

Località:

**REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI ASTI
COMUNE di CASTAGNOLE delle LANZE**

Progetto:

**COLTIVAZIONE DELLA CAVA DI SABBIA E GHIAIA
"CASONE 2"**

Oggetto:

**Elaborato 7
RELAZIONE DI COMPATIBILITA'
IDROLOGICO-IDRAULICA**

Data:

giugno 2019

Proponente:

RUELLA GIUSEPPE ESCAVAZIONI
con sede in Fubine (AL), via San Giovanni Bosco n. 18
partita IVA n. 00537520066



Progettista:

Ing. Federico Burzio



**ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO**
1384 Dott. Ing. Federico Burzio



**FEDERICO BURZIO
INGEGNERE**

Via Artuffi, 47 - 12040 Ceresole d'Alba
Tel. e fax. 0172 574612 - Cell. 328 6016363
e-mail: f.burzio@libero.it - P.E.C.: federico.burzio@ingpec.eu
C.F. BRZFR76T04B111Z - p.iva 02987120041

INDICE

1	Premessa	2
2	Ubicazione e localizzazione topografica.....	2
3	Piano Stralcio Fasce Fluviali.....	3
4	Caratteristiche del Fiume Tanaro in corrispondenza dell'area di cava	7
5	Valutazione delle portate massime annue al colmo	8
6	Determinazione delle quote planimetriche ed altimetriche	11
7	Valutazione dei livelli di piena in condizioni di moto permanente associati ai valori di Q_{cmax} con i tempi di ritorno assegnati.....	12
7.1	Condizioni generali di simulazione	12
7.2	Area oggetto di simulazione e sezioni di verifica.....	13
7.3	Il coefficiente di scabrezza	15
7.4	Boundary conditions.....	19
7.5	Descrizione del modello matematico HEC-RAS per il calcolo dei profili di corrente a superficie libera in canali naturali o artificiali.....	20
7.6	Tabelle e grafici delle simulazioni.....	25
8	Sintesi dei risultati delle simulazioni idrauliche condotte	28
9	Effetti del trasporto solido in alveo e nelle fasce fluviali	31
9.1	Cenni teorici sul fenomeno del trasporto solido	31
9.2	Applicazione del metodo di Shields al caso in esame	36
9.2.1	Granulometria locale dell'alveo e dell'area di cava.....	36
9.2.2	Risultati delle verifiche sul trasporto solido.....	38
10	MONITORAGGIO.....	40
11	CONCLUSIONI.....	41

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 1

1 Premessa

Nella presente relazione viene valutata la compatibilità idrologico-idraulica del progetto di coltivazione di una cava di sabbia e ghiaia in località “Casone” del Comune di Castagnole delle Lanze (AT), presentata dal Signor **RUELLA Giuseppe**, nato ad Asti il 20.10.1954, residente a Fubine (AL), via San Giovanni Bosco n. 16, cod. fisc. RLL GPP 54R20 A479I titolare dell’impresa individuale **RUELLA GIUSEPPE ESCAVAZIONI**, con sede in Fubine (AL), via San Giovanni Bosco n. 18, codice fiscale e partita IVA n. 00537520066.

In particolare, conformemente a quanto indicato nel *Documento di Programmazione delle Attività Estrattive (D.P.A.E.)* della Regione Piemonte, l’obiettivo dello studio è quello di fornire tutti gli elementi idrologici ed idraulici necessari alla valutazione del comportamento del Fiume Tanaro nel tratto in prossimità del sito di cava in oggetto nei confronti delle caratteristiche del moto dell’acqua e del trasporto solido associato.

2 Ubicazione e localizzazione topografica

L’area interessata dall’attività estrattiva oggetto della presente relazione, è localizzata nella pianura alluvionale del fiume Tanaro in sponda sinistra idrografica.

Le distanze dai principali centri urbani sono le seguenti: circa 2,5 Km in linea d’aria a sud est dal centro dell’abitato di Govone, Fraz. Canove e a circa 3 Km in linea d’aria ad est dal centro dell’abitato di Magliano Alfieri, Fraz. Cornale.

Dal punto di vista amministrativo i terreni in oggetto appartengono al territorio del Comune di Castagnole delle Lanze (AT) e risultano in disponibilità della Ditta istante.

La località sede dell’escavazione è visibile nella tavoletta III N.E. “Costigliole d’Asti” del foglio 69 della Carta Geologica d’Italia, edita a cura dell’Istituto Geografico Militare in scala 1:25.000 e nell’allegata Carta Tecnica Regionale DBTre 2017 edita in scala 1:10.000 a cura del Servizio Cartografico della Regione Piemonte.

Il baricentro dell’area richiesta in autorizzazione corrisponde alle seguenti coordinate UTM WGS 84:

N = 4.957.873

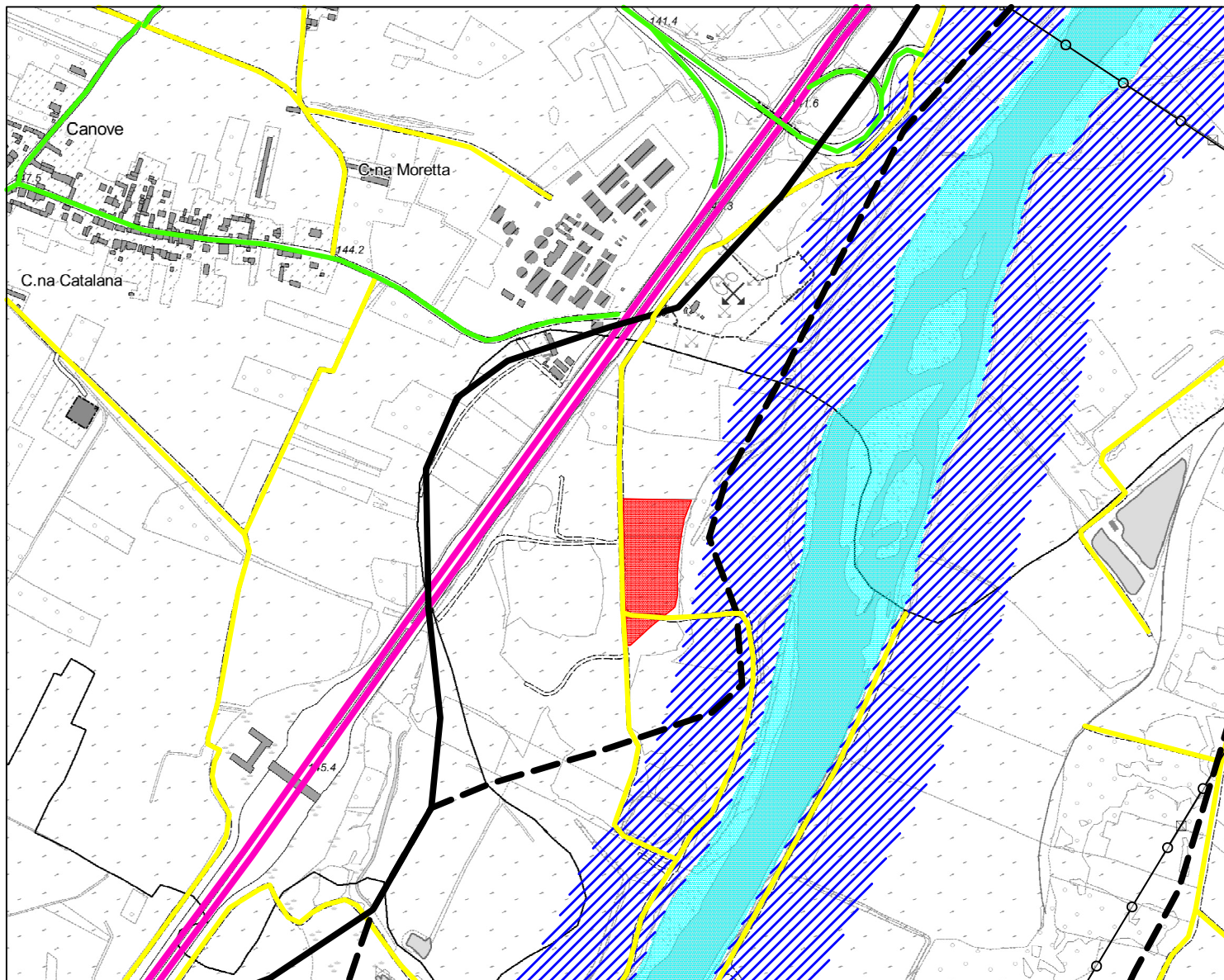
E = 429.361

Catastralmente l’intervento interessa i terreni censiti al foglio n. 3, mappali nn. 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 184, 185, 186 e 187.

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 2

CARTA REGIONE PIEMONTE DBTre 2017

scala 1:10.000

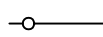


LEGENDA :



Area oggetto di istanza di coltivazione di cava.

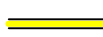
Infrastrutture:



Linea elettrica ad alta tensione.



Strade provinciali.



Strade interpoderali e strade bianche.



Strade Comunali.



Tracciato del collegamento autostradale AT-CN.



Linea ferroviaria.



Corsi e specchi d'acqua.



Canali di irrigazione, rii e bealere.

Fasce fluviali:



Limite Fascia "A" P.S.F.F.
(Autorità di bacino del fiume Po)



Limite Fascia "B" P.S.F.F.
(Autorità di bacino del fiume Po).



Limite di progetto tra
la fascia B e la fascia C.

Vincoli:



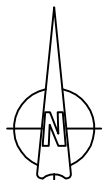
Area sottoposta a vincolo idrogeologico
(L.R. n. 45/89).



Fasce di rispetto di mt. 150 dalle sponde
del fiume Tanaro. (D. Lgs. n. 42/2004).



Area di rispetto di mt. 200 dai pozzi.



Orientamento

3 Piano Stralcio Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è stato redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po. La classificazione delle Fasce Fluviali, evidenziata da apposito segno grafico nelle tavole grafiche appartenenti al piano stralcio stesso, e riproposta nelle figure allegate, è la seguente:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento (per la quale viene assunto un tempo di ritorno $T_r = 200$ anni), ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento; il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento); con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo;
- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento; con riferimento ai corsi d'acqua per cui sono state delimitate le fasce, la piena di riferimento per la Fascia C è stata assunta come segue:
 - asta del Tanaro, evento di piena del novembre 1994;
 - restante parte dei corsi d'acqua principali nel sottobacino sotteso alla confluenza con il Tanaro: piena teorica con tempo di ritorno 500 anni.

In relazione alla rappresentazione grafica adottata sulla cartografia allegata al P.S.F.F., redatta in scala 1:25.000, nei casi in cui le linee di delimitazione delle fasce A e B coincidono, viene rappresentato convenzionalmente solamente il limite della Fascia B.

Così pure, nei casi in cui, in ragione dell'andamento topografico del terreno il limite esterno della Fascia C coincide con quello della B, viene rappresentato convenzionalmente solamente il limite della Fascia B.

In relazione al tracciamento delle fasce fluviali in corrispondenza del tratto di Tanaro in esame, nella relazione illustrativa ed esplicativa allegata al Piano Stralcio delle Fasce fluviali del fiume Po, si legge quanto segue:

“8.2.2.2. Fiume Tanaro

La delimitazione delle fasce fluviali è stata eseguita con riferimento a un assetto di progetto del corso d'acqua prevalentemente definito sulla base di esigenze di carattere idraulico, legate alla messa in sicurezza degli abitati e delle infrastrutture principali, nei confronti dei rischi di inondazione e di difesa dai fenomeni erosivi. Scarsamente rilevanti sono i fenomeni di divagazione dell'alveo, in quanto tipicamente monocursale, con modesta tendenza a modificazioni morfologiche.

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 3

I criteri di delimitazione della Fascia B hanno comportato l'inglobamento delle aree di pregio naturalistico legate all'ambiente fluviale, in quanto tutte comprese all'interno delle aree interessate da inondazione. La Fascia C coincide con il limite delle aree inondate nel corso della piena del novembre 1994.

La delimitazione delle tre fasce ha utilizzato, a livello di verifica e di adeguamento dei tracciati, la rilevazione dettagliata, eseguita dalla Regione Piemonte, attraverso i diversi Servizi, e dal CNR - I.R.P.I., della piena del novembre 1994, con riferimento soprattutto al limite dell'area esondata, per la delimitazione della Fascia C, e al limite dell'area interessata dal deflusso in piena e dai fenomeni di erosione connessi (per la Fascia A).

Tratto Alba - Asti. La Fascia B coincide per la prima parte con l'area inondabile per la piena di riferimento; in destra, dal ponte di Canove sino ad Asti il limite della fascia si attesta su un rilevato arginale da realizzare; in sinistra permane non vincolata artificialmente fino alla zona sud di Asti, dove si innesta il sistema difensivo della città. Nel tratto urbano di Asti il limite della Fascia B coincide con quello dell'arginatura da realizzare a difesa dell'abitato”.

Secondo quanto riportato negli studi redatti dall’Autorità di Bacino del Fiume Po a corredo del P.S.F.F., per le tre fasce fluviali individuate la delimitazione cartografica ha un grado di approssimazione che dipende dalla attendibilità dei dati idrologici, geomorfologici, idraulici e topografici disponibili.

Quest'ultimo elemento è particolarmente determinante ogni qual volta il limite della fascia è definito prevalentemente in termini idraulici, e diventa pertanto necessaria la trasformazione delle portate di piena di riferimento in livelli idrici.

Quanto più è scarsa la disponibilità di rilievi geometrici aggiornati sulla morfologia degli alvei e delle aree di esondazione e quanto meno attendibili o dettagliate sono le quote di piano campagna desumibili dalla cartografia di base, tanto più le delimitazioni possono essere affette da imprecisioni ed inesattezze.

Miglioramenti di definizione sono pertanto possibili, in rapporto alla progressiva disponibilità di elementi descrittivi dei sistemi fluviali con un più elevato livello di approssimazione.

Come discusso in precedenza, la perimetrazione delle fasce fluviali A e B del Fiume Tanaro, nell’ambito del P.S.F.F., è stata svolta partendo dalle portate di piena associate ad eventi con specifico tempo di ritorno ($Tr = 200$ anni); le portate stesse, riferite a specifiche sezioni di deflusso, hanno consentito di ricostruire il profilo di piena del corso d’acqua, ricavando per ciascuna specifica sezione di deflusso l’altezza idrometrica associata alla portata idrica di riferimento.

Per la delimitazione delle fasce fluviali del Fiume Tanaro è risultata altresì determinante la perimetrazione delle aree esondate in occasione dell’evento alluvionale del novembre 1994 che, come si è visto, è stata assunta come riferimento per la definizione della “Fascia C”, ossia della “Area di inondazione per piena catastrofica”.

Si rileva come l’area di cava, posta nelle immediate vicinanze dell’asta del fiume Tanaro, risulti essere ricompresa nella fascia “B” del Piano Stralcio Fasce Fluviali (vedi figure 3.1 e 3.2).

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 4

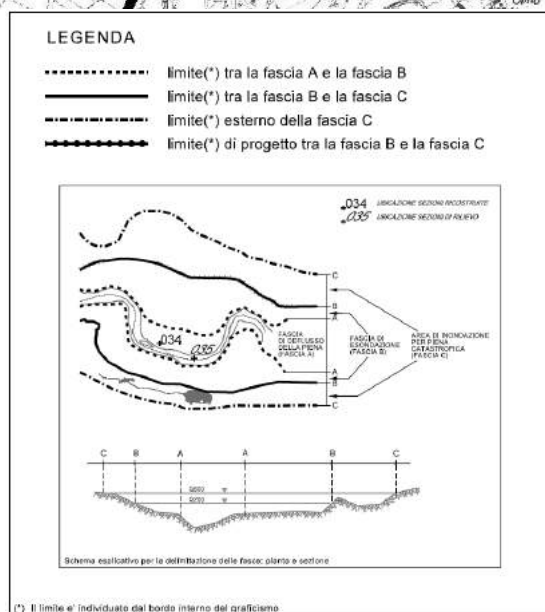
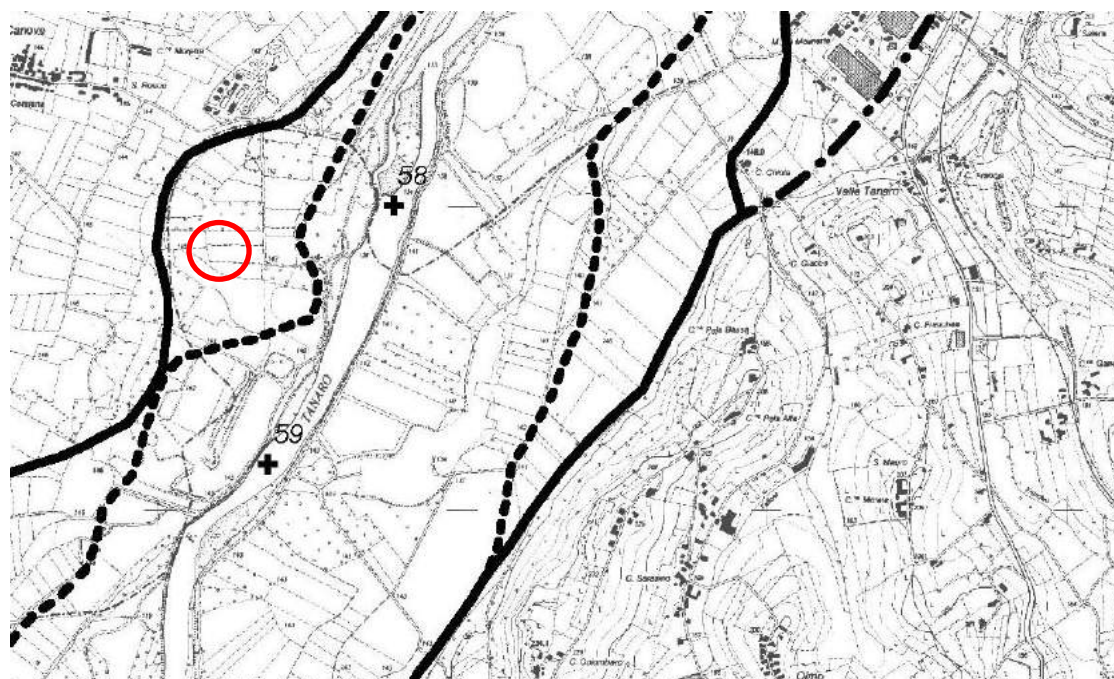


Figura 3.1 – Estratto Piano Stralcio Fasce Fluviali

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 5

Il presente elaborato è di proprietà riservata dell'Ing. Federico Burzio e non può essere riprodotto, copiato, né utilizzato per nessuno scopo diverso da quello per il quale è stato specificatamente fornito, senza previa autorizzazione scritta dell'Ing. Federico Burzio.

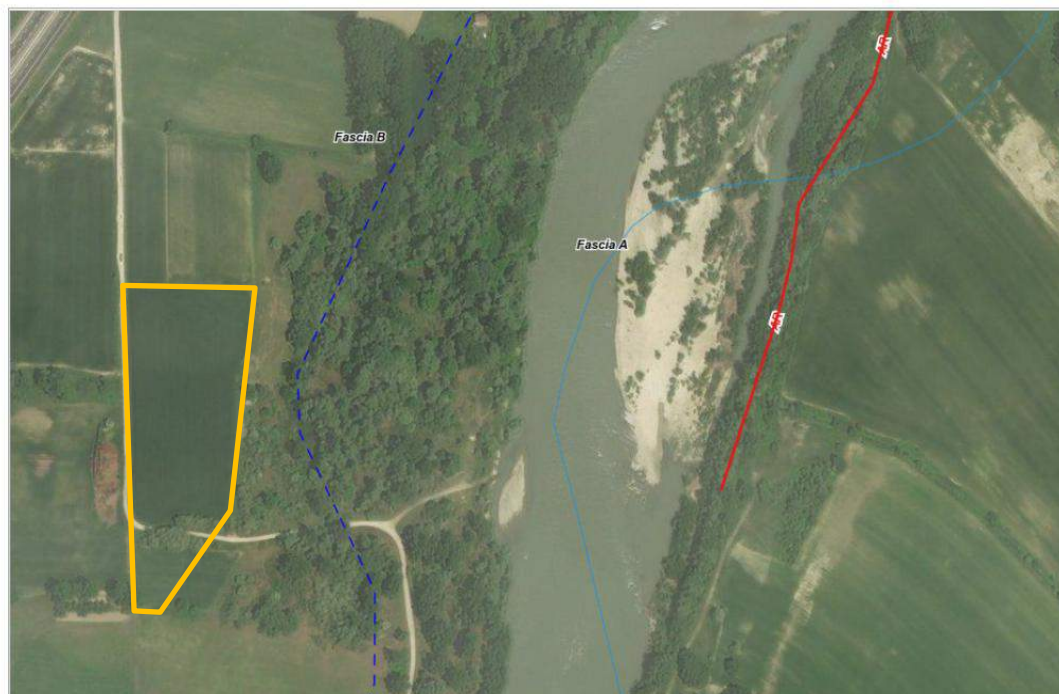


Figura 3.2 – Foto aerea tratta dal Geoportale AIPO con indicazione delle Fasce Fluviali. Da tale documento si evince con maggiore chiarezza che l’area di cava rientra all’interno della fascia B del P.S.F.F.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 6

4 Caratteristiche del Fiume Tanaro in corrispondenza dell'area di cava

Nel presente capitolo vengono analizzate le caratteristiche idrologiche-idrauliche del bacino del Fiume Tanaro che verranno adottate nei calcoli idraulici delle portate massime al colmo Q_{cmax} correlate agli assegnati tempi di ritorno.

Il Fiume Tanaro del Piemonte (276 km; bacino di 8324 km²) è il principale affluente di destra del Po. Nasce dal Monte Saccarello (2200 m) nelle Alpi Liguri con il nome di Tanarello e scorre verso NE confluendo con il Negrone che proviene dal massiccio del Marguareis. Assunto il nome di Tanaro, piega a E, quindi a NE bagnando Ormea, Garessio e Bagnasco. Si dirige verso NO ricevendo da sinistra i torrenti Corsaglia, Ellero e Pesio. A Cherasco riceve la Stura di Demonte, suo principale affluente di sinistra, piega nuovamente verso NE, bagna Alba, e a S di Asti si dirige verso E a lambire la periferia settentrionale di Alessandria. Riceve da destra il Belbo e la Bormida e confluisce quindi nel Po a Bassignana.

La sezione d'interesse è molto prossima alla sezione di San Martino Alfieri e quindi non è necessario operare alcun tipo d'interpolazione tra sezioni limitrofe per determinare le caratteristiche idrologiche da adottarsi nei modelli di calcolo.

Di seguito vengono allegate le caratteristiche del Fiume Tanaro nella sezione di San Martino Alfieri. Tali valori sono stati desunti dalla documentazione Piano di tutela delle acque della Regione Piemonte (d.c.r. n. 117-10731 del 13 marzo 2007) rev. 03-2007.

Sottobacini idrografici								
Sottobacino	Codice sezione PTA	Superficie totale [km ²]	Perimetro [km]	Orientamento prevalente	Quota (m s.m.)			pendenza media [%]
					max	min	media	
TANARO A LA MORRA	2443-1	3.295	363	NE	3.980	68	1.094	32,3
TANARO A ALBA	2448-2	3.451	367	NE	3.980	68	1.058	31,6
TANARO A NEIVE	2452-2	3.563	383	NE	3.980	68	1.034	31,1
TANARO A S.MARTINO ALFIERI	2453-1	3.616	401	NE	3.980	68	1.021	30,7
TANARO A ASTI	2468-2	4.201	478	NE	3.980	68	910	28,1
TANARO A CASTELLO D'ANNONE	2474-1	4.475	497	NE	3.980	68	866	27,1
TANARO A FELIZZANO	1217-2	4.677	513	NE	3.980	68	836	26,4
TANARO A ALESSANDRIA	1217-4	5.314	522	NE	3.980	68	771	24,9
TANARO VALLE LOVASSINA	1217-3	5.526	546	NE	3.980	68	746	24,0
TANARO A BASSIGNANA	3008-1	8.162	577	NE	3.980	68	646	22,2
RIO LOVASSINA	1217-5	78	60	NO	289	83	135	1,1
TIGLIONE	1217-1	77	57	NE	351	96	186	12,0
VERSA	2473-1	200	84	SE	481	105	205	11,4

Figura 3-1 – Valori caratteristici del Fiume Tanaro nella sezione di San Martino Alfieri

(fonte: http://www.regione.piemonte.it/ambiente/acqua/dwd/PTA/b_monografie/b1_aree_idrogr/AI20_bas_so_tanaro.pdf)

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 7

5 Valutazione delle portate massime annue al colmo

I dati di portata del Fiume Tanaro nel tratto d'interesse vengono desunti dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino Fiume Po.

In particolare viene considerata la [“DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA”](#).

In tale documento l'Autorità di bacino definisce, con propria direttiva: i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto, i relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino, i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d'acqua e i tempi di ritorno delle portate di piena per il dimensionamento o la verifica delle diverse opere.

Nelle tabelle allegate alla suddetta Direttiva si possono ricavare i dati di portata per numerose sezioni.

In particolare alla tabella n.20 vengono forniti i valori delle portate relative ai tempi di ritorno tecnici (20, 100, 200 e 500 anni) nelle varie sezioni del Fiume Tanaro.

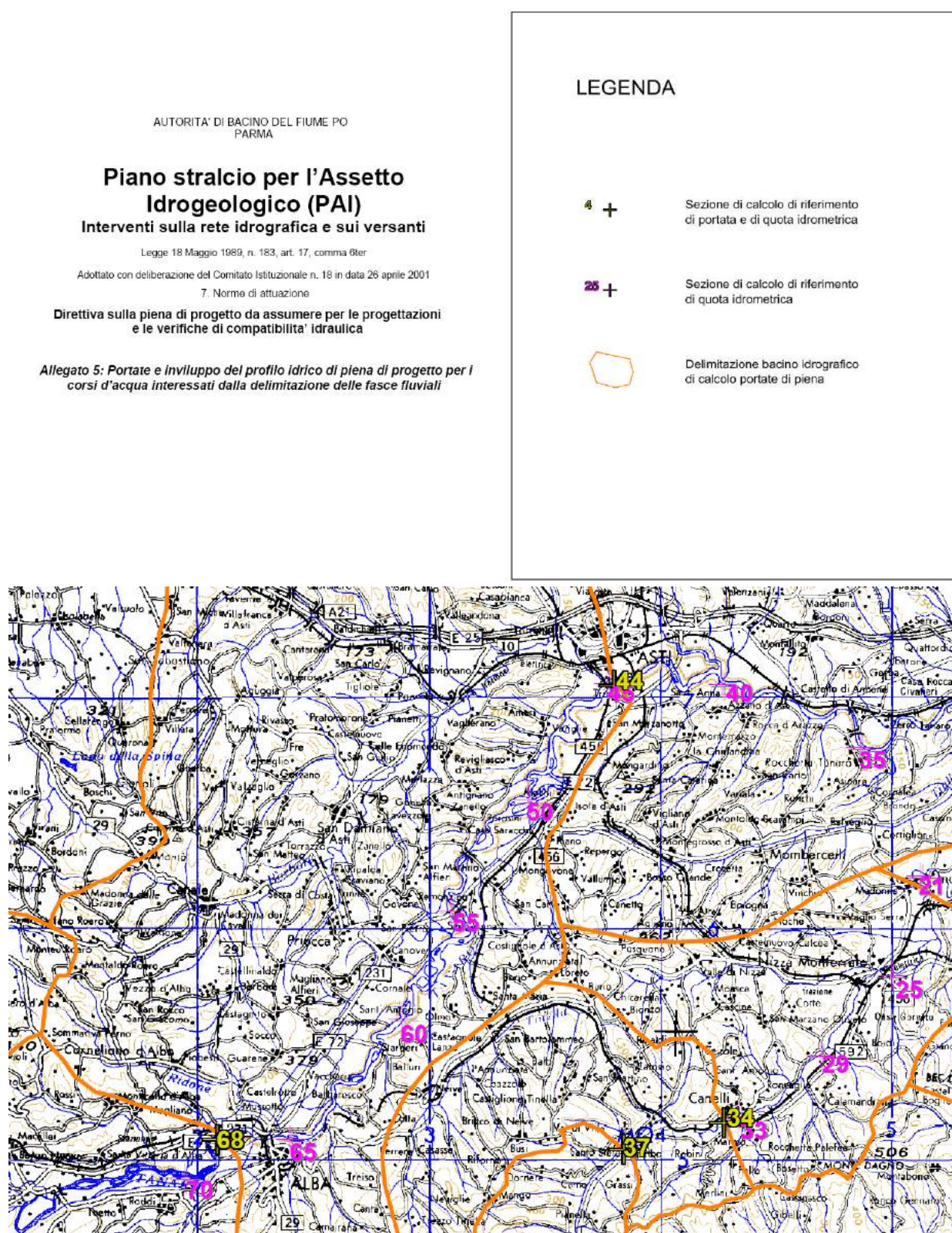
Nel caso specifico la sezione più prossima al sito d'intervento è quella di Alba (CN) che viene identificata con il codice n 68 e progressiva 141.852 km (vedi figura 4-1).

Bacino	Corso d'acqua	Sezione		Superficie km²	Q20	Q100	Q200	Q500	Idrometro Denominazione
		Progr.(km)	Cod.		m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	
Tanaro	Stura di Demonte	113.563	3	Confluenza in Tanaro	1490	320	690	900	1350
Tanaro	Tanaro	61.078	123	Ceva	470	670	990	1150	1340
Tanaro	Tanaro	104.442	93	Farigliano	1522	1550	2100	2300	2600
Tanaro	Tanaro	141.852	68	Alba	3374	2050	2750	3050	3400
Tanaro	Tanaro	177.863	44	Asti	4241	2650	3300	3550	3900
Tanaro	Tanaro	224.440	19	Alessandria	5258	2850	3550	3800	4200
Tanaro	Tanaro	236.891	11	Montecastello	7985	3250	4050	4350	4800
Tanaro	Tanaro	249.225	2	Confl. in Po	8020	3250	4050	4350	4800

Figura 4-1 – Valori delle portate al colmo per i tempi di ritorno assegnati (tabella 20 della Direttiva “Piene di progetto”)

(fonte: http://www.adbpo.it/PAI/7%20-%20Norme%20di%20attuazione/7.2%20-%20Direttive%20di%20Piano/Direttiva2/TABELLE/TABELLE_2_31.PDF)

Nella figura 4-2 viene invece riportato un estratto dell'Allegato 5 delle Norme di attuazione della Direttiva Piene di Progetto: *“Portate e inviluppo del profilo idrico di piena di progetto per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali”*. In essa è riportata la posizione delle sezioni definite dal PAI per il calcolo di portata e quota idrometrica.



(fonte: <http://www.adbpo.it/PAI/7%20-%20Norme%20di%20attuazione/7.2%20-%20Direttive%20di%20Piano/Direttiva2/ALLEGATO5/CARTOGRAFIA5.PDF>)

Figura 4-2 – Estratto dell'Allegato 5 delle Norme di attuazione della Direttiva Pieni di Progetto

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 9

Il presente elaborato è di proprietà riservata dell'Ing. Federico Burzio e non può essere riprodotto, copiato, né utilizzato per nessuno scopo diverso da quello per il quale è stato specificamente fornito, senza previa autorizzazione scritta dell'Ing. Federico Burzio.

Per ottenere i valori delle portate tecniche in corrispondenza del tratto in esame, si utilizza la formula di Gherardelli – Marchetti per il trasporto delle portate al colmo in sezioni idrologicamente simili:

$$u = u_{100} (S/100)^{-\beta}$$

con: S (km^2) superficie del bacino; $u = q/S$ ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) contributo unitario di piena; u_{100} ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) parametro caratteristico del bacino; essa fornisce stime di portata aventi $T = 100$ anni circa. Secondo Marchetti: $\beta = 2/3$, secondo Mongiardini e Mele: $\beta = 0,5$.

Di seguito si riportano i valori tipici del parametro u_{100} di diverse regioni omogenee. Questa tabella può essere presa come riferimento per verificare la correttezza del calcolo eseguito in seguito per lo specifico bacino oggetto d'indagine.

Regione omogenea	q_{100} [$\text{m}^3/\text{s km}^2$]
Bacini veneti	3 ÷ 13.6
Bacini lombardi	3 ÷ 12.4
Bacini piemontesi	5 ÷ 17.5
Bacini emiliani	10 ÷ 20
Bacini liguri-toscani	5 ÷ 14.5
Bacini umbro-laziali e campani	2 ÷ 9
Bacini isolani	7 ÷ 12

Partendo dai dati nella sezione nota (nel caso specifico quella di Alba), si ottiene il parametro caratteristico della regione idrologica omogenea e quindi, conoscendo la superficie del bacino alla sezione d'interesse (vedi figura 3-1), si possono ottenere i valori di portata nella sezione oggetto di studio (nel caso specifico quella di San Martino Alfieri):

Calcolo della portata alla sezione oggetto di studio

sezione di riferimento	ALBA				
dato	simbolo	u.m.	TR=20 anni	TR=100 anni	TR=200 anni
Superficie del bacino alla sezione di riferimento	S	km ²	3374	3374	3374
Portata alla sezione di riferimento	Q	m ³ /s	2050	2750	3050
contributo chilometrico del bacino in esame	u	m ³ /s/km ²	0,607587	0,815056	0,903972
parametro caratteristico della regione idrologica in esame	u100	m ³ /s/km ²	6,344129894	8,51041815	9,438827403
β	β	-	0,6666666	0,6666666	0,6666666

sezione oggetto di studio	SAN MARTINO ALFIERI				
dato	simbolo	u.m.	TR=20 anni	TR=100 anni	TR=200 anni
Superficie del bacino alla sezione oggetto di studio	S	km ²	3616	3616	3616
contributo chilometrico del bacino in esame	u	m ³ /s/km ²	0,580167267	0,778273163	0,86317569
Portata alla sezione oggetto di studio	Q	m³/s	2098	2814	3121

Figura 4-3 – Valori di portata del Fiume Tanaro alla sezione oggetto di studio (San Martino Alfieri)

6 Determinazione delle quote planimetriche ed altimetriche

Per valutare gli effetti dei livelli di piena sul territorio in esame è necessario disporre di un rilievo abbastanza dettagliato del terreno ed in particolare dell'alveo fluviale.

Nel presente studio verrà utilizzato un rilievo messo a disposizione dalla Regione Piemonte e reperibile sul suo geoportale: “*RIPRESA AEREA ICE 2009-2011 – DTM*”.

Il modello digitale del terreno (DTM, dall'inglese Digital Terrain Model) copre tutto il territorio regionale ed è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. La risoluzione della griglia (passo) è di 5 m, con una precisione in quota di ± 0.30 m (± 0.60 m nelle aree di minor precisione, corrispondenti alle aree boscate e densamente urbanizzate).

L'area interessata dal progetto di coltivazione di cava è poi stata indagata con maggior dettaglio attraverso un rilievo topografico a terra condotto dallo studio di topografia Studio Tecnico Topografico Geom. Francesco Enrico Bussolino.

Il rilievo è stato fatto spingendosi sia verso valle che verso monte rispetto all'area di intervento per avere una migliore modellizzazione della dinamica fluviale del Corso d'acqua.

I punti planimetrici e altimetrici sono stati restituiti in coordinate assolute nel sistema di riferimento WGS 84 – UTM zone 32 (EPSG 32632).

7 Valutazione dei livelli di piena in condizioni di moto permanente associati ai valori di Q_{max} con i tempi di ritorno assegnati

7.1 Condizioni generali di simulazione

La valutazione dei livelli di piena del Fiume Tanaro viene effettuata tramite un modello idraulico-numerico globale di moto permanente in quanto questo tipo di moto rappresenta una buona approssimazione del moto che si manifesta negli alvei naturali dei corsi d'acqua.

Tale metodologia permette una rappresentazione dei livelli di piena nelle sezioni del corso d'acqua più raffinata di quanto non lo permetta la schematizzazione del moto uniforme nelle singole sezioni dell'alveo, in quanto con esso è possibile calcolare i livelli tenendo in conto anche le altre sezioni di verifica e le singolarità idrauliche che ci possono essere nel tratto considerato.

In modo particolare, in considerazione delle caratteristiche del moto, è possibile tenere in conto l'influenza degli eventi di piena del fiume sul deflusso del Fiume Tanaro.

Descrivendo la metodologia utilizzata si osserva che il problema del tracciamento del profilo di superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente con una data portata Q si risolve con procedimenti di calcolo numerico.

E' stato utilizzato per il calcolo dei livelli e delle principali caratteristiche del moto il software HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers.

L'operazione richiede preliminarmente un rilievo dettagliato dell'alveo per suddividere il corso d'acqua in tronchi di lunghezza Δs , tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo.

Anche la natura dell'alveo deve conservarsi, entro certi limiti, in ciascun tronco.

Come detto nel capitolo precedente, si è utilizzato il rilievo messo a disposizione dalla Regione Piemonte che è stato elaborato tramite il GIS TOOL presente in HEC-RAS che viene denominato RAS MAPPER.

Eseguita la suddivisione, è necessario il rilievo dettagliato delle caratteristiche geometriche di tutte le sezioni di separazione dei vari tratti.

Siano (i) e (i+1) due sezioni consecutive, distanti Δx in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche.

La variazione di carico idraulico ΔH tra le due sezioni si può calcolare mediante la seguente relazione alle differenze finite:

$$\Delta H = -[j]_i \cdot \Delta x$$

Si può ottenere così il carico H_{i+1} della sezione i+1 e conseguentemente il carico piezometrico h_{i+1} , che rappresenta la quota del pelo libero rispetto ad un piano di riferimento orizzontale, risolvendo l'equazione:

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 12

$$H_{i+1} = h_{i+1} + \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega_{i+1}^2}$$

E' possibile in questo modo ricavare il carico piezometrico della corrente nelle sezioni di rilievo e da questo calcolare le caratteristiche idrauliche che il Fiume ha nel tratto in esame.

Questa trattazione teorica relativa ad alvei omogenei è stata generalizzata considerando anche il deflusso golenale che si manifesta per portate al colmo dell'entità di quelle in oggetto.

7.2 Area oggetto di simulazione e sezioni di verifica

La modellazione in moto permanente è stata condotta su un tratto del Fiume Tanaro di lunghezza pari a circa 4,5 Km ed ha considerato 13 sezioni del Fiume come indicato nelle figure 6-1 e 6-2 allegate di seguito.

Tutte le sezioni si estendono oltre i limiti delle Fasce Fluviali ed in particolare raggiungono il rilevato arginale in sinistra idrografica e la zona collinare in destra idrografica.



**Figura 6-1 – DTM del settore oggetto d'indagine con indicazione delle sezioni di verifica
“Base cartografica realizzata da Ing. Burzio Federico, basata sul dataset DTM 2009-2011
Piemonte ICE della Regione Piemonte”**

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 13

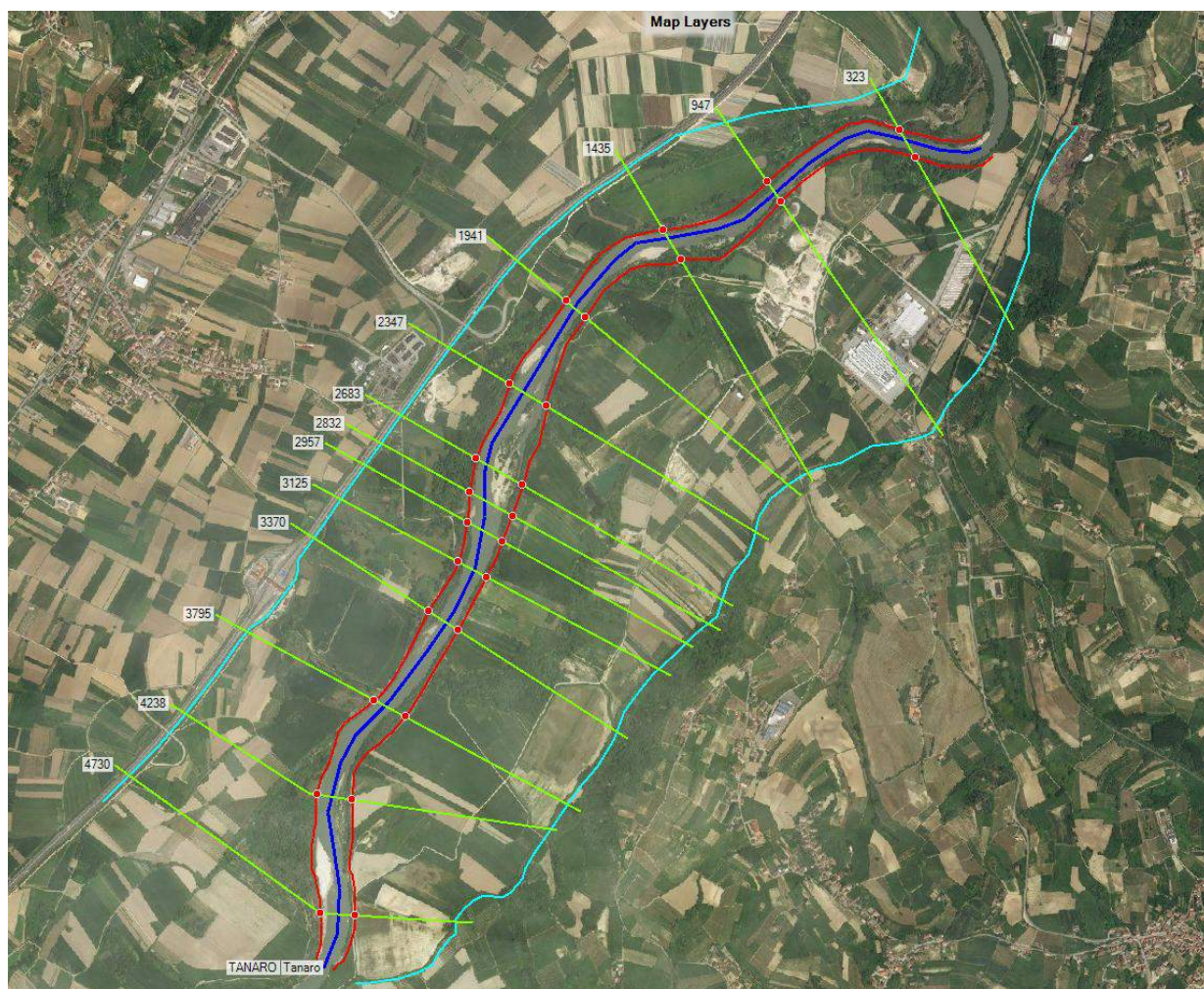


Figura 6-2 –Indicazione delle sezioni di verifica sovrapposte alla foto area dell’area d’intervento

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 14

Il presente elaborato è di proprietà riservata dell'Ing. Federico Burzio e non può essere riprodotto, copiato, né utilizzato per nessuno scopo diverso da quello per il quale è stato specificatamente fornito, senza previa autorizzazione scritta dell'Ing. Federico Burzio.

7.3 Il coefficiente di scabrezza

Il coefficiente di scabrezza in un alveo naturale è una misura globale della resistenza al moto; la scelta deve essere effettuata a seguito di un'accurata ricognizione dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo e la copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti interessate al deflusso.

Le scabrezze adottate nel presente studio sono state dedotte dall'analisi del terreno e dalla letteratura tecnica dalla Direttiva *“Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B”* dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

A titolo orientativo per la scelta dei valori numerici si può fare riferimento, utilizzando il coefficiente di scabrezza di Manning o di Strickler, alle indicazioni fornite dalle tabelle di "Open Channel Hydraulics", Ven te Chow, McGraw Hill International Editions (Tabella 1).

$$\begin{aligned} \text{Strickler:} \quad v &= K_s R^{2/3} i^{1/2} \\ \text{Manning:} \quad v &= (1/n) R^{2/3} i^{1/2} \end{aligned}$$

dove:

v = velocità media della corrente (m/s)

R = raggio idraulico (m)

i = pendenza di fondo (m/m)

K_s = coefficiente di *Strickler*

n = coefficiente di *Manning*

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

La Tabella 2 presenta i valori di riferimento per i coefficienti di scabrezza, secondo le formule di Strickler e di Manning, riferiti alle situazioni tipiche dei corsi d'acqua naturali.

Nel caso in esame sono stati adottati i seguenti valori:

Alveo principale		Aree golenali	
C	N	C	N
Gauckler Strickler [m/s ^{1/3}]	Manning [1/C]	Gauckler Strickler [m/s ^{1/3}]	Manning [1/C]
25	0.04	15	0.066

Figura 6-1 – Valori delle scabrezze relative all'alveo e alle zone golenali

I valori di scabrezza possono sembrare alti (secondo la definizione di Manning), ma fanno seguito a recenti tarature del modello effettuate sulle portate di piena del Fiume Tanaro eseguite in seguito all'evento alluvionale del 1994.

In tali studi emerge che per portate di piena di notevole entità i coefficienti di scabrezza che si osservano, intesi nella definizione di Manninig, sono relativamente elevati.

Da quanto sopra, deriva che i valori del coefficiente di scabrezza sono da ritenersi corretti, a condizione di svincolarsi dal significato fisico del coefficiente di scabrezza, e considerarlo come una sorta di "coefficiente globale" in grado di tenere conto dell'insieme dei complessi fenomeni dissipativi che si verificano durante il passaggio di una piena di notevole importanza.

Occorre pertanto considerare alcuni dei meccanismi reali non simulati dal modello che possono aver contribuito a produrre livelli idrici maggiori a parità di portate, e che quindi si traducono in una riduzione del coefficiente k di Strikler rispetto ai valori standard comunemente reperibili in letteratura tecnica.

Questi meccanismi sommariamente sono i seguenti:

- presenza notevolissima di trasporto solido in sospensione, capace di modificare la stessa densità della corrente e di incrementare i meccanismi dissipativi all'interno della massa fluida, indipendentemente dalla scabrezza fisica del contorno bagnato;
- presenza di trasporto solido flottante, soprattutto tronchi d'albero, interferente con le pile dei ponti, con conseguenti temporanei effetti di rigurgito a monte superiori rispetto a quelli desumibili dalla geometria delle pile stesse;
- dinamica fluviale tutt'altro che gradualmente variata, caratterizzata da vorticosità, effetti dovuti alla curvatura dei meandri, irregolarità causate da bruschi restringimenti.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 16

Tabella 1: metodo per il calcolo del coefficiente di scabrezza n nei corsi d'acqua

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n_0	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n_1	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n_2	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010- 0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n_3	0.000
	Modesto		0.010- 0.015
	Apprezzabile		0.020- 0.030
	Elevato		0.040- 0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n_4	0.005- 0.010
	Medio		0.010- 0.025
	Alto		0.025- 0.050
	Molto alto		0.050- 0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	m_5	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

Tabella 2: valori del coefficiente di scabrezza per i corsi d'acqua naturali

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico $\leq 2 \text{ m}$; larghezza in piena $< 30 \text{ m}$)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico $\geq 4 \text{ m}$; larghezza in piena $> 30 \text{ m}$)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25
AREE GOLENALI (Raggio idraulico $\leq 1 \text{ m}$)	
- a pascolo, senza vegetazione arbustiva	40-20
- coltivate	50-20
- con vegetazione arbustiva spontanea	25-10
- con vegetazione arborea coltivata	30-20
Alveo artificiale in terra	
- materiale compatto, liscio	60
- sabbia compatta, con argilla o pietrisco	50
- sabbia e ghiaia, scarpata lastricata	50-45
- ghiaietto 10-30 mm	45
- ghiaia media 20-60 mm	40
- ghiaia grossa 50-150 mm	35
- limo in zolle	30
- grosse pietre	30-25
- sabbia, limo o ghiaia, con forte rivestimento vegetale	25-20
Alveo artificiale in roccia	
- con lavorazione accurata	30-25
- con lavorazione media	25-20
- con lavorazione grossolana	20-15
Alveo artificiale in muratura	
- muratura in pietra da taglio	80-70
- muratura accurata in pietra da cava	70
- muratura normale in pietra da cava	60
- pietre grossolanamente squadrate	50
- scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia	50-45
Alveo artificiale in calcestruzzo	
- pavimentazione in cemento	100
- calcestruzzo con casseforme metalliche	100-90
- calcestruzzo con intonaco	95-90
- calcestruzzo liscio	90
- intonaco di cemento intatto	90-80
- calcestruzzo con casseforme in legno, senza intonaco	70-65
- calcestruzzo costipato, superficie liscia	65-60
- calcestruzzo vecchio, superficie pulita	60
- rivestimento in calcestruzzo ruvido	55
- superfici irregolari in calcestruzzo	50

7.4 Boundary conditions

Il Fiume Tanaro, nel tratto oggetto d'indagine, è caratterizzato da un regime di tipo fluviale per le condizioni di piena ipotizzate ed il moto dell'acqua avviene in corrente lenta con il profilo liquido che dipende dalle condizioni di valle.

Le simulazioni di progetto sono quindi state elaborate partendo da valle e risalendo verso monte.

Si è imposto al modello numerico che le aree golenali non contribuiscano al moto dell'acqua, fino a quando il deflusso può essere contenuto dalle sponde dell'alveo principale.

A proposito delle condizioni al contorno del modello, e cioè del livello dell'acqua nella sezione di partenza, si è imposto che tale livello fosse pari a quello di moto uniforme per le portate tecniche di riferimento ("normal depth" come boundary condition del programma di calcolo HEC-RAS).

Si precisa comunque che l'ipotesi sul livello di partenza, sebbene importante per le caratteristiche del moto nel tratto di studio, non influenza in modo significativo i livelli dell'acqua nel tratto di corso d'acqua che lambisce le aree di cui si vuole valutare l'esondabilità.

Questo perché la sezione di partenza della simulazione idraulica è relativamente lontana a valle, e sono numerose le sezioni d'alveo frapposte tra esse e quelle che sono significative per lo studio delle aree oggetto d'intervento, pertanto in queste condizioni il livello d'acqua in quella prima sezione ha poca influenza, come si può osservare facilmente facendolo variare all'interno di un tolleranza ragionevole, tale da non cambiare le caratteristiche idrauliche del moto.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 19

7.5 Descrizione del modello matematico HEC-RAS per il calcolo dei profili di corrente a superficie libera in canali naturali o artificiali

Nell'ipotesi di condizioni di deflusso in moto permanente in alveo a sezione gradualmente variabile (steady gradually varied flow) può essere utilizzata la nuova versione del modello monodimensionale HEC-2 sviluppato (1982) dallo Hydrologic Engineering Center (HEC) dello U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Questo modello è in grado di simulare le condizioni di deflusso in corrente lenta e/o veloce calcolando i profili di corrente a superficie libera di una portata costante in canali naturali o artificiali, operando una discretizzazione di estremo dettaglio delle caratteristiche geometriche del canale e di eventuali opere (ponti; restringimenti; tombini) interessate dalla corrente liquida.

Il codice del modello HEC-2 è stato inserito all'interno di un nuovo pacchetto di calcolo (software-package) denominato HEC-RAS (River Analysis System) corredato di funzioni di editing e di stampa e disponibile per ambienti PC-DOS/WINDOWS.

Il procedimento di calcolo è basato sulla soluzione dell'equazione (monodimensionale) dell'energia, valutando le perdite di carico ripartite (dissipazioni per attrito) con l'espressione di Manning e quelle concentrate (in corrispondenza di brusche variazioni di sezioni) tenendo conto di un coefficiente di espansione ed uno di contrazione. In corrispondenza di tratti ove il profilo liquido varia rapidamente viene utilizzata l'equazione del momento; è possibile così simulare risalti idraulici che si realizzano in corrispondenza di restringimenti (ponti o tombini) ed eventuali punti di confluenza/derivazione di correnti liquide.

Le informazioni necessarie per l'esecuzione del programma vengono introdotte utilizzando procedure corredate di fogli elettronici per la generazione di file di input relativi a:

caratteristiche geometriche:

- rappresentazione planimetrica dei canali con individuazione delle sezioni trasversali di discretizzazione, dei punti di confluenza o derivazione, dei ponti od eventuali opere di restringimento;
- coordinate dei vertici del generico poligono della sezione trasversale al corso d'acqua;
- lunghezza dei tronchi di canale fra sezioni contigue;
- coefficienti che esprimono le perdite di carico (concentrate e ripartite);
- delimitazioni delle aree realmente interessate dal deflusso idraulico;

condizioni di deflusso nelle sezioni di estremità:

- definizione del regime di deflusso (corrente lenta e/o veloce);
- livello idrico iniziale;
- portata di deflusso.

Il programma HEC-RAS è corredato delle seguenti utili funzioni che agevolano le procedure di input ed output: introduzione e correzione dei dati tramite l'uso di fogli elettronici con funzioni di controllo in linea; visualizzazione e stampa dell'andamento planimetrico e dei profili trasversali e longitudinali; predisposizione e stampa di una relazione riassuntiva dei tabulati di input ed output.

Il calcolo del profilo inizia da una sezione caratteristica (che definiamo di controllo in quanto per questa vengono definite le condizioni di partenza) e procede, secondo un metodo iterativo alle

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 20

differenze finite, alla definizione della quota del pelo libero della sezione contigua (individuata a monte nel caso di corrente lenta o a valle nel caso di corrente veloce). Questa ultima versione del codice di calcolo individua in maniera automatica i tratti, all'interno del canale in esame, ove si realizza il passaggio attraverso l'altezza critica (moto permanente con variazioni rapide delle condizioni di deflusso). In qualsiasi caso è fondamentale la corretta definizione e successiva verifica di validazione delle condizioni di deflusso per le sezioni di estremità.

Nelle condizioni di moto permanente con variazioni graduali delle sezioni, il calcolo del tirante idrico in una sezione trasversale viene eseguito risolvendo le due seguenti equazioni:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (1)$$

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

ove (vedi fig. 1):

WS_1, WS_2 esprimono la quota idrica alle due estremità

V_1, V_2 velocità media nelle due sezioni (definita in funzione del rapporto Q/A)

α_1, α_2 coefficiente di coriolis nelle due sezioni

g accelerazione di gravità

h_e perdita di carico totale

L lunghezza (media pesata) del tratto di canale compreso tra le sezioni 1 e 2

\bar{S}_f pendenza della linea dei carichi per attrito ripartito

C coefficiente di perdita di carico per brusco allargamento o restringimento

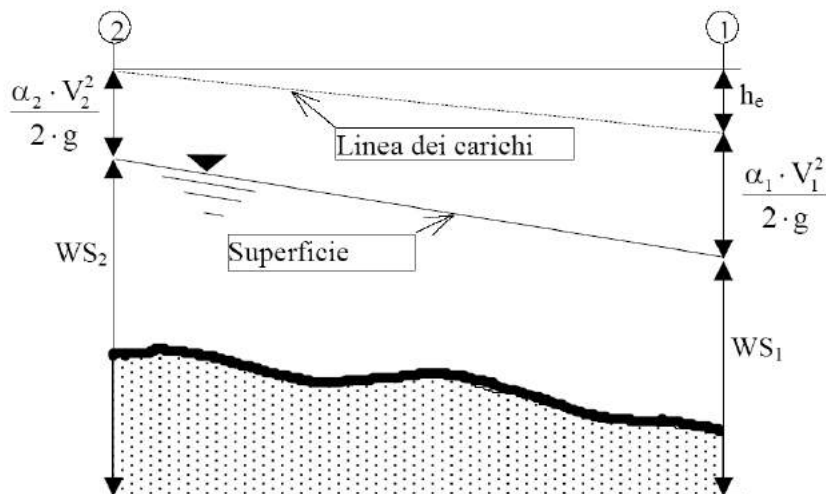


Fig.1 - Schematizzazione dei termini di calcolo tra due sezioni

La lunghezza L è definita come media pesata in funzione della portata media che si realizza nei tratti centrale (*ch* asse canale) e laterali (argine/golena destra *rob* right overbank e sinistra *lob* left overbank) della sezione idraulica:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3)$$

ove:

L_{lob}, L_{rob}, L_{ch} lunghezza del tronco in corrispondenza della golenia sinistra, destra e del canale

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{rob}, \bar{Q}_{ch}$ portata media di deflusso nella golenia sinistra, destra e del canale

Nella simulazione delle caratteristiche di deflusso in corrispondenza di ogni sezione trasversale di calcolo il modello definisce la capacità di trasporto totale $K=Q/(S_f^{0.5})$ ed il coefficiente di coriolis α . Per un'attenta valutazione di questi termini è necessario suddividere la generica sezione trasversale in parti contraddistinte da una velocità di deflusso pressoché uniforme (vedi fig.2).

La capacità di trasporto (conveyance) per la generica zona i-esima (a velocità uniforme) K_i è calcolata con l'equazione:

$$K_i = \frac{1,486}{n_i} \cdot A_i \cdot R_i^{2/3} \quad (4)$$

ove:

n_i coefficiente di scabrezza (o indice di Manning)

A area liquida della porzione di sezione trasversale

R raggio idraulico (rapporto tra l'area A ed il perimetro bagnato)

La capacità di trasporto della sezione trasversale è data dalla somma dei contributi parziali.

Il coefficiente di Coriolis α è definito in funzione della seguente equazione:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \cdot \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3} \quad (5)$$

con:

A_t area bagnata totale della sezione trasversale

A_{lob}, A_{rob}, A_{ch} area bagnata nel canale e nelle golene

K_t capacità di trasporto totale della sezione

K_{lob}, K_{rob}, K_{ch} capacità di trasporto nel canale e nelle golene

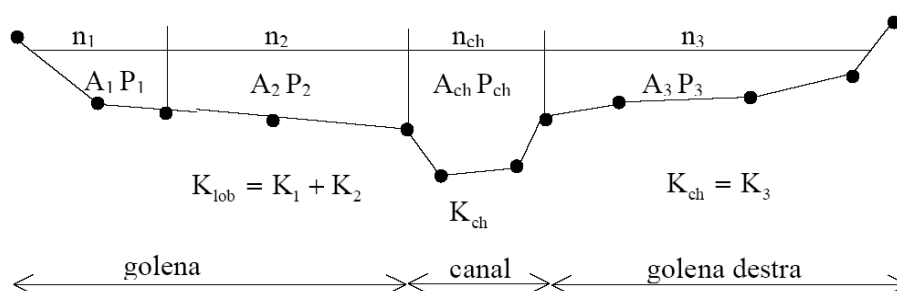


Fig. 2 - Schematizzazione della sezione trasversale

Le perdite di carico per attrito vengono calcolate come prodotto di S_f ed L ; L è definito tramite l'equazione (3); per il calcolo di S_f tra due sezioni è possibile utilizzare quattro espressioni alternative comunque derivate dall'equazione di Manning $S_f = (Q/K)^2$:

Capacità media di trasporto:
$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (6.1)$$

Pendenza piezometrica media:
$$\bar{S}_f = \frac{S_{f_1} + S_{f_2}}{2} \quad (6.2)$$

Media geometrica della pendenza:
$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} \cdot S_{f_2}} \quad (6.3)$$

Media armonica della pendenza:
$$\bar{S}_f = \frac{2 \cdot S_{f_1} \cdot S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}} \quad (6.4)$$

Per ogni sezione di calcolo viene individuata l'altezza critica WS_{crit} definita come il tirante idrico cui compete la condizione di minimo del carico totale $H_{min} = WS_{crit} + \alpha \cdot V^2 / (2 \cdot g)$; per l'individuazione dell'altezza critica l'algoritmo di calcolo segue una procedura iterativa di tipo misto combinando i metodi parabolico e secante.

La procedura di calcolo del profilo inizia da una sezione di estremità del canale in esame e procede, secondo un metodo iterativo alle differenze finite, alla definizione della quota del pelo libero della sezione contigua utilizzando le equazioni precedentemente descritte. La sequenza di calcolo è del tipo SSM (standard step method):

- note le condizioni di deflusso in corrispondenza della sezione 2 di partenza (tirante idrico WS_2 portata Q_2); viene prefissato un valore del tirante idrico (WS_1) per la sezione contigua 1 (individuata, rispetto alla sezione di partenza, a monte nel caso di corrente lenta o a valle nel caso di corrente veloce);
- in funzione del tirante idrico WS_1 viene calcolata la capacità di trasporto K_1 e la velocità Q_1/A_1 ;
- con i valori desunti ai punti a) e b) viene calcolata (con le equazioni 6.1÷6.4) la pendenza piezometrica S_f relativa al tratto compreso tra la sezione di partenza 2 e quella contigua 1 e successivamente la perdita di carico in funzione dell'equazione (2);
- viene risolta l'equazione (1) esplicitata in funzione del tirante idrico nella sezione 2 (termine incognito WS_1);
- il valore di WS_1 così calcolato viene comparato a quello assunto al punto a); se lo scarto tra i due valori supera un livello prefissato (come default il programma assume una

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 23

tolleranza di 0,003 m ma è possibile imporre valori anche più contenuti) vengono ripetuti i passi di calcolo sino a verificare la condizione di tolleranza.

Nei tratti ove si individua il passaggio del profilo idraulico attraverso l'altezza critica (moto permanente con variazioni rapide delle condizioni di deflusso) l'impiego dell'equazione dell'energia (1) cade in difetto; queste condizioni si manifestano in corrispondenza di:

- tratti di risalto idraulico (corrispondenti a drastiche variazioni delle sezioni trasversali del canale);
- punti di confluenza o divergenza di canali;
- restringimenti in corrispondenza di opere in alveo (ponti e tombini).

Il codice di calcolo di HEC-RAS è in grado di gestire in modo automatico queste specifiche condizioni di deflusso utilizzando l'equazione del momento derivata applicando il teorema della quantità di moto al volume di controllo compreso tra due sezioni confinanti il tratto ove avviene il singolare passaggio attraverso l'altezza critica:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (7)$$

ove (vedi fig. 3):

P_1, P_2 Spinta idrostatica lungo le sezioni di controllo $= \gamma \cdot A \cdot Y \cdot \cos \theta$

$W_x = \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L$ Componente longitudinale della risultante delle forze di massa

$F_f = \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot \bar{S}_f \cdot L$ Risultante degli sforzi di attrito

$Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x = \frac{Q \cdot \gamma}{g} \cdot (\beta_2 \cdot V_2 - \beta_1 \cdot V_1)$ Quantità di moto della massa fluida

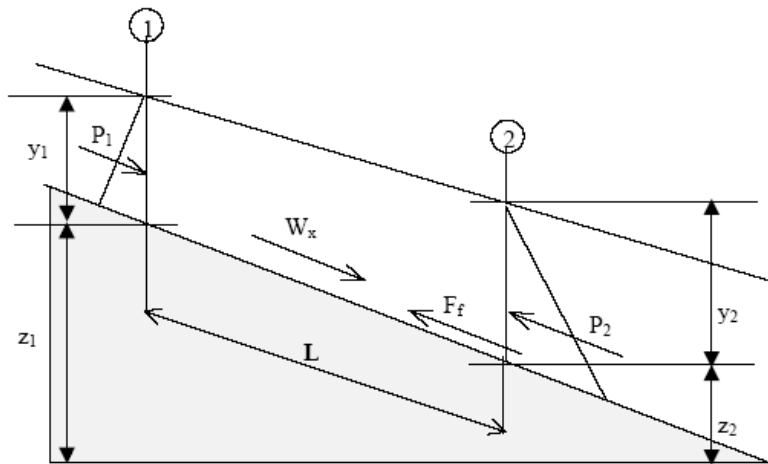


Fig. 3 Schematizzazione del volume di controllo

Limiti di applicabilità del modello HEC-RAS:

- Portata costante (flusso stazionario)
- Moto permanente gradualmente vario (ad eccezione dei tratti in corrispondenza di brusche variazioni di sezione in queste condizioni il programma utilizza l'equazione del momento)
- Condizioni di deflusso prevalentemente monodimensionali
- Pendenza del canale contenuta (inferiore ad 0,1%)

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 24

7.6 Tabelle e grafici delle simulazioni

Nelle pagine seguenti sono riportati, in forma tabellare e grafica, tutti i risultati delle simulazioni effettuate con le varie portate associate ai tempi di ritorno.

Per una più agevole lettura dei risultati delle simulazioni, si riporta di seguito una legenda degli acronimi utilizzati dal programma di calcolo:

acronimi utilizzati dal programma di calcolo	
River sta.	sezione di calcolo
Q total	portata in m^3/s
Min Ch El	quota del fondo alveo in m
W.S. Elev.	livello del pelo libero dell'acqua in m
Crit W.S.	livello di moto critico dell'acqua in m
E.G. Elev	livello energetico globale in m
E.G. Slope	pendenza motrice
Vel Chnl	velocità nell'alveo in m/s
Flow Area	area liquida in m^2
Top Width	larghezza sezione liquida in sommità in m
Froude # Chl	numero di Froude della corrente in alveo

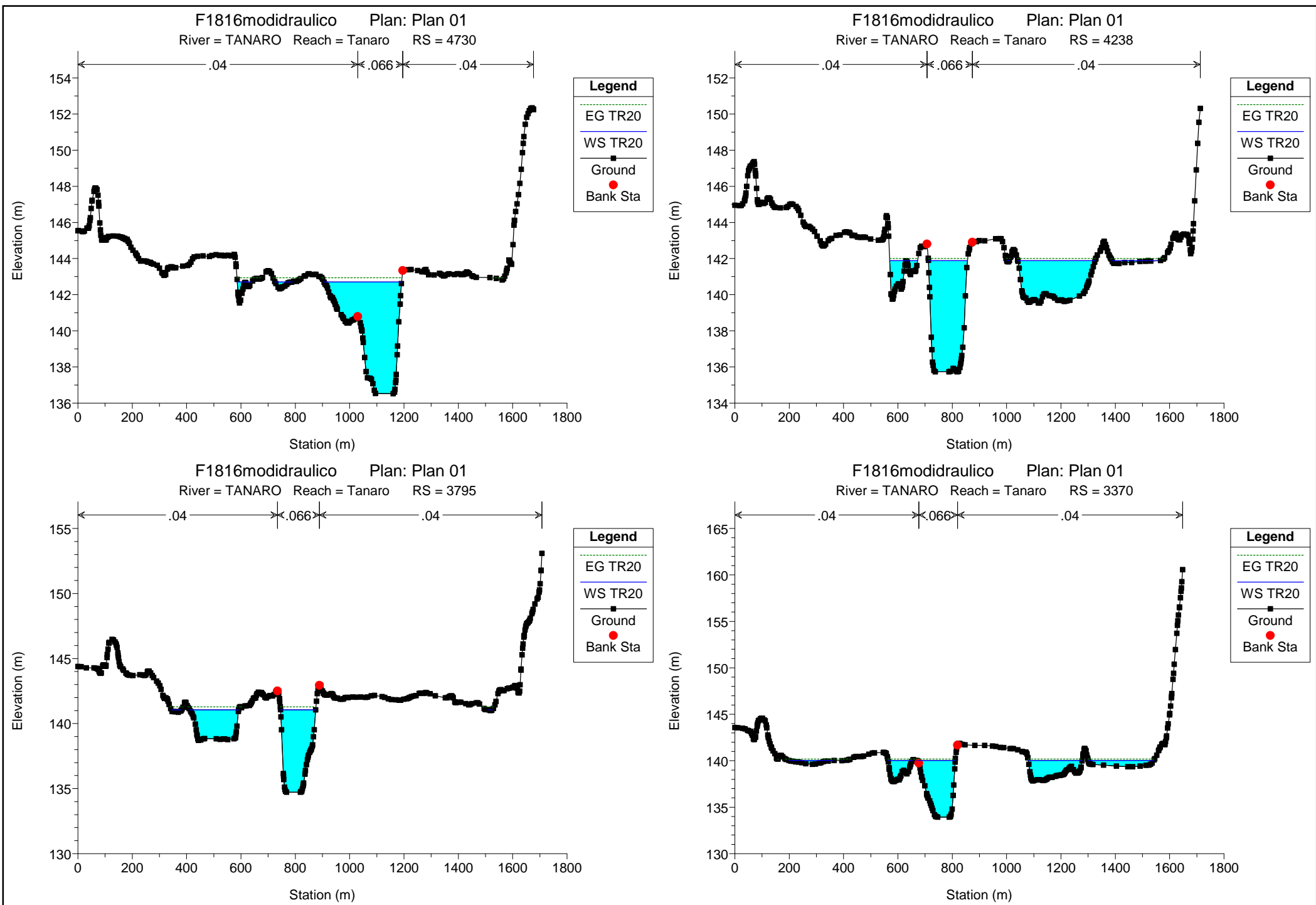
SITUAZIONE ATTUALE

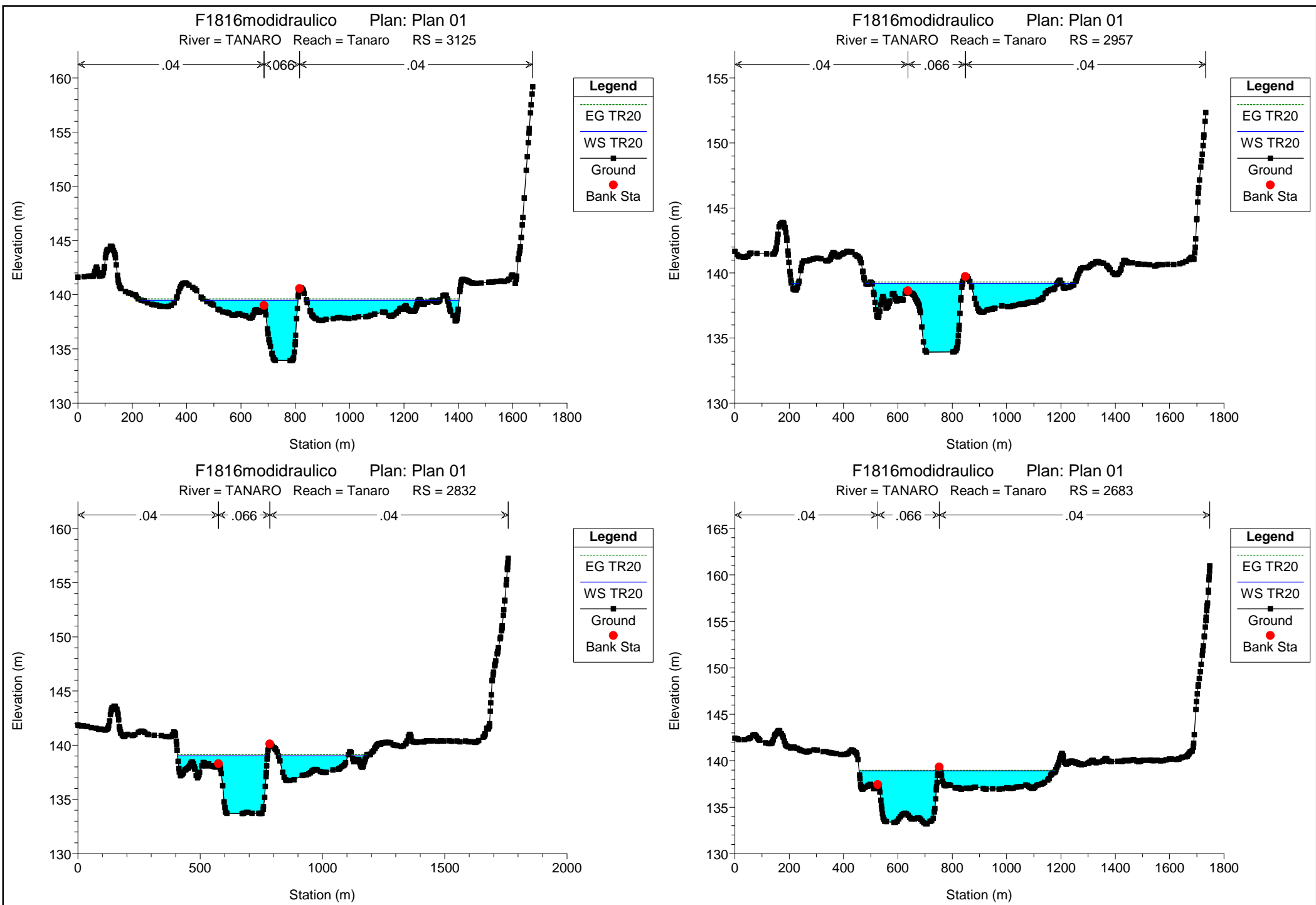
<i>Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze</i>	<i>Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica</i>
<i>Ruella Giuseppe Escavazioni</i>	<i>Pag. 26</i>

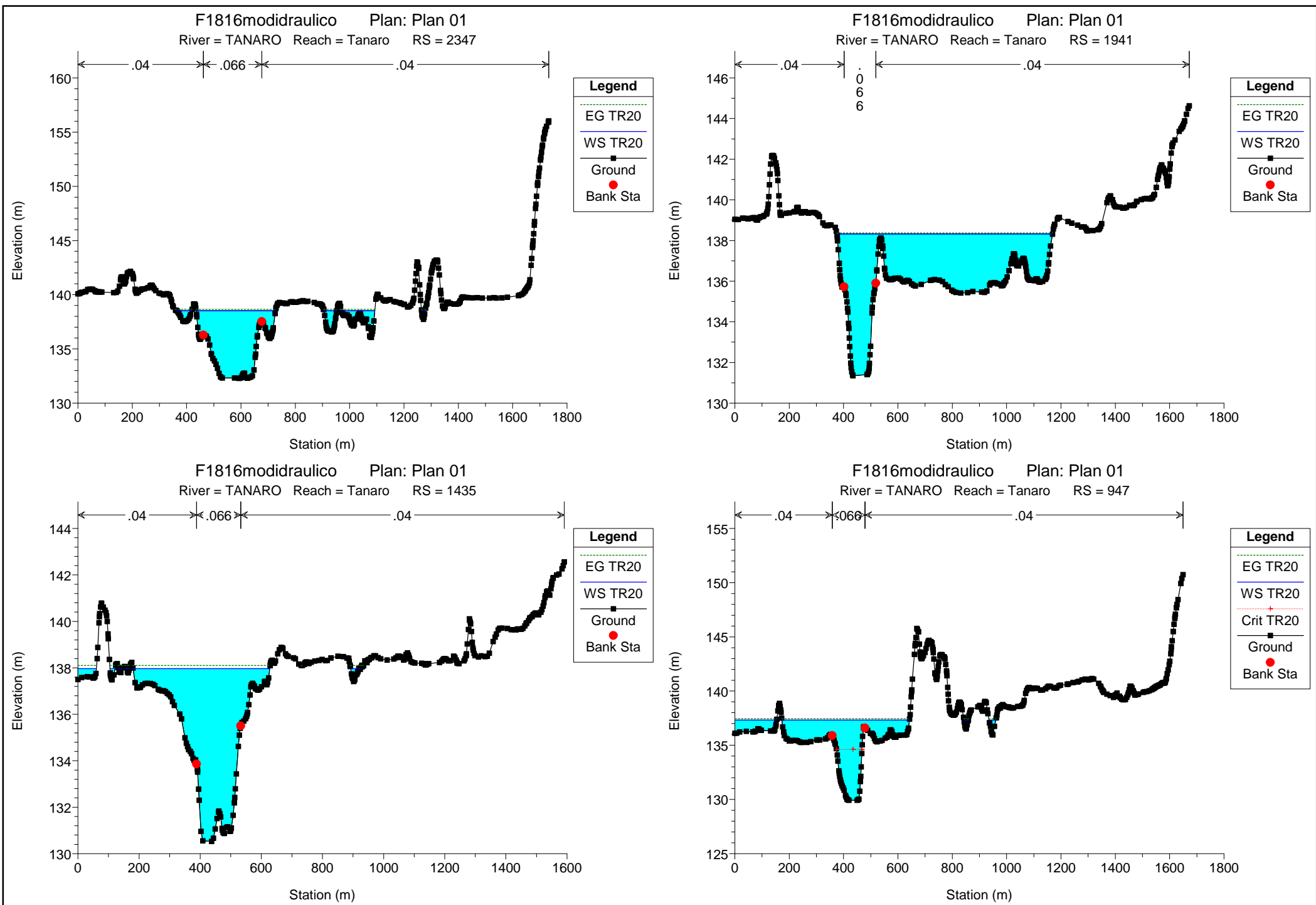
Il presente elaborato è di proprietà riservata dell'Ing. Federico Burzio e non può essere riprodotto, copiato, né utilizzato per nessuno scopo diverso da quello per il quale è stato specificatamente fornito, senza previa autorizzazione scritta dell'Ing. Federico Burzio.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR20

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tanaro	4730	TR20	2098.00	136.52	142.71		142.94	0.002576	2.22	1016.04	403.35	0.32
Tanaro	4238	TR20	2098.00	135.73	141.88		142.00	0.001352	1.67	1400.13	704.35	0.23
Tanaro	3795	TR20	2098.00	134.73	141.06		141.29	0.002606	2.21	989.40	360.55	0.32
Tanaro	3370	TR20	2098.00	133.93	140.02		140.19	0.002439	2.06	1214.82	834.10	0.31
Tanaro	3125	TR20	2098.00	133.93	139.49		139.61	0.001899	1.80	1454.68	995.72	0.27
Tanaro	2957	TR20	2098.00	133.92	139.20		139.31	0.001751	1.57	1451.56	740.39	0.25
Tanaro	2832	TR20	2098.00	133.70	139.03		139.13	0.001257	1.50	1583.58	710.70	0.22
Tanaro	2683	TR20	2098.00	133.22	138.92		138.98	0.000793	1.22	1882.32	714.13	0.18
Tanaro	2347	TR20	2098.00	132.27	138.53		138.65	0.001284	1.58	1444.22	531.51	0.23
Tanaro	1941	TR20	2098.00	131.34	138.32		138.37	0.000479	1.05	2167.51	793.85	0.14
Tanaro	1435	TR20	2098.00	130.53	137.97		138.10	0.001148	1.76	1389.58	580.01	0.22
Tanaro	947	TR20	2098.00	129.92	137.33	134.62	137.45	0.001533	1.80	1390.30	663.55	0.25
Tanaro	323	TR20	2098.00	129.32	133.19	133.19	134.77	0.030452	5.56	377.41	123.14	1.01

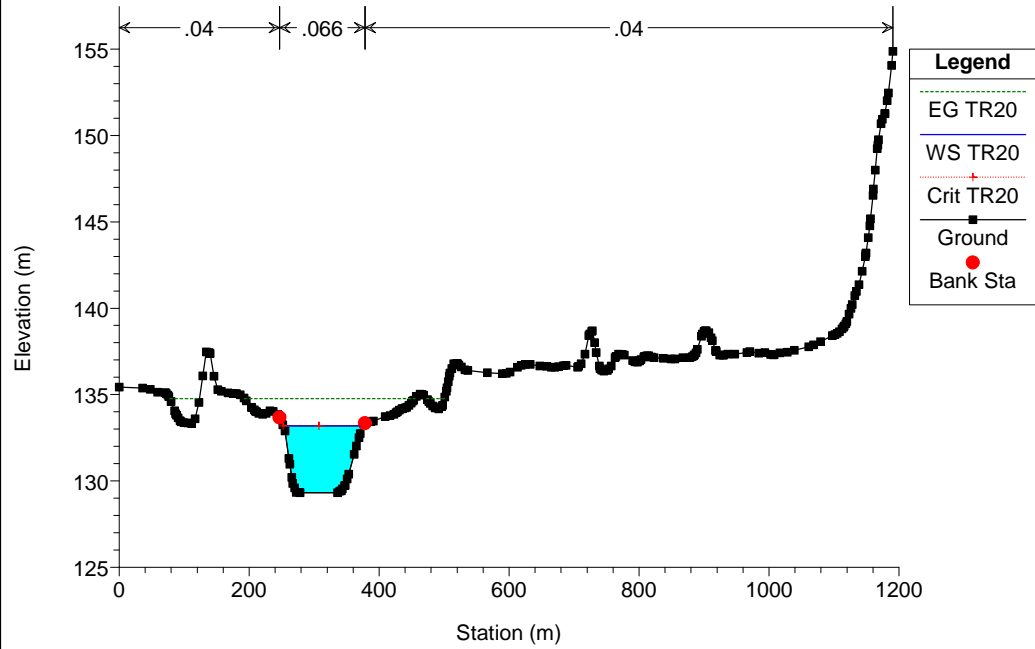






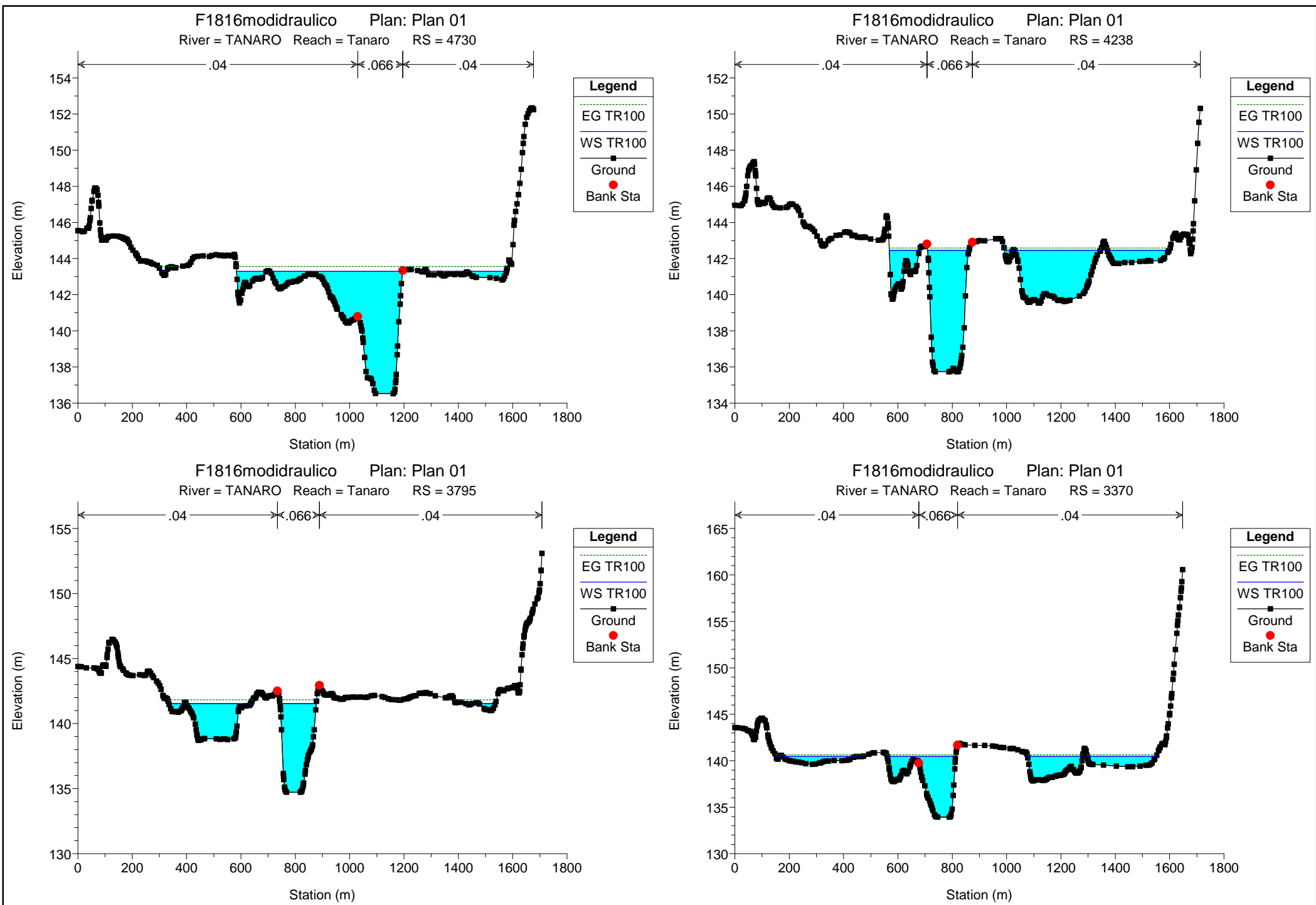
F1816modidraulico Plan: Plan 01

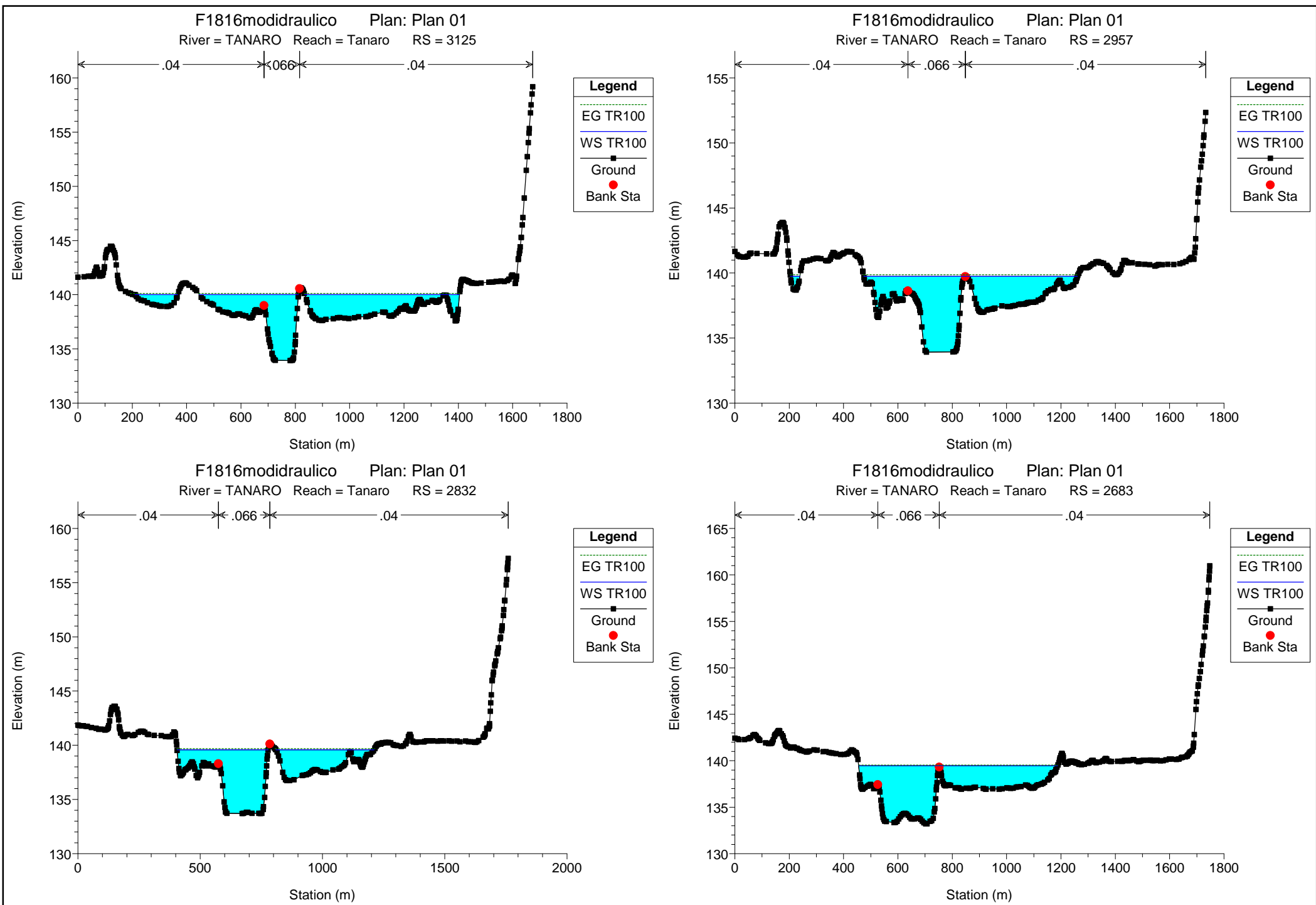
River = TANARO Reach = Tanaro RS = 323

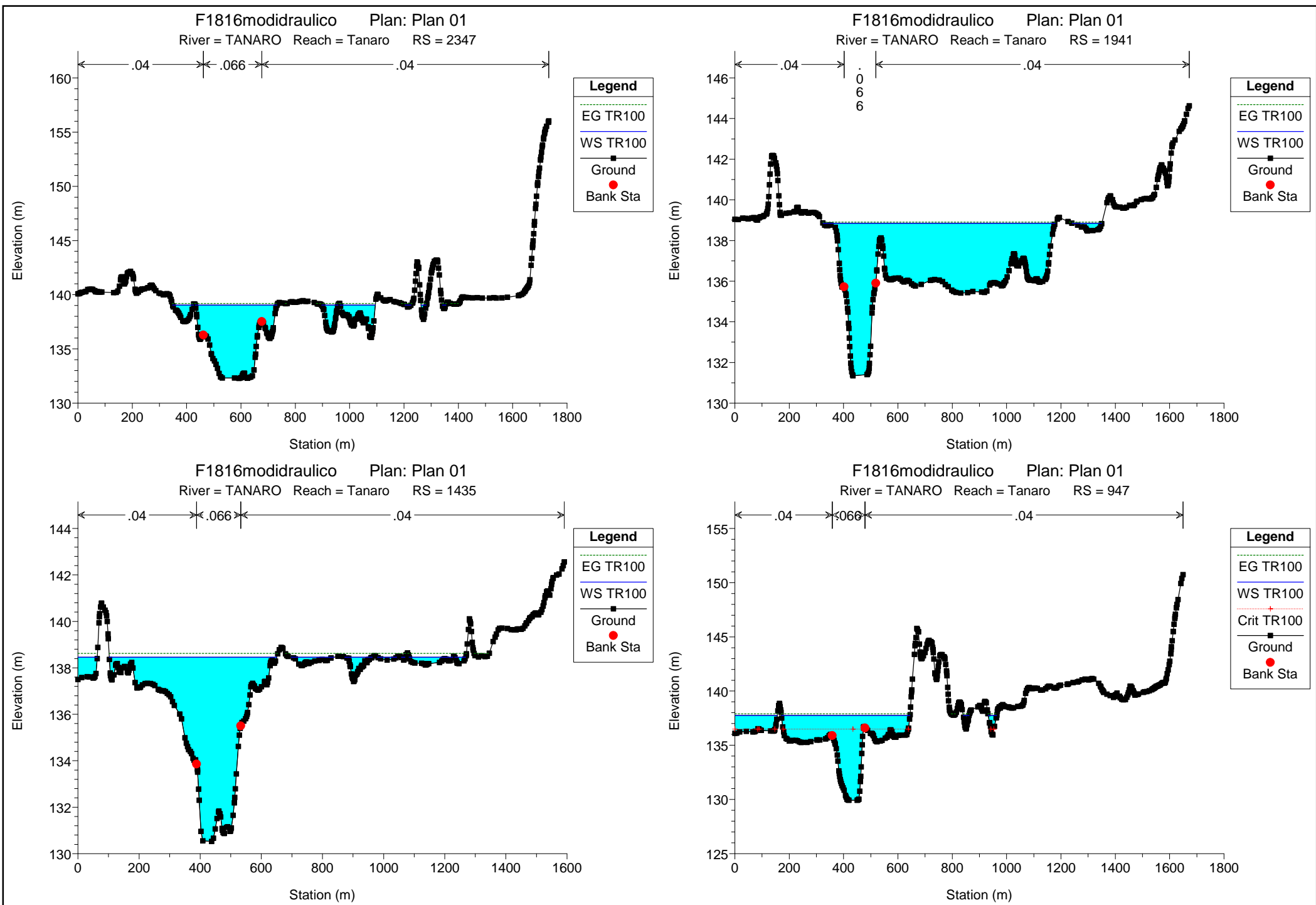


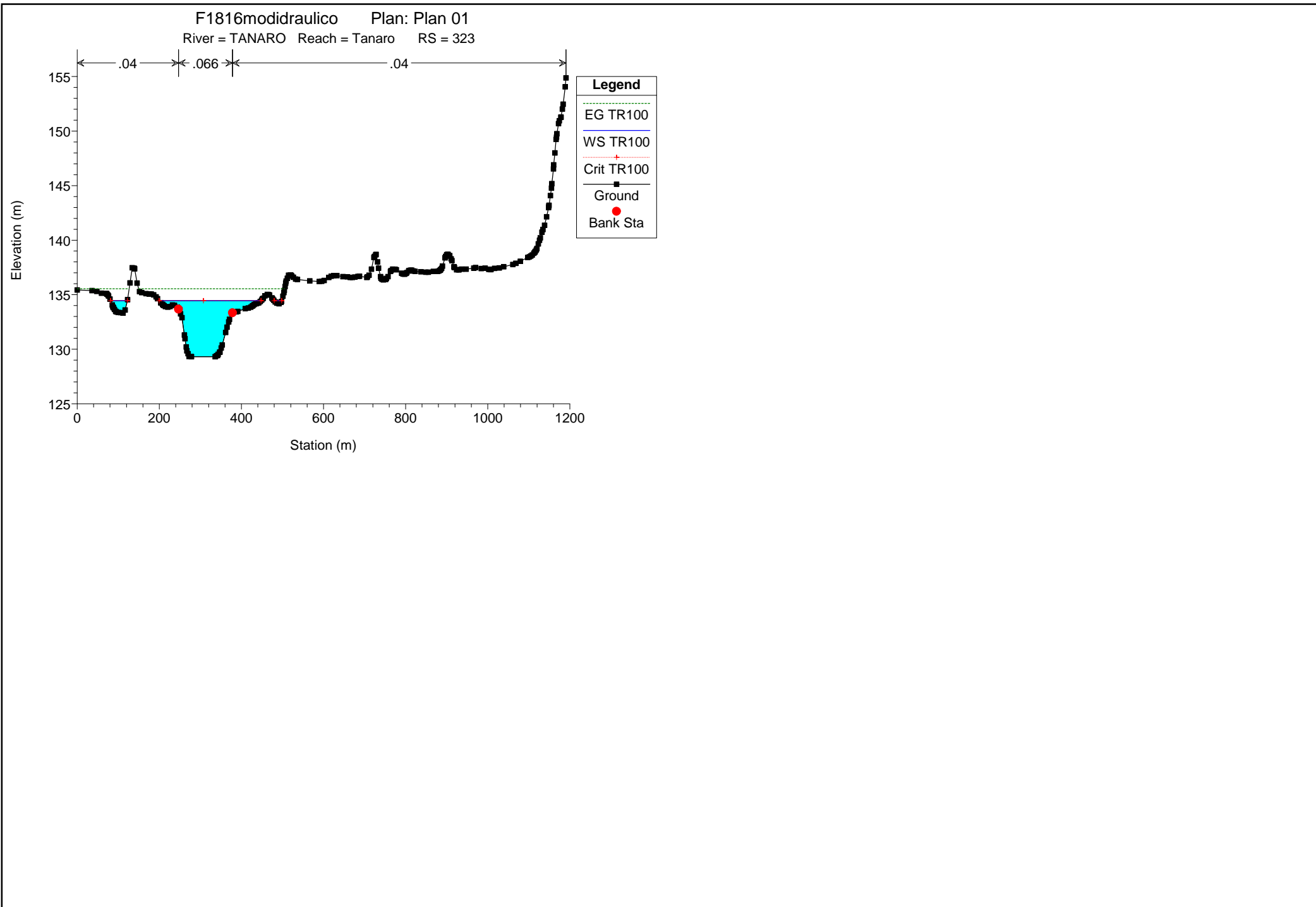
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR100

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tanaro	4730	TR100	2814.00	136.52	143.29		143.56	0.002850	2.48	1389.34	925.51	0.34
Tanaro	4238	TR100	2814.00	135.73	142.46		142.59	0.001331	1.71	1854.70	846.59	0.23
Tanaro	3795	TR100	2814.00	134.73	141.53		141.83	0.003278	2.58	1193.13	507.94	0.36
Tanaro	3370	TR100	2814.00	133.93	140.46		140.63	0.002283	2.10	1626.28	999.64	0.30
Tanaro	3125	TR100	2814.00	133.93	140.01		140.12	0.001534	1.72	1998.33	1092.48	0.25
Tanaro	2957	TR100	2814.00	133.92	139.75		139.86	0.001639	1.60	1877.99	821.22	0.25
Tanaro	2832	TR100	2814.00	133.70	139.58		139.69	0.001230	1.58	1992.94	773.84	0.22
Tanaro	2683	TR100	2814.00	133.22	139.47		139.54	0.000794	1.29	2279.84	732.24	0.18
Tanaro	2347	TR100	2814.00	132.27	139.05		139.19	0.001424	1.78	1739.72	623.50	0.24
Tanaro	1941	TR100	2814.00	131.34	138.84		138.90	0.000498	1.14	2611.72	962.56	0.15
Tanaro	1435	TR100	2814.00	130.53	138.46		138.62	0.001332	1.99	1768.08	1095.89	0.24
Tanaro	947	TR100	2814.00	129.92	137.75	136.48	137.90	0.001610	1.94	1674.34	682.40	0.26
Tanaro	323	TR100	2814.00	129.32	134.44	134.44	135.53	0.015285	4.78	641.70	307.33	0.75



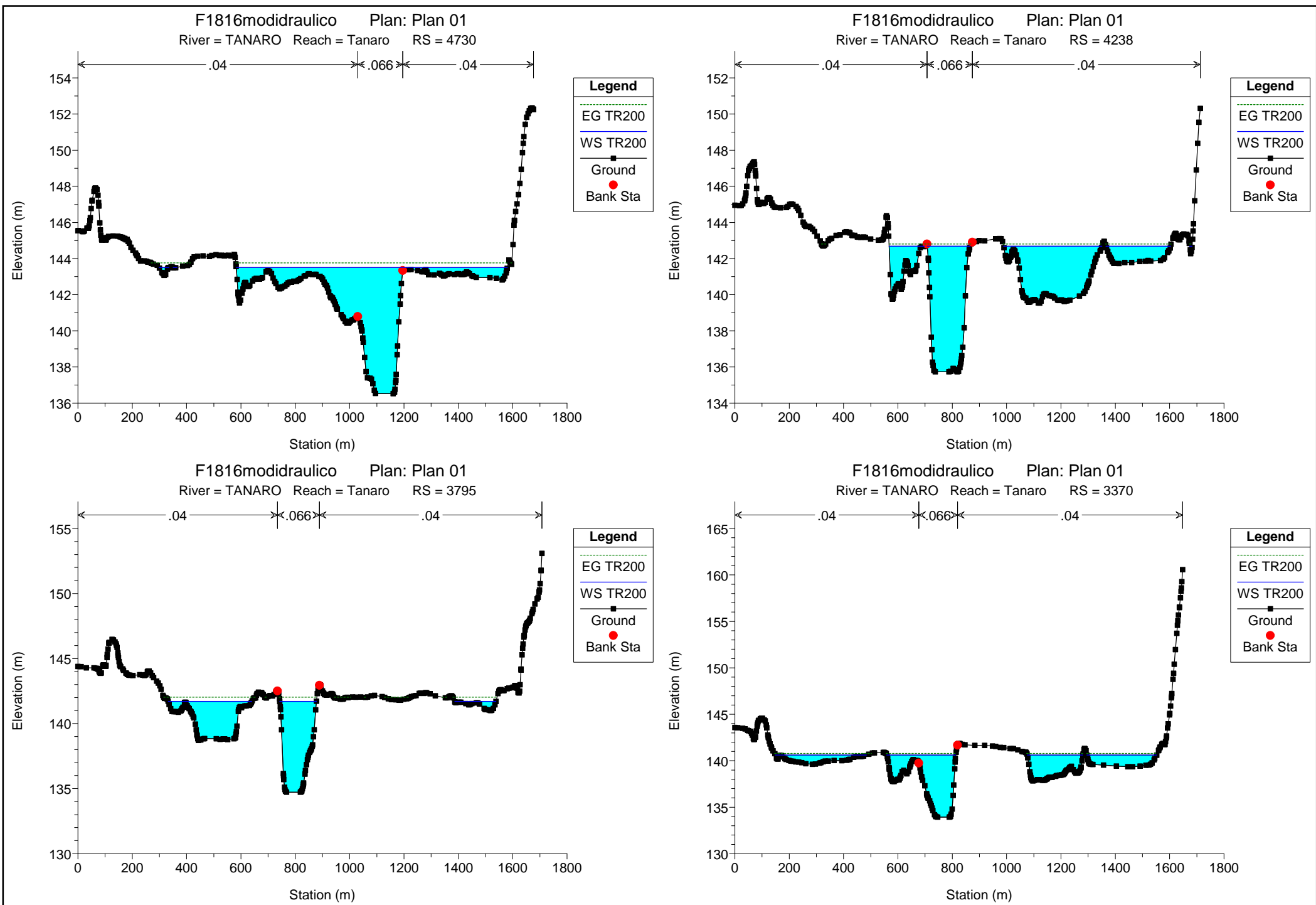


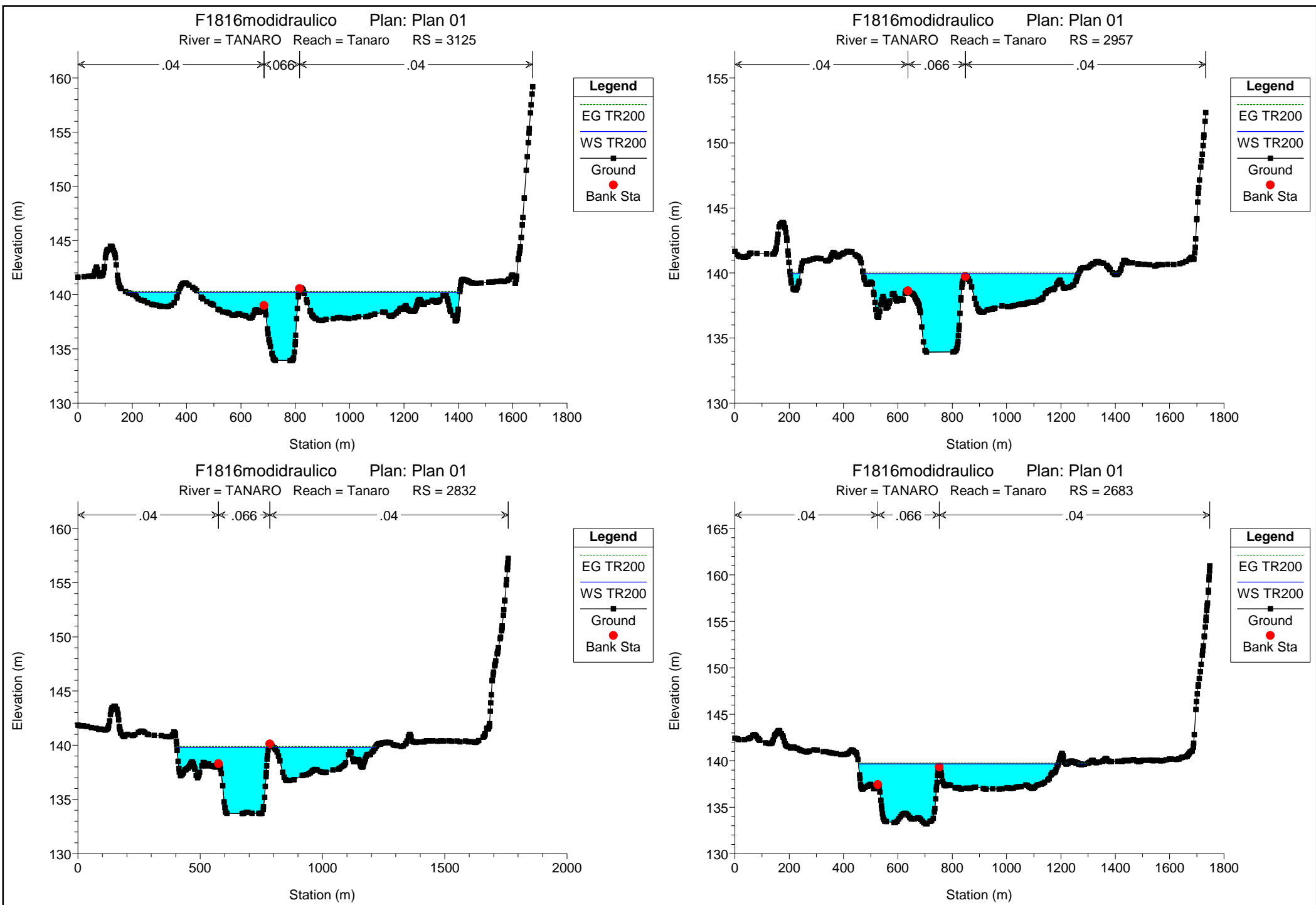


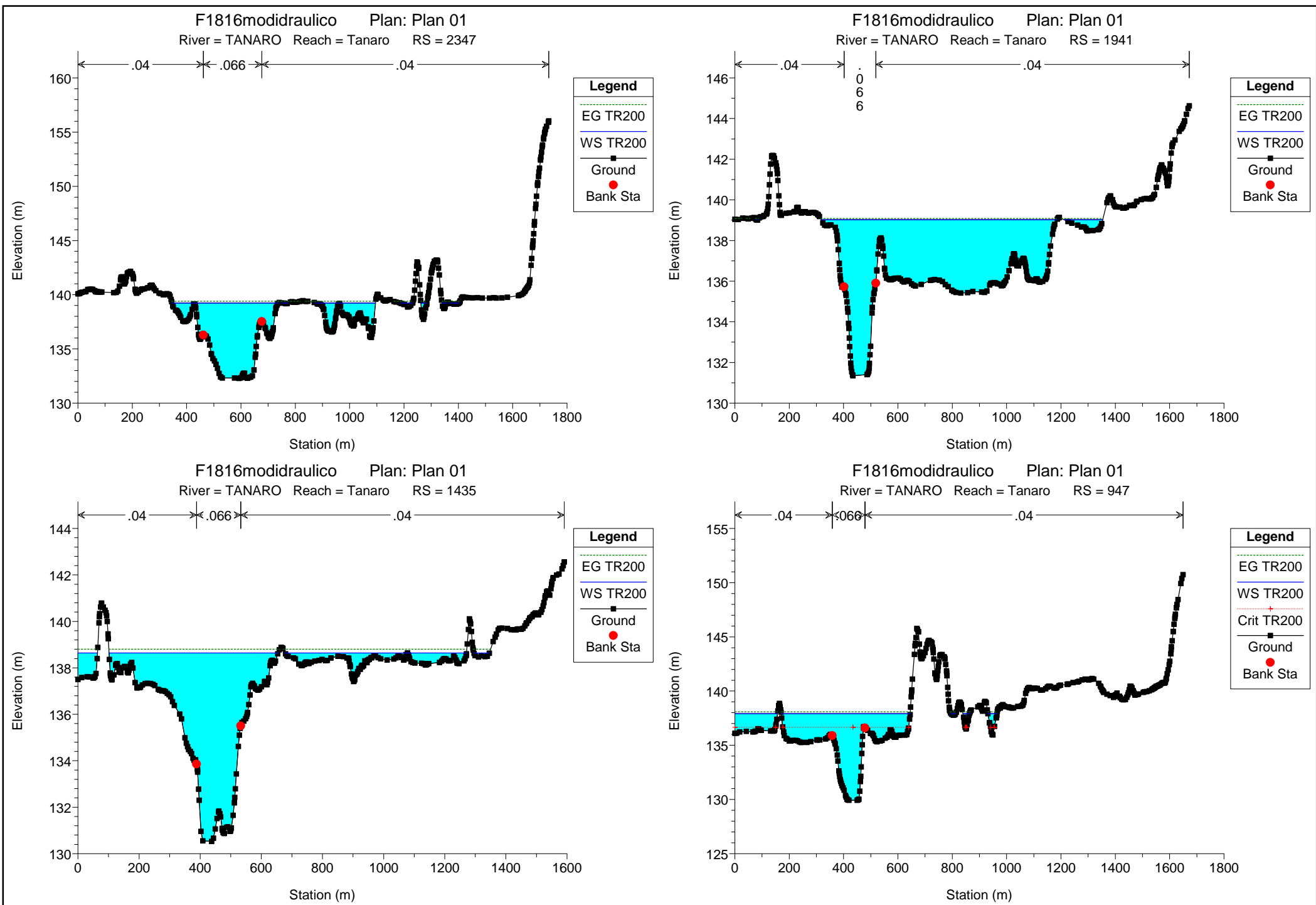


HEC-RAS Plan: Plan 01 River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR200

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tanaro	4730	TR200	3121.00	136.52	143.51		143.76	0.002660	2.45	1604.24	1049.14	0.33
Tanaro	4238	TR200	3121.00	135.73	142.69		142.81	0.001350	1.73	2048.22	897.29	0.23
Tanaro	3795	TR200	3121.00	134.73	141.70		142.03	0.003578	2.74	1289.56	595.42	0.38
Tanaro	3370	TR200	3121.00	133.93	140.62		140.79	0.002223	2.11	1792.20	1051.32	0.30
Tanaro	3125	TR200	3121.00	133.93	140.20		140.31	0.001424	1.69	2206.51	1130.35	0.24
Tanaro	2957	TR200	3121.00	133.92	139.94		140.06	0.001554	1.61	2041.55	843.41	0.24
Tanaro	2832	TR200	3121.00	133.70	139.78		139.89	0.001211	1.60	2151.46	788.67	0.22
Tanaro	2683	TR200	3121.00	133.22	139.67		139.75	0.000798	1.33	2430.26	766.31	0.18
Tanaro	2347	TR200	3121.00	132.27	139.23		139.39	0.001533	1.89	1862.89	753.12	0.25
Tanaro	1941	TR200	3121.00	131.34	139.02		139.09	0.000513	1.17	2787.65	1016.26	0.15
Tanaro	1435	TR200	3121.00	130.53	138.64		138.80	0.001329	2.02	1989.93	1260.55	0.24
Tanaro	947	TR200	3121.00	129.92	137.92	136.66	138.08	0.001608	1.98	1796.84	706.50	0.26
Tanaro	323	TR200	3121.00	129.32	134.68	134.68	135.76	0.014393	4.82	716.37	327.91	0.74

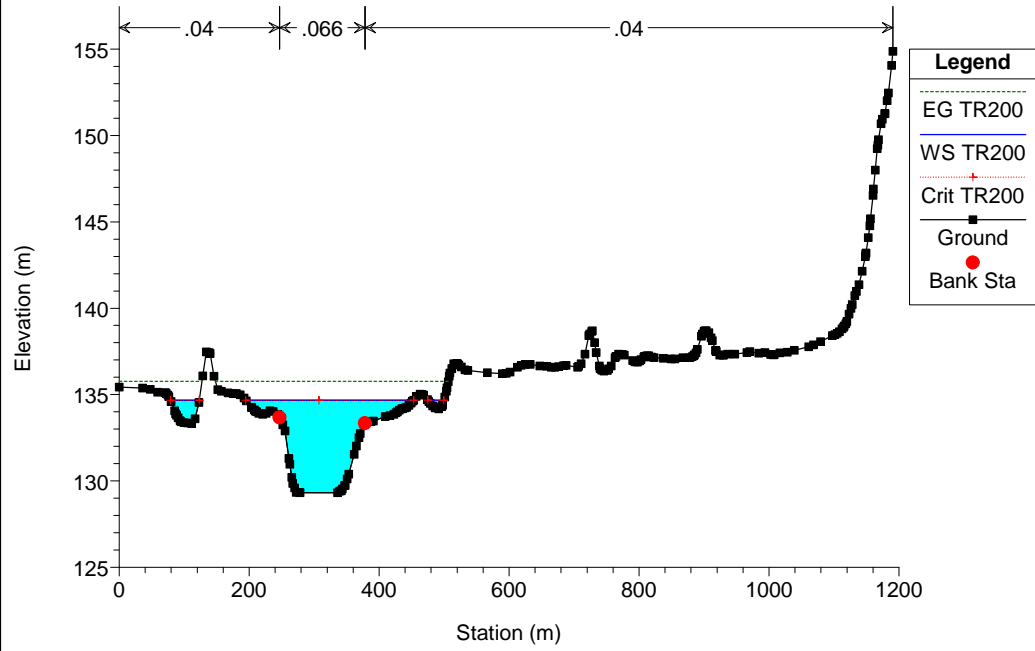






F1816modidraulico Plan: Plan 01

River = TANARO Reach = Tanaro RS = 323



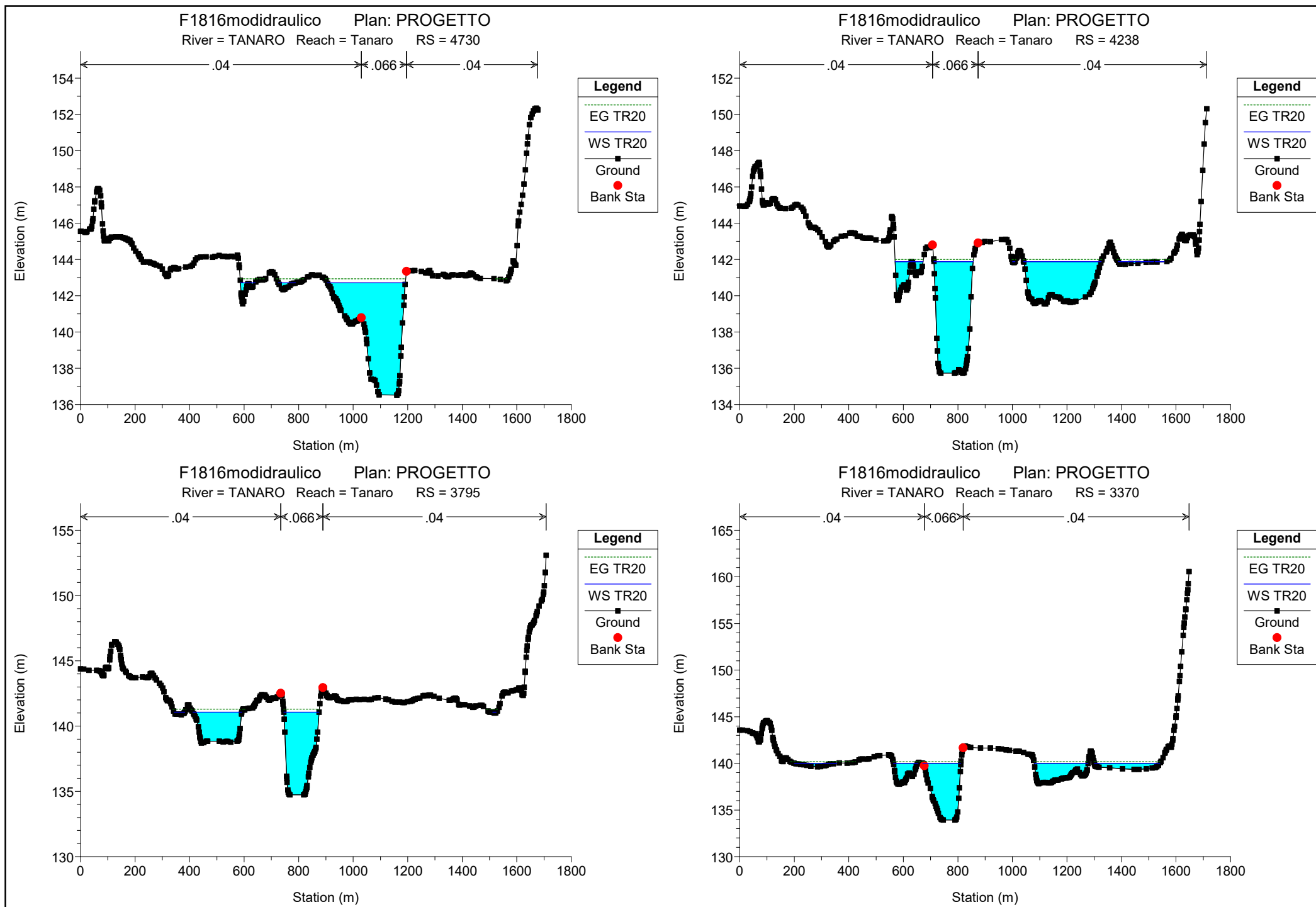
SITUAZIONE DI PROGETTO

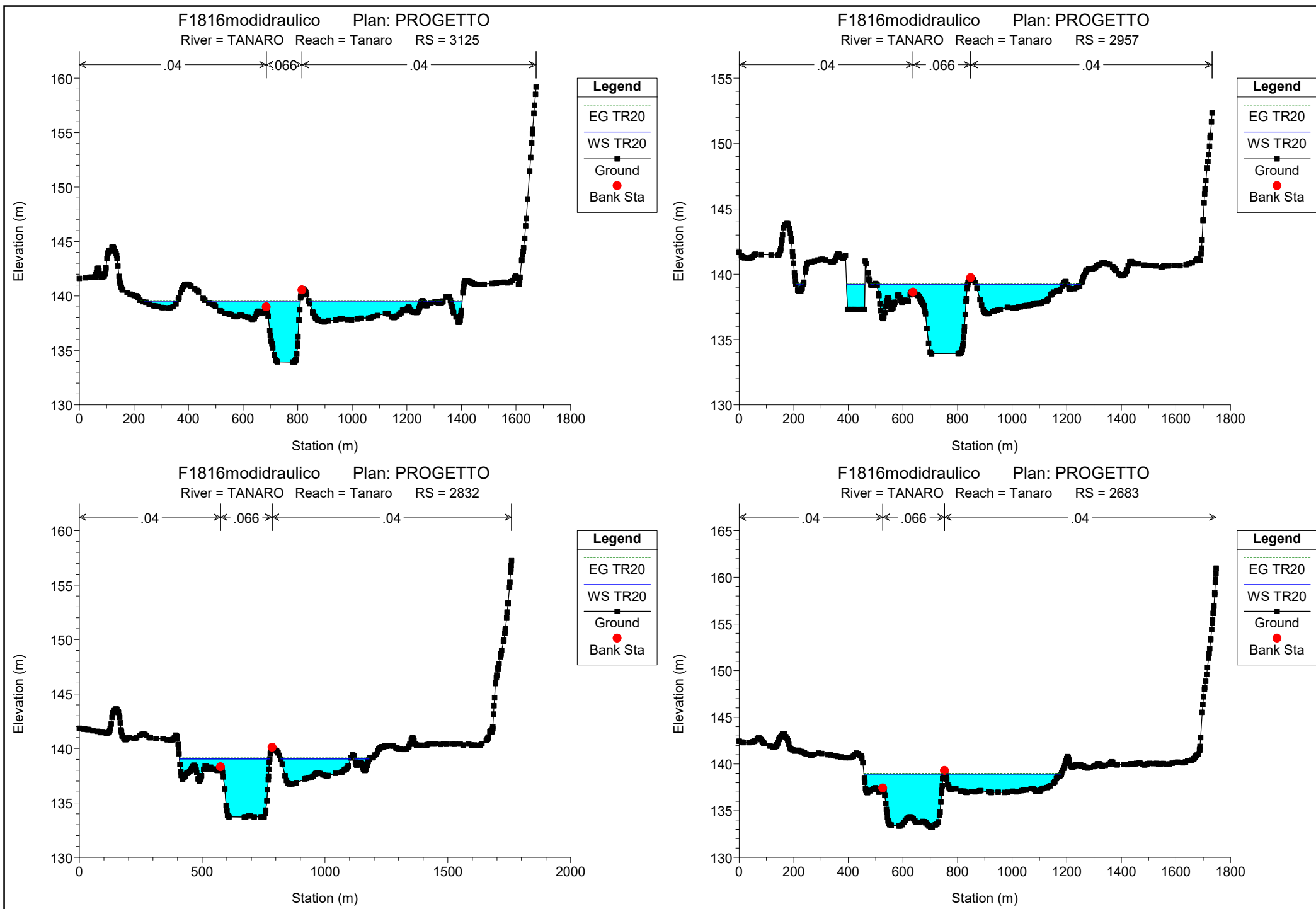
<i>Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze</i>	<i>Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica</i>
<i>Ruella Giuseppe Escavazioni</i>	<i>Pag. 27</i>

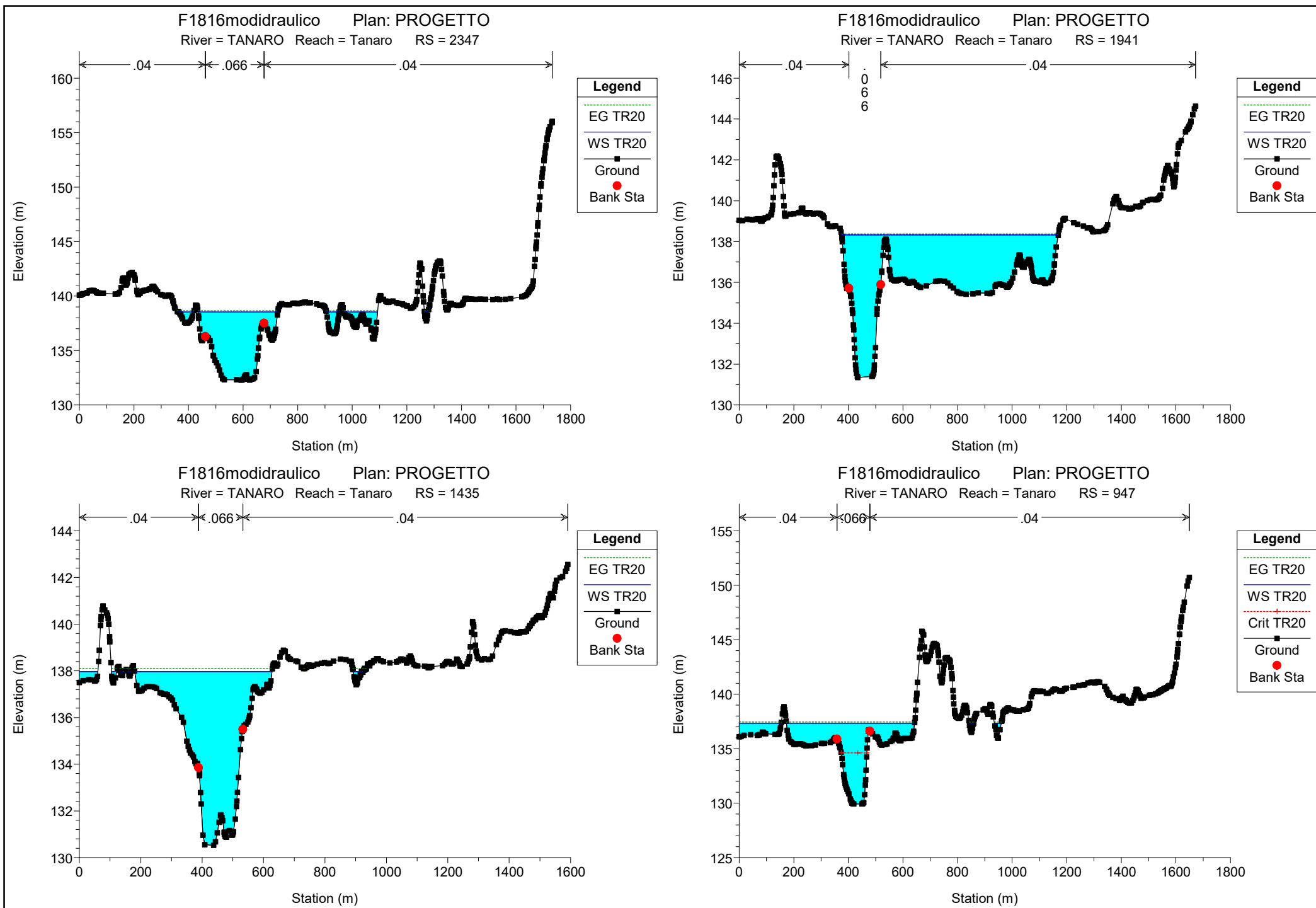
Il presente elaborato è di proprietà riservata dell'Ing. Federico Burzio e non può essere riprodotto, copiato, né utilizzato per nessuno scopo diverso da quello per il quale è stato specificatamente fornito, senza previa autorizzazione scritta dell'Ing. Federico Burzio.

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR20

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tanaro	4730	TR20	2098.00	136.52	142.71		142.94	0.002576	2.22	1016.04	403.35	0.32
Tanaro	4238	TR20	2098.00	135.73	141.88		142.00	0.001352	1.67	1400.11	704.30	0.23
Tanaro	3795	TR20	2098.00	134.73	141.06		141.29	0.002606	2.21	989.38	360.48	0.32
Tanaro	3370	TR20	2098.00	133.93	140.01		140.18	0.002477	2.07	1206.29	823.70	0.31
Tanaro	3125	TR20	2098.00	133.93	139.46		139.58	0.002015	1.85	1420.09	977.79	0.28
Tanaro	2957	TR20	2098.00	133.92	139.20		139.30	0.001473	1.44	1574.46	807.38	0.23
Tanaro	2832	TR20	2098.00	133.70	139.03		139.13	0.001257	1.50	1583.58	710.70	0.22
Tanaro	2683	TR20	2098.00	133.22	138.92		138.98	0.000793	1.22	1882.32	714.13	0.18
Tanaro	2347	TR20	2098.00	132.27	138.53		138.65	0.001284	1.58	1444.22	531.51	0.23
Tanaro	1941	TR20	2098.00	131.34	138.32		138.37	0.000479	1.05	2167.51	793.85	0.14
Tanaro	1435	TR20	2098.00	130.53	137.97		138.10	0.001148	1.76	1389.58	580.01	0.22
Tanaro	947	TR20	2098.00	129.92	137.33	134.62	137.45	0.001533	1.80	1390.30	663.55	0.25
Tanaro	323	TR20	2098.00	129.32	133.19	133.19	134.77	0.030452	5.56	377.41	123.14	1.01

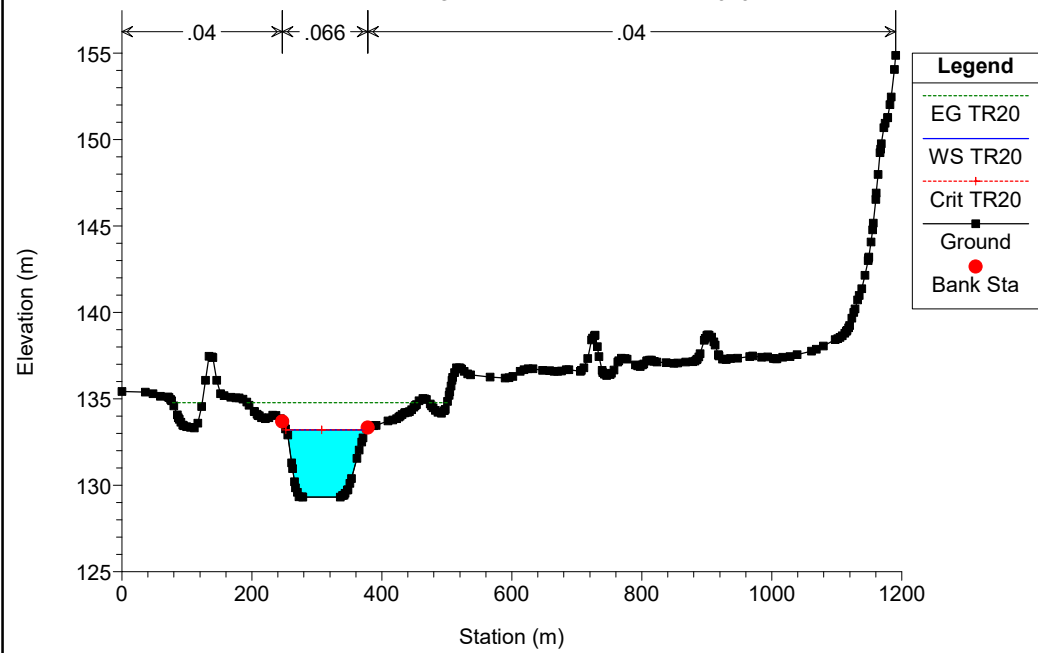






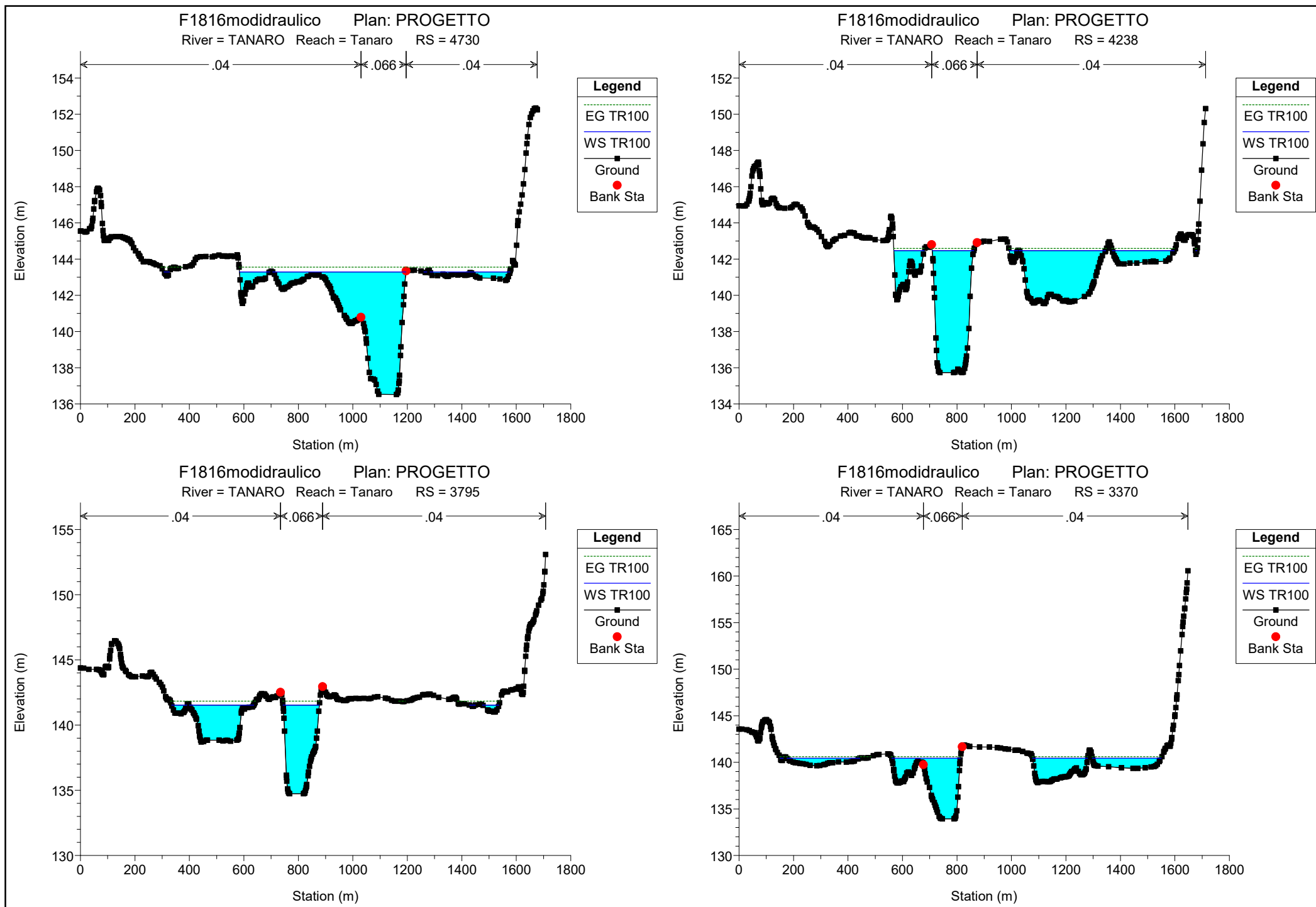
F1816modidraulico Plan: PROGETTO

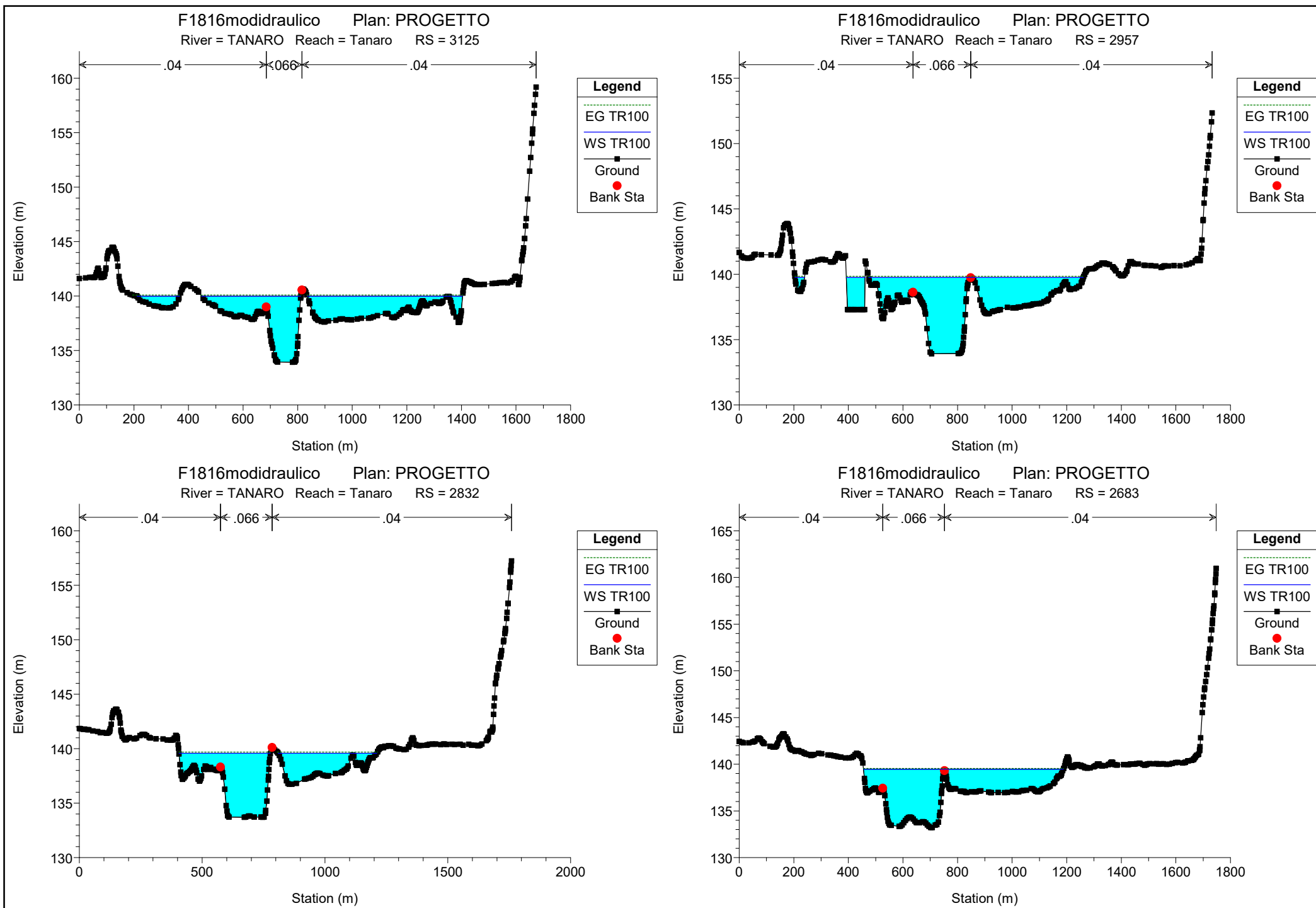
River = TANARO Reach = Tanaro RS = 323



HEC-RAS Plan: PROGETTO River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR100

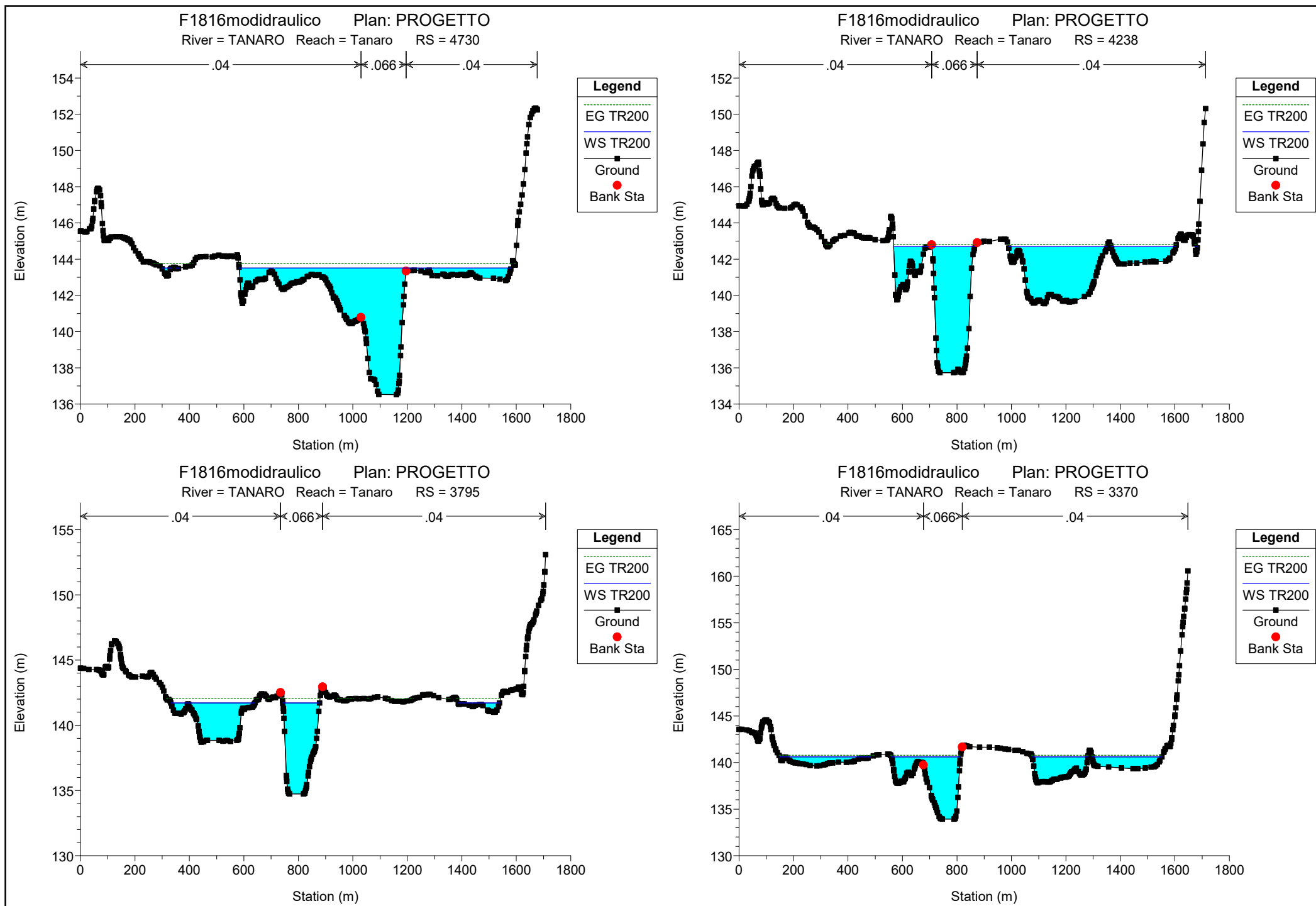
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tanaro	4730	TR100	2814.00	136.52	143.29		143.56	0.002850	2.48	1389.43	925.57	0.34
Tanaro	4238	TR100	2814.00	135.73	142.46		142.59	0.001330	1.71	1854.97	846.67	0.23
Tanaro	3795	TR100	2814.00	134.73	141.53		141.83	0.003275	2.58	1193.64	508.30	0.36
Tanaro	3370	TR100	2814.00	133.93	140.44		140.62	0.002331	2.12	1612.33	985.78	0.30
Tanaro	3125	TR100	2814.00	133.93	139.98		140.09	0.001621	1.77	1960.15	1088.33	0.25
Tanaro	2957	TR100	2814.00	133.92	139.75		139.85	0.001353	1.46	2039.18	889.77	0.23
Tanaro	2832	TR100	2814.00	133.70	139.58		139.69	0.001230	1.58	1992.94	773.84	0.22
Tanaro	2683	TR100	2814.00	133.22	139.47		139.54	0.000794	1.29	2279.84	732.24	0.18
Tanaro	2347	TR100	2814.00	132.27	139.05		139.19	0.001424	1.78	1739.72	623.50	0.24
Tanaro	1941	TR100	2814.00	131.34	138.84		138.90	0.000498	1.14	2611.72	962.56	0.15
Tanaro	1435	TR100	2814.00	130.53	138.46		138.62	0.001332	1.99	1768.08	1095.89	0.24
Tanaro	947	TR100	2814.00	129.92	137.75	136.48	137.90	0.001610	1.94	1674.34	682.40	0.26
Tanaro	323	TR100	2814.00	129.32	134.44	134.44	135.53	0.015285	4.78	641.70	307.33	0.75

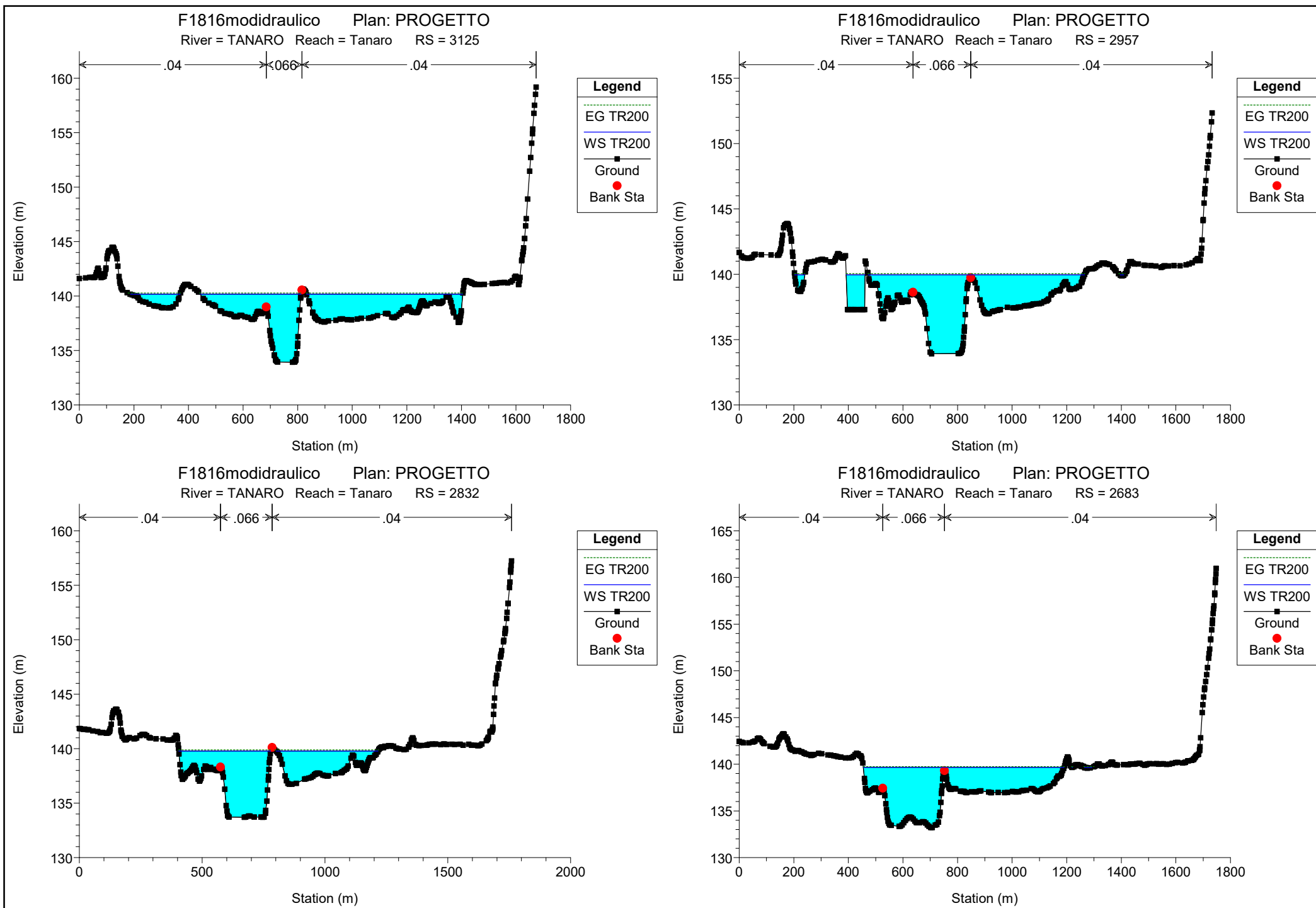


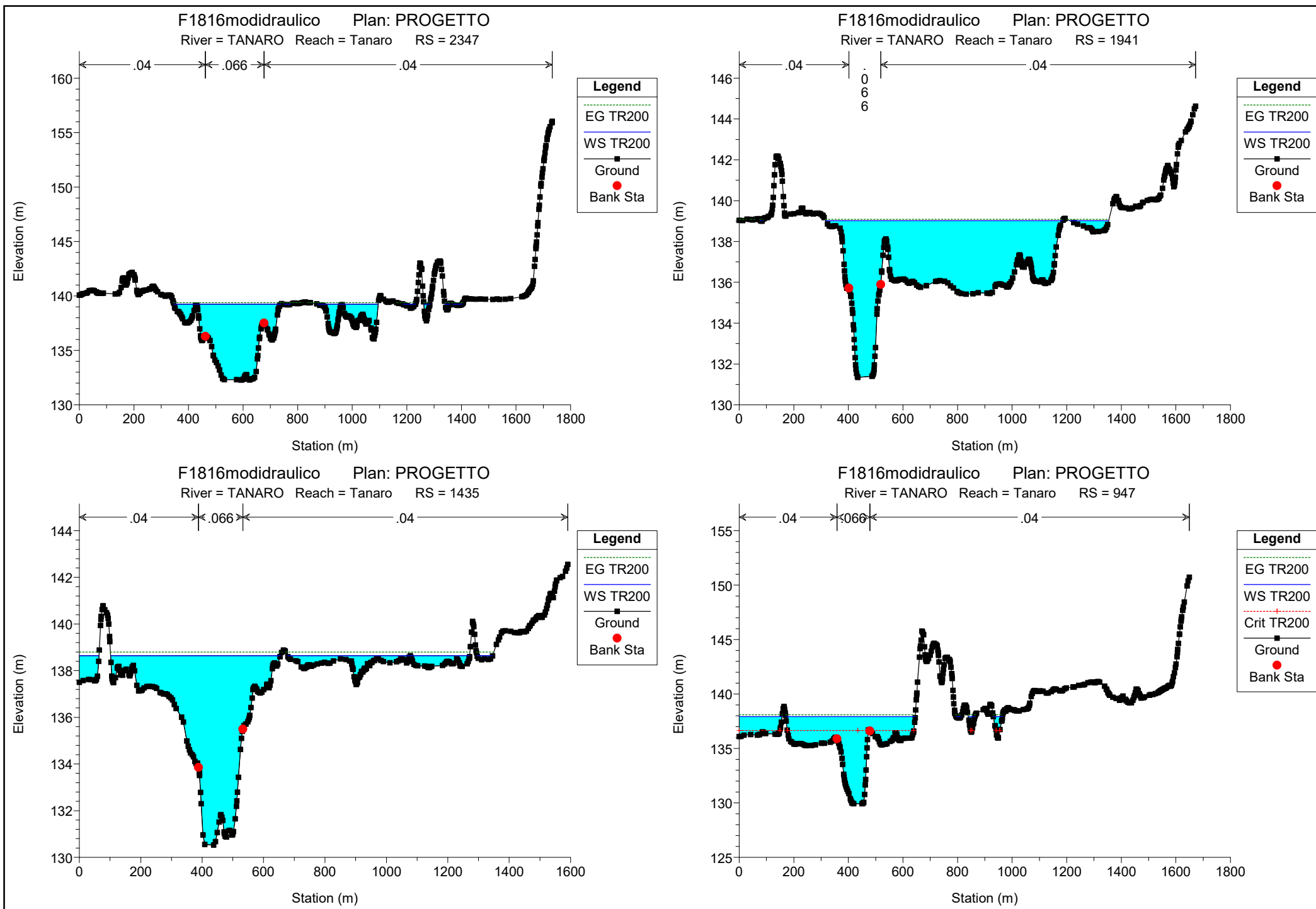


HEC-RAS Plan: PROGETTO River: TANARO Reach: Tanaro Profile: TR200

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Tanaro	4730	TR200	3121.00	136.52	143.51		143.76	0.002659	2.45	1604.32	1049.19	0.33
Tanaro	4238	TR200	3121.00	135.73	142.69		142.81	0.001350	1.73	2048.49	897.34	0.23
Tanaro	3795	TR200	3121.00	134.73	141.71		142.03	0.003572	2.73	1290.52	595.56	0.38
Tanaro	3370	TR200	3121.00	133.93	140.60		140.78	0.002276	2.13	1775.45	1048.77	0.30
Tanaro	3125	TR200	3121.00	133.93	140.16		140.28	0.001500	1.73	2166.87	1124.87	0.24
Tanaro	2957	TR200	3121.00	133.92	139.95		140.05	0.001282	1.46	2217.28	912.66	0.22
Tanaro	2832	TR200	3121.00	133.70	139.78		139.89	0.001211	1.60	2151.46	788.67	0.22
Tanaro	2683	TR200	3121.00	133.22	139.67		139.75	0.000798	1.33	2430.26	766.31	0.18
Tanaro	2347	TR200	3121.00	132.27	139.23		139.39	0.001533	1.89	1862.89	753.12	0.25
Tanaro	1941	TR200	3121.00	131.34	139.02		139.09	0.000513	1.17	2787.65	1016.26	0.15
Tanaro	1435	TR200	3121.00	130.53	138.64		138.80	0.001329	2.02	1989.93	1260.55	0.24
Tanaro	947	TR200	3121.00	129.92	137.92	136.66	138.08	0.001608	1.98	1796.84	706.50	0.26
Tanaro	323	TR200	3121.00	129.32	134.68	134.68	135.76	0.014393	4.82	716.37	327.91	0.74

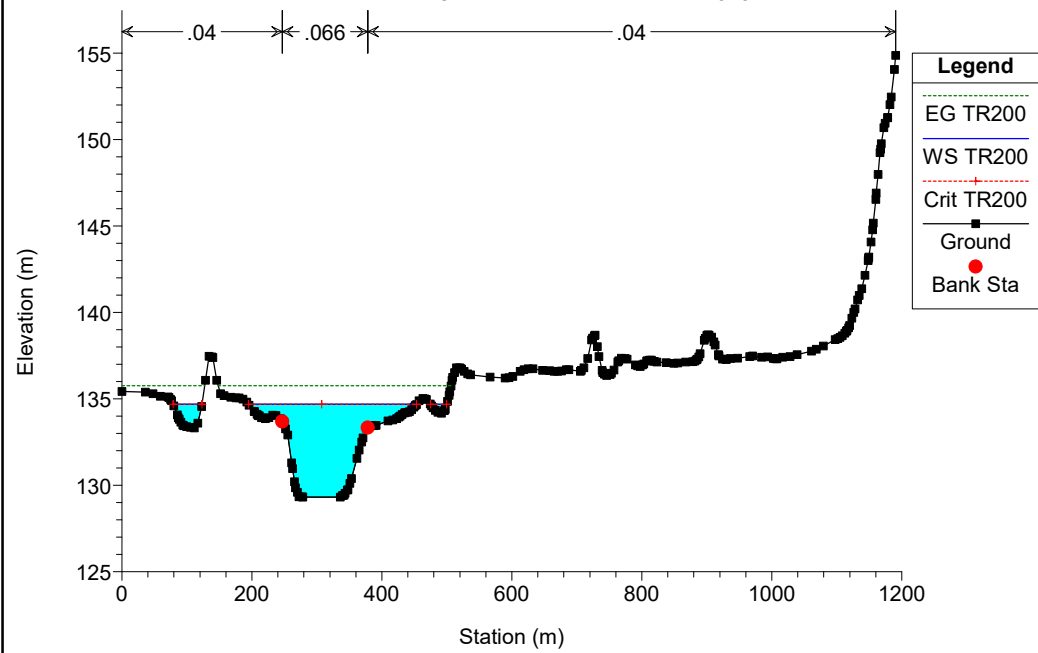






F1816modidraulico Plan: PROGETTO

River = TANARO Reach = Tanaro RS = 323



8 Sintesi dei risultati delle simulazioni idrauliche condotte

Nel presente capitolo si procede all'analisi dei risultati delle simulazioni idrauliche condotte in condizioni di moto permanente.

Si deve innanzitutto far notare che per nessuna delle portate tecniche prese in esame l'area di cava risulta interessata dal deflusso golenale.

Le simulazioni idrauliche sono state condotte con la conformazione attuale e con quella di fondo scavo poiché il progetto di ripristino prevede il completo ritombamento dell'invaso di cava e quindi la conformazione dei luoghi ad intervento di recupero ambientale concluso, coincide con quella attuale.

L'analisi dei livelli idraulici conseguenti alla situazione morfologica attuale ed a quella con l'invaso di cava aperto (situazione di "fondo scavo"), tenendo in conto l'approssimazione dei risultati, rivela che le condizioni sono praticamente sempre analoghe ai fini idraulici. La limitata dimensione dello scavo, ed il fatto che nell'arco di pochi anni l'invaso verrà completamente ritombato, fa sì che non si possano neanche apprezzare differenze nel volume di laminazione disponibile nella fascia B in corrispondenza del sito estrattivo.

Le altezze medie della superficie liquida e le velocità dell'acqua che si rilevano in prossimità del sito di cava, nella situazione attuale e in quella di progetto, sono le seguenti:

	TR 20 anni ($Q = 2098 \text{ m}^3/\text{s}$)					
	ATTUALE		PROGETTO		DIFFERENZA	
SEZIONI	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]
4730	142.71	2.22	142.71	2.22	0	0
4238	141.88	1.67	141.88	1.67	0	0
3795	141.06	2.21	141.06	2.21	0	0
3370	140.02	2.06	140.01	2.07	0.01	-0.01
3125	139.49	1.80	139.46	1.85	0.03	-0.05
2957	139.20	1.57	139.20	1.44	0	0.13
2832	139.03	1.50	139.03	1.50	0	0
2683	138.92	1.22	138.92	1.22	0	0
2347	138.53	1.58	138.53	1.58	0	0
1941	138.32	1.05	138.32	1.05	0	0
1435	137.97	1.76	137.97	1.76	0	0
947	137.33	1.80	137.33	1.80	0	0
323	133.19	5.56	133.19	5.56	0	0

Figura 7-1 – Valori dei livelli d'acqua e delle velocità in alveo nelle sezioni considerate (TR 20 anni)

	TR 100 anni (Q = 2814 m ³ /s)					
	ATTUALE		PROGETTO		DIFFERENZA	
SEZIONI	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]
4730	143.29	2.48	143.29	2.48	0	0
4238	142.46	1.71	142.46	1.71	0	0
3795	141.53	2.58	141.53	2.58	0	0
3370	140.46	2.10	140.44	2.12	0.02	-0.02
3125	140.01	1.72	139.98	1.77	0.03	-0.05
2957	139.75	1.60	139.75	1.46	0	0.14
2832	139.58	1.58	139.58	1.58	0	0
2683	139.47	1.29	139.47	1.29	0	0
2347	139.05	1.78	139.05	1.78	0	0
1941	138.84	1.14	138.84	1.14	0	0
1435	138.46	1.99	138.46	1.99	0	0
947	137.75	1.94	137.75	1.94	0	0
323	134.44	4.78	133.44	4.78	0	0

Figura 7-2 – Valori dei livelli d'acqua e delle velocità in alveo nelle sezioni considerate (TR 100 anni)

	TR 200 anni (Q = 3121 m ³ /s)					
	ATTUALE		PROGETTO		DIFFERENZA	
SEZIONI	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]	Livello d'acqua [m.s.l.m]	Velocità [m/s]
4730	143.51	2.45	143.51	2.45	0	0
4238	142.69	1.73	142.69	1.73	0	0
3795	141.70	2.74	141.71	2.73	-0.01	0.01
3370	140.62	2.11	140.60	2.13	0.02	-0.02
3125	140.20	1.69	140.16	1.73	0.04	-0.04
2957	139.94	1.61	139.85	1.46	0.09	0.15
2832	139.78	1.60	139.78	1.60	0	0
2683	139.67	1.33	139.67	1.33	0	0
2347	139.23	1.89	139.23	1.89	0	0
1941	139.02	1.17	139.02	1.17	0	0
1435	138.64	2.02	138.64	2.02	0	0
947	137.92	1.98	137.92	1.98	0	0
323	134.68	4.82	134.68	4.82	0	0

Figura 7-3 – Valori dei livelli d'acqua e delle velocità in alveo nelle sezioni considerate (TR 200 anni)

In conclusione si può affermare che, neanche in fase di cantiere, l'attività di cava in oggetto non implica modifiche apprezzabili del comportamento idrodinamico del corso del Fiume Tanaro in condizioni di piena, quindi non costituisce elemento di pericolo dal punto di vista idrologico-idraulico.

Come già più volte ricordato, a recupero ambientale concluso, verrà ripristinata l'attuale conformazione dei luoghi e quindi non vi registreranno differenze nell'assetto idrologico-idraulico del territorio.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 30

9 Effetti del trasporto solido in alveo e nelle fasce fluviali

9.1 Cenni teorici sul fenomeno del trasporto solido

Le correnti idriche, in relazione ai valori di velocità ed ai caratteri della loro turbolenza, sono in grado di trasportare materiali solidi di differente granulometria.

Questo fenomeno fisico, denominato trasporto solido, costituisce il punto di congiunzione tra i fenomeni erosivi e quelli di deposito.

Il trasporto solido riguarda oltre i sedimenti originati dall'erosione dei versanti dei corsi d'acqua anche quelli provenienti dall'evoluzione naturale del reticolo idrografico (fenomeni di scavo del fondo alveo e di erosione delle sponde) e pertanto lo studio di tali fenomeni rappresenta la base di partenza per la scelta di eventuali interventi di stabilizzazione dell'asta fluviale.

Nella meccanica del trasporto solido viene sostanzialmente distinta la modalità di trasporto per trascinamento sul fondo da quella in sospensione. Nel primo caso, che riguarda le particelle di dimensioni più grossolane (ghiaie e massi) i materiali si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza mai abbandonarlo, mentre nel trasporto in sospensione le particelle solide di dimensioni più piccole (argille, limi e sabbia fine), si muovono insieme alla corrente fluida sostenute dalla sua agitazione turbolenta.

Qualunque sia la modalità di trasporto di interesse è definibile una portata solida volumetrica Q_s pari al volume delle particelle solide che attraversano una fissata sezione nell'unità di tempo. Inoltre la portata solida ha una maggiore variabilità rispetto alla portata liquida in quanto il trasporto solido di un corso d'acqua naturale è rilevante durante gli eventi di piena, ma è del tutto trascurabile nei periodi di magra.

Nel caso generale di una corrente a pelo libero avente un moto non uniforme, la trattazione matematica dell'argomento è piuttosto complessa anche se alcune informazioni qualitative possono essere derivate dallo studio del legame funzionale che esprime l'equazione del trasporto solido per trascinamento di fondo:

$$f(Q_s, Q, i, d) = 0$$

dove

Q = portata liquida della corrente,

Q_s = portata solida,

i = pendenza del fondo alveo

d = diametro caratteristico delle particelle trasportate

Dall'analisi del precedente legame funzionale è facile dedurre che esiste un preciso regime di trasporto solido, quando ai tre valori di Q , i e d corrisponde una determinata portata solida Q_s . Infatti, perché tale legame risulti soddisfatto, alla variazione di una qualunque delle quattro grandezze deve corrispondere una variazione di almeno una delle altre variabili in modo da determinare una nuova situazione di regime che soddisfi l'equazione precedente.

Infatti si supponga la variazione di portata di una corrente fluida in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua senza che vi sia variazione della portata solida. Riducendosi la portata liquida la corrente, a valle della sezione, non è più in grado di trasportare il materiale

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 31

solido e quindi una quota parte del suddetto materiale si deposita sul fondo provocando un innalzamento del fondo stesso. Tale sollevamento del fondo tenderà a propagarsi verso monte e la nuova condizione di regime sarà raggiunta quando il fondo diverrà parallelo a quello preesistente; in questa nuova situazione, essendo rimaste invariate a monte della sezione le condizioni del moto della corrente, continua a valere l'equazione sopra espressa. Invece a valle della sezione considerata si viene a verificare una variazione della pendenza del fondo alveo (maggiore di quella originaria) che determina un incremento dell'azione di trascinamento tale da consentire alla corrente liquida, di minore portata, di trasportare una portata solida Q_s rimasta inalterata.

Da quanto appena affermato s'intuisce come il trasporto solido per trascinamento di fondo dipende dalle condizioni di inizio del moto delle particelle solide disposte sul fondo dell'alveo. Lo studio di questa condizione di "equilibrio limite", denominata di moto incipiente, può essere condotto facendo ricorso ad equazioni in cui figura la velocità critica o la tensione tangenziale critica di trascinamento. In altri termini, la condizione di moto incipiente è definita tramite un'equazione in cui compaiono, oltre alle caratteristiche fisiche e geometriche del materiale trasportato, anche i valori critici delle variabili del moto.

Come caratteristica cinematica della corrente si utilizza la velocità critica V_c definita come il valore medio della velocità della corrente che discrimina lo stato fisico del non movimento del materiale solido da quello di trasporto.

Dal punto di vista dinamico, invece, il movimento del materiale solido presente sul fondo dell'alveo è considerato dipendente dalla tensione di trascinamento τ , il cui valore minimo τ_c perché abbia inizio il suo movimento individua appunto una situazione critica.

La determinazione delle due formulazioni relative alla determinazione della velocità e della tensione di trascinamento è stata condotta da numerosi autori che si sono avvalsi di sperimentazioni di laboratorio necessarie a riprodurre i fenomeni in questione.

Per quanto attiene alla determinazione della velocità critica, dagli esperimenti effettuati si è potuto constatare che essa dipende sia dalle caratteristiche fisiche del fluido (ovvero dalla densità e viscosità dell'acqua) che dalle caratteristiche fisiche e geometriche del materiale solido (cioè dal peso specifico γ_s e dal suo diametro D), a cui si devono aggiungere le condizioni di deflusso presenti in alveo ovvero il tirante idrico h . La formulazione maggiormente utilizzata nelle applicazioni pratiche è quella ottenuta da Neill che assume la seguente forma:

$$V_c = \left[2.5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{1/2} h^{1/10} d^{2/5}$$

Le formule che si basano sul concetto di velocità critica, sebbene molto usate in passato, presentano evidenti limiti di applicabilità: infatti, non essendo generalmente disponibili informazioni sulla distribuzione delle velocità nelle sezioni d'alveo, si utilizza nei calcoli il valore della velocità media per il confronto con il valore di velocità critica, il che porta ad una

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 32

sovrastima della velocità allo stato limite, specialmente per alvei che hanno elevata scabrezza e che quindi non certo uno stato limite laminare. Per questo motivo appare preferibile l'utilizzo delle formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento.

Anche lo studio dell'aspetto dinamico è stato affrontato da numerosi autori sempre per via sperimentale. Uno degli approcci più utilizzati per i corsi d'acqua naturali è quello di Shields in cui il fenomeno del trasporto solido di fondo, relativamente alla condizione di moto incipiente, si fonda sulla teoria della turbolenza: la corrente esercita sul materiale solido un'azione dinamica che tende a rimuovere il materiale e a trasportarlo verso valle, la soglia d'innescio del moto per i sedimenti di data granulometria dipende, oltre che dalla natura del materiale stesso, dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente. La forza di trascinamento della corrente è valutabile rispetto a dei valori soglia che possono essere definiti in relazione allo sforzo tangenziale o alla velocità limite di inizio del moto. L'individuazione della soglia di inizio del trasporto ovvero della condizione di "moto incipiente del materiale" costituisce il presupposto per poter affrontare su basi razionali la stima della capacità di trasporto al fondo.

Il trasporto di fondo ha inizio quando τ_b oltrepassa lo sforzo resistente limite, τ_c , che dipende in larga misura dalle dimensioni dei grani posti sul contorno:

$$\tau_b \geq \tau_c \rightarrow \text{moto incipiente del materiale di fondo}$$

$\tau_c = f$ (campo di velocità, Dimensione dei grani, viscosità fluido, densità sedimenti e fluido)

Shields (1936) attraverso analisi sperimentali (e dimensionali) ha determinato τ_c dalla correlazione di due parametri adimensionali:

- Fr^* : numero di Froude sedimentologico (o numero di mobilità)

$$Fr^* = \frac{u_*^2}{g \Delta D}$$

e quindi

$$Fr^* = \frac{\tau_c}{\rho g} \frac{1}{\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}} \frac{1}{D} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) D} = \tau_c^*$$

$\tau_c^* =$ parametro di stabilità

$\tau_c =$ tensione al contorno che provoca il primo movimento del materiale omogeneo sul fondo

$\gamma_s =$ peso specifico del materiale solido

$\gamma =$ peso specifico del liquido

$D =$ diametro del granulo omogeneo

- Re^* : numero di Reynolds sedimentologico

$$Re^* = \frac{u_* D}{\nu}$$

con:

$$\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 33

$$u_* =$$

τ_o = tensione al contorno

ρ = densità dell'acqua

D = diametro della particella solida

ν = viscosità cinematica dell'acqua è funzione di T (temperatura): circa $10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

L'indagine di Shields pur nella specificità nelle quali l'esperimento è stato condotto (granulometria uniforme, fondo orizzontale) costituisce un riferimento fondamentale per la valutazione dell'inizio del moto.

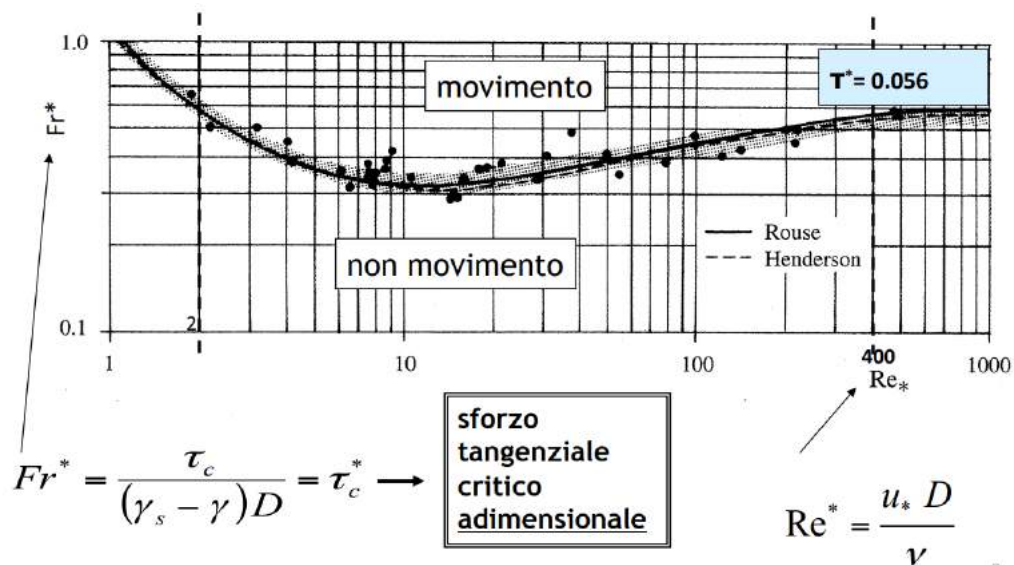


Figura 8-1 – Diagramma di Shields

Il diagramma di Shields (vedi figura 8-1) individua tre zone con comportamento diverso per quanto attiene alla relazione tra parametro di mobilità e numero di Reynolds sedimentologico.

Per i punti che giacciono sotto la curva ($\tau_b < \tau_c$) la corrente non è in grado di provocare il moto delle particelle mentre i punti al di sopra della curva rappresentano condizioni di movimento dei sedimenti. I punti della curva sono rappresentativi di condizioni di equilibrio limite, cioè di situazioni in cui la tensione tangenziale della corrente τ misurata sul fondo è pari al valore critico τ_c ($\tau_b = \tau_c$).

Di particolare interesse applicativo la terza zona dove il parametro di mobilità (numero di Froude) si mostra costante al variare del numero di Re^* .

In sostanza per numeri di Reynolds sedimentologico superiori a 400 si entra nella zona pienamente turbolenta nella quale il parametro di stabilità τ_c^* si mantiene costante (valore 0,06) e τ_c (tensione al contorno che provoca il primo movimento del materiale omogeneo sul fondo) risulta essere esclusivamente funzione del diametro delle particelle solide (D).

In altre parole le condizioni di mobilità del grano sono indipendenti dalla viscosità del fluido e dipendono solo dalla dimensione dei grani stessi:

$Re^* > 400$: zona pienamente turbolenta $\tau_c = f(D)$

$$\tau_c = \alpha (\gamma_s - \gamma) D \quad \alpha = \tau_c^* \cong 0.06$$

Da questa espressione si evince anche che per aumentare la tensione critica, e quindi agevolare le condizioni di stabilità di un alveo, è possibile agire in due modi: rivestire l'alveo con elementi di maggiori dimensioni (aumenta D) quali, ad esempio, scogliere di massi, oppure si possono inserire elementi aventi un peso specifico maggiore che più difficilmente vengono asportati (per questo le scogliere devono essere realizzate con massi in pietra molto pesante).

La teoria di Shields e le sue numerose applicazioni successive hanno ricevuto numerose conferme sperimentali, anche se occorre sottolineare che nella sua applicazione pratica è necessario fare ricorso ad un diametro caratteristico rappresentativo della miscela di sedimenti presenti sul fondo dell'alveo. Per tale motivo si ricorre, generalmente, al d_{50} cioè al diametro corrispondente nella curva granulometrica del materiale costituente il terreno a una percentuale di passante del 50% in modo tale che la condizione di moto incipiente delle singole particelle che costituiscono la miscela, tenga conto dell'influenza della disuniformità delle dimensioni degli elementi costituenti il terreno.

Per poter valutare le condizioni di trasporto solido di un corso d'acqua si deve quindi anche calcolare il valore della tensione tangenziale della corrente τ_b misurata sul fondo in modo tale da poterlo confrontare con la tensione critica τ_c (tensione al contorno che provoca il primo movimento del materiale omogeneo sul fondo)

L'espressione per il calcolo della tensione tangenziale che viene esercitata sul fondo è:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot h \cdot i$$

Dove:

γ_w = peso specifico dell'acqua (Kg/m^3)

h = profondità della vena d'acqua (m)

i = pendenza del fondo alveo (m/m)

9.2 Applicazione del metodo di Shields al caso in esame

Nel presente paragrafo si procederà ad applicare le relazioni teoriche descritte in precedenza al caso in esame al fine di verificare se nell'area di cava possano instaurarsi fenomeni di asportazione del terreno a seguito di eventi di piena che interessino i terreni di cava stessi.

Si procederà innanzitutto alla descrizione delle caratteristiche dei sedimenti presenti in alveo e nelle aree golenali che, come visto al paragrafo precedente, sono determinanti per verificare le condizioni di innesco del trasporto solido. Si procederà poi alla valutazione delle tensioni critiche e delle tensioni resistenti sia in alveo che nell'area di cava in funzione del tirante d'acqua che, sulla base delle simulazioni idrauliche condotte in precedenza, ci si aspetta di avere in condizioni di portata massima.

9.2.1 Granulometria locale dell'alveo e dell'area di cava

In corrispondenza del sito estrattivo si può osservare che l'alveo del fiume Tanaro è tendenzialmente inciso nella marna (che costituisce il substrato del deposito alluvionale) e solamente la parte superiore delle sponde si presenta costituita da materiale incoerente.

Questa caratteristica trova anche conferma nell'analisi del trasporto solido relativa al centro all'alveo effettuata nei capitoli successivi. Da essa emerge infatti che si verificano condizioni di moto incipiente per diametri che non sono nemmeno confrontabili con alcuna granulometria ottenuta in situ sia in golenale sia sulle sponde del corso d'acqua.

Si osserva pertanto che la granulometria di un campione di materiale incoerente prelevato in alveo, magari su un isolotto, è da ritenersi poco significativa dei processi idrodinamici che possono manifestarsi durante gli eventi di piena del Fiume Tanaro.

E' comunque opportuno rilevare che questo substrato marnoso affiorante presenta caratteristiche di resistenza all'erosione molto più elevate del terreno incoerente che compone la sponda o la golenale fluviale.

Venendo ad analizzare il trasporto solido si precisa che la granulometria dell'alveo viene definita tramite un'analisi granulometrica effettuata su un campione di terreno prelevato da un sondaggio effettuato sulla sponda del Fiume Tanaro in un tratto dell'alveo prossimo a quello in esame a profondità di circa 2 m dal piano campagna. Si riporta di seguito il grafico della distribuzione granulometrica del campione dal quale si evince che il materiale presente in alveo presenta i seguenti diametri caratteristici:

- $d_{50\text{-alveo}} = 2.78 \text{ mm}$
- $d_{90\text{-alveo}} = 10 \text{ mm}$

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 36

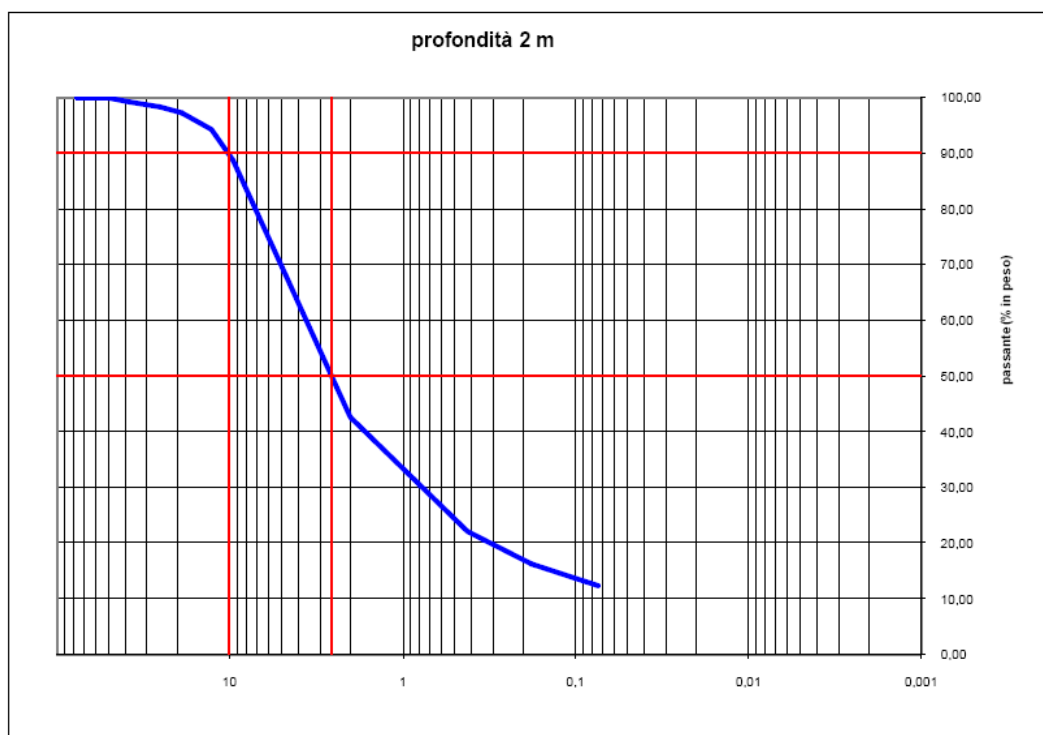


Figura 8-2 – Distribuzione granulometrica del campione prelevato in alveo

La granulometria dell'area di cava viene definita tramite l'analisi di un campione prelevato in altro sito estrattivo limitrofo a quello oggetto d'indagine.

Si riporta di seguito il grafico della distribuzione granulometrica del campione dal quale si evince che il materiale presente in cava presenta i seguenti diametri caratteristici:

- $d_{50-cava} = 8 \text{ mm}$
- $d_{90-cava} = 31 \text{ mm}$

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 37

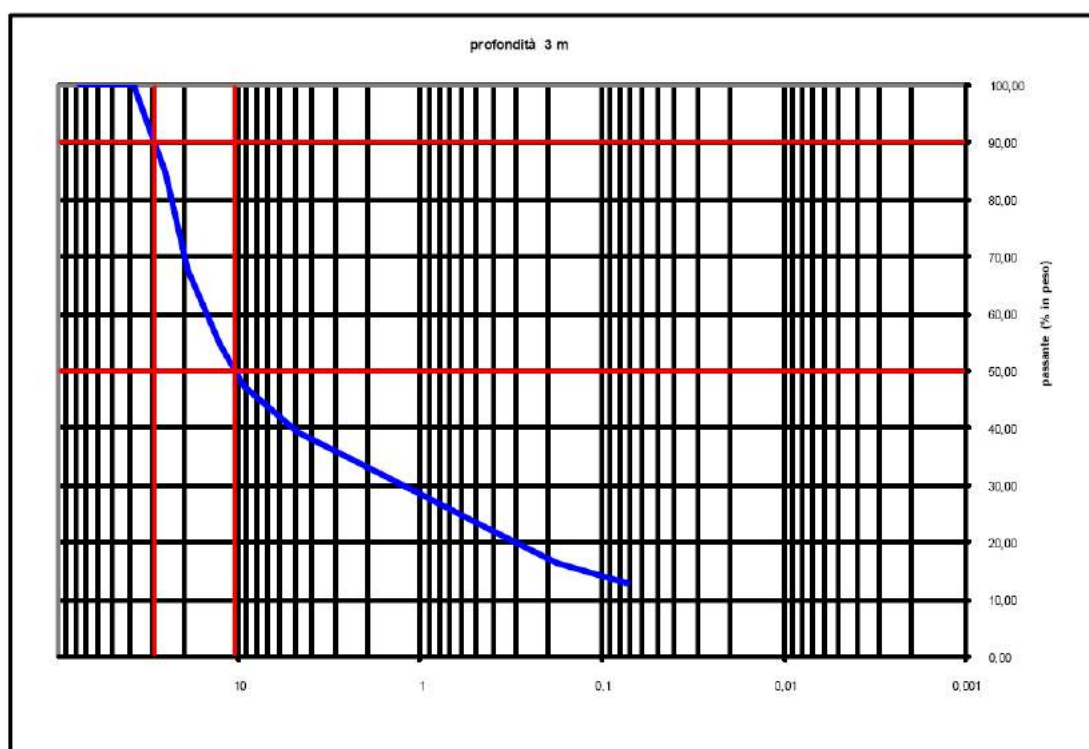


Figura 8-3 – Distribuzione granulometrica del campione rappresentativo dell'area di cava

9.2.2 Risultati delle verifiche sul trasporto solido

Nel presente paragrafo si riportano le tabelle utilizzate per la verifica del trasporto solido in corrispondenza dell'area di cava ed in alveo.

La sezione presa in considerazione è la 2957.

Per quanto riguarda l'area di cava la pendenza del fondo è stata calcolata sulla base della soluzione prevista a progetto (fondo scavo perché la situazione di ripristino coincide con quella attuale).

Tutte le valutazioni sono state condotte nella condizione di numero di Reynolds sedimentologico superiore a 400 (zona pienamente turbolenta) e quindi con parametro di stabilità τ_{*c} costante (valore 0,06).

Nelle tabelle delle pagine seguenti si vede come, per tutti i tempi di ritorno assegnati, si verifichino condizioni di instabilità all'interno dell'alveo del Fiume Tanaro.

Questo aspetto è peraltro confermato dal fatto che nel tratto in esame l'alveo è tendenzialmente inciso nella marna che costituisce il substrato del deposito alluvionale e solamente la parte superiore delle sponde si presenta costituita da materiale incoerente. Questo comporta che nel tempo, a seguito di lunghi periodi di erosione, l'alveo sia costituito prevalentemente da marna e risulti quindi notevolmente più stabile di un alveo in materiale incoerente.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 38

Nell'area di cava si ha invece una condizione di maggiore stabilità rispetto al trasporto solido soprattutto in considerazione del battente d'acqua contenuto che si prevede possa raggiungere l'ambito d'intervento.

Occorre ancora fare alcune osservazioni a riguardo dei metodi utilizzati.

Si vuole innanzitutto precisare che tutti i metodi presi in esame fanno riferimento ad una granulometria uniforme, condizione che non si verifica mai. I valori ottenuti dai calcoli di progetto risultano essere assolutamente cautelativi perché riferiti ad una situazione più favorevole al trasporto solido di quella reale (dove si presenta una granulometria assortita).

Tale aspetto è particolarmente accentuato per la formula del trasporto solido di Shields.

Inoltre occorre anche considerare la benefica azione che svolge sulla sicurezza all'erosione la vegetazione spontanea in goleni e sulle sponde.

Infatti la vegetazione svolge un'importante azione di rivestimento del suolo ed ha caratteristiche di resistenza ben superiori a quella che hanno le particelle nude prese in considerazione dai metodi analizzati nei confronti delle tensioni di fondo che i flussi di piena esercitano al loro passaggio.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 39

Valutazione dell'erosione in alveo

Sezione di riferimento	2957				
dato	simbolo	u.m.	TR = 20 anni	TR = 100 anni	TR = 200 anni
quota del fondo alveo	Min Ch El	m	133.92	133.92	133.92
livello del pelo libero dell’acqua	W.S. Elev	m	139.2	139.75	139.94
quota del fondo alveo (SEZIONE A VALLE)	Min Ch El	m	133.7	133.7	133.7
distanza tra sezione in oggetto e sezione avalle		m	141.25	141.25	141.25
tirante idrico nella sezione	h	m	5.28	5.83	6.02
peso specifico dell'acqua	γ_w	Kg/m3	1000	1000	1000
pendenza fono alveo	i	m/m	0.0015575	0.0015575	0.0015575
tensione tangenziale esercitata sul fondo del canale	τ_b	Kg/m2	8.2237168	9.080354	9.3762832

$\tau_b = \gamma_w \cdot h \cdot i$

numero di Froude	τ_c^*		0.06	0.06	0.06
peso specifico della sabbia/ghiaia di fondo	γ_s	Kg/m3	1600	1600	1600
peso specifico dell'acqua	γ_w	Kg/m3	1000	1000	1000
diametro della sabbia e ghiaia (D50)	D50	m	0.00278	0.00278	0.00278
tensione tangenziale critica	τ_c	Kg/m2	0.10008	0.10008	0.10008

$\tau_c = \alpha \left(\gamma_s - \gamma \right) D$
 $\alpha = \tau_c^* \cong 0.06$

si verifica la seguente situazione:

$\tau_b > \tau_c$	$\tau_b > \tau_c$	$\tau_b > \tau_c$
erosione	erosione	erosione

$\tau_b < \tau_c$	= condizioni di stabilità del fondo (nessun fenomeno di erosione)
$\tau_b = \tau_c$	= condizioni di equilibrio limite
$\tau_b > \tau_c$	= condizioni di erosione del fondo

Valutazione dell'erosione nell'area di cava

Sezione di riferimento	2957				
dato	simbolo	u.m.	TR = 20 anni	TR = 100 anni	TR = 200 anni
quota del fondo cava nella sezione di riferimento		m	137.5	137.5	137.5
livello del pelo libero dell’acqua	W.S. Elev	m	139.2	139.75	139.94
quota del fondo cava (A VALLE della sezione di riferimento)		m	141.3	141.3	141.3
distanza tra sezione in oggetto e sezione avalle		m	141.25	141.25	141.25
tirante idrico nella sezione	h	m	1.7	2.25	2.44
peso specifico dell'acqua	γ_w	Kg/m3	1000	1000	1000
pendenza fono alveo	i	m/m	-0.026903	-0.026903	-0.026903
tensione tangenziale esercitata sul fondo del canale	τ_b	Kg/m2	-45.73451	-60.53097	-65.64248

$\tau_b = \gamma_w \cdot h \cdot i$

numero di Froude	τ_c^*		0.06	0.06	0.06
peso specifico della sabbia/ghiaia di fondo	γ_s	Kg/m3	2000	2000	2000
peso specifico dell'acqua	γ_w	Kg/m3	1000	1000	1000
diametro della sabbia e ghiaia (D50)	D50	m	0.008	0.008	0.008
tensione tangenziale critica	τ_c	Kg/m2	0.48	0.48	0.48

$\tau_c = \alpha \left(\gamma_s - \gamma \right) D$
 $\alpha = \tau_c^* \cong 0.06$

si verifica la seguente situazione:

$\tau_b < \tau_c$	$\tau_b < \tau_c$	$\tau_b < \tau_c$
stabile	stabile	stabile

$\tau_b < \tau_c$	= condizioni di stabilità del fondo (nessun fenomeno di erosione)
$\tau_b = \tau_c$	= condizioni di equilibrio limite
$\tau_b > \tau_c$	= condizioni di erosione del fondo

10 MONITORAGGIO

La necessità di aggiornare e verificare il quadro conoscitivo sulla pericolosità e rischio derivante da fenomeni alluvionali rende opportuno valutare eventuali variazioni nel tempo delle condizioni di deflusso delle piene fluviali.

Occorre pertanto che le valutazioni idrauliche prodotte in questo studio siano aggiornate, specie in conseguenza di modifiche morfologiche apprezzabili.

Le modalità di aggiornamento delle verifiche idrauliche sono dettate dal Decreto del Presidente della Giunta regionale del Piemonte del 2 ottobre 2017, n. 11/R *“Regolamento regionale recante: Attuazione dell’articolo 39 della legge regionale 17 novembre 2016, n. 23 in materia di attività estrattive”*.

Così come previsto dal succitato decreto, per l’attività estrattiva in progetto, che rientra all’interno delle *“fasce fluviali A e B definite dal PAI, o nelle aree di pericolosità di cui al PAI o alla direttiva 2007/60C”*, verranno presentate, con frequenza quinquennale e entro 90 giorni da eventi alluvionali con tempo di ritorno superiore a 20 anni, relazione ed elaborati di verifica del presente studio idraulico contenenti:

- il rilievo aggiornato delle sezioni d'alveo già esaminate;
- la verifica delle ipotesi e delle conclusioni contenute nello studio sull’assetto e sul rischio idraulico.

Coltivazione di cava “Casone 2” – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 40

11 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata analizzata l'incidenza che l'intervento di coltivazione di cava può generare sulla morfologia e sul deflusso delle portate di piena nel tratto di Fiume Tanaro interessato.

In sintesi lo studio ha condotto ai seguenti risultati:

- Per la portate tecniche prese in esame, sia nelle condizioni attuali, sia in quelle a recupero ambientale concluso, i livelli idraulici non interessano il deflusso golenale nella zona della cava;
- In fase di cantiere, prima del definitivo ritombamento, l'invaso di cava potrà invece essere interessato dalle acque di esondazione del Fiume Tanaro anche per portate con tempi di ritorno abbastanza bassi ma con battenti idraulici non eccessivamente elevati;
- Per quanto riguarda il trasporto solido si può notare che all'interno dell'alveo del Fiume Tanaro, per tutti i tempi di ritorno assegnati, si verificano condizioni di instabilità. Questo aspetto è peraltro confermato dal fatto che nel tratto in esame l'alveo è tendenzialmente inciso nella marna che costituisce il substrato del deposito alluvionale e solamente la parte superiore delle sponde si presenta costituita da materiale incoerente. Questo comporta che nel tempo, a seguito di lunghi periodi di erosione, l'alveo sia costituito prevalentemente da marna e risulti quindi notevolmente più stabile di un alveo in materiale incoerente.

Nell'area di cava si ha invece una condizione di maggiore stabilità rispetto al trasporto solido soprattutto in considerazione del battente d'acqua contenuto che si prevede possa raggiungere l'ambito d'intervento.

In conclusione si può pertanto affermare che l'attività estrattiva in oggetto non può generare alcuna variazione sostanziale delle condizioni idrodinamiche in atto.

Inoltre si precisa che le modifiche morfologiche del territorio, e le conseguenti minime variazioni a livello di equilibrio idrodinamico dell'asta del Fiume Tanaro, verranno completamente obliterate dal completo ripristino dello stato dei luoghi attraverso il ritombamento dell'invaso di cava e l'esecuzione di tutte le opere di recupero ambientale.

Coltivazione di cava "Casone 2" – Castagnole delle Lanze	Elaborato 7 – Relazione di compatibilità Idrologico-idraulica
Ruella Giuseppe Escavazioni	Pag. 41