Firmato digitalmente da
Paolo COSTA MEDICH

COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V./A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE
PROGETTO DEFINITIVO
PRG DI GENOVA VOLTRI

# IDROLOGIA E IDRAULICA

## Rio delle Madonnette

### Relazione di modellazione idrologica-idraulica

| GENERAL CONTRACTOR | DIRETTORE DEI LAVORI | |
|---|---|---|
| Consorzio **Cociv** Ing. G. Irace | | |

| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NG2Y | 04 | D | CV | RH | ID0000 | 002 | B |

PROGETTAZIONE:

| Rev | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Progettista Integratore | Data | IL PROGETTISTA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A00 | PRIMA EMISSIONE | SYSTRA SWS | 10/05/2023 | COCIV | 11/05/2023 | P. Costa Medich | 12/05/2023 | Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Paolo Costa Medich Ordine Ingegneri Prov. TO n. 10306 X |
| B00 | Verifica a seguito di RdV NG2Y04D37ISID0000003A | SYSTRA SWS | 02/11/2023 | COCIV | 03/11/2023 | P. Costa Medich | 06/11/2023 | |
| | | | | | | | | |

| | n. Elab.: | File: *NG2Y-04-D-CV-RH-ID00-00-002-B00.doc* |
|---|---|---|

CUP: F81H92000000008

# INDICE

INDICE ..... 3
1. INTRODUZIONE ..... 5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI ..... 6
3. DISPOSIZIONI NORMATIVE ..... 7
3.1 Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I) ..... 7
3.2 Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.R.G.A.) ..... 11
3.3 Conclusioni ..... 14
4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE ..... 16
4.1 Descrizione del bacino imbrifero del rio delle Madonnette ..... 16
4.2 Geolitologia e uso del suolo ..... 17
4.3 Il rio delle Madonnette nel tratto in esame ..... 19
4.4 Rete di smaltimento acque piovane ..... 19
5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO MADONNETTE ..... 21
5.1 Descrizione dell'intervento in esame ..... 21
5.2 Quadro generale dei lavori eseguiti ..... 21
5.3 Progetti di riqualificazione urbana nelle aree circostanti ..... 22
6. ANALISI IDROLOGICA ..... 24
6.1 Analisi pluviometriche cenni ..... 24
6.1.1 Precipitazioni di durata orarie: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel 24
6.1.2 Precipitazioni di breve durata: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Bell25
6.2 Cambiamenti climatici ..... 27
6.2.1 I cambiamenti climatici in Italia ..... 27
6.2.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale ..... 29
6.2.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto ..... 30
6.3 Portata al colmo della piena ..... 31
6.3.1 Metodo CIMA ..... 32
6.3.2 Metodo razionale ..... 33
6.3.3 Valori al colmo della piena ..... 34
6.4 Idrogramma di piena - Modellazione idrologica tramite codice Hec-Hms ..... 34
6.4.1 Fondamenti matematico-numerici del codice ..... 34
6.4.2 Dati di input ..... 38
6.4.3 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n stazione Madonna delle Grazie ..... 40
6.4.4 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n incrementati a causa dei cambiamenti climatici ..... 42

6.4.5 Idrogrammi di progetto ..... 43
6.4.6 Portate al colmo della piena ..... 45
7. MODELLAZIONE IDRAULICA ..... 46
7.1.1 Modello monodimensionale ..... 46
7.1.2 Modello bidimensionale ..... 47
7.2 Dati di input ..... 48
7.2.1 Geometria Madonnette – Stato attuale ..... 48
7.2.2 Geometria Madonette – Stato di progetto ..... 51
7.2.3 Geometria piana alluvionale – Stato attuale ..... 53
7.2.4 Geometria piana alluvionale – Stato di progetto ..... 54
7.2.5 Idrogrammi di piena ..... 56
7.2.6 Condizioni al contorno ..... 57
7.2.7 Parametri idraulici ..... 57
7.3 Risultati della modellazione idraulica ..... 59
7.3.1 Stato Attuale ..... 59
7.3.2 Stato Progetto – Scenario 1 ..... 67
7.3.3 Stato Progetto – Scenario 2 ..... 75
7.3.4 Considerazioni conclusive ..... 84
8. COMPATIBILITÁ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO ..... 86
8.1 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto ..... 86
8.1.1 Franchi idraulici ..... 87
9. ALLEGATO A: SIMULAZIONE HEC-RAS STATO ATTUALE ..... 93
10. ALLEGATO B: SIMULAZIONE HEC-RAS STATO DI PROGETTO SCENARIO 1 E 2 111

# 1. INTRODUZIONE

Il Progetto del PRG di Genova Voltri rientra nel perimetro del progetto "Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole", a sua volta ricompreso nel più esteso "Progetto Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova".

Obiettivo del progetto è il potenziamento del fascio merci con la realizzazione di 7 binari a 750m e la realizzazione della nuova stazione di Genova Voltri e della nuova fermata di Genova Prà-Palmaro.

Il progetto si svilupperà in 2 macrofasi principali.

In particolare, la presente relazione costituisce la relazione di modellazione idrologico – idraulica del rio delle Madonnette al fine di valutare la compatibilità idraulica del progetto con il corso d'acqua che attraversa l'abitato di Genova località Voltri (GE) e che, con le sue esondazioni, potrebbe potenzialmente mettere in condizioni di pericolosità idraulica le opere in progetto.

Lo studio idrologico-idraulico ha lo scopo di definire l'onda di piena di progetto con tempo di ritorno di 200 anni, tempo di riferimento indicato sia da NTC2018 che da PRGA vigente per le opere idrauliche, e valutare il profilo di campo di moto del corso d'acqua nello stato attuale.

L'esito della modellazione idraulica nello scenario attuale consentirà di definire le opere di sistemazione idraulica da realizzare per mettere in sicurezza gli interventi in progetto da eventuali esondazioni con tempo di ritorno 200 anni.

La modellazione idraulica nello scenario di progetto permetterà di verificare la capacità di smaltimento del corso d'acqua nel rispetto dei vincoli normativi vigenti.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- R.D. 25/07/1904 N.523 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n.152/2006 – T.U. Ambiente;
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018); Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”, Ministero delle Infrastrutture e relative circolari esplicative;
- “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- DM Ambiente 16 Giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI – 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- Piani di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (ai sensi dell’art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) AMBITI REGIONALI DI BACINO 12 e 13 - Piano degli interventi di mitigazione del rischio;
- Piani di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (ai sensi dell’art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) AMBITI REGIONALI DI BACINO 12 e 13 – Norme di Attuazione;
- Piani di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (ai sensi dell’art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) AMBITI REGIONALI DI BACINO 12 e 13 – Relazione Generale;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4 - “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”;
- Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3. Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua;
- Piano di gestione del rischio di alluvione (PGRA) – Distretto Appennino Settentrionale.

# 3. DISPOSIZIONI NORMATIVE

Gli interventi previsti, come qualunque infrastruttura di carattere estensivo, devono inserirsi in un quadro di strumenti legislativi e di pianificazione territoriale sia esistenti che in via d'adozione.

La verifica della compatibilità idraulica delle opere in progetto è svolta con riferimento agli strumenti normativi vigenti in ambito di pianificazione idraulica del territorio e ha l'obiettivo di evidenziare l'assenza di preesistenti aree a pericolosità e rischio idraulico nell'area oggetto di intervento.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto e le aree di allagamento considerate sono:

- Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (P.A.I.) ambito 12 e 13 emanato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) emanata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

L'Autorità di Bacino ha adottato nel corso del 2002/2003 il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), strumento d'individuazione delle aree a rischio idraulico ed idrogeologico ai fini della salvaguardia delle aree sensibili per una corretta pianificazione del territorio.

La direttiva europea CE/2007/60, cosiddetta "Direttiva alluvioni", emanata dal Parlamento europeo 23 ottobre 2007, stravolge interamente il quadro normativo, inserendo la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni in Europa. È stata recepita nell'ordinamento italiano con il d.lgs. 49/2010, ad oggetto Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni". La direttiva prevede la definizione del quadro conoscitivo relativo alla pericolosità e rischio da alluvione ed introduce il concetto della "gestione" del rischio nel senso più ampio, sotto il profilo sia delle misure strutturali di mitigazione del rischio per la riduzione delle condizioni di pericolosità sia delle misure non strutturali per la riduzione del danno atteso e del relativo livello di rischio (comprese le necessarie azioni e misure di Protezione Civile).

I Piani di bacino stralcio vigenti, ed analoghi strumenti di pianificazione, a norma di legge (cfr art. 170, c.11, d.lgs. 152/2006), continuano ad essere pienamente applicabili nel territorio di riferimento e le sue disposizioni devono pertanto essere osservate, senza soluzione di continuità.

## 3.1 Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I)

Per tutti i bacini idrografici di rilievo regionale opera un'unica Autorità di bacino di rilievo regionale, già istituita con la legge regionale n.9/1993, e riorganizzata, a seguito delle disposizioni in materia di riordino delle funzioni delle Province, emanate con la legge regionale n.15/2015, in attuazione della legge n.56/2014.

La Regione, con decreto del Consiglio regionale n.94/1990, ha delimitato i bacini di competenza regionale, raggruppati in venti ambiti, che rappresentano le unità territoriali sulle quali attivare i processi conoscitivi e le successive fasi di programmazione e di intervento della pianificazione di bacino di propria competenza.

I Piani sviluppano un quadro conoscitivo organizzato e aggiornato del sistema fisico di bacino idrografico individuando le situazioni di criticità presenti. Contengono l'analisi delle principali criticità idrauliche e di suscettività al dissesto dei versanti, stabiliscono in ragione delle pericolosità esistenti le norme per non accrescere le situazioni di rischio rilevate e individuano un complesso d'indicazioni d'intervento per la mitigazione del rischio esistente.

Lungo i corsi d'acqua studiati nei piani di bacino sono definite delle aree di pericolosità idrogeologica (fasce di inondabilità) corrispondenti ad aree perifluviali inondabili al verificarsi di eventi di piena con portate al colmo di piena corrispondente a diversi tempi di ritorno (50, 200 e 500 anni) o storicamente inondate, per le quali non siano avvenute modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento, ovvero aree individuate come a rischio di inondazione sulla base di considerazioni geomorfologiche o di altra evidenze di criticità, in corrispondenza delle quali non siano state effettuate nell'ambito dei Piani le adeguate verifiche idrauliche finalizzate all'individuazione delle fasce di inondabilità. All'interno delle diverse fasce di inondabilità sono specificati gli interventi consentiti. Gli interventi in progetto ricadono nell'ambito regionale 12 e 13, la cui ultima variante è stata approvata dal BURL n.47 entrata in vigore il 24/11/2021.

Nella zona di intervento il P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) di riferimento è quello *dell'Ambito n.12 e 13, area 6, Bacini minori e Aree Scolanti nel Ponente Genovese*.

Dalla sovrapposizione tra gli interventi in progetto e le aree a pericolosità idraulica individuate dalla "Carta delle fasce di inondabilità" del Piano di Bacino Stralcio risulta che l**e opere in progetto ricadono all'interno della fascia B3.**

Si riportano di seguito gli articoli della normativa di attuazione del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico relativamente alle condizioni di interesse nel progetto in essere:

*Art.15 Fasce di inondabilità*

*1. Nelle fasce di inondabilità di cui alla lett. a), comma 2, dell'art. 12, vigono le seguenti norme.*

*Resta fermo che qualsiasi intervento realizzato nelle aree inondabili non deve pregiudicare la sistemazione idraulica definitiva del corso d'acqua, aumentare la pericolosità di inondazione ed il rischio connesso, sia localmente, sia a monte e a valle, costituire significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena, ridurre significativamente la capacità di invaso delle aree stesse.*

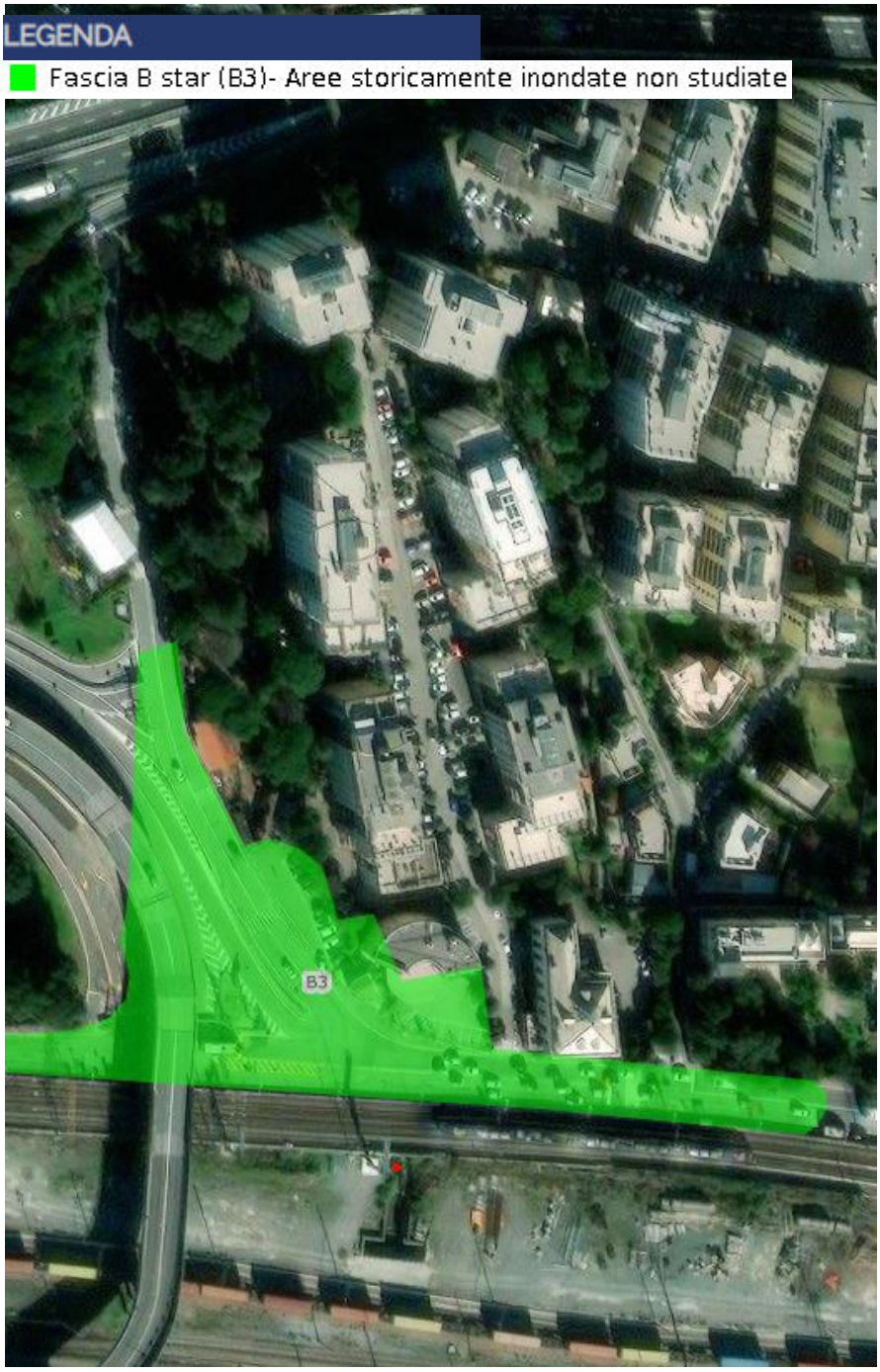



**Figura 3.1 - Aree inondabili Rio delle Madonnette – Classificazione PAI**

*3. Nella fascia B non sono consentiti:*

*a) gli interventi di nuova edificazione nonché di ristrutturazione urbanistica, come definita dalla lett. e), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, salvi i casi in cui gli stessi siano corredati da parere favorevole dell'ufficio regionale competente, ricadano in contesti di tessuto urbano consolidato, o da completare mediante interventi di integrazione urbanistico-edilizia sempre all'interno di ambiti già*

*edificati, e interessino aree individuate a minor pericolosità in relazione a modesti tiranti idrici e a ridotte velocità di scorrimento, e purché prevedano le opportune misure od accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile;*

*b) interventi di ampliamento dei manufatti esistenti e di recupero del patrimonio edilizio esistente eccedenti quelli di restauro o risanamento conservativo, come definito dalla lett. c), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, fatti salvi gli interventi di ristrutturazione edilizia, come definita dalla lett. d), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, purché non aumentino la vulnerabilità degli edifici stessi rispetto ad eventi alluvionali, anche attraverso l'assunzione di misure e di accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e purché risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile;*

*c) gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture connesse alla mobilità non inquadrabili tra le opere di attraversamento, salvi quelli progettati sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica 16, che non aumentino le condizioni di rischio, e in relazione ai quali risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile.*

*4-bis Nella fascia B* (ovvero A*) si applica la normativa di cui al comma 3 (ovvero: la normativa di cui al comma 2). A seguito di adeguato studio idraulico, che individui le fasce di inondabilità delle aree secondo i criteri di cui all'allegato 3, sono consentiti gli interventi compatibili con la disciplina prevista nelle diverse fasce individuate.*

Si riporta inoltre che il testo dell'art. 15 della normativa dei piani di bacino relativo alla "Derogabilità alla disciplina delle fasce di inondabilità per opere pubbliche" riporta:

*Art. 15-bis Derogabilità alla disciplina delle fasce di inondabilità per opere pubbliche*

*1. In deroga alla disciplina relativa alle fasce A e B, ivi inclusi gli eventuali ambiti normativi, di cui ai commi 2,3 e 3bis dell'art.15 possono essere assentite opere pubbliche strategiche indifferibili ed urgenti, riferite a servizi essenziali e non diversamente localizzabili, previa acquisizione di parere obbligatorio e vincolante dell'ufficio regionale competente, a condizione che:*

*a) non pregiudichino la possibilità di sistemazione idraulica definitiva;*

*b) non si producano effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico;*

*c) non costituiscano significativo ostacolo al deflusso, non riducano in modo significativo la capacità di invaso, e non concorrano ad incrementare le condizioni di rischio, né in loco né in aree limitrofe;*

*d) siano realizzate con tipologie progettuali e costruttive compatibili con la loro collocazione, prevedendo in particolare accorgimenti tecnico-costruttivi o altre misure, anche con riferimento all'allegato 5 ai presenti Piani, che consentano l'adeguata protezione dell'opera dagli allagamenti rispetto alla portata duecentennale senza aggravio di condizioni di pericolosità e rischio in altre aree. In particolare:*

- *la quota del piano di calpestio e tutte le aperture, soglie di accesso e prese d'aria delle edificazioni devono essere poste ad un livello adeguatamente superiore a quello del tirante idrico associato alla portata duecentennale;*

- *non sono ammesse in ogni caso strutture interrate, a meno di locali tecnici di servizio adeguatamente protetti;*

*e) sia garantito il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;*

*f) sia prevista nel progetto la messa in opera di tutte le adeguate misure ed azioni di protezione civile, comprese quelle di autoprotezione locale.*

*2. Ai fini della dichiarazione di indifferibilità ed urgenza di cui al comma 1, deve essere motivato il carattere di impellenza, improrogabilità e non diversa ubicabilità delle opere e deve essere accertata la copertura finanziaria dell'intera opera.*

*3. La verifica della sussistenza dei presupposti di applicabilità della deroga di cui al comma 1 viene effettuata in sede di Comitato Tecnico di Bacino.*

*4. L'ufficio regionale competente esprime il parere previsto sulla base di adeguata documentazione tecnica a corredo della progettazione delle opere in questione e valuta, in particolare, caso per caso, l'effettiva possibilità di messa in opera di misure ed accorgimenti tali da proteggere adeguatamente l'elemento dalle inondazioni e dai connessi possibili danni, nonché l'efficacia e l'affidabilità delle misure di protezione progettate in funzione delle grandezze idrauliche di riferimento. Valuta, inoltre, la possibile influenza sulla dinamica dell'inondazione sia dell'intervento edilizio richiesto sia degli accorgimenti costruttivi proposti, garantendo che non vengano aumentate le condizioni di pericolosità e di rischio nelle aree limitrofe.*

*5. Il suddetto parere, che ha efficacia per un periodo massimo di 3 anni, viene espresso sulla base del quadro conoscitivo del piano nonché, laddove necessario, di un adeguato studio di compatibilità idraulica che consenta di valutare il rispetto delle condizioni di cui sopra, con particolare riferimento alla compatibilità dell'intervento con le condizioni di inondabilità dell'area, in termini di pericolosità e di rischio, e all'assenza di effetti di incremento dell'esposizione al rischio della popolazione.*

## 3.2 Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.R.G.A.)

A seguito della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e del Dlgs 49/2010 sono state predisposte nel giugno 2013 ai sensi dell'art. 6 del d.lgs. 49/2010, ed oggetto della deliberazione regionale n.1012/2013, le mappature di pericolosità e rischio da alluvioni per gli ambiti fluviali liguri del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale.

In una fase successiva, sulla base delle suddette mappature sono state avviate le attività per la redazione del Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA) - di competenza delle Autorità distrettuali, ma a cui le Regioni concorrono per il territorio di competenza. Il 22 dicembre 2014 sono stati depositati per la pubblicazione e l'avvio delle fasi di osservazioni i PGRA per i due distretti di interesse per il territorio ligure.

Per la redazione delle mappature di pericolosità da alluvione da corso d'acqua, sono state rappresentate le aree di possibile inondazione per un dato tempo di ritorno secondo il seguente schema derivante dall'art. 6 del d.lgs. 49/2010, e in accordo con quanto già effettuato nei piani di bacino regionali vigenti:

classe P3 / scenario H: aree allagabili frequentemente, TR 30-50 anni;

classe P2 / scenario M: aree allagabili poco frequenti, TR = 200 anni;

classe P1 / scenario L: aree allagabili rare; TR= 500 anni.

Considerando invece, le aree allagabili di dominio fluviale come classificate dalla mappa del P.R.G.A. (Piano di Gestione del Rischio di Alluvione) la zona di intervento è descritta come mostrato in Figura 3.2.

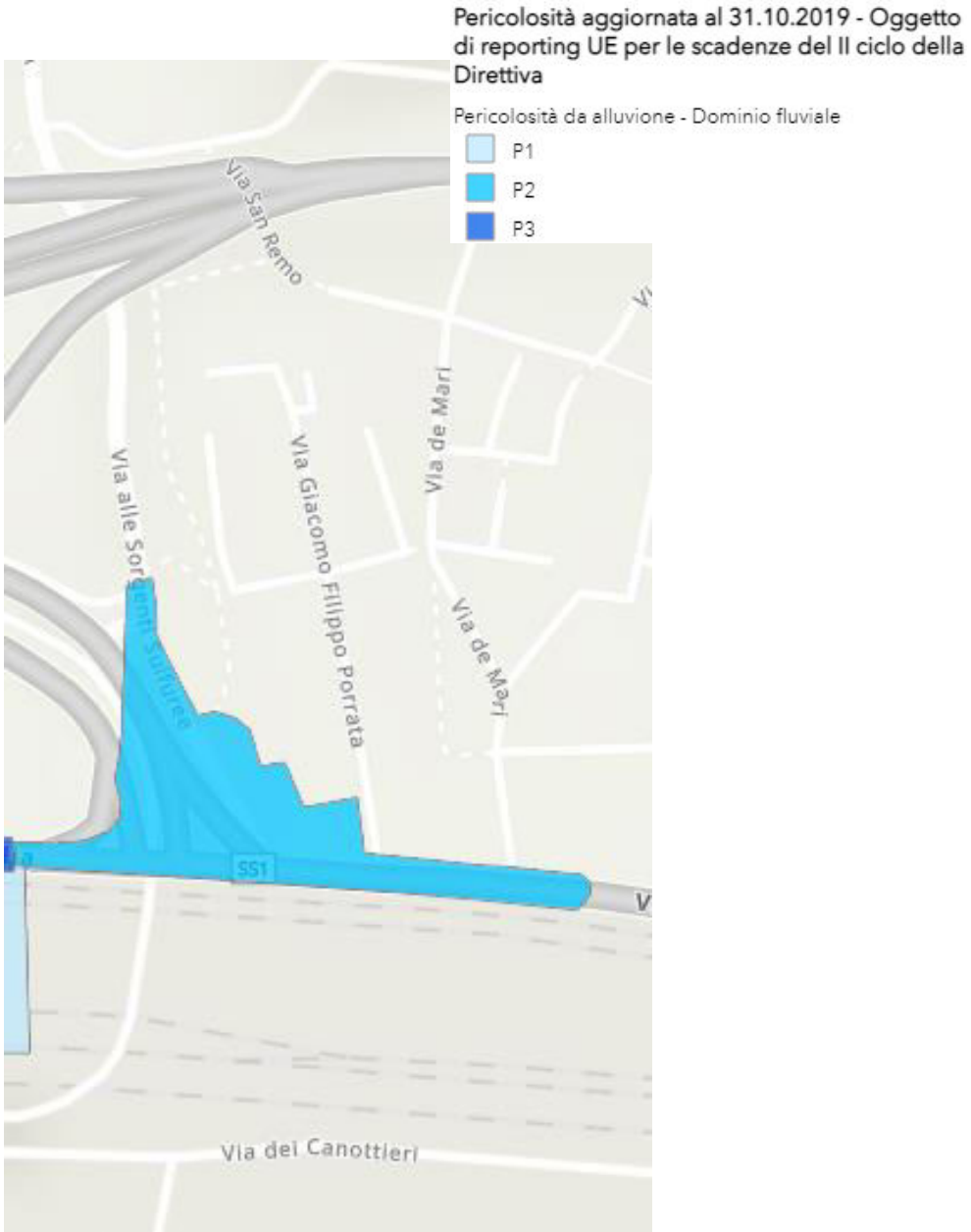



**Figura 3.2 - Aree inondabili dominio fluviale Rio delle Madonnette – Classificazione PRGA**

Dalla sovrapposizione tra gli interventi in progetto e le aree rappresentate nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni risulta che **le opere in progetto ricadono in aree P2**.

Si riportano gli articoli del PRGA 9 recante le norme e 10 contenente gli indirizzi per gli strumenti di governo del territorio per le aree a pericolosità media (P2).

*Art. 9 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Norme*

*1. Nelle aree P2, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 10.*

*2. Nelle aree P2 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.*

*3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.*

*Art. 10 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Indirizzi per gli strumenti governo del territorio*

*1.Fermo quanto previsto all'art. 9 e all'art. 14 comma 9, nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:*

*a) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di:*

- *nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;*
- *nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *sottopassi e volumi interrati*

*b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:*

- *nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- *interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;*
- *nuove edificazioni*

*c) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.*

## 3.3 Conclusioni

Dalla disamina della cartografia sopra riportata emerge che le mappature dei piani P.A.I. e P.G.R.A. coincidono nell'area in esame, a meno dell'influenza da alluvione di dominio costiero riportata esclusivamente nel P.G.R.A.; trovandosi gli interventi in progetto in area classificate a pericolosità idraulica, si rende necessaria una relazione di compatibilità idraulica per andar a definire la variazione di allagamenti tra lo stato di fatto e quello di progetto.

In tal senso, nella zona di intervento è il P.A.I. che:

- costituisce piano stralcio di bacino ai sensi del comma 6 ter, dell'art.17 della l. n. 18 Giugno 1989 n.183 relativo ai settori funzionali individuati dal comma 3 dello stesso art.17;
- ha valore di piano territoriale di settore;
- è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso relative alle aree suscettibili di dissesto idrogeologico finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio.

Le nuove infrastrutture che interferiscono con il reticolo idraulico devono soddisfare le prescrizioni previste dalle diverse normative vigenti; in particolare gli strumenti normativi a cui si fa riferimento sono:

- Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 (NTC).
- Circolare Applicativa delle NTC 2018.
- Manuale di Progettazione Ferroviaria 2021 (MdP).

In accordo al Manuale di Progettazione RFI ed alle NTC 2018, ogni manufatto idraulico di attraversamento (ponti e tombini) viene verificato utilizzando un tempo di ritorno pari a Tr = 200 anni. Pertanto, le verifiche idrauliche sono state svolte con riferimento alla portata calcolata con tempo di ritorno duecentennale e ai seguenti criteri:

- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;
- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;
- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino.

Per il Manuale di Progettazione RFI, essendo in presenza di un attraversamento secondario, le prescrizioni sono le seguenti:

"*Le tipologie ammesse sono:*

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*

- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m.*

*Sono ammessi fino a due tombini affiancati.*

*In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.*

*La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore a 0,002 e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.*

*La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.*

*Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione*."

# 4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

## 4.1 Descrizione del bacino imbrifero del rio delle Madonnette

Il bacino del rio delle Madonnette, di estensione circa 0.9 km$^2$, ha una direzione principale N-S ed è delimitato a est e a nord dal bacino del torrente Branega mentre a ovest dal bacino del rio San Giuliano.

Il bacino è caratterizzato così come gli altri bacini minori del Ponente Genovese, da forti acclività, pendenza media del 25%, una breve distanza tra spartiacque e l'asta principale, una piana costiera stretta e da una forte antropizzazione del fondovalle nei tratti mediano e terminale.



**Figura 4.1 – Delimitazione bacino rio delle Madonnette su ortofoto**

La pendenza media dei versanti è pari al 20% circa. La parte settentrionale del bacino è caratterizzata da pendenze generalmente comprese tra il 20 e il 50%, mentre la parte meridionale risulta pressoché pianeggianti, con pendenze quasi ovunque inferiori al 10%.

## 4.2 Geolitologia e uso del suolo

Il bacino del rio Madonnette, come possibile evincere dalla *Relazione Generale dell'Ambito 12 e 13 del PAI, "si inserisce in un contesto geologico strutturalmente piuttosto complesso. Si trovano infatti nello stesso ambito territoriale, rocce appartenenti alle Unità metamorfiche di alta pressione del Gruppo di Voltri, della zona Sestri Voltaggio e delle Unità della Val Polcevera"*.

La parte apicale del bacino, costituita da Serpentiniti e serpentinoscisti (sr, sns -BEI) si presenta molto acclive, aspra, con suolo esiguo o assente, dove sono piuttosto diffusi fenomeni dovuti al dilavamento delle acque di scorrimento superficiale che, in caso di piogge intense, scavano solchi piuttosto incisi.

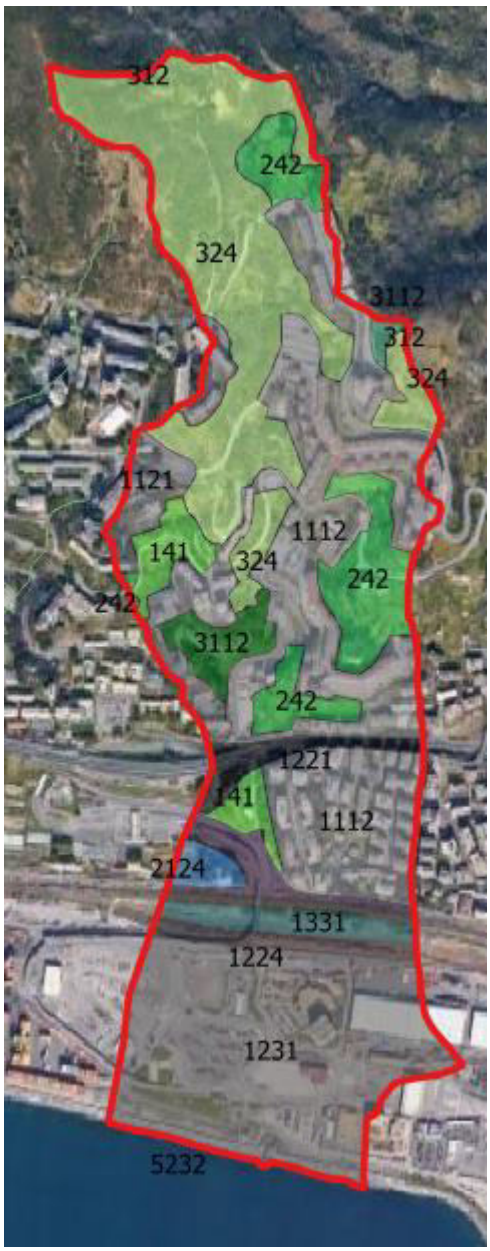
La parte terminale del bacino è invece caratterizzata da Calcescisti. (cs-TUR) e presenta versanti acclivi, con copertura diffusa di coltri eluvio-colluviali di potenza compresa tra 1 e 3 m, ma localmente anche >3m.

La permeabilità del bacino può essere desunta da una riclassificazione della geolitologia:

- parte apicale: permeabilità per fessurazione;
- parte terminale: semipermeabilità.

Per quanto concerne invece l'uso del suolo, i territori modellati artificialmente occupano una rilevante parte del bacino circa il 64% dell'area totale.

Le zone urbanizzate si presentano infatti in modo continuo lungo la costa e si estendono anche nell'area interna. I territori agricoli non sono particolarmente estesi e sono caratterizzate da zone agricole eterogenee in prossimità degli insediamenti. Infine, la parte apicale del bacino è coperta da territori boscati e da vegetazione arbustiva.




**LEGENDA CARTA USO SUOLO**

| | |
|---|---|
| 1 | TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE |
| 1.1 | ZONE URBANIZZATE |
| 1.1.1 | tessuto urbano continuo |
| 1.1.2 | tessuto urbano discontinuo |
| 1.2 | ZONE INDUSTRIALI COMMERCIALI E RETI DI COMUNICAZIONE |
| 1.2.1 | aree industriali e commerciali |
| 1.2.2 | reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori |
| 1.2.3 | aree portuali |
| 1.2.4 | aeroporti |
| 1.3 | AREE ESTRATTIVE E DISCARICHE |
| 1.3.1 | aree estrattive |
| 1.3.2 | discariche |
| 1.4 | ZONE VERDI ARTIFICIALI NON AGRICOLE |
| 1.4.1 | aree verdi urbane |
| 1.4.2 | aree verdi sportive |
| 2 | TERRITORI AGRICOLI |
| 2.1 | SEMINATIVI |
| 2.1.1 | seminativi in aree non irrigue T Terrazzati |
| 2.1.2 | seminativi in aree irrigue T Terrazzati |
| 2.1.2.1 | seminativi, vivai, colture ortofloricole in piena aria T Terrazzati |
| 2.1.2.2 | seminativi, vivai, colture ortofloricole in serra T Terrazzati |
| 2.2 | COLTURE PERMANENTI ARBOREE |
| 2.2.1 | vigneti T Terrazzati |
| 2.2.2 | frutteti T Terrazzati |
| 2.2.3 | oliveti T Terrazzati |
| 2.3 | PRATTI E PASCOLI |
| 2.4 | ZONE AGRICOLE ETEROGENEE |
| 2.5 | EX COLTIVI |
| 3 | TERRITORI BOSCATI ED AMBIENTI SEMINATURALI |
| 3.1 | praterie |
| 3.2 | zone boscate |
| 3.3 | zone caratterizzate da vegetazione arbustiva |
| 3.4 | zone con vegetazione rada o assente |
| 3.4.1 | spiagge, dune |
| 3.4.2 | rocce nude |
| 3.4.3 | aree con vegetazione rada (calanchi conoidi) |
| 3.4.4 | aree percorse da incendi recenti inf. a 2 anni |

**Figura 4.2 – Delimitazione bacino rio delle Madonnette con uso del suolo su ortofoto**

## 4.3 Il rio delle Madonnette nel tratto in esame

Il rio delle Madonnette nasce alle spalle dell'abitato di Voltri, alle pendici del monte Amandola, ad una quota di 275 m s.l.m e procede in direzione N-S per circa 2.25 km sino ad immettersi in mare, con una pendenza di circa il 12%. Il corso d'acqua si presenta quasi sempre tombinato tranne nel tratto inziale, di circa 400 m, dove scorre in un'incisione naturale e in un tratto di circa 25m a valle della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia.

A monte della linea ferroviaria la tombinatura presenta sezione ad arco di larghezza 5m e altezza massima di 2.2 m, mentre a valle la sezione è a cielo aperto con due salti di fondo.

Procedendo verso il mare, il rio scorre a valle all'interno di una vasca 15x10 il cui fondo è al di sotto del livello del mare; da li ha inizio un primo tratto tombato di sezione 10x6.5 m per circa 21 m; in seguito, fino alla foce, è presente uno scatolare 5x5m con una pendenza del fondo dello 0.1%.

Preme evidenziare che nella vasca di dimensioni 15x10 m si immette In destra idrografica il "Collettore di Ponente", un canale di dimensione 2x2.2m e pendenza del fondo pari a 0.1%.

In maniera del tutto analoga, sul lato sinistro della vasca si immette il "Collettore di Levante" che presenta le medesime dimensioni del "Collettore di Ponente".

I due collettori drenano parte delle acque di piattaforma stradale delle aree urbanizzate circostanti.

## 4.4 Rete di smaltimento acque piovane

In Figura 4.3 viene mostrata la rete di fognatura bianca/mista che drena ampie porzioni della area urbanizzata del bacino al di fuori del bacino idrografico e aggiunge superfici contribuenti urbanizzate esterne al bacino imbrifero naturale. In linea di massima le aree scolanti in più o in meno sembrano bilanciarsi pertanto nell'analisi si mantiene inalterata la superficie del bacino imbrifero contribuente.



**Figura 4.3 – Delimitazione bacino rio delle Madonnette su ortofoto, con indicata in giallo la rete di smaltimento acque presente nel bacino.**

# 5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO MADONNETTE

## 5.1 Descrizione dell'intervento in esame

Il progetto definitivo di potenziamento infrastrutturale Voltri – Brignole prevede l'incremento del modulo utile associato ai binari costituenti il Fascio merci della stazione di Genova Voltri, nonché la nuova configurazione del Fascio Ponente (fascio prospiciente il FV storico di Genova Voltri).

Gli interventi al parco ferroviario prevedono un incremento dell'ingombro dello stesso e la conseguente traslazione verso la costa dell'attuale strada a servizio della viabilità portuale.

Nell'ambito di tali lavori si vanno ad interessare due differenti corsi d'acqua, il rio San Giuliano ed il Rio Madonnette.

In particolare, per quanto concerne il rio Madonnette è previsto l'allargamento della sezione di deflusso ed il rifacimento del fondo per un tratto di lunghezza 24.2 m, compreso tra la linea ferroviaria e la vasca 10x15m.

L'allargamento è previsto mediante la realizzazione di una sezione ad U di larghezza 14.90 m e altezza delle sponde variabile tra 3.85 e 4.50m. Tale allargamento consentirà in futuro di non vincolare gli enti territoriali sulla soluzione tecnica da adottare per migliorare il deflusso idrico nel tratto tombinato.

Con riferimento alla soluzione tecnica adottata vale la pena ricordare quanto si riporta nel Piano di Bacino sullo stato in cui versa l'attraversamento sotto la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia:

"*La sezione ubicata in corrispondenza del tratto di copertura sottostante la linea ferroviaria (MAD1C), risulta essere gravemente insufficiente al defluire della portata duecentennale e presenta un franco di sicurezza insufficiente al defluire della portata cinquantennale. Si possono verificare quindi allagamenti della zona circostante la linea ferroviaria".*

Il documento del Piano di Bacino, che individua gli interventi necessari a ridurre pericolosità/rischio idraulico della zona, evidenzia la necessità di procedere all':

*"Adeguamento del tratto di tombinatura sottostante la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia (MAD1C), con una sezione di dimensioni indicative 5 x 3 m, che consentirebbe il deflusso della portata duecentennale con un franco di sicurezza adeguato. (A6-ID2) ".*

## 5.2 Quadro generale dei lavori eseguiti

La soluzione progettuale perseguita è frutto delle scelte fatte in passato nella zona di interesse; di seguito, si sintetizza la cronistoria degli interventi realizzati sul Rio delle Madonnette.

Nel 1988, a seguito del completamento del progetto "PROLUNGAMENTO A MARE DEL T. MADONNETTE", il rio venne tombato con sezione costante 5.00 x 5.00 m fino allo sbocco a mare.

Nel 2006 RFI, con la progettazione di ITALFERR, redigeva il progetto definitivo “POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI-BRIGNOLE: COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE DI TRACCIATO TRA GENOVA VOLTRI E GENOVA PEGLI, CON SISTEMAZIONE A P.R.G. DELLA STAZIONE DI GENOVA VOLTRI”. Il progetto definitivo prevedeva la sistemazione del Rio Madonnette con la copertura totale della vasca di carico e la sistemazione del canale di adduzione della stessa mediante la creazione di un canale aperto rettangolare di larghezza 5m e altezza minima paria 2.5m.

Nel 2018 RFI, con la progettazione di ITALFERR, redigeva il progetto esecutivo “POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI-BRIGNOLE: PRIMA FASE FUNZIONALE DI POTENZIAMENTO DELLO SCALO VOLTRI MARE” in cui veniva previsto il parziale ricoprimento della vasca da 15x15 m a 15x10m per consentire l’allargamento verso nord del fascio binari.

Infine, il Progetto di fattibilità tecnico economica PROGETTO UNICO TERZO VALICO DEI GIOVI E NODO FERROVIARIO DI GENOVA -PRG DI GENOVA VOLTRI, redatto nel 2022, prevedeva la realizzazione dell’intervento di riprofilatura del tratto a cielo aperto a monte della vasca, descritto nel precedente paragrafo.

Pertanto, il progetto qui proposto rappresenta la naturale evoluzione della soluzione tecnica individuata nel Piano di Bacino, del progetto Italferr 2006 e del PFTE 2022 di Italferr, tenendo conto delle esigenze del parco ferroviario in termini di altimetria dei binari e del rispetto della normativa vigente e delle linee guida RFI.

## 5.3 Progetti di riqualificazione urbana nelle aree circostanti

Il comune di Genova ha sviluppato il progetto di fattibilità-tecnico economica della realizzazione del “Parco PINQUA”, che si svilupperà tra la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia e l’Aurelia (SS1), ad est del rio Madonette. Il progetto di riqualificazione urbana prevede la demolizione del muro di separazione tra il parco ferroviario e l’Aurelia (SS1) e la realizzazione di un’area verde nella superficie dismessa del parco ferroviario.

Si riporta di seguito un estratto della sezione tipologica la sezione reperibile dalla documentazione del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica inerente il Parco PINQUA.

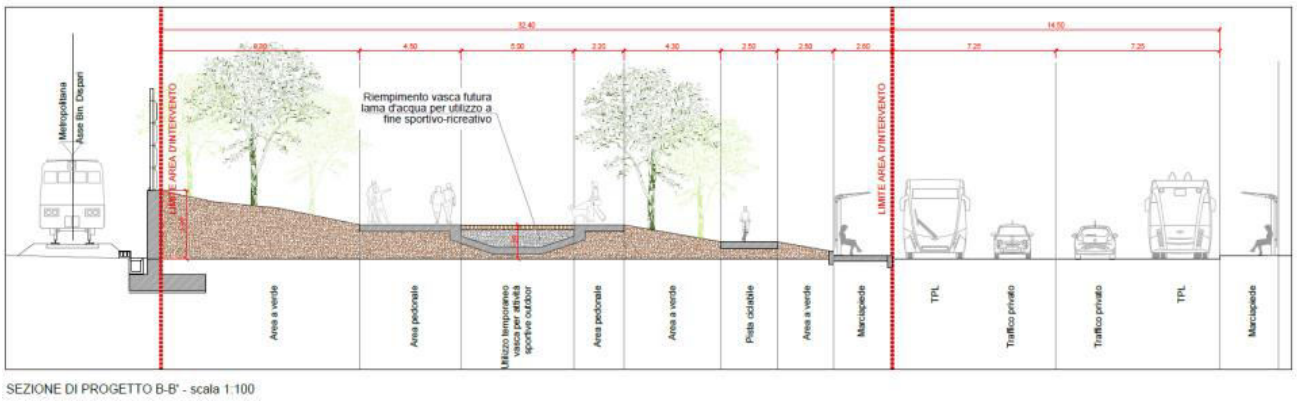



**Figura 5.1 – Sezione tipo del parco PINQUA.**

In futuro il Parco urbano dovrebbe estendersi ad ovest nella porzione di parco ferroviario dismessa tra il rio Madonnette e il rio San Giuliano.

# 6. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica svolta nel presente studio ha lo scopo di determinare le onde di piena con tempo di ritorno, 50, 200 e 500 anni.

## 6.1 Analisi pluviometriche cenni

L'analisi delle precipitazioni è effettuata sui dati ricavati dal sito www.ambienteinliguria.it della Regione Liguria (http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp) e dagli Annali Idrologici disponibili sul sito www.arpal.liguria.it.

La distribuzione spaziale delle piogge è stata valutata mediante il metodo dei poligoni di Thiessen o topoieti, che assegna ad ogni stazione pluviometrica un'area di influenza.

L'area oggetto di intervento ricade in un unico poligono e pertanto la precipitazione cumulata ad essa assegnata risulta la medesima registrata nella stazione di misura contenuta, ovvero la stazione Madonna delle Grazie .

Le precipitazioni estreme vengono espresse in funzione della loro durata attraverso la curva di possibilità pluviometrica, ottenuta dall'elaborazione statistica delle misure dell'altezza di pioggia rilevate a terra; i parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica sono rappresentati da a (mm/h) e n, attraverso la seguente relazione:

$$h = at^n$$

con h=altezza di pioggia in mm e t=tempo di pioggia in ore.

Al fine di definire i suddetti parametri è stato necessario procedere all'elaborazione statistica dei massimi annuali di pioggia per definire la legge probabilistica che, per una prefissata durata di pioggia, correla l'altezza di precipitazione alla "probabilità di non superamento P" (o al tempo di ritorno TR in anni, tale che P = 1 - 1/TR).

### *6.1.1 Precipitazioni di durata orarie: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel*

La funzione di distribuzione impiegata nello studio dei valori estremi delle variabili idrologiche è quella di Gumbel, detta anche "legge asintotica del massimo valore". In essa, detto h il generico valore di massimo annuale dell'altezza di pioggia, la funzione di probabilità (cioè la probabilità che h non venga superato) è rappresentata dalla seguente relazione:

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha \cdot (h-u)}}$$

nella quale α e u sono i due parametri che "adattano" la funzione alla particolare popolazione studiata.

Si rimanda alla Relazione Idrologica per un maggiore approfondimento sulla metodologia di calcolo impiegata. Di seguito ci si limita a riportare i valori dei parametri a e n della curva di possibilità pluvimetrica.

| Parametri curve LSPP t>1h | | |
|---|---|---|
| **Tr(Anni)** | **a(mm/h)** | **n** |
| 25 | 101.21 | 0.341 |
| 50 | 115.96 | 0.341 |
| 100 | 130.63 | 0.341 |
| 200 | 145.18 | 0.341 |
| 500 | 164.43 | 0.342 |

**Tabella 1: Parametri a ed n per durata precipitazione >1h per i vari tempi di ritorno considerati.**

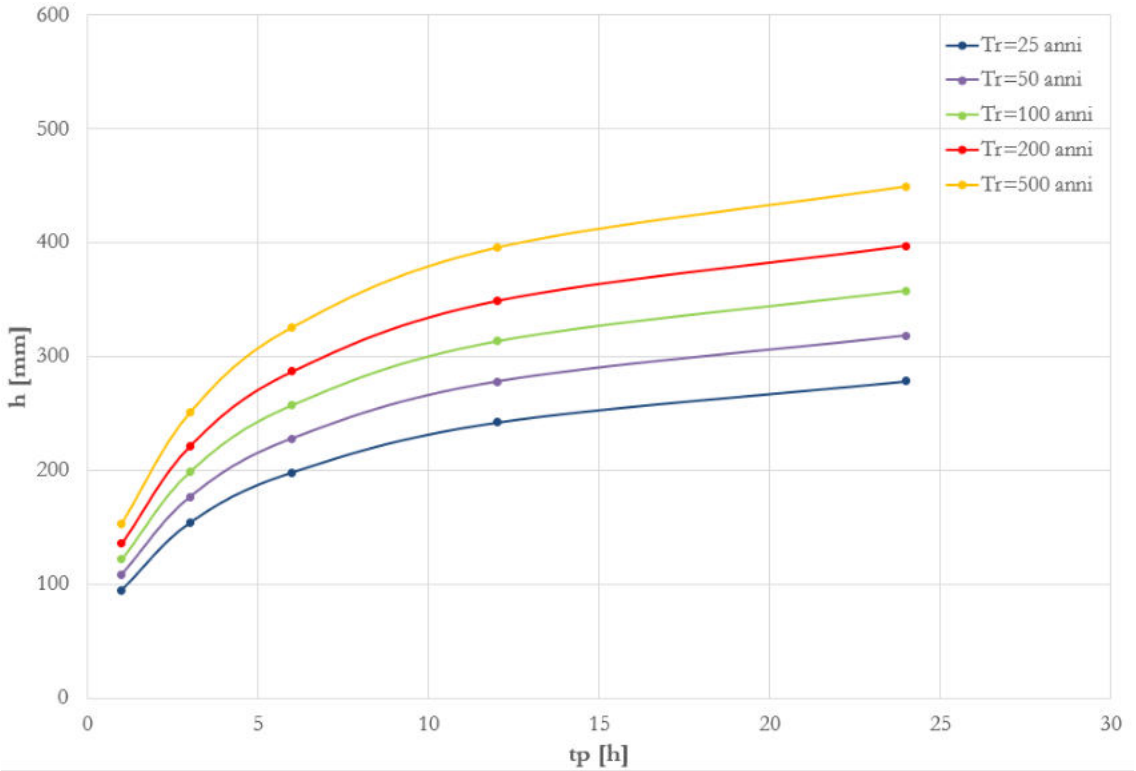



**Figura 6.1 LSPP ottenute mediante analisi statistica per le piogge di durata superiori all'ora per tempi di ritorno differenti**

### *6.1.2 Precipitazioni di breve durata: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Bell*

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di corrivazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni da utilizzare nel dimensionamento dei drenaggi e degli smaltimenti sono i cosiddetti scrosci, ovvero precipitazioni intense e con tempi di pioggia inferiori all'ora. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativo e poco

rappresentativo. Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship" – Journal of the HydraulicsDivision – Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969), riportata di seguito:

$$\frac{h_{\tau,T_r}}{h_{60,T_r}} = (0.54 * \tau^{0.25} - 0.50)$$

dove $h_{\tau}$,Tr è l'altezza di pioggia espressa in mm di una durata τ e tempo di ritorno Tr, $h_{60}$,Tr è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno Tr, e è la durata di pioggia espressa in minuti.

Quindi le altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (5< τ <60 min) sono valutabili a partire dai parametri della curva LSPP per d>1h (parametro a = $h60,Tr$), applicando la formula di Bell sopra riportata.

| Parametri curve LSPP t<1h | | |
|---|---|---|
| **Tr(Anni)** | **a(mm/h)** | **n** |
| **25** | 101.11 | 0.484 |
| **50** | 115.64 | 0.484 |
| **100** | 130.07 | 0.484 |
| **200** | 144.44 | 0.484 |
| **500** | 163.39 | 0.484 |

**Tabella 2: Parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.**

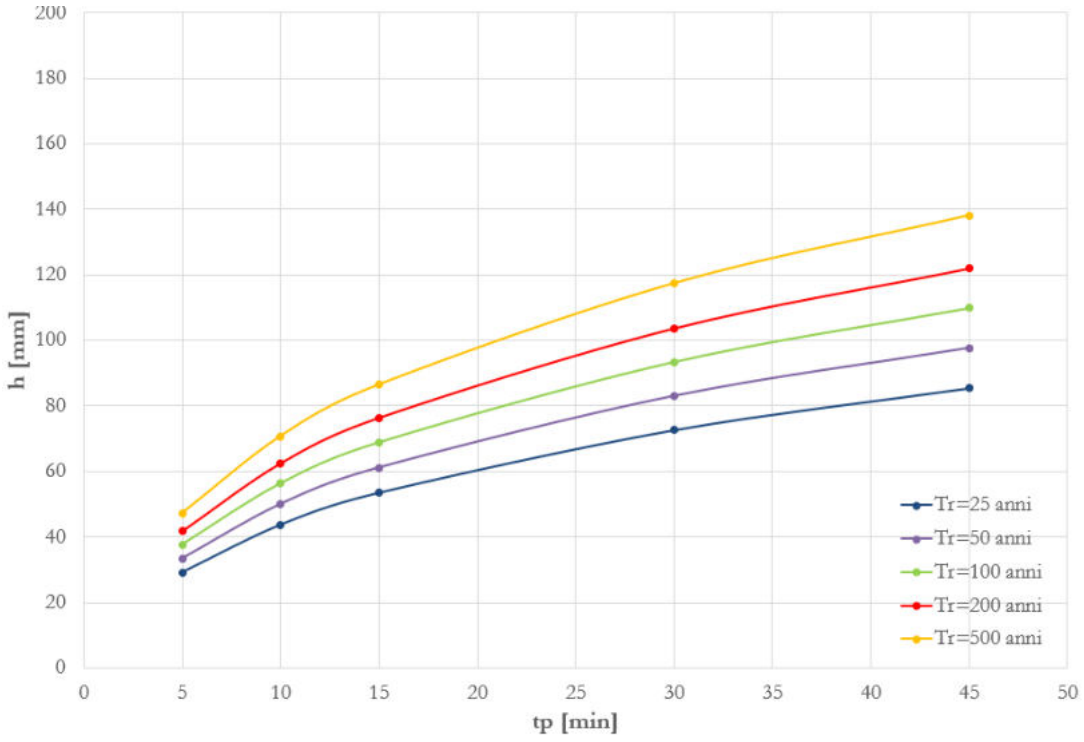



**Figura 6.2 LSPP ottenute mediante analisi statistica per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti**

## 6.2 Cambiamenti climatici

### *6.2.1 I cambiamenti climatici in Italia*

Nell'ambito della presente relazione, risulta indicato valutare gli effetti dei cambiamenti climatici, che rappresentano una delle sfide più rilevanti del nostro tempo. Gli studi più autorevoli evidenziano che l'Europa meridionale e l'area mediterranea dovranno fronteggiare nei prossimi anni gli impatti più significativi dei cambiamenti climatici e saranno fra le aree più a rischio del pianeta, in particolare per l'aumento delle temperature, la variazione delle precipitazioni e la maggiore frequenza ed intensità di eventi estremi (ondate di calore, alluvioni improvvise, siccità, incendi ecc.).

Il cambiamento climatico per un determinato sito o territorio può essere definito in due modi diversi e, per molti aspetti, complementari, ovvero:

- come variazione significativa negli indici statistici che caratterizzano una o più variabili meteorologiche;
- come variazione significativa nella frequenza e persistenza dei tipi di tempo atmosferico.

Tali variazioni possono essere "forzate" e cioè indotte da modifiche intervenute nei fattori naturali o antropici del clima (ad esempio cambiamenti nell'uso del suolo, modificazione nella composizione atmosferica, ecc.) oppure "non forzate" e cioè frutto della variabilità interna al sistema climatico che, essendo un sistema turbolento ed intrinsecamente caotico, è soggetto a tali fenomeni.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sull'osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Tali proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socioeconomico globale; esse sono quindi strettamente correlate a diversi andamenti di emissioni di gas climalteranti nell'atmosfera.

I modelli climatici possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro.

I quattro nuovi modelli a scala globale, *Representative Concentration Pathways* – RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m2 - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m2 - RCP4.5 e 6 W/m2- RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m2 - RCP8.5).

Recentemente l'ISPRA ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli. ("*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*", 2015). Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli (ALADIN,

GUF, CMCC, LMD) e della loro media (ensemble) negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione "media d'insieme" (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, a scala nazionale.

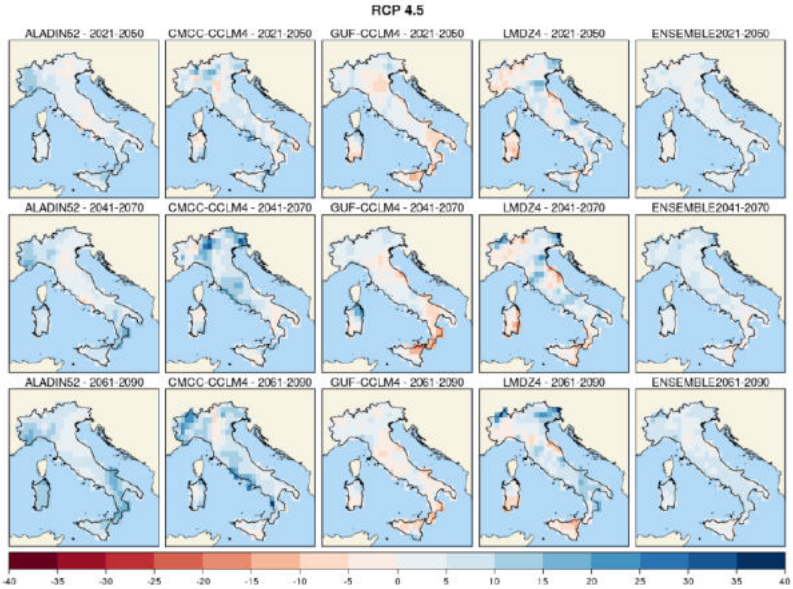



**Figura 6.3 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga) SPP ottenute con metodologia VAPI per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti.**

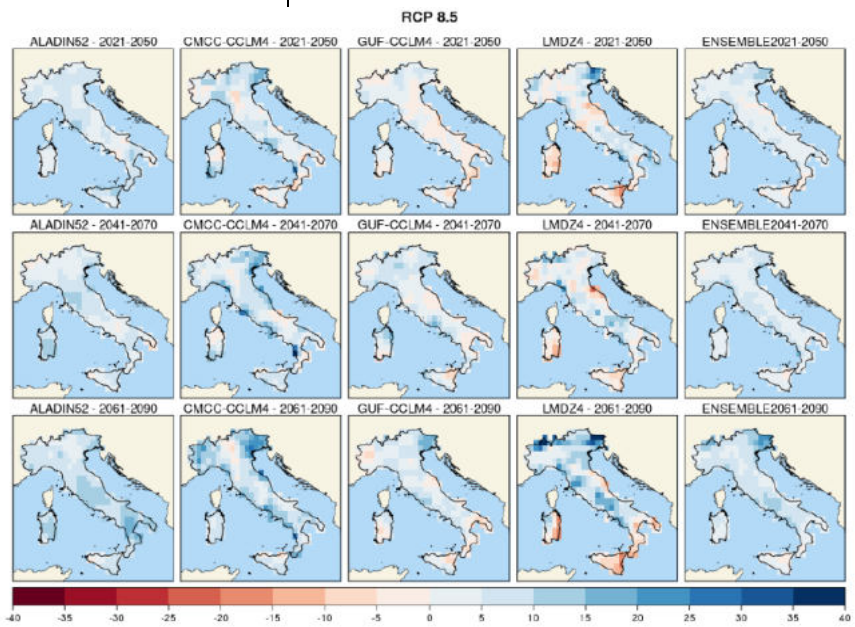



**Figura 6.4 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).**

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) ma con punte superiori a 20 mm in alcune zone.

### *6.2.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale*

L'art. 14.4 della *Flood Directive* (di seguito "FD") richiede che sia preso in considerazione il probabile impatto dei cambiamenti climatici sull'occorrenza delle piene; oltre a ciò, il Consiglio dei Ministri dell'Ambiente Europei riconosce che le alluvioni di grave entità sono divenute più frequenti in Europa e che i cambiamenti climatici costituiscono un fattore aggravante poiché causano modifiche nell'andamento delle condizioni metereologiche, del regime delle precipitazioni e del livello del mare e sottolinea la necessità di migliorare la conoscenza e la modellazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su tutti i tipi di alluvione.

In linea con la Strategia Europea di Adattamento al Cambiamento Climatico (SEACC), adottata dalla CE il 16 aprile 2013, il MiTE ha adottato, con Decreto della DG Direzione Clima ed Energia n. 86 del 16/06/2015, la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), in cui sono individuati i percorsi comuni da intraprendere per far fronte agli impatti previsti.

Il Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC), attualmente in fase di approvazione, è finalizzato all'attuazione della Strategia Nazionale attraverso l'aggiornamento e la migliore specificazione dei suoi contenuti ai fini operativi. Il PNACC individua sul territorio nazionale sei macroregioni climatiche omogenee, rispetto alle quali, il territorio distrettuale dell'Appennino Settentrionale ricade per la maggior parte nella Macroregione 1 (Prealpi e Appennino Settentrionale), in parte nella Macroregione 2 (Pianura Padana, alto versante Adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale) e in parte nella Macroregione 5 (Italia centro-settentrionale).

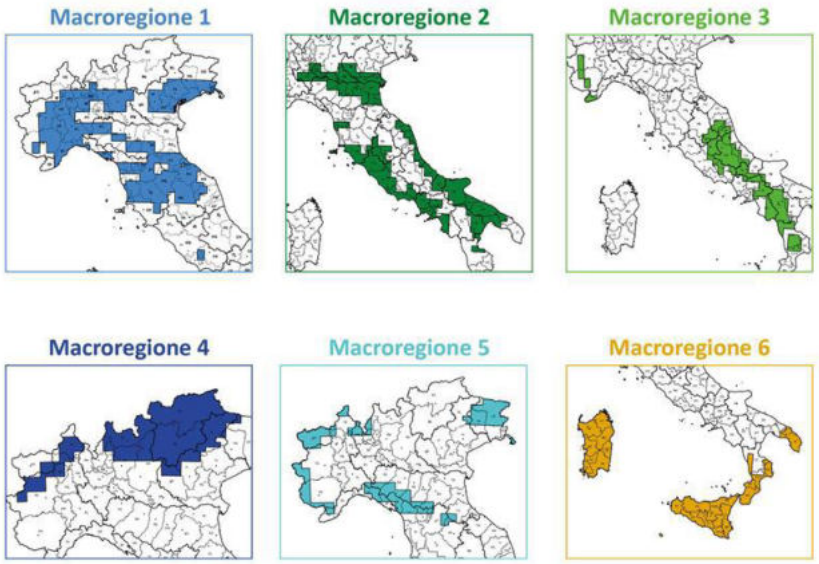



**Figura 6.5 – PNACC – Zonazione climatica sul periodo di riferimento (1981-2010)**

Per quanto attiene gli effetti del cambiamento climatico sul dissesto idrogeologico, il PNACC mette in evidenza i potenziali incrementi relativi alla frequenza e all'intensità di alcune tipologie di eventi atmosferici (ad esempio, piogge di breve durata ed elevata intensità). Tali fenomeni comportano, in generale, una variazione di frequenza dei fenomeni di dissesto idraulico nei bacini di estensione minore e a permeabilità ridotta che rispondono più velocemente alle sollecitazioni meteoriche e hanno ridotto effetto attenuante nei confronti delle precipitazioni di breve durata e forte intensità.

In linea con quanto appena riportato, si procede, dunque, ad una revisione degli input di pioggia che possono verificarsi sul territorio di interesse; le considerazioni seguenti sono sviluppate con riferimento al documento "Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali" (ISPRA, 2015) ed alle corrispondenti Figura 6.3 e Figura 6.4.

### *6.2.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto*

In particolare, nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione "media di insieme" (ENSEMBLE MEAN) di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento allo scenario "massimo" di emissione RCP8.5, dedotti da Figura 6.3 e Figura 6.4, da utilizzare per la verifica degli elementi idraulici.

| INTERVENTO | Variazione media $h_{24}$ (RCP8.5) [mm] | | |
|---|---|---|---|
| | 2021-2050 | 2041-2070 | 2061-2090 |
| PRG Genova Voltri | + 5-10 | + 5-10 | + 5-10 |

**Tabella 3: Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)**

Tali incrementi, se rapportati alle altezze di precipitazione di durata 24h calcolati con i parametri a ed n sopra calcolati producono un incremento percentuale illustrato nel seguito.

| | Tempi di ritorno | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **25** | **50** | **100** | **200** | **500** |
| **Attuali** | 299.14 | 342.74 | 386.10 | 429.10 | 487.54 |
| **Incrementate** | 309.14 | 352.74 | 396.10 | 439.10 | 497.54 |
| **% incremento attuale** | 3.3 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 2.0 |

**Tabella 4: Confronto altezza di precipitazioni attuali e future**

Sulla base di tale incremento percentuale sono stati ricalcolati i parametri a e n che saranno in seguito utilizzati per il calcolo dei valori di precipitazione di progetto da considerarsi nella progettazione e nel dimensionamento delle opere idrauliche.

| **Parametri curve LSPP t<1h** | | |
|---|---|---|
| **Tr(Anni)** | **a(mm/h)** | **n** |
| **25** | 104.49 | 0.484 |
| **50** | 119.01 | 0.484 |
| **100** | 133.44 | 0.484 |
| **200** | 147.81 | 0.484 |
| **500** | 166.74 | 0.484 |

**Tabella 5: Parametri a ed n per durata precipitazione <1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.**

| **Parametri curve LSPP t>1h** | | |
|---|---|---|
| **Tr(Anni)** | **a(mm/h)** | **n** |
| **25** | 104.59 | 0.341 |
| **50** | 119.34 | 0.341 |
| **100** | 134.01 | 0.341 |
| **200** | 148.56 | 0.341 |
| **500** | 167.80 | 0.342 |

**Tabella 6: Parametri a ed n per durata precipitazione >1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.**

## 6.3 Portata al colmo della piena

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale all'interno del PAI Ambito 12 e 13 ha calcolato, per i bacini ricadenti all'interno dell'area 6, le portate al colmo della piena per diversi tempi di ritorno; oltre all'applicazione della formula del metodo razionale si è avvalsa anche di uno studio

effettuato dall'Università di Genova relativo alla "Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri", indicato nel seguito come metodo CIMA.

### *6.3.1 Metodo CIMA*

Per i bacini con superficie inferiore a 2km$^2$ la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno è stata calcolata adottando un contributo unitario, funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica, pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi un'area drenata pari a 2 km$^2$, secondo la seguente formula:

$$Q_T=K_T A U_{A=2}\ [m^3 s^{-1}]$$

nella quale:

A = superficie del bacino

$U_{A=2}$ = contributo unitario per area pari a 2 km$^2$ [$m^3 s^{-1} km^{-2}$], in funzione della longitudine del baricentro del bacino e del CN medio

$K_T$= fattore di frequenza, illustrato nella tabella precedente.

Lo studio ha inoltre proposto una suddivisione dei bacini regionali in quattro principali tipologie in funzione del diverso grado di urbanizzazione e dell'estensione delle aree impermeabili:

- CN = 92 per bacini di tipo A (elevato grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili superiore al 60%)
- CN = 87 per bacini di tipo B (medio grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili compresa tra 30% e 60%)
- CN = 75 per bacini di tipo C (basso grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili comprese tra 5% e 30%)
- CN = 67 per bacini di tipo D (estesa copertura arborea ed estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%).

e fornisce per il valore del fattore di crescita la seguente tabella:

| **Tempo di ritorno [anni]** | **$K_T$** |
|---|---|
| 5 | 1.295 |
| 10 | 1.788 |
| 30 | 2.9 |
| 50 | 3.47 |
| 100 | 4.25 |
| 200 | 5.02 |
| 500 | 6.04 |

**Tabella 7: Valori tabellati del fattore di frequenza per diversi tempi di ritorno**

Il rio delle Madonnette ricade all'interno del tipo A ed ha una superficie di 0.9 km$^2$ e un coefficiente $U_A$=9.51 $m^3 s^{-1} km^{-2}$, pertanto si ottengono per ogni tempo di ritorno le portate riportate in Tabella 8.

| Tempo di ritorno [anni] | Q[$m^3s^{-1}$] |
|---|---|
| 5 | 11 |
| 10 | 15 |
| 30 | 25 |
| 50 | 30 |
| 100 | 36 |
| 200 | 43 |
| 500 | 52 |

**Tabella 8: Portate calcolate con metodo CIMA per diversi tempi di ritorno**

### *6.3.2 Metodo razionale*

Il calcolo delle portate al colmo della piena per i diversi tempi di ritorno è stato effettuato mediante la formula:

$$Q(T) = C\ A\ h(T,t_c)/t_c$$

dove:

tc= tempo di corrivazione del bacino in ore

h=altezza critica di precipitazione in mm

A=area del bacino in $km^2$

C= coefficiente di deflusso posto

Il PAI riporta che data la *"forte urbanizzazione e i lunghi tratti d'alveo tombinati"* per il rio delle Madonnette la formula per il calcolo del tempo di corrivazione è:

$$t_c = L/v + \Delta t_c$$

dove

L=lunghezza dell'asta

v= velocità media della particella d'acqua nel canale posta pari a 1.5 m/s

$\Delta t_c$= tempo di introduzione in rete assunto pari a 10 minuti

Con C=1 e i parametri della curva di possibilità pluviometrica a ed n della stazione di misura di N.S. delle Grazie e della stazione di Genova Università. Le portate così calcolate sono tabellate di seguito.

| Tempo di ritorno [anni] | Q[$m^3s^{-1}$] |
|---|---|
| 5 | - |
| 10 | - |
| 30 | - |
| 50 | 27 |
| 100 | - |
| 200 | 33 |
| 500 | 38 |

**Tabella 9: Portate calcolate con metodo razionale per diversi tempi di ritorno**

### *6.3.3 Valori al colmo della piena*

Come già anticipato, nel PAI vengono ritenuti più affidabili per i piccoli bacini i valori di picco ottenuti con il metodo CIMA; pertanto le portate al colmo prese a riferimento sono le seguenti:

| Tempo di ritorno [anni] | Q [$m^3/s$] |
|---|---|
| 50 | 30 |
| 200 | 43 |
| 500 | 52 |

**Tabella 10: Portate al colmo della piena per il rio delle Madonnette per diversi tempi di ritorno**

## 6.4 Idrogramma di piena - Modellazione idrologica tramite codice Hec-Hms

### *6.4.1 Fondamenti matematico-numerici del codice*

In questa sezione viene illustrata in maniera sintetica la struttura del modello idrologico implementato nel codice Hec-HMS, tenendo presente che tale codice consente di impiegare, in linea generale, diversi modelli per rappresentare le componenti del processo di generazione del deflusso: il calcolo del volume di deflusso superficiale e sub-superficiale (metodo di suddivisione delle piogge), la trasformazione afflussi-deflussi sia diretti che di base, la propagazione della piena nei canali a pelo libero. Si rimanda al manuale del codice di calcolo per ulteriori approfondimenti.

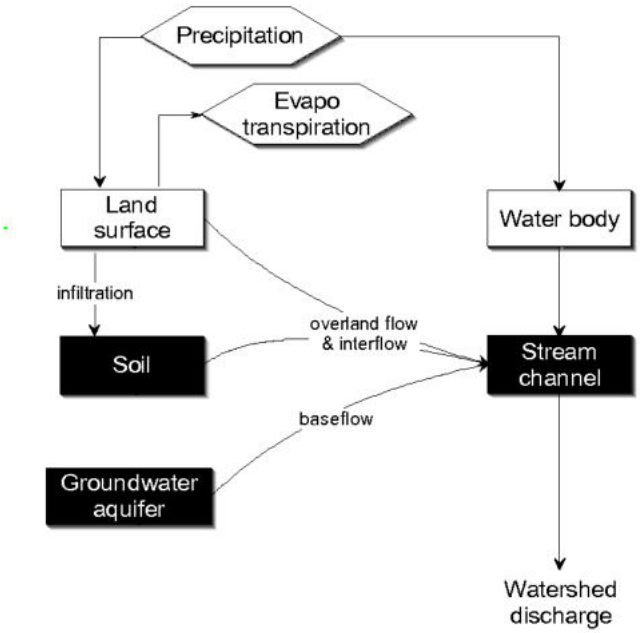



**Figura 6.6: Rappresentazione schematica del funzionamento del codice Hec-HMS.**

Nel presente caso si sono operate le seguenti scelte in ragione della disponibilità dei parametri di taratura e delle caratteristiche geo-morfologiche del bacino imbrifero esaminato:

| Componente del processo di generazione del deflusso | Modello |
|---|---|
| Volume di deflusso superficiale sub-superficiale (*runoff volume*) | *SCS curve number* |
| Trasformazione afflussi-deflussi superficiali (*overland flow and interflow*) | *SCS UH* |
| Deflusso profondo (*baseflow*) | - |
| Propagazione piena | *Muskingum-Cunge standard section* |

**Tabella 6.11: Componente del processo di generazione del deflusso e relativo modello implementato.**

*6.4.1.1 Metodo di suddivisione delle piogge*

Il codice di calcolo Hec-HMS consente l'utilizzo di diversi metodi di suddivisione delle piogge tra volume superficiale e profondo, quali SCS curve number, Green-Ampt, initial and constant-rate …

Nel presente caso si è adottato il metodo dell'S.C.S., il quale stima la precipitazione in eccesso in funzione della precipitazione cumulata, della copertura e uso del suolo, e dell'umidità pregressa usando la seguente relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad (1)$$

dove $P_e$ è l'eccesso di altezza di pioggia cumulata al tempo t [mm], $P$ è l'altezza di pioggia cumulata al tempo t [mm], $I_a$ è la perdita iniziale, $S$ è il massimo potenziale contenuto d'acqua del

suolo [mm]. Il contenuto d'acqua del suolo è funzione del parametro CN, che varia da 0 a 100 ed esprime la propensione di un bacino a produrre deflussi in funzione delle diverse combinazioni suolo-soprassuolo presenti.

$$S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad (2)$$

.

I valori del parametro CN dipendono dall'uso del suolo e dall'umidità del terreno.

### *6.4.1.2 Modello SCS dell'idrogramma istantaneo unitario*

Alla base del modello vi è l'idrogramma istantaneo unitario mostrato in Figura 6.7, che risulta normalizzato lungo le ascisse e le ordinate rispettivamente con il tempo di pioggia $T_k$ e la portata di picco dell'UH $U_k$.

Tra le due variabili sopra citate vi è un legame del tipo:

$$U_k = 2.08\frac{A}{T_k}$$

dove $A$ è l'area del bacino imbrifero.

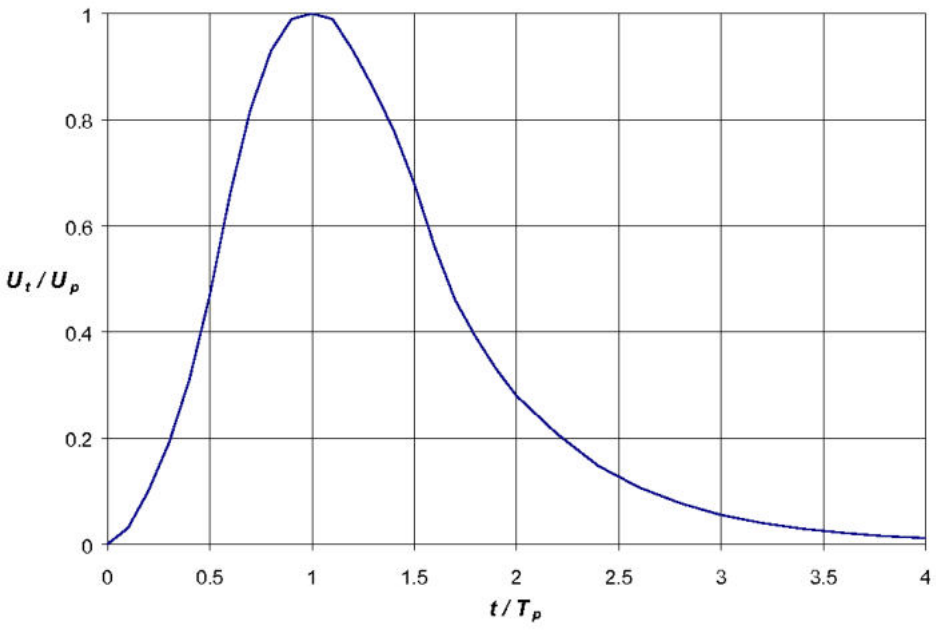



**Figura 6.7: Idrogramma istantaneo unitario del modello SCS.**

Il tempo di picco è legato alla durata dell'eccesso di precipitazione unitario secondo:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

dove è il tempo di ritardo del bacino $t_{lag}$ ossia la differenza tra il centro di massa dell'eccesso di precipitazione e il picco dell'UH, e $\Delta t$ è la durata dell'eccesso di precipitazione unitario.

Il tempo di ritardo può essere valutato attraverso una procedura di calibrazione basata sulla conoscenza della portata presso la sezione di chiusura e delle altezze di pioggia all'interno del bacino, o, in alternativa, può essere legato al tempo di concentrazione o di corrivazione $t_c$:

$t_{lag} = 0.6t_c$

Il tempo di concentrazione è un parametro quasi fisicamente basato che può essere espresso come:

$t_c = t_{channel} + t_{shallow} + t_{sheet}$

dove i tre tempi $t_{channel}, t_{shallow}, t_{sheet}$ rappresentano il tempo trascorso, da una particella d'acqua rilasciata nel punto più lontano del bacino rispetto alla sezione di chiusura, rispettivamente all'interno della rete di canali, in rivoli caratterizzati da tiranti dello stesso ordine delle scabrezze, in uno stato di sottile liquido continuo e sottile non concentrato in canali più grandi di rivoli.

I tempi di residenza si valutano come:

$$t_{channel} = \frac{L}{V}$$

con $L$ lunghezza del canale e $V$ velocità della corrente espressa attraverso la relazione di moto uniforme di Manning;

$$t_{sheet} = \frac{0.007(NL)^{0.8}}{S^{0.4}(P_2)^{0.5}}$$

in cui $N$ è il coefficiente di scabrezza di Manning, $L$ è la lunghezza del percorso (di solito inferiore a 100 m), $P_2$ è l'altezza di pioggia in inches per una pioggia con TR=2 anni e durata 24 ore, $S$ è la pendenza del fondo.

Il tempo di residenza del shallow flow viene valutato considerando una superficie di scorrimento non pavimentata:

$$t_{shallow} = \frac{L}{16.1345\sqrt{S}}$$

6.4.1.3 Modello di deflusso di base

Il deflusso di base viene rappresentato attraverso una legge di decadimento esponenziale del tipo:

$Q_t = Q_0 k^t$

dove $Q_0$ è la portata iniziale e $k$ una costante di decadimento; tale contributo viene applicato sia all'inizio della simulazione dell'evento meteorico sia nel corso delle stesso quando il deflusso profondo raggiunge la rete dei canali (Figura 6.8). In quest'ultimo caso viene specificato un valore limite di portata al di sotto del quale il deflusso totale viene valutato attraverso la relazione di decadimento esponenziale e $Q_0$ è pari al valore limite specificato.

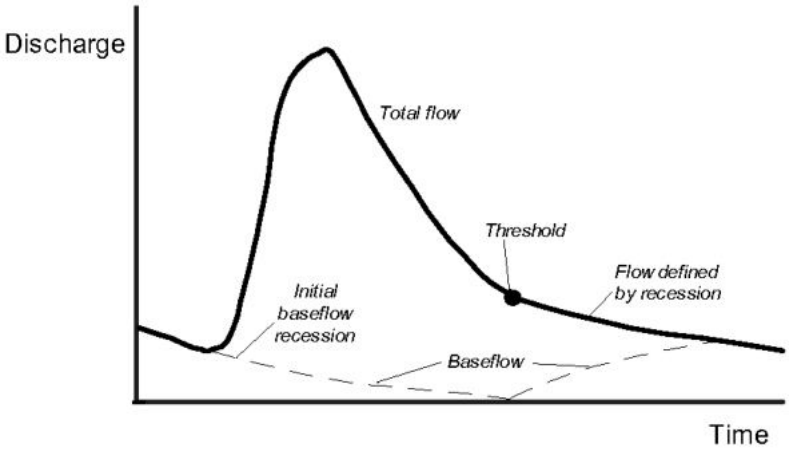



**Figura 6.8: Illustrazione del modello di deflusso di base.**

#### 6.4.1.4 Modello di propagazione dell'onda di piena

Il modello propagatorio di Muskingum-Cunge non differisce molto da quello diffusivo classico, nel quale si trascurano i termini inerziali dell'equazione della quantità di moto; inoltre nell'equazione di continuità si considera l'apporto laterale di portata.

Le equazioni di governo della dinamica assumono pertanto la seguente forma:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Q}{\partial x} + \dfrac{\partial A}{\partial t} = q_L \\ \dfrac{\partial y}{\partial x} - i_F + j = 0 \end{cases}$$

da cui si ottiene l'equazione parabolica:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c\frac{\partial Q}{\partial x} = D\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_L$$

dove $c$ è la celerità dell'onda e $D$ è il coefficiente di diffusione espressi come:

$$c = \frac{\partial Q}{\partial A}$$

$$D = \frac{Q}{2Bi_F}$$

B rappresenta la larghezza della sezione in corrispondenza della superficie libera.

### 6.4.2 Dati di input

Il modello idrologico implementato per il Rio Madonnette è di tipo semi-distribuito: il bacino viene suddiviso in sottobacini a ciascuno dei quali viene assegnata una pioggia di progetto sotto forma di ietogramma triangolare con picco di piena posto a metà della durata di precipitazione.

Sono state assegnate per ogni tempo di ritorno, oltre alle piogge di progetto calcolate mediante i parametri a ed n relativi alla stazione meteorologica di Madonna delle Grazie, anche le precipitazioni calcolate mediante i parametri a ed n maggiorati del fattore incrementale dei cambiamenti climatici.

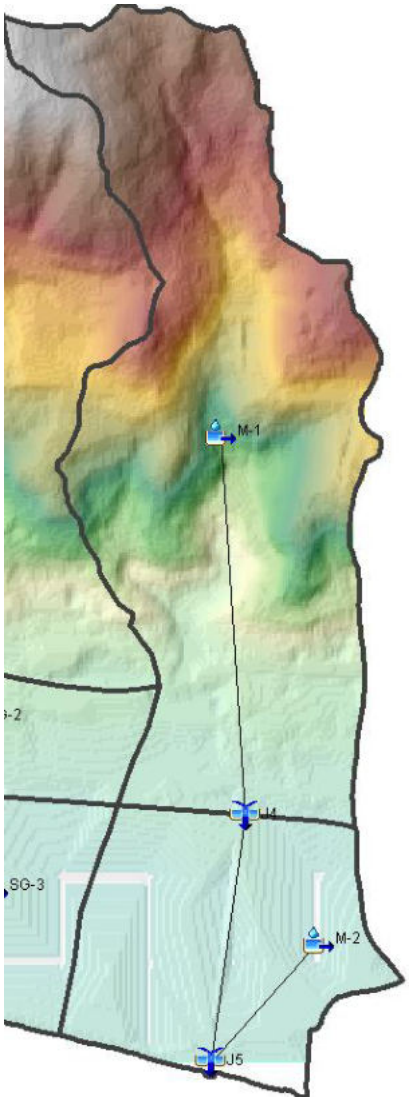



**Figura 6.9: Schematizzazione bacino imbrifero Madonnette.**

| sottobacino | CN | Superficie [kmq] |
|---|---|---|
| M-1 | *90.20* | *0.57* |
| M-2 | *95.39* | *0.22* |

**Tabella 6.12: Grandezze caratteristiche dei sottobacini imbriferi.**

La pioggia netta viene calcolata adottando il modello di calcolo delle perdite sviluppato dal Soil Conservation Service SCS (oggi denominato “Natural Resources Conservation Service” – NRCS).

La trasformazione afflussi netti – deflussi si effettuata con:

- il modello dell’idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS) per il sottobacino di monte M1;

- il modello Kinematic per i sottobacini maggiormente urbanizzati M2.

I deflussi in uscita dai singoli sottobacini vengono propagati verso valle con il metodo di Muskingum-Cunge, fino ad ottenere gli idrogrammi di piena nelle sezioni di interesse.

Per i diversi tempi di ritorno considerati, 50, 200 e 500 anni, il tempo di pioggia che massimizza i deflussi è pari ad un'ora.

### *6.4.3 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n stazione Madonna delle Grazie*

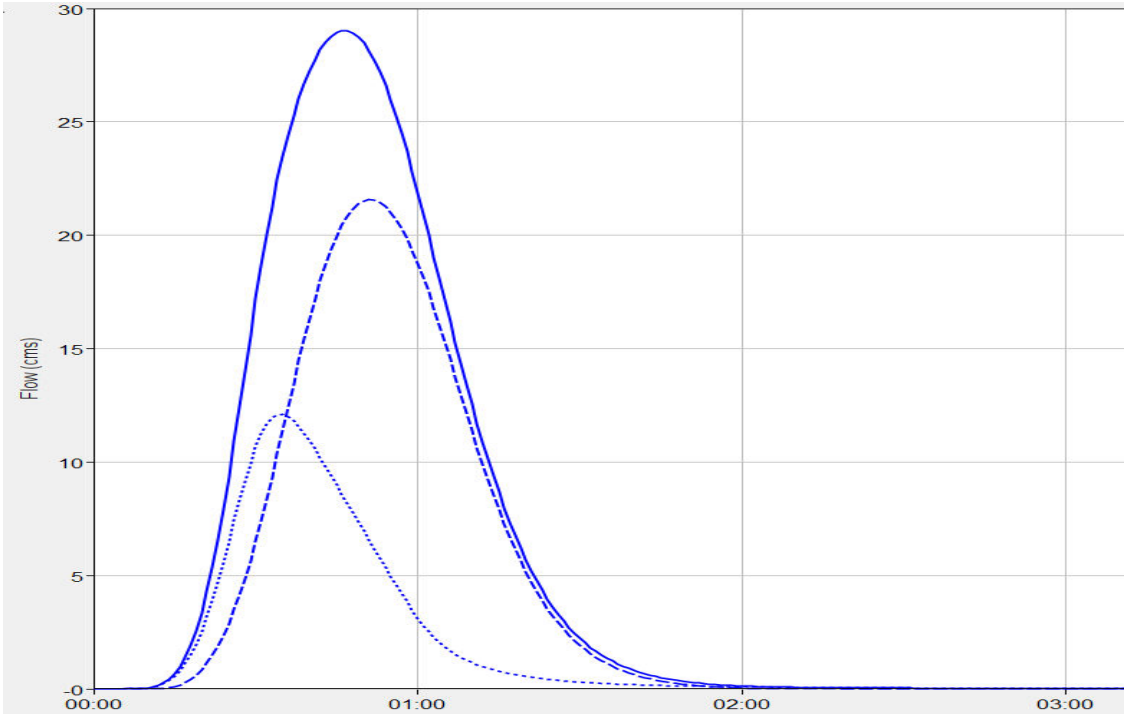



**Figura 6.10 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=50 anni e Tp=1h**

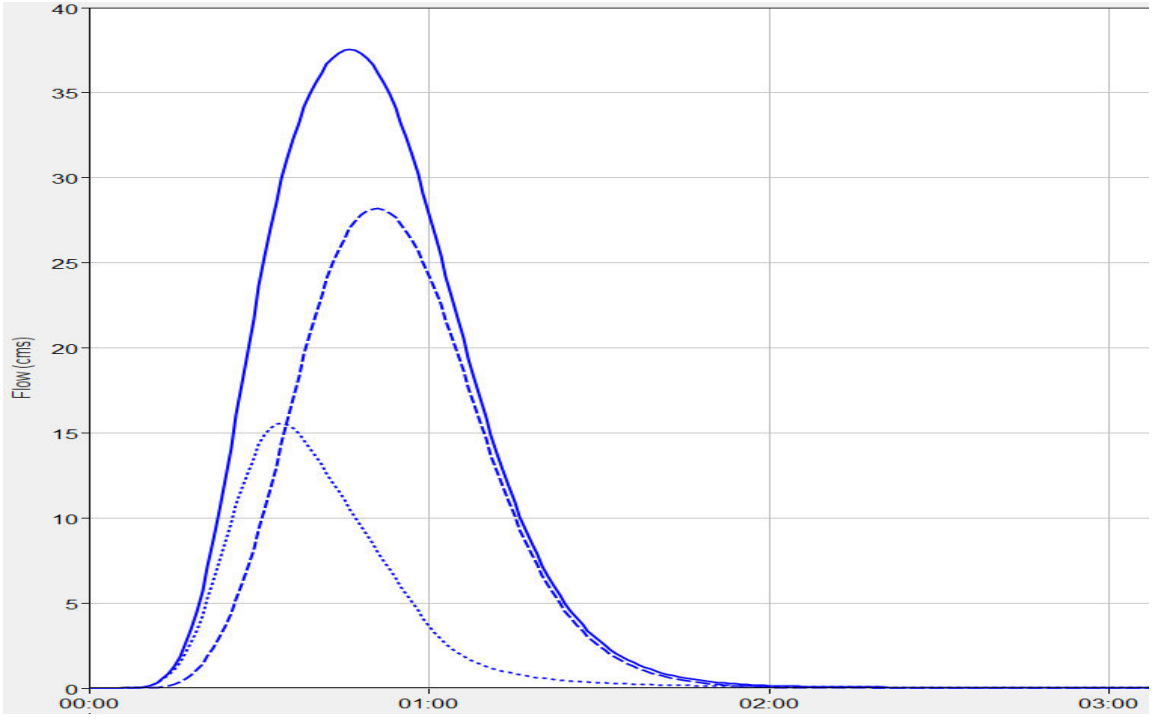



**Figura 6.11 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h**

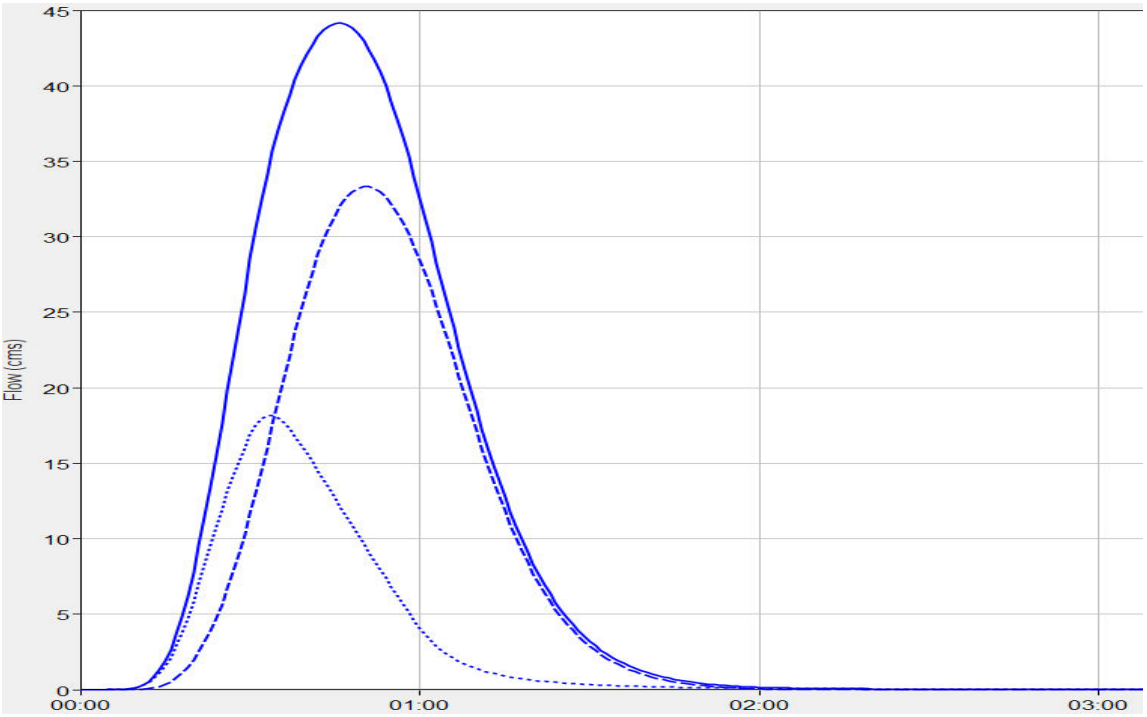



**Figura 6.12 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h**

### 6.4.4 *Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n incrementati a causa dei cambiamenti climatici*

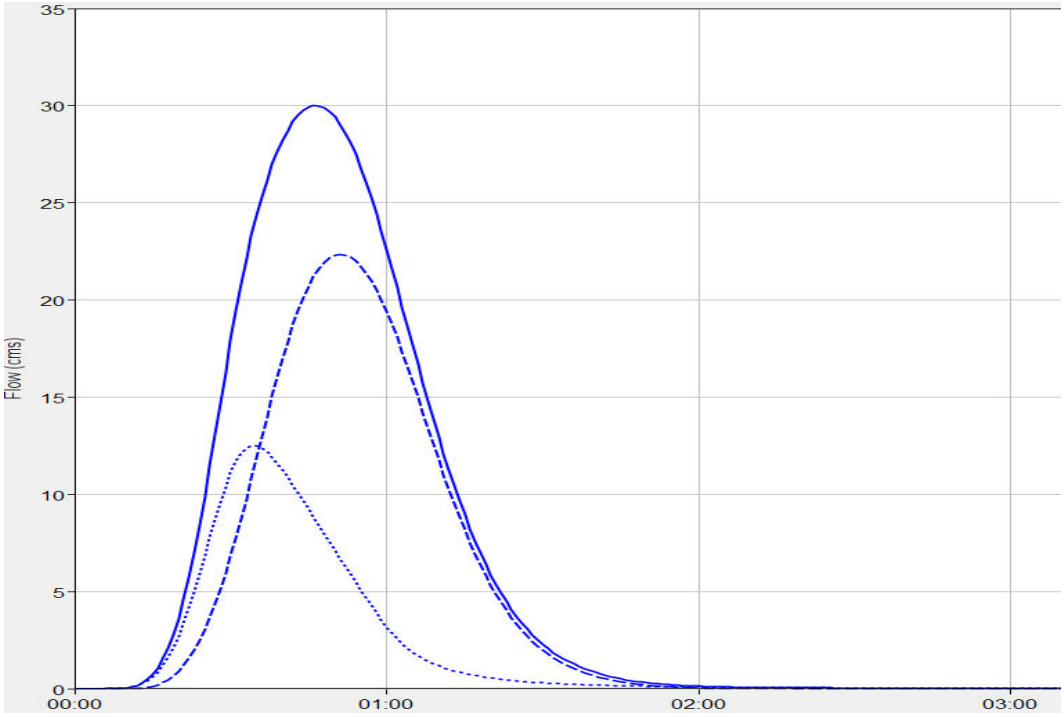



**Figura 6.13 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=50 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.**

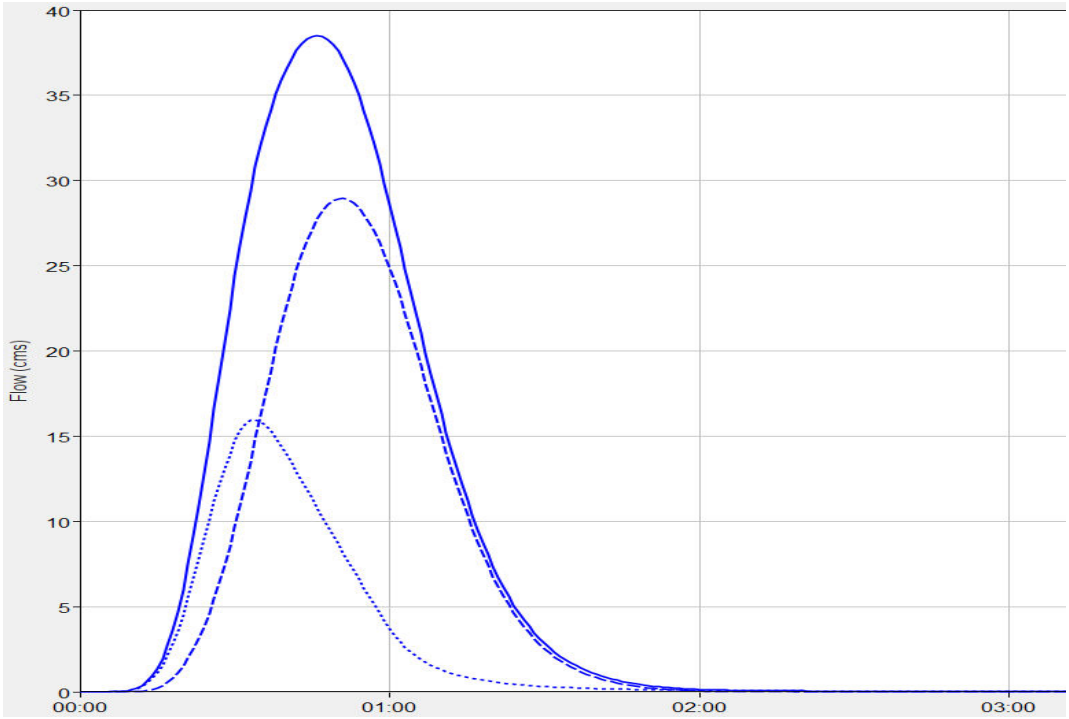



**Figura 6.14 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.**

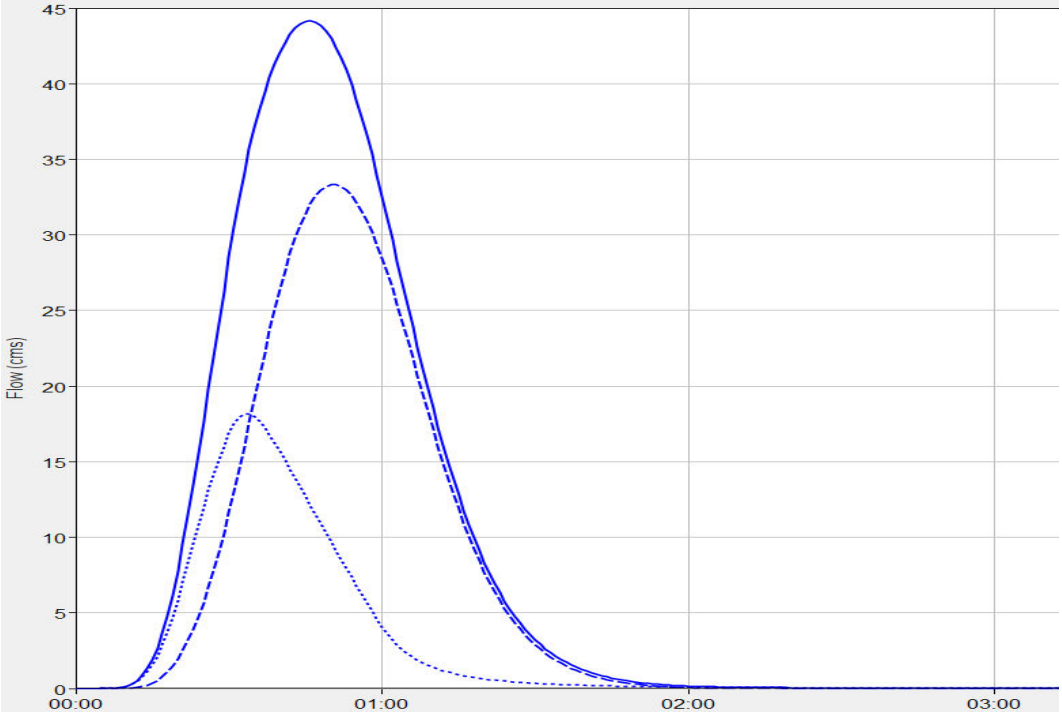



**Figura 6.15 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.**

Come si può osservare dai grafici sopra riportati, l'effetto dei cambiamenti climatici porta a lievi incrementi delle portate di progetto del rio.

### *6.4.5 Idrogrammi di progetto*

Gli idrogrammi di piena ottenuti dall'implentazione di metodi semi-distribuiti per tempo di ritorno di 200 e 500 anni presentano valori della portate al colmo inferiori ai picchi di piena indicati dall'Autorità di Bacino.

Al fine di eseguire le verifiche idrauliche a moto vario mantenendo i valori di picchi del Piano di Bacino, si è scelto, a favore di sicurezza, di scalare gli idrogrammi del modello idrologico.

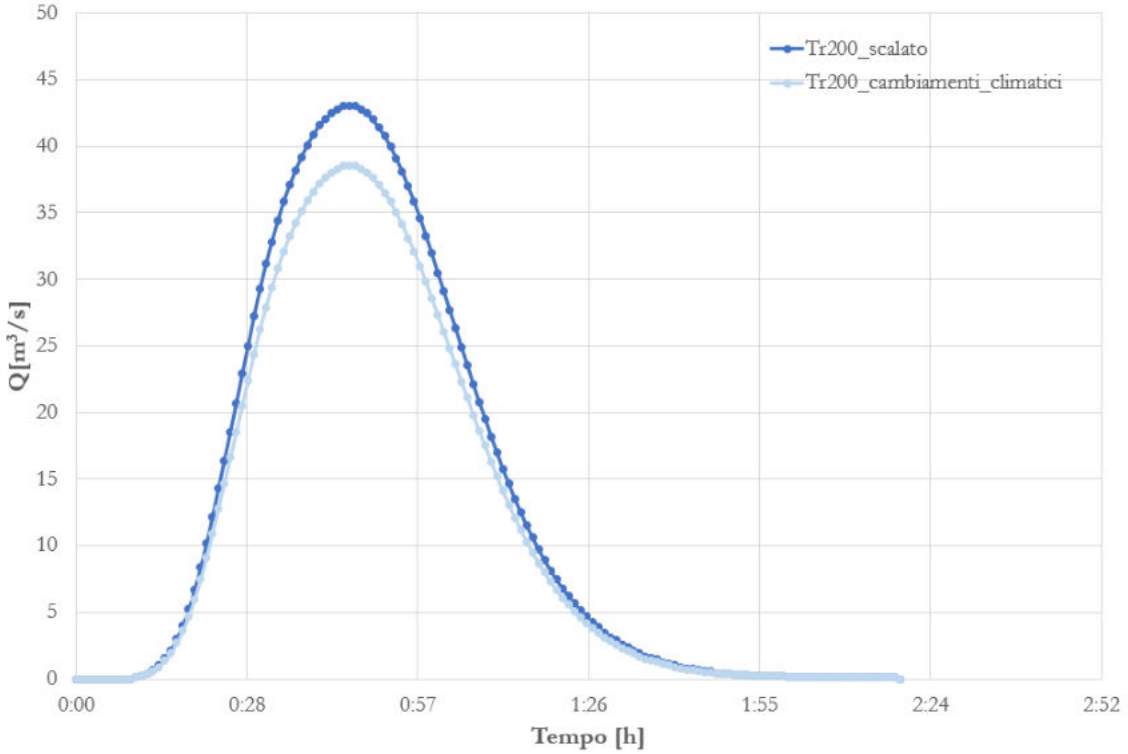



**Figura 6.16 Confronto tra idrogramma ottenuto da analisi idrologica alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h**

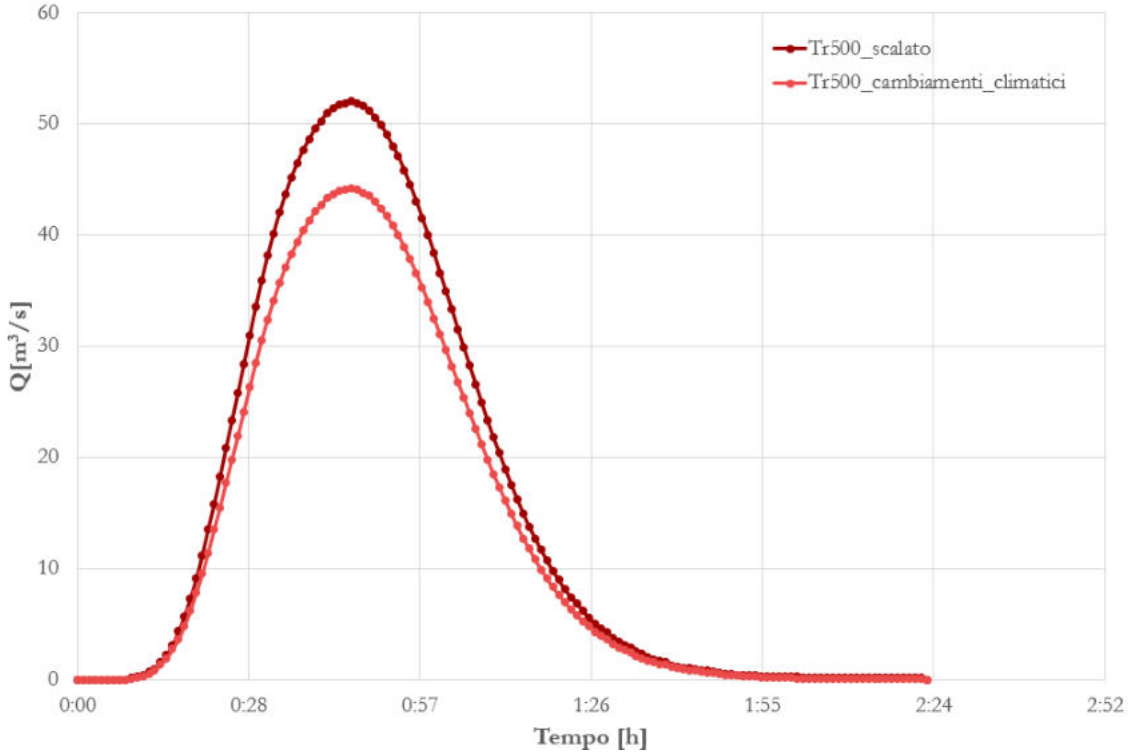



**Figura 6.17 Confronto tra idrogramma ottenuto da analisi idrologica alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h**

### 6.4.6 *Portate al colmo della piena*

Nella tabella seguente vengono rriportati i valori di portata al colmo della piena per i tretempi di ritorno ottenuti dalla:

- modellazione Hec-HMS con i dati pluviometrici della stazione della Madonna delle Grazie;
- modellazione Hec-HMS con i dati pluviometrici della stazione della Madonna delle Grazie considerando i cambiamenti climatici
- portate di progetto (definite dall'Autorità di bacino)

| **Tempo di ritorno [anni]** | **Hec-HMS** | **Hec-HMS con cambiamenti climatici** | **Portata di progetto (Autorità di Bacino)** |
|---|---|---|---|
| | **Qmax [$m^3s^{-1}$]** | **Qmax [$m^3s^{-1}$]** | **Qmax [$m^3s^{-1}$]** |
| 50 | 29.1 | 30 | 30 |
| 200 | 37.5 | 38.5 | 43 |
| 500 | 44 | 44.1 | 52 |

**Tabella 13: Portate al colmo della piena per diversi tempi di ritorno e scenari di analisi.**

# 7. MODELLAZIONE IDRAULICA

Al fine di verificare il comportamento idraulico del corso d'acqua di interesse si è sviluppata l'analisi idraulica a moto vario, schematizzando il corso d'acqua con un modello 1D e le aree allagabili con un modello 2D.

La modellazione idraulica è stata eseguita implementando il codice di calcolo Hec-Ras dell'U.S. Army Corps of Engineers).

Questo modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo mono/bi dimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena in corsi d'acqua a fondo fisso o mobile. L'implementazione del modello richiede la conoscenza della geometria dell'alveo, nonché delle necessarie condizioni iniziali e al contorno. Tra le altre cose, il modello offre la possibilità di tener conto di strutture idrauliche (sfioratori laterali, briglie, casse di espansione…) e di elementi-strutture che possono interferire con la propagazione della piena (ponti, sottopassi, tombinature…).

Nel presente caso le simulazioni sono state condotte a fondo fisso e moto vario, schematizzando il corso d'acqua con un modello 1D e le aree allagabili con un modello 2D.

Per le analisi in condizioni di moto vario occorre ricordare che le leggi fisiche che governano il campo di moto dell'acqua sono il principio di conservazione della massa e della quantità di moto.

## *7.1.1 Modello monodimensionale*

Il campo di moto del corso d'acqua viene rappresentato attraverso un modello monodimensionale, dove le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant), rispetto ad un volume di controllo infinitesimale (Figura 7.1) assumono la seguente forma:

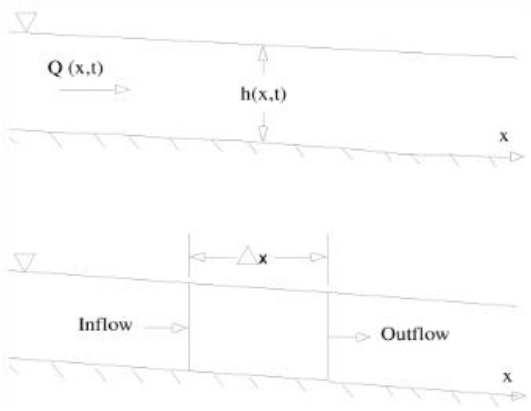



**Figura 7.1 Volume di controllo.**

Eq. continutà

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f} = 0$$

Eq. quantità di moto

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial\left(\frac{\Phi^2Q^2}{A_c}\right)}{\partial x_c}+\frac{\partial\left(\frac{(1-\Phi^2)Q^2}{A_f}\right)}{\partial x_f}+gA_c\left[\frac{\partial Z}{\partial x_c}+S_{fc}\right]+gA_f\left[\frac{\partial z}{\partial x_f}+S_{ff}\right]=0$$

dove h è il tirante, $z_0$ la quota del fondo e $S_f$ è la pendenza dell'energia tra le due sezioni del volume di controllo. I pedici c ed f nelle equazioni si riferiscono rispettivamente al main channel (alveo centrale) ed alle floodplain (aree golenali).

In Hec-ras, per semplificare il problema dell'interfaccia area allagabile/corso d'acqua, si assume una superficie libera orizzontale tra due sezioni perpendicolari alla direzione del corso d'acqua così da poter considerare la portata in transito nel canale come:

$$Q_c=\phi Q$$

dove $\Phi=K_c/K_c+K_f$ con $K_c$; $K_f$ fattore di trasporto relativo rispettivamente a canale e area allagabile.

La schematizzazione numerica delle equazioni presenta un diverso approccio a seconda delle caratteristiche del regime idraulico:

- in regime subcritico è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto come box scheme. Il modello Hec-Ras risolve N equazioni in N incognite, dove N=2*numero sezioni del corso d'acqua, a meno delle sezioni a cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Il sistema di equazioni viene risolto con metodo iterativo, mediante l'algortimo skyline.
- nel caso di corrente mista o veloce, la tecnica utilizzata è la Local Partial Inertia (LPI), grazie a cui si passa dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario, solo laddove il numero di Froude supera un valore soglia (Fr=1).

### *7.1.2 Modello bidimensionale*

Per quanto concerne le aree allagabili si applica un modello bidimensionale dove le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, descritte come di seguito esposto, vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Le equazioni della quantità di moto sono ricavate a partire dalle equazioni di Navier-Stokes nell'ipotesi di trascurabilità della componente verticale della velocità e distribuzione idrostatica delle pressioni.

eq. continuità

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial(h\cdot u)}{\partial x}+\frac{\partial(h\cdot v)}{\partial y}+q=0$$

eq. QdM in x

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\cdot\frac{\partial u}{\partial x}+v\cdot\frac{\partial v}{\partial y}=-g\cdot\frac{\partial H}{\partial x}+v_t\cdot\left(\frac{\partial^2u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2u}{\partial y^2}\right)-c_f\cdot u+f\cdot v$$

eq. QdM in y

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}+v_t(\frac{\partial^2v}{\partial x}+\frac{\partial^2v}{\partial y})-c_fv-fu$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni o uscite di acqua, , g è l'accelerazione di gravità, n t è il coefficiente di viscosità turbolenta, cf è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

La scabrezza al fondo viene definita imponendo la condizione di moto localmente uniforme mediante l'equazione di Gauckler-Strickler:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \mid V \mid}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto, HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati LiDAR con passo della griglia pari ad 1 m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo, infatti, in fase di preprocessing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

## 7.2 Dati di input

I dati necessari all'implementazione del modello numerico sono:

- la geometria dell'alveo, descritta attraverso le sezioni ricavate dal rilievo commissionato nell'ambito del presente lavoro o definite nei progetti di sistemazione idraulica del corso d'acqua;
- l'estensione e altimetria dell'area allagabile, definite sulla base dei dati LIDAR;
- l'idrogramma di piena;
- parametri idraulici (resistenza al moto);
- le condizioni al contorno di monte, di valle e nelle eventuali sezioni intermedie di controllo;
- le connessioni tra aree allagabili e corso d'acqua

### *7.2.1 Geometria Madonnette – Stato attuale*

La geometria del corso d'acqua è stata definita attraverso il rilievo topografico, del tratto che corre tra via alle Sorgenti Sulfuree e l'immissione in mare per un totale di 54 sezioni, per una lunghezza complessiva del tratto analizzato pari a circa 575 m.

Il rilievo topografico, eseguito nel mese di maggio 2023 ed integrato a giugno, riguarda principalmente il tratto tombato a monte della vasca, mentre per il tratto a valle sono stati presi alcuni punti per verificare la corrispondenza delle opere rispetto ai documenti progettuali.

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica.

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Length Chnl | Min Ch El [m s.l.m.] | LOB Elev [m s.l.m.] | ROB Elev [m s.l.m.] |
|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 574.5 | 8 | 5.37 | 9.16 | 9.16 |
| 580 | 566.5 | 10 | 5.37 | 8.7 | 8.7 |
| 575 | 556.5 | 9.95 | 3.69 | 8.42 | 8.42 |
| 570.03 | 546.55 | 0.05 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 570 | 546.5 | 0.05 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 569.95 | 546.45 | 9.9 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 560.05 | 536.55 | 0.05 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |
| 560 | 536.5 | 0.05 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |
| 559.98 | 536.45 | 9.85 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |
| **Culvert 557** | | | | | |
| 555.06 | 526.6 | 0.05 | 3.38 | 7.55 | 7.55 |
| 555.03 | 526.55 | 0.05 | 3.38 | 7.54 | 7.54 |
| 555 | 526.5 | 9.9 | 3.38 | 7.54 | 7.54 |
| **Culvert 553** | | | | | |
| 550.06 | 516.6 | 0.05 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| 550.03 | 516.55 | 0.05 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| 550 | 516.5 | 9.95 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| **Culvert 548** | | | | | |
| 545.03 | 506.55 | 0.05 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| 545 | 506.5 | 0.05 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| 544.96 | 506.45 | 24 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| **Culvert 540** | | | | | |
| 530.03 | 482.45 | 0.05 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| 530 | 482.4 | 0.05 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| 529.97 | 482.35 | 6.45 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| **Culvert 528** | | | | | |
| 525.98 | 475.89 | 0.05 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| 525.95 | 475.84 | 0.05 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| 525 | 475.79 | 3.15 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| **Culvert 520** | | | | | |
| 517.32 | 472.64 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.25 | 472.59 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.2 | 472.54 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.12 | 472.49 | 7.99 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| **Culvert 510** | | | | | |
| 500.02 | 464.5 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| 500.01 | 464.45 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 500 | 464.4 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| 499.93 | 464.35 | 41.25 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| **Culvert 450** | | | | | |
| 446 | 423.1 | 0.6 | 2.82 | 6.05 | 6.05 |
| 445.9 | 422.5 | 4.8 | 2.73 | 3.63 | 3.38 |
| 441 | 417.7 | 3.7 | 2.59 | 4.8 | 4.65 |
| 436.51 | 414 | 0.5 | 2.54 | 5.03 | 4.65 |
| 436.39 | 413.5 | 7.2 | 2.54 | 5.03 | 4.65 |
| 432 | 406.3 | 6.9 | 1.99 | 4.93 | 4.92 |
| 424.1 | 399.4 | 0.7 | 2.09 | 5.05 | 5.05 |
| 423.52 | 398.7 | 4.3 | -4.67 | 5.05 | 5.05 |
| 419 | 394.4 | 0.9 | -4.67 | 5.00 | 5.00 |
| 418 | 393.5 | 8 | -4.67 | 3.33 | 3.33 |
| 408.57 | 385.5 | 0.3 | -4.67 | 3.33 | 3.33 |
| 408.35 | 385.2 | 0.4 | -1.82 | 2.68 | 2.68 |
| 408 | 384.8 | 0.4 | -1.82 | 2.68 | 2.68 |
| 407.72 | 384.4 | 0.7 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 407 | 383.7 | 9.6 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 387.71 | 364.5 | 0.9 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 386.86 | 363.6 | 9.8 | -2.32 | 2.68 | 2.68 |
| 61.15 | 40.2 | 7.6 | -2.65 | 2.35 | 2.35 |
| 54 | 32.6 | 14.9 | -2.6 | 0.15 | 0.19 |
| 39 | 17.7 | 9.8 | -2.5 | 0.1 | 0.09 |
| 32 | 7.9 | 7.9 | -2.5 | 2.61 | 2.61 |
| 22 | | | -2.6 | 1.2 | 0.56 |

**Tabella 14: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica**

I tratti tombati a monte della attuale ferrovia sono stati modellati attraverso la routine culvert; mentre il tratto tombato a valle della stessa è stato modellato mediante la routine lid. Tale scelta trae giustificazione dal diverso comportamento idraulico che ci si aspetta. È infatti probabile la messa in pressione dei tratti tombati a monte della ferrovia, mentre a valle della stessa anche dalle analisi effettuate in precedenza, risulta probabile il moto a pelo libero. La routine culvert appare più idonea alla modellazione dei tratti in pressione.

Le principali caratteristiche geometriche dei culvert sono riportate nella seguente tabella.

| Culvert [num] | Lunghezza [m] | Tipo di sezione | Larghezza L[m] | Altezza H[m] |
|---|---|---|---|---|
| 557 | 9.70 | rettangolare | 4.1 | 2.2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 553 | 9.70 | rettangolare | 4.1 | 2.2 |
| 548 | 9.80 | rettangolare | 4.2 | 2.2 |
| 540 | 23.8 | rettangolare | 4.2 | 2.2 |
| 528 | 6.3 | rettangolare | 4.2 | 2.2 |
| 520 | 3.1 | arco | 4.2 | 1.5 |
| 510 | 7.4 | rettangolare | 4.1 | 1.8 |
| 450 | 4.9 | arco | 4.9 | 1.95 |

**Tabella 15: Caratteristiche geometriche dei tratti tombati a monte della ferrovia. Culvert=N° sezione; Lunghezza=lunghezza tratto tombato; Dimensioni caratteristiche L=larghezza apertura; Dimensioni caratteristiche H=altezza apertura**

### *7.2.2 Geometria Madonette – Stato di progetto*

#### *7.2.2.1 Scenario 1*

La geometria dello stato di progetto è stata sviluppata a partire da quella dello stato attuale, alla quale sono state applicate le seguenti modifiche, che ripercorrono le soluzioni progettuali già individuate nel PFTE sviluppato da Italferr:

- Allargamento dell'alveo del rio delle Madonnette nel tratto compreso tra il rilevato ferroviario della Genova-Ventimiglia e la vasca esistente sullo stesso rio, tramite realizzazione di una sezione ad U in cls larga 14.9 m;
- Contestuale riprofilatura del fondo dell'alveo

Ulteriori modifiche riguardano le strutture nella piana alluvionale, che vengono compiutamente descritte nel par. 7.2.3.

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica.

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Length Chnl | Min Ch El [m s.l.m.] | LOB Elev [m s.l.m.] | ROB Elev [m s.l.m.] |
|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 8 | 5.37 | 9.16 | 9.16 |
| 580 | 565.1 | 10 | 5.37 | 8.7 | 8.7 |
| 575 | 555.1 | 9.95 | 3.69 | 8.42 | 8.42 |
| 570.03 | 545.15 | 0.05 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 570 | 545.1 | 0.05 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 569.95 | 545.05 | 9.9 | 3.56 | 8.31 | 8.31 |
| 560.05 | 535.15 | 0.05 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |
| 560 | 535.1 | 0.05 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |
| 559.98 | 535.05 | 9.85 | 3.47 | 8.05 | 8.05 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Culvert 557** | | | | | |
| 555.06 | 525.2 | 0.05 | 3.38 | 7.55 | 7.55 |
| 555.03 | 525.15 | 0.05 | 3.38 | 7.54 | 7.54 |
| 555 | 525.1 | 9.9 | 3.38 | 7.54 | 7.54 |
| **Culvert 553** | | | | | |
| 550.06 | 515.2 | 0.05 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| 550.03 | 515.15 | 0.05 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| 550 | 515.1 | 9.95 | 3.25 | 7.29 | 7.29 |
| **Culvert 548** | | | | | |
| 545.03 | 505.15 | 0.05 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| 545 | 505.1 | 0.05 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| 544.96 | 505.05 | 24 | 3.15 | 6.97 | 6.97 |
| **Culvert 540** | | | | | |
| 530.03 | 481.05 | 0.05 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| 530 | 481 | 0.05 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| 529.97 | 480.95 | 6.45 | 2.93 | 6.49 | 6.49 |
| **Culvert 528** | | | | | |
| 525.98 | 474.49 | 0.05 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| 525.95 | 474.44 | 0.05 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| 525 | 474.39 | 3.15 | 2.95 | 6.44 | 6.44 |
| **Culvert 520** | | | | | |
| 517.32 | 471.24 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.25 | 471.19 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.2 | 471.14 | 0.05 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| 517.12 | 471.09 | 7.99 | 2.95 | 6.32 | 6.32 |
| **Culvert 510** | | | | | |
| 500.02 | 463.1 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| 500.01 | 463.05 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| 500 | 463 | 0.05 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| 499.93 | 462.95 | 41.25 | 2.84 | 5.96 | 5.96 |
| **Culvert 450** | | | | | |
| 446 | 421.7 | 1.4 | 2.82 | 6.05 | 6.05 |
| 445.9 | 420.3 | 5.1 | 2.7 | 5.05 | 5.05 |
| 436.51 | 411 | 4.6 | 2.46 | 4.82 | 4.82 |
| 436 | 406.4 | 7 | 2.45 | 5.32 | 5.32 |
| 432 | 399.4 | 0.7 | 2.25 | 5.17 | 5.17 |
| 424.1 | 398.7 | 4.3 | 2.09 | 5.05 | 5.05 |
| 423.52 | 394.4 | 0.9 | -4.67 | 5.05 | 5.05 |
| 419 | 393.5 | 8 | -4.67 | 5.00 | 5.00 |
| 418 | 385.5 | 0.3 | -4.67 | 3.33 | 3.33 |
| 408.57 | 385.2 | 0.4 | -4.67 | 3.33 | 3.33 |
| 408.35 | 384.8 | 0.4 | -1.82 | 2.68 | 2.68 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 408 | 384.4 | 0.7 | -1.82 | 2.68 | 2.68 |
| 407.72 | 383.7 | 9.6 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 407 | 411.5 | 0.5 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 387.71 | 364.5 | 0.9 | -3.82 | 2.68 | 2.68 |
| 386.86 | 363.6 | 9.8 | -2.32 | 2.68 | 2.68 |
| 61.15 | 40.2 | 7.6 | -2.65 | 2.35 | 2.35 |
| 54 | 32.6 | 14.9 | -2.6 | 0.15 | 0.19 |
| 39 | 17.7 | 9.8 | -2.5 | 0.1 | 0.09 |
| 32 | 7.9 | 7.9 | -2.5 | 2.61 | 2.61 |
| 22 | | | -2.6 | 1.2 | 0.56 |

**Tabella 16: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica**

La geometria dei tratti tombati resta invariata tra stato attuale e stato di progetto, pertanto per maggiori dettaglio si rimanda alla Tabella 15.

#### *7.2.2.2 Scenario 2*

La geometria dello stato di progetto è la medesima dello scenario precedente, pertanto si rimanda alla Tabella 16 per quanto concerne le sezioni . Le uniche differenze tra i due scenari di progetto sono riconducibili alla diversa geometria della piana alluvionale

### *7.2.3 Geometria piana alluvionale – Stato attuale*

La geometria della piana alluvionale viene descritta attraverso i dati LIDAR forniti dalla Regione Liguria; nel modello sono state realizzate due aree bi-dimensionali, una in destra e l'altra in sinistra idrografica del rio.

La mesh di calcolo è a maglia rettangolare di dimensione 5X5 m, ma è stata infittita in corrispondenza della rete viaria/ferroviaria tramite l'impiego di opportune breaklines; tali elementi servono per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle lateral structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle lateral structure viene definita attraversi i dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR.

Le lateral structure posso essere utilizzate anche per creare connessioni tra le aree 2D, in modo da poter simulare anche il flusso idrico al di sopra dei tratti tombati.

Nello scenario attuale vengono rappresentati i muri di confine, che possono avere una funzione di barriera idraulica; in particolare si menziona la muratura sul lato sud della SS1, così come il manufatto a sud del parco feroviario.

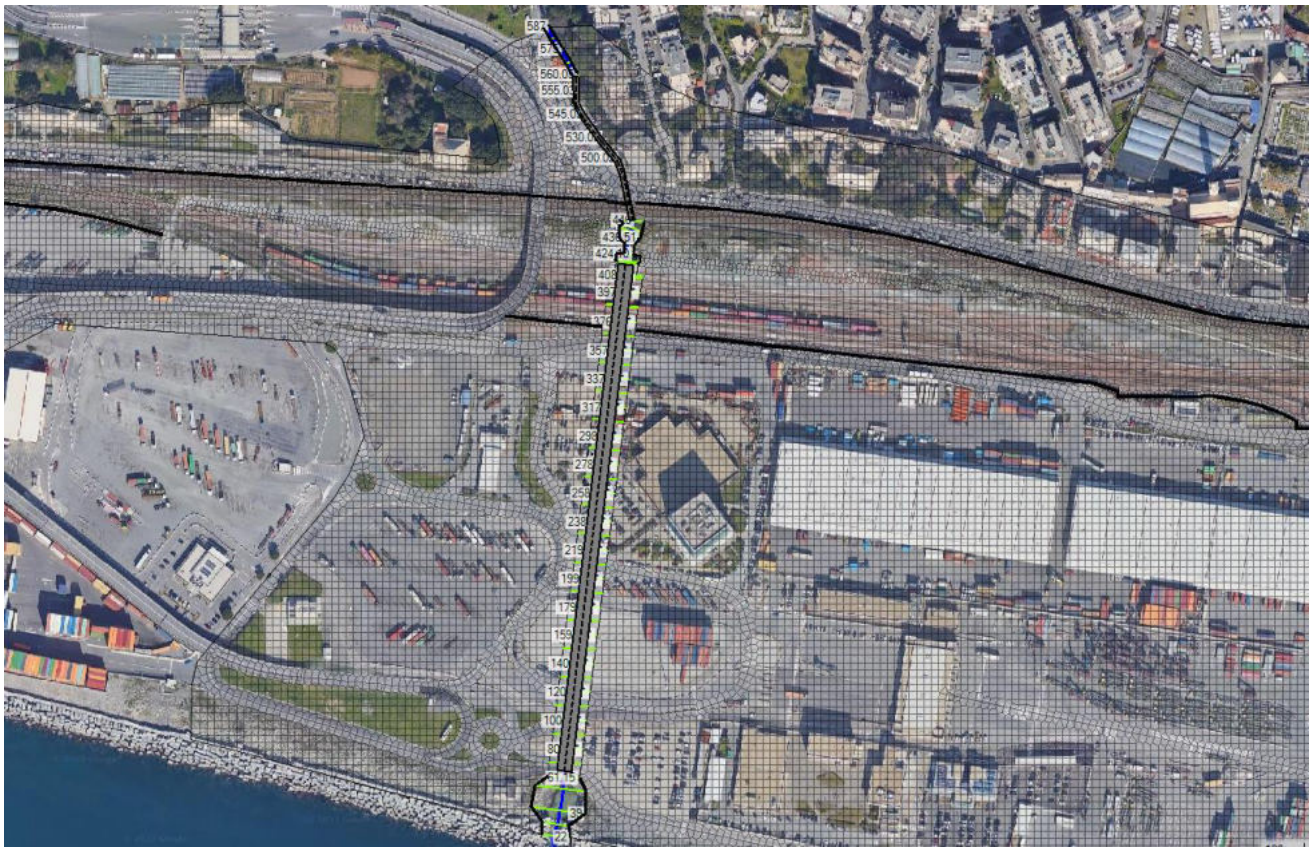


**Figura 7.2 – Stato Attuale, Planimetria del corso d'acqua, localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico e geometria delle aree allagabili.**

### *7.2.4 Geometria piana alluvionale – Stato di progetto*

#### *7.2.4.1 Scenario 1*

La geometria delle aree allagabili si differenzia da quella dello stato attuale in quanto è prevista la realizzazione di barriere antirumore, in grado di svolgere anche un'importante funzione di protezione idraulica del parco ferroviario. Le barriere antirumore in progetto sono evidenziate nella figura seguente mediante linee rosse.

L'unica interruzione nello sviluppo continuo delle barriere acustiche è rappresentata dalla fermata di Pra-Palmaro che, in virtù delle problematiche di esondabilità del rio Madonnette, è stata collocata ad una quota di 6.02 m s.l.m., ossia circa 1 m più alta della SS1.



**Figura 7.3 – Stato Progetto 1, Planimetria del corso d'acqua, localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico e geometria delle aree allagabili. In rosso si evidenziano le barriere acustica in progetto ed in verde la posizione della nuova stazione di Pra Palmaro.**

### *7.2.4.2 Scenario 2*

Nello scenario 2 viene simulata la realizzazione del parco Pinqua ad est del rio Madonnete, nella fascia compresa tra la via Aurelia e il futuro limite del parco ferroviario; ciò comporta la demolizione del muro di confine con la SS1 di altezza variabile.

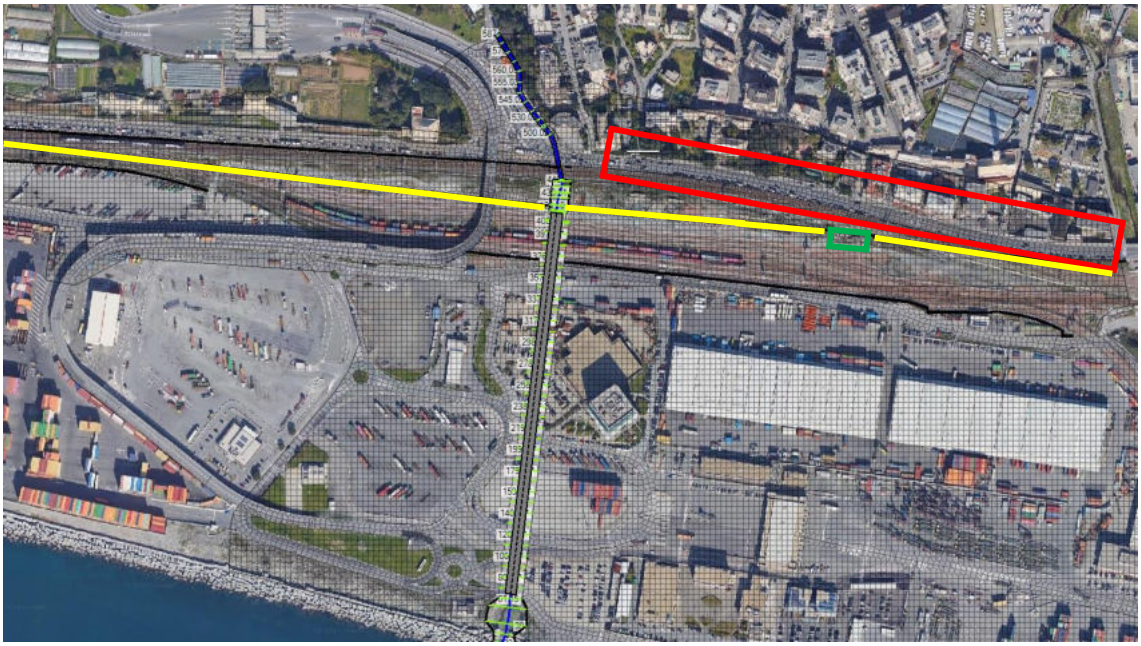


**Figura 7.4 – Stato Progetto 2, Planimetria del corso d'acqua, localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico e geometria delle aree allagabili. In rosso si evidenzia l'assenza del muro di separazione in progetto, mentre in giallo la presenza delle barriere antirumore e in verde la posizione della nuova stazione di Pra Palmaro.**

### *7.2.5 Idrogrammi di piena*

Gli idrogrammi di piena sono quelli riportati nel paragrafo 6.4.5.

Nella sezione iniziale del modello idraulico, che sottende circa il 50% del bacino imbrifero, è stata assegnata la portata restituita dal primo sottobacino dell'analisi idrologica (M1).

In corrispondenza invece della vasca viene sommato il contributo del sottobacino M2, come un ingresso distribuito. Pertanto il picco al colmo della piena assegnato, per ogni tempo di ritorno, a tali sezioni viene riportato nella seguente tabella.

| | Tr = 50 anni | Tr = 200 anni | Tr = 500 anni |
|---|---|---|---|
| Q monte modello [$m^3/s$] | 22.3 | 32.4 | 39.18 |
| Q vasca [$m^3/s$] (ingresso distribuito) | 30 | 42 | 53 |

**Tabella 17: Portate cumulate al colmo della piena per il rio Madonnette per diversi tempi di ritorno inserite nel modello idraulico**

Si precisa che, in presenza di tracimazioni arginali, la portata cumulata nel rio presso la vasca avrà necessariamente valori inferiori di quelli tabellati.

### 7.2.6 Condizioni al contorno

Nel caso in esame viene posta la condizione di moto localmente uniforme nella sezione inziale (pendenza del fondo pari a 0.3%) e nella sezione finale del tratto in analisi è stata assegnata la massima altezza della marea, desunta dalla Rete Mareografica Nazionale di ISPRA; dall'analisi delle registrazioni valide per la stazione di Genova è emerso che il massimo livello registrato dal 2010 ad oggi (ovvero, durante tutto il periodo di registrazioni disponibile) è pari a 0.90 m s.l.m..

Inoltre, nel modello 2D è consentita la fuoriuscita dell' acqua a mare tramite la predisposizione di opportune Boundary Condition Lines, a cui è stata assegnata la massima altezza della marea sopra riportata.

### 7.2.7 Parametri idraulici

La resistenza al moto della sezione viene espressa attraverso il coefficiente di Manning n. La scelta dei valori del parametro è stata fatta sulla base delle indicazioni riportate nella letteratura scientifica e nel manuale di Hec-Ras.

In particolare, si è assegnato un valore di 0.033 $m^{-1/3}/s$ (ks=30 $m^{1/3}\,s^{-1}$) per il fondo dell'alveo e per il tratto di sponde naturali, mentre invece per i tratti tombinati e per le pareti in calcestruzzo è stato assegnato un valore di 0.02 $m^{-1/3}/s$ (ks=50 $m^{1/3}\,s^{-1}$).

Le scabrezze sono state definite a partire dai valori indicati nel Piano di bacino dell'ambito n.12-13.

| Descrizione corso d'acqua | Coeff. di scabrezza secondo Gauckler-Strickler $K_s$ [$m^{1/3}/s$] |
|---|---|
| tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo | 25-30 |
| corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo | 30-35 |
| tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato | 35-40 |
| corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque | 40-45 |
| tombinature perfettamente lisciate e dotate a monte di dispositivi atti ad assicurare la trattenuta di trasporto solido di fondo e in sospensione (briglie selettive, vasche di sedimentazioni, ecc.) | 45-55 |

**Tabella 18: Valori di scabrezza indicati nelle norme di attuazione del Piano di bacino dell'ambito n.12-13.**

Nella piana alluvionale la scabrezza del fondo viene definita a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine Land Cover, secondo la seguente tabella di corrispondenza:

| Code | Designation | n |
|---|---|---|
| 111 | Continuos urban fabric | 0.230 |
| 112 | Discontinuous urban fabric | 0.115 |
| 121 | Industrial or commercial units | 0.230 |
| 122 | Roads and rail networks and associated land | 0.038 |
| 124 | Airports | 0.230 |
| 131 | Mineral extraction sites | 0.104 |
| 132 | Dump sites | 0.115 |
| 133 | Construction sites | 0.115 |
| 142 | Sport and leisure facilities | 0.023 |
| 211 | Non-irrigated arable land | 0.043 |
| 212 | Permanently irrigated land | 0.043 |
| 213 | Rice fields | 0.023 |
| 221 | Vineyards | 0.043 |
| 222 | Fruit trees and berry plantations | 0.043 |
| 223 | Olive groves | 0.043 |
| 231 | Pastures | 0.298 |
| 241 | Annual crops associated w/permanent crops | 0.043 |
| 242 | Complex cultivation patterns | 0.023 |
| 243 | Agriculture, w/significant natural vegetation | 0.058 |
| 244 | Agro-forestry areas | 0.058 |
| 311 | Broad-leaved forest | 0.230 |
| 312 | Coniferous forest | 0.127 |
| 313 | Mixed forest | 0.230 |
| 321 | Natural grasslands | 0.039 |
| 322 | Moors and heathland | 0.058 |
| 323 | Sclerophyllous vegetation | 0.058 |
| 324 | Transitional woodland-shrub | 0.058 |
| 331 | Beaches, dunes, sands | 0.138 |
| 332 | Bare rocks | 0.104 |
| 333 | Sparsely vegetated areas | 0.104 |
| 334 | Burnt areas | 0.104 |
| 411 | Inland marshes | 0.115 |
| 511 | Water courses | 0.035 |
| 512 | Water bodies | 0.035 |

**Tabella 19: Valori di scabrezza – uso del suolo.**

## 7.3 Risultati della modellazione idraulica

Prima di procedere con l'illustrazione dei risultati appare opportuno fare alcune considerazioni sull'implementazione dei modelli. Il software presenta alcuni elementi di criticità quando si vuole simulare correnti a pelo libero in moto vario, in particolare in presenza di regimi supercritici. Se a questo si aggiunge la presenza di tombinature, che determinano la messa in pressione delle strutture in correte veloce, non possono che amplificarsi i problemi di stabilità numerica del codice di calcolo.

Pertanto, per poter rappresentare al meglio la geometria del rio sono stati inserite, procedendo da valle verso monte, le tombinature fino a mantenimento della stabilità numerica. Ciò è stato posibile fino alla sezione 560.05.

### *7.3.1 Stato Attuale*

Il tratto oggetto dell'analisi è stato implementato in un unico modello matematico, inserendo la geometria delle sezioni nello scenario attuale.

Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione con il codice di calcolo Hec-Ras per ogni tempo di ritorno indagato.

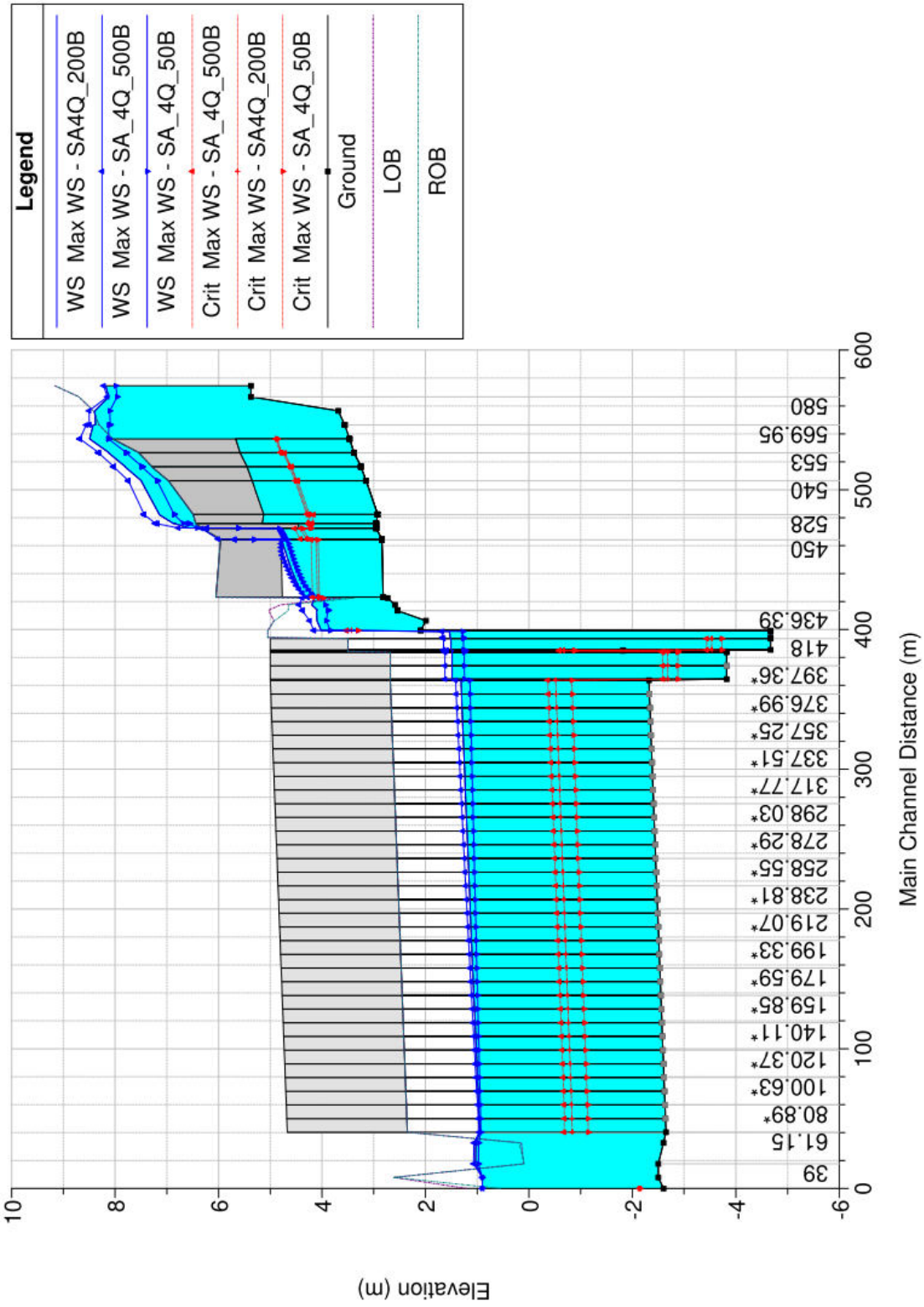



**Figura 7.5 – Stato Attuale, Andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per i diversi tempi di ritorno; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.**

### 7.3.1.1 1D - Tr50 anni

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 574.5 | 22.3 | 5.37 | 7.99 | 0.002713 | 2.17 | 0.43 |
| 580 | 566.5 | 22.3 | 5.37 | 7.96 | 0.002793 | 2.19 | 0.43 |
| 575 | 556.5 | 22.3 | 3.69 | 8.1 | 0.000496 | 1.16 | 0.18 |
| 570.03 | 546.55 | 22.29 | 3.56 | 8.1 | 0.000921 | 1.17 | 0.18 |
| 570 | 546.5 | 22.29 | 3.56 | 8.1 | 0.000507 | 1.17 | 0.18 |
| 569.95 | 546.45 | 22.29 | 3.56 | 8.12 | 0.000383 | 0.94 | 0.14 |
| 560.05 | 536.55 | 21.52 | 3.47 | 8.13 | 0.00038 | 0.85 | 0.13 |
| 560 | 536.5 | 21.52 | 3.47 | 8.13 | 0.00038 | 0.85 | 0.13 |
| 559.98 | 536.45 | 21.52 | 3.47 | 8.13 | 0.000379 | 0.85 | 0.13 |
| 555.06 | 526.6 | 21.52 | 3.38 | 7.79 | 0.000268 | 0.91 | 0.14 |
| 555.03 | 526.55 | 21.52 | 3.38 | 7.79 | 0.000268 | 0.91 | 0.14 |
| 555 | 526.5 | 21.52 | 3.38 | 7.79 | 0.000268 | 0.91 | 0.14 |
| 550.06 | 516.6 | 21.52 | 3.25 | 7.48 | 0.000485 | 0.93 | 0.15 |
| 550.03 | 516.55 | 21.52 | 3.25 | 7.48 | 0.000485 | 0.93 | 0.14 |
| 550 | 516.5 | 21.52 | 3.25 | 7.48 | 0.000289 | 0.93 | 0.14 |
| 545.03 | 506.55 | 21.52 | 3.15 | 7.19 | 0.000336 | 0.99 | 0.16 |
| 545 | 506.5 | 21.52 | 3.15 | 7.19 | 0.000336 | 0.99 | 0.16 |
| 544.96 | 506.45 | 21.52 | 3.15 | 7.19 | 0.000336 | 0.99 | 0.16 |
| 530.03 | 482.45 | 21.52 | 2.93 | 6.86 | 0.000598 | 1.01 | 0.16 |
| 530 | 482.4 | 21.52 | 2.93 | 6.86 | 0.000476 | 1.01 | 0.16 |
| 529.97 | 482.35 | 21.52 | 2.93 | 6.86 | 0.000598 | 1.01 | 0.16 |
| 525.98 | 475.89 | 21.52 | 2.95 | 6.6 | 0.000289 | 1.13 | 0.19 |
| 525.95 | 475.84 | 21.51 | 2.95 | 6.56 | 0.000537 | 1.41 | 0.24 |
| 525 | 475.79 | 21.51 | 2.95 | 6.56 | 0.000537 | 1.41 | 0.24 |
| 517.32 | 472.64 | 21.51 | 2.95 | 5.62 | 0.001162 | 1.9 | 0.37 |
| 517.25 | 472.59 | 21.51 | 2.95 | 5.62 | 0.001162 | 1.9 | 0.37 |
| 517.2 | 472.54 | 21.51 | 2.95 | 5.62 | 0.001162 | 1.9 | 0.37 |
| 517.12 | 472.49 | 21.51 | 2.95 | 5.62 | 0.001162 | 1.9 | 0.37 |
| 500.02 | 464.5 | 21.51 | 2.84 | 5.31 | 0.000838 | 1.69 | 0.34 |
| 500.01 | 464.45 | 21.51 | 2.84 | 5.31 | 0.000837 | 1.69 | 0.34 |
| 500 | 464.4 | 21.51 | 2.84 | 5.31 | 0.000837 | 1.69 | 0.34 |
| 499.93 | 464.35 | 21.5 | 2.84 | 5.31 | 0.000837 | 1.69 | 0.34 |
| 446 | 423.1 | 21.5 | 2.82 | 4.05 | 0.009905 | 3.5 | 1.01 |
| 445.9 | 422.5 | 21.46 | 2.73 | 3.98 | 0.004429 | 3.12 | 0.93 |
| 441 | 417.7 | 21.67 | 2.59 | 3.93 | 0.006101 | 2.68 | 0.89 |
| 436.51 | 414 | 21.61 | 2.54 | 3.88 | 0.006709 | 2.78 | 0.93 |
| 436.39 | 413.5 | 21.61 | 2.54 | 3.88 | 0.005622 | 2.62 | 0.85 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 432 | 406.3 | 21.67 | 1.99 | 3.92 | 0.002706 | 2.21 | 0.51 |
| 424.1 | 399.4 | 21.66 | 2.09 | 3.84 | 0.002206 | 2.41 | 0.58 |
| 423.52 | 398.7 | 20.68 | -4.67 | 1.28 | 0.000004 | 0.23 | 0.03 |
| 419 | 394.4 | 28.62 | -4.67 | 1.27 | 0.000008 | 0.32 | 0.04 |
| 418 | 393.5 | 28.62 | -4.67 | 1.26 | 0.000024 | 0.48 | 0.06 |
| 408.57 | 385.5 | 28.62 | -4.67 | 1.26 | 0.000024 | 0.48 | 0.06 |
| 408.35 | 385.2 | 28.61 | -1.82 | 1.23 | 0.000149 | 0.94 | 0.17 |
| 408 | 384.8 | 28.61 | -1.82 | 1.23 | 0.000149 | 0.94 | 0.17 |
| 407.72 | 384.4 | 28.62 | -3.82 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 407 | 383.7 | 28.62 | -3.82 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 387.71 | 364.5 | 28.62 | -3.82 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 386.86 | 363.6 | 28.58 | -2.32 | 1.14 | 0.000660 | 1.65 | 0.28 |
| 61.15 | 40.2 | 28.8 | -2.65 | 0.93 | 0.000617 | 1.61 | 0.27 |
| 54 | 32.6 | 28.91 | -2.6 | 0.97 | 0.000038 | 0.49 | 0.09 |
| 39 | 17.7 | 28.93 | -2.5 | 0.98 | 0.000021 | 0.37 | 0.06 |
| 32 | 7.9 | 5.86 | -2.5 | 0.9 | 0.000032 | 0.31 | 0.06 |
| 22 | | 5.01 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 20: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.16 | 21.23 | 8.05 | 0.29 | 8.13 | 2.35 | 0.34 |
| 553 | 7.83 | 20.37 | 7.54 | 1.15 | 7.79 | 2.26 | 0.3 |
| 548 | 7.52 | 20.66 | 7.29 | 0.86 | 7.48 | 2.24 | 0.3 |
| 540 | 7.23 | 20.49 | 6.97 | 1.02 | 7.19 | 2.22 | 0.33 |
| 528 | 6.9 | 19.54 | 6.49 | 1.97 | 6.86 | 2.11 | 0.26 |
| 520 | 6.59 | 21.16 | 6.44 | 0.36 | 6.56 | 3.9 | 0.94 |
| 510 | 5.84 | 21.51 | 6.32 | | 5.62 | 2.8 | 0.3 |
| 450 | 5.09 | 21.5 | 6.05 | | 5.31 | 2.63 | 1.27 |

**Tabella 21: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata**

**sfiorata; WS US= quota del pelo libero a monte; Vel US=velocità nella sezione di monte; Delta WS=differenza di quota del pelo libero attraverso tratto tombato.**

### 7.3.1.2 1D - Tr200 anni

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 574.5 | 32.39 | 5.37 | 8.18 | 0.004679 | 2.93 | 0.56 |
| 580 | 566.5 | 32.14 | 5.37 | 8.12 | 0.004880 | 2.97 | 0.57 |
| 575 | 556.5 | 32.39 | 3.69 | 8.39 | 0.000884 | 1.58 | 0.23 |
| 570.03 | 546.55 | 32.22 | 3.56 | 8.38 | 0.001663 | 1.59 | 0.23 |
| 570 | 546.5 | 32.22 | 3.56 | 8.38 | 0.000902 | 1.59 | 0.23 |
| 569.95 | 546.45 | 32.21 | 3.56 | 8.42 | 0.000677 | 1.27 | 0.18 |
| 560.05 | 536.55 | 24.48 | 3.47 | 8.49 | 0.000408 | 0.89 | 0.13 |
| 560 | 536.5 | 24.48 | 3.47 | 8.49 | 0.000407 | 0.89 | 0.13 |
| 559.98 | 536.45 | 24.48 | 3.47 | 8.49 | 0.000406 | 0.89 | 0.13 |
| 555.06 | 526.6 | 24.48 | 3.38 | 8.12 | 0.000283 | 0.96 | 0.14 |
| 555.03 | 526.55 | 24.48 | 3.38 | 8.12 | 0.000283 | 0.96 | 0.14 |
| 555 | 526.5 | 24.48 | 3.38 | 8.12 | 0.000283 | 0.96 | 0.14 |
| 550.06 | 516.6 | 24.48 | 3.25 | 7.81 | 0.000521 | 0.99 | 0.15 |
| 550.03 | 516.55 | 24.48 | 3.25 | 7.81 | 0.000521 | 0.99 | 0.15 |
| 550 | 516.5 | 24.48 | 3.25 | 7.81 | 0.000305 | 0.99 | 0.15 |
| 545.03 | 506.55 | 24.48 | 3.15 | 7.5 | 0.000355 | 1.04 | 0.16 |
| 545 | 506.5 | 24.48 | 3.15 | 7.5 | 0.000355 | 1.04 | 0.16 |
| 544.96 | 506.45 | 24.48 | 3.15 | 7.5 | 0.000354 | 1.04 | 0.16 |
| 530.03 | 482.45 | 24.48 | 2.93 | 7.15 | 0.000646 | 1.07 | 0.17 |
| 530 | 482.4 | 24.48 | 2.93 | 7.15 | 0.000511 | 1.07 | 0.17 |
| 529.97 | 482.35 | 24.48 | 2.93 | 7.15 | 0.000646 | 1.07 | 0.17 |
| 525.98 | 475.89 | 24.48 | 2.95 | 6.88 | 0.00031 | 1.19 | 0.19 |
| 525.95 | 475.84 | 24.48 | 2.95 | 6.84 | 0.000579 | 1.49 | 0.24 |
| 525 | 475.79 | 24.48 | 2.95 | 6.84 | 0.00058 | 1.49 | 0.24 |
| 517.32 | 472.64 | 22.69 | 2.95 | 5.78 | 0.001112 | 1.89 | 0.36 |
| 517.25 | 472.59 | 22.69 | 2.95 | 5.78 | 0.001112 | 1.89 | 0.36 |
| 517.2 | 472.54 | 22.69 | 2.95 | 5.78 | 0.001112 | 1.89 | 0.36 |
| 517.12 | 472.49 | 22.69 | 2.95 | 5.78 | 0.001112 | 1.89 | 0.36 |
| 500.02 | 464.5 | 22.69 | 2.84 | 5.41 | 0.000843 | 1.72 | 0.34 |
| 500.01 | 464.45 | 22.69 | 2.84 | 5.41 | 0.000842 | 1.72 | 0.34 |
| 500 | 464.4 | 22.69 | 2.84 | 5.41 | 0.000842 | 1.72 | 0.34 |
| 499.93 | 464.35 | 22.69 | 2.84 | 5.41 | 0.000842 | 1.72 | 0.34 |
| 446 | 423.1 | 24.43 | 2.82 | 4.19 | 0.009211 | 3.55 | 0.96 |
| 445.9 | 422.5 | 24.31 | 2.73 | 4.14 | 0.003562 | 3.05 | 0.86 |
| 441 | 417.7 | 24.39 | 2.59 | 4.20 | 0.003695 | 2.32 | 0.71 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 436.51 | 414 | 24.98 | 2.54 | 4.09 | 0.004826 | 2.58 | 0.80 |
| 436.39 | 413.5 | 24.98 | 2.54 | 4.11 | 0.004098 | 2.44 | 0.74 |
| 432 | 406.3 | 25.27 | 1.99 | 4.1 | 0.002828 | 2.34 | 0.52 |
| 424.1 | 399.4 | 25.27 | 2.09 | 4.02 | 0.002254 | 2.53 | 0.58 |
| 423.52 | 398.7 | 22.02 | -4.67 | 1.53 | 0.000004 | 0.24 | 0.03 |
| 419 | 394.4 | 38 | -4.67 | 1.52 | 0.000013 | 0.41 | 0.05 |
| 418 | 393.5 | 38 | -4.67 | 1.51 | 0.000039 | 0.61 | 0.08 |
| 408.57 | 385.5 | 38 | -4.67 | 1.51 | 0.000039 | 0.61 | 0.08 |
| 408.35 | 385.2 | 38 | -1.82 | 1.46 | 0.000216 | 1.16 | 0.2 |
| 408 | 384.8 | 38 | -1.82 | 1.46 | 0.000216 | 1.16 | 0.2 |
| 407.72 | 384.4 | 38 | -3.82 | 1.48 | 0.000058 | 0.72 | 0.1 |
| 407 | 383.7 | 38 | -3.82 | 1.48 | 0.000058 | 0.72 | 0.1 |
| 387.71 | 364.5 | 37.99 | -3.82 | 1.48 | 0.000058 | 0.72 | 0.1 |
| 386.86 | 363.6 | 37.99 | -2.32 | 1.31 | 0.001034 | 2.09 | 0.35 |
| 61.15 | 40.2 | 38.21 | -2.65 | 0.95 | 0.001073 | 2.12 | 0.36 |
| 54 | 32.6 | 38.39 | -2.6 | 1.03 | 0.000064 | 0.64 | 0.11 |
| 39 | 17.7 | 38.4 | -2.5 | 1.03 | 0.000035 | 0.48 | 0.08 |
| 32 | 7.9 | 6.85 | -2.5 | 0.9 | 0.000025 | 0.27 | 0.05 |
| 22 | | 5.01 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 22: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [m³/s] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [m³/s] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.52 | 21.97 | 8.05 | 2.51 | 8.49 | 2.44 | 0.37 |
| 553 | 8.16 | 20.76 | 7.54 | 3.72 | 8.12 | 2.3 | 0.32 |
| 548 | 7.85 | 21.26 | 7.29 | 3.22 | 7.81 | 2.3 | 0.31 |
| 540 | 7.55 | 21.15 | 6.97 | 3.33 | 7.5 | 2.29 | 0.35 |
| 528 | 7.19 | 20.02 | 6.49 | 4.46 | 7.15 | 2.17 | 0.27 |
| 520 | 6.9 | 22.66 | 6.44 | 1.82 | 6.84 | 4.17 | 1.06 |
| 510 | 5.99 | 22.69 | 6.32 | | 5.78 | 2.96 | 0.37 |
| 450 | 5.23 | 22.69 | 6.05 | | 5.41 | 2.71 | 1.21 |

**Tabella 23: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata**

**sfiorata; WS US= quota del pelo libero a monte; Vel US=velocità nella sezione di monte; Delta WS=differenza di quota del pelo libero attraverso tratto tombato.**

### 7.3.1.3 *1D - Tr500 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 574.5 | 37.8 | 5.37 | 8.22 | 0.006254 | 3.41 | 0.64 |
| 580 | 566.5 | 30.74 | 5.37 | 8.15 | 0.004649 | 2.91 | 0.56 |
| 575 | 556.5 | 39.21 | 3.69 | 8.5 | 0.001196 | 1.86 | 0.27 |
| 570.03 | 546.55 | 38.57 | 3.56 | 8.5 | 0.002189 | 1.84 | 0.26 |
| 570 | 546.5 | 38.56 | 3.56 | 8.5 | 0.001181 | 1.84 | 0.26 |
| 569.95 | 546.45 | 38.54 | 3.56 | 8.56 | 0.000881 | 1.46 | 0.21 |
| 560.05 | 536.55 | 25.56 | 3.47 | 8.68 | 0.000406 | 0.9 | 0.13 |
| 560 | 536.5 | 25.56 | 3.47 | 8.68 | 0.000405 | 0.9 | 0.13 |
| 559.98 | 536.45 | 25.56 | 3.47 | 8.68 | 0.000404 | 0.9 | 0.13 |
| 555.06 | 526.6 | 25.56 | 3.38 | 8.32 | 0.000275 | 0.96 | 0.14 |
| 555.03 | 526.55 | 25.55 | 3.38 | 8.32 | 0.000275 | 0.96 | 0.14 |
| 555 | 526.5 | 25.55 | 3.38 | 8.32 | 0.000275 | 0.96 | 0.14 |
| 550.06 | 516.6 | 25.55 | 3.25 | 8.03 | 0.000504 | 0.98 | 0.14 |
| 550.03 | 516.55 | 25.55 | 3.25 | 8.03 | 0.000504 | 0.98 | 0.14 |
| 550 | 516.5 | 25.55 | 3.25 | 8.03 | 0.000291 | 0.98 | 0.14 |
| 545.03 | 506.55 | 25.55 | 3.15 | 7.74 | 0.000331 | 1.03 | 0.15 |
| 545 | 506.5 | 25.55 | 3.15 | 7.74 | 0.000331 | 1.03 | 0.15 |
| 544.96 | 506.45 | 25.55 | 3.15 | 7.74 | 0.000331 | 1.03 | 0.15 |
| 530.03 | 482.45 | 25.55 | 2.93 | 7.44 | 0.000594 | 1.05 | 0.16 |
| 530 | 482.4 | 25.55 | 2.93 | 7.44 | 0.000467 | 1.05 | 0.16 |
| 529.97 | 482.35 | 25.55 | 2.93 | 7.44 | 0.000594 | 1.05 | 0.16 |
| 525.98 | 475.89 | 25.55 | 2.95 | 7.22 | 0.000272 | 1.14 | 0.18 |
| 525.95 | 475.84 | 25.55 | 2.95 | 7.18 | 0.000509 | 1.42 | 0.22 |
| 525 | 475.79 | 25.55 | 2.95 | 7.18 | 0.00051 | 1.42 | 0.22 |
| 517.32 | 472.64 | 25.55 | 2.95 | 6.23 | 0.000965 | 1.84 | 0.32 |
| 517.25 | 472.59 | 25.55 | 2.95 | 6.23 | 0.000965 | 1.84 | 0.32 |
| 517.2 | 472.54 | 25.55 | 2.95 | 6.23 | 0.000965 | 1.84 | 0.32 |
| 517.12 | 472.49 | 25.55 | 2.95 | 6.23 | 0.000964 | 1.84 | 0.32 |
| 500.02 | 464.5 | 25.48 | 2.84 | 5.69 | 0.000808 | 1.74 | 0.33 |
| 500.01 | 464.45 | 25.47 | 2.84 | 5.69 | 0.000808 | 1.74 | 0.33 |
| 500 | 464.4 | 25.47 | 2.84 | 5.69 | 0.000807 | 1.74 | 0.33 |
| 499.93 | 464.35 | 25.47 | 2.84 | 5.69 | 0.000807 | 1.74 | 0.33 |
| 446 | 423.1 | 25.26 | 2.82 | 4.28 | 0.008336 | 3.46 | 0.91 |
| 445.9 | 422.5 | 25.23 | 2.73 | 4.38 | 0.002056 | 2.6 | 0.67 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 441 | 417.7 | 25.41 | 2.59 | 4.45 | 0.002234 | 1.96 | 0.56 |
| 436.51 | 414 | 26.39 | 2.54 | 4.37 | 0.002725 | 2.14 | 0.62 |
| 436.39 | 413.5 | 26.39 | 2.54 | 4.38 | 0.002433 | 2.05 | 0.58 |
| 432 | 406.3 | 27.97 | 1.99 | 4.24 | 0.002923 | 2.43 | 0.52 |
| 424.1 | 399.4 | 27.97 | 2.09 | 4.16 | 0.002294 | 2.62 | 0.58 |
| 423.52 | 398.7 | 22.41 | -4.67 | 1.68 | 0.000004 | 0.23 | 0.03 |
| 419 | 394.4 | 42.86 | -4.67 | 1.67 | 0.000016 | 0.45 | 0.06 |
| 418 | 393.5 | 42.86 | -4.67 | 1.65 | 0.000047 | 0.68 | 0.09 |
| 408.57 | 385.5 | 42.86 | -4.67 | 1.65 | 0.000047 | 0.68 | 0.09 |
| 408.35 | 385.2 | 42.86 | -1.82 | 1.59 | 0.000245 | 1.26 | 0.22 |
| 408 | 384.8 | 42.86 | -1.82 | 1.59 | 0.000245 | 1.26 | 0.22 |
| 407.72 | 384.4 | 42.86 | -3.82 | 1.62 | 0.000069 | 0.79 | 0.11 |
| 407 | 383.7 | 42.86 | -3.82 | 1.62 | 0.000069 | 0.79 | 0.11 |
| 387.71 | 364.5 | 42.86 | -3.82 | 1.62 | 0.000069 | 0.79 | 0.11 |
| 386.86 | 363.6 | 42.84 | -2.32 | 1.42 | 0.001224 | 2.29 | 0.38 |
| 61.15 | 40.2 | 43.34 | -2.65 | 0.96 | 0.001367 | 2.4 | 0.4 |
| 54 | 32.6 | 43.34 | -2.6 | 1.06 | 0.000079 | 0.72 | 0.13 |
| 39 | 17.7 | 43.34 | -2.5 | 1.07 | 0.000042 | 0.54 | 0.09 |
| 32 | 7.9 | 5.65 | -2.5 | 0.9 | 0.000028 | 0.29 | 0.05 |
| 22 | | 5.01 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 24: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.7 | 21.46 | 8.05 | 4.05 | 8.68 | 2.38 | 0.36 |
| 553 | 8.36 | 19.96 | 7.54 | 5.56 | 8.32 | 2.21 | 0.29 |
| 548 | 8.07 | 20.3 | 7.29 | 5.21 | 8.03 | 2.2 | 0.29 |
| 540 | 7.79 | 19.88 | 6.97 | 5.63 | 7.74 | 2.15 | 0.3 |
| 528 | 7.48 | 18.07 | 6.49 | 7.44 | 7.44 | 1.96 | 0.22 |
| 520 | 7.22 | 21.39 | 6.44 | 4.11 | 7.18 | 3.94 | 0.96 |
| 510 | 6.42 | 25.33 | 6.32 | 0.17 | 6.23 | 3.3 | 0.54 |
| 450 | 5.46 | 25.5 | 6.05 | | 5.69 | 3.05 | 1.41 |

**Tabella 25: Stato Attuale, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito**

**all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata; WS US= quota del pelo libero a monte; Vel US=velocità nella sezione di monte; Delta WS=differenza di quota del pelo libero attraverso tratto tombato.**

#### *7.3.1.4 2D - Tr200 anni*

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo un estratto delle aree allagate con scenario TR200 anni, dove si evidenzia l'incapacità del rio di smaltire la portata di progetto lungo il tratto esaminato dando luogo a diverse tracimazioni,

In particolare la messa in pressione del tratto tombato a monte dell'Aurelia determina diverse fuoriuscite idriche in corrispondenza dei chiusini di accesso diretto alle tombinature e delle caditoie e chiusini della rete di smaltimento delle acque bianche. Tali fuoriuscite interessano la viabilità SS1 e gli edifici che si affacciano sulla stessa.

Il muro di confine a lato dell'Aurelia rappresenta un limite fisico alla propagazione delle esondazioni in direzione sud; i flussi idrici all'interno del parco ferroviario avvengono nei pressi delle discontinuità della muratura.




**Figura 7.6 – Stato Attuale, Esondazioni con un evento con tempo di ritorno di 200 anni.**

### *7.3.2 Stato Progetto – Scenario 1*

Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione per ogni tempo di ritorno indagato per lo scenario di progetto 1 che prevede la riprofilatura del tratto d'alveo a cielo a aperto tra l'Aurelia e la vasca 10x15, nonché la realizzazione delle barriere acustiche.

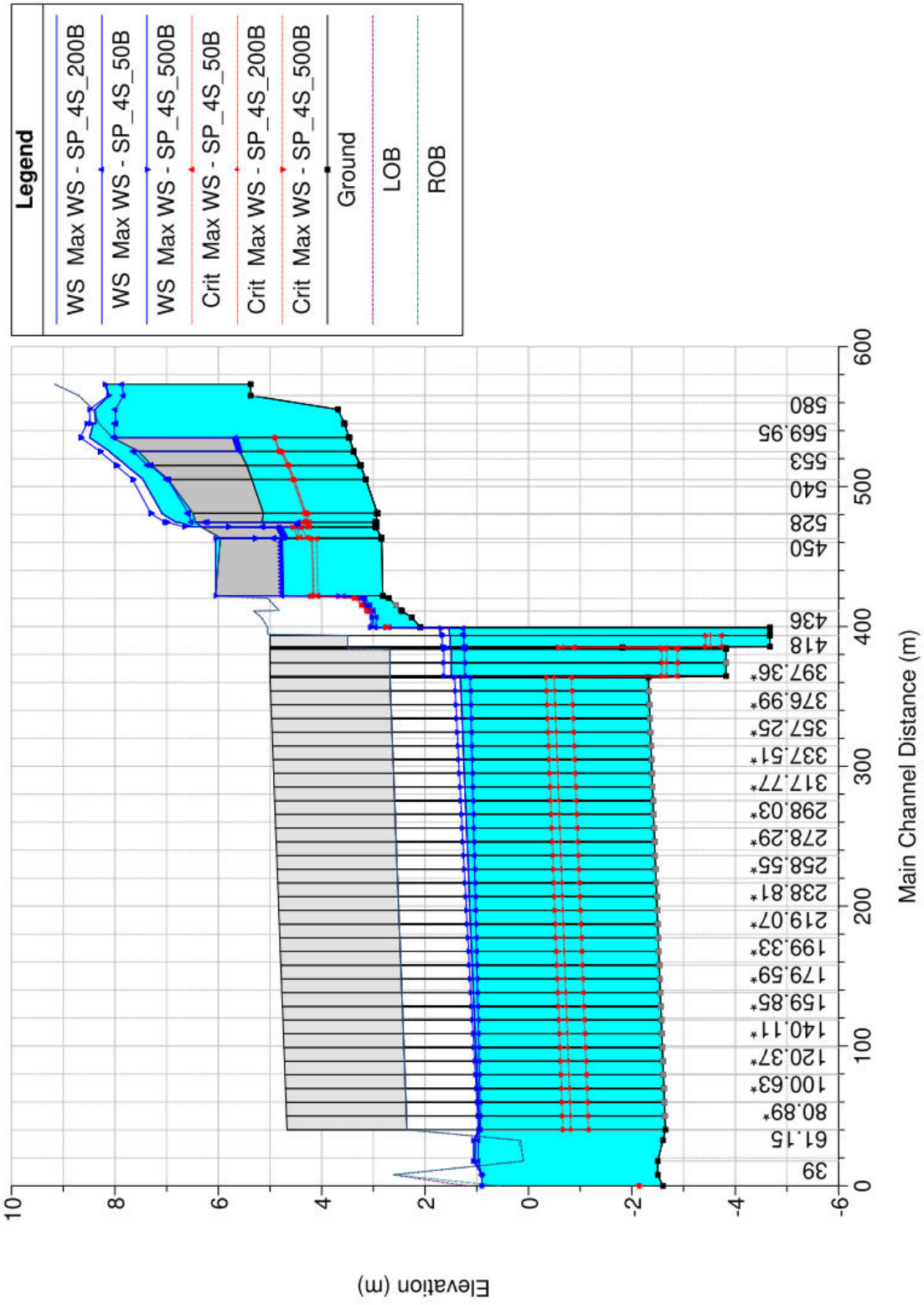



**Figura 7.7 - Stato di progetto 1, andamento del peso idrico e profilo argilloso nel tratto in esame. WS= quota superficie libera per i diversi tempi di ritorno; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.**

*7.3.2.1 1D - Tr50 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 22.3 | 5.37 | 7.87 | 0.003104 | 2.27 | 0.46 |
| 580 | 565.1 | 22.3 | 5.37 | 7.83 | 0.003219 | 2.3 | 0.47 |
| 575 | 555.1 | 22.3 | 3.69 | 7.99 | 0.000531 | 1.19 | 0.18 |
| 570.03 | 545.15 | 22.3 | 3.56 | 7.98 | 0.000978 | 1.2 | 0.18 |
| 570 | 545.1 | 22.3 | 3.56 | 7.98 | 0.000542 | 1.2 | 0.18 |
| 569.95 | 545.05 | 22.3 | 3.56 | 8.01 | 0.000408 | 0.96 | 0.15 |
| 560.05 | 535.15 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000428 | 0.89 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000427 | 0.89 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000426 | 0.89 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 555.03 | 525.15 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 555 | 525.1 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 550.06 | 515.2 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000575 | 1.01 | 0.16 |
| 550.03 | 515.15 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000575 | 1 | 0.16 |
| 550 | 515.1 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000346 | 1 | 0.16 |
| 545.03 | 505.15 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 545 | 505.1 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 544.96 | 505.05 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 530.03 | 481.05 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000761 | 1.12 | 0.19 |
| 530 | 481 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000611 | 1.12 | 0.19 |
| 529.97 | 480.95 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000762 | 1.12 | 0.19 |
| 525.98 | 474.49 | 22.13 | 2.95 | 6.26 | 0.000392 | 1.28 | 0.22 |
| 525.95 | 474.44 | 22.13 | 2.95 | 6.21 | 0.000733 | 1.6 | 0.28 |
| 525 | 474.39 | 22.13 | 2.95 | 6.21 | 0.000734 | 1.6 | 0.28 |
| 517.32 | 471.24 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002067 | 2.39 | 0.52 |
| 517.25 | 471.19 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002068 | 2.39 | 0.52 |
| 517.2 | 471.14 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002069 | 2.39 | 0.52 |
| 517.12 | 471.09 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002069 | 2.39 | 0.52 |
| 500.02 | 463.1 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.00141 | 2.06 | 0.46 |
| 500.01 | 463.05 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 500 | 463 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 499.93 | 462.95 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 446 | 421.7 | 22.13 | 2.82 | 3.57 | 0.02894 | 5.9 | 2.17 |
| 445.9 | 420.3 | 22.13 | 2.7 | 3.16 | 0.012258 | 3.18 | 1.49 |
| 436.51 | 411 | 22.13 | 2.46 | 3.01 | 0.007219 | 2.71 | 1.17 |
| 436 | 406.4 | 22.13 | 2.45 | 3 | 0.006988 | 2.68 | 1.15 |
| 432 | 399.4 | 22.13 | 2.25 | 2.94 | 0.003495 | 2.16 | 0.84 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 424.1 | 398.7 | 22.13 | 2.09 | 2.96 | 0.001609 | 1.7 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 20.51 | -4.67 | 1.27 | 0.000004 | 0.23 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 28.5 | -4.67 | 1.26 | 0.000008 | 0.32 | 0.04 |
| 418 | 385.5 | 28.5 | -4.67 | 1.25 | 0.000025 | 0.48 | 0.06 |
| 408.57 | 385.2 | 28.5 | -4.67 | 1.25 | 0.000025 | 0.48 | 0.06 |
| 408.35 | 384.8 | 28.5 | -1.82 | 1.22 | 0.000151 | 0.94 | 0.17 |
| 408 | 384.4 | 28.5 | -1.82 | 1.22 | 0.000151 | 0.94 | 0.17 |
| 407.72 | 383.7 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 407 | 411.5 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 387.71 | 364.5 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 386.86 | 363.6 | 28.5 | -2.32 | 1.13 | 0.000665 | 1.65 | 0.28 |
| 61.15 | 40.2 | 28.56 | -2.65 | 0.93 | 0.00061 | 1.6 | 0.27 |
| 54 | 32.6 | 28.6 | -2.6 | 0.97 | 0.000038 | 0.49 | 0.09 |
| 39 | 17.7 | 28.6 | -2.5 | 0.97 | 0.00002 | 0.37 | 0.06 |
| 32 | 7.9 | 5.86 | -2.5 | 0.9 | 0.000032 | 0.31 | 0.06 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 26: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.04 | 22.13 | 8.05 | | 8.01 | 2.45 | 0.37 |
| 553 | 7.69 | 21.71 | 7.54 | 0.42 | 7.64 | 2.41 | 0.34 |
| 548 | 7.34 | 22.04 | 7.29 | 0.09 | 7.3 | 2.39 | 0.34 |
| 540 | 7.02 | 22.06 | 6.97 | 0.08 | 6.96 | 2.39 | 0.38 |
| 528 | 6.63 | 21.73 | 6.49 | 0.41 | 6.58 | 2.35 | 0.32 |
| 520 | 6.21 | 22.13 | 6.44 | | 6.21 | 4.08 | 1.07 |
| 510 | 5.48 | 22.13 | 6.32 | | 5.14 | 2.89 | 0.21 |
| 450 | 5.14 | 22.13 | 6.05 | | 4.93 | 2.65 | 0.74 |

**Tabella 27: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata**

### 7.3.2.2 *1D - Tr200 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 32.39 | 5.37 | 8.18 | 0.004702 | 2.93 | 0.56 |
| 580 | 565.1 | 32.16 | 5.37 | 8.12 | 0.004911 | 2.97 | 0.57 |
| 575 | 555.1 | 32.39 | 3.69 | 8.39 | 0.000886 | 1.58 | 0.23 |
| 570.03 | 545.15 | 32.24 | 3.56 | 8.37 | 0.001668 | 1.59 | 0.23 |
| 570 | 545.1 | 32.23 | 3.56 | 8.37 | 0.000905 | 1.59 | 0.23 |
| 569.95 | 545.05 | 32.22 | 3.56 | 8.42 | 0.000679 | 1.27 | 0.18 |
| 560.05 | 535.15 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000414 | 0.9 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000414 | 0.9 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000413 | 0.9 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 555.03 | 525.15 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 555 | 525.1 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 550.06 | 515.2 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000536 | 1 | 0.15 |
| 550.03 | 515.15 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000536 | 1 | 0.15 |
| 550 | 515.1 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000314 | 1 | 0.15 |
| 545.03 | 505.15 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000369 | 1.06 | 0.16 |
| 545 | 505.1 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000369 | 1.06 | 0.16 |
| 544.96 | 505.05 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000368 | 1.06 | 0.16 |
| 530.03 | 481.05 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000677 | 1.1 | 0.17 |
| 530 | 481 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000536 | 1.1 | 0.17 |
| 529.97 | 480.95 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000678 | 1.1 | 0.17 |
| 525.98 | 474.49 | 24.64 | 2.95 | 6.8 | 0.000331 | 1.22 | 0.2 |
| 525.95 | 474.44 | 24.64 | 2.95 | 6.75 | 0.000619 | 1.53 | 0.25 |
| 525 | 474.39 | 24.64 | 2.95 | 6.75 | 0.00062 | 1.53 | 0.25 |
| 517.32 | 471.24 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001634 | 2.24 | 0.44 |
| 517.25 | 471.19 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 517.2 | 471.14 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 517.12 | 471.09 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 500.02 | 463.1 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001323 | 2.07 | 0.44 |
| 500.01 | 463.05 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001323 | 2.07 | 0.44 |
| 500 | 463 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001322 | 2.07 | 0.44 |
| 499.93 | 462.95 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001322 | 2.07 | 0.44 |
| 446 | 421.7 | 24.64 | 2.82 | 3.64 | 0.027559 | 6.02 | 2.12 |
| 445.9 | 420.3 | 24.64 | 2.7 | 3.21 | 0.010908 | 3.2 | 1.43 |
| 436.51 | 411 | 24.64 | 2.46 | 3.07 | 0.006441 | 2.72 | 1.12 |
| 436 | 406.4 | 24.64 | 2.45 | 3.06 | 0.006245 | 2.7 | 1.1 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 432 | 399.4 | 24.64 | 2.25 | 3 | 0.003267 | 2.2 | 0.82 |
| 424.1 | 398.7 | 24.64 | 2.09 | 3.02 | 0.001588 | 1.76 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 22.79 | -4.67 | 1.54 | 0.000005 | 0.24 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 38.53 | -4.67 | 1.53 | 0.000013 | 0.41 | 0.05 |
| 418 | 385.5 | 38.53 | -4.67 | 1.52 | 0.00004 | 0.62 | 0.08 |
| 408.57 | 385.2 | 38.53 | -4.67 | 1.52 | 0.00004 | 0.62 | 0.08 |
| 408.35 | 384.8 | 38.53 | -1.82 | 1.46 | 0.000221 | 1.17 | 0.21 |
| 408 | 384.4 | 38.53 | -1.82 | 1.46 | 0.000221 | 1.17 | 0.21 |
| 407.72 | 383.7 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 407 | 411.5 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 387.71 | 364.5 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 386.86 | 363.6 | 38.52 | -2.32 | 1.32 | 0.001063 | 2.12 | 0.35 |
| 61.15 | 40.2 | 38.72 | -2.65 | 0.95 | 0.001102 | 2.15 | 0.36 |
| 54 | 32.6 | 38.77 | -2.6 | 1.03 | 0.000065 | 0.65 | 0.11 |
| 39 | 17.7 | 38.78 | -2.5 | 1.04 | 0.000035 | 0.49 | 0.08 |
| 32 | 7.9 | 6.85 | -2.5 | 0.9 | 0.000044 | 0.36 | 0.07 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 28: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.51 | 22.2 | 8.05 | 2.44 | 8.49 | 2.46 | 0.38 |
| 553 | 8.15 | 21.06 | 7.54 | 3.58 | 8.11 | 2.33 | 0.33 |
| 548 | 7.83 | 21.65 | 7.29 | 2.99 | 7.78 | 2.34 | 0.33 |
| 540 | 7.51 | 21.64 | 6.97 | 2.99 | 7.46 | 2.34 | 0.36 |
| 528 | 7.13 | 20.73 | 6.49 | 3.91 | 7.09 | 2.24 | 0.3 |
| 520 | 6.76 | 23.58 | 6.44 | 1.06 | 6.75 | 4.34 | 1.21 |
| 510 | 5.84 | 24.64 | 6.32 | | 5.55 | 3.21 | 0.4 |
| 450 | 5.37 | 24.43 | 6.05 | 0.21 | 5.15 | 2.92 | 0.91 |

**Tabella 29: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata**

### 7.3.2.3 *1D - Tr500 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 37.75 | 5.37 | 8.19 | 0.006278 | 3.4 | 0.65 |
| 580 | 565.1 | 33.15 | 5.37 | 8.12 | 0.00531 | 3.09 | 0.6 |
| 575 | 555.1 | 39.2 | 3.69 | 8.49 | 0.001225 | 1.88 | 0.27 |
| 570.03 | 545.15 | 38.66 | 3.56 | 8.48 | 0.002276 | 1.87 | 0.27 |
| 570 | 545.1 | 38.65 | 3.56 | 8.48 | 0.001229 | 1.87 | 0.27 |
| 569.95 | 545.05 | 38.63 | 3.56 | 8.54 | 0.000915 | 1.49 | 0.21 |
| 560.05 | 535.15 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000426 | 0.92 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000425 | 0.92 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000424 | 0.92 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 555.03 | 525.15 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 555 | 525.1 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 550.06 | 515.2 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000541 | 1.01 | 0.15 |
| 550.03 | 515.15 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000541 | 1.01 | 0.15 |
| 550 | 515.1 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000314 | 1.01 | 0.15 |
| 545.03 | 505.15 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000364 | 1.07 | 0.16 |
| 545 | 505.1 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000364 | 1.07 | 0.16 |
| 544.96 | 505.05 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000363 | 1.07 | 0.16 |
| 530.03 | 481.05 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000667 | 1.1 | 0.17 |
| 530 | 481 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000525 | 1.1 | 0.17 |
| 529.97 | 480.95 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000667 | 1.1 | 0.17 |
| 525.98 | 474.49 | 26.06 | 2.95 | 7.04 | 0.000317 | 1.22 | 0.19 |
| 525.95 | 474.44 | 26.06 | 2.95 | 7 | 0.000595 | 1.52 | 0.24 |
| 525 | 474.39 | 26.06 | 2.95 | 7 | 0.000596 | 1.52 | 0.24 |
| 517.32 | 471.24 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.25 | 471.19 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.2 | 471.14 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.12 | 471.09 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001429 | 2.15 | 0.41 |
| 500.02 | 463.1 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.001261 | 2.07 | 0.42 |
| 500.01 | 463.05 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 500 | 463 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 499.93 | 462.95 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 446 | 421.7 | 26.06 | 2.82 | 3.68 | 0.026905 | 6.08 | 2.1 |
| 445.9 | 420.3 | 26.06 | 2.7 | 3.24 | 0.010248 | 3.21 | 1.39 |
| 436.51 | 411 | 26.06 | 2.46 | 3.1 | 0.006079 | 2.73 | 1.09 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 436 | 406.4 | 26.06 | 2.45 | 3.09 | 0.005895 | 2.71 | 1.08 |
| 432 | 399.4 | 26.06 | 2.25 | 3.03 | 0.003158 | 2.23 | 0.81 |
| 424.1 | 398.7 | 26.06 | 2.09 | 3.06 | 0.001577 | 1.79 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 23.04 | -4.67 | 1.7 | 0.000004 | 0.24 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 43.45 | -4.67 | 1.68 | 0.000016 | 0.46 | 0.06 |
| 418 | 385.5 | 43.45 | -4.67 | 1.67 | 0.000048 | 0.69 | 0.09 |
| 408.57 | 385.2 | 43.45 | -4.67 | 1.67 | 0.000048 | 0.69 | 0.09 |
| 408.35 | 384.8 | 43.45 | -1.82 | 1.61 | 0.00025 | 1.27 | 0.22 |
| 408 | 384.4 | 43.45 | -1.82 | 1.61 | 0.00025 | 1.27 | 0.22 |
| 407.72 | 383.7 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 407 | 411.5 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 387.71 | 364.5 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 386.86 | 363.6 | 43.43 | -2.32 | 1.43 | 0.001252 | 2.32 | 0.38 |
| 61.15 | 40.2 | 43.67 | -2.65 | 0.96 | 0.001387 | 2.42 | 0.41 |
| 54 | 32.6 | 43.75 | -2.6 | 1.06 | 0.00008 | 0.73 | 0.13 |
| 39 | 17.7 | 43.77 | -2.5 | 1.07 | 0.000043 | 0.55 | 0.09 |
| 32 | 7.9 | 6.25 | -2.5 | 0.9 | 0.000036 | 0.33 | 0.06 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 30: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.69 | 22.1 | 8.05 | 3.96 | 8.66 | 2.45 | 0.38 |
| 553 | 8.33 | 20.78 | 7.54 | 5.28 | 8.29 | 2.3 | 0.32 |
| 548 | 8.02 | 21.34 | 7.29 | 4.72 | 7.97 | 2.31 | 0.32 |
| 540 | 7.71 | 21.23 | 6.97 | 4.84 | 7.66 | 2.3 | 0.35 |
| 528 | 7.35 | 20.01 | 6.49 | 6.05 | 7.31 | 2.17 | 0.27 |
| 520 | 7.01 | 23.51 | 6.44 | 2.55 | 7 | 4.33 | 1.19 |
| 510 | 6.06 | 26.06 | 6.32 | | 5.81 | 3.4 | 0.52 |
| 450 | 5.51 | 25 | 6.05 | 1.06 | 5.29 | 2.99 | 0.95 |

**Tabella 31: Stato di Progetto 1, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata**

#### 7.3.2.4 2D - Tr200 anni

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo un estratto delle aree allagate con scenario TR200 anni dove si evidenzia l'incapacità del rio di smaltire la portata di progetto lungo l'intero tratto esaminato dando luogo a diverse tracimazioni.

In particolare valgono le considerazioni già espresse per lo scenario attuale: la messa in pressione del tratto tombato a monte dell'Aurelia determina diverse fuoriuscite idriche che vanno ad allagare la viabilità SS1 e gli edifici che si affacciano sulla stessa.

Sebbene il muro di confine dell'attuale parco ferroviario rappresenti un ostacolo alla propagazione della piena in direzione sud, la presenza di alcune discontinuità nello stesso comporta il parziale allagamento delle superfici a nord delle barriere acustiche; barriere che per come sono concepite fungono anche da barriera idraulica. Proprio per questo motivo si assiste, nello scenario di progetto, ad un peggioramento del livello idrico atteso nell'attuale parco ferroviario rispetto allo scenario attuale.

In direzione est l'esondazione si estende fino alle aree antistanti la fermata di Prà-Palmaro; tuttavia è bene precisare che la quota di imposta della fermata (le banchine sono a quota 5.95 m s.l.m., +50 cm rispetto al piazzale esterno) non viene mai raggiunta dalle tracimazioni.

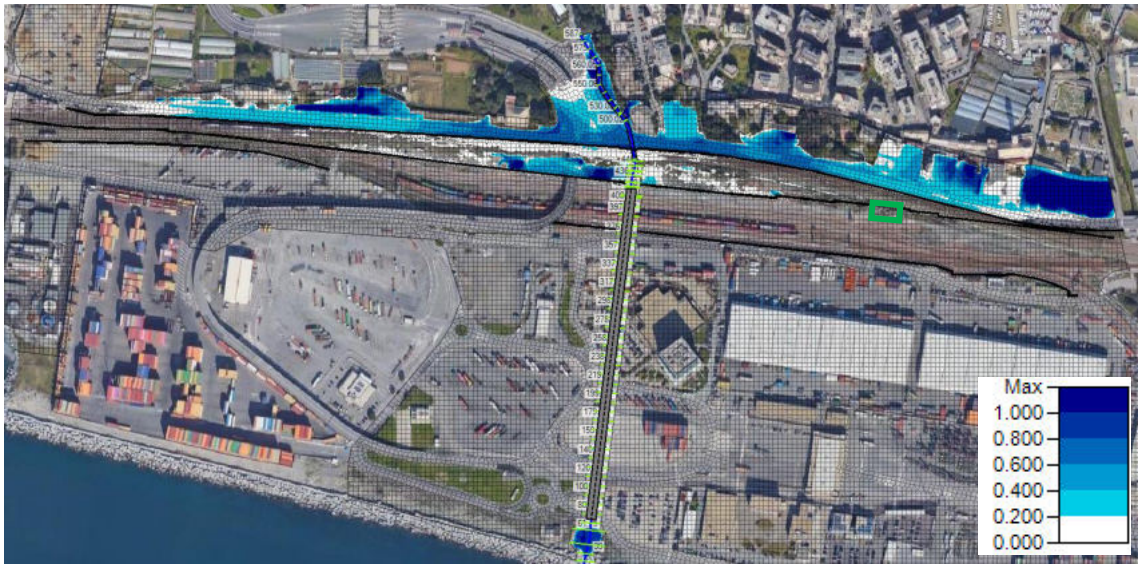



**Figura 7.8 – Stato Progetto 1, Esondazioni con un evento con tempo di ritorno di 200 anni, in verde la nuova stazione di Pra Palmaro.**

### 7.3.3 Stato Progetto – Scenario 2

Nello scenario 2 è stato eliminato, rispetto allo scenario 1, il muro di confine tra la SS1 e il parco ferroviario ad est del rio Madonnette. Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione per ogni tempo di ritorno indagato.

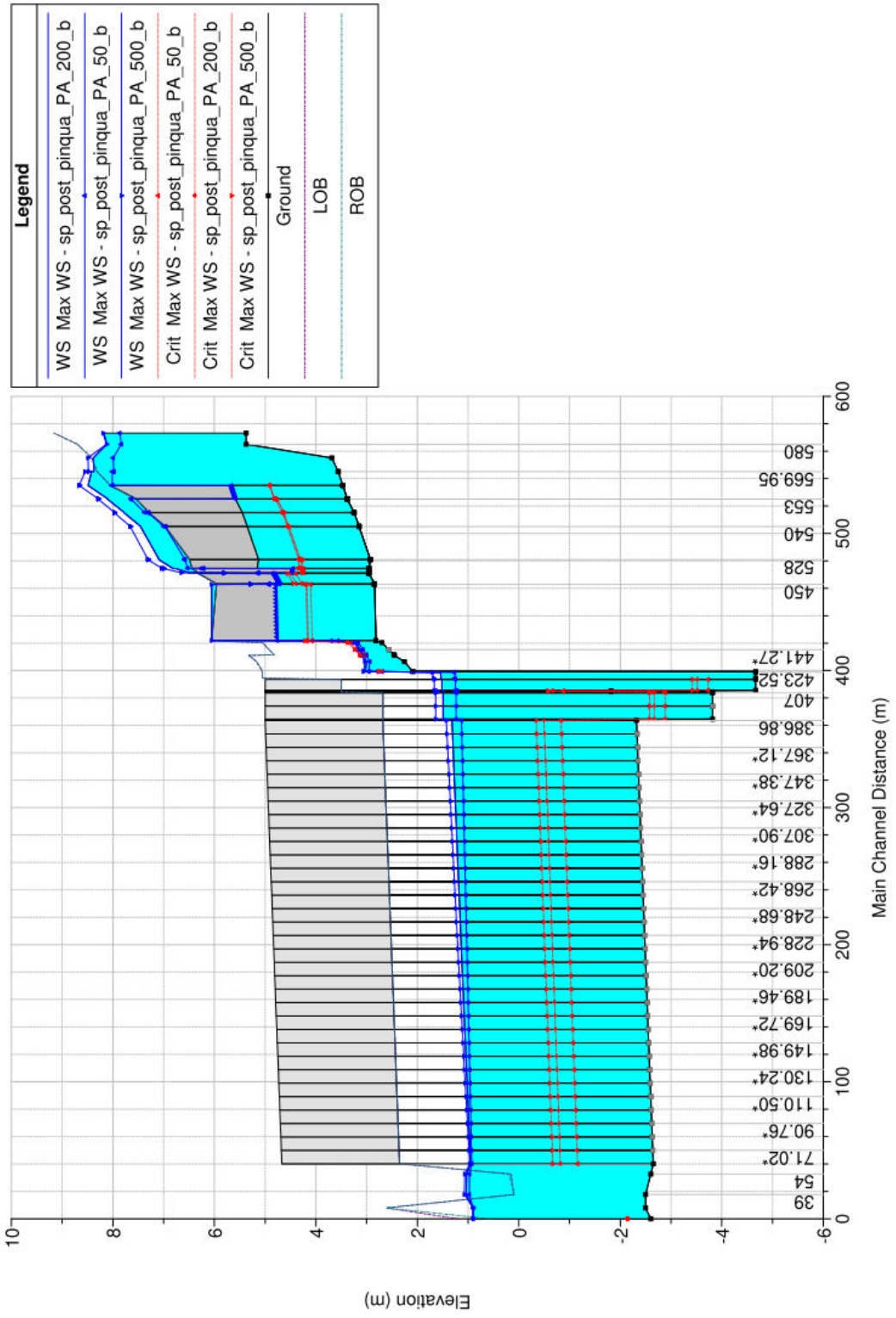

Legend
WS Max WS - sp_post_pinqua_PA_200_b
WS Max WS - sp_post_pinqua_PA_50_b
WS Max WS - sp_post_pinqua_PA_500_b
Crit Max WS - sp_post_pinqua_PA_50_b
Crit Max WS - sp_post_pinqua_PA_200_b
Crit Max WS - sp_post_pinqua_PA_500_b
Ground
LOB
ROB
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)

**Figura 7.9: Stato di Progetto 2, Andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per i diversi tempi di ritorno; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.**

### *7.3.3.1 1D - Tr50 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 22.3 | 5.37 | 7.87 | 0.003104 | 2.27 | 0.46 |
| 580 | 565.1 | 22.3 | 5.37 | 7.83 | 0.003219 | 2.3 | 0.47 |
| 575 | 555.1 | 22.3 | 3.69 | 7.99 | 0.000531 | 1.19 | 0.18 |
| 570.03 | 545.15 | 22.3 | 3.56 | 7.98 | 0.000978 | 1.2 | 0.18 |
| 570 | 545.1 | 22.3 | 3.56 | 7.98 | 0.000542 | 1.2 | 0.18 |
| 569.95 | 545.05 | 22.3 | 3.56 | 8.01 | 0.000408 | 0.96 | 0.15 |
| 560.05 | 535.15 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000428 | 0.89 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000427 | 0.89 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 22.13 | 3.47 | 8.01 | 0.000426 | 0.89 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 555.03 | 525.15 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 555 | 525.1 | 22.13 | 3.38 | 7.64 | 0.000311 | 0.97 | 0.15 |
| 550.06 | 515.2 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000575 | 1.01 | 0.16 |
| 550.03 | 515.15 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000575 | 1 | 0.16 |
| 550 | 515.1 | 22.13 | 3.25 | 7.3 | 0.000346 | 1 | 0.16 |
| 545.03 | 505.15 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 545 | 505.1 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 544.96 | 505.05 | 22.13 | 3.15 | 6.96 | 0.000418 | 1.08 | 0.18 |
| 530.03 | 481.05 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000762 | 1.12 | 0.19 |
| 530 | 481 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000611 | 1.12 | 0.19 |
| 529.97 | 480.95 | 22.13 | 2.93 | 6.58 | 0.000762 | 1.12 | 0.19 |
| 525.98 | 474.49 | 22.13 | 2.95 | 6.26 | 0.000392 | 1.28 | 0.22 |
| 525.95 | 474.44 | 22.13 | 2.95 | 6.21 | 0.000733 | 1.6 | 0.28 |
| 525 | 474.39 | 22.13 | 2.95 | 6.21 | 0.000734 | 1.6 | 0.28 |
| 517.32 | 471.24 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002067 | 2.39 | 0.52 |
| 517.25 | 471.19 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002068 | 2.39 | 0.52 |
| 517.2 | 471.14 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002069 | 2.39 | 0.52 |
| 517.12 | 471.09 | 22.13 | 2.95 | 5.14 | 0.002069 | 2.39 | 0.52 |
| 500.02 | 463.1 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.00141 | 2.06 | 0.46 |
| 500.01 | 463.05 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 500 | 463 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 499.93 | 462.95 | 22.13 | 2.84 | 4.93 | 0.001409 | 2.06 | 0.46 |
| 446 | 421.7 | 22.13 | 2.82 | 3.57 | 0.02894 | 5.9 | 2.17 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 445.9 | 420.3 | 22.13 | 2.7 | 3.16 | 0.012258 | 3.18 | 1.49 |
| 436.51 | 411 | 22.13 | 2.46 | 3.01 | 0.007219 | 2.71 | 1.17 |
| 436 | 406.4 | 22.13 | 2.45 | 3 | 0.006988 | 2.68 | 1.15 |
| 432 | 399.4 | 22.13 | 2.25 | 2.94 | 0.003495 | 2.16 | 0.84 |
| 424.1 | 398.7 | 22.13 | 2.09 | 2.96 | 0.001609 | 1.7 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 20.51 | -4.67 | 1.27 | 0.000004 | 0.23 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 28.5 | -4.67 | 1.26 | 0.000008 | 0.32 | 0.04 |
| 418 | 385.5 | 28.5 | -4.67 | 1.25 | 0.000025 | 0.48 | 0.06 |
| 408.57 | 385.2 | 28.5 | -4.67 | 1.25 | 0.000025 | 0.48 | 0.06 |
| 408.35 | 384.8 | 28.5 | -1.82 | 1.22 | 0.000151 | 0.94 | 0.17 |
| 408 | 384.4 | 28.5 | -1.82 | 1.22 | 0.000151 | 0.94 | 0.17 |
| 407.72 | 383.7 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 407 | 411.5 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 387.71 | 364.5 | 28.5 | -3.82 | 1.24 | 0.000037 | 0.56 | 0.08 |
| 386.86 | 363.6 | 28.5 | -2.32 | 1.13 | 0.000665 | 1.65 | 0.28 |
| 61.15 | 40.2 | 28.56 | -2.65 | 0.93 | 0.00061 | 1.6 | 0.27 |
| 54 | 32.6 | 28.6 | -2.6 | 0.97 | 0.000038 | 0.49 | 0.09 |
| 39 | 17.7 | 28.6 | -2.5 | 0.97 | 0.00002 | 0.37 | 0.06 |
| 32 | 7.9 | 5.86 | -2.5 | 0.9 | 0.000032 | 0.31 | 0.06 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 32: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.04 | 22.13 | 8.05 | | 8.01 | 2.45 | 0.37 |
| 553 | 7.69 | 21.71 | 7.54 | 0.42 | 7.64 | 2.41 | 0.34 |
| 548 | 7.34 | 22.04 | 7.29 | 0.09 | 7.3 | 2.39 | 0.34 |
| 540 | 7.02 | 22.05 | 6.97 | 0.08 | 6.96 | 2.39 | 0.38 |
| 528 | 6.63 | 21.73 | 6.49 | 0.41 | 6.58 | 2.35 | 0.32 |
| 520 | 6.21 | 22.13 | 6.44 | | 6.21 | 4.08 | 1.07 |
| 510 | 5.48 | 22.13 | 6.32 | | 5.14 | 2.89 | 0.21 |
| 450 | 5.14 | -22.13 | 6.05 | | 4.93 | -2.65 | 0.74 |

**Tabella 33: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito**

**all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata**

### 7.3.3.2 *1D - Tr200 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 32.39 | 5.37 | 8.18 | 0.004703 | 2.93 | 0.56 |
| 580 | 565.1 | 32.16 | 5.37 | 8.12 | 0.00491 | 2.97 | 0.57 |
| 575 | 555.1 | 32.39 | 3.69 | 8.39 | 0.000886 | 1.58 | 0.23 |
| 570.03 | 545.15 | 32.24 | 3.56 | 8.37 | 0.001668 | 1.59 | 0.23 |
| 570 | 545.1 | 32.23 | 3.56 | 8.37 | 0.000905 | 1.59 | 0.23 |
| 569.95 | 545.05 | 32.22 | 3.56 | 8.42 | 0.000679 | 1.27 | 0.18 |
| 560.05 | 535.15 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000414 | 0.9 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000414 | 0.9 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 24.64 | 3.47 | 8.49 | 0.000413 | 0.9 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 555.03 | 525.15 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 555 | 525.1 | 24.64 | 3.38 | 8.11 | 0.000289 | 0.97 | 0.14 |
| 550.06 | 515.2 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000536 | 1 | 0.15 |
| 550.03 | 515.15 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000536 | 1 | 0.15 |
| 550 | 515.1 | 24.64 | 3.25 | 7.78 | 0.000314 | 1 | 0.15 |
| 545.03 | 505.15 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000369 | 1.06 | 0.16 |
| 545 | 505.1 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000369 | 1.06 | 0.16 |
| 544.96 | 505.05 | 24.64 | 3.15 | 7.46 | 0.000368 | 1.06 | 0.16 |
| 530.03 | 481.05 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000677 | 1.1 | 0.17 |
| 530 | 481 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000536 | 1.1 | 0.17 |
| 529.97 | 480.95 | 24.64 | 2.93 | 7.09 | 0.000678 | 1.1 | 0.17 |
| 525.98 | 474.49 | 24.64 | 2.95 | 6.8 | 0.000331 | 1.22 | 0.2 |
| 525.95 | 474.44 | 24.64 | 2.95 | 6.75 | 0.000619 | 1.53 | 0.25 |
| 525 | 474.39 | 24.64 | 2.95 | 6.75 | 0.00062 | 1.53 | 0.25 |
| 517.32 | 471.24 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001634 | 2.24 | 0.44 |
| 517.25 | 471.19 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 517.2 | 471.14 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 517.12 | 471.09 | 24.64 | 2.95 | 5.55 | 0.001635 | 2.24 | 0.44 |
| 500.02 | 463.1 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001323 | 2.07 | 0.44 |
| 500.01 | 463.05 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001323 | 2.07 | 0.44 |
| 500 | 463 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001322 | 2.07 | 0.44 |
| 499.93 | 462.95 | 24.64 | 2.84 | 5.15 | 0.001322 | 2.07 | 0.44 |
| 446 | 421.7 | 24.64 | 2.82 | 3.64 | 0.027559 | 6.02 | 2.12 |
| 445.9 | 420.3 | 24.64 | 2.7 | 3.21 | 0.010908 | 3.2 | 1.43 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 436.51 | 411 | 24.64 | 2.46 | 3.07 | 0.006441 | 2.72 | 1.12 |
| 436 | 406.4 | 24.64 | 2.45 | 3.06 | 0.006245 | 2.7 | 1.1 |
| 432 | 399.4 | 24.64 | 2.25 | 3 | 0.003267 | 2.2 | 0.82 |
| 424.1 | 398.7 | 24.64 | 2.09 | 3.02 | 0.001588 | 1.76 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 22.79 | -4.67 | 1.54 | 0.000005 | 0.24 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 38.53 | -4.67 | 1.53 | 0.000013 | 0.41 | 0.05 |
| 418 | 385.5 | 38.53 | -4.67 | 1.52 | 0.00004 | 0.62 | 0.08 |
| 408.57 | 385.2 | 38.53 | -4.67 | 1.52 | 0.00004 | 0.62 | 0.08 |
| 408.35 | 384.8 | 38.53 | -1.82 | 1.46 | 0.000221 | 1.17 | 0.21 |
| 408 | 384.4 | 38.53 | -1.82 | 1.46 | 0.000221 | 1.17 | 0.21 |
| 407.72 | 383.7 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 407 | 411.5 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 387.71 | 364.5 | 38.53 | -3.82 | 1.49 | 0.00006 | 0.73 | 0.1 |
| 386.86 | 363.6 | 38.52 | -2.32 | 1.32 | 0.001063 | 2.12 | 0.35 |
| 61.15 | 40.2 | 38.72 | -2.65 | 0.95 | 0.001102 | 2.15 | 0.36 |
| 54 | 32.6 | 38.77 | -2.6 | 1.03 | 0.000065 | 0.65 | 0.11 |
| 39 | 17.7 | 38.78 | -2.5 | 1.04 | 0.000035 | 0.49 | 0.08 |
| 32 | 7.9 | 6.85 | -2.5 | 0.9 | 0.000044 | 0.36 | 0.07 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 34: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

**dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [$m^3/s$] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [$m^3/s$] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.51 | 22.2 | 8.05 | 2.44 | 8.49 | 2.46 | 0.38 |
| 553 | 8.15 | 21.06 | 7.54 | 3.58 | 8.11 | 2.33 | 0.33 |
| 548 | 7.83 | 21.65 | 7.29 | 2.99 | 7.78 | 2.34 | 0.33 |
| 540 | 7.51 | 21.64 | 6.97 | 2.99 | 7.46 | 2.34 | 0.36 |
| 528 | 7.13 | 20.73 | 6.49 | 3.91 | 7.09 | 2.24 | 0.3 |
| 520 | 6.76 | 23.58 | 6.44 | 1.06 | 6.75 | 4.34 | 1.21 |
| 510 | 5.84 | 24.64 | 6.32 | | 5.55 | 3.21 | 0.4 |
| 450 | 5.37 | 24.43 | 6.05 | 0.21 | 5.15 | 2.92 | 0.91 |

**Tabella 35: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito**

**all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata**

### 7.3.3.3 *1D - Tr500 anni*

| River Station [num] | Cum Ch Len [m] | Q [m3/s] | Min Ch El [m s.l.m.] | W.S. Elev [m s.l.m.] | E.G. Slope [m/m] | Vel Chnl [m/s] | Froude |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 587 | 573.1 | 37.75 | 5.37 | 8.2 | 0.00627 | 3.4 | 0.65 |
| 580 | 565.1 | 33.15 | 5.37 | 8.12 | 0.005194 | 3.06 | 0.59 |
| 575 | 555.1 | 39.2 | 3.69 | 8.49 | 0.001225 | 1.88 | 0.27 |
| 570.03 | 545.15 | 38.66 | 3.56 | 8.48 | 0.002276 | 1.87 | 0.27 |
| 570 | 545.1 | 38.65 | 3.56 | 8.48 | 0.001229 | 1.87 | 0.27 |
| 569.95 | 545.05 | 38.63 | 3.56 | 8.54 | 0.000915 | 1.49 | 0.21 |
| 560.05 | 535.15 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000426 | 0.92 | 0.13 |
| 560 | 535.1 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000425 | 0.92 | 0.13 |
| 559.98 | 535.05 | 26.06 | 3.47 | 8.66 | 0.000424 | 0.92 | 0.13 |
| 555.06 | 525.2 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 555.03 | 525.15 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 555 | 525.1 | 26.06 | 3.38 | 8.29 | 0.000292 | 0.99 | 0.14 |
| 550.06 | 515.2 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000541 | 1.01 | 0.15 |
| 550.03 | 515.15 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000541 | 1.01 | 0.15 |
| 550 | 515.1 | 26.06 | 3.25 | 7.97 | 0.000314 | 1.01 | 0.15 |
| 545.03 | 505.15 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000364 | 1.07 | 0.16 |
| 545 | 505.1 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000364 | 1.07 | 0.16 |
| 544.96 | 505.05 | 26.06 | 3.15 | 7.66 | 0.000363 | 1.07 | 0.16 |
| 530.03 | 481.05 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000667 | 1.1 | 0.17 |
| 530 | 481 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000525 | 1.1 | 0.17 |
| 529.97 | 480.95 | 26.06 | 2.93 | 7.31 | 0.000667 | 1.1 | 0.17 |
| 525.98 | 474.49 | 26.06 | 2.95 | 7.04 | 0.000317 | 1.22 | 0.19 |
| 525.95 | 474.44 | 26.06 | 2.95 | 7 | 0.000595 | 1.52 | 0.24 |
| 525 | 474.39 | 26.06 | 2.95 | 7 | 0.000596 | 1.52 | 0.24 |
| 517.32 | 471.24 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.25 | 471.19 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.2 | 471.14 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001428 | 2.15 | 0.41 |
| 517.12 | 471.09 | 26.06 | 2.95 | 5.81 | 0.001429 | 2.15 | 0.41 |
| 500.02 | 463.1 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.001261 | 2.07 | 0.42 |
| 500.01 | 463.05 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 500 | 463 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 499.93 | 462.95 | 26.06 | 2.84 | 5.29 | 0.00126 | 2.07 | 0.42 |
| 446 | 421.7 | 26.06 | 2.82 | 3.68 | 0.026905 | 6.08 | 2.1 |
| 445.9 | 420.3 | 26.06 | 2.7 | 3.24 | 0.010248 | 3.21 | 1.39 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 436.51 | 411 | 26.06 | 2.46 | 3.1 | 0.006079 | 2.73 | 1.09 |
| 436 | 406.4 | 26.06 | 2.45 | 3.09 | 0.005895 | 2.71 | 1.08 |
| 432 | 399.4 | 26.06 | 2.25 | 3.03 | 0.003158 | 2.23 | 0.81 |
| 424.1 | 398.7 | 26.06 | 2.09 | 3.06 | 0.001577 | 1.79 | 0.58 |
| 423.52 | 394.4 | 23.04 | -4.67 | 1.7 | 0.000004 | 0.24 | 0.03 |
| 419 | 393.5 | 43.45 | -4.67 | 1.68 | 0.000016 | 0.46 | 0.06 |
| 418 | 385.5 | 43.45 | -4.67 | 1.67 | 0.000048 | 0.69 | 0.09 |
| 408.57 | 385.2 | 43.45 | -4.67 | 1.67 | 0.000048 | 0.69 | 0.09 |
| 408.35 | 384.8 | 43.45 | -1.82 | 1.61 | 0.00025 | 1.27 | 0.22 |
| 408 | 384.4 | 43.45 | -1.82 | 1.61 | 0.00025 | 1.27 | 0.22 |
| 407.72 | 383.7 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 407 | 411.5 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 387.71 | 364.5 | 43.45 | -3.82 | 1.64 | 0.000071 | 0.8 | 0.11 |
| 386.86 | 363.6 | 43.43 | -2.32 | 1.43 | 0.001252 | 2.32 | 0.38 |
| 61.15 | 40.2 | 43.67 | -2.65 | 0.96 | 0.001387 | 2.42 | 0.41 |
| 54 | 32.6 | 43.75 | -2.6 | 1.06 | 0.00008 | 0.73 | 0.13 |
| 39 | 17.7 | 43.77 | -2.5 | 1.07 | 0.000043 | 0.55 | 0.09 |
| 32 | 7.9 | 6.25 | -2.5 | 0.9 | 0.000036 | 0.33 | 0.06 |
| 22 | | 5 | -2.6 | 0.9 | 0.000017 | 0.24 | 0.04 |

**Tabella 36: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.**

| River Station [num] | E.G. US. [m] | Q [m$^3$/s] | Min El Weir Flow [m s.l.m.] | Q weir [m$^3$/s] | W.S. US. [m s.l.m.] | Vel US [m/s] | Delta WS [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 557 | 8.69 | 22.1 | 8.05 | 3.96 | 8.66 | 2.45 | 0.38 |
| 553 | 8.33 | 20.78 | 7.54 | 5.28 | 8.29 | 2.3 | 0.32 |
| 548 | 8.02 | 21.34 | 7.29 | 4.72 | 7.97 | 2.31 | 0.32 |
| 540 | 7.71 | 21.23 | 6.97 | 4.83 | 7.66 | 2.3 | 0.35 |
| 528 | 7.35 | 20.01 | 6.49 | 6.05 | 7.31 | 2.17 | 0.27 |
| 520 | 7.01 | 23.51 | 6.44 | 2.55 | 7 | 4.33 | 1.19 |
| 510 | 6.06 | 26.06 | 6.32 | | 5.81 | 3.4 | 0.52 |
| 450 | 5.51 | 25 | 6.05 | 1.06 | 5.29 | 2.99 | 0.95 |

**Tabella 37: Stato di Progetto 2, Grandezze idrodinamiche dei tratti tombati per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; EG US=pendenza della linea dell'energia a monte della sezione; Q=portata in transito all'interno del tratto tombato; Min El Weir Flow= altezza al di sopra della quale avviene lo sfioro, Qweir=portata sfiorata**

### *7.3.3.4 2D - Tr200 anni*

Si riporta di seguito a titolo esemplificativo un estratto delle aree allagate con scenario TR200 anni dove si evidenzia l'incapacità del rio di smaltire la portata di progetto lungo l'intero tratto esaminato dando luogo a diverse tracimazioni.

Rispetto allo scenario di progetto 1, la rimozione dell'attuale muro di confine del parco ferroviario sul lato sud della via Aurelia determina il consistente allagamento del sedime interessato dalla realizzazione del parco Pinqua.

Le barriere acustiche in progetto costituiscono anche in questo caso un ostacolo alla propagazione delle piene in direzione sud, ossia all'interno del nuovo parco ferroviario. Proprio per questo motivo si assiste, nello scenario di progetto, ad un peggioramento del livello idrico atteso nell'attuale parco ferroviario rispetto allo scenario attuale.

Sebbene le tracimazioni raggiungono le aree antistanti la fermata di Pra-Palmaro, è bene precisare che la quota di imposta della fermata (le banchine sono a quota 5.95 m s.l.m., +50 cm rispetto al piazzale esterno) non viene mai raggiunta dalle tracimazioni.




**Figura 7.10 – Stato Progetto 2, Esondazioni con un evento con tempo di ritorno di 200 anni, in verde la nuova stazione di Pra Palmaro.**

### *7.3.4 Considerazioni conclusive*

La modellazione idraulica dello stato attuale evidenzia le problematiche di messa in pressione delle tombinature del rio Madonnette a monte dell'Aurelia, già rilevate negli studi precedenti. Le conseguenti tracimazioni portano all'allagamento di ampie porzioni della viabilità e degli edifici circostanti.

Nello stato attuale il muro di confine esistente a lato della via Aurelia permette di contenere le tracimazioni all'interno del parco ferroviario.

Gli scenari di progetto propongono l'allargamento delle sezioni comprese tra l'attuale linea ferroviaria e la vasca presente sul rio per mezzo di un canale ad U in cls e la realizzazione delle barriere acustiche.

Queste ultime, grazie alla riprofilatura del terreno e la muratura di sostegno in c.a., hanno una rilevante funzione di contenimento delle piene al di fuori del parco ferroviario.

Preme evidenziare che lo scenario 2 è caratterizzato dalla realizzazione del parco Pinqua, ossia dalla demolizione del muro di delimitazione della SS1 ad est del rio Madonette; questo va ad incidere sui livelli idrici attesi e sull'estensione delle aree allagabili all'interno del futuro parco Pinqua.

Se le barriere acustiche determinano da una parte il contenimento dei flussi idrici in direzione mare, dall'altra sono responsabili dell'innalzamento dei livelli idrici della zona dell'attuale parco ferroviario.

A tal proposito è stata valutata, a valle degli esiti della modellazione idraulica sopra illustrata, la possibilità di smaltire il volume idrico accumulato nella piana alluvionale nel rio Madonnette, in corrispondenza del tratto a cielo aperto oggetto di intervento di sistemazione. In particolare si prevede di realizzare:

- Una canaletta in cls 70x70 cm, lunga 100 m con pendenza del fondo dello 0.5%, in sinistra idrografica che scarica poco a monte delle barriere acustiche nel rio Madonnette ad una quota superiore a quella relativa a Tr200 anni;
- Una canaletta in cls 50x50 cm, lunga 60 m con pendenza del fondo dell'1.8%, in destra idrografica che scarica poco a monte delle barriere acustiche nel rio Madonnette ad una quota superiore a quella relativa a Tr200 anni.

Sebbene le canalizzazioni qui proposte siano considerate all'interno del progetto definitivo occorre precisare che non è stata verificata la loro efficacia idraulica mediante modellazione 1D+2D; efficacia che viene demandata alla successiva fase di progettazione.

Al momento, si è valutata la capacità di smaltimento dei due manufatti, canaletta 70x70 e 50x50, mediante la formula di moto uniforme, rispettivamente pari a 836 l/s e 651 l/s.

*7.3.4.1 Valutazioni sugli interventi in progetto*

Per quanto sopra esposto i possono trarre le seguenti conclusioni in merito alle scelte progettuali effettuate:

1. La riprofilatura della sezione di deflusso nel tratto a cielo aperto del rio Madonnette a monte della vasca 10x15m non incide direttamente sul profilo di moto del rio, ma piuttosto sulle eventuali possibili soluzioni future di riprofilatura delle tombinature da parte degli enti territoriali;
2. La realizzazione delle barriere acustiche sormontate a murature di sostegno in c.a., nonché l'annessa riprofilatura del terreno risponde a molteplici esigenze:
    a. acustica: contenere la propagazione delle emissioni sonore al di fuori del parco ferroviario;
    b. idraulica: scongiurare la propagazione delle piene all'interno del parco ferroviario. L'inondazione andrà ad interessare la viabilità SS1 e le aree attigue, nonché il futuro parco Pinqua.
3. La nuova configurazione del rio non porta ad una modifica della lunghezza dei tratti tombati;
4. La realizzazione delle due canalette in cls parallele alla barriera acustica, di sezione 70x70 e 50x50 rispettivamente in destra e in sinistra idrografica, concorre alla reimissione delle acque di una eventuale esondazione del rio Madonnette all'interno dello stesso presso la zona di intervento descritta al punto 1.

# 8. COMPATIBILITÁ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

## 8.1 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto

A partire dalle portate di piena del rio Madonnette per diversi tempi di ritorno, secondo quanto illustrato nel paragrafo 6.4.2, è stato implementato un modello idraulico accoppiato 1D+2D a moto vario nello scenario attuale e negli scenari di progetto.

Nello scenario attuale sono state poste in evidenza le criticità idrauliche del corso d'acqua, che costituiscono la traccia per l'individuazione degli interventi di sistemazione idraulica da porre in atto per consentire il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni senza che si verifichino tracimazioni arginali.

Gli interventi di sistemazione idraulica del rio Madonnette hanno previsto:

- l'allargamento della sezione di deflusso ed il rifacimento del fondo per un tratto di lunghezza 24.2 m compreso tra la linea ferroviaria e la vasca 10x15m, mediante riprofilatura della sezione di deflusso a U, di larghezza 14.90 m e di altezza delle sponde variabile tra 3.85 e 4.50m

I muri di sostegno delle barriere acustiche e la contestuale riprofilatura del terreno costituiscono una efficace barriera alla propagazione delle piene in direzione sud.

Lo scenario di progetto 1 rappresenta la verifica idraulica delle soluzioni tecniche adottate, mentre lo scenario di progetto 2 considera la demolizione del muro di confine lato Aurelia, posto ad est del rio Madonnette, nell'ambito dei lavori di realizzazione del parco PINQUA.

Dato che gli interventi in esame non hanno alcuna azione diretta sulle future previsioni progettuali del comune di Genova per la riqualificazione dell'area compresa tra la SS1 e il parco ferroviario, lo scenario 2 viene implementato per mostrare cosa avviene alle aree allagabili in seguito alla rimozione del muro di confine a lato dell'Aurelia.

La modellazione idraulica ha evidenziato l'assenza di tracimazioni arginali per un evento bicentenario all'interno del nuovo parco ferroviario.

Inoltre, come viene mostrato in precedenza, gli interventi in progetto non hanno rilevanti effetti sul profilo idraulico del rio, mentre risultano determinanti nel contenimento delle tracimazioni nella piana alluvionale.

Negli scenari di progetto il parco ferroviario non è interessato dalla inondazioni del rio Madonnette; pertanto, si può affermare che gli interventi in progetto (scenario 1) sono compatibili dal punto di vista idraulico, in quanto:

- Migliorano la situazione esistente, mettendo in sicurezza idraulica il parco ferroviario
- Rispettano la normativa vigente in materia di progettazione di opere idrauliche

In maniera del tutto analoga si evidenzia che gli interventi sul rio Madonnette, previsti nell'ambito del presente documento a valle del rilevato ferroviario Genova-Ventimiglia, non hanno ripercussioni negative sullo scenario 2.

Tuttavia va rimarcato che, in entrambi gli scenari di progetto, si è osservato un peggioramento dei livelli idrici rispetto allo scenario attuale nella zona interclusa tra la via Aurelia e le future barriere acustiche. Al fine di favorire il riflusso delle acque nel rio Madonnette presso la zona a cielo aperto è stata prevista la realizzazione di due canalette di drenaggio in cls in destra e in sinistra idrografica.

Dato che la demolizione del muro lato Aurelia, contestuale alla realizzazione del parco Pinqua, comporta l'allagamento dello stesso per piene con Tr200 anni, ne deriva che il superamento della incompatibilità idraulica del progetto del parco dovrà necessariamente passare dalla sistemazione idraulica del rio nel tratto tombato a monte del rilevato ferroviario Genova-Ventimiglia.

### *8.1.1 Franchi idraulici*

Le **NTC2018** prevedono che con riferimento alla portata calcolata con tempo di ritorno duecentennale, nel caso di funzionamento a superficie libera di un tratto tombinato, il **tirante idrico non deve superare i 2/3 dell'altezza della sezione**, garantendo comunque un **franco di 0.50 m**.

Per quanto concerne il **Manuale di Progettazione RFI**, vista la presenza di un attraversamento secondario viene richiesto che la sezione di deflusso del tombino sia in grado di smaltire la portata con un **grado di riempimento non superiore al 70%** della sezione totale.

Infine, il **Regolamento Regionale n.03/2011 (R.R. 03/2011)** stabilisce che tutte le opere devono avere **franchi** adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale, portata di riferimento per la progettazione di opere idrauliche od opere interferenti con l'alveo e pertanto **non inferiori, al massimo tra i valori a) o b) indicati nella tabella seguente**.

| Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b) | | | |
|---|---|---|---|
| | | Reticolo principale e secondario | Reticolo minore |
| (a) | | $U^2/2g$, | $0,5\ U^2/2g$, |
| (b) | I) argini e difese spondali | cm. 50/100 | cm 50 |
| | II) ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12 | cm. 100/150 | cm 75 |
| | III) coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12 | cm. 150/200 | cm 100 |

**Tabella 38: Criteri di valutazione del franco idraulico per la R.R.03/2011**

Viste le definizioni il rio Madonnette rientra nel reticolo idrografico minore avendo un bacino di superficie inferiore a 1 km$^2$, il valore minimo del franco è di **100 cm**.

Tra le tre normative, quella maggiormente stringente risulta essere la R.R.03/2011 che, dal confronto riportato in Tabella 39 e Tabella 40 tra la quota raggiunta dalla superficie libera e la quota di intradosso della tombinatura, è rispettata.

Si riportano di seguito le valutazioni effettuate in merito alla capacità di smaltimento e al rispetto dei franchi idraulici per il tratto tombato a valle della vasca, che potrebbe, in linea teorica, risentire degli effetti della sistemazione idraulica; mentre nel tratto a monte della ferrovia, che non è soggetto di nessun intervento di sistemazione idraulica, il franco idraulico non è quasi mai rispettato.

#### *8.1.1.1 Stato Attuale*

| | | Tr 50 anni | Tr 200 anni | Tr 500 anni |
|---|---|---|---|---|
| River Station [num] | Intradosso [m s.l.m.] | ΔIntradosso [m] | ΔIntradosso [m] | ΔIntradosso [m] |
| 418 | 3.33 | 2.07 | 1.82 | 1.68 |
| 408.57 | 3.33 | 2.07 | 1.82 | 1.68 |
| 408.35 | 2.68 | 1.45 | 1.22 | 1.09 |
| 408 | 2.68 | 1.45 | 1.22 | 1.09 |
| 407.72 | 2.68 | 1.43 | 1.19 | 1.05 |
| 407 | 2.68 | 1.43 | 1.19 | 1.05 |
| 397.36* | 2.68 | 1.43 | 1.2 | 1.06 |
| 387.71 | 2.68 | 1.43 | 1.2 | 1.06 |
| 386.86 | 2.68 | 1.54 | 1.37 | 1.26 |
| 376.99* | 2.67 | 1.53 | 1.37 | 1.26 |
| 367.12* | 2.66 | 1.53 | 1.37 | 1.27 |
| 357.25* | 2.65 | 1.53 | 1.37 | 1.27 |
| 347.38* | 2.64 | 1.52 | 1.37 | 1.27 |
| 337.51* | 2.63 | 1.52 | 1.37 | 1.27 |
| 327.64* | 2.62 | 1.52 | 1.37 | 1.28 |
| 317.77* | 2.61 | 1.51 | 1.37 | 1.28 |
| 307.90* | 2.6 | 1.51 | 1.37 | 1.28 |
| 298.03* | 2.59 | 1.51 | 1.37 | 1.29 |
| 288.16* | 2.58 | 1.5 | 1.37 | 1.29 |
| 278.29* | 2.57 | 1.5 | 1.37 | 1.29 |
| 268.42* | 2.56 | 1.5 | 1.37 | 1.3 |
| 258.55* | 2.55 | 1.49 | 1.37 | 1.3 |
| 248.68* | 2.54 | 1.49 | 1.37 | 1.3 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 238.81* | 2.53 | 1.49 | 1.38 | 1.31 |
| 228.94* | 2.52 | 1.48 | 1.38 | 1.31 |
| 219.07* | 2.51 | 1.48 | 1.38 | 1.31 |
| 209.20* | 2.5 | 1.47 | 1.38 | 1.32 |
| 199.33* | 2.49 | 1.47 | 1.38 | 1.32 |
| 189.46* | 2.48 | 1.47 | 1.38 | 1.33 |
| 179.59* | 2.47 | 1.46 | 1.38 | 1.33 |
| 169.72* | 2.46 | 1.46 | 1.38 | 1.33 |
| 159.85* | 2.45 | 1.46 | 1.39 | 1.34 |
| 149.98* | 2.44 | 1.45 | 1.39 | 1.34 |
| 140.11* | 2.43 | 1.45 | 1.39 | 1.35 |
| 130.24* | 2.42 | 1.45 | 1.39 | 1.35 |
| 120.37* | 2.41 | 1.44 | 1.39 | 1.36 |
| 110.50* | 2.4 | 1.44 | 1.39 | 1.36 |
| 100.63* | 2.39 | 1.44 | 1.39 | 1.37 |
| 90.76* | 2.38 | 1.43 | 1.4 | 1.37 |
| 80.89* | 2.37 | 1.43 | 1.4 | 1.38 |
| 71.02* | 2.36 | 1.43 | 1.4 | 1.38 |
| 61.15 | 2.35 | 1.42 | 1.4 | 1.39 |

**Tabella 39: Stato Attuale, Franchi arginali per i diversi tempi di ritorno per il tratto tombato a valle della vasca.**

### *8.1.1.2 Stato di Progetto – scenario 1*

| | | Tr 50 anni | Tr 200 anni | Tr 500 anni |
|---|---|---|---|---|
| River Station [num] | Intradosso [m s.l.m.] | ΔIntradosso [m] | ΔIntradosso [m] | ΔIntradosso [m] |
| 418 | 3.33 | 2.08 | 1.81 | 1.66 |
| 408.57 | 3.33 | 2.08 | 1.81 | 1.66 |
| 408.35 | 2.68 | 1.46 | 1.22 | 1.07 |
| 408 | 2.68 | 1.46 | 1.22 | 1.07 |
| 407.72 | 2.68 | 1.44 | 1.19 | 1.04 |
| 407 | 2.68 | 1.44 | 1.19 | 1.04 |
| 397.36* | 2.68 | 1.44 | 1.19 | 1.04 |
| 387.71 | 2.68 | 1.44 | 1.19 | 1.04 |
| 386.86 | 2.68 | 1.55 | 1.36 | 1.25 |
| 376.99* | 2.67 | 1.55 | 1.36 | 1.26 |
| 367.12* | 2.66 | 1.54 | 1.36 | 1.26 |
| 357.25* | 2.65 | 1.54 | 1.37 | 1.26 |
| 347.38* | 2.64 | 1.54 | 1.37 | 1.26 |
| 337.51* | 2.63 | 1.53 | 1.37 | 1.27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 327.64* | 2.62 | 1.53 | 1.37 | 1.27 |
| 317.77* | 2.61 | 1.52 | 1.37 | 1.27 |
| 307.90* | 2.6 | 1.52 | 1.37 | 1.28 |
| 298.03* | 2.59 | 1.52 | 1.37 | 1.28 |
| 288.16* | 2.58 | 1.51 | 1.37 | 1.28 |
| 278.29* | 2.57 | 1.51 | 1.37 | 1.29 |
| 268.42* | 2.56 | 1.51 | 1.37 | 1.29 |
| 258.55* | 2.55 | 1.5 | 1.37 | 1.3 |
| 248.68* | 2.54 | 1.5 | 1.38 | 1.3 |
| 238.81* | 2.53 | 1.49 | 1.38 | 1.3 |
| 228.94* | 2.52 | 1.49 | 1.38 | 1.31 |
| 219.07* | 2.51 | 1.49 | 1.38 | 1.31 |
| 209.20* | 2.5 | 1.48 | 1.38 | 1.31 |
| 199.33* | 2.49 | 1.48 | 1.38 | 1.32 |
| 189.46* | 2.48 | 1.48 | 1.38 | 1.32 |
| 179.59* | 2.47 | 1.47 | 1.38 | 1.33 |
| 169.72* | 2.46 | 1.47 | 1.38 | 1.33 |
| 159.85* | 2.45 | 1.46 | 1.39 | 1.34 |
| 149.98* | 2.44 | 1.46 | 1.39 | 1.34 |
| 140.11* | 2.43 | 1.46 | 1.39 | 1.34 |
| 130.24* | 2.42 | 1.45 | 1.39 | 1.35 |
| 120.37* | 2.41 | 1.45 | 1.39 | 1.35 |
| 110.50* | 2.4 | 1.44 | 1.39 | 1.36 |
| 100.63* | 2.39 | 1.44 | 1.39 | 1.36 |
| 90.76* | 2.38 | 1.44 | 1.4 | 1.37 |
| 80.89* | 2.37 | 1.43 | 1.4 | 1.37 |
| 71.02* | 2.36 | 1.43 | 1.4 | 1.38 |
| 61.15 | 2.35 | 1.42 | 1.4 | 1.39 |

**Tabella 40: Stato Progetto 1, Franchi arginali per i diversi tempi di ritorno per il tratto tombato a valle della vasca.**

### *8.1.1.3 Stato di Progetto – scenario 2*

I franchi arginali dello stato di progetto sono i medesimi dello scenario precedente, pertanto si rimanda alla Tabella 40.

Si propone un confronto tra i franchi che si realizzano allo stato attuale e allo stato di progetto, a dimostrazione delle differenze irrisorie tra il comportamento idraulico del rio ei diversi scenari.

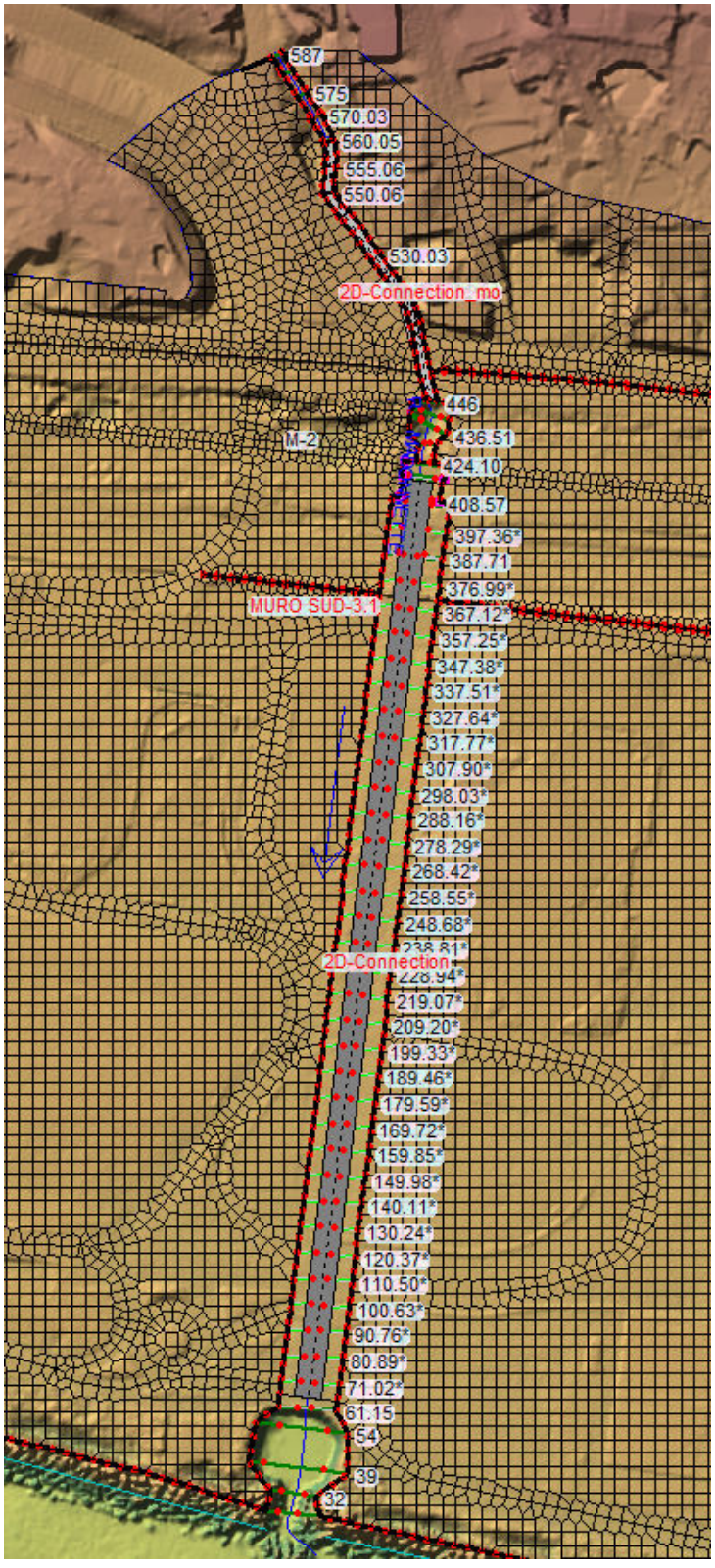
| | Tr 50 anni | Tr 200 anni | Tr 500 anni |
|---|---|---|---|
| River Station [num] | Δ SP-SA [m] | Δ SP-SA [m] | Δ SP-SA [m] |
| 418 | 0.01 | -0.01 | -0.02 |
| 408.57 | 0.01 | -0.01 | -0.02 |
| 408.35 | 0.01 | 0 | -0.02 |
| 408 | 0.01 | 0 | -0.02 |
| 407.72 | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 407 | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 397.36* | 0.01 | -0.01 | -0.02 |
| 387.71 | 0.01 | -0.01 | -0.02 |
| 386.86 | 0.01 | -0.01 | -0.01 |
| 376.99* | 0.02 | -0.01 | 0 |
| 367.12* | 0.01 | -0.01 | -0.01 |
| 357.25* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 347.38* | 0.02 | 0 | -0.01 |
| 337.51* | 0.01 | 0 | 0 |
| 327.64* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 317.77* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 307.90* | 0.01 | 0 | 0 |
| 298.03* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 288.16* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 278.29* | 0.01 | 0 | 0 |
| 268.42* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 258.55* | 0.01 | 0 | 0 |
| 248.68* | 0.01 | 0.01 | 0 |
| 238.81* | 0 | 0 | -0.01 |
| 228.94* | 0.01 | 0 | 0 |
| 219.07* | 0.01 | 0 | 0 |
| 209.20* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 199.33* | 0.01 | 0 | 0 |
| 189.46* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 179.59* | 0.01 | 0 | 0 |
| 169.72* | 0.01 | 0 | 0 |
| 159.85* | 0 | 0 | 0 |
| 149.98* | 0.01 | 0 | 0 |
| 140.11* | 0.01 | 0 | -0.01 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 130.24* | 0 | 0 | 0 |
| 120.37* | 0.01 | 0 | -0.01 |
| 110.50* | 0 | 0 | 0 |
| 100.63* | 0 | 0 | -0.01 |
| 90.76* | 0.01 | 0 | 0 |
| 80.89* | 0 | 0 | -0.01 |
| 71.02* | 0 | 0 | 0 |
| 61.15 | 0 | 0 | 0 |

**Tabella 41: Variazioni del franco arginale che si realizzano allo Stato di Progetto e allo Stato Attuale per ogni tempo di ritorno indagato per il tratto tombato a valle della vasca.**

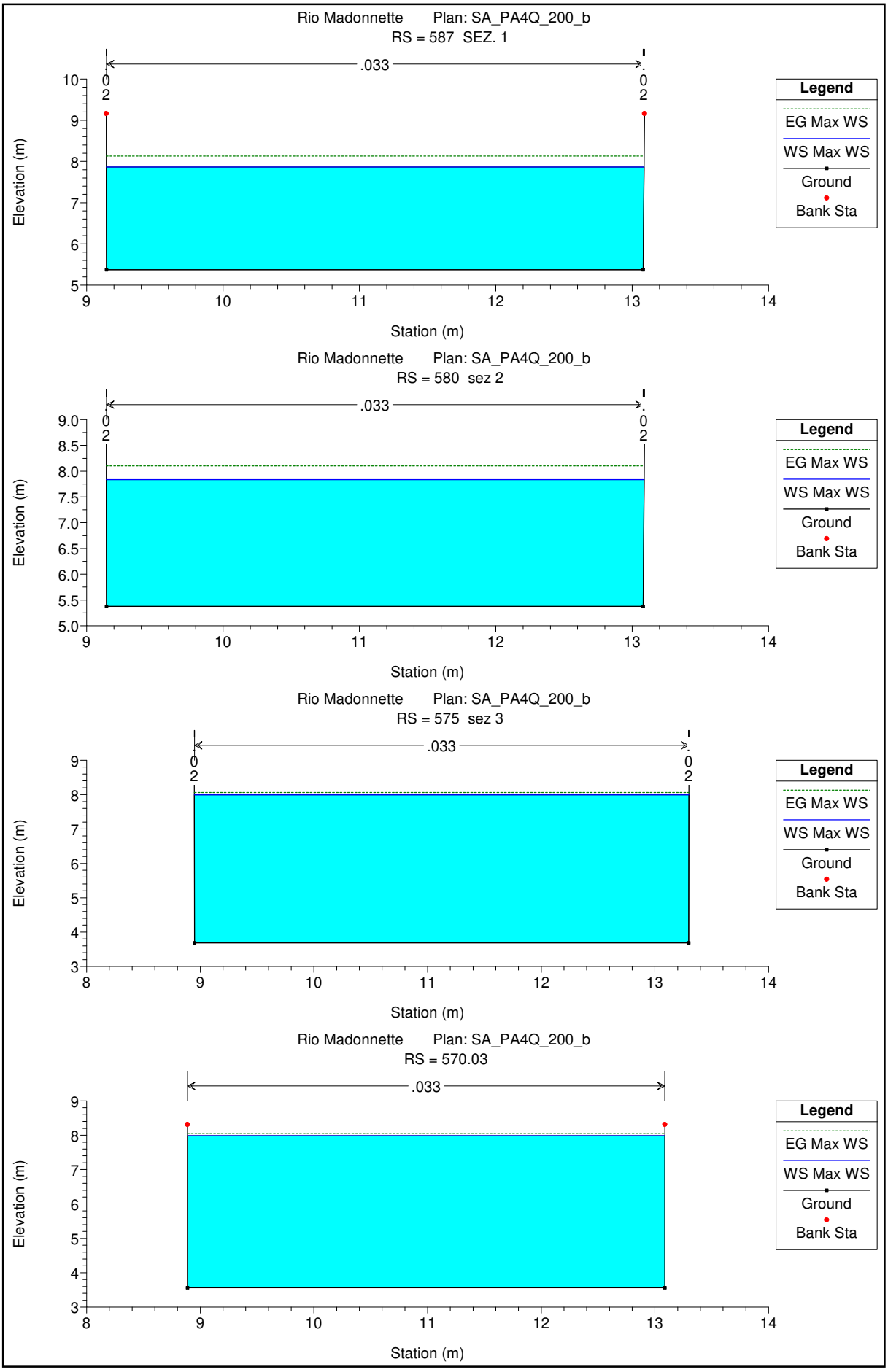
# 9. ALLEGATO A: SIMULAZIONE HEC-RAS STATO ATTUALE

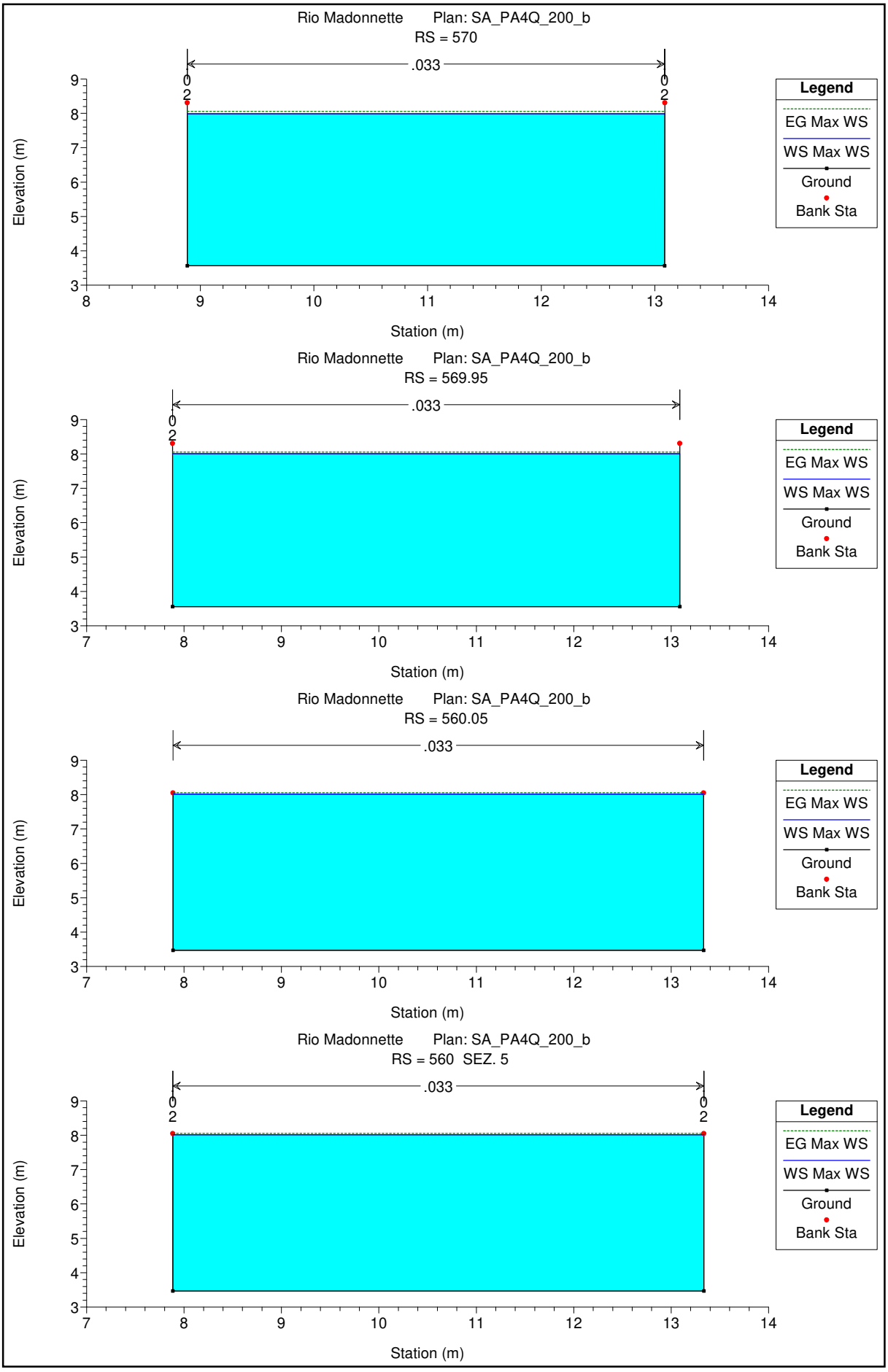
Geometria

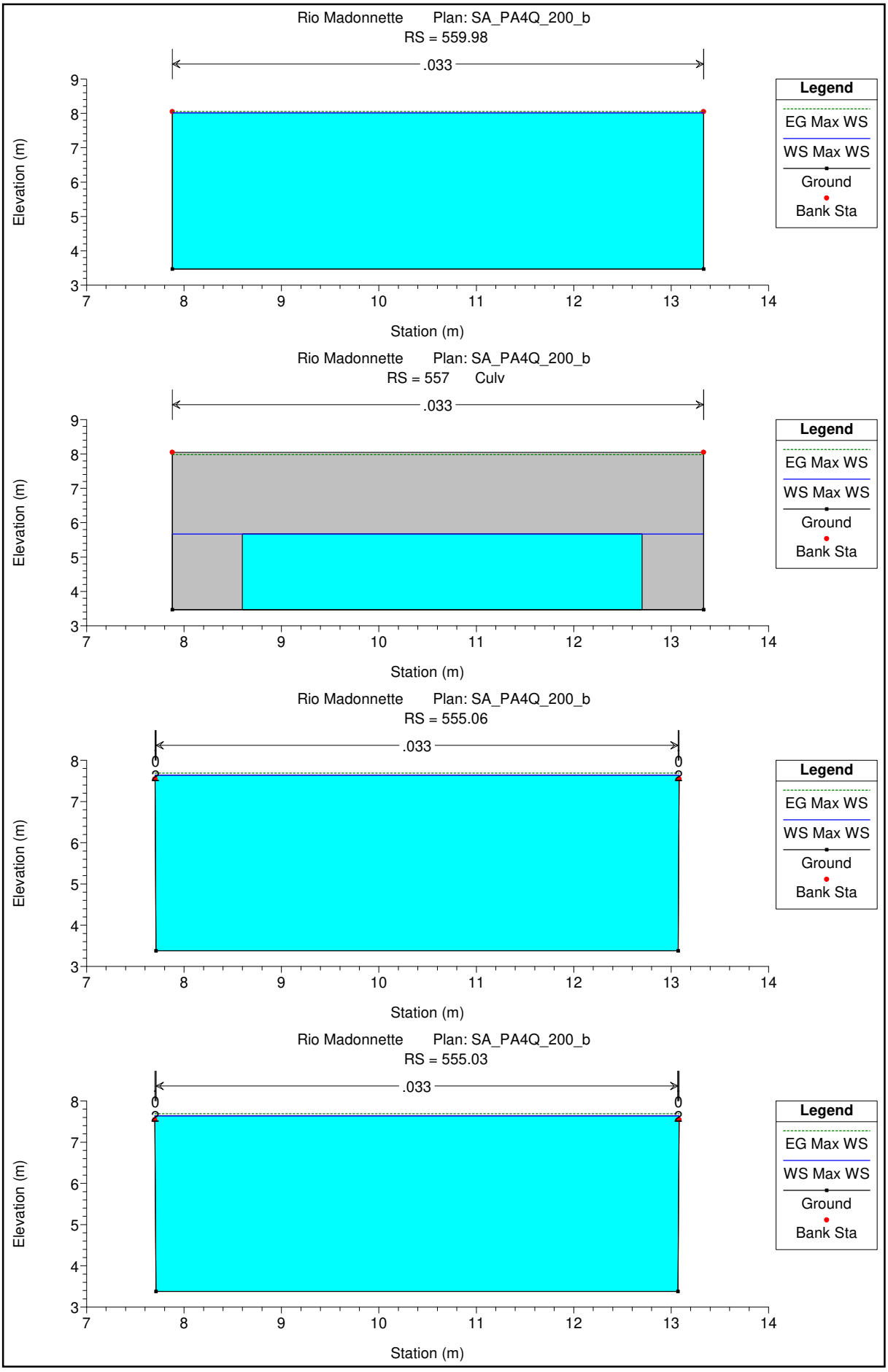


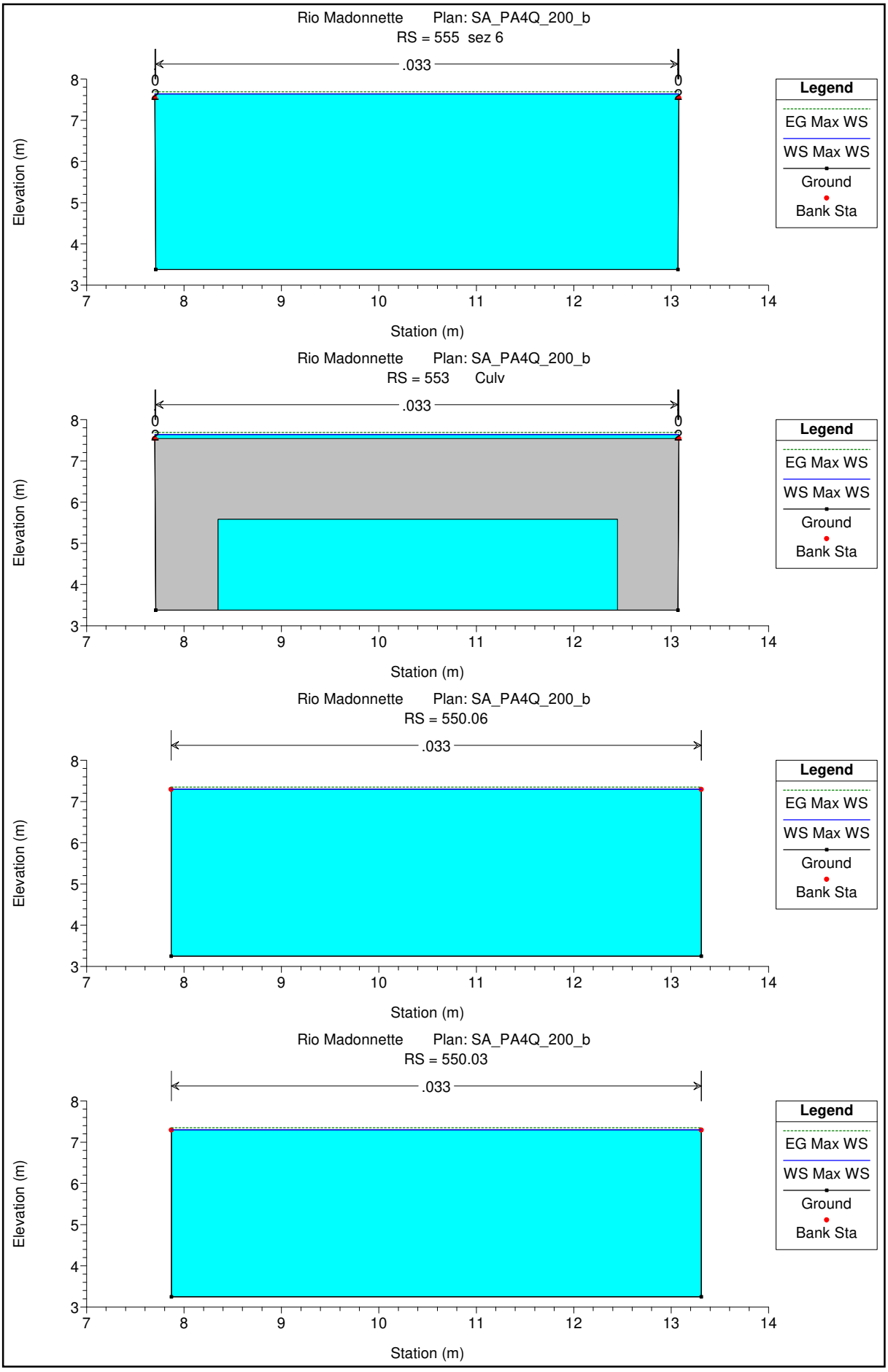
Tabella

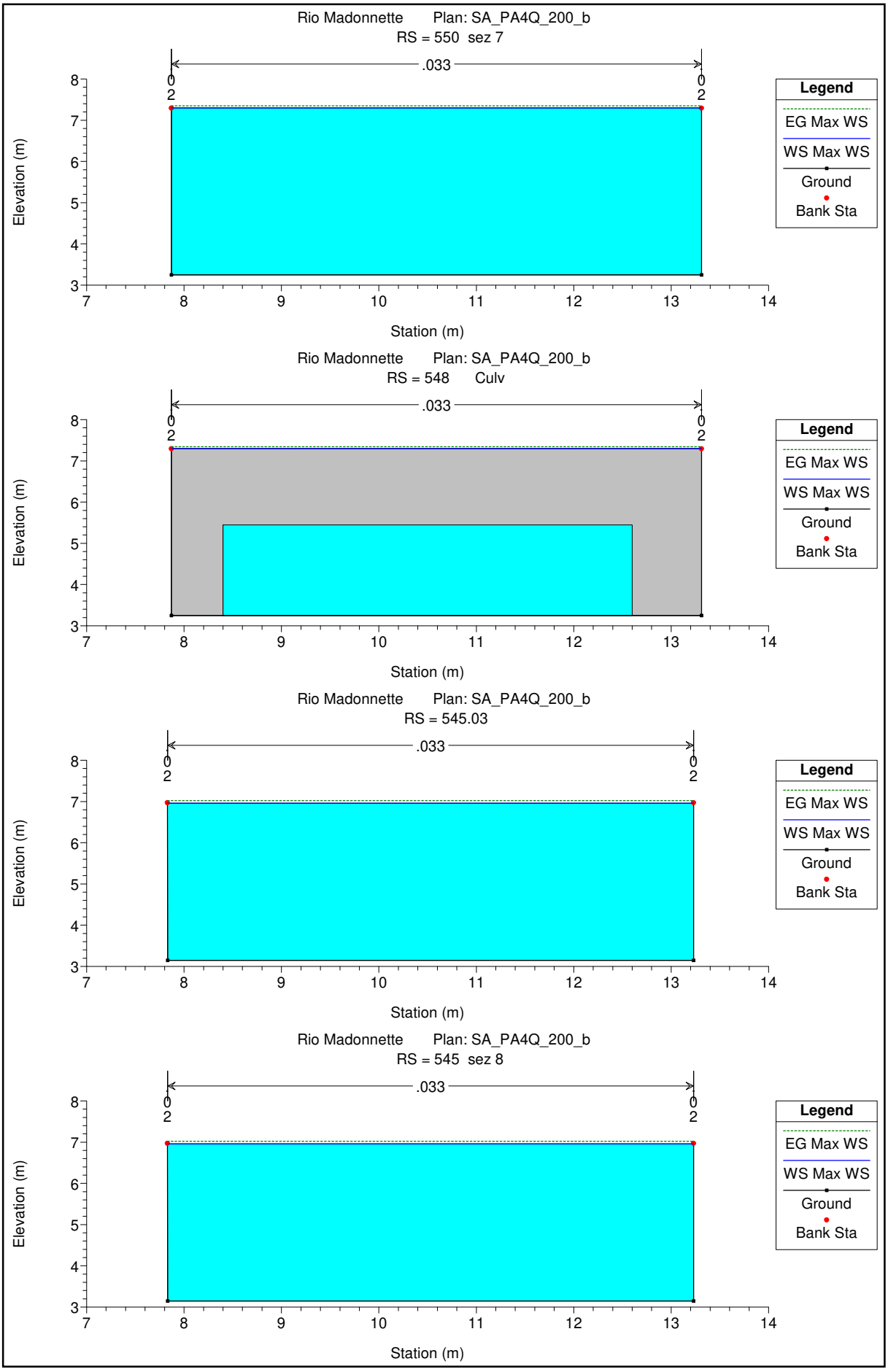
| River | Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 587 | Max WS | 22.30 | 5.37 | 7.87 | | 8.13 | 0.003104 | 2.27 | 9.81 | 3.94 | 0.46 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 580 | Max WS | 22.30 | 5.37 | 7.83 | | 8.10 | 0.003219 | 2.30 | 9.69 | 3.94 | 0.47 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 579 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 578 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 575 | Max WS | 22.30 | 3.69 | 7.99 | | 8.07 | 0.000531 | 1.19 | 18.73 | 4.35 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 570.03 | Max WS | 22.30 | 3.56 | 7.98 | | 8.06 | 0.000978 | 1.20 | 18.58 | 4.20 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 570 | Max WS | 22.30 | 3.56 | 7.98 | | 8.06 | 0.000542 | 1.20 | 18.58 | 4.20 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 569.95 | Max WS | 22.30 | 3.56 | 8.01 | | 8.06 | 0.000408 | 0.96 | 23.17 | 5.21 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 560.05 | Max WS | 22.13 | 3.47 | 8.01 | | 8.05 | 0.000428 | 0.89 | 24.76 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 560 | Max WS | 22.13 | 3.47 | 8.01 | | 8.05 | 0.000427 | 0.89 | 24.77 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 559.98 | Max WS | 22.13 | 3.47 | 8.01 | | 8.05 | 0.000426 | 0.89 | 24.79 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 557 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555.06 | Max WS | 22.13 | 3.38 | 7.64 | | 7.69 | 0.000311 | 0.97 | 22.87 | 5.38 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555.03 | Max WS | 22.13 | 3.38 | 7.64 | | 7.69 | 0.000311 | 0.97 | 22.87 | 5.38 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555 | Max WS | 22.13 | 3.38 | 7.64 | | 7.69 | 0.000311 | 0.97 | 22.87 | 5.38 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 553 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550.06 | Max WS | 22.13 | 3.25 | 7.30 | | 7.35 | 0.000575 | 1.01 | 22.02 | 5.44 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550.03 | Max WS | 22.13 | 3.25 | 7.30 | | 7.35 | 0.000575 | 1.00 | 22.02 | 5.44 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550 | Max WS | 22.13 | 3.25 | 7.30 | | 7.35 | 0.000346 | 1.00 | 22.03 | 5.44 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 548 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 545.03 | Max WS | 22.13 | 3.15 | 6.96 | | 7.02 | 0.000418 | 1.08 | 20.57 | 5.40 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 545 | Max WS | 22.13 | 3.15 | 6.96 | | 7.02 | 0.000418 | 1.08 | 20.57 | 5.40 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 544.96 | Max WS | 22.13 | 3.15 | 6.96 | | 7.02 | 0.000418 | 1.08 | 20.58 | 5.40 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 540 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 530.03 | Max WS | 22.13 | 2.93 | 6.58 | | 6.65 | 0.000761 | 1.12 | 19.74 | 5.40 | 0.19 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 530 | Max WS | 22.13 | 2.93 | 6.58 | | 6.65 | 0.000611 | 1.12 | 19.74 | 5.40 | 0.19 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 529.97 | Max WS | 22.13 | 2.93 | 6.58 | | 6.65 | 0.000762 | 1.12 | 19.73 | 5.40 | 0.19 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 528 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525.98 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 6.26 | | 6.34 | 0.000392 | 1.28 | 17.34 | 5.25 | 0.22 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525.95 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 6.21 | | 6.34 | 0.000733 | 1.60 | 13.83 | 4.24 | 0.28 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 6.21 | | 6.34 | 0.000734 | 1.60 | 13.82 | 4.24 | 0.28 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 520 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.32 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 5.14 | | 5.43 | 0.002067 | 2.39 | 9.27 | 4.24 | 0.52 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.25 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 5.14 | | 5.43 | 0.002068 | 2.39 | 9.27 | 4.24 | 0.52 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.20 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 5.14 | | 5.43 | 0.002069 | 2.39 | 9.27 | 4.24 | 0.52 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.12 | Max WS | 22.13 | 2.95 | 5.14 | | 5.43 | 0.002069 | 2.39 | 9.27 | 4.24 | 0.52 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 510 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500.02 | Max WS | 22.13 | 2.84 | 4.93 | | 5.14 | 0.001410 | 2.06 | 10.73 | 5.15 | 0.46 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500.01 | Max WS | 22.13 | 2.84 | 4.93 | | 5.14 | 0.001409 | 2.06 | 10.73 | 5.15 | 0.46 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500 | Max WS | 22.13 | 2.84 | 4.93 | | 5.14 | 0.001409 | 2.06 | 10.73 | 5.15 | 0.46 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 499.93 | Max WS | 22.13 | 2.84 | 4.93 | | 5.14 | 0.001409 | 2.06 | 10.73 | 5.15 | 0.46 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 450 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 446 | Max WS | 22.13 | 2.82 | 3.57 | 4.07 | 5.34 | 0.028940 | 5.90 | 3.75 | 5.00 | 2.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 445.90 | Max WS | 22.13 | 2.70 | 3.16 | 3.30 | 3.68 | 0.012258 | 3.18 | 6.95 | 15.00 | 1.49 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 436.51 | Max WS | 22.13 | 2.46 | 3.01 | 3.07 | 3.38 | 0.007219 | 2.71 | 8.18 | 15.00 | 1.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 432 | Max WS | 22.13 | 2.25 | 2.94 | | 3.18 | 0.003495 | 2.16 | 10.24 | 15.00 | 0.84 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 424.10 | Max WS | 22.13 | 2.09 | 2.96 | 2.69 | 3.11 | 0.001609 | 1.70 | 13.03 | 15.00 | 0.58 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 424 | | Inl Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 423.52 | Max WS | 20.51 | -4.67 | 1.27 | | 1.27 | 0.000004 | 0.23 | 89.04 | 15.00 | 0.03 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 419 | Max WS | 28.50 | -4.67 | 1.26 | | 1.27 | 0.000008 | 0.32 | 88.96 | 15.00 | 0.04 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 418 | Max WS | 28.50 | -4.67 | 1.25 | -3.73 | 1.26 | 0.000025 | 0.48 | 59.22 | 10.00 | 0.06 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408.57 | Max WS | 28.50 | -4.67 | 1.25 | -3.73 | 1.26 | 0.000025 | 0.48 | 59.22 | 10.00 | 0.06 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408.35 | Max WS | 28.50 | -1.82 | 1.22 | -0.88 | 1.26 | 0.000151 | 0.94 | 30.39 | 10.00 | 0.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408 | Max WS | 28.50 | -1.82 | 1.22 | -0.88 | 1.26 | 0.000151 | 0.94 | 30.39 | 10.00 | 0.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 407.72 | Max WS | 28.50 | -3.82 | 1.24 | -2.88 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 50.57 | 10.00 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 407 | Max WS | 28.50 | -3.82 | 1.24 | -2.88 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 50.57 | 10.00 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 387.71 | Max WS | 28.50 | -3.82 | 1.24 | -2.88 | 1.25 | 0.000037 | 0.56 | 50.56 | 10.00 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 386.86 | Max WS | 28.50 | -2.32 | 1.13 | -0.83 | 1.27 | 0.000665 | 1.65 | 17.25 | 5.00 | 0.28 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 61.15 | Max WS | 28.56 | -2.65 | 0.93 | -1.16 | 1.06 | 0.000610 | 1.60 | 17.88 | 5.00 | 0.27 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 61 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 60 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 54 | Max WS | 28.60 | -2.60 | 0.97 | | 0.98 | 0.000038 | 0.49 | 60.35 | 23.90 | 0.09 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 39 | Max WS | 28.60 | -2.50 | 0.97 | | 0.98 | 0.000020 | 0.37 | 79.20 | 26.68 | 0.06 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 32 | Max WS | 5.86 | -2.50 | 0.90 | | 0.90 | 0.000032 | 0.31 | 19.08 | 6.53 | 0.06 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 22 | Max WS | 5.00 | -2.60 | 0.90 | -2.14 | 0.90 | 0.000017 | 0.24 | 20.88 | 7.11 | 0.04 |

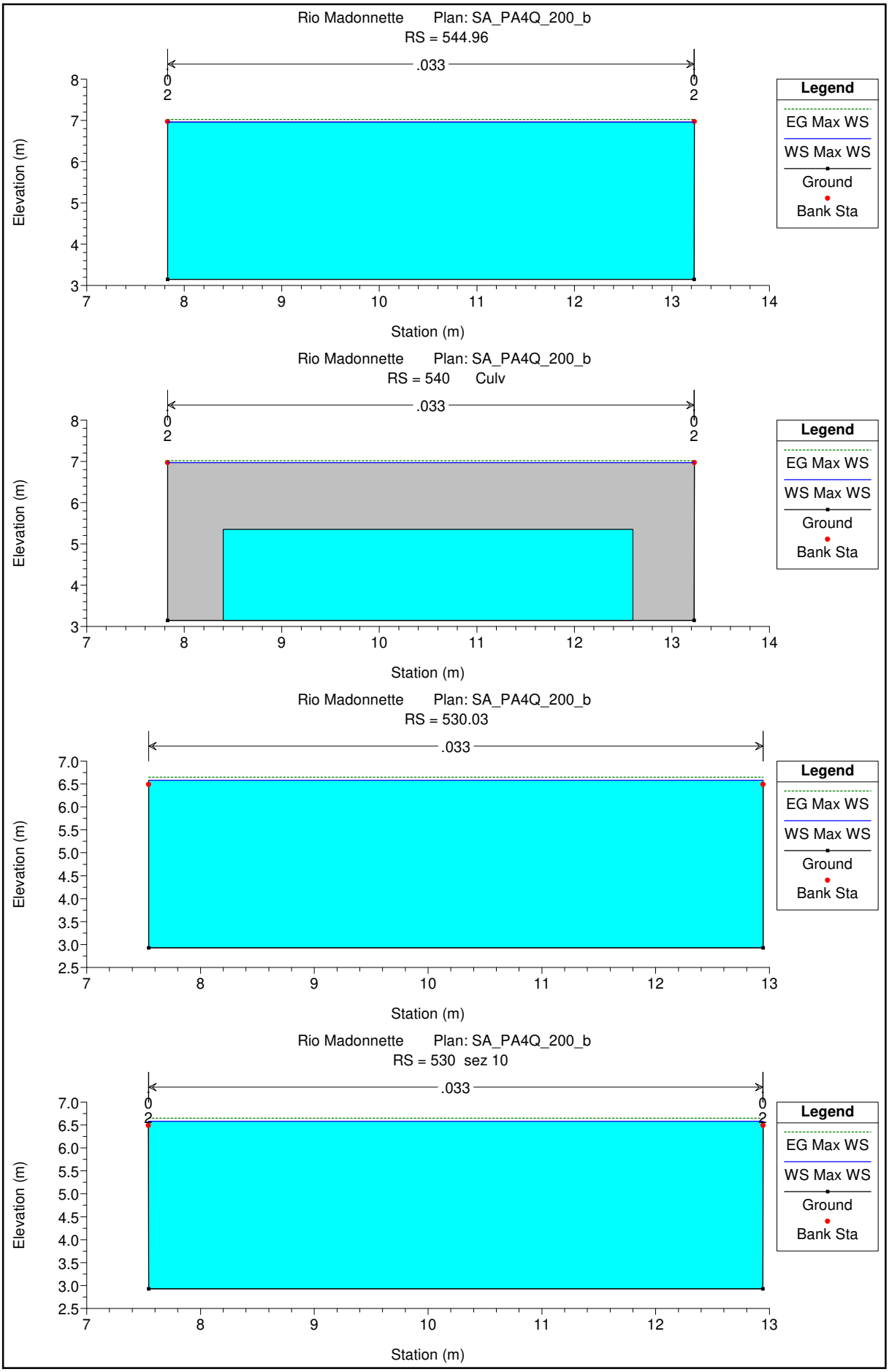

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 587 SEZ. 1
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 580 sez 2
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 575 sez 3
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 570.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

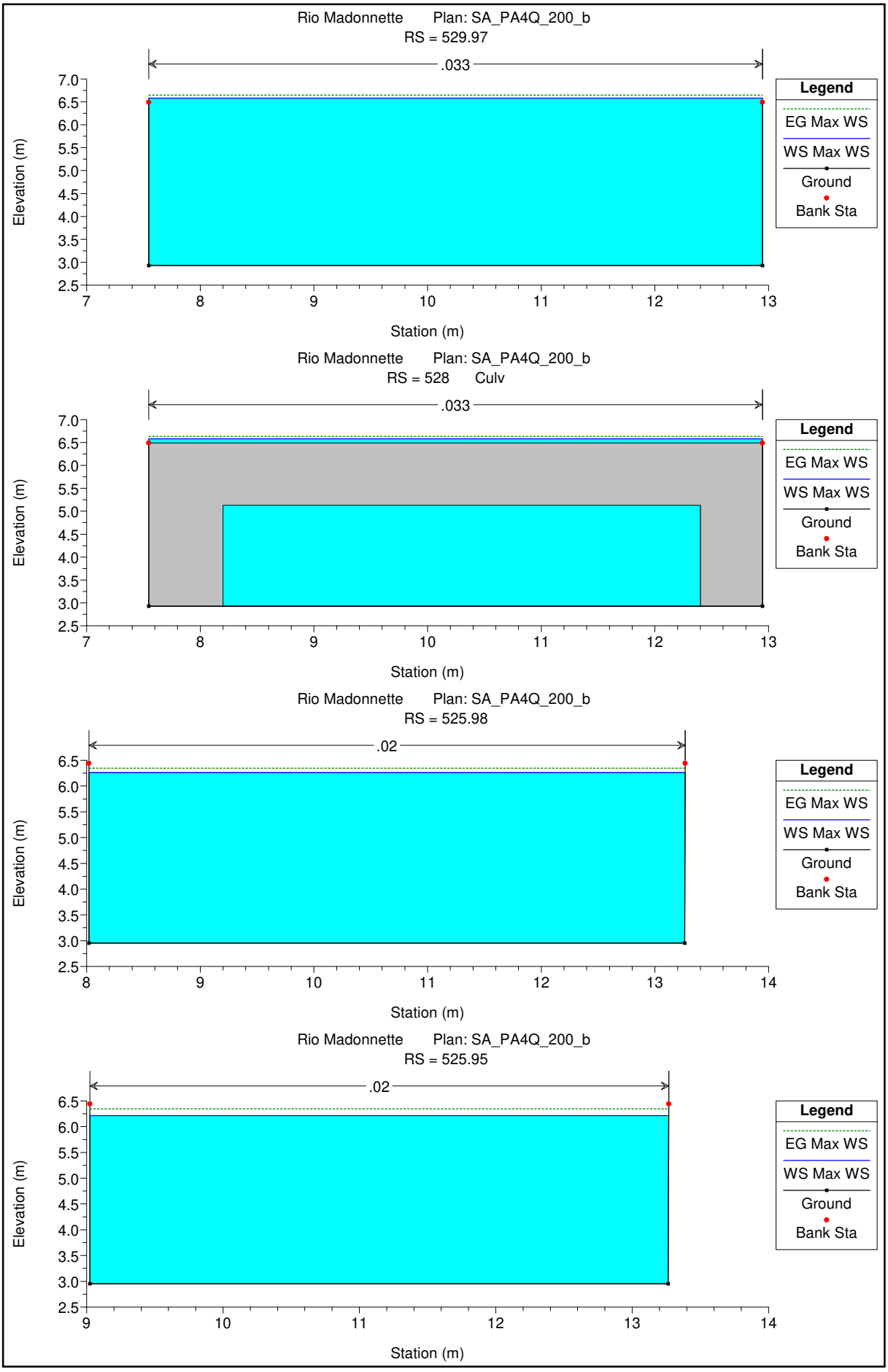

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 570
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 569.95
.033
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 560.05
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 560 SEZ. 5
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

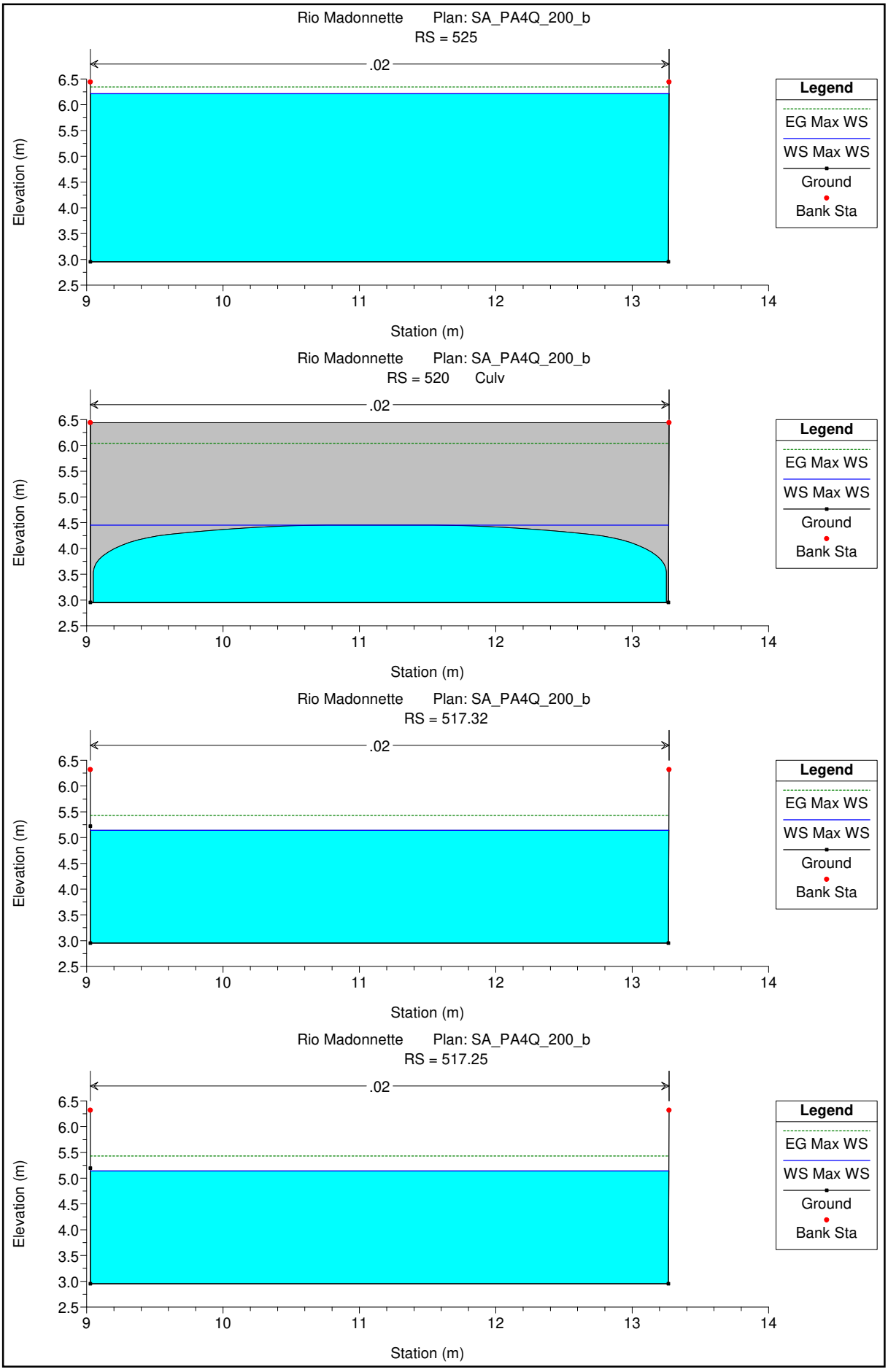

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 559.98
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 557 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 555.06
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 555.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

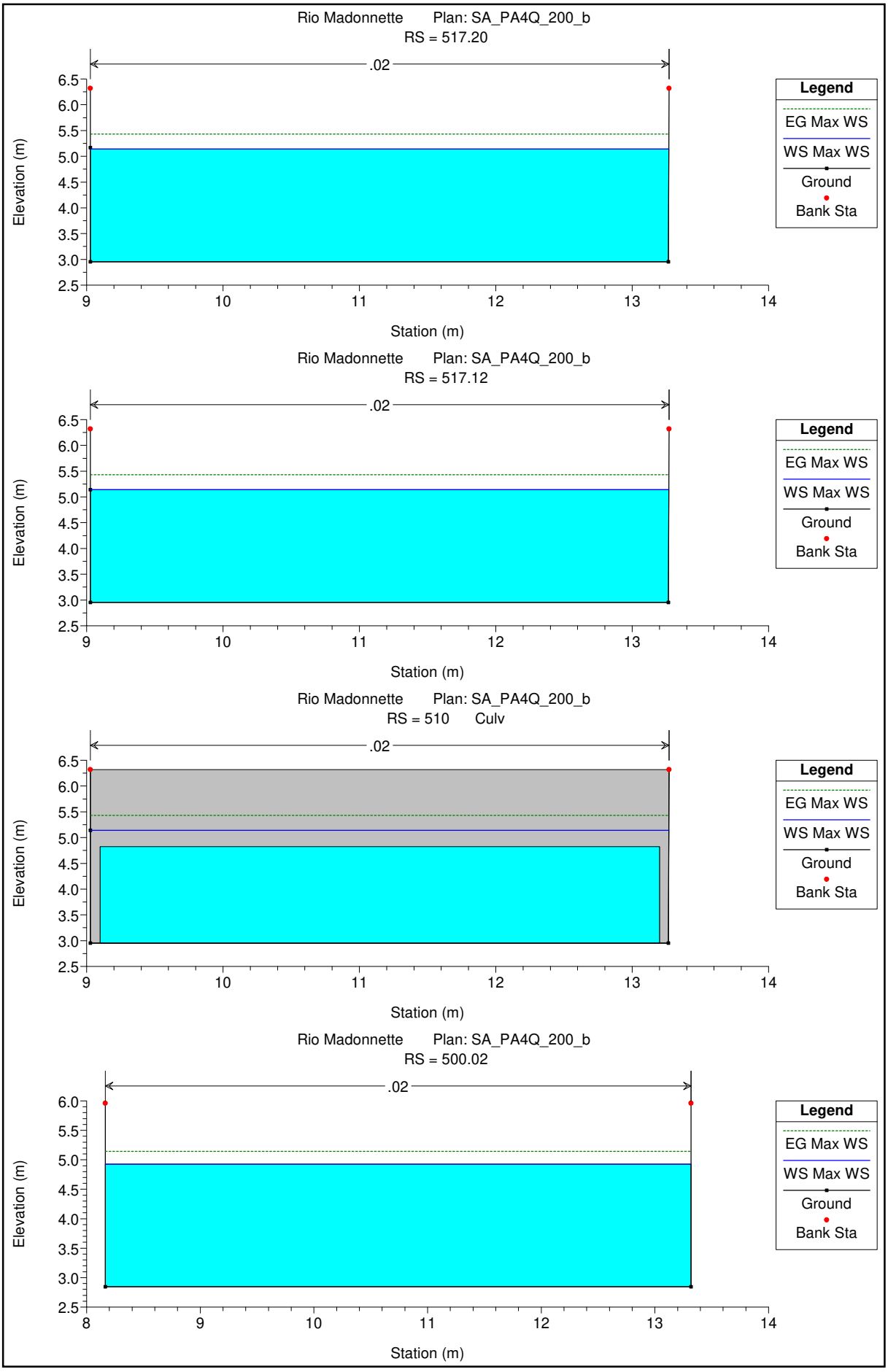

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 555 sez 6
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 553 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 550.06
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 550.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

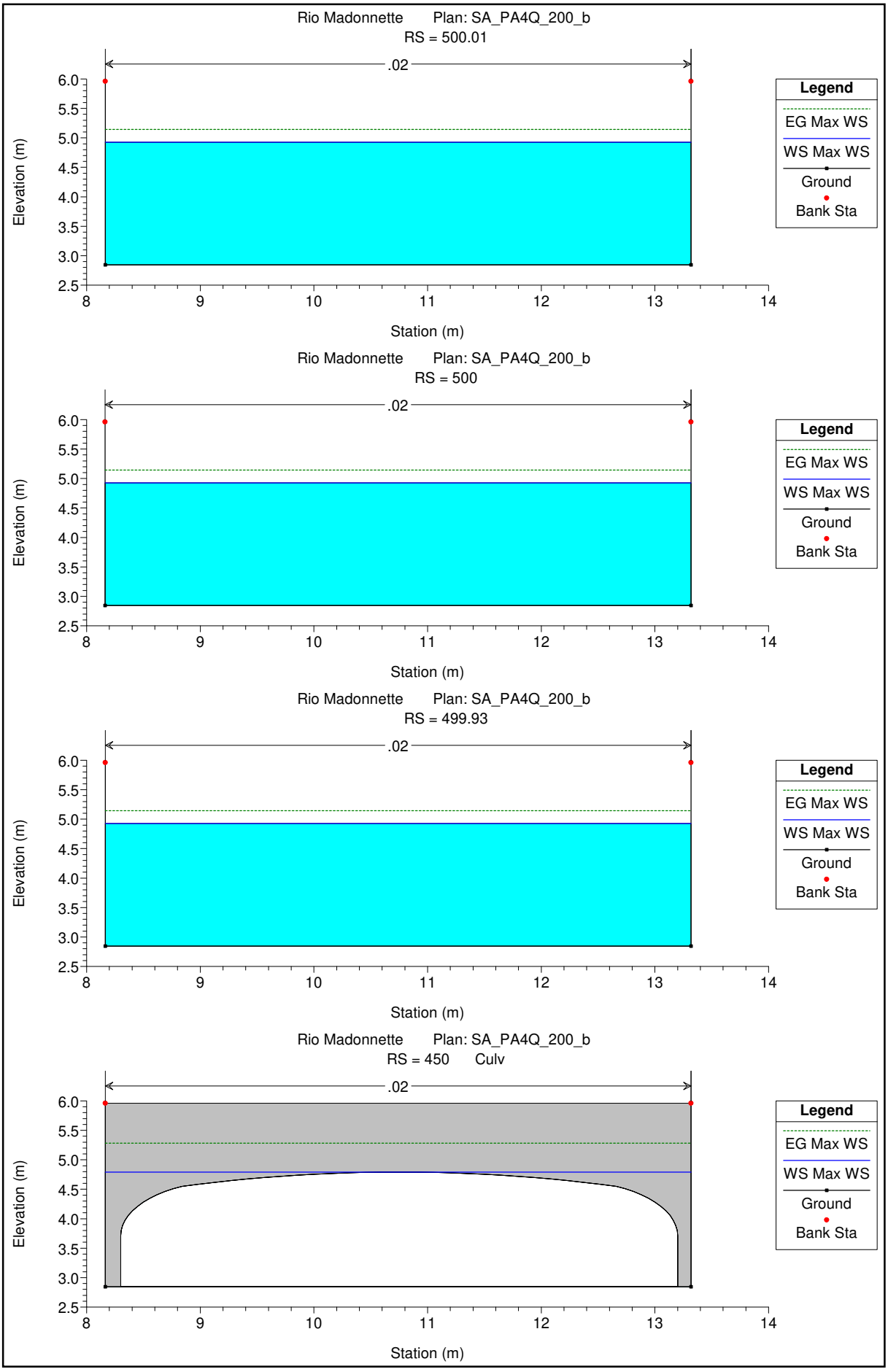

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 550 sez 7
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 548 Culv
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 545.03
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 545 sez 8
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

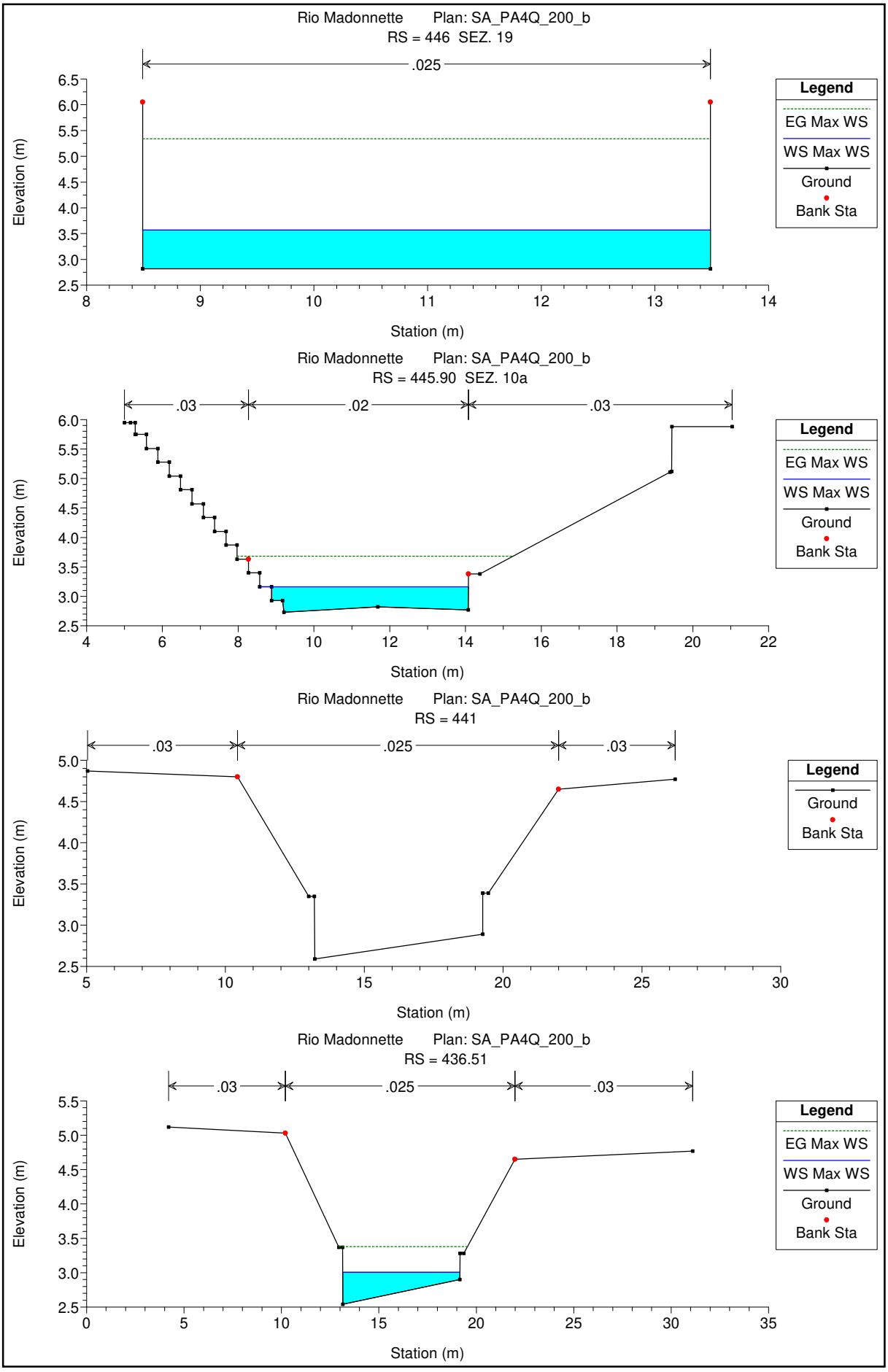

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 544.96
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 540 Culv
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 530.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 530 sez 10
.033
0.2
0.2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

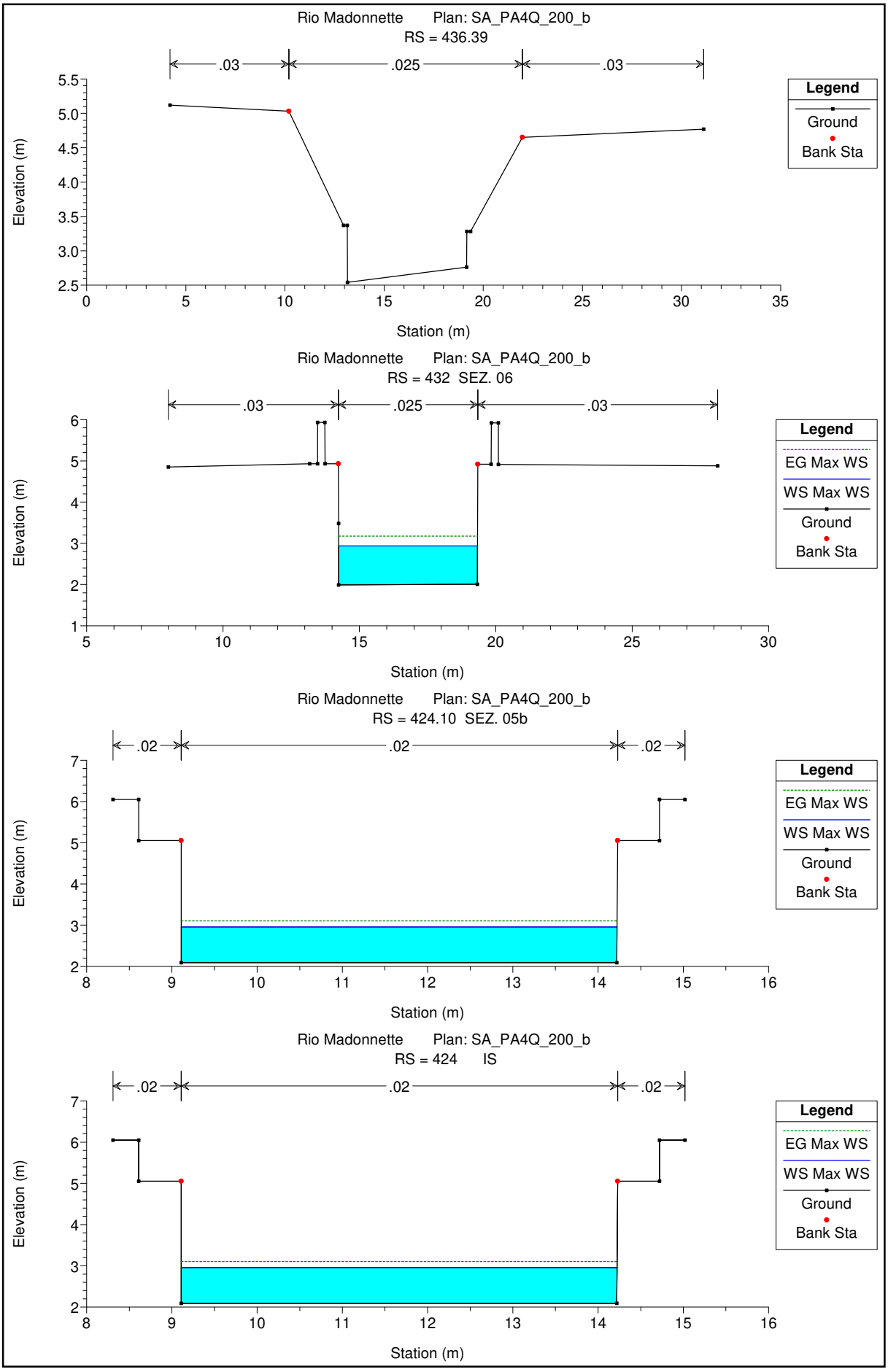

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 529.97
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 528 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 525.98
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 525.95
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

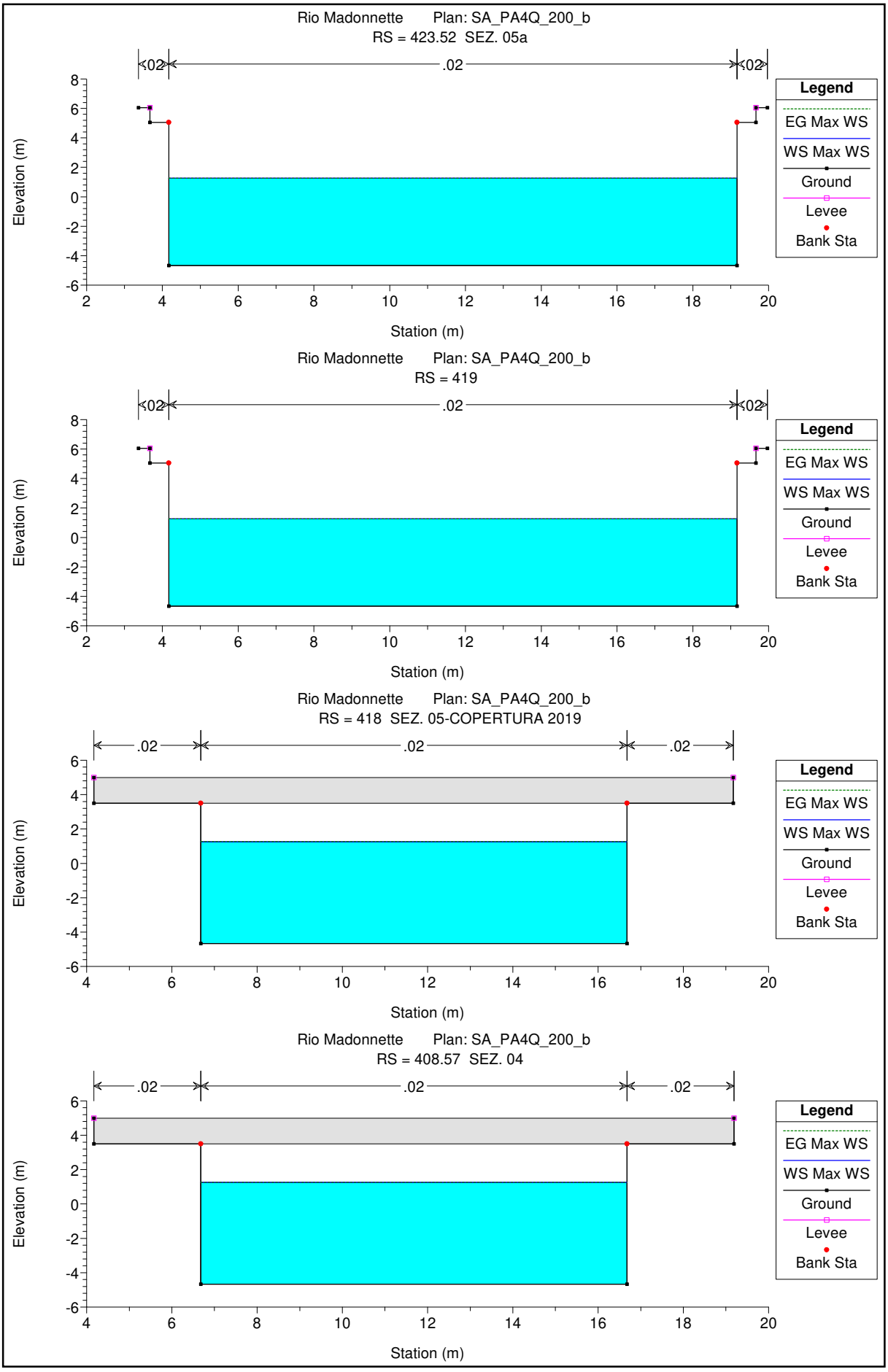

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 525
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 520 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 517.32
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 517.25
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

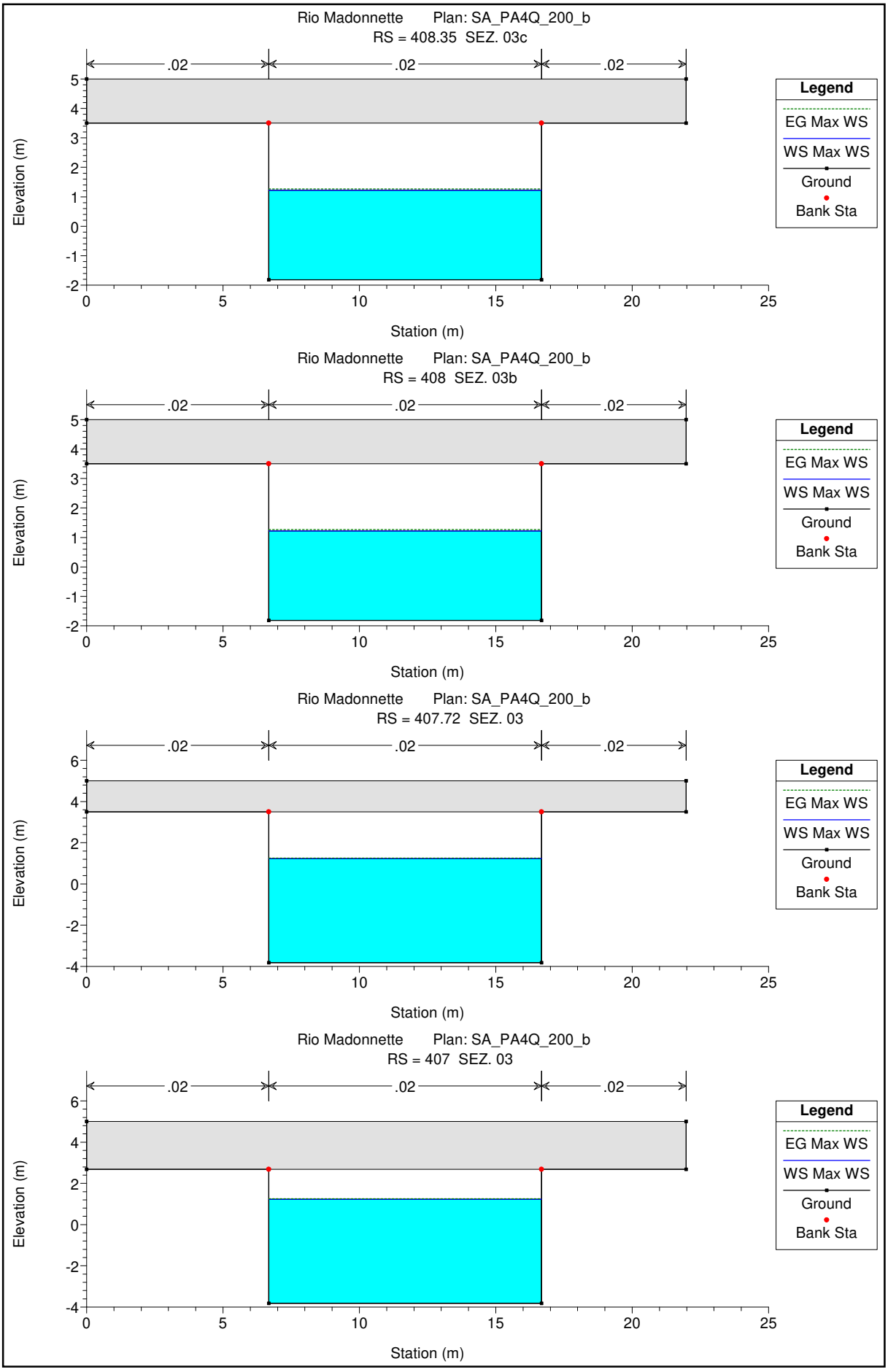

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 517.20
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 517.12
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 510 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 500.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

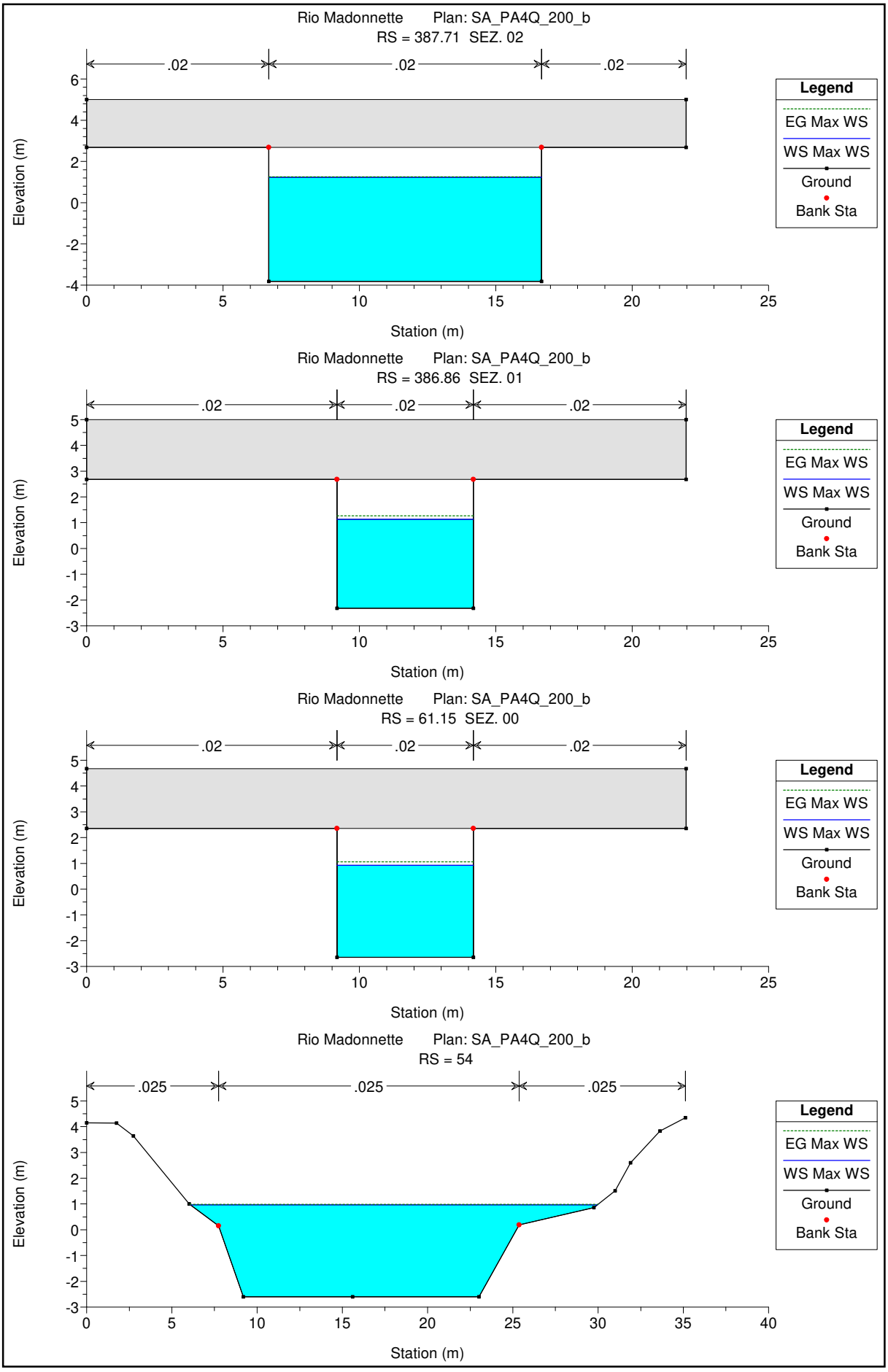

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 500.01
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 500
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 499.93
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 450 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

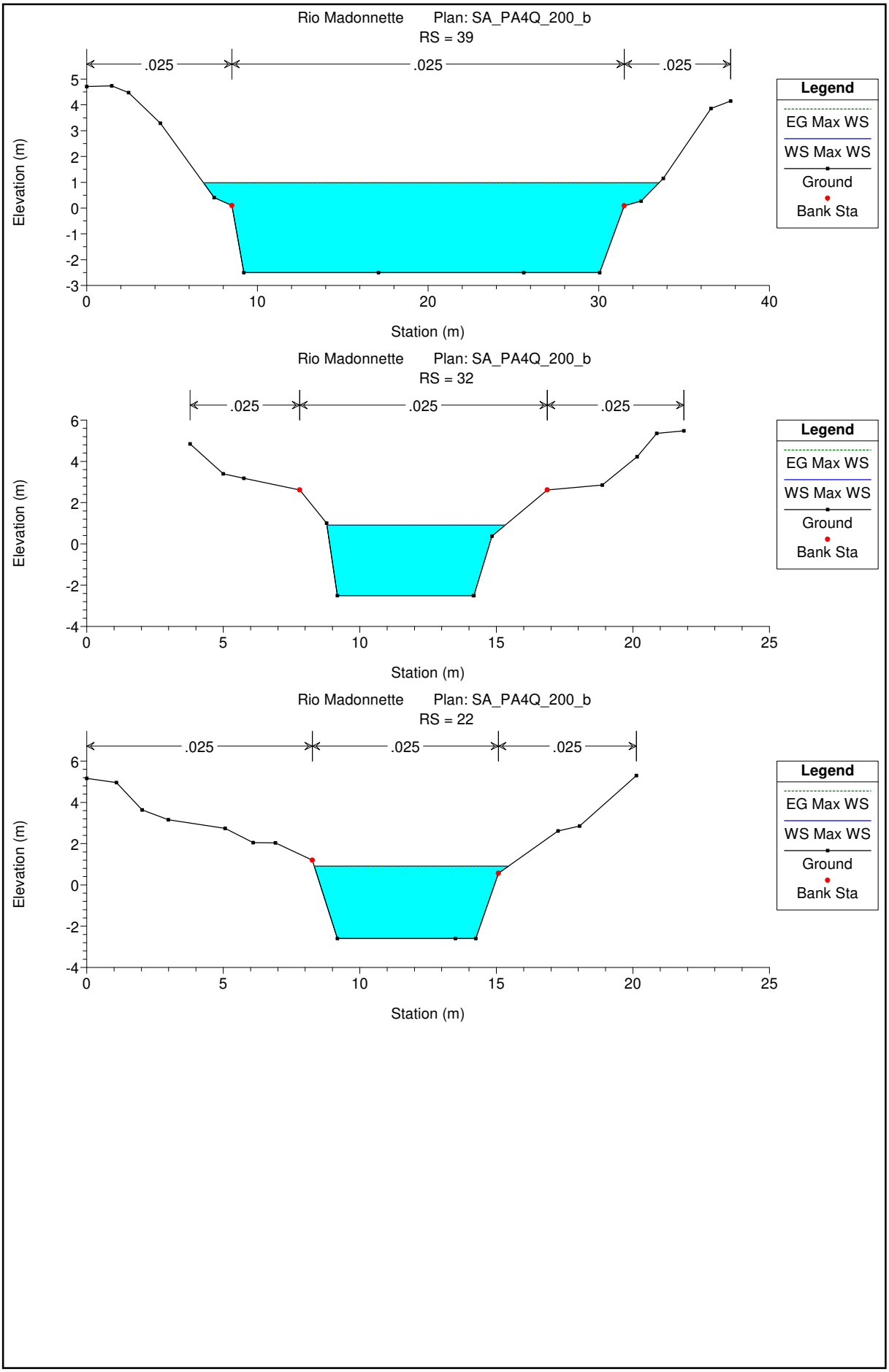

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 446 SEZ. 19
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 445.90 SEZ. 10a
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 441
.03
.025
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 436.51
.03
.025
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 436.39
.03
.025
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 432 SEZ. 06
.03
.025
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 424.10 SEZ. 05b
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 424 IS
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 423.52 SEZ. 05a
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 419
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 418 SEZ. 05-COPERTURA 2019
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 408.57 SEZ. 04
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta

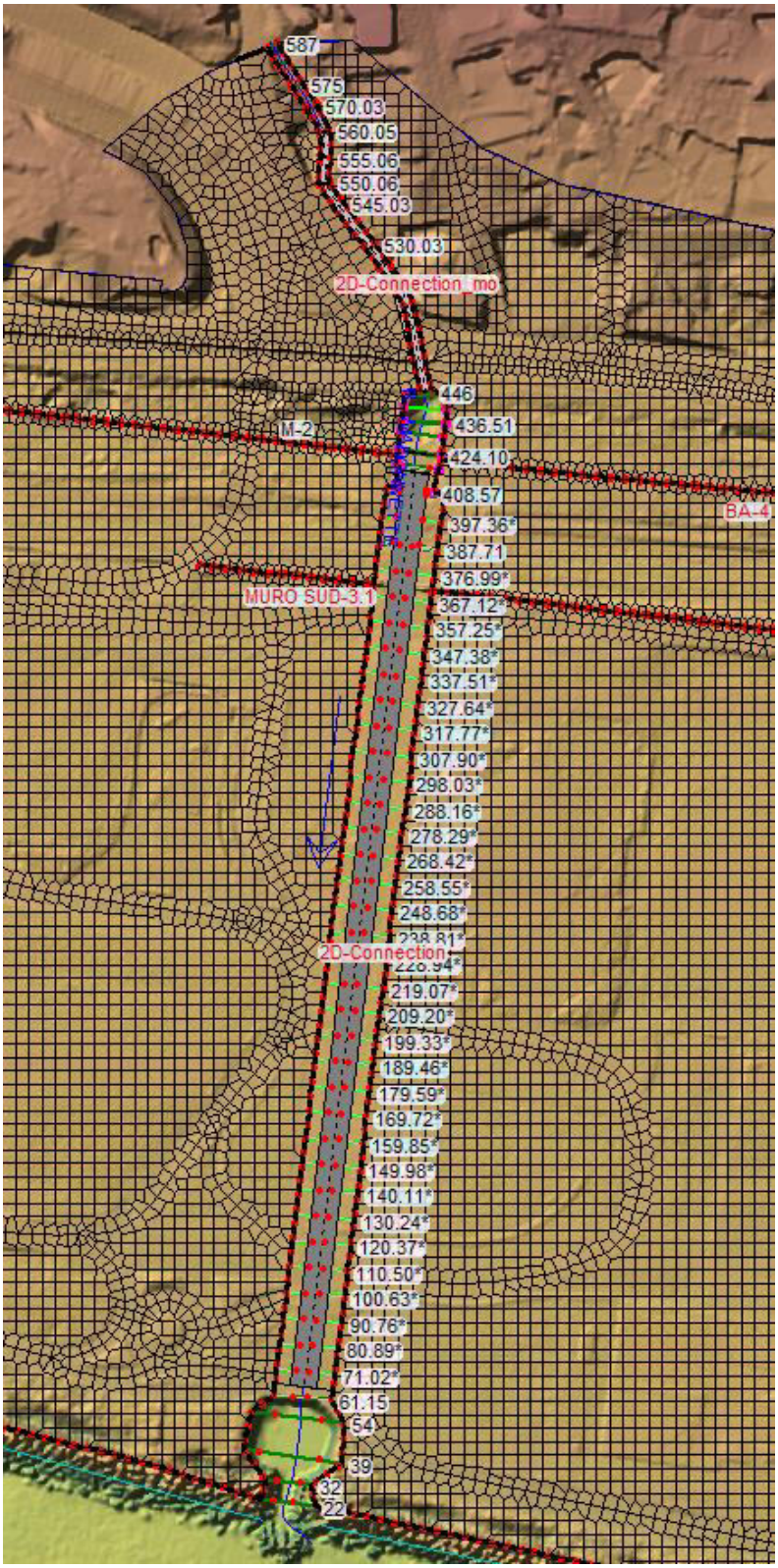

Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 408.35 SEZ. 03c
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 408 SEZ. 03b
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 407.72 SEZ. 03
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 407 SEZ. 03
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 387.71 SEZ. 02
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 386.86 SEZ. 01
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 61.15 SEZ. 00
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 54
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 39
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 32
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SA_PA4Q_200_b
RS = 22
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

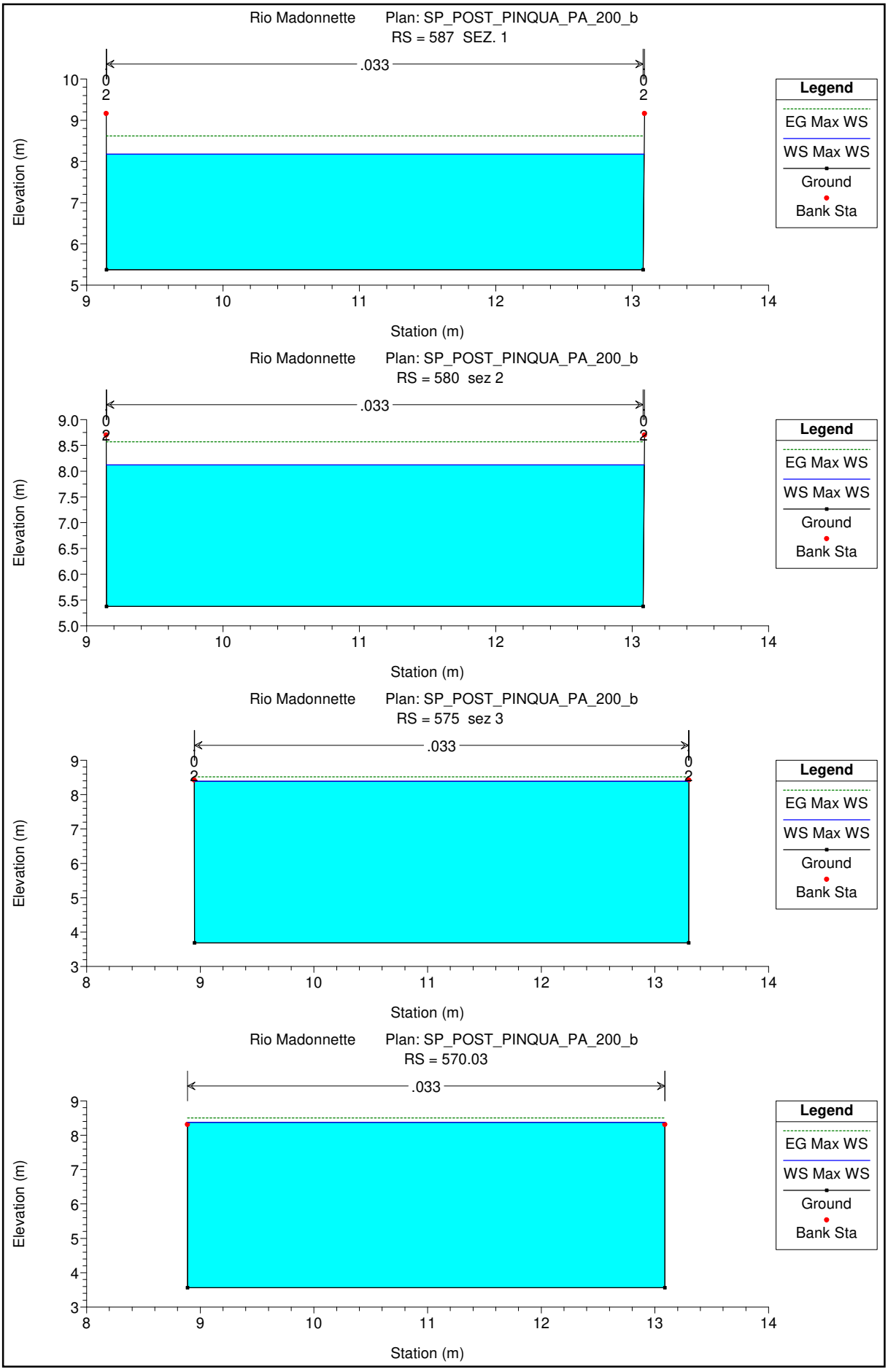
# 10. ALLEGATO B: SIMULAZIONE HEC-RAS STATO DI PROGETTO SCENARIO 1 E 2

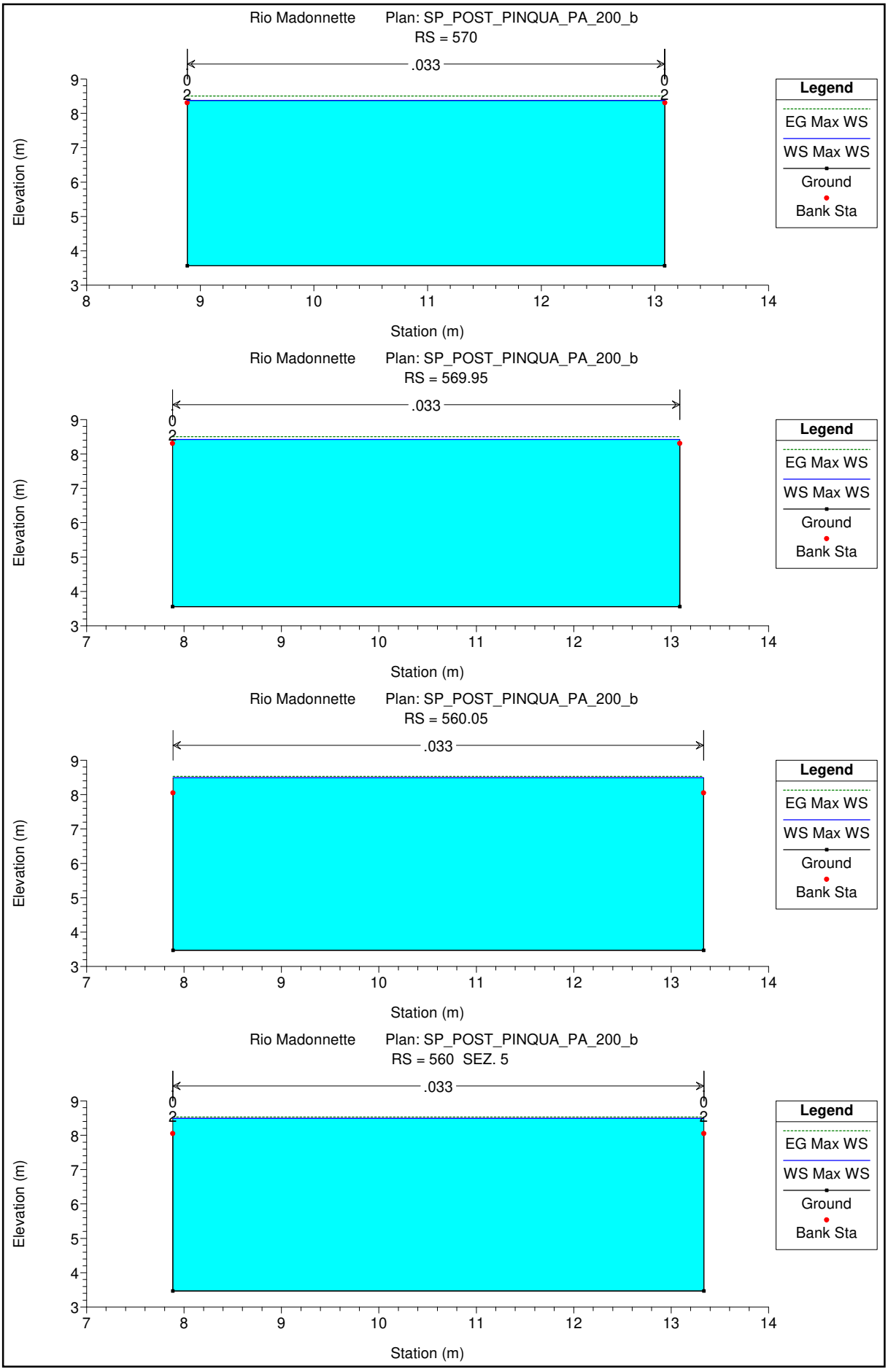
Geometria

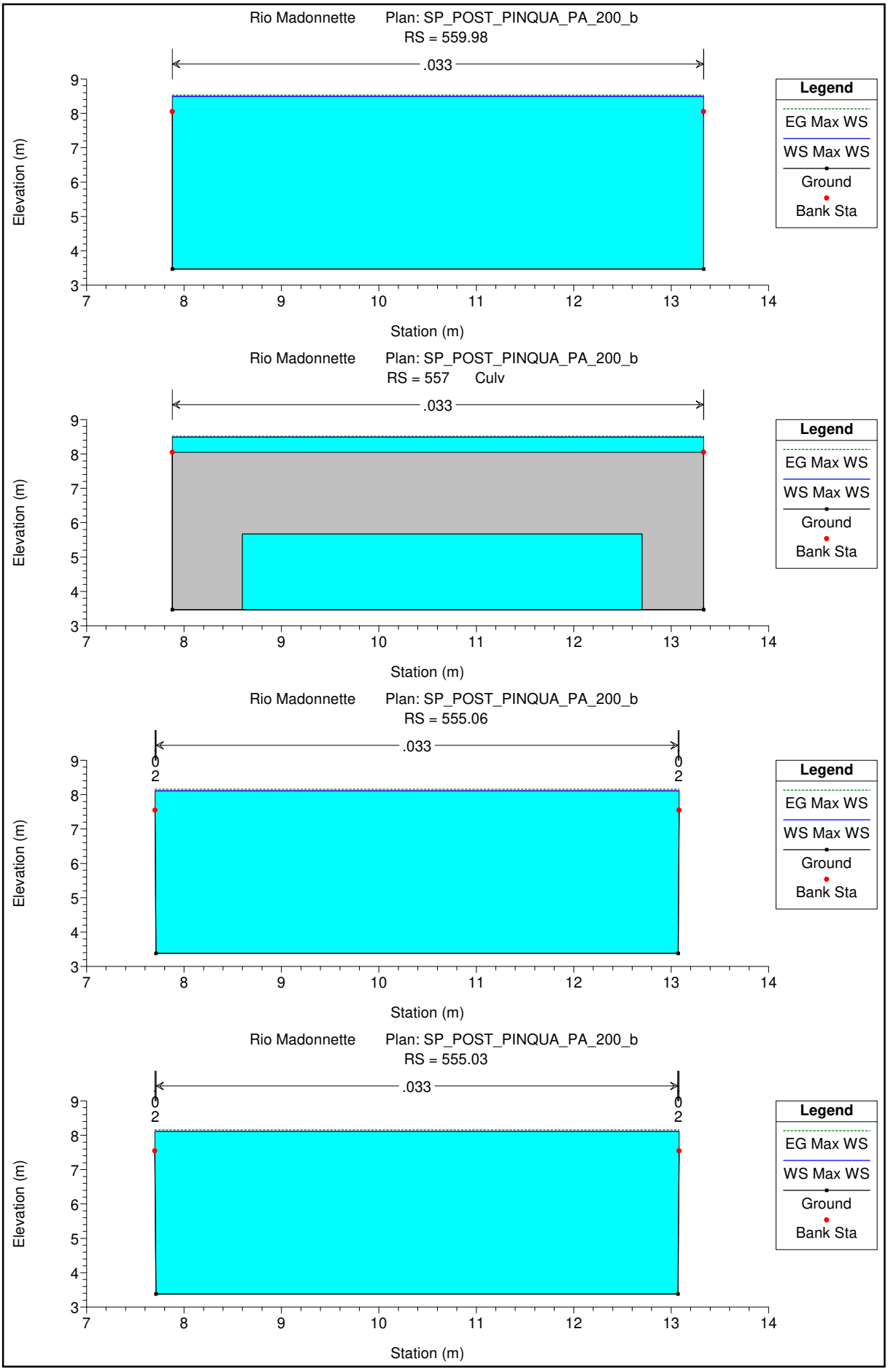


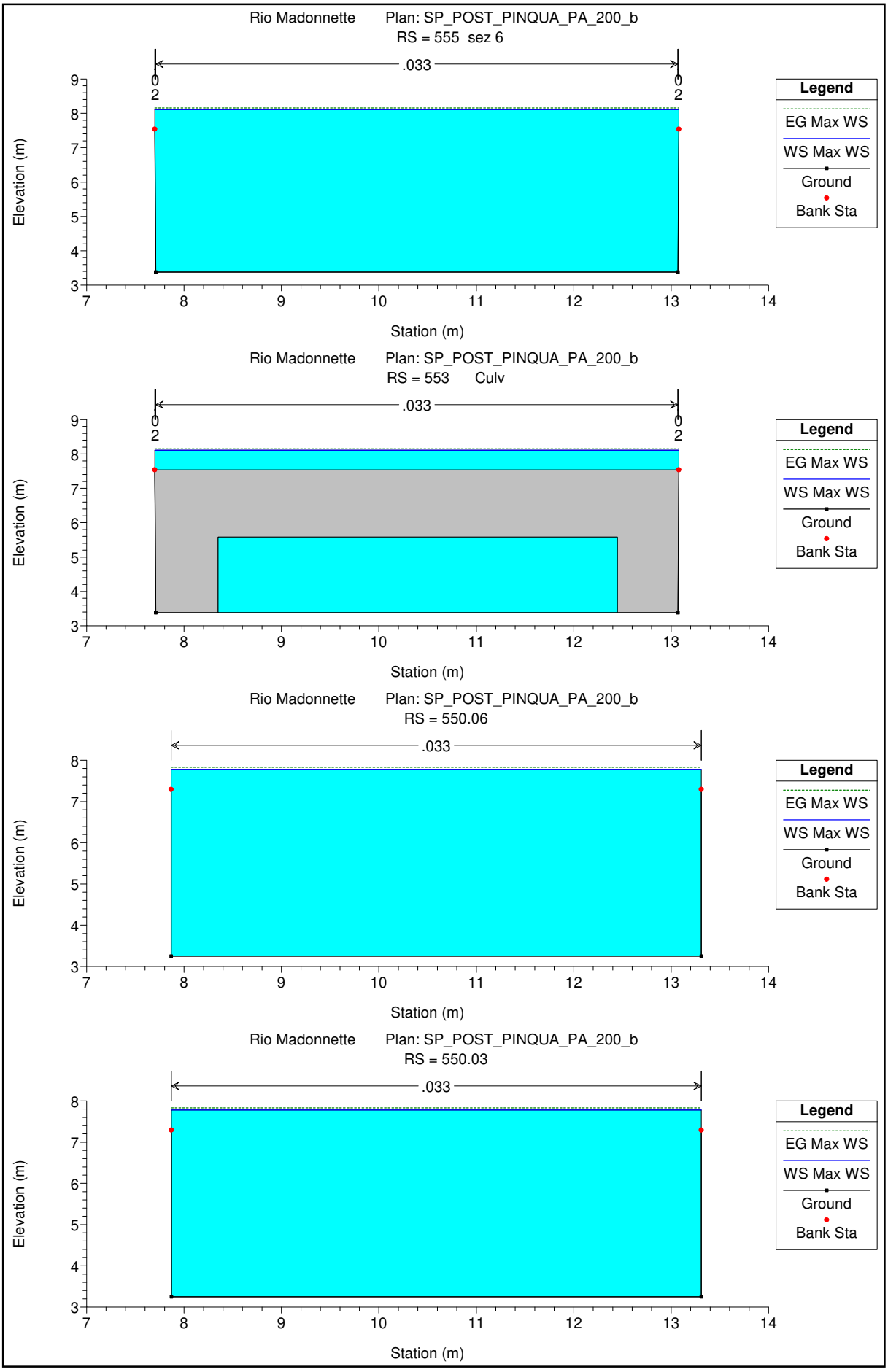
## Tabella

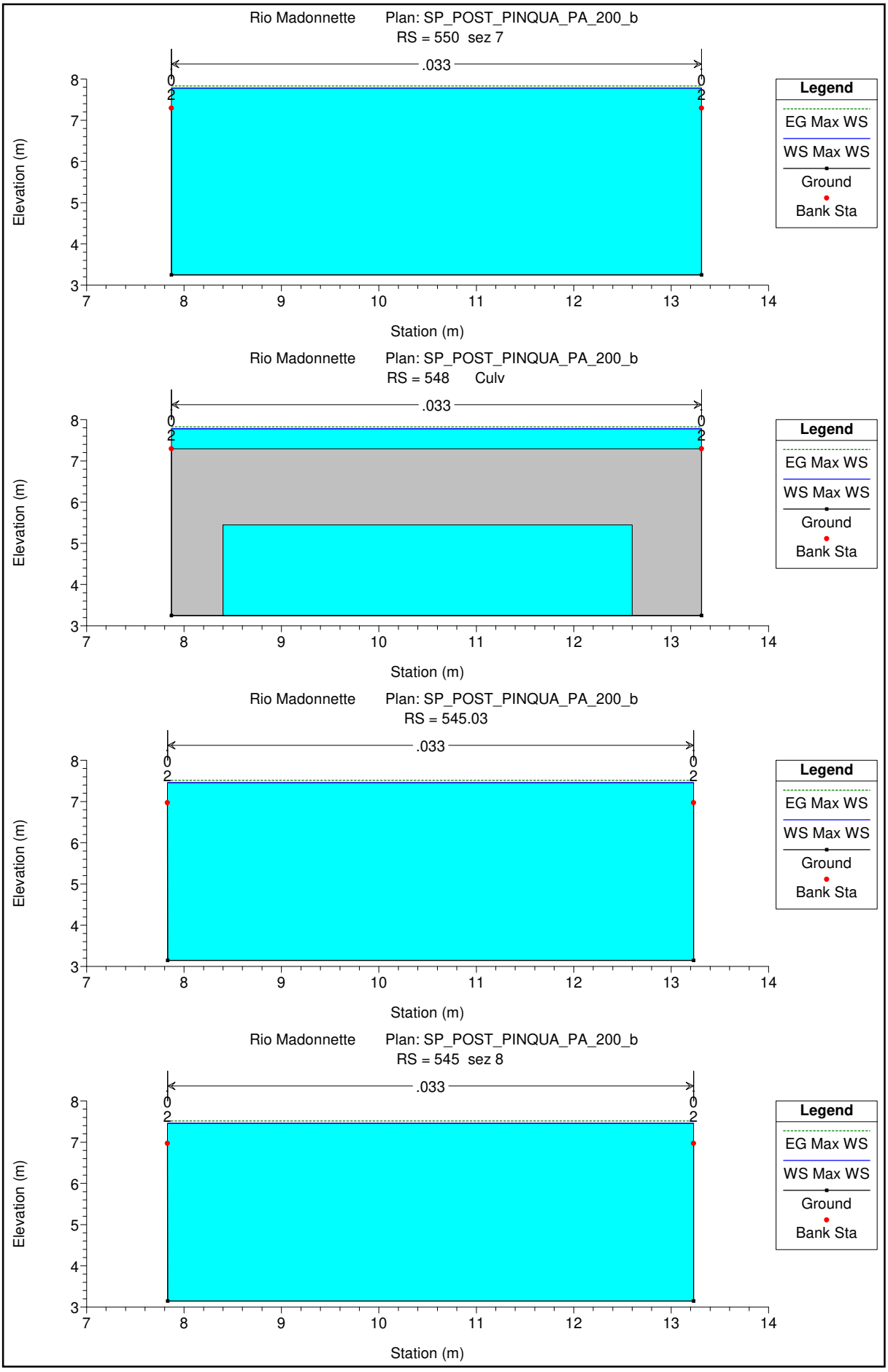
| River | Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 587 | Max WS | 32.39 | 5.37 | 8.18 | | 8.62 | 0.004703 | 2.93 | 11.04 | 3.94 | 0.56 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 580 | Max WS | 32.16 | 5.37 | 8.12 | | 8.57 | 0.004910 | 2.97 | 10.81 | 3.94 | 0.57 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 579 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 578 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 575 | Max WS | 32.39 | 3.69 | 8.39 | | 8.51 | 0.000886 | 1.58 | 20.44 | 4.35 | 0.23 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 570.03 | Max WS | 32.24 | 3.56 | 8.37 | | 8.50 | 0.001668 | 1.59 | 20.22 | 4.20 | 0.23 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 570 | Max WS | 32.23 | 3.56 | 8.37 | | 8.50 | 0.000905 | 1.59 | 20.22 | 4.20 | 0.23 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 569.95 | Max WS | 32.22 | 3.56 | 8.42 | | 8.50 | 0.000679 | 1.27 | 25.30 | 5.21 | 0.18 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 560.05 | Max WS | 24.64 | 3.47 | 8.49 | | 8.53 | 0.000414 | 0.90 | 27.34 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 560 | Max WS | 24.64 | 3.47 | 8.49 | | 8.53 | 0.000414 | 0.90 | 27.35 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 559.98 | Max WS | 24.64 | 3.47 | 8.49 | | 8.53 | 0.000413 | 0.90 | 27.38 | 5.45 | 0.13 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 557 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555.06 | Max WS | 24.64 | 3.38 | 8.11 | | 8.16 | 0.000289 | 0.97 | 25.38 | 5.38 | 0.14 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555.03 | Max WS | 24.64 | 3.38 | 8.11 | | 8.16 | 0.000289 | 0.97 | 25.38 | 5.38 | 0.14 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 555 | Max WS | 24.64 | 3.38 | 8.11 | | 8.16 | 0.000289 | 0.97 | 25.38 | 5.38 | 0.14 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 553 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550.06 | Max WS | 24.64 | 3.25 | 7.78 | | 7.83 | 0.000536 | 1.00 | 24.66 | 5.44 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550.03 | Max WS | 24.64 | 3.25 | 7.78 | | 7.83 | 0.000536 | 1.00 | 24.66 | 5.44 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 550 | Max WS | 24.64 | 3.25 | 7.78 | | 7.83 | 0.000314 | 1.00 | 24.67 | 5.44 | 0.15 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 548 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 545.03 | Max WS | 24.64 | 3.15 | 7.46 | | 7.51 | 0.000369 | 1.06 | 23.25 | 5.40 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 545 | Max WS | 24.64 | 3.15 | 7.46 | | 7.51 | 0.000369 | 1.06 | 23.25 | 5.40 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 544.96 | Max WS | 24.64 | 3.15 | 7.46 | | 7.51 | 0.000368 | 1.06 | 23.26 | 5.40 | 0.16 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 540 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 530.03 | Max WS | 24.64 | 2.93 | 7.09 | | 7.15 | 0.000677 | 1.10 | 22.48 | 5.40 | 0.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 530 | Max WS | 24.64 | 2.93 | 7.09 | | 7.15 | 0.000536 | 1.10 | 22.49 | 5.40 | 0.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 529.97 | Max WS | 24.64 | 2.93 | 7.09 | | 7.15 | 0.000678 | 1.10 | 22.48 | 5.40 | 0.17 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 528 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525.98 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 6.80 | | 6.87 | 0.000331 | 1.22 | 20.15 | 5.25 | 0.20 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525.95 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 6.75 | | 6.87 | 0.000619 | 1.53 | 16.12 | 4.24 | 0.25 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 525 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 6.75 | | 6.87 | 0.000620 | 1.53 | 16.11 | 4.24 | 0.25 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 520 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.32 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 5.55 | | 5.80 | 0.001634 | 2.24 | 11.00 | 4.24 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.25 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 5.55 | | 5.80 | 0.001635 | 2.24 | 11.00 | 4.24 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.20 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 5.55 | | 5.80 | 0.001635 | 2.24 | 11.00 | 4.24 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 517.12 | Max WS | 24.64 | 2.95 | 5.55 | | 5.80 | 0.001635 | 2.24 | 11.00 | 4.24 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 510 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500.02 | Max WS | 24.64 | 2.84 | 5.15 | | 5.37 | 0.001323 | 2.07 | 11.89 | 5.15 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500.01 | Max WS | 24.64 | 2.84 | 5.15 | | 5.37 | 0.001323 | 2.07 | 11.89 | 5.15 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 500 | Max WS | 24.64 | 2.84 | 5.15 | | 5.37 | 0.001322 | 2.07 | 11.89 | 5.15 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 499.93 | Max WS | 24.64 | 2.84 | 5.15 | | 5.37 | 0.001322 | 2.07 | 11.89 | 5.15 | 0.44 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 450 | | Culvert | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 446 | Max WS | 24.64 | 2.82 | 3.64 | 4.17 | 5.48 | 0.027560 | 6.02 | 4.09 | 5.00 | 2.12 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 445.99 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 445.98 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 445.90 | Max WS | 24.64 | 2.70 | 3.21 | 3.35 | 3.74 | 0.010908 | 3.20 | 7.69 | 15.00 | 1.43 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 436.51 | Max WS | 24.64 | 2.46 | 3.07 | 3.11 | 3.44 | 0.006441 | 2.72 | 9.05 | 15.00 | 1.12 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 436 | Max WS | 24.64 | 2.45 | 3.06 | 3.10 | 3.43 | 0.006245 | 2.70 | 9.14 | 15.00 | 1.10 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 432 | Max WS | 24.64 | 2.25 | 3.00 | | 3.25 | 0.003267 | 2.20 | 11.17 | 15.00 | 0.82 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 424.10 | Max WS | 24.64 | 2.09 | 3.02 | 2.74 | 3.18 | 0.001588 | 1.76 | 14.00 | 15.00 | 0.58 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 424 | | Inl Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 423.52 | Max WS | 22.79 | -4.67 | 1.54 | | 1.54 | 0.000005 | 0.24 | 93.17 | 15.00 | 0.03 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 419 | Max WS | 38.53 | -4.67 | 1.53 | | 1.54 | 0.000013 | 0.41 | 93.00 | 15.00 | 0.05 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 418 | Max WS | 38.53 | -4.67 | 1.52 | -3.52 | 1.54 | 0.000040 | 0.62 | 61.86 | 10.00 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408.57 | Max WS | 38.53 | -4.67 | 1.52 | -3.52 | 1.53 | 0.000040 | 0.62 | 61.85 | 10.00 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408.35 | Max WS | 38.53 | -1.82 | 1.46 | -0.67 | 1.53 | 0.000221 | 1.17 | 32.84 | 10.00 | 0.21 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 408 | Max WS | 38.53 | -1.82 | 1.46 | -0.67 | 1.53 | 0.000221 | 1.17 | 32.84 | 10.00 | 0.21 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 407.72 | Max WS | 38.53 | -3.82 | 1.49 | -2.67 | 1.52 | 0.000060 | 0.73 | 53.12 | 10.00 | 0.10 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 407 | Max WS | 38.53 | -3.82 | 1.49 | -2.67 | 1.52 | 0.000060 | 0.73 | 53.12 | 10.00 | 0.10 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 387.71 | Max WS | 38.53 | -3.82 | 1.49 | -2.67 | 1.52 | 0.000060 | 0.73 | 53.11 | 10.00 | 0.10 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 386.86 | Max WS | 38.53 | -2.32 | 1.32 | -0.50 | 1.55 | 0.001063 | 2.12 | 18.18 | 5.00 | 0.35 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 61.15 | Max WS | 38.72 | -2.65 | 0.95 | -0.82 | 1.19 | 0.001102 | 2.15 | 18.00 | 5.00 | 0.36 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 61 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 60 | | Lat Struct | | | | | | | | | |
| R. MADONNETTE | M-2 | 54 | Max WS | 38.77 | -2.60 | 1.03 | | 1.05 | 0.000065 | 0.65 | 61.76 | 24.11 | 0.11 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 39 | Max WS | 38.78 | -2.50 | 1.04 | | 1.05 | 0.000035 | 0.49 | 80.84 | 26.84 | 0.08 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 32 | Max WS | 6.85 | -2.50 | 0.90 | | 0.91 | 0.000044 | 0.36 | 19.08 | 6.53 | 0.07 |
| R. MADONNETTE | M-2 | 22 | Max WS | 5.00 | -2.60 | 0.90 | -2.14 | 0.90 | 0.000017 | 0.24 | 20.88 | 7.11 | 0.04 |

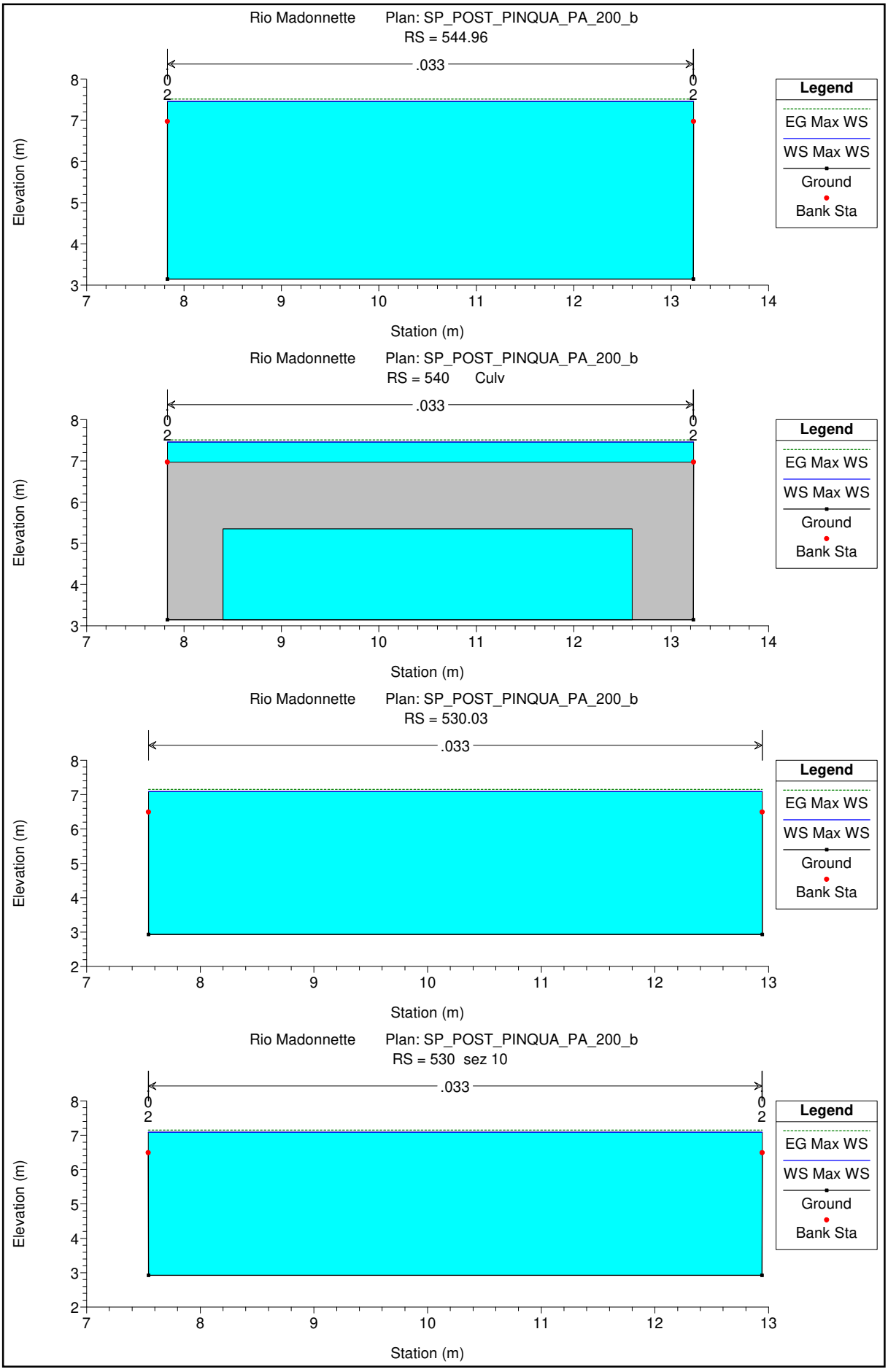

Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 587 SEZ. 1
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 580 sez 2
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 575 sez 3
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 570.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

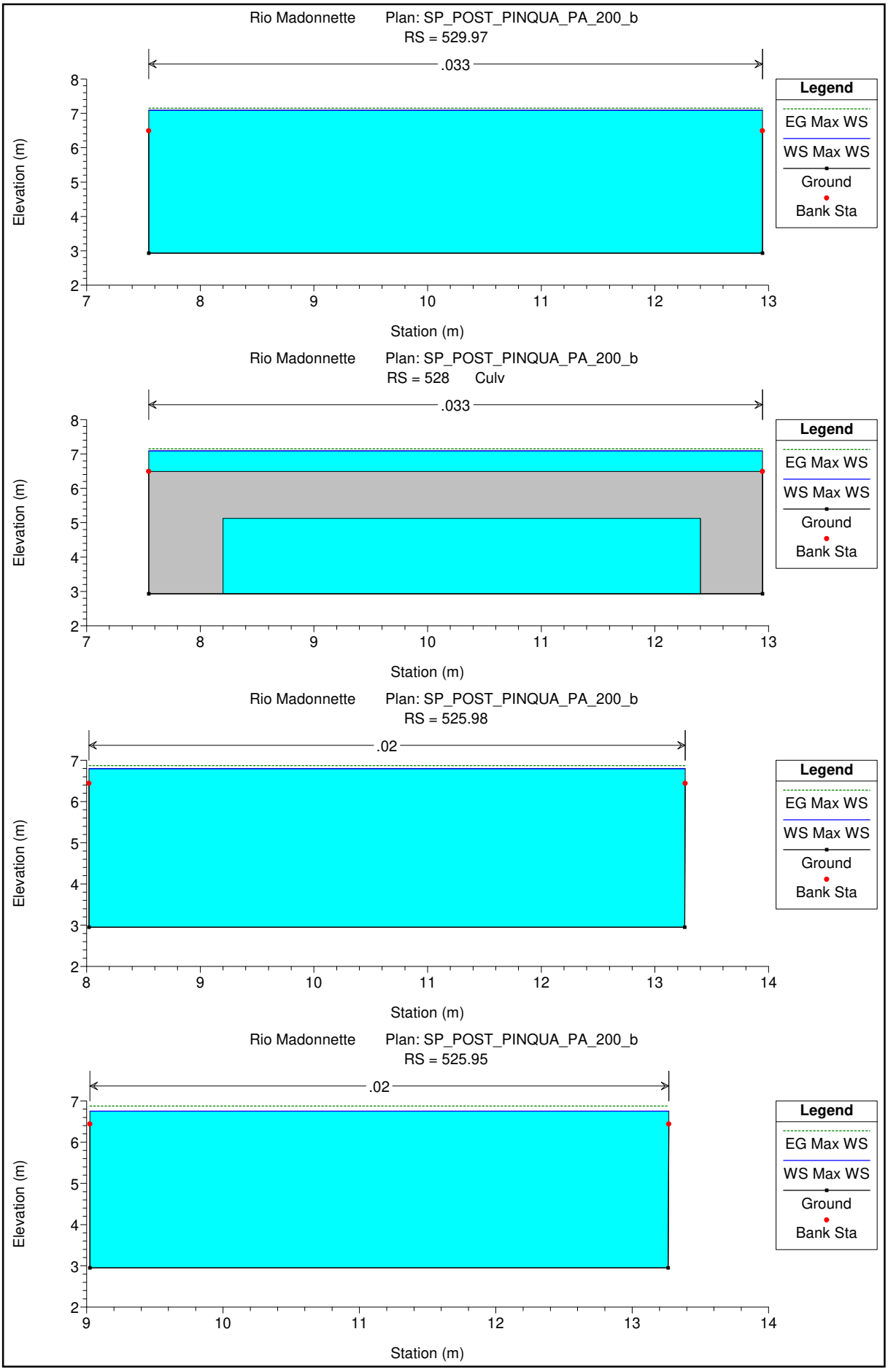

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 570
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 569.95
.033
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 560.05
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 560 SEZ. 5
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

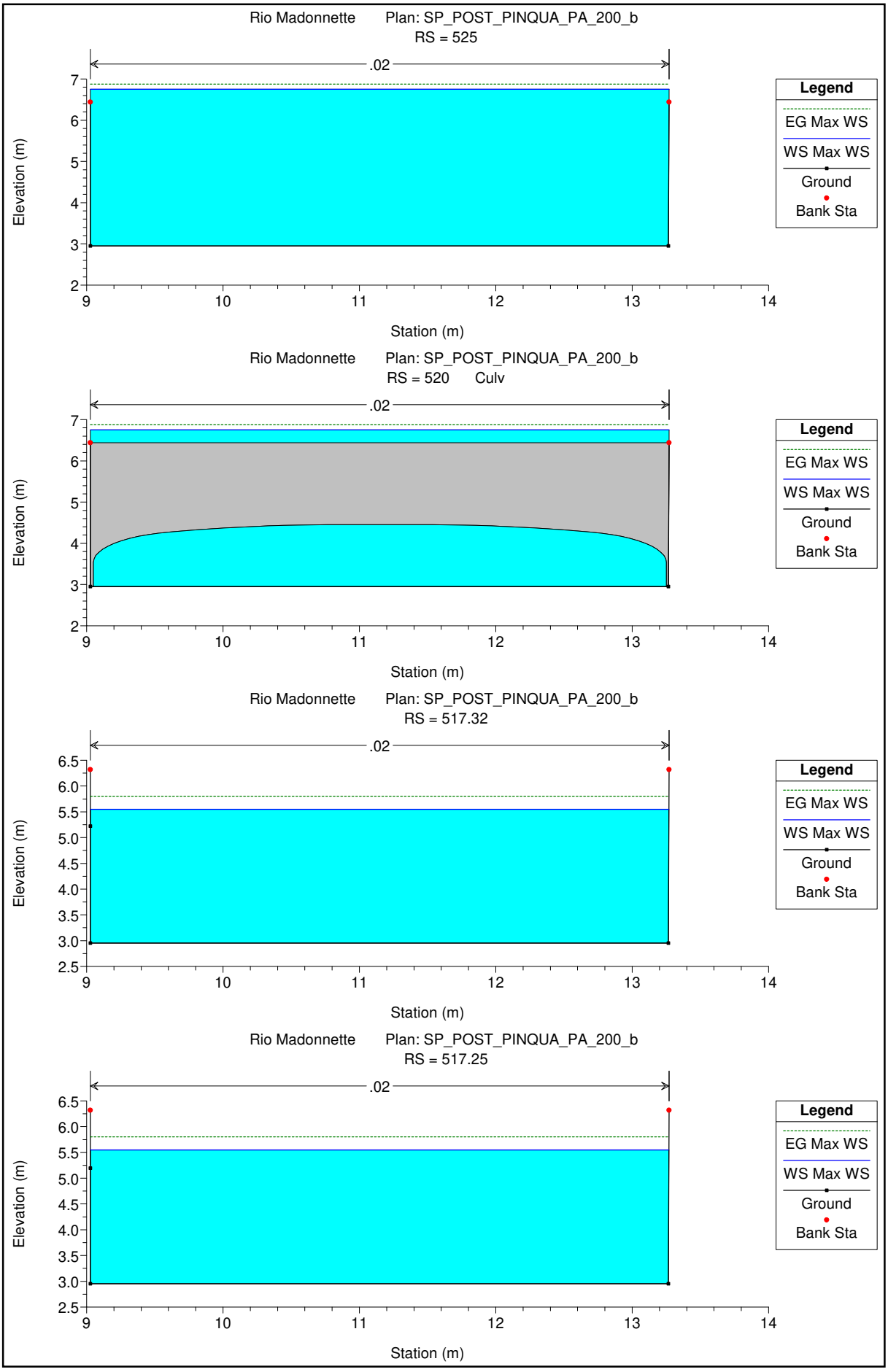

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 559.98
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 557 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 555.06
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 555.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

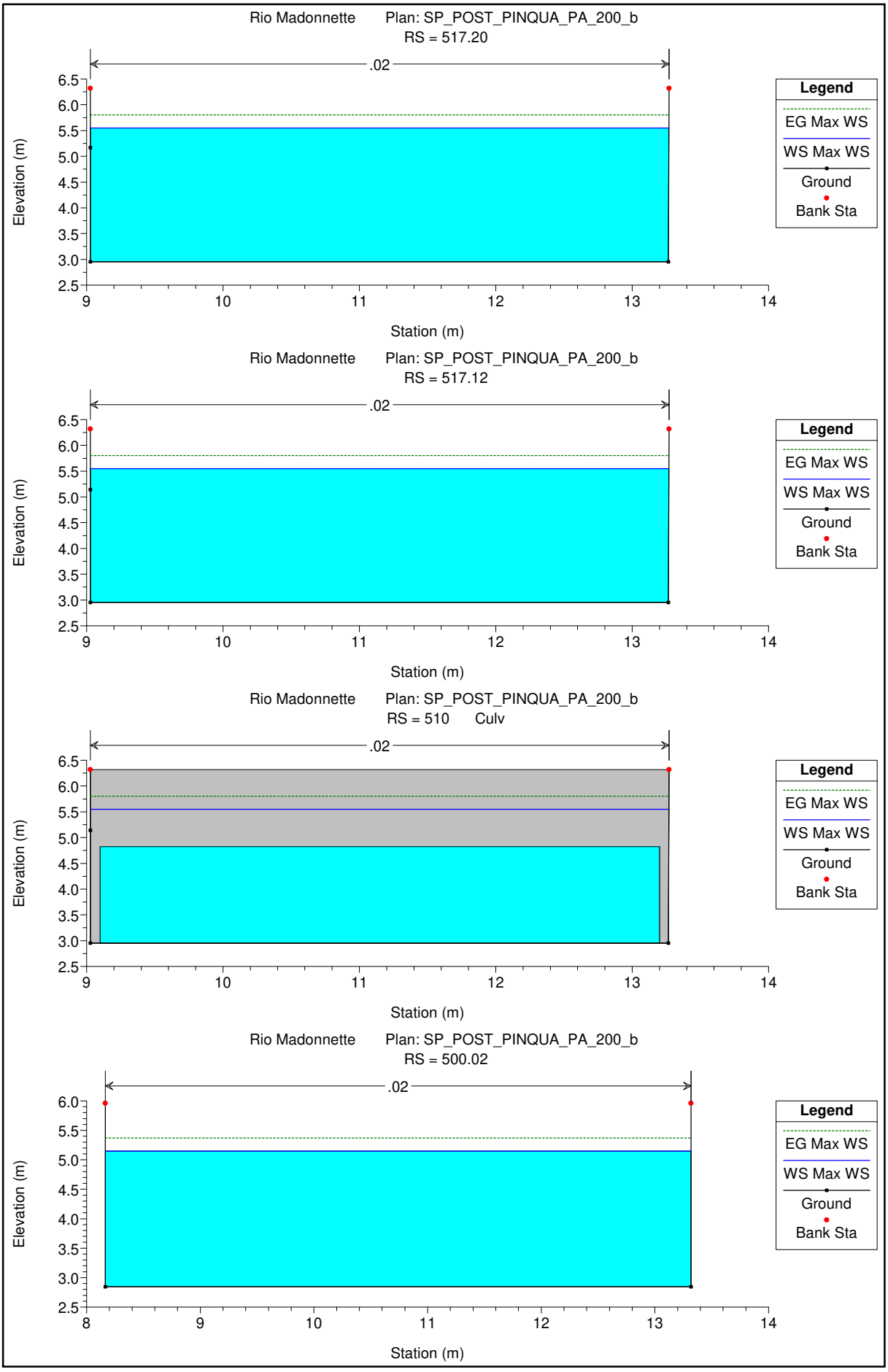

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 555 sez 6
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 553 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 550.06
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 550.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

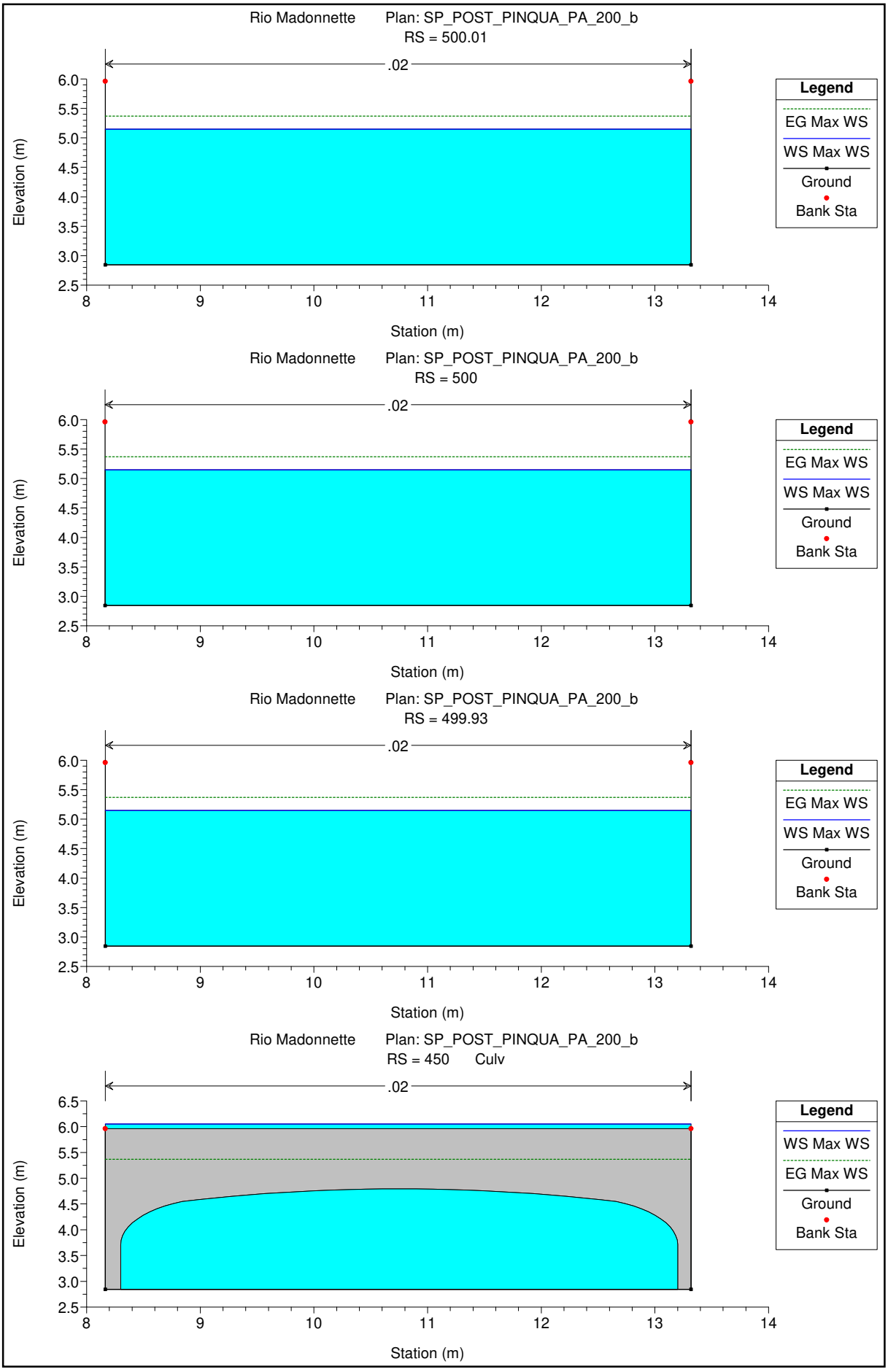

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 550 sez 7
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 548 Culv
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 545.03
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 545 sez 8
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

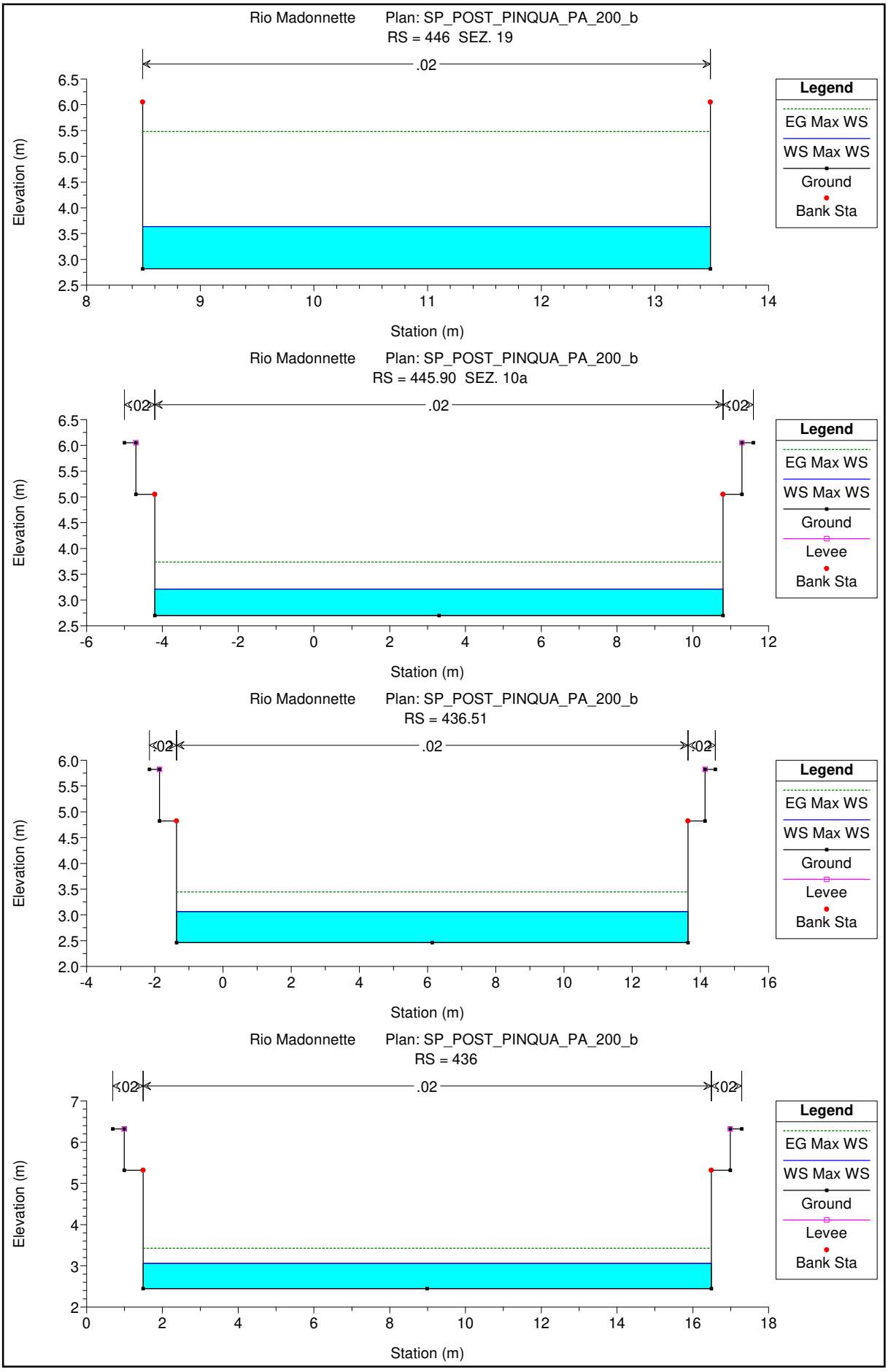

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 544.96
.033
0
2
0
2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 540 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 530.03
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 530 sez 10
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

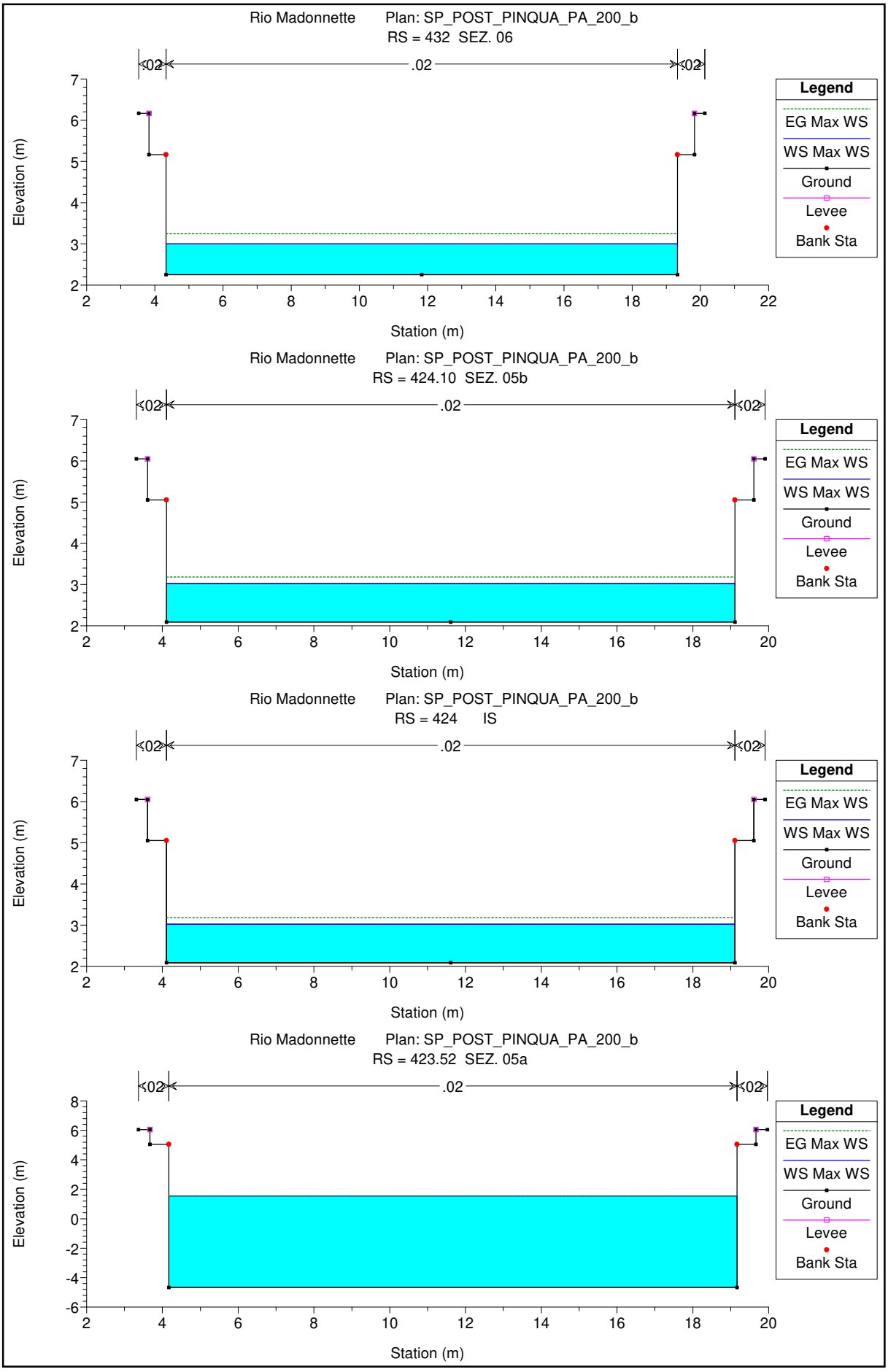

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 529.97
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 528 Culv
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 525.98
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 525.95
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

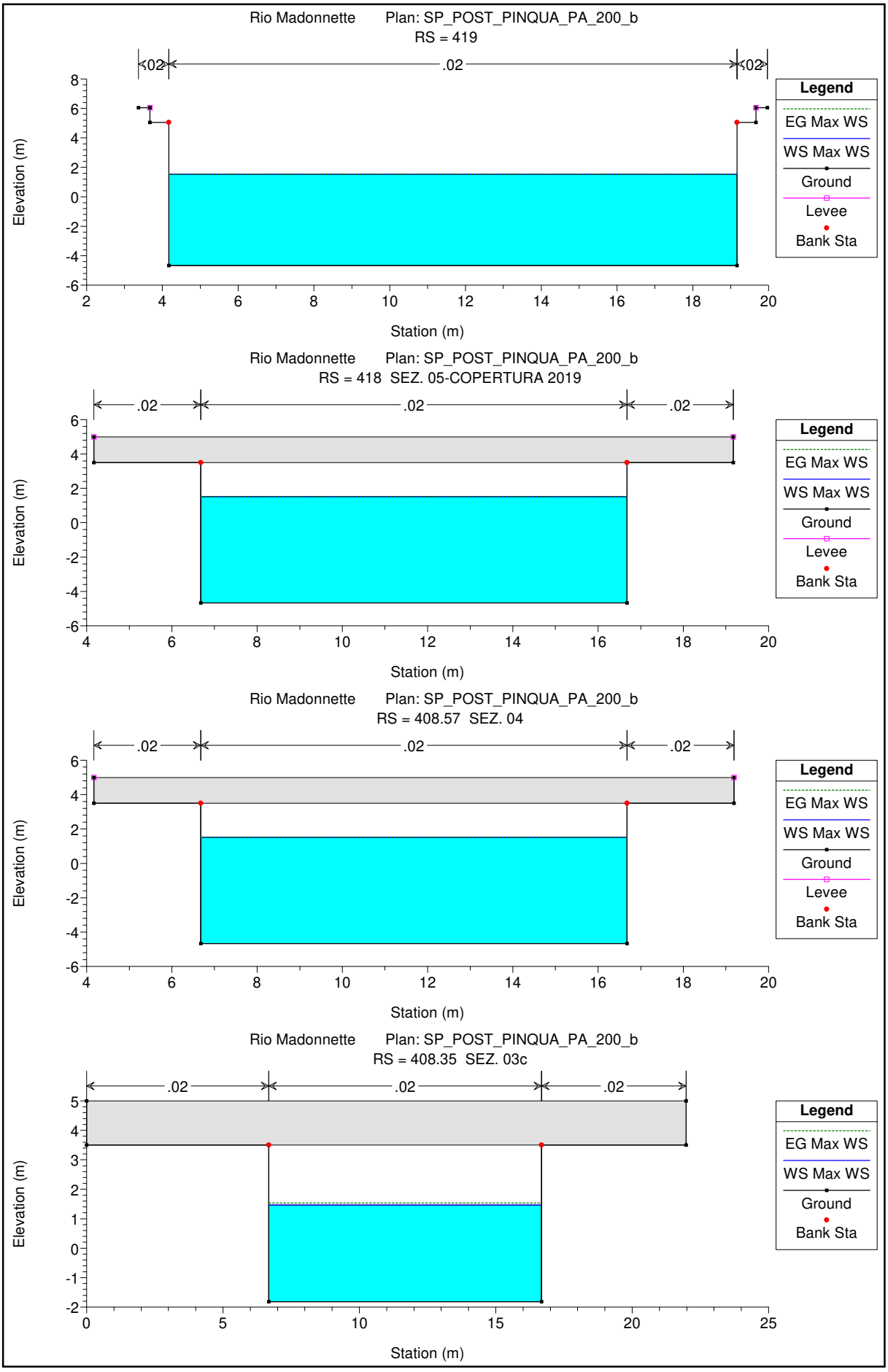

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 525
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 520 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 517.32
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 517.25
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

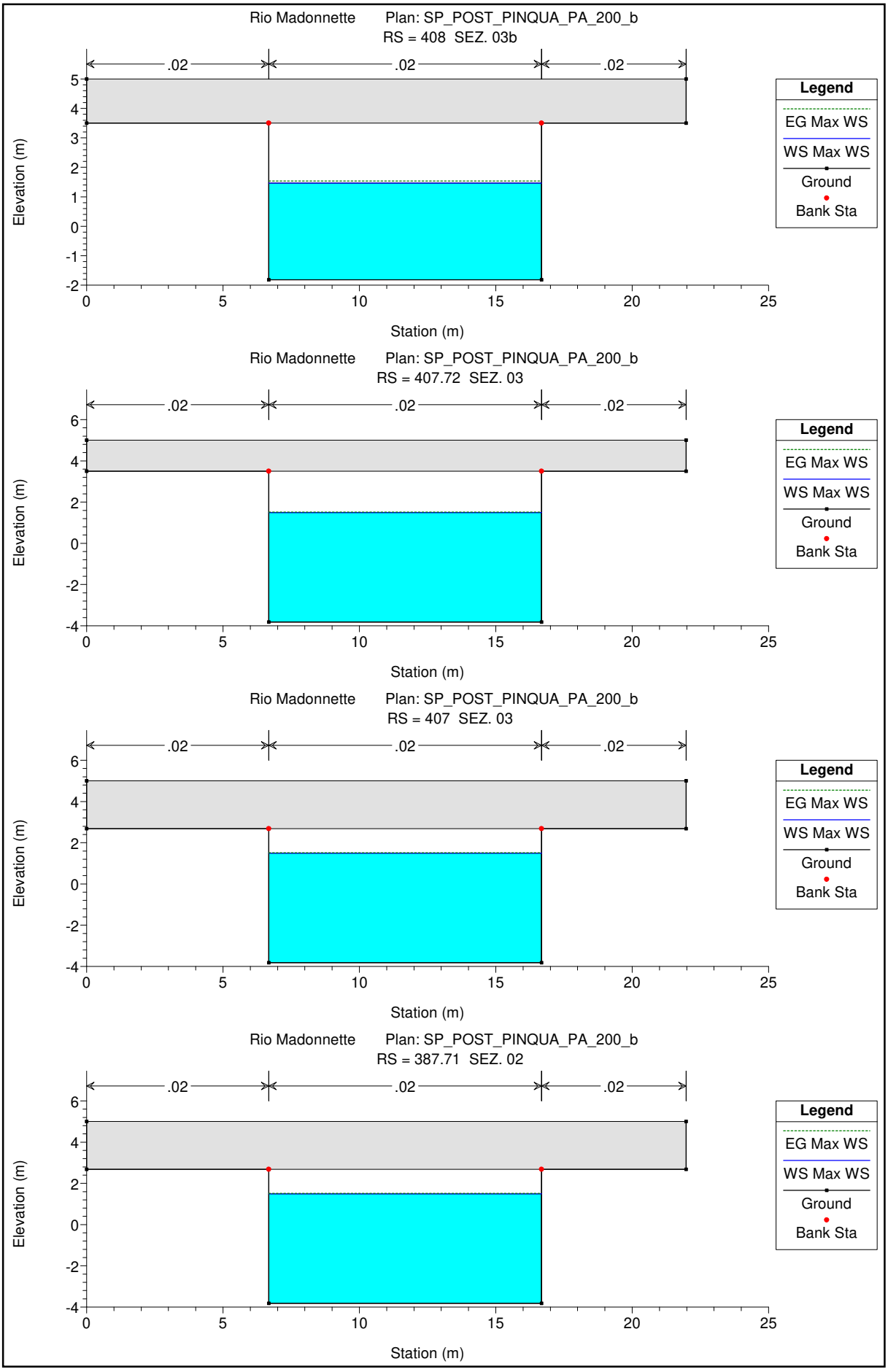

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 517.20
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 517.12
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 510 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 500.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta

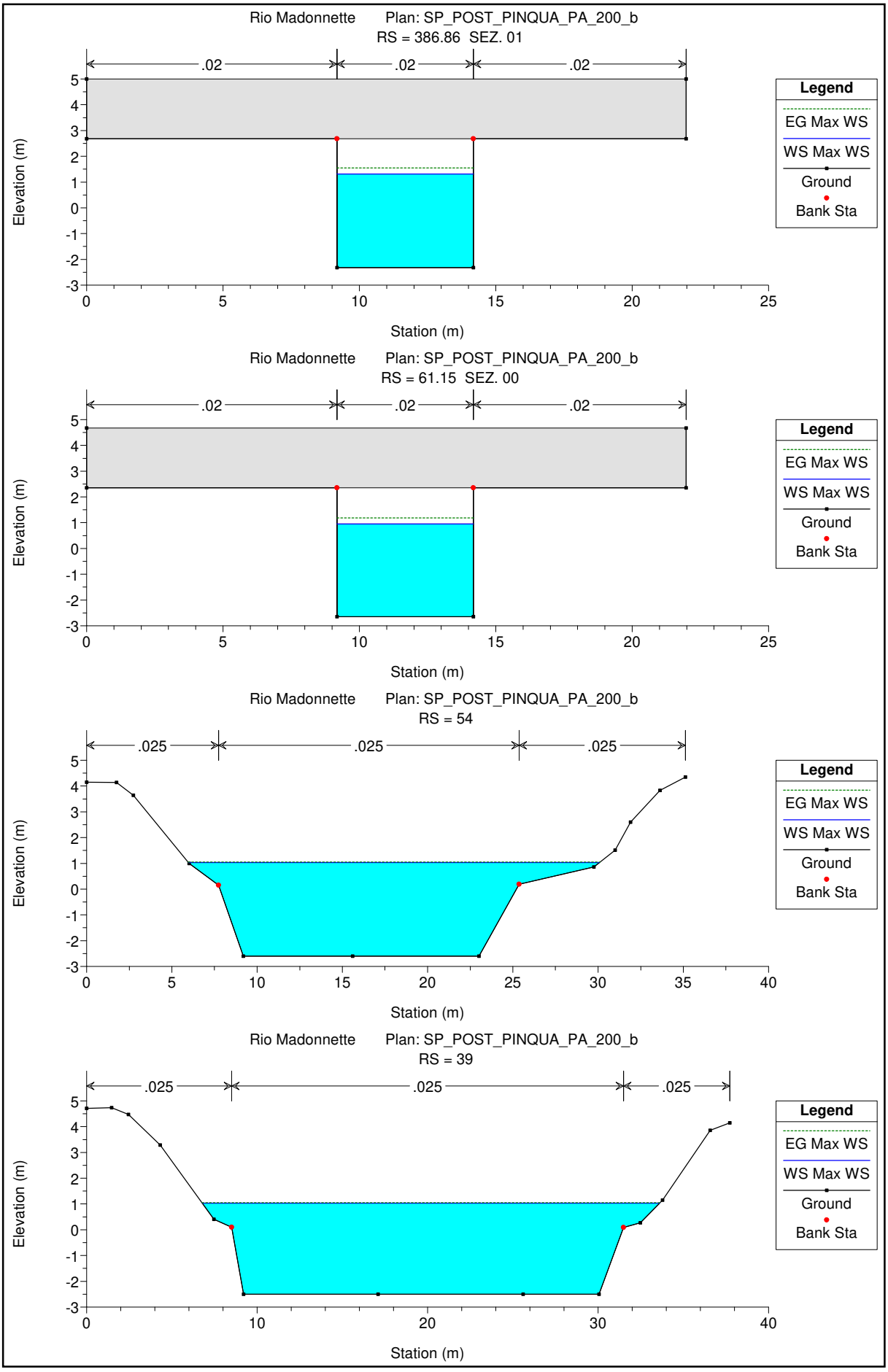

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 500.01
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 500
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 499.93
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 450 Culv
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Max WS
EG Max WS
Ground
Bank Sta

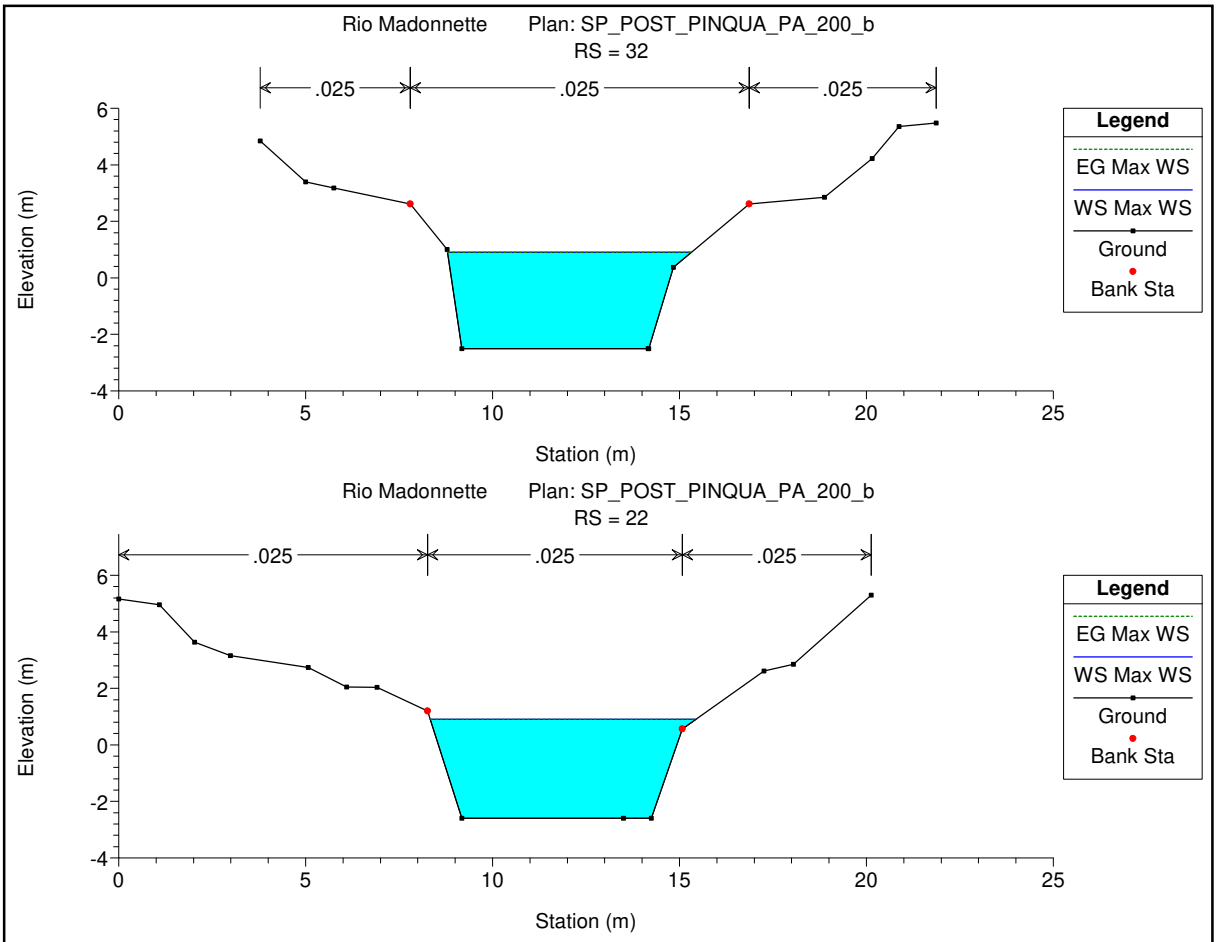

Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 446 SEZ. 19
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 445.90 SEZ. 10a
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 436.51
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 436
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 432 SEZ. 06
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 424.10 SEZ. 05b
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 424 IS
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 423.52 SEZ. 05a
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 419
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 418 SEZ. 05-COPERTURA 2019
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 408.57 SEZ. 04
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Levee
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 408.35 SEZ. 03c
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 408 SEZ. 03b
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 407.72 SEZ. 03
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 407 SEZ. 03
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 387.71 SEZ. 02
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 386.86 SEZ. 01
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 61.15 SEZ. 00
.02
.02
.02
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 54
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 39
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta


Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 32
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta
Rio Madonnette
Plan: SP_POST_PINQUA_PA_200_b
RS = 22
.025
.025
.025
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Max WS
WS Max WS
Ground
Bank Sta