

S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LORETO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)

**S.S. 38 - LOTTO 4: NODO DI TIRANO -
TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE - SVINCOLO LA GANDA)
E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA - CAMPONE IN TIRANO)**

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4863 W)	 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	 Società designata:  Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

GEOLOGO

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Valerio BAJETTI

Dott. Geol. Francesco AMANTIA SCUDERI

Ing. Gaetano RANIERI



FA01

**F - PROGETTO IDRAULICO
FA - IDRAULICA FIUME ADDA
RELAZIONE IDRAULICA F. ADDA**

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	FA01-T00ID01IDRRE01_A.dwg			
MI324	E	1801	CODICE ELAB. T00ID01IDRRE01		A	----

C					
B					
A	EMISSIONE		GENNAIO 2019	ING. FABRIZIO BAJETTI	ING. FABRIZIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
1	OTTEMPERANZA ALLE OSSERVAZIONI DEL C.S.LL.PP. E DEL CIPE	2
2	IDROLOGIA	6
3	IDRAULICA FLUVIALE	6
3.1	Descrizione generale dell'infrastruttura ed obiettivi dello studio	6
3.2	Studio del deflusso di piena: metodo di calcolo	6
3.3	dati di base	12
3.4	scabrezze	16
4	VERIFICHE IDRAULICHE.....	19
4.1	Progetto AIPO.....	19
4.2	Risultati della modellazione idraulica	22
4.2.1	Stato Attuale	22
4.3	Stato di progetto	24
5	VALUTAZIONE DEI FENOMENI DI TRASCINAMENTO ED EROSIONE AL PIEDE DEL RILEVATO	29
6	CALCOLO DELLO SCALZAMENTO DELLE PILE DEI PONTI	33
6.1	Analisi granulometrica.....	34
6.2	Nuovo ponte di Stazzona.....	45
6.2.1	Scalzamento per la pila1.....	45
7	VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE	46
7.1	Compatibilità idraulica dei ponti nuovi di Tirano e Stazzona.....	48
7.2	Compatibilità idraulica del rilevato.....	49
8	VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO DURANTE LE FASI DI LAVORO	51
8.1	Determinazione della portata per la verifica idraulica	51
8.2	Opere provvisorie in alveo	51
9	CONSIDERAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO NEL TRATTO DI FIUME ADDA IN ESAME	54
10	BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	60
35	ALLEGATO A: PLANIMETRIA CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI IDRAULICHE	61
36	ALLEGATO B: RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA, STATO ATTUALE	63
36.1	TABELLE DEI RISULTATI	63
36.2	PROFILI	66
36.3	SEZIONI.....	69
37	ALLEGATO C: RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA, STATO DI PROGETTO	76
37.1	TABELLE DEI RISULTATI	76
37.2	PROFILI	79
37.3	SEZIONI.....	82

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica ha lo scopo di determinare le portate di piena del fiume Adda in Valtellina in relazione alla progettazione della strada statale SS-38 tra lo svincolo di Stazzona e quello di Lovero, con collegamento della dogana di Poschiavo.

Nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) è stato analizzato tutto il corso del fiume Adda fra Tirano e Stazzona, con una simulazione idraulica su 103 sezioni fluviali. In questa sede non si ripete lo studio eseguito, ma si verificano i tratti significativi in cui la variante di progetto può modificare il comportamento idraulico.

Alla luce di quanto esposto, le principali verifiche da condurre mediante la simulazione dei deflussi sono le seguenti:

- verifica della compatibilità idraulica del nuovo ponte di Stazzona;
- verifica della compatibilità idraulica del nuovo ponte di Tirano;
- verifica della compatibilità idraulica di alcuni tratti di rilevato che interferiscono con le fasce fluviali A e B.

1 OTTEMPERANZA ALLE OSSERVAZIONI DEL C.S.LL.PP. E DEL CIPE

Il CIPE ha predisposto il "Foglio Condizioni" in sede di approvazione del progetto definitivo. In particolare, per gli aspetti idraulici relativi al fiume Adda, ha osservato:

1.4.1 Si ritiene necessario un attento processo di revisione che prenda in considerazione tutti gli aspetti del calcolo delle portate e del dimensionamento dei manufatti.

1.4.2 Si prescrive il rispetto sia dei franchi previsti dalle Norme tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 -5.1.2.4 Compatibilità Idraulica e quanto previsto dalla Circolare de 12 febbraio 2009, n.617 C.S.LL.PP), il rispetto dell'interasse netto minimo di 40 m misurati ortogonalmente alla corrente fra pile contigue e fra pila e spalla per il ponte di Tirana, l'attenzione nell'interferenza delle pile in alveo con le strutture arginali per l'attraversamento a valle di Stazzona.

1.4.8 Si ritiene necessaria l'individuazione degli interventi provvisori da realizzarsi in fase di costruzione dell'opera.

1.4.9 In rapporto al Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po (PAI), si verifichino in dettaglio, fermo restando l'adeguamento delle opere ad eventuali ulteriori e successive indicazioni dell'Agenzia Interregionale per il Po (AIPO):

1.4.10 Il franco sulle difese arginali esistenti nei tratti a cavallo degli attraversamenti del fiume Adda, dove il profilo di piena disturbato dalle pile presenta innalzamenti non trascurabili; qualora esso risulti inferiore a 1m, dovrà essere valutata d'intesa con AIPO la necessità di conseguenti modifiche progettuali atte a porre in sicurezza il territorio in fascia C a tergo di tali difese.

1.4.10.1 L'adeguata protezione, rispetto alle quote di piena, delle opere relative al tratto interferente con il limite di progetto tra le fasce fluviali B e C e a quello interno all'attuale fascia B in sponda destra a valle del ponte di Stazzona, sia nel caso in cui AIPO realizzasse il previsto argine prima della variante stradale che nel caso contrario; in quest' ultima ipotesi, il corpo stradale dovrà comunque consentire la successiva realizzazione dell'argine in progetto.

1.4.10.2 Le fondazioni delle pile e delle spalle, che dovranno essere in grado di resistere in sicurezza al massimo scalzamento prevedibile, mettendo in conto sia l'effetto di amplificazione dovuto all'interessamento dei plinti che la possibile evoluzione morfologica

1.4.13 Riguardo allo stesso ponte di Stazzona, la pila "2" dovrà essere eseguita senza interferire con l'esistente difesa spondale radente, e quindi situata completamente al di fuori dell'alveo attivo del fiume; il plinto di fondazione della pila "1" dovrà essere costruito a quote di sicurezza rispetto

sia all'erosione transitoria che alla presumibile evoluzione geomorfologica del fondo alveo in relazione alla vita dell' opera, e can forma geometrica compatibile con l'andamento dei filetti fluidi nel tratto.

1.4.14 La spalla "A" e la pila "A" del ponte sull'Adda di Tirano dovranno essere realizzate al di fuori dell'alveo attivo, con particolare riferimento alle loro strutture fondali; nelle fasi esecutive sono da escludersi tassativamente scavi che coinvolgano le difese spondali esistenti, prevedendo eventualmente opportune opere provvisorie di sostegno delle terre.

1.4.15 Sia assicurata, attraverso opportune opere provvisorie e per tutta la durata del cantiere nel tratto interessato dagli attraversamenti sopraddetti, la continuità delle difese idrauliche interferite, spondali e di contenimento dei livelli, su entrambe le sponde.

1.4.16 È fatto esplicito divieto di asportazione di materiale d'alveo.

1.4.17 Nella progettazione esecutiva siano approfondite e completate le verifiche di compatibilità relative al nuovo ponte collegamento tra Stazzona e Villa di Tirano, e siano eseguite le necessarie verifiche di compatibilità relative al nuovo ponte di collegamento all'abitato di Tirano.

1.4.18 Nuovo attraversamento Stazzona -Villa di Tirano:

a) Verifica della sicurezza strutturale del rilevato di accesso in Fascia B rispetto ai fenomeni di infiltrazione e di sifonamento e rispetto ai fenomeni turbolenti locali che si passano instaurare nell'intorno dei fornicati con rischi per la stabilità del manufatto.

b) Completamento delle verifiche di scalzamento al fine di tenere conto del possibile effetto di amplificazione dovuto all'ingombro dei plinti di fondazione, e della possibile errata applicazione del metodo di Breusers.

c) Valutazione dell'effetto di erosione localizzata in corrispondenza delle spalle.

1.4.19 Nuovo attraversamento di Tirano:

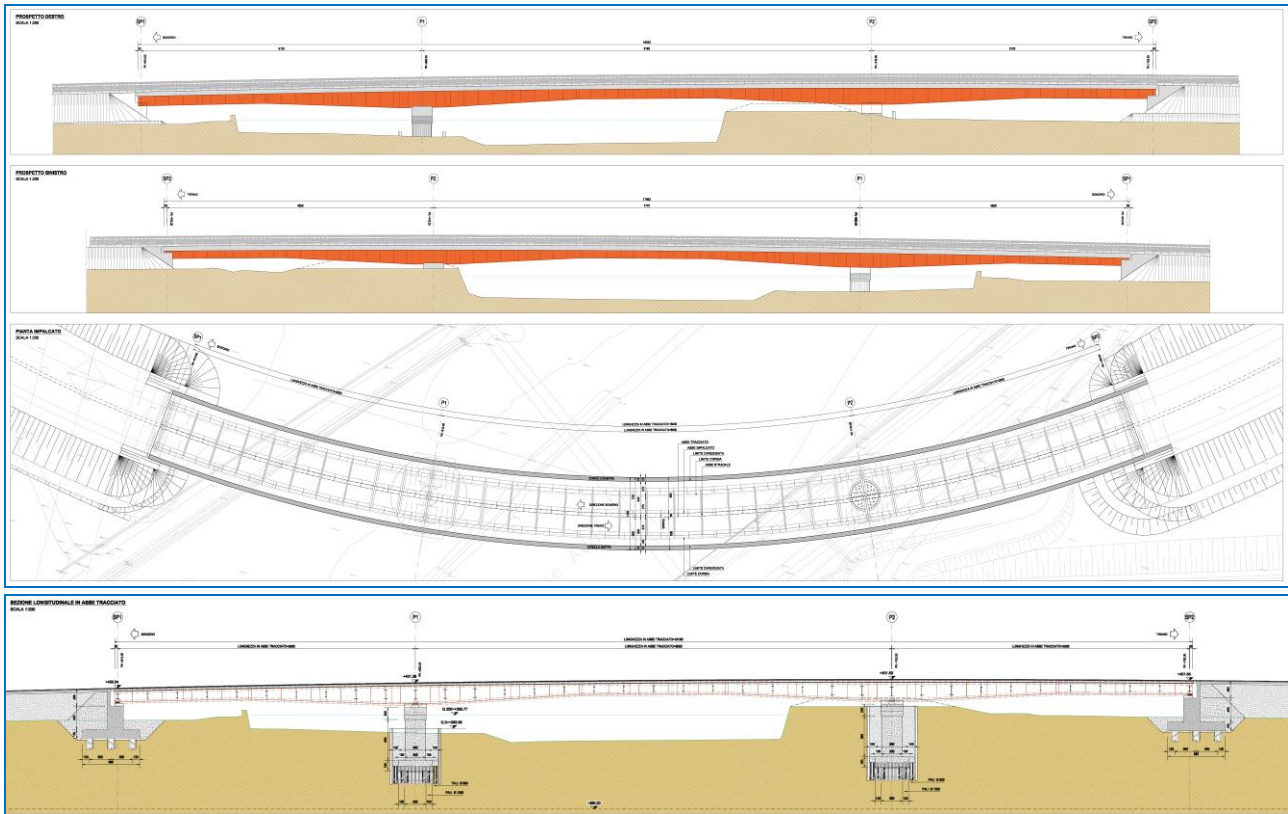
a) Verifica esplicita del franco idraulico e verifica degli effetti di interferenza con il deflusso della piena di riferimento dovuti alla presenza delle pile.

b) Verifica delle massime profondità di scavo per erosione localizzata in corrispondenza delle fondazioni delle pile ed eventualmente delle spalle, tenendo nella dovuta considerazione la possibile interazione tra pile ravvicinate.

I progettisti, nella redazione del presente elaborato di progetto esecutivo, hanno seguito i seguenti criteri, per ottemperare alle condizioni degli Organi Istruttori:

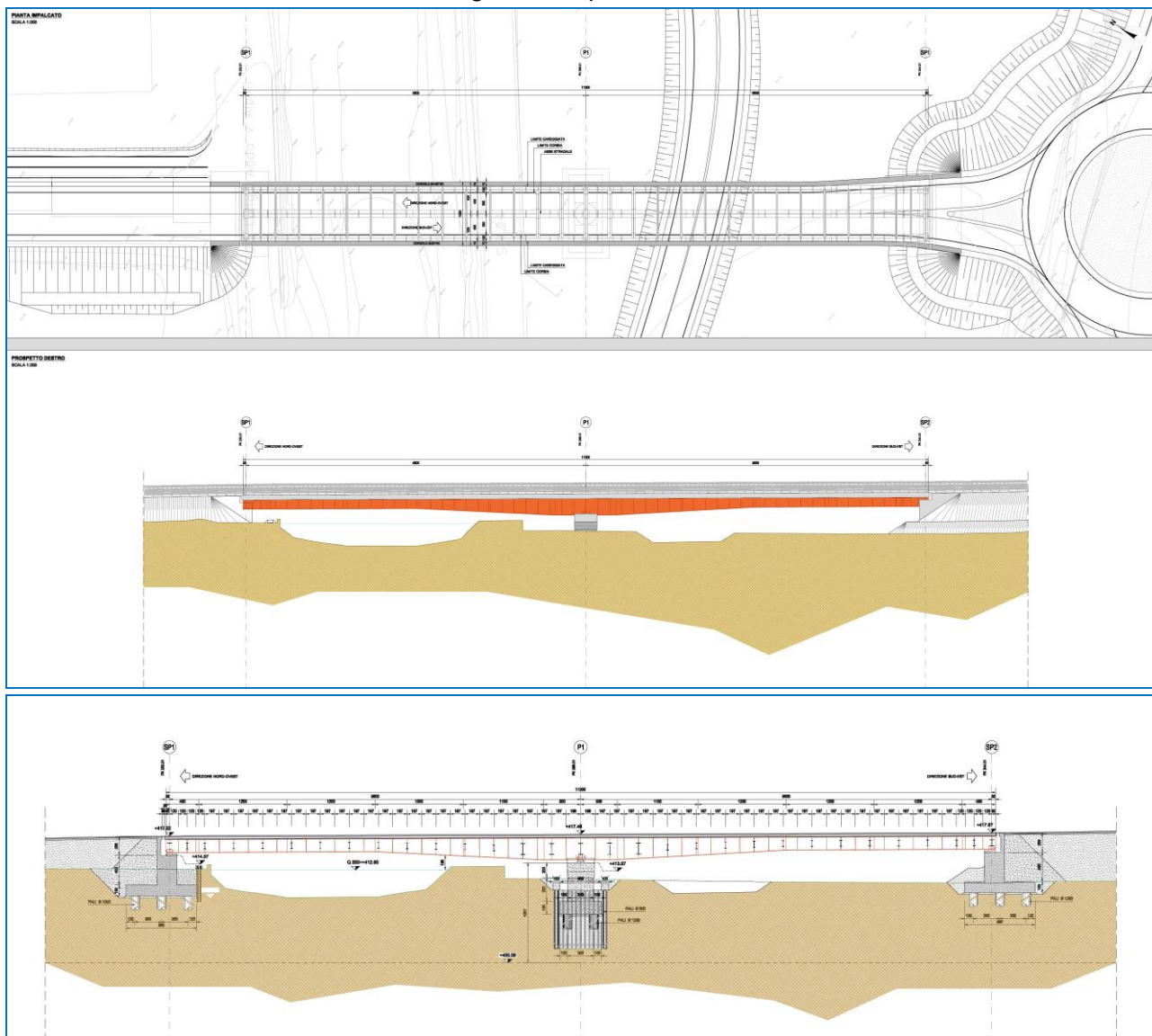
Ponte Stazzona:

- Le luci del ponte sono state aumentate, prevedendo la campata centrale lunga $L=80\text{m}$ e le due campate di riva lunghe $L=50\text{m}$.
- Le fondazioni delle pile saranno eseguite "a pozzo" per aumentare la stabilità del manufatto fondazionale e aumentare la sicurezza in fase di esecuzione.
- Si da continuità della strada arginale in sponda Dx, con eliminazione del sottopasso.
- Spostamento della strada arginale sponda Sx a monte del nuovo tracciato ed eliminazione del sottopasso.



Ponte Tirano:

- Le luci del ponte sono state aumentate, prevedendo due campate lunghe $L=56m$.
- Le fondazioni della pila saranno eseguite "a pozzo" per aumentare la stabilità del manufatto fondazionale e aumentare la sicurezza in fase di esecuzione.
- È stata data continuità alla strada arginale in sponda SX con franco min 5.00 metri.



Così operando, allungando le luci dei ponti ed in particolare portando le fondazioni delle spalle e delle pile del ponte Tirano al di fuori degli argini, e del ponte Stazzona lasciando in alveo una unica pila circolare, con fondazioni a "pozzo" i progettisti ritengono di aver eliminato le situazioni critiche evidenziate dal CIPE e dal C.S.LL.PP.

Ovviamente, sono state eseguite le seguenti verifiche idrauliche:

- le verifiche idrauliche del Fiume Adda, nelle situazioni ante e post operam, per tempi di ritorno duecentennali;
- le verifiche di stabilità delle opere fondazionali comprese quelle allo scalcamento;
- le verifiche relative all'adeguata protezione, rispetto alle quote di piena, delle opere relative al tratto interferente con il limite di progetto tra le fasce fluviali B e C e a quello interno all'attuale fascia B in sponda destra a valle del ponte di Stazzona.

2 IDROLOGIA

Per il presente progetto si assumono i valori di portata dello studio dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po. Di seguito si allega la tabella riportata nel capitolo "conclusioni" della Relazione Idrologica del Fiume Adda, allegata al progetto.

Stazione	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Adda a Tirano	830 m ³ /s
Adda a valle della confluenza del torrente Poschiavino	917 m ³ /s

Tabella 3.1 - Portate di piena di progetto (m³/s)

3 IDRAULICA FLUVIALE

3.1 DESCRIZIONE GENERALE DELL'INFRASTRUTTURA ED OBIETTIVI DELLO STUDIO

La nuova viabilità in progetto è costituita principalmente da quanto sotto elencato.

- Rotatoria di Villa di Tirano, ubicata sulla destra idraulica del fiume Adda;
- Asta di collegamento Villa di Tirano - Stazzona: realizzata con un sottopasso della ferrovia, in curva, e un tratto in rilevato;
- Ponte sul fiume Adda di Stazzona;
- Rotatoria di Stazzona, ubicata sulla sinistra idraulica del fiume Adda;
- Asse principale della variante di Tirano, ubicata sulla sinistra idraulica del fiume Adda;
- Rotatoria e svincolo di Tirano, con ponte sul fiume Adda;
- Galleria Il Dosso; in sinistra idraulica;
- Rotatoria di Campone, in sinistra idraulica.

3.2 STUDIO DEL DEFLUSSO DI PIENA: METODO DI CALCOLO

Per lo studio del deflusso di piena, corrispondente ad un valore del tempo di ritorno pari a 200 anni è stato utilizzato un modello matematico in grado di operare in condizioni di moto stazionario monodimensionale (portata costante e geometria dell'alveo variabile).

Il software di calcolo Hec-Ras (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) è stato sviluppato al *Hydrologic engineering Center dall'U.S. Army Corps of Engineers*.

Hec-Ras è un sistema integrato di software, largamente utilizzato negli studi di idraulica fluviale e consente di calcolare i profili idrici per canali di forma qualunque, naturali ed artificiali, integrando numericamente l'equazione differenziale del moto permanente mediante il metodo comunemente noto in letteratura come "standard step"; per il calcolo delle perdite di carico ripartite si adotta l'espressione di Manning.

Al fine di verificare se la sezione fluida in progetto è idonea a smaltire la portata in corrispondenza degli attraversamenti, con riferimento ad un valore medio della pendenza del corso d'acqua in corrispondenza dell'opera in progetto ed al valore massimo del "contributo di piena, si determina l'altezza massima d'acqua corrispondente al livello di massima piena ed il corrispondente franco libero al di sotto dell'opera in progetto.

La verifica comporta che il franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 0.50 m; le stesse prescrizioni devono essere rispettate per le sezioni a monte ed a valle del ponte o del tombino, ove per franco minimo si intende la distanza tra il livello di massima piena di progetto e la sommità dei muri d'argine previsti.

L'altezza cinetica della corrente vale:

$$H = V^2 / (2g) \quad (4-1)$$

I rilievi topografici, eseguiti specificatamente per questo intervento, sono serviti a fornire nuove informazioni e a integrare e verificare quelle già disponibili in sede di progetto definitivo.

Il programma HEC-RAS è in grado di determinare numericamente il profilo idraulico, per condizioni di moto permanente con variazioni graduali di sezione, in alvei naturali o in canali.

La superficie idrica in ogni sezione è calcolata a partire dal valore del livello idrico in una sezione adiacente mediante una procedura iterativa, basata sulla integrazione alle differenze finite dell'equazione del moto, comunemente nota in letteratura come "standard step method".

L'equazione del moto monodimensionale a superficie libera, per sezione gradualmente variabili può essere scritta nella forma:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (4-2)$$

con:

WS_1, WS_2 = superficie idrica alla sezione

V_1, V_2 = velocità media della corrente (Portata totale /Area della sezione bagnata)

α_1, α_2 = coefficienti di ragguglio dell'altezza cinetica

g = accelerazione di gravità

h_e = perdita di carico totale

Nella figura seguente si mostra uno schema illustrativo della terminologia adottata.

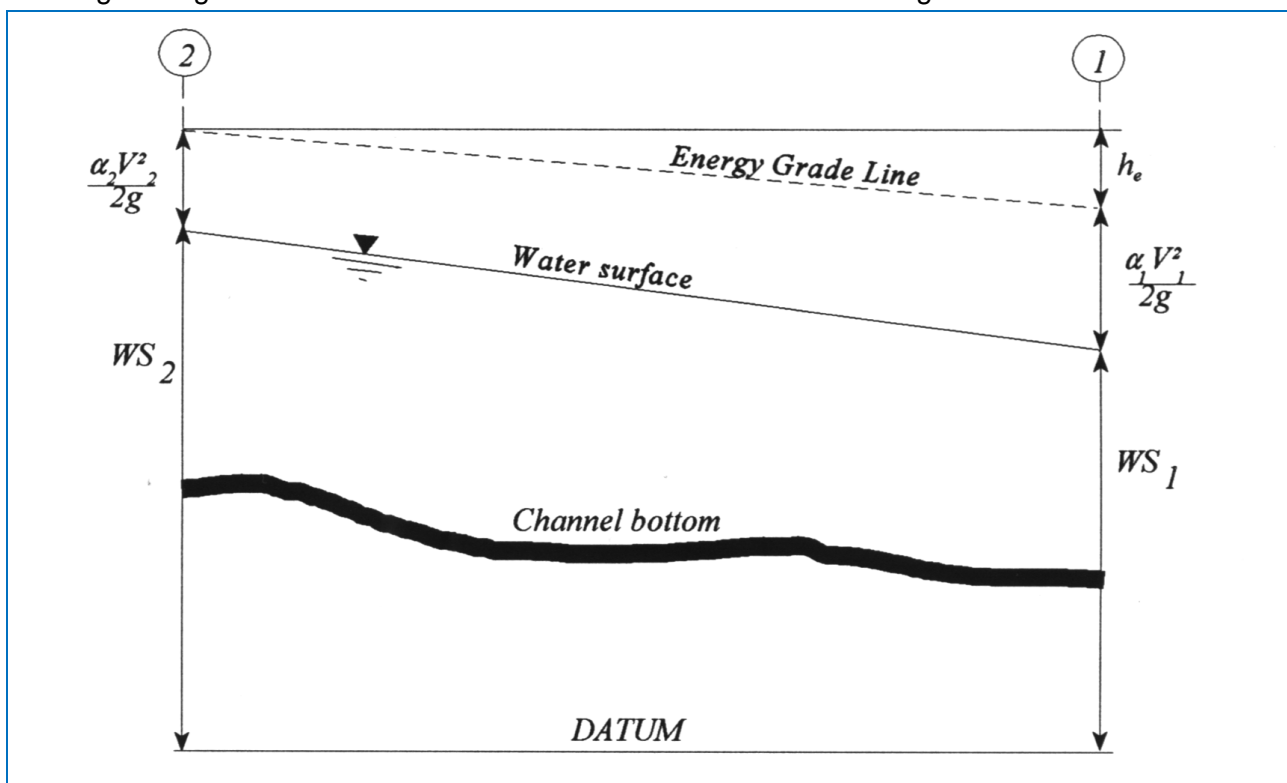


Figura 4.1-Rappresentazione schematica dei termini presenti nell'equazione del moto

La perdita di carico totale tra due sezioni adiacenti (h_e) comprende le perdite di carico ripartite per attrito al contorno e quelle per allargamenti o restringimenti della sezione.

L'equazione che specifica tali termini è la:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left/ \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right/ \quad (4-3)$$

con:

L = distanza idraulica tra le due sezioni

S_f = perdita di carico ripartita media del tronco tra le due sezioni

C = coefficienti per le perdite di carico concentrate

La distanza L tra le due sezioni è calcolata mediante la:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (4-4)$$

con:

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = distanza tra le golene sinistre, i canali principali e le golene destre rispettivamente

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} = media aritmetica delle portate nel tronco compreso tra le due sezioni, suddivisa tra golena sinistra, canale principale e golena destra, rispettivamente.

Suddivisione della sezione agli effetti del calcolo della portata specifica

Il calcolo della portata specifica totale e dei coefficienti di ragguglio dell'altezza cinetica per una sezione, richiede una suddivisione della corrente in elementi in cui la velocità sia distribuita uniformemente.

L'approccio seguito da HEC-RAS consiste nel suddividere la corrente usando i punti di discontinuità introdotti per specificare la variazione del coefficiente di scabrezza sulla sezione (figura 4.2). La portata specifica è calcolata in ogni subsezione mediante la formula:

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \quad (4-5)$$

con:

- K = portata specifica per la subsezione
- n = coefficiente di scabrezza di Manning per la subsezione
- A = area bagnata della subsezione
- R = raggio idraulico della subsezione (area / contorno bagnato)

La somma della portata specifica calcolata per ogni subsezione fornisce la portata specifica totale della sezione.

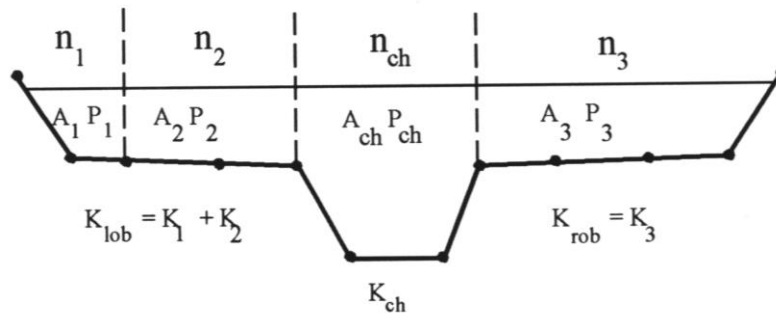


Figura 4.2 - Metodologia di calcolo utilizzata per default da HEC-RAS

Il coefficiente di ragguglio dell'energia cinetica α

Il coefficiente di ragguglio dell'energia cinetica è calcolato sulla base della suddivisione della portata specifica in tre subsezioni, golena sinistra, canale principale e golena destra. E' determinato per il tramite della equazione:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{subch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3} \quad (4-6)$$

con:

- A_t = area bagnata totale della sezione
- A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = area bagnata rispettivamente della golena sinistra, del canale principale e della golena destra
- K_t = portata specifica totale
- K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = portata specifica totale rispettivamente della golena sinistra, del canale principale e della golena destra

Calcolo delle perdite di carico ripartite

Le perdite di carico ripartite sono calcolate in HEC-RAS come prodotto di \underline{S}_f ed L (4-3), dove \underline{S}_f è la pendenza della curva dei carichi totali media per il tronco ed L è definito dall'equazione 4-4. La pendenza motrice (pendenza della curva dei carichi totali) è calcolata ad ogni sezione mediante la formula di Manning:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (4-7)$$

Alcune espressioni alternative possono essere utilizzate in HEC-RAS:

Average Conveyance Equation

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2 \quad (4-8)$$

Average Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f_1} + S_{f_2}}{2} \quad (4-9)$$

Geometric Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} \cdot S_{f_2}} \quad (4-10)$$

Harmonic Mean Friction Slope Equation

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} \cdot S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}} \quad (4-11)$$

L'equazione (4-7) è quella utilizzata dal programma per default, per quanto sia possibile adottare automaticamente la formula che meglio si adatta a ciascun tipo di profilo (corrente lenta o veloce, ritardato o accelerato)

Calcolo delle perdite di carico per espansione o contrazione

Le perdite di carico per contrazione ed espansione sono calcolate da HEC-RAS per mezzo dell'equazione:

$$h_o = C/\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} \quad (4-12)$$

con: $C =$ coefficiente di contrazione o espansione

Il programma ipotizza che una contrazione ha luogo ogni qualvolta l'altezza cinetica di valle è maggiore dell'altezza cinetica di monte. Analogamente nel caso in cui l'altezza cinetica di monte è maggiore dell'altezza cinetica di valle il programma assume la presenza di una espansione della corrente.

Metodologia di calcolo

L'altezza idrica incognita, alla sezione di calcolo, è determinata mediante un procedimento iterativo basato sulle equazioni (4-2) e (4-3). La procedura è la seguente:

1. Si assume un valore di tentativo per il livello idrico sulla sezione di monte (o di valle nel caso in cui si ipotizzi una corrente di tipo veloce).
2. Si calcola il valore della portata specifica totale e l'altezza cinetica per il livello di tentativo.
3. In base ai valori calcolati al passo 2 si calcola \underline{S}_f e si risolve l'equazione 4-3 per il valore di h_e .
4. Con i valori calcolati ai passi 2 e 3, si calcola WS_2 mediante la (4-2).
5. Si confronta il valore calcolato di WS_2 con quello di tentativo del passo 1.

Si ripetono i passi dall'1 al 5 fino a che i due valori non differiscono per meno di .003 m, o il differente valore specificato dall'utente.

I valori iniziali presi in considerazione riguardano le condizioni di moto uniforme, rispettivamente per i vari tempi di ritorno, in una sezione di valle sufficientemente lontana dai ponti oggetto di verifica, così da non influenzare i risultati del modello.

Sezioni trasversali

La geometria di ciascun tronco d'alveo è definita mediante la forma e le caratteristiche idrauliche delle sezioni; il posizionamento delle sezioni lungo il corso d'acqua deve pertanto essere effettuato nei punti caratteristici di un tratto di un fiume dove avvengano cambi significativi o della geometria del canale o delle caratteristiche idrauliche. Cambi di geometria dell'alveo ordinario o delle zone golenali causano variazioni dell'area bagnata di origine naturale o artificiale, come ad esempio nel caso di ponti. Variazioni delle caratteristiche idrauliche possono occorrere in corrispondenza di cambi di pendenza, scabrezza o portata.

Le sezioni trasversali devono essere perpendicolari alla direzione della corrente.

Le coordinate dei punti delle sezioni sono generalmente date iniziando dalla sponda sinistra guardando da monte verso valle.

L'utilizzatore deve specificare i limiti dell'alveo centrale e le variazioni di scabrezza lungo le sezioni. E' possibile inserire una o più sezioni interpolate in un tratto di fiume se il cambio di velocità è troppo grande. L'utilizzatore specifica una variazione massima accettabile di carico cinetico con l'opzione di inserimento automatico di sezioni uniformemente spaziate tra le due sezioni date.

La determinazione di una lunghezza media ragionevole dei singoli tronchi del corso d'acqua, per procedere alla ubicazione delle sezioni, può essere effettuata sulla base delle dimensioni dell'alveo, della pendenza, della variabilità delle sezioni, del metodo per il calcolo delle perdite di carico e dal tipo di studio.

Le sezioni sono posizionate in modo tale da rappresentare le singolarità dell'alveo e le variazioni delle dimensioni dello stesso lungo il tratto di indagine.

Il profilo della corrente è ricostruito automaticamente dal programma che distingue il carattere della corrente calcolando la altezza critica e confrontandola con la altezza liquida nella sezione, procedendo da monte verso valle nei tratti in corrente veloce e da valle verso monte nei tratti in lenta.

In questa sede di progettazione esecutiva la geometria dell'alveo è stata definita utilizzando le sezioni idrauliche riportate nello Studio A.I.PO "Analisi idraulica sull'asta dell'Adda Sopralacuale finalizzata alla redazione delle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni", redatto dai professionisti ing. Amos Baggini e ing. Raffaella Begnis per conto dell'Autorità di Bacino del fiume Po (2012), opportunamente controllate e verificate sulla base di un apposito rilievo topografico effettuato dai progettisti in sede di progetto esecutivo.

Condizioni iniziali e aree inefficaci al deflusso

Al fine di far effettuare al software l'integrazione del profilo idrico è necessario specificare la portata e la relativa altezza idrica alla prima sezione di calcolo.

L'altezza d'acqua iniziale può essere specificata in una delle seguenti maniere:

- come altezza critica della sezione per la portata data.
- come altezza nota in funzione del valore di portata.
- con il metodo della "slope-area".
- come altezza assegnata.
- come altezza di moto uniforme con data pendenza motrice.

Come condizioni al contorno, per il calcolo dei profili di corrente, si è posta la condizione di moto localmente uniforme sia nella sezione di monte sia in quella di valle del tratto modellato, assumendo la coincidenza del livello idrico con l'altezza di moto uniforme, assunta la pendenza locale pari alla pendenza del fondo (pari a circa 0,8% a monte e 0,5% a valle).

Ove necessario, sono state inserite delle "ineffective flow areas", cioè i limiti oltre il quale considerare la sezione inefficace al flusso. In particolare, ciò è stato fatto in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dei ponti, per tener in considerazione l'effetto di contrazione ed espansione della vena fluida in ingresso e uscita dall'attraversamento.

3.3 DATI DI BASE

Le grandezze fisiche necessarie all'implementazione del modello numerico sono:

- la geometria dell'alveo;
- i parametri idraulici (resistenza al moto);
- le condizioni al contorno di monte, di valle e nelle eventuali sezioni intermedie di controllo.

La geometria dell'alveo nel tratto di studio è definita attraverso 18 sezioni, estratte dallo studio "Analisi idraulica sull'asta dell'Adda Sopralacuale finalizzata alla redazione delle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni" redatto dai professionisti ing. Amos Baggini e ing. Raffaella Begnis per conto dell'Autorità di Bacino del fiume Po (2012) a cui sono state aggiunte, nella configurazione di progetto le sezioni in prossimità dei nuovi attraversamenti, per un totale di 23 sezioni.

Il tratto di corso d'acqua oggetto dell'analisi è lungo circa 7135 m ed è compreso tra le progressive del corso d'acqua 69529,94 e 62395,70, corrispondenti rispettivamente alle sezioni 333 e 320 del citato studio. Per l'ubicazione delle sezioni dello studio citato, implementate nel modello numerico, si veda l'Allegato A della presente relazione.

Si ritiene necessario chiarire come l'infrastruttura in progetto interferisca con la "gestione" delle aree inondabili, pertanto, in considerazione dei lavori già effettuati da AIPo lungo l'Adda immediatamente a valle dell'abitato di Tirano nel corso del 2015 (riferimento: elaborati di progetto per i "Lavori di sistemazione della confluenza fiume Adda e torrente Poschiavino nei comuni di Tirano, Villa di Tirano e Bianzone (SO)"), le sezioni di cui sopra sono state adeguatamente modificate per rappresentare i seguenti interventi:

- sovrizzo del muro arginale in destra idrografica tra la confluenza del Poschiavino e il ponte esistente presso Stazzona;
- costruzione del nuovo muro arginale a valle del ponte esistente presso Stazzona in destra idrografica;
- consolidamento del piede esistente con protezione mediante formazione di scogliera in massi ciclopici;
- pulizia generale delle sponde dalla vegetazione e regolarizzazione del fondo alveo.



Figura 4.3 - Stato attuale del tratto di fiume Adda sottoposto agli interventi AIPo

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni

Reach	River Sta	Cum Ch Len	Length Chnl	Min Ch El	Levee El Left	Levee El Right
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Adda	69529.94	7119.76	960.84	420.20	427.33	427.33
Adda	68569.1	6158.92	363.62	412.10	416.39	417.37
Adda	68205.48	5795.30	6.00	409.09	413.34	413.81
Adda	68200	Bridge				
Adda	68185	5789.30	489.92	408.92	413.34	413.81
Adda	67695.08	5299.38	472.42	404.80	414.36	411.81
Adda	67222.66	4826.96	502.68	401.01	410.66	407.49
Adda	66719.98	4324.28	362.36	398.20	402.38	403.93
Adda	66357.62	3961.92	467.46	395.30	400.18	401.17
Adda	65890.16	3494.46	10.00	392.55	401.30	400.85
Adda	65880.16	3484.46	1.00	392.50	401.30	400.85
Adda	65875	Bridge				
Adda	65870.16	3474.46	20.00	392.45	401.10	400.65
Adda	65850.16	3454.46	145.16	392.35	401.10	400.65
Adda	65705	3309.30	5.00	391.45	398.68	397.11
Adda	65700	3304.30	2.00	391.42	397.24	396.99
Adda	65690	Bridge				
Adda	65677	3281.30	5.00	391.28	397.24	396.99
Adda	65672	3276.30	488.84	391.25	398.54	396.94
Adda	65183.16	2787.46	517.04	388.20	392.21	393.31
Adda	64666.12	2270.42	390.40	384.50		390.74
Adda	64275.72	1880.02	418.19	382.81		387.60
Adda	63857.53	1461.83	318.56	380.41	385.83	385.52
Adda	63538.97	1143.27	592.88	379.00	384.42	384.60
Adda	62946.09	550.39	550.39	375.59		
Adda	62395.70			372.80	376.84	

Tabella 4.4 - Caratteristiche geometriche del tratto di Adda in esame – stato attuale. (River Sta = N° sezione del corso d'acqua; Cum Ch Len = distanza progressiva delle sezioni; Length Chnl = distanza relativa tra le sezioni; Min Ch El = quota minima della sezione; Levee El Left= quota dell'argine in sinistra idrografica; Levee El Right = quota dell'argine in destra idrografica)

La geometria sopra descritta è stata ulteriormente approfondita, nella configurazione di progetto, tramite l'inserimento di alcune nuove sezioni nei tratti interessati dalla realizzazione dei due nuovi ponti previsti in progetto, riportate nella figura sottostante in rosso.

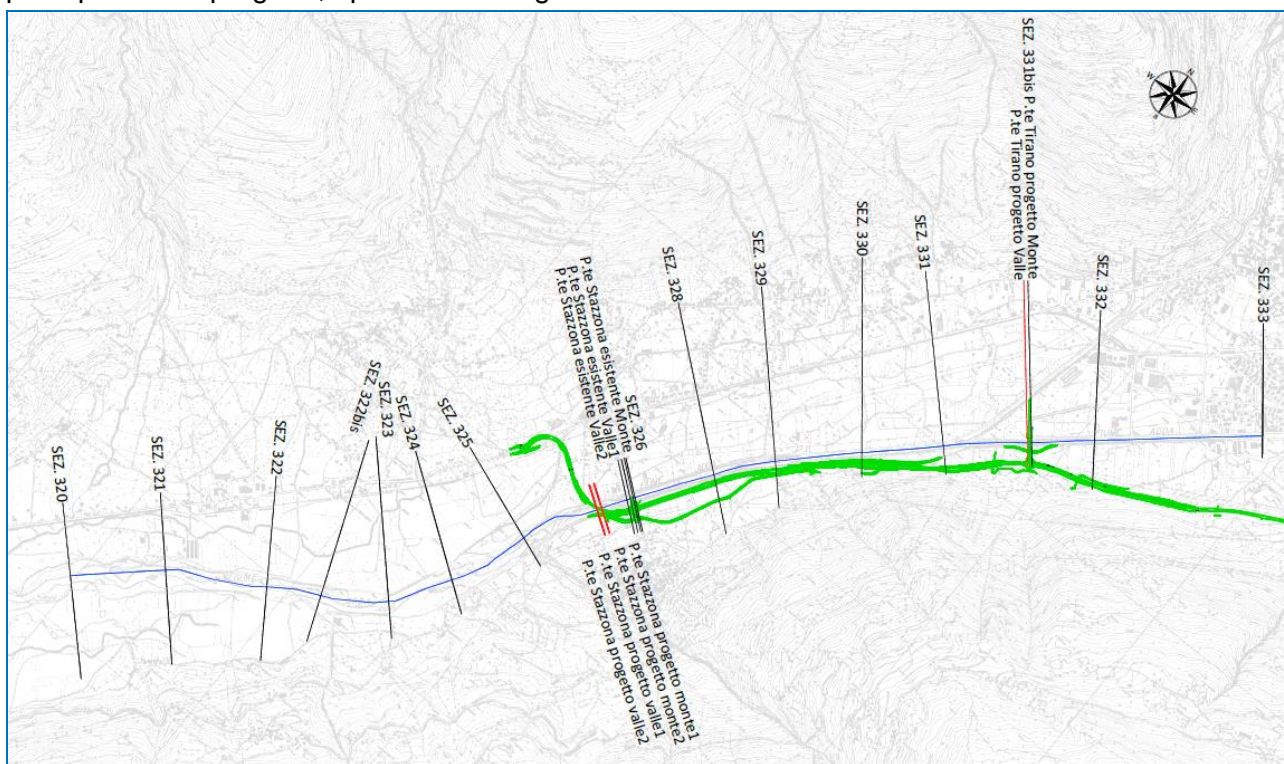


Figura 4.5 - Posizione planimetrica delle sezioni inserite nel modello numerico - le sezioni in rosso sono quelle inserite per modellare le opere di progetto; in verde è riportato il tracciato

In merito al nuovo ponte di Stazzona, è previsto in curva e di lunghezza pari a 180 m con una pila in alveo e una a tergo dell'argine sinistro.

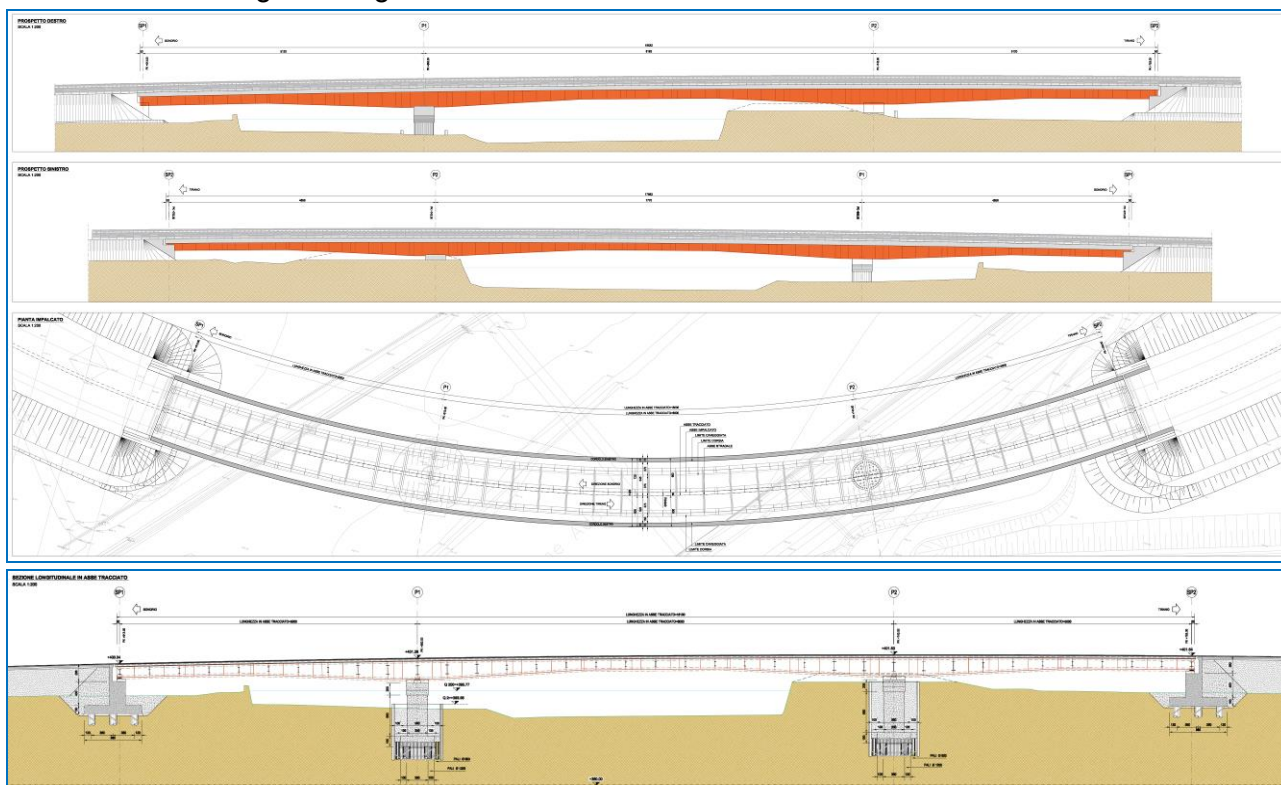


Figura 4.6 – Ponte Stazzona

Il nuovo ponte di Tirano non interessa l'alveo, avendo posizionato spalle e pile al di fuori degli argini.

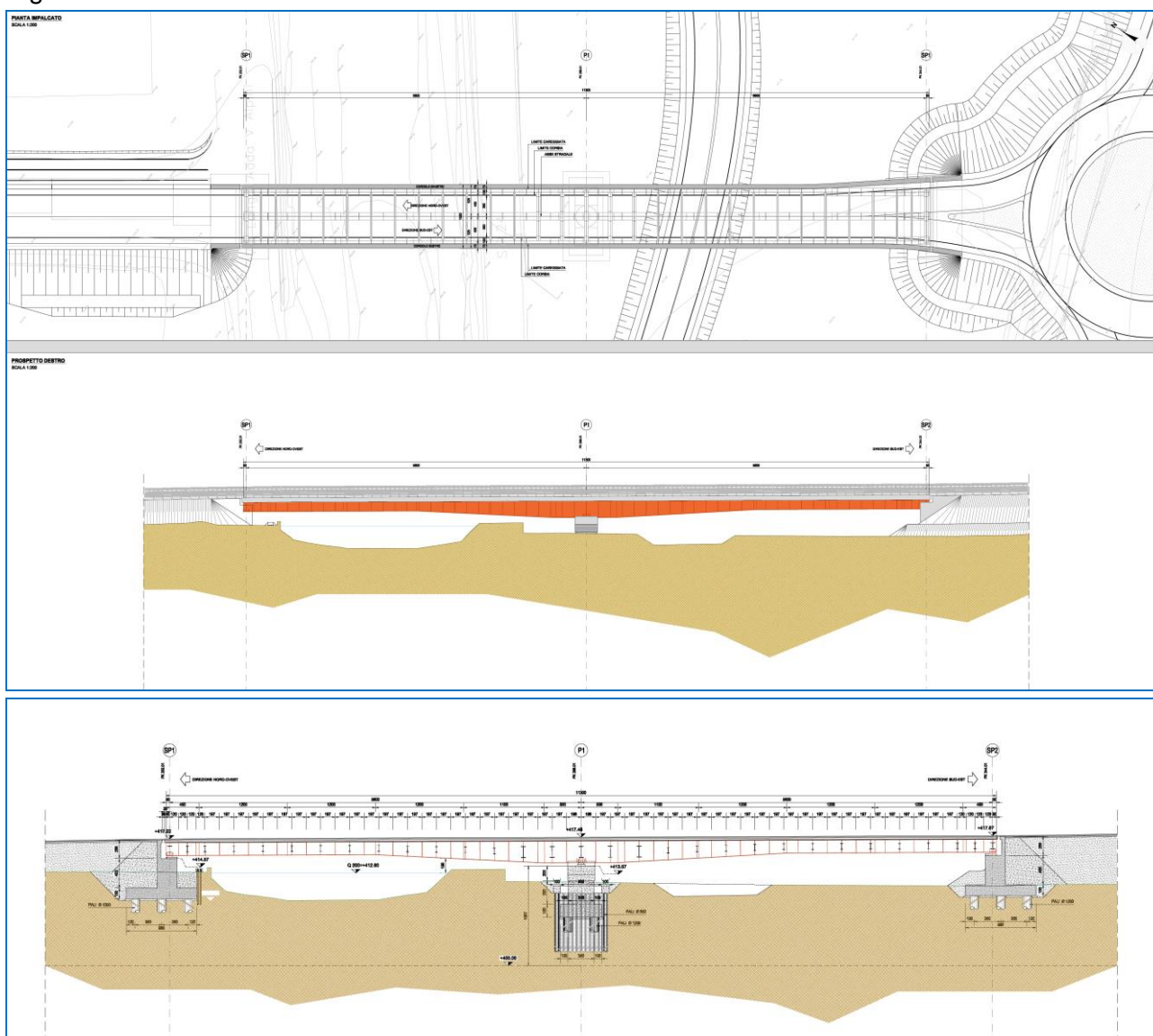


Figura 4.7 – Ponte Tirano

Così operando, allungando le luci dei ponti ed in particolare portando le fondazioni delle spalle e delle pile del ponte Tirano al di fuori degli argini, e del ponte Stazzona lasciando in alveo una unica pila circolare, con fondazioni a "pozzo" i progettisti ritengono di aver eliminato le situazioni critiche evidenziate dal CIPE e dal C.S.LL.PP. Ovviamente, sono state eseguite le seguenti verifiche:

- le verifiche idrauliche del Fiume Adda, nelle situazioni ante e post operam, per tempi di ritorno duecentennali;
- le verifiche di stabilità delle opere fondazionali comprese quelle allo scalzamento;
- le verifiche relative all'adeguata protezione, rispetto alle quote di piena, delle opere relative al tratto interferente con il limite di progetto tra le fasce fluviali B e C e a quello interno all'attuale fascia B in sponda destra a valle del ponte di Stazzona

I parametri idraulici utilizzati da questa relazione sono quindi i seguenti:

- sezioni dello studio A.I.PO;
- tempo di ritorno $T_r = 200$ anni;
- $Q = 830 \text{ m}^3/\text{s}$ a monte della confluenza del torrente Poschiavino;
- $Q = 917 \text{ m}^3/\text{s}$ a valle della confluenza del torrente Poschiavino.

3.4 SCABREZZE

L'utilizzo del programma di calcolo HEC – RAS per il calcolo del pelo libero in moto permanente comporta la conoscenza o la stima della scabrezza dell'alveo stimata secondo Strikler mediante la relazione

$$C = K \cdot R^{1/6}$$

o di Manning

$$C = 1/n K \cdot R^{1/6}$$

dove per "n" si può assumere la procedura consigliata dal V.T. CHOW che porta alla formula della resistenza dell'alveo

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5$$

I valori di scabrezza sotto riportati sono stati tarati nello studio degli ingg. Baggini – Begnis, mediante i valori di livello e di portata noti alle stazioni di Fuentes e Morbegno in occasione della piena del 16.11.2002, ottenendo con il modello di calcolo risultati del tutto analoghi a quelli registrati.

Per la valutazione dei valori di resistenza dell'alveo si fa riferimento alla seguente tabella sperimentale, la cui validità è universalmente riconosciuta.

COEFFICIENTI DI RESISTENZA SECONDO V.T. CHOW			
CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE	
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,028
Forma della sezione trasversale	regolare	n ₁	0,000
	abbastanza regolare		0,005
	moderatamente irregolare		0,010
	molto irregolare		0,020
Grado di uniformità longitudinale	variazioni graduali	n ₂	0,000
	saltuarie strettoie e varici frequenti cambi di sezione		0,005
			0,010
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0,000
	poco importante		0,010
			0,015
	apprezzabile		0,020
			0,030
forte	0,040 0,060		
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,005
			0,010
	media		0,010
	importante		0,025
			0,025
molto importante	0,050 0,050 0,100		
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1
	apprezzabile		1,15
	notevole		1,3

Nel seguito vengono giustificate le scelte per la valutazione delle scabrezze utilizzate per il calcolo. Un particolare procedimento è stato adottato per le sezioni con golene, per le quali si è valutato separatamente il valore della scabrezza che caratterizza le parti di alveo di magra (filone centrale con maggiori velocità) e delle golene (minori velocità). Analogamente è stata valutata una scabrezza diversa per le sponde.

SCABREZZA TRA PONTE TRESEDA E IMMISS. POSCHIAVINO							
CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX	
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020	0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0		0,000	0,000	
	abbastanza regolare		0,005				0,005
	mod. irregolare		0,01				
	molto irregolare		0,02				
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0				
	saltuarie strettoie/varici		0,005		0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010	0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0			0,000	0,000
	poco importante		0,010	0,015	0,010		
	apprezzabile		0,020	0,030			
	forte		0,040	0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002	0,010		0,003	
	media		0,010	0,025	0,010		0,015
	importante		0,025	0,050			
	molto importante		0,050	0,100			
TOTALE CHOW					0,045	0,033	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1				1,000
	apprezzabile		1,15		1,075	1,075	
	notevole		1,3				
COEFF. RESISTENZA					0,048	0,035	0,045
COEFF. STRICKLER					20,67	28,19	22,22

SCABREZZA TRA IMMISS. POSCHIAVINO E RIVALLONE

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,025	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0	0,000	0,000	
	abbastanza regolare		0,005			0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0			
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005	0,005	0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0		0,000	0,000
	poco importante		0,010 0,015	0,010		
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,000	
	media		0,010 0,025	0,010		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,045	0,030	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1		1,000	1,000
	apprezzabile		1,15	1,075		
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,048	0,030	0,045
COEFF. STRICKLER				20,67	33,33	22,22

SCABREZZA GOLENA DX TRA IMMISS. RIVALLONE E TIRANO

CONDIZIONI DEL CORSO D'ACQUA		VALORI DEL COEFFICIENTE		VALORE PROPOSTO GOLENA DX	VALORE PROPOSTO ALVEO	VALORE PROPOSTO GOLENA SX
Materiale d'alveo	massi, ciotoli e sabbia	n ₀	0,020 0,085	0,020	0,020	0,020
Forma sez trasversale	regolare	n ₁	0			
	abbastanza regolare		0,005	0,005	0,000	0,005
	mod. irregolare		0,01			
	molto irregolare		0,02			
Grado uniformità long.	variazioni graduali	n ₂	0		0,000	
	saltuarie strettoie/varici		0,005	0,005		0,005
	frequenti cambi sez.		0,010 0,015			
Effetto delle ostruzioni	trascurabile	n ₃	0	0,000	0,000	0,000
	poco importante		0,010 0,015			
	apprezzabile		0,020 0,030			
	forte		0,040 0,060			
Vegetazione	scarsa	n ₄	0,002 0,010		0,002	
	media		0,010 0,025	0,015		0,015
	importante		0,025 0,050			
	molto importante		0,050 0,100			
TOTALE CHOW				0,045	0,022	0,045
Grado di sinuosità	scarso	m ₅	1	1,000	1,000	1,000
	apprezzabile		1,15			
	notevole		1,3			
COEFF. RESISTENZA				0,045	0,022	0,045
COEFF. STRICKLER				22,22	45,45	22,22

Le condizioni al contorno di monte e di valle sono state fissate imponendo l'instaurarsi del moto uniforme assegnando la pendenza locale del fondo, pari a 0.008 a monte e 0.005 a valle.

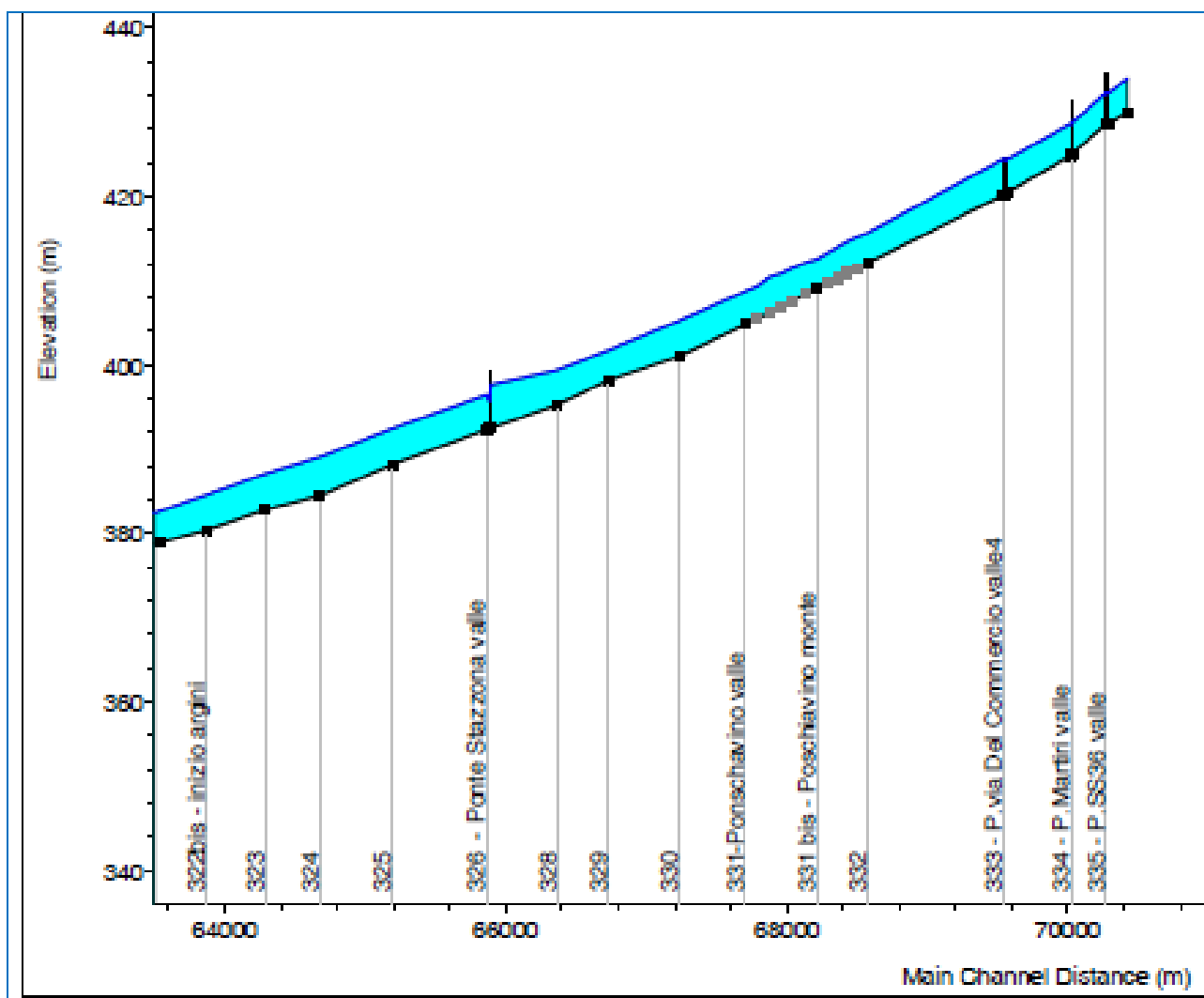
4 VERIFICHE IDRAULICHE

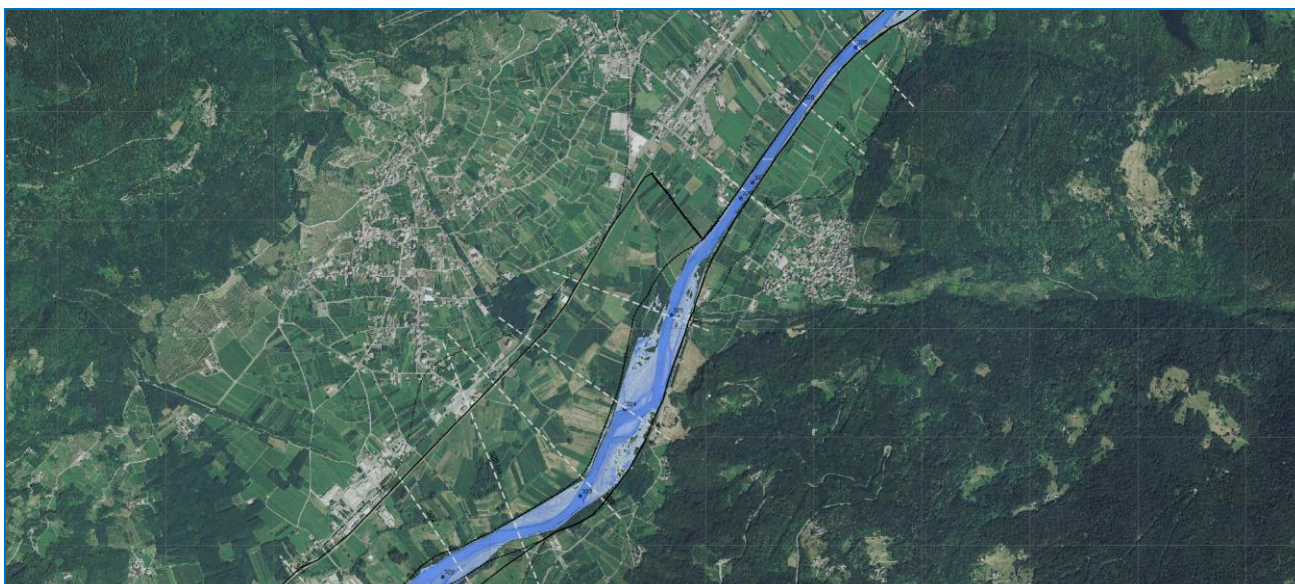
Di seguito si riportano i risultati delle verifiche eseguite da A.I.PO, e quindi le verifiche eseguite in sede di questo progetto, per situazione ante e post operam

4.1 PROGETTO AIPO

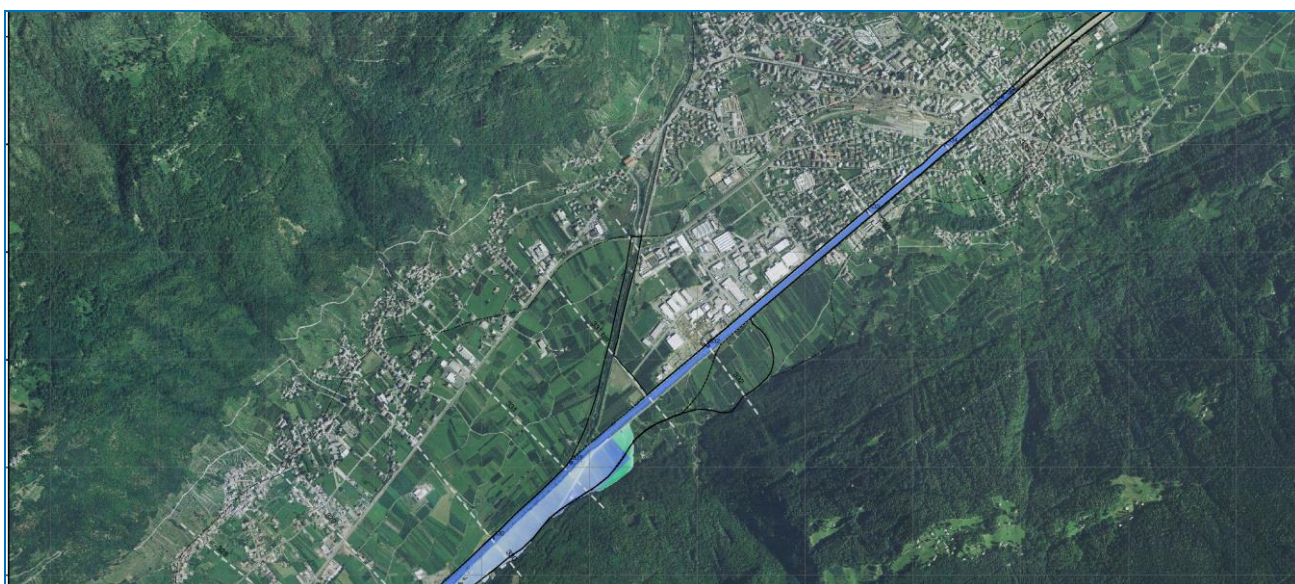
La situazione è quella studiata dagli ingg. Baggini-Begnisi, nell'ambito dell'aggiornamento del PAI. Di seguito si riportano in estratto i risultati della verifica da loro effettuata, come riferimento della validità dei calcoli effettuati in sede di progettazione esecutiva.

Description	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Max Chl Dpth (m)	Crit Depth (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
337	70416.58	tr200	830	430	434.03	4.03	6.78	0.014021	11.02	75.31	22.29	1.91
335 bis - P.SS36 monte	70276.73	tr200	830	428.63	432.27	3.64	6.75	0.011561	11	75.47	24.14	1.9
Ponte SS38 - Tirano	70273 BR U	tr200	830	428.63	432.35	3.72	6.74	0.01315	10.82	76.72	21.44	1.79
	70273 BR D	tr200	830	428.57	432.36	3.79	6.85	0.012643	10.67	77.78	21.44	1.75
335 - P.SS36 valle	70261.73	tr200	830	428.57	432.34	3.77	6.8	0.010518	10.67	77.78	24.2	1.81
334bis - P.Martiri monte	70027.37	tr200	830	425.2	428.81	3.61	5.45	0.01666	11.05	75.09	51.35	2.04
Ponte via Martiri - Tirano	70024 BR U	tr200	830	425.2	428.85	3.65	5.46	0.015941	10.89	76.19	25.03	1.99
	70024 BR D	tr200	830	424.87	428.62	3.75	5.77	0.016456	10.98	75.6	24.8	2.01
334 - P.Martiri valle	70012.37	tr200	830	424.87	428.64	3.77	5.77	0.016164	10.91	76.05	30.52	1.99
333bis - P.via Del Commercio monte1	69554.94	tr200	830	420.43	424.38	3.95	5.48	0.00942	9.12	91.04	66.55	1.56
333bis - P.via Del Commercio monte2	69549.94	tr200	830	420.33	424.31	3.98	5.88	0.009518	9.14	90.81	63.86	1.56
Ponte via Commercio - Tirano	69545 BR U	tr200	830	420.33	424.32	3.99	6.19	0.009436	9.11	91.07	26.08	1.56
	69545 BR D	tr200	830	420.26	424.39	4.13	6.26	0.008738	8.89	93.35	26.13	1.5
333 - P.via Del Commercio valle3	69539.94	tr200	830	420.26	424.4	4.14	5.93	0.008657	8.86	93.63	67.42	1.49
333 - P.via Del Commercio valle4	69529.94	tr200	830	420.2	424.48	4.28	5.74	0.007926	8.61	96.43	70.17	1.43
332	68569.1	tr200	830	412.1	415.68	3.58	4.28	0.009769	8.98	92.45	30.21	1.64
331 bis - Poschiavino monte	68205.48	tr200	830	409.09	412.53	3.44	4.25	0.009512	8.68	95.6	32.78	1.62
331-Poschavino valle	67695.08	tr200	917	404.8	408.75	3.95	4.45	0.005493	6.3	232.09	163.24	1.22
330	67222.66	tr200	917	401	405.25	4.25	4.48	0.008249	6.55	190.62	136.69	1.16
329	66719.98	tr200	917	398.2	401.79	3.59	3.64	0.006427	5.75	159.35	49.41	1.02
328	66357.62	tr200	917	395.3	399.41	4.11	4.13	0.006178	5.91	155.27	44.45	1.01
326 cambio tiles - Ponte Stazzona	65890.16	tr200	917	392.55	397.71	5.16	4.08	0.002831	4.55	201.65	43.81	0.68
326 - Ponte Stazzona monte	65880.16	tr200	917	392.5	397.66	5.16	4.12	0.002919	4.59	199.71	43.78	0.69
Ponte Stazzona	65875 BR U	tr200	917	392.5	396.8	4.3	4.3	0.008971	6.02	152.2	41.06	1
	65875 BR D	tr200	917	392.45	396.33	3.88	4.2	0.011484	6.58	139.27	40.81	1.14
326 - Ponte Stazzona valle	65870.16	tr200	917	392.45	395.77	3.32	3.99	0.012267	7.29	125.79	42.34	1.35
326 - Ponte Stazzona valle	65850.16	tr200	917	392.35	396.43	4.08	4.08	0.006436	5.93	154.64	42.91	1
325	65183.16	tr200	917	388.2	392.44	4.24	4.38	0.006828	5.05	221.72	145.05	1.03
324	64666.12	tr200	917	384.5	389.08	4.58	3.69	0.001918	2.66	363.3	174.05	0.54
323	64275.72	tr200	917	382.8	387.1	4.3	4.25	0.006008	4.68	226.59	109.28	0.83
322bis - inizio argini	63857.53	tr200	917	380.4	384.57	4.17	3.85	0.006633	4.15	220.72	87.89	0.84
322	63538.97	tr200	917	379	382.71	3.72	3.4	0.006103	3.52	260.76	126.24	0.78
321	62946.09	tr200	917	375.6	379.2	3.61	3.28	0.006049	3.12	293.96	169.97	0.76
320	62395.7	tr200	917	372.8	376.18	3.38	2.96	0.005192	2.84	322.9	191.68	0.7
319	62195.97	tr200	917	372.3	375.38	3.08	2.67	0.003993	2.42	436.93	319.79	0.61





Località Stazzona



Località Tirano

In particolare il fiume esonda in sinistra idraulica a valle della sezione 331bis con coinvolgimento di una modesta porzione di territorio a frutteto fra l'argine e la strada provinciale Stazzona – Tirano fino a monte della località San Bernardo. L'esondazione si riversa in una vasta area pianeggiante, dove l'acqua non partecipa comunque al moto principale della piena.

La confluenza del Poschiavino avviene senza particolari disturbi della corrente e dei livelli idrici. A valle della confluenza il pelo libero è contenuto negli argini.

I livelli idrici fino alla sezione 324 non sempre sono compatibili con le quote di campagna con esondazioni golenali sia in destra (frutteti) sia in sinistra (zone agricole e boschive naturali).

4.2 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

4.2.1 STATO ATTUALE

Si mostrano nel seguito i profili del campo di moto ottenuti dalle simulazioni con il codice HEC-RAS per i vari Tr (Figura 4.1), e alcune sezioni estratte dal modello in corrispondenza del ponte esistente (Figura 4.2 e Figura 4.3). In Tabella 4.1 sono riportati i risultati numerici della simulazione per il tempo di ritorno di 200 anni. In Allegato B sono riportate le tabelle e le sezioni complete, oltre al profilo in scala maggiore

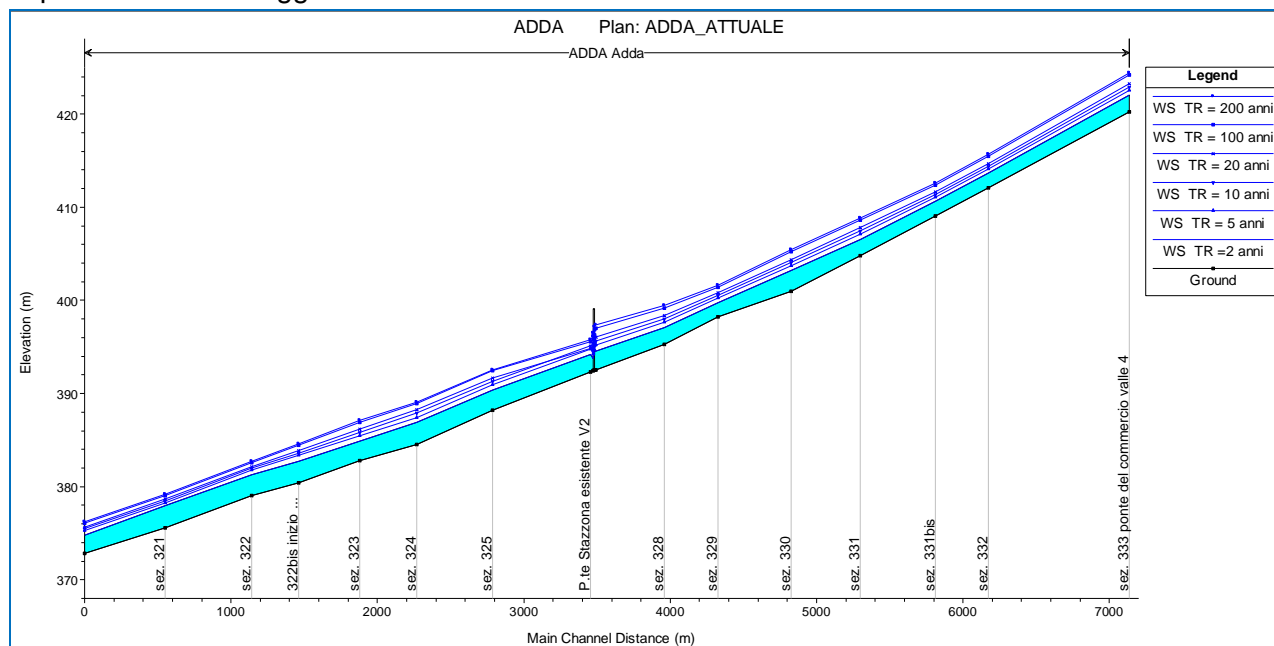


Figura 4.1: Andamento del pelo libero nel tratto del fiume Adda in esame allo stato attuale. (WS = quota della superficie libera per le portate associate ai diversi tempi di

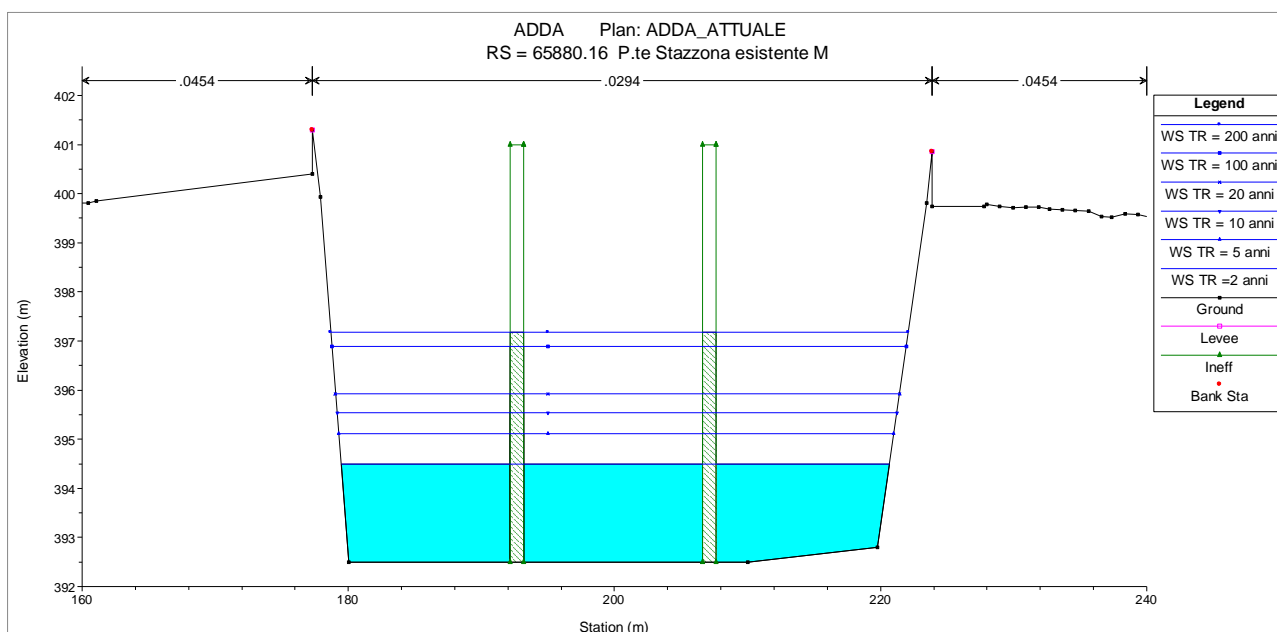


Figura 4.2 - Sezione del fiume Adda a monte del ponte esistente di Stazzona (R.S. 65880.16), stato attuale

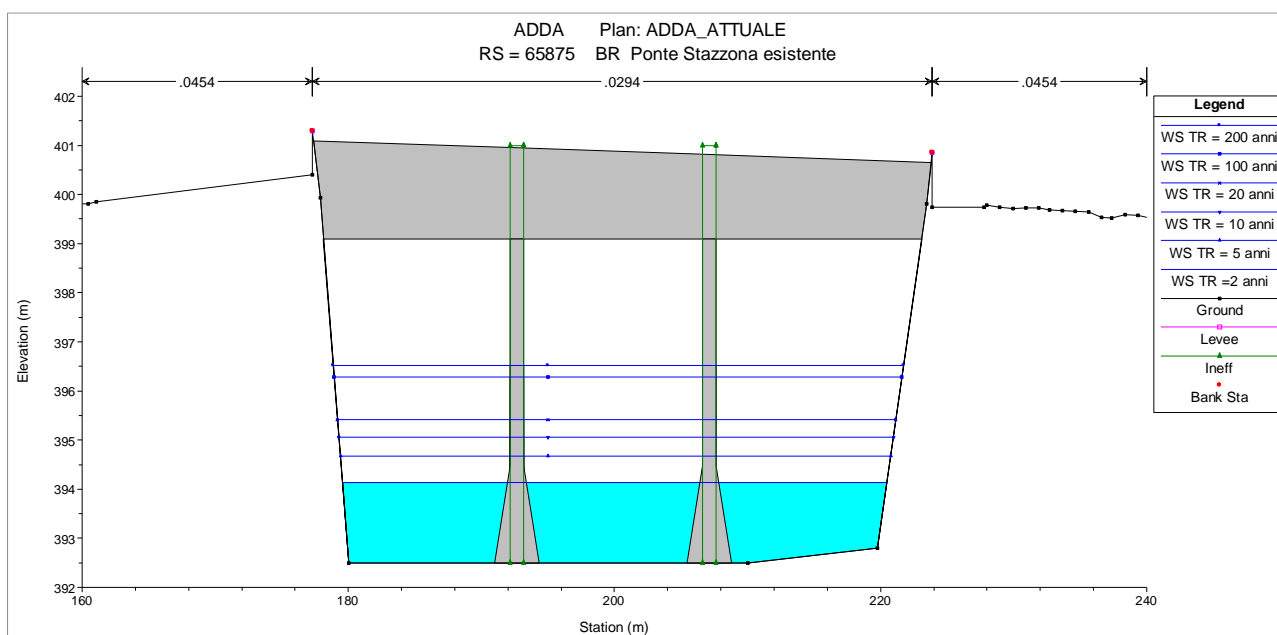


Figura 4.3 - Sezione del fiume Adda presso il ponte esistente di Stazzona (R.S. 65875), stato attuale

La modellazione idraulica, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, prevede per lo stato attuale presso il ponte di Stazzona un franco minimo di 2,58m valutato, a favore di sicurezza, con il tirante della sezione di monte del ponte stesso; come detto in precedenza, le sezioni in questo tratto sono state modificate rispetto ai dati di partenza (sezioni del citato studio del 2012) per tenere in considerazione gli interventi realizzati in alveo negli ultimi anni e rilevati nel corso del sopralluogo; in particolare si è tolto il deposito a centro alveo che era presente nelle sezioni rilevate regolarizzando il fondo come in effetti è rilevabile allo stato attuale.

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni											
Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	830.00	420.20	424.45	425.51	428.26	0.008008	8.65	95.97	26.25	1.44
Adda	68569.1	830.00	412.10	415.70	416.99	419.79	0.009696	8.96	92.64	30.18	1.63
Adda	68205.48	830.00	409.09	412.60	413.77	416.29	0.008938	8.51	97.54	32.85	1.58
Adda	67695.08	917.00	404.80	408.82	409.73	411.88	0.007711	7.76	120.15	163.15	1.46
Adda	67222.66	917.00	401.01	405.42	405.99	407.80	0.008760	6.90	140.57	137.88	1.20
Adda	66719.98	917.00	398.20	401.59	401.85	403.50	0.007815	6.13	149.57	48.79	1.12
Adda	66357.62	917.00	395.30	399.44	399.44	401.19	0.006037	5.85	156.71	44.72	1.00
Adda	65890.16	917.00	392.55	397.33	396.40	398.50	0.003172	4.78	191.80	43.52	0.72
Adda	65880.16	917.00	392.50	397.17	396.42	398.45	0.003596	5.01	183.03	43.40	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	917.00	392.45	396.05	396.40	398.32	0.008836	6.68	137.18	42.61	1.16
Adda	65850.16	917.00	392.35	395.75	396.21	398.13	0.009566	6.83	134.26	42.39	1.21
Adda	65183.16	917.00	388.20	392.54	392.54	393.64	0.005407	4.89	235.11	147.75	0.93
Adda	64666.12	917.00	384.50	389.08	388.19	389.44	0.001921	2.66	363.80	182.25	0.54
Adda	64275.72	917.00	382.81	387.11	387.08	388.14	0.005989	4.67	227.01	109.34	0.83
Adda	63857.53	917.00	380.41	384.57	384.23	385.45	0.006708	4.17	220.09	87.90	0.84
Adda	63538.97	917.00	379.00	382.73	382.40	383.35	0.006018	3.50	261.87	126.23	0.78
Adda	62946.09	917.00	375.59	379.19	378.87	379.69	0.006204	3.14	291.61	169.83	0.77
Adda	62395.70	917.00	372.80	376.20	375.76	376.60	0.005000	2.81	326.83	196.82	0.69

Tabella 4.1 - Stato attuale -Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la modellazione con portata corrispondente a TR = 200 anni. (River Sta= N°sezione del corso d'acqua; Min Ch Elev= quota del fondo alveo; Crit WS= quota dell'altezza critica s.l.m.; WS Elev= quota della superficie libera s.l.m.; EG Slope= pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl= velocità nel canale; Froude= numero di Froude della corrente)

4.3 STATO DI PROGETTO

Si mostrano nel seguito i profili del campo di moto ottenuti dalle simulazioni con il codice HEC-RAS per i vari Tr (figura 4.4), e alcune sezioni estratte dal modello in corrispondenza dei ponti di progetto (da figura 4.5 a figura 4.10). In Tabella 4.2 sono riportati i risultati numerici delle simulazioni per il tempo di ritorno di 200 anni.

In allegato sono riportate:

- le tabelle relative alle analisi effettuate per i seguenti tempi di ritorno: 2, 10, 20, 100 e 200 anni;
- le sezioni complete relative alla simulazione con un tempo di ritorno di 200 anni;
- il profilo con l'andamento del pelo libero per i tempi di ritorno di 2, 10, 20, 100 e 200 anni.

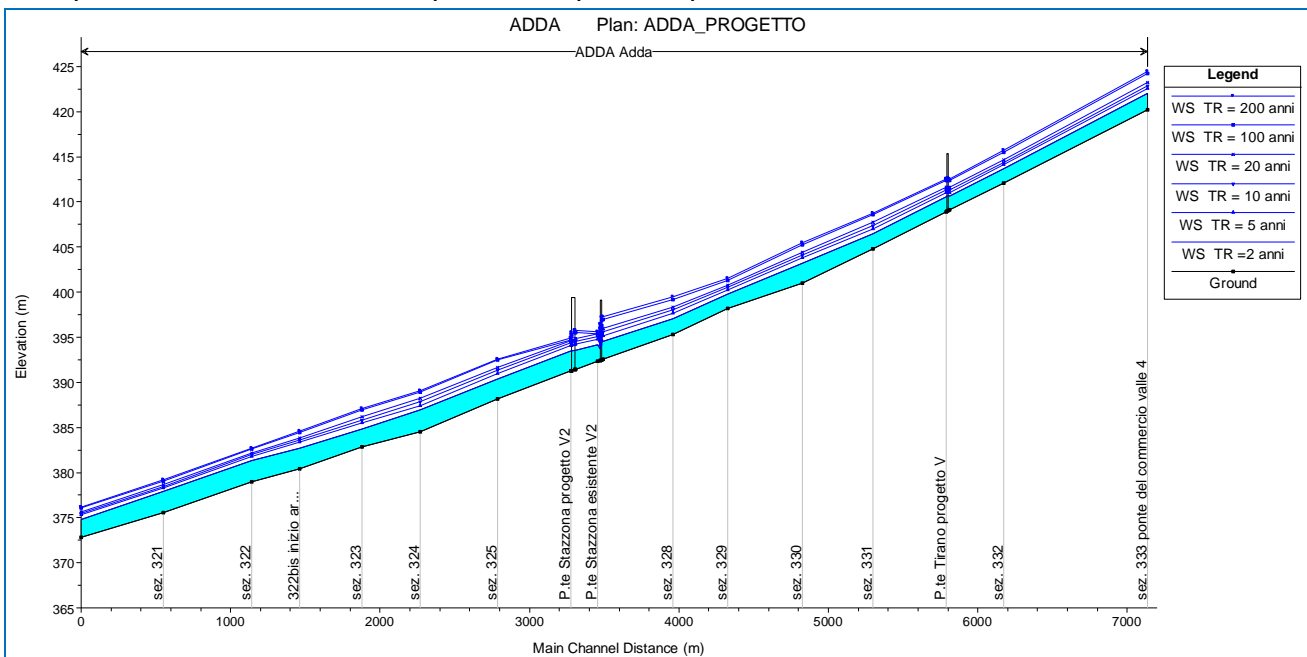


Figura 4.4 - Andamento del pelo libero nel tratto di fiume Adda in esame nello stato di progetto. (WS=quota della superficie libera per le portate in alveo associate ai diversi tempi di ritorno)

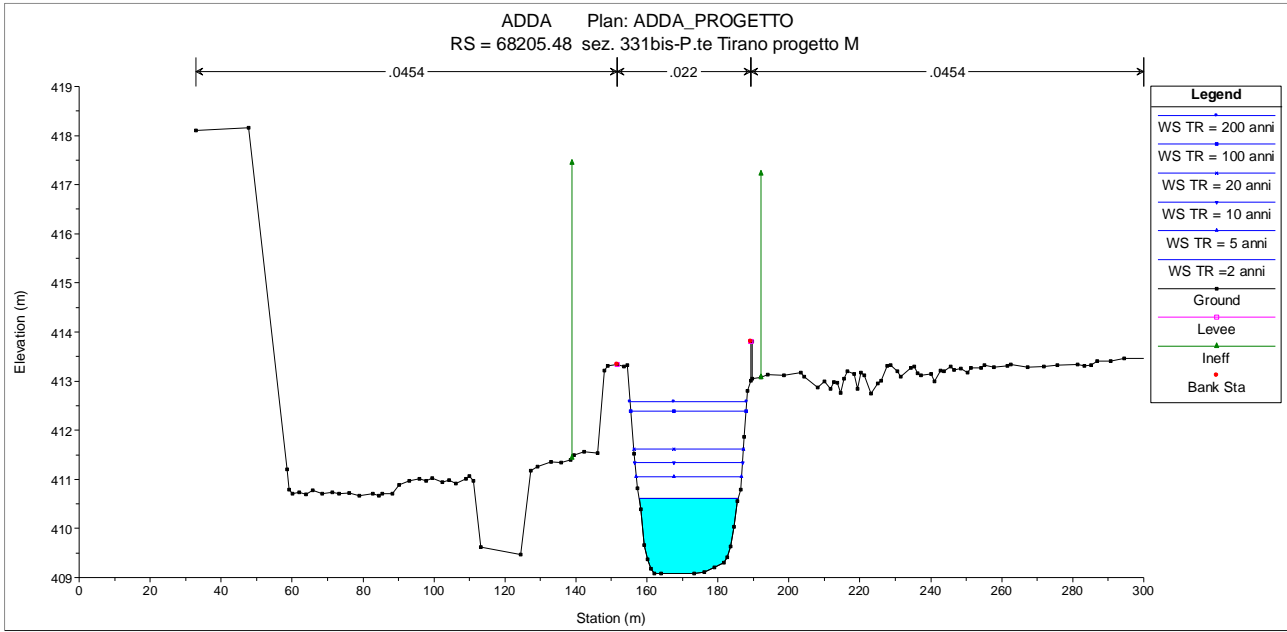


Figura 4.5 - Sezione del fiume Adda immediatamente a monte del nuovo ponte di Tirano (R.S. 68205.48), stato di progetto

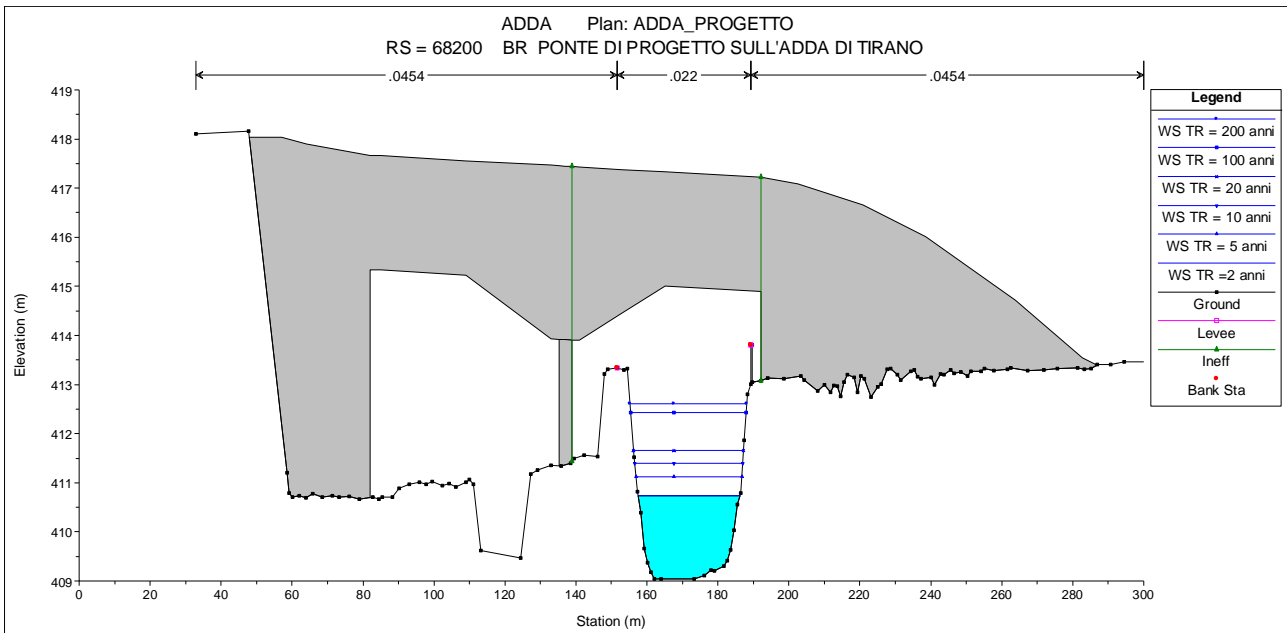


Figura 4.6 - Sezione del fiume Adda presso il nuovo ponte di Tirano (R.S. 68200), stato di progetto

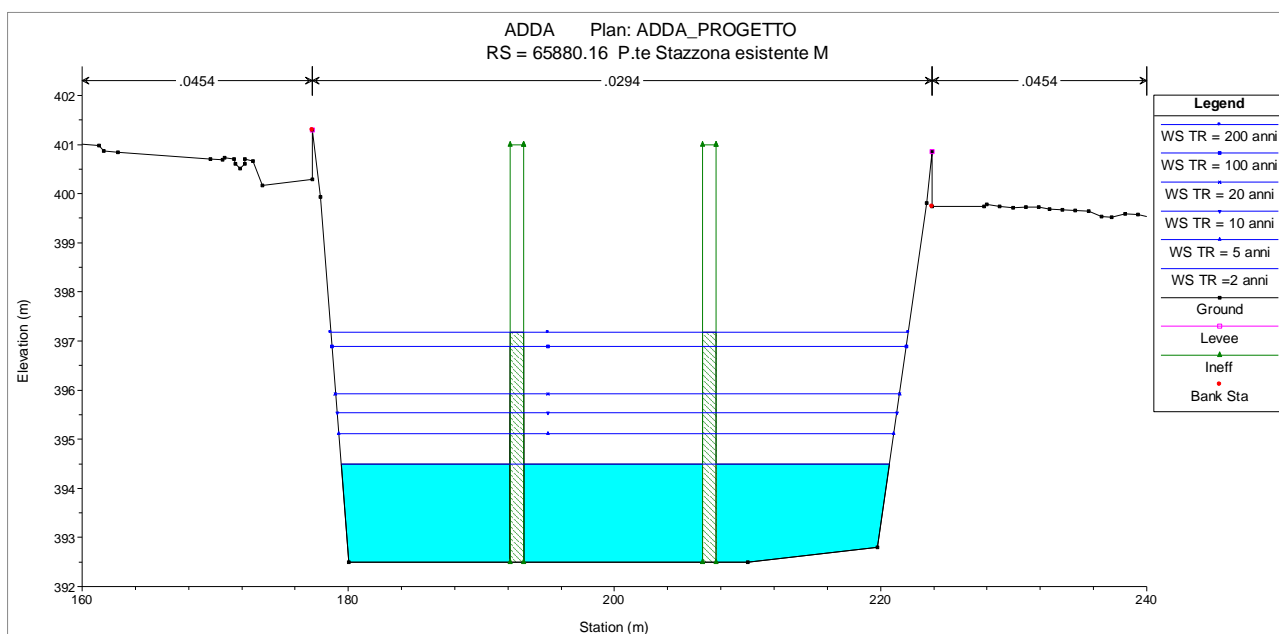


Figura 4.7 - Sezione del fiume Adda immediatamente a monte del ponte esistente di Stazzona (R.S. 65880.16), stato di progetto

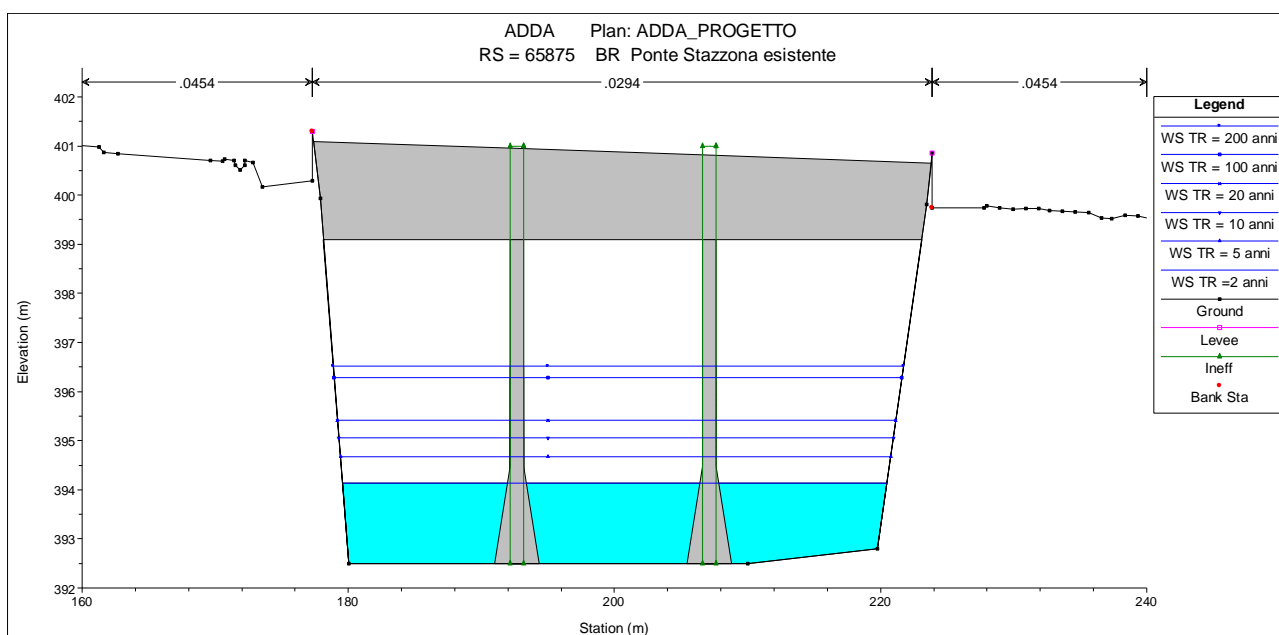


Figura 4.8 - Sezione del fiume Adda presso il ponte esistente di Stazzona (R.S. 65875), stato di progetto

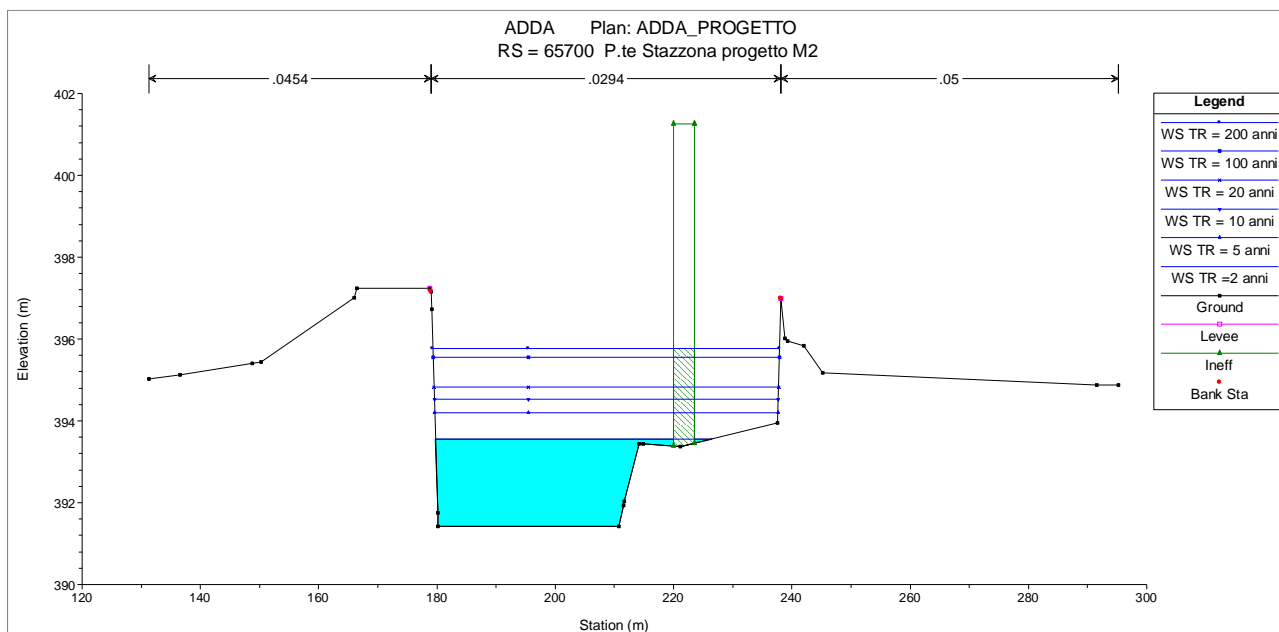


Figura 4.9 - Sezione del fiume Adda immediatamente a monte del nuovo ponte di Stazzona (R.S. 65700), stato di progetto

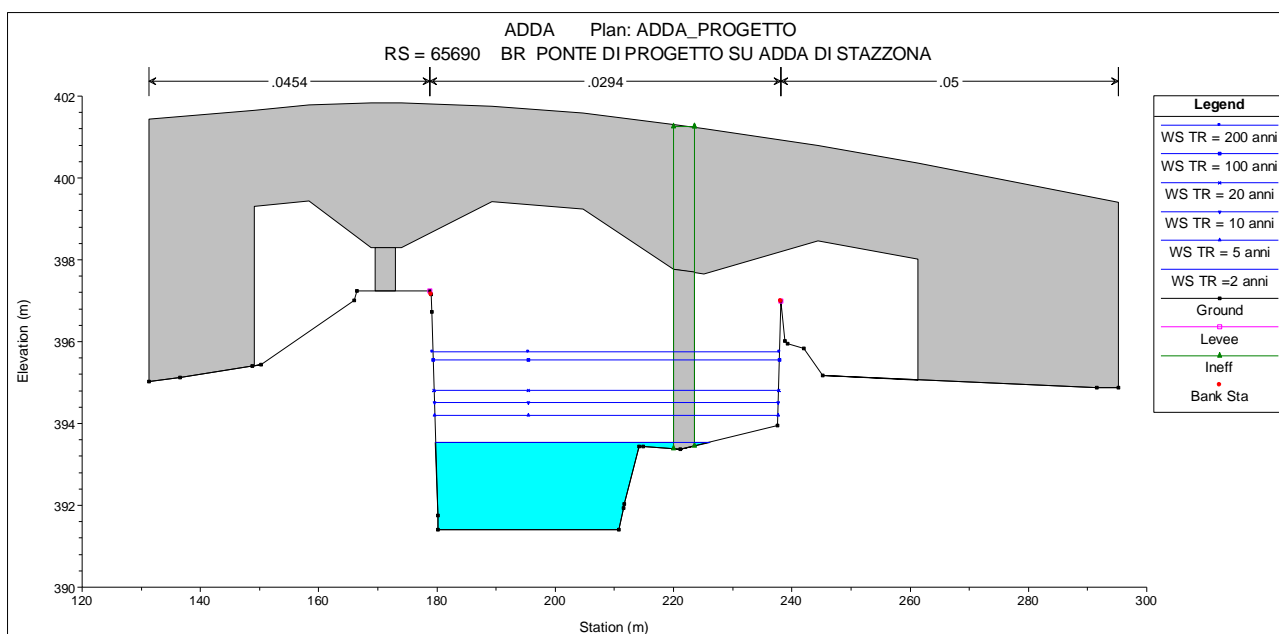


Figura 4.10 - Sezione del fiume Adda presso il nuovo ponte di Stazzona (R.S. 65690), stato di progetto

Per il nuovo ponte di Tirano non risultano esservi problemi di franco idraulico, in quanto l'impalcato dell'opera è posizionato a quota 414,45 m s.l.m. mentre il tirante idrico per la portata corrispondente al TR = 200 anni risulta a quota 412,61 m s.l.m. (franco di 1,87 m valutato, a favore di sicurezza, con il tirante della sezione di monte del ponte).

Per il ponte di Stazzona esistente il progetto non prevede modifiche e quindi si confermano i risultati dello stato attuale. Il nuovo ponte di Stazzona è posizionato, invece, circa 200 m a valle. La modellazione non prevede problemi di franco idraulico nemmeno per il nuovo ponte di Stazzona, in quanto il punto più basso dell'impalcato dell'opera è alla quota di 397,66 m s.l.m. mentre il tirante idrico per la portata corrispondente al TR = 200 anni risulta a quota 395,77 m

s.l.m. (franco di 1,89 m valutato, a favore di sicurezza, con il tirante della sezione immediatamente a monte del ponte stesso, a 1 m dall'impalcato, rispetto al punto più basso dell'impalcato).

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Adda	69529.94	830.00	420.20	424.45	425.51	428.26	0.008008	8.65	95.97	26.25	1.44
Adda	68569.1	830.00	412.10	415.70	416.39	419.79	0.009700	8.96	92.62	30.18	1.63
Adda	68205.48	830.00	409.09	412.58	413.81	416.28	0.008975	8.52	97.36	32.82	1.58
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	830.00	408.92	412.58	413.67	416.04	0.008012	8.24	100.79	32.82	1.50
Adda	67695.08	917.00	404.80	408.76	409.74	411.96	0.008295	7.94	117.17	118.75	1.51
Adda	67222.66	917.00	401.01	405.47	405.98	407.76	0.008328	6.77	143.63	73.45	1.18
Adda	66719.98	917.00	398.20	401.54	401.84	403.52	0.008194	6.23	147.28	48.67	1.14
Adda	66357.62	917.00	395.30	399.45	399.45	401.19	0.006032	5.85	156.81	44.79	1.00
Adda	65890.16	917.00	392.55	397.30	396.40	398.50	0.003273	4.84	189.59	43.50	0.73
Adda	65880.16	917.00	392.50	397.17	396.42	398.45	0.003596	5.01	183.03	43.40	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	917.00	392.45	395.94	396.35	398.27	0.009124	6.76	135.58	42.52	1.18
Adda	65850.16	917.00	392.35	395.62	396.13	398.06	0.010308	6.93	132.32	42.27	1.25
Adda	65705	917.00	391.45	395.76	395.43	397.00	0.004692	4.93	185.95	58.18	0.86
Adda	65700	917.00	391.42	395.77	395.38	396.96	0.004444	4.84	189.54	58.67	0.83
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	917.00	391.28	395.30	395.30	396.82	0.006534	5.46	168.04	58.49	1.00
Adda	65672	917.00	391.25	394.89	395.22	396.75	0.009660	6.04	151.86	58.14	1.19
Adda	65183.16	917.00	388.20	392.54	392.54	393.64	0.005405	4.89	235.16	147.88	0.93
Adda	64666.12	917.00	384.50	389.08	388.18	389.43	0.001921	2.66	363.73	182.44	0.55
Adda	64275.72	917.00	382.81	387.11	387.08	388.15	0.005973	4.67	227.13	109.28	0.83
Adda	63857.53	917.00	380.41	384.57	384.27	385.45	0.006717	4.17	220.00	87.90	0.84
Adda	63538.97	917.00	379.00	382.73	382.40	383.35	0.006019	3.50	261.85	126.23	0.78
Adda	62946.09	917.00	375.59	379.19	378.87	379.69	0.006205	3.15	291.57	169.79	0.77
Adda	62395.70	917.00	372.80	376.20	375.76	376.60	0.005000	2.81	326.81	196.81	0.69

Tabella 4.2 - Stato di progetto -Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la modellazione con portata corrispondente a TR = 200 anni. (River Sta= N°sezione del corso d'acqua; Min Ch Elev= quota del fondo alveo; Crit WS= quota dell'altezza critica s.l.m.; WS Elev= quota della superficie libera s.l.m.; EG Slope= pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl= velocità nel canale; Froude= numero di Froude della corrente)

5 VALUTAZIONE DEI FENOMENI DI TRASCINAMENTO ED EROSIONE AL PIEDE DEL RILEVATO

Il tracciato del progetto stradale, tra la progressiva km 1+905 e km 2+950 è interessato dall'esondazione in sinistra idraulica del fiume Adda.

Di seguito si verifica il fenomeno di trascinamento ed erosione al piede del rilevato stradale qualora questo fosse interessato direttamente dai livelli idrici.

Lo sforzo di trascinamento della corrente, τ_0 [N/m²], è calcolato come

$$\tau_0 = \gamma R_H i$$

Dove:

- γ [N/m³] = peso dell'acqua;
- R_H [m] = raggio idraulico;
- i [m/m] = pendenza dell'alveo, pari a 0,0082.

A questo punto, fissato il diametro dei massi di primo tentativo, D [m], si determina la velocità di attrito del grano ed il corrispettivo numero di Reynolds

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_w}}$$

$$Re^* = \frac{u^* D'}{v_w}$$

Dove

- ρ_w è la densità dell'acqua, pari a 1000 kg/m³,
- v_w è la densità cinematica dell'acqua, pari a 10⁻⁶ m²/s.

Sulla base del numero di Reynolds, dall'abaco di Shields (Figura 5.1) si ricava il valore base del parametro di mobilità critica θ_c , che risulta di 0,057. Tale valore deve essere corretto con due coefficienti che tengono conto della pendenza del fondo alveo α (K_1) e della pendenza delle sponde β (K_2).

$$K_1 = \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \varphi}$$

$$K_2 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \varphi}}$$

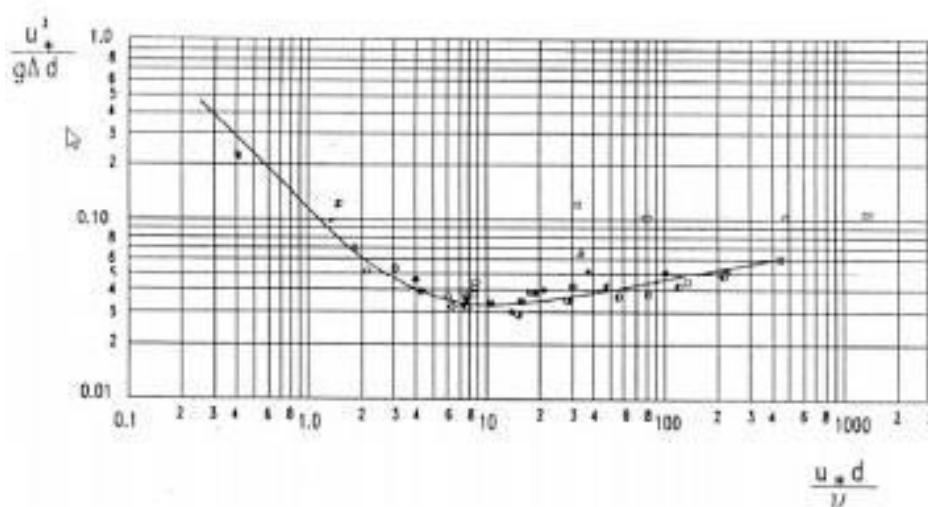


Figura 5.1 - Abaco di Shields

Dove

- φ è l'angolo d'attrito del materiale, pari a 40° ,
- α è pari a $0,47^\circ$
- β a 35° .

Con queste correzioni si può calcolare il valore del parametro di mobilità critica

$$\theta_c^* = \theta_c K_1 K_2$$

e quindi il diametro minimo di grano stabile:

$$D' = \frac{u^{*2}}{g \Delta \theta_c^*}$$

Con

- Δ (densità relativa dei grani rispetto all'acqua) preso pari a 1,6
- g (accelerazione di gravità) pari a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Il processo a questo punto viene iterato fino a quando non si raggiunge la convergenza $D \leftrightarrow D'$.

I parametri idraulici sono stati derivati dalle simulazioni effettuate con il software Hec Ras (tirante e dimensioni geometriche dell'alveo). Si è considerata una sezione trapezia, con base di 27 metri, sponde inclinate a 20° (prima di giungere al rilevato) e tirante di 4.1 metri.

La sezione considerata non corrisponde a quella reale (difficile da modellare in maniera precisa), tuttavia il calcolo è a favore di sicurezza poiché l'area da proteggere si trova in una zona golenale dell'Adda, con velocità più basse rispetto a quelle di calcolo (che considerano una sezione "compatta").

Il diametro stabile calcolato con il criterio di Shields risulta di circa 62 cm; viene inoltre introdotto un coefficiente di sicurezza pari a 1.3, con l'utilizzo del quale la dimensione di progetto dei massi risulta pari a circa 80 cm: La sponda del rilevato sarà quindi protetta con massi di tali dimensioni.

Secondo la modellazione *post-operam* (vedasi paragrafo 4.2), il livello idrico associato ad una piena duecentennale interessa direttamente il rilevato stradale esclusivamente a valle del nuovo ponte di Tirano, in un tratto di 1050m, dalla sezione 331 alla sezione 330: le velocità calcolate al piede del rilevato, riportate nella tabella sottostante, sono **al massimo 1,61 m/s, troppo basse per innescare qualsiasi azione di trascinamento ed erosione a un rilevato rinverdito.**

Nella tabella sottostante si riportano le velocità nella golena sinistra (Vel Left), nell'alveo inciso (Vel Chnl) e in golena destra.

La figura 5.2 mostra la sezione 330 in cui la velocità ai piedi dell'argine è maggiore.

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Left (m/s)	Vel Chnl (m/s)	Vel Right (m/s)
Adda	69529.94	830.00		8.65	
Adda	68569.1	830.00		8.96	
Adda	68205.48	830.00		8.52	
Adda	68200	Bridge			
Adda	68185	830.00		8.24	
Adda	67695.08	917.00	0.97	7.94	
Adda	67222.66	917.00	1.61	6.77	
Adda	66719.98	917.00		6.23	
Adda	66357.62	917.00		5.85	
Adda	65890.16	917.00		4.84	
Adda	65880.16	917.00		5.01	
Adda	65875	Bridge			
Adda	65870.16	917.00		6.76	
Adda	65850.16	917.00		6.93	
Adda	65705	917.00		4.93	
Adda	65700	917.00		4.84	
Adda	65690	Bridge			
Adda	65677	917.00		5.46	
Adda	65672	917.00		6.04	
Adda	65183.16	917.00	1.57	4.89	0.94
Adda	64666.12	917.00	0.77	2.66	
Adda	64275.72	917.00	1.53	4.67	
Adda	63857.53	917.00		4.17	
Adda	63538.97	917.00		3.50	
Adda	62946.09	917.00		3.15	
Adda	62395.70	917.00		2.81	0.15

Tabella 5.1 - Velocità nella golena sinistra (Vel Left), nell'alveo inciso (Vel Chnl) e in golena destra – portata duecentennale

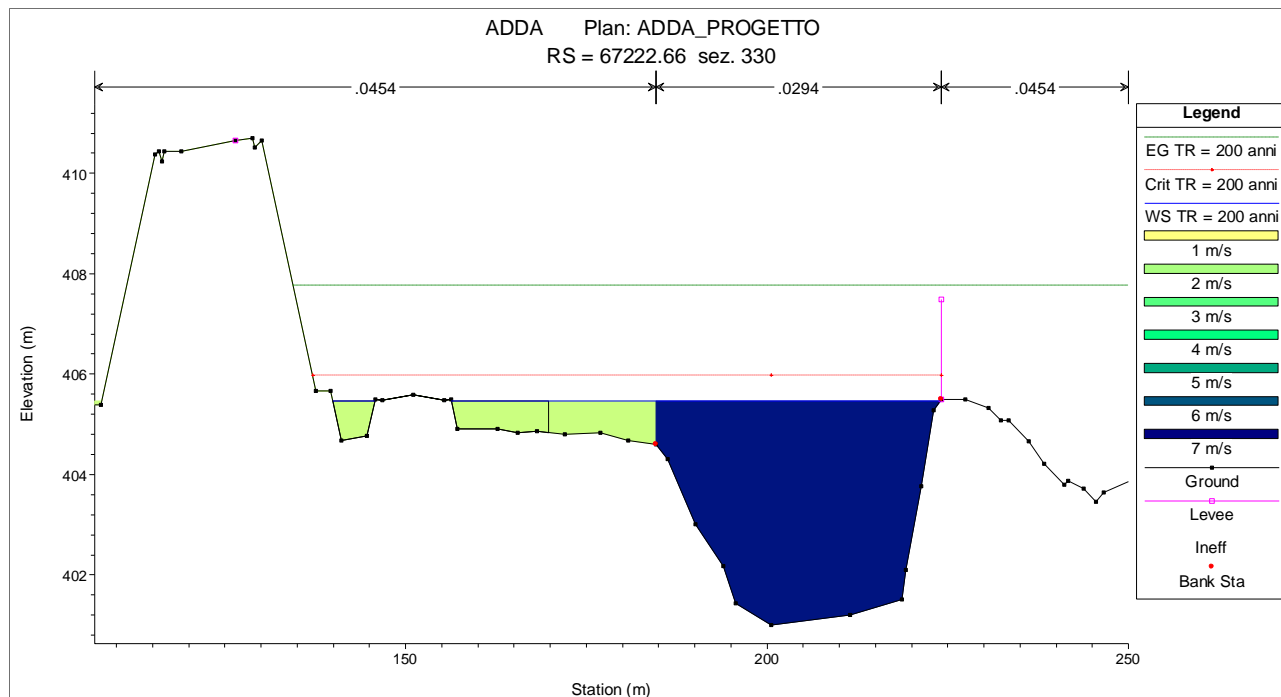


Figura 5.1 - sezione 330, visualizzazione dei valori di velocità in alveo e in corrispondenza del piede dell'argine

Si sottolinea che l'AIPo ha previsto opere di protezione dell'argine in tutto il tratto in cui il rilevato stradale rientra nella fascia B di esondazione.

Per sicurezza le sezioni del rilevato, interessate dalle zone di esondazione, sono state rivestite con scogliera di pietrame

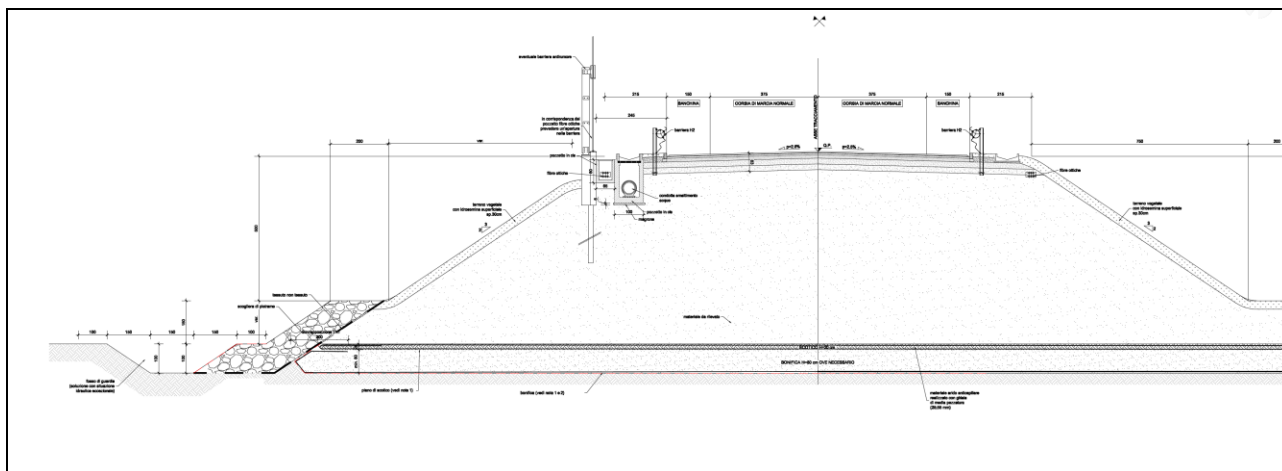


Figura 5.3 - Sezione tipologica in zona di esondazione

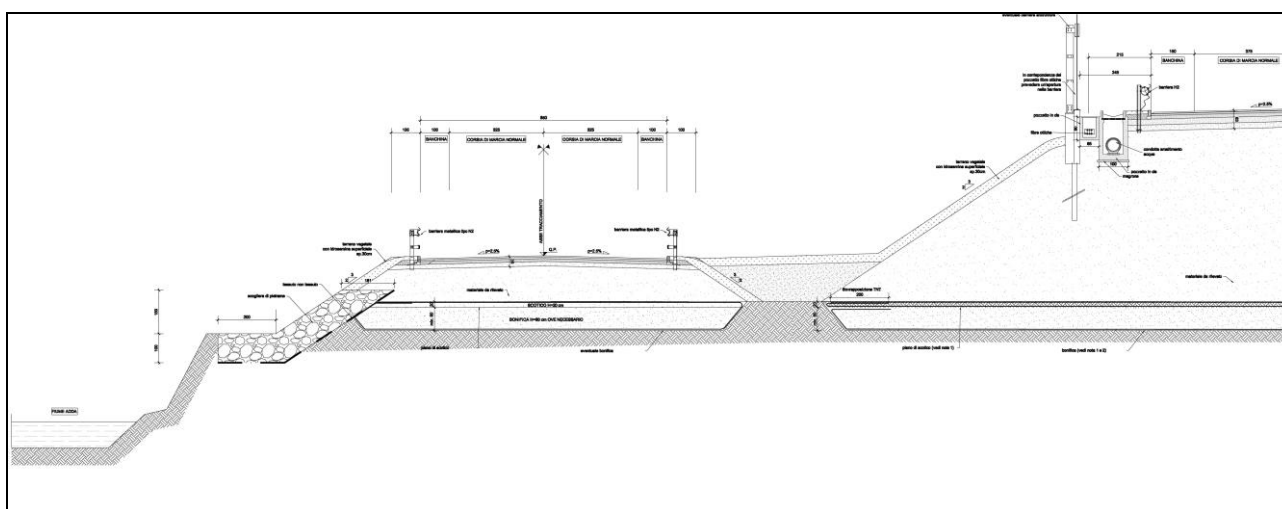


Figura 5.4 - Sezione tipologica in vicinanza del F. Adda

Tali rivestimenti sono stati previsti nei seguenti tratti:

- Sez tipo 1 - L=170m tra le progr. 0+540 e 0+615
- Sez tipo 1 - L=80m tra le progr. 0+690 e 0+670
- Sez tipo 1 - L=280m tra le progr. 0+770 e 0+880
- Sez tipo 2 - L=110m tra le progr. 0+770 e 0+900
- Sez tipo 1 - L=720m tra le progr. 1+905 e 2+625
- Sez tipo 1 - L=175m tra le progr. 2+985 e 2+160
- Sez tipo 1 - L=150m tra le progr. 2+225 e 2+375
- Sez tipo 1 - L=260m tra le progr. 2+700 e 2+960

Con questi interventi di protezione dell'argine, la portata contenuta dagli argini dell'Adda aumenta fino a circa 500 m³/s, il cui tempo di ritorno è di circa **25 anni** se si considerano le portate a monte del Poschiavino, e **20 anni** a valle dello stesso.

6 CALCOLO DELLO SCALZAMENTO DELLE PILE DEI PONTI

Facendo riferimento alle risposte del progettista in merito all'ottemperanza di cui al precedente capitolo 2, si procede al calcolo del massimo scavo in corrispondenza della sola pila del ponte di Stazzona, essendo tutte le altre strutture (spalle e pile) poste al di fuori dell'alveo.

Si procederà quindi con il calcolo dello scalzamento delle pile utilizzando la consolidata formula di Breusers (Breusers et al 1977).

La formula proposta da Breusers è la seguente:

$$y_s = 2 a \tanh\left(\frac{Y_0}{a}\right) f_1 f_2 f_3$$

nella quale:

- y_s = profondità dello scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;
- Y_0 = profondità media della corrente indisturbata;
- a = larghezza della pila [m];
- f_1 = parametro che tiene conto della capacità erosiva della corrente in rapporto alla velocità critica di trasporto:

$$f_1 = f(U/U_c)$$

con

- $f_1 = 0$ per $U/U_c < 0.5$;
- $f_1 = 2 (U/U_c) - 1$ per $0.5 < U/U_c < 1.0$;
- $f_1 = 1$ per $U/U_c > 1$;
- U = velocità della corrente indisturbata;
- U_c = velocità critica della corrente:

$$U_c = 0.85 (2 g D_{50} (\gamma_s - \gamma)/\gamma)^{1/2};$$

- f_2 = parametro che tiene conto della forma della pila:
 - $f_2 = 0.75$ per pila sagomata idraulicamente;
 - $f_2 = 1$ per pila circolare;
 - $f_2 = 1.30$ per pila rettangolare;
- f_3 = parametro di forma della pila: $f_3 = f(1/a, \alpha)$;
- il valore di f_3 è dato da un diagramma riportato da diversi autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha = 0$), f_3 vale 1.

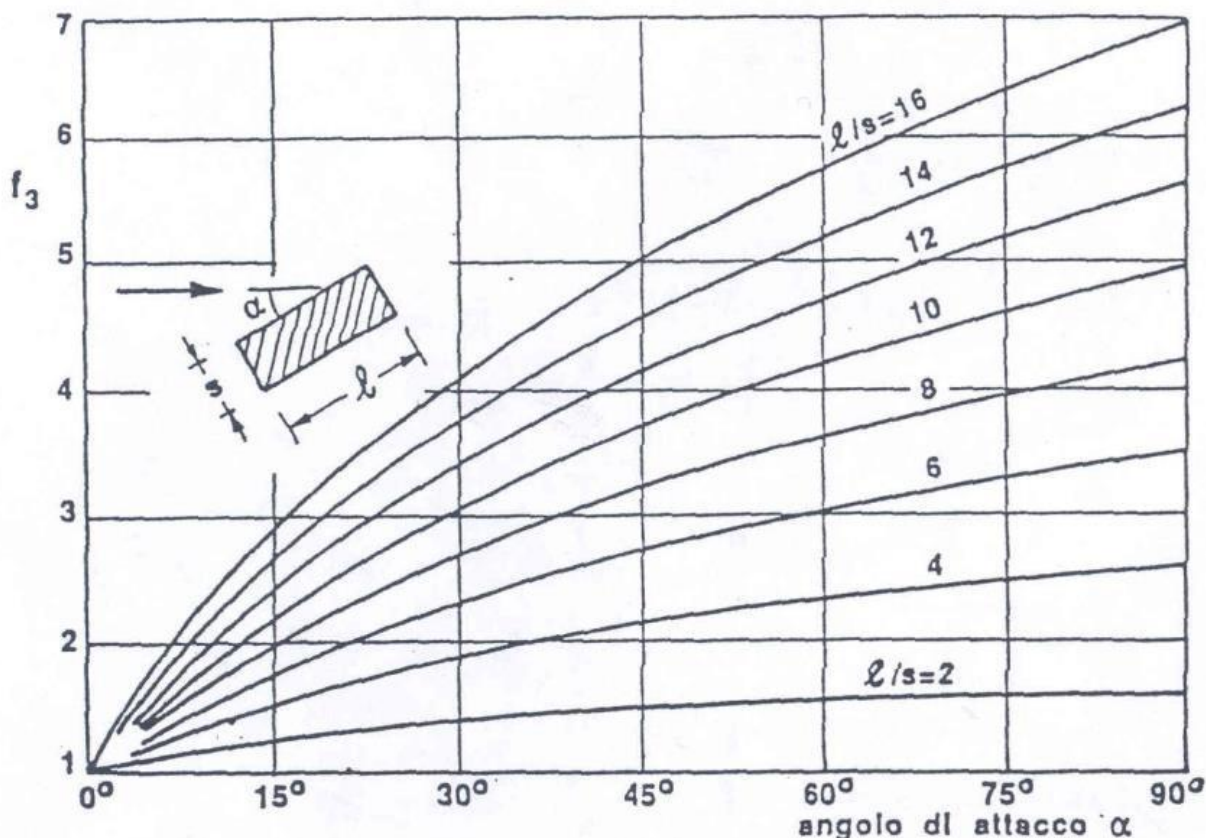


Figura 6.1 - Andamento della funzione f_3 al variare della forma della pila e dell'angolo di attacco

6.1 ANALISI GRANULOMETRICA

La caratterizzazione del materiale costituente il letto del torrente è stata desunta sulla base di uno studio sulla distribuzione granulometrica dei sedimenti: la composizione granulometrica dell'alveo è stata valutata mediante un'analisi granulometrica condotta su due campioni prelevati lungo il corso dell'Adda in prossimità del ponte esistente di Stazzona in data 06 settembre 2017.

Per la classificazione dei sedimenti si può fare riferimento alla progressione proposta dall'American Geophysical Union e riportata in Tabella 6.1, nella quale vengono evidenziate con maggiore dettaglio le classi granulometriche che interessano i corsi d'acqua. La classificazione per diametri segue la scala di Wentworth, che si basa su una progressione esponenziale dei diametri: la base è 2 e l'esponente è l'indice $-\phi$; sarà quindi: $D=2^{-\phi}$, con il diametro D espresso in mm, o anche $\phi = -\log_2 D$.

Le metodologie più affermate per lo studio granulometrico dell'alveo sono il metodo ponderale ed il metodo numerale. Si è deciso di utilizzare quest'ultimo per l'analisi del materiale d'alveo del fiume Adda in quanto più indicato per corsi d'acqua con sedimenti grossolani aventi pezzature del materiale che vanno dalle sabbie a massi dell'ordine di 0,5-1,0 m e oltre.

Tale metodo prevede l'utilizzazione di una curva granulometrica in cui le percentuali passanti si riferiscono a frequenze numerali dei diametri del campione anziché a frequenze in peso. Ogni ciottolo può idealmente assimilarsi ad un ellissoide le cui dimensioni principali sono costituite dai tre diametri misurati in corrispondenza dei suoi assi principali: si indicano convenzionalmente con "a" il diametro massimo, con "b" quello intermedio e con "c" quello minore. Nell'operazione di setacciatura ponderale è la dimensione "b" quella che determina il passaggio o meno attraverso la maglia di un setaccio, quindi è a tale diametro che le curve granulometriche ponderali, fanno riferimento.

Tipo di sedimento	Indice: $-\varphi$ $2^{-\varphi}$	Classe diametrica D (mm)
Massi molto grossi	$2^{12} - 2^{11.5}$	4096 – 2896
Massi molto grossi	$2^{11.5} - 2^{11}$	2896 – 2048
Massi grossi	$2^{11} - 2^{10.5}$	2048 – 1448
Massi grossi	$2^{10.5} - 2^{10}$	1448 - 1024
Massi medi	$2^{10} - 2^{9.5}$	1024 – 724
Massi medi	$2^{9.5} - 2^9$	724 – 512
Massi piccoli	$2^9 - 2^{8.5}$	512 – 362
Massi piccoli	$2^{8.5} - 2^8$	362 – 256
Ciottoli grossi	$2^8 - 2^{7.5}$	256 – 181
Ciottoli grossi	$2^{7.5} - 2^7$	181 – 128
Ciottoli piccoli	$2^7 - 2^{6.5}$	128 – 90
Ciottoli piccoli	$2^{6.5} - 2^6$	90 – 64
Ghiaia molto grossa	$2^6 - 2^5$	64 – 32
Ghiaia grossa	$2^5 - 2^4$	32- 16
Ghiaia media	$2^4 - 2^3$	16 – 8
Ghiaia fine	$2^3 - 2^2$	8 – 4
Ghiaia molto fine	$2^2 - 2^1$	4 – 2
Sabbia molto grossa	$2^1 - 2^{0.5}$	2 - 1.4
Sabbia grossa	$2^{0.5} - 2^{-1}$	1.4 - 0.5
Sabbia da media a molto fine	$2^{-1} - 2^{-4}$	0.5 - 0.06
Limo	$2^{-4} - 2^{-8}$	0.06 - 0.004
Argilla	$2^{-8} - 2^{-12}$	0.004 - 0.002

Nella determinazione della granulometria numerale si prevede di non rimuovere i sedimenti dal letto ma di misurare sul campo il loro diametro intermedio "b". Nella letteratura scientifica sono state proposte varie modalità di esecuzione del campionamento numerale; quelle più frequentemente adottate e che si sono oramai affermate nella pratica operativa sono:

- il metodo del reticolo (noto in letteratura anglosassone come "grid-by number"), nel quale il campionamento avviene su di un'area;
- il campionamento in linea ("transect-line"), nel quale il campionamento avviene secondo lungo una linea avente direzione preferenziale nel senso della corrente;
- il metodo Wolman Count, nel quale il campionamento avviene su di un'area.

In tutti i metodi di studio citati si individua preliminarmente il tratto d'alveo da campionare, che deve essere possibilmente asciutto o almeno interessato da un tirante d'acqua modesto (classico ad esempio è l'utilizzo di una barra di sedimenti disposta longitudinalmente o trasversalmente al torrente); occorre quindi prefissare un'unità spaziale di riferimento secondo la quale eseguire il campionamento: questa unità deve essere dell'ordine (meglio se un poco superiore) del diametro dei massi più grossi presenti nel luogo di misura. La determinazione della granulometria dell'alveo oggetto di studio ha interessato lo strato superficiale di corazzamento ed è stata effettuata mediante il metodo di campionamento Wolman Count (proposto da Wolman nel 1954), basato sul metodo numerale che prevede il prelievo di un certo numero di sedimenti all'interno di una unità spaziale di riferimento. Tale sistema si applica agli alvei a granulometria grossolana in cui il metodo ponderale risulta difficilmente applicabile poiché comporterebbe l'asportazione e il vaglio di un'elevata quantità di sedimenti: la vagliatura della frazione più grossolana risulterebbe, infatti, di difficile esecuzione. Inoltre, nell'asportare una così ingente quantità di materiale non sarebbe semplice differenziare il materiale superficiale da quello del sottostrato. La procedura di misura prevede di definire una superficie rappresentativa della granulometria di campionamento e di percorrere tale area raccogliendo, ogni n passi, il sedimento toccato con dito; ogni area deve essere caratterizzata da almeno 100 campioni. Per la misura dei sedimenti si utilizza un particolare tipo di calibro ("gravelometer"), che permette di determinare la più piccola apertura attraverso la quale un sedimento passa; il calibro in legno è costruito in modo che le aperture utilizzate per la misura dei sedimenti siano relative ad una progressione esponenziale dei diametri d_s (mm) funzione dell'indice ϕ descritto in precedenza: $d_s = 2$.



Figura 6.2 - calibro in legno utilizzato per l'analisi granulometrica

Nel caso in esame si sono effettuati due campionamenti, entrambi in sponda sinistra, il primo (C1) circa 20 metri a monte del ponte esistente di Stazzona e il secondo (C2) a ridosso della pila sinistra della struttura.



Figura 6.3: Vista da monte del ponte esistente di Stazzona, nei pressi del quale sono stati eseguiti i due campionamenti per l'analisi granulometrica.

Si riportano nel seguito i risultati dei campionamenti svolti.

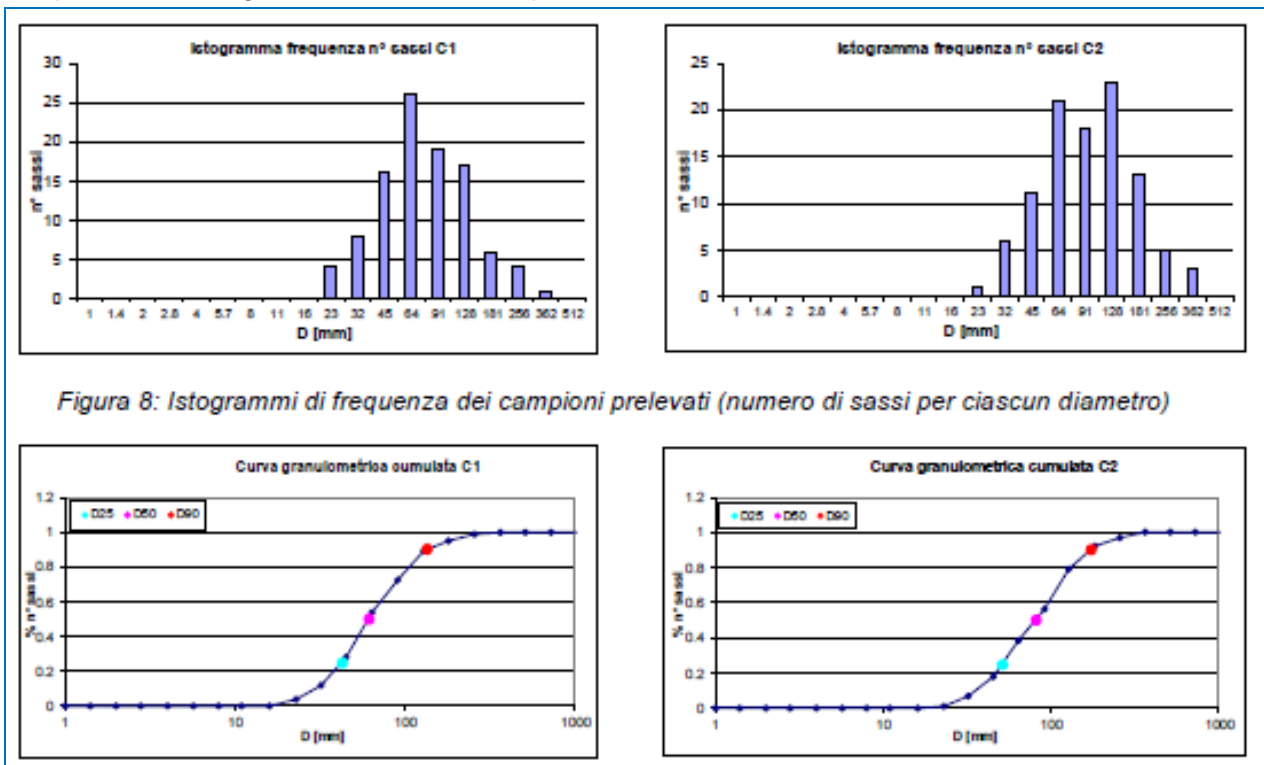


Figura 8: Istogrammi di frequenza dei campioni prelevati (numero di sassi per ciascun diametro)

Figura 6.4 – Curve granulometriche dei campioni prelevati

	Diametri rappresentativi (mm)	
	C1 (a monte del ponte)	C2 (sotto al ponte)
D25	42,77	51,56
D50	61,44	81,25
D90	135,95	172,44

Tabella 6.2 - Valori dei diametri rappresentativi per i campioni prelevati

A partire dalle curve granulometriche ottenute si sono stimati i valori del d50 e d90. Nelle foto seguenti (da figura 6.5 a figura 6.12) fatte nel corso del sopralluogo lungo l'intero tratto di corso d'acqua oggetto di studio (da Tirano a circa 700 m a valle del ponte esistente di Stazzona) si mostra l'alveo attuale.



Figura 6.5 - vista verso monte del tratto a valle dell'abitato di Tirano

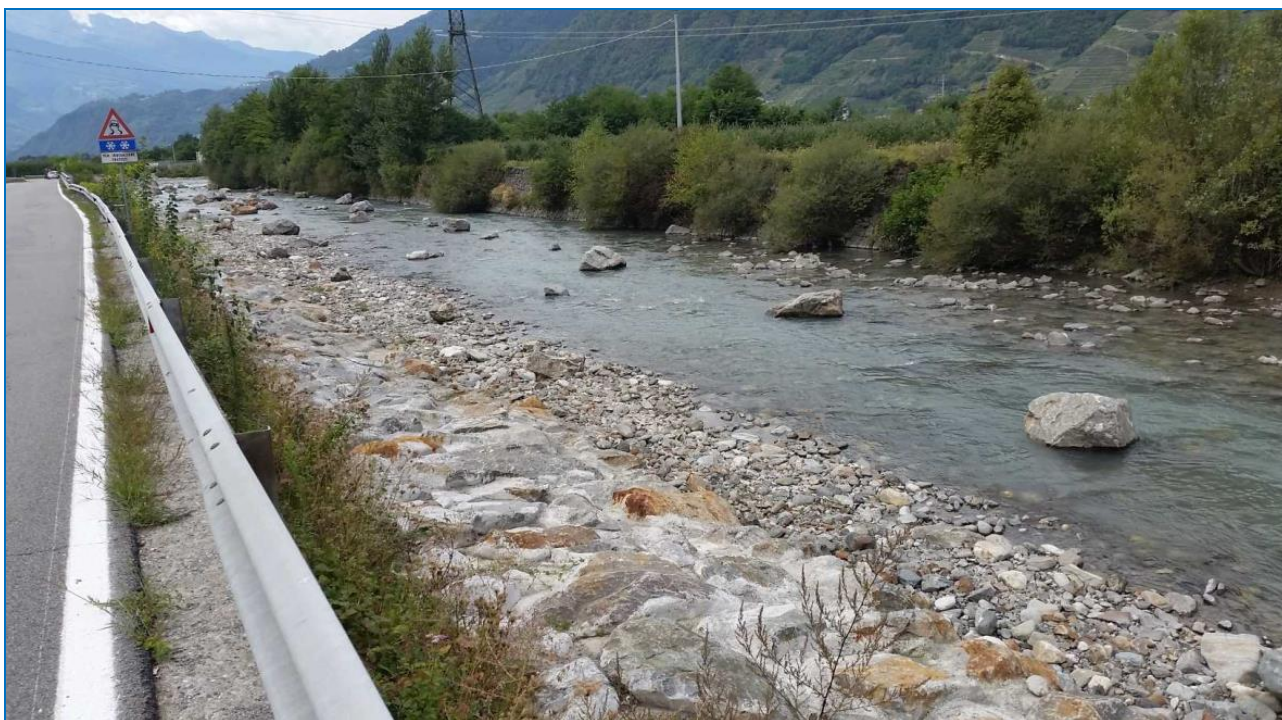


Figura 6.6 - vista verso valle del tratto precedente la confluenza del Poschiavino

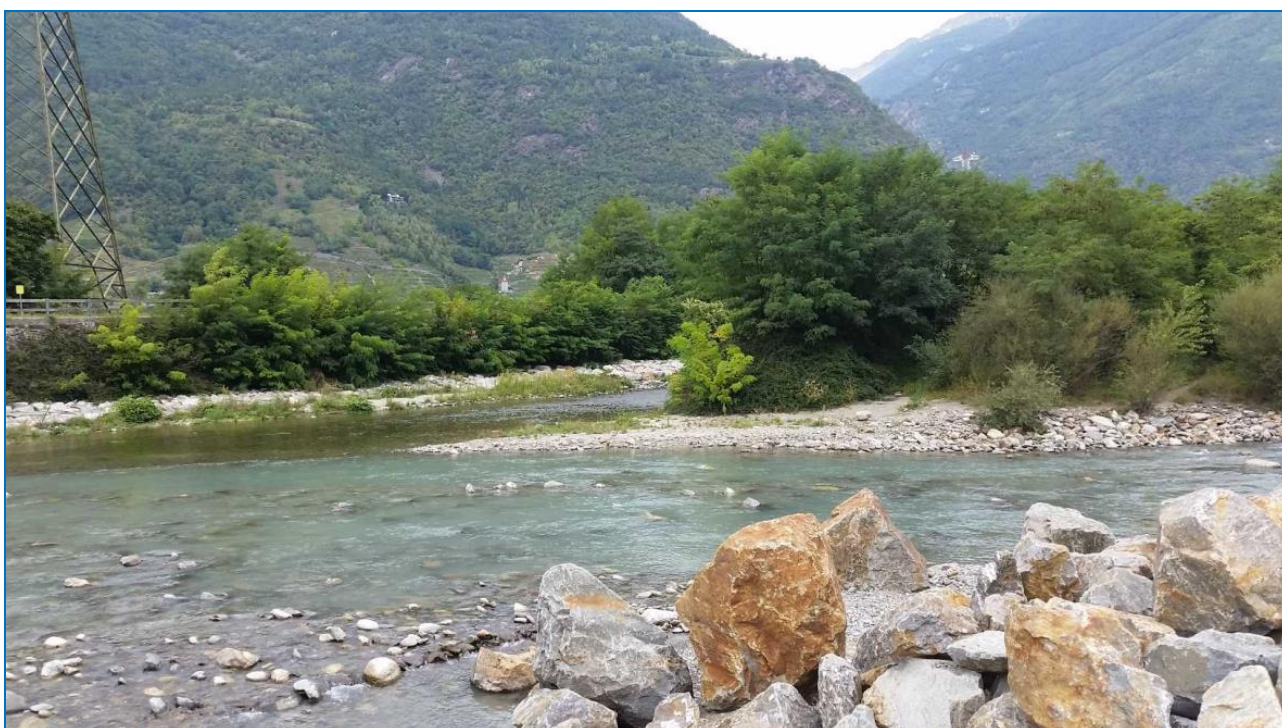


Figura 6.7 - vista da valle della confluenza del Poschiavino



Figura 6.8 - vista verso valle del tratto compreso tra la confluenza del Poschiavino e il ponte esistente di Stazzona



Figura 6.9 - vista verso valle del tratto subito a monte del ponte esistente di Stazzona



Figura 6.10 - vista verso monte del tratto a monte del ponte esistente di Stazzona



Figura 6.11 - vista verso valle da sotto il ponte esistente di Stazzona



Figura 6.12 – vista verso valle del tratto a valle del ponte esistente di Stazzona

6.2 NUOVO PONTE DI STAZZONA

6.2.1 SCALZAMENTO PER LA PILA1

Come si vede dalla tabella, l'erosione massima prevedibile è dell'ordine dei 4 m, minore della profondità della pila rispetto all'alveo indisturbato. Per questo si analizza l'effetto di erosione della sola pila.

Dall'analisi granulometrica riportata nel paragrafo precedente si ottengono i dati:

- $D_{c90} = 0,17$ m
- $D_{c50} = 0,08$ m

Il peso specifico del singolo grano è assunto pari a $\gamma_s = 25000$ N/m³

La tabella seguente riporta i dati di base

Ponte di Stazzona	pila 1
a [m]	3.5
l [m]	3.5
Θ	0
tirante indisturbato [m]	2.40
Fr	0.84
Velocità [m/s]	4.84
Uc [m/s]	1.3

La seguente tabella riporta invece i risultati per il calcolo dello scalzamento:

Formulazione di Breusers	pila 1
f1	1
f2	1
f3	1
γ_s dal terreno indisturbato [m]	4,14
γ_s relativo all'opera [m]	y pila

Il plinto di fondazione è stato posto a 4,5m dalla quota del fondo, tale valore è tale da non inficiare la stabilità strutturale della pila, la cui fondazione è sostenuta da un plinto su pali di grande lunghezza.

7 VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE

L'allegato 1 alla "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" prescrive che la valutazione della compatibilità di un'assegnata opera pubblica o di interesse pubblico con il regime fluviale potenzialmente interferito venga condotta attraverso l'analisi di alcuni distinti effetti.

Nel seguito, si riportano, per ciascuno dei suddetti effetti, le considerazioni desumibili dai calcoli idraulici effettuati.

Effetto E.1: modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena

Per la valutazione delle modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena occorre valutare gli effetti generati dai ponti di Stazzona e di Tirano in progetto e dal rilevato costituente la nuova S.S. 38.

Le simulazioni effettuate mostrano un effetto trascurabile delle pile dei ponti in progetto sul profilo di piena. Le quote del pelo libero nella situazione esistente e in quella di progetto restano sostanzialmente uguali per il ponte di Tirano; la presenza della pila in alveo nel ponte di Stazzona determina un innalzamento massimo di circa 0,7m del livello nella sezione immediatamente a monte dell'opera. L'effetto del rigurgito provocato dalla pila in alveo si esaurisce in un tratto limitato a monte del ponte.

Riguardo al franco disponibile, esso risulta superiore al valore limite pari ad 1,00 m.

Per quanto riguarda il rilevato stradale, il modello idraulico ricostruito a partire dal modello AIPO, dalla sezione 320 alla sezione 333, modificato per tenere conto anche dei muri verticali in corrispondenza degli argini come previsto dal progetto dell'AIPO, ha prodotto i seguenti risultati:

- Il livello idrico associato ad una piena duecentennale interessa direttamente il rilevato stradale esclusivamente a valle del nuovo ponte di Tirano, per un tratto di circa 1050 m;
- Le velocità dell'acqua nella zona di esondazione sono da ritenersi piccole e non in grado di innescare pericolosi fenomeni di erosione localizzata. Per ragioni di sicurezza, comunque, è prevista una protezione a scogliera del piede del rilevato e una biostuoia che garantisca il rinverdimento del versante.

Inoltre, il volume del rilevato risulta molto limitato se paragonato a quello dell'idrogramma di piena: pertanto, la riduzione della capacità di laminazione della piena appare del tutto trascurabile.

La quota del piano viabile è stata fissata in modo da ottenere un franco minimo di 1 m rispetto al livello di massima piena. Pertanto, nei tratti ove il rilevato stradale coincide con il limite delle fasce fluviali, esso si trova a tutti gli effetti a funzionare come nuovo argine per il fiume Adda incrementando, quindi, il grado di sicurezza idraulica. Per questo motivo, nei suddetti tratti, viene prevista una protezione a scogliera del rilevato nonché l'interposizione di una strada arginale come espressamente richiesto dal Magistrato per il Po onde consentire le operazioni di manutenzione dell'alveo. Laddove l'argine non è protetto dalla scogliera, si prevede la posa di una stuoia di origine naturale (biostuoia) per i primi due metri della scarpata sinistra nel tratto, lungo 1050 m, a partire da 280 m a valle del nuovo ponte di Tirano. Si prevede di proteggere anche la scarpata destra per circa 420m, a partire da circa 780m a valle del ponte di Tirano di progetto.

Effetto E.2: riduzione della capacità di invaso dell'alveo

Il volume complessivo "sottratto" all'esondazione è pari a circa 870.000 m³, evidentemente trascurabile nei riguardi di un'onda di piena caratterizzata da volumi complessivi di molti milioni di metri cubi: l'effetto eventuale della cassa d'espansione sarebbe esaurito in pochi minuti.

Effetto E.3: interazioni con le opere di difesa idraulica (opere di sponda e argini) esistenti

Non sono previsti interventi che possano modificare il funzionamento delle opere di difesa idraulica esistenti. Con riferimento al rilevato stradale costituente la nuova SS38 in progetto, ubicato in sinistra idraulica del fiume Adda, il progetto non prevede la modifica degli argini esistenti. Nei tratti ove il rilevato stradale di progetto coincide con il limite delle fasce fluviali, esso funge in pratica da secondo argine di protezione. Le necessarie operazioni di pulizia e manutenzione delle sponde da parte delle Autorità preposte sono garantite sia dalla viabilità arginale esistente sia dalla viabilità complanare di progetto

Effetto E.4: opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento

Le opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento si identificano con le protezioni a scogliera previste per il rilevato costituente la nuova S.S. 38 e per il tratto arginale in corrispondenza del nuovo ponte di Tirano.

Effetto E.5: modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena

Non si segnalano possibilità di modifiche dell'alveo inciso in quanto non sono previste opere in tale area.

Non vi sono ragionevoli indicazioni che portino ad individuare nuove vie di deflusso all'interno dell'alveo di piena.

Effetto E.6: modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale

Le opere di protezione sono progettate utilizzando tecniche di ingegneria naturalistica volte a limitare l'impatto sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Effetto E.7: condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena

Il modello di calcolo non evidenzia rischi particolari.

Nel caso del rilevato costituente la nuova S.S. 38, l'opera si mostra molto utile in condizioni di eventi di piena in quanto, grazie al franco di progetto adottato, si pone a garanzia di eventuali operazioni di evacuazione di aree a rischio.

Riguardo ai ponti in progetto, si evidenziano il rispetto del franco minimo con un ampio margine di sicurezza, la forma circolare delle pile, le ampie luci previste: tutti aspetti che permettono di ritenere sicura l'opera nei confronti degli eventi di piena ad elevato tempo di ritorno.

Vengono nel seguito riportate le verifiche idrauliche delle opere in progetto, in particolare quelle del nuovo ponte di Stazzona, di quello di Tirano e di alcuni tratti di rilevato che interferiscono con le fasce fluviali A e B.

7.1 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEI PONTI NUOVI DI TIRANO E STAZZONA

La modellazione sviluppata ha dimostrato la compatibilità idraulica dei ponti in progetto; come evidenziato in precedenza, entrambe le strutture presentano un franco idraulico superiore a 1,5 m per la piena con tempo di ritorno di 200 anni

Per il nuovo ponte di Tirano è garantito un franco di 1,87 m e non vi sono pile in alveo; per il nuovo ponte di Stazzona si ha 1,89 m di franco in corrispondenza del punto più basso nella zona interessata dall'acqua.

Le norme NTC 2008 e le Norme di Attuazione del PAI, contenute nella Direttiva 4 del 5 aprile 2006 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" prescrivono che "Il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a un 1,0 m".

Poiché l'altezza cinetica è pari a 0,60 m a monte del ponte di Stazzona e 1,85 m a monte del ponte di Tirano, il franco minimo da normativa risulta verificato. Per quanto riguarda il rispetto dell'alveo attivo, le pile del ponte di Tirano sono al di fuori dell'alveo stesso, mentre, per il ponte di Stazzona, solo una pila ricade nell'area interessata dalla piena.

La norma relativa alla dislocazione delle pile prescrive che "la parte maggiormente attiva dell'alveo, significativamente l'alveo inciso, deve essere lasciata libera da pile, compatibilmente con i vincoli di natura strutturale, ricercando una soluzione che collochi le pile in golenia o nelle zone dove l'altezza d'acqua in piena sia relativamente modesta." Nel caso in esame il vincolo è dato dalla conformazione della viabilità di progetto, in curva proprio sul ponte di Stazzona che pertanto non risulta essere perpendicolare al fiume. Una pila è posta in golenia, non sono allineate in alveo e la loro distanza, anche ortogonalmente alla corrente, è superiore ai 40m.

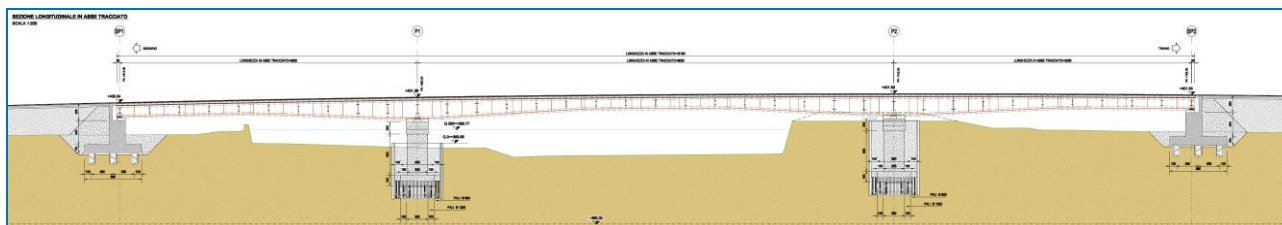


Figura 7.1 - nuovo ponte di Stazzona (vista lato valle)

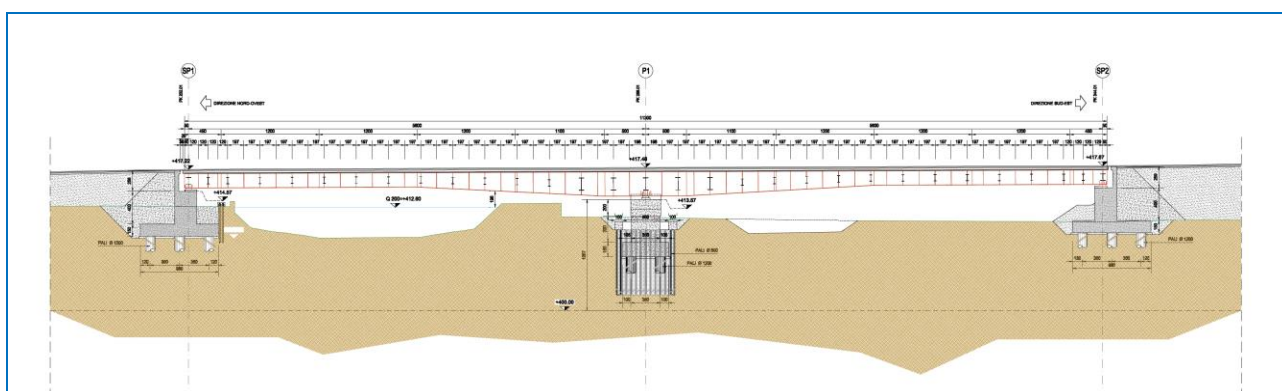
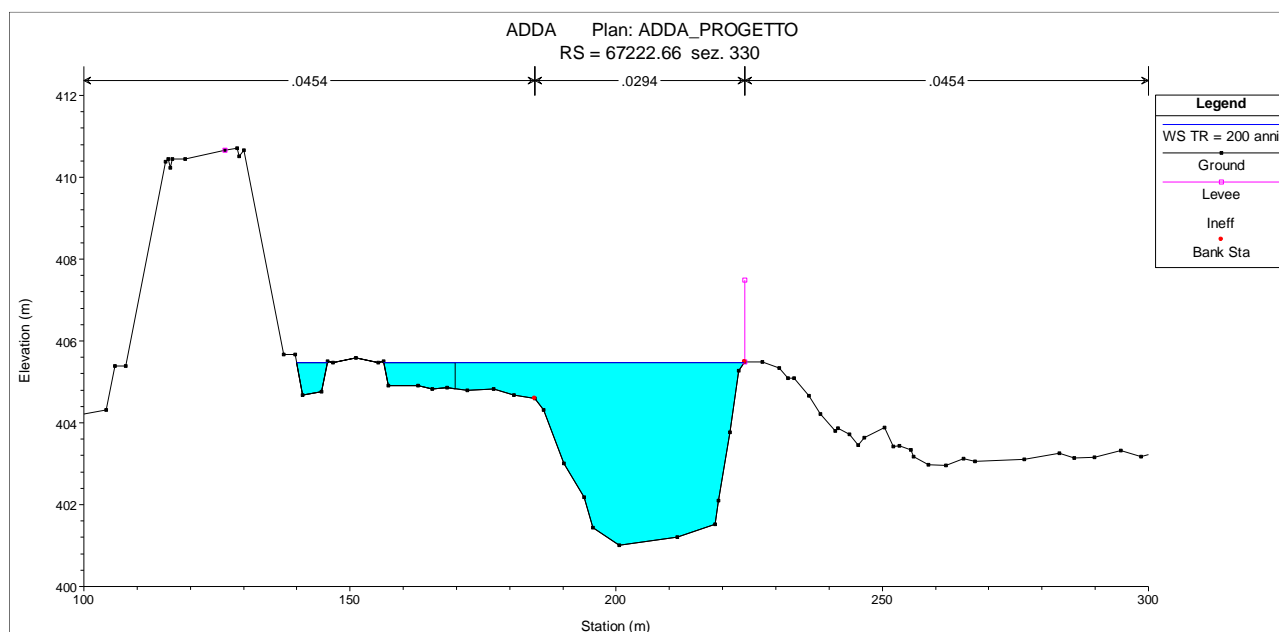
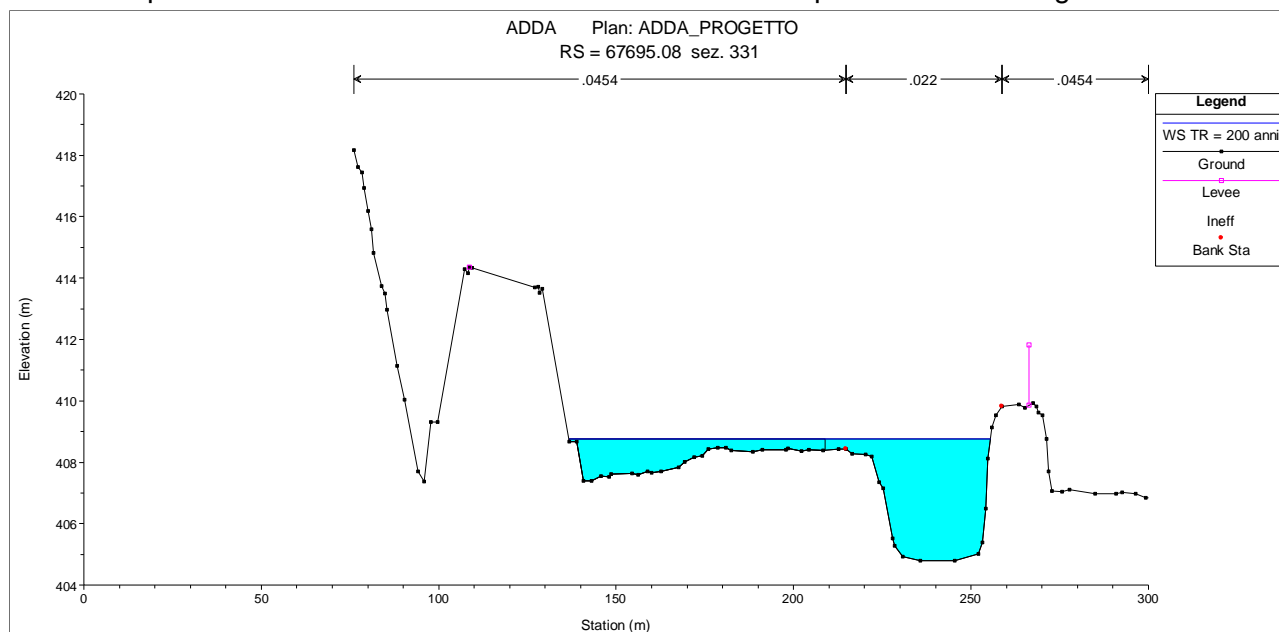


Figura 7.2 - nuovo ponte di Tirano (vista lato valle)

7.2 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEL RILEVATO

Il piano stradale posto sul nuovo rilevato in progetto ha una quota notevolmente più elevata della superficie libera dell'Adda simulata per la piena con TR pari a 200 anni; quindi si può affermare che la nuova strada risulta al riparo da eventuali rischi di inondazione del corso d'acqua. I franchi idraulici rispetto alla strada sono in media di circa 5m come si può vedere nelle figure sottostanti.



Nella simulazione si è ipotizzato che il rilevato stradale sia impermeabile alla piena dell'Adda e quindi non si lasci attraversare dal flusso della corrente del fiume. Come descritto nella relazione dell'idraulica di piattaforma i tombini a servizio del drenaggio della piattaforma stradale e quelli di attraversamento degli impluvi esistenti che scaricano direttamente in Adda sono dotati di valvole clapet che si chiuderanno all'occorrenza per evitare rigurgiti da parte del fiume Adda oltre il rilevato stradale proprio utilizzando tali manufatti idraulici.

Si è, inoltre, verificata la compatibilità idraulica del rilevato rispetto a quanto previsto dal PAI, dal momento che nel tratto tra la zona artigianale a sud di Tirano e la frazione di S. Bernardo esso è previsto a ridosso del fiume Adda all'interno della fascia fluviale A definita dal suddetto Piano.

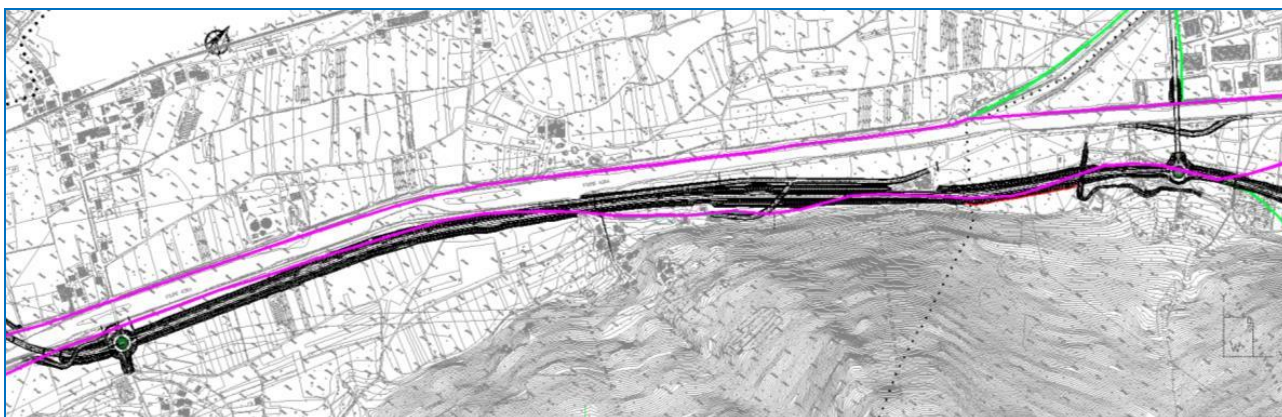


Figura 33: Sovrapposizione del tracciato sulla fascia fluviale A del PAI (linea magenta)

Come si evince dall'Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II "Norme per le fasce fluviali" delle Norme di Attuazione del PAI, "la fascia di deflusso della piena (Fascia A), è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena". Per l'identificazione di tale fascia "fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0,4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali)".

Dal momento che la realizzazione del rilevato comporterà una riduzione della superficie utile al deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni nel tratto compreso tra 130 m a monte del nuovo ponte di Tirano e la sezione RS 66719.98 (quindi a metà tra la confluenza del Poschiavino e il ponte esistente di Stazzona), si è valutata l'entità di tale interferenza calcolando le seguenti grandezze:

- Superficie attuale di deflusso in sinistra idrografica (Fascia A del PAI) nel tratto interferito: 142983 mq;
- Superficie di deflusso in sinistra idrografica occupata dal rilevato in progetto: 40940 mq
- Superficie di deflusso in sinistra idrografica rimanente: 102043 mq.

Si ha, quindi, che circa il 29% dell'attuale superficie di deflusso (Fascia A) risulterà non occupabile dalla piena per la presenza del rilevato o perché interclusa dallo stesso. In termini di volume idrico calcolato a partire dai tiranti medi stimati dalla modellazione nelle aree soggette ad allagamento, si ha:

- Volume idrico accumulabile allo stato attuale nella Fascia A: 281168 mc;
- Volume occupato dal nuovo rilevato nella Fascia A: 62344 mc;

Si ha, quindi, che circa il 22% dell'attuale volume a disposizione del deflusso nella Fascia A risulterà inutilizzabile per la presenza del rilevato. Si vuole far notare, infine, che il volume idrico complessivo corrispondente ad una piena dell'Adda con tempo di ritorno 200 anni ammonta a circa 63,9 milioni di mc (idrogramma di piena stimato con analisi idrologica), rispetto ai quali il volume accumulabile allo stato attuale nella Fascia A (281168 mc) rappresenta solo lo 0,45%, mentre il volume sottratto dal rilevato (62344 mc) corrisponde allo 0,1%.

È evidente, quindi, che il volume occupato dal rilevato contribuirebbe in modo ininfluenza alla laminazione della piena, anche in considerazione del fatto che un funzionamento corretto ed efficace delle aree di accumulo e laminazione è sempre estremamente difficile da raggiungere (ad esempio in termini di taglio del picco di piena).

8 VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' DELLE OPERE DI ATTRAVERSAMENTO DURANTE LE FASI DI LAVORO

I due nuovi ponti in progetto prevedono una durata dei lavori in alveo tra i **5** (ponte di Tirano) e gli **8 mesi** (nuovo ponte di Stazzona).

Di seguito si riportano le verifiche di compatibilità delle opere di attraversamento durante le fasi di lavoro con una portata al colmo associata ad un determinato periodo di ritorno e, alla luce dei risultati, l'eventuale progettazione di opere provvisionali in alveo.

8.1 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA PER LA VERIFICA IDRAULICA

Il tempo di ritorno da utilizzare per la determinazione della portata al colmo dovrebbe essere quello che, nella durata attesa dei lavori, determini lo stesso rischio di superamento presentato dall'evento duecentennale nella durata tecnico-economica delle opere (100 anni).

Questo significa che le portate di progetto delle opere provvisionali devono essere determinate in modo che il rischio idraulico ammissibile R , sia pari al rischio idraulico ammissibile delle opere definitive, alla cui realizzazione le opere provvisionali sono asservite.

Assegnata una portata di progetto derivante da un evento con tempo di ritorno T_r e relativa ad un'opera la cui durata economica è pari ad N , il rischio idraulico ammissibile R è esprimibile attraverso la relazione:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r} \right)^N$$

dove T_r e N valgono rispettivamente 200 e 100 anni.

Dal programma lavori si ricava che la durata delle opere provvisionali, ovvero il tempo strettamente necessario al completamento dei lavori relativi alla realizzazione delle opere permanenti, risulta essere al massimo di 8 mesi.

Le opere definitive sul fiume Adda sono verificate con portate derivanti da eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni: per quanto detto, il rischio idraulico ammissibile per le opere provvisorie è posto pari a 0,39; ne consegue che, assegnata una durata delle opere provvisionali di 8 mesi (0,7 anni), tali opere devono essere dimensionate per soddisfare portate derivanti da eventi con tempo di ritorno pari a 2 anni ($N=0,7$ anni e $T_r=2$ anni).

Le portate che verranno utilizzate per le verifiche idrauliche durante le fasi di lavoro in alveo saranno quindi:

- ponte di Tirano $Q=178 \text{ m}^3/\text{s}$, portata associata a $T=2$ anni, calcolata dallo studio commissionato dalla Comunità Montana dell'Alta Valtellina di Tirano (Studio Franzetti) ;
- nuovo ponte di Stazzona $Q=214 \text{ m}^3/\text{s}$, portata calcolata considerando lo stesso rapporto tra le portate duecentennali a monte e a valle del torrente Poschiavino.

8.2 OPERE PROVVISORIALI IN ALVEO

Le sezioni in corrispondenza del nuovo ponte di Stazzona, ristrette per permettere i lavori in alveo, vengono attraversate da una portata con tempo di ritorno 2 anni ($214 \text{ m}^3/\text{s}$) con un tirante di 2,1 m. È stata prevista, in sponda destra una tura provvisoria per tutta la durata dei lavori in alveo (8 mesi), alta circa 1.00m, che garantirà il passaggio di tale portata con un **franco idraulico di 0.5 m**.

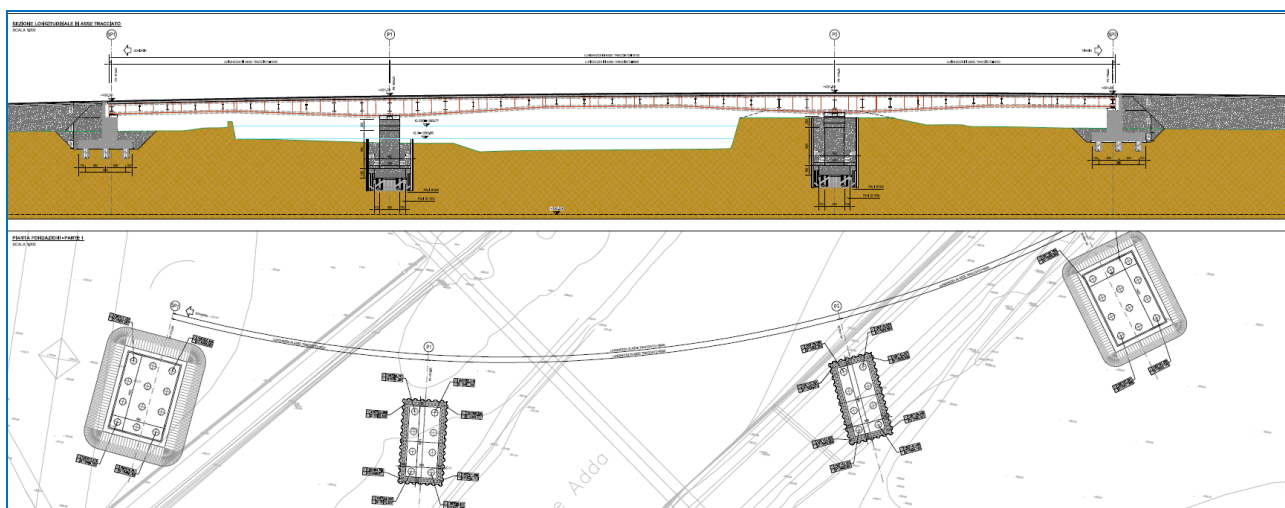


Figura 8.1: planimetria e sezione del ponte di Stazzona, opere in fondazione per garantire il passaggio di una portata con tempo di ritorno 2 anni (vista valle monte)

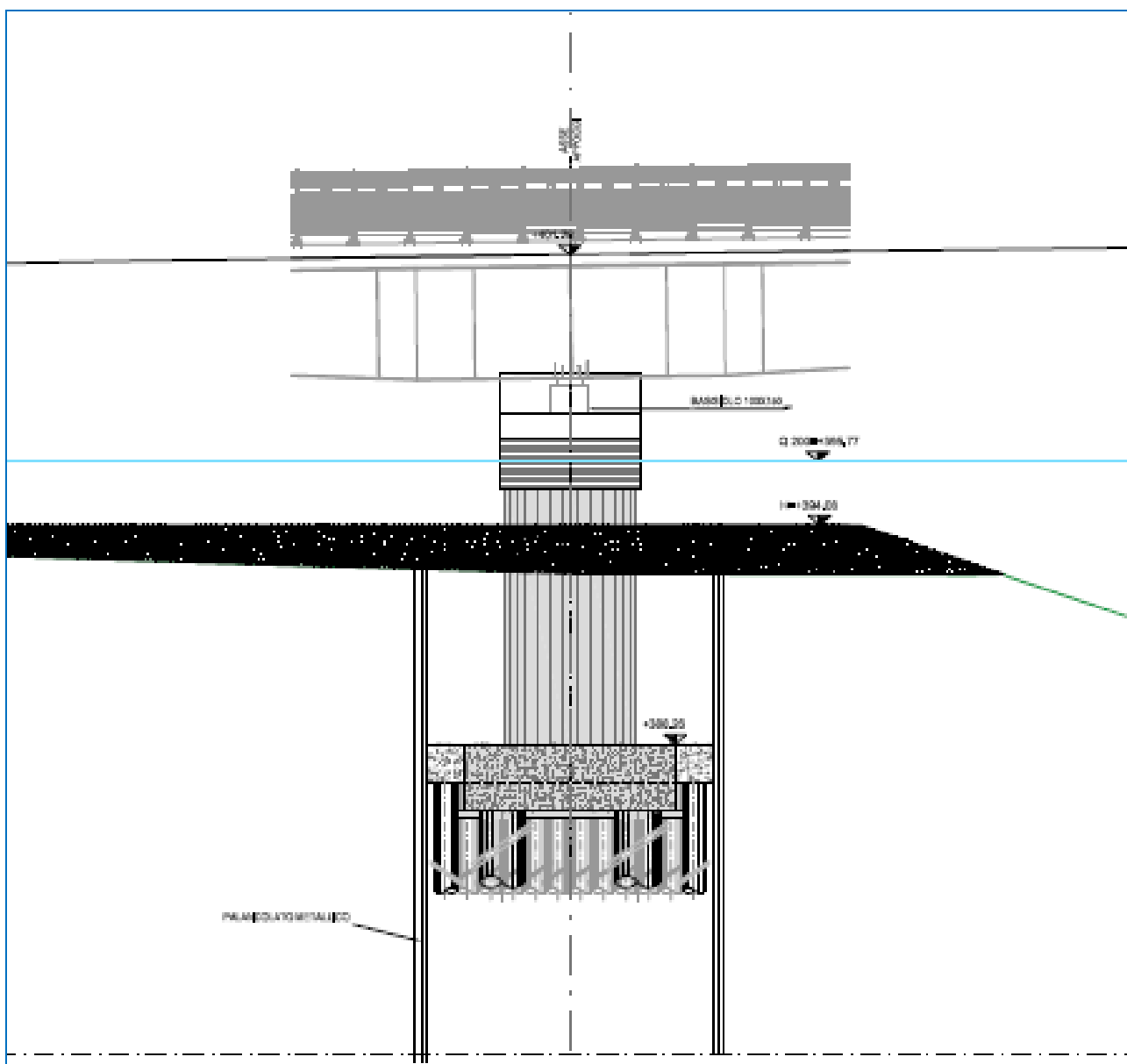
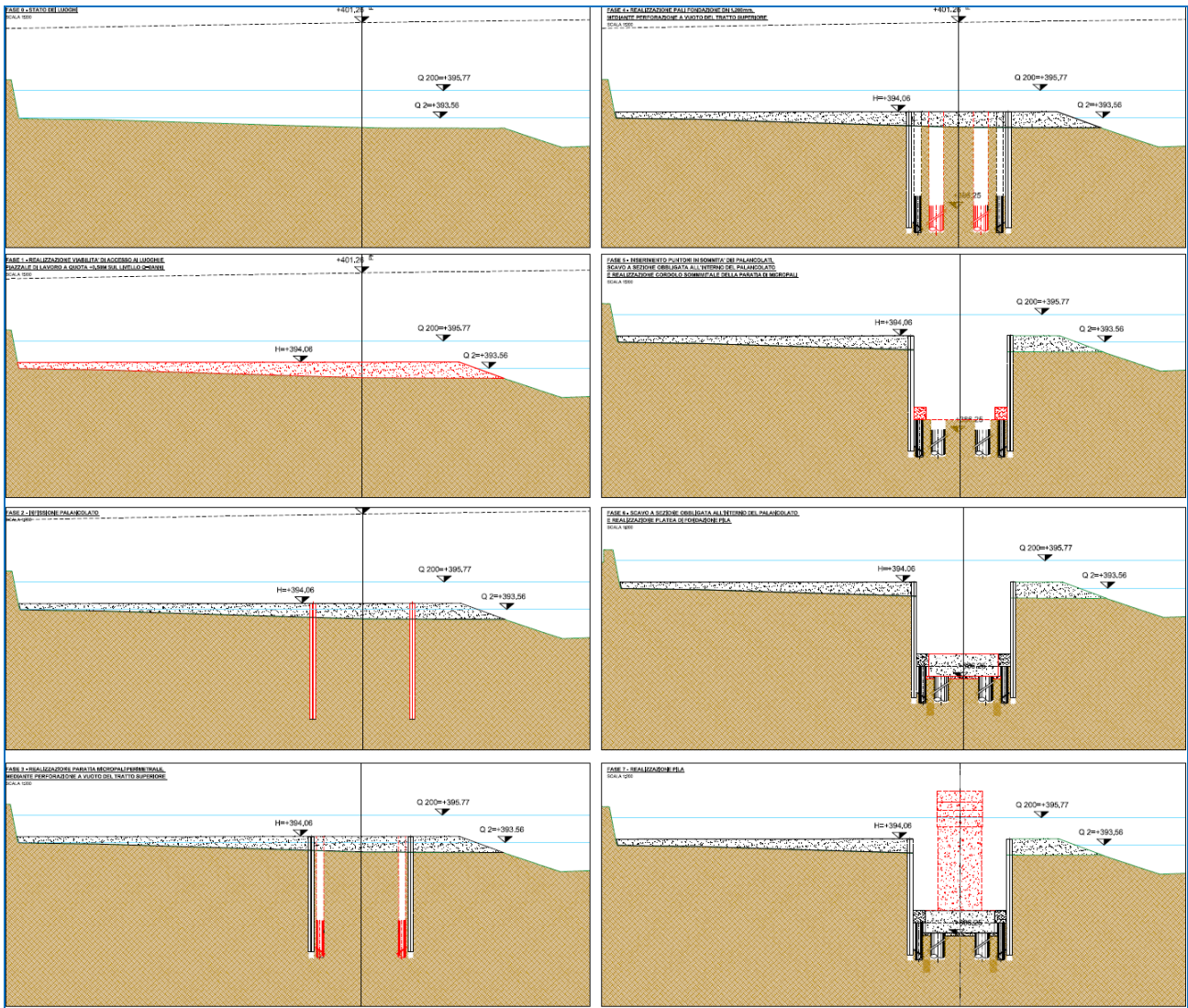


Figura 8.2: sezione del ponte di Stazzona, scavi per la fase lavori e costruzione di una tura provvisoria per garantire il passaggio di una portata con tempo di ritorno 2 anni (vista valle monte)

- fase 2: realizzazione di una pista in golena e di un piano di lavoro in corrispondenza della pila.
- fase 3: Su questo piano di lavoro, inizialmente sarà infisso un palancoato metallico perimetrale alla soletta di fondazione, così da consentire lo scavo a sezione obbligata senza manomettere la golena.
- Fase 4: si realizzerà all'interno del palancoato una paratia perimetrale di micropali, per stabilizzare il piede del palancoato.
- Fase 5: Si procede quindi, sempre dall'alto, a perforare i pali di grande diametro di fondazione del plinto.
- Fase 6: scavo all'interno del palancoato e realizzazione del cordolo in c.a. della paratia di micropali.
- Fase 7: getto della soletta in c.a. del plinto
- Fase 8: realizzazione del fusto della pila
- Fase 9: riempimento dello scavo con scogliera di pietrame, sfilaggio del palancoato e ripristino dei luoghi.



Così operando, in alveo si crea un disturbo minimo al passaggio della corrente di piena, le opere in fase di realizzazione sono sempre protette.

9 CONSIDERAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO NEL TRATTO DI FIUME ADDA IN ESAME

Nel presente capitolo si analizza nel dettaglio il trasporto solido alla luce del sopralluogo effettuato in data 6 settembre 2017 per valutare la granulometria del materiale presente attualmente in alveo e dei risultati ottenuti mediante le simulazioni HEC-RAS relativamente alla modellazione del fiume Adda nel tratto di interesse.

Si intende ora analizzare la dinamica del trasporto solido di fondo nel tratto di fiume Adda in esame allo scopo di verificare se al passaggio della piena duecentennale ci possano essere delle criticità. In particolare si verificherà se l'alveo ha la propensione al formarsi di scavi o depositi consistenti.

Come già mostrato in precedenza, l'alveo del fiume Adda nel tratto interferente con i lavori (recentemente sistemato tra la confluenza con il Poschiavino e il ponte vecchio di Stazzona) presenta una sezione molto regolare e, al di là della confluenza con il Poschiavino, le uniche interferenze in alveo saranno costituite dal nuovo ponte a monte della confluenza (che tuttavia non presenta pile e spalle nell'alveo attivo) dal ponte di Stazzona esistente (2 pile in alveo e spalle rientranti) e dal nuovo ponte di Stazzona con viadotto che presenta una sola pila nell'alveo attivo.

A questo scopo si è proceduto ad analizzare i risultati della modellazione idraulica eseguita con il software HEC-RAS per valutare la capacità di trasporto nei vari punti del tratto di torrente Adda in esame. In particolare attraverso i parametri idraulici in output della simulazione quali la velocità media della corrente, il raggio idraulico e la pendenza della linea dell'energia è stato possibile valutare in ogni sezione la capacità di trasporto.

La formulazione utilizzata per valutare la capacità di trasporto è quella di Meyer-Peter e Müller (1948), ma va detto che applicando anche altre formulazioni di trasporto solido i risultati non cambiano significativamente anche perché lo scopo è apprezzare le variazioni in direzione longitudinale tra sezione e sezione, più che l'entità del trasporto solido in sé.

La capacità di trasporto q_s [m^2/s] rappresenta la quantità di materiale che può transitare nella sezione nell'intervallo di tempo [s] per unità di larghezza e viene stimata tramite la citata formulazione di Mayer-Peter e Müller. Q_s [m^3/s], invece, è il trasporto solido totale ed è stato valutato moltiplicando la q_s per la larghezza locale della corrente (alveo attivo).

Il trasporto solido totale secondo Meyer-Peter e Müller è, dunque, definito come:

$$Q_s = 8d \sqrt{g\Delta d} \cdot (\theta - \theta_c)^{1.5} \cdot B$$

Dove:

- θ = parametro di Shields;
- θ_c = parametro di Shields critico pari a 0,047;
- B = larghezza locale dell'alveo;

A sua volta il parametro locale di Shields dipende dal diametro rappresentativo della curva granulometrica del fondo e dallo sforzo tangenziale al fondo come segue:

$$\theta = \frac{\tau}{\rho g \Delta d} = \frac{R_H i_f}{\Delta d}$$

- g = accelerazione di gravità;
- ρ = densità dell'acqua;
- ρ_s = densità del sedimento;

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = 1.65 \text{ densità relativa}$$

-
- $d = d_{50} =$ diametro caratteristico del fondo = 8.1 cm
- $\tau =$ sforzo tangenziale sul fondo (N/m²)

La Figura 9.1 mostra la planimetria del tratto in esame con indicazione delle sezioni del modello HEC-RAS e la posizione dei tre ponti in esame.

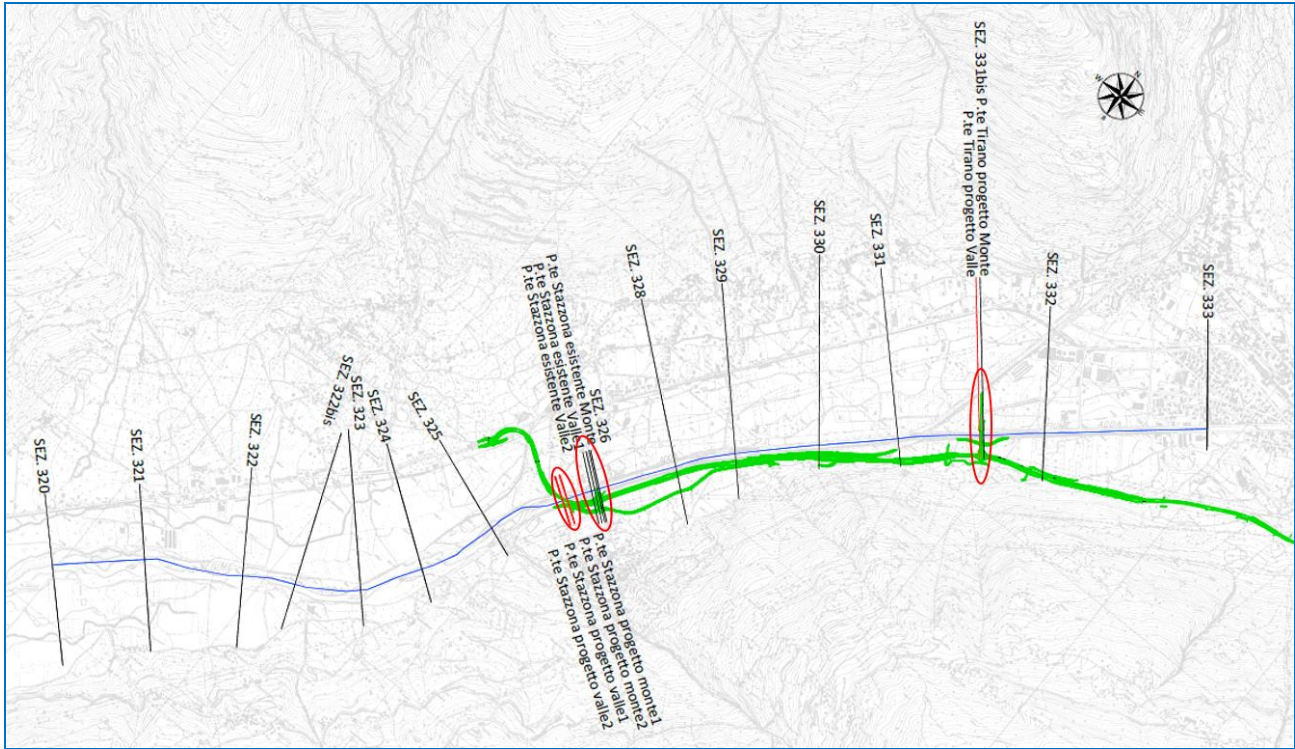


Figura 9.1 – Posizione planimetrica delle sezioni inserite nel modello numerico nella zona di interesse

Sulla base della formulazione sopra citata sono state valutate la capacità di trasporto e la portata solida per tutte le sezioni per i tempi di ritorno 200 anni. I valori sono mostrati nella Tabella 9.1:

Numero sezione AIPo (studio 2013)	Numero sezione modello (progressiva fluviale in m)	Q	v_m	RI	B	le	θ	Q_s/B	Q_s
		portata totale [m ³ /s]	velocità media corrente [m/s]	raggio idraulico [m]	larghezza locale [m]	pendenza linea energia [m/m]	parametro di Shields [N/m ²]	capacità di trasporto [m ² /s]	trasporto solido [m ³ /s]
333	69529.94	830	8.65	3.10	26.25	0.0080	0.186	0.0383	1.007
332	68569.1	830	8.96	2.83	30.18	0.0097	0.205	0.0468	1.412
331bis	68205.48	830	8.52	2.79	32.82	0.0090	0.187	0.0390	1.281
	68200	Bridge							
	68185	830	8.24	2.88	32.82	0.0080	0.173	0.0330	1.085
331	67695.08	917	7.83	2.66	40.69	0.0083	0.165	0.0301	1.225
330	67222.66	917	6.38	3.22	39.36	0.0083	0.201	0.0447	1.759
329	66719.98	917	6.23	2.88	48.67	0.0082	0.177	0.0346	1.684
328	66357.62	917	5.85	3.29	44.79	0.0060	0.148	0.0240	1.074
326	65890.16	917	4.84	3.92	43.50	0.0033	0.096	0.0080	0.350
326 pte Stazzona monte	65880.16	917	5.01	3.85	43.40	0.0036	0.104	0.0100	0.433
	65875	Bridge							
326 pte Stazzona valle	65870.16	917	6.76	3.00	42.52	0.0091	0.205	0.0465	1.978
326 pte Stazzona valle	65850.16	917	6.93	2.84	42.27	0.0103	0.219	0.0529	2.238
	65705	917	4.93	3.08	58.18	0.0047	0.108	0.0112	0.652
	65700	917	4.84	3.12	58.67	0.0044	0.104	0.0100	0.588
	65690	Bridge							
	65677	917	5.46	2.80	58.49	0.0065	0.137	0.0200	1.170
	65672	917	6.04	2.43	58.14	0.0097	0.176	0.0342	1.990
325	65183.16	917	3.90	2.73	60.12	0.0054	0.110	0.0118	0.712
324	64666.12	917	2.52	2.38	139.44	0.0019	0.034	0.0000	0.000
323	64275.72	917	4.04	3.17	55.91	0.0060	0.142	0.0216	1.208
322bis	63857.53	917	4.17	2.45	87.90	0.0067	0.123	0.0156	1.370
322	63538.97	917	3.50	2.05	126.23	0.0060	0.092	0.0072	0.904
321	62946.09	917	3.15	1.70	169.79	0.0062	0.079	0.0042	0.719
320	62395.7	917	2.81	1.69	191.77	0.0050	0.063	0.0015	0.294

Tabella 9.1 - parametri idraulici e capacità di trasporto nelle sezioni in esame per i tempi di ritorno 200 anni

La Figura 9.2 mostra l'andamento longitudinale della capacità di trasporto per la portata di picco con tempo di ritorno di 200 anni. Si può notare come la portata solida in generale vada leggermente calando da monte verso valle, in particolare a valle della confluenza con il Poschiavino e questo è dovuto principalmente al leggero calo della pendenza del fondo e alla regolarità della sezione che andando verso valle si presenta larga e senza discontinuità. Come era facile aspettarsi gli unici due valori elevati di trasporto solido si manifestano in corrispondenza delle sezioni del Ponte vecchio di Stazzona e del nuovo viadotto, i quali presentano pile in alveo. Il restringimento locale indotto dalla sezione ed il conseguente aumento della velocità generano un locale aumento del trasporto solido. Tale aumento locale non desta comunque preoccupazioni in quanto lo squilibrio teorico di portata solida nella realtà è spesso bilanciato dal fatto che nella zona dei ponti per filtro naturale o per sistemazione voluta è presente una granulometria con dimensione maggiore che corazzava il fondo e tende a far calare localmente il trasporto solido.

Presso le pile del ponte esistente di Stazzona il fondo del corso d'acqua è già stato recentemente sistemato e non si riscontrano scavi localizzati preoccupanti. In corrispondenza del nuovo ponte di Stazzona, presso l'unica pila in alveo attivo non si prevedono escavazioni ingenti in quanto la

modellazione idraulica ha sicuramente sovrastimato le velocità locali avendo inserito nella geometria del modello un'unica sezione con entrambe le pile (una fuori e una dentro l'alveo attivo). L'andamento della capacità di trasporto sopra valutata trova conferma nel tratto a valle del ponte di Stazzona in progetto in quanto in corrispondenza della progressiva 64666.1, sezione 324 delle sezioni AIPO (vedasi Figura 9.3) si prevede una capacità di trasporto molto bassa e dunque una possibile zona di deposito. In effetti presso tale sezione l'alveo risulta molto largo e il fiume Adda negli anni ha assunto un andamento meandriforme con depositi di materiale disposti su tutta la larghezza (notevole) della sezione.

In conclusione non si riscontrano situazioni di particolare criticità.

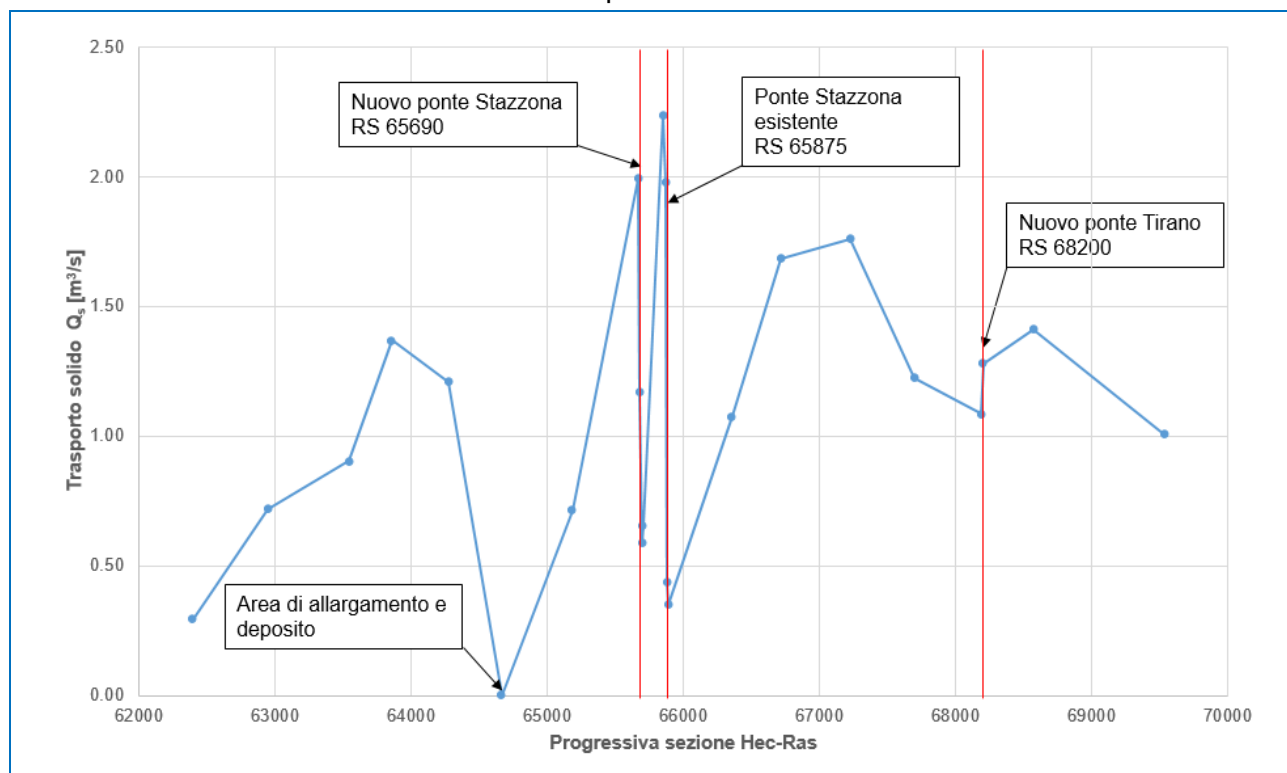


Figura 9.2: Andamento del trasporto solido Q_s , lungo il tratto di Adda analizzato, per la portata con tempo di ritorno di 200 anni.

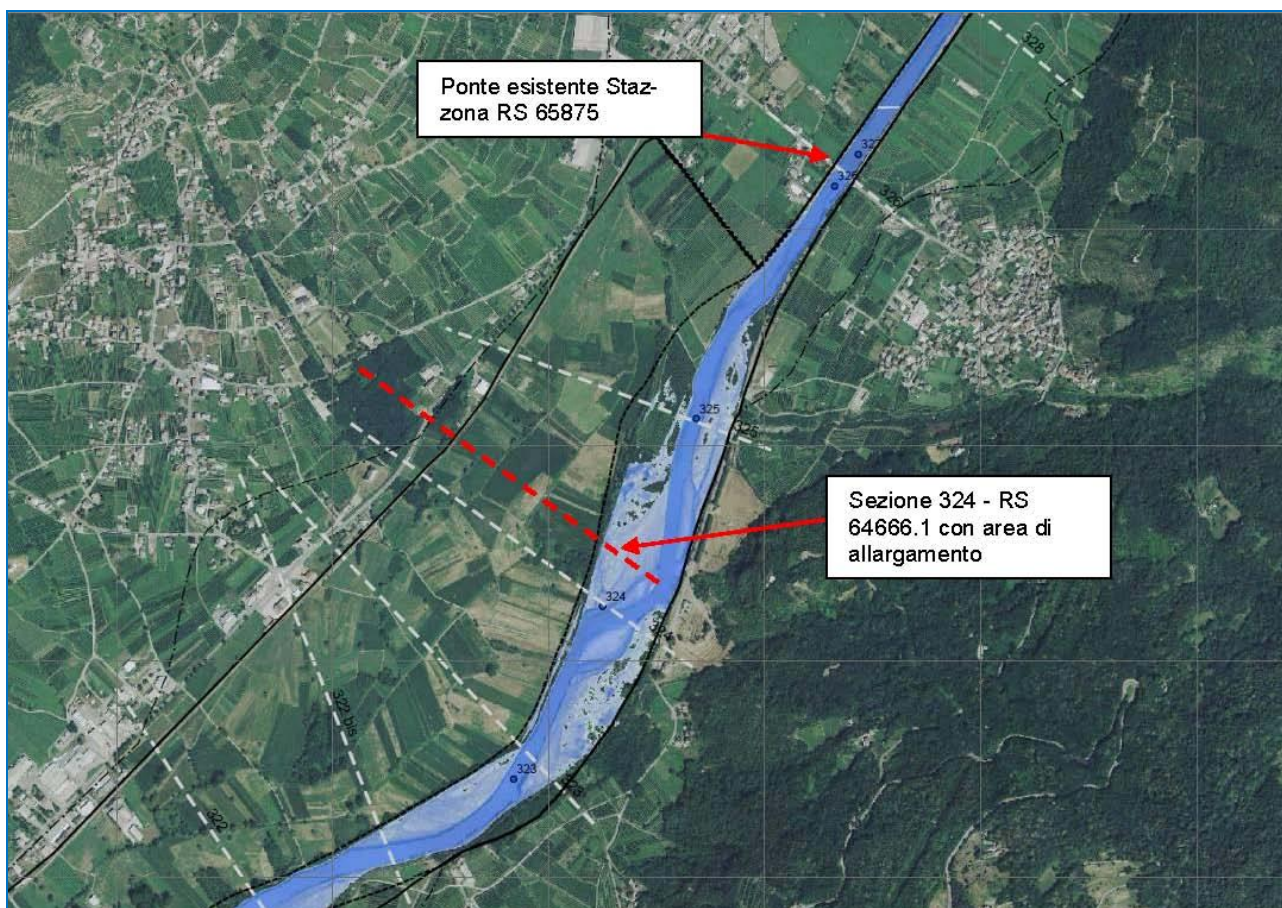


Figura 9.3: Planimetria dell'area del fiume Adda a valle del ponte di Stazzona esistente con indicazione dell'area di allargamento e possibile deposito a valle

Va detto, infine, che la capacità di trasporto potenziale individuata dall'analisi sopra citata in condizioni di piena, per trasformarsi in trasporto solido reale, necessita di apporti di sedimento dalle zone poste a monte. Andando ad analizzare le zone a monte dell'area in esame (vedasi Figura 9.4) si può notare come siano presenti delle aree di ritenuta dei sedimenti sia sul Poschiavino che sull'Adda.

In particolare nella valle del Poschiavo è presente l'omonimo lago di notevoli dimensioni con una capacità di 120 milioni di metri cubi e risulta evidente come eventuali eccessi di trasporto solido nelle aree più a monte nel massiccio del Bernina verrebbero intercettate da tale invaso prima di proseguire verso valle in direzione di Tirano.

Per quanto concerne il fiume Adda poco a monte di Tirano è presente l'invaso di Sernio che funge da bacino di accumulo (a scala giornaliera) e traversa fluviale per la centrale idroelettrica di Stazzona (gestita da A2A) che successivamente scarica le acque turbinate a valle del tratto in esame. L'invaso di Sernio ha una capacità di 0,7 milioni di metri cubi e sia pur di dimensioni non elevate è sicuramente in grado di trattenere eventuali eccessi di trasporto solido provenienti da monte in condizioni di piena.

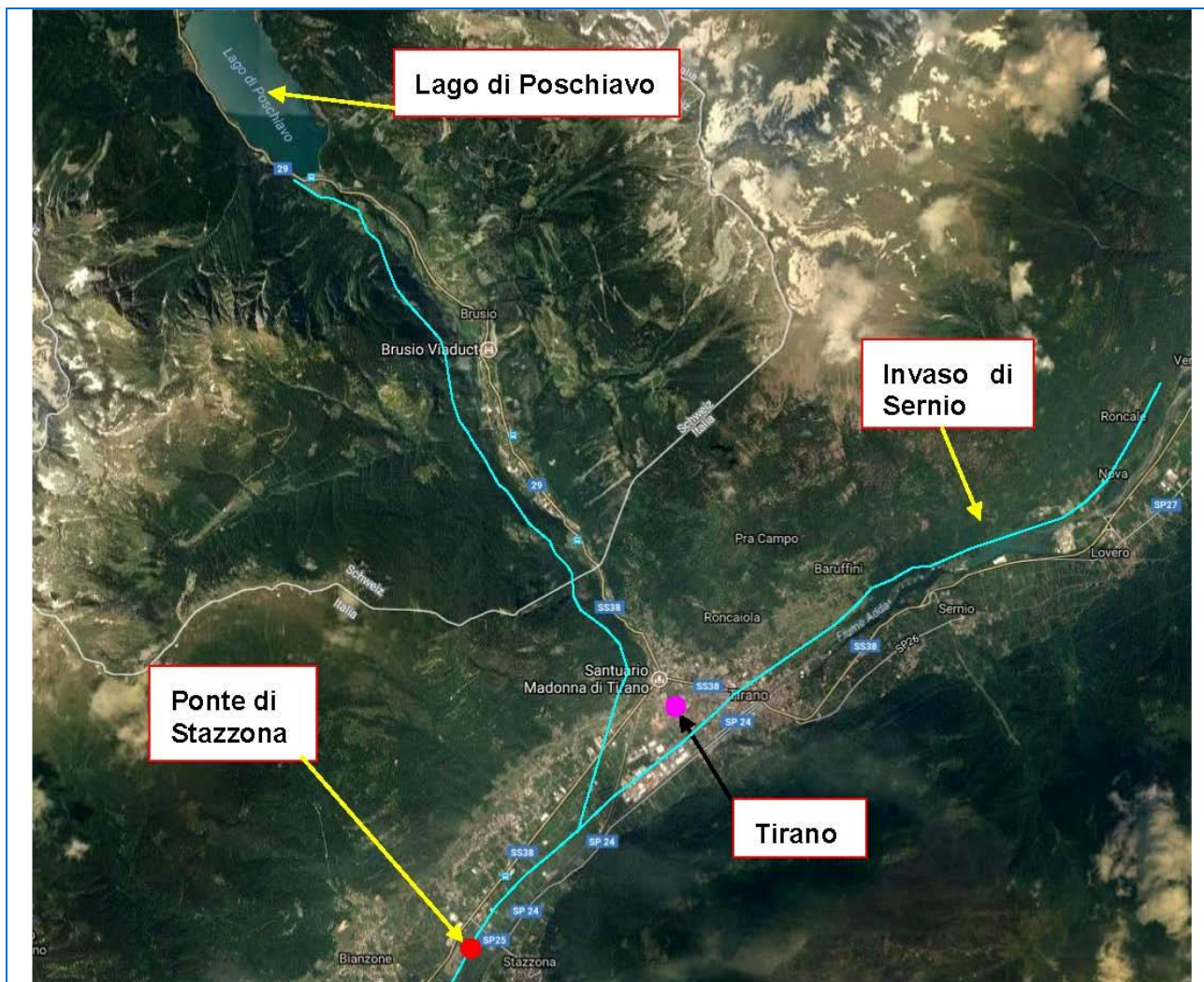


Figura 9.4: Planimetria dell'area della confluenza tra Adda e Poschiavino con indicazione degli invasi presenti a monte che limitano la potenziale capacità di trasporto solido in alveo

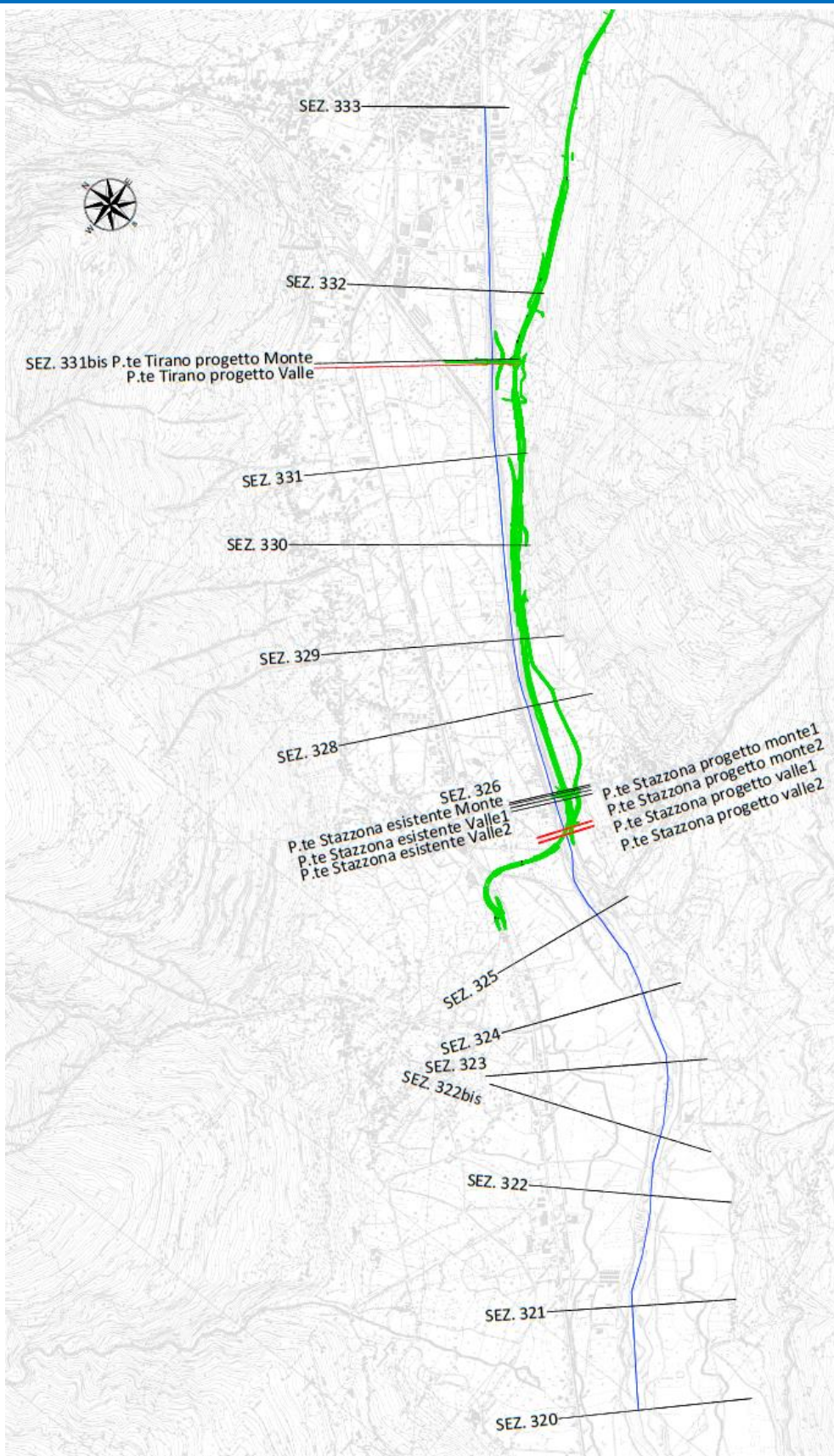
Tale analisi volutamente non tiene in considerazione di possibili eventi catastrofici come l'alluvione avvenuta in Valtellina nel 1987 in quanto per eventi di tale portata, totalmente imprevedibili, le problematiche sarebbero di scala molto maggiore e diverse dal solo trasporto solido di fondo in alveo.

10 BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

- 11 Autorità di bacino del fiume Po: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato al P.A.I. - (2001);
- 12 Autorità di bacino del fiume Po: Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B" - (1999);
- 13 Autorità di bacino del fiume Po: Analisi idraulica sull'asta dell'Adda Sopralacuale finalizzata alla redazione delle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni - (2013);
- 14 Silvio Franzetti per Comunità Montana Alta Valtellina: Studio idraulico del fiume Adda - (1985);
- 15 ISMES per Provincia di Sondrio: Mappe delle aree a rischio idraulico della Valtellina da Sondrio al lago - (1994);
- 16 Italtelna s.p.a. et al. per Regione Lombardia: Mappe di rischio idraulico di Adda, Brembo ed Oglio - (1989);
- 17 Aquater s.p.a. per Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato per il Po - Ufficio Operativo di Cremona: Relazione Idrologico - idraulica dei "Lavori di regolarizzazione dell'alveo e consolidamento delle _protezioni spondali nei comuni di Tirano, Villa di Tirano e Bianzone - (1993);
- 18 Chow, Maidment, Mays: Applied Hydrology - Mc Graw Hill, New York (1988);
- 19 Ugo Maione: Le piene fluviali - La Goliardica Pavese, Milano (1995);
- 20 Da Deppo, Datei, Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua - Libreria Cortina, Padova (1997);
- 21 United States Geological Survey: Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains - Water Supply, Paper 2339 - (1989);
- 22 Hydrodata s.p.a. per Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato per il Po - Ufficio Operativo di Cremona: Relazione Idrologica dei "Lavori di adeguamento della sezione di deflusso e consolidamento delle opere spondali in comune di Tirano - Lotto di completamento " - (1997);
- 23 Hydrodata s.p.a. per Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato per il Po - Ufficio Operativo di Cremona: Relazione Idraulica dei "Lavori di adeguamento della sezione di deflusso e consolidamento delle opere spondali in comune di Tirano - Lotto di completamento " - (1997);
- 24 ETATEC s.r.l. per AEM S.p.A.: Studio idrologico - idraulico finalizzato al ripristino della traversa per derivazione elettrica sul fiume Adda in località "Le Prese" - Milano - (2002)
- 25 Pro.i.ter. s.r.l. et al. per Regione Lombardia e A.N.A.S.: "Progettazione definitiva, comprensiva del quadro progettuale e del quadro ambientale dello studio V.I.A. per procedura regionale della SS. 38, variante di Tirano, dallo svincolo di Stazzona (compreso) allo svincolo di Lovero (con collegamento alla dogana di Poschiavo) " - (2003);
- 26 Agenzia Interregionale per il fiume Po: "Lavori di sistemazione della confluenza fiume Adda e torrente Poschiavino nei comuni di Tirano, Villa di Tirano e Bianzone (SO)" - (2008);
- 27 J.A. Cunge et al. : Practical aspects of computational river hydraulics - (1994);
- 28 D. Stephenson: Rockfill Hydraulic Engineering - Elsevier, Amsterdam - (1979);
- 29 Armanini, Scotton: Criteri di dimensionamento e di verifica delle stabilizzazioni di alveo e di sponda con massi sciolti e massi legati;
- 30 V. Anselmo: Massime portate osservate o indirettamente valutate nei corsi d'acqua subalpini - Atti e Rassegna Tecnica Società Ingegneri e Architetti - Torino (1985);
- 31 Service Federal des routes et des digues : Les debits maximaux des cours d'eau suisses observes jusqu 'en 1969 - (1974) ;
- 32 Magistrato per il Po - S.I.M.P.O. H.C. Hydrodataconsult: Studio e progettazione di massima delle sistemazioni idrauliche dell'asta principale del Po - (1980/81);

- 33 D. Citrini, G. Nosedà - Idraulica - Casa Editrice Ambrosiana, Milano (1992);
- 34 CAE - ISMES per Regione Lombardia: Piani di allarme connessi alla situazione di rischio idrometeorologico della Valpola - (1989)

35 ALLEGATO A: PLANIMETRIA CON INDICAZIONE DELLE SEZIONI IDRAULICHE



Nella seguente tabella sono riportati gli identificativi delle sezioni nei vari riferimenti.

Numero sezione AlPo (studio 2013)	Numero sezione modello (progressiva fluviale in m)	Posizione ponti
333	69529.94	
332	68569.1	
331bis	68205.48	
	68200	Ponte Tirano di progetto
	68185	
331	67695.08	
330	67222.66	
329	66719.98	
328	66357.62	
326	65890.16	
326 pte Stazzona monte	65880.16	
	65875	Ponte Stazzona esistente
326 pte Stazzona valle	65870.16	
326 pte Stazzona valle	65850.16	
	65705	
	65700	
	65690	Ponte Stazzona di progetto
	65677	
	65672	
325	65183.16	
324	64666.12	
323	64275.72	
322bis	63857.53	
322	63538.97	
321	62946.09	
320	62395.7	

36 ALLEGATO B: RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA, STATO ATTUALE

36.1 TABELLE DEI RISULTATI

Nella seguente tabella sono riportati le grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la simulazione dello stato attuale con portata corrispondente ai diversi tempi di ritorno.

- River Sta = N° sezione del corso d'acqua;
- Min Ch Elev = quota del fondo alveo;
- Crit WS = quota dell'altezza critica s.l.m.;
- WS Elev = quota della superficie libera s.l.m.;
- EG Slope = pendenza della linea dell'energia;
- Vel Chnl = velocità nel canale;
- Froude = numero di Froude della corrente.

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 2 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	178.00	420.20	422.07	422.37	423.35	0.008015	5.02	35.45	24.47	1.33
Adda	68569.1	178.00	412.10	413.67	414.03	415.02	0.009403	5.15	34.58	26.81	1.45
Adda	68205.48	178.00	409.09	410.63	410.93	411.81	0.008030	4.82	36.94	28.07	1.34
Adda	67695.08	214.00	404.80	406.51	406.83	407.83	0.007577	5.09	42.07	27.97	1.32
Adda	67222.66	214.00	401.01	403.19	403.22	404.06	0.007800	4.14	51.68	31.01	1.02
Adda	66719.98	214.00	398.20	399.77	399.67	400.34	0.006205	3.33	64.23	45.52	0.90
Adda	66357.62	214.00	395.30	397.09	397.09	397.81	0.007782	3.77	56.83	39.56	1.00
Adda	65890.16	214.00	392.55	394.55	394.05	394.94	0.002991	2.77	77.31	41.24	0.64
Adda	65880.16	214.00	392.50	394.50	394.02	394.91	0.003193	2.85	75.19	41.20	0.66
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	214.00	392.45	393.79	394.02	394.82	0.014050	4.49	47.62	40.75	1.29
Adda	65850.16	214.00	392.35	394.20	393.84	394.66	0.003919	3.01	71.06	41.11	0.72
Adda	65183.16	214.00	388.20	390.39	390.39	391.08	0.007649	3.68	58.14	41.68	0.99
Adda	64666.12	214.00	384.50	386.91	386.26	387.15	0.002814	2.16	98.86	74.40	0.60
Adda	64275.72	214.00	382.81	384.86	384.70	385.39	0.007960	3.23	66.21	44.48	0.85
Adda	63857.53	214.00	380.41	382.71	382.19	383.02	0.004040	2.49	86.01	51.49	0.61
Adda	63538.97	214.00	379.00	381.30	380.81	381.56	0.005143	2.24	95.69	80.57	0.66
Adda	62946.09	214.00	375.59	377.92	377.44	378.13	0.006486	2.04	104.92	120.97	0.70
Adda	62395.70	214.00	372.80	374.79	374.36	375.01	0.005001	2.05	104.21	97.80	0.63

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 5 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	285.00	420.20	422.57	423.03	424.38	0.008013	5.96	47.79	24.85	1.37
Adda	68569.1	285.00	412.10	414.11	414.65	416.01	0.009473	6.12	46.60	27.71	1.51
Adda	68205.48	285.00	409.09	411.08	411.53	412.74	0.008221	5.71	49.93	29.72	1.41
Adda	67695.08	342.00	404.80	407.07	407.53	408.84	0.007152	5.90	58.01	29.09	1.33
Adda	67222.66	342.00	401.01	403.71	403.88	404.99	0.008652	5.00	68.39	33.22	1.11
Adda	66719.98	342.00	398.20	400.22	400.15	401.05	0.006457	4.03	84.93	46.23	0.95
Adda	66357.62	342.00	395.30	397.64	397.64	398.59	0.007044	4.33	79.04	41.08	1.00
Adda	65890.16	342.00	392.55	395.19	394.58	395.75	0.003054	3.32	103.11	41.76	0.66
Adda	65880.16	342.00	392.50	395.12	394.56	395.72	0.003324	3.43	99.69	41.71	0.69
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	342.00	392.45	394.29	394.56	395.61	0.011859	5.10	67.09	41.16	1.24
Adda	65850.16	342.00	392.35	394.75	394.37	395.43	0.004204	3.67	93.23	41.56	0.77
Adda	65183.16	342.00	388.20	390.94	390.94	391.84	0.007081	4.20	81.48	45.08	1.00
Adda	64666.12	342.00	384.50	387.43	386.85	387.73	0.002602	2.40	142.42	86.08	0.60
Adda	64275.72	342.00	382.81	385.48	385.22	386.13	0.006875	3.59	95.23	48.76	0.82
Adda	63857.53	342.00	380.41	383.35	382.69	383.73	0.004566	2.75	124.29	69.88	0.66
Adda	63538.97	342.00	379.00	381.76	381.39	382.06	0.005922	2.41	141.70	118.45	0.70
Adda	62946.09	342.00	375.59	378.27	377.99	378.53	0.005935	2.27	150.58	138.23	0.69
Adda	62395.70	342.00	372.80	375.32	374.81	375.52	0.005007	2.01	170.43	165.88	0.63

RELAZIONE IDRAULICA FIUME ADDA

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 10 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	368.00	420.20	422.91	423.48	425.09	0.008012	6.54	56.31	25.10	1.39
Adda	68569.1	368.00	412.10	414.40	415.07	416.70	0.009517	6.71	54.82	28.18	1.54
Adda	68205.48	368.00	409.09	411.36	411.92	413.37	0.008352	6.28	58.57	30.36	1.44
Adda	67695.08	442.00	404.80	407.47	407.99	409.51	0.007008	6.33	69.85	30.77	1.34
Adda	67222.66	442.00	401.01	404.06	404.32	405.61	0.009078	5.52	80.06	34.63	1.16
Adda	66719.98	442.00	398.20	400.54	400.50	401.54	0.006437	4.43	99.78	46.62	0.97
Adda	66357.62	442.00	395.30	398.00	398.00	399.13	0.006839	4.70	94.11	42.08	1.00
Adda	65890.16	442.00	392.55	395.63	394.95	396.31	0.003083	3.65	120.95	42.12	0.68
Adda	65880.16	442.00	392.50	395.54	394.94	396.27	0.003401	3.80	116.45	42.06	0.71
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	442.00	392.45	394.64	394.94	396.16	0.010921	5.47	80.79	41.45	1.22
Adda	65850.16	442.00	392.35	395.09	394.74	395.96	0.004503	4.12	107.26	41.85	0.81
Adda	65183.16	442.00	388.20	391.33	391.33	392.31	0.006740	4.38	101.40	53.39	0.99
Adda	64666.12	442.00	384.50	387.90	387.16	388.19	0.002521	2.38	185.96	116.77	0.59
Adda	64275.72	442.00	382.81	385.83	385.56	386.62	0.006810	3.92	112.84	51.53	0.83
Adda	63857.53	442.00	380.41	383.62	383.08	384.10	0.004995	3.08	143.47	72.62	0.70
Adda	63538.97	442.00	379.00	381.98	381.65	382.33	0.005937	2.63	168.23	123.98	0.72
Adda	62946.09	442.00	375.59	378.46	378.18	378.78	0.006017	2.50	177.09	142.55	0.71
Adda	62395.70	442.00	372.80	375.50	375.10	375.75	0.005001	2.19	201.58	171.57	0.65

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 20 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	456.00	420.20	423.24	423.92	425.77	0.008011	7.05	64.69	25.35	1.41
Adda	68569.1	456.00	412.10	414.69	415.48	417.37	0.009557	7.25	62.86	28.60	1.56
Adda	68205.48	456.00	409.09	411.64	412.31	414.00	0.008484	6.81	66.97	30.92	1.48
Adda	67695.08	547.00	404.80	407.83	408.58	410.14	0.006858	6.73	81.25	31.84	1.35
Adda	67222.66	547.00	401.01	404.37	404.76	406.20	0.009529	5.99	91.27	36.09	1.20
Adda	66719.98	547.00	398.20	400.84	400.82	402.02	0.006529	4.82	113.55	46.98	0.99
Adda	66357.62	547.00	395.30	398.36	398.36	399.64	0.006561	5.01	109.24	42.72	1.00
Adda	65890.16	547.00	392.55	396.03	395.30	396.84	0.003158	3.98	137.53	42.46	0.70
Adda	65880.16	547.00	392.50	395.93	395.29	396.80	0.003506	4.14	132.14	42.38	0.73
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	547.00	392.45	394.98	395.30	396.69	0.010229	5.80	94.29	41.73	1.20
Adda	65850.16	547.00	392.35	394.81	395.10	396.48	0.009954	5.73	95.53	41.61	1.19
Adda	65183.16	547.00	388.20	391.67	391.67	392.75	0.006482	4.61	120.20	57.54	0.99
Adda	64666.12	547.00	384.50	388.24	387.38	388.54	0.002264	2.41	230.33	136.76	0.57
Adda	64275.72	547.00	382.81	386.18	385.89	387.06	0.006707	4.16	134.42	70.50	0.84
Adda	63857.53	547.00	380.41	383.86	383.42	384.44	0.005489	3.39	161.31	75.76	0.74
Adda	63538.97	547.00	379.00	382.17	381.88	382.58	0.005873	2.84	192.29	124.67	0.73
Adda	62946.09	547.00	375.59	378.65	378.35	379.01	0.006129	2.66	205.36	152.05	0.73
Adda	62395.70	547.00	372.80	375.66	375.33	375.95	0.005010	2.38	229.37	172.26	0.66

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 100 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	750.00	420.20	424.22	425.19	427.78	0.008009	8.36	89.71	26.07	1.44
Adda	68569.1	750.00	412.10	415.50	416.72	419.31	0.009666	8.65	86.71	29.86	1.62
Adda	68205.48	750.00	409.09	412.41	413.52	415.83	0.008843	8.19	91.52	32.48	1.56
Adda	67695.08	828.00	404.80	408.65	409.47	411.48	0.007648	7.46	112.28	162.69	1.44
Adda	67222.66	828.00	401.01	405.21	405.76	407.46	0.008685	6.68	129.56	136.49	1.19
Adda	66719.98	828.00	398.20	401.39	401.61	403.17	0.007843	5.92	139.78	48.26	1.11
Adda	66357.62	828.00	395.30	399.20	399.20	400.84	0.006133	5.68	145.84	44.23	1.00
Adda	65890.16	828.00	392.55	397.04	396.16	398.12	0.003180	4.62	179.31	43.28	0.71
Adda	65880.16	828.00	392.50	396.89	396.16	398.08	0.003596	4.83	171.26	43.16	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	828.00	392.45	395.81	396.16	397.96	0.009065	6.50	127.45	42.42	1.17
Adda	65850.16	828.00	392.35	395.53	395.96	397.76	0.009722	6.62	125.14	42.21	1.21
Adda	65183.16	828.00	388.20	392.49	392.49	393.43	0.004715	4.51	228.20	145.67	0.87
Adda	64666.12	828.00	384.50	388.92	388.06	389.25	0.001990	2.58	334.94	171.44	0.55
Adda	64275.72	828.00	382.81	386.93	386.91	387.93	0.006084	4.56	207.17	108.53	0.83
Adda	63857.53	828.00	380.41	384.43	384.08	385.24	0.006514	3.97	208.47	87.60	0.82
Adda	63538.97	828.00	379.00	382.60	382.28	383.18	0.006009	3.36	246.15	125.99	0.77
Adda	62946.09	828.00	375.59	379.07	378.76	379.54	0.006150	3.05	271.56	164.56	0.76
Adda	62395.70	828.00	372.80	376.09	375.66	376.47	0.005001	2.71	305.60	189.25	0.68

RELAZIONE IDRAULICA FIUME ADDA

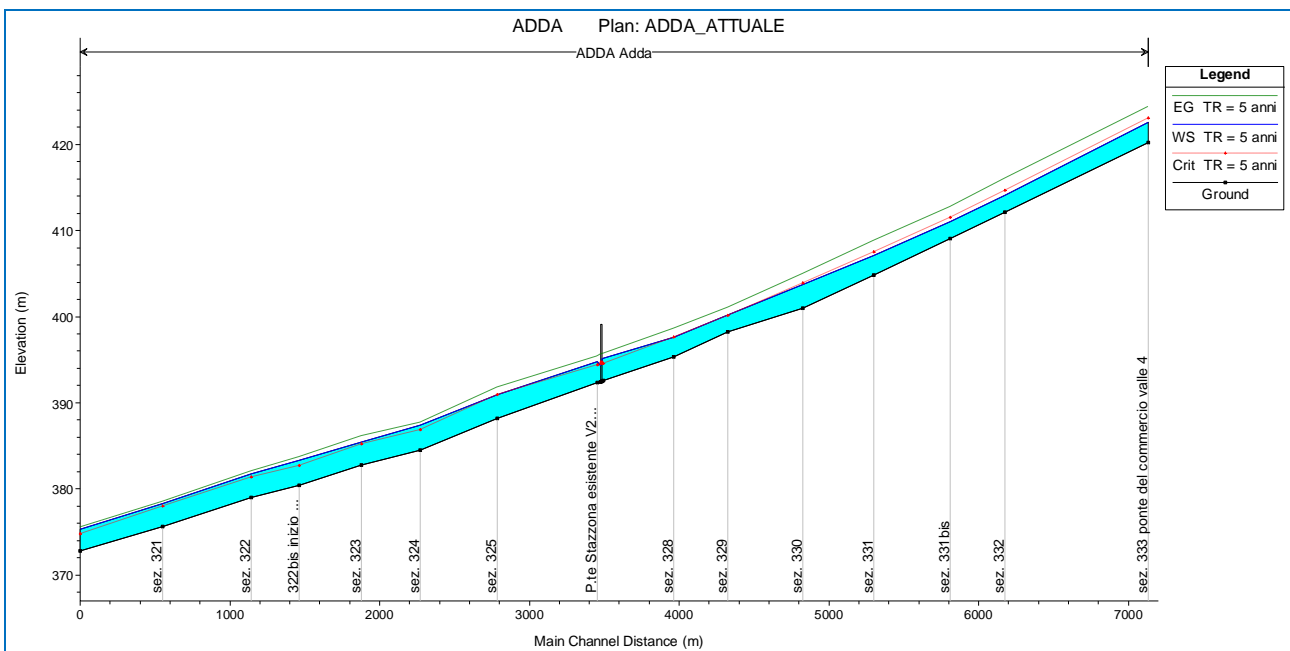
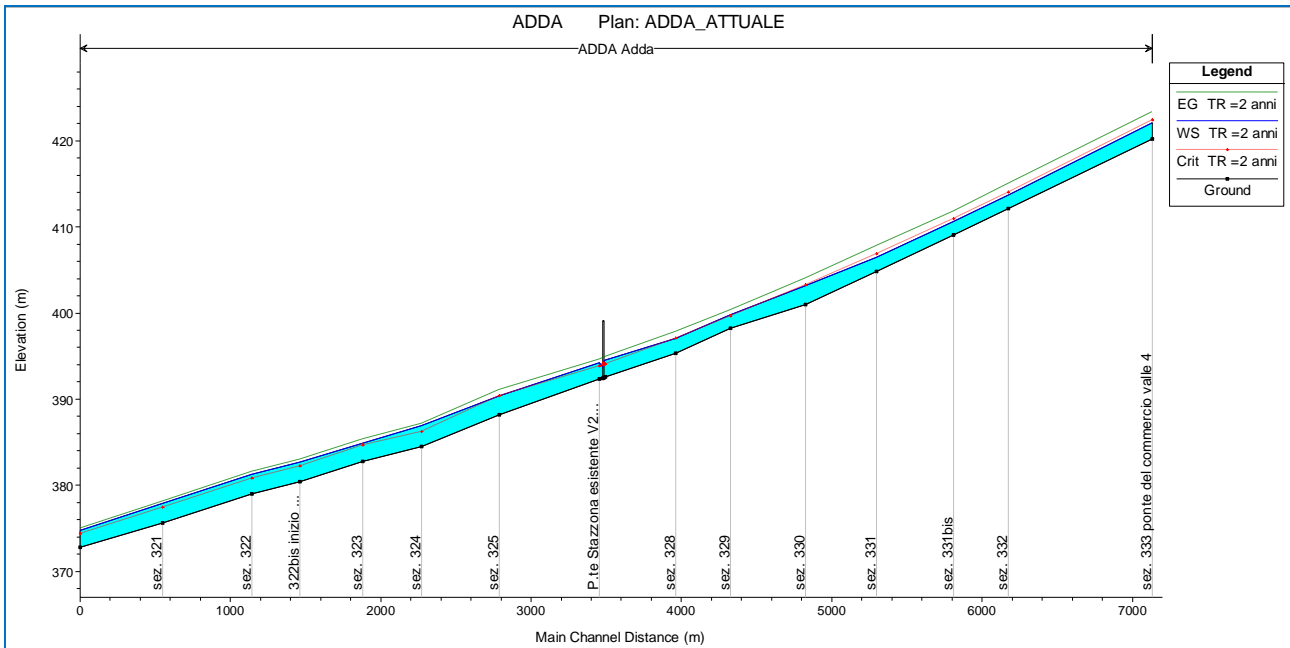
HEC-RAS Plan: ATTUALE River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni

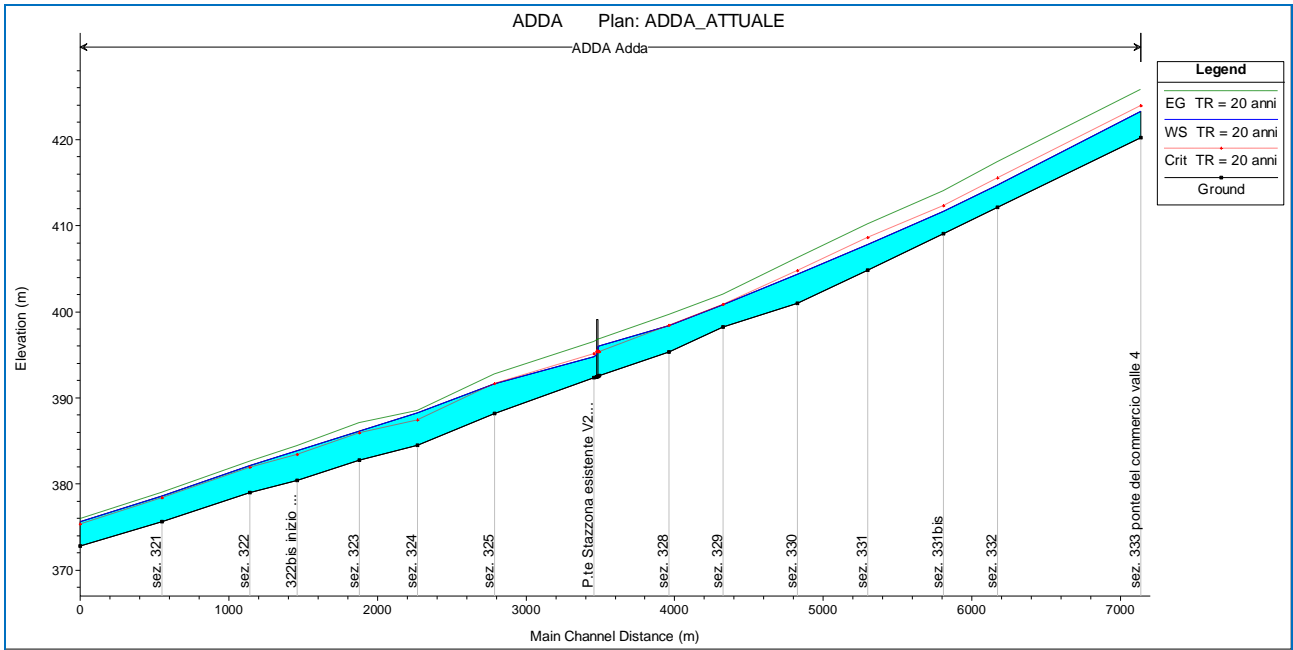
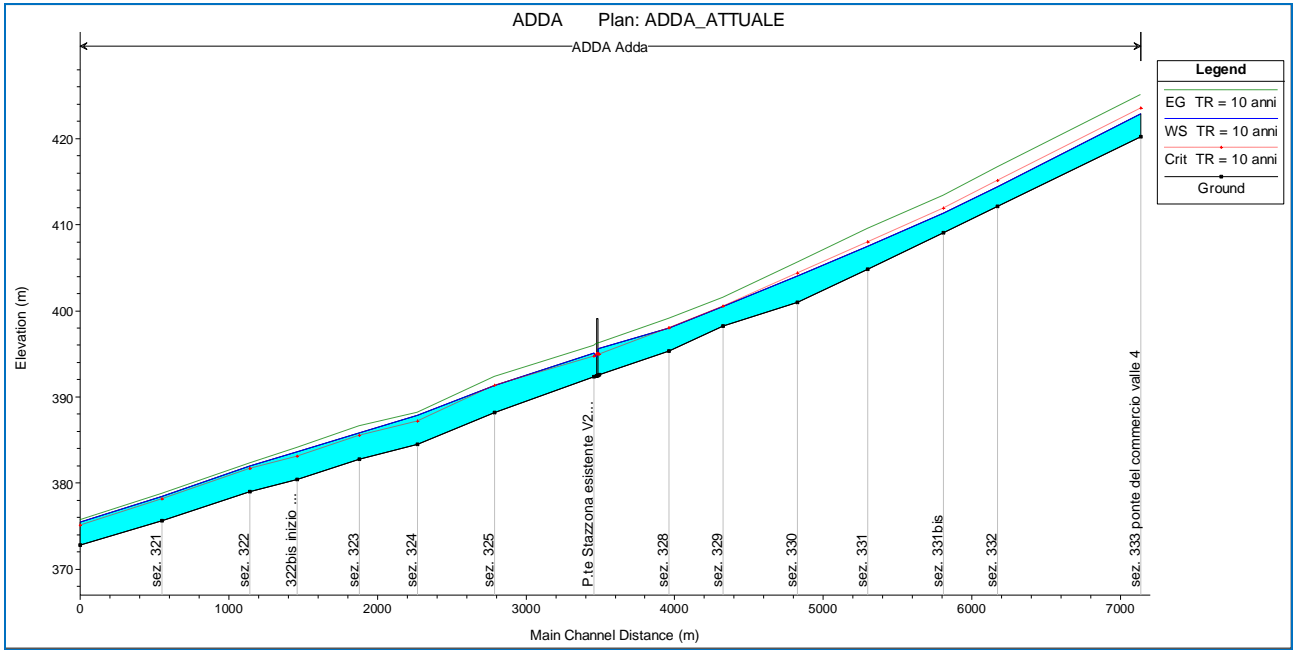
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Adda	69529.94	830.00	420.20	424.45	425.51	428.26	0.008008	8.65	95.97	26.25	1.44
Adda	68569.1	830.00	412.10	415.70	416.99	419.79	0.009696	8.96	92.64	30.18	1.63
Adda	68205.48	830.00	409.09	412.60	413.77	416.29	0.008938	8.51	97.54	32.85	1.58
Adda	67695.08	917.00	404.80	408.82	409.73	411.88	0.007711	7.76	120.15	163.15	1.46
Adda	67222.66	917.00	401.01	405.42	405.99	407.80	0.008760	6.90	140.57	137.88	1.20
Adda	66719.98	917.00	398.20	401.59	401.85	403.50	0.007815	6.13	149.57	48.79	1.12
Adda	66357.62	917.00	395.30	399.44	399.44	401.19	0.006037	5.85	156.71	44.72	1.00
Adda	65890.16	917.00	392.55	397.33	396.40	398.50	0.003172	4.78	191.80	43.52	0.72
Adda	65880.16	917.00	392.50	397.17	396.42	398.45	0.003596	5.01	183.03	43.40	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	917.00	392.45	396.05	396.40	398.32	0.008836	6.68	137.18	42.61	1.16
Adda	65850.16	917.00	392.35	395.75	396.21	398.13	0.009566	6.83	134.26	42.39	1.21
Adda	65183.16	917.00	388.20	392.54	392.54	393.64	0.005407	4.89	235.11	147.75	0.93
Adda	64666.12	917.00	384.50	389.08	388.19	389.44	0.001921	2.66	363.80	182.25	0.54
Adda	64275.72	917.00	382.81	387.11	387.08	388.14	0.005989	4.67	227.01	109.34	0.83
Adda	63857.53	917.00	380.41	384.57	384.23	385.45	0.006708	4.17	220.09	87.90	0.84
Adda	63538.97	917.00	379.00	382.73	382.40	383.35	0.006018	3.50	261.87	126.23	0.78
Adda	62946.09	917.00	375.59	379.19	378.87	379.69	0.006204	3.14	291.61	169.83	0.77
Adda	62395.70	917.00	372.80	376.20	375.76	376.60	0.005000	2.81	326.83	196.82	0.69

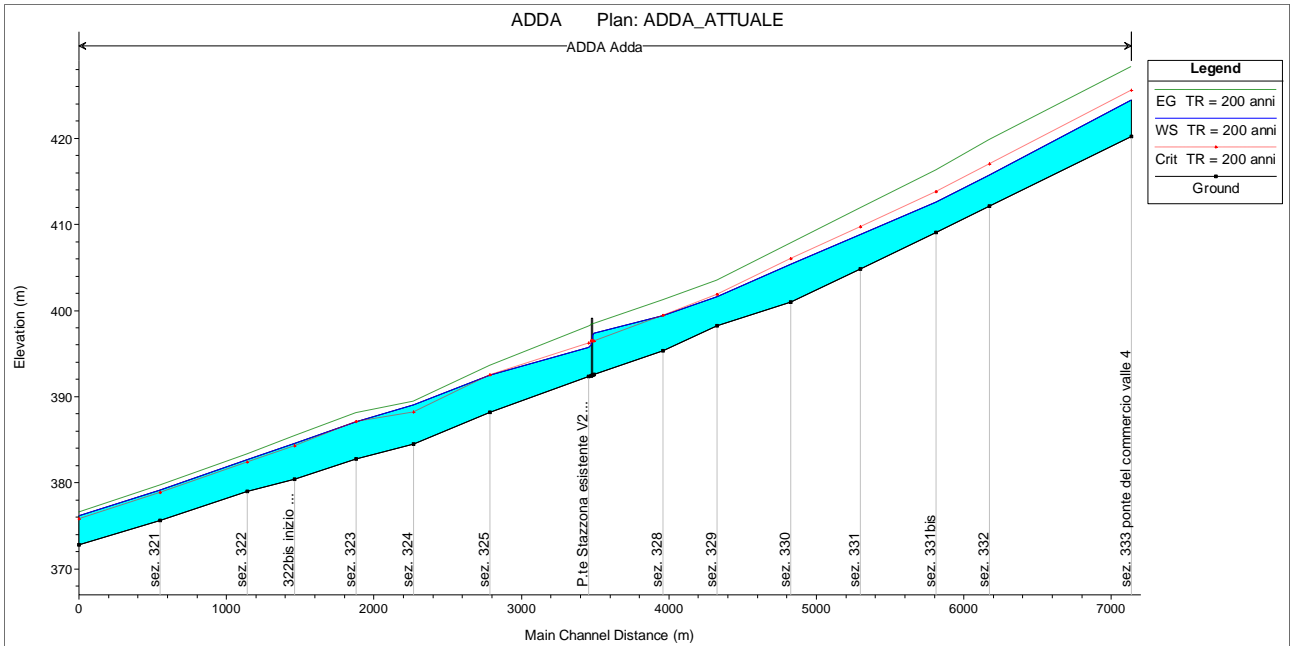
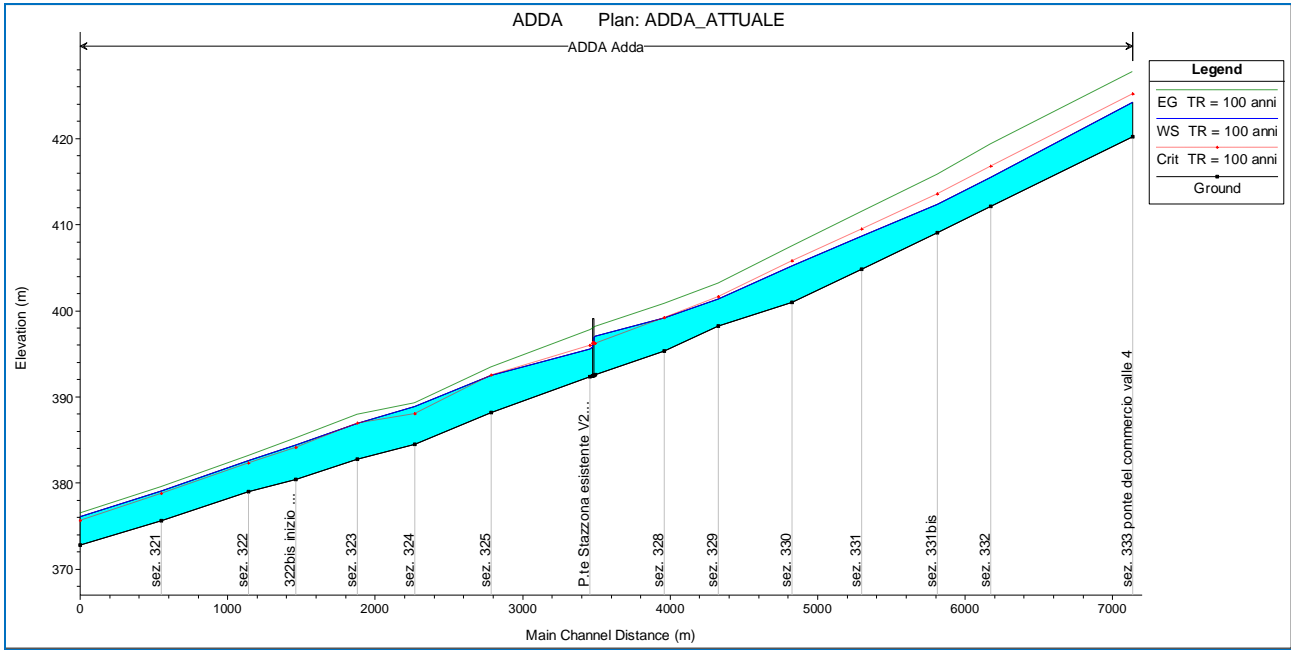
36.2 PROFILI

Andamento del pelo libero nel tratto del fiume Adda in esame allo stato attuale.

- WS = quota superficie libera;
- EG = quota del carico totale;
- Crit = quota dell'altezza critica.

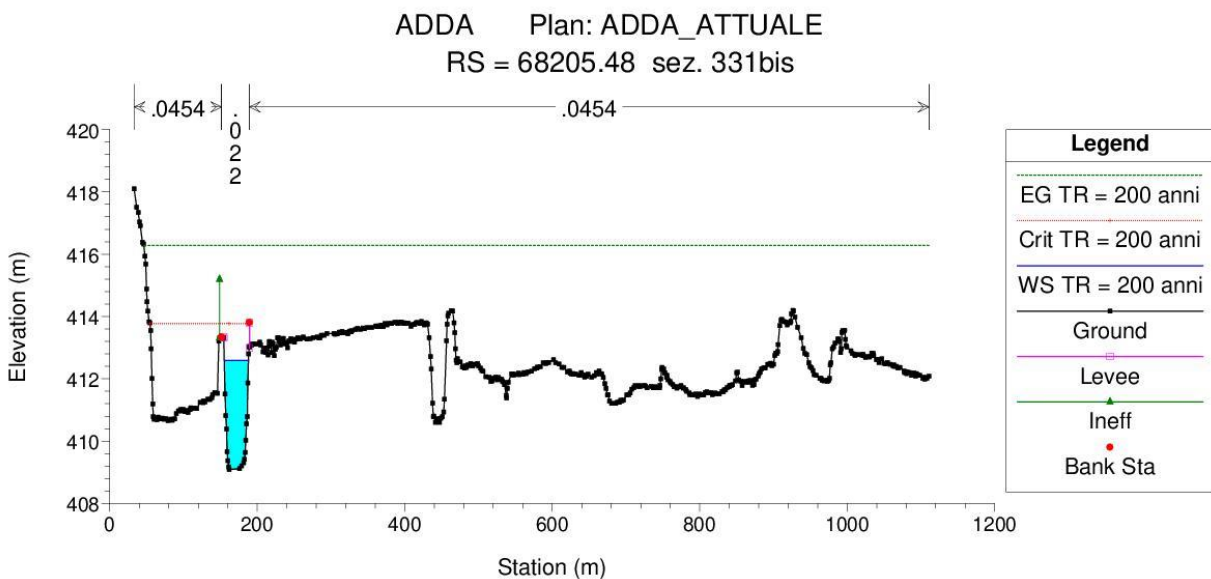
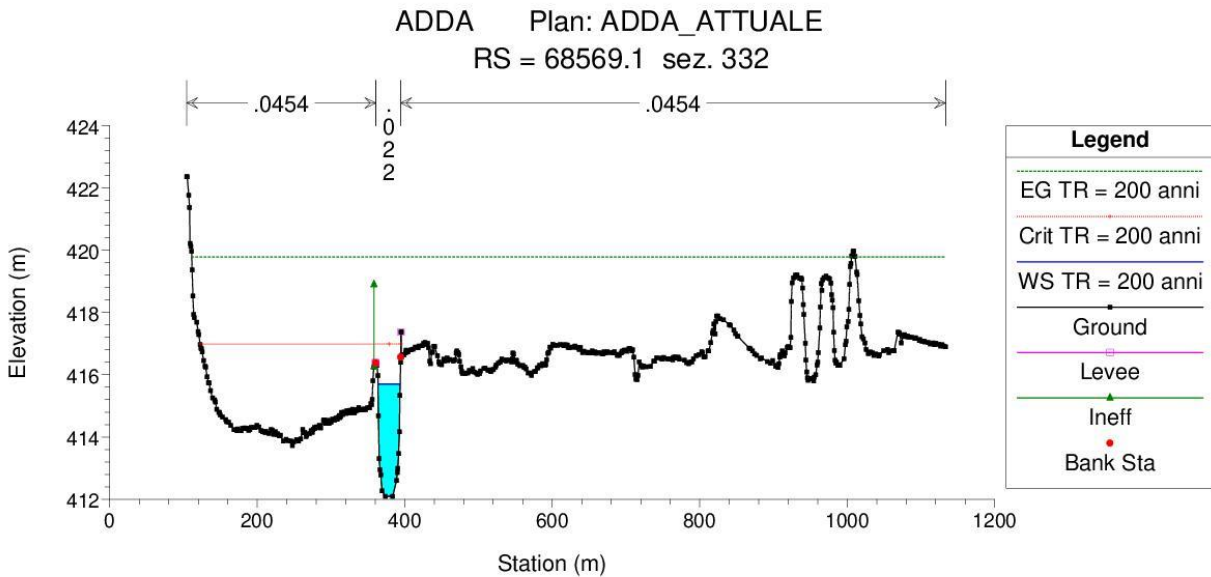
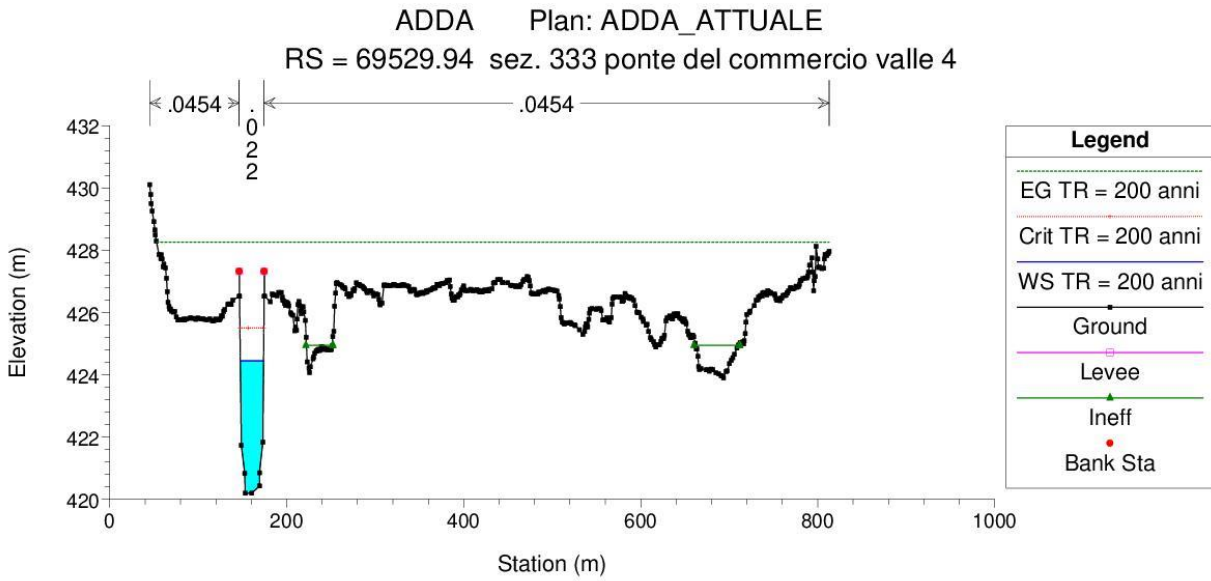






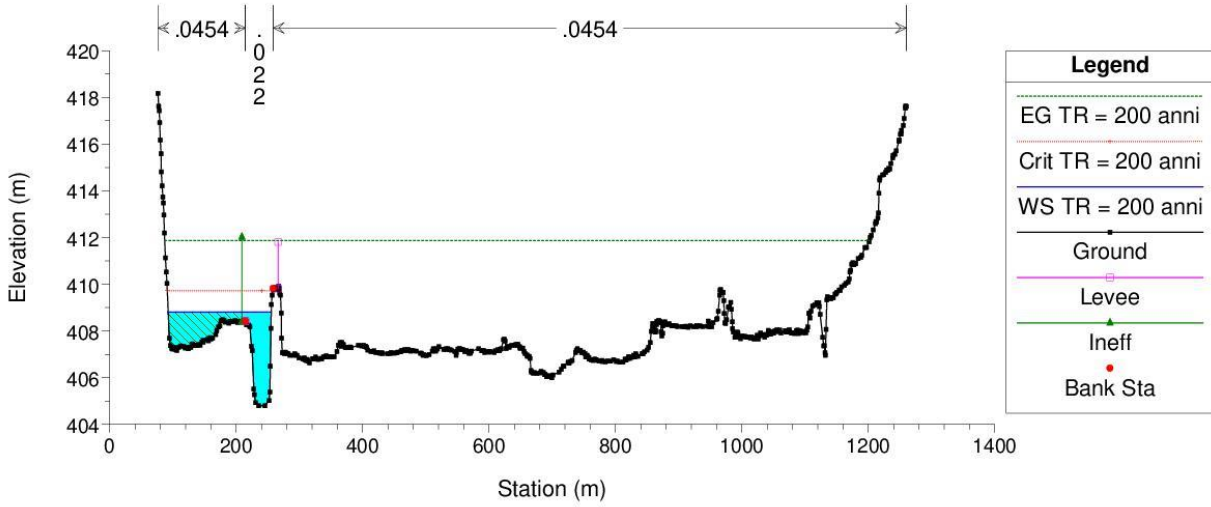
36.3 SEZIONI

Si mostrano nel seguito le sezioni estratte dal modello per il tempo di ritorno di 200 anni



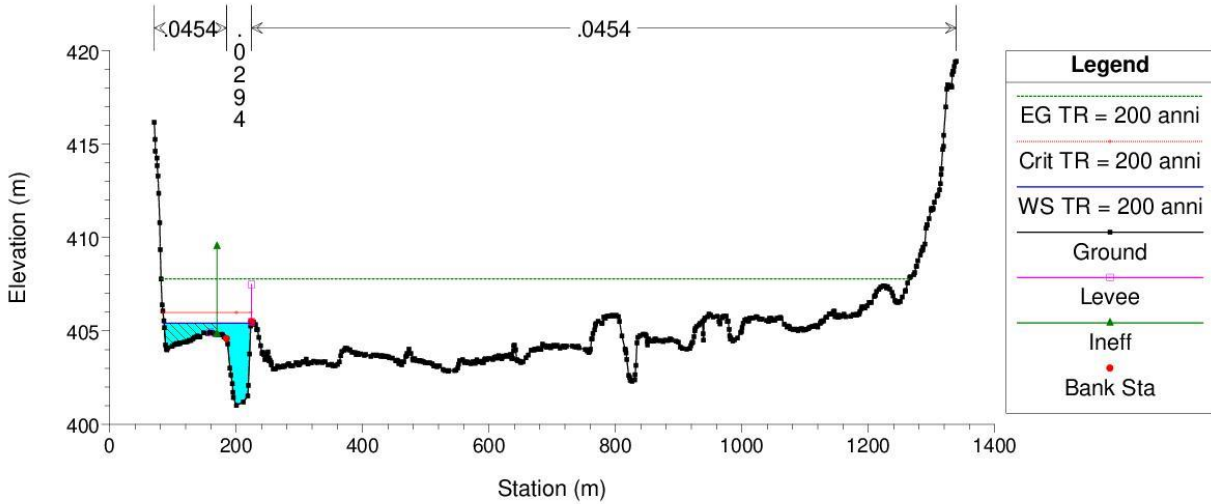
ADDA Plan: ADDA_ATTUALE

RS = 67695.08 sez. 331



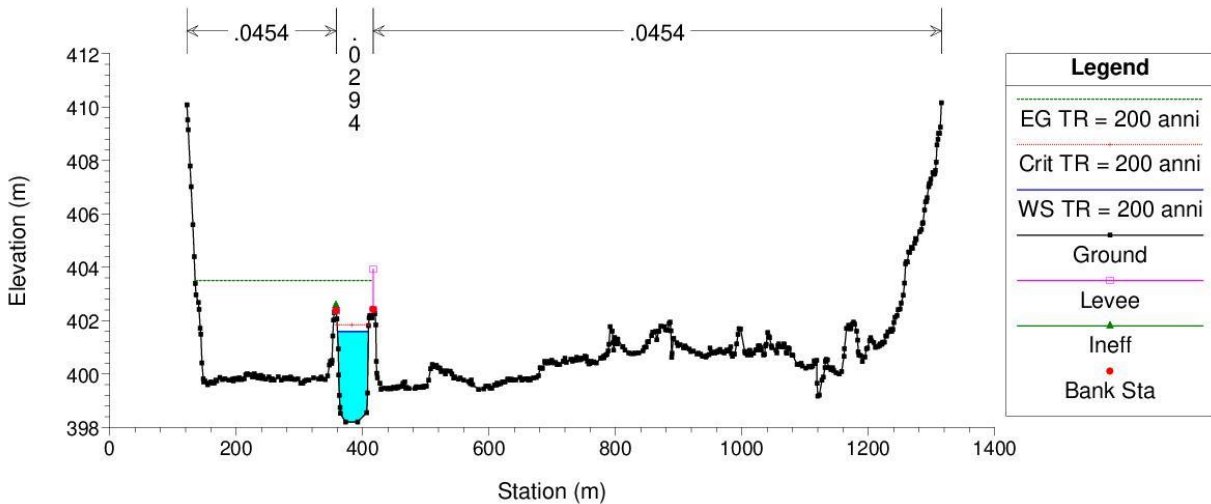
ADDA Plan: ADDA_ATTUALE

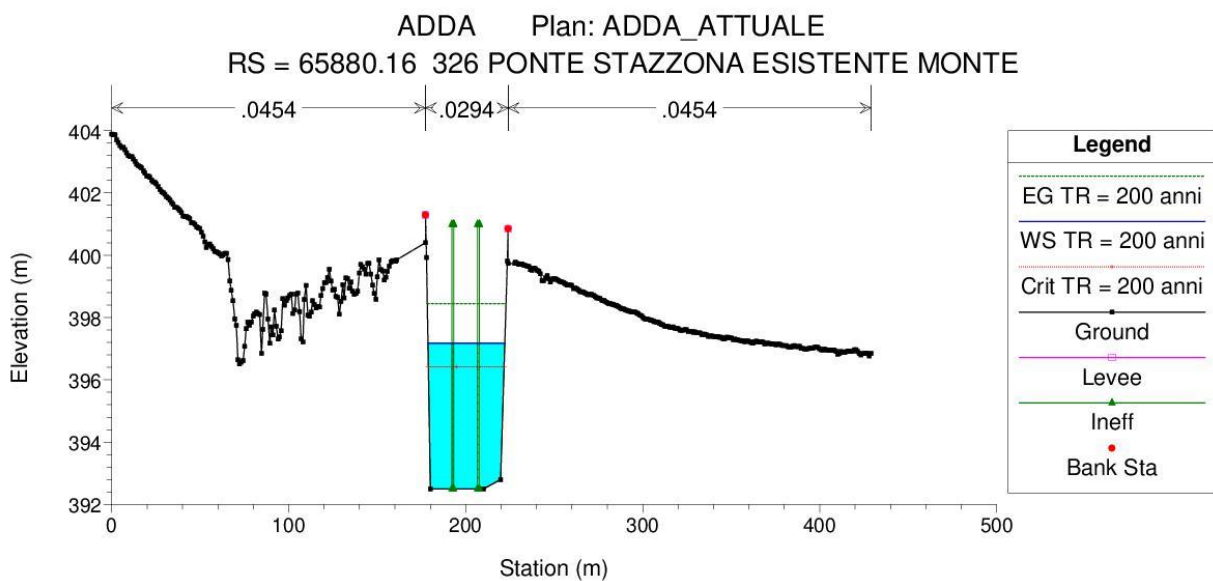
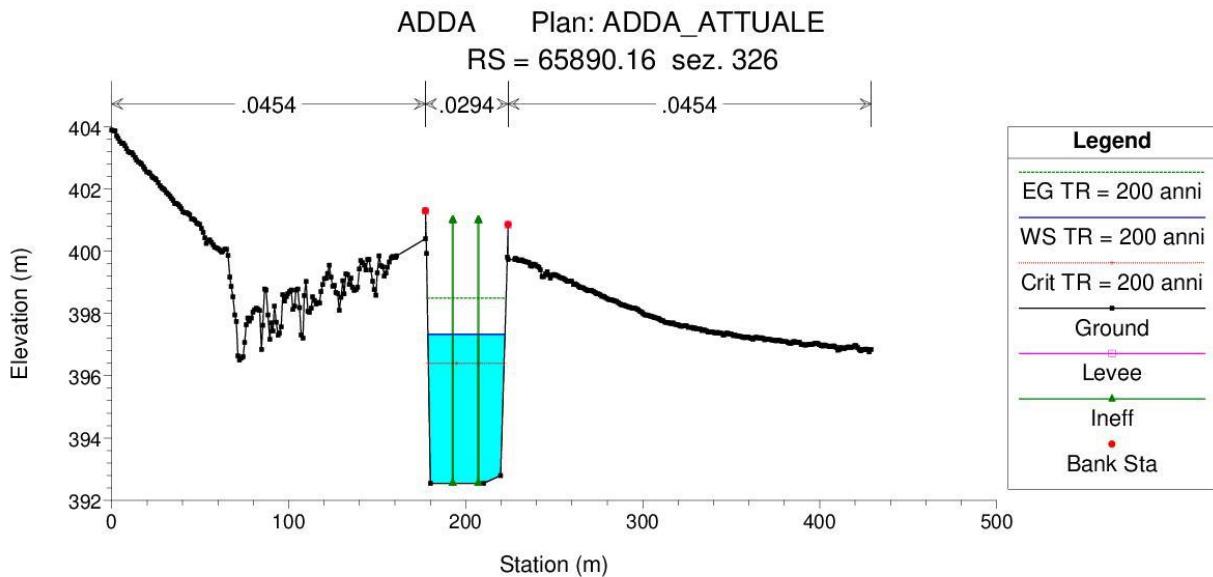
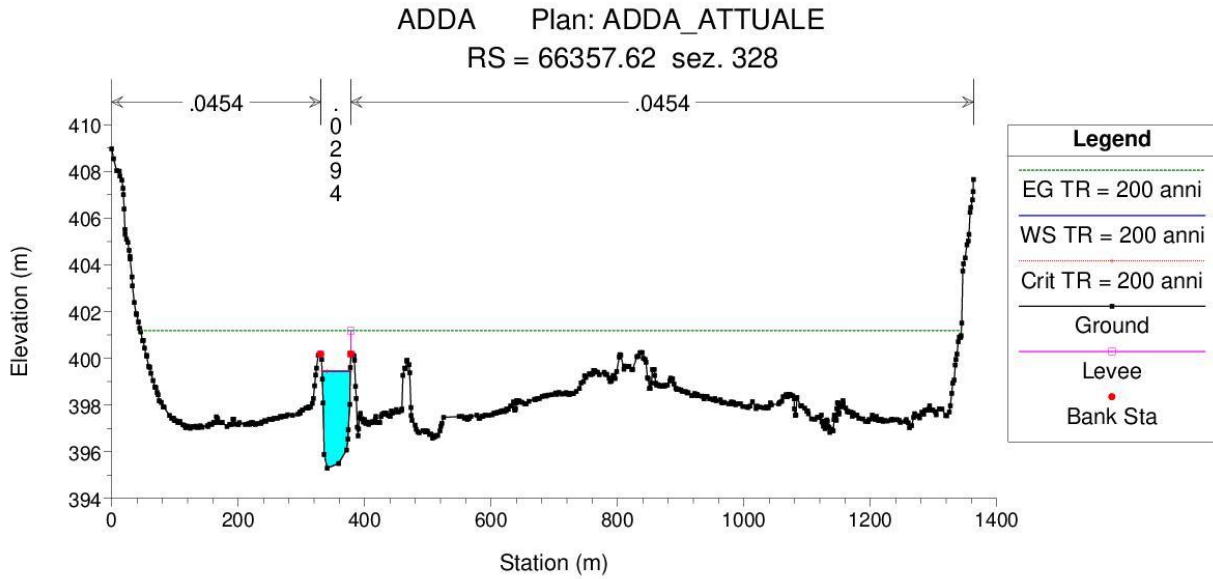
RS = 67222.66 sez. 330

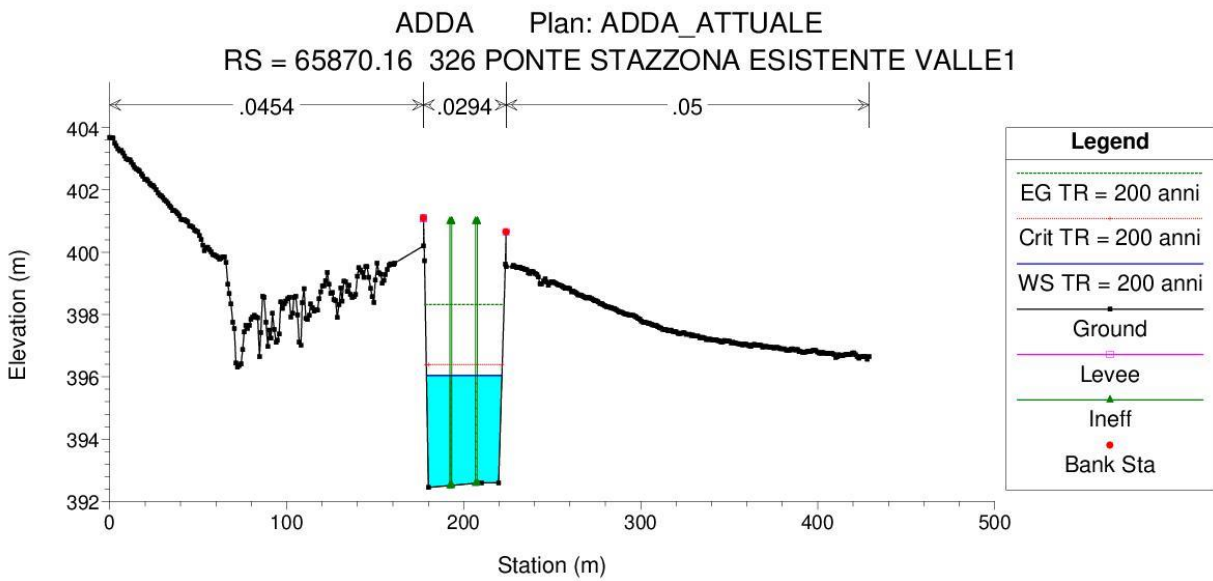
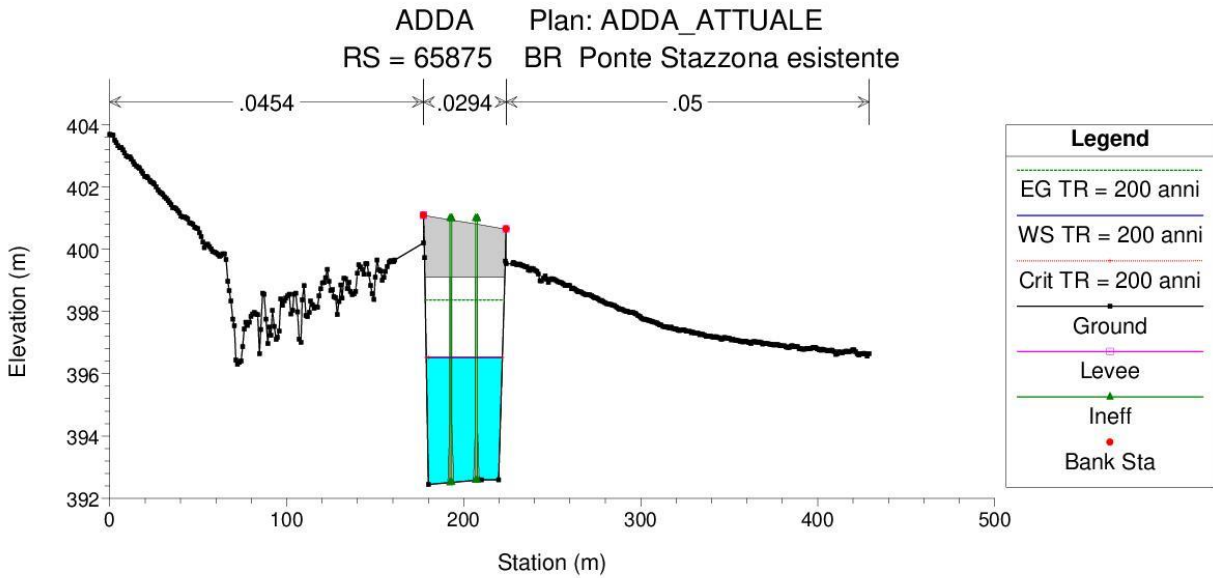
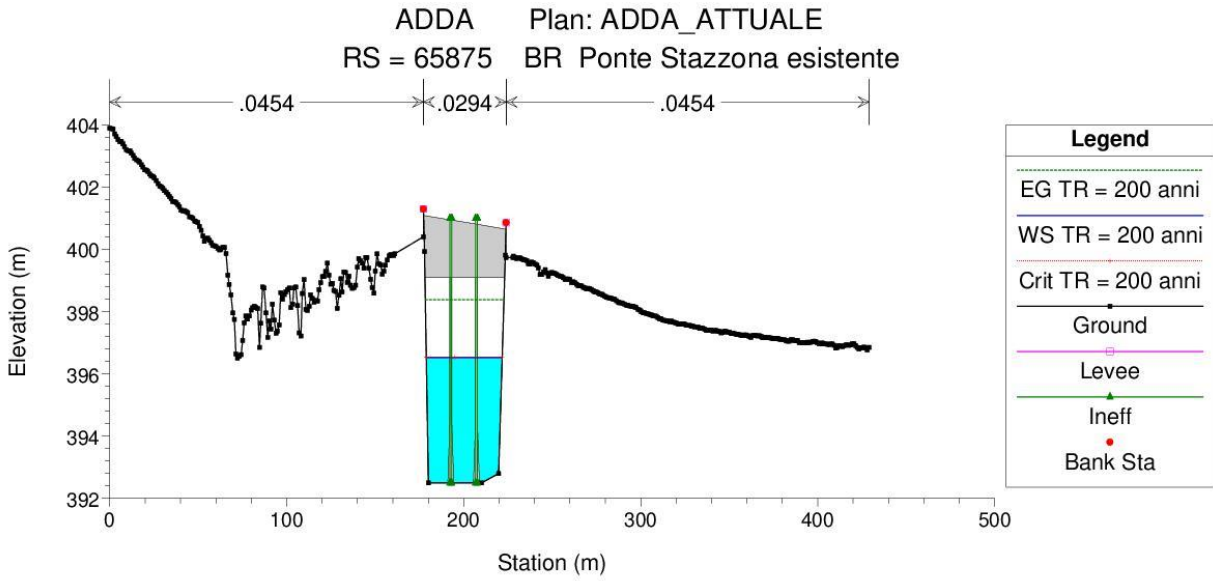


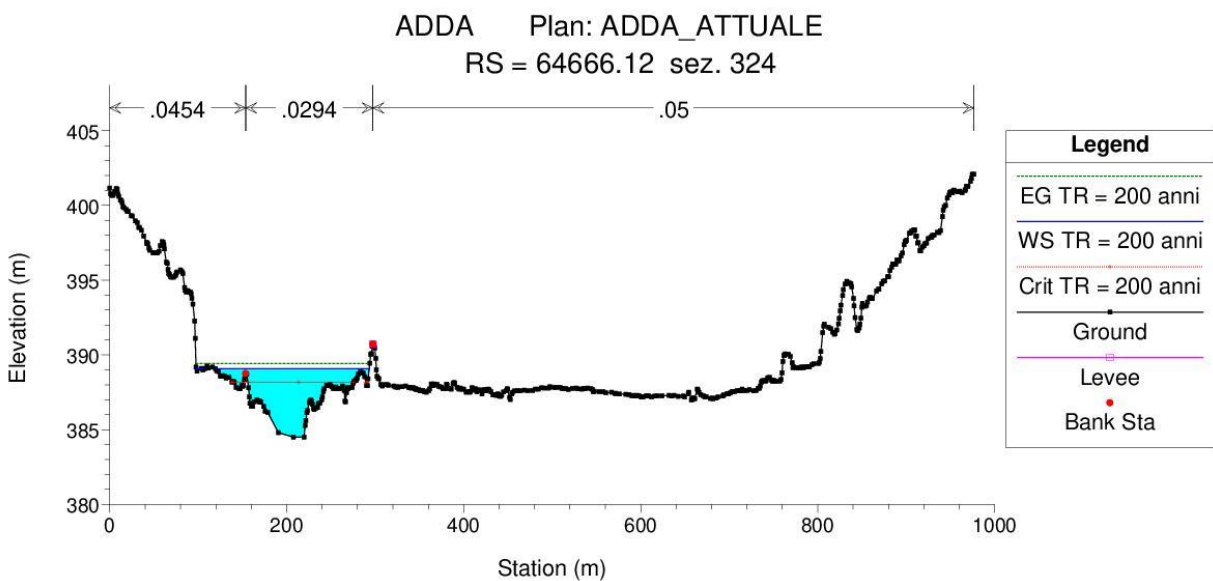
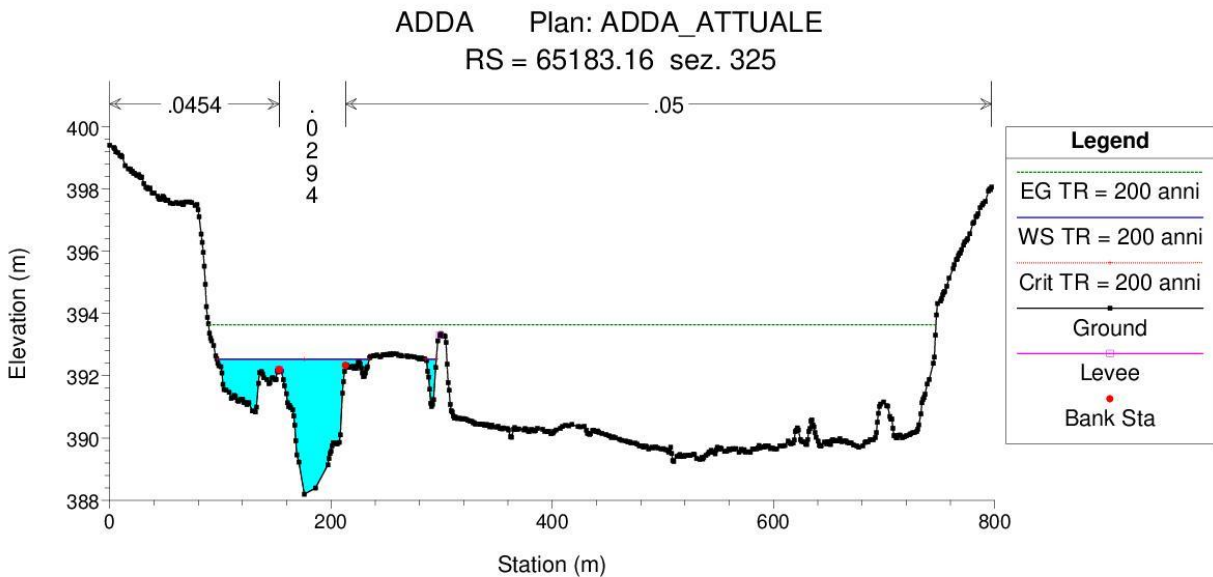
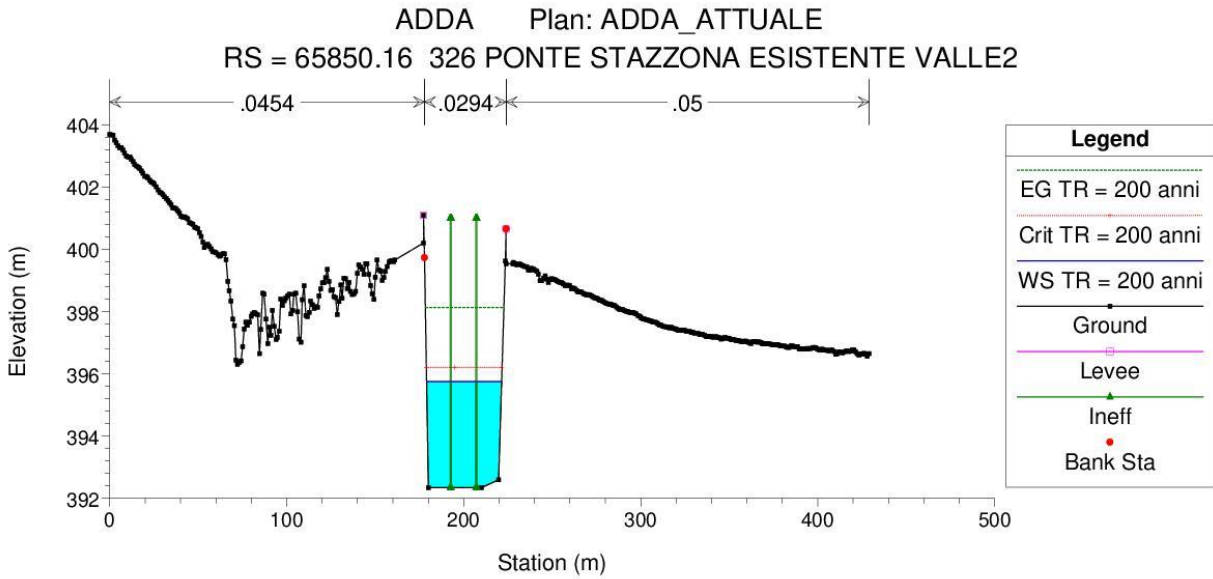
ADDA Plan: ADDA_ATTUALE

RS = 66719.98 sez. 329

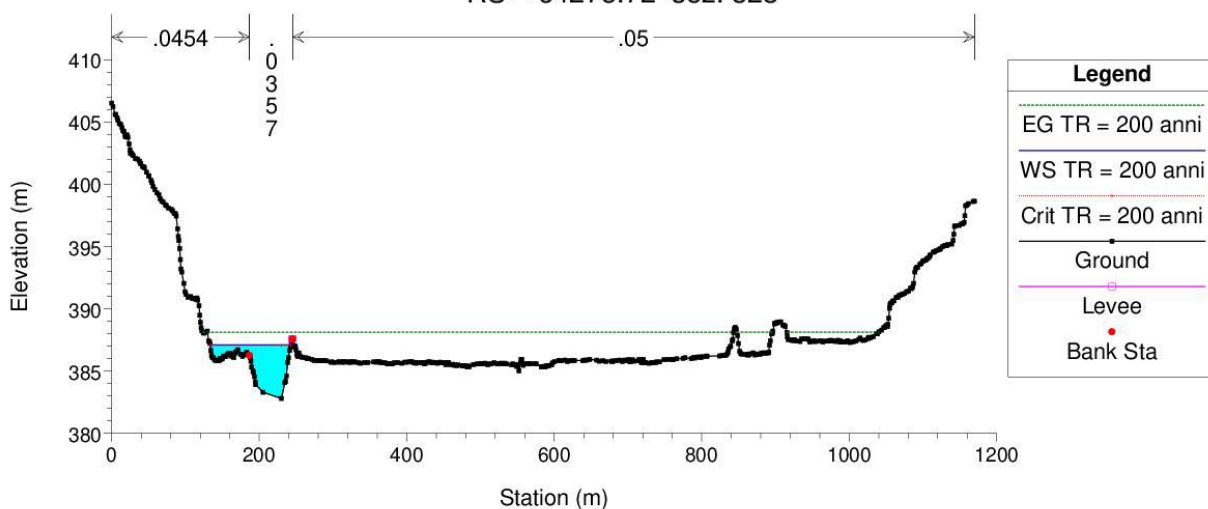




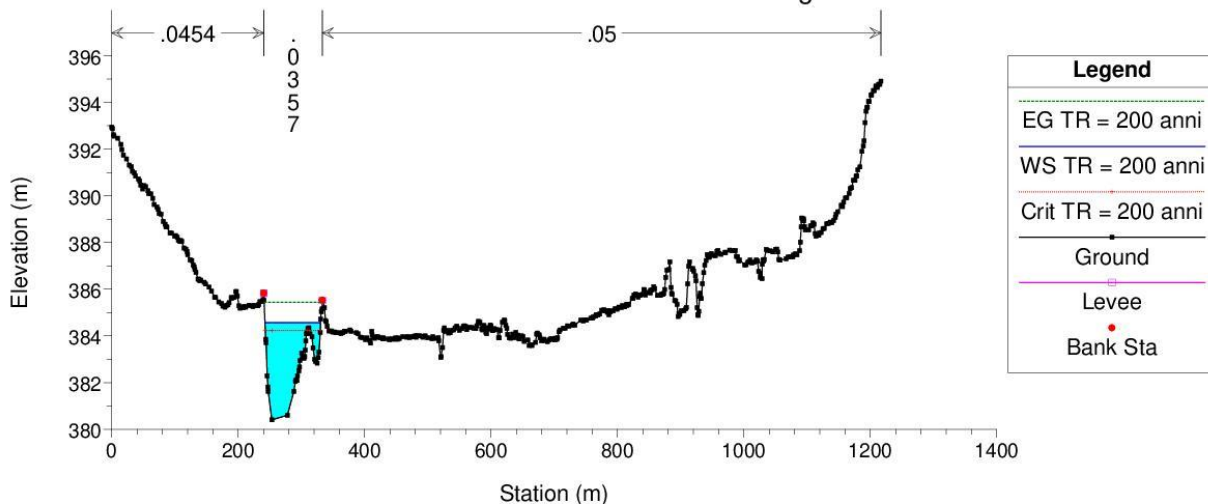




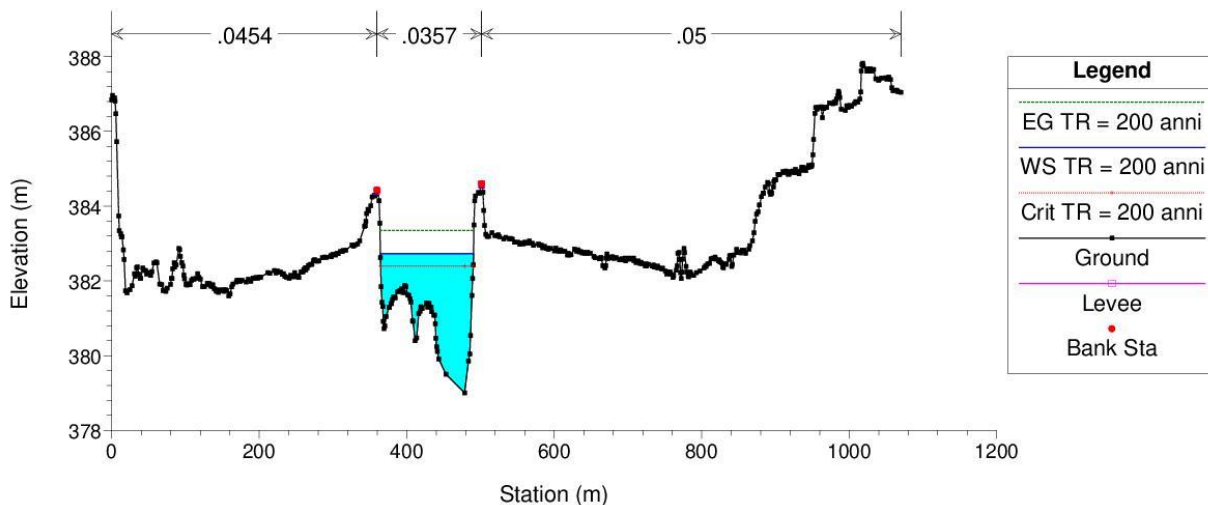
ADDA Plan: ADDA_ATTUALE
 RS = 64275.72 sez. 323

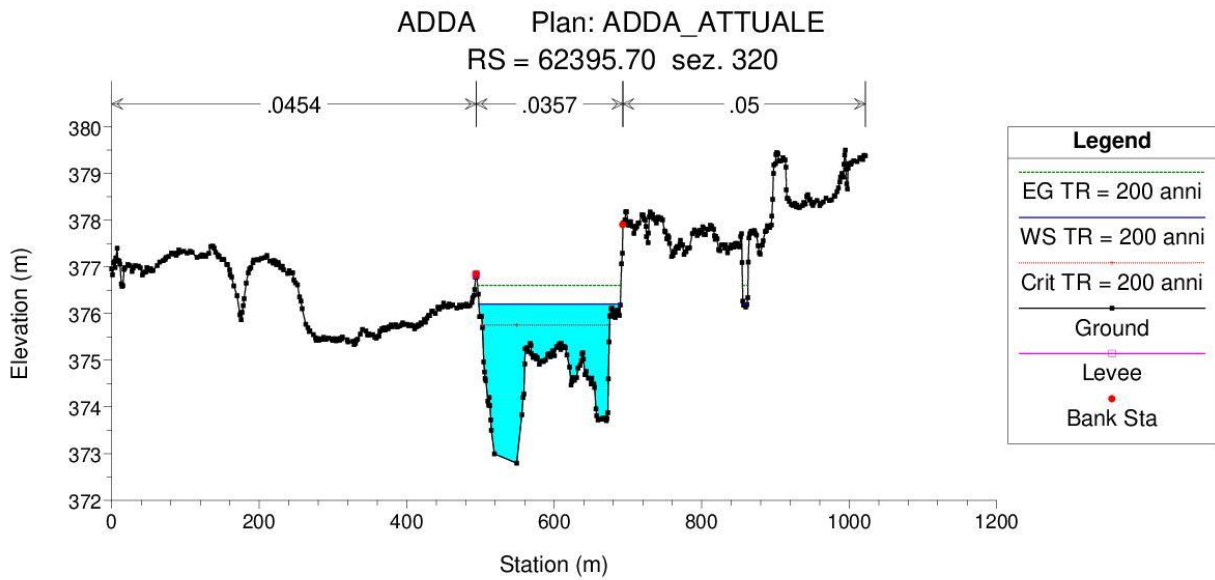
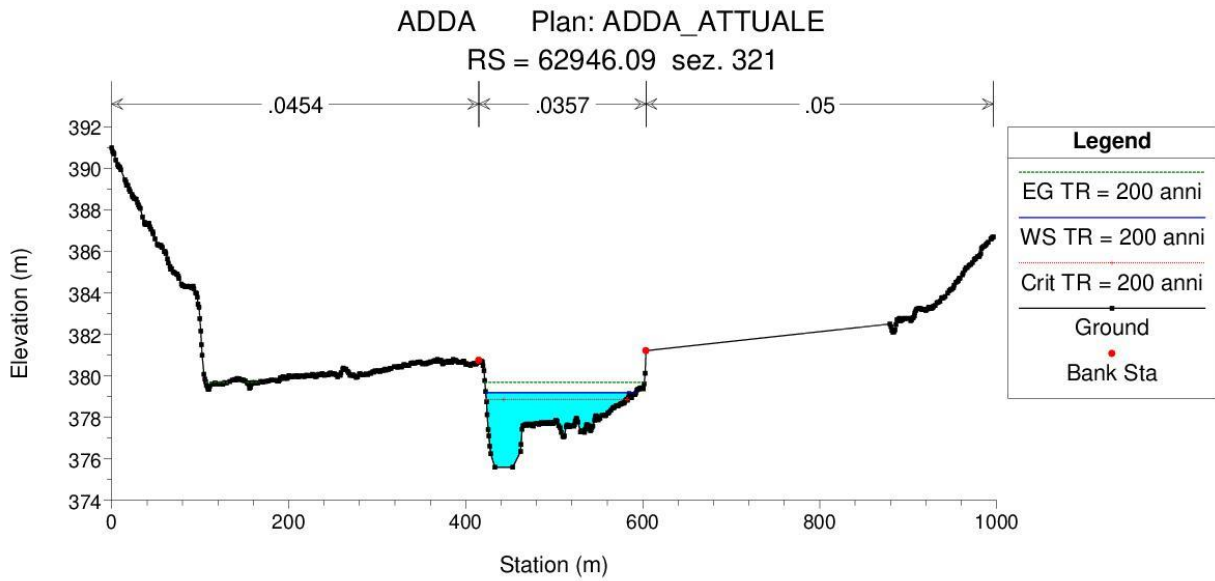


ADDA Plan: ADDA_ATTUALE
 RS = 63857.53 322bis inizio argini



ADDA Plan: ADDA_ATTUALE
 RS = 63538.97 sez. 322





37 ALLEGATO C: RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA, STATO DI PROGETTO

37.1 TABELLE DEI RISULTATI

Nella seguente tabella sono riportati le grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la simulazione dello stato attuale con portata corrispondente ai diversi tempi di ritorno.

- River Sta = N°sezione del corso d'acqua;
- Min Ch Elev = quota del fondo alveo;
- Crit WS = quota dell'altezza critica s.l.m.;
- WS Elev = quota della superficie libera s.l.m.;
- EG Slope = pendenza della linea dell'energia;
- Vel Chnl = velocità nel canale;
- Froude = numero di Froude della corrente.

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR =2 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	178.00	420.20	422.07	422.37	423.35	0.008015	5.02	35.45	24.47	1.33
Adda	68569.1	178.00	412.10	413.67	414.03	415.02	0.009403	5.15	34.58	26.81	1.45
Adda	68205.48	178.00	409.09	410.61	410.92	411.80	0.008097	4.84	36.77	27.94	1.35
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	178.00	408.92	410.60	410.79	411.61	0.006126	4.45	39.98	27.90	1.19
Adda	67695.08	214.00	404.80	406.43	406.83	407.90	0.008984	5.37	39.83	27.77	1.43
Adda	67222.66	214.00	401.01	403.22	403.22	404.06	0.007422	4.07	52.54	31.12	1.00
Adda	66719.98	214.00	398.20	399.77	399.67	400.34	0.006204	3.33	64.24	45.52	0.90
Adda	66357.62	214.00	395.30	397.09	397.09	397.81	0.007782	3.77	56.83	39.56	1.00
Adda	65890.16	214.00	392.55	394.55	394.05	394.94	0.003059	2.79	76.64	41.23	0.64
Adda	65880.16	214.00	392.50	394.50	394.02	394.91	0.003190	2.85	75.21	41.20	0.66
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	214.00	392.45	393.71	393.95	394.75	0.014358	4.53	47.23	40.68	1.31
Adda	65850.16	214.00	392.35	394.19	393.82	394.63	0.003773	2.94	72.68	41.10	0.71
Adda	65705	214.00	391.45	393.58	393.12	394.05	0.004165	3.02	70.75	44.64	0.74
Adda	65700	214.00	391.42	393.56	393.10	394.03	0.004463	3.04	70.41	46.70	0.76
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	214.00	391.28	393.46	392.97	393.93	0.004071	3.03	70.69	43.94	0.73
Adda	65672	214.00	391.25	393.44	392.95	393.90	0.004427	3.00	71.38	44.37	0.75
Adda	65183.16	214.00	388.20	390.39	390.39	391.08	0.007649	3.68	58.14	41.68	0.99
Adda	64666.12	214.00	384.50	386.92	386.25	387.15	0.002827	2.15	99.30	75.50	0.60
Adda	64275.72	214.00	382.81	384.86	384.69	385.39	0.007982	3.24	66.15	44.48	0.85
Adda	63857.53	214.00	380.41	382.71	382.19	383.02	0.004018	2.48	86.17	51.51	0.61
Adda	63538.97	214.00	379.00	381.31	380.81	381.56	0.005161	2.23	96.09	81.64	0.66
Adda	62946.09	214.00	375.59	377.92	377.44	378.13	0.006486	2.04	104.93	120.98	0.70
Adda	62395.70	214.00	372.80	374.79	374.36	375.01	0.005001	2.05	104.15	97.65	0.64

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR =5 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	285.00	420.20	422.57	423.03	424.38	0.008013	5.96	47.79	24.85	1.37
Adda	68569.1	285.00	412.10	414.11	414.65	416.01	0.009474	6.12	46.60	27.72	1.51
Adda	68205.48	285.00	409.09	411.06	411.51	412.73	0.008273	5.72	49.80	29.68	1.41
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	285.00	408.92	411.05	411.39	412.53	0.006795	5.39	52.83	29.65	1.29
Adda	67695.08	342.00	404.80	407.01	407.53	408.89	0.007846	6.08	56.29	28.97	1.39
Adda	67222.66	342.00	401.01	403.78	403.88	404.97	0.007877	4.84	70.59	33.50	1.07
Adda	66719.98	342.00	398.20	400.22	400.16	401.05	0.006457	4.03	84.94	46.23	0.95
Adda	66357.62	342.00	395.30	397.64	397.64	398.59	0.007044	4.33	79.04	41.08	1.00
Adda	65890.16	342.00	392.55	395.18	394.58	395.75	0.003131	3.35	102.14	41.76	0.67
Adda	65880.16	342.00	392.50	395.12	394.56	395.72	0.003321	3.43	99.71	41.71	0.69
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	342.00	392.45	394.20	394.49	395.55	0.012232	5.16	66.34	41.09	1.26
Adda	65850.16	342.00	392.35	394.78	394.33	395.41	0.003773	3.51	97.43	41.59	0.73
Adda	65705	342.00	391.45	394.21	393.86	394.79	0.004660	3.39	100.90	57.56	0.79
Adda	65700	342.00	391.42	394.21	393.87	394.76	0.004311	3.30	103.58	58.05	0.76
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	342.00	391.28	394.06	393.74	394.65	0.004884	3.43	99.73	57.99	0.81
Adda	65672	342.00	391.25	394.07	393.74	394.62	0.004564	3.29	104.09	57.81	0.78
Adda	65183.16	342.00	388.20	390.94	390.94	391.84	0.007081	4.20	81.48	45.08	1.00
Adda	64666.12	342.00	384.50	387.43	386.84	387.73	0.002608	2.40	142.41	86.23	0.60
Adda	64275.72	342.00	382.81	385.48	385.22	386.14	0.006839	3.59	95.39	48.77	0.82
Adda	63857.53	342.00	380.41	383.35	382.68	383.74	0.004583	2.75	124.16	69.90	0.66
Adda	63538.97	342.00	379.00	381.76	381.40	382.06	0.005915	2.42	141.46	117.86	0.70
Adda	62946.09	342.00	375.59	378.27	377.99	378.53	0.005940	2.27	150.57	138.29	0.69
Adda	62395.70	342.00	372.80	375.32	374.79	375.52	0.005003	2.01	170.48	165.90	0.63

RELAZIONE IDRAULICA FIUME ADDA

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 10 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	368.00	420.20	422.91	423.48	425.09	0.008012	6.54	56.31	25.10	1.39
Adda	68569.1	368.00	412.10	414.40	415.07	416.70	0.009519	6.71	54.82	28.20	1.54
Adda	68205.48	368.00	409.09	411.35	411.91	413.37	0.008400	6.30	58.43	30.31	1.45
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	368.00	408.92	411.33	411.80	413.16	0.007096	5.99	61.47	30.29	1.34
Adda	67695.08	442.00	404.80	407.41	407.99	409.55	0.007496	6.47	68.29	33.16	1.38
Adda	67222.66	442.00	401.01	404.11	404.32	405.59	0.008488	5.40	81.90	34.84	1.12
Adda	66719.98	442.00	398.20	400.54	400.50	401.54	0.006437	4.43	99.78	46.62	0.97
Adda	66357.62	442.00	395.30	398.00	398.00	399.13	0.006839	4.70	94.11	42.08	1.00
Adda	65890.16	442.00	392.55	395.61	394.95	396.31	0.003176	3.69	119.63	42.11	0.69
Adda	65880.16	442.00	392.50	395.54	394.94	396.27	0.003401	3.80	116.45	42.06	0.71
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	442.00	392.45	394.55	394.87	396.10	0.011141	5.51	80.17	41.38	1.23
Adda	65850.16	442.00	392.35	395.10	394.71	395.91	0.004231	4.00	110.46	41.85	0.79
Adda	65705	442.00	391.45	394.52	394.24	395.24	0.004695	3.75	117.95	57.68	0.81
Adda	65700	442.00	391.42	394.52	394.19	395.20	0.004376	3.66	120.81	58.18	0.79
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	442.00	391.28	394.34	394.11	395.09	0.005112	3.84	115.20	58.10	0.84
Adda	65672	442.00	391.25	394.37	394.08	395.04	0.004607	3.64	121.55	57.93	0.80
Adda	65183.16	442.00	388.20	391.33	391.33	392.31	0.006740	4.38	101.40	53.42	0.99
Adda	64666.12	442.00	384.50	387.89	387.16	388.18	0.002522	2.39	185.80	116.55	0.59
Adda	64275.72	442.00	382.81	385.84	385.56	386.62	0.006786	3.91	112.98	51.76	0.83
Adda	63857.53	442.00	380.41	383.62	383.08	384.10	0.005005	3.08	143.39	72.64	0.70
Adda	63538.97	442.00	379.00	381.98	381.65	382.33	0.005933	2.63	168.30	124.06	0.72
Adda	62946.09	442.00	375.59	378.46	378.18	378.78	0.006022	2.49	177.24	142.94	0.71
Adda	62395.70	442.00	372.80	375.50	375.11	375.74	0.005001	2.19	201.58	171.57	0.65

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 20 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	456.00	420.20	423.24	423.92	425.77	0.008011	7.05	64.69	25.35	1.41
Adda	68569.1	456.00	412.10	414.69	415.47	417.37	0.009559	7.25	62.87	28.63	1.56
Adda	68205.48	456.00	409.09	411.62	412.29	413.99	0.008526	6.82	66.82	30.89	1.48
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	456.00	408.92	411.62	412.18	413.77	0.007274	6.50	70.11	30.88	1.38
Adda	67695.08	547.00	404.80	407.78	408.58	410.18	0.007275	6.87	79.64	57.05	1.38
Adda	67222.66	547.00	401.01	404.43	404.76	406.18	0.008987	5.86	93.28	36.47	1.17
Adda	66719.98	547.00	398.20	400.77	400.82	402.02	0.007127	4.95	110.47	46.90	1.03
Adda	66357.62	547.00	395.30	398.36	398.36	399.64	0.006519	5.00	109.49	42.76	1.00
Adda	65890.16	547.00	392.55	396.02	395.31	396.84	0.003235	4.01	136.26	42.44	0.70
Adda	65880.16	547.00	392.50	395.93	395.29	396.80	0.003506	4.14	132.14	42.38	0.73
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	547.00	392.45	394.89	395.23	396.63	0.010481	5.85	93.43	41.66	1.22
Adda	65850.16	547.00	392.35	395.38	395.05	396.40	0.004676	4.47	122.48	42.08	0.84
Adda	65705	547.00	391.45	394.82	394.53	395.67	0.004733	4.07	134.28	57.80	0.83
Adda	65700	547.00	391.42	394.82	394.48	395.63	0.004434	3.98	137.33	58.30	0.80
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	547.00	391.28	394.60	394.40	395.51	0.005359	4.22	129.55	58.21	0.88
Adda	65672	547.00	391.25	394.65	394.36	395.45	0.004684	3.96	137.97	58.05	0.82
Adda	65183.16	547.00	388.20	391.68	391.68	392.75	0.006464	4.60	120.39	57.67	0.98
Adda	64666.12	547.00	384.50	388.24	387.38	388.54	0.002266	2.41	230.22	136.78	0.57
Adda	64275.72	547.00	382.81	386.19	385.90	387.06	0.006687	4.16	134.59	70.89	0.84
Adda	63857.53	547.00	380.41	383.86	383.42	384.45	0.005497	3.39	161.26	75.79	0.74
Adda	63538.97	547.00	379.00	382.17	381.88	382.59	0.005875	2.84	192.31	124.73	0.73
Adda	62946.09	547.00	375.59	378.65	378.35	379.01	0.006130	2.66	205.36	152.05	0.73
Adda	62395.70	547.00	372.80	375.66	375.33	375.95	0.005010	2.38	229.36	172.26	0.66

RELAZIONE IDRAULICA FIUME ADDA

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 100 anni

Reach	River Sta	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
Adda	69529.94	750.00	420.20	424.22	425.19	427.78	0.008009	8.36	89.71	26.07	1.44
Adda	68569.1	750.00	412.10	415.50	416.39	419.31	0.009674	8.65	86.69	29.87	1.62
Adda	68205.48	750.00	409.09	412.39	413.52	415.83	0.008891	8.21	91.31	32.44	1.56
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	750.00	408.92	412.39	413.44	415.59	0.007879	7.92	94.74	32.44	1.48
Adda	67695.08	828.00	404.80	408.58	409.47	411.56	0.008286	7.64	109.19	116.34	1.49
Adda	67222.66	828.00	401.01	405.27	405.76	407.43	0.008182	6.55	132.60	71.53	1.16
Adda	66719.98	828.00	398.20	401.33	401.62	403.19	0.008314	6.04	137.16	48.12	1.14
Adda	66357.62	828.00	395.30	399.20	399.20	400.84	0.006137	5.68	145.90	44.33	1.00
Adda	65890.16	828.00	392.55	397.01	396.17	398.12	0.003279	4.67	177.27	43.26	0.72
Adda	65880.16	828.00	392.50	396.89	396.16	398.08	0.003596	4.83	171.26	43.16	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	828.00	392.45	395.70	396.09	397.90	0.009323	6.56	126.13	42.33	1.18
Adda	65850.16	828.00	392.35	395.41	395.89	397.69	0.010381	6.69	123.72	42.11	1.25
Adda	65705	828.00	391.45	395.55	395.23	396.70	0.004689	4.75	174.44	58.10	0.85
Adda	65700	828.00	391.42	395.56	395.18	396.66	0.004433	4.65	177.90	58.59	0.83
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	828.00	391.28	395.10	395.10	396.52	0.006645	5.28	156.82	58.41	1.00
Adda	65672	828.00	391.25	394.73	395.03	396.45	0.009712	5.82	142.31	58.08	1.19
Adda	65183.16	828.00	388.20	392.49	392.49	393.43	0.004719	4.52	228.10	145.66	0.87
Adda	64666.12	828.00	384.50	388.92	388.06	389.25	0.001990	2.59	334.86	171.38	0.55
Adda	64275.72	828.00	382.81	386.93	386.90	387.93	0.006069	4.56	207.11	108.38	0.83
Adda	63857.53	828.00	380.41	384.44	384.08	385.24	0.006521	3.97	208.40	87.60	0.82
Adda	63538.97	828.00	379.00	382.60	382.29	383.18	0.006014	3.36	246.09	125.99	0.77
Adda	62946.09	828.00	375.59	379.07	378.75	379.54	0.006146	3.05	271.61	164.57	0.76
Adda	62395.70	828.00	372.80	376.10	375.66	376.47	0.005002	2.70	306.39	190.55	0.68

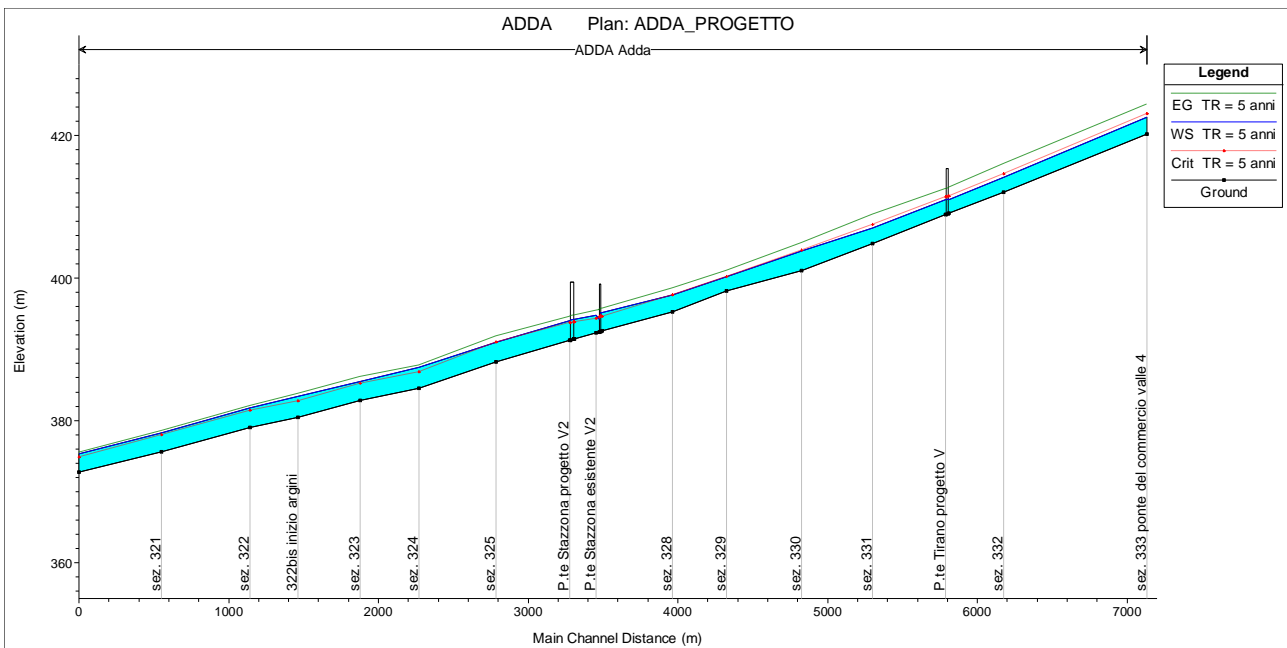
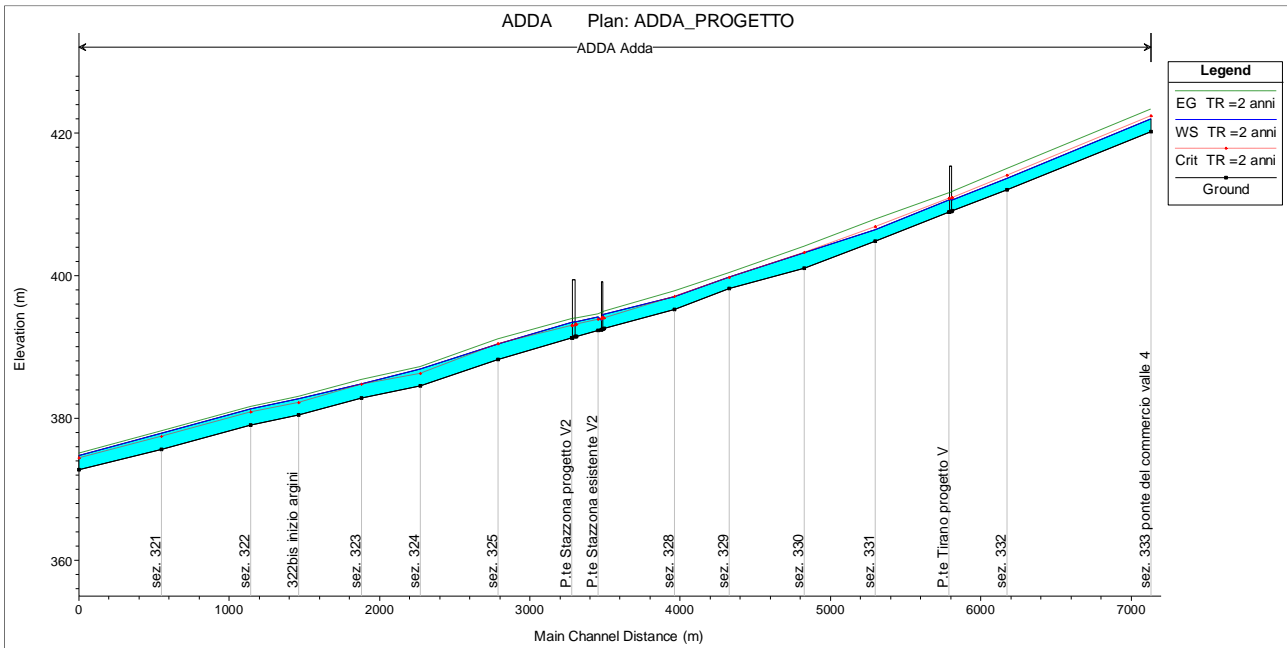
HEC-RAS Plan: PROGETTO River: ADDA Reach: Adda Profile: TR = 200 anni

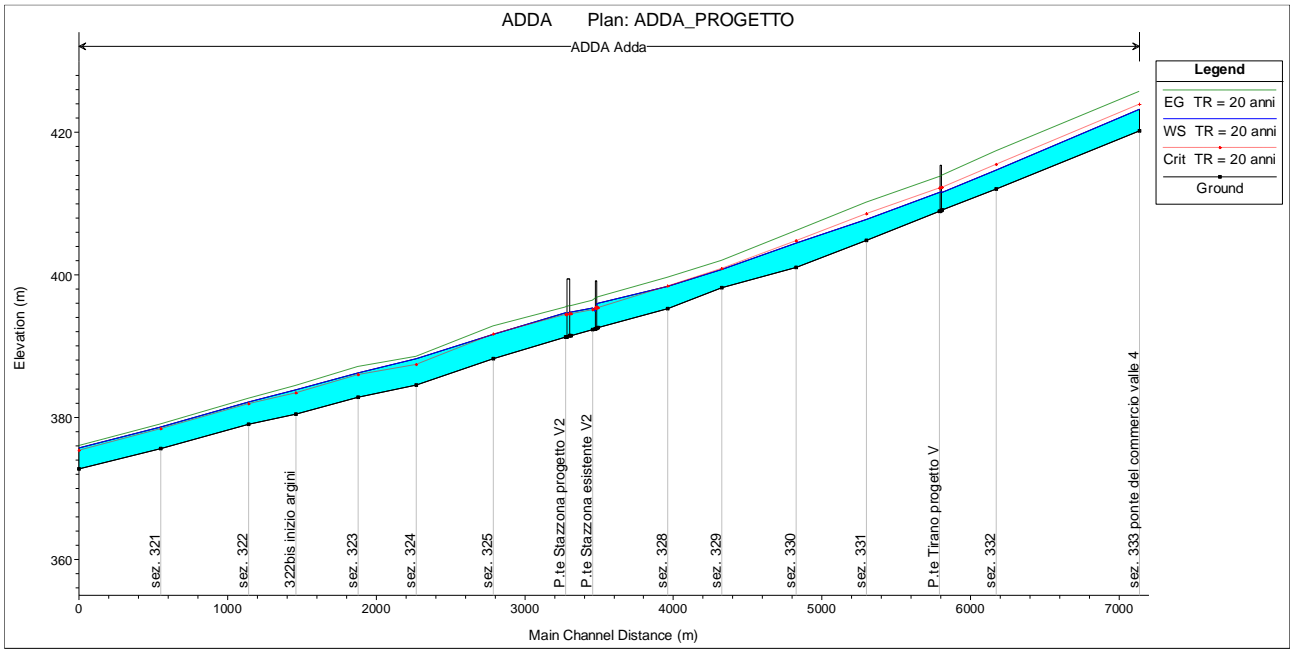
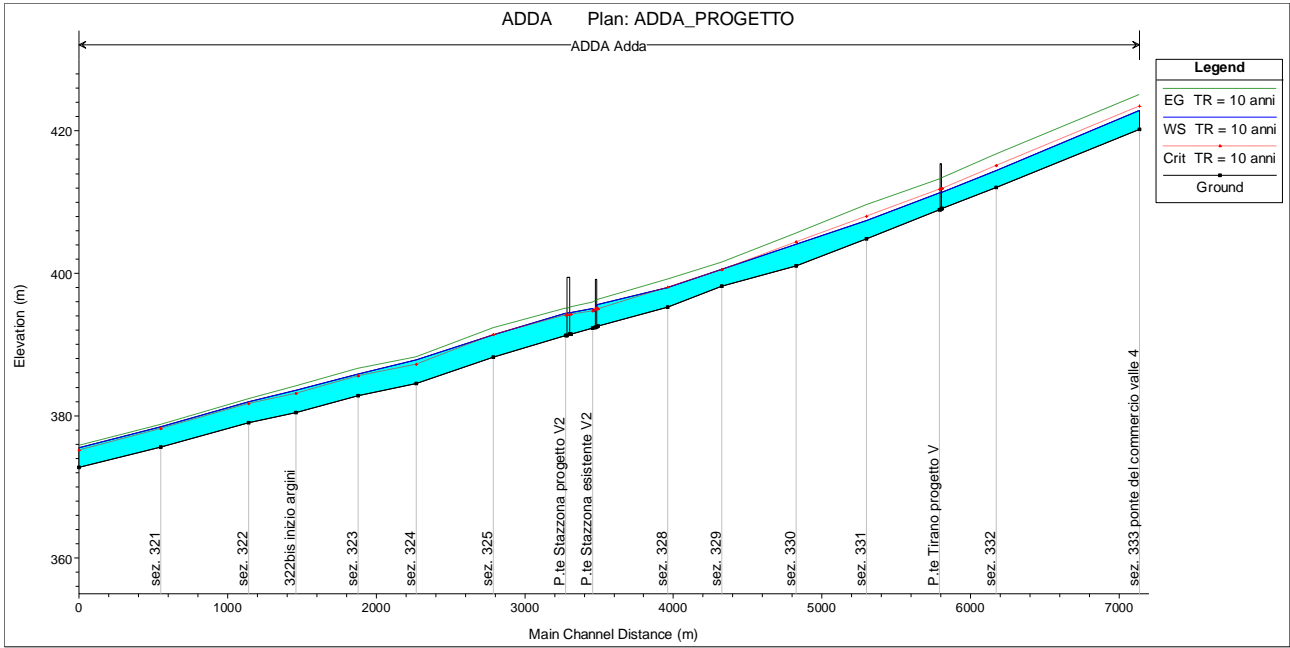
Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Adda	69529.94	830.00	420.20	424.45	425.51	428.26	0.008008	8.65	95.97	26.25	1.44
Adda	68569.1	830.00	412.10	415.70	416.39	419.79	0.009700	8.96	92.62	30.18	1.63
Adda	68205.48	830.00	409.09	412.58	413.81	416.28	0.008975	8.52	97.36	32.82	1.58
Adda	68200	Bridge									
Adda	68185	830.00	408.92	412.58	413.67	416.04	0.008012	8.24	100.79	32.82	1.50
Adda	67695.08	917.00	404.80	408.76	409.74	411.96	0.008295	7.94	117.17	118.75	1.51
Adda	67222.66	917.00	401.01	405.47	405.98	407.76	0.008328	6.77	143.63	73.45	1.18
Adda	66719.98	917.00	398.20	401.54	401.84	403.52	0.008194	6.23	147.28	48.67	1.14
Adda	66357.62	917.00	395.30	399.45	399.45	401.19	0.006032	5.85	156.81	44.79	1.00
Adda	65890.16	917.00	392.55	397.30	396.40	398.50	0.003273	4.84	189.59	43.50	0.73
Adda	65880.16	917.00	392.50	397.17	396.42	398.45	0.003596	5.01	183.03	43.40	0.76
Adda	65875	Bridge									
Adda	65870.16	917.00	392.45	395.94	396.35	398.27	0.009124	6.76	135.58	42.52	1.18
Adda	65850.16	917.00	392.35	395.62	396.13	398.06	0.010308	6.93	132.32	42.27	1.25
Adda	65705	917.00	391.45	395.76	395.43	397.00	0.004692	4.93	185.95	58.18	0.86
Adda	65700	917.00	391.42	395.77	395.38	396.96	0.004444	4.84	189.54	58.67	0.83
Adda	65690	Bridge									
Adda	65677	917.00	391.28	395.30	395.30	396.82	0.006534	5.46	168.04	58.49	1.00
Adda	65672	917.00	391.25	394.89	395.22	396.75	0.009660	6.04	151.86	58.14	1.19
Adda	65183.16	917.00	388.20	392.54	392.54	393.64	0.005405	4.89	235.16	147.88	0.93
Adda	64666.12	917.00	384.50	389.08	388.18	389.43	0.001921	2.66	363.73	182.44	0.55
Adda	64275.72	917.00	382.81	387.11	387.08	388.15	0.005973	4.67	227.13	109.28	0.83
Adda	63857.53	917.00	380.41	384.57	384.27	385.45	0.006717	4.17	220.00	87.90	0.84
Adda	63538.97	917.00	379.00	382.73	382.40	383.35	0.006019	3.50	261.85	126.23	0.78
Adda	62946.09	917.00	375.59	379.19	378.87	379.69	0.006205	3.15	291.57	169.79	0.77
Adda	62395.70	917.00	372.80	376.20	375.76	376.60	0.005000	2.81	326.81	196.81	0.69

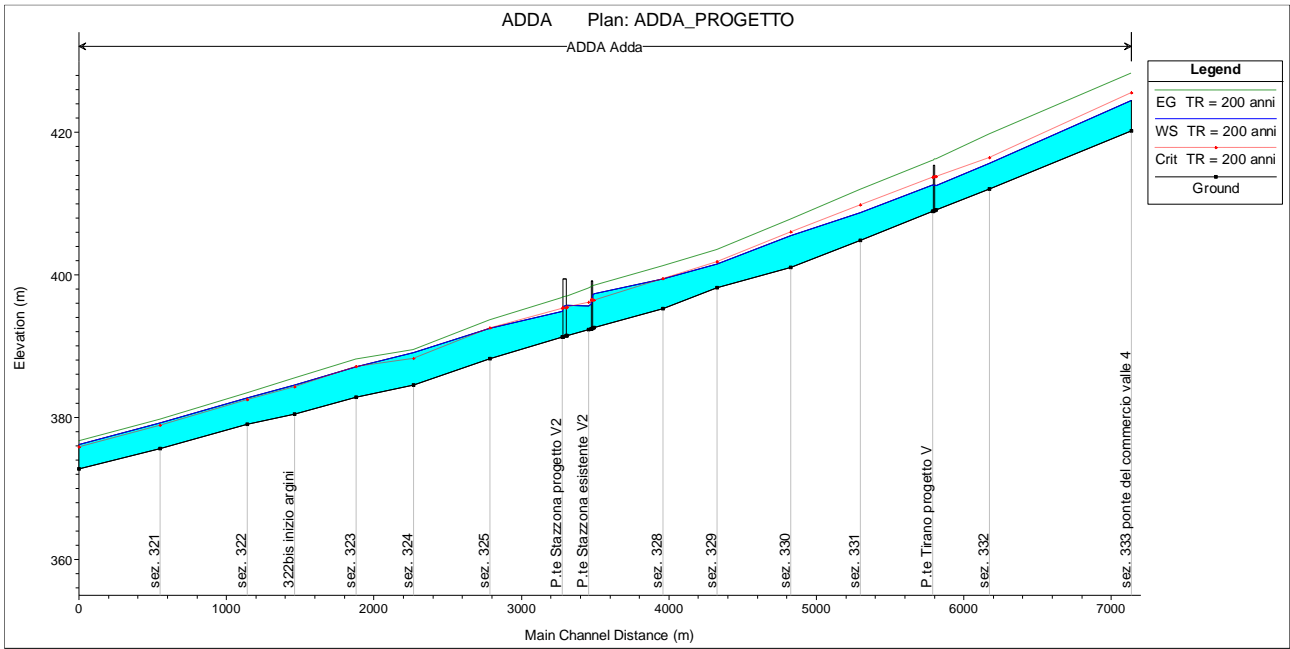
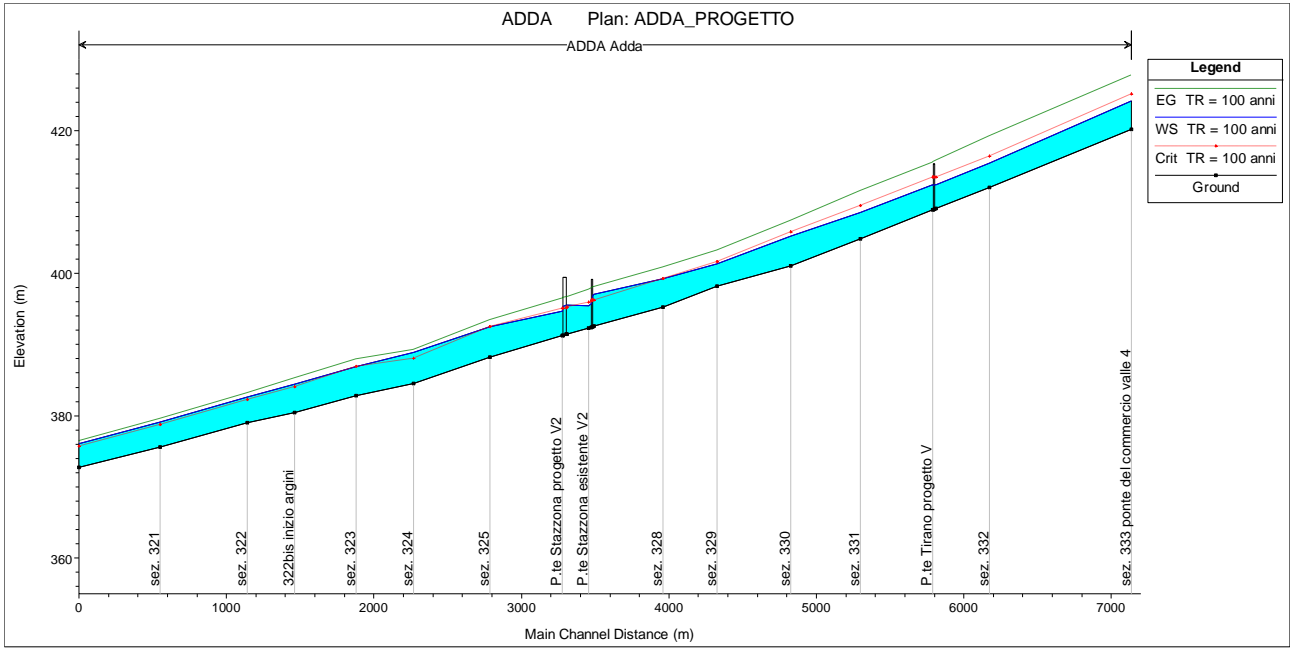
37.2 PROFILI

Andamento del pelo libero nel tratto del fiume Adda in esame allo stato di progetto.

- WS = quota superficie libera;
- EG = quota del carico totale;
- Crit = quota dell'altezza critica.







37.3 SEZIONI

Si mostrano nel seguito le sezioni estratte dal modello per il tempo di ritorno di 200 anni

