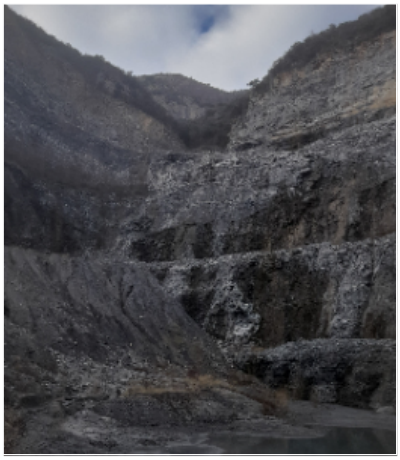
Firmato digitalmente da

Silvio De Ambroggi

O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Savona
C = IT
Data e ora della firma: 07/08/2024 15:40:44

Comune di Castelbianco

Provincia di Savona



CAVA PENNAVAIRE, COMUNE DI CASTELBIANCO (SV) – ISTANZA, AI SENSI DELLA L.R. N. 12/2012 E S.M.I., FINALIZZATA ALL'AUTORIZZAZIONE DEL PROGRAMMA DI COLTIVAZIONE E ALL'ESERCIZIO DELL'ATTIVITÀ ESTRATTIVA IN CONFORMITÀ AL P.T.R.A.C. APPROVATO CON D.C.R. N. 7/2020 CON MESSA IN SICUREZZA DEI FRONTI ATTUALI

COMMITTENTE

TRE TORRI COSTRUZIONI S.R.L.S.
Via al Piemonte 19
17031 Albenga (SV)

PROGETTISTI INCARICATI:

Ing. Roberto Desalvo - StAigeS Ingegneria S.r.l.

StAigeS Ingegneria S.r.l.
Corso Italia 33/6 - 17100 Savona (SV) - email: info@staiges.com
tel. 019.80.84.30 p.iva/c.f.: 01883930094

Studio Associato di Geologia Tecnica
di Canavero & Santini
Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona
tel 019813843 - 0192051420
e-mail: geolab@studiogeolab.it
website: www.studiogeolab.it

Dott. Ing. Giovanni DE CICCO
Via F. Cascione, 74
18100 IMPERIA (IM)
P.IVA 00208900084
Tel/fax 0183/61155

Dott. Fabio Palazzo
Dottore Agronomo, Guida Alpina-maestro di alpinismo
Landscape & Mountain design & planning
Via XX Settembre 28 10A - 16121 Genova

DOTT. ING. SILVIO DE AMBROGGI
ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SAVONA N°1830
VIA SS. GIACOMO E FILIPPO 1-B/4, 17015 CELLE LIGURE (SV)
TELEFONO: 3392121891 - E-MAIL: silvio.de.ambroggi@gmail.com

REV.	DATA	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2024	PRIMA EMISSIONE

RELAZIONE IDRAULICA

SOMMARIO

1. PREMESSE ... 3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO ... 4
3. DESCRIZIONE DEI LUOGHI ... 4
4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO ... 5
5. PORTATA DI PROGETTO ... 7
6. VERIFICHE IDRAULICHE ... 7
6.1 Metodo di calcolo ... 7
6.2 Descrizione del modello – configurazione definitiva ... 9
6.3 Descrizione del modello – configurazione temporanea tombinata ... 10
6.4 Analisi dei risultati – configurazione definitiva ... 10
6.5 Analisi dei risultati – configurazione temporanea tombinata ... 17
7. FENOMENI EROSIVI E OPERE DI PROTEZIONE ... 22
8. INDICAZIONI SULLE MODALITA' ESECUTIVE ... 27
9. CONCLUSIONI ... 28

ALLEGATI

a) CONFIGURAZIONE DEFINITIVA
   Sezioni idrauliche schematiche
   Profilo idraulico schematico

b) CONFIGURAZIONE D
   Sezioni idrauliche schematiche
   Profilo idraulico schematico

1. PREMESSE

La società Tre Torri Costruzioni srls intende proporre un programma di coltivazione ed esercizio dell'attività estrattiva in conformità al P.T.R.A.C. approvato con il D.C.R. n.7/2020, con conseguente messa in sicurezza dei fronti attuali, per la cava sita in Via Pennavaire 1, nel comune di Castelbianco (SV).

Il progetto è redatto in compartecipazione dall'Ing. Roberto Desalvo – StAigeS di Savona e dall'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia, i quali hanno curato la redazione degli elaborati progettuali necessari all'istanza e le tavole grafiche di riferimento. La documentazione ha inoltre previsto i contributi della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona e del Dott. Fabio Palazzo – Più Spazio di Genova (oltre che dello scrivente professionista) per alcune prestazioni specialistiche di carattere geologico, idraulico ed ambientale, per completezza di documentazione.

Tra le problematiche che si sono dovute affrontare, in sede di progettazione, vi è infatti quella relativa alla sistemazione idraulica del Rio Crosu, il corso d'acqua che drena il bacino imbrifero cui la cava afferisce: nel corso delle precedenti coltivazioni della cava, infatti, il sedime del rio è stato escavato tanto da stravolgerne il corso e, allo stato attuale, non è possibile riconoscerne il percorso originario.

A tal proposito, lo scrivente Dott. Ing. Silvio De Ambroggi, con studio in Celle Ligure, Via SS. Giacomo e Filippo n°1-B/4, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Savona con posizione n. 1830, ha ricevuto incarico di redigere la presente relazione idraulica, a corredo della proposta progettuale.

Nel presente documento vengono pertanto descritte le verifiche idrauliche condotte, al fine di individuare il corretto assetto plano-altimetrico per la sistemazione definitiva del rio, con la finalità di ottenere le autorizzazioni regionali in tema di pianificazione di bacino.

Si precisa infine che, preliminarmente alla documentazione in oggetto, è stato presentato nel marzo 2023 il "*Progetto di messa in sicurezza iniziale, con regimazione idraulica del Rio Crosu e dei rii affluenti*" per il sito in questione: la documentazione, a firma dell'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia e della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona, descrive le opere necessarie per l'iniziale inalveamento temporaneo del Rio Crosu in posizione differente rispetto alla sede demaniale, al fine di permettere le opere di coltivazione.

Pertanto, nelle successive valutazioni idrauliche, si farà riferimento a quest'ultima configurazione come "livello zero" delle successive fasi di coltivazione e recupero ambientale, nell'ottica del conclusivo re-inalveamento del rio nella rispettiva sede demaniale. In questo frangente, sono quindi descritte le verifiche idrauliche riferite alle fasi intermedie della coltivazione, le quali prevedono anche la ricostruzione della morfologia dei versanti, con conseguente abbancamento del materiale anche nelle aree della sede temporanea del rio Crosu e conseguente parziale tombinatura dello stesso.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Dal punto di vista delle successive valutazioni idrauliche relative all'intervento in oggetto, si farà riferimento alla normativa per le aree a rischio inondazione ovvero:

- Piano di bacino stralcio per il rischio idrogeologico ai sensi del D.L. 180/98, approvato con D.C.P. n°47 del 25/11/2003, aggiornato con D.D.G. n°3478 del 24/12/2018, entrata in vigore dal 09/01/2019;
- Circolare esplicativa n°1/2008, approvata con D.C.P. n°53 del 31/07/2008;
- Regolamento Regionale n°3 del 14 Luglio 2011 e s.m.i., R.R. n°1 del 16 Marzo 2016
- Normativa Generale di Piano di Bacino stralcio sul rischio idrogeologico, modificato in ultimo con DdDG n. 176 del 25/06/2018.

Le stesse forniscono le indicazioni e le prescrizioni da applicare nelle fasce a rischio inondazione legate ad eventi con tempo di ritorno cinquantennali, duecentennali e cinque centennali (rispettivamente fascia A, B, C), oltre che a definire criteri per la valutazione dell'ammissibilità degli interventi edilizi nelle diverse aree, nonché le necessarie verifiche idrauliche da sviluppare.

3. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

Si premette che, nel presente elaborato, si fa ampio riferimento allo studio idraulico realizzato nell'ambito del "*Progetto di messa in sicurezza iniziale, con regimazione idraulica del Rio Crosu e dei rii affluenti*", a firma della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona. Nella documentazione agli atti è infatti riportata tutta la cartografia di inquadramento definizione del bacino idrografico, elaborati a cui si rimanda per ogni approfondimento in merito.

Il sito della cava "Pennavaire" risulta ubicato nel Comune di Castelbianco, in località Cianea. Come è desumibile dalla documentazione cartografica, lungo la sua estensione sono presenti alcuni rami del reticolo idrografico, costituiti dal Rio Crosu e dal rio Moglie.

Entrambi drenano bacini imbriferi posti in sponda destra del T. Pennavaire, del quale risultano affluenti; la limitata ramificazione definisce uno sviluppo dei deflussi con orientamento prevalente S-O/N-E, con estensione areale maggiore del rio Crosu.

Come anticipato in premessa e sulla scorta del rilievo topografico alla base della progettazione, l'alveo del rio Crosu oggi non risulta riconoscibile nelle aree all'interno della cava, a causa dell'attività estrattiva effettuata in passato. Non è infatti evidente la presenza di alcun impluvio, ma solo zone ad elevata pendenza e forti dislivelli tra i versanti: il tracciato originario è solamente presente sulla mappa catastale. Il rio Moglie risulta

invece sviluppato al di fuori dell'area estrattiva (anche quella prevista dal progetto), pertanto non è stato oggetto delle stesse trasformazioni antropiche e, di conseguenza, non risulta oggetto della presente trattazione.

Il progetto idraulico per la sistemazione del rio Crosu nasce dall'esigenza principale di "ricostruire" il corso d'acqua e riportarlo sul suo sedime originario, assumendo tale il tracciato riportato dalla mappa catastale: la geometria finale sarà quindi valutata coerentemente con il progetto di ricostruzione morfologica dei versanti e ricucitura delle curve di livello.

4. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Come anticipato in premessa, la proposta progettuale prevede un programma di coltivazione ed esercizio dell'attività estrattiva in conformità al P.T.R.A.C. approvato con il D.C.R. n.7/2020, con conseguente messa in sicurezza dei fronti attuali. Il programma si articola in quattro fasi (c.f.r. "Relazione tecnica illustrativa"), ovvero:

- Fase 1: realizzazione delle opere in terra rinforzata a partire dal piazzale di base (quota circa +117 m s.l.m.), con contestuale riempimento a tergo delle stesse fino alla quota di circa +152 m s.l.m.;
- Fase 2: coltivazione del fronte roccioso nella porzione nord-ovest della cava, con formazione di 7 gradoni a partire dalla quota di +290 m s.l.m. fino al piazzale alla quota di circa +152 m s.l.m.;
- Fase 3: ricostruzione della morfologia dei versanti modificati dalle operazioni di escavazione, mediante ricucitura delle curve di livello interrotte dall'attività di cava, da ottenersi tramite abbancamento di materiali sciolti, a partire dalla quota di +152 m s.l.m. E' previsto il mantenimento a vista di una parete di falesia rocciosa alla quota di +295 - +310 m s.l.m.;
- Fase 4: rinaturalizzazione del sito, mediante ricostruzione degli habitat forestali e stesura di strato di terreno vegetale propedeutico all'inerbimento ed alla messa a dimora di specie autoctone.

Preliminarmente a tutte le operazioni, è previsto l'iniziale inalveamento temporaneo del Rio Crosu in posizione differente rispetto alla sede demaniale, in accordi al citato progetto a firma dell'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia e della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona. La configurazione temporanea prevede la realizzazione di un alveo inciso ed a cielo aperto lungo la porzione sud del sito, zona al di fuori delle principali attività di coltivazione, a partire da quota di monte di circa +240 m s.l.m.: lungo il tracciato sono quindi previsti due vasche di calma-sedimentazione a valle del tratto più pendente, quindi la confluenza nel tratto terminale del rio Moglie a quota di circa +115 m s.l.m.

Ai fini delle valutazioni idrauliche, si riportano di seguito alcune considerazioni relative ad ogni fase prevista dalla proposta progettuale:

a) FASE 1: nella durata di realizzazione di tutte le opere previste, la configurazione del rio Crosu corrisponde alla fase preliminare con inalveamento temporaneo verso sud, con tracciato sviluppato tutto a cielo aperto. In questo contesto, sarà realizzata la porzione terminale definitiva del rio re-inalveato, con le rispettive briglie e vasche di sedimentazione, con funzione esclusivamente di smaltimento acque bianche del piazzale da realizzarsi a quota di circa +152 m s.l.m.. Per tutta la durata della fase, valgono quindi le valutazioni idrauliche riportate nel progetto a firma dell'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia e della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona;

b) FASE 2: essendo previste esclusivamente operazioni di coltivazione del fronte roccioso nelle porzioni di monte e non essendo attuate modifiche significative al tracciato del corso d'acqua nel suo tracciato temporaneo, restano ancora valide le valutazioni circa il rio Crosu riportate alla fase precedente;

c) FASE 3: stante l'abbancamento di materiale al di sopra della quota del piazzale a +152 m s.l.m., anche in corrispondenza del sedime provvisorio del rio Crosu, si prevede la realizzazione di una tombinatura parziale del tracciato temporaneo, con condotte in lamiera di acciaio corrugato di diametro 3.0 m, da prolungarsi verso monte fino ai margini dell'intervento a quota di circa +280 m s.l.m, mentre nel tratto verso valle il tracciato resterà inalterato ed a cielo aperto. Di conseguenza, saranno eliminate le vasche di calma/sedimentazione esistenti lungo il tracciato temporaneo ed i tratti in contropendenza, realizzando una vasca di sedimentazione con briglia selettiva all'imbocco della tombinatura stessa. L'abbancamento del materiale permette però la realizzazione in parallelo dell'alveo del rio Crosu nella sua configurazione definitiva, che risulterà "operativo" alla conclusione delle operazioni della suddetta fase;

d) FASE 4: nella durata di realizzazione di tutte le opere previste, la configurazione del rio Crosu corrisponde a quella "re-inalveata" nel suo sedime originario. Il tracciato temporaneo, ormai tombinato, sarà abbandonato.

Di conseguenza, dal punto di vista delle successive verifiche idrauliche, saranno analizzate le seguenti configurazioni:

1. Alveo del rio Crosu re-inalveato nel suo sedime originario, nella configurazione finale;
2. Alveo del rio Crosu inalveato nel tracciato temporaneo, parzialmente tombinato nel tratto verso monte ed a cielo aperto nel tratto terminale verso il rio Moglie.

Per le verifiche circa la configurazione del rio Crosu inalveato nel tracciato temporaneo, totalmente a cielo aperto, si rimanda al citato progetto di messa in sicurezza iniziale a firma dell'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia e della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona.

5. PORTATA DI PROGETTO

Facendo nuovamente riferimento alla documentazione già agli atti, si riporta di seguito una sintesi dei parametri di calcolo utilizzati per le valutazioni delle portate di progetto:

- Rio Crosu ricadente nel Piano di bacino stralcio per il rischio idrogeologico del Fiume Centa;
- Area drenata del bacino sotteso 0.61 Km^2 - bacino di secondo livello in riferimento al R.R. 1/2016;
- Bacino tipo D;
- Portate di piena: Q_{50} = 9.38 m^3/s ; Q_{200} = 13.56 m^3/s ; Q_{500} = 16.32 m^3/s

6. VERIFICHE IDRAULICHE

Nel presente paragrafo vengono descritte, dopo una breve esposizione del metodo utilizzato, le verifiche idrauliche effettuate sul Rio Crosu, sia nella sua configurazione definitiva del tracciato re-inalveato, sia nella configurazione temporanea con porzione di monte tombinata e porzione di valle a cielo aperto.

6.1 Metodo di calcolo

Il modello utilizzato integra le equazioni fondamentali che governano il moto di una corrente a pelo libero, e cioè l'equazione di continuità e l'equazione del moto che, in forma differenziale e nel caso generale di moto vario, si scrivono rispettivamente:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -j - \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q}{gA}\right)$$

dove:

Q = portata liquida	[m^3/s]
A = area della sezione liquida	[m^2]
H = carico totale della corrente	[m]
j = perdite distribuite	[m/m]
g = accelerazione di gravità	[m/s^2]
x = ascissa corrente	[m]
t = tempo	[s]

Nel presente caso, compatibilmente con quanto indicato nelle "Raccomandazioni dell'Autorità di Bacino Regionale", non si è ritenuta necessaria la schematizzazione del fenomeno in moto vario, ma si è ritenuta

significativa l'assunzione di moto permanente. Le equazioni di moto e di continuità si riducono quindi alla sola dipendenza dalla coordinata spaziale secondo la forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -j$$

La risoluzione delle equazioni è stata condotta attraverso una schematizzazione alle differenze finite e introducendo l'equazione di Manning per la stima delle resistenze distribuite:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} j^{1/2}$$

dove: U = velocità media della corrente = Q/A [m/s]
R = raggio idraulico della corrente [m]
n = coefficiente di Manning [$m^{-1/3}$ s]

Le perdite concentrate, nei tratti ove si verificano, sono state assunte proporzionali al carico cinetico, secondo l'espressione:

$$\Delta H = \xi \Delta \left(\frac{U^2}{2g} \right)$$

dove il coefficiente adimensionale ξ varia in dipendenza del tipo di perdita (restringimento, allargamento, cambio di direzione del flusso, etc.).

Il programma utilizzato nel calcolo è HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center- River Analysis System, della US Army Corps Engineers). Il modello determina il profilo di moto permanente per ogni tratto scegliendo tra i possibili profili di corrente lenta e di corrente veloce quello a cui corrisponde la spinta totale maggiore, essendo la definizione della spinta:

$$S = \frac{1}{2} \gamma \, Y \, A + \gamma \frac{Q^2}{gA}$$

dove: γ = peso specifico dell'acqua [N/m^3]
Y = profondità [m]

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, come noto, è necessario imporre, oltre al valore di portata in ingresso nella sezione di monte, una condizione di livello a valle in caso di corrente lenta ed una condizione di livello a monte in caso di corrente veloce.

In virtù delle valutazioni nei confronti delle concomitanze di piena nel T. Pennavaire, la verifica è stata condotta assumendo quali condizioni al contorno, in termini di quota di pelo libero, le seguenti condizioni:

- Condizione di monte: la condizione di monte per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta pari alla profondità critica, che risulta pari alla massima profondità possibile per una corrente veloce, ovvero l'unica corrente ad essere condizionata da monte;
- Condizione di valle: la condizione di valle per il calcolo del profilo in moto permanente è stata posta cautelativamente pari ai livelli di piena previsti per il T. Pennavaire (concomitanza dei livelli di piena), essendo definiti nei citati studi idraulici, mentre per il caso dell'alveo temporaneo tombinato è stato posto pari ai livelli noti nel Rio Moglie, fermo restando l'assenza di variazioni significative nel tratto di valle.

La verifica idraulica del corso d'acqua principale è stata condotta per portate con tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni con ipotesi di moto permanente. La schematizzazione di calcolo adottata si basa sulle seguenti assunzioni:

- Portata costante nel tratto considerato anche nell'eventualità di superamento dei punti estremi delle sezioni: il procedimento consiste nell'immaginare che la sezione sia limitata, agli estremi, da argini infinitamente alti.

Sulla base di quanto previsto nella sistemazione relativamente alle condizioni di fondo alveo, ed in ossequio a quanto impartito dall'Allegato 1 – Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici – del Piano di Bacino, il coefficiente di Manning è stato adottato pari a n=0.040 $m^{-1/3}$ s (pari ad un coefficiente di Gauckler-Strickler Ks = 25 $m^{1/3}$ s^{-1}) per i tratti di alveo inciso, stante la presenza di "salti e rocce" nella configurazione finale e la significativa scabrezza del materiale corrugato della tombinatura.

6.2 Descrizione del modello – configurazione definitiva

Il modello utilizzato è costituito complessivamente da n. 47 sezioni trasversali, a partire da quelle appositamente rilevate con campagna topografica di dettaglio realizzata per il progetto in esame, ovvero dalla sezione 15i di inizio tratto fino alla sezione di chiusura 1i.

Sono quindi state "sdoppiate" diverse sezioni in "monte" e "valle", in modo da simulare l'inserimento delle briglie/salti di fondo lungo il profilo, con dislivello di 2.50 m tra di loro. Per una migliore elaborazione, sono state introdotte alcune sezioni di infittimento/interpolazione.

Il tracciato risulta complessivamente "a cielo aperto", ad esclusione della presenza dell'impalcato di attraversamento in corrispondenza delle sezioni 10.6i - 10.4i, legato alla pista di arroccamento; a livello planimetrico, il re-inalveamento segue il sedime demaniale originale, fino alla confluenza del T. Pennavaire

verso nord-est. Il tratto oggetto di indagine si sviluppa approssimativamente per circa 635 m, con un dislivello pari a circa 168 m valutato in corrispondenza del centro della sezione.

Lo sviluppo al di sotto dell'attraversamento è stato trattato inserendo per le sezioni di inizio e fine, alla quota dell'intradosso della tombinatura, un lato ("lid") su cui valgono le condizioni di attrito di parete; il programma provvede a rivalutare il contorno bagnato (e quindi le perdite di carico) nel caso in cui la quota di intradosso venga toccata dalla corrente o meno. Trattandosi di un'opera di progetto, tale evenienza è stata scongiurata.

6.3 Descrizione del modello – configurazione temporanea tombinata

Il modello utilizzato è costituito complessivamente da n. 35 sezioni trasversali, coincidenti con quelle definite nel progetto di messa in sicurezza iniziale a firma dell'Ing. Giovanni De Cicco di Imperia e della Dott.ssa Geol. Sabrina Santini – Geo.Lab di Savona, ovvero dalla sezione 17 di inizio tratto fino alla sezione di chiusura 1 della confluenza con il Rio Moglie.

Per poter raccordarsi planimetricamente ed altimetricamente con la sistemazione definitiva, l'intervento è stato prolungato verso monte fino ad incontrare la sezione 15i, quindi è stata introdotta la sezione 16i per la definizione della vasca di sedimentazione dotata di briglia selettiva. Sono state quindi "sdoppiate" le sezioni 16i in monte/valle, per tenere conto del brusco cambio di sezione, quindi la sezione 15i di inizio tombinatura e la sezione 6.1 di fine tombinatura. Per una migliore elaborazione, sono state introdotte alcune sezioni di infittimento/interpolazione.

In questo caso, il tracciato risulta tombinato tra le sezioni 15Vi e la sezione 6.1M, per una lunghezza di circa 464 m e dislivello di circa 130 m: nel tratto compreso tra la sezione 6.1V e la sezione 1 il tracciato risulta a cielo aperto e di caratteristiche analoghe a quello della messa in sicurezza iniziale.

Anche in questo caso, i tratti tombinati sono stati trattati inserendo per ogni sezione, alla quota dell'intradosso della tombinatura, un lato ("lid") su cui valgono le condizioni di attrito di parete; il programma provvede a rivalutare il contorno bagnato (e quindi le perdite di carico) nel caso in cui la quota di intradosso venga toccata dalla corrente o meno. Nell'ulteriore caso in cui la corrente superi la quota di intradosso, il carico piezometrico risulta differente dalla quota effettiva della corrente, e tale differenza risulta proprio pari al termine di pressione idraulica.

6.4 Analisi dei risultati – configurazione definitiva

Nelle tabelle successive è riportato, per ogni sezione, il valore della portata di calcolo Q_{tot} [m^3/s], l'ascissa nel canale Dist [m], la quota del fondo alveo Quota fondo [m], la quota del pelo libero Q p.l. [m], la profondità critica [m], il carico totale H [m], la velocità media della corrente U [m/s] ed il numero di Froude.

Sez.	Q tot (mc/s)	Dist (m)	Quota fondo (m)	Q p.l. (m)	Prof. Critica (m)	Carico totale H (m)	U (m/s)	Num. Fr. (-)	Note. (-)
15	9.38	0	278.40	279.24	279.24	279.62	2.73	1.01	Cielo aperto
14.5M	9.38	21.63	274.50	274.95	275.34	276.45	5.43	2.69	
14.5V	9.38	21.73	272.00	272.29	272.84	276.18	8.74	5.38	
14M	9.38	43.35	269.38	269.87	270.21	271.04	4.79	2.24	
14V	9.38	43.45	266.88	267.17	267.71	270.77	8.41	5.09	
13.5M	9.38	62.11	262.57	262.97	263.39	264.74	5.91	3.04	
13.5V	9.38	62.21	260.07	260.33	260.89	264.47	9.01	5.62	
13M	9.38	80.87	255.76	256.17	256.59	257.94	5.90	3.03	
13V	9.38	80.97	253.26	253.53	254.09	257.66	9.00	5.61	
12M	9.38	127.68	244.68	245.13	245.52	246.65	5.47	2.72	
12V	9.38	127.78	242.18	242.47	243.02	246.38	8.76	5.41	
11M	9.38	168.78	234.41	234.84	235.24	236.40	5.53	2.76	
11V	9.38	168.88	231.91	232.19	232.74	236.13	8.80	5.43	
10.6	9.38	183.58	229.37	229.80	230.20	231.41	5.62	2.89	Inizio attravers.
10.4	9.38	190.08	228.27	228.71	229.09	230.16	5.34	2.68	Fine attravers.
10M	9.38	197.02	227.12	227.58	227.96	229.01	5.29	2.59	
10V	9.38	197.12	224.62	224.91	225.46	228.73	8.66	5.31	
9M	9.38	265.66	210.58	211.03	211.44	212.67	5.67	2.86	
9V	9.38	265.76	208.08	208.39	208.95	212.40	8.87	5.5	
8M	9.38	345.51	191.02	191.44	191.86	193.13	5.76	2.92	
8V	9.38	345.61	188.52	188.80	189.36	192.86	8.93	5.55	
7.85M	9.38	354.53	186.27	186.66	187.10	188.59	6.15	3.22	
7.85V	9.38	354.63	183.77	184.03	184.60	188.31	9.16	5.76	
7.75M	9.38	363.54	181.52	181.90	182.35	183.85	6.18	3.24	
7.75V	9.38	363.64	179.02	179.28	179.85	183.57	9.18	5.78	
7.65M	9.38	372.56	176.78	177.16	177.61	179.11	6.17	3.24	
7.65V	9.38	372.66	174.28	174.54	175.11	178.83	9.17	5.78	
7.5M	9.38	381.57	172.02	172.40	172.85	174.35	6.19	3.25	
7.5V	9.38	381.67	169.52	169.78	170.35	174.07	9.18	5.79	
7.4M	9.38	390.59	167.28	167.66	168.11	169.61	6.17	3.24	
7.4V	9.38	390.69	164.78	165.04	165.61	169.33	9.17	5.78	
7.25M	9.38	399.59	162.53	162.91	163.36	164.86	6.18	3.25	
7.25V	9.38	399.69	160.03	160.29	160.86	164.58	9.17	5.78	
7.10M	9.38	408.61	157.78	158.16	158.61	160.11	6.18	3.25	
7.10V	9.38	408.71	155.28	155.54	156.11	159.83	9.18	5.78	
7M	9.38	417.62	153.03	153.42	153.87	155.37	6.17	3.24	
7V	9.38	417.72	150.53	150.80	151.37	155.09	9.17	5.78	

6M	9.38	432.77	145.70	146.07	146.53	148.26	6.56	3.54	
6V	9.38	432.87	143.20	143.46	144.03	147.98	9.42	6.01	
5	9.38	444.95	140.59	141.00	141.42	142.74	5.84	2.99	
4M	9.38	457.42	135.92	136.28	136.75	138.66	6.84	3.76	
4V	9.38	457.52	133.42	133.68	134.25	138.37	9.59	6.18	
3M	9.38	473.11	131.33	131.81	132.16	133.07	4.98	2.37	
3V	9.38	473.21	128.83	129.12	129.66	132.80	8.50	5.17	
2M	9.38	515.64	125.16	125.72	126.00	126.65	4.28	1.91	
2V	9.38	515.74	122.66	122.97	123.50	126.39	8.19	4.9	
1	9.38	569.52	117.20	119.50	118.03	119.54	0.84	0.2	confluenza

Tabella 1: verifica configurazione definitiva – Tr = 50 anni

Sez.	*Q tot (mc/s)*	*Dist (m)*	*Quota fondo (m)*	*Q p.l. (m)*	*Prof. Critica (m)*	*Carico totale H (m)*	*U (m/s)*	*Num. Fr. (-)*	*Note. (-)*
15	13.56	0	278.40	279.46	279.46	279.93	3.04	1.01	Cielo aperto
14.5M	13.56	21.63	274.50	275.07	275.56	276.97	6.11	2.71	
14.5V	13.56	21.73	272.00	272.39	273.06	276.70	9.20	4.89	
14M	13.56	43.35	269.38	270.00	270.43	271.51	5.44	2.29	
14V	13.56	43.45	266.88	267.27	267.93	271.24	8.82	4.61	
13.5M	13.56	62.11	262.57	263.07	263.61	265.37	6.72	3.1	
13.5V	13.56	62.21	260.07	260.42	261.11	265.09	9.57	5.18	
13M	13.56	80.87	255.76	256.27	256.81	258.57	6.72	3.1	
13V	13.56	80.97	253.26	253.63	254.31	258.29	9.57	5.18	
12M	13.56	127.68	244.68	245.24	245.74	247.20	6.21	2.77	
12V	13.56	127.78	242.18	242.57	243.24	246.93	9.26	4.94	
11M	13.56	168.78	234.41	234.95	235.46	236.96	6.28	2.82	
11V	13.56	168.88	231.91	232.29	232.96	236.69	9.30	4.97	
10.6	13.56	183.58	229.37	229.90	230.41	231.97	6.37	2.95	Inizio attravers.
10.4	13.56	190.08	228.27	228.81	229.30	230.70	6.08	2.76	Fine attravers.
10M	13.56	197.02	227.12	227.70	228.18	229.52	5.98	2.62	
10V	13.56	197.12	224.62	225.01	225.68	229.25	9.12	4.83	
9M	13.56	265.66	210.58	211.14	211.66	213.26	6.44	2.92	
9V	13.56	265.76	208.08	208.48	209.17	212.98	9.40	5.05	
8M	13.56	345.51	191.02	191.55	192.08	193.73	6.54	2.98	
8V	13.56	345.61	188.52	188.89	189.58	193.45	9.46	5.1	
7.85M	13.56	354.53	186.27	186.75	187.32	189.33	7.12	3.37	
7.85V	13.56	354.63	183.77	184.12	184.82	189.05	9.84	5.39	
7.75M	13.56	363.54	181.52	181.99	182.57	184.62	7.18	3.41	

7.75V	13.56	363.64	179.02	179.37	180.07	184.34	9.88	5.43	
7.65M	13.56	372.56	176.78	177.25	177.83	179.87	7.17	3.41	
7.65V	13.56	372.66	174.28	174.63	175.33	179.60	9.87	5.43	
7.5M	13.56	381.57	172.02	172.49	173.07	175.12	7.18	3.42	
7.5V	13.56	381.67	169.52	169.87	170.57	174.84	9.88	5.43	
7.4M	13.56	390.59	167.28	167.75	168.33	170.37	7.17	3.41	
7.4V	13.56	390.69	164.78	165.13	165.83	170.09	9.87	5.43	
7.25M	13.56	399.59	162.53	163.00	163.58	165.63	7.18	3.41	
7.25V	13.56	399.69	160.03	160.38	161.08	165.35	9.88	5.43	
7.10M	13.56	408.61	157.78	158.25	158.83	160.88	7.18	3.41	
7.10V	13.56	408.71	155.28	155.63	156.33	160.60	9.88	5.43	
7M	13.56	417.62	153.03	153.51	154.09	156.13	7.17	3.41	
7V	13.56	417.72	150.53	150.89	151.59	155.85	9.87	5.43	
6M	13.56	432.77	145.70	146.16	146.75	149.02	7.49	3.63	
6V	13.56	432.87	143.20	143.55	144.25	148.74	10.09	5.6	
5	13.56	444.95	140.59	141.10	141.64	143.41	6.74	3.12	
4M	13.56	457.42	135.92	136.37	136.97	139.41	7.73	3.8	
4V	13.56	457.52	133.42	133.76	134.47	139.13	10.26	5.74	
3M	13.56	473.11	131.33	131.92	132.38	133.60	5.74	2.48	
3V	13.56	473.21	128.83	129.22	129.88	133.33	8.99	4.73	
2M	13.56	515.64	125.16	125.86	126.22	127.05	4.83	1.93	
2V	13.56	515.74	122.66	123.08	123.72	126.78	8.53	4.38	
1	13.56	569.52	117.20	120.00	118.25	120.05	0.93	0.2	confluenza

Tabella 2: verifica configurazione definitiva – Tr = 200 anni

Sez.	*Q tot (mc/s)*	*Dist (m)*	*Quota fondo (m)*	*Q p.l. (m)*	*Prof. Critica (m)*	*Carico totale H (m)*	*U (m/s)*	*Num. Fr. (-)*	*Note. (-)*
15	16.32	0	278.40	279.59	279.59	280.11	3.21	1.01	Cielo aperto
14.5M	16.32	21.63	274.50	275.14	275.69	277.26	6.46	2.7	
14.5V	16.32	21.73	272.00	272.45	273.19	276.99	9.44	4.67	
14M	16.32	43.35	269.38	270.07	270.56	271.79	5.81	2.32	
14V	16.32	43.45	266.88	267.34	268.06	271.52	9.06	4.4	
13.5M	16.32	62.11	262.57	263.13	263.74	265.75	7.16	3.14	
13.5V	16.32	62.21	260.07	260.48	261.24	265.47	9.90	5	
13M	16.32	80.87	255.76	256.33	256.94	258.95	7.17	3.14	
13V	16.32	80.97	253.26	253.68	254.44	258.67	9.90	5	
12M	16.32	127.68	244.68	245.31	245.87	247.53	6.61	2.79	
12V	16.32	127.78	242.18	242.63	243.37	247.26	9.54	4.75	

11M	16.32	168.78	234.41	235.02	235.59	237.30	6.69	2.84	
11V	16.32	168.88	231.91	232.34	233.09	237.02	9.58	4.78	
10.6	16.32	183.58	229.37	229.96	230.54	232.31	6.79	2.99	Inizio attravers.
10.4	16.32	190.08	228.27	228.88	229.43	231.02	6.49	2.81	Fine attravers.
10M	16.32	197.02	227.12	227.77	228.31	229.83	6.37	2.65	
10V	16.32	197.12	224.62	225.07	225.81	229.56	9.39	4.63	
9M	16.32	265.66	210.58	211.20	211.79	213.60	6.86	2.94	
9V	16.32	265.76	208.08	208.54	209.29	213.33	9.70	4.85	
8M	16.32	345.51	191.02	191.61	192.21	194.08	6.97	3.01	
8V	16.32	345.61	188.52	188.95	189.71	193.81	9.77	4.9	
7.85M	16.32	354.53	186.27	186.80	187.45	189.77	7.64	3.44	
7.85V	16.32	354.63	183.77	184.17	184.95	189.50	10.22	5.24	
7.75M	16.32	363.54	181.52	182.05	182.70	185.09	7.73	3.5	
7.75V	16.32	363.64	179.02	179.42	180.20	184.81	10.29	5.29	
7.65M	16.32	372.56	176.78	177.31	177.96	180.35	7.73	3.5	
7.65V	16.32	372.66	174.28	174.68	175.46	180.07	10.28	5.29	
7.5M	16.32	381.57	172.02	172.55	173.20	175.60	7.74	3.51	
7.5V	16.32	381.67	169.52	169.92	170.70	175.32	10.29	5.3	
7.4M	16.32	390.59	167.28	167.81	168.46	170.85	7.73	3.5	
7.4V	16.32	390.69	164.78	165.18	165.96	170.57	10.28	5.29	
7.25M	16.32	399.59	162.53	163.06	163.71	166.10	7.73	3.5	
7.25V	16.32	399.69	160.03	160.43	161.21	165.82	10.29	5.3	
7.10M	16.32	408.61	157.78	158.31	158.96	161.35	7.73	3.5	
7.10V	16.32	408.71	155.28	155.68	156.46	161.07	10.29	5.3	
7M	16.32	417.62	153.03	153.57	154.22	156.61	7.73	3.5	
7V	16.32	417.72	150.53	150.94	151.72	156.33	10.28	5.29	
6M	16.32	432.77	145.70	146.21	146.88	149.48	8.01	3.68	
6V	16.32	432.87	143.20	143.60	144.38	149.20	10.48	5.44	
5	16.32	444.95	140.59	141.15	141.77	143.83	7.25	3.19	
4M	16.32	457.42	135.92	136.43	137.10	139.86	8.20	3.82	
4V	16.32	457.52	133.42	133.82	134.61	139.57	10.63	5.55	
3M	16.32	473.11	131.33	131.98	132.51	133.93	6.19	2.54	
3V	16.32	473.21	128.83	129.28	130.01	133.67	9.28	4.56	
2M	16.32	515.64	125.16	125.95	126.35	127.29	5.13	1.95	
2V	16.32	515.74	122.66	123.15	123.85	127.02	8.72	4.17	
1	16.32	569.52	117.20	120.50	118.38	120.54	0.81	0.17	confluenza

Tabella 3: verifica configurazione definitiva – Tr = 500 anni

Con riferimento alle tabelle sopra riportate, alle sezioni ed al profilo idraulico schematico riportati in allegato, si può rilevare quanto segue.

Si fa inizialmente presente che l'assunzione di base di considerare la portata costante anche nell'eventualità di superamento dei punti estremi delle sezioni, con conseguente definizione di una sezione limitata da argini infinitamente alti, non ha effetti significativi in questo caso in quanto la portata risulta totalmente contenuta all'interno dell'alveo. Non si evidenziano infatti fenomeni esondativi laterali.

In tutti i casi sopra riportati, il profilo presenta il medesimo comportamento.

La corrente, inizialmente veloce, si mantiene tale fino alla sezione di chiusura. Tale comportamento, prevedibile viste le elevate pendenze del sito, è parzialmente ridotto dalla presenza delle briglie/salti di fondo, che provocano una riduzione della velocità localizzata ed una riduzione dell'inclinazione nei tratti compresi tra le briglie, con valori tra il 12% ed il 25%. Solo in un tratto, a causa dei vincoli geometrici, la pendenza si attesta su valori del 37%.

Relativamente ai franchi idraulici ed in particolare in riferimento all' All.2 R.R. 1/2016, è possibile constatare come gli stessi risultino sufficientemente verificati. Infatti, viene richiesto che, per i corsi d'acqua di primo e secondo livello, i franchi di sicurezza non risultino inferiori al valore maggiore tra:

- il valore del carico cinetico della corrente;
- I valori riportati in tabella:

I	argini e difese spondali	cm. 50/100
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150
II I	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 150/200

Nelle tabelle seguenti si riporta, per ogni sezione indagata, il valore del carico cinetico $U^2/2g$ [m], il valore del franco di sicurezza minimo Fmin, la quota di testa argine destro e sinistro, il valore "y+Fmin"[m] da confrontare con la quota di testa argine.

Sez.	*$U^2/2g$ (m)*	*Fmin (m)*	*Quota argine sin (m)*	*Quota argine dx (m)*	*Y+Fmin (m)*	*Esito verifica (Y+Fmin < Qsin; Qdx)*
15	0.47	1.00	281.14	281.14	280.46	verificato
14.5M	1.90	1.90	277.74	277.74	276.97	verificato
14.5V	4.31	4.31	277.74	277.74	276.70	verificato
14M	1.51	1.51	272.12	272.12	271.51	verificato
14V	3.96	3.96	272.12	272.12	271.23	verificato
13.5M	2.30	2.30	265.38	265.38	265.37	verificato
13.5V	4.67	4.67	265.38	265.38	265.09	verificato
13M	2.30	2.30	258.58	258.58	258.57	verificato

13V	4.67	4.67	258.58	258.58	258.30	verificato
12M	1.97	1.97	247.42	247.42	247.21	verificato
12V	4.37	4.37	247.42	247.42	246.94	verificato
11M	2.01	2.01	237.15	237.15	236.96	verificato
11V	4.41	4.41	237.15	237.15	236.70	verificato
10.6	2.07	2.07	233.00	233.00	231.97	verificato
10.4	1.88	1.88	233.00	233.00	230.69	verificato
10M	1.82	1.82	229.86	229.86	229.52	verificato
10V	4.24	4.24	229.86	229.86	229.25	verificato
9M	2.11	2.11	213.32	213.32	213.25	verificato
9V	4.50	4.50	213.32	213.32	212.98	verificato
8M	2.18	2.18	193.76	193.76	193.73	verificato
8V	4.56	4.56	193.76	193.76	193.45	verificato
7.85M	2.58	2.58	189.37	189.37	189.33	verificato
7.85V	4.94	4.94	189.37	189.37	189.06	verificato
7.75M	2.63	2.63	184.62	184.62	184.62	verificato
7.75V	4.98	4.98	184.62	184.62	184.35	verificato
7.65M	2.62	2.62	179.88	179.88	179.87	verificato
7.65V	4.97	4.97	179.88	179.88	179.60	verificato
7.5M	2.63	2.63	175.12	175.12	175.12	verificato
7.5V	4.98	4.98	175.12	175.12	174.85	verificato
7.4M	2.62	2.62	170.38	170.38	170.37	verificato
7.4V	4.97	4.97	170.38	170.38	170.10	verificato
7.25M	2.63	2.63	165.63	165.63	165.63	verificato
7.25V	4.98	4.98	165.63	165.63	165.36	verificato
7.10M	2.63	2.63	160.88	160.88	160.88	verificato
7.10V	4.98	4.98	160.88	160.88	160.61	verificato
7M	2.62	2.62	156.14	156.14	156.13	verificato
7V	4.97	4.97	156.14	156.14	155.86	verificato
6M	2.86	2.86	149.02	149.02	149.02	verificato
6V	5.19	5.19	149.02	149.02	148.74	verificato
5	2.32	2.32	143.42	143.42	143.42	verificato
4M	3.05	3.05	140.00	140.00	139.42	verificato
4V	5.37	5.37	140.00	140.00	139.13	verificato
3M	1.68	1.68	134.07	134.07	133.60	verificato
3V	4.12	4.12	134.07	134.07	133.34	verificato
2M	1.19	1.19	127.91	127.91	127.05	verificato
2V	3.71	3.71	127.91	127.91	126.79	verificato
1	0.04	1.00	120.10	120.10	121.00	Non verificato (confluenza)

Tabella 4: verifica configurazione definitiva per franchi di sicurezza – Tr = 200 anni

Per quanto riguarda l'attraversamento (sezioni 10.6 - 10.4), il valore di Fmin viene aumentato fino a 1.50 m, da confrontarsi con il parametro del carico cinetico. Considerando però che tra la quota del pelo libero (+229.90 m nella sezione 10.6) e la quota di intradosso (+233.00 m) vi è una differenza di circa 3 m, si può constatare anche in questo caso che le verifiche risultano rispettate.

6.5 Analisi dei risultati – configurazione temporanea tombinata

In analogia con il caso precedente, nelle tabelle successive è riportato, per ogni sezione, il valore della portata di calcolo Q_{tot} [m^3/s], l'ascissa nel canale Dist [m], la quota del fondo alveo Quota fondo [m], la quota del pelo libero Q p.l. [m], la profondità critica [m], il carico totale H [m], la velocità media della corrente U [m/s] ed il numero di Froude.

Sez.	*Q tot* (mc/s)	*Dist* (m)	*Quota fondo* (m)	*Q p.l.* (m)	*Prof. Critica* (m)	*Carico totale H* (m)	*U* (m/s)	*Num. Fr.* (-)	*Note.* (-)
16i-M	9.38	0.00	279.10	280.07	280.07	280.50	2.90	1.01	
16i-V	9.38	0.10	277.11	280.25	277.98	280.28	0.77	0.15	Vasca sedim.
15.1i	9.38	6.50	276.41	280.25	277.28	280.27	0.59	0.11	Vasca sedim.
15i-M	9.38	6.60	278.40	280.16	279.37	280.26	1.42	0.38	
15i-V	9.38	6.90	278.40	279.72	279.72	280.22	3.13	1	Inizio tombinatura
14.5i	9.38	28.63	263.15	263.61	264.47	273.60	14.00	8.01	
14i	9.38	50.36	247.94	248.38	249.26	260.20	15.23	8.99	
17	9.38	60.41	240.90	241.33	242.22	253.39	15.38	9.11	
16	9.38	75.63	239.00	239.55	240.32	245.47	10.78	5.63	
15	9.38	105.48	226.52	227.02	227.84	235.18	12.66	6.99	
14	9.38	136.26	198.32	198.73	199.64	212.99	16.73	10.21	
13	9.38	166.49	168.03	168.47	169.35	180.04	15.07	8.86	
12.9	9.38	173.21	167.50	168.01	168.82	175.70	12.29	6.72	
12.7	9.38	181.31	167.00	167.58	168.32	172.77	10.10	5.16	
12.5	9.38	195.52	167.00	167.74	168.32	170.20	6.95	3.08	
12	9.38	206.10	167.00	167.89	168.32	169.38	5.41	2.17	
11	9.38	242.44	166.70	167.94	168.02	168.53	3.40	1.13	
10.5	9.38	269.32	164.00	164.75	165.32	167.19	6.93	3.07	
10	9.38	295.76	162.90	163.73	164.22	165.53	5.95	2.48	
9	9.38	340.93	161.62	162.55	162.94	163.85	5.04	1.97	
8	9.38	392.85	160.00	160.92	161.32	162.27	5.14	2.02	
7	9.38	434.60	159.32	160.40	160.64	161.26	4.12	1.49	
6.5	9.38	456.88	151.14	151.69	152.46	157.70	10.87	5.7	
6.1M	9.38	469.33	149.25	149.84	150.57	154.66	9.73	4.91	Fine tombinatura

6.1v	9.38	469.34	149.25	149.76	149.76	150.02	2.22	1	Cielo aperto
6	9.38	476.02	139.20	139.72	139.72	139.97	2.22	1	
5.9	9.38	480.47	130.65	131.17	131.17	131.42	2.22	1	
5.5	9.38	483.76	130.00	130.25	130.50	131.29	4.51	2.91	
5	9.38	486.62	128.77	128.95	129.27	130.90	6.18	4.64	
4.9	9.38	497.94	126.00	127.47	126.51	127.50	0.71	0.19	
4	9.38	530.97	125.41	126.92	126.92	127.43	3.16	1	
3	9.38	612.60	121.28	122.19	122.73	124.07	6.09	2.43	
2	9.38	679.39	114.97	116.35	116.35	116.78	2.93	1	
1.9	9.38	679.40	112.62	113.33	114.03	116.51	7.90	3.38	
1	9.38	707.22	101.37	115.00	102.69	115.00	0.23	0.02	confluenza

Tabella 5: verifica configurazione temporanea – Tr = 50 anni

Sez.	*Q tot* (mc/s)	*Dist* (m)	*Quota fondo* (m)	*Q p.l.* (m)	*Prof. Critica* (m)	*Carico totale H* (m)	*U* (m/s)	*Num. Fr.* (-)	*Note.* (-)
16i-M	13.56	0.00	279.10	280.34	280.32	280.84	3.13	0.97	
16i-V	13.56	0.10	277.11	280.66	278.22	280.71	0.95	0.18	Vasca sedim.
15.1i	13.56	6.50	276.41	280.67	277.52	280.70	0.74	0.13	Vasca sedim.
15i-M	13.56	6.60	278.40	280.56	279.62	280.69	1.56	0.41	
15i-V	13.56	6.90	278.40	280.00	280.00	280.64	3.52	0.89	Inizio tombinatura
14.5i	13.56	28.63	263.15	263.72	264.75	274.86	14.79	7.59	
14i	13.56	50.36	247.94	248.47	249.54	262.57	16.64	8.89	
17	13.56	60.41	240.90	241.42	242.50	256.04	16.94	9.11	
16	13.56	75.63	239.00	239.64	240.60	247.61	12.51	6.06	
15	13.56	105.48	226.52	227.11	228.12	237.12	14.01	7.07	
14	13.56	136.26	198.32	198.97	199.92	206.71	12.33	5.94	
13	13.56	166.49	168.03	168.66	169.63	176.89	12.71	6.2	
12.9	13.56	173.21	167.50	168.19	169.10	174.72	11.32	5.27	
12.7	13.56	181.31	167.00	167.75	168.60	172.87	10.02	4.44	
12.5	13.56	195.52	167.00	167.92	168.60	170.78	7.49	2.96	
12	13.56	206.10	167.00	168.06	168.60	169.96	6.11	2.23	
11	13.56	242.44	166.70	168.19	168.30	168.96	3.89	1.16	
10.5	13.56	269.32	164.00	164.92	165.60	167.71	7.39	2.9	
10	13.56	295.76	162.90	163.90	164.51	166.13	6.62	2.49	
9	13.56	340.93	161.62	162.75	163.22	164.36	5.62	1.98	
8	13.56	392.85	160.00	161.12	161.60	162.77	5.69	2.01	
7	13.56	434.60	159.32	160.63	160.93	161.71	4.60	1.48	
6.5	13.56	456.88	151.14	151.82	152.74	158.55	11.50	5.38	

6.1M	13.56	469.33	149.25	149.96	150.85	155.81	10.72	4.88	Fine tombinatura
6.1v	13.56	469.34	149.25	149.91	149.91	150.22	2.49	1	Cielo aperto
6	13.56	476.02	139.20	139.86	139.86	140.17	2.49	1	
5.9	13.56	480.47	130.65	131.31	131.31	131.62	2.49	1	
5.5	13.56	483.76	130.00	130.34	130.64	131.49	4.76	2.64	
5	13.56	486.62	128.77	129.02	129.41	131.17	6.50	4.18	
4.9	13.56	497.94	126.00	127.88	126.64	127.91	0.79	0.19	
4	13.56	530.97	125.41	127.24	127.24	127.83	3.42	1	
3	13.56	612.60	121.28	122.39	123.03	124.61	6.61	2.43	
2	13.56	679.39	114.97	116.62	116.62	117.13	3.15	1	
1.9	13.56	679.40	112.62	113.56	114.36	116.85	8.04	2.99	
1	13.56	707.22	101.37	114.00	102.97	114.01	0.36	0.03	confluenza

Tabella 6: verifica configurazione temporanea – Tr = 200 anni

Sez.	*Q tot* (mc/s)	*Dist* (m)	*Quota fondo* (m)	*Q p.l.* (m)	*Prof. Critica* (m)	*Carico totale H* (m)	*U* (m/s)	*Num. Fr.* (-)	*Note.* (-)
16i-M	16.32	0.00	279.10	280.65	280.47	281.08	2.89	0.82	
16i-V	16.32	0.10	277.11	280.91	278.37	280.97	1.04	0.2	Vasca sedim.
15.1i	16.32	6.50	276.41	280.92	277.67	280.96	0.82	0.15	Vasca sedim.
15i-M	16.32	6.60	278.40	280.82	279.77	280.95	1.60	0.4	
15i-V	16.32	6.90	278.40	280.16	280.16	280.89	3.76	0.9	Inizio tombinatura
14.5i	16.32	28.63	263.15	263.79	264.91	275.50	15.16	7.37	
14i	16.32	50.36	247.94	249.70	249.70	250.43	3.76	0.9	
17	16.32	60.41	240.90	241.65	242.66	248.92	11.94	5.27	
16	16.32	75.63	239.00	239.80	240.76	245.77	10.82	4.59	
15	16.32	105.48	226.52	227.19	228.28	237.47	14.21	6.73	
14	16.32	136.26	198.32	198.95	200.08	211.14	15.47	7.58	
13	16.32	166.49	168.03	169.80	169.80	170.52	3.76	0.9	
12.9	16.32	173.21	167.50	168.82	169.27	170.34	5.47	1.75	
12.7	16.32	181.31	167.00	168.22	168.76	170.09	6.05	2.02	
12.5	16.32	195.52	167.00	169.09	168.76	169.58	3.08	0.68	
12	16.32	206.10	167.00	168.83	168.76	169.49	3.60	0.85	
11	16.32	242.44	166.70	168.46	168.46	169.19	3.76	0.9	
10.5	16.32	269.32	164.00	165.03	165.76	167.99	7.62	2.82	
10	16.32	295.76	162.90	164.00	164.67	166.47	6.95	2.48	
9	16.32	340.93	161.62	162.86	163.38	164.66	5.95	1.97	
8	16.32	392.85	160.00	161.23	161.76	163.06	5.99	2	
7	16.32	434.60	159.32	160.77	161.08	161.96	4.84	1.47	

6.5	16.32	456.88	151.14	151.90	152.90	158.99	11.80	5.18	
6.1M	16.32	469.33	149.25	150.03	151.01	156.44	11.21	4.82	Fine tombinatura
6.1v	16.32	469.34	149.25	150.00	150.00	150.35	2.63	0.99	Cielo aperto
6	16.32	476.02	139.20	139.95	139.95	140.30	2.63	0.99	
5.9	16.32	480.47	130.65	131.40	131.40	131.75	2.63	1	
5.5	16.32	483.76	130.00	130.40	130.73	131.62	4.90	2.51	
5	16.32	486.62	128.77	129.06	129.50	131.32	6.65	3.96	
4.9	16.32	497.94	126.00	128.11	126.73	128.15	0.84	0.19	
4	16.32	530.97	125.41	127.42	127.42	128.06	3.55	1	
3	16.32	612.60	121.28	122.50	123.20	124.92	6.89	2.43	
2	16.32	679.39	114.97	116.78	116.78	117.33	3.28	1	
1.9	16.32	679.40	112.62	113.70	114.55	117.05	8.11	2.82	
1	16.32	707.22	101.37	113.00	103.14	113.01	0.47	0.04	confluenza

Tabella 7: verifica configurazione temporanea – Tr = 500 anni

Con riferimento alle tabelle sopra riportate, alle sezioni ed al profilo idraulico schematico riportati in allegato, si può rilevare quanto segue.

Si fa nuovamente presente che l'assunzione di base di considerare la portata costante anche nell'eventualità di superamento dei punti estremi delle sezioni, con conseguente definizione di una sezione limitata da argini infinitamente alti, non ha effetti significativi in questo caso in quanto la portata risulta totalmente contenuta all'interno dell'alveo. Non si evidenziano infatti fenomeni esondativi laterali.

In tutti i casi sopra riportati, il profilo presenta il medesimo comportamento.

La corrente, inizialmente lenta per la presenza della briglia selettiva, diventa veloce a causa della notevole pendenza del primo tratto. A valle della sezione 13 si passa nuovamente per la critica, vista la presenza di un tratto semi-pianeggiante, sede delle precedenti vasche di sedimentazione. La presenza di un nuovo tratto molto pendente ricrea le condizioni per una corrente veloce fino alla sezione 4.9, con nuova formazione di risalto per la presenza del tratto pianeggiante, quindi si ritorna alle condizioni veloci fino alla confluenza nel rio Moglie.

In questo caso si segnala la presenza di tratti in cui la corrente presenta velocità elevate, dovute essenzialmente a forti pendenze (anche oltre il 100%) scaturenti da vincoli geometrici e specificità del sito. A causa delle entità dei volumi di ricoprimento della tombinatura, risulterebbero però non realizzabili salti di fondo e zone di calma così in profondità, con il rischio di formazione di depositi che potrebbero intasare la tombinatura. Pertanto, stante anche la natura temporanea della sistemazione, si considera accettabile la presenza di velocità significative, visto che i corrispondenti effetti erosivi saranno agenti per un periodo limitato.

Relativamente ai franchi idraulici ed in particolare in riferimento all' All.2 R.R. 1/2016, in questo caso è possibile constatare come gli stessi non risultino verificati nei casi in cui non risulta possibile ridurre la velocità dei deflussi all'interno della tombinatura. Infatti, in analogia con il caso precedente viene richiesto che, per i corsi d'acqua di primo e secondo livello, i franchi di sicurezza non risultino inferiori al valore maggiore tra:

- il valore del carico cinetico della corrente;
- I valori riportati in tabella:

I	argini e difese spondali	cm. 50/100
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150
II I	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 150/200

Nelle tabelle seguenti si riporta, per ogni sezione indagata, il valore del carico cinetico $U^2/2g$ [m], il valore del franco di sicurezza minimo Fmin, la quota di testa argine destro e sinistro – intradosso tombinatura, il valore "y+Fmin"[m] da confrontare con la quota di testa argine/intradosso tombinatura, il valore del franco di sicurezza che si instaura.

Sez.	*$U^2/2g$ (m)*	*Fmin (m)*	*Quota argine sin /tombinatura (m)*	*Quota argine dx /tombinatura (m)*	*Y+Fmin (m)*	*Franco di sicurezza (m)*	*Esito verifica (Y+Fmin < Qsin; Qdx; tomb)*
16i-M	0.50	1.00	281.85	281.85	281.84	1.51	SI
16i-V	0.05	1.00	281.85	281.85	282.16	1.19	SI
15.1i	0.03	1.00	282.46	282.46	282.17	1.79	SI
15i-M	0.12	1.00	282.46	282.46	282.06	1.90	SI
15i-V	0.63	1.50	281.47	281.47	281.50	1.47	NO
14.5i	11.15	11.15	266.22	266.22	274.87	2.50	NO
14i	14.11	14.11	251.01	251.01	262.58	2.54	NO
17	14.63	14.63	243.97	243.97	256.05	2.55	NO
16	7.98	7.98	242.07	242.07	247.62	2.43	NO
15	10.00	10.00	229.59	229.59	237.11	2.48	NO
14	7.75	7.75	201.39	201.39	206.72	2.42	NO
13	8.23	8.23	171.10	171.10	176.89	2.44	NO
12.9	6.53	6.53	170.57	170.57	174.72	2.38	NO
12.7	5.12	5.12	170.07	170.07	172.87	2.32	NO
12.5	2.86	2.86	170.07	170.07	170.78	2.15	NO
12	1.90	1.90	170.07	170.07	169.96	2.01	SI
11	0.77	1.50	169.77	169.77	169.69	1.58	SI
10.5	2.78	2.78	167.07	167.07	167.70	2.15	NO

10	2.23	2.23	165.97	165.97	166.13	2.07	NO
9	1.61	1.61	164.69	164.69	164.36	1.94	SI
8	1.65	1.65	163.07	163.07	162.77	1.95	SI
7	1.08	1.50	162.39	162.39	162.13	1.76	SI
6.5	6.74	6.74	154.21	154.21	158.56	2.39	NO
6.1M	5.86	5.86	152.32	152.32	155.82	2.36	NO
6.1v	0.32	1.00	153.00	153.00	151.41	3.09	SI
6	0.32	1.00	142.95	142.95	141.36	3.09	SI
5.9	0.32	1.00	133.65	133.65	132.81	2.34	SI
5.5	1.15	1.15	133.00	133.00	131.84	2.66	SI
5	2.15	2.15	131.77	131.77	131.17	2.75	SI
4.9	0.03	1.00	129.12	129.12	129.38	1.24	SI
4	0.60	1.00	128.53	128.53	128.74	1.29	SI
3	2.23	2.23	124.65	124.65	124.62	2.09	SI
2	0.51	1.00	165.27	165.27	118.12	1.84	SI
1.9	3.29	3.29	165.27	165.27	116.85	4.90	SI
1	0.01	1.00	160.52	160.52	115.50		confluenza

Tabella 8: verifica configurazione temporanea per franchi di sicurezza – Tr = 200 anni

Nella tabella 8 sono evidenziate le sezioni corrispondenti al tratto tombinato, in cui il valore del franco idraulico non risulta rispettato in varie sezioni per le motivazioni, legate alla velocità, riportate in precedenza. Si sottolinea però che il tirante idraulico risulta sempre contenuto con significativo margine: non si evidenziano situazioni di criticità della tombinatura, il cui grado di riempimento risulta sempre almeno del 50%, quindi viene garantito il mantenimento di 1.50 m per almeno 2/3 della luce sulla maggior parte delle sezioni costituenti il modello di calcolo.

Pertanto, rimarcando nuovamente la natura provvisoria della presente configurazione, l'eliminazione di aree di calma lungo la tombinatura e la presenza di una vasca di sedimentazione (con briglia selettiva) a monte dell'imbocco, si possono ritenere soddisfacenti i risultati ottenuti.

7. FENOMENI EROSIVI E OPERE DI PROTEZIONE

Come riportato nei paragrafi precedenti, la sistemazione finale del rio Crosu prevede il re-inalveamento del tracciato nel suo sedime originario, coincidente con quello riportato nelle mappe catastali: la geometria finale è stata quindi valutata coerentemente con il progetto di ricostruzione morfologica dei versanti e ricucitura delle curve di livello.

Vista la presenza di tratti di notevole pendenza anche nella configurazione finale, sono stati introdotti una

serie di briglie/salti di fondo per limitare la velocità di scorrimento della corrente e ridurre i conseguenti effetti erosivi: in questo modo è stato possibile ridurre la pendenza dei tratti compresi tra le briglie nei valori tra il 12% ed il 25%. Solo in un tratto, a causa dei vincoli geometrici, la pendenza si attesta su valori del 37%.

Al fine di garantire la protezione del fondo alveo, delle sponde e delle stesse briglie, dovranno quindi essere effettuati degli interventi di "corazzamento" del perimetro bagnato che, per motivi tecnici, ambientali e di reperibilità del materiale stesso, sono da prevedersi in massi naturali.

Il dimensionamento dei massi dipende nuovamente da valutazioni idrauliche legate alla portata 200-ennale ed in particolare alle tensioni tangenziali che si generano lungo le pareti delle sezioni: l'obiettivo è quello di garantire che i massi previsti a progetto non vengano mobilitati dal passaggio del flusso idraulico.

L'analisi delle condizioni critiche di moto incipiente è effettuata mediante l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento. Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot Ri \cdot if \ (\mathrm{N/m^2})$$

dove: γ (N/m³) è il peso specifico dell'acqua,

Ri (m) è il raggio idraulico della sezione,

if (m/m) la pendenza di fondo.

La condizione di stabilità del fondo risulta quando tcr ≥ t0, ossia quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente. La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields – 1936), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \Phi(\mathrm{Re}^*)$$

dove: τ_{cr} Tensione tangenziale critica (N/m²)

γ_s Peso specifico materiale d'alveo (N/m³)

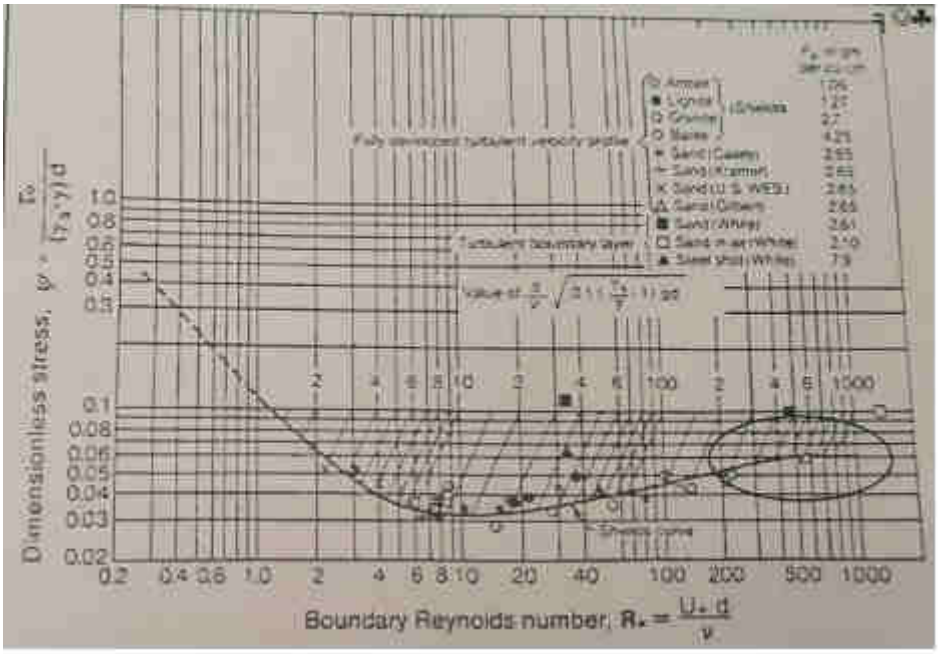
γ Peso specifico dell'acqua (N/m³)

d Diametro del granulo (m)

Φ parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli, del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re*) relativo alla velocità di attrito

$$u^* = (\tau_{cr} / \rho)^{1/2} .$$

Per la traduzione della condizione di equilibrio in termini empirici ed ingegneristici sono state proposte varie formulazioni. Dal grafico riportato nel seguito, si osserva che per valori di Re* > 400, il valore di Φcrit risulta praticamente costante e pari a circa 0.06, quindi in questo regime la tensione tangenziale τcrit è direttamente proporzionale al diametro del sedimento.



Nel caso applicativi di corazzamento dell'alveo, si considerano le condizioni di completa assenza del movimento dei sedimenti: tale condizione può essere definita per un valore di Φcrit pari a circa 0.03.

In riferimento alle valutazioni idrauliche effettuate, si riporta di seguito la tabella riferita alla portata per Tr = 200 anni, con le indicazioni di pendenza dei tratti compresi tra le sezioni if (%), il valore del tirante idraulico y (m), il valore delle tensioni tangenziali sul perimetro τ0 (N/mq).

Sez.	*Q tot (mc/s)*	*If (%)*	*y (m)*	*T0 (N/mq)*	*Note. (-)*
15	13.56	18%	1.05	161.18	Cielo aperto
14.5M	13.56		0.56	765.99	
14.5V	13.56	12%	0.38	1 934.28	
14M	13.56		0.62	590.23	
14V	13.56	23%	0.39	1 760.33	
13.5M	13.56		0.51	948.69	
13.5V	13.56	23%	0.36	2 118.13	
13M	13.56		0.51	947.43	
13V	13.56	18%	0.37	2 115.29	
12M	13.56		0.55	794.27	

12V	13.56	19%	0.38	1 963.07	
11M	13.56		0.54	815.39	
11V	13.56	17%	0.38	1 982.81	
10.6	13.56	17%	0.52	846.05	Inizio attravers.
10.4	13.56	16%	0.54	762.60	Fine attravers.
10M	13.56		0.57	730.50	
10V	13.56	20%	0.38	1 898.46	
9M	13.56		0.53	863.15	
9V	13.56	21%	0.37	2 030.86	
8M	13.56		0.53	893.27	
8V	13.56	25%	0.37	2 062.35	
7.85M	13.56		0.48	1 080.26	
7.85V	13.56	25%	0.35	2 252.79	
7.75M	13.56		0.47	1 101.46	
7.75V	13.56	25%	0.35	2 274.61	
7.65M	13.56		0.47	1 099.83	
7.65V	13.56	25%	0.35	2 273.43	
7.5M	13.56		0.47	1 104.47	
7.5V	13.56	25%	0.35	2 278.01	
7.4M	13.56		0.47	1 099.21	
7.4V	13.56	25%	0.35	2 272.57	
7.25M	13.56		0.47	1 101.68	
7.25V	13.56	25%	0.35	2 275.15	
7.10M	13.56		0.47	1 101.89	
7.10V	13.56	25%	0.35	2 275.43	
7M	13.56		0.47	1 099.06	
7V	13.56	32%	0.35	2 272.73	
6M	13.56		0.46	1 214.26	
6V	13.56	22%	0.35	2 389.81	
5	13.56	37%	0.51	955.93	
4M	13.56		0.44	1 303.32	
4V	13.56	13%	0.33	2 481.71	
3M	13.56		0.59	666.35	
3V	13.56	9%	0.39	1 834.98	
2M	13.56		0.69	452.20	
2V	13.56	10%	0.41	1 628.67	
1	13.56	11%	2.80	12.36	confluenza

Tabella 9: verifica configurazione definitiva con indicazioni di tensioni tangenziali – Tr = 200 anni

Si noti che, in corrispondenza del "salto idraulico", la pendenza non viene indicata in quanto il dislivello genera un valore di if tendente a infinito.

E' quindi identificato il valore della tensione tangenziale al fondo massimo pari a circa 1300 N/mq nei tratti compresi tra le briglie. Il valore di τ0 sale fino a circa 2482 N/mq considerando le sezioni immediatamente a "valle" del salto di fondo, che però risentono dell'effetto di caduta libera della corrente in corrispondenza della soglia, legata all'aumento di velocità localizzato.

Le condizioni di stabilità del masso si traducono quindi nell'equazione:

$$\tau_{max} = \varphi_{crit}\, a\, (\gamma_s - \gamma)\, d$$

Dove "a" risulta essere un parametro sperimentale, che tiene conto dell'effetto di "ammorsamento" dei massi della scogliera (imbrication), rispetto al posizionamento degli stessi "alla rinfusa" (rip-rap). In riferimento alla letteratura esistente, tale valore può essere definito pari a 3.12.

Di conseguenza, con i dati sopra riportati, si valuta che

- dcrit = 0.86 m per τ0 = 1301 N/mq
- dcrit = 1.64 m per τ0 = 2482 N/mq

Pertanto, in riferimento alla nota formula del volume del masso $V = \frac{4}{3}\,\pi\, r^3$ e considerando peso specifico medio dei massi pari a circa 26 KN/mc, definisce la dimensione di progetto del masso naturale:

r	V	peso
[m]	[mc]	[ton]
0.50	0.52	1.36
0.82	2.30	5.98

Si considera pertanto la formazione di "corazzamento" dell'alveo e delle briglie con massi naturali almeno di II categoria, ammorsati tra loro mediante intasamento di massi di dimensione ridotta ed eventualmente saturati con cls nei punti di maggiore velocità della corrente. In corrispondenza della sezione di valle della briglia, per la protezione del piede della stessa, si prevede l'utilizzo di massi di dimensione maggiore, fino alla III categoria.

Tali prescrizioni non si applicano alla configurazione di sistemazione temporanea, relativa alla fase 3, in cui il tracciato sarà tombinato per permettere la ricostruzione morfologica del versante. In questo caso il fondo alveo e le pareti laterali saranno costituiti da condotte in lamiera di acciaio corrugato, per cui non si prevede il verificarsi del fenomeno di trasporto solido di sedimenti di diametro significativo, che anzi deve essere scongiurato con la realizzazione della briglia selettiva e vasca di sedimentazione all'imbocco della tombinatura. Come già anticipato, si considera accettabile la presenza di velocità significative nei tratti tombinato, visto che i corrispondenti effetti erosivi saranno agenti per un periodo limitato.

8. INDICAZIONI SULLE MODALITA' ESECUTIVE

In riferimento agli elaborati progettuali ed in particolare ai contenuti della "Relazione illustrativa" , si prevede la realizzazione della sistemazione definitiva del rio Crosu partendo da valle, in corrispondenza della confluenza, già a partire dalla Fase 1. Durante la realizzazione della ricostruzione morfologica del versante, sarà completato il re-inalveamento del corso d'acqua.

Durante la fase transitoria di realizzazione della fase 3, sarà inoltre completata la tombinatura parziale del rio Crosu nella sua configurazione temporanea, con funzione di "by-pass" per la regimazione delle acque del bacino drenato a monte dell'imboccatura della tombinatura. In questo modo sarà impedito che le acque derivanti da monte possano "ruscellare" sul riempimento via via realizzato.

Si precisa che tutte le acque meteoriche che non risultano indirizzate verso la tombinatura provvisoria (ad esempio quelle afferenti al piazzale di riempimento a tergo delle terre rinforzate), dovranno essere regimate mediante una rete di smaltimento dedicato ed idoneamente rivestito per evitare fenomeni di infiltrazione/ruscellamento. Le stesse potranno quindi essere indirizzate verso il tratto del rio Crosu già sistemato nella sua configurazione definitiva.

In ogni caso la sistemazione finale dovrà essere coerente con quella descritta negli elaborati di progetto e nelle verifiche riportate nella presente relazione, demandando alla progettazione esecutiva ed alle valutazioni della direzione lavori per la scelta delle modalità esecutive.

Dal punto di vista della sezione tipo, come già anticipato, è prevista la realizzazione di un alveo inciso all'interno del corpo di riempimento/ricostruzione morfologica del versante, quest'ultimo realizzato con materiale per le cui caratteristiche si rimanda ad altra documentazione tecnica progettuale.

In questa fase e per quanto di competenza dello scrivente, si consiglia il posizionamento di teli o altri dispositivi idonei ad impedire l'infiltrazione delle acque transitanti nell'alveo verso il corpo di riempimento, al fine di impedire la formazione di circolazione d'acqua, con effetti destabilizzanti nel rilevato.

Dal punto di vista di protezione del fondo alveo e delle sponde dagli effetti erosivi, è stata indicata la necessità del "corazzamento" delle superfici mediante massi naturali almeno di II categoria, correttamente ammorsati tra loro ed eventualmente saturati con cls nei punti di maggiore velocità della corrente. In tal caso, dovrà però essere assolutamente evitata la formazione di fondi eccessivamente lisci ma, al contrario, dovrà essere mantenuta l'irregolarità del fondo e la relativa scabrezza. Si rimanda in ogni caso ai contenuti della relazione geotecnica ed alla progettazione esecutiva per gli eventuali approfondimenti.

Infine, particolare cura dovrà essere impiegata per la realizzazione dei salti di fondo, sia per la parte di monte (per evitare l'erosione della gaveta), sia per la parte di valle (per impedire che lo stramazzo provochi effetti di

erosione sul fondo e scalzamento del piede di fondazione. Su questo aspetto, è stato prescritto l'utilizzo di massi di III categoria per la protezione localizzata in tali punti.

Non per ultimo, si segnala che la vasca di sedimentazione, dotata di briglia selettiva, gioca un ruolo determinante per il corretto funzionamento idraulico della sistemazione temporanea, in particolare per il tratto tombinato. Pertanto, la stessa dovrà essere periodicamente mantenuta, svuotando il materiale depositato nel volume della vasca e quello trattenuto dai "denti" metallici. Al completamento del re-inalveamento del rio Crosu, potrà essere valutata l'eventuale dismissione dell'opera, così come quello dello stesso tracciato temporaneo.

9. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state descritte le verifiche idrauliche condotte sul Rio Crosu, nel tratto in cui il corso d'acqua risulta afferente nell'ambito della cava di Via Pennavaire 1, nel comune di Castelbianco (SV).

E' stato inizialmente evidenziato come le attività estrattive effettuate in passato hanno modificato il tracciato del corso d'acqua, tanto da stravolgerne il corso che, allo stato attuale, scorre in modo disordinato ruscellando senza un alveo inciso, al di fuori dei limiti demaniali.

E' stata quindi definita una sistemazione del Rio nella sua configurazione finale, coerente con il tracciato delle mappe catastali e con il programma di coltivazione/esercizio dell'attività estrattiva proposto dalla Committenza, in conformità al P.T.R.A.C. approvato con il D.C.R. n.7/2020. Le relative verifiche idrauliche hanno evidenziato il buon funzionamento idraulico della soluzione prevista, che consente il transito della portata di progetto con adeguato franco di sicurezza.

Infine, è stata quindi definita una sistemazione temporanea del Rio Crosu per il periodo di coltivazione/esercizio di attività estrattiva, in particolare per la fase 3 di ricucitura delle curve di livello interrotte dalle precedenti attività di cava, da ottenersi tramite abbancamento di materiali sciolti. In questo caso, la soluzione (che si rimarca, risulta temporanea e sarà abbandonata al termine della stessa fase 3) prevede la parziale tombinatura del tracciato temporaneamente spostato fuori dalla sede demaniale: la stessa permette il transito della portata di progetto con sufficiente grado di sicurezza, senza però rispettare completamente i franchi legati alle velocità, a causa delle peculiarità del sito ed i vincoli puntuali legati alle forti pendenze.

Sono state infine fornite indicazioni circa la modalità di esecuzione delle opere, dal mero punto di vista idraulico, che saranno comunque sviluppate nelle fasi successive.

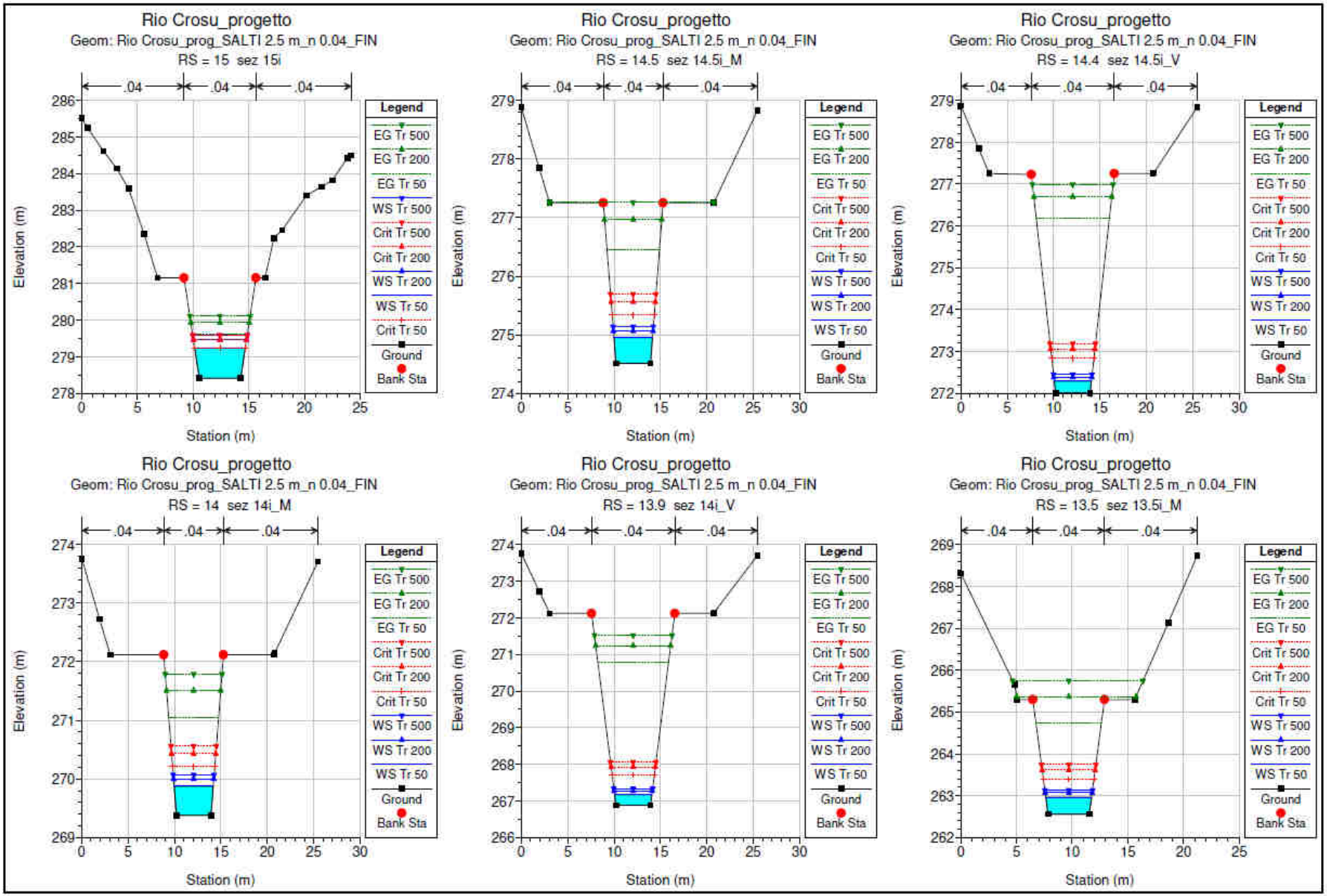
Celle Ligure, Dicembre 2022 Il Tecnico

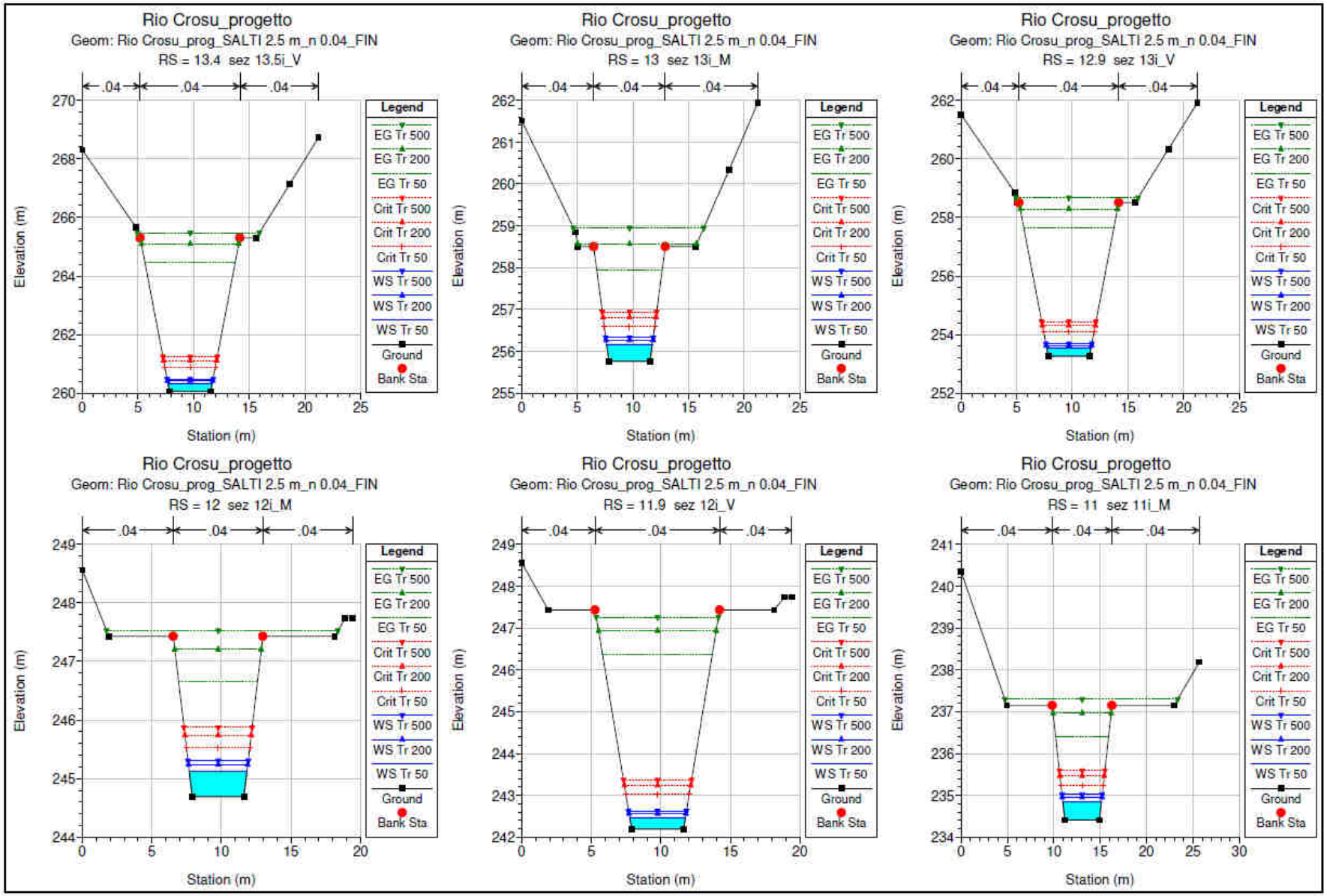
Ing. Silvio De Ambroggi

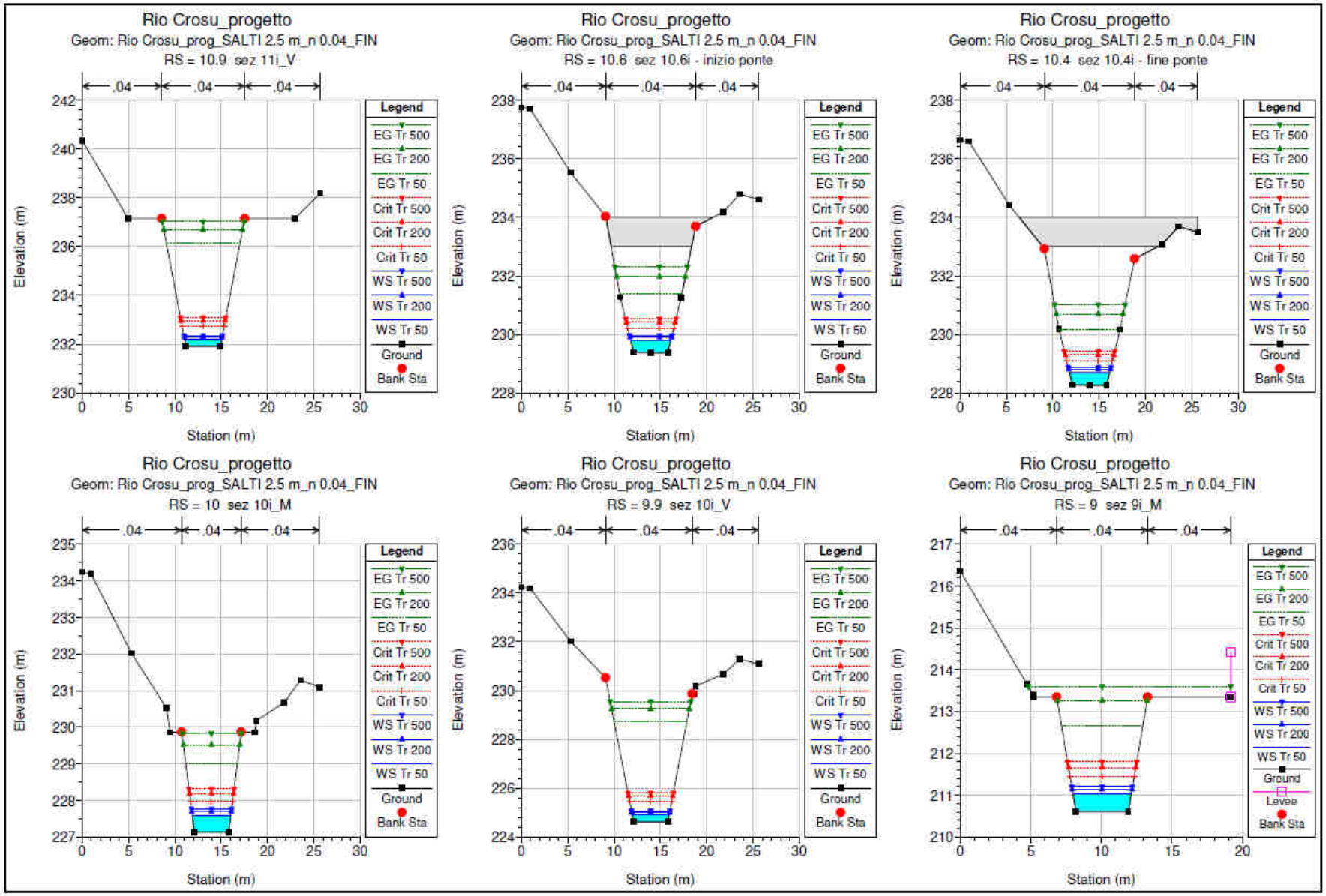
Allegati

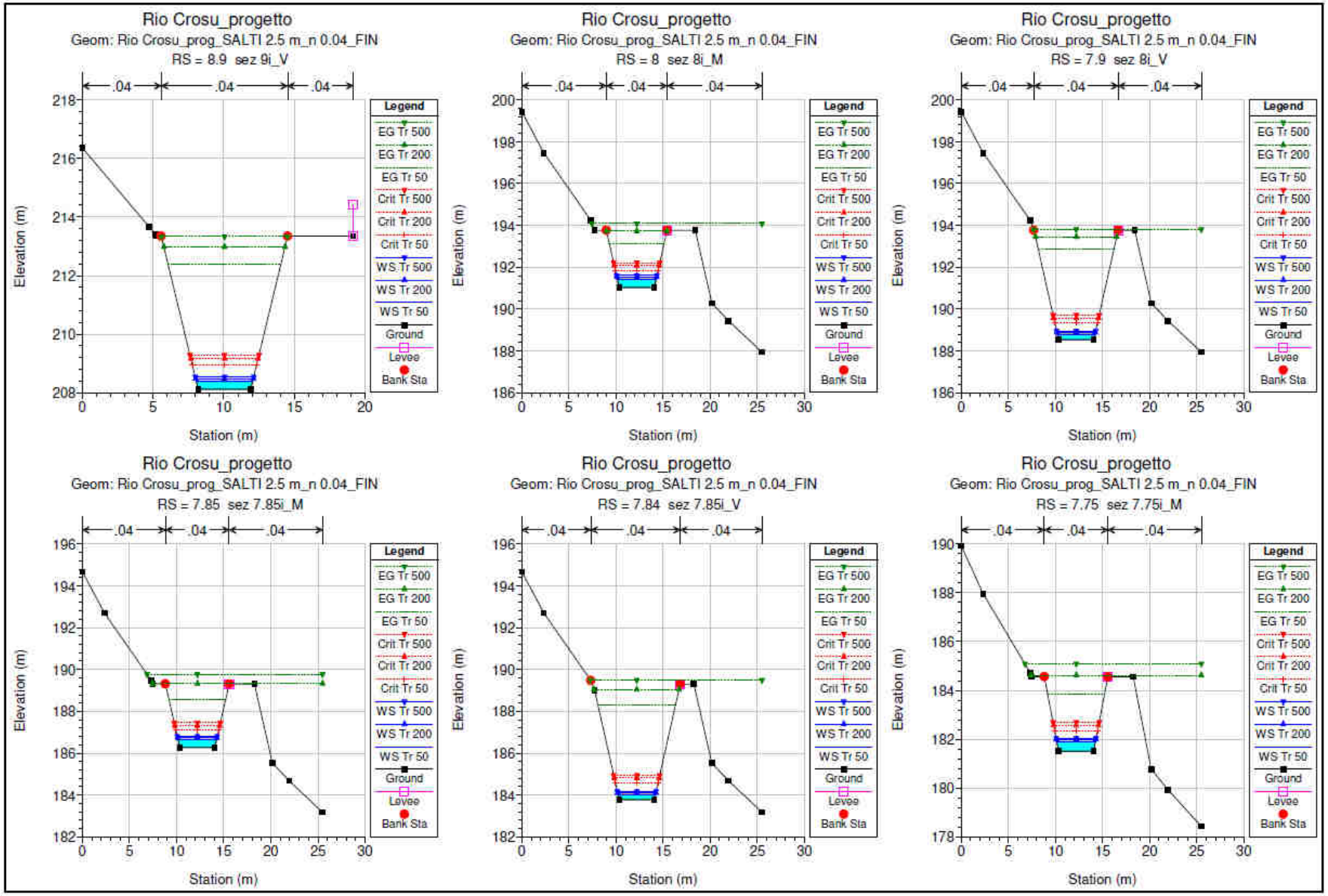
CONFIGURAZIONE DEFINITIVA

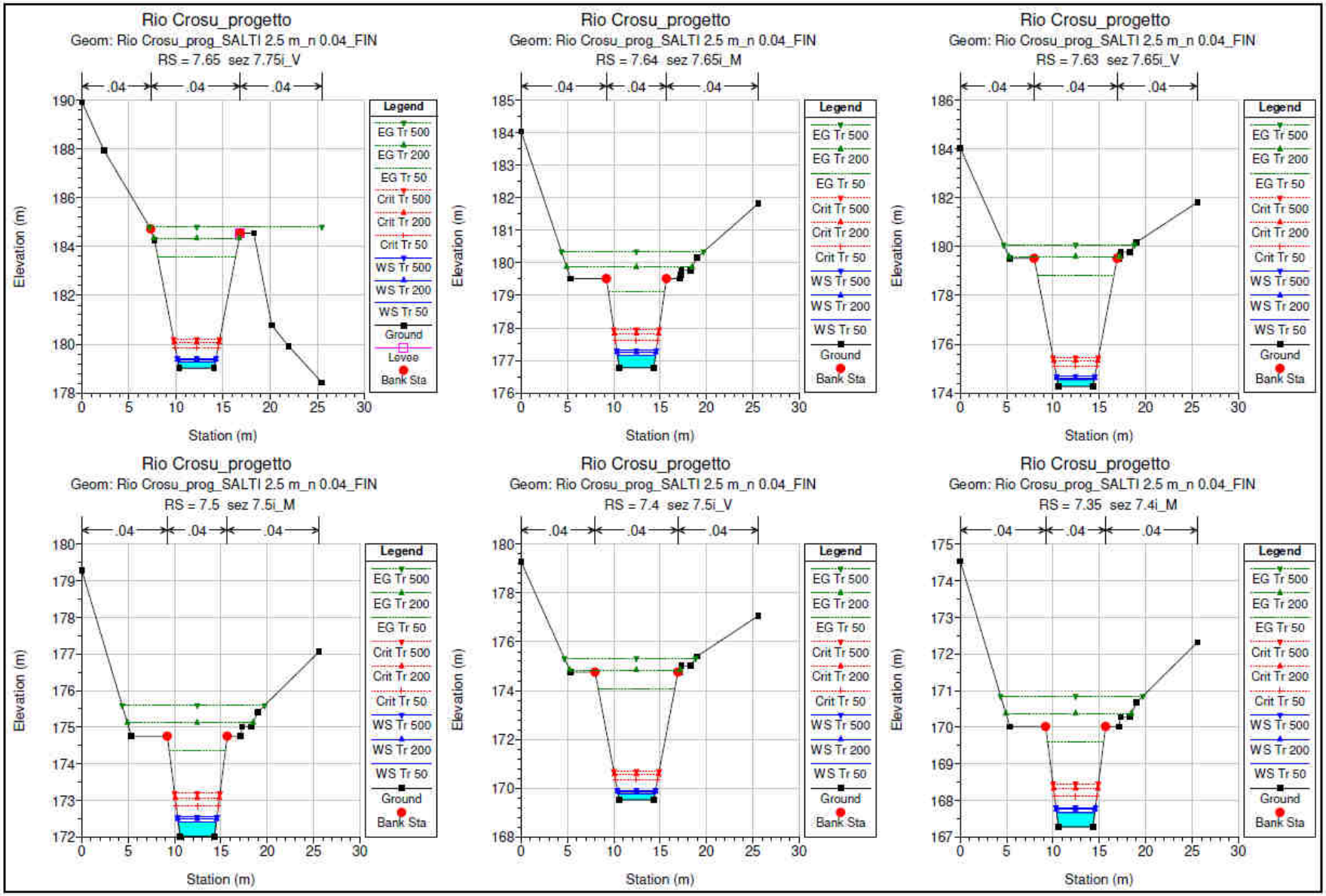
Sezioni e profilo

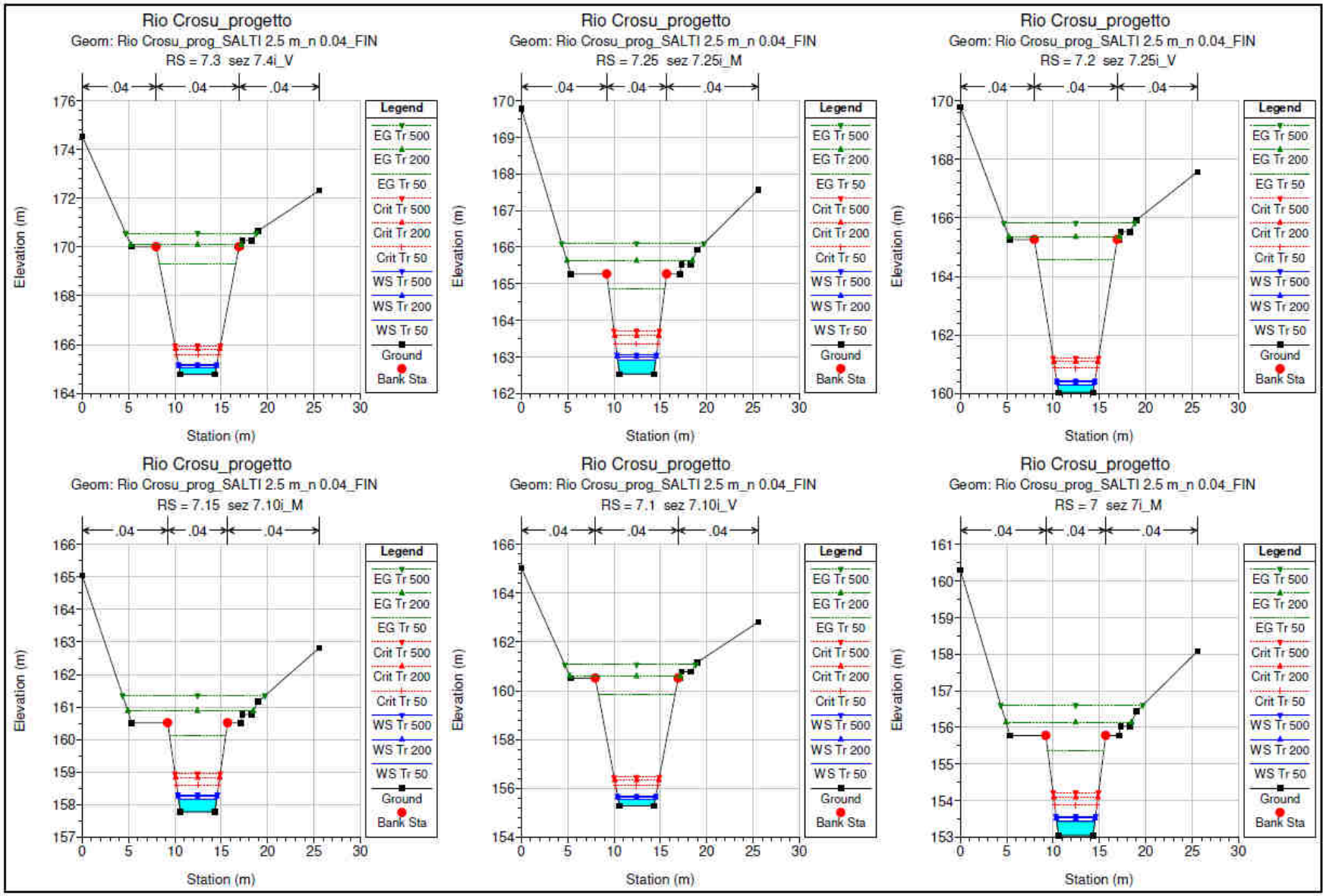

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 15 sez 15i
RS = 14.5 sez 14.5i_M
RS = 14.4 sez 14.5i_V
RS = 14 sez 14i_M
RS = 13.9 sez 14i_V
RS = 13.5 sez 13.5i_M
.04
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
WS Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
WS Tr 200
WS Tr 50
Crit Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

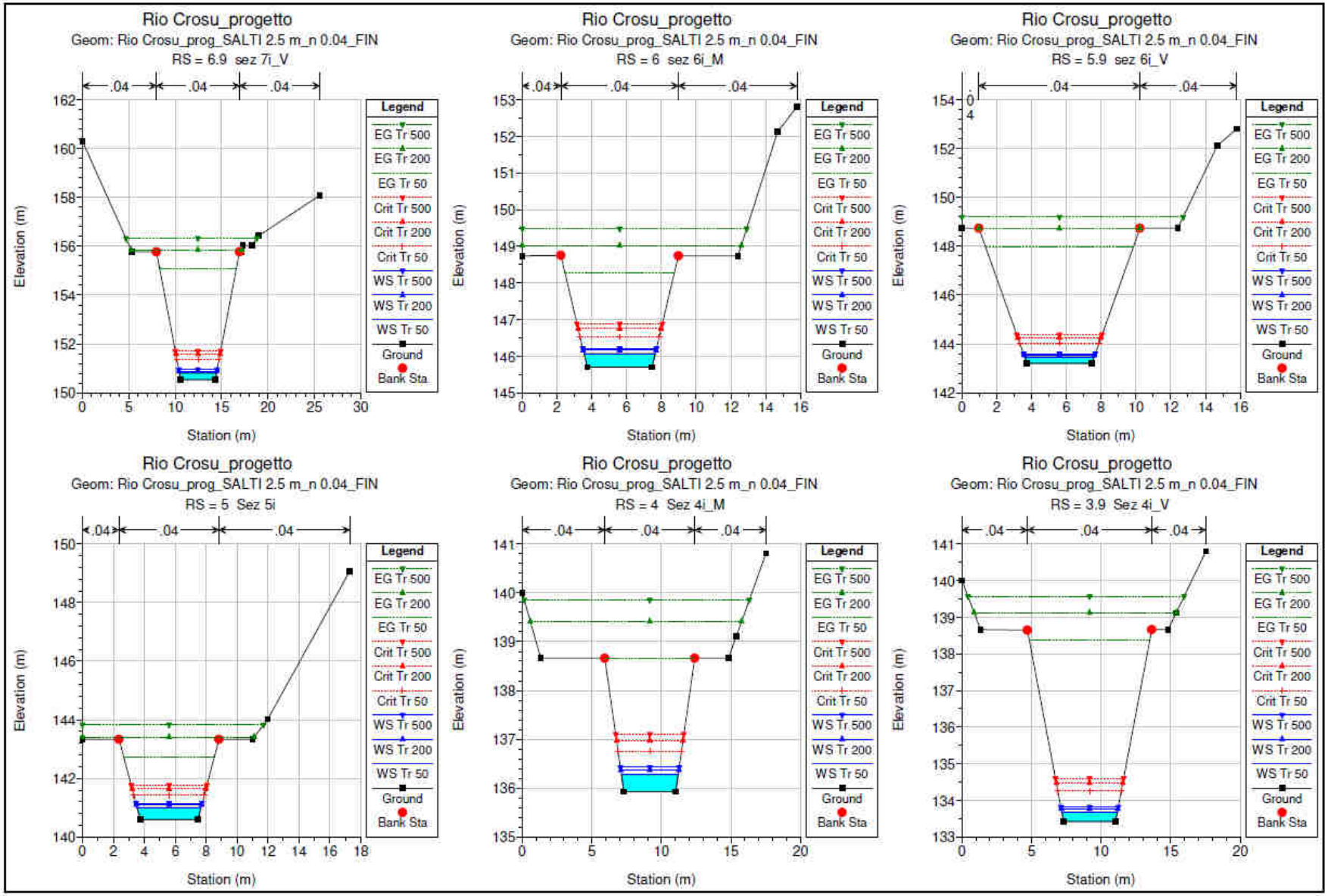

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 13.4 sez 13.5i_V
RS = 13 sez 13i_M
RS = 12.9 sez 13i_V
RS = 12 sez 12i_M
RS = 11.9 sez 12i_V
RS = 11 sez 11i_M
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta

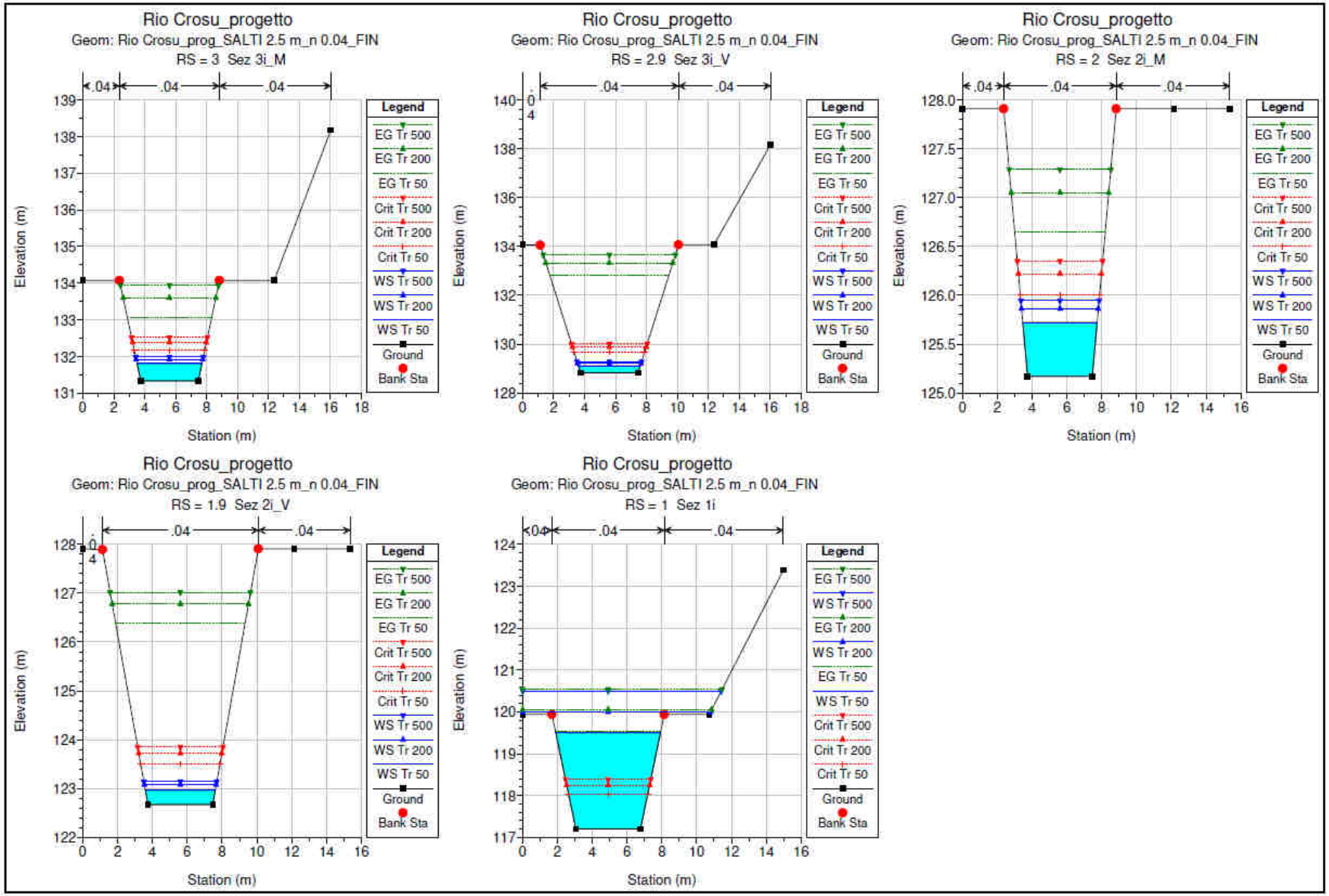

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 10.9 sez 11i_V
RS = 10.6 sez 10.6i - inizio ponte
RS = 10.4 sez 10.4i - fine ponte
RS = 10 sez 10i_M
RS = 9.9 sez 10i_V
RS = 9 sez 9i_M
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta

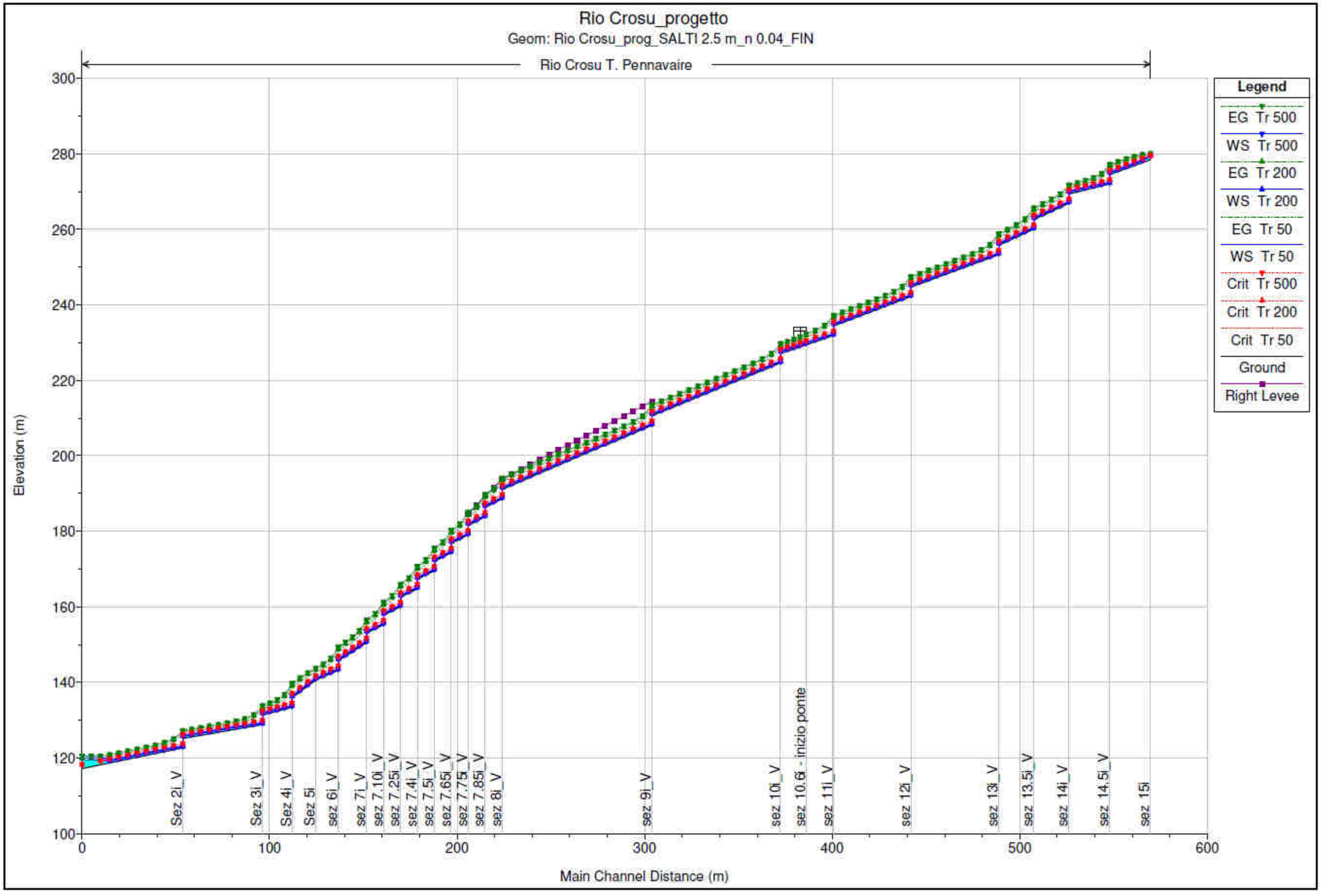

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 8.9 sez 9i_V
RS = 8 sez 8i_M
RS = 7.9 sez 8i_V
RS = 7.85 sez 7.85i_M
RS = 7.84 sez 7.85i_V
RS = 7.75 sez 7.75i_M
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 7.65 sez 7.75i_V
RS = 7.64 sez 7.65i_M
RS = 7.63 sez 7.65i_V
RS = 7.5 sez 7.5i_M
RS = 7.4 sez 7.5i_V
RS = 7.35 sez 7.4i_M
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 7.3 sez 7.4i_V
RS = 7.25 sez 7.25i_M
RS = 7.2 sez 7.25i_V
RS = 7.15 sez 7.10i_M
RS = 7.1 sez 7.10i_V
RS = 7 sez 7i_M
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta

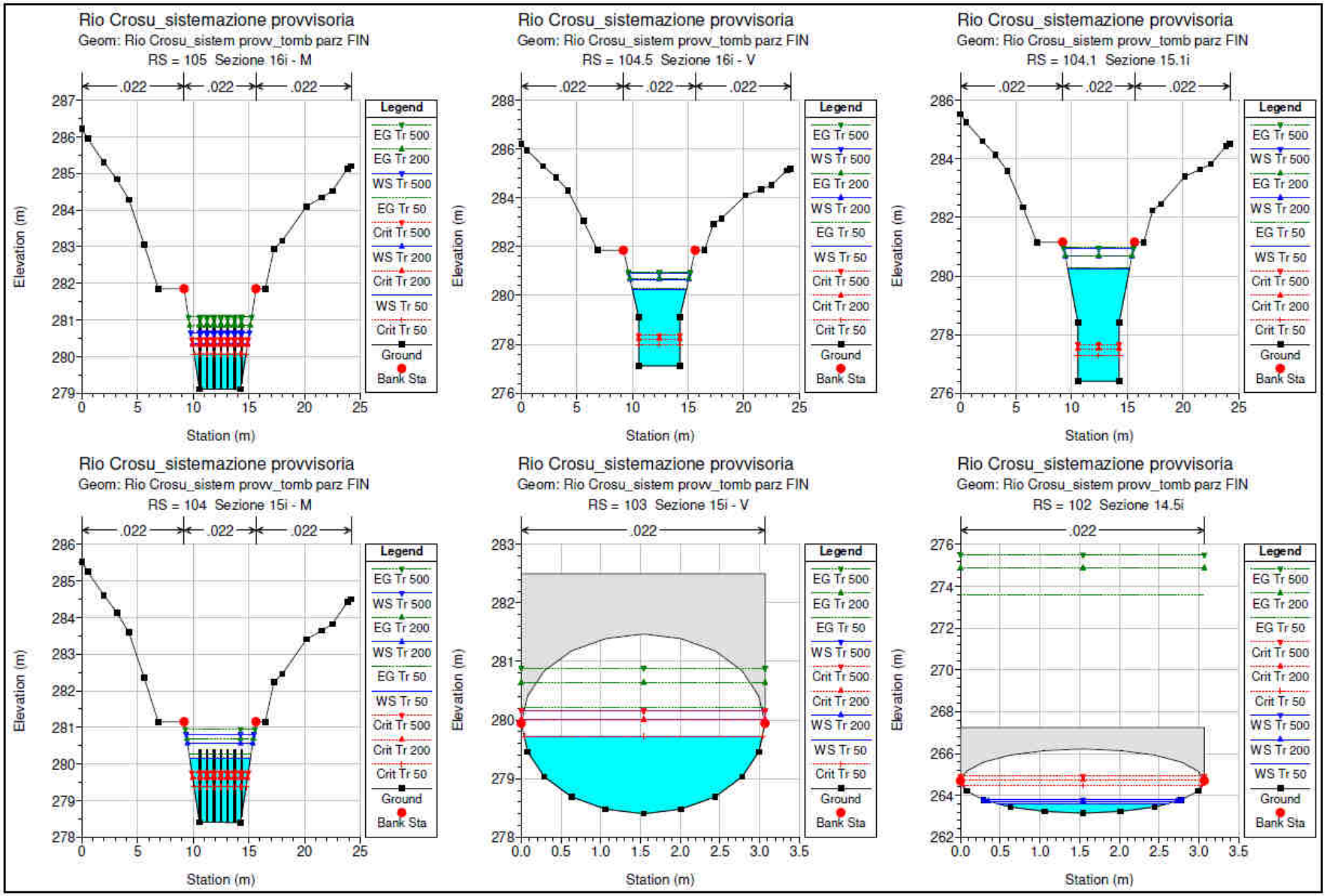

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 6.9 sez 7i_V
RS = 6 sez 6i_M
RS = 5.9 sez 6i_V
RS = 5 Sez 5i
RS = 4 Sez 4i_M
RS = 3.9 Sez 4i_V
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta

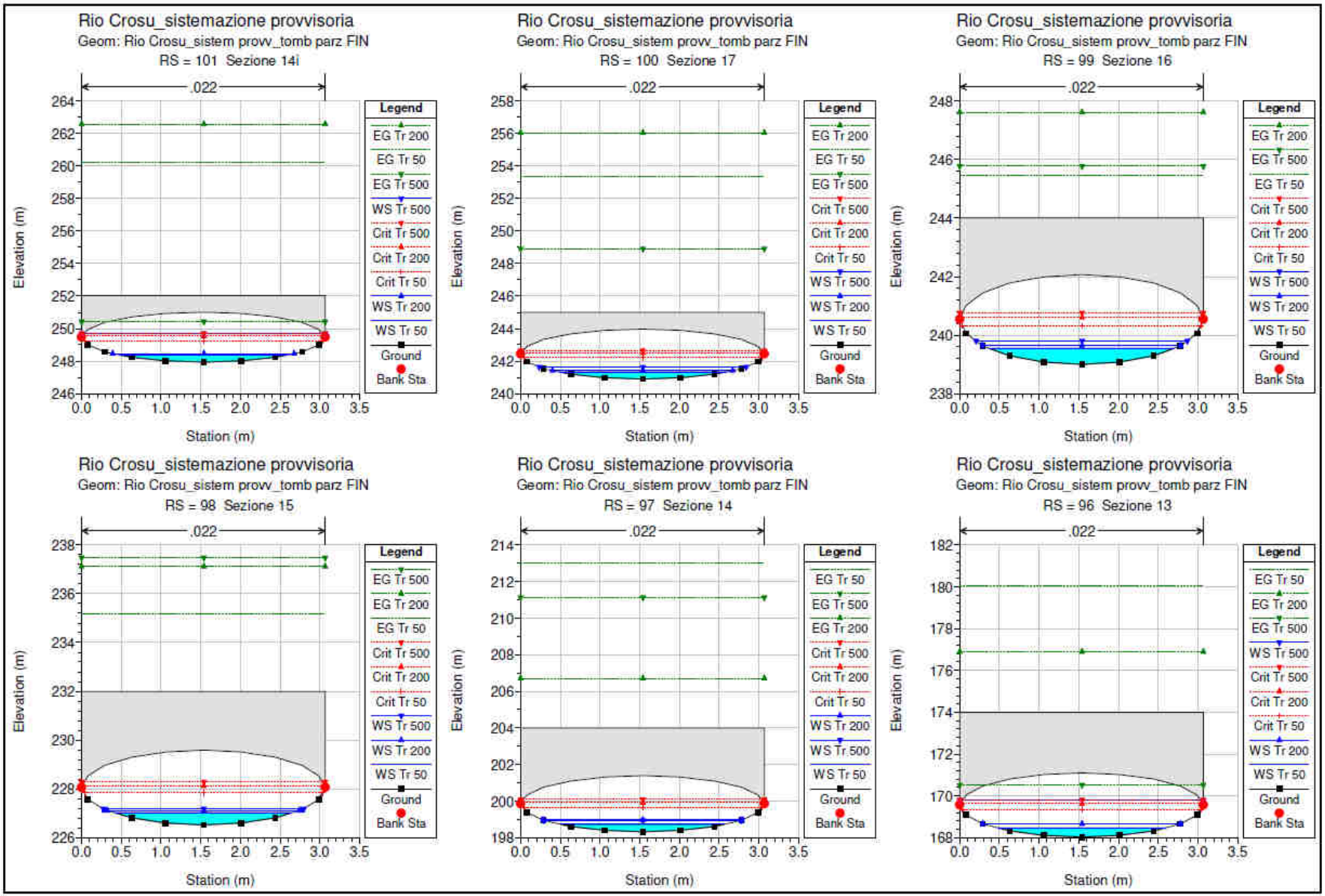

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 3 Sez 3i_M
Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 2.9 Sez 3i_V
Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 2 Sez 2i_M
Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 1.9 Sez 2i_V
Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
RS = 1 Sez 1i
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
.04

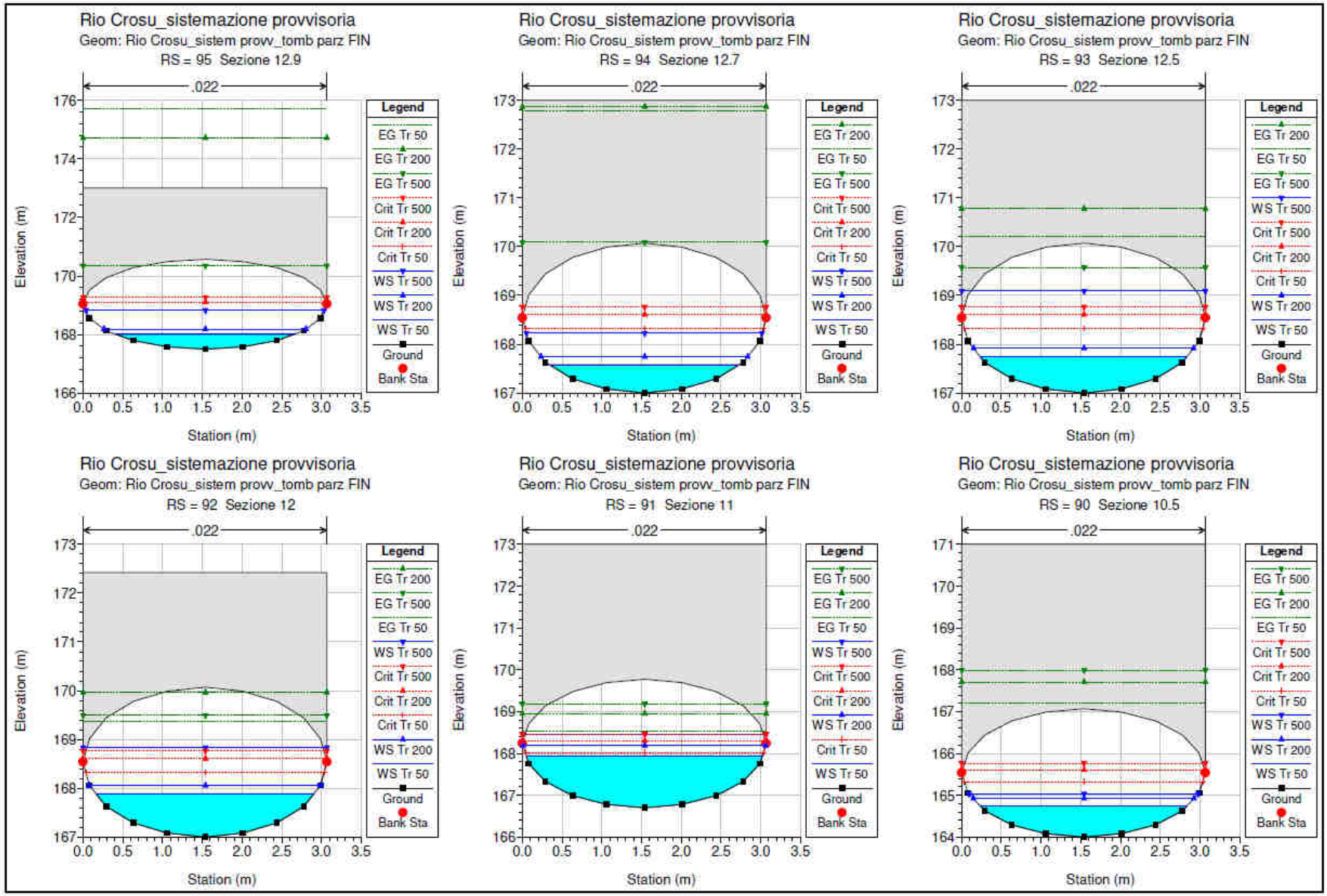

Rio Crosu_progetto
Geom: Rio Crosu_prog_SALTI 2.5 m_n 0.04_FIN
Rio Crosu T. Pennavaire
Legend
EG Tr 500
WS Tr 500
EG Tr 200
WS Tr 200
EG Tr 50
WS Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
Ground
Right Levee
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
Sez 2i_V
Sez 3i_V
Sez 4i_V
Sez 5i
sez 6i_V
sez 7i_V
sez 7.10i_V
sez 7.25i_V
sez 7.4i_V
sez 7.5i_V
sez 7.65i_V
sez 7.75_V
sez 7.85i_V
sez 8i_V
sez 9i_V
sez 10i_V
sez 10.6i - inizio ponte
sez 11i_V
sez 12i_V
sez 13i_V
sez 13.5i_V
sez 14i_V
sez 14.5i_V
sez 15i

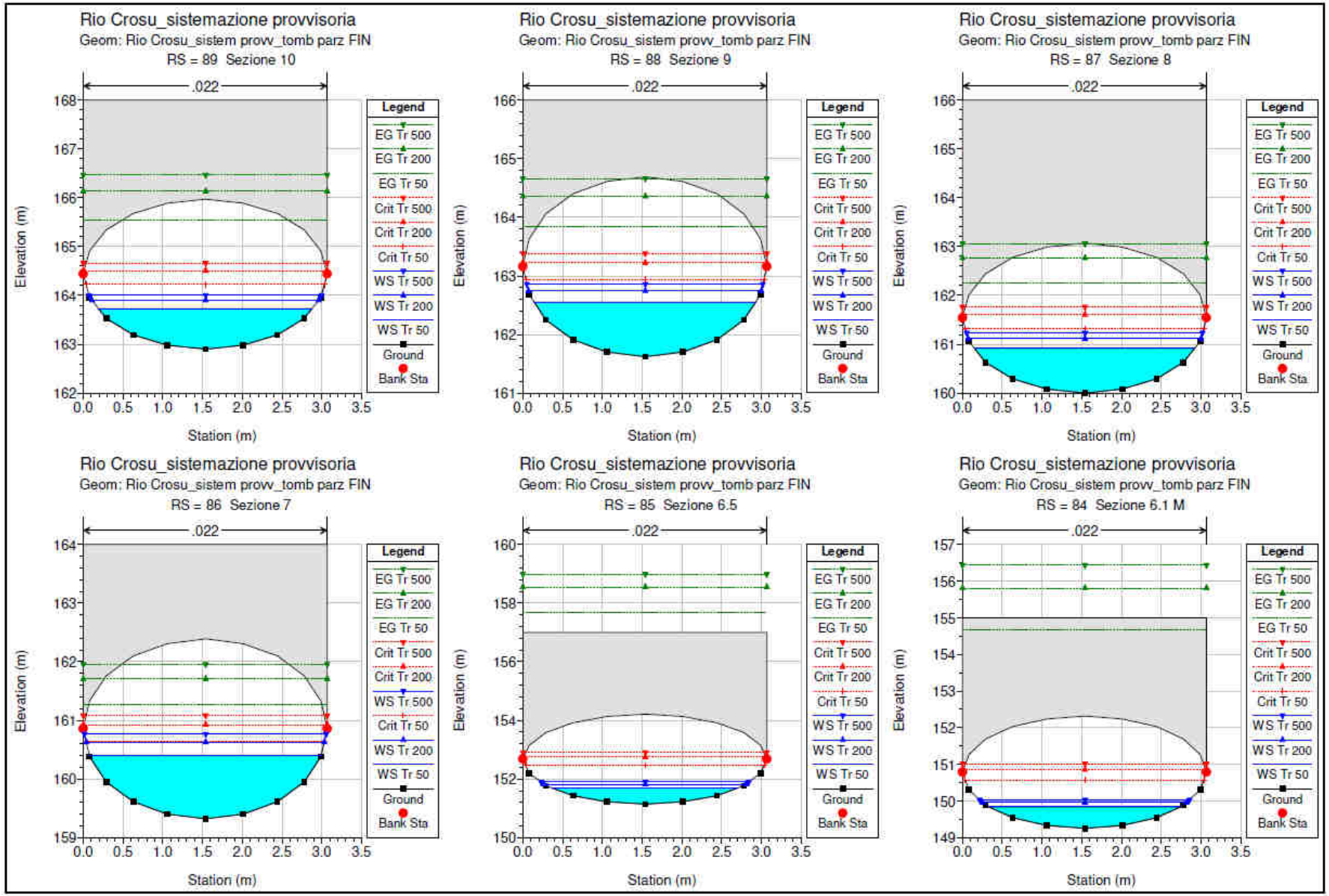
CONFIGURAZIONE TEMPORANEA

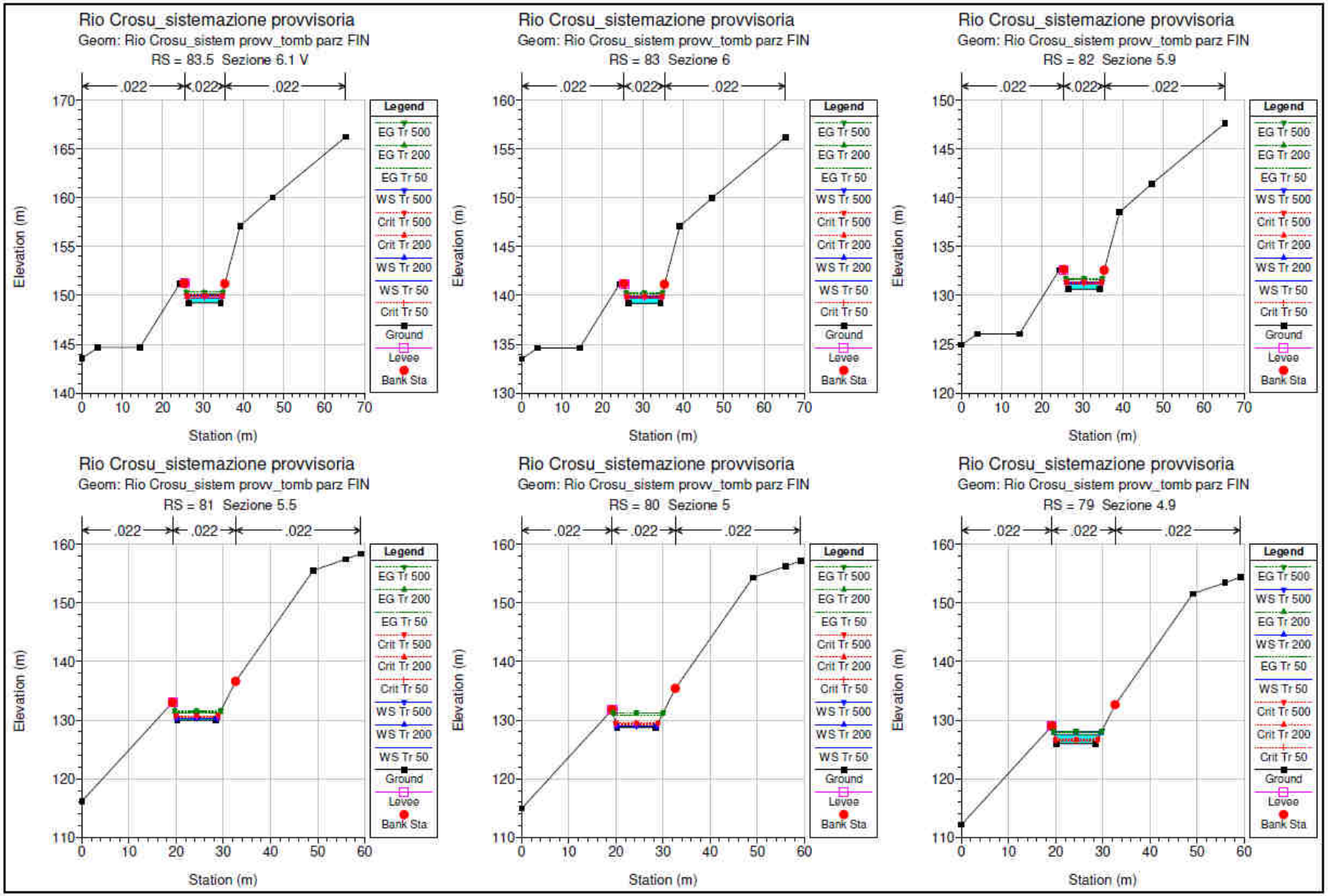
Sezioni e profilo

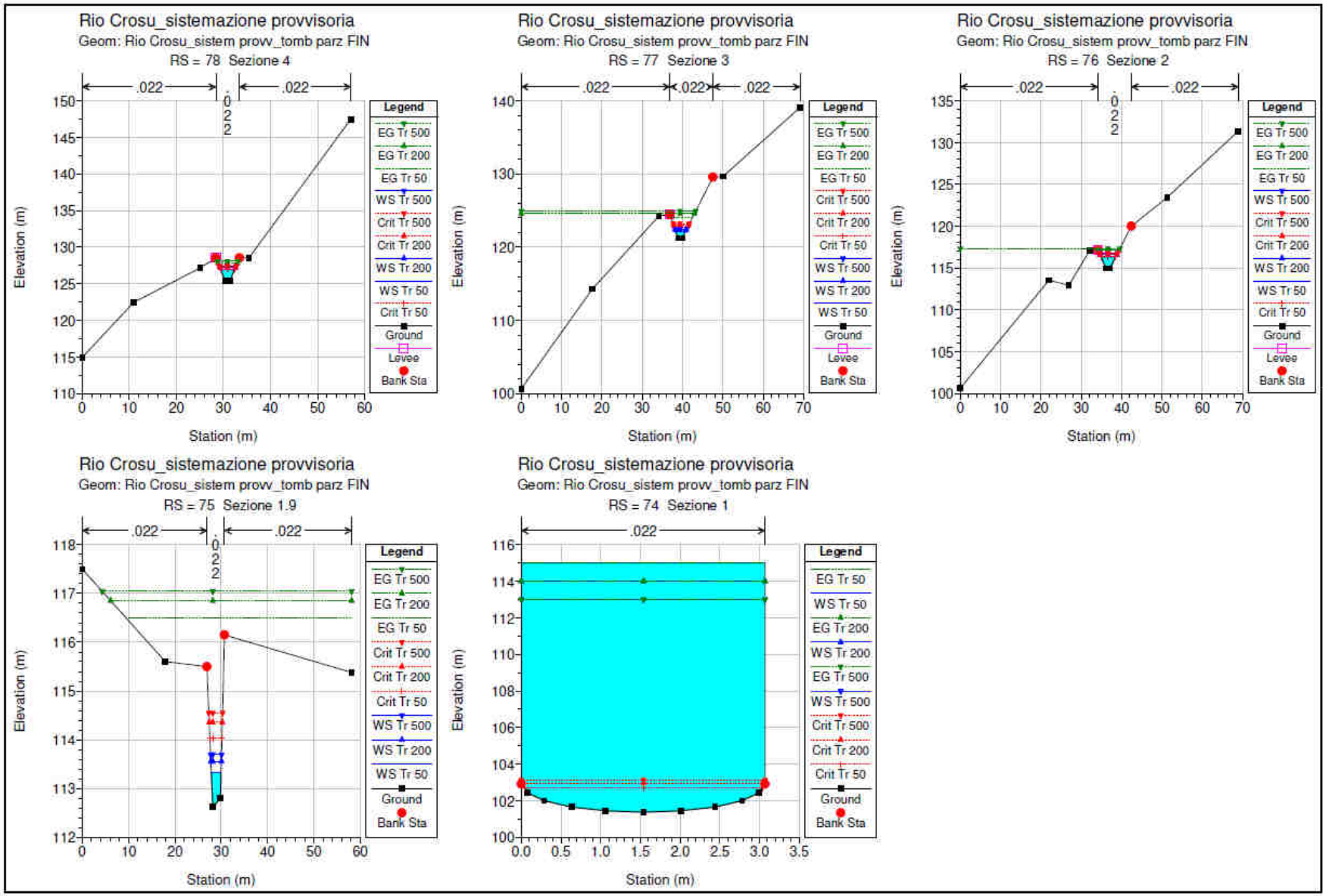

Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 105 Sezione 16i - M
RS = 104.5 Sezione 16i - V
RS = 104.1 Sezione 15.1i
RS = 104 Sezione 15i - M
RS = 103 Sezione 15i - V
RS = 102 Sezione 14.5i
.022
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
WS Tr 500
EG Tr 200
WS Tr 200
EG Tr 50
WS Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
Ground
Bank Sta

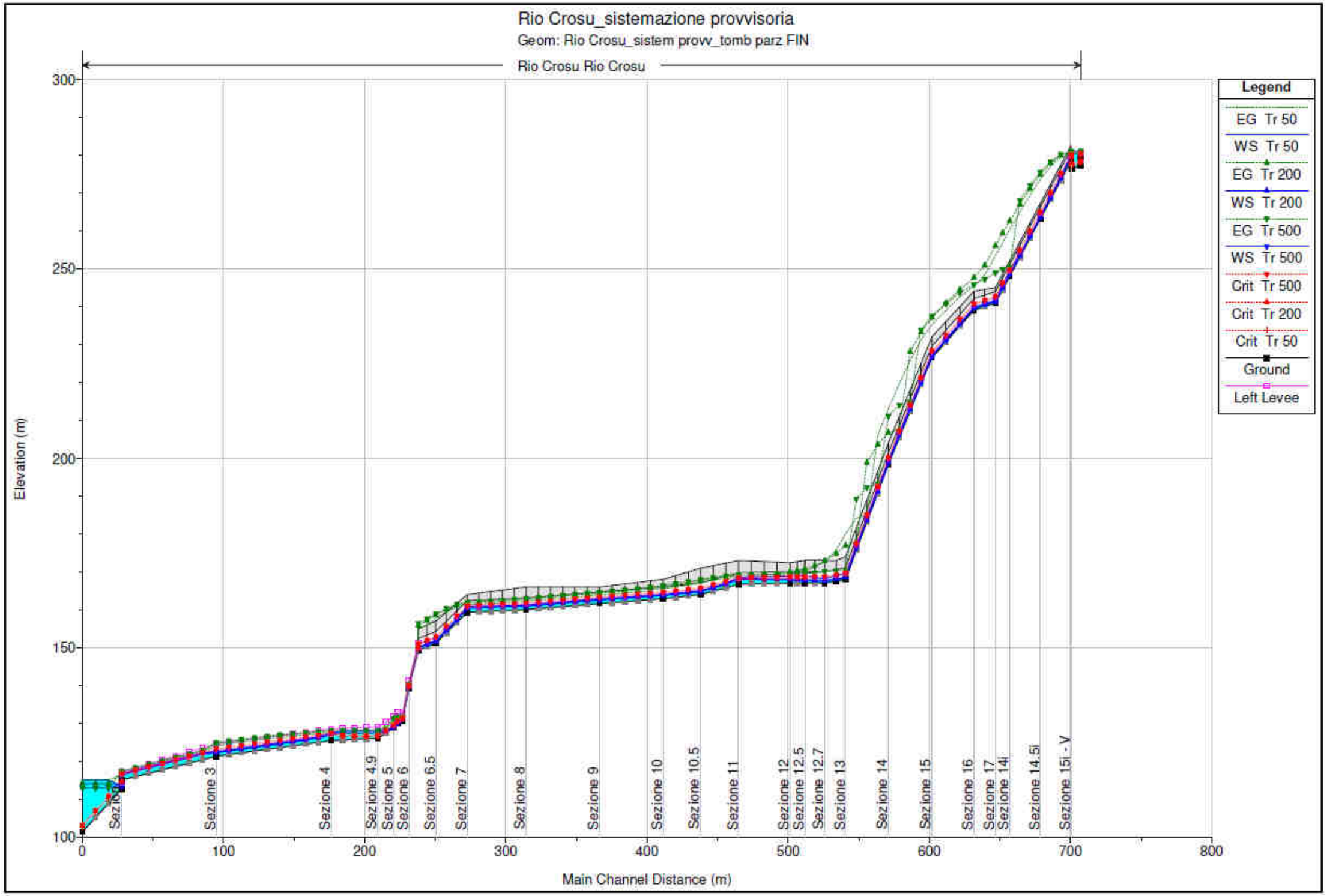

Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 101 Sezione 14i
RS = 100 Sezione 17
RS = 99 Sezione 16
RS = 98 Sezione 15
RS = 97 Sezione 14
RS = 96 Sezione 13
.022
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 200
EG Tr 50
EG Tr 500
WS Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta


Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 95 Sezione 12.9
RS = 94 Sezione 12.7
RS = 93 Sezione 12.5
RS = 92 Sezione 12
RS = 91 Sezione 11
RS = 90 Sezione 10.5
.022
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 50
EG Tr 200
EG Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta


Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 89 Sezione 10
RS = 88 Sezione 9
RS = 87 Sezione 8
RS = 86 Sezione 7
RS = 85 Sezione 6.5
RS = 84 Sezione 6.1 M
.022
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 83.5 Sezione 6.1 V
RS = 83 Sezione 6
RS = 82 Sezione 5.9
RS = 81 Sezione 5.5
RS = 80 Sezione 5
RS = 79 Sezione 4.9
.022
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
WS Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
WS Tr 200
WS Tr 50
Crit Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
RS = 78 Sezione 4
RS = 77 Sezione 3
RS = 76 Sezione 2
RS = 75 Sezione 1.9
RS = 74 Sezione 1
.022
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr 500
EG Tr 200
EG Tr 50
WS Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
WS Tr 200
WS Tr 50
Crit Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta


Rio Crosu_sistemazione provvisoria
Geom: Rio Crosu_sistem provv_tomb parz FIN
Rio Crosu Rio Crosu
Legend
EG Tr 50
WS Tr 50
EG Tr 200
WS Tr 200
EG Tr 500
WS Tr 500
Crit Tr 500
Crit Tr 200
Crit Tr 50
Ground
Left Levee
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
Sezione 3
Sezione 4
Sezione 4.9
Sezione 5
Sezione 6
Sezione 6.5
Sezione 7
Sezione 8
Sezione 9
Sezione 10
Sezione 10.5
Sezione 11
Sezione 12
Sezione 12.5
Sezione 12.7
Sezione 13
Sezione 14
Sezione 15
Sezione 16
Sezione 17
Sezione 14i
Sezione 14.5i
Sezione 15i - V