

S.S.4 SALARIA

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DEL TRATTO DELLA S.S.4 SALARIA IN LOCALITA' MOZZANO

PROGETTO DEFINITIVO

AN-259

PROGETTAZIONE: **BONIFICA – SOIL - FRANCHETTI**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A

IL PROGETTISTA

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A

Ing. Luigi Albert – Ordine Ing. Milano n.° 14725-Sez A

Ing. Paolo Franchetti – Ordine Ing. Vicenza n.° 2013-Sez A

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Anna Maria Bruna - Ordine Geol. Lazio n. 1531

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Arch. Nadia Cannella – Ordine Arch. Salerno n.1352 – Sez. A

IL RESPONSABILE DI PROGETTO

Pianificatore Territoriale Marco Colazza

IL R.U.P.

Dott. Ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO

DATA

A.T.I. di PROGETTAZIONE:

(Mandataria)



(Mandante)



Geotechnics Geology Structures Offshore

(Mandante)

FRANCHETTI

SG – STUDI GENERALI

Studio Idrologico Idraulico
Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

NOME FILE:
T00ID00IDRRE02B.DOCX

REVISIONE

SCALA

CODICE PROGETTO
PROGETTO

LIV.PROG. ANNO

D P A N 2 5 9

D 2 1

CODICE ELAB. T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 2

B

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
B	ISTRUTTORIA ANAS	Giugno 2022	K.Mesidoro	A.Iordanescu	Ing.F.P.Bocchetto
A	EMISSIONE	Marzo 2022	K. Mesidoro	A.Iordanescu	Ing.F.P.Bocchetto

INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	NORMATIVE	1
3	ASSETTO IDROGRAFICO ED IDRAULICO.....	2
4	COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	4
5	DETERMINAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO	10
5.1	Elaborazione statistica dei dati di pioggia.....	10
5.2	analisi statistica diretta.....	11
5.3	studio di regionalizzazione delle precipitazioni	12
6	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO	14
6.1	Metodo giandotti	14
6.2	Metodo cinematico o razionale.....	16
6.2.1	Stima del tempo di corrivazione	17
6.3	Metodo di regionalizzazione	21
6.4	Metodo del Curve Number (SCS).....	22
7	ANALISI DEI DEFLUSSI IN ALVEO.....	27
8	VALUTAZIONE DELLO SCALZAMENTO MASSIMO IN CORRISPONDENZA DELLA PILA	32
8.1	Calcolo dello scavo	33
9	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA	35
10	CONCLUSIONI.....	37

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

1 PREMESSA

Il presente documento descrive l'attività di studio dell'area di intervento dal punto di vista idrologico, a supporto della progettazione definitiva riguardo l'adeguamento del tratto di viabilità della Strada Statale S.S. n. 4 "Salaria" in località Mozzano nel Comune di Ascoli Piceno.

In particolare si illustrano i risultati degli studi sulle caratteristiche morfologiche ed idrologiche del Torrente Fluvione, affluente principale in sinistra idraulica del fiume Tronto, finalizzati alla corretta progettazione delle opere di sistemazione idraulica e al loro dimensionamento in funzione delle portate di assegnato tempo di ritorno.

L'inquadramento normativo connesso alle attività idrologiche ed idrauliche consente di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire o inserire il progetto.

Nel quadro complessivo, si pone particolare attenzione alle norme definite dal Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, nonché alle norme tecniche delle costruzioni NTC 2018.

L'attività idrologica sviluppata è coerente con gli approcci regionali e nazionali, e tiene conto, mediante opportune assunzioni, della necessaria cautela che gli eventi alluvionali meteorici impongono.

2 NORMATIVE

NTC del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche di Attuazione;

D.L. n. 49 del 2010 – Riesame e aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvione;

D.L. n. 284 del 8 novembre 2006 - Disposizioni correttive ed integrative del Decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152, recante norma in materia ambientale;

D.L. n. 152 del 3 aprile 2006 – Norme in materia ambientale;

L. n. 226 del 13 luglio 1999 - Conversione in legge, con modificazioni, del D.L. n. 132 del 13 maggio 1999, recante interventi urgenti in materia di protezione civile”;

D.P.C.M. del 29 settembre 1998 - Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. n. 180 del 11 giugno 1998;

D.P.R. del 18 luglio 1995 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei piani di bacino” ai sensi della L. 183/1989 e s.m.i;

D.P.R. del 07 gennaio 1992 - Atto di indirizzo e coordinamento per determinare i criteri di integrazione e di coordinamento tra le attività conoscitive dello Stato, delle autorità di bacino e delle regioni per la redazione dei piani di bacino di cui alla legge n. 183 del 18 maggio 1989, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo;

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

D.P.R. del 23 marzo 1990 - Atto di Indirizzo e Coordinamento ai fini dell'elaborazione e adozione degli schemi revisionali e programmatici di cui all'art. 31 della Legge n. 183 del 18 giugno 1989;

D.L.n.279 del 12 ottobre 2000 convertito in L. n. 365 del 11 dicembre 2000 - Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della regione Calabria danneggiate dalle calamità idrogeologiche di settembre ed ottobre 2000;

D.L. n. 180 del 11 giugno 1998 - Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania, convertito, con modificazioni, nella L. n. 267 del 3 agosto 1998;

L. n. 183 del 18 maggio 1989 - Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo – Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del Fiume Tronto; adottato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 3 del 07 giugno 2007.

Legge Regionale 12/11/2012, n.31 e s.m. - Norme in materia di gestione dei corsi d'acqua;

Legge Regionale 23/11/2011, n.22 - Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico e modifiche alle Leggi regionali 5 agosto 1992, n. 34 "Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio" e 8 ottobre 2009, n. 22 "Interventi della regione per il riavvio delle attività edilizie al fine di fronteggiare la crisi economica, difendere l'occupazione, migliorare la sicurezza degli edifici e promuovere tecniche di edilizia sostenibile".

D.G.R. n.53 del 27/01/2014 – Criteri, modalità e indicazioni tecnico – operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali (art.10, comma 4, L.R. 22/2011);

3 ASSETTO IDROGRAFICO ED IDRAULICO

Dal punto di vista idrografico ed idraulico, il territorio di interesse è adagiato sull'alta valle del fiume Tronto, nei territori montani del Comune di Mozzano.

In generale il bacino del Fiume Tronto si estende su una superficie di circa 1189 km² con un'altitudine media di 774,5 m. Il corso d'acqua principale nasce alle pendici settentrionali dei Monti della Laga (q = 1900 m.s.m) e sbocca nel Mare Adriatico in prossimità di Porto d'Ascoli, dopo un percorso di circa L = 97,5 km.

Tra principali affluenti si segnala, in destra idrografica, il Torrente Castellano ed il Torrente Marino, mentre in sinistra idrografica, il Torrente Scandarella, il Torrente Chifente, il Torrente Fluvione ed il Torrente Chiaro. L'area, oggetto del presente intervento, si estende in sinistra idrografica del Fiume Tronto ad una distanza di circa d = 300 metri a monte della confluenza con il Torrente Fluvione.

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

Il bacino imbrifero del Torrente Fluvione, interamente compreso nella Regione Marche, drena una superficie di circa 132,5 km², che si appoggia, dal punto di vista amministrativo, su una porzione occidentale del Comune di Montegallo e su una parte del Comune di Roccafluvione e il Comune di Ascoli Piceno.



Fig. 1 - Torrente Fluvione – Superficie di bacino

La linea di deflusso del Torrente Fluvione ha una lunghezza di circa $L = 24,0$ km e si forma nel Comune di Montegallo ($q = 860$ m.s.m.) dalla confluenza di alcuni rami sorgentizi, come Fosso di Colleluce, fosso di Casale e fosso dell'Orinale, che raccolgono le acque del versante adriatico dei Monti Sibillini nella zona compresa tra il Monte Vettore e il Monte Torrone.

La sua asta di deflusso in generale ha un orientamento da Ovest verso Est e il corso d'acqua percorre l'omonima Val Fluvione.

Presso Uscerno il letto del torrente si approfondisce fino a creare un vero e proprio canyon; infatti lungo il suo percorso, il fiume è caratterizzato dalla presenza di numerosi salti morfologici che danno origini a pittoresche cascate immerse ancora in un ambiente incontaminato e ricco di vegetazione.

Il torrente uscito, dal comune di Montegallo, entra nel territorio di Roccafluvione, dove il suo corso devia decisamente verso sud e viene affiancato dalla ex S.S. 78 Picena. Dopo aver attraversato la località Marsia, il capoluogo di Roccafluvione, il torrente riceve in destra idraulica il suo principale affluente, il Torrente Noscia e raggiunge il territorio comunale di Ascoli Piceno, dove confluisce nel Fiume Tronto.

4 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Per valutare se l'intervento in progetto sia idraulicamente compatibile, di seguito si riporta un riassunto dei principali aspetti che caratterizzano il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto (PAI), con particolare riferimento all' *Elaborato "C": NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE*.

Il PAI è uno strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso, finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

In particolare, l'assetto idrogeologico comprende:

- l'assetto dei versanti, riguardante le aree a rischio di frane e valanghe;
- l'assetto idraulico, riguardante le aree a rischio idraulico.

L'ambito territoriale di riferimento è il bacino idrografico del fiume Tronto al cui interno sono individuate le aree di pericolosità idraulica e di pericolosità per frane e valanghe nonché le aree con elementi in situazioni di rischio idraulico e di rischio per frane e valanghe. Attraverso l'individuazione di suddette aree e la relativa regolamentazione, viene definita nelle sue linee generali l'ossatura dell'assetto idraulico e di versante del bacino, come prima fase interrelata alle successive articolazioni del Piano di Bacino.

Per non appesantire eccessivamente l'esposizione, di seguito si farà riferimento esclusivamente alle sezioni del PAI inerenti all'assetto idraulico.

I principali aspetti che intende cogliere il Piano di Assetto Idraulico sono:

- l'individuazione delle aree esondabili, determinate sulla base della configurazione altimetrica dei terreni in corrispondenza dei tratti in cui i corsi d'acqua possono esondare per causa di portate eccessive, o per danneggiamento o collasso delle arginature e delle altre opere di difesa, aggregate secondo le seguenti 4 classi di rischio ed indicate negli elaborati grafici "*Carta territoriale delle aree esondabili*" (tav. n. 8 – scala 1:100.000) e "*Carta del dissesto e delle aree esondabili*" (tav. n. 10, da 1 a 49 – scala 1:10.000):
 - aree a **rischio molto elevato** di esondazione "**E4**": aree che possono essere interessate dalle piene con tempo di ritorno tra 30 e 50 anni;
 - aree a **rischio elevato** di esondazione "**E3**": aree che possono essere interessate dalle piene con tempo di ritorno assimilabile a 100 anni;
 - aree a **rischio medio** di esondazione "**E2**": aree che possono essere interessate dalle piene con tempo di ritorno assimilabile a 200 anni;

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

- aree a **rischio moderato** di esondazione "E1": aree che possono essere interessate dalle piene con tempo di ritorno assimilabili a 500 anni;
- la definizione, per le dette aree e per i restanti tratti della rete idrografica, di una strategia di gestione finalizzata a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a favorire il mantenimento o il ripristino dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;
- la definizione di una politica di prevenzione e di mitigazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di azioni e norme di piano e tramite la predisposizione di un assetto di progetto dei corsi d'acqua, definito nei tipi di intervento, nelle priorità di attuazione e nel fabbisogno economico di massima.

In aggiunta all'individuazione delle aree a rischio di esondazione, per consentire la pianificazione dell'assetto fisico dei corsi d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso del suolo ai fini antropici e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali vengono istituite le *fasce fluviali di tutela integrale*, misurate a partire dal piede esterno dell'argine o dalla sponda, in funzione della classe a cui appartiene il corso d'acqua d'interesse e al ruolo che esso ha all'interno del bacino idrografico suddiviso nelle fasce appenninica, pedappenninica e subappenninica (vedi elaborato "*Fascia ambiti di tutela*" - Tav. n. 6 – scala 1:100.000).

In particolare si ha:

Classe 1:

- | | |
|------------------------------|---------------|
| - fascia appenninica (A) | mt. 25 |
| - fascia pedappenninica (PA) | mt. 50 |
| - fascia subappenninica (SA) | mt. 75 |

Classe 2:

- | | |
|------------------------------|---------------|
| - fascia appenninica (A) | mt. 10 |
| - fascia pedappenninica (PA) | mt. 20 |
| - fascia subappenninica (SA) | mt. 30 |

Nel caso in cui gli argini o le sponde non siano identificabili univocamente, la larghezza della fascia di tutela integrale deve essere individuata considerando l'assetto definitivo del corso d'acqua nel tratto interessato, in modo da garantirne un regime idraulico soddisfacente per una piena con tempo di ritorno di 200 anni in funzione del rischio idraulico.

In particolare, Il torrente Fluvione appartiene alla Classe 2, fascia pedappenninica (PA).

All'interno delle fasce fluviali sono vietati le nuove costruzioni e gli ampliamenti degli edifici, nonché l'accumulo o lo smaltimento di rifiuti e/o di qualsiasi tipo di materiali che possano compromettere la sicurezza idraulica in caso di piena. Sono inoltre vietati:

- l'apertura di nuove cave;
- l'estrazione di inerti non strettamente necessari ai lavori di sistemazione idraulica;
- l'apertura di nuove discariche pubbliche e private, con esclusione degli interventi necessari alla bonifica di quelle esistenti che non è possibile trasferire;
- la realizzazione di impianti tecnologici fuori terra attinenti al trattamento delle acque reflue, con esclusione degli adeguamenti e la messa in sicurezza di quelli esistenti.

Sono fatte salve le opere necessarie ad assicurare il buon regime idraulico dei corsi d'acqua e di sistemazione ambientale ed idrogeologica finalizzate a ridurre il rischio di esondazione, le derivazioni o le captazioni di acqua, gli scarichi di acque preventivamente depurate, e le opere necessarie all'attraversamento sia viario che impiantistico, da sottoporre al parere vincolante dell'Autorità idraulica competente, che provvede alla trasmissione del parere e del progetto delle opere all' Autorità di Bacino ai fini dell'aggiornamento del piano di bacino.

Nei corsi d'acqua di Classe 2, i vincoli costruttivi si applicano limitatamente alle zone territoriali omogenee di cui all'art. 2, lettera E del D.M. 2 aprile 1968, n. 1444. In aggiunta, tali restrizioni, si applicano in tutte le aree dei corsi d'acqua poste all'interno degli argini o delle sponde. Nel caso in cui gli argini o le sponde non siano identificabili univocamente, la larghezza dell'area all'interno dell'alveo deve essere individuata considerando l'assetto definitivo del corso d'acqua nel tratto interessato, in modo da garantire un regime idraulico soddisfacente per una piena con tempo di ritorno di 200 anni in funzione del rischio idraulico.

Come riportato in Fig. 2, la zona d'intervento ricade all'interno dell'area esondabile E3 (area a rischio elevato di esondazione) e di seguito si riporta un estratto dell'*Articolo 11 - Disciplina delle aree esondabili E4 ed E3* del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Tronto.

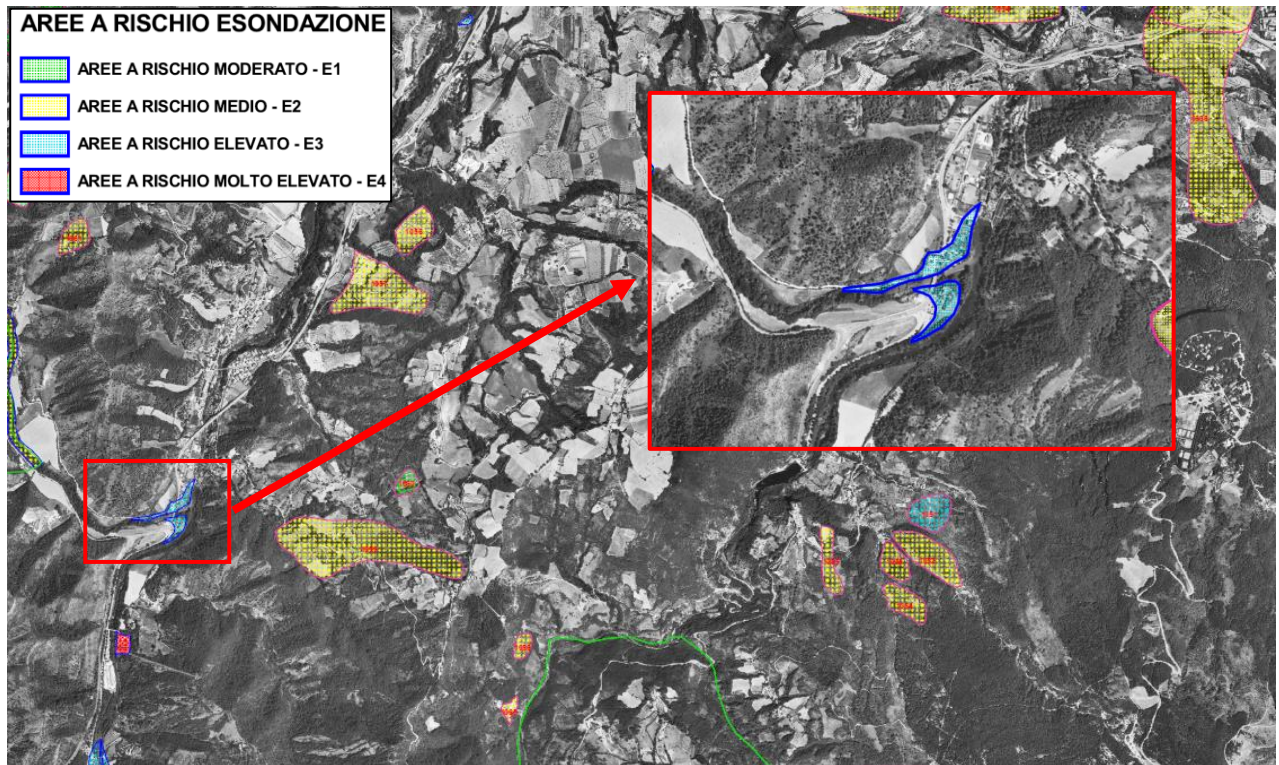


Fig. 2 - Inquadramento della zona d'intervento all'interno della mappatura PAI

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

**Articolo 11
(Disciplina delle aree esondabili E4 ed E3)**

1. Le aree esondabili di cui al precedente Articolo 9, con le seguenti classi di rischio:

- a) **E4:** aree a rischio **molto elevato** di esondazione;
- b) **E3:** aree a rischio **elevato** di esondazione,

sono sottoposte alle prescrizioni di cui ai commi successivi, fatto salvo quanto prescritto al successivo Articolo 20, e fatta salva ogni altra norma regolamentare connessa all'uso del suolo qualora più restrittiva.

2. Nelle aree di cui al precedente comma 1) sono consentiti, nel rispetto delle specifiche norme tecniche vigenti:

- a) interventi di demolizione di manufatti edilizi;
- b) interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro e risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia di cui alle lettere a,) b), c) e d) del comma 1) dell'art. 3 del D.P.R. 380/01 (Testo Unico dell'edilizia) e succ. mod. ed integr.;
- b bis) Aumenti volumetrici strettamente necessari per gli adeguamenti degli edifici esistenti in materia igienico sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche;
- c) cambi di destinazione d'uso negli edifici purché non comportino aumento del carico urbanistico con un aggravamento delle condizioni di rischio;
- d) interventi di ristrutturazione urbanistica di cui all'art.3, comma 1, lettera f) del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, a condizione che venga valutata la pericolosità idraulica delle

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

aree ed apportati gli eventuali interventi per la mitigazione del rischio; i predetti interventi sono eseguiti previo parere vincolante dell'Autorità di bacino;

- e) interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio in rapporto alla pericolosità idraulica dell'area;
- f) interventi indifferibili e urgenti a carattere provvisorio a tutela della pubblica incolumità o del sistema ambientale;
- g) manutenzione e ristrutturazione di infrastrutture tecnologiche o viarie;
- h) realizzazione ed ampliamento di infrastrutture tecnologiche o viarie, pubbliche o di interesse pubblico, nonché delle relative strutture accessorie; tali opere, di cui il soggetto attuatore dà comunque preventiva comunicazione all'Autorità di bacino contestualmente alla richiesta del parere previsto nella presente lettera, sono condizionate ad uno studio da parte del soggetto attuatore in cui siano valutate eventuali soluzioni alternative e la compatibilità con la pericolosità delle aree, anche attraverso la previsione di misure compensative, previo parere vincolante della Autorità idraulica competente che nelle more di specifica direttiva da parte dell'Autorità può sottoporre alla stessa l'istanza;
- j) interventi per reti ed impianti tecnologici, per sistemazioni di aree esterne, recinzioni ed accessori pertinenziali agli edifici, alle infrastrutture ed attrezzature esistenti, purché non comportino la realizzazione di nuove volumetrie e non alterino il naturale deflusso delle acque;
- k) spazi verdi, compresa la realizzazione di aree per il tempo libero e lo sport, ad esclusione di aree destinate a campeggio, purché non comportino la realizzazione di nuove volumetrie a carattere permanente e non alterino il naturale deflusso delle acque;
- l) nelle zone territoriali omogenee di cui all' art. 2, lett. e) del D.M. 2 aprile 1968, n. 1444, nel rispetto delle normative regionali in materia di edilizia in zone agricole sono consentiti ampliamenti per il miglioramento igienico-funzionale delle abitazioni necessari per esigenze igieniche o per l'esercizio della attività nonché accessori agricoli se non diversamente localizzabili nel terreno dell'azienda in riferimento all'assetto culturale ed idrogeologico della proprietà;
- m) interventi idraulici volti alla messa in sicurezza delle aree a rischio, ivi incluso il taglio della vegetazione, compresi tra gli interventi previsti in programmi per la difesa del suolo o coerenti con le finalità del presente piano stralcio.

3. Tutti gli interventi consentiti dal presente articolo, salva diversa specificazione, sono accompagnati da una verifica tecnica volta a dimostrare la compatibilità tra l'intervento, le condizioni di dissesto e il livello di rischio dichiarato. Tale verifica redatta e firmata da uno o più tecnici abilitati deve essere allegata al progetto di intervento e valutata dall'ente competente nell'ambito del rilascio di provvedimenti abilitativi. Le costruzioni consentite dal presente articolo dovranno avere, di norma, il piano terra ad una quota superiore a un metro dal piano di campagna; sono inoltre vietati piani interrati e destinazioni abitative al piano terra.

4. Gli interventi di manutenzione ordinaria di cui alla lettera b), del precedente comma 2), che non comportino opere o azioni anche di carattere provvisorio con un aggravamento delle condizioni di rischio, nonché gli interventi di cui alla lettera f) del comma 2) del presente articolo, sono esclusi dall'obbligo di presentare lo studio di compatibilità di cui al comma 3.

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

In accordo con quanto affermato dall'articolo riportato sopra (evidenziato in rosso), si può notare come l'opera in progetto ricada tra gli interventi consentiti dalla normativa vigente; inoltre, dal momento in cui:

- l'area interessata dalla realizzazione dell'infrastruttura è esterna alla zona di esondazione E3 perimetrata dal PAI (ad esclusione della pila centrale del ponte);
- l'intervento non costituisce significativo ostacolo al deflusso;
- l'intervento non comporta una riduzione o una parzializzazione della capacità di invaso;
- l'intervento non concorre ad incrementare le condizioni di rischio, né puntuale né in aree limitrofe;
- l'intervento non pregiudica la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area;
- l'intervento è di tipo puntuale e non delocalizzabile;
- l'intervento non produce effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico, assicurando l'assenza di interferenze con il regime delle falde freatiche presenti;
- l'intervento garantisce il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;
- l'intervento assicura il mantenimento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e la sicurezza delle opere di difesa esistenti;
- l'intervento non produce effetti né in termini di modifica di deflussi idrici, né in termini di squilibrio degli attuali bilanci della risorsa idrica (prelievi e scarichi);

Si può affermare che l'adeguamento del tratto della SS4 Salaria in località Mozzano risulta idraulicamente compatibile con le norme vigenti.

5 DETERMINAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

Considerando la necessaria attenzione che va riposta sulla previsione dei deflussi che possono interessare l'asta di scolo del Torrente Fluvione e in occasione di differenti eventi meteorici, la ricerca della massima portata che transita nelle sezioni trasversali di deflusso del torrente è stata sviluppata sull'appoggio di una ricerca cartografica e di un'analisi dei dati storici delle precipitazioni disponibili.

5.1 ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI DI PIOGGIA

Per intraprendere le necessarie elaborazioni dei dati di pioggia, mirate ad ottenere una stima delle portate di deflusso corrispondenti a periodi di ritorno prestabiliti, si è proceduto individuando, preliminarmente, la stazione pluviografica del Servizio Idrografico Italiano ricadente nell'ambito della zona di interesse, ovvero nel bacino del Fiume Fluvione; in particolare si è fatto riferimento alla Rete Meteo Idropluviometrica Regionale della Protezione Civile della Marche – Centro Funzionale Regionale.

Successivamente i dati storici relativi alle precipitazioni sono stati elaborati con l'obiettivo di prevedere l'altezza di pioggia che, in occasione di un evento meteorico futuro, possa risultare condizionante alla scelta progettuale. A tal fine si è proceduto applicando le seguenti metodologie:

- analisi statistica diretta delle massime portate di piena, sviluppata nell'ipotesi di applicabilità della legge di Gumbel alla serie storica di dati di precipitazioni giornaliere, registrate nella stazione pluviometrica di riferimento;
- studio di regionalizzazione delle precipitazioni intense e delle portate massime proposta dalla Protezione Civile e Sicurezza della Regione Marche (Fondazione CIMA – Maggio 2016).

5.2 ANALISI STATISTICA DIRETTA

Per l'elaborazione statistica diretta dei valori di pioggia si è fatto riferimento alla individuazione delle stazioni pluviometriche ricadenti nell'ambito della zona di interesse, in particolare nel bacino del fiume Fluvione. Si è fatto riferimento alla Rete Meteo Idropluviometrica Regionale della Protezione Civile della Marche – Centro Funzionale Regionale.



Fig. 3 - Ubicazione delle Stazioni Idropluviometriche nell'area di interesse

L'elaborazione statistiche dei dati di pioggia sono state effettuate sulla base dei dati pluviometrici della stazione pluviografica di Ascoli Piceno (quota = 136m s.l.m.), sita nel bacino idrografico del Tronto, a monte della confluenza del Torrente Bretta. La serie dei dati pluviometrici disponibili nella suddetta stazione è relativa ad un arco temporale compreso fra il 1929 e il 2014.

Per i calcoli relativi alla pluviometria, ossia le curve di probabilità pluviometrica ricavate per i diversi valori del tempo di ritorno e l'elaborazione dei dati pluviometrici, si faccia riferimento alla Relazione Idrologica (elab: T00ID00IDRRE01).

Si riportano di seguito i risultati dell'elaborazione, ossia i valori di a e n al variare del periodo di ritorno per durate $t > 1$ ora e per durate $t < 1$ ora.

CPP		
Tr	a	n
(anni)	(mm*ore ⁻ⁿ)	
10	40,669	0,3444
30	50,049	0,3444
50	54,41	0,3444
100	60,328	0,3444
200	66,246	0,3444

Tabella 1 - Valori di a ed n al variare del periodo di ritorno per durate superiori ad 1 ora.

Tr (anni)	a (mm/min ⁿ)	n	a (mm/ora ⁿ)
10	6,135	0,4718	42,34
30	7,55	0,4718	52,10
50	8,208	0,4718	56,65
100	9,101	0,4718	62,81
200	9,993	0,4718	68,96

Tabella 2 - Valori dei parametri a ed n della CPP per durate inferiori all'ora, per diversi tempi di ritorno.

5.3 STUDIO DI REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

L'esperienza nell'ambito del progetto Valutazione delle Piene in Italia (VAPI) del Gruppo nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrologiche (GNDCI) del CNR, ha mostrato che l'analisi regionale risulta per l'Italia, il metodo più adatto per la stima affidabile dei quantili dei massimi annuali di precipitazioni per elevato periodo di ritorno.

Le scelte adottate per la regionalizzazione delle precipitazioni intense sul territorio della Regione Marche sono state le seguenti:

- analisi di frequenza con approccio regionale: l'approccio di tipo regionale consente di utilizzare contemporaneamente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio e di ridurre le incertezze relative alla disomogeneità spaziale attinente alla lunghezza delle serie storiche osservate ai diversi siti di misura.

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

- utilizzo dei valori massimi di precipitazione per le brevi durate: lo scopo dello studio è quello di arrivare ad una migliore caratterizzazione delle portate al colmo di piena nei bacini di medio - piccolo dimensioni, fino a 1500 km². I tempi di risposta dei bacini ad eventi estremi sono contenuti in poche ore e comunque non superano le 24 ore. Sono quindi stati analizzati i massimi annuali per le durate di 1, 3, 6, 12, e 24 ore forniti dal Centro Funzionale Regionale.

Nella convenzione stipulata tra il Commissario Delegato Maltempo Maggio 2014 e Fondazione CIMA per "La modellazione e definizione delle grandezze idrologiche utili alla progettazione per la messa in sicurezza strutturale e non strutturale del reticolo idrografico principale della Regione Marche" e messo a disposizione al seguente link: <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Studi-Meteo-Idro#Studi-Idrologici-e-Idraulici>, al capitolo 7 "Stima delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica" alla pag. 20, sono riportati i valori dei parametri **a** ed **n** e della pioggia indice in corrispondenza della Stazione Ascoli Piceno.

Pioggia indice = 25.2 mm

a = 37.35 (mm x ore⁻ⁿ)

n = 0.36

L'espressione finale della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica (LSPP), in funzione del tempo di ritorno T(anni) e della durata d (ore) è:

$$H_{(d,T)} = 0,5711 \times [5,0286(-\ln((T-1)/T))^{-0,0524} - 4,1950] \times a \times d^n$$

dove:

- H - altezza di pioggia in mm;
- D - durata di pioggia in ore;
- T - tempo di ritorno in anni;
- a e n - parametri della LSPP da stimare.

Sostituendo i coefficienti ed effettuando i calcoli relativi ad un tempo di ritorno $T_r = 200$ anni si ottiene un'altezza di pioggia pari a $H_{(d,T)} = 51,91 \times d^{0,36}$, dunque $a=51,91$ (mm x ore⁻ⁿ) e $n=0,36$.

In conclusione, possiamo dire che l'approccio di tipo Regionale consente di utilizzare contemporaneamente tutte le informazioni pluviometriche disponibili sul territorio di interesse; pertanto è da preferire ad un approccio a sito singolo, in quanto le valutazioni statistiche che ne risultano presentano una disomogeneità

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

spaziale dovuta alle differenti lunghezze delle serie storiche osservate ai diversi siti di misura, in particolare per la superficie del bacino preso in considerazione.

Tuttavia, nel caso in esame, considerando che la stazione di Ascoli Piceno ha un elevato numero di stringhe dei valori delle massime altezze di pioggia; è più cautelativo il metodo dell'analisi statistica di Gumbel in cui l'altezza di pioggia è pari a $h = 66,25$ mm, maggiore dell'altezza di pioggia $h = 51,91$ mm calcolata con il metodo della Regionalizzazione, pertinente alla medesima durata di pioggia $t_p = 1$ ora per entrambi i metodi.

6 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

Per completare il modello idraulico dei deflussi nel Torrente Fluvione, è necessario ricavare la portata che scorre nelle condizioni più gravose, in pratica quando risulta massimo il deflusso nel canale e diventa minimo il franco di sicurezza fra il nuovo manufatto che attraversa in aereo l'alveo del torrente e il livello idrico corrispondente ad un tempo di ritorno pari a $T_r = 200$ anni.

La valutazione dei valori di portata al colmo di piena per determinati tempi di ritorno è stata affrontata applicando metodi differenti, reperibili in bibliografia, al fine di ottenere una serie di valori e scegliere il più appropriato in relazione alle caratteristiche del bacino.

I metodi considerati sono:

- Metodo Giandotti;
- Metodo cinematico o razionale;
- Metodo di regionalizzazione con stima della portata;
- Metodo del Curve Number (nelle condizioni di saturazione e CN_{II} , CN_{III}).

6.1 METODO GIANDOTTI

Il metodo Giandotti rappresenta una particolare formulazione del metodo cinematico o razionale e fu elaborato utilizzando osservazioni di piena dei corsi d'acqua del bacino del Po e successivamente perfezionato da M. Visentini.

In generale fornisce buoni risultati per i bacini montani e collinari di media estensione.

Il procedimento determina dapprima la durata t_c (tempo di corrivazione) della fase di crescita dalla piena nell'ipotesi che il colmo sia raggiunto quando tutto il bacino sotteso contribuisce alla formazione della piena:

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1,5 \times L}{0,8 \times \sqrt{H_m}}$$

dove:

- T_c - tempo di corrivazione, in ore;
- L - lunghezza dell'asta del corso d'acqua, in km;
- S - superficie del bacino, in km²;
- H_m - altezza media del bacino, ragguagliata sulla sezione di chiusura, in m.

Quindi il valore della portata massima Q_{max} corrispondente ad un'altezza di pioggia h(mm) caduta in un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione è:

$$Q = \lambda \times S \times h / 0,8 t_c$$

con i seguenti significati dei simboli:

- Q_{max} - portata al colmo di piena (m³/s);
- λ - coefficiente dipendente da S, pari a 166 per i bacini fino a 500 km²;
- S - superficie del bacino in km²
- h - altezza di pioggia caduta sul bacino di durata pari al tempo di corrivazione (m);
- t_c - tempo di corrivazione (ore).

Tenuto conto delle caratteristiche morfometriche del bacino e dell'asta del Torrente Fluvione, sintetizzate di seguito:

Area bacino	Lunghezza asta deflusso	Altezza max bacino	Altezza media bacino	Altezza minima bacino	Pendenza media bacino	Quota max asta	Quota min asta	Pendenza media asta
km ²	km	ms.m.	ms.m.	ms.m.	%	ms.m.	ms.m.	ms.m.
132,5	24,0	2466	712	204	19,9	1166	198,8	4,03

Tab. 3 - Caratteristiche morfometriche del bacino e dell'asta del Torrente Fluvione

Quindi, si ricavano i valori delle portate di piena, corrispondenti a diversi valori del tempo di ritorno.

Tr	a (mm ore ⁻ⁿ)	tc (ore)	n	h (mm)	λ	Q(m ³ /s)
10	40,67	4,67	0,344	69.12	166	406.7
30	50,05	4,67	0,344	85.06	166	500.5
50	54,41	4,67	0,344	92.47	166	544.1
100	60,33	4,67	0,344	102.53	166	603.3
200	66,25	4,67	0,344	112.59	166	662.5

Tab. 4 - Valori delle portate di piena relativa al Torrente Fluvione secondo il metodo Giandotti

6.2 METODO CINEMATICO O RAZIONALE

Il metodo cinematico o metodo di corrivazione si presta di combinare le altezze di pioggia con la superficie tributaria; quest'ultima deve essere riguardata sia come estensione esposta e bagnata durante l'evento meteorico, sia con riguardo alle condizioni locali ed alle specifiche caratteristiche dell'area scolante.

Da queste condizioni dipende, infatti il rapporto afflussi – deflussi e la velocità dei livelli d'acqua e degli scorrimenti superficiali verso il recettore, in sintesi il tempo di corrivazione dell'area, o del bacino tributario, che contribuisce a generare la portata da allontanare.

Associando al tempo di corrivazione del bacino tributario (tc) il valore di altezze di pioggia ($h = at^n$) prevista in occasione di eventi futuri con durata pari a tc, si determina la combinazione superficie -precipitazione più gravosa in termini di portata che scola nel recettore. Al variare del tempo di ritorno dell'evento meteorico, resta definita, inoltre, la probabilità che il fissato valore di altezza massima di pioggia sia superato in un prefissato intervallo temporale, quale la vita nominale o di riferimento dell'opera in progetto.

In queste condizioni, si considera il bacino del Torrente Fluvione di superficie $S = 132,5 \text{ km}^2$ sul quale cade, per una durata di pioggia t, una precipitazione d'altezza hp.

Solo una frazione ϕ del volume meteorico $S_{tot} \times h$ risulta efficace agli effetti del deflusso, quindi il valore della portata è:

$$Q = i \times \phi \times S / 360$$

nella quale i diversi simboli hanno il significato seguente:

- Q: portata al colmo di piena (m³/s);
- I: intensità della pioggia in funzione del tempo di corrivazione (mm/h);
- ϕ : coefficiente di deflusso del bacino;

- S: superficie del bacino in ettari (ha).

6.2.1 Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione t_c è il tempo necessario affinché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo impiegato da una singola particella d'acqua, piovuta nel punto idraulicamente più lontano, a raggiungere la sezione di chiusura.

In letteratura esistono diverse formule empiriche per calcolare il tempo di corrivazione. Per sviluppare un utile confronto fra i diversi metodi, riportiamo di seguito le formule che sono state utilizzate:

Giandotti	$t_c = \frac{4 \times \sqrt{S} + 1,5 \times L}{0,8 \times \sqrt{H_m}}$
Pezzoli	$t_c = 0,055 \times (L/i^{0,5})$
Viparelli	$t_c = L/3,6$
Pasini	$t_c = (24 \times 0,045 \times (S \times L)^{1/3}) / (i \times 100)^{1/2}$
Kirpich	$t_c = 0,93 \left((L / (y_m / L)^{1/2})^{0,77} \right)$
Ventura	$t_c = 0,1272 (S/i)^{0,5}$

dove:

- T_c - tempo di corrivazione in ore;
- S - superficie del bacino in km^2 ;
- L - lunghezza dell'asta principale, estesa fino alla sezione di chiusura (km)
- i - pendenza media dell'asta principale.

Utilizzando questi procedimenti si ricavano i valori del tempo di corrivazione riportati nella Tab. 5.

N	Formula	tc(ore)
1	Giandotti	4,67
2	Pezzoli	5,99
3	Viparelli	4,57
4	Pasini	7,20
5	Kirpich	1,43
6	Ventura	6,63
7	Puglisi	3,80

Tab. 5 - Valori del tempo di corrivazione, ricavati mediante diverse relazioni

Nella scelta del tempo di corrivazione occorre tenere conto delle interpretazioni di osservazioni sperimentali, ogni formula è valida per i bacini per i quali è stata ricavata e tarata. Non sono state prese in considerazione: la formula di Kirpich, utilizzata di solito per i bacini con l'estensione minore di 20 km², la formula di Pasini, introdotto nell'ambito di uno studio sulle reti di bonifica della pianura renana, la formula di Ventura sperimentata nell'ambito delle reti di bonifica bolognese. Alla fine di minimizzare i possibili errori insiti nella stima di questo parametro, si assume come tempo di corrivazione quello derivante dalla formula di Giandotti, formula introdotta dall'esame dei fenomeni di corrivazione. Quindi per il calcolo della portata è stato scelto **tc = 4,67 ore**.

Per determinare il valore medio del coefficiente di deflusso (ϕ) si è tenuto conto della morfologia del bacino, dell'estensione e delle caratteristiche geologiche delle diverse unità in affioramento. A seguito della carta di permeabilità del Bacino Idrografico del Torrente Fluvione, riportata in Fig. 4, e in funzione della tipologia idrologica del suolo (Tab. 6), la superficie del bacino è stata divisa in quattro categorie (Tab. 7) in funzione dei diversi valori del coefficiente di permeabilità.

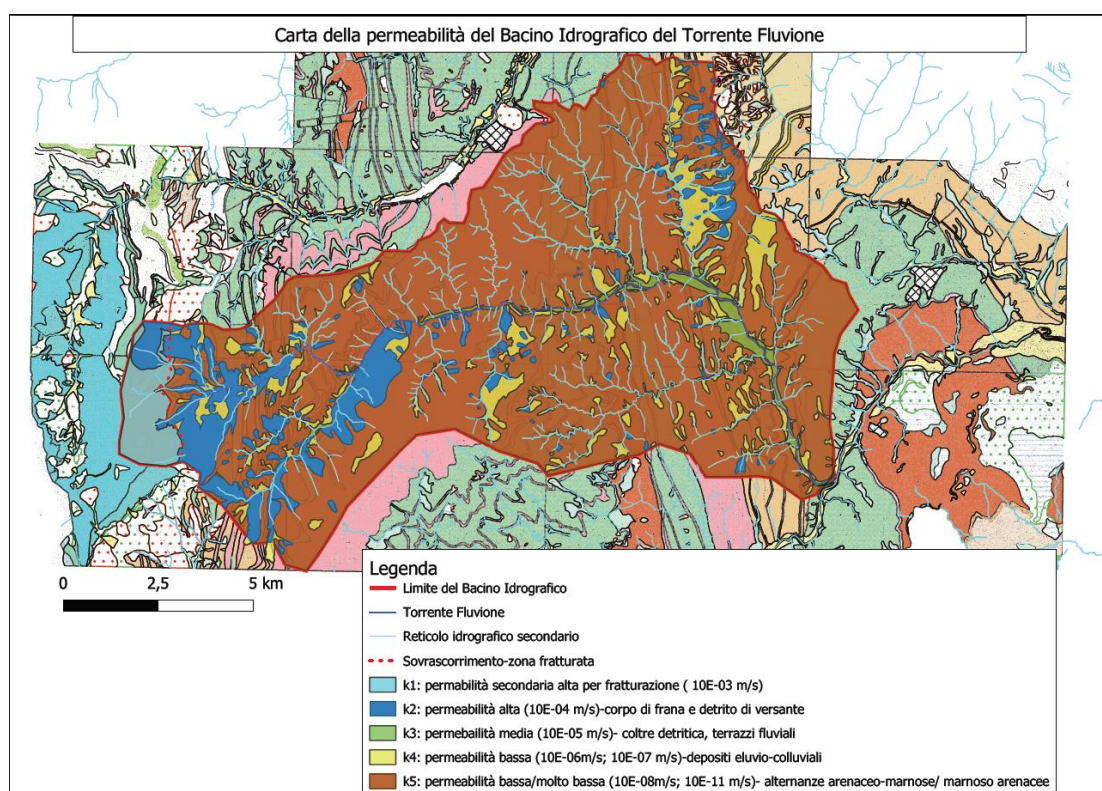


Fig. 4 - Carta di permeabilità del bacino del torrente Fluvione

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tab. 6 - Tipologia di suolo in funzione della capacità di assorbimento e della permeabilità

Categoria del suolo	Permeabilità m/s	Superficie Km ²	$\frac{S_{k_i}}{S_{TOT}}$
A	K1	9,27	7,0%
B	K2; K3	7,95	8,0%
C	K4	6,63	5,0%
D	K5	106,00	80,0%

Tab. 7 – Tipologia del suolo del Bacino del Fluvione in funzione della permeabilità

Per la scelta del coefficiente di deflusso esistono in letteratura scientifica numerose tabelle e grafici utili per la valutazione di questo parametro. In particolare, in una guida della F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations) sono proposti i seguenti valori orientativi del coefficiente di deflusso (Tab 8).

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivi	Pascoli	Boschi
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0,20	0,15	0,10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Suoli poco permeabili Suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile.	0,50	0,45	0,40

Tab. 8 - Valori di ϕ proposti dalla guida F.A.O.

Altri valori di ϕ reperibili in letteratura, in funzione della tipologia e della pendenza del terreno, sono riportati nella tabella che segue (Tab 9):

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

Vegetazione e pendenza		Tipi di suolo		
		Terreno leggero	Terreno di medio impasto	Terreno compatto
Boschi	>10%	0.13	0.18	0.25
	<10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	>10%	0.16	0.36	0.56
	<10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	>10%	0.40	0.60	0.70
	<10%	0.52	0.72	0.82

Tab 9 - Valori di ϕ in funzione della pendenza del terreno

Quindi, per determinare il ϕ medio del bacino, si assegna ad ogni categoria di suolo affiorante un coefficiente di deflusso come di seguito riportato.

Categoria suolo affiorante	Percentuale %	Area (A) Km ²	Coefficiente di deflusso (ϕ_i)	$\phi_i \times A$	Coefficiente deflusso medio (ϕ_{medio})
A	7	9,28	0,15	1,39	0,4495
B	8	10,60	0,30	3,18	
C	5	6,63	0,30	1,99	
D	80	106,00	0,50	53,00	
Bacino	100	132,50		59,56	

Tab. 10 - Coefficiente di deflusso medio del bacino del Fluvione in funzione del litotipo affiorante

Di conseguenza:

$$\phi = \frac{\sum(\phi \times A)}{\sum A} = \frac{59,56}{132,50} = 0,45$$

Pertanto, in funzione delle caratteristiche peculiari del bacino in esame, il valore del coefficiente di deflusso stimato con la metodologia proposta è pari a $\phi = 0.45$.

Quindi, i valori della portata di piena assegnata ad un tempo di ritorno di $Tr = 200$ anni, calcolata per diversi tempi di corrivazione in funzione delle caratteristiche geometriche del torrente sono riportati di seguito:

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

FORMULA	TR	a	n	tc	ϕ	h	i	Q
	anni	mm x ore ⁻ⁿ		ora		mm	mm/ora	m ³ /s
Giandotti	200	66,25	0,344	4,67	0,45	112,59	24,1	399,1
Pezzoli	200	66,25	0,344	5,99	0,45	122,64	20,47	339,1
Viparelli	200	66,25	0,344	4,57	0,45	111,74	24,45	405,00
Puglisi	200	66,25	0,344	3,8	0,45	104,89	27,58	456,8

Tab. 11 - Valori delle portate di piena Q (m³/s) relative al Torrente Fluvione

I valori della portata di piena assegnata ad un tempo di ritorno di $T_r = 200$ anni, calcolate per diversi tempi di corrivazione in funzione delle caratteristiche geometriche del torrente sono:

N	Formula	tc(ore)	Q (m ³ /s)
1	Giandotti	4,67	399,09
2	Pezzoli	5,99	294,60
3	Viparelli	4,57	354,98
4	Puglisi	3,80	402,88

Tab. 12 - Valori delle portate di piena relative al Torrente Fluvione

6.3 METODO DI REGIONALIZZAZIONE

Per il metodo della regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno è stato utilizzato un approccio che prevede la generazione di eventi sintetici di precipitazioni, utilizzando i risultati ottenuti nella procedura di regionalizzazione delle piogge estreme e l'uso del modello Continuum, calibrato e validato sul territorio regionale per determinare la risposta dei bacini.

Lo studio dettagliato è messo a disposizione al seguente link: <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Studi-Meteo-Idro#Studi-Idrologici-e-Idraulici>

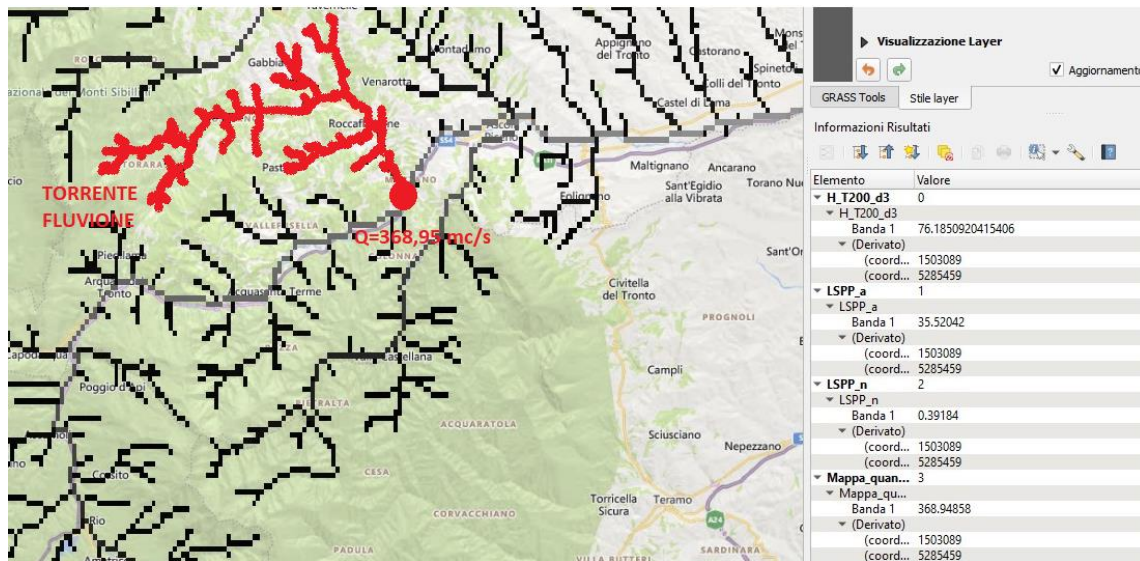


Fig. 5 - Valori delle portate di piena determinate con il metodo di regionalizzazione relative al Torrente Fluvione

Quindi il valore della portata di piena assegnata ad un tempo di ritorno di $T_r = 200$ anni, risultata dal metodo di regionalizzazione secondo la Regione Marche, è:

$$Q = 368,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.4 METODO DEL CURVE NUMBER (SCS)

Il metodo del Curve Number (SCS), sviluppato dal Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (Soil Conservation Service, S.C.S.), è diffuso in ambiente americano per la ricostruzione delle piene in bacini idrografici di superficie medio piccola.

Il metodo, noto anche come metodo "del numero di curva" consente la determinazione della portata e assume che nell'evento di piena il rapporto tra il volume specifico del deflusso superficiale (P_n [mm]) ed il volume specifico precipitato (I [mm]) depurato dell'assorbimento iniziale (I_a [mm]) sia uguale al rapporto tra il volume specifico infiltrato (F [mm]) ed un volume specifico (S [mm]) che caratterizza la massima ritenzione idrica potenziale del terreno:

$$(F/S) = P_n / (I - I_a)$$

Poiché la conservazione delle masse impone:

$$F = I - I_a - P_n$$

Si ha:

$$P_n = (I - I_a)^2 / (I - I_a + S)$$

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

che dà la misura della pioggia netta che si trasforma in deflusso, in funzione della pioggia totale caduta nel bacino (I) e di due parametri caratteristici di quest'ultimo: la capacità di assorbimento iniziale (Ia) e la massima ritenzione potenziale (S).

La massima ritenzione potenziale S espressa in mm è definita in funzione di un coefficiente CN, Curver Number, che dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo secondo la seguente relazione:

$$S \text{ (mm)} = 25,4 \times ((1000/\text{CN}) - 10)$$

Il termine di assorbimento iniziale Ia descrive globalmente l'intercettazione da parte della vegetazione della precipitazione e, essendo difficilmente valutabile, si assume un valore cautelativo pari a $Ia = 2 \text{ mm}$, per non sottostimare la portata di picco.

Il parametro CN, è un numero adimensionale e, come anticipato, dipende dalle caratteristiche del suolo in relazione alla maggiore o minore permeabilità e dal suo uso, ossia dalla sua copertura vegetale e dal suo grado di antropizzazione.

L'agenzia del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), ha fornito nel 1972 delle tabelle per facilitare la determinazione del parametro CN.

Considerando la carta di permeabilità (Fig. 4) e la Tab. 6 in cui si riportano le 4 classi di terreno in funzione alla capacità di assorbimento e alla permeabilità, la superficie del bacino è stata divisa in 4 categorie (Tab. 7).

Una volta determinata la classe del suolo, si consulta la tabella riportata di seguito, dove sono riportati, per tali gruppi, i valori del parametro CN in relazione al tipo di copertura (uso del suolo).

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

Tipo di copertura (uso del suolo)	TIPO SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
Senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	90
PRATERIE				
Buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSSI O FORESTATI				
Terrano sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATIRASATI, PARCHI				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (imper. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media %	77	81	90	92
65	61	75	83	87
38	57	72	81	86
20	54	70	80	85
25	51	68	79	84
PARCHeggi IMPERMEABILIZZATI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Fig. 6 - Valori di CN in funzione al tipo di copertura o uso del suolo

Quindi il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata sulla superficie dei valori stimati per le singole aree omogenee:

$$CN_{tot} = (\sum CN_i A_i) / A_{tot}$$

dove:

- CN_{tot} - CN dell'intero bacino;
- CN_i - CN della i-esima zona omogenea;
- A_i - area della i-esima zona omogenea;
- A_{tot} - area totale del bacino.

A fronte dei calcoli effettuati, si determina il coefficiente CN globale caratteristico dell'intero bacino pari a $CN = 72$ che indica una condizione di umidità del terreno media.

Le condizioni di saturazione del terreno sono fondamentali per la corretta valutazione della curva di frequenza delle portate al colmo. Difatti, a parità di precipitazione, le diverse condizioni del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata al colmo. Il metodo SCS individua tre classi, AMC I, AMC II

e AMC III, in relazione al valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC si basa sui seguenti criteri:

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Tab. 13 - Classi di AMC

Per determinare le condizioni di terreno molto umido AMCIII, o molto asciutto AMCI si possono derivare i relativi valori di CN, determinati con le tabelle precedenti e riferiti ad una condizione media di umidità (classe II), usando le seguenti formule:

$$\mathbf{CN(I) = 4,2 \text{ CN(II)}/10 - 0,058\text{CN(II) = 51}$$

$$\mathbf{CN(III) = 23 \text{ CN(II)}/10 + 0,13\text{CN(II) = 85}$$

Per il calcolo della portata al colmo $Q_{\max\text{SCS}}$ [m^3/s], il metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento); il cui volume (m^3) ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p \cdot (t_a + t_e)}{2} = \frac{Q_p \cdot t_b}{2}$$

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b . Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso V in mm, il tempo t_a in ore e l'area del bacino S_{tot} in km^2 , la portata al colmo con il metodo CN avrà la seguente espressione:

$$Q_{\max\text{-SCS}} = 0,278 (P_n \cdot S_{\text{tot}}) / t_a$$

Dove:

- $Q_{\max\text{-SCS}}$ – la portata al colmo (m^3/s);
- P_n – altezza di pioggia netta (mm)
- S_{tot} - superficie del bacino (km^2)

- t_a – durata della fase crescente (ore)

La determinazione di $t_{a,r}$, nell'ipotesi di precipitazioni efficaci costante di durata t_p (ietogramma rettangolare) ed indicando con t_L il tempo di ritardo, si effettua con la relazione:

$$t_a = 0,5t_p + t_L$$

Il tempo di ritardo nel metodo S.C.S. viene valutato come:

$$t_L = 0,342 (L_{tot}^{0,8}/s^{0,5})((1000/CN)-9)^{0,7}$$

In cui:

- t_L – tempo di ritardo (ore)
- L_{tot} – lunghezza dell'asta principale in km;
- s – la pendenza media del bacino (%);

Tenendo conto delle caratteristiche morfologiche del bacino e delle proprietà geometriche dell'asta si calcola un tempo di ritardo $t_L = 3,01$ ore, quindi si determina un tempo di corrivazione di circa 60 % superiore al tempo di ritardo pari a $t_c = 5,02$ ore

Considerando che il tempo di pioggia è uguale al tempo di corrivazione, la durata della fase crescente è pari a $t_a = 5,52$ ore e la portata al colmo calcolata col metodo del Curve Number (SCS) è circa $Q_{max-SCS} = 305,0$ m³/s

In sintesi si assumono i risultati, con l'obiettivo di definire la portata defluente nel torrente Fluvione relativa ad un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni.

N.	Metodo	Superficie (km ²)	Portata (m ³ /s)	Coefficiente idrometrico (m ³ /sxkm ²)
1	Giandotti	132,5	662,50	5,00
2	Razionale	132,5	399,09	3,01
3	Regionalizzazione	132,5	368,95	2,78
4	Curver Number	132,5	305,00	2,30

Tab. 14 – Valori della portata defluente nel torrente Fluvione relativi ai diversi metodi

L'ordine di grandezza del coefficiente udometrico, che rappresenta il contributo specifico di piena $u = Q_{max}/S$ dipende dall'estensione del bacino.

Dallo "Studio per la Mitigazione del Rischio idrogeologico" presentato dal Consorzio di Bonifica delle Marche sui bacini idrografici dei Fiumi Ete, Vivo, Aso e Tesina, che presentano caratteristiche morfologiche simili al Torrente Fluvione, il coefficiente udometrico è circa $1,3 \text{ m}^3/\text{sxkm}^2$, come rappresentato nella tabella:

Nome Torrente	Tempo di ritorno	Lunghezza	Superficie bacino	Portata	Coefficiente udometrico
	anni	km	km ²	m ³ /s	m ³ /sxkm ²
Tesino	200	37	114,0	136,8	1,2
Ete vivo	200	35	250,0	324,0	1,3
Aso	200	63	242,0	260,0	1,1

Tab. 15 - Valori del coefficiente udometrico nei bacini idrografici marchigiani

Si osserva dai risultati ottenuti, che il metodo Giandotti per il calcolo della portata al colmo di piena rileva valori elevate, e seppur cautelative, quindi si è ritenuto meno affidabile nel confronto dei valori simili ottenute con gli altri metodi.

Di conseguenza fra i diversi risultati riportati nella Tab. 14, si ritiene accettabile il valore della portata, calcolato col metodo razionale relativo al tempo di corrivazione determinato con la formula Giandotti, di conseguenza per l'analisi dei deflussi in alveo si considera una portata al colmo $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.

7 ANALISI DEI DEFLUSSI IN ALVEO

Per lo studio del moto della corrente nel Torrente Fluvione, finalizzato alla ricostruzione del profilo di deflusso e, quindi, alla determinazione del livello idrico corrispondente alla portata $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$ relativa al tempo di ritorno di 200 anni, è stata utilizzata una procedura di calcolo automatico implementata in un codice commerciale (Hec Ras III River Analysis System). Tale codice è distribuito dall'agenzia statunitense United States Army Corps of Engineering.

Con questa procedura di calcolo, il profilo di corrente è ricavato, in corrispondenza di fissate sezioni trasversali dell'alveo, mediante una integrazione delle equazioni del moto, sviluppata utilizzando il metodo delle differenze finite, nell'ipotesi di fondo fisso, moto permanente e corrente monodimensionale, lenta, veloce o in regime misto.

Il processo iterativo di calcolo, noto con il nome "Step Area Method", è basato sulla soluzione dell'equazione monodimensionale della quantità di moto, nell'ipotesi di valutare le perdite di carico mediante la relazione di Manning ovvero per mezzo di relazioni empiriche per le perdite concentrate.

Nelle situazioni caratterizzate da profilo del pelo libero rapidamente variabile, quali si verificano, ad esempio, in corrispondenza di risalti idraulici, di confluenze fluviali ed inoltre di repentine strizioni della sezione di deflusso associate ai ponti, l'analisi si è sviluppata mediante l'equazione di conservazione della quantità di moto misto.

In definitiva, il processo di analisi si sviluppa mediante la risoluzione, per via numerica, delle due equazioni seguenti:

- equilibrio energetico: $h_2 + \alpha_2 v_2^2 / 2g = h_1 + \alpha_1 v_1^2 / 2g + \Delta H$
- perdite di carico: $\Delta H = \lambda L + c [(\alpha_2 v_2^2 / 2g) - (\alpha_1 v_1^2 / 2g)]$

in cui:

- h_1, h_2 sono le quote del pelo libero rispettivamente nelle sezioni di monte e di valle;
- v_1, v_2 sono i valori della velocità media rispettivamente nelle sezioni di monte e di valle;
- α_1, α_2 sono coefficienti correttivi dell'energia cinetica rispettivamente nelle sezioni di monte e di valle;
- g è l'accelerazione di gravità;
- ΔH è la perdita di carico nel tratto espressa in unità di lunghezza;
- L è il valore pesato della lunghezza del tratto di riferimento, funzione dei singoli valori delle portate nel caso di alveo suddiviso in diversi tronchi con scabrezze distinte;
- λ è il valore del coefficiente di attrito per la valutazione delle perdite distribuite nel tratto;
- c è il coefficiente che esprime la perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni

La lunghezza del tratto di riferimento viene pesata in funzione dei valori delle portate mediante la relazione:

$$L = (L_{sx} \times Q_{sx} + L_{ch} \times Q_{ch} + L_{dx} \times Q_{dx}) / (Q_{sx} + Q_{ch} + Q_{dx})$$

nella quale L_{sx}, L_{ch}, L_{dx} sono, rispettivamente, la lunghezza specifica del tratto di alveo in golena sinistra, nella porzione centrale ed in golena in destra, e Q_{sx}, Q_{ch}, Q_{dx} sono, rispettivamente, i valori medi sulle sezioni di estremità del tratto, delle portate relative ai singoli tratti di alveo in golena sinistra, nella porzione centrale ed in golena in destra. In pratica la portata complessiva in una sezione è ricavata come somma delle portate che defluiscono nelle singole porzioni, fittizie, in cui è divisa la sezione trasversale e per le quali si assume una velocità uniforme ed un valore fissato del coefficiente di scabrezza.

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

La frazione della portata complessiva, si ricava dalla rispettiva conduttanza k , relativa ad ogni porzione di sezione di deflusso, che è calcolata mediante la relazione $k = 1/n (A \times R)^{2/3}$ nella quale n , A , R , sono, rispettivamente, il coefficiente di Manning, l'area ed il raggio idraulico relativi alla porzione di sezione.

Anche il coefficiente correttivo dell'energia cinetica è ricavato tenendo conto che la sezione di deflusso è suddivisa in porzioni distinte; in pratica si pone:

$$\alpha = A^2 (K_{sx}^3/A_{sx}^2 + K_{ch}^3/A_{ch}^2 + K_{dx}^3/A_{dx}^2) / K_3$$

nella quale si sono indicati con A e K rispettivamente l'area e la conduttanza totali, con A_{sx} , A_{ch} , A_{dx} le singole aree trasversali delle diverse porzioni interessate dal deflusso, e con K_{sx} , K_{ch} , K_{dx} i rispettivi valori di conduttanze.

Per la determinazione delle perdite distribuite nel tratto di lunghezza L , viene utilizzata la relazione $\Delta H = \lambda \times L$, nella quale λ è il coefficiente di attrito. Nel caso in esame, il valore di λ è stato ricavato come media aritmetica ponendo $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$. Si osserva, tuttavia, che il codice di calcolo automatico consente di ricavare il valore di λ anche mediante altre relazioni, in funzione dei valori delle portate nelle sezioni a monte ed a valle del tratto, ponendo $\lambda = (Q_1 + Q_2)^2 / (K_1 + K_2)^2$, come media geometrica ponendo $\lambda = (\lambda_1 \times \lambda_2)^{1/2}$, ed anche per mezzo della media armonica ponendo $\lambda = (2\lambda_1 \times \lambda_2) / (\lambda_1 + \lambda_2)$.

Invece, per la determinazione delle perdite di carico ΔH dovute alla contrazione o espansione della corrente è stata utilizzata la relazione $\Delta H = c [(\alpha_2 v_2^2 / 2g) - (\alpha_1 v_1^2 / 2g)]$ nella quale si sono indicati con v_1 e v_2 i valori medi delle velocità nelle sezioni di monte e di valle, con α_1 e α_2 i valori dei coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle medesime sezioni e con g l'accelerazione di gravità.

Si osserva che le condizioni di contrazione e di espansione della corrente sono individuate automaticamente allorché il carico cinetico a valle è maggiore di quello a monte, ovvero nel caso di carico cinetico a monte maggiore di quello a valle.

Nel caso in esame i calcoli sono stati sviluppati considerando un valore del coefficiente c pari a $c = 0.1$ nel caso di contrazione e pari a $c = 0.3$ nel caso di espansione.

La risoluzione numerica delle equazioni reggenti è sviluppata a partire da condizioni al contorno, fissate in corrispondenza delle sezioni di estremità del tratto oggetto di studio. In particolare è possibile specificare la pendenza della linea dei carichi totali ovvero la quota del livello idrico, eventualmente pari all'altezza critica o , alternativamente ricavata automaticamente sulla base di una relazione di deflusso.

Al termine delle analisi il codice restituisce una serie di risultati che consentono di descrivere puntualmente e globalmente il deflusso; fra questi una stampa del profilo dell'asta con indicazione dei manufatti e della linea di corrente ed una stampa delle sezioni trasversali con indicazione del livello dell'acqua (**WS**), della

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

linea dei carichi totali (**EG**), dell'altezza critica nella sezione (**Crit**), dei punti di rilievo (**Ground**) utilizzati per tracciare la geometria della sezione medesima, dei limiti, laddove imposti, che separano l'area ammessa al deflusso da quella esclusa alla corrente (**Ineff**), delle estremità degli argini lato corrente (**Bank Sta**).

Utilizzando il codice di calcolo illustrato in precedenza, e con le ipotesi formulate riguardo le condizioni al contorno, sono state eseguite due analisi del moto di corrente nell'incisione del Torrente Fluvione.

Per sviluppare i calcoli si è fatto riferimento alla geometria dell'alveo ricostruita mediante il rilievo topografico e anche ai dati acquisiti nel corso del sopralluogo in merito alla natura delle superfici bagnate, fondo e sponde, sia nei tratti non rivestiti che in corrispondenza dei diversi manufatti di scavalco.

Di fatto, la geometria complessiva del canale è tracciata collegando ed interpolando i punti di rilievo fra sezioni trasversali successive. In particolare sono state utilizzate le quote di punti del piano campagna e dell'alveo, ricavati a conclusione di uno specifico rilievo topografico.

Nel caso in esame si dispone di 30 sezioni trasversali, distribuite lungo l'asta come è riportato negli elaborati: T00ID00IDRFLO1-02-03.

In considerazione all'andamento del fondo, si è ritenuto opportuno determinare la pendenza media dell'alveo tenendo conto della quota del piano campagna e della distanza dell'attraversamento in progetto dal recapito nel Torrente Tronto.

In particolare si è scelto una pendenza media pari a $p = 0,048$.

Al riguardo si osserva che, dall'esame del profilo del fondo alveo si riconosce una geometria della sezione di deflusso influenzata dai locali fenomeni di erosione e di deposito.

Di conseguenza, lungo l'asta di deflusso del Torrente Fluvione la pendenza assume valori puntuali elevati, che non sono stati ritenuti rappresentativi dell'andamento medio del corso d'acqua.

Inoltre sono stati utilizzati valori distinti del coefficiente di Manning (n) per il fondo e per le sponde, in modo da differenziare le condizioni di deflusso. Infatti è ragionevole ipotizzare che i detriti eventualmente presenti sul letto del torrente possano essere trascinati lungo l'asse di deflusso già nella fase iniziale del passaggio della piena. Per tale motivo è stato scelto, cautelativamente un valore del coefficiente di Manning maggiore per le sponde; in particolare per la parte centrale del corso d'acqua si è scelto un valore $n = 0,03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$, (alvei in terra regolarizzati molto vegetati, molte alghe), invece per le sponde viene adottato un valore $n = 0,045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (alvei in terra regolarizzata con sponde ben inerbite).

Le simulazioni idrauliche del Torrente Fluvione sono state eseguite in regime di corrente mista considerando come condizioni al contorno:

- a monte, l'altezza di moto uniforme (Normal Depth) calcolata con la formula di Manning, inserendo la pendenza media di fondo;

- a valle, l'altezza di moto uniforme (Know Water Depth $h = 202,20$ m s.m.- l'eventuale quota del livello idrico alla confluenza con il Fiume Tronto e la quota massima di invaso della diga di Mozzano, prima di cominciare la modulazione delle paratoie). Tale informazione è stata acquisita direttamente dall'ufficio tecnico della Diga di Mozzano.

quindi imponendo il transito della portata pari a $Q = 400$ m³/s, originata dall'evento di pioggia con tempo di ritorno di $Tr = 200$ anni, è stato ricostruito il profilo di corrente nel Torrente Fluvione nelle seguenti condizioni:

- Ante operam: sezioni de deflusso considerando il ponte esistente relativo ad attraversamento della SS4;
- Post operam: sezioni de deflusso considerando l'inserimento del nuovo ponte, in particolare solo della pila centrale, in quanto le spalle sono ubicate fuori dagli argini del Torrente Fluvione.

A conclusione dei calcoli, è stato ricostruito il profilo di corrente del Torrente Fluvione e sono state ricavate le caratteristiche del moto; in particolare il livello d'acqua nelle 30 sezioni trasversali, ricostruite mediante il rilievo topografico. Il tal modo è possibile riconoscere le situazioni a cui corrisponde l'interazione fra la corrente e il nuovo intervento di scavalco in progetto, in particolare la pila ubicata nella superficie bagnata del Torrente Fluvione.

Rimandando per ogni dettaglio ai tabulati di calcolo raccolti nello specifico allegato, di seguito si sintetizzano i risultati delle analisi. In particolare si riportano i valori del franco idraulico (h) e la distanza fra l'intradosso dell'impalcato e la corrente, in corrispondenza del nuovo attraversamento relativo ad un transito della portata $Q = 400$ m³/s, attinente ad un evento meteorico con tempo di ritorno di 200 anni.

- Ante operam: sezione di deflusso libera (sezione 432), ponte esistente a valle (attraversamento in aereo della S.S.4), il livello idrico $h_{W432} = 204,67$ m.s.m;
- Post operam: per la modellazione è stato necessario eliminare la sezione di deflusso 432 e inserire il nuovo ponte fra la sezione 460 e la sezione 404. Il programma ha generato la sezione 432 a monte e a valle del nuovo ponte (432 BRU; 432 BRD); il livello idrico $h_{W432BRUS} = 204,69$ m.s.m, $h_{W432BRUS} = 204,83$ m.s.m, e la velocità $v_{432BRUS} = 4,88$ m/s, $v_{432BRUS} = 3,66$ m/s.

Sulla base del presente studio si può affermare che il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto a monte del nuovo ponte e l'intradosso della struttura (quota più bassa della nuova struttura pari a $q = 208,08$ m.s.m.) è pari a $h = 3,39$ m, superiore ad un franco di 1,5 m come richiesto dalla normativa. Mentre il dislivello tra il fondo del Torrente Fluvione che si attesta a quote di circa $q = 199,96$

m.s.m. e la medesima quota dell'intradosso della struttura ($q = 208,08$ m.s.m.) è di 8,12 m, superiore a 6m – 7 m, richiesti dalla normativa.

Si riporta di seguito, in forma tabellare una sintesi delle informazioni considerate per lo studio del modello idraulico:

TEMPO DI RITORNO	METODO DI GUMBEL		METODO GIANDOTTI	METODO DELLA CORRIVAZIONE	COEFFICIENTE DI MANNING		CONDIZIONI AL CONTORNO		RISULTATI DELLE ANALISI					
							MONTE	VALLE	ANTE-OPERAM	POST OPERAM				
Tr	a	n	tc	Q	n_{alveo}	n_{sponde}	Pendenza	Know Water station (h)	LIVELLO IDRICO SEZ. 432	LIVELLO IDRICO PONTE		VELOCITÀ		FRANCO IDRAULICO
anni	mm x ore ^{A-n}		ore	m ³ /s	m ^{-1/3} x s	m ^{-1/3} x s	m/m	m.s.m	m.s.m	MONTE	VALLE	MONTE	VALLE	MINIMO
200	66,25	0,344	4,67	400	0,03	0,045	0,048	202,2	204,67	204,69	204,83	4,88	3,66	3,39

Tab. 16 - Parametri e informazioni relative al modello idraulico

8 VALUTAZIONE DELLO SCALZAMENTO MASSIMO IN CORRISPONDENZA DELLA PILA

L'erosione totale in corrispondenza di un ponte con pile in alveo è in genere costituita dalla somma di tre componenti:

- **Progressivo abbassamento o innalzamento diffuso:** deposito o erosione generalizzata con variazione a lungo termine della pendenza dell'alveo (quindi della quota del fondo), dovute all'evoluzione altimetrica dell'alveo a monte e a valle del ponte, sia in relazione alle variazioni cicliche e progressive, sia alle eventuali variazioni che si verificano nel corso di ogni singolo evento di piena.
- **Erosione dovuta a contrazione:** rimozione del materiale di fondo lungo tutta o gran parte della larghezza dell'alveo. Questa componente dell'erosione è il risultato della contrazione dei filetti dovuta al restringimento della sezione causato dalla presenza delle pile in alveo.
- **Erosione transitoria localizzata:** erosione transitoria rapida che si verifica durante gli eventi di morbida e piena in corrispondenza di ostacoli, come le pile dei ponti, che determinano una brusca variazione nella direzione dei filetti fluidi, con formazione di vortici e accelerazioni locali. La buca di erosione si approfondisce con l'aumentare della velocità della corrente contro le pile e viene ricolmata al diminuire della stessa.

Nel caso in esame, in cui quindi viene analizzata la pila posta in aree che subisce l'effetto della corrente, l'unico fenomeno che effettivamente si potrebbe verificare è quello dell'erosione transitoria localizzata.

L'erosione transitoria localizzata comporta la rimozione di materiale nell'intorno degli elementi che ostruiscono il flusso, in particolare delle pile e delle spalle di ponti e dei viadotti.

La presenza della pila in alveo causa un aumento della velocità, rilevata dall'addensamento delle linee di corrente. In corrispondenza della pila si viene a formare un grosso vortice a ferro di cavallo che interessa planimetricamente tutta l'area circostante la pila e che è il principale responsabile dell'erosione. Il fenomeno dell'erosione localizzata dipende da numerosi parametri legati sia alle caratteristiche della corrente e dell'alveo (portata, battente, velocità della corrente, capacità di trasporto, caratteristiche del materiale dell'alveo, ecc.), che a quelle dell'ostacolo (forma e dimensioni, inclinazione rispetto alla direzione di flusso).

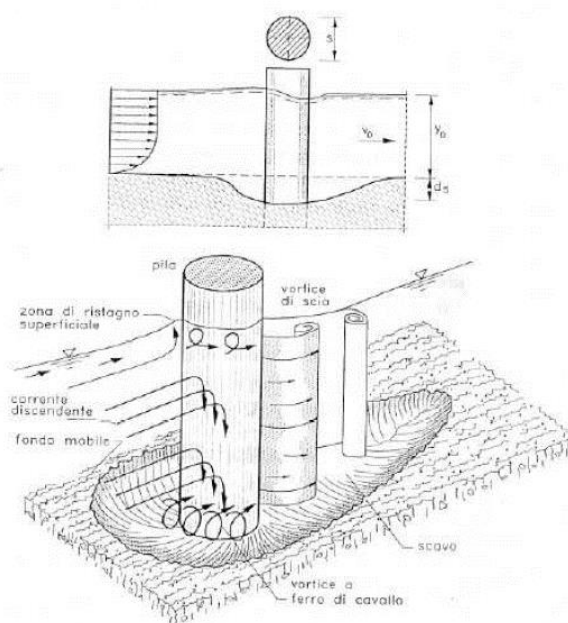


Fig. 7 - Scavo alla base di una pila prodotto dalla formazione di vortici

Poiché l'entità dello scalzamento dipende in modo importante dall'altezza liquida, essa, in generale, risulta maggiore nelle fasi di piena. Durante la fase crescente della piena aumentano la portata, l'altezza liquida e la velocità dell'acqua, fino ad un valore di soglia che inficia la stabilità del fondo alveo e determina lo scavo improvviso della fossa di erosione in corrispondenza delle pile.

8.1 CALCOLO DELLO SCAVO

Per il calcolo dello scavo si ricorre all'utilizzo di formule empiriche, vista la complessità che caratterizza lo studio analitico del problema.

Considerando la pila in esame, la profondità dello scavo d_s può essere descritta dalle seguenti variabili, che sintetizzano i parametri significativi:

$$d_s/d = f(v_0/v_{cr}, y_0/s, \text{forma}, a)$$

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

dove:

d_s – profondità dello scavo misurata a partire dal fondo dell'alveo in condizioni indisturbate;

v_0 – velocità media della corrente indisturbata;

v_{cr} – velocità critica di trascinamento, ovvero la velocità in cui inizia l'erosione dei sedimenti scelti come rappresentativi del fondo (d_{50});

d_{50} – dimensione del materiale;

a – angolo che la corrente indisturbata forma con l'asse della pila (angolo d'attacco);

y_0 – profondità della corrente indisturbata;

s – larghezza della pila caratterizzata da una lunghezza l ;

La formula sperimentale adottata per il calcolo dello scavo, dipende dalle variabili sopra elencate e può essere scritta nella seguente forma:

$$d_s/d = f_1 (v_0/v_{cr}) [2 \tanh(y_0/s)] f_2(\text{forma}) f_3(a, l/s)$$

La stima della velocità critica v_{cr} si determina dall'equazione di trasporto solido:

$$v_{cr} = 0,85 (2gd_{50} (g_s - g)/g)$$

Considerando che sul fondo dell'alveo il materiale d_{50} corrisponde ad un materiale di dimensioni del granulo di $d = 0.004$ m avente un peso specifico di $g_s = 26$ KN/m³, risulta una velocità critica $v_{cr} = 0,34$ m/s, minore della velocità media della corrente $v_0 = 4,88$ m/s registrata sul letto del Torrente Fluvione. Di conseguenza il $f_1 (v_0/v_{cr})$ è pari ad 1.

Il fattore $f_2(\text{forma}) = 1$, in quanto la pila è circolare, mentre il fattore $f_3(a, l/s)$, dipende dalla geometria della pila e dal seguente grafico:

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

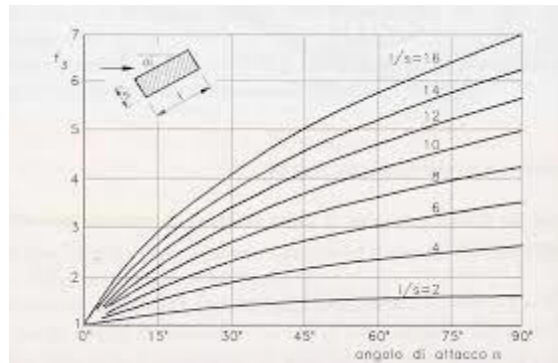


Figura 8 - Andamento della funzione f_3 al variare di α e di l/s

In cui l e s dipende dalla geometria della pila (lunghezza $l = 8,43$ m, larghezza $s = 2,60$ m, inclinazione $\alpha = 17^\circ$)
Seguendo l'indicazione del grafico il fattore è $f_3(\alpha, l/s) = 1,30$.

Facendo i calcoli, risulta che la profondità dello scavo a partire dal fondo dell'alveo è pari a $d_s = 4,80$ m/s.

Le indagini geognostiche eseguite nella zona di imposta della pila centrale del ponte, ed in particolare il sondaggio SO4, consentono di ricostruire la successione stratigrafica che costituisce il sottosuolo. E' stato evidenziato che in corrispondenza della pila affiora una formazione arenacea di colore grigio e sfumature nerastre sottilmente stratificate; sono presenti livelli marnosi. Considerando che la quota d'imposta della pila è di 197,36 m s m si evince che la fondazione è incassata nel substrato roccioso. In tali condizioni non si verifica lo scalzamento dell'opera e per proteggerla dai materiali che potrebbe essere trascinato si inseriscono degli interventi di protezione della pila e delle sponde che si descrivono di seguito.

9 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

In corrispondenza del nuovo attraversamento del torrente Fluvione, sono stati previsti interventi di protezione della pila centrale ed interventi di protezione delle sponde dai fenomeni di erosione.

La prima tipologia di intervento si caratterizza per la realizzazione, sull'estradosso del plinto e nell'interno della pila, di un'adeguata protezione con massi di differente categoria, quindi con diametri crescenti verso l'alto, posti sopra un geosintetico con funzione principale di anticontaminante. Per garantire un adeguato margine di sicurezza, tale protezione si appoggia su massi legati ed è stata disposta, essenzialmente, laddove il terreno in sito sarà rimosso per effettuare dei lavori di costruzione delle fondazioni delle pile.

Al fine di occultare l'intervento, e minimizzare l'impatto sull'assetto estetico dei luoghi, tale intervento sarà ricoperto mediante una struttura nota come "grata viva, da realizzare secondo quanto previsto nella letteratura tecnica relativa ad interventi di ingegneria naturalistica.

Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

L'ingegneria Naturalistica mette a disposizione diverse tecniche particolarmente efficaci per la sistemazione di corsi d'acqua e di versanti, limitando l'azione dell'erosione ed effettuando il consolidamento dei terreni. Tali tecniche hanno l'obiettivo di proteggere con la vegetazione la superficie del suolo dall'effetto battente delle piogge, assicurando il corretto assorbimento nel terreno delle acque ed evitando che l'acqua non assorbita si disperda in superficie con velocità che possono diventare erosive. Tra le più comuni tipologie di opere e tecniche di Ingegneria Naturalistica vi è la "Grata Viva" in legname:



Fig. 9 - Grata Viva

La sistemazione e rinverdimento delle sponde si realizza con una struttura cellulare in pali di legno e abbinata alla posa di vegetazione, mediante piante.

La palificata viva si realizza tramite tondami di legno di castagno di diametro 200 mm e lunghezza variabile fra 2,0 m e 5,0 m, che vengono collocati alternativamente in senso longitudinale ad un interasse di 3,0 m, ed in senso trasversale ad interasse di 2,0 m, in modo che esso formino una specie di cassone in legname. I singoli tondami vengono fissati l'uno all'altro con dei chiodi.

Per una sicurezza contro lo slittamento, la grata viene fissata al substrato mediante picchetti di legno del diametro di 0,15 m, e lunghezza 1,5 m, o di ferro di dimensioni idonee per sostenere la struttura.

La palificata viene riempita con il terreno ricavato dagli scavi e tra i singoli tondini trasversali viene collocato del materiale vegetale. Tale materiale è costituito di talee di salice e/o piantine, aventi una lunghezza pari alla profondità. La radicazione delle piante si sostituirà nel tempo alla funzione di consolidamento della struttura in legname.

La grata viva intorno alla pila viene protetta con una fila continua di massi di 1^b categoria, collegati fra di loro con una fune di acciaio di diametro di 18 mm.

10 CONCLUSIONI

Quindi, tenendo conto dei risultati, delle analisi e delle considerazioni esposte in precedenza, si ritiene ragionevole ipotizzare che le condizioni di sicurezza del nuovo attraversamento siano sufficienti anche in condizioni di eventi di piena intensi.

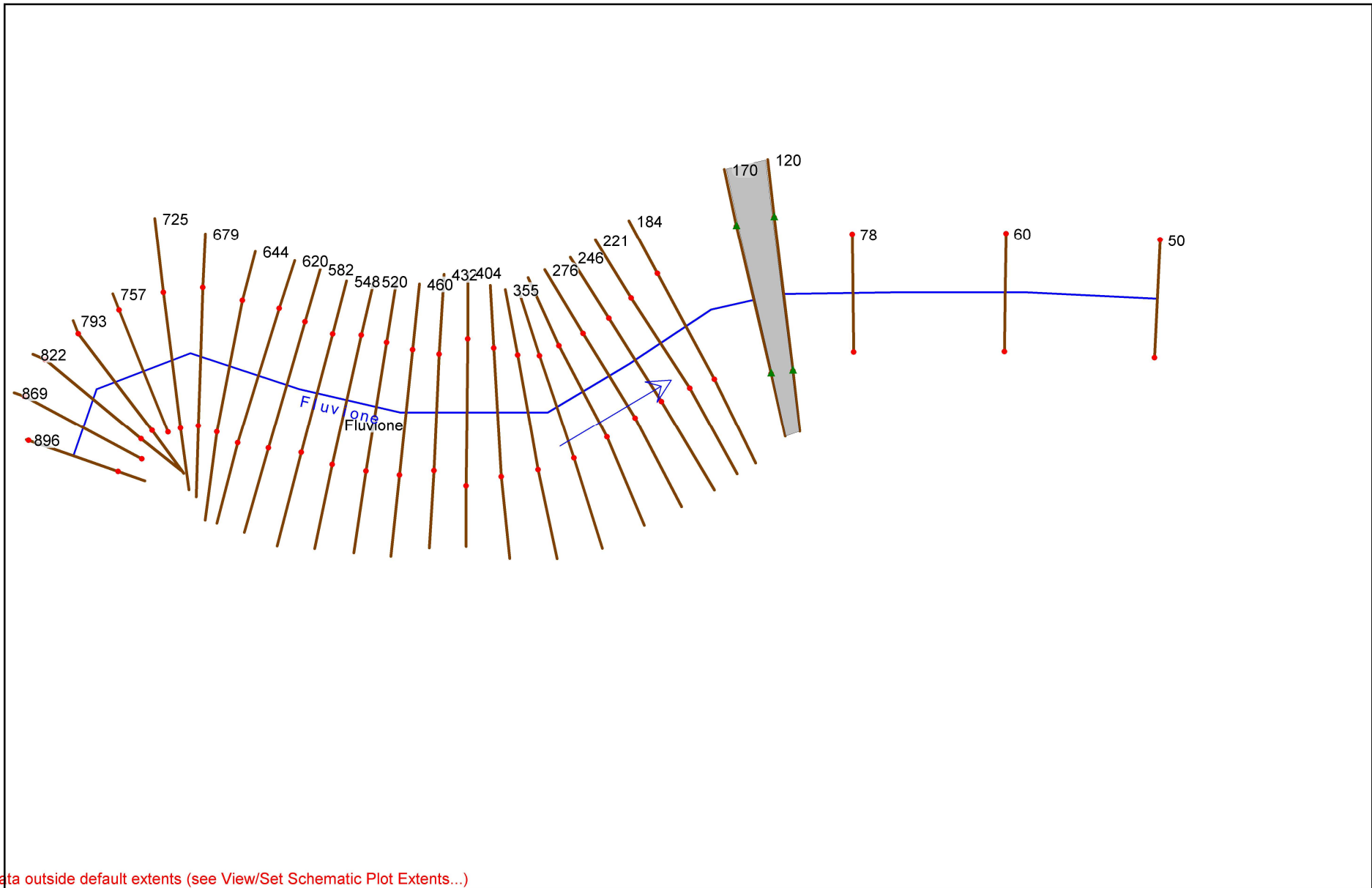
Inoltre non si può trascurare che gli studi e le analisi oggetto del presente lavoro sono affetti dalle incertezze relative:

- alle previsioni dell'intensità degli eventi meteorici che potranno verificarsi in futuro;
- alle difficoltà ed imprecisioni nella stima dei deflussi sulla superficie topografia, legate al futuro uso del territorio ed alle possibili caratteristiche ed intensità delle azioni antropiche;
- all'impossibilità di prevedere lo stato di conservazione delle superfici bagnate lungo il torrente Fluvione, legate alla stabilità delle sponde nel tempo, agli effetti di azioni antropiche e alla frequenza dei possibili interventi di manutenzione.

ALLEGATI

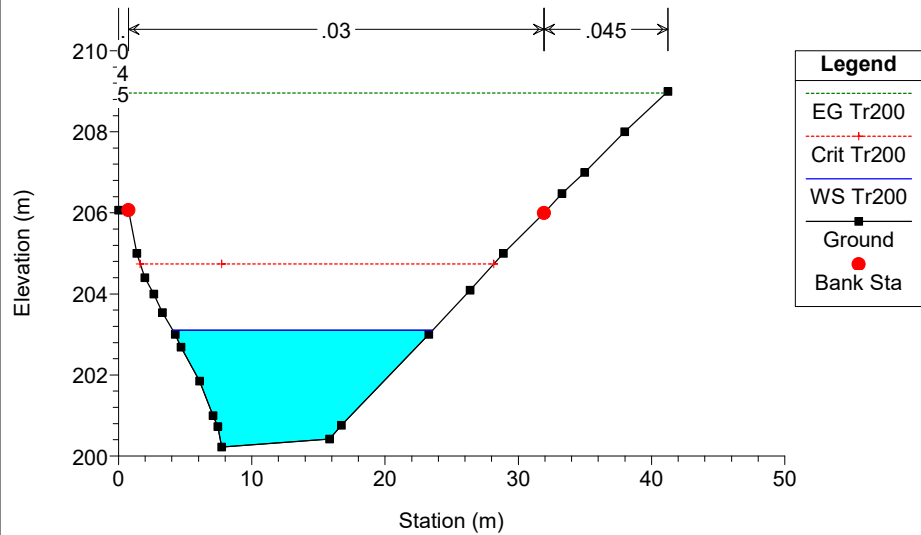
MODELLAZIONE DEL DEFLUSSO NEL TORRENTE FLUVIONE

STATO ATTUALE

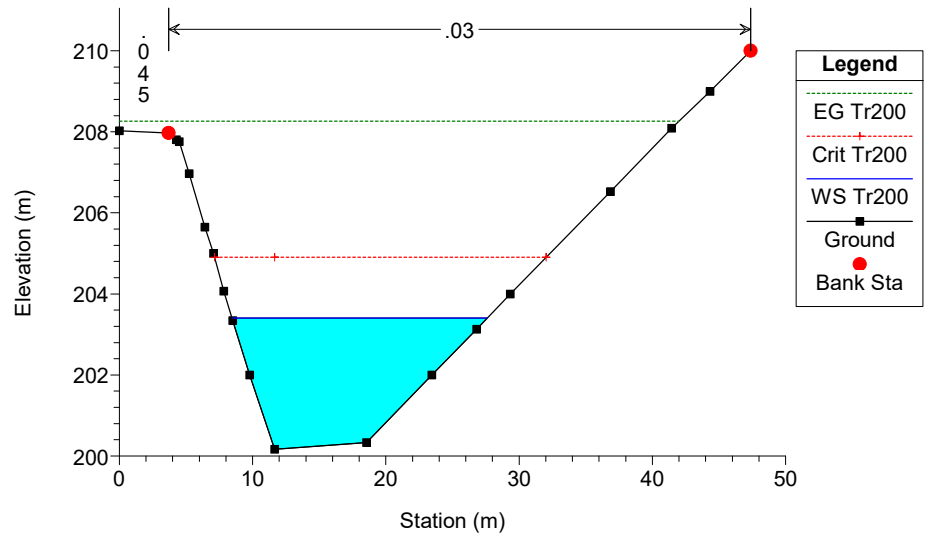


Some schematic data outside default extents (see View/Set Schematic Plot Extents...)

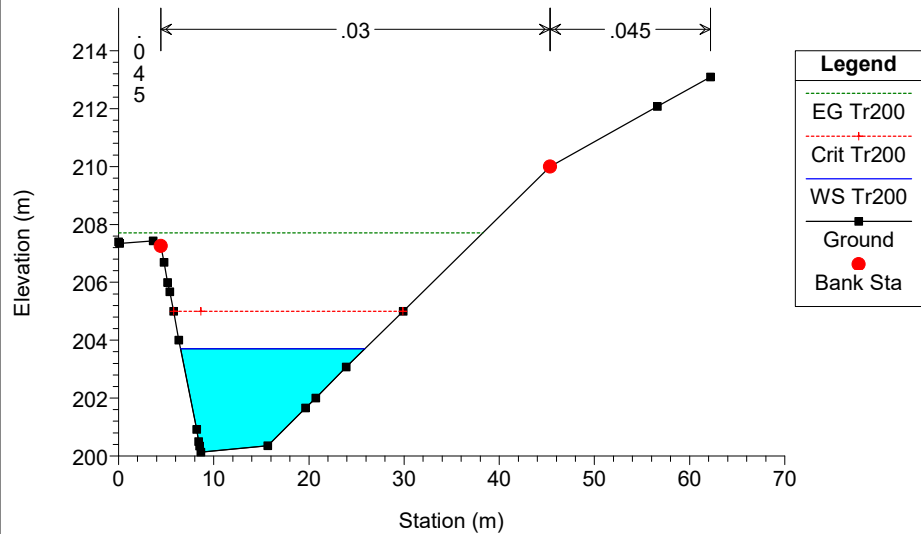
T fluvione pila+0.968 Plan: Plan 01 11/02/2022
RS = 896



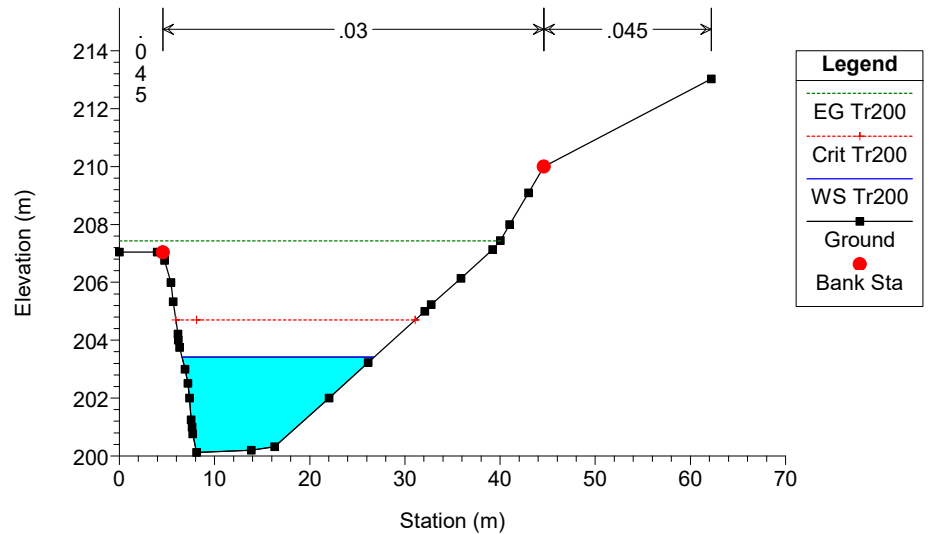
T fluvione pila+0.968 Plan: Plan 01 11/02/2022
RS = 869

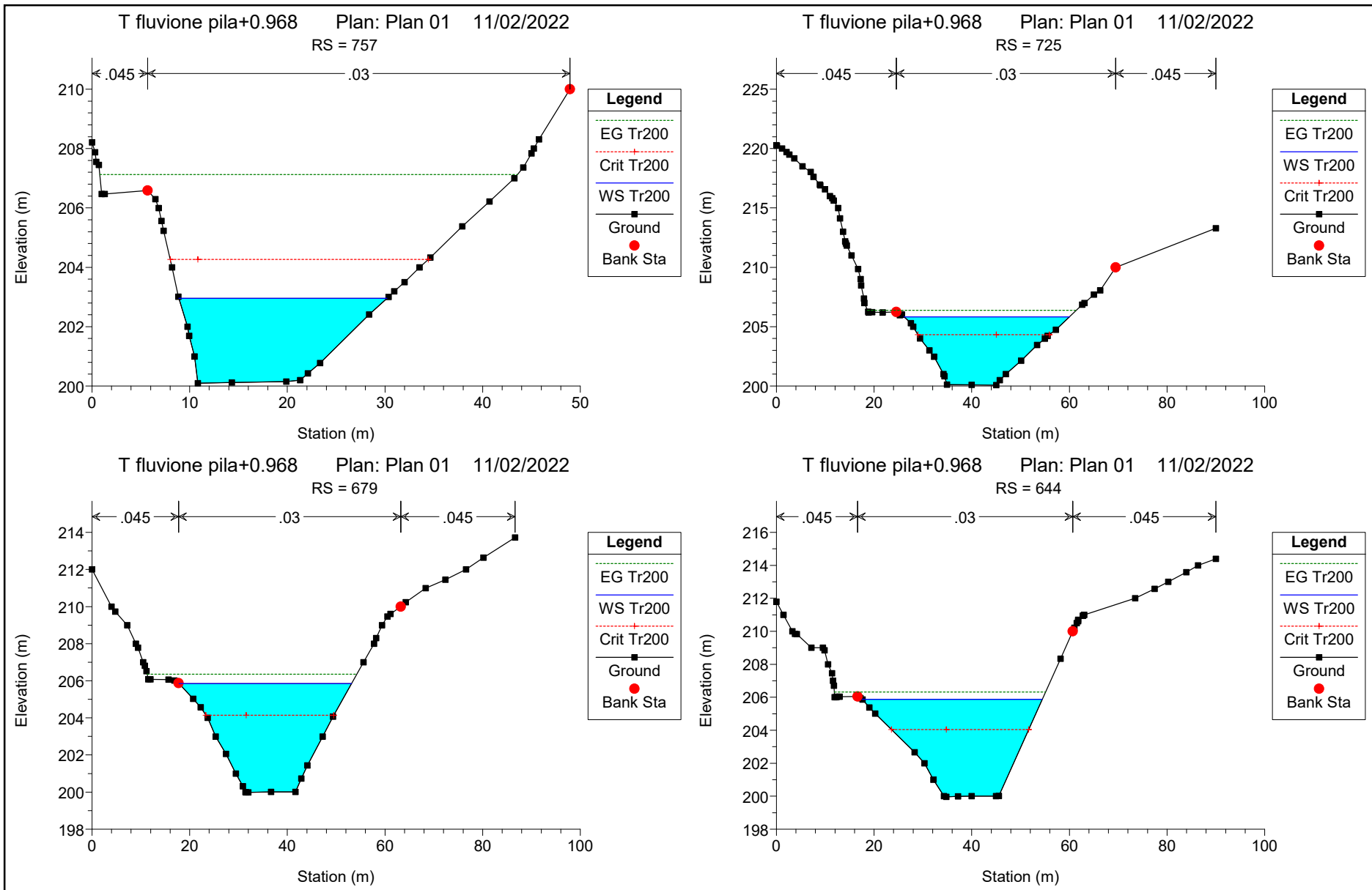


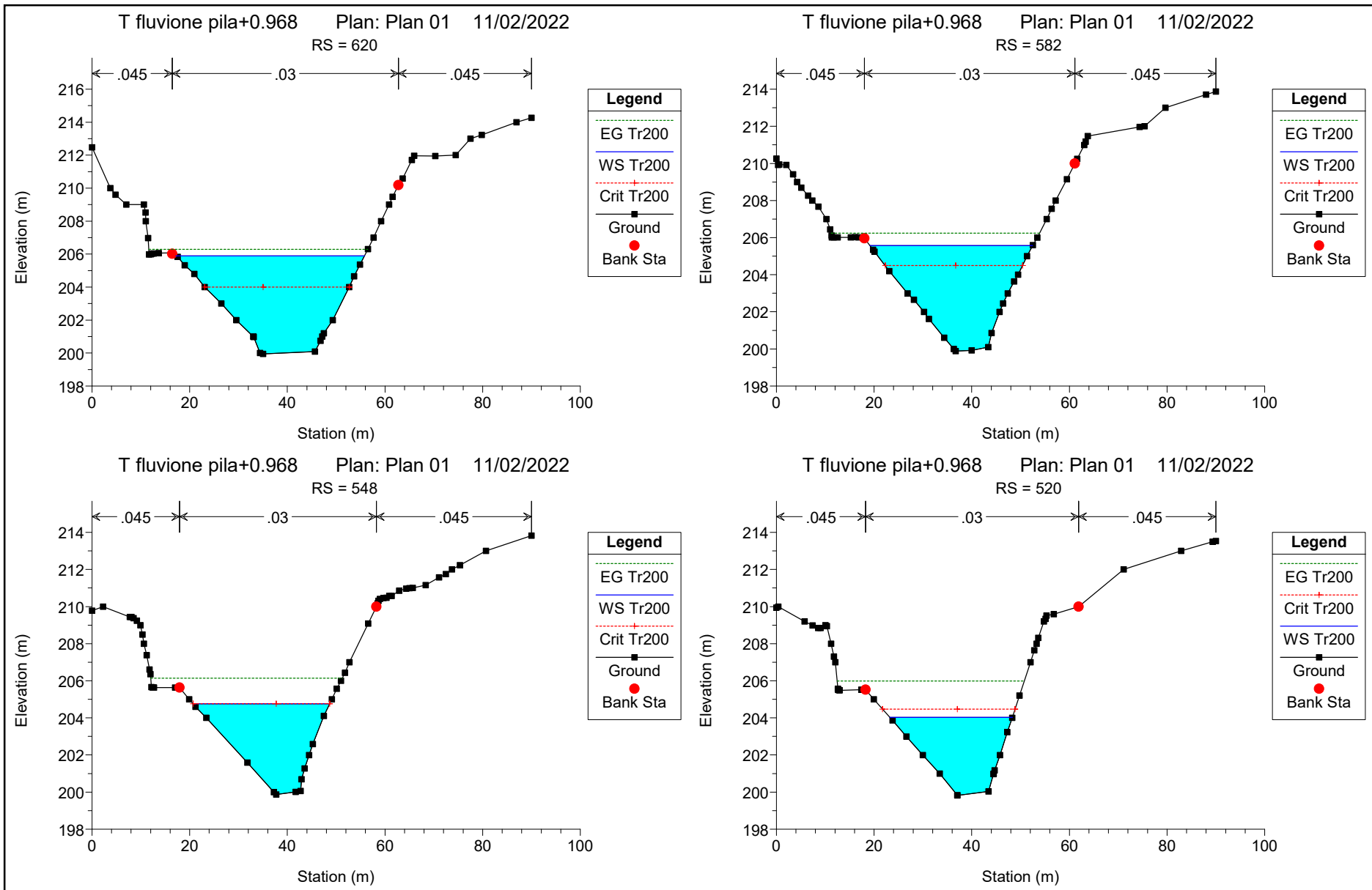
T fluvione pila+0.968 Plan: Plan 01 11/02/2022
RS = 822

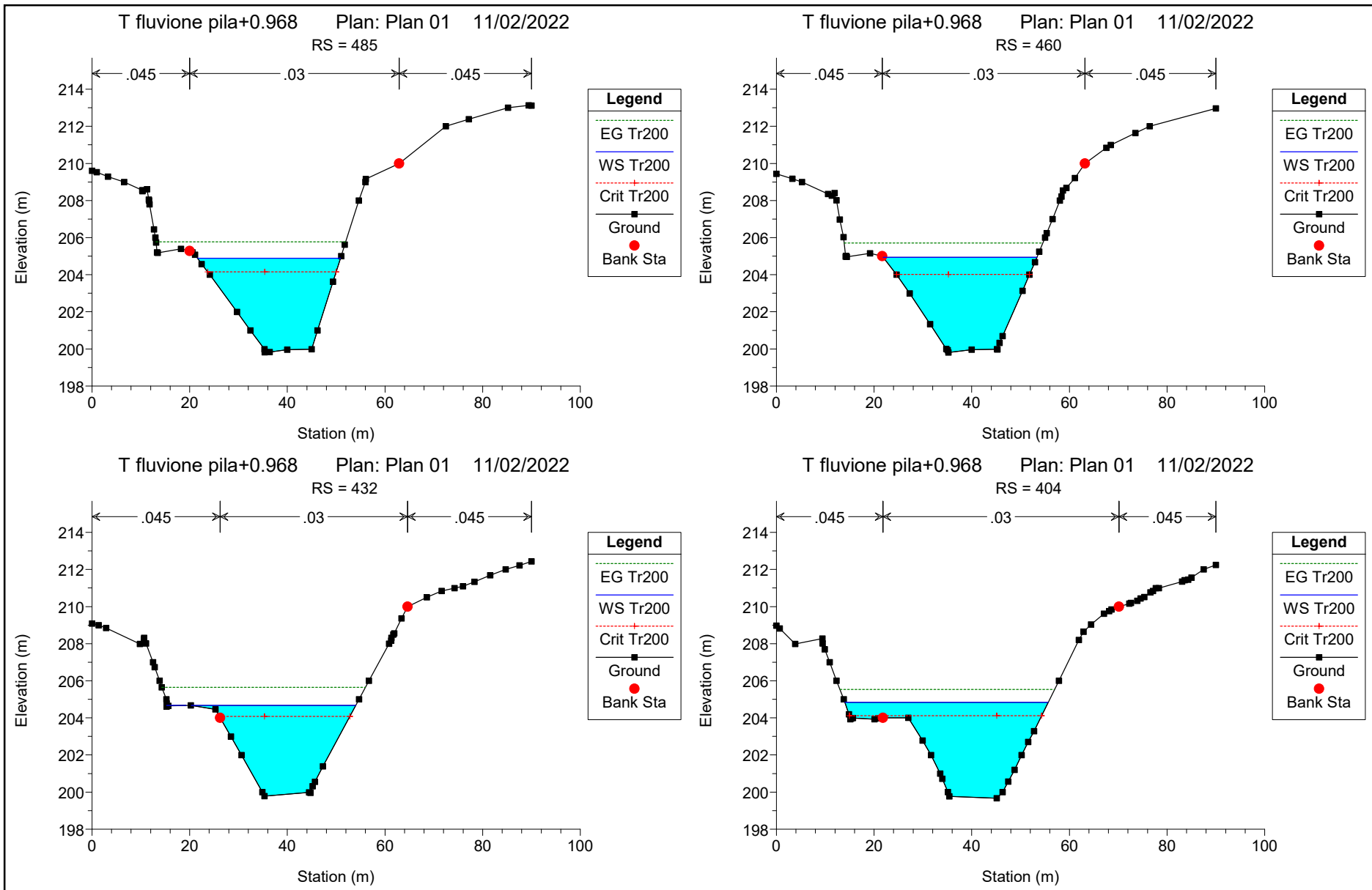


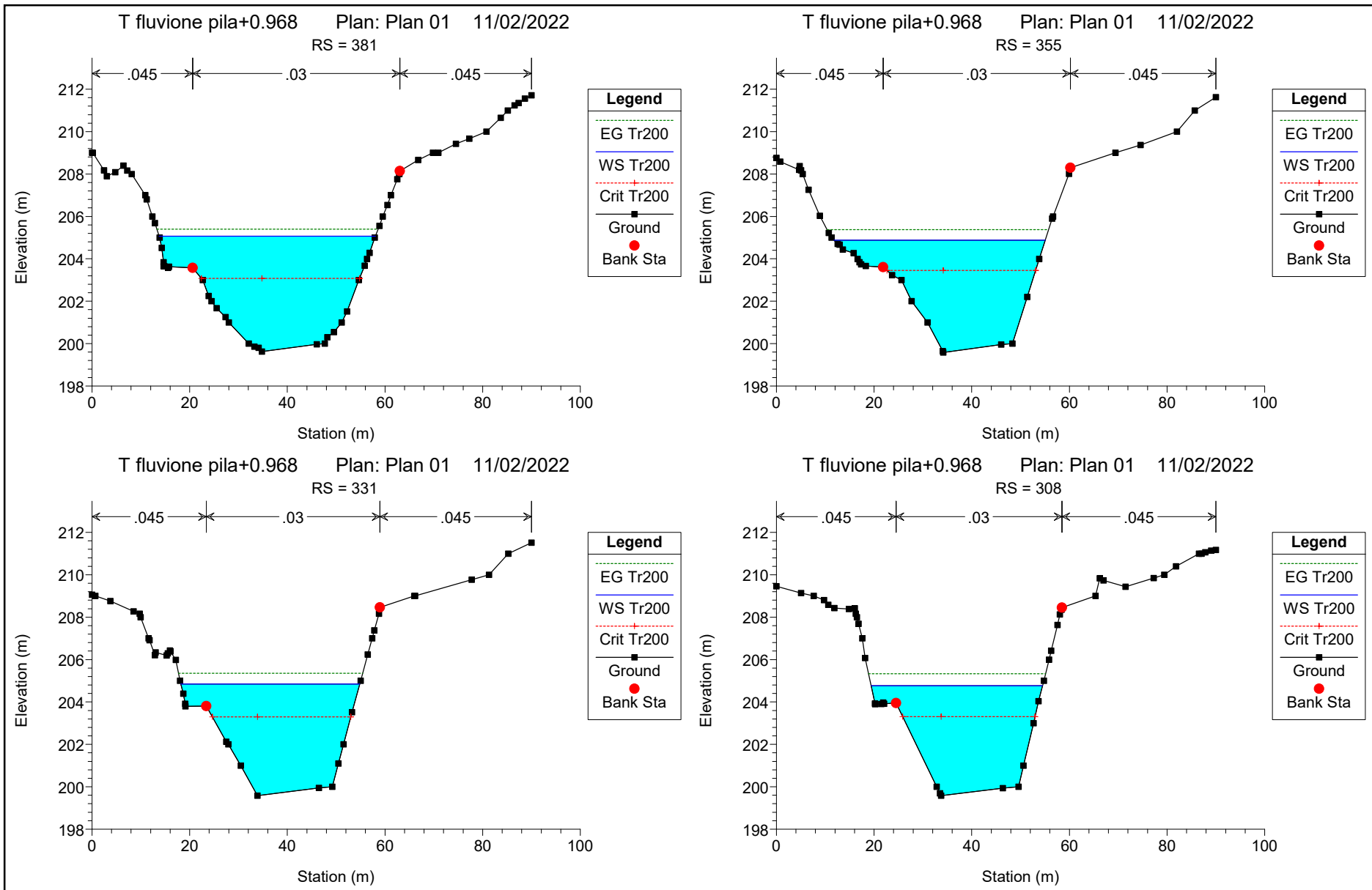
T fluvione pila+0.968 Plan: Plan 01 11/02/2022
RS = 793

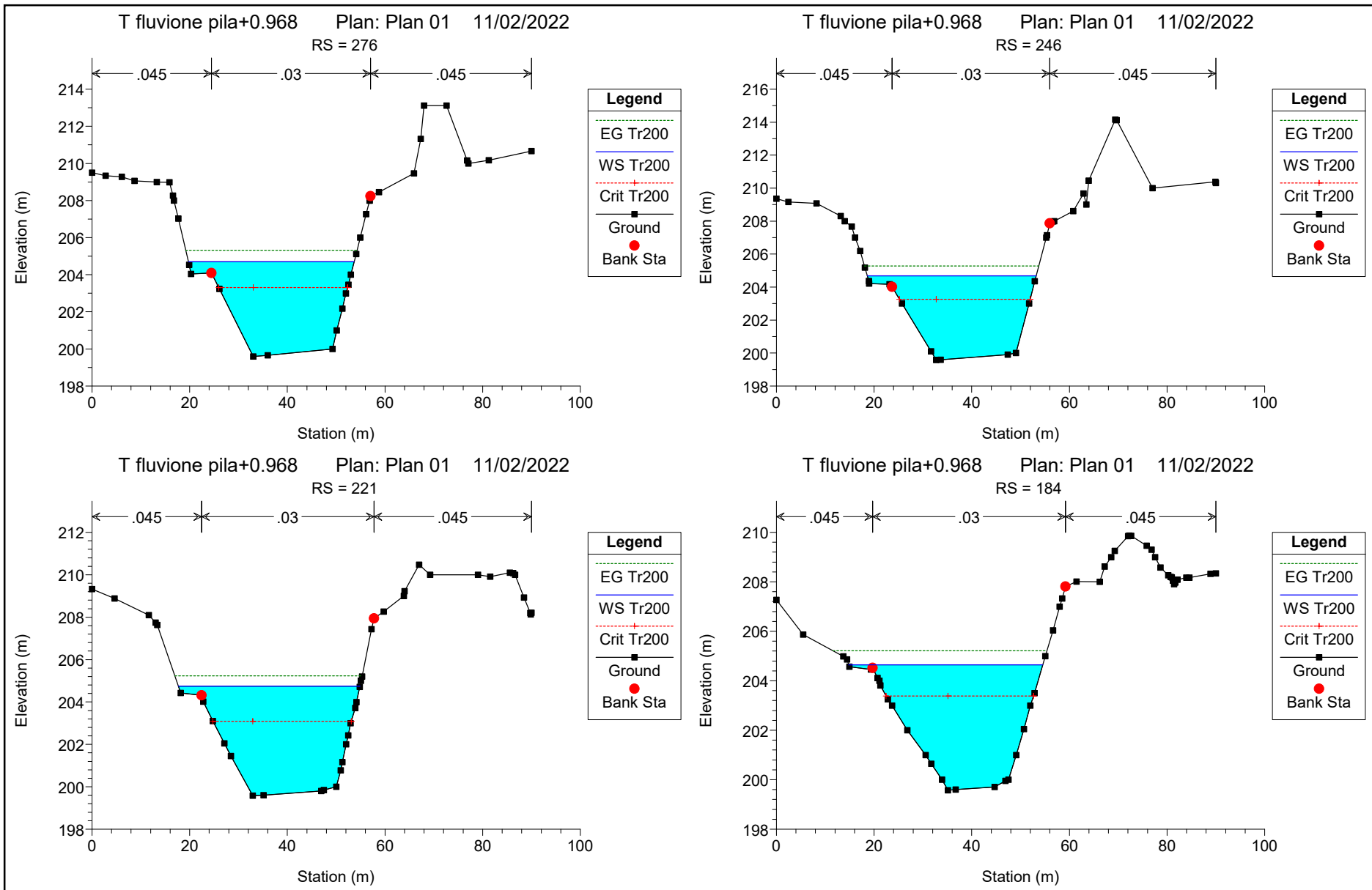


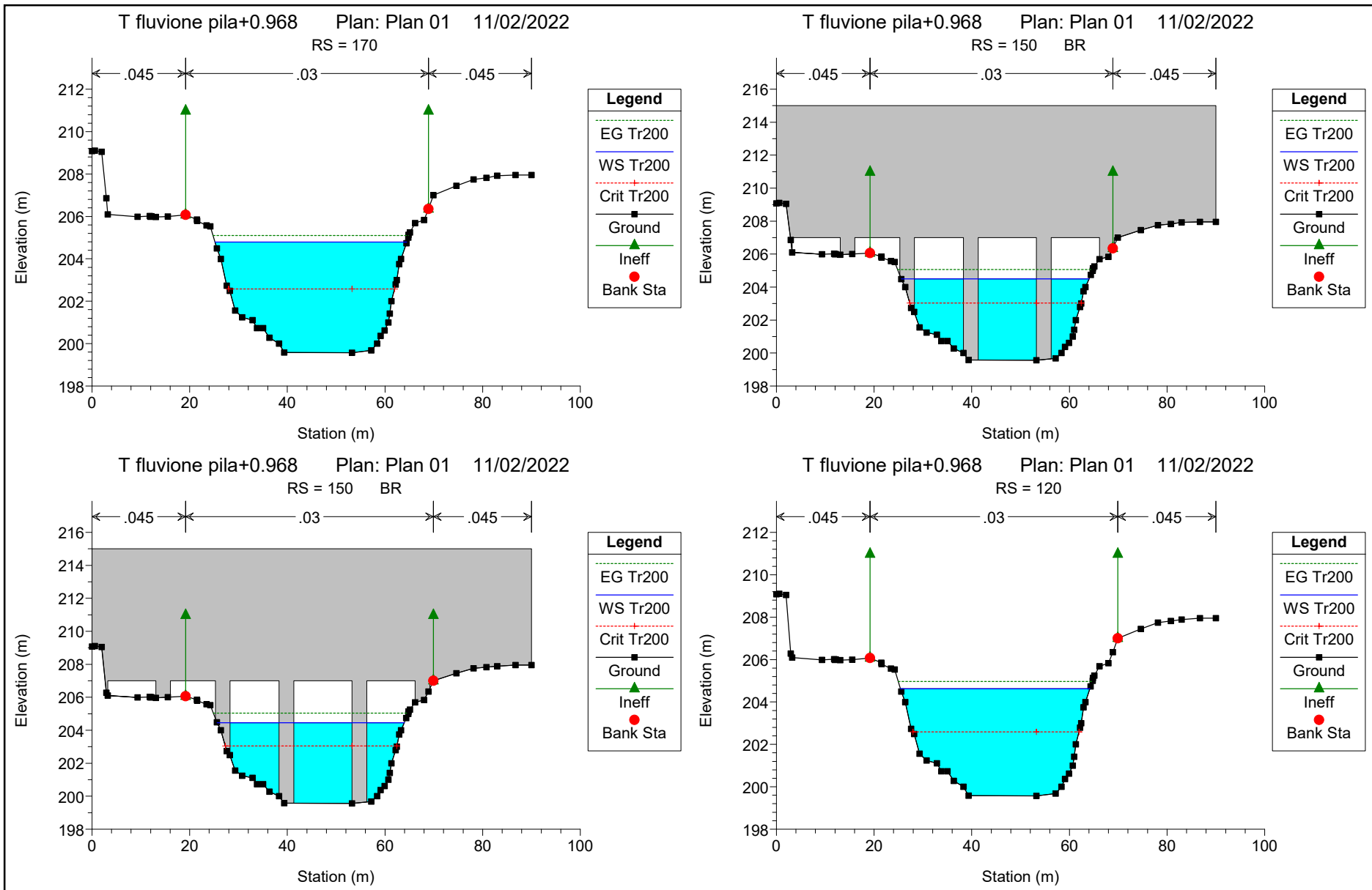


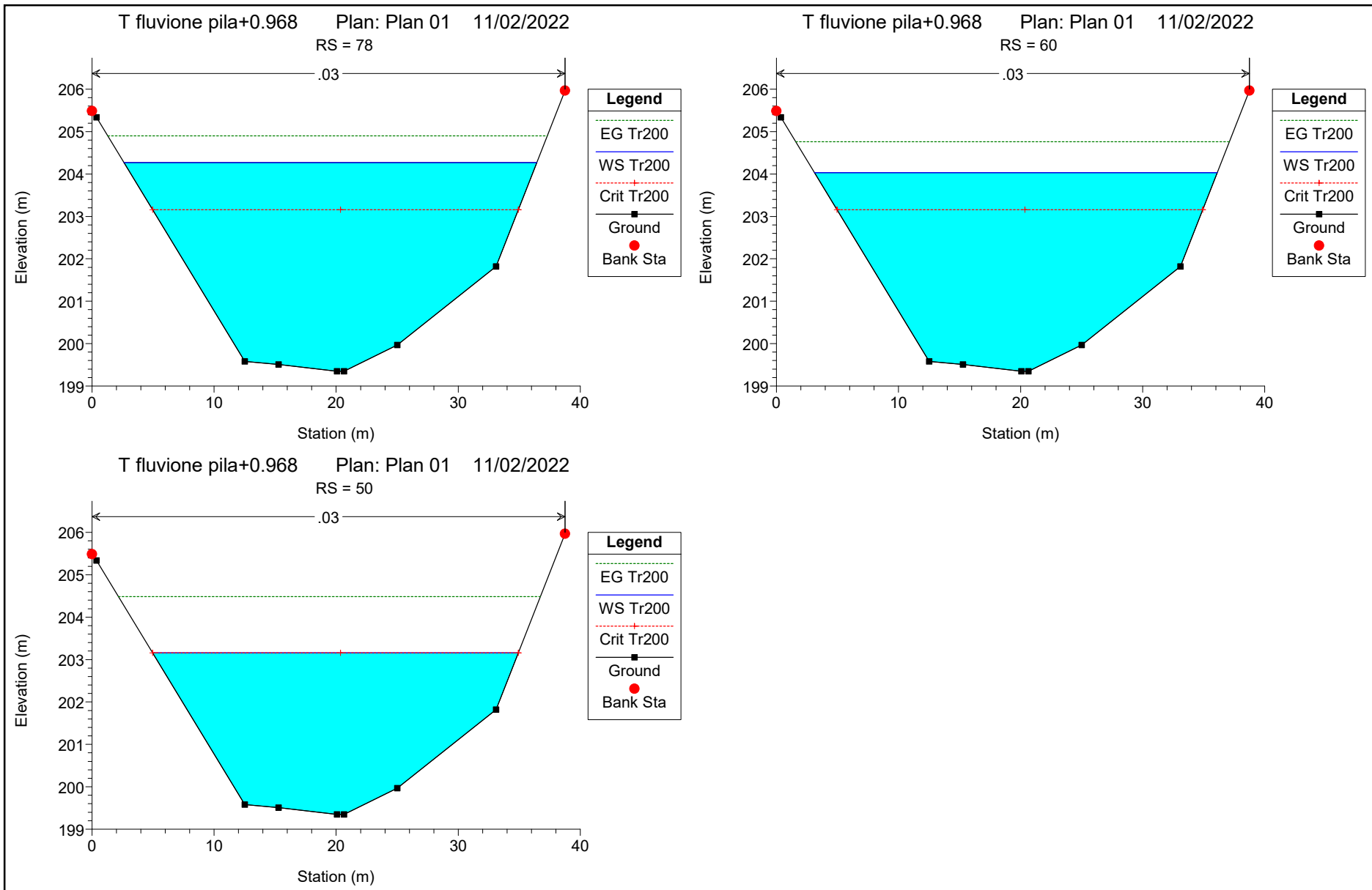






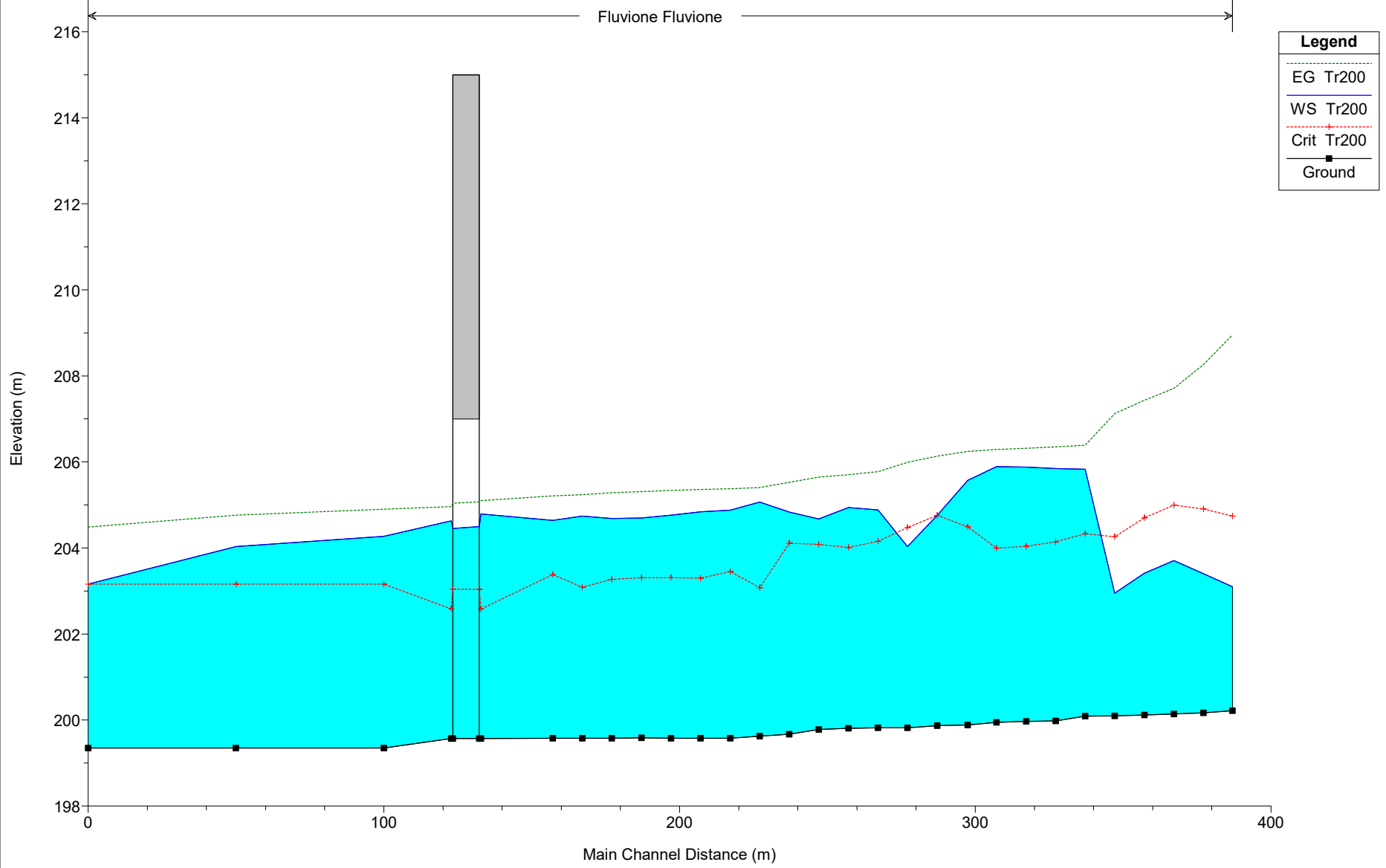






T fluvione pila+0.968 Plan: Plan 01 11/02/2022

Fluvione Fluvione



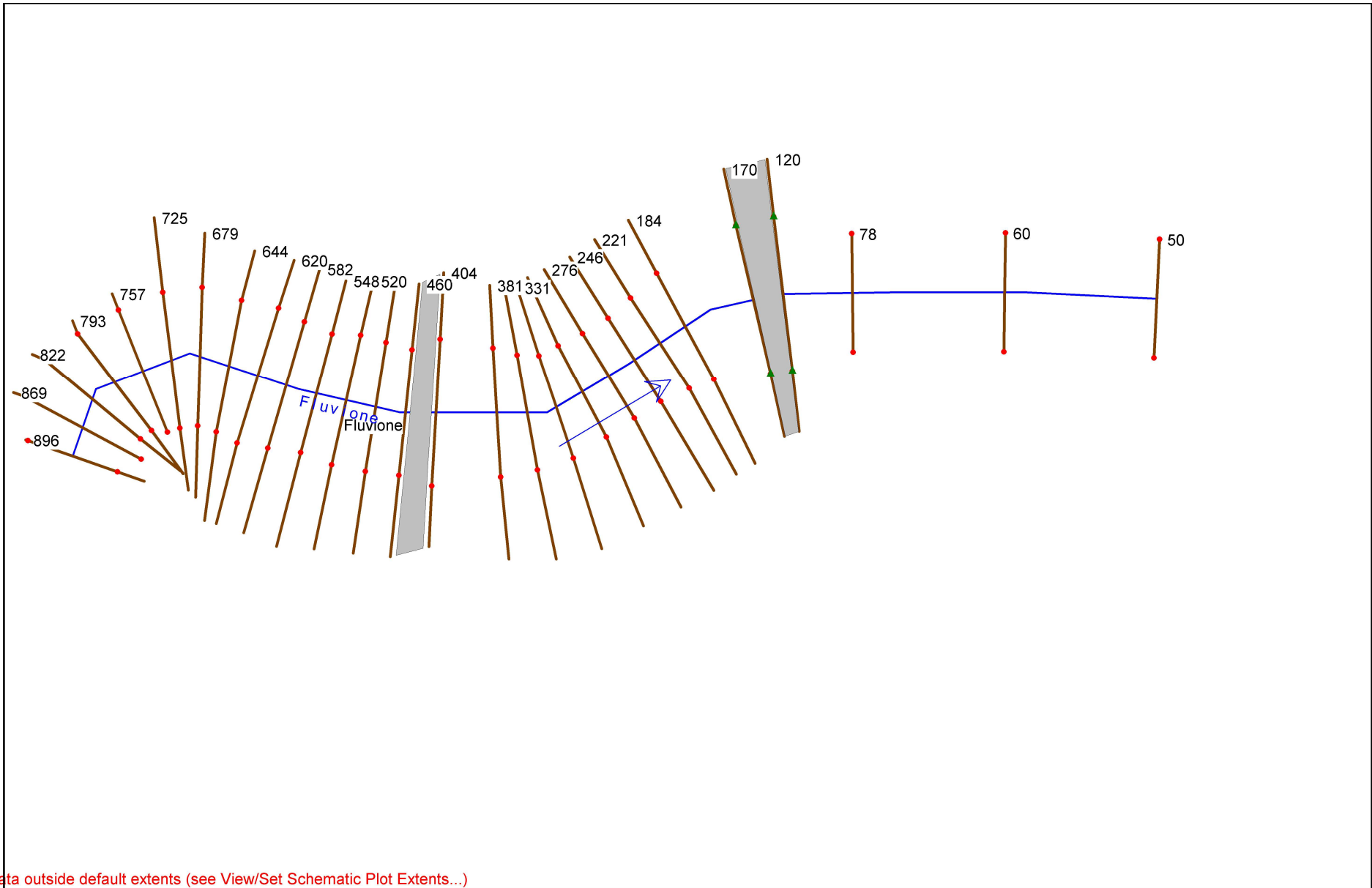
Legend	
EG Tr200	Green dotted line
WS Tr200	Blue solid line
Crit Tr200	Red dashed line with cross markers
Ground	Black solid line with square markers

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Fluvione Reach: Fluvione Profile: Tr200

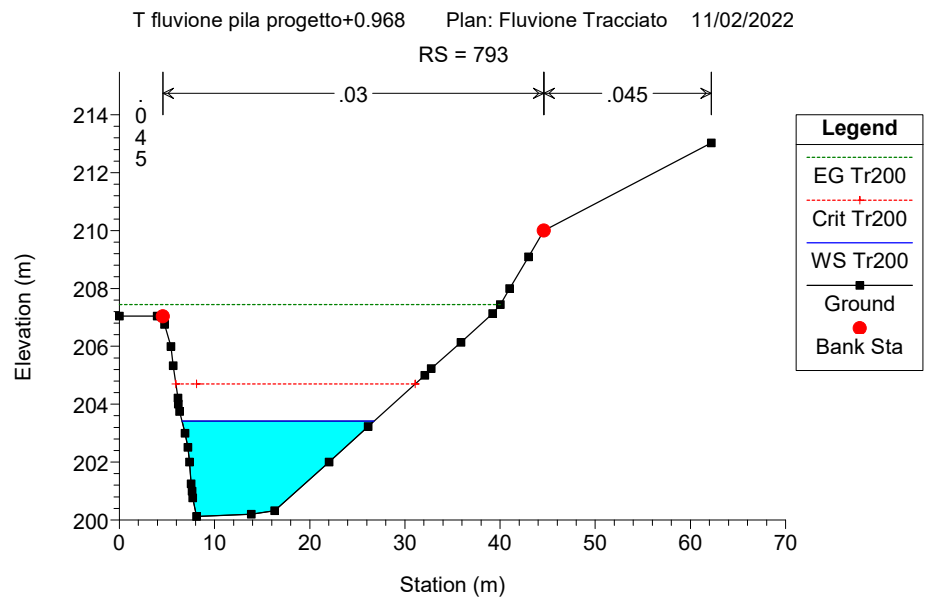
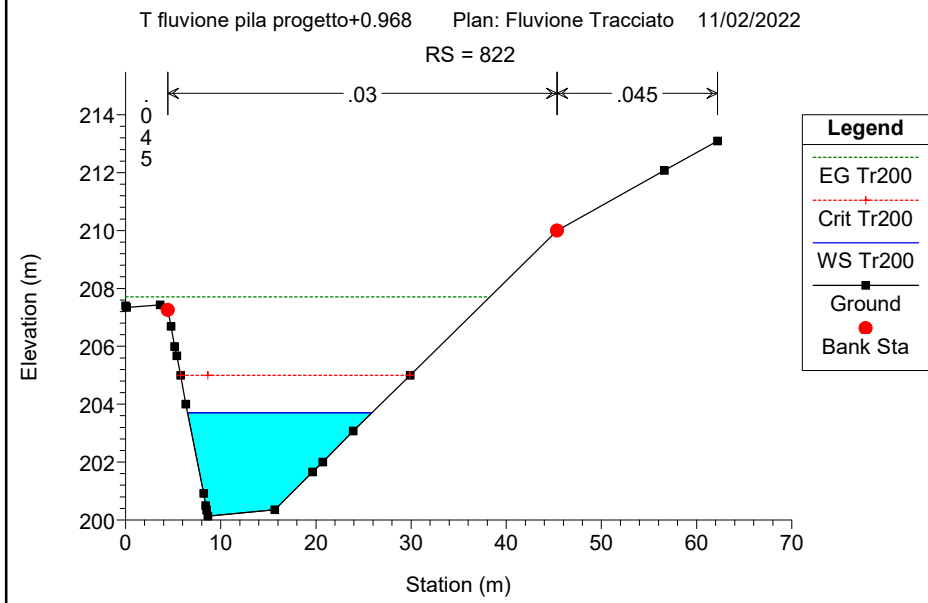
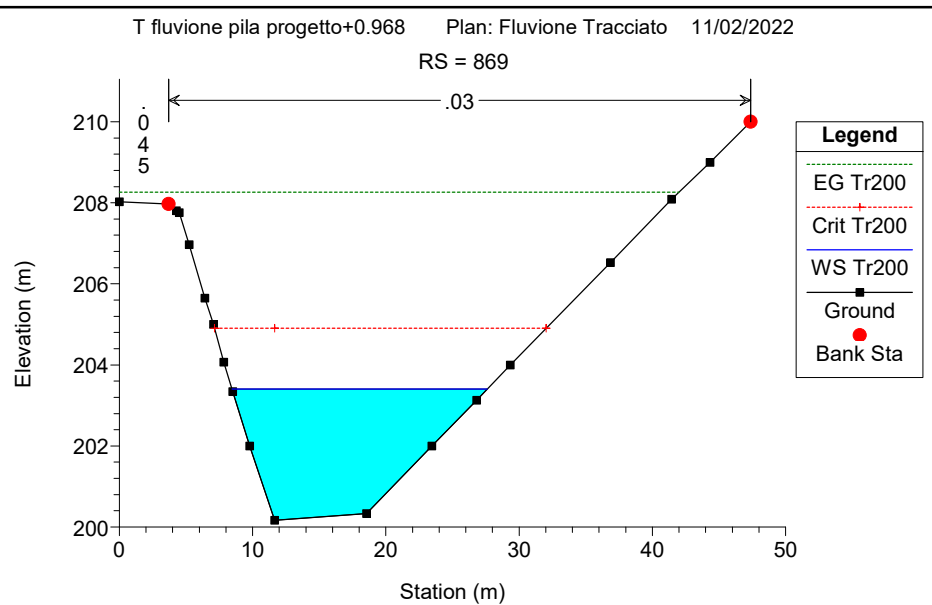
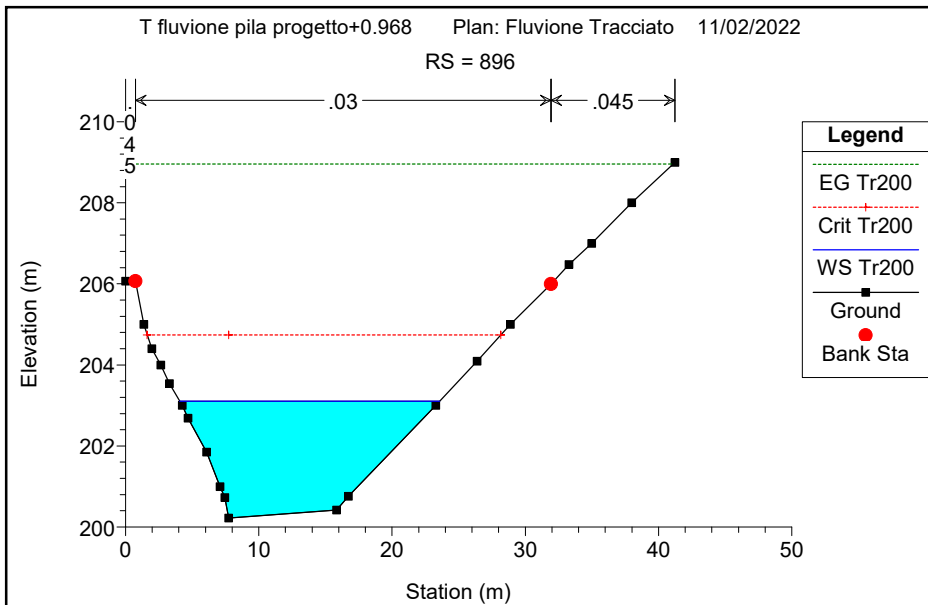
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Fluvione	896	Tr200	400.00	200.22	203.10	204.74	208.96	0.048070	10.72	37.32	19.50	2.47
Fluvione	869	Tr200	400.00	200.17	203.41	204.91	208.26	0.035216	9.76	40.99	19.17	2.13
Fluvione	822	Tr200	400.00	200.14	203.71	205.00	207.71	0.026986	8.86	45.15	19.36	1.85
Fluvione	793	Tr200	400.00	200.12	203.41	204.70	207.44	0.028600	8.88	45.03	20.16	1.90
Fluvione	757	Tr200	400.00	200.10	202.95	204.26	207.13	0.031371	9.05	44.20	21.33	2.01
Fluvione	725	Tr200	400.00	200.09	205.83	204.33	206.39	0.002002	3.30	121.11	33.87	0.56
Fluvione	679	Tr200	400.00	199.98	205.85	204.14	206.35	0.001781	3.15	127.08	35.29	0.53
Fluvione	644	Tr200	400.00	199.97	205.88	204.04	206.31	0.001477	2.92	136.90	36.92	0.48
Fluvione	620	Tr200	400.00	199.95	205.89	204.00	206.29	0.001356	2.81	142.55	38.60	0.47
Fluvione	582	Tr200	400.00	199.89	205.57	204.49	206.24	0.002653	3.63	110.18	33.33	0.64
Fluvione	548	Tr200	400.00	199.87	204.76	204.76	206.13	0.007059	5.19	77.01	28.00	1.00
Fluvione	520	Tr200	400.00	199.82	204.03	204.48	205.99	0.010925	6.20	64.55	25.14	1.23
Fluvione	485	Tr200	400.00	199.82	204.89	204.15	205.77	0.003640	4.17	95.83	29.29	0.74
Fluvione	460	Tr200	400.00	199.81	204.94	204.01	205.70	0.003061	3.88	103.20	31.48	0.68
Fluvione	432	Tr200	400.00	199.78	204.67	204.08	205.65	0.003891	4.38	92.24	37.64	0.77
Fluvione	404	Tr200	400.00	199.67	204.83	204.11	205.53	0.002970	3.72	112.08	41.63	0.67
Fluvione	381	Tr200	400.00	199.63	205.07	203.07	205.40	0.001002	2.59	160.69	44.29	0.41
Fluvione	355	Tr200	400.00	199.58	204.88	203.45	205.37	0.001661	3.15	133.47	43.26	0.52
Fluvione	331	Tr200	400.00	199.58	204.84	203.30	205.36	0.001653	3.20	128.57	36.65	0.52
Fluvione	308	Tr200	400.00	199.58	204.76	203.31	205.34	0.001857	3.36	121.95	35.11	0.54
Fluvione	276	Tr200	400.00	199.59	204.70	203.31	205.31	0.002030	3.48	117.13	33.96	0.56
Fluvione	246	Tr200	400.00	199.58	204.69	203.27	205.28	0.001939	3.42	118.88	34.60	0.55
Fluvione	221	Tr200	400.00	199.58	204.74	203.09	205.24	0.001586	3.12	129.53	37.18	0.50
Fluvione	184	Tr200	400.00	199.58	204.64	203.38	205.21	0.002094	3.34	120.49	39.73	0.57
Fluvione	170	Tr200	400.00	199.57	204.79	202.58	205.10	0.000913	2.46	162.70	39.29	0.39
Fluvione	150		Bridge									
Fluvione	120	Tr200	400.00	199.57	204.63	202.58	204.96	0.001026	2.56	156.28	38.82	0.41
Fluvione	78	Tr200	400.00	199.35	204.27	203.16	204.90	0.002390	3.51	113.83	33.82	0.61
Fluvione	60	Tr200	400.00	199.35	204.03	203.16	204.76	0.002927	3.78	105.96	33.01	0.67
Fluvione	50	Tr200	400.00	199.35	203.16	203.16	204.49	0.006940	5.10	78.38	29.96	1.01

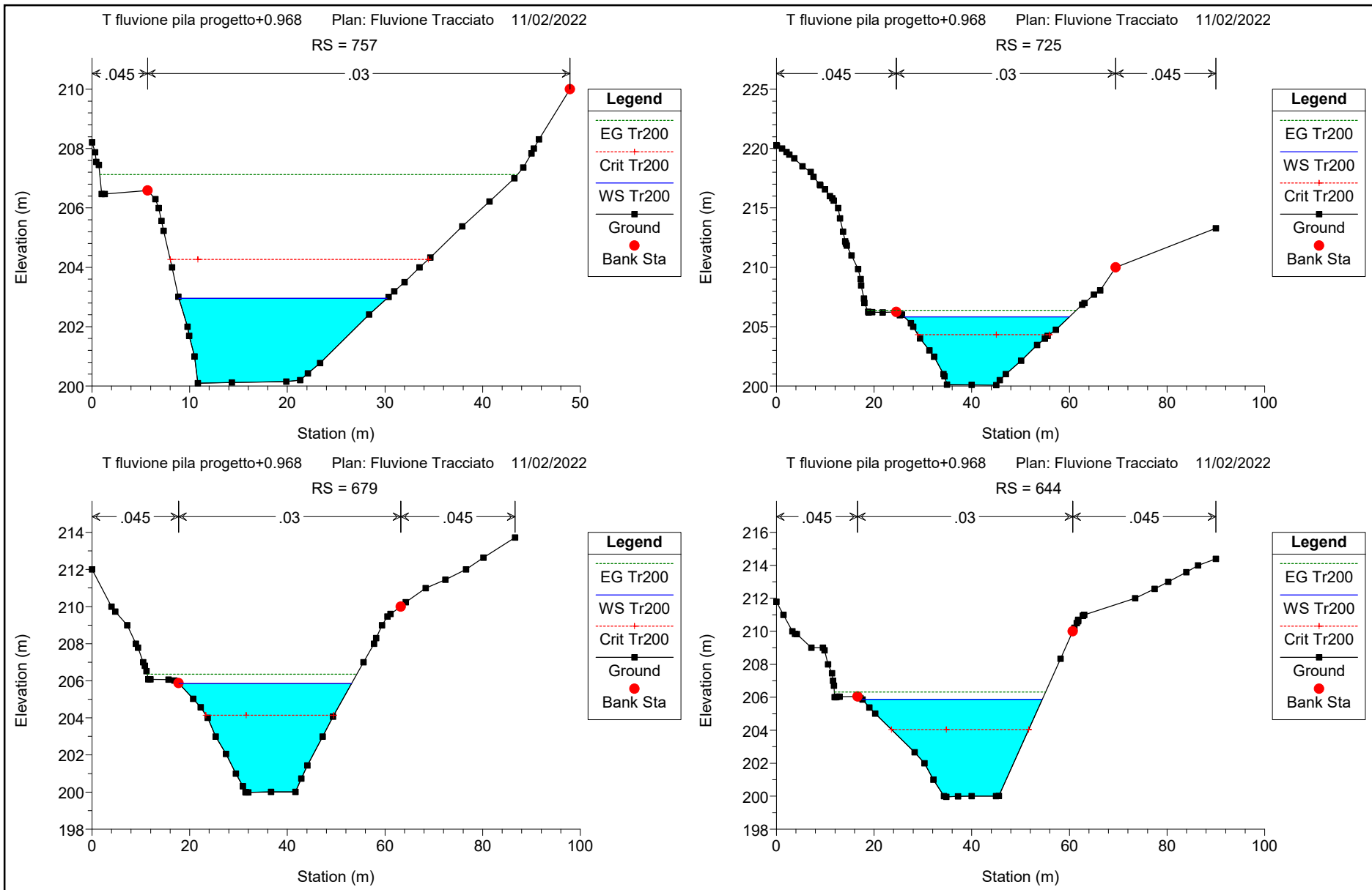
Relazione Idraulica e di Compatibilità idraulica

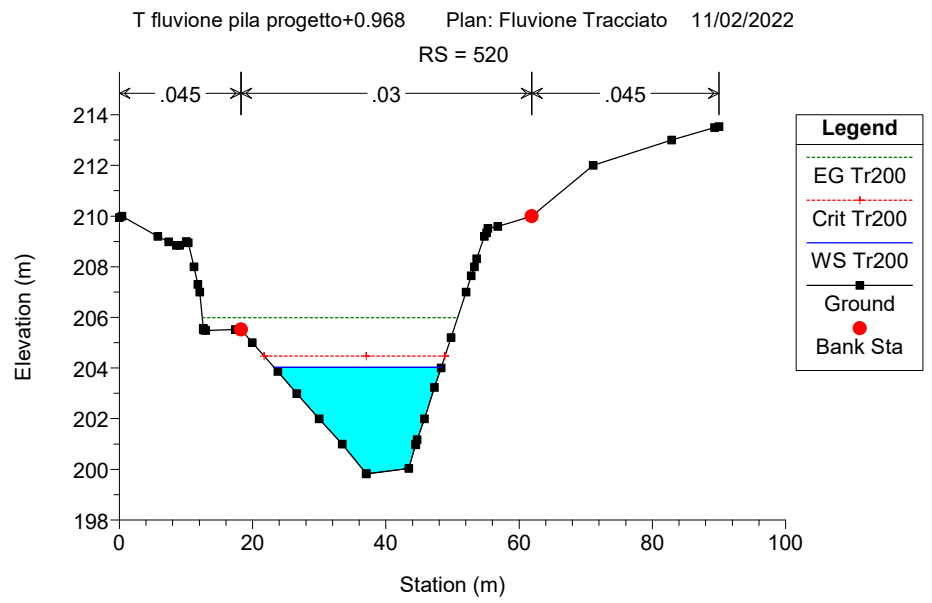
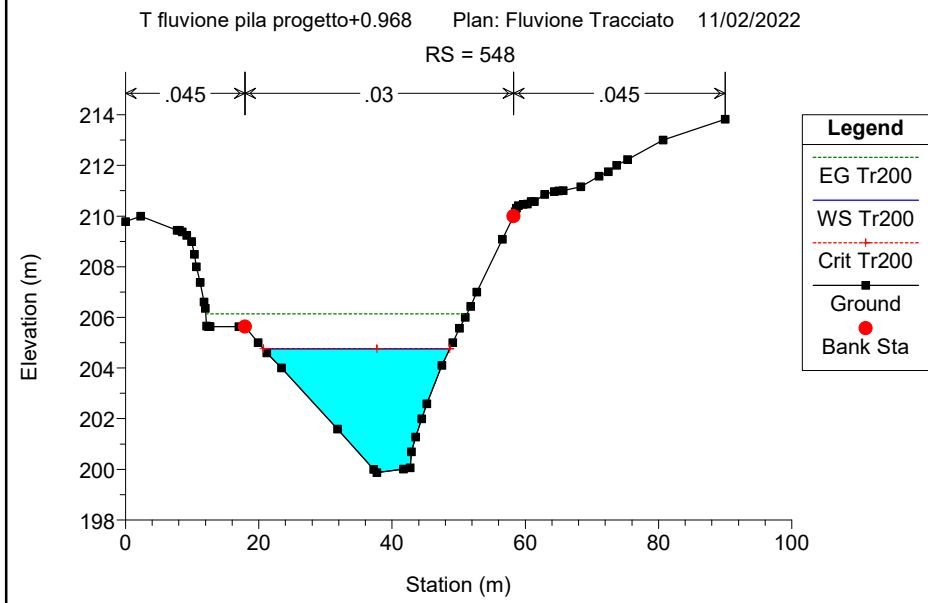
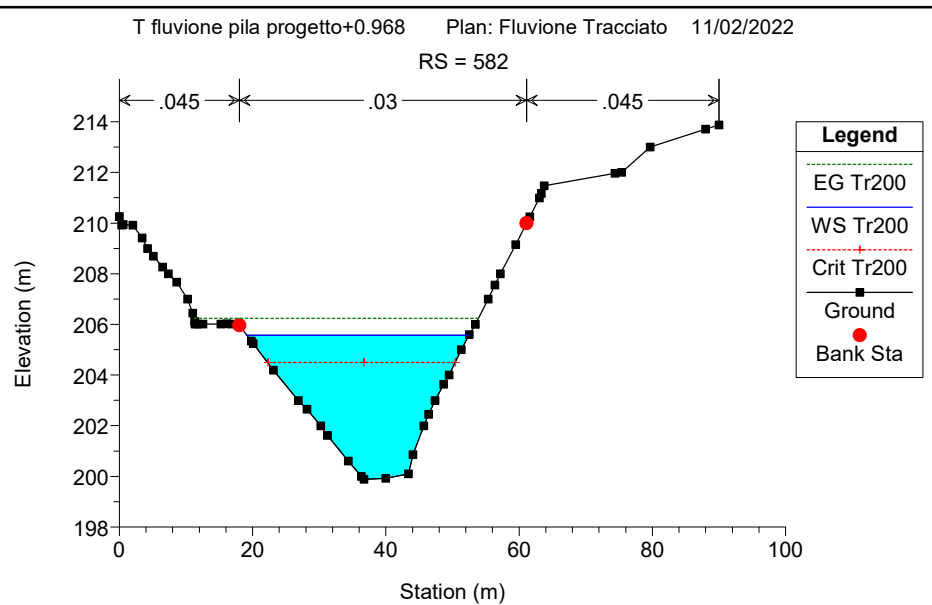
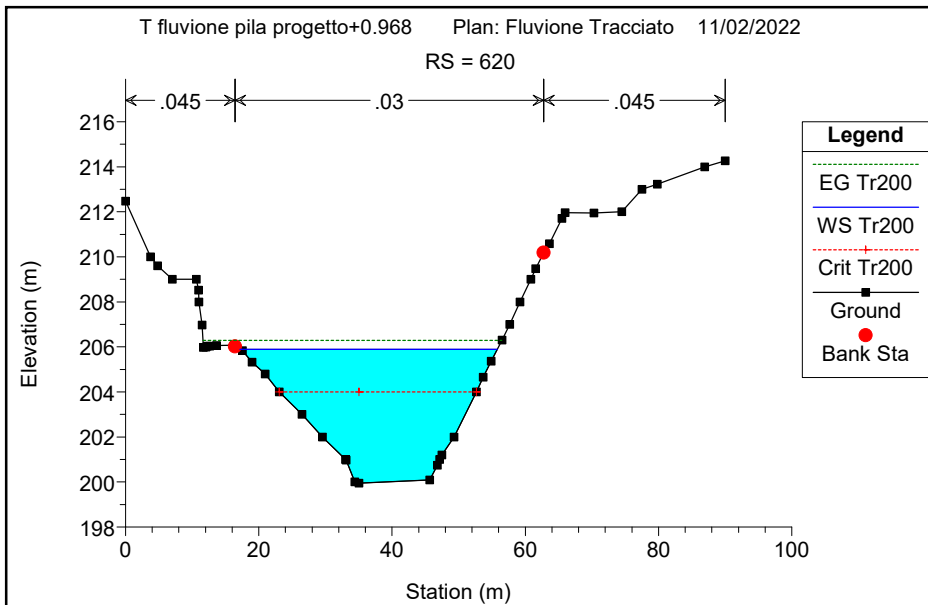
STATO DI PROGETTO

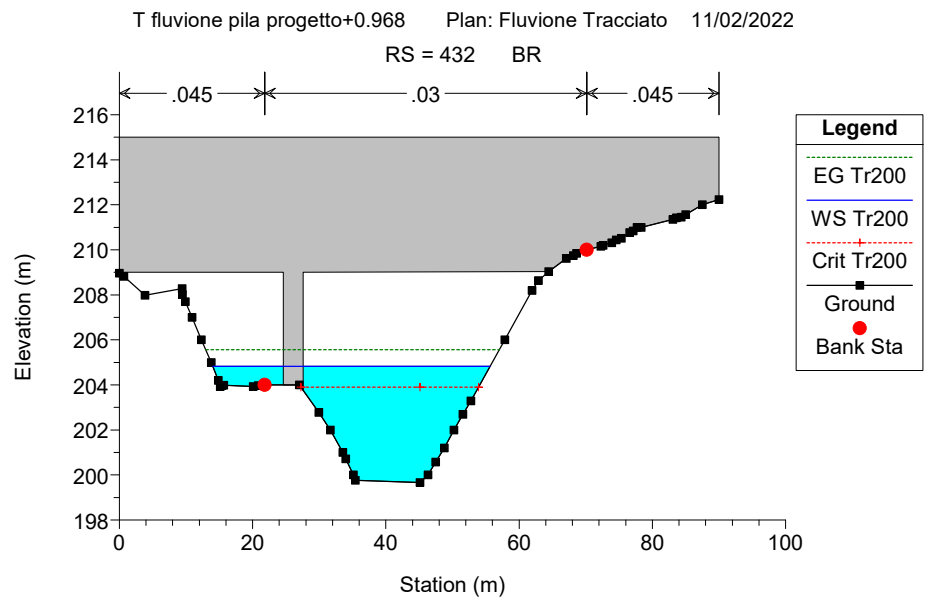
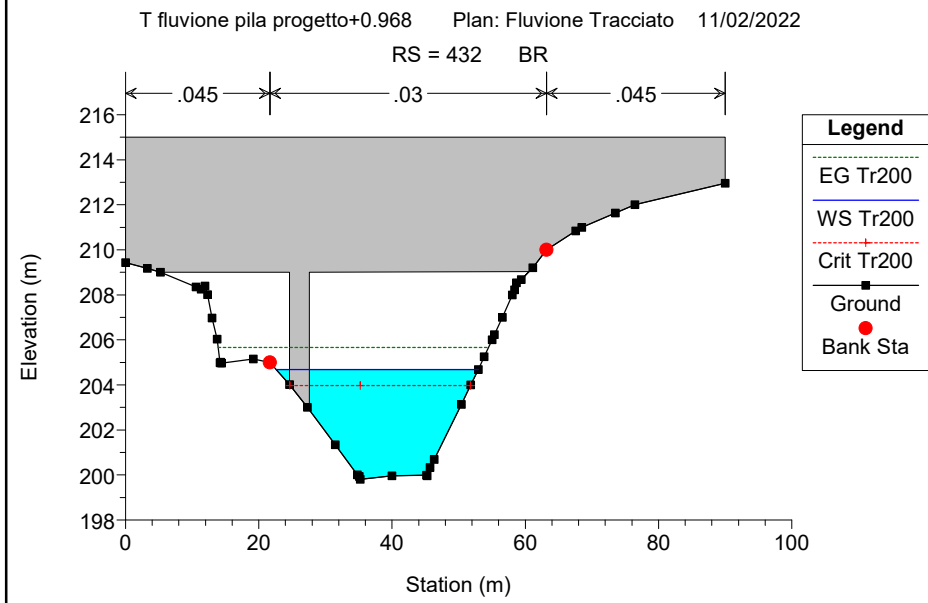
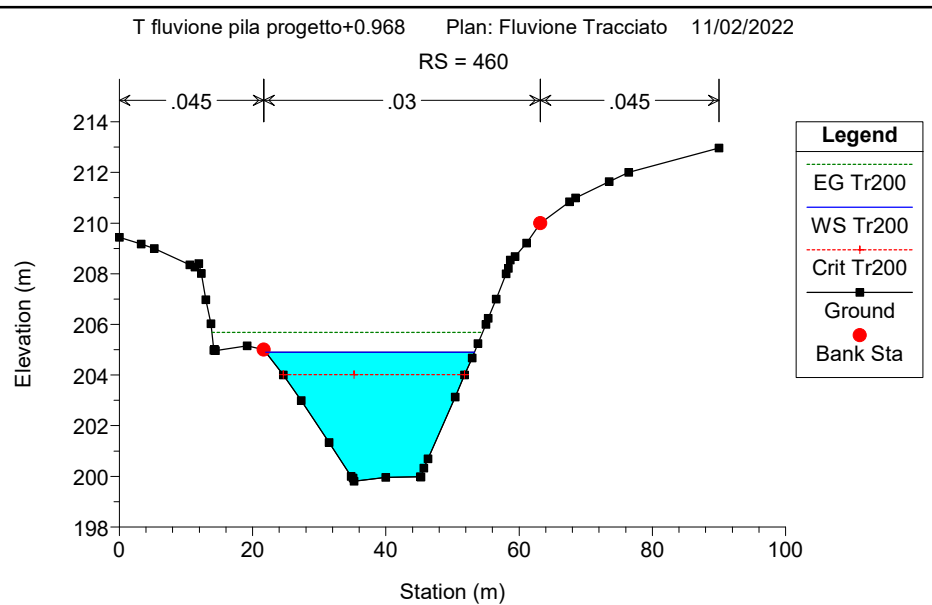
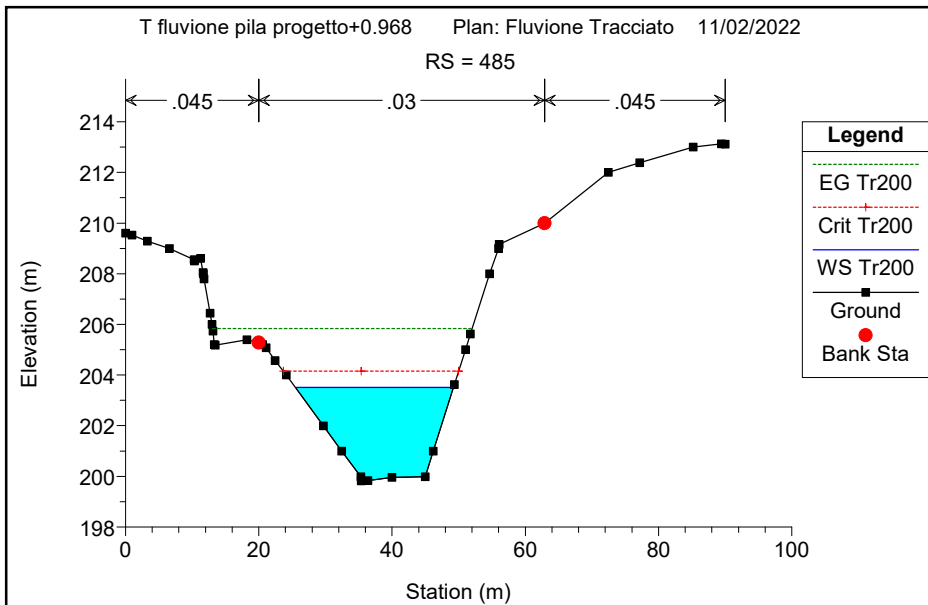


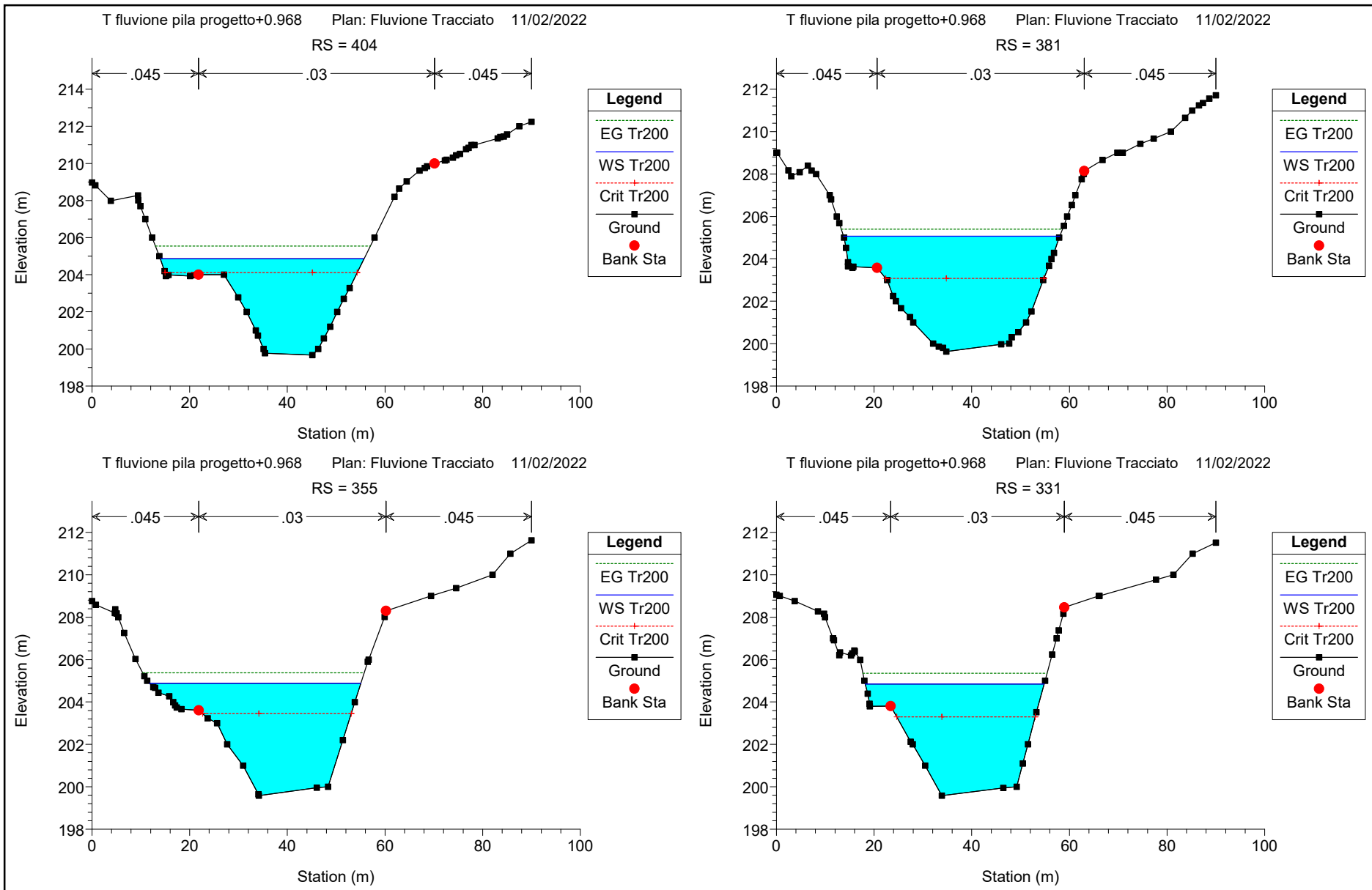
Some schematic data outside default extents (see View/Set Schematic Plot Extents...)

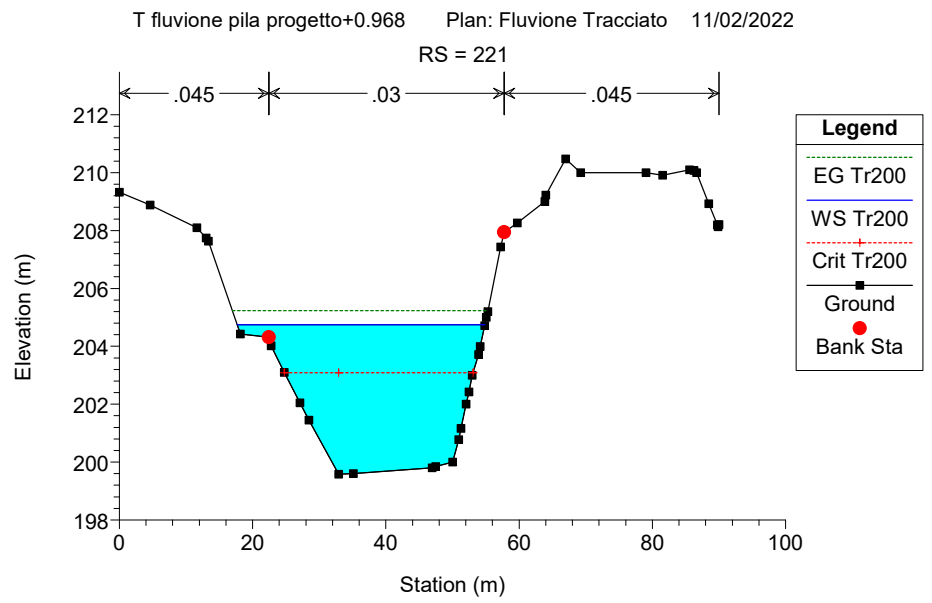
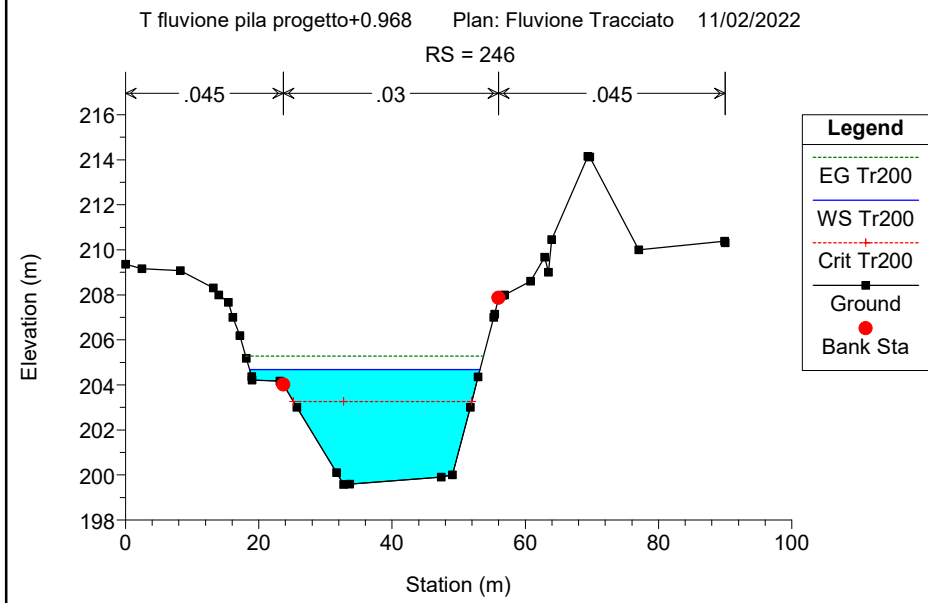
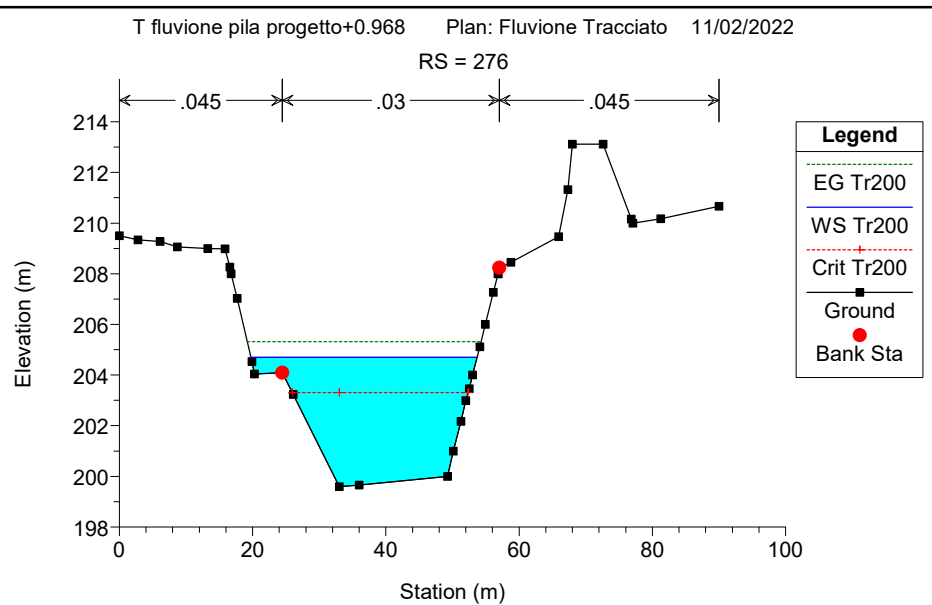
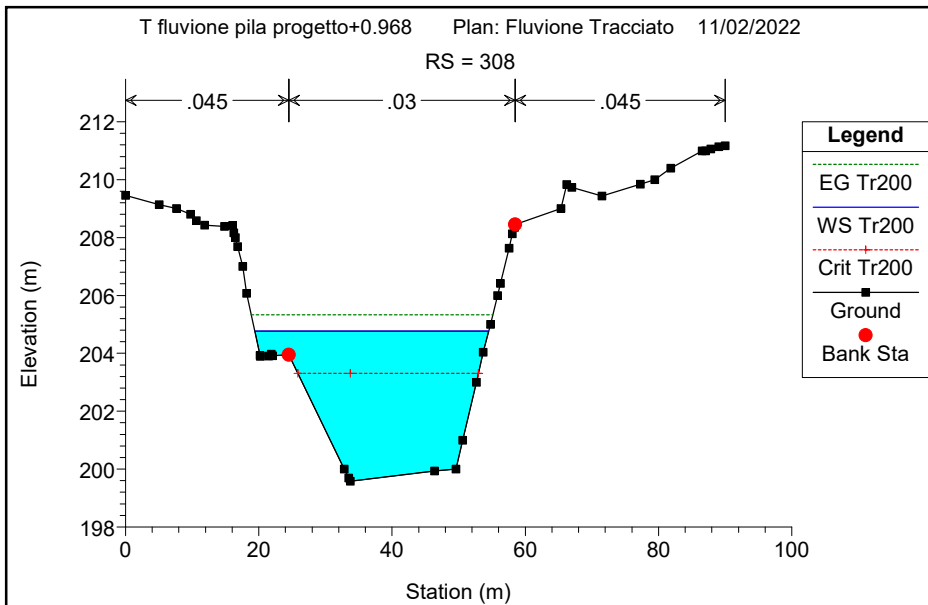


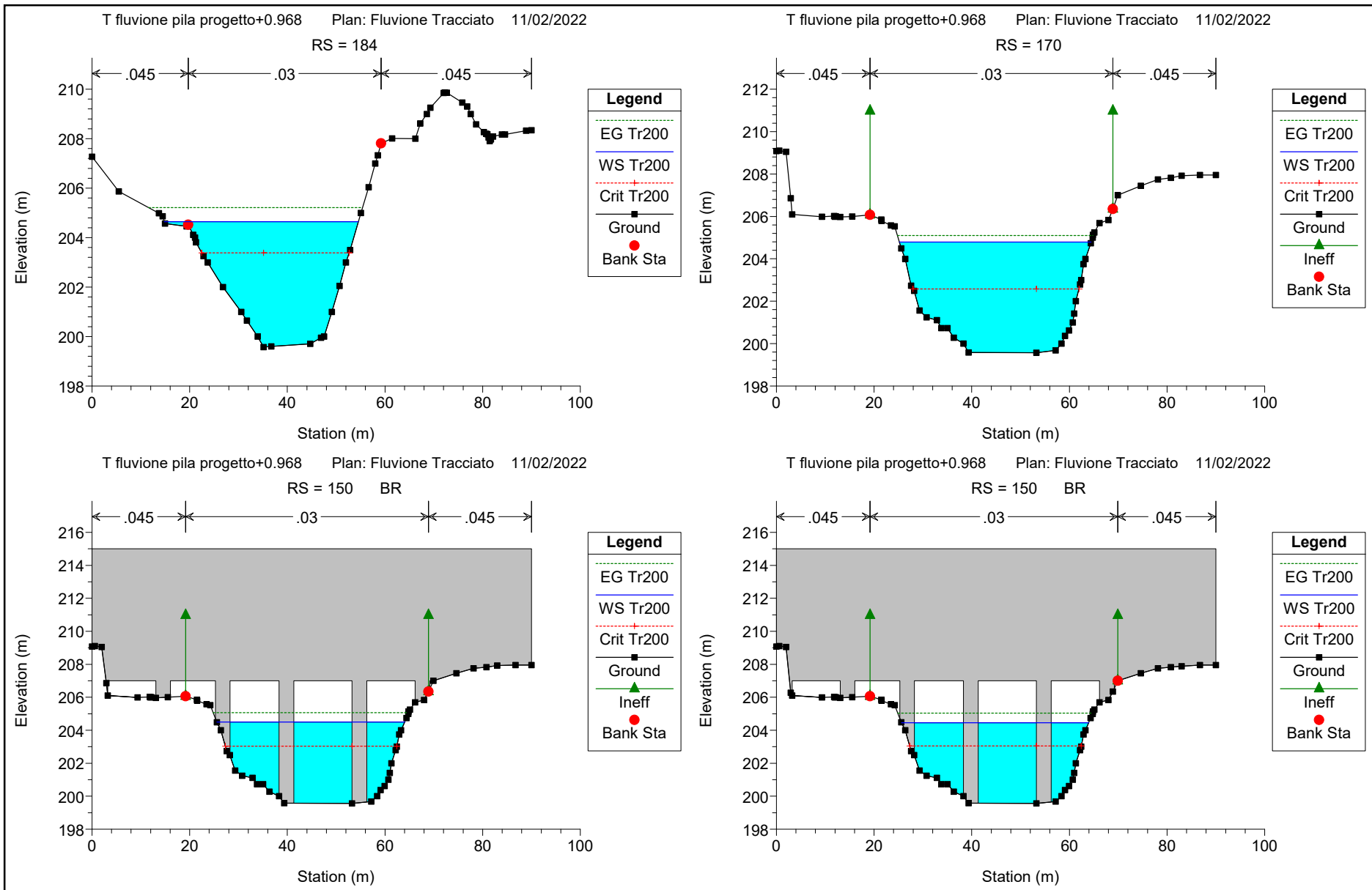


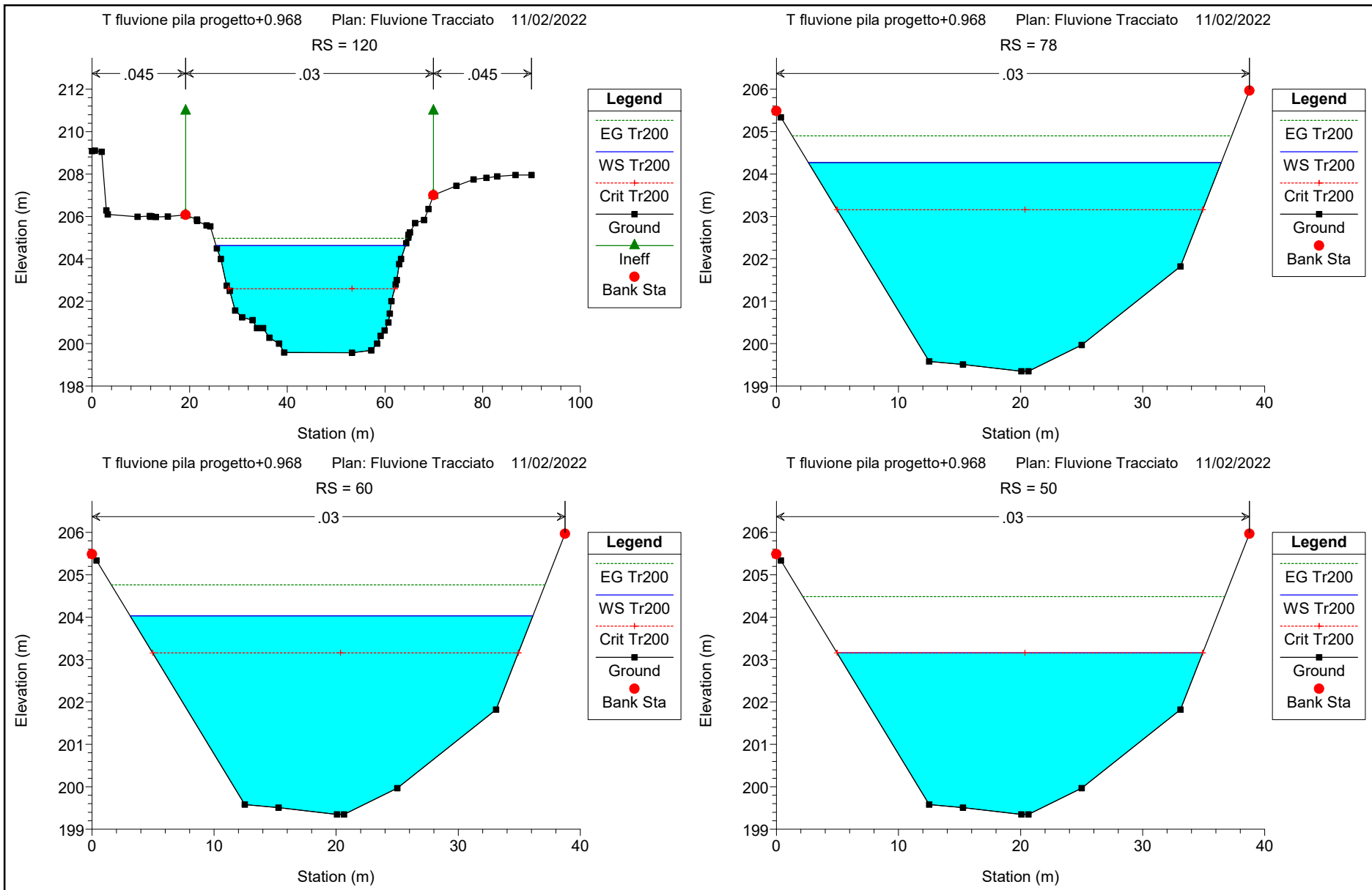






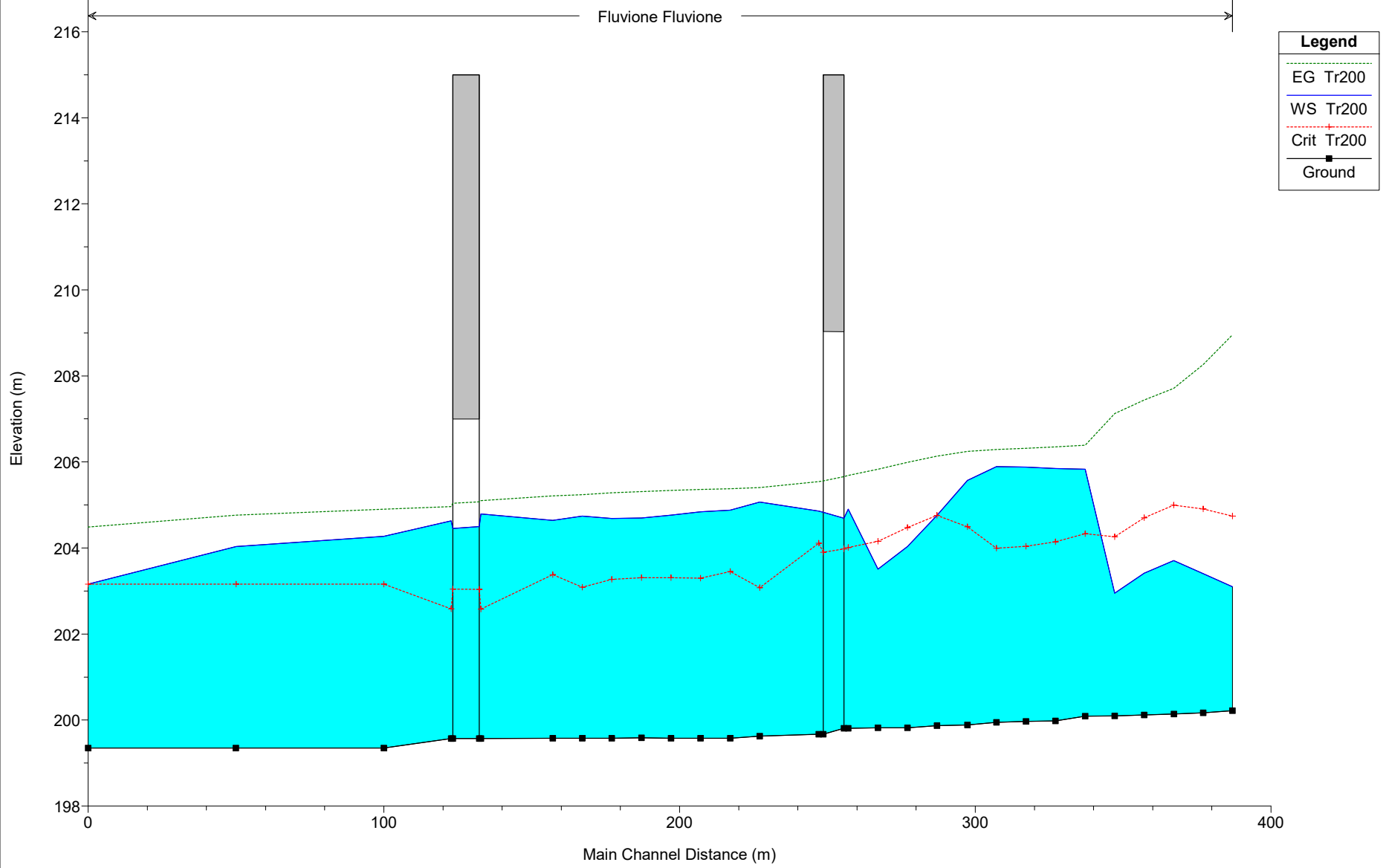






T fluvione pila progetto+0.968 Plan: Fluvione Tracciato 11/02/2022

Fluvione Fluvione



HEC-RAS Plan: Fluvione River: Fluvione Reach: Fluvione Profile: Tr200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Fluvione	896	Tr200	400.00	200.22	203.10	204.74	208.96	0.048070	10.72	37.32	19.50	2.47
Fluvione	869	Tr200	400.00	200.17	203.41	204.91	208.26	0.035216	9.76	40.99	19.17	2.13
Fluvione	822	Tr200	400.00	200.14	203.71	205.00	207.71	0.026986	8.86	45.15	19.36	1.85
Fluvione	793	Tr200	400.00	200.12	203.41	204.70	207.44	0.028606	8.88	45.03	20.16	1.90
Fluvione	757	Tr200	400.00	200.10	202.95	204.26	207.13	0.031378	9.05	44.20	21.33	2.01
Fluvione	725	Tr200	400.00	200.09	205.83	204.33	206.39	0.002002	3.30	121.11	33.87	0.56
Fluvione	679	Tr200	400.00	199.98	205.85	204.14	206.35	0.001781	3.15	127.08	35.29	0.53
Fluvione	644	Tr200	400.00	199.97	205.88	204.04	206.31	0.001477	2.92	136.90	36.92	0.48
Fluvione	620	Tr200	400.00	199.95	205.89	204.00	206.29	0.001356	2.81	142.55	38.61	0.47
Fluvione	582	Tr200	400.00	199.89	205.57	204.49	206.24	0.002653	3.63	110.18	33.33	0.64
Fluvione	548	Tr200	400.00	199.87	204.76	204.76	206.13	0.007060	5.19	77.01	28.00	1.00
Fluvione	520	Tr200	400.00	199.82	204.03	204.48	205.99	0.010925	6.20	64.55	25.14	1.23
Fluvione	485	Tr200	400.00	199.82	203.51	204.15	205.83	0.013480	6.75	59.25	23.69	1.36
Fluvione	460	Tr200	400.00	199.81	204.90	204.01	205.69	0.003150	3.92	102.11	31.33	0.69
Fluvione	432		Bridge									
Fluvione	404	Tr200	400.00	199.67	204.86	204.11	205.54	0.002899	3.69	113.06	41.70	0.66
Fluvione	381	Tr200	400.00	199.63	205.07	203.07	205.40	0.001002	2.59	160.69	44.29	0.41
Fluvione	355	Tr200	400.00	199.58	204.88	203.45	205.37	0.001661	3.15	133.47	43.26	0.52
Fluvione	331	Tr200	400.00	199.58	204.84	203.30	205.36	0.001653	3.20	128.57	36.65	0.52
Fluvione	308	Tr200	400.00	199.58	204.76	203.31	205.34	0.001857	3.36	121.95	35.11	0.54
Fluvione	276	Tr200	400.00	199.59	204.70	203.31	205.31	0.002030	3.48	117.13	33.96	0.56
Fluvione	246	Tr200	400.00	199.58	204.69	203.27	205.28	0.001939	3.42	118.88	34.60	0.55
Fluvione	221	Tr200	400.00	199.58	204.74	203.09	205.24	0.001586	3.12	129.53	37.18	0.50
Fluvione	184	Tr200	400.00	199.58	204.64	203.38	205.21	0.002094	3.34	120.49	39.73	0.57
Fluvione	170	Tr200	400.00	199.57	204.79	202.58	205.10	0.000913	2.46	162.70	39.29	0.39
Fluvione	150		Bridge									
Fluvione	120	Tr200	400.00	199.57	204.63	202.58	204.96	0.001026	2.56	156.28	38.82	0.41
Fluvione	78	Tr200	400.00	199.35	204.27	203.16	204.90	0.002390	3.51	113.83	33.82	0.61
Fluvione	60	Tr200	400.00	199.35	204.03	203.16	204.76	0.002927	3.78	105.96	33.01	0.67
Fluvione	50	Tr200	400.00	199.35	203.16	203.16	204.49	0.006940	5.10	78.38	29.96	1.01