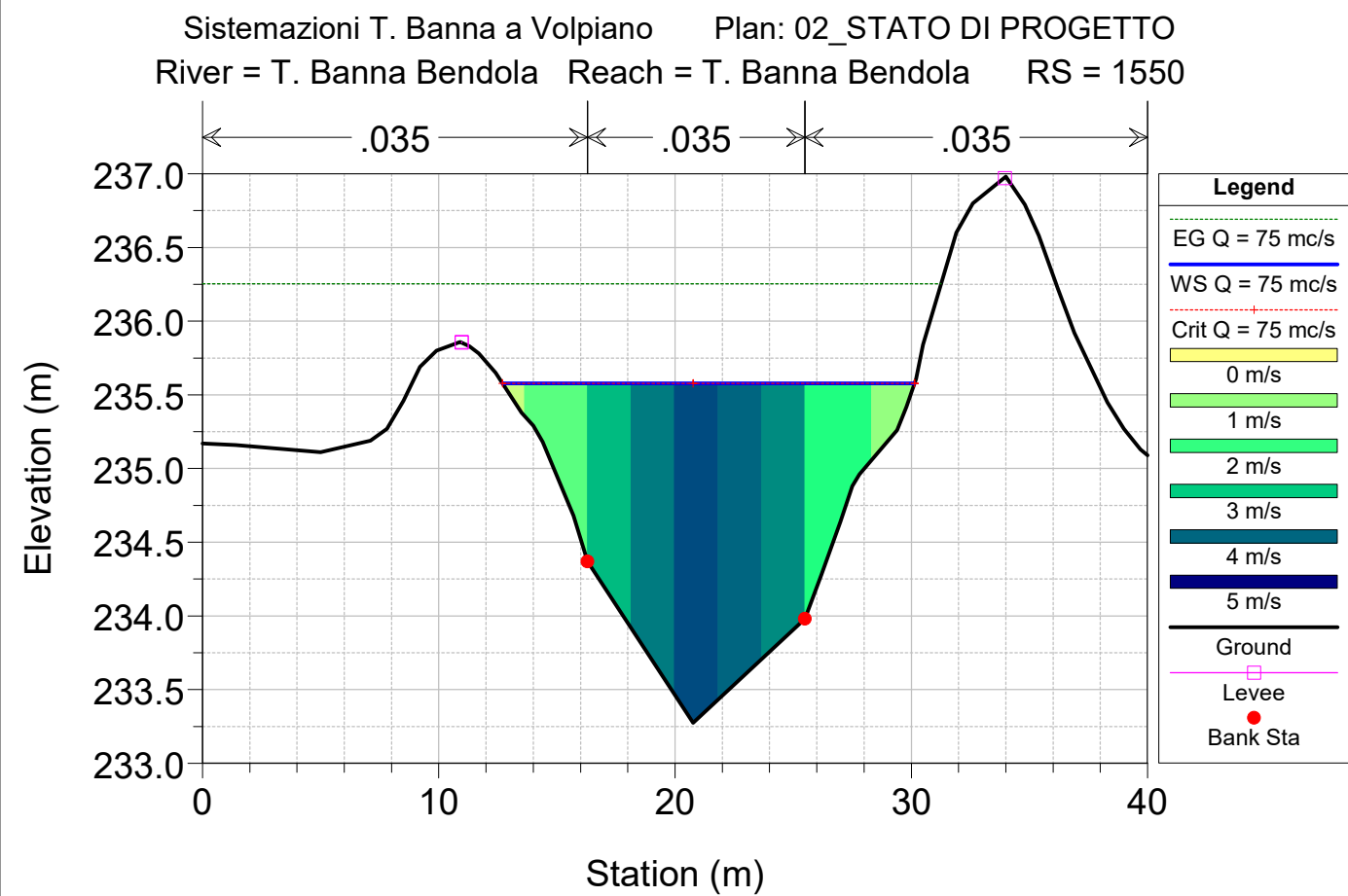
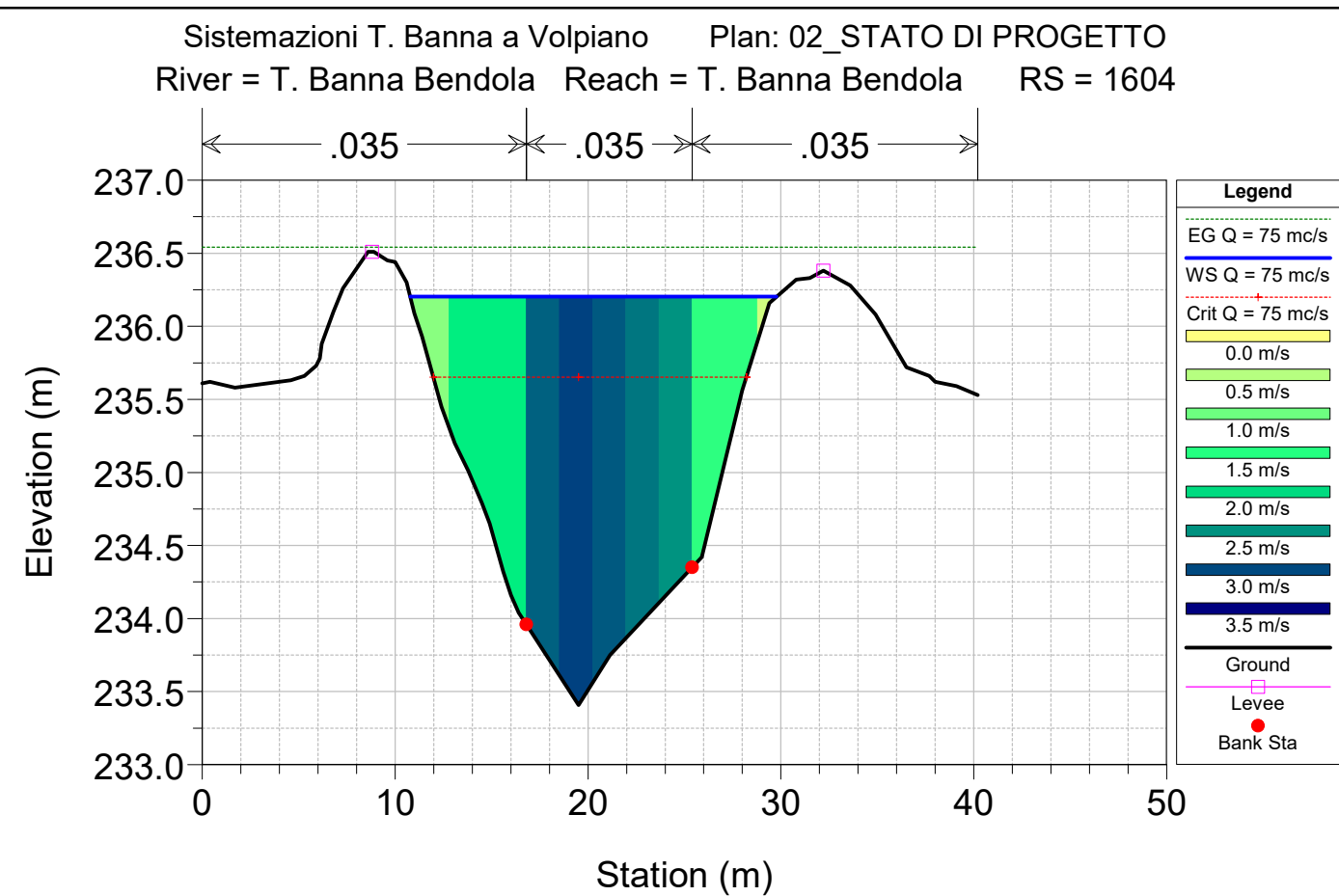
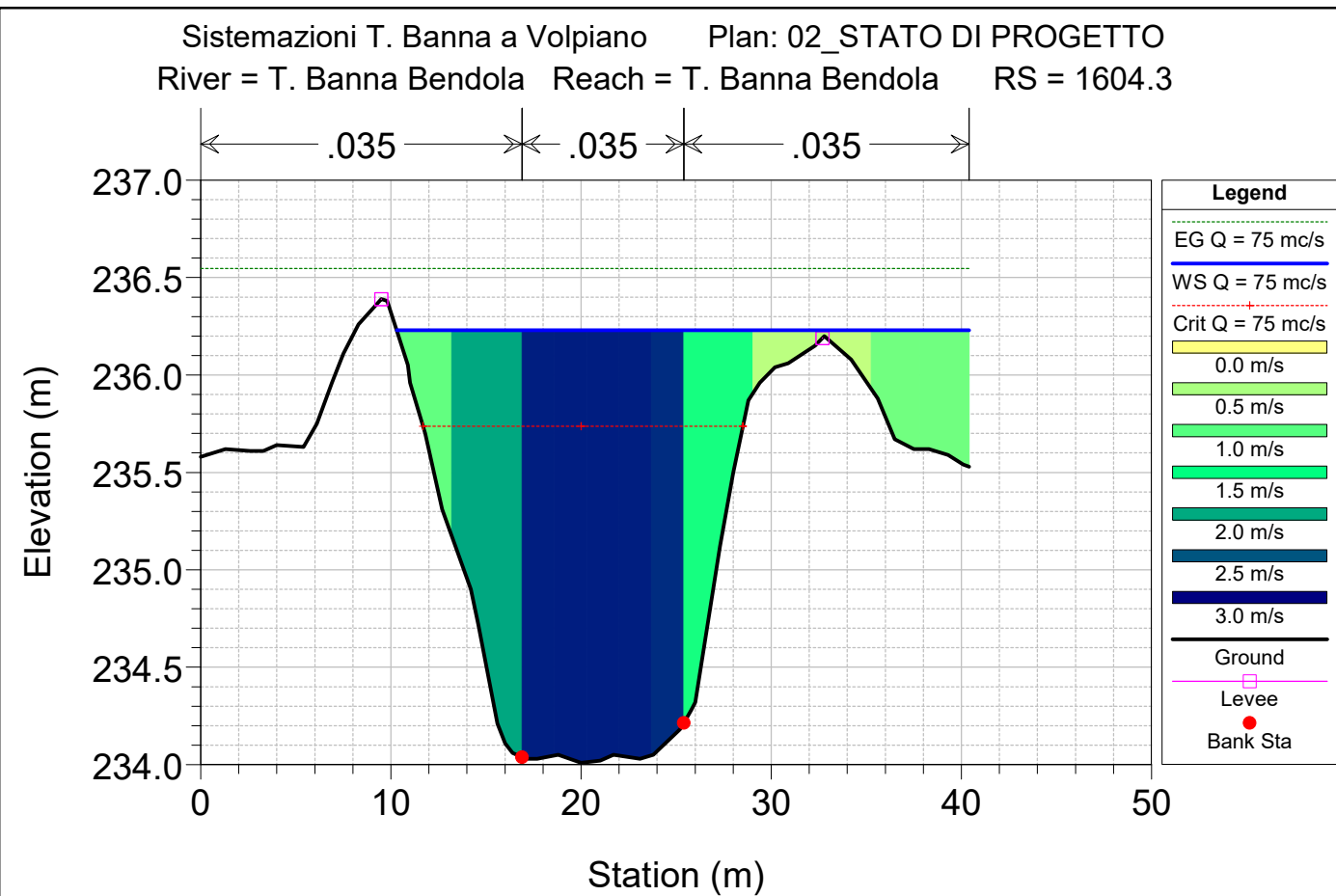


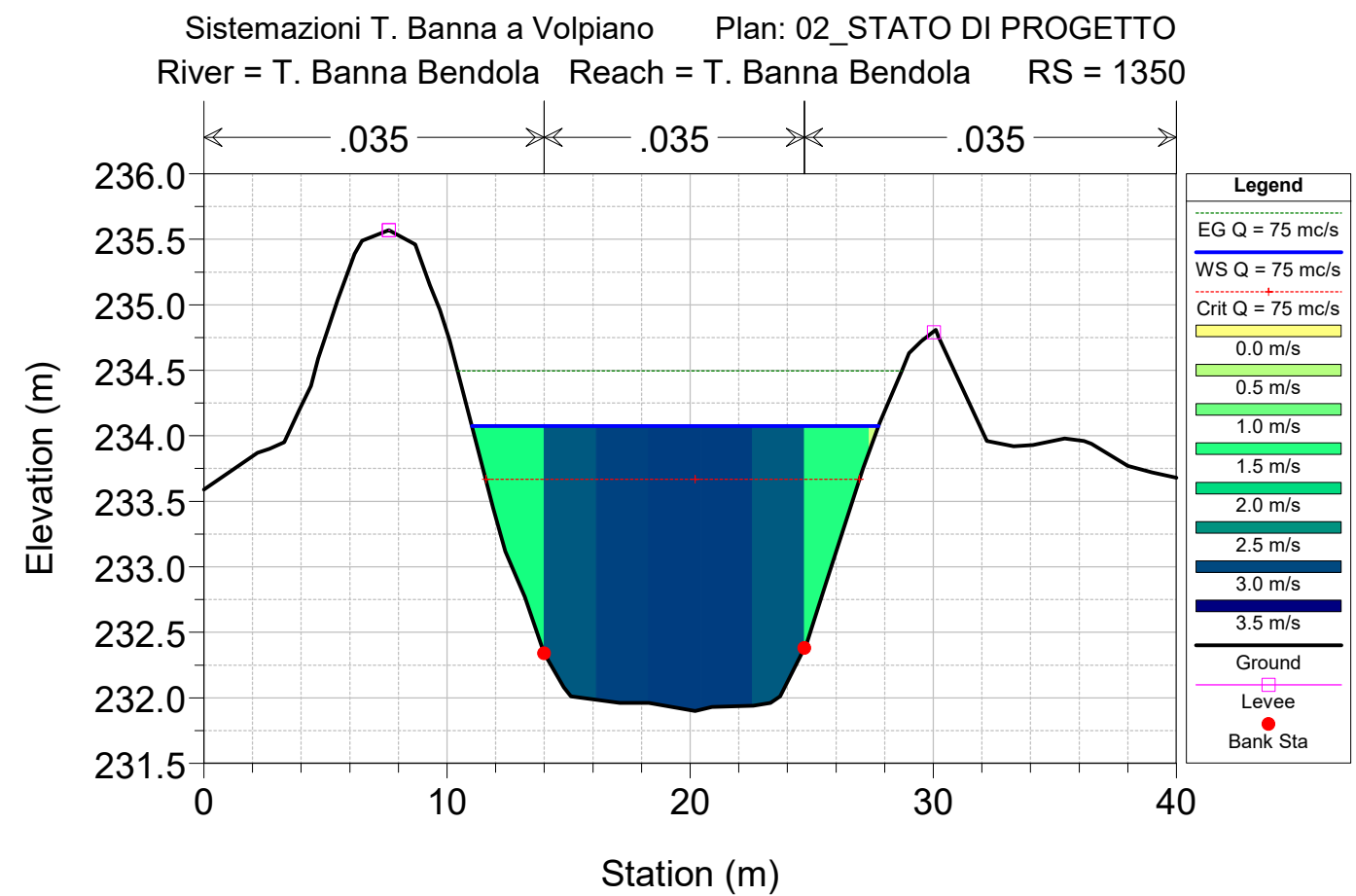
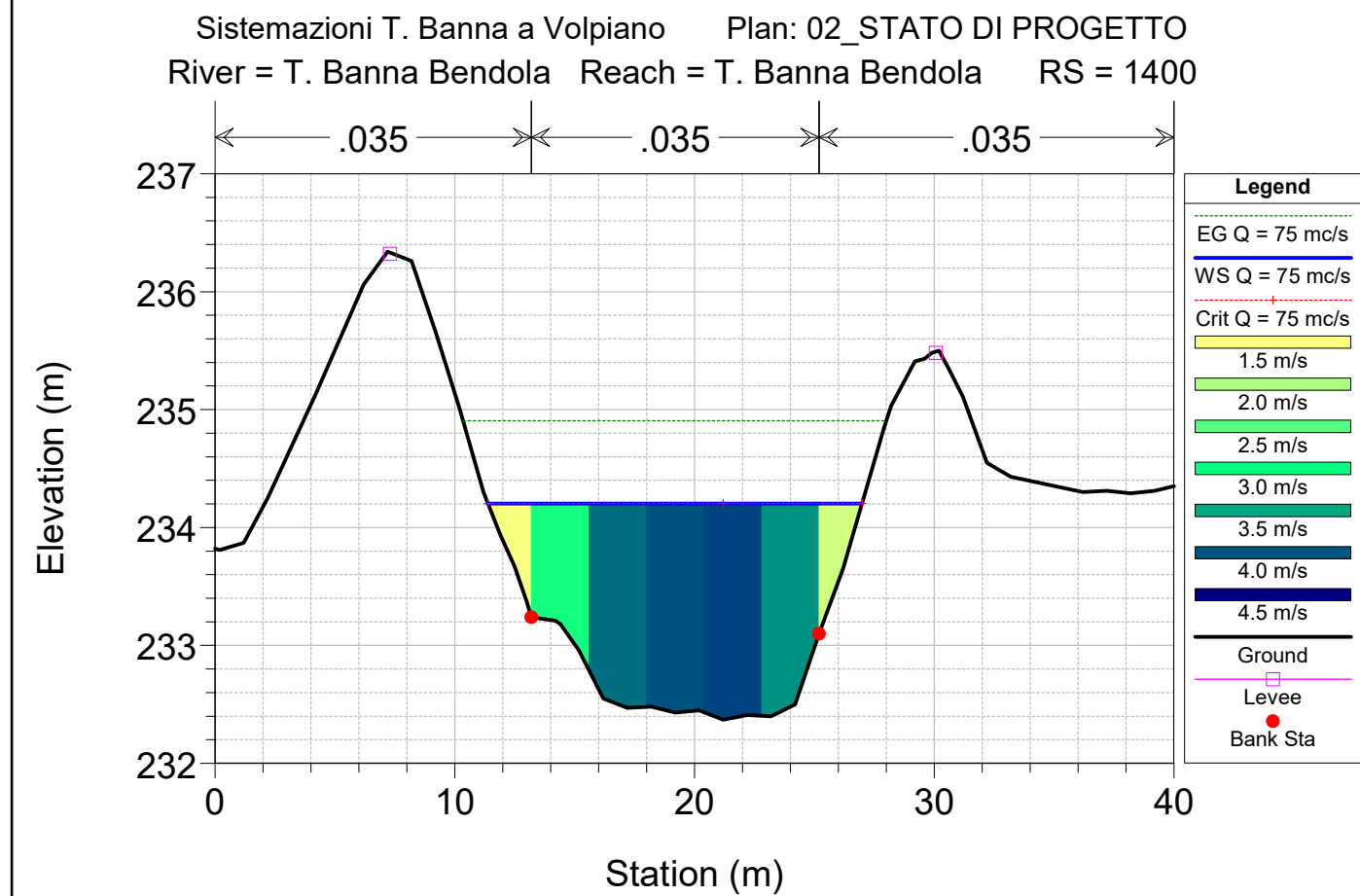
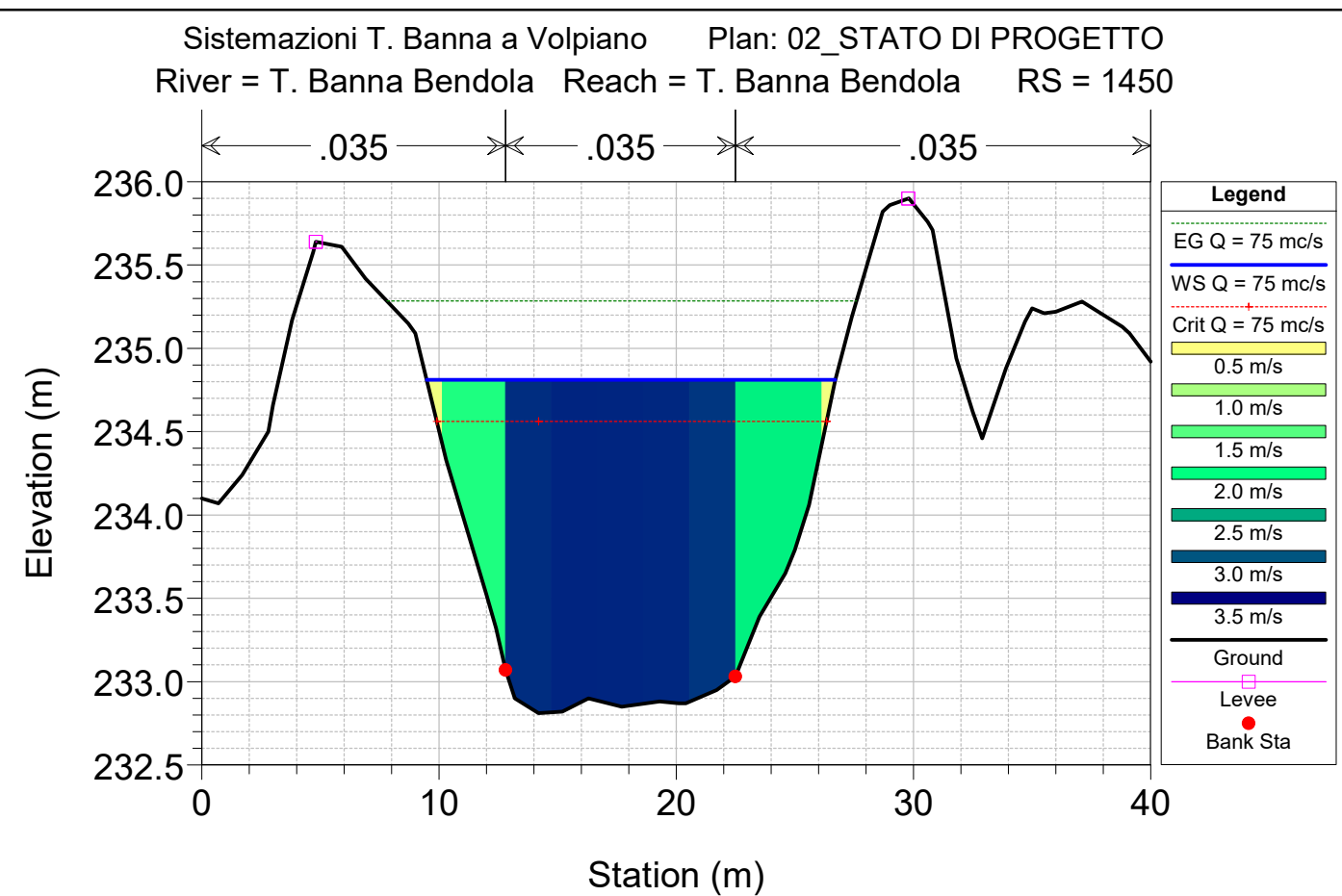
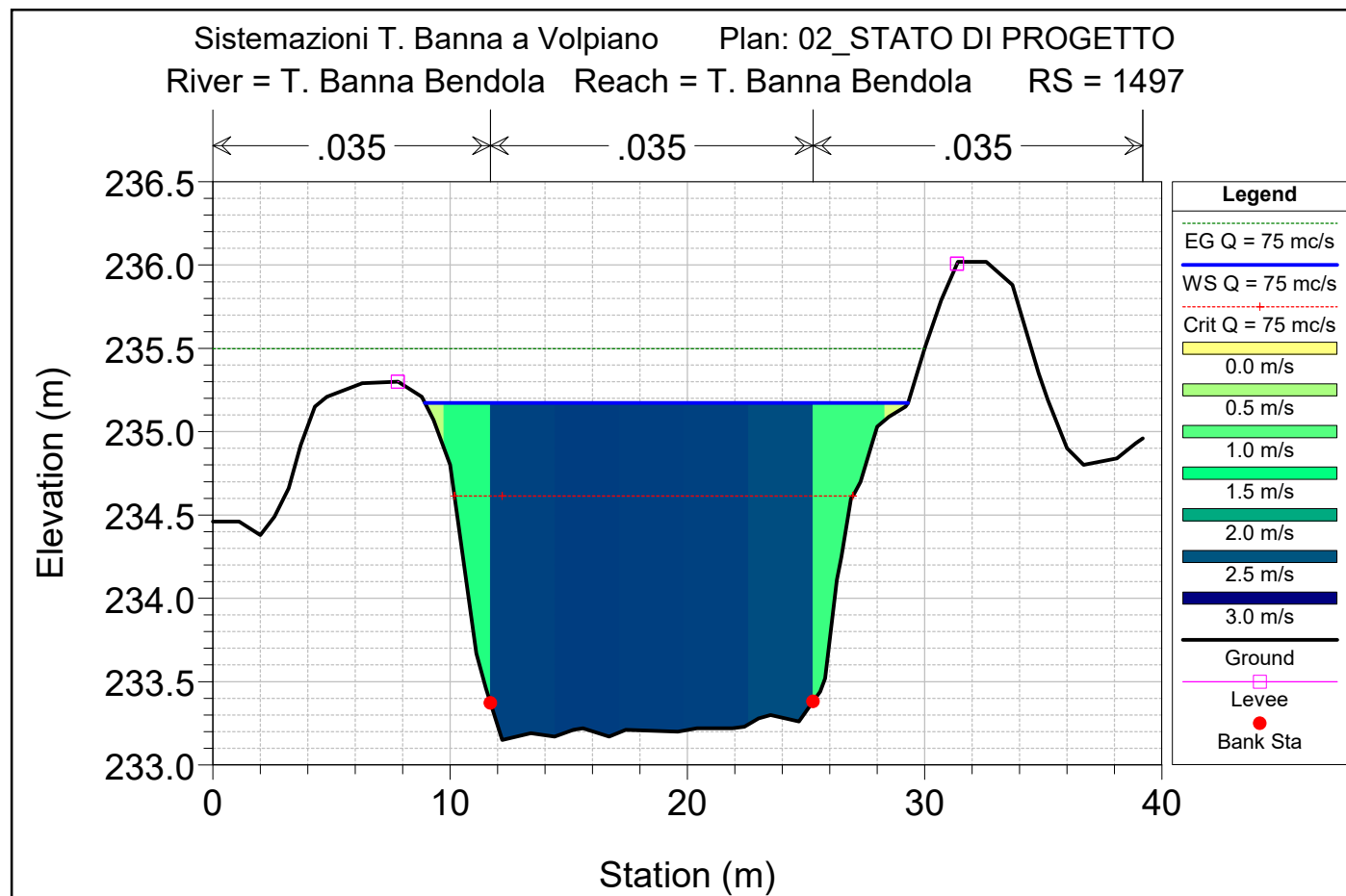


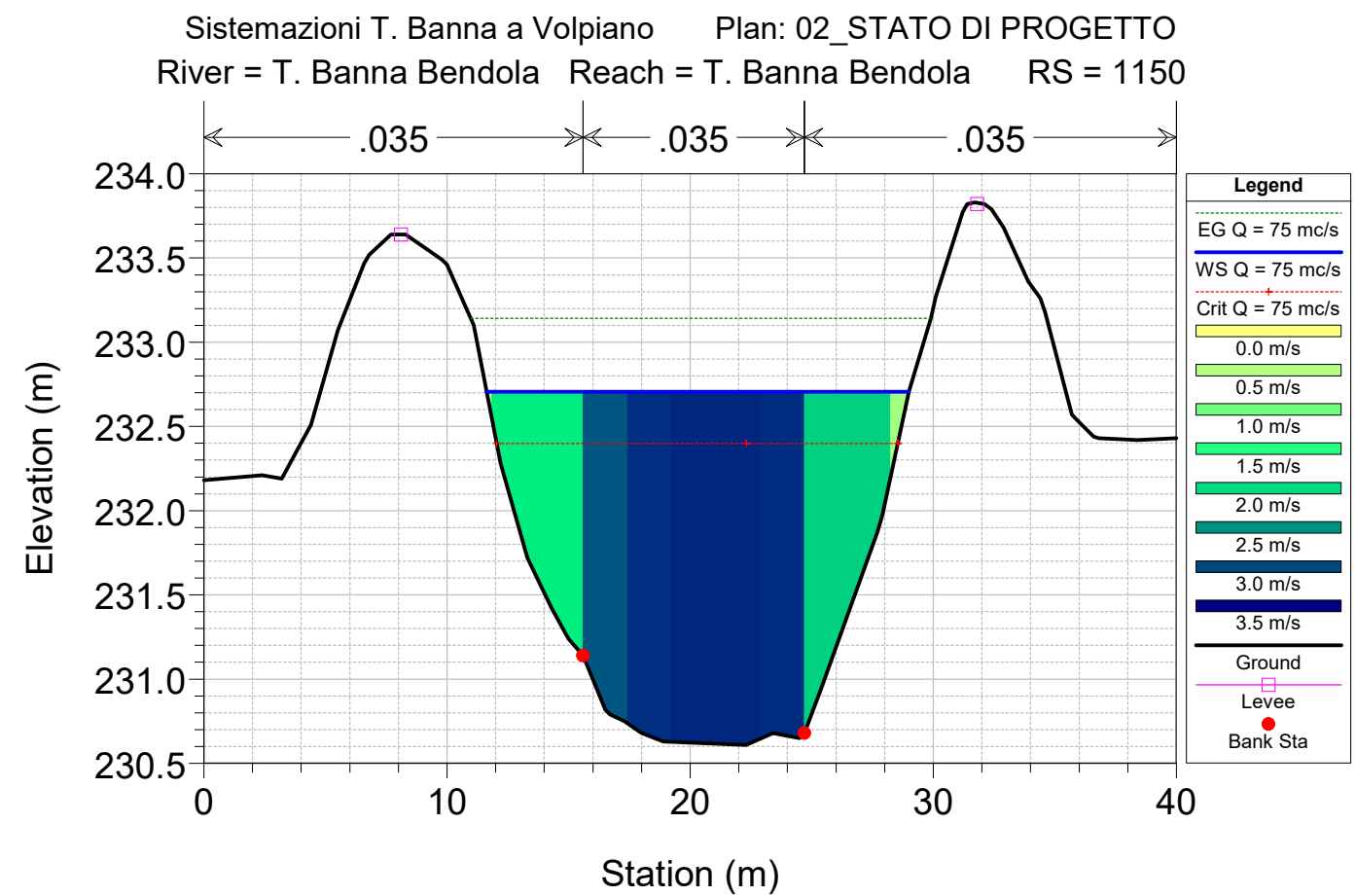
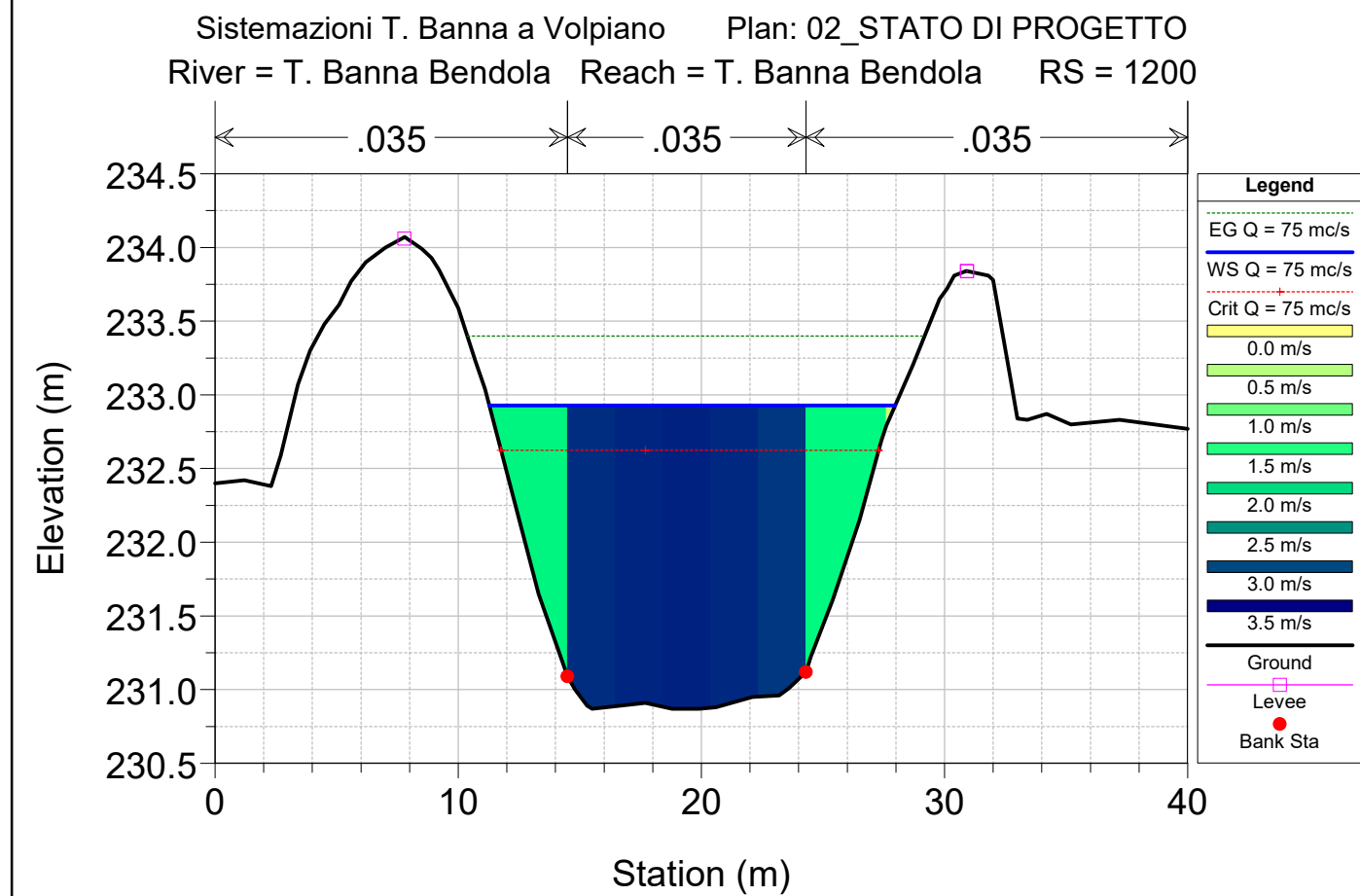
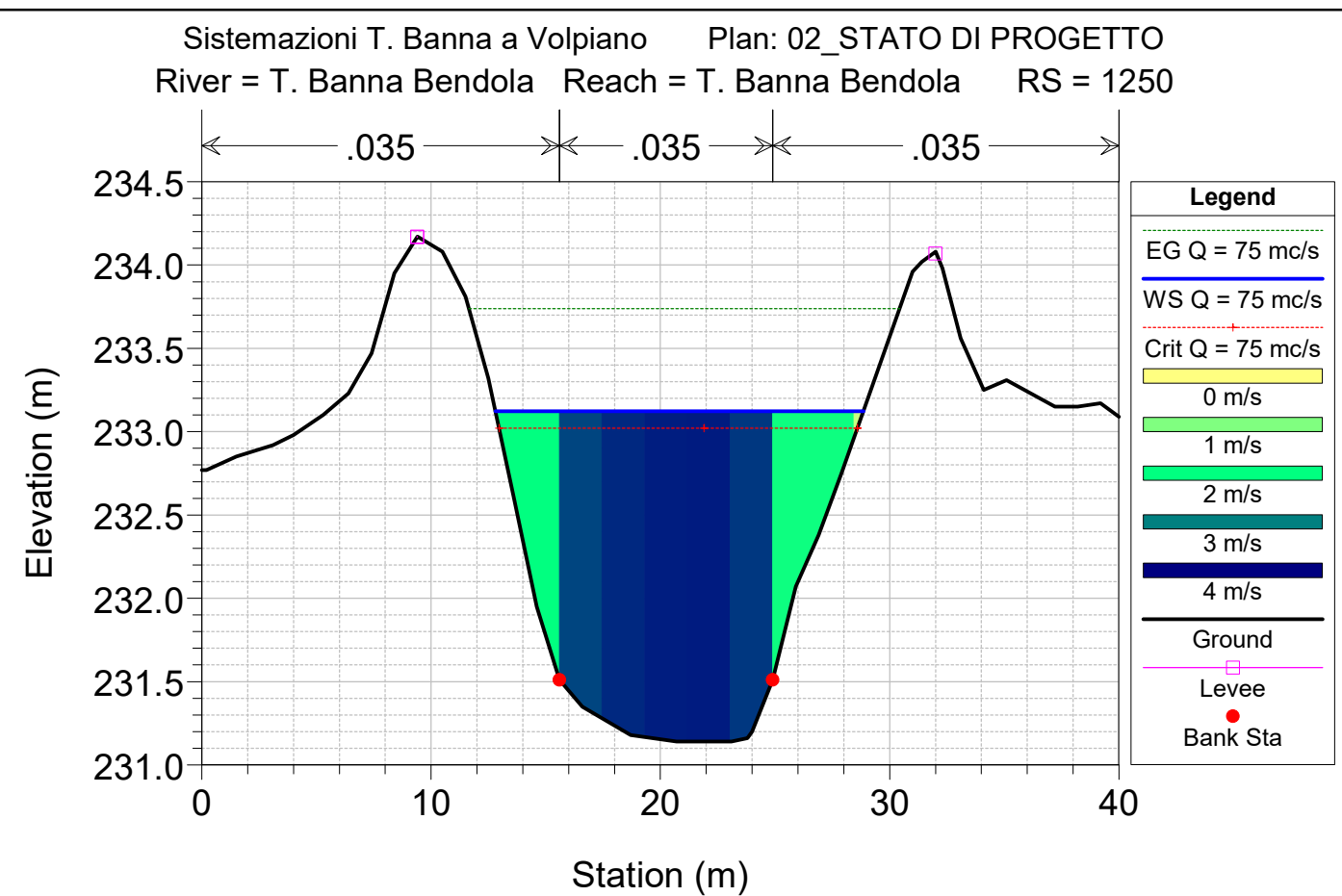
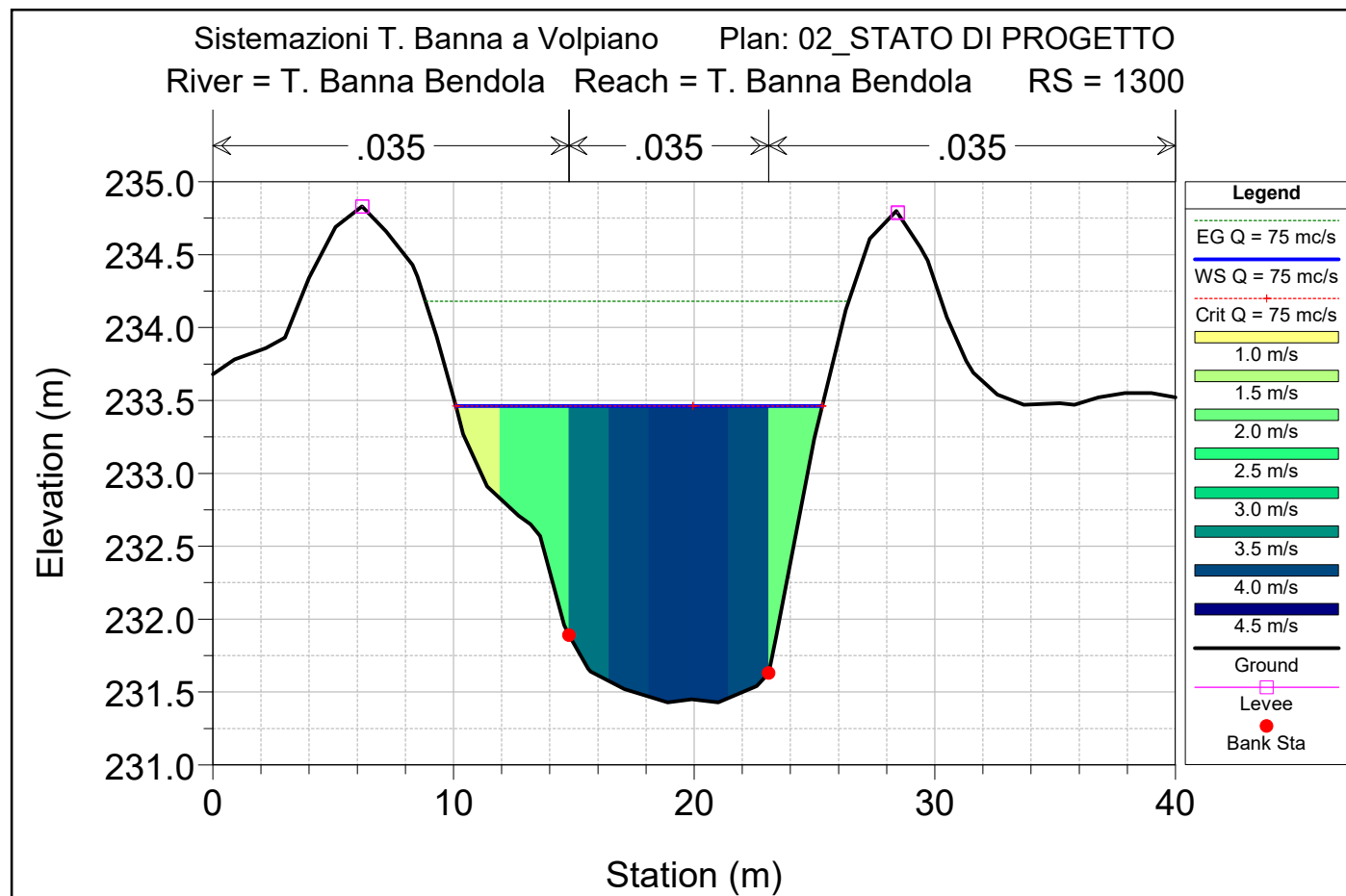


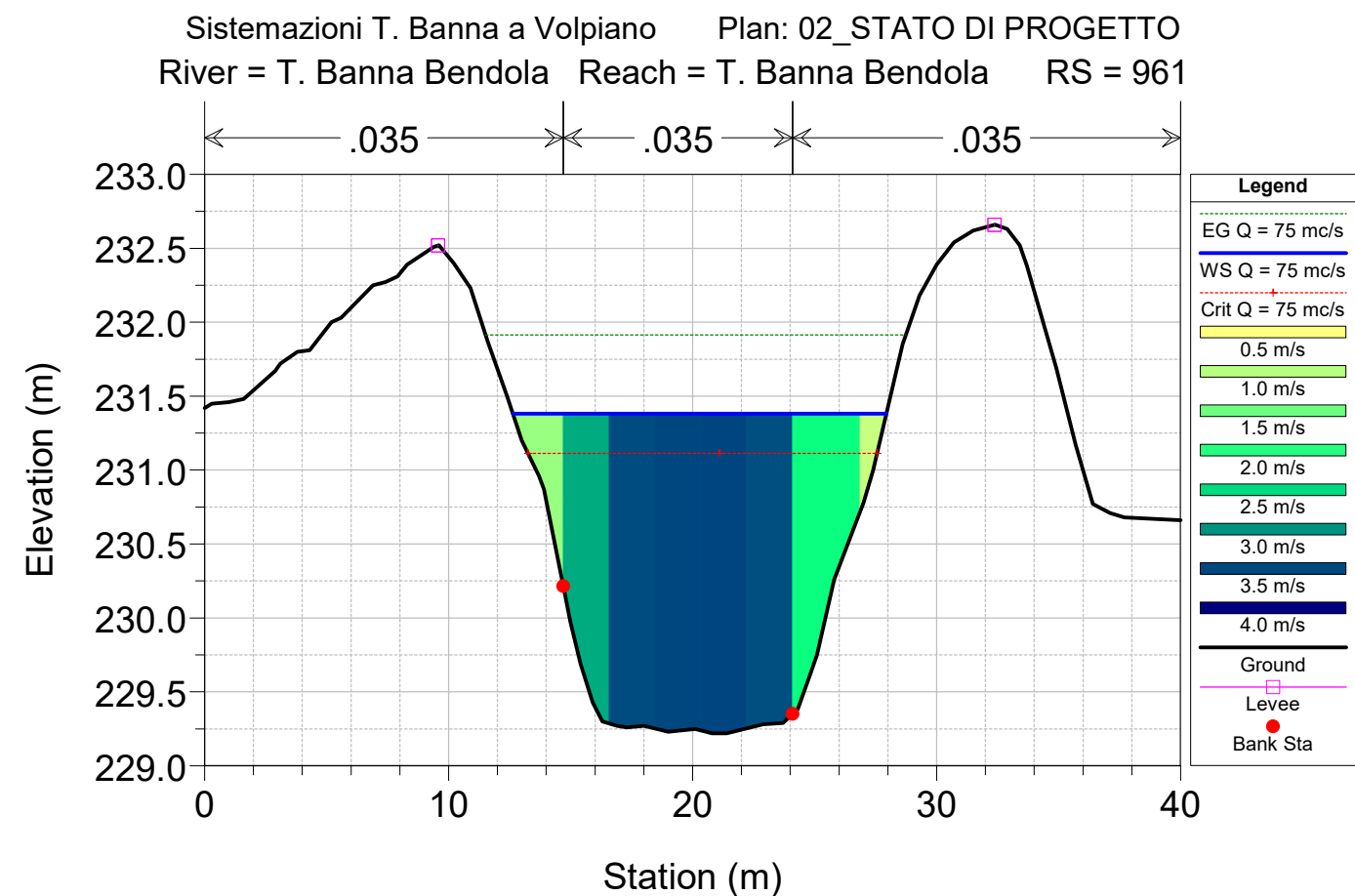
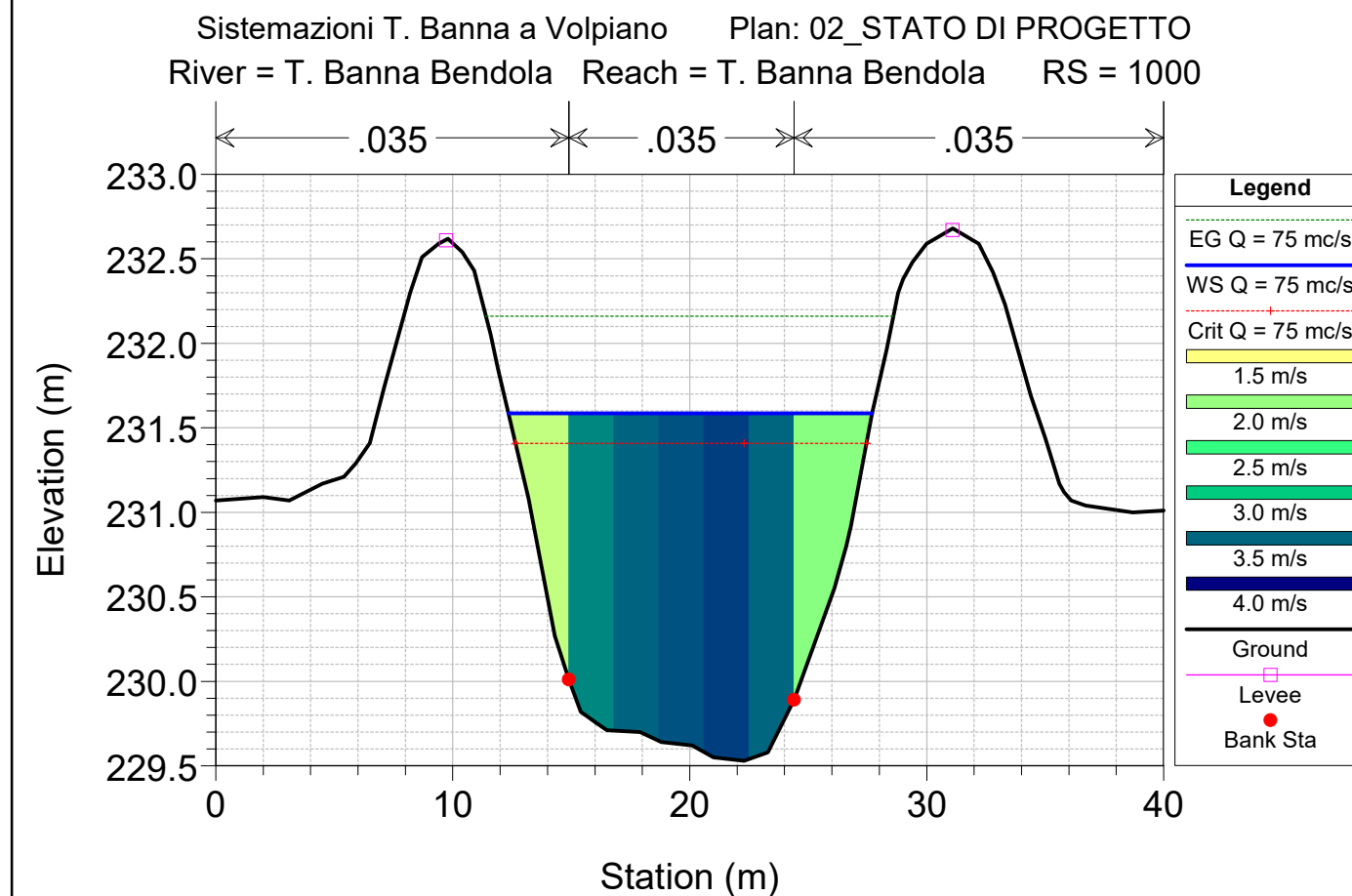
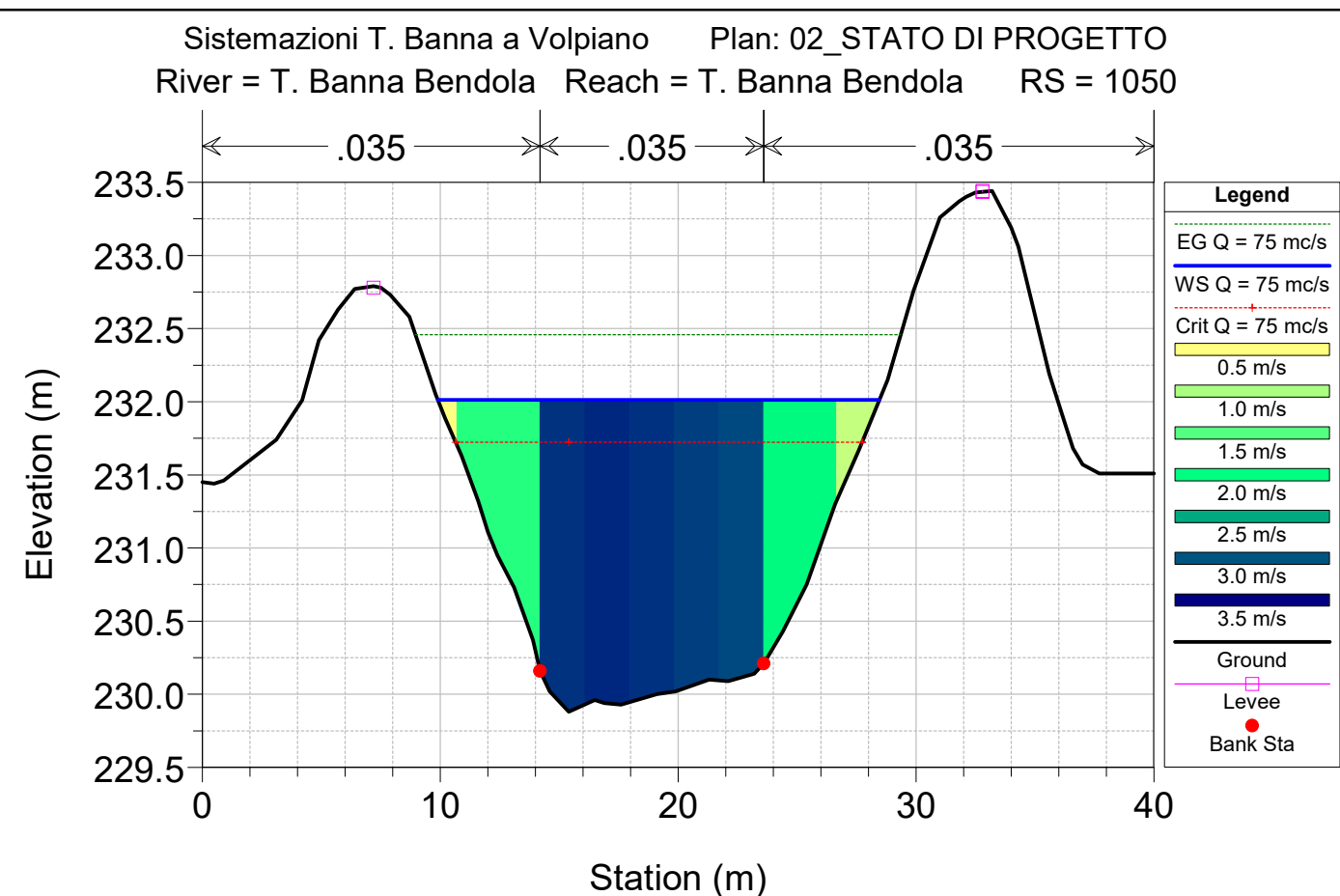
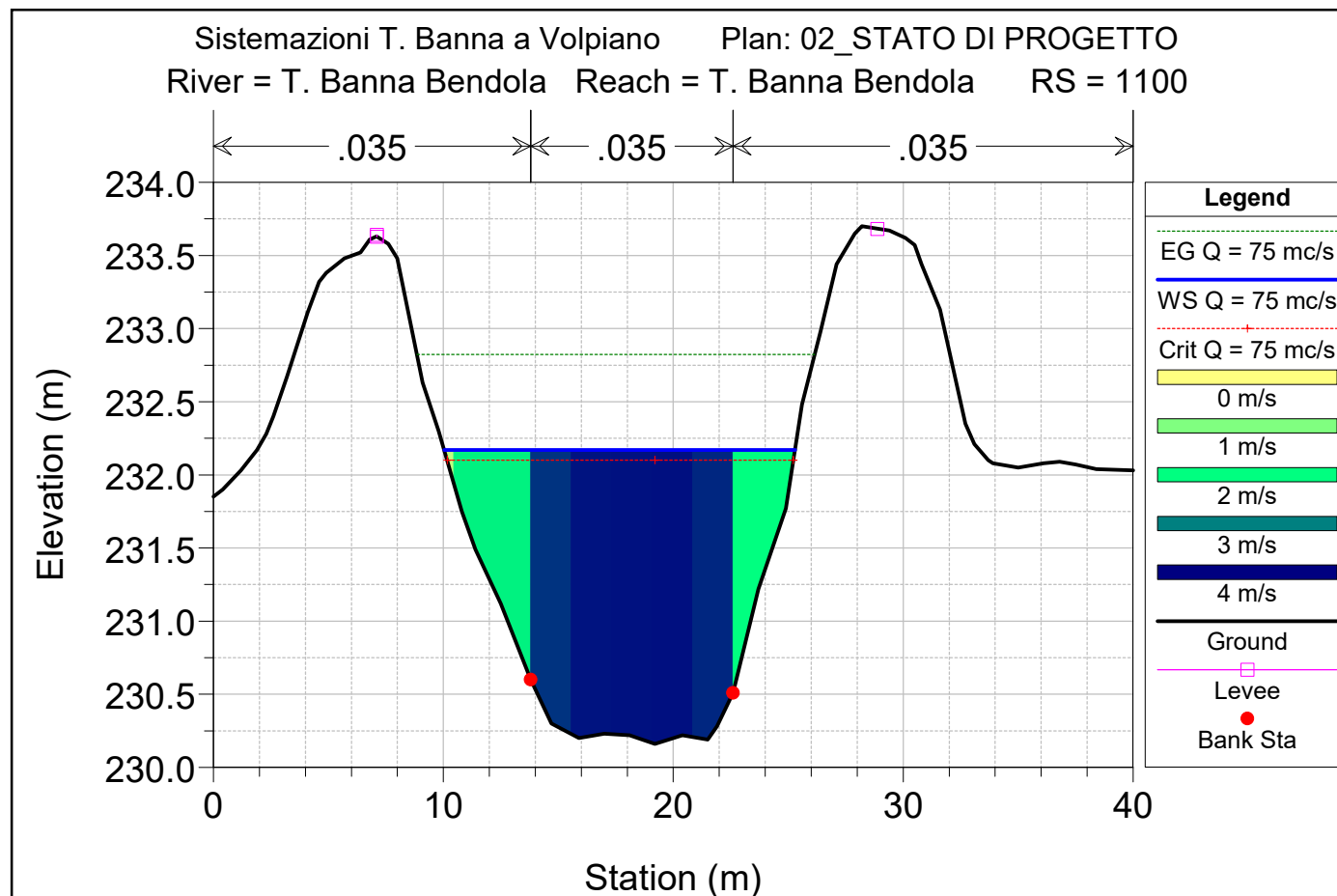


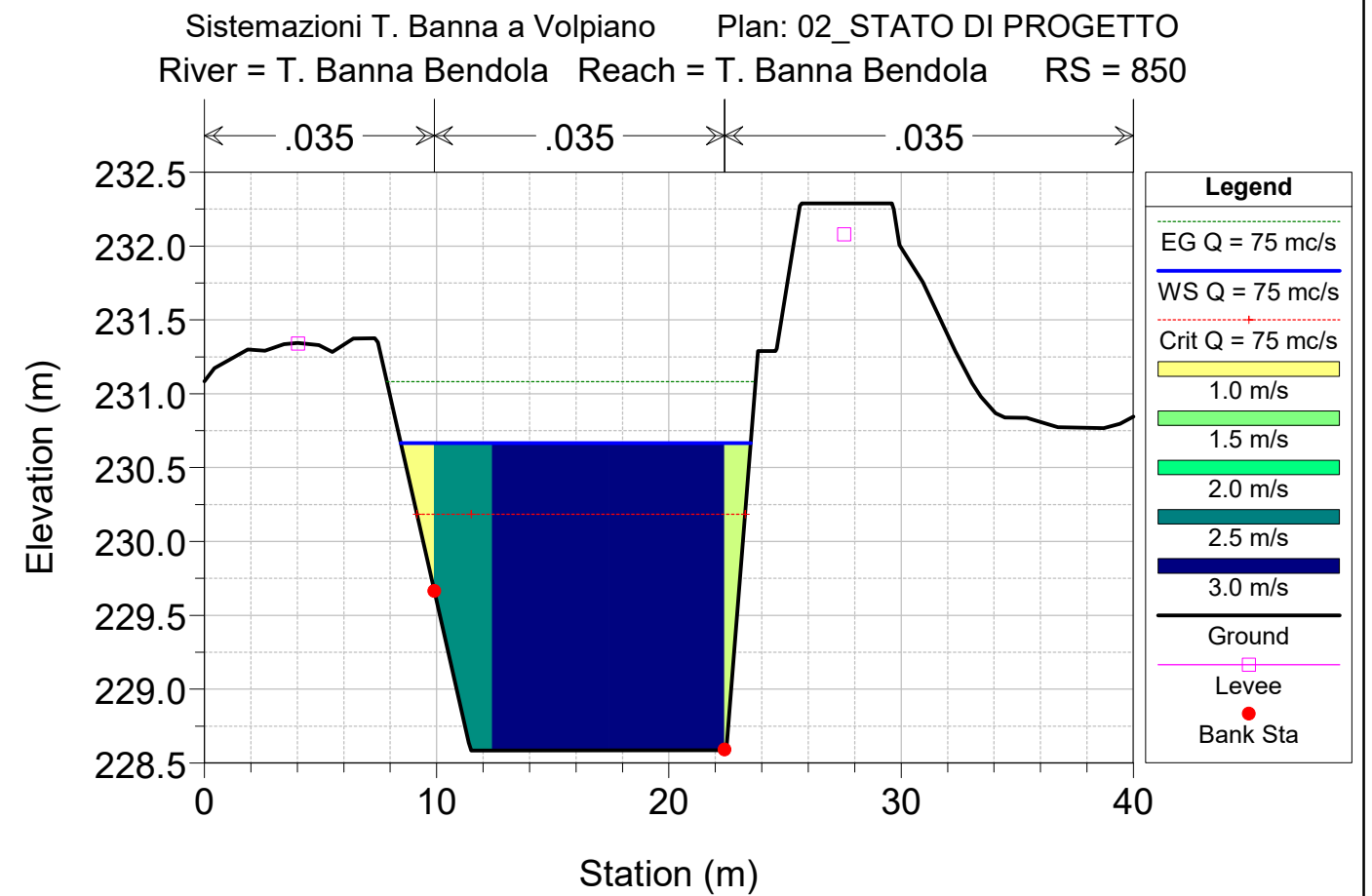
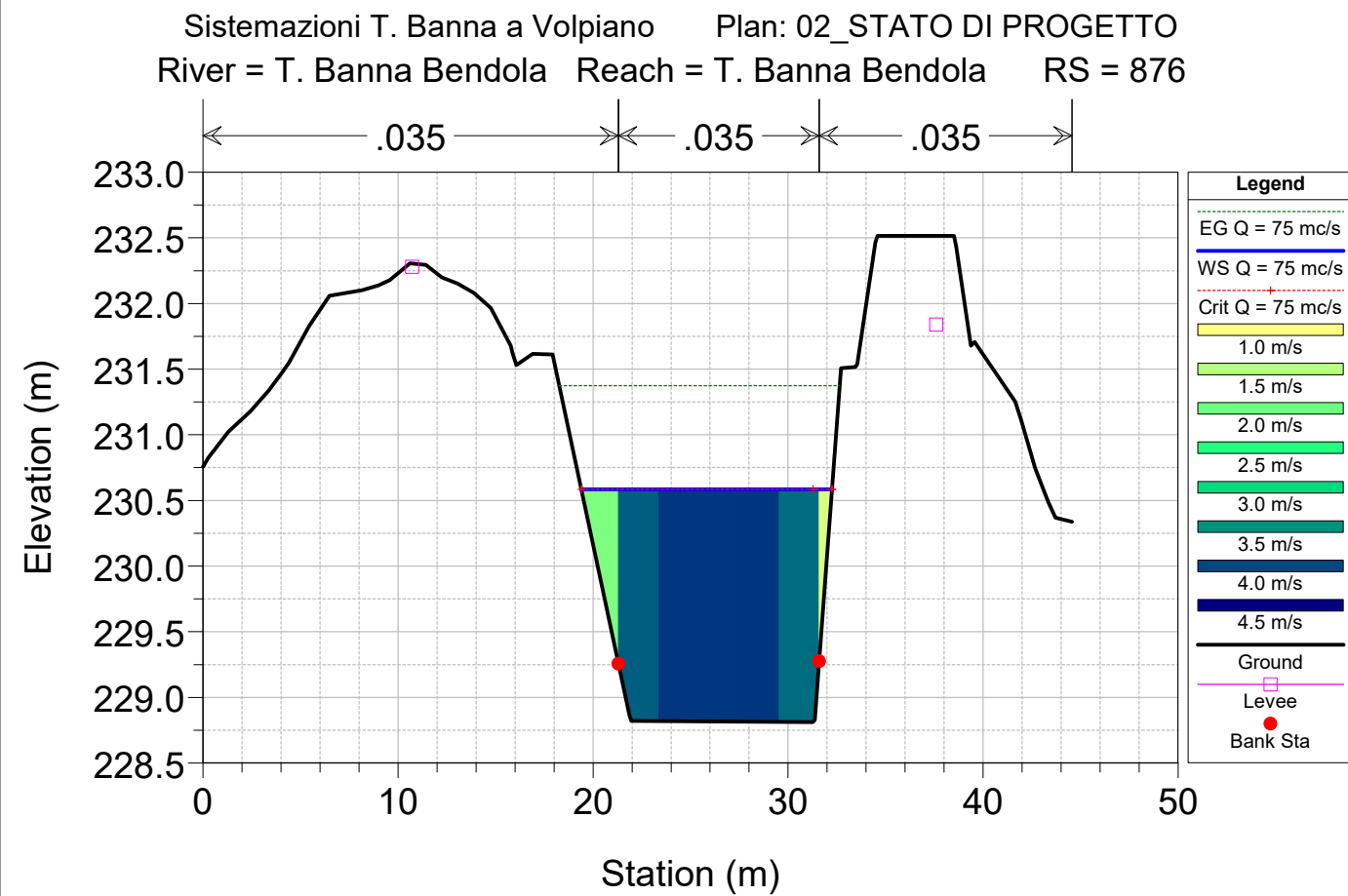
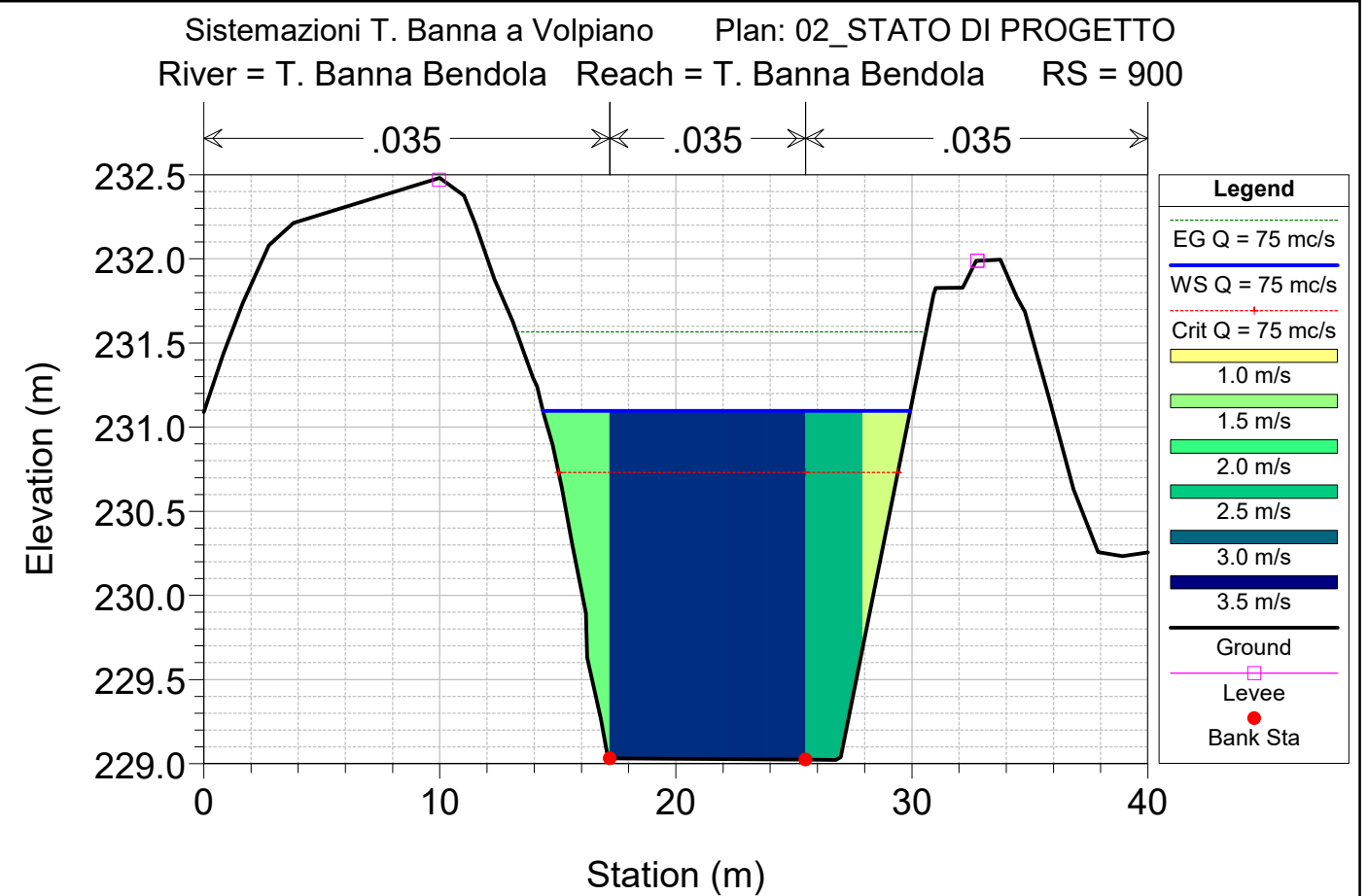
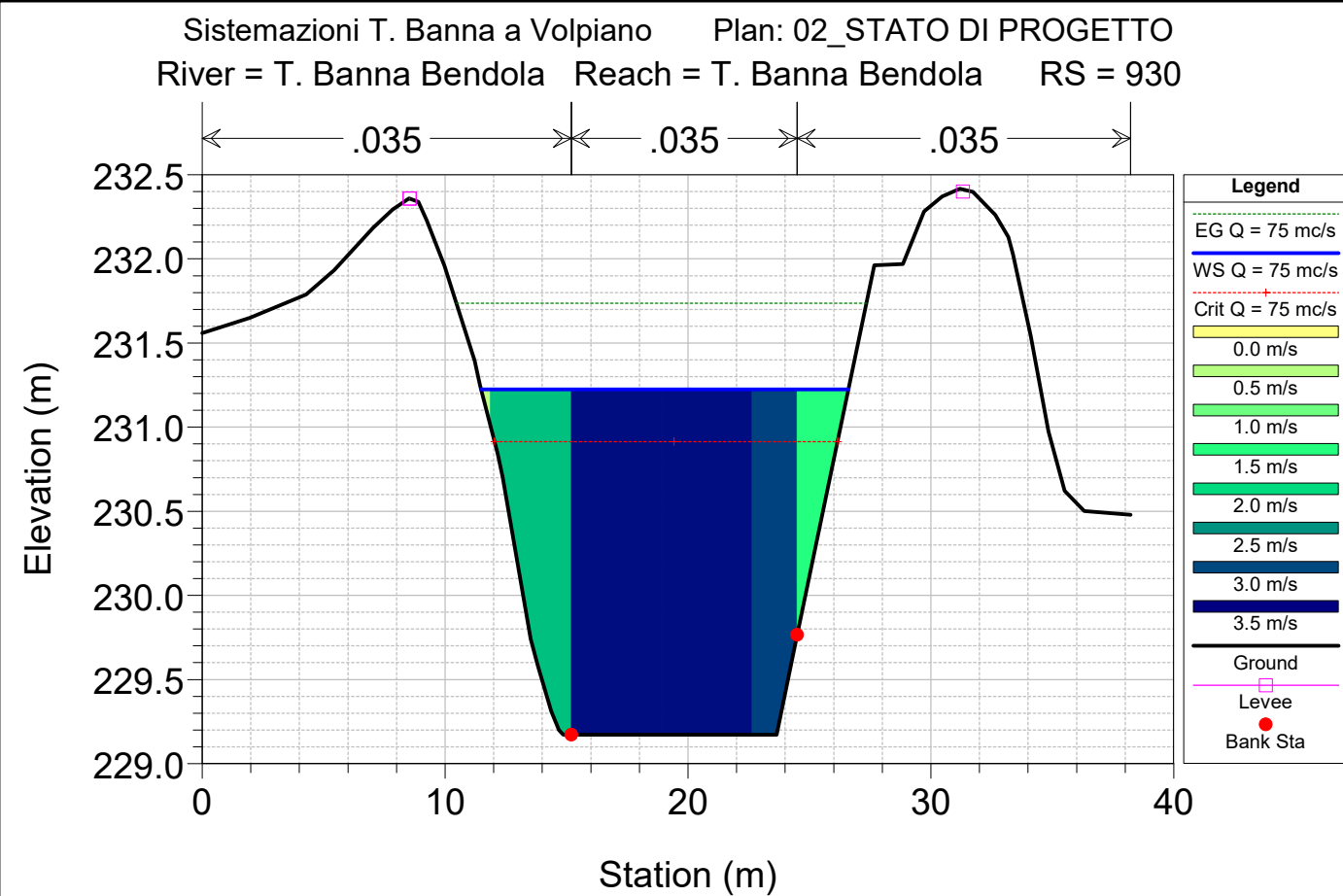


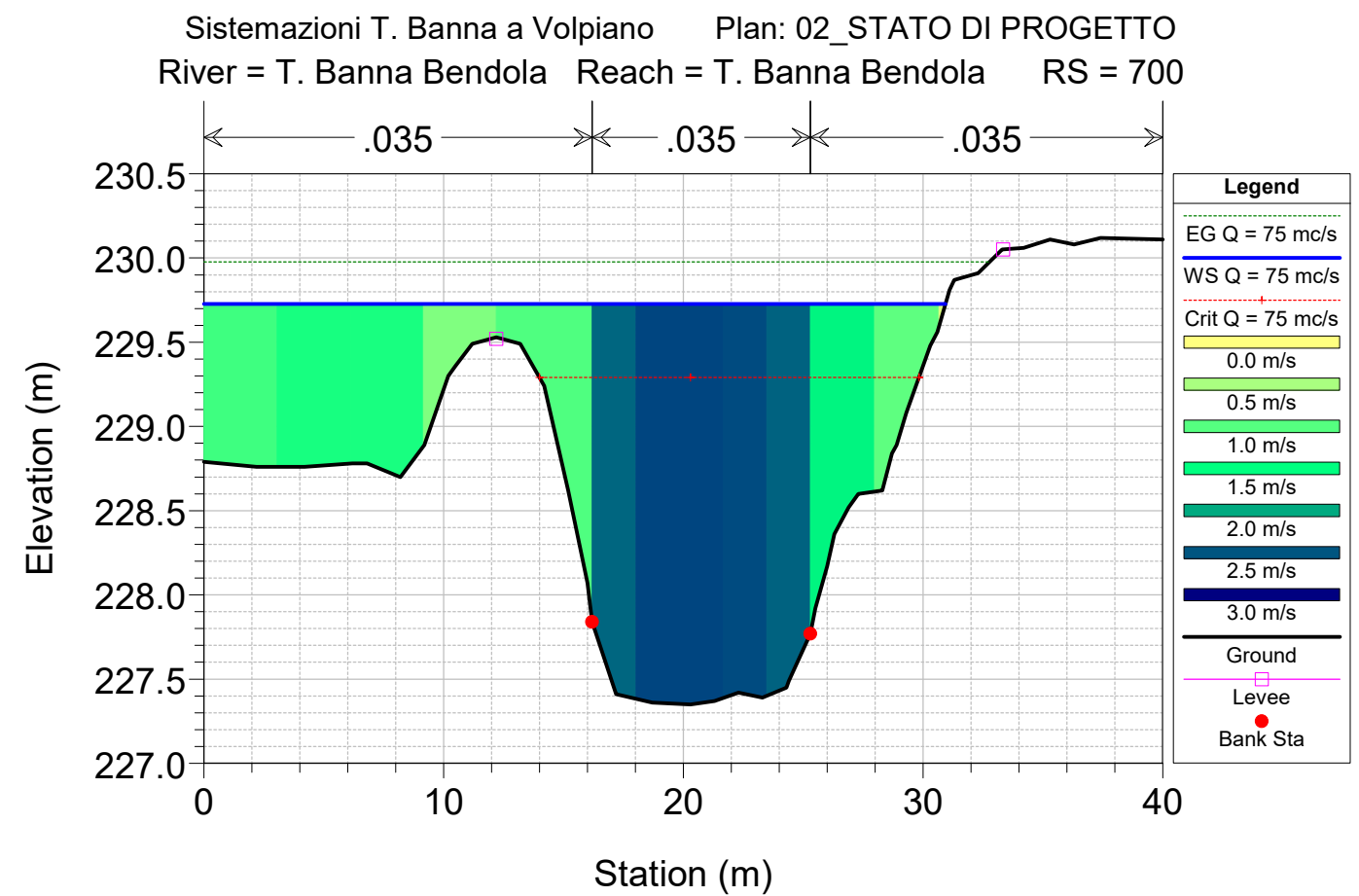
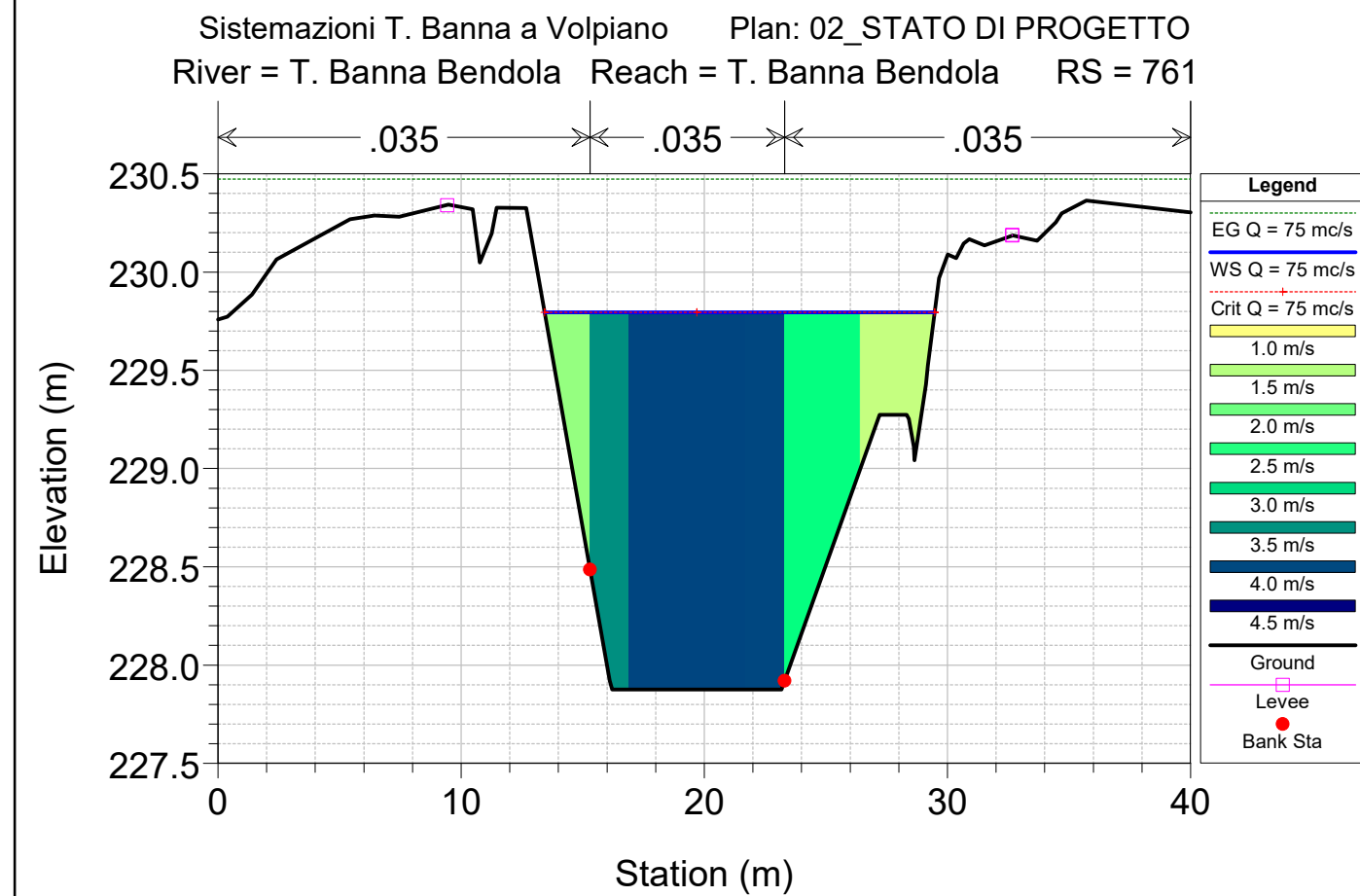
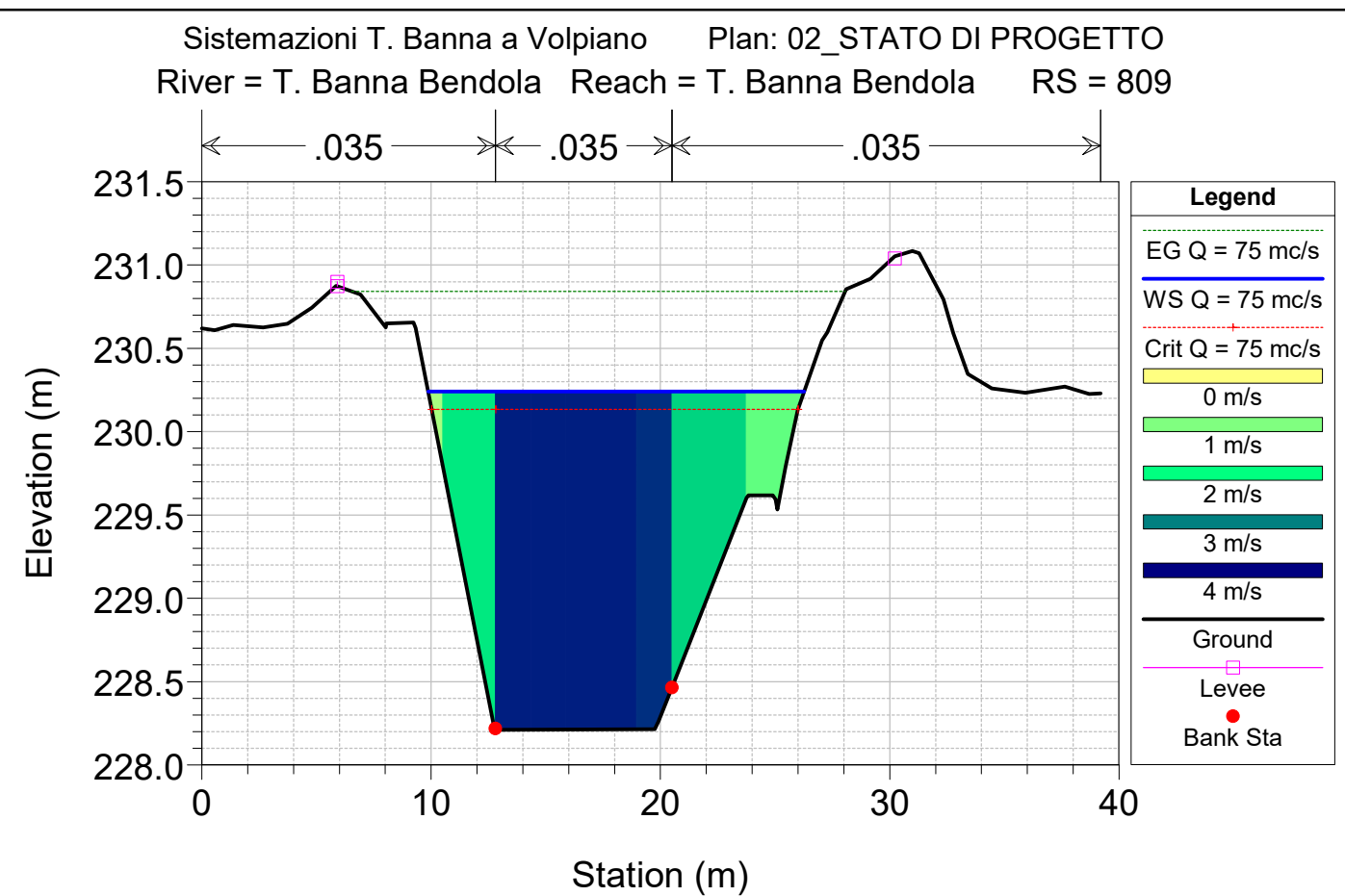
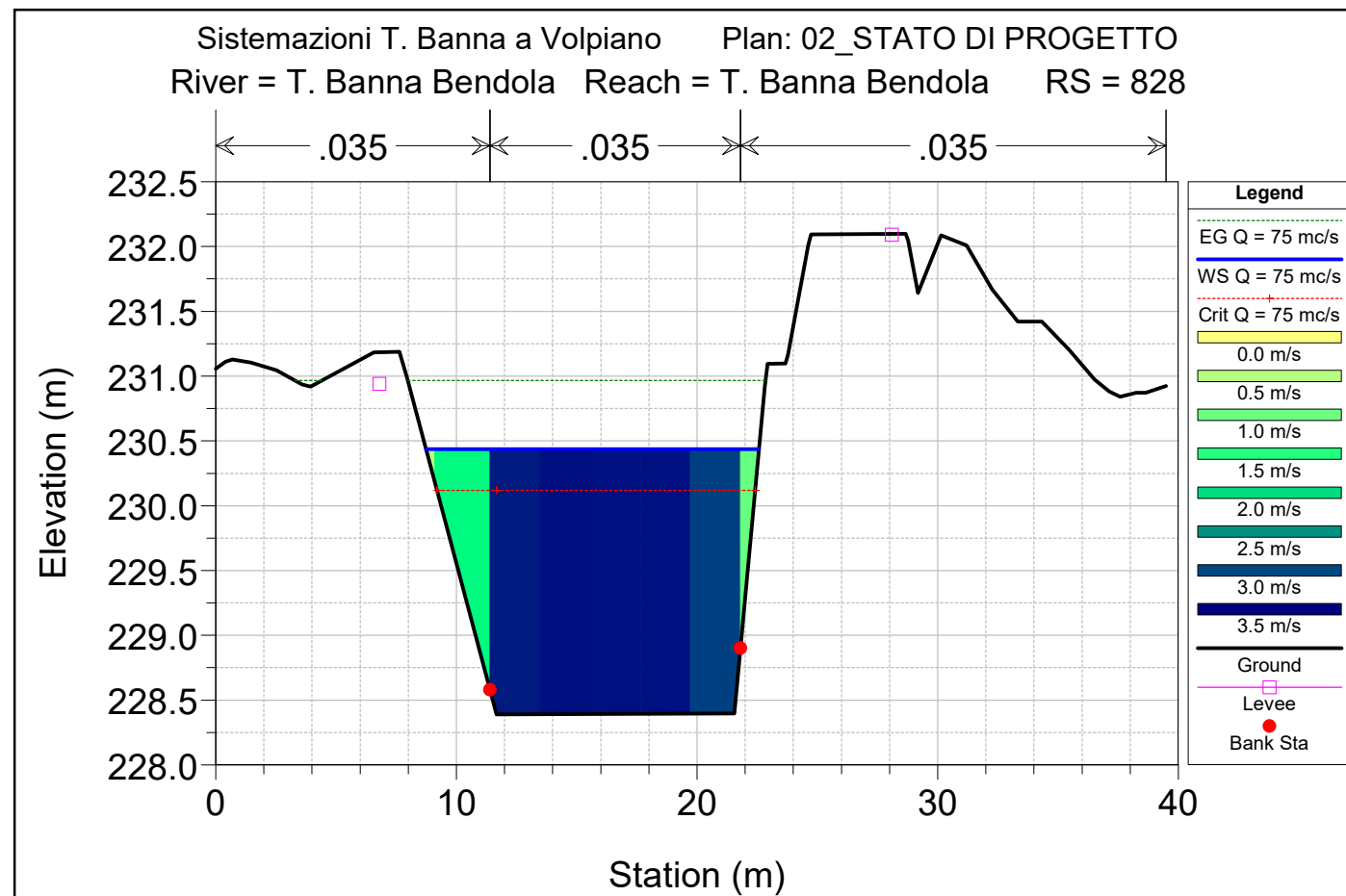


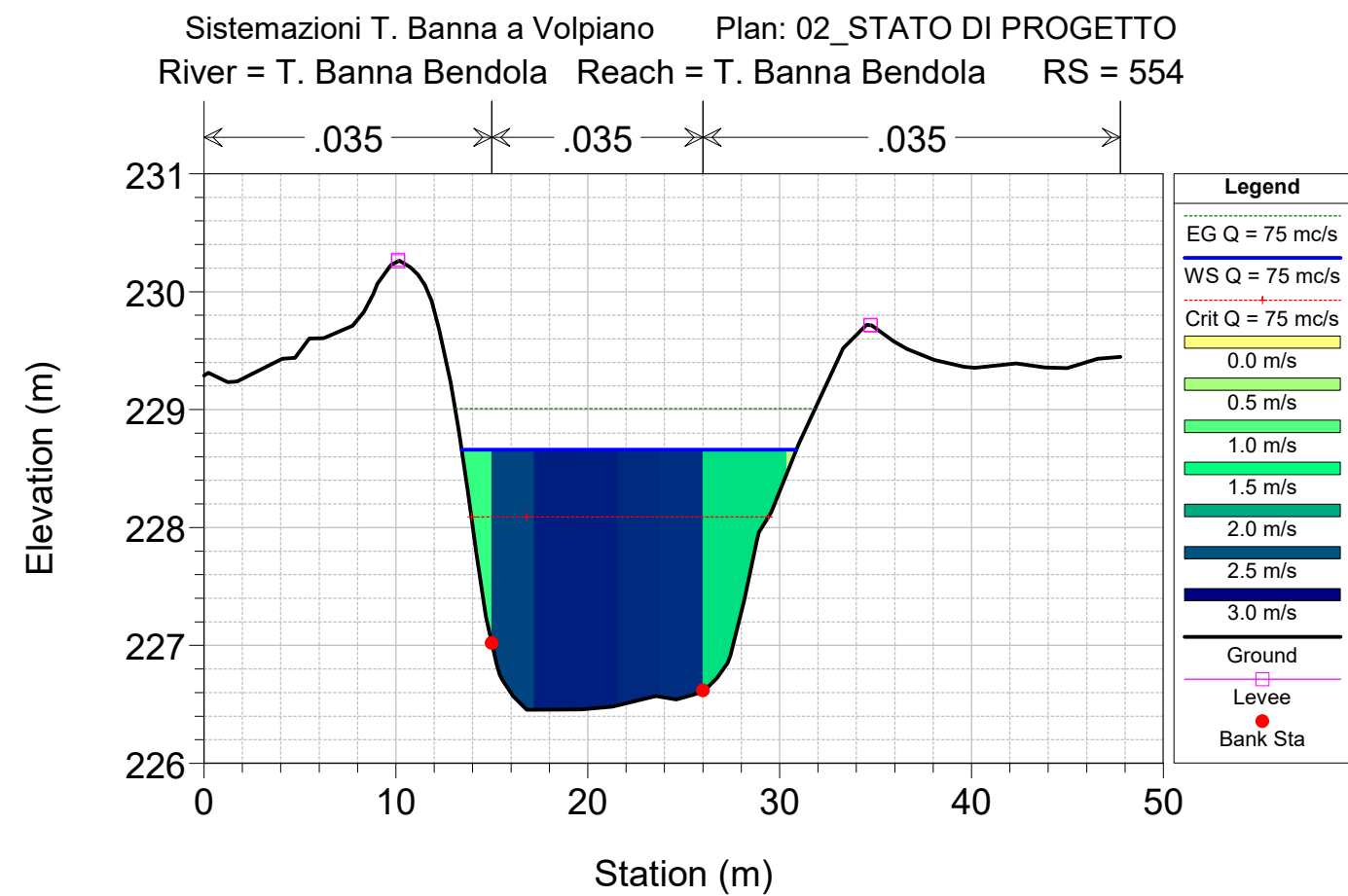
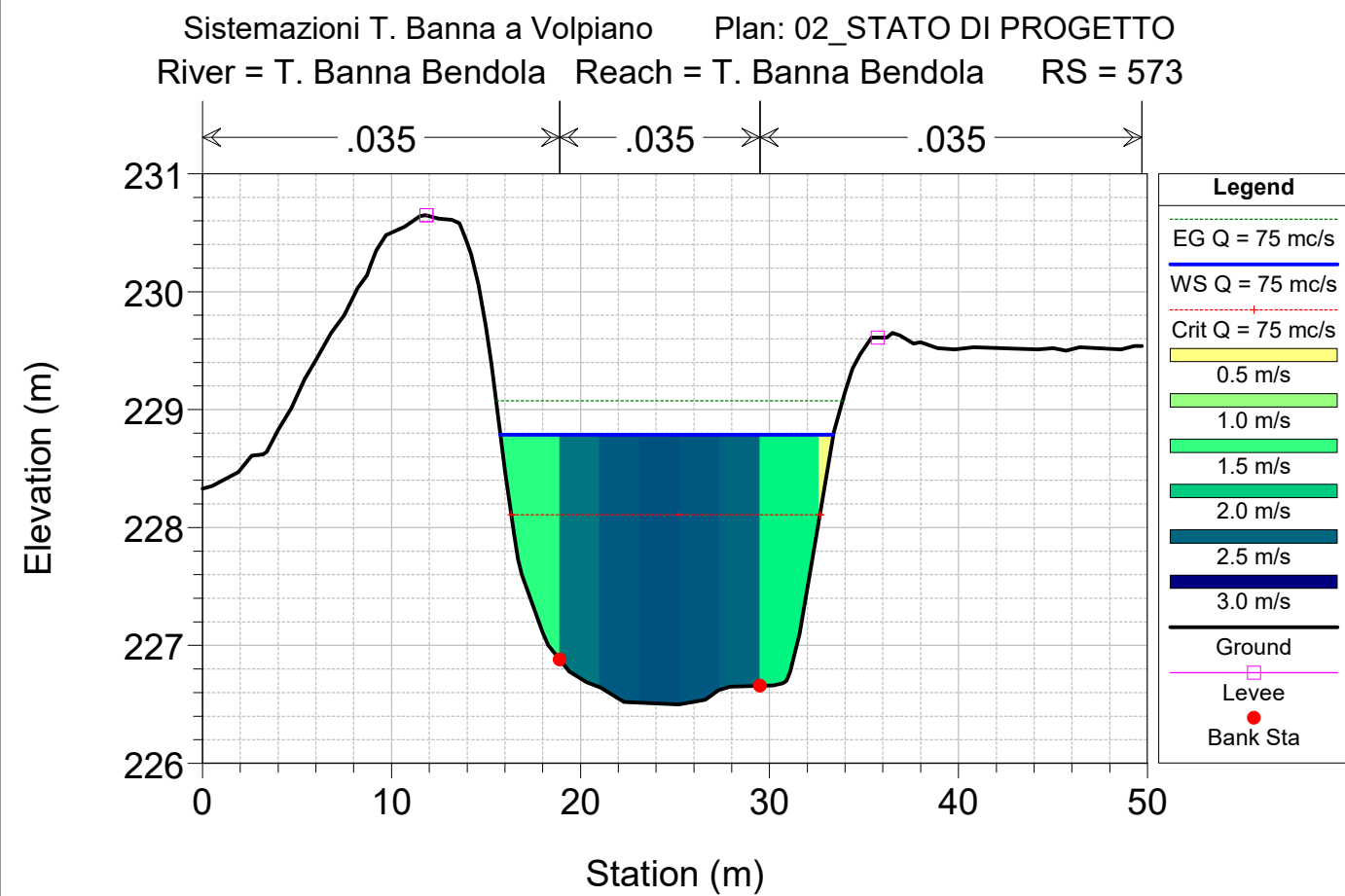
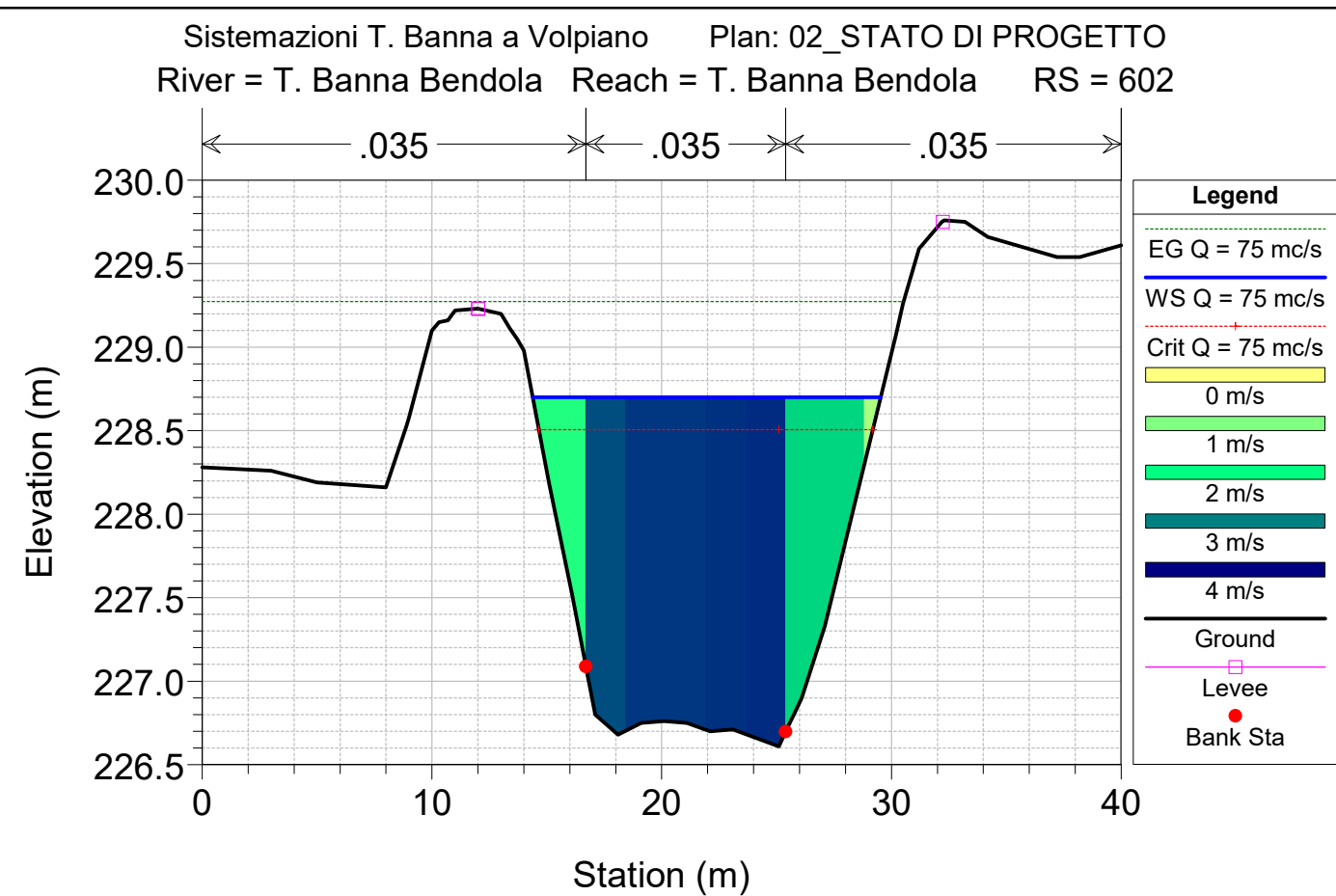
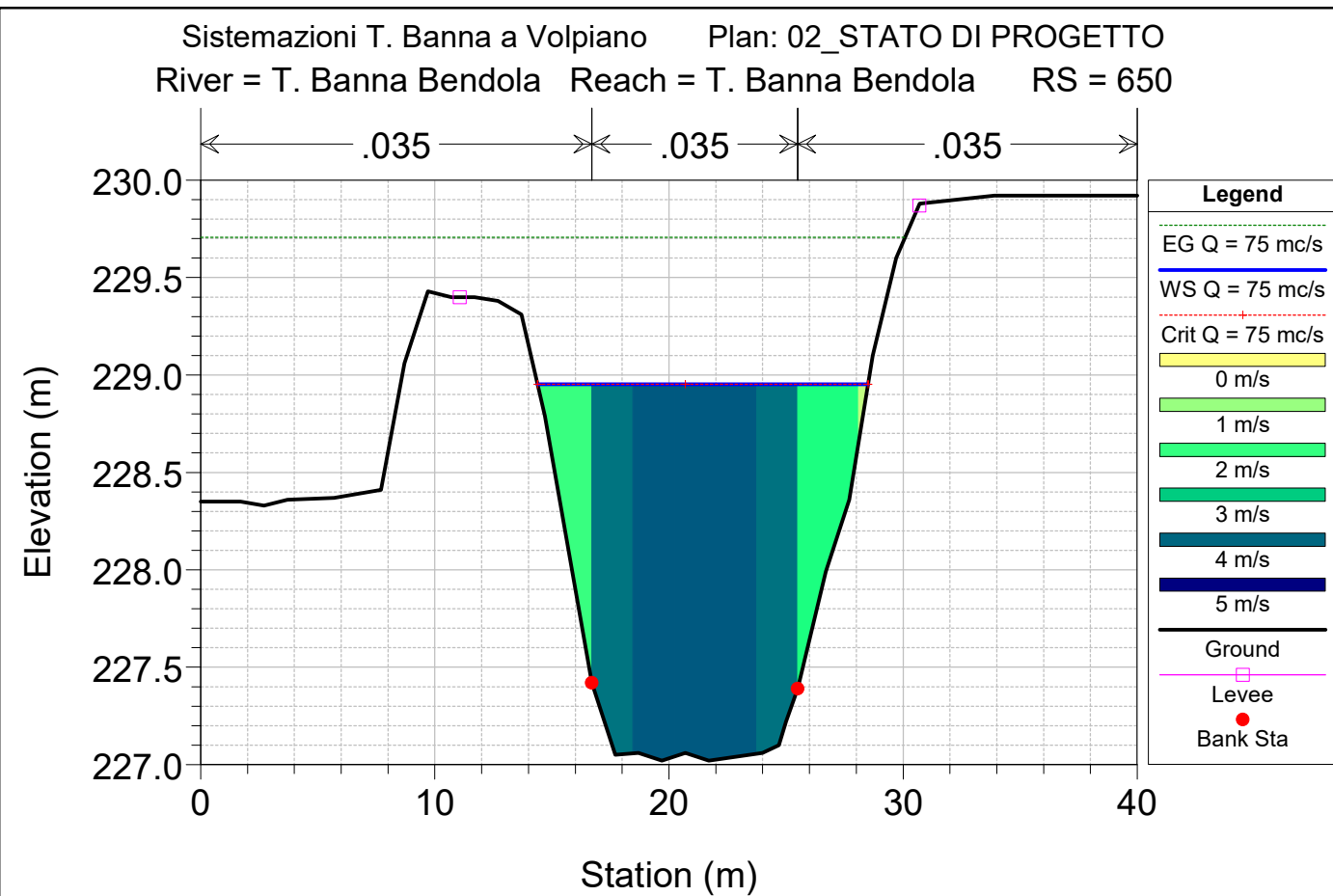


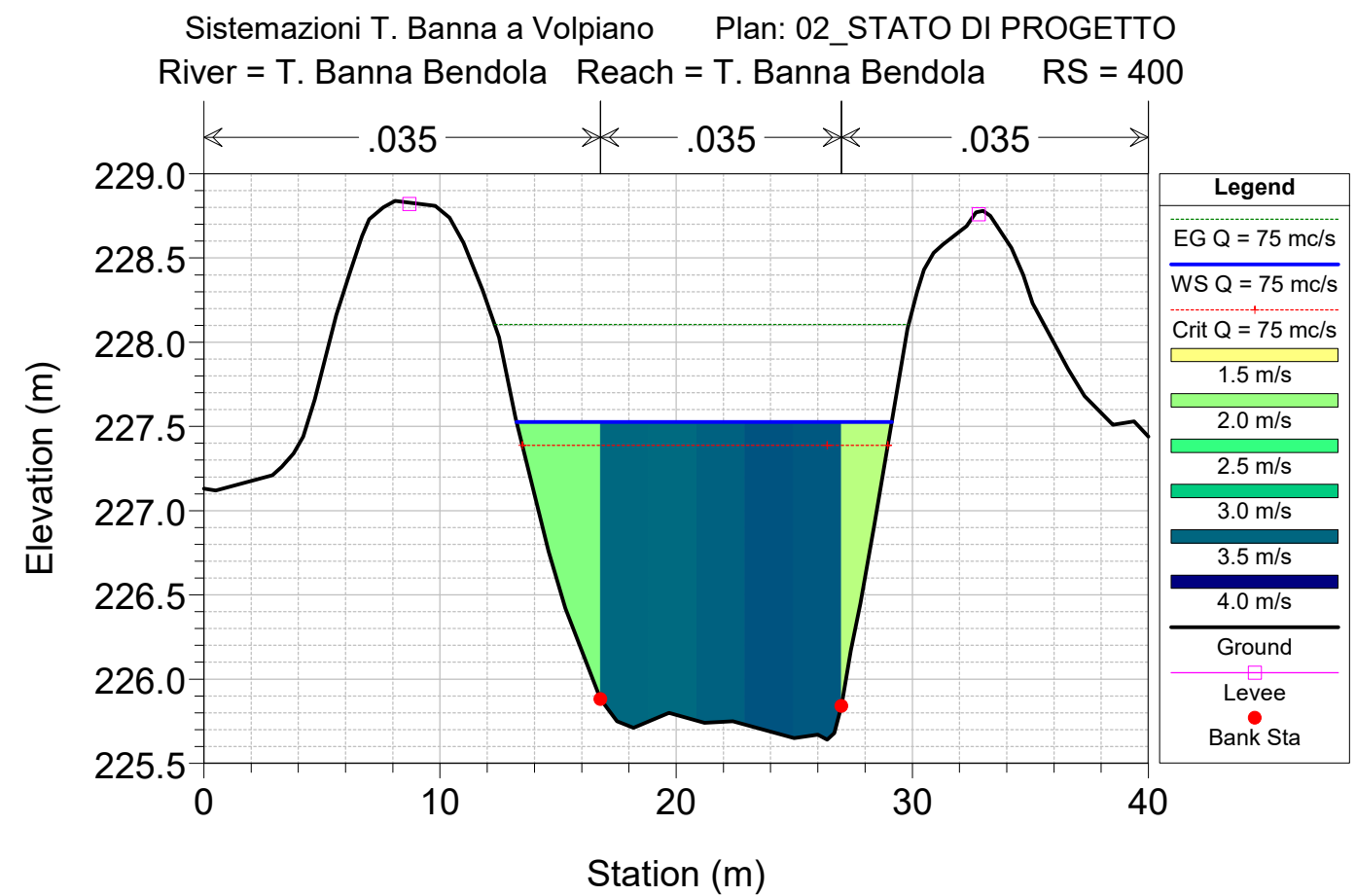
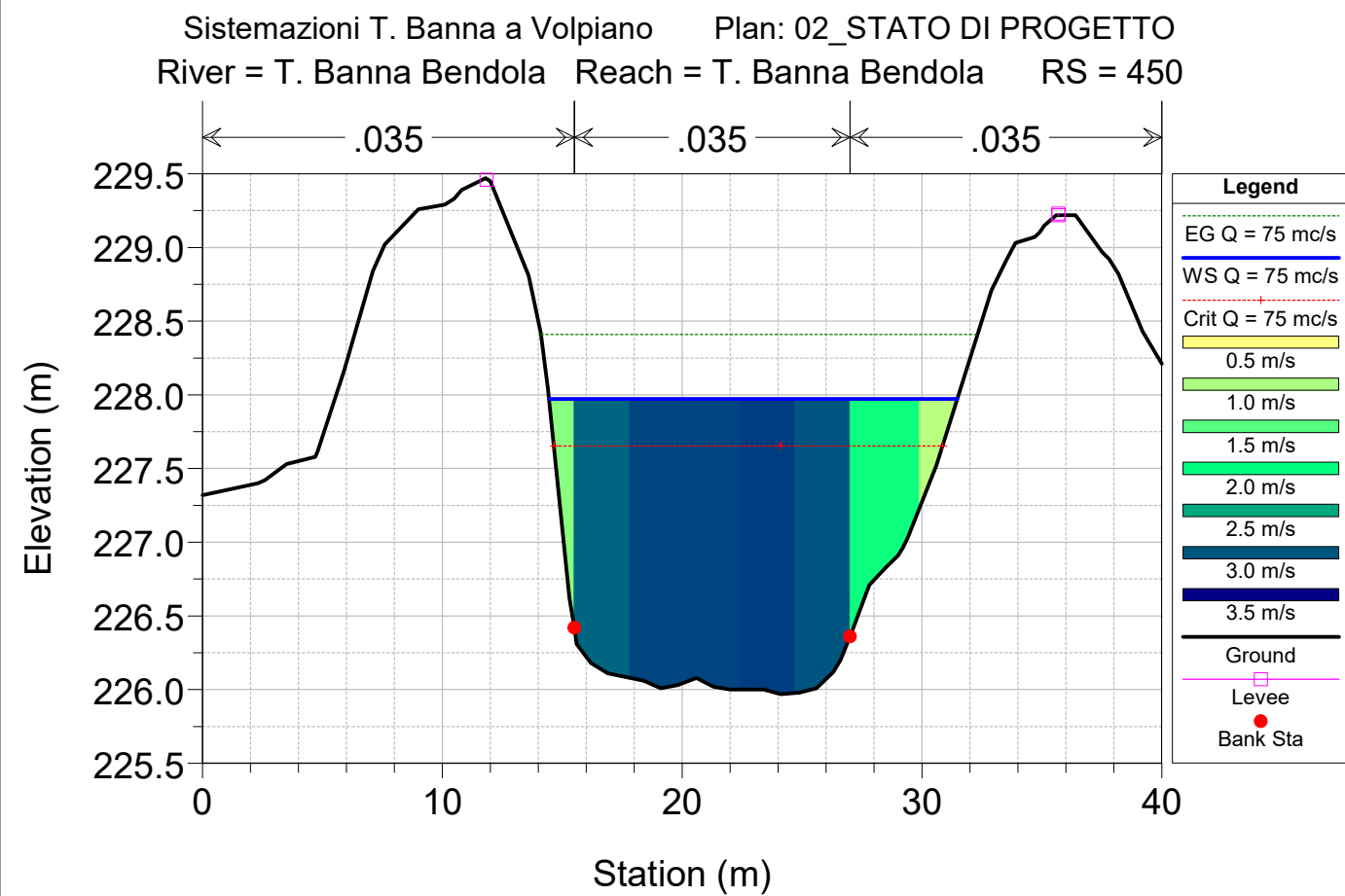
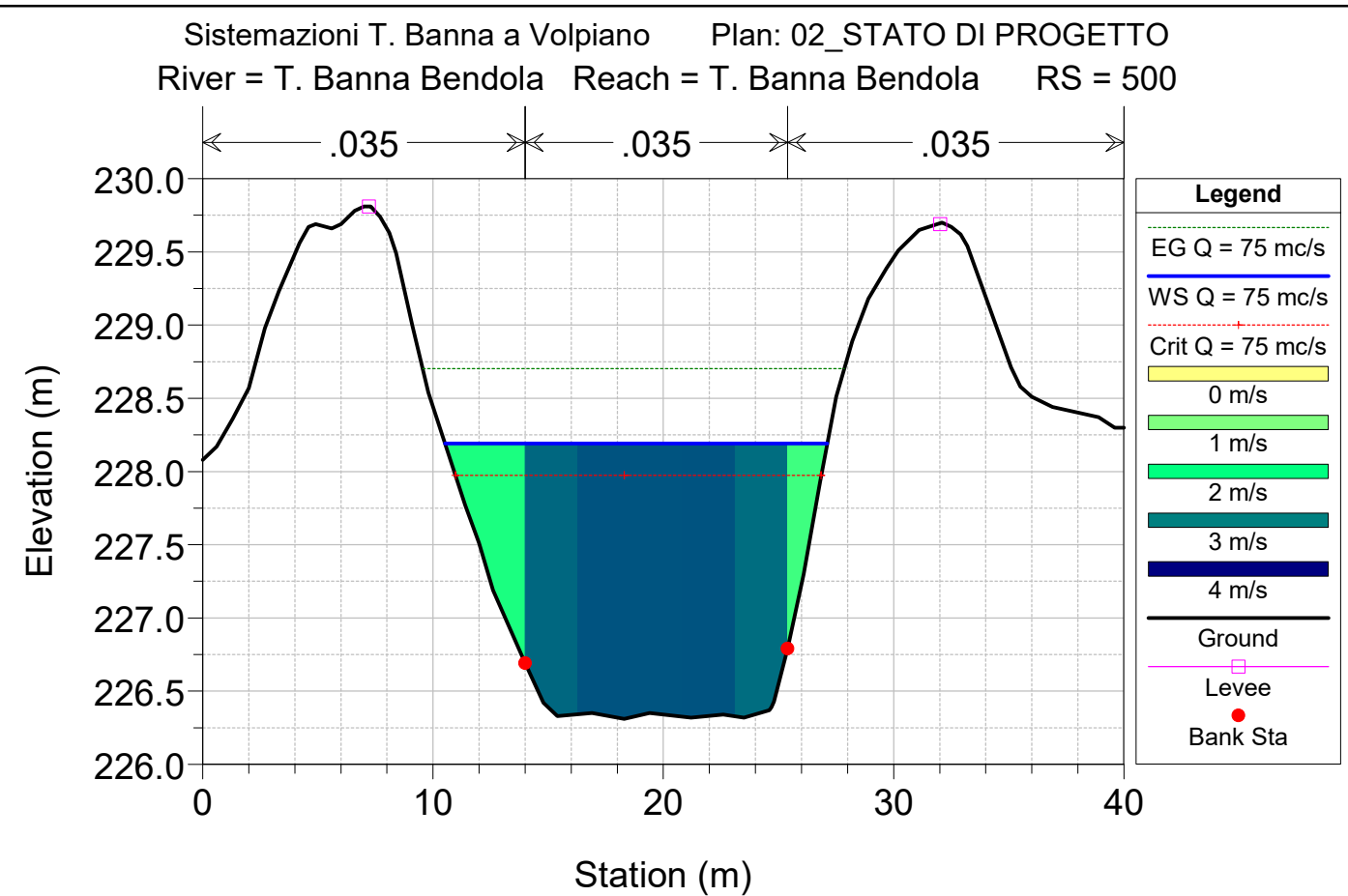
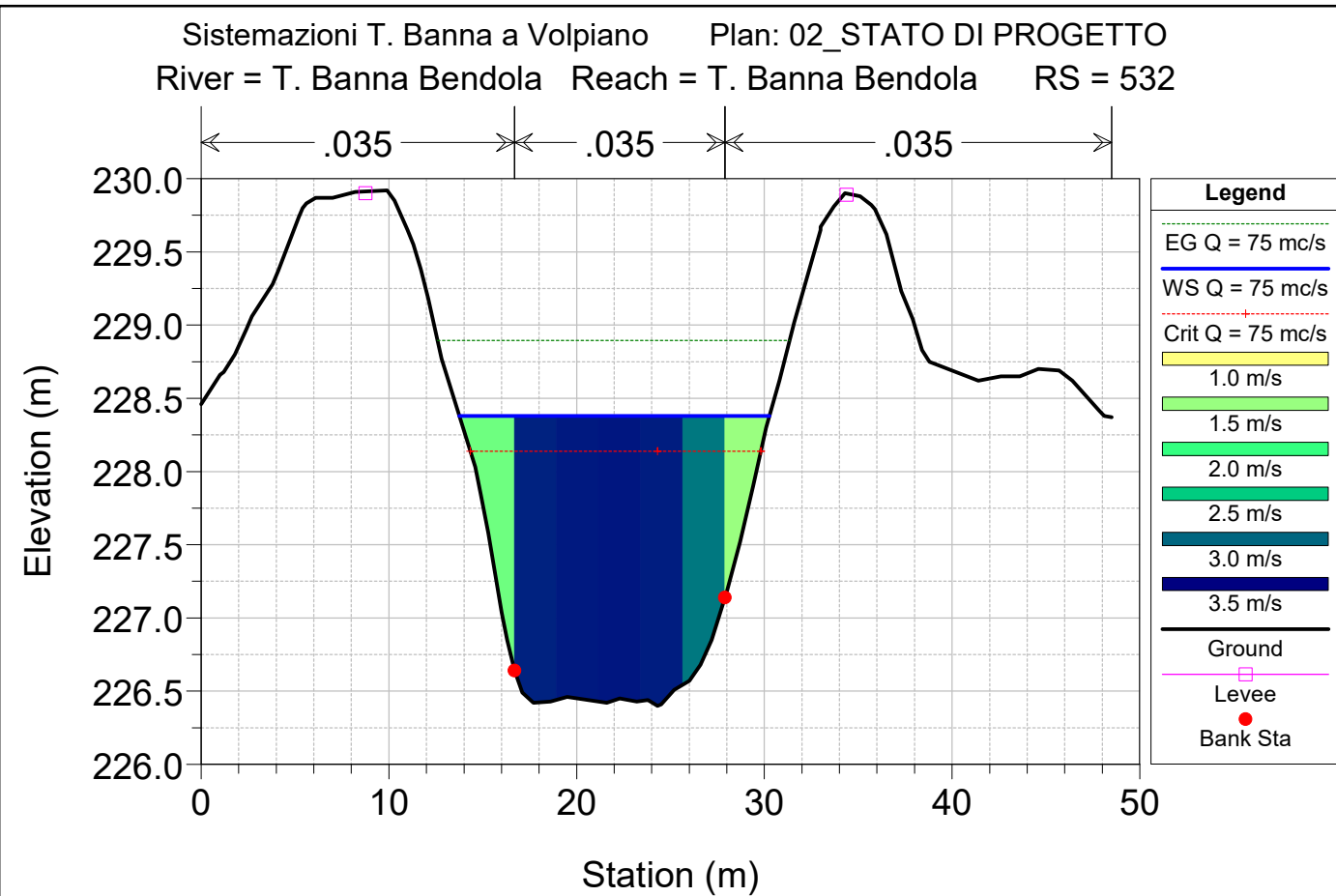


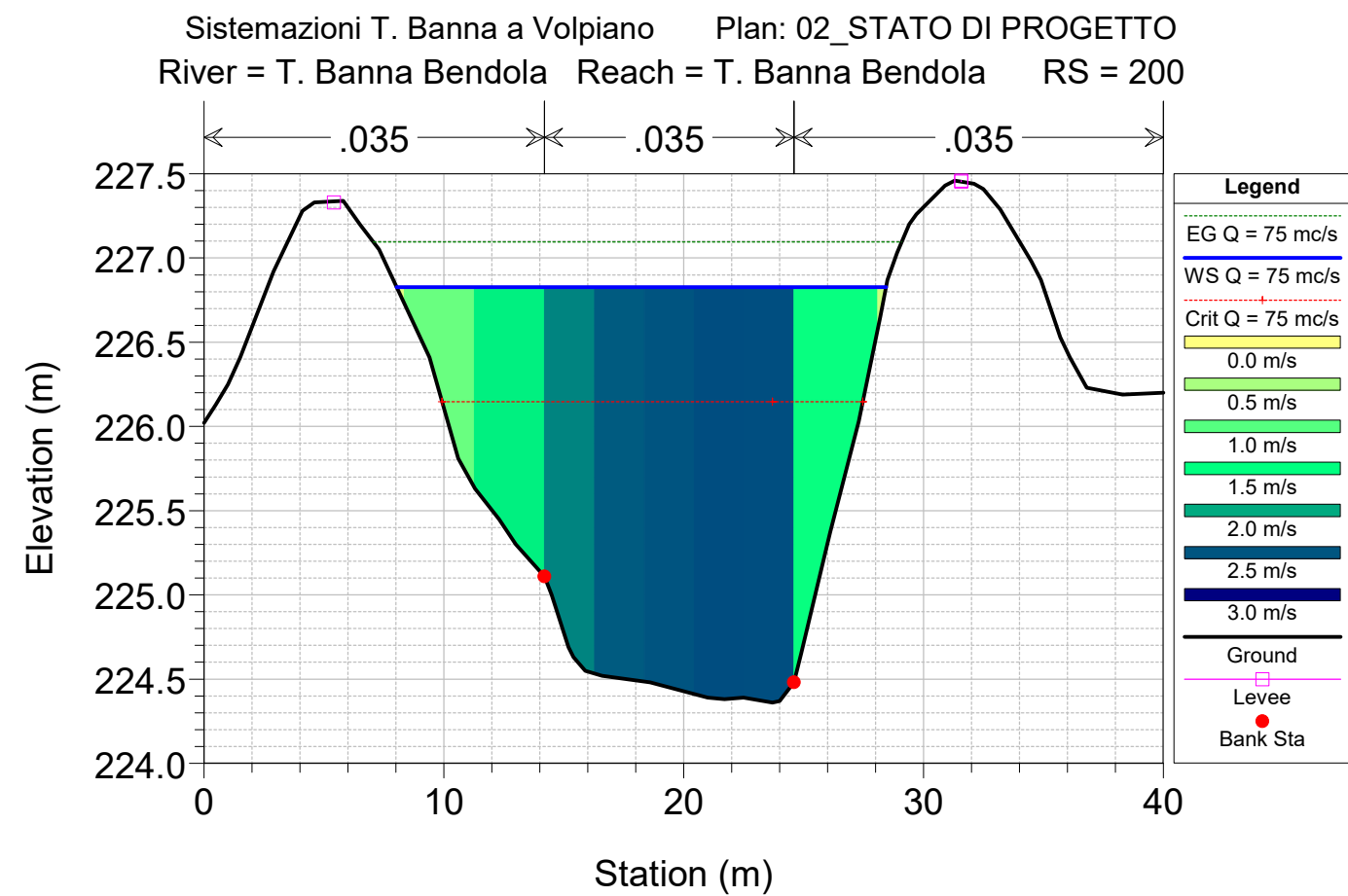
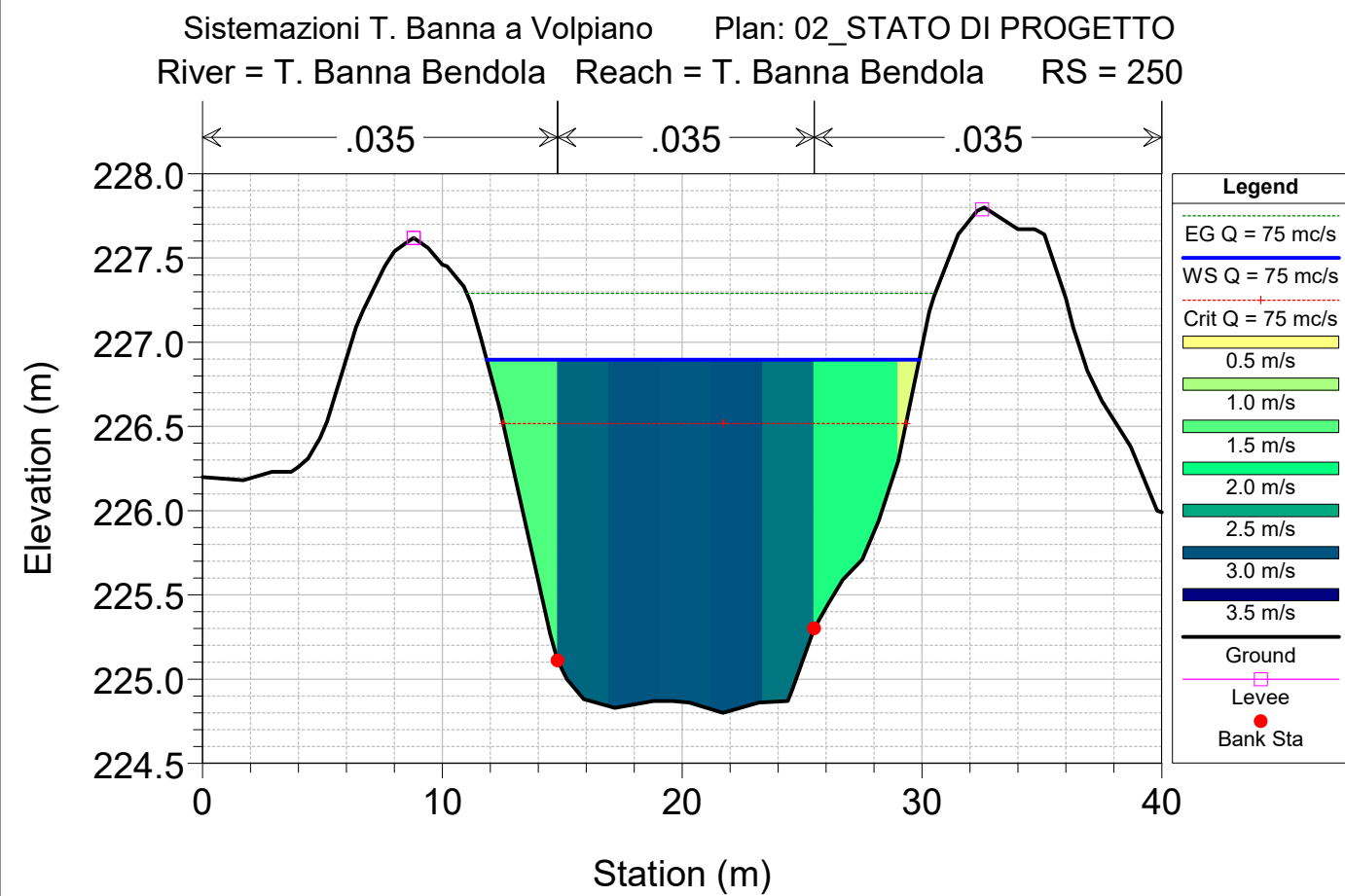
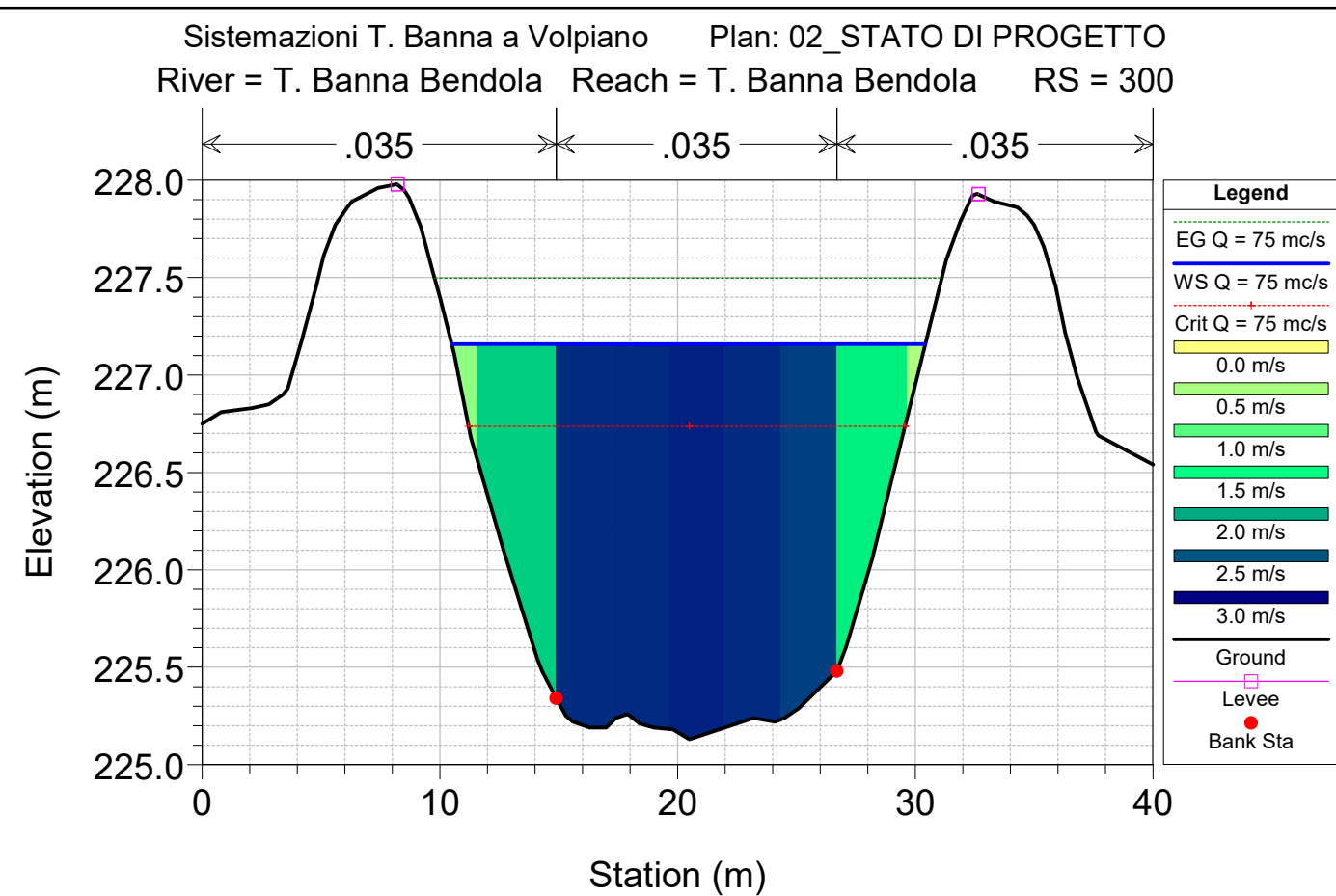
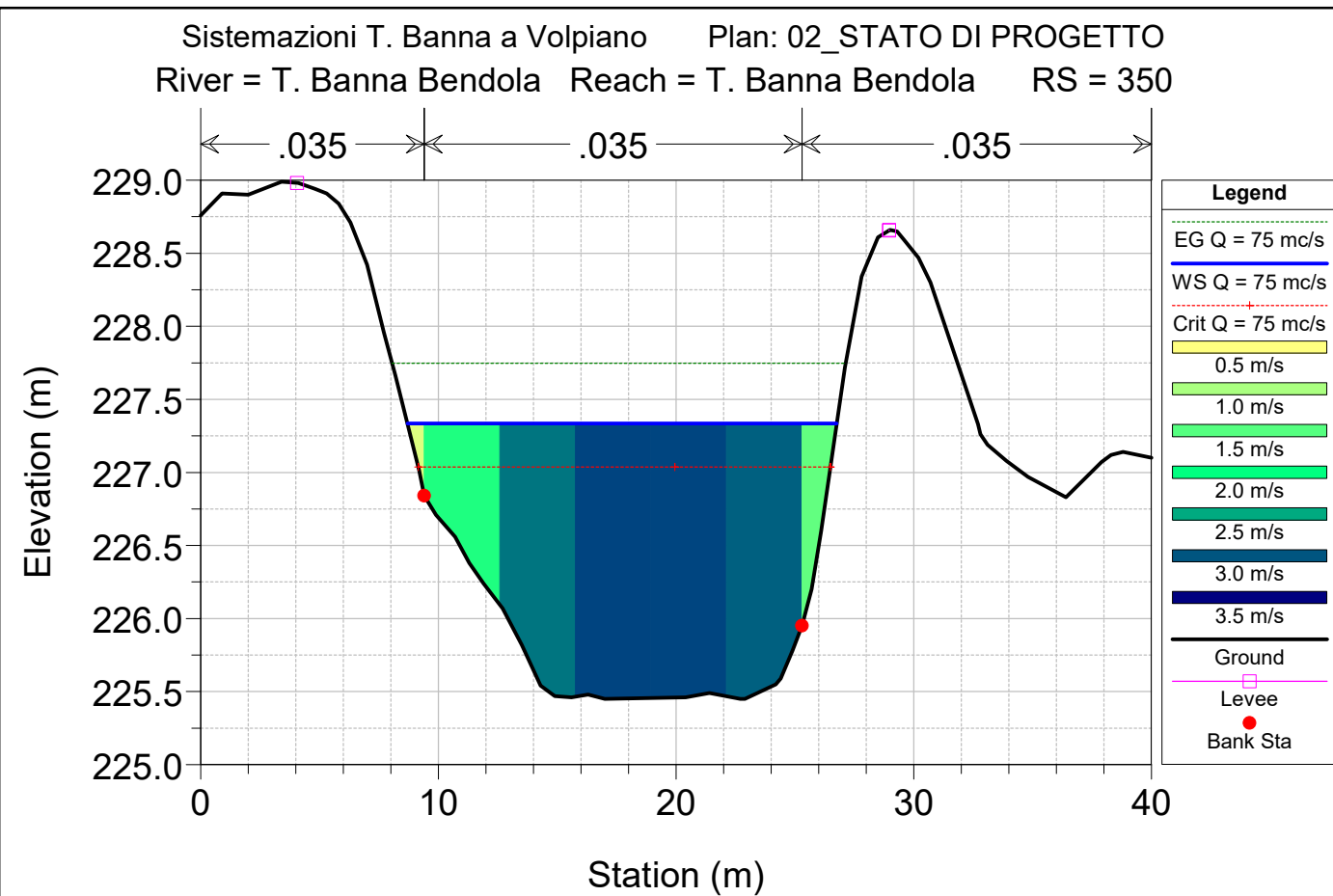


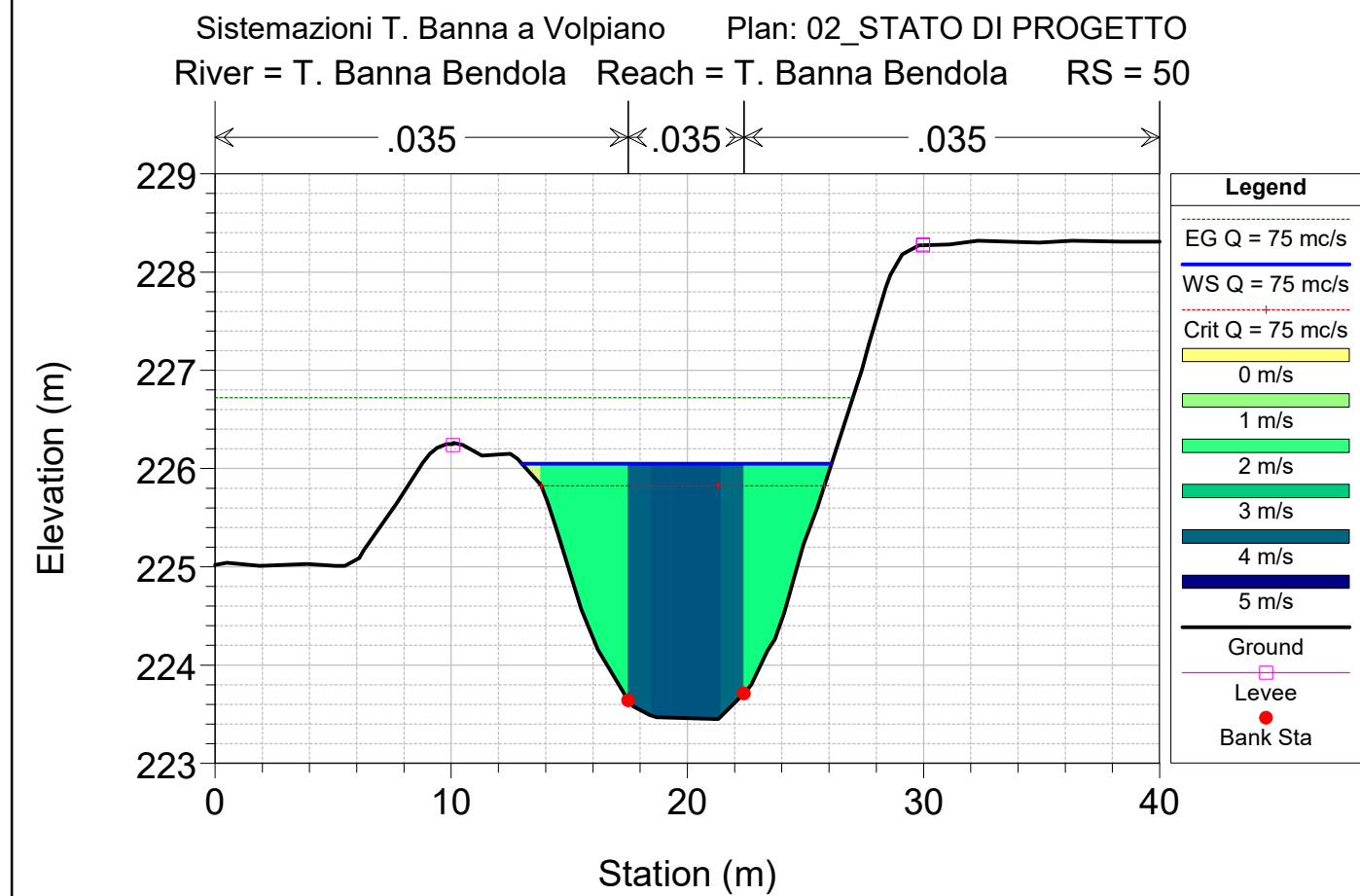
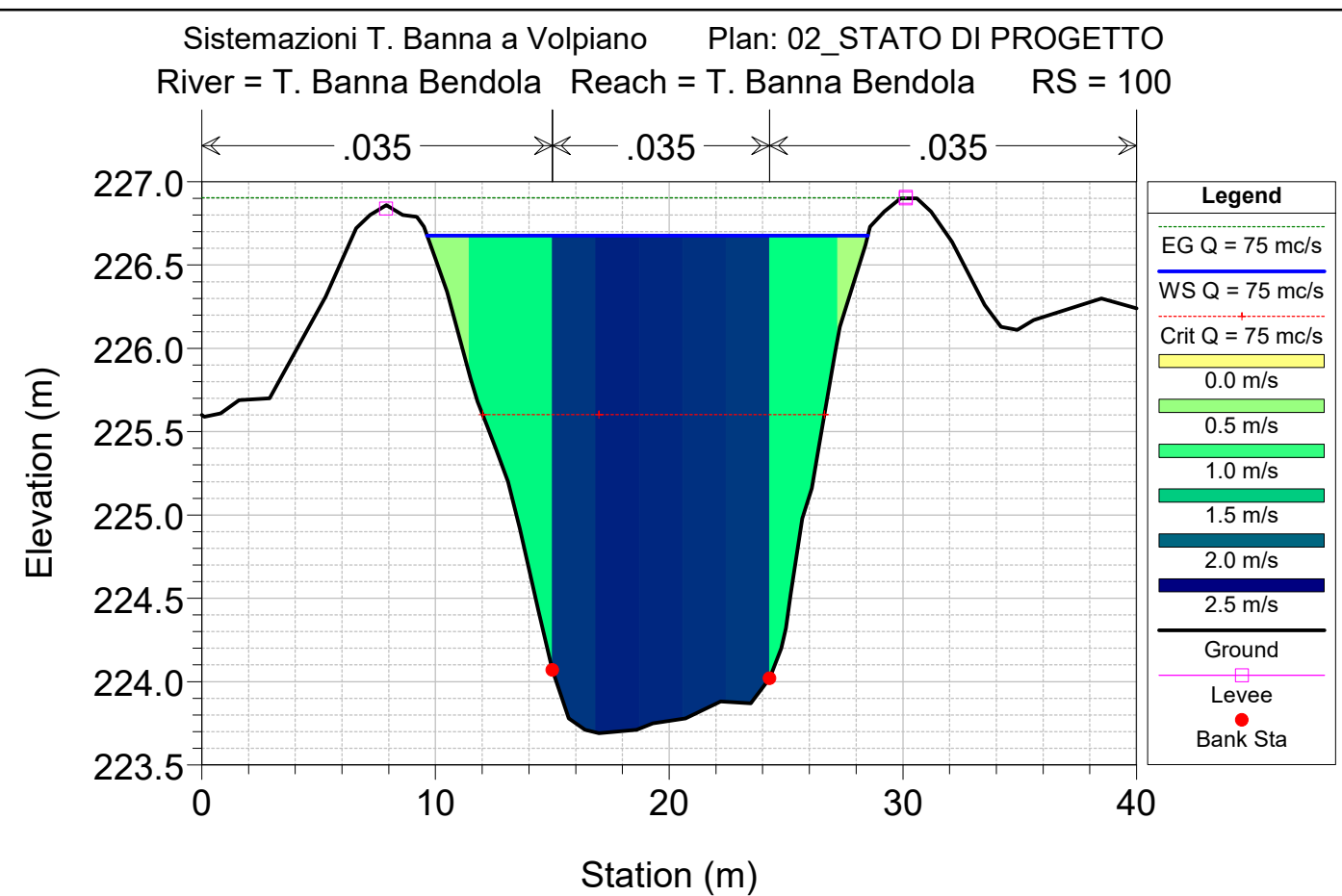
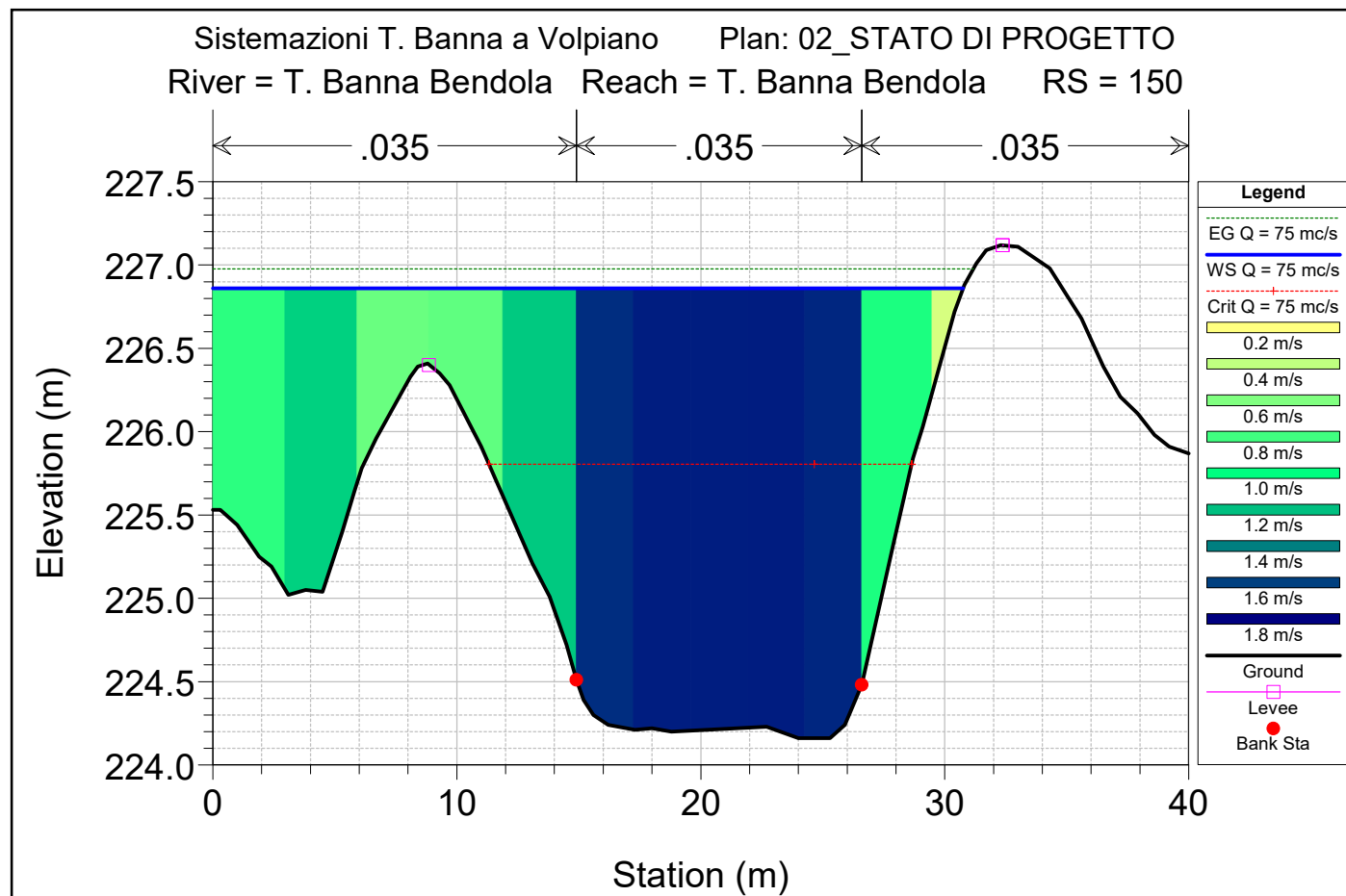














COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

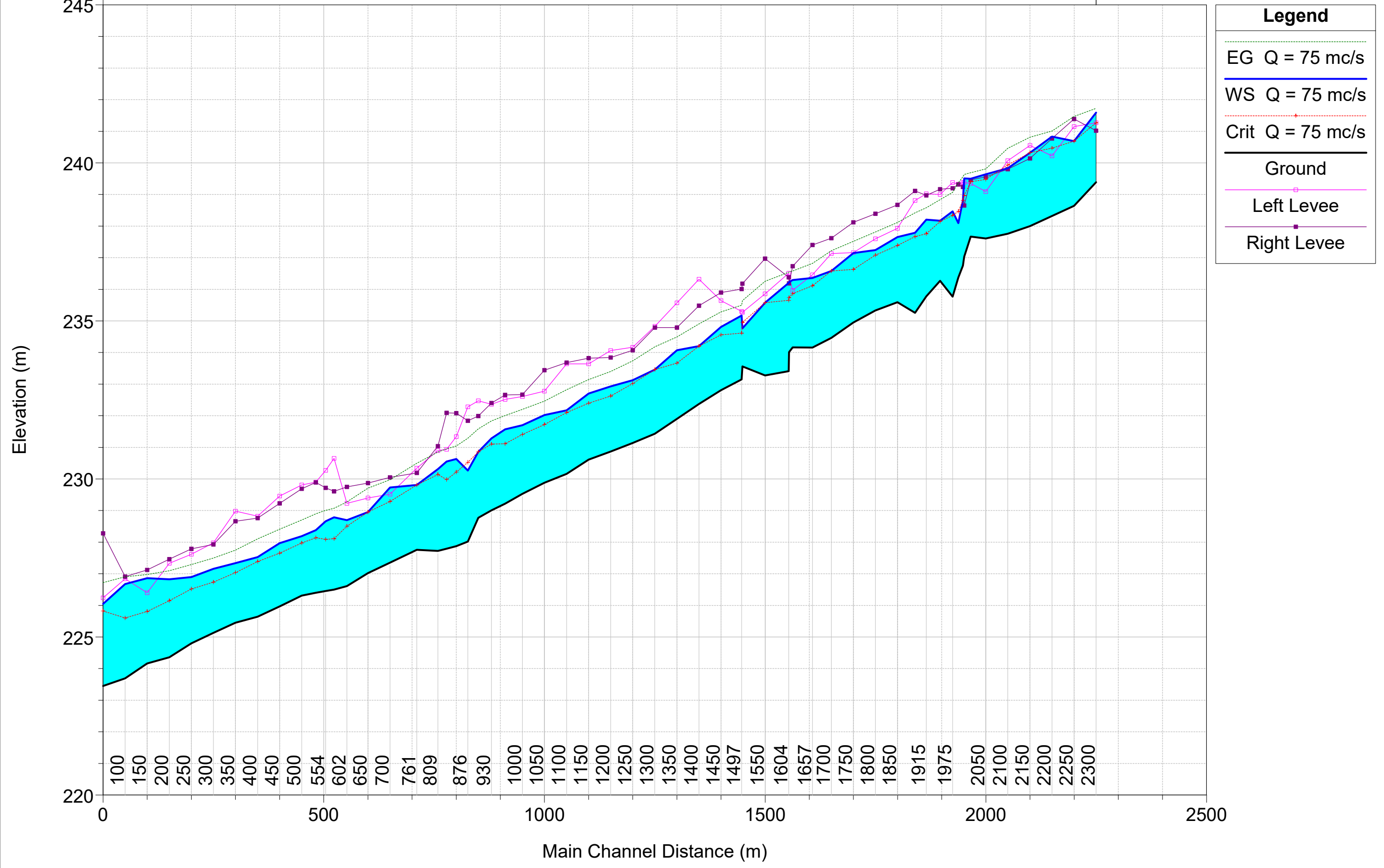


ALLEGATO 3

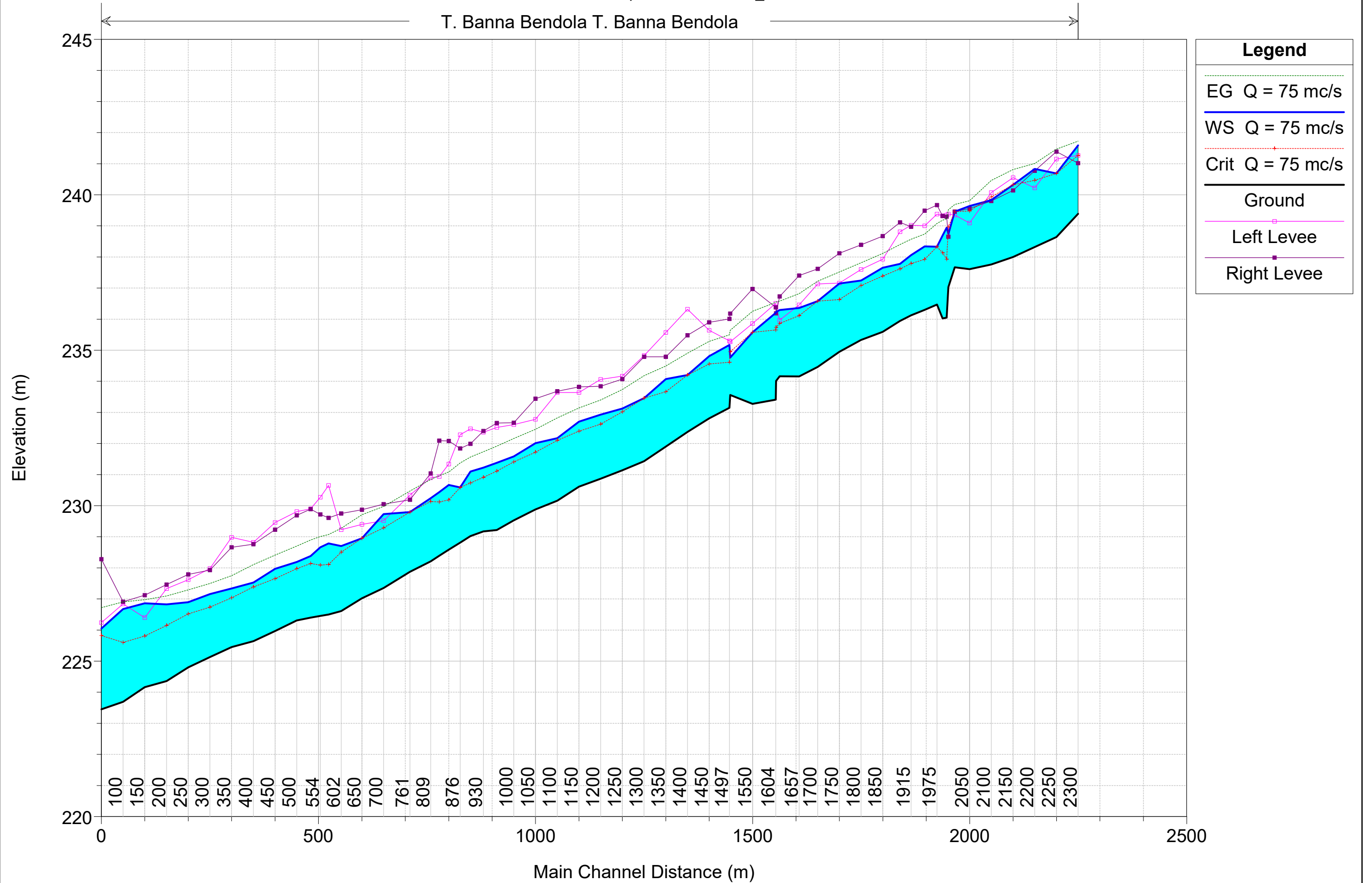
– Profili di moto SDF e PRG

Sistemazioni T. Banna a Volpiano Plan: 01_STATO DI FATTO

← T. Banna Bendola T. Banna Bendola →



T. Banna Bendola T. Banna Bendola





COMUNE DI VOLPIANO – Città Metropolitana di Torino
Regione Piemonte

Torrente Bendola - via Banna - Bendola – manutenzione straordinaria

Progetto Esecutivo



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



ALLEGATO 4

– Risultati tabellari delle simulazioni per SDF e PRG

HEC-RAS Plan: 01_SDF River: T. Banna Bendola Reach: T. Banna Bendola Profile: Q = 75 mc/s

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	Levee El Left (m)	Levee El Right (m)	Hydr Depth C (m)	Max Chl Dpth (m)
T. Banna Bendola	2300	Q = 75 mc/s	75.00	239.39	241.59	241.27	241.73	0.002174	2.02	49.24	40.00	0.47	241.27	241.02	1.88	2.20
T. Banna Bendola	2250	Q = 75 mc/s	75.00	238.64	240.69	240.69	241.47	0.008932	4.08	20.30	13.63	0.95	241.15	241.39	1.89	2.05
T. Banna Bendola	2200	Q = 75 mc/s	75.00	238.32	240.83	240.47	241.01	0.002121	2.38	47.65	40.00	0.49	240.22	240.77	2.45	2.51
T. Banna Bendola	2150	Q = 75 mc/s	75.00	238.00	240.32	240.32	240.81	0.005665	3.66	29.06	26.73	0.78	240.55	240.14	2.24	2.32
T. Banna Bendola	2100	Q = 75 mc/s	75.00	237.76	239.83	239.94	240.46	0.008389	4.14	25.17	24.02	0.93	240.07	239.80	2.02	2.07
T. Banna Bendola	2050	Q = 75 mc/s	75.00	237.61	239.64	239.48	239.81	0.002708	2.32	45.56	40.00	0.53	239.09	239.56	1.96	2.03
T. Banna Bendola	2016	Q = 75 mc/s	75.00	237.67	239.50	239.40	239.69	0.004376	2.28	39.83	37.50	0.61	239.35	239.46	1.41	1.83
T. Banna Bendola	2001	Q = 75 mc/s	75.00	237.03	239.51	238.97	239.63	0.001523	1.91	53.78	40.00	0.40	239.38	238.65	2.28	2.48
T. Banna Bendola	1998	Q = 75 mc/s	75.00	236.75	238.81	238.81	239.56	0.009023	4.08	20.87	14.91	0.95	239.38	239.24	1.89	2.06
T. Banna Bendola	1988	Q = 75 mc/s	75.00	236.37	238.10	238.47	239.37	0.020905	5.26	15.82	13.68	1.38	239.33	239.32	1.48	1.72
T. Banna Bendola	1975	Q = 75 mc/s	75.00	235.77	238.46	238.34	239.07	0.007401	3.61	22.92	15.77	0.83	239.38	239.20	1.91	2.70
T. Banna Bendola	1947	Q = 75 mc/s	75.00	236.27	238.17	238.14	238.84	0.008560	3.71	21.73	16.08	0.91	239.00	239.17	1.70	1.90
T. Banna Bendola	1915	Q = 75 mc/s	75.00	235.78	238.21	237.76	238.58	0.003796	2.83	29.60	19.69	0.62	239.02	238.97	2.10	2.43
T. Banna Bendola	1890	Q = 75 mc/s	75.00	235.26	237.79	237.67	238.42	0.008106	3.60	22.00	14.58	0.87	238.81	239.11	1.76	2.53
T. Banna Bendola	1850	Q = 75 mc/s	75.00	235.59	237.65	237.39	238.12	0.005090	3.18	26.65	18.45	0.72	237.93	238.67	1.98	2.06
T. Banna Bendola	1800	Q = 75 mc/s	75.00	235.33	237.24	237.08	237.82	0.006659	3.47	23.63	16.61	0.82	237.60	238.39	1.84	1.91
T. Banna Bendola	1750	Q = 75 mc/s	75.00	234.95	237.15	236.63	237.52	0.003538	2.80	29.94	19.85	0.61	237.16	238.12	2.13	2.20
T. Banna Bendola	1700	Q = 75 mc/s	75.00	234.46	236.58	236.58	237.22	0.008963	3.77	22.50	18.06	0.93	237.13	237.62	1.67	2.12
T. Banna Bendola	1657	Q = 75 mc/s	75.00	234.16	236.36	236.11	236.82	0.005362	3.22	26.68	18.85	0.74	236.46	237.40	1.92	2.21
T. Banna Bendola	1613	Q = 75 mc/s	75.00	234.16	236.29	235.86	236.58	0.003454	2.73	35.86	29.83	0.60	235.97	236.73	2.07	2.13
T. Banna Bendola	1604.3	Q = 75 mc/s	75.00	234.01	236.23	235.74	236.55	0.003432	2.81	34.60	30.10	0.61	236.39	236.19	2.18	2.22
T. Banna Bendola	1604	Q = 75 mc/s	75.00	233.41	236.20	235.65	236.54	0.003148	2.81	31.43	18.99	0.58	236.51	236.38	2.36	2.79
T. Banna Bendola	1550	Q = 75 mc/s	75.00	233.27	235.58	235.58	236.25	0.008072	3.83	22.29	17.44	0.90	235.86	236.97	1.86	2.30
T. Banna Bendola	1499	Q = 75 mc/s	75.00	233.56	234.77	234.96	235.64	0.017535	4.25	18.53	17.11	1.24	235.27	236.18	1.20	1.21
T. Banna Bendola	1497	Q = 75 mc/s	75.00	233.15	235.17	234.61	235.50	0.003444	2.61	31.31	20.37	0.60	235.30	236.01	1.95	2.02
T. Banna Bendola	1450	Q = 75 mc/s	75.00	232.81	234.81	234.56	235.28	0.005439	3.25	26.01	17.22	0.75	235.64	235.90	1.93	2.00
T. Banna Bendola	1400	Q = 75 mc/s	75.00	232.37	234.20	234.20	234.91	0.009730	3.77	20.92	15.61	0.96	236.32	235.48	1.59	1.83
T. Banna Bendola	1350	Q = 75 mc/s	75.00	231.90	234.07	233.67	234.50	0.004221	3.00	27.56	16.72	0.66	235.57	234.79	2.08	2.17
T. Banna Bendola	1300	Q = 75 mc/s	75.00	231.43	233.46	233.46	234.18	0.008108	3.98	21.55	15.23	0.91	234.83	234.79	1.94	2.03
T. Banna Bendola	1250	Q = 75 mc/s	75.00	231.14	233.12	233.02	233.74	0.007063	3.66	23.05	16.05	0.85	234.17	234.07	1.90	1.98
T. Banna Bendola	1200	Q = 75 mc/s	75.00	230.87	232.93	232.62	233.40	0.005025	3.21	26.22	16.69	0.72	234.06	233.84	2.01	2.06
T. Banna Bendola	1150	Q = 75 mc/s	75.00	230.61	232.70	232.40	233.14	0.004861	3.16	27.09	17.36	0.71	233.64	233.82	2.01	2.09
T. Banna Bendola	1100	Q = 75 mc/s	75.00	230.16	232.17	232.10	232.82	0.007441	3.78	22.38	15.26	0.87	233.64	233.68	1.92	2.01
T. Banna Bendola	1050	Q = 75 mc/s	75.00	229.88	232.02	231.72	232.46	0.004912	3.17	27.31	18.59	0.72	232.78	233.44	2.00	2.14
T. Banna Bendola	1000	Q = 75 mc/s	75.00	229.53	231.70	231.41	232.20	0.005241	3.30	25.35	15.73	0.74	232.61	232.67	2.04	2.17
T. Banna Bendola	961	Q = 75 mc/s	75.00	229.22	231.57	231.12	232.00	0.003930	3.04	27.42	15.96	0.65	232.52	232.66	2.26	2.35
T. Banna Bendola	930	Q = 75 mc/s	75.00	229.01	231.28	231.10	231.84	0.006812	3.50	23.87	16.13	0.83	232.36	232.40	1.83	2.28
T. Banna Bendola	900	Q = 75 mc/s	75.00	228.77	230.86	230.86	231.59	0.008738	4.01	21.15	14.80	0.93	232.47	231.99	1.90	2.08
T. Banna Bendola	876	Q = 75 mc/s	75.00	228.02	230.27	230.53	231.29	0.015742	4.55	17.50	15.00	1.18	232.28	231.84	1.53	2.25
T. Banna Bendola	850	Q = 75 mc/s	75.00	227.87	230.63	230.21	231.04	0.004373	2.90	27.53	16.79	0.66	231.34	232.08	1.96	2.76
T. Banna Bendola	828	Q = 75 mc/s	75.00	227.79	230.55	229.98	230.95	0.003609	2.89	28.16	15.69	0.60	230.94	232.09	2.33	2.76
T. Banna Bendola	809	Q = 75 mc/s	75.00	227.72	230.31	230.14	230.85	0.005608	3.53	25.14	17.06	0.76	230.90	231.04	2.20	2.59
T. Banna Bendola	761	Q = 75 mc/s	75.00	227.76	229.81	229.81	230.50	0.009231	3.96	21.48	15.81	0.95	230.34	230.19	1.77	2.05
T. Banna Bendola	700	Q = 75 mc/s	75.00	227.35	229.73	229.29	229.98	0.002621	2.52	39.13	30.94	0.53	229.52	230.05	2.29	2.38
T. Banna Bendola	650	Q = 75 mc/s	75.00	227.02	228.95	228.95	229.71	0.008806	4.03	20.66	14.11	0.94	229.40	229.87	1.87	1.93
T. Banna Bendola	602	Q = 75 mc/s	75.00	226.61	228.70	228.51	229.28	0.006371	3.57	23.60	15.13	0.81	229.23	229.75	1.98	2.09
T. Banna Bendola	573	Q = 75 mc/s	75.00	226.50	228.79	228.11	229.07	0.002784	2.54	32.92	17.61	0.55	230.65	229.61	2.19	2.29
T. Banna Bendola	554	Q = 75 mc/s	75.00	226.45	228.66	228.09	229.01	0.003429	2.75	30.15	17.44	0.60	230.27	229.72	2.13	2.20
T. Banna Bendola	532	Q = 75 mc/s	75.00	226.40	228.38	228.14	228.89	0.005852	3.29	24.79	16.52	0.77	229.90	229.89	1.87	1.98
T. Banna Bendola	500	Q = 75 mc/s	75.00	226.31	228.19	227.97	228.70	0.006024	3.28	24.80	16.59	0.78	229.81	229.69	1.82	1.88
T. Banna Bendola	450	Q = 75 mc/s	75.00	225.97	227.97	227.65	228.41	0.004876	3.05	26.80	17.03	0.70	229.46	229.23	1.91	2.00
T. Banna Bendola	400	Q = 75 mc/s	75.00	225.64	227.53	227.39	228.11	0.007054	3.53	23.40	15.89	0.84	228.82	228.76	1.80	1.89
T. Banna Bendola	350	Q = 75 mc/s	75.00	225.45	227.34	227.04	227.75	0.005447	2.86	26.87	18.06	0.72	228.98	228.66	1.61	1.89
T. Banna Bendola	300	Q = 75 mc/s	75.00	225.13	227.16	226.74	227.50	0.003843	2.74	30.56	19.92	0.63	227.98	227.93	1.93	2.03
T. Banna Bendola	250	Q = 75 mc/s	75.00	224.80	226.90	226.52	227.29	0.004235	2.94	28.49	18.04	0.66	227.62	227.79	2.01	2.10
T. Banna Bendola	200	Q = 75 mc/s	75.00	224.36	226.83	226.15	227.09	0.002438	2.46	35.11	20.41	0.52	227.33	227.46	2.33	2.47
T. Banna Bendola	150	Q = 75 mc/s	75.00	224.16	226.86	225.81	226.98	0.000977	1.69	54.67	30.75	0.33	226.40	227.12	2.63	2.70
T. Banna Bendola	100	Q = 75 mc/s	75.00	223.69	226.68	225.60	226.90	0.001567	2.27	38.64	18.86	0.43	226.84	226.91	2.88	2.99
T. Banna Bendola	50	Q = 75 mc/s	75.00	223.45	226.05	225.82	226.72	0.006000	4.10	22.76	13.12	0.82	226.24	228.28	2.55	2.60

HEC-RAS Plan: 02_PRG River: T. Banna Bendola Reach: T. Banna Bendola Profile: Q = 75 mc/s

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	Levee El Left (m)	Levee El Right (m)	Hydr Depth C (m)	Max Chl Dpth (m)
T. Banna Bendola	2300	Q = 75 mc/s	75.00	239.39	241.59	241.27	241.73	0.002174	2.02	49.24	40.00	0.47	241.27	241.02	1.88	2.20
T. Banna Bendola	2250	Q = 75 mc/s	75.00	238.64	240.69	240.69	241.47	0.008932	4.08	20.30	13.63	0.95	241.15	241.39	1.89	2.05
T. Banna Bendola	2200	Q = 75 mc/s	75.00	238.32	240.83	240.47	241.01	0.002121	2.38	47.65	40.00	0.49	240.22	240.77	2.45	2.51
T. Banna Bendola	2150	Q = 75 mc/s	75.00	238.00	240.32	240.32	240.81	0.005665	3.66	29.06	26.73	0.78	240.55	240.14	2.24	2.32
T. Banna Bendola	2100	Q = 75 mc/s	75.00	237.76	239.83	239.94	240.46	0.008389	4.14	25.17	24.02	0.93	240.07	239.80	2.02	2.07
T. Banna Bendola	2050	Q = 75 mc/s	75.00	237.61	239.64	239.48	239.81	0.002677	2.31	45.74	40.00	0.53	239.09	239.56	1.97	2.03
T. Banna Bendola	2016	Q = 75 mc/s	75.00	237.67	239.46	239.46	239.69	0.004470	2.62	38.35	37.18	0.66	239.35	239.46	1.62	1.79
T. Banna Bendola	2001	Q = 75 mc/s	75.00	237.03	238.74	238.97	239.52	0.014282	4.44	22.39	28.40	1.15	239.38	238.65	1.51	1.71
T. Banna Bendola	1997	Q = 75 mc/s	75.00	236.05	238.94	237.93	239.23	0.002057	2.40	33.35	16.17	0.47	239.35	239.30	2.66	2.89
T. Banna Bendola	1988	Q = 75 mc/s	75.00	236.02	238.69	238.14	239.18	0.004051	3.16	25.63	12.54	0.64	239.33	239.32	2.47	2.67
T. Banna Bendola	1975	Q = 75 mc/s	75.00	236.47	238.33	238.33	239.08	0.009465	3.99	20.55	13.99	0.96	239.38	239.67	1.75	1.86
T. Banna Bendola	1947	Q = 75 mc/s	75.00	236.30	238.34	237.92	238.73	0.004203	2.86	28.22	17.36	0.65	239.00	239.49	1.95	2.04
T. Banna Bendola	1915	Q = 75 mc/s	75.00	236.12	238.06	237.79	238.57	0.005686	3.26	24.69	15.54	0.75	239.02	238.97	1.91	1.94
T. Banna Bendola	1890	Q = 75 mc/s	75.00	235.95	237.78	237.62	238.40	0.007046	3.58	22.45	14.03	0.85	238.81	239.11	1.83	1.83
T. Banna Bendola	1850	Q = 75 mc/s	75.00	235.59	237.65	237.39	238.12	0.005090	3.18	26.65	18.45	0.72	237.93	238.67	1.98	2.06
T. Banna Bendola	1800	Q = 75 mc/s	75.00	235.33	237.24	237.08	237.82	0.006659	3.47	23.63	16.61	0.82	237.60	238.39	1.84	1.91
T. Banna Bendola	1750	Q = 75 mc/s	75.00	234.95	237.15	236.63	237.52	0.003538	2.80	29.94	19.85	0.61	237.16	238.12	2.13	2.20
T. Banna Bendola	1700	Q = 75 mc/s	75.00	234.46	236.58	236.58	237.22	0.008963	3.77	22.50	18.06	0.93	237.13	237.62	1.67	2.12
T. Banna Bendola	1657	Q = 75 mc/s	75.00	234.16	236.36	236.11	236.82	0.005362	3.22	26.68	18.85	0.74	236.46	237.40	1.92	2.21
T. Banna Bendola	1613	Q = 75 mc/s	75.00	234.16	236.29	235.86	236.58	0.003454	2.73	35.86	29.83	0.60	235.97	236.73	2.07	2.13
T. Banna Bendola	1604.3	Q = 75 mc/s	75.00	234.01	236.23	235.74	236.55	0.003432	2.81	34.60	30.10	0.61	236.39	236.19	2.18	2.22
T. Banna Bendola	1604	Q = 75 mc/s	75.00	233.41	236.20	235.65	236.54	0.003148	2.81	31.43	18.99	0.58	236.51	236.38	2.36	2.79
T. Banna Bendola	1550	Q = 75 mc/s	75.00	233.27	235.58	235.58	236.25	0.008072	3.83	22.29	17.44	0.90	235.86	236.97	1.86	2.30
T. Banna Bendola	1499	Q = 75 mc/s	75.00	233.56	234.77	234.96	235.64	0.017535	4.25	18.53	17.11	1.24	235.27	236.18	1.20	1.21
T. Banna Bendola	1497	Q = 75 mc/s	75.00	233.15	235.17	234.61	235.50	0.003444	2.61	31.31	20.37	0.60	235.30	236.01	1.95	2.02
T. Banna Bendola	1450	Q = 75 mc/s	75.00	232.81	234.81	234.56	235.28	0.005439	3.25	26.01	17.22	0.75	235.64	235.90	1.93	2.00
T. Banna Bendola	1400	Q = 75 mc/s	75.00	232.37	234.20	234.20	234.91	0.009730	3.77	20.92	15.61	0.96	236.32	235.48	1.59	1.83
T. Banna Bendola	1350	Q = 75 mc/s	75.00	231.90	234.07	233.67	234.50	0.004221	3.00	27.56	16.72	0.66	235.57	234.79	2.08	2.17
T. Banna Bendola	1300	Q = 75 mc/s	75.00	231.43	233.46	233.46	234.18	0.008108	3.98	21.55	15.23	0.91	234.83	234.79	1.94	2.03
T. Banna Bendola	1250	Q = 75 mc/s	75.00	231.14	233.12	233.02	233.74	0.007061	3.66	23.05	16.05	0.85	234.17	234.07	1.90	1.98
T. Banna Bendola	1200	Q = 75 mc/s	75.00	230.87	232.93	232.62	233.40	0.005022	3.21	26.23	16.70	0.72	234.06	233.84	2.01	2.06
T. Banna Bendola	1150	Q = 75 mc/s	75.00	230.61	232.71	232.40	233.14	0.004853	3.16	27.10	17.36	0.71	233.64	233.82	2.02	2.10
T. Banna Bendola	1100	Q = 75 mc/s	75.00	230.16	232.17	232.10	232.82	0.007478	3.78	22.34	15.26	0.87	233.64	233.68	1.92	2.01
T. Banna Bendola	1050	Q = 75 mc/s	75.00	229.88	232.01	231.72	232.46	0.004970	3.18	27.20	18.56	0.72	232.78	233.44	2.00	2.13
T. Banna Bendola	1000	Q = 75 mc/s	75.00	229.53	231.58	231.41	232.16	0.006490	3.54	23.55	15.34	0.81	232.61	232.67	1.92	2.05
T. Banna Bendola	961	Q = 75 mc/s	75.00	229.22	231.38	231.11	231.91	0.005579	3.38	24.45	15.30	0.75	232.52	232.66	2.05	2.16
T. Banna Bendola	930	Q = 75 mc/s	75.00	229.17	231.22	230.91	231.74	0.005488	3.34	24.86	15.12	0.75	232.36	232.40	2.02	2.05
T. Banna Bendola	900	Q = 75 mc/s	75.00	229.02	231.10	230.73	231.57	0.004986	3.28	26.08	15.55	0.73	232.47	231.99	2.07	2.07
T. Banna Bendola	876	Q = 75 mc/s	75.00	228.81	230.59	230.59	231.37	0.009782	4.00	19.72	12.86	0.97	232.28	231.84	1.75	1.77
T. Banna Bendola	850	Q = 75 mc/s	75.00	228.59	230.67	230.18	231.08	0.004173	2.89	27.14	15.07	0.65	231.34	232.08	2.01	2.08
T. Banna Bendola	828	Q = 75 mc/s	75.00	228.39	230.44	230.12	230.97	0.005470	3.31	24.20	13.84	0.74	230.94	232.09	2.03	2.04
T. Banna Bendola	809	Q = 75 mc/s	75.00	228.21	230.24	230.13	230.84	0.006781	3.74	23.65	16.39	0.84	230.90	231.04	2.02	2.03
T. Banna Bendola	761	Q = 75 mc/s	75.00	227.87	229.80	229.80	230.47	0.008372	3.93	22.11	16.04	0.91	230.34	230.19	1.89	1.92
T. Banna Bendola	700	Q = 75 mc/s	75.00	227.35	229.73	229.29	229.98	0.002621	2.52	39.13	30.94	0.53	229.52	230.05	2.29	2.38
T. Banna Bendola	650	Q = 75 mc/s	75.00	227.02	228.95	228.95	229.71	0.008806	4.03	20.66	14.11	0.94	229.40	229.87	1.87	1.93
T. Banna Bendola	602	Q = 75 mc/s	75.00	226.61	228.70	228.51	229.27	0.006391	3.57	23.65	15.14	0.81	229.23	229.75	1.98	2.09
T. Banna Bendola	573	Q = 75 mc/s	75.00	226.50	228.79	228.11	229.07	0.002784	2.54	32.92	17.61	0.55	230.65	229.61	2.19	2.29
T. Banna Bendola	554	Q = 75 mc/s	75.00	226.45	228.66	228.09	229.01	0.003429	2.75	30.15	17.44	0.60	230.27	229.72	2.13	2.20
T. Banna Bendola	532	Q = 75 mc/s	75.00	226.40	228.38	228.14	228.89	0.005852	3.29	24.79	16.52	0.77	229.90	229.89	1.87	1.98
T. Banna Bendola	500	Q = 75 mc/s	75.00	226.31	228.19	227.97	228.70	0.006024	3.28	24.80	16.59	0.78	229.81	229.69	1.82	1.88
T. Banna Bendola	450	Q = 75 mc/s	75.00	225.97	227.97	227.65	228.41	0.004876	3.05	26.80	17.03	0.70	229.46	229.23	1.91	2.00
T. Banna Bendola	400	Q = 75 mc/s	75.00	225.64	227.53	227.39	228.11	0.007054	3.53	23.40	15.89	0.84	228.82	228.76	1.80	1.89
T. Banna Bendola	350	Q = 75 mc/s	75.00	225.45	227.34	227.04	227.75	0.005447	2.86	26.87	18.06	0.72	228.98	228.66	1.61	1.89
T. Banna Bendola	300	Q = 75 mc/s	75.00	225.13	227.16	226.74	227.50	0.003843	2.74	30.56	19.92	0.63	227.98	227.93	1.93	2.03
T. Banna Bendola	250	Q = 75 mc/s	75.00	224.80	226.90	226.52	227.29	0.004235	2.94	28.49	18.04	0.66	227.62	227.79	2.01	2.10
T. Banna Bendola	200	Q = 75 mc/s	75.00	224.36	226.83	226.15	227.09	0.002438	2.46	35.11	20.41	0.52	227.33	227.46	2.33	2.47
T. Banna Bendola	150	Q = 75 mc/s	75.00	224.16	226.86	225.81	226.98	0.000977	1.69	54.67	30.75	0.33	226.40	227.12	2.63	2.70
T. Banna Bendola	100	Q = 75 mc/s	75.00	223.69	226.68	225.60	226.90	0.001567	2.27	38.64	18.86	0.43	226.84	226.91	2.88	2.99
T. Banna Bendola	50	Q = 75 mc/s	75.00	223.45	226.05	225.82	226.72	0.006000	4.10	22.76	13.12	0.82	226.24	228.28	2.55	2.60