

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. L. LACCOPO

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

## PROGETTO ESECUTIVO

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO**

**IDRAULICA  
SISTEMAZIONI IDRAULICHE**

Vallone del Fangara IN 24- Relazione idraulica

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. M. FERRONI		-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IF2R 32 E ZZ RI ID0002 005 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	S. Giacomini	29/06/21	D. Nave	30/06/21	M. Nuti	30/06/21	IL PROGETTISTA P. Cucino  29/11/21
B	REVISIONE A SEGUITO RDV	S. Giacomini	29/10/21	D. Nave	30/10/21	M. Nuti	30/10/21	
C	REVISIONE A SEGUITO RDV	S. Giacomini	29/11/21	D. Nave	29/11/21	M. Nuti	29/11/21	

File: IF2R.3.2.E.ZZ.RI.ID.00.0.2.005.C

n. Elab.:

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 2 di 35

<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE .....</b>	<b>4</b>
<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2 DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO DELL'INTERFERENZA.....</b>	<b>7</b>
<b>3 CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE .....</b>	<b>9</b>
<b>4 VERIFICHE IDRAULICHE .....</b>	<b>10</b>
<b>4.1 METODOLOGIA.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1.1 SIMULAZIONE NUMERICA.....</b>	<b>10</b>
<b>4.2 SCHEMATIZZAZIONE ADOTTATA .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 CRITERI DI VERIFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 SIMULAZIONE ANTE OPERAM .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4.1 Risultati simulazione ante operam .....</b>	<b>13</b>
<b>4.5 SIMULAZIONE POST OPERAM .....</b>	<b>16</b>
<b>4.5.1 Risultati simulazione post operam.....</b>	<b>18</b>
<b>5 DIMENSIONAMENTO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2 RISULTATI.....</b>	<b>28</b>
<b>6 CANTIERIZZAZIONE.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1 PORTATA DI CANTIERE .....</b>	<b>30</b>
<b>6.2 VERIFICA IN MOTO UNIFORME TUBAZIONE PROVVISORIA .....</b>	<b>32</b>
<b>6.3 DESCRIZIONE DELLA DEVIAZIONE PROVVISORIA .....</b>	<b>34</b>

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 3 di 35

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1: Inquadramento territoriale dell'area in esame	5
Figura 2: Stralcio planimetria di progetto del Vallone del Fangara	7
Figura 3: Stralcio planimetria di progetto attraversamento IN 24	8
Figura 4: Profilo idraulico ante operam	14
Figura 5: Planimetria di esondazione ante operam	15
Figura 6: Stralcio planimetrico configurazione di progetto	16
Figura 7: Sezione di progetto viadotto IN 24	17
Figura 8: Sezione di progetto attraversamento stradale NI 09	17
Figura 9: Sezione attraversamento IN 24	18
Figura 10: Sezione attraversamento NI 09	18
Figura 11: Profilo idraulico e sezioni di progetto	19
Figura 12: Sezione attraversamento IN 24	20
Figura 13: Sezione attraversamento NI 09	20
Figura 14: Planimetria di esondazione post operam	22
Figura 15: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia	25
Figura 16: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima	26
Figura 17: Sezione tipo protezione	28
Figura 18: By pass provvisorio IN 24	30
Figura 19: Profilo by-pass	34

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario:      Mandante: <b>SYSTRA S.A.    SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<b>COMMESSA</b> IF2R	<b>LOTTO</b> 3.2.E.ZZ	<b>CODIFICA</b> RI	<b>DOCUMENTO</b> ID.00.0.2.005	<b>REV.</b> C	<b>FOGLIO</b> 4 di 35

## ***ELENCO DELLE TABELLE***

Tabella 1: Risultati nella condizione di progetto	21
Tabella 2: Verifica idraulica - Franco idraulico	23
Tabella 3: Verifica idraulica -Grado di riempimento	24
Tabella 4: Tabella dei dati di input per la verifica della sistemazione idraulica	28
Tabella 5: Verifica protezione al fondo e alle sponde in massi	29
Tabella 6: Verifica velocità limite del materiale di rivestimento	29

---

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 5 di 35

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione riassume i risultati della verifica idraulica del Vallone del Fangara evidenziato in Figura 1: Inquadramento territoriale dell'area in esame, tributario in destra idraulica del Fiume Calore, nell'ambito del Progetto Esecutivo del 2° Lotto funzionale della linea Canello – Benevento, nella tratta tra Frasso Telesino e Vitulano.

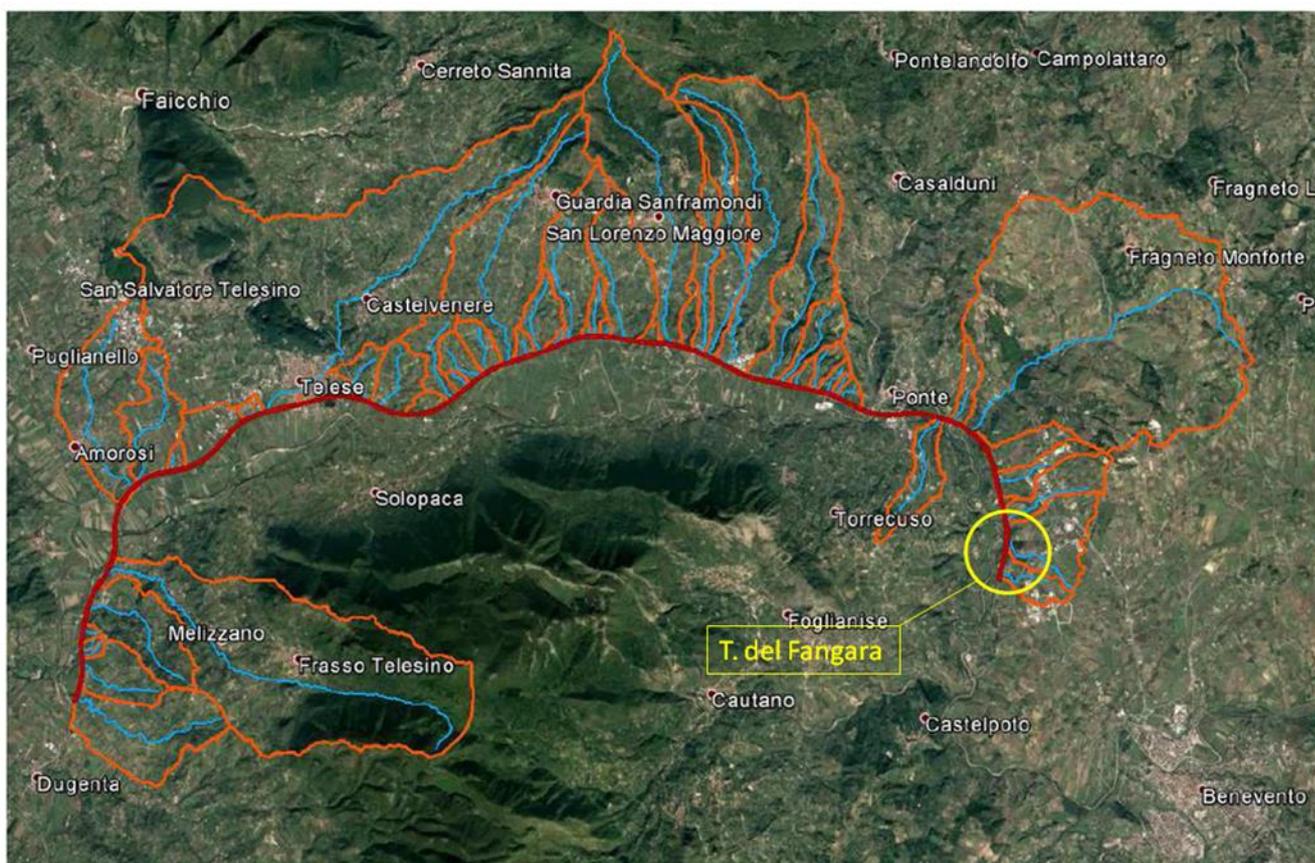


Figura 1: Inquadramento territoriale dell'area in esame

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario:      Mandante: <b>SYSTRA S.A.    SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA <b>IF2R</b>	LOTTO <b>3.2.E.ZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID.00.0.2.005</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO <b>6 di 35</b>

Nel presente studio si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- “*Relazione Idrologica*” del Progetto Esecutivo del raddoppio del 2° lotto funzionale Frasso Telesino – Vitulano (elaborato IFR02EZZRIID0000001A)
- RFI, Manuale di Progettazione delle Opere Civili, Parte II, Sezione 3 – Corpo Stradale. Edizione 2020.
- NTC 2008
- Norme di attuazione del P.S.D.A.

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 7 di 35

## 2 DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO DELL'INTERFERENZA

La linea ferroviaria in progetto interseca il Canale alla progressiva km 45+761, in corrispondenza della quale è prevista la realizzazione dell'attraversamento IN 24. e dell'attraversamento stradale NI 09.



Figura 2: Stralcio planimetria di progetto del Vallone del Fangara

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>RI</td> <td>ID.00.0.2.005</td> <td>C</td> <td>8 di 35</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	8 di 35
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	8 di 35								



Figura 3: Stralcio planimetria di progetto attraversamento IN 24

APPALTATORE:  Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandatario:      Mandante: <b>SYSTRA S.A.    SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>													
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>RI</td> <td>ID.00.0.2.005</td> <td>C</td> <td>9 di 35</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	9 di 35
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	9 di 35								

### 3 **CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE**

Per quanto riguarda le portate di calcolo, si fa riferimento alla relazione idrologica (elaborato IFR02EZZRIID0000001A); in particolare, le portate di progetto ( $Q_T$ ) sono state valutate secondo la metodologia VAPI (Regione Campania), calcolando la portata indice  $\mu(Q)$  e moltiplicando quest'ultima per il relativo coefficiente di crescita con il tempo di ritorno  $K_T$

$$Q_T = K_T \cdot \mu(Q) \quad [m^3 / s]$$

Per il Vallone del Fangara, il valore della portata indice  $\mu(Q)$  è stato stimato pari a 8.74 m<sup>3</sup>/s.

Essendo il bacino del Vallone del Fangara di 1.84 km<sup>2</sup>, il tempo di ritorno di progetto è stato fissato in 200 anni, in accordo a quanto previsto dal manuale di progettazione RFI per i corsi d'acqua con superficie del bacino sotteso inferiore a 10 km<sup>2</sup>.

Il valore di portata corrispondente al tempo di ritorno 200 anni è 30.84 m<sup>3</sup>/s.

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 10 di 35

## 4 VERIFICHE IDRAULICHE

### 4.1 METODOLOGIA

La simulazioni numerica del corso d'acqua è stata condotta utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione del profilo idrico nella situazione attuale e di progetto è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS 5.0.7 River Analysis System, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

#### 4.1.1 SIMULAZIONE NUMERICA

La procedura di calcolo di HEC-RAS monodimensionale si basa sulla soluzione dell'equazione dell'energia andando a considerare esclusivamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto (longitudinale).

I profili di corrente sono ricostruiti risolvendo l'equazione dell'energia per due sezioni consecutive mediante un processo iterativo. L'equazione compare nella forma:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e$$

Dove con Y si indica il tirante idrico, Z è la quota geodetica, V è la velocità media,  $\alpha$  è il coefficiente di ragguglio dell'altezza cinetica, g è l'accelerazione di gravità ed  $h_e$  è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

Il valore di  $h_e$  è definito dalla somma delle perdite distribuite, dovute all'attrito, e delle perdite localizzate, legate alla contrazione ed espansione della vena liquida, ovvero:

$$h_e = L \cdot S_f + C \cdot \left( \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right)$$

Con:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot Q_{lob} + L_{rob} \cdot Q_{rob} + L_{ch} \cdot Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

In cui i pedici lob, rob e ch indicano rispettivamente la golena sinistra ("left overbank"), la golena destra ("right overbank") e l'alveo ("channel"),  $S_f$  è la cadente della linea dei carichi totali e C è il coefficiente di espansione/contrazione della vena fluida (compreso tra 0 e 1).

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 11 di 35

Per poter calcolare la conduttività idraulica totale (“conveyance”) ed il coefficiente di ragguglio dell’altezza cinetica di una determinata sezione, è necessario suddividere il flusso in zone in cui la velocità è uniformemente distribuita. Per tale motivo, HEC-RAS, in funzione del valore del coefficiente di Manning attribuito, tratta separatamente il flusso delle golene e quello del canale principale. La conduttività nelle varie zone è calcolata utilizzando l’equazione di Chezy:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

$$Q = K \cdot S_f^{1/2}$$

Dove K è la conduttività in m<sup>3</sup>/s, n è il coefficiente di scabrezza di Manning in m<sup>1/3</sup>/s, A è l’area bagnata del tratto considerato in m<sup>2</sup> e R è il raggio idraulico espresso in m.

Il valore complessivo della conduttività della sezione è dato dalla somma dei singoli contributi, ovvero:

$$K = K_{lob} + K_{rob} + K_{ch}$$

Per quanto riguarda il coefficiente di ragguglio dell’altezza cinetica, questo viene calcolato in funzione della conduttività dei singoli tratti, utilizzando la seguente espressione:

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

Dove i pedici lob, rob e ch rappresentano rispettivamente la golena sinistra, destra ed il canale centrale, mentre t indica il valore totale nella sezione.

La cadente media della linea dei carichi totali, rappresentativa di un certo tronco fluviale individuato da due sezioni consecutive, viene calcolata come:

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

Per quanto riguarda il coefficiente C, che compare nel calcolo delle perdite concentrate, il programma considera una contrazione ogni qualvolta l’altezza cinetica della sezione di valle sia maggiore di quella di monte, al contrario considera una espansione.

Definiti i parametri in gioco, il calcolo della superficie libera viene effettuato in maniera iterativa a partire dai dati assegnati di portata e dalle caratteristiche geometriche delle singole sezioni. La procedura di calcolo si svolge assegnando un valore di primo tentativo della superficie libera in corrispondenza della sezione di monte, se la corrente è lenta, o della sezione di valle, se la corrente è veloce. A questo punto, si calcolano tutte le grandezze di interesse precedentemente

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 12 di 35

descritte e si ricava la superficie libera dall'equazione dell'energia utilizzando tali parametri. Questa quota della superficie libera dev'essere confrontata con il valore di partenza e, qualora non si sia raggiunta la convergenza (di default fissata ad una differenza pari a 0.003 m) si ripete il processo iterativamente.

Nelle successive sezioni, il programma fissa la superficie libera di partenza con metodi che variano tra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell'altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo è incrementato del 70 % dell'errore relativo al primo step; dalla terza iterazione in poi si utilizza il metodo "secante", che proietta il valore della differenza tra la quota calcolata e la quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{diff}}$$

Dove  $WS_i$  è la nuova quota della superficie libera,  $WS_{i-1}$  è il valore della quota assunta all'iterazione  $i-1$ ,  $WS_{i-2}$  è il valore della quota assunta all'iterazione  $i-2$ ,  $Err_{i-2} = WS_{calcolato,i-2} - WS_{i-2}$ ,  $Err_{ass} = WS_{i-2} - WS_{i-1}$  e  $Err_{diff} = WS_{i-1} - WS_{calcolato,i-1} + Err_{i-2}$ .

Nei casi in cui vi sia passaggio per l'altezza critica, quindi in presenza di fenomeni che producono transizione da corrente lenta a veloce o viceversa, HEC-RAS utilizza l'equazione di bilancio della quantità di moto, in quanto l'equazione dell'energia non risulta applicabile essendo basata sull'ipotesi di flusso gradualmente variato. L'equazione di bilancio della quantità di moto tra due sezioni consecutive 1 e 2 assume la seguente forma:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

Dove  $P$  è il contributo della pressione idrostatica,  $W$  è il contributo della forza d'inerzia nella direzione del moto,  $F_f$  rappresenta la forza d'attrito,  $Q$  è la portata,  $\rho$  è la densità dell'acqua e  $\Delta V_x$  è la variazione del campo di velocità tra le sezioni 1 e 2.

## 4.2 SCHEMATIZZAZIONE ADOTTATA

È stato modellato un tratto del Vallone del Fangara lungo circa 1000 m, interessato dai due attraversamenti in progetto.

Le simulazioni idrauliche nelle situazioni attuale e post-operam sono state effettuate avendo assunto le seguenti ipotesi:

- condizioni di moto permanente;
- regime di corrente mista;

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 13 di 35

- condizione di moto critico nella sezione di monte e di valle.

I coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono:

- 0.035-0.04 s/m<sup>1/3</sup> per l'alveo naturale
- 0.05 s/m<sup>1/3</sup> per le aree golenali
- 0.025 s/m<sup>1/3</sup> per le aree con rivestimento in massi sciolti

### 4.3 CRITERI DI VERIFICA

La verifica idraulica degli attraversamenti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena sarà soddisfatta quando il franco rispetto all'intradosso dell' opera risulterà:

1. non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell' attraversamento, per la portata di progetto;
2. non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata di progetto
3. tombini idraulici: riempimento inferiore al 70%.

### 4.4 SIMULAZIONE ANTE OPERAM

Per sviluppare il modello sono state utilizzate le sezioni estratte dal rilievo celerimetrico realizzato nell'ambito del progetto esecutivo.

Nella configurazione attuale sono presenti due attraversamenti : il ponte stradale e l'attraversamento sulla ferrovia storica.

#### 4.4.1 Risultati simulazione ante operam

Nella Figura 4 si riporta il profilo idraulico ante operam, in cui si osserva l'effetto del rigurgito dei due attraversamenti esistenti.

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 14 di 35

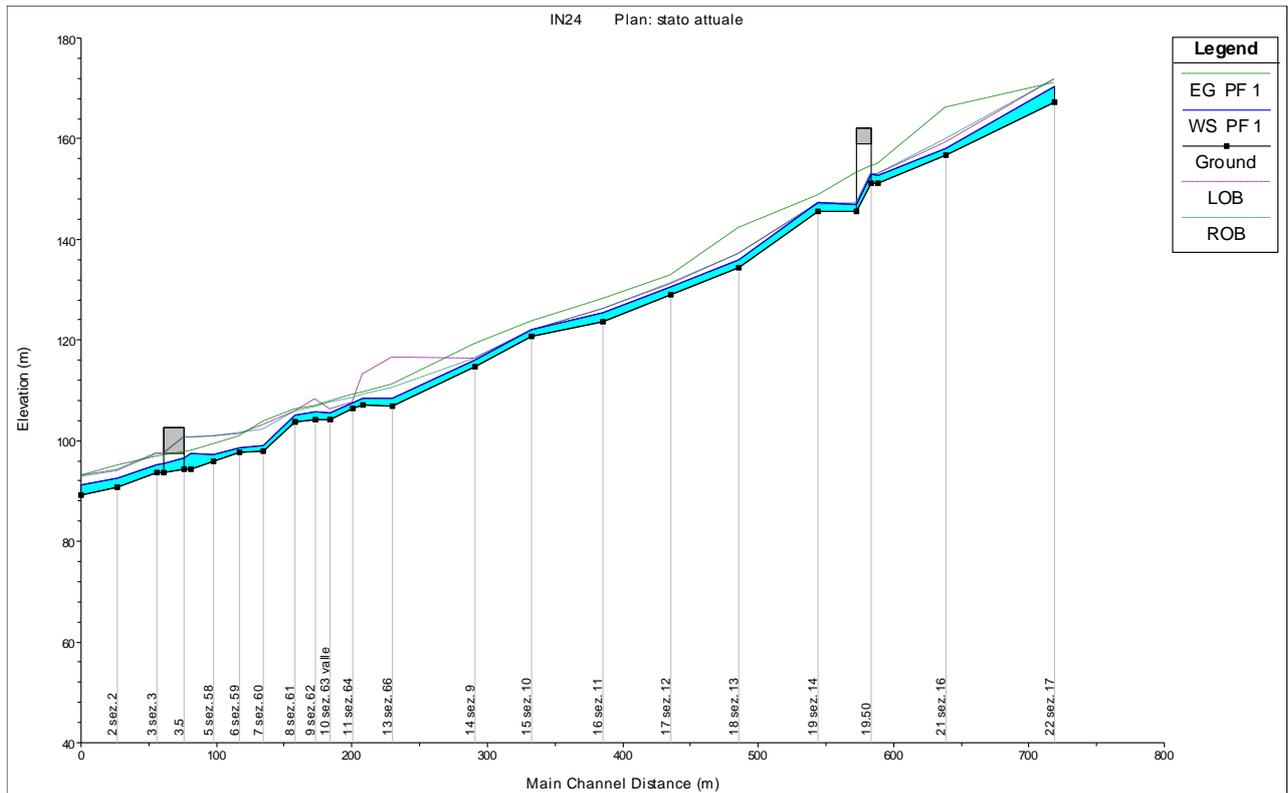


Figura 4: Profilo idraulico ante operam

In Figura 5 si riporta la mappa di esondazione nella configurazione ante operam, in cui si osserva come nella configurazione attuale il deflusso è contenuto all'interno dell'alveo del corso d'acqua studiato.

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>RI</td> <td>ID.00.0.2.005</td> <td>C</td> <td>15 di 35</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	15 di 35
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	15 di 35								

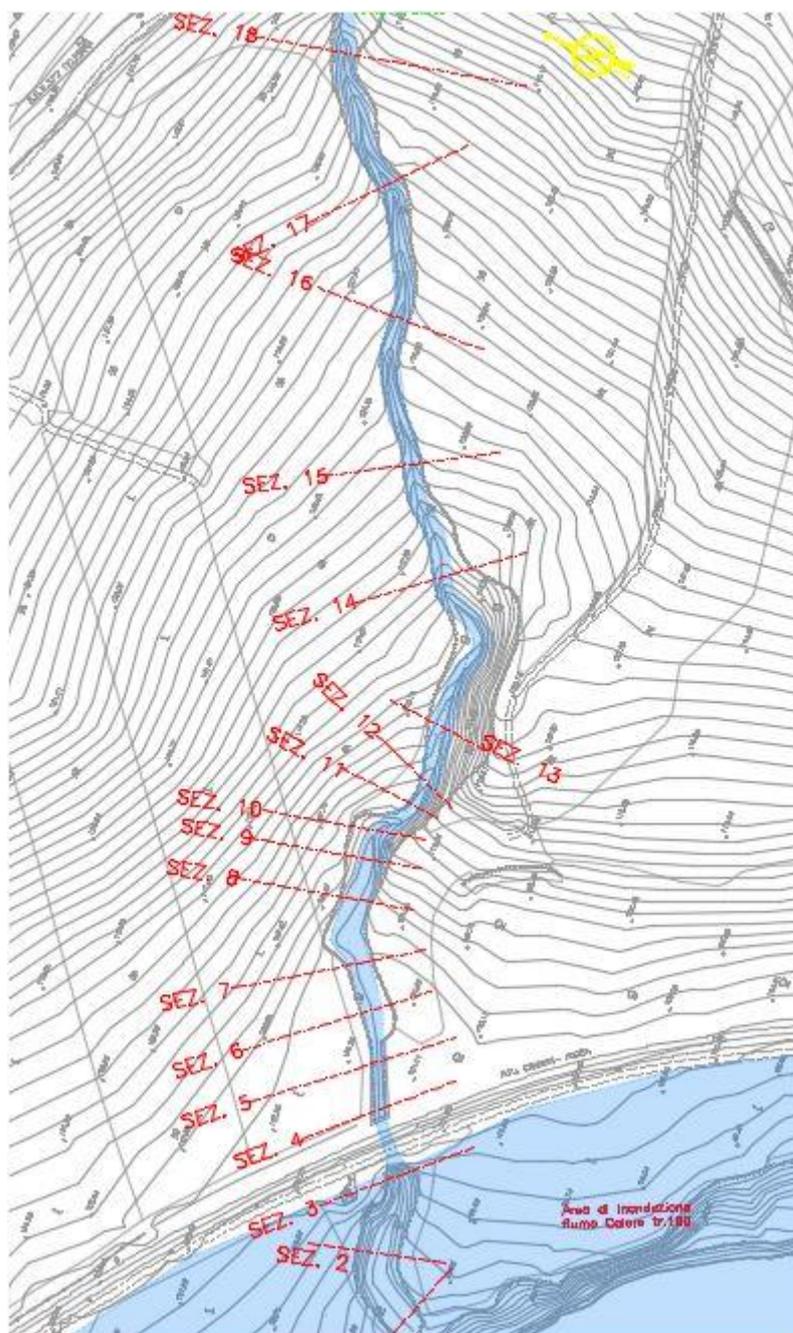


Figura 5: Planimetria di esondazione ante operam

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 16 di 35

#### 4.5 SIMULAZIONE POST OPERAM

La configurazione di progetto prevede la costruzione del nuovo attraversamento ferroviario IN 24 costituito da uno scatolare doppio 6.0x3.50 m e l'attraversamento stradale NI09 di dimensioni 6.0x4.0 m, come indicato rispettivamente nelle Figura 7 , 7, 8 e 9. Come previsto nella precedente fase progettuale definitiva è stata prevista una riprofilatura dell'alveo a sezione trapezia rivestita con massi legati a monte a valle i cui dettagli sono riportati negli elaborati grafici di riferimento.

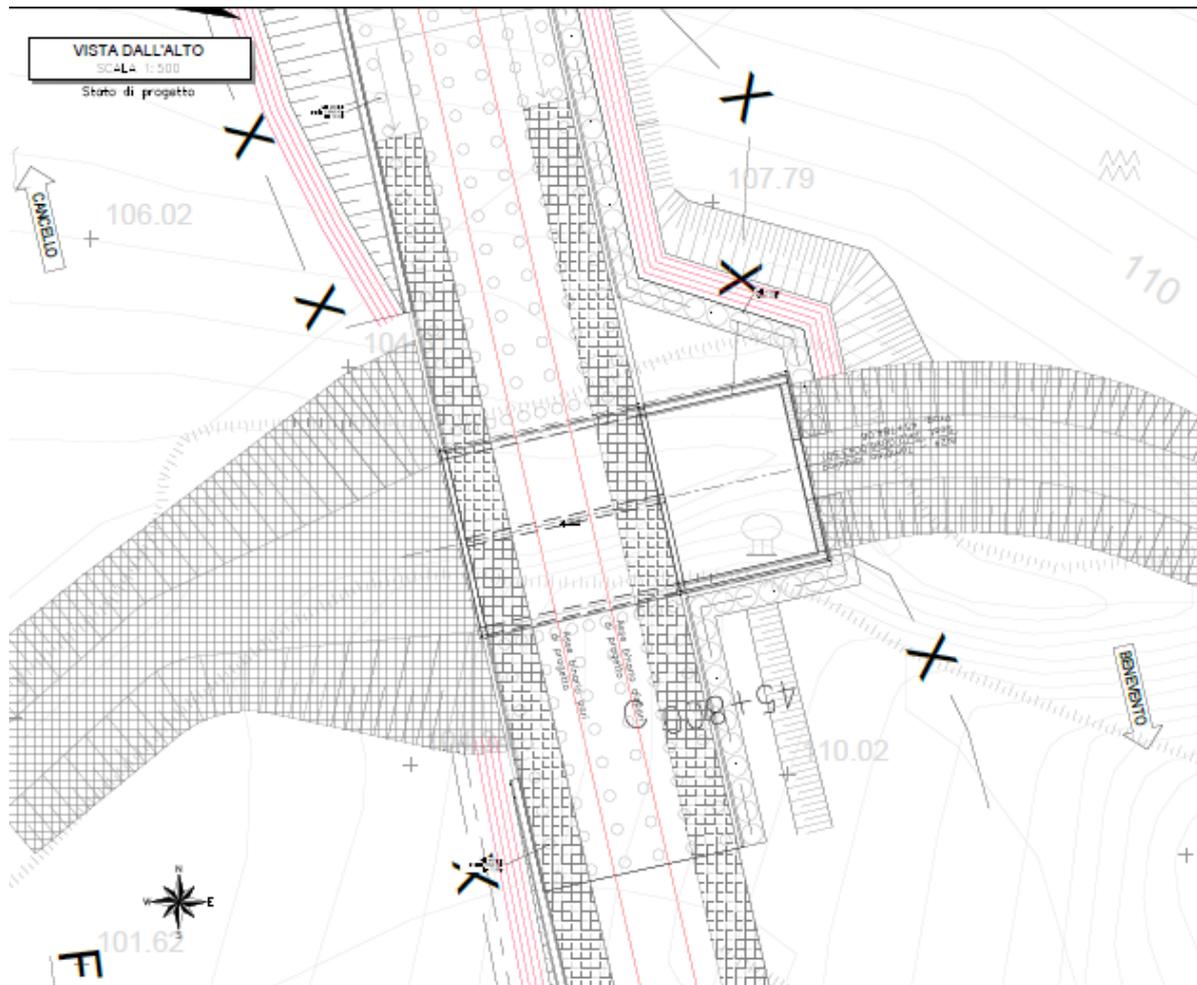


Figura 6: Stralcio planimetrico configurazione di progetto

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF2R 3.2.E.ZZ RI ID.00.0.2.005 C 17 di 35

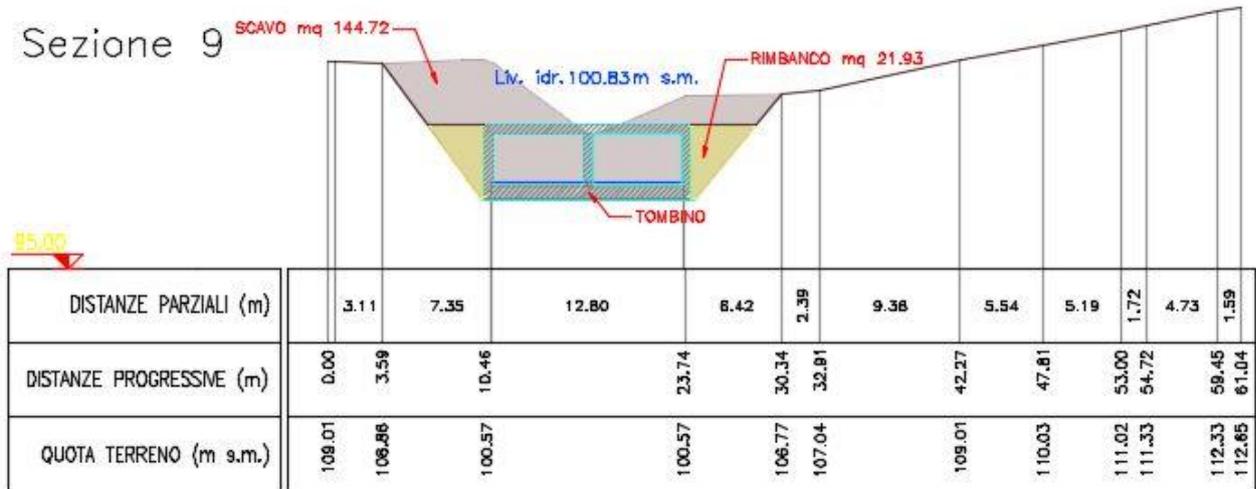


Figura 7: Sezione di progetto viadotto IN 24

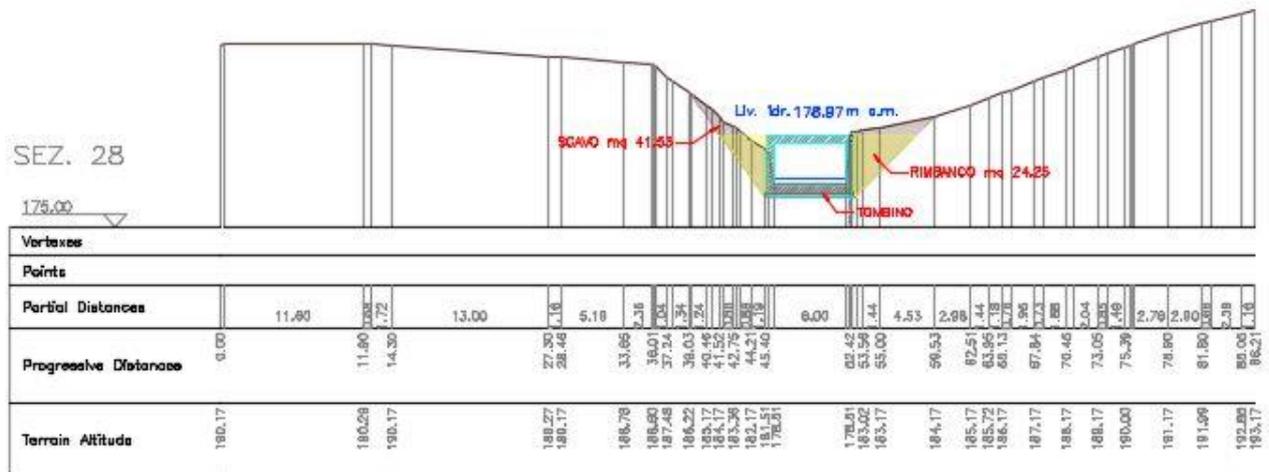


Figura 8: Sezione di progetto attraversamento stradale NI 09

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a.r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>RI</td> <td>ID.00.0.2.005</td> <td>C</td> <td>18 di 35</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	18 di 35
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	18 di 35								

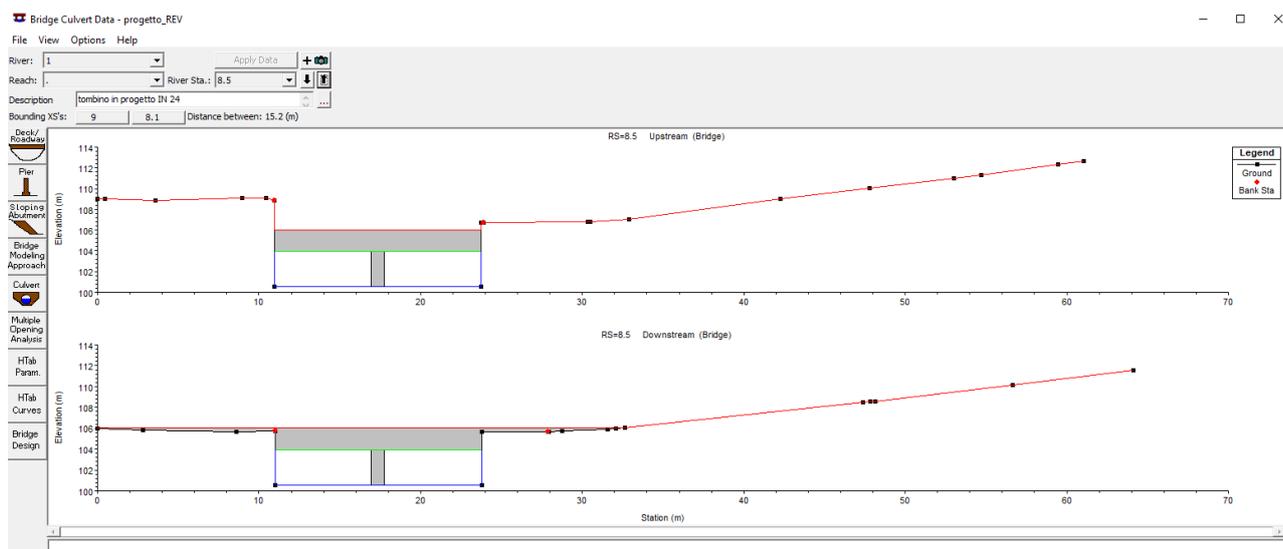


Figura 9: Sezione attraversamento IN 24

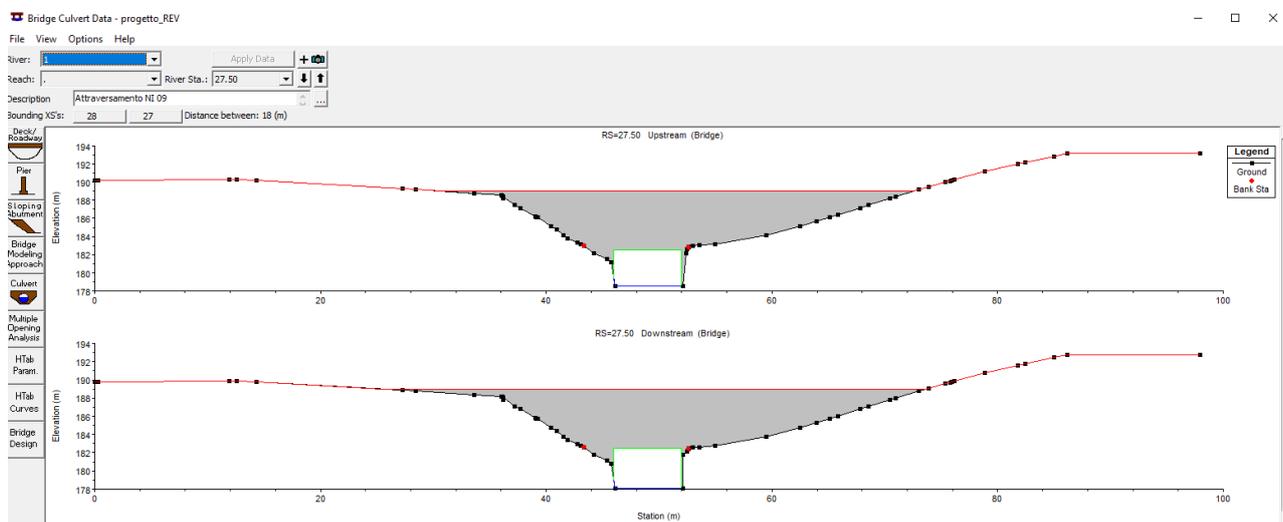


Figura 10: Sezione attraversamento NI 09

#### 4.5.1 Risultati simulazione post operam

Nel profilo idraulico di progetto in Fig.8 e nelle sezioni di progetto degli attraversamenti Fig.9 si osserva come l'attraversamento sia compatibile idraulicamente con la piena a Tr 200 anni. Nella configurazione di progetto rimangono inalterate le condizioni di deflusso del ponte stradale della Telesina e del ponte ferroviario rispetto alla condizione anteoperam.

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 19 di 35

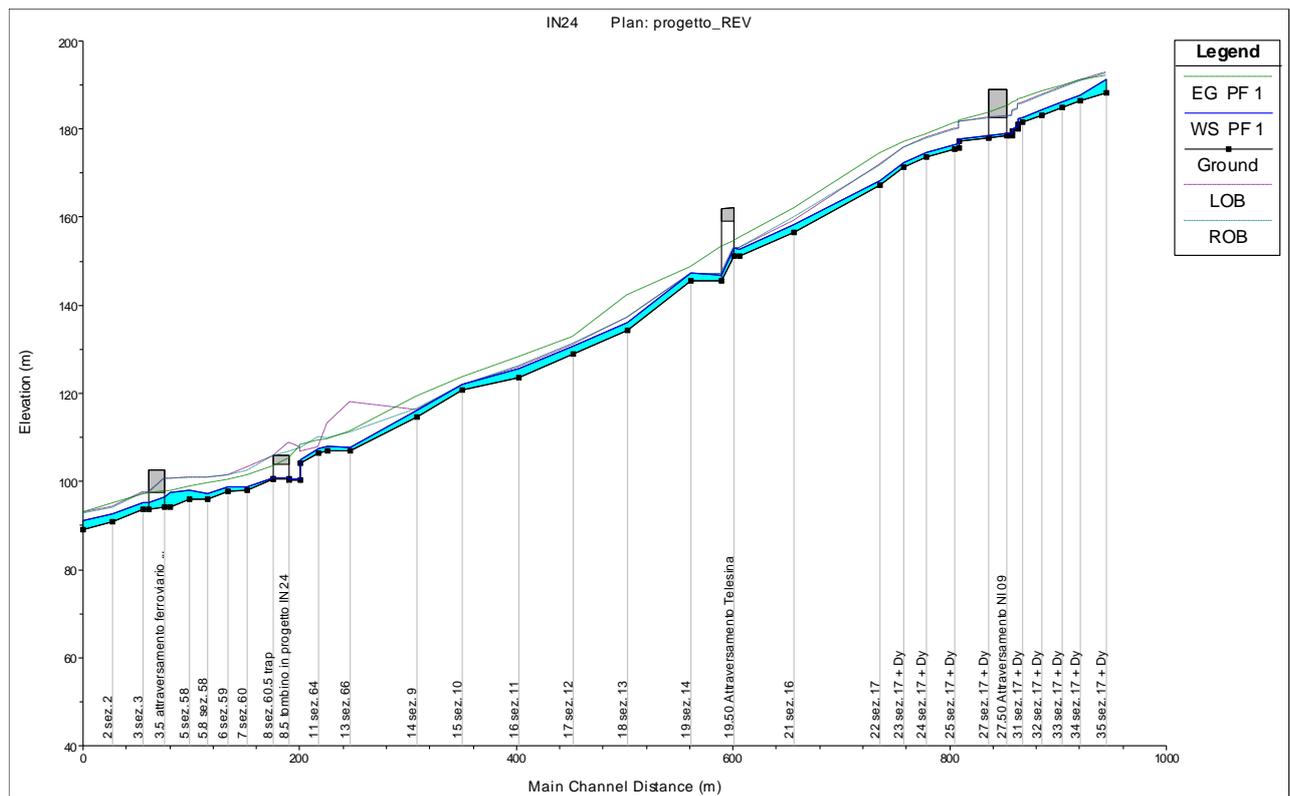
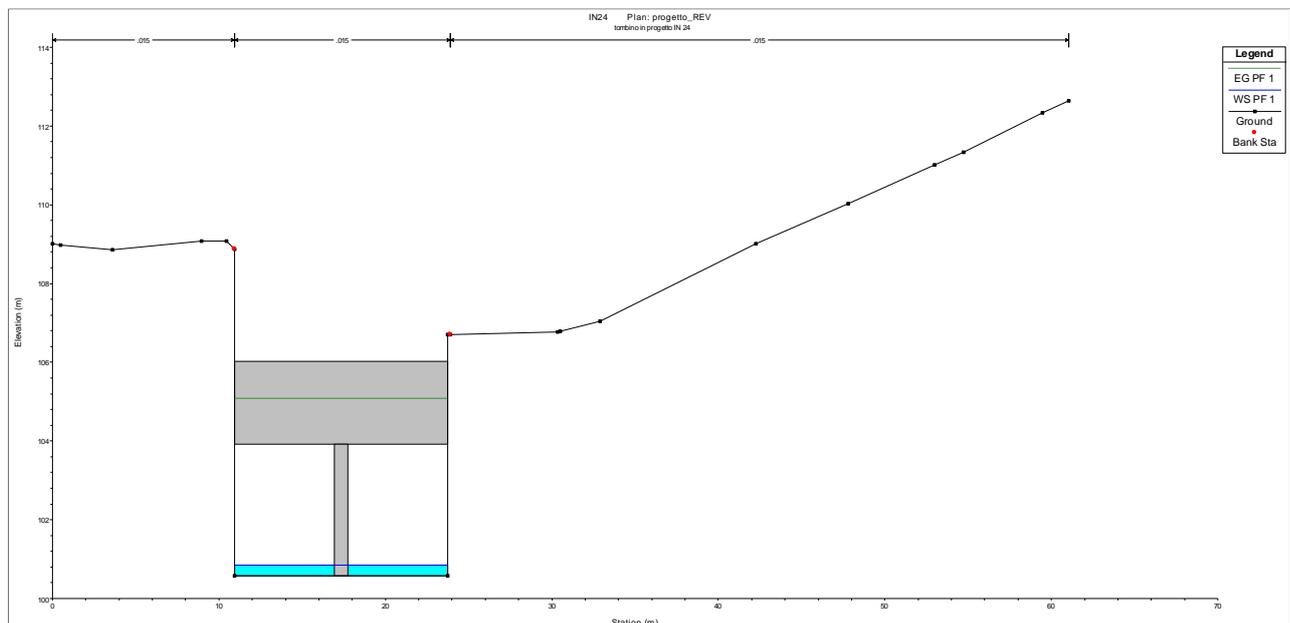


Figura 11: Profilo idraulico e sezioni di progetto



APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 20 di 35

. Figura 12: Sezione attraversamento IN 24

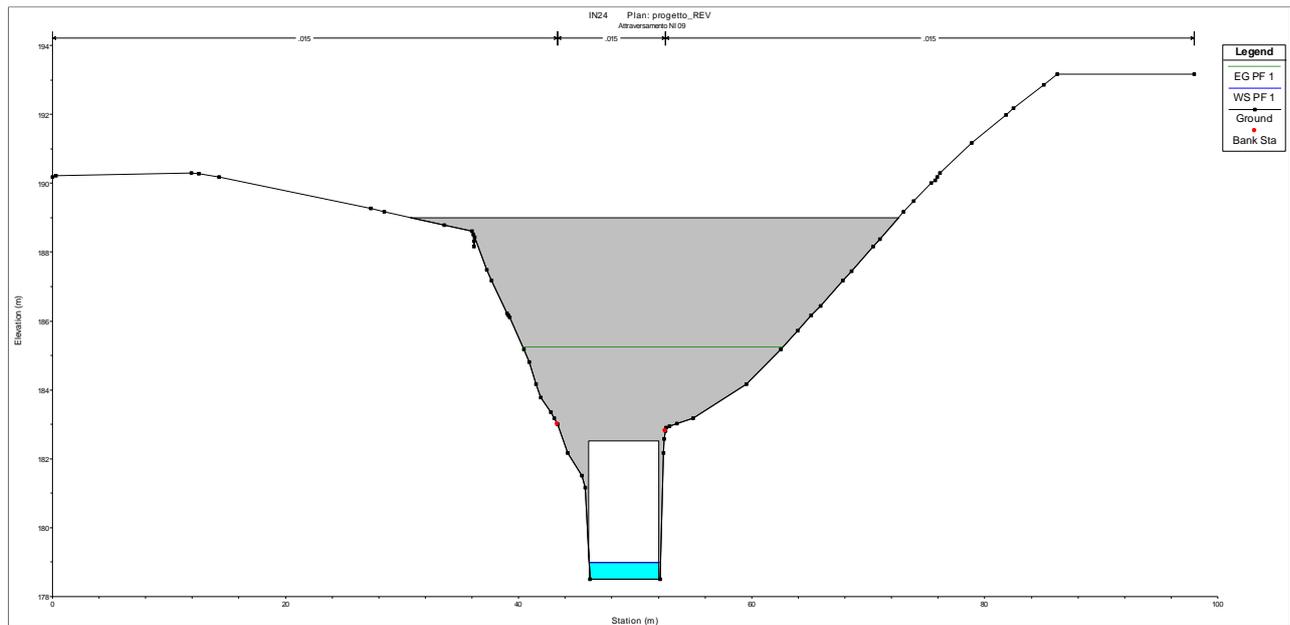


Figura 13: Sezione attraversamento NI 09

La verifica effettuata in moto permanente sul Vallone del Fangara, in cui si è tenuto conto dei valori dei coefficienti di Manning riferiti ai materiali di progetto previsti e descritti precedentemente e delle condizioni al contorno di altezza critica a monte e a valle, ha riportato i seguenti risultati.

APPALTATORE:	<b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica		COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 21 di 35

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
.	35	PF 1	30.84	188.33	191.28	191.28	191.99	0.017923	3.73	8.26	5.97	1.01
.	34	PF 1	30.84	186.46	187.78	188.69	191.02	0.059320	7.97	3.87	3.69	2.49
.	33	PF 1	30.84	184.94	186.19	187.17	189.89	0.071080	8.52	3.62	3.61	2.72
.	32	PF 1	30.84	183.25	184.47	185.48	188.45	0.078508	8.83	3.49	3.57	2.85
.	31	PF 1	30.84	181.47	182.65	183.70	186.93	0.086724	9.16	3.37	3.53	3.00
.	30.1	PF 1	30.84	181.10	182.28	183.33	186.60	0.088032	9.21	3.35	3.52	3.02
.	30	PF 1	30.84	180.10	180.57	181.48	186.44	0.084128	10.73	2.87	6.11	4.99
.	29.1	PF 1	30.84	179.59	180.06	180.97	186.01	0.085988	10.80	2.85	6.11	5.05
.	29	PF 1	30.84	178.59	179.03	179.97	185.91	0.108148	11.62	2.65	6.09	5.62
.	28	PF 1	30.84	178.51	178.97	179.89	185.30	0.094857	11.14	2.77	6.10	5.28
.	27.50		Bridge									
.	27	PF 1	30.84	178.11	178.63	179.49	183.52	0.063145	9.79	3.15	6.08	4.34
.	26.1	PF 1	30.84	177.20	177.77	178.58	181.81	0.046730	8.89	3.47	6.13	3.78
.	26	PF 1	30.84	175.70	176.82	177.94	181.71	0.104171	9.80	3.15	3.46	3.28
.	25	PF 1	30.84	175.46	176.60	177.70	181.31	0.099118	9.62	3.21	3.48	3.20
.	24	PF 1	30.84	173.56	174.78	175.80	178.72	0.077526	8.79	3.51	3.58	2.84
.	23	PF 1	30.84	171.35	172.52	173.59	176.92	0.090195	9.30	3.32	3.51	3.05
.	22	PF 1	30.84	167.34	168.36	169.58	174.43	0.139824	10.90	2.83	3.35	3.79
.	21	PF 1	30.84	156.65	158.39	159.25	161.89	0.154980	8.29	3.72	4.58	2.94
.	20	PF 1	30.84	151.18	152.65	153.32	155.19	0.106658	7.06	4.37	5.94	2.63
.	19.50		Bridge									
.	19	PF 1	30.84	145.62	147.32	147.80	148.70	0.045269	5.25	6.13	8.67	1.74
.	18	PF 1	30.84	134.31	136.02	137.06	142.16	0.434946	10.97	2.81	4.37	4.37
.	17	PF 1	30.84	129.03	130.66	131.30	132.87	0.083965	6.58	4.68	5.73	2.33
.	16	PF 1	30.84	123.54	125.51	126.37	128.21	0.101813	7.27	4.24	4.42	2.37
.	15	PF 1	30.84	120.66	122.08	122.54	123.69	0.063178	5.70	5.86	12.91	2.10
.	14	PF 1	30.84	114.71	116.06	116.80	119.21	0.202170	7.86	3.92	7.11	3.38
.	13	PF 1	30.84	106.94	107.65	108.44	111.18	0.091792	8.32	3.71	5.92	3.36
.	12	PF 1	30.84	107.03	108.05	108.53	109.59	0.027331	5.51	5.60	6.53	1.90
.	11	PF 1	30.84	106.53	107.47	108.03	109.33	0.035652	6.03	5.11	6.38	2.15
.	10.01	PF 1	30.84	104.18	104.91	105.68	108.28	0.085790	8.14	3.79	5.95	3.25
.	10	PF 1	30.84	100.42	100.62	101.26	107.88	0.281469	11.93	2.59	12.80	8.47
.	9.1	PF 1	30.84	100.42	100.68	101.26	105.17	0.128311	9.39	3.28	12.80	5.92
.	9	PF 1	30.84	100.57	100.83	101.41	105.11	0.118084	9.16	3.37	12.80	5.70
.	8.5		Bridge									
.	8.1	PF 1	30.84	100.52	100.86	101.36	103.47	0.052881	7.16	4.30	12.80	3.95
.	8	PF 1	30.84	100.52	100.85	101.35	103.47	0.147057	7.16	4.31	13.05	3.98
.	7	PF 1	30.84	98.01	98.82	99.50	101.42	0.058075	7.13	4.33	6.13	2.71
.	6	PF 1	30.84	97.72	98.69	99.21	100.41	0.032002	5.81	5.30	6.44	2.05
.	5.8	PF 1	30.84	96.00	97.24	97.89	99.45	0.078992	6.59	4.68	4.12	1.98
.	5	PF 1	30.84	96.00	97.89	97.89	98.77	0.021903	4.16	7.42	4.21	1.00
.	4	PF 1	30.84	94.30	97.53	96.11	97.80	0.001559	2.32	13.30	4.32	0.42
.	3.5		Bridge									
.	3	PF 1	30.84	93.57	95.11	95.65	96.91	0.054204	5.95	5.18	3.84	1.64
.	2	PF 1	30.84	90.86	92.61	93.28	94.91	0.085886	6.72	4.59	5.30	2.31
.	1	PF 1	30.84	89.17	91.20	91.76	92.91	0.055749	5.78	5.33	5.33	1.85

Tabella 1: Risultati nella condizione di progetto

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 22 di 35

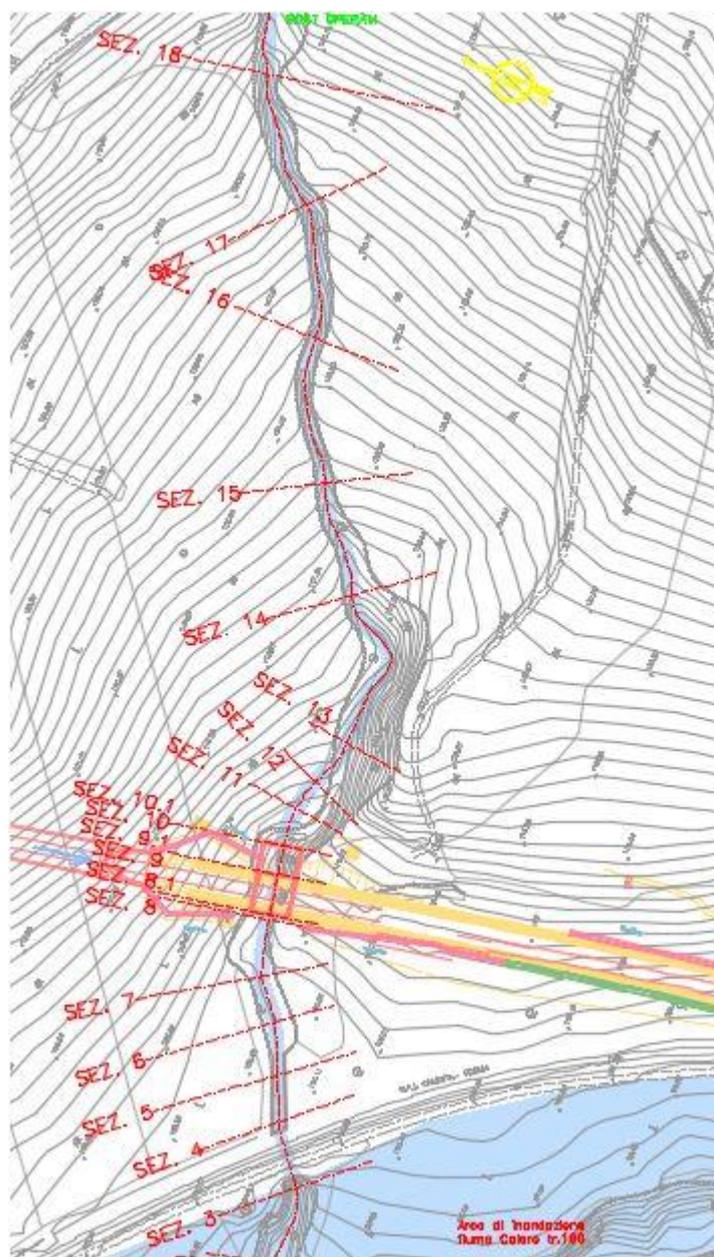


Figura 14: Planimetria di esondazione post operam

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 23 di 35

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto e degli interventi di sistemazione idraulica, che garantiscono la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

Si evidenzia che il deflusso delle acque, non essendoci esondazione alcuna, avviene esclusivamente all'interno dell'alveo e che il livello idrico, che si instaura al disotto dell'intradosso del nuovo attraversamento IN24 in progetto e del tombino NI09, è inferiore al valore al quale corrisponde un franco di sicurezza idraulica rispondente alla normativa vigente; in particolare, in ottemperanza della circolare n°617 del 2 Febbraio 2009 ('Istruzioni per l'applicazione delle NTC 2008'), il grado di riempimento del tombino inferiore al 70% ottenuto considerando la differenza di quota tra l'intradosso del ponte ferroviario in progetto e il livello di piena corrispondente a Tr =200 anni e l'altezza dell'opera di progetto.

Sezione	Quote			Franco sul livello idrico (Tr 200)
	Fondo	Intradosso	Livello idrico (Tr 200)	
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]
Monte Vallone del Fangara IN24	100,57	104,07	100,85	3,22
Valle Vallone del Fangara IN24	100,52	104,02	100,88	3,14

Tabella 2: Verifica idraulica - Franco idraulico

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 24 di 35

Sezione	Quote			Grado di riempimento
	Fondo	Intradosso	Livello idrico (Tr 200)	
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[%]
Monte Vallone del Fangara NI09	178.51	182.51	178,98	12
Valle Vallone del Fangara NI09	178.11	182.41	178,64	12

Tabella 3: Verifica idraulica -Grado di riempimento

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A.    Mandante: SWS Engineering S.p.A.    SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 25 di 35

## 5 DIMENSIONAMENTO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA

### 5.1 METODOLOGIA

Stante il carattere torrentizio del corso d'acqua è stato previsto di proteggere le zone in prossimità degli attraversamenti di progetto mediante massi legati e intasati con materiale d'alveo. La scelta progettuale è una conseguenza della mancata verifica in termini di velocità nell'ipotesi di rivestimento in materiale sciolto, come è evidenziato nella Tabella ...

Il diametro dei massi è stato scelto verificando che il rapporto tra la tensione tangenziale critica dei medesimi e la tensione tangenziale massima derivante dalle modellazioni monodimensionali fosse sempre superiore a 1.

E' da precisare che la distribuzione delle tensioni tangenziali è strettamente legata alla forma della sezione. Infatti è prossima a quella media solo quando la sezione è larga rispetto al tirante idrico e approssimativamente rettangolare. Un esempio della distribuzione delle tensioni tangenziali per una sezione trapezia, di dimensioni modeste, è raffigurato nella figura seguente, dove  $\tau_0$  rappresenta la tensione tangenziale media nella sezione.

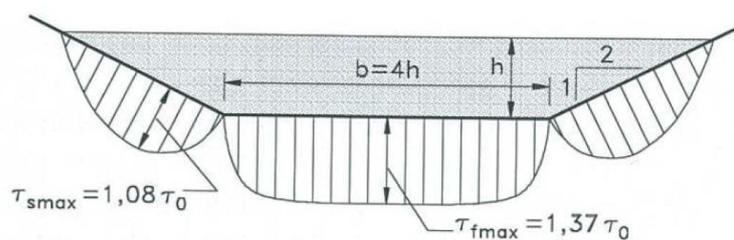


Figura 15: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia

Il valore della tensione tangenziale massima sul fondo e sulle sponde, in una sezione, può essere ottenuto applicando al valore medio i fattori correttivi ricavati dagli abachi sperimentali di Figura 14, in funzione del rapporto tra base della sezione e altezza del tirante idrico ( $b/h$ ) e dell'inclinazione della sponda. Nel caso specifico, essendo l' alveo a sezione trapezoidale con un rapporto  $b/h$  minore di 8, sono state calcolate le tensioni massime al fondo e sulle sponde applicando i parametri correttivi, precedentemente indicati, al massimo tra i valori medi ottenuti dalle simulazioni monodimensionali nelle sezioni oggetto di sistemazione.

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO												
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO												
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF2R</td> <td>3.2.E.ZZ</td> <td>RI</td> <td>ID.00.0.2.005</td> <td>C</td> <td>26 di 35</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	26 di 35
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	26 di 35								

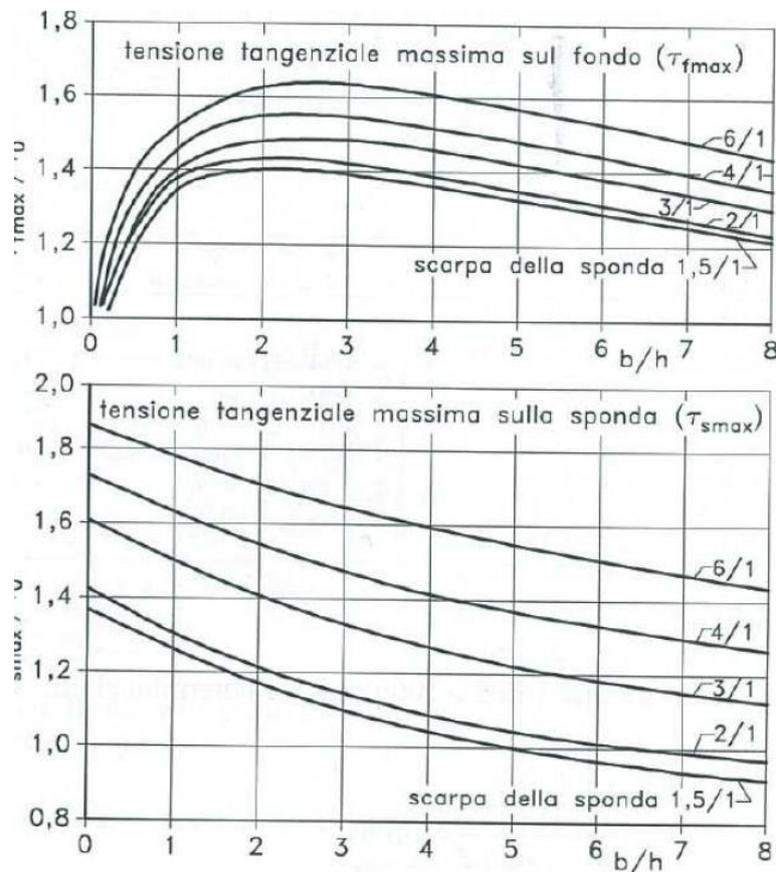


Figura 16: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima

La verifica di stabilità degli interventi in progetto può essere condotta impiegando le formule della teoria di Shields per il moto incipiente delle particelle solide del materiale d'alveo, sottoposte all'azione della corrente idrica. La relazione di dipendenza dello sforzo tangenziale critico  $\tau_{cr}$  dalle caratteristiche idrauliche della corrente è la seguente:

$$\frac{\tau_{cr}}{\gamma_s - \gamma_w \cdot d} = \theta_{cr} \quad (1)$$

Dove:

$\theta_{cr}$  è funzione del numero di Reynolds e vale circa 0,1;

$\gamma_s$  peso specifico del sedimento assunto  $26000 \text{ N/m}^3$  (roccia silicea);

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 27 di 35

$\gamma_w$  peso specifico dell'acqua assunto  $10000 \text{ N/m}^3$ ;

$d$  è il diametro medio delle particelle costituenti il materiale di rivestimento in  $mm$ .

Nei casi in cui vi è presenza di bassa sommergezza dei massi, ossia il rapporto tra tirante e diametro era inferiore a 6, è stato invece applicato al criterio di shields il fattore correttivo di Armanini e Scott.

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0.06 \cdot \left[ 1 + 0.67 \cdot \left( \frac{d}{h} \right)^{0.5} \right]$$

Con :

$h$  tirante idrico.

Poiché le relazioni indicate valgono nel caso di fondo piano, la tensione tangenziale critica sulle sponde è stata calcolata applicando il criterio di Lane, ossia applicando un fattore correttivo pari a:

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \cdot \left[ \cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{tg^2 \alpha}{tg^2 \varphi}} \right]$$

Dove:

$\tau_{cr}(\alpha)$  è la tensione tangenziale critica sulla sponda

$\tau_{cr}(0)$  è la tensione tangenziale critica sul fondo

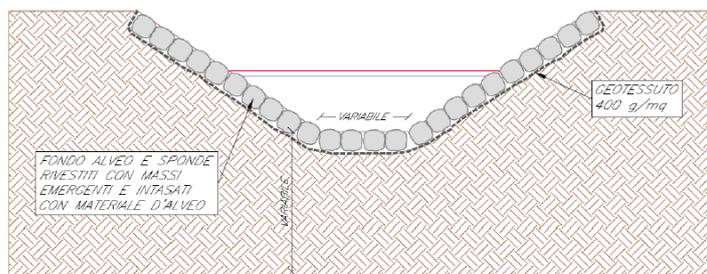
$\alpha$  l'angolo di inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale

$\varphi$  l'angolo d'attrito dei massi assunto pari a  $60^\circ$

Tra il terreno naturale e i massi è prevista la posa di un geotessuto di massa non inferiore ai  $400 \text{ gr/m}^2$ , prevedendo uno strato di allettamento in sabbia al fine di non danneggiarlo durante le operazioni di posa.

Nella figura seguente è riportata una sezione tipo della sistemazione prevista.

APPALTATORE: <b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 28 di 35



N.B.: PREVEDERE STRATO DI ALLETTAMENTO IN SABBIA PER I MASSI

Figura 17: Sezione tipo protezione

## 5.2 RISULTATI

Nella tabella seguente sono riportati i dati utilizzati per la verifica della sistemazione in progetto, quali la larghezza al fondo  $b$ , il tirante  $h$ , la tensione tangenziale massima riscontrata con il modello monodimensionale nelle sezioni oggetto di sistemazione  $\tau_{\max}$ , la tensione tangenziale massima al fondo per sezioni trapezie  $\tau_{\max \text{ fondo}}$  e la tensione tangenziale massima sulle sponde  $\tau_{\max \text{ sponde}}$  calcolate applicando i coefficienti riportati nella Figura 16: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima.

Corso d'acqua	PK	$b$ [m]	$h$ [m]	$\tau_{\max}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_{\max \text{ fondo}}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_{\max \text{ sponde}}$ [N/m <sup>2</sup> ]
Vallone del Fangara	45+761	4	1.02	203.63	264.7	183.3

Tabella 4: Tabella dei dati di input per la verifica della sistemazione idraulica

Nella tabella seguente sono invece riportati i risultati della verifica della protezione al fondo previste in massi, in particolare: il nome del corso d'acqua, la progressiva dell'attraversamento ferroviario, il diametro dei sedimenti  $d$ , il coefficiente di Shields corretto nel caso di bassa sommergenza  $f$ , l'angolo delle sponde rispetto al piano orizzontale  $\alpha$ , la tensione tangenziale critica al fondo  $\tau_{cr \text{ fondo}}$ , la tensione tangenziale critica sulle sponde  $\tau_{cr \text{ sponde}}$  e i relativi coefficienti di sicurezza (cioè il rapporto tra  $\tau_{cr \text{ fondo}}$  e  $\tau_{\max \text{ fondo}}$ , e tra  $\tau_{cr \text{ sponde}}$  e  $\tau_{\max \text{ sponde}}$ ).

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 29 di 35

Dai risultati emerge che le opere di protezione sono verificate in quanto il coefficiente di sicurezza è superiore a 1.

Corso d'acqua	PK	d [m]	f [m]	$\alpha$ sponde [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_{cr}$ fondo [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_{cr}$ sponde [N/m <sup>2</sup> ]	$\tau_{cr}$ fondo	$\tau_{cr}$ sponde
							$\tau_{max}$ fondo	$\tau_{max}$ sponde
Vallone del Fangara	45+761	0.7	0.09	45	1044.9	603.4	3.94	3.29

Tabella 5: Verifica protezione al fondo e alle sponde in massi

Oltre alla verifica in termini di trascinamento del fondo e delle sponde, è stata effettuata la verifica in termini di velocità, confrontando la velocità media lungo la sistemazione con la velocità critica e la velocità limiti ammissibile per il materiale utilizzato nel rivestimento del fondo e delle sponde.

Per la velocità critica si intende quella massima sopportabile dal rivestimento senza avere movimenti del pietrame e per la velocità limite si intende quella, ancora accettabile, che determina deformazioni contenute per insaccamento del pietrame.

Facendo riferimento ai valori di velocità critica e di velocità limite dedotti sperimentalmente e pubblicati da alcune ditte produttrici, si riporta di seguito i risultati ottenuti:

Velocità media corrente (m/s)	Velocità critica rivestimento massi sciolti (m/s)	Velocità limite rivestimento massi sciolti (m/s)
$V_m$	$V_c$	$V_l$
11.93	6.40	8.00

Tabella 6: Verifica velocità limite del materiale di rivestimento

Dai risultati emerge che le opere di protezione non sono verificate in quanto la velocità media lungo la sistemazione risulta minore della velocità limite. Per tale motivo è stato previsto di proteggere le zone in prossimità degli attraversamenti di progetto mediante massi legati, avendo una resistenza maggiore rispetto ai massi sciolti, grazie alla presenza di una fune spiroidale in acciaio.

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 30 di 35

## 6 CANTIERIZZAZIONE

Per la realizzazione del viadotto in progetto, è necessario prevedere un by pass provvisorio del Vallone del Fangara. Il by pass ha una lunghezza di circa 150 m, ed è composto da 1 tubazione ARMCO Ø2500, come rappresentato nella figura seguente.

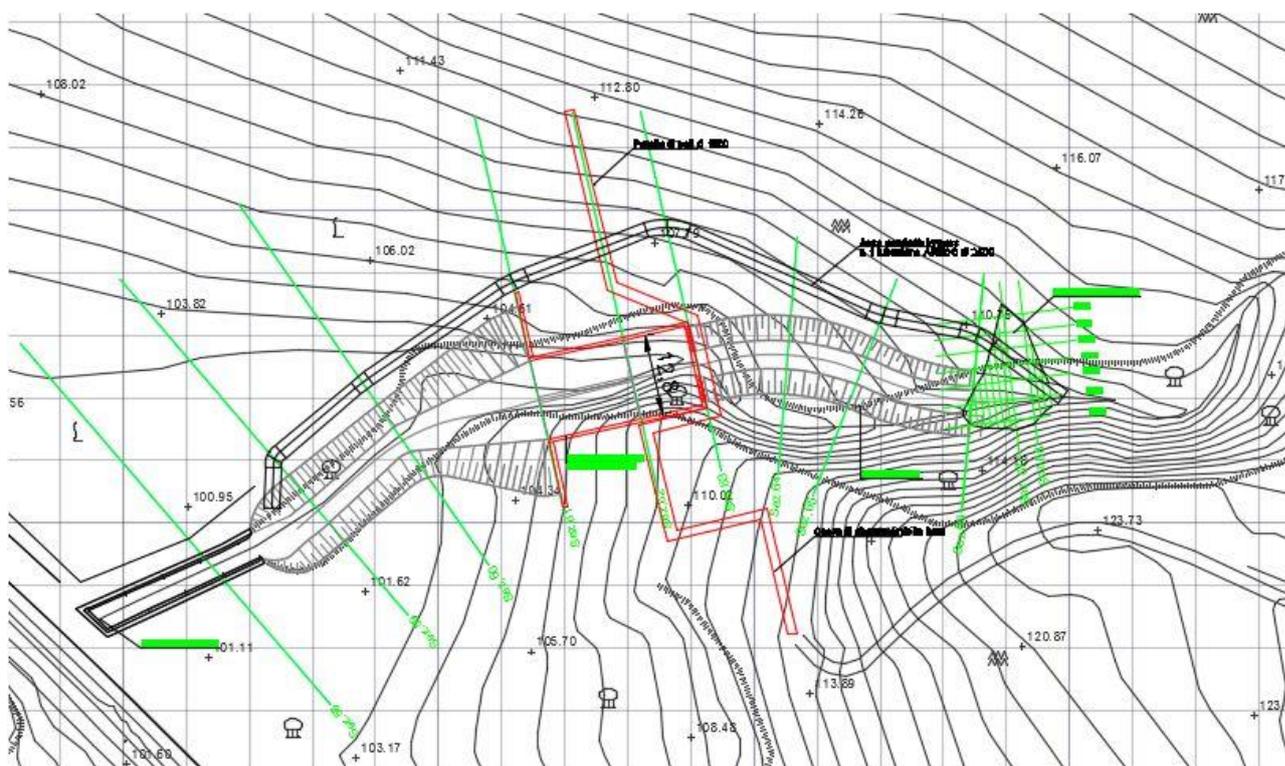


Figura 18: By pass provvisorio IN 24

### 6.1 PORTATA DI CANTIERE

Si procede dunque con la determinazione della cosiddetta portata di cantiere ai fini del dimensionamento della sezione idraulica by pass provvisorio.

La presenza di un cantiere in alveo è strettamente connessa alla possibilità che durante l'esecuzione dei lavori si verifichi una piena con un colmo di portata superiore alla capacità di deflusso della sezione adottata; ciò comporterebbe un allagamento del cantiere nella migliore delle ipotesi.

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 31 di 35

In relazione al tempo di ritorno della piena di progetto, il criterio da utilizzare è che la probabilità che tale piena venga raggiunta o superata nel periodo di realizzazione dell'opera non sia superiore alla probabilità che tale portata venga raggiunta o superata durante l'intera vita utile dell'opera.

Tale definizione richiama il concetto di "rischio idraulico". Il rischio idraulico, all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, è espresso come segue:

$$R_i = 1 - \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right)^N$$

In cui

- Ri = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;
- TR = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);
- N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

Con riferimento alla classificazione contenuta nelle "Norme tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008), per l'opera in progetto è stata imposta una vita utile pari a 100 anni (per vita utile nominale di un'opera strutturale si intende il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata").

Le prescrizioni ferroviarie, come anzidetto, prevedono che la verifica idraulica sia condotta per un tempo di ritorno pari a 200 anni; in definitiva, il rischio idraulico risulta essere pari a  $R_i = 0.394$ . Imponendo per le opere provvisorie lo stesso rischio idraulico definito per l'opera finita, è possibile determinare il tempo di ritorno dell'evento di piena di riferimento per la fase transitoria di cantiere tramite la seguente formula:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right)^N}$$

nella quale:

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 32 di 35

- C = durata di costruzione (anni);
- N = durata dell'opera (anni);
- $T_R$  = tempo di ritorno di progetto (anni).

Il periodo in cui si avrà un'interferenza delle aree di cantiere con il corso d'acqua in esame è stato stimato pari ad 122 giorni.

Si ricava, dunque, un tempo di ritorno dell'evento di piena di cantiere pari a  $T_R = 1.29$  anni. Con riferimento alla relazione idrologica (elaborato IFR02EZZRIID0000001A), anche la portata di cantiere è stata stimata mediante la relazione precedentemente introdotta; il coefficiente di crescita associato ad un tempo di ritorno di 1.29 anni è pari a  $K_T = 0,74$  da cui:  $Q_{1,2} = 6.53 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6.2 VERIFICA IN MOTO UNIFORME TUBAZIONE PROVVISORIA

Si procede all'individuazione della sezione idonea allo smaltimento della portata di cantiere ( $6.53 \text{ m}^3/\text{s}$ ), attraverso un sistema di by pass che consente di deviare temporaneamente il corso dell'acqua e consentire lo svolgimento delle lavorazioni in sicurezza.

Nella tabella seguente si riporta la verifica della tubazione impiegata nella deviazione provvisoria. Il by-pass del Vallone del Fangara è simulato da 1 tubazione tipo ARMCO DN 2500.

APPALTATORE:	<b>TELESE</b> S.c.a r.l. Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>						
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>						
Mandatario:	Mandante:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	
SYSTRA S.A.	SWS Engineering S.p.A.	SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	IF2R	3.2.E.ZZ	RI	ID.00.0.2.005	C	33 di 35
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica								

ALTEZZA DI MOTO UNIFORME:	1.28	m
PENDENZA:	0.007090	m/m
PORTATA:	6.53	mc/s
VELOCITA':	2.59	m/s
ALTEZZA CINETICA:	0.34	m
ENERGIA SPECIFICA:	1.62	m
ALTEZZA CRITICA:	1.15	m
PENDENZA CRITICA:	0.010072	m/m
AREA BAGNATA:	2.52	mq
CONTORNO BAGNATO:	3.98	m
RAGGIO IDRAULICO:	0.634	m
LARGHEZZA IN SUPERFICIE:	2.50	m
NUMERO DI FROUDE:	0.82	
TIPO ALVEO:	debole pendenza	
GRADO DI RIEMPIMENTO:	51.10	%

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SYSTRA S.A. Mandante: SWS Engineering S.p.A. SYSTRA-SOTECNI S.p.A.	PROGETTO ESECUTIVO					
SISTEMAZIONI IDRAULICHE Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	COMMESSA IF2R	LOTTO 3.2.E.ZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID.00.0.2.005	REV. C	FOGLIO 34 di 35

### 6.3 DESCRIZIONE DELLA DEVIAZIONE PROVVISORIA

La continuità idraulica del fosso del Fangara durante l'esecuzione dei lavori viene garantita da una tubazione DN 2500 che deriva le portate massime attese a monte delle opere in progetto, configurando quindi le condizioni operative di sicurezza necessarie.

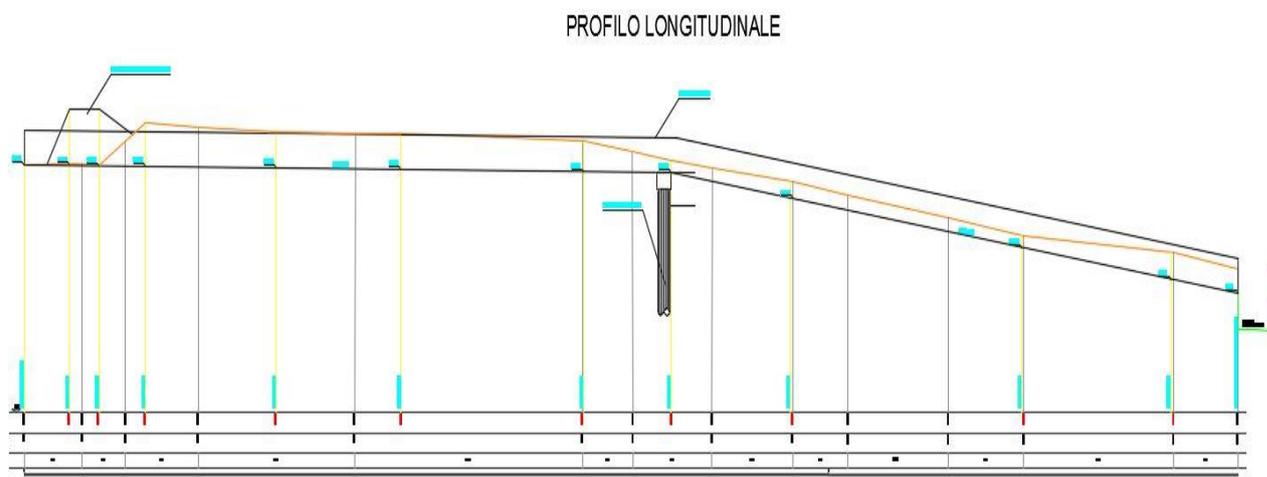


Figura 19: Profilo by-pass

Dal punto di vista realizzativo, l'intervento può essere articolato su un totale di 6 macro-fasi realizzative.

La descrizione in dettaglio della fasizzazione è la seguente:

- **FASE 1:** Realizzazione della paratia di pali,  $\Phi 1500$ , prevista per la stabilizzazione dell'area di intervento, collegati dal cordolo sommitale;
- **FASE 2:** Realizzazione di uno scavo a sezione trapezia al fine di inserire il by-pass previsto;
- **FASE 3:** Realizzazione di uno sbarramento in terra del fosso del Fangara;
- **FASE 4:** Realizzazione del by-pass in dx idraulica (Figura 18), in quanto la morfologia del terreno risulta meno acclive e di più facile accesso, per un tratto di circa 150 m con una quota di imbocco pari a 108.0 m s. m. e una quota di sbocco pari a 98.67 m s.m. seguito da un salto di circa 2.50 nel canale esistente a quota 96.08 m s.m. La tubazione inserita all'interno dello scavo è caratterizzata da un primo tratto a pendenza dello 0.70 % in considerazione della presenza della paratia di pali prevista e da un secondo tratto con pendenza dello 12.40%;

APPALTATORE: <b>TELESE S.c.a r.l.</b> Consorzio Telese Società Consortile a Responsabilità Limitata	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO</b> <b>3° SUBLOTTO TELESE – SAN LORENZO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario:      Mandante: <b>SYSTRA S.A.</b> <b>SWS Engineering S.p.A.</b> <b>SYSTRA-SOTECNI S.p.A.</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>SISTEMAZIONI IDRAULICHE</b> Vallone del Fangara – IN24 – Relazione idraulica	<b>COMMESSA</b> IF2R	<b>LOTTO</b> 3.2.E.ZZ	<b>CODIFICA</b> RI	<b>DOCUMENTO</b> ID.00.0.2.005	<b>REV.</b> C	<b>FOGLIO</b> 35 di 35

- **FASE 5:** Realizzazione dell'attraversamento in progetto IN24 e sistemazione idraulica prevista;
- **FASE 6:** Rimozione by-pass.