



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

IDROLOGIA E IDRAULICA - OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE

Viadotto Frattina 1

SF11 Relazione idrologica e di studio idraulico

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	ID	RT21	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PVIDRT21_60_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti :

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria



via Flaminia 71 - 00196 Roma
tel: 06 32609519
e-mail: info@facesrl.com
pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:



E&G s.r.l.
ENVIRONMENT & GEOTECHNIC
STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile
Ing. Antonio Ambrosi



Il Geologo
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di Esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: _____ PROTOCOLLO: _____

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **L O 4 1 0 C E 1 1 0 1**

Dott. Ing. Luigi Mupo

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
4	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO	6
4.1	APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI	6
4.1.1	Determinazione del parametro CN	10
4.1.2	Calcolo del coefficiente di deflusso	14
4.1.3	Calcolo della portata di progetto.....	15
5	SOFTWARE UTILIZZATI	16
5.1	Metodologia di calcolo Software HEC-RAS	17
6	RISULTATI DELLE ANALISI	22
6.1	Risultati modellazione idraulica.....	22
6.2	Verifica degli interventi di protezione delle pile	41
7	CONCLUSIONI	48

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la “*Relazione Idrologica e Studio Idraulico*” relativa all’opera di regimazione fluviale SF11, in corrispondenza del Viadotto Frattina 1.

A seguito degli eventi alluvionali del Novembre 2018, l’area in esame è stata sede di intensi fenomeni di dissesto che hanno portato al danneggiamento e alla rimozione dei materassi Reno e dei gabbioni posti a protezione delle pile del viadotto. Suddetti eventi hanno altresì causato importanti fenomeni di erosione e trasporto solido, modificando localmente le condizioni di deflusso ed aumentando il potenziale erosivo del corso d’acqua soprattutto in corrispondenza delle pile del viadotto.

Alla luce dei danni provocati dagli eventi del Novembre 2018, si propone, nel presente Progetto di Variante n. 3, un intervento di protezione dell’alveo e delle sponde mediante rivestimento in scogliere di massi cementati, corredato dalla protezione mediante gabbioni delle pile esterne all’alveo principale.

L’intervento mediante le scogliere ha la finalità di ridurre il potenziale erosivo del corso d’acqua e sarà integrato con la realizzazione di due soglie realizzate con massi cementati nel tratto compreso tra le pile 1 e 2, tratto nel quale sono stati osservati i fenomeni di dissesto ed erosione di maggiore entità.

La modellazione idraulica è stata svolta con l’ausilio del codice di calcolo HEC-RAS 5.0.5 con riferimento alla portata avente tempo di ritorno 300 anni.

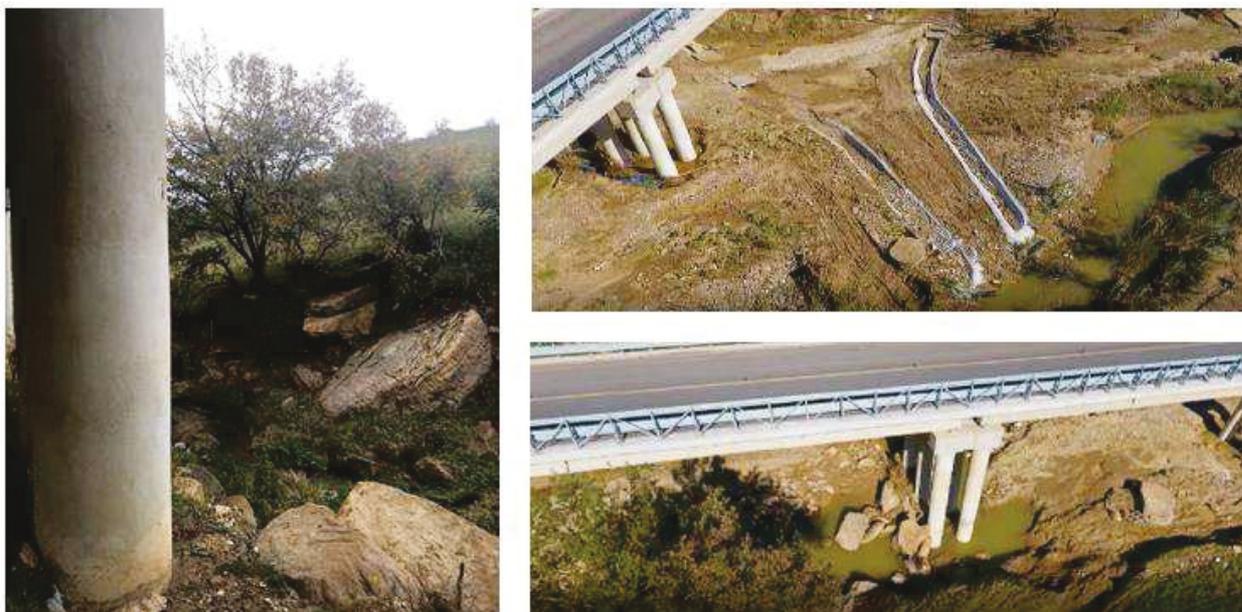


Figura 1: Danneggiamenti in corrispondenza di VE02 a seguito degli eventi di Novembre 2018

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico



Figura 2: Condizione attuale del Vallone frattina in prossimità della Pila 2 a seguito degli eventi di Novembre 2018



Figura 3 Fenomeni di dissesto a monte del viadotto

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”.

3 DESCRIZIONE DELL’OPERA

L’opera di regimazione fluviale SF11 prevede la realizzazione di n. 4 tratti di scogliera in massi cementati a rivestimento dell’alveo e delle sponde del torrente Frattina, in corrispondenza ed in prossimità delle pile del viadotto Frattina 1.

Il tratto 1 presenta un’estensione lineare di circa 180 m di cui circa 100 m a monte del viadotto; lungo tale tratto, perpendicolarmente alla direzione dell’alveo, sono previste due soglie in massi cementati al fine di diminuire ulteriormente il potenziale erosivo del corso d’acqua nei tratti a monte delle pile 1 e 2.

I tratti 2, 3, 4 sono ubicati rispettivamente in corrispondenza delle pile n.5, n.12 e n.15 e presentano un’estensione lineare di circa 40 m. Nel tratto 2 è prevista una scogliera fuori alveo in sinistra idraulica al fine di alzare la quota della sponda e garantire il contenimento della piena di progetto in alveo (vedasi elaborati grafici di progetto).

A corredo, sono previsti interventi di rivestimento in gabbioni per le pile lambite dalle esondazioni causate dalle portate di piena, ma non a contatto con la corrente fluida in condizioni ordinarie. Analogamente, è prevista la protezione con n.2 file di gabbioni del rilevato di approccio al viadotto lato Agrigento.

Si riportano nel seguito alcuni stralci esemplificativi dell’opera, rimandando per maggiori dettagli agli elaborati grafici di progetto.

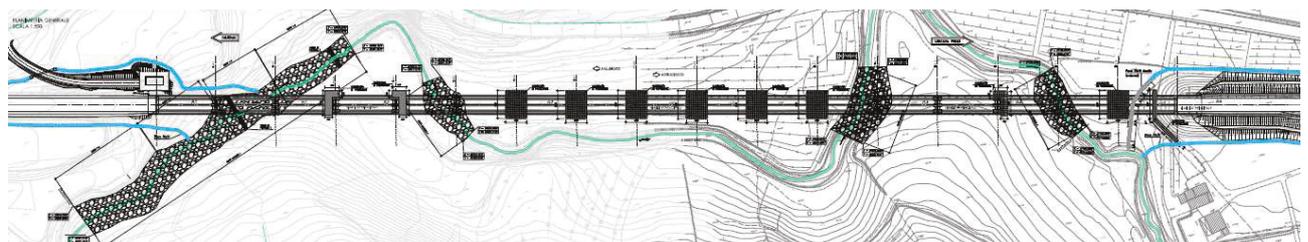


Figura 4: Stralcio planimetrico SF11

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

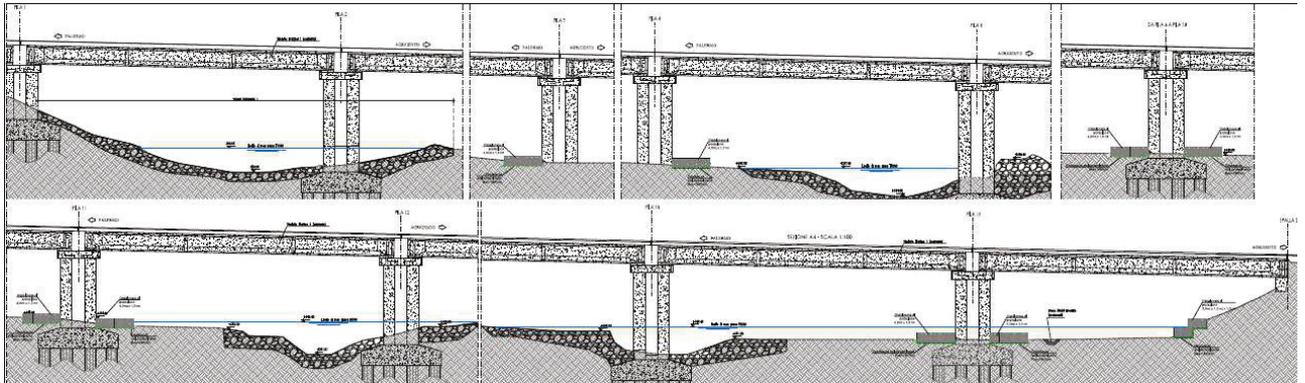


Figura 5: Stralcio sezione trasversale viadotto Frattina 1-SF11

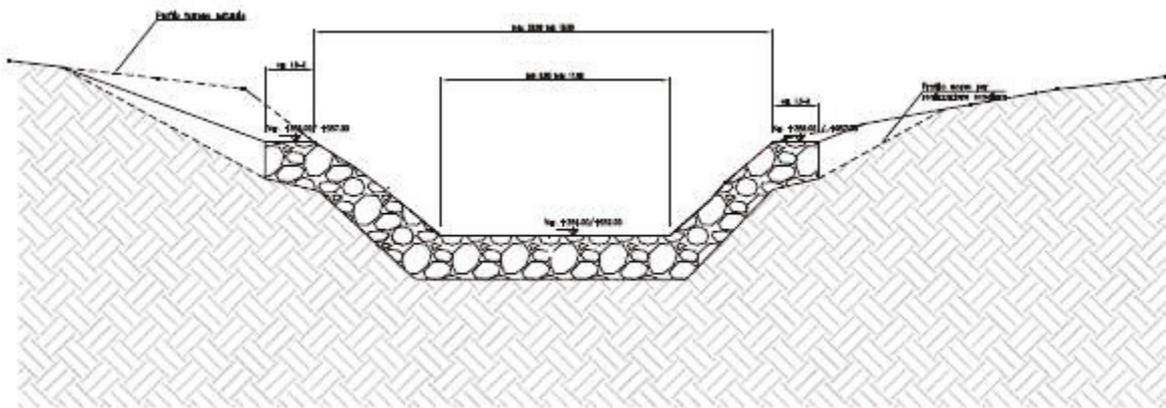


Figura 6: Tipologico sezione scogliera

4 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

Si riporta nel presente paragrafo la metodologia proposta per il calcolo di detta portata del torrente Vallone Frattina.

4.1 APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI

Con riferimento al bacino oggetto di studio, l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche è stata determinata in conformità a quanto previsto dal progetto di valutazione Piene (VaPi) del gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), mediante le procedure di regionalizzazione, secondo le procedure indicate nel rapporto della Regione Sicilia (Ferro e Carnozzo 1993).

La determinazione dell'altezza di pioggia (h), e le relative intensità (i) è stata condotta utilizzando il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola in tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per l'intera regione Sicilia. L'intera regione si ritiene pertanto una zona pluviometricamente omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il secondo livello di regionalizzazione prevede l'individuazione di sottozone omogenee (SZO) all'interno di quella individuata al primo livello. In tali zone risulta costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometricamente omogenee.

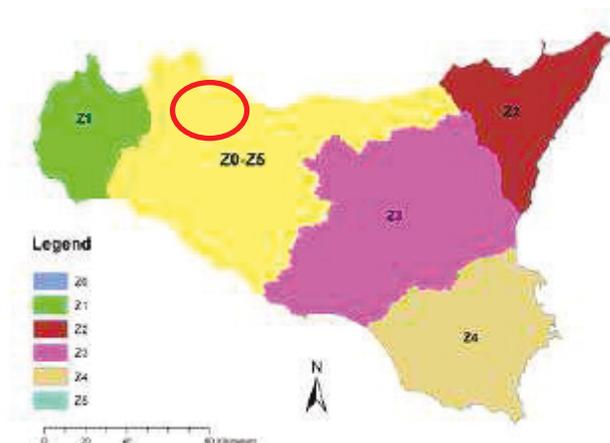


Figura 7: Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h = h(t, T)$, valore dell’altezza di pioggia per fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media della legge TCEV, assume la seguente espressione:

$$K_T = a * \ln(T) + b$$

Dove:

K_T : coefficiente adimensionale di crescita per ogni SZO fissato il tempo d ritorno;

a, b : parametri per le differenti SZO definiti nella tabella seguente.

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
<i>a</i>	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
<i>b</i>	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

Figura 8: Coefficienti a, b per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità (μ) e le grandezze relative al sito di misura, dipendenti dai parametri geografici.

L’espressione della curva di probabilità pluviometria assume quindi la forma:

$$h(t, T) = K_T * \mu(t)$$

Dove:

$h(t, T)$: è l’altezza di pioggia per assegnata durata t e tempo di ritorno T ;

$\mu(t)$: assume per le stazioni pluviografiche siciliane la seguente forma: $\mu(t) = a * t^n$, con a, n tabellati per ogni stazione pluviografica.

Nel presente caso, vista l’ubicazione dell’area oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i valori di a ed n afferenti alla stazione pluviometrica di **Mezzojuso**.

L’espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per il tempo di ritorno pari a 300 anni assume quindi la seguente forma:

$$h(t, T = 300) = 63.24 * t^{0.3415}$$

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tab. 5.III - Valori delle costanti a e n della (5.17) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muro e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarrà e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzocuso	S. Leonardo	20.6	0.3415

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
23	Sambuchi	S. Leonardo	19.5	0.3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22.0	0.3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20.8	0.3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29.3	0.2608
27	Turdiepi (Fattoria)	Eleuterio	21.6	0.3511
28	Lupo	Eleuterio	24.9	0.2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22.2	0.3088
30	Ficuzza Bosco	Eleuterio	24.1	0.3792
31	Marineo	Eleuterio	27.4	0.2979
32	Risalaimi	Eleuterio	24.9	0.3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21.0	0.3054
34	Pioppo	Oreto	27.4	0.4032
35	Altofonte	Oreto	25.0	0.3567
36	Romitello	Tra Oreto e Giancaldara	30.1	0.2972
37	S. Martino delle Scale	Tra Oreto e Giancaldara	28.2	0.3327
38	Montepellegrino	Tra Oreto e Giancaldara	29.5	0.2733
39	Partinico	Tra Oreto e Giancaldara	21.2	0.3120
40	Palermo Ist. Zoot.	Tra Oreto e Giancaldara	25.1	0.2928
41	Palermo Serv. Idr.	Tra Oreto e Giancaldara	28.7	0.3143
42	Palermo Oss. Astr.	Tra Oreto e Giancaldara	22.2	0.2687
43	Palermo Ist. Castel.	Tra Oreto e Giancaldara	23.2	0.3119
44	Isola delle femmine	Tra Oreto e Giancaldara	21.7	0.2968
45	Ginestra	Giancaldara	27.9	0.3874

Figura 9: Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.

All'analisi pluviometrica segue la valutazione della portata al colmo di piena istantanea. Per tale valutazione ci si è riferiti al modello di regionalizzazione proposto dal VaPi Sicilia al terzo livello di

regionalizzazione, utilizzando come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale per la quale:

$$Q = \frac{\psi * I(t_c) * A}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

ψ : Coefficiente di deflusso;

$I(t_c)$: Intensità di precipitazione massima registrata in un intervallo orario pari al tempo di corrivazione del bacino;

A: Area del bacino.

L'area del bacino di pertinenza della zona di studio è stata posta pari a 40.1 km², coerentemente agli studi idrologici presentati nelle precedenti fasi progettuali, i cui contenuti sono stati verificati dallo scrivente a monte della redazione del presente elaborato.

Il tempo di corrivazione del bacino è stato ricavato utilizzando la metodologia indicata dal Vapi della regione Sicilia, per la quale:

$$t_c = 0.35\sqrt{A}$$

Nel caso in esame risulta pertanto:

$$t_c = 2.2 [h]$$

Il valore del coefficiente di deflusso è stato determinato mediante il metodo “Curve Number” proposto dal Soil Conservation Service (1972), metodologia indicata dai rapporti relativi al *P.A.I. per il “Bacino idrografico del fiume Milicia (n.0.34)” “Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia e il bacino del fiume San Leonardo (n.0.35)” “Area territoriale tra il bacino del fiume Milicia ed il bacino del fiume Eleuterio (n.0.36)” “Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)”* (2004 e successivi aggiornamenti). La metodologia completa viene illustrata nel seguente paragrafo.

4.1.1 Determinazione del parametro CN

Il metodo del Curve Number si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda (effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale secondo la relazione:

$$P_{net} = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} [mm] \quad (1)$$

Dove:

S: Massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni sature;

I_a: Perdita iniziale, equivalente al valore limite di altezza di pioggia che può essere trattenuta dal terreno senza che si origini il deflusso.

In assenza di adeguate osservazioni utili il parametro I_a può essere calcolato come:

$$I_a = 0.2 * S \quad (2)$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) [mm] \quad (3)$$

Dove CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e della condizione di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base delle capacità di assorbimento del terreno, ha classificato i vari tipi di suolo in 4 gruppi (A,B,C,D) come indicato nella tabella che segue.

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

Tabella 1 - Metodo SCS-CN Classi di suolo

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di uso del suolo.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<u>Terreno coltivato</u>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<u>Terreno a pascolo</u>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<u>Terreni boscosi o forestati</u>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<u>Spazi aperti, prati rasati, parchi</u>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<u>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</u>	89	92	94	95
<u>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</u>	81	88	91	93
<u>Aree residenziali</u>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<u>Parcheggi, tetti, autostrade</u>	98	98	98	98
<u>Strade</u>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Tabella 2 - Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II)

I valori di CN riportati in tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo intermedia secondo la classifica AMC (Antecedent Moisture Condition). Si assume pertanto che il valore di CN vari in relazione alle condizioni di imbibimento all'atto della piena. Tale stato di imbibimento viene espresso, dalla classificazione AMC, in base ad un indice di altezza di pioggia corrispondente all'altezza cumulata dei 5 giorni precedenti all'evento che si intende considerare (API5).

Noto il valore di CN per le condizioni medie (ACM II), è possibile ricavare il corrispondente valore per le condizioni di interesse secondo le curve di seguito riportate.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

Tabella 3 - Definizione della classe di umidità in base all'indice API₅

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

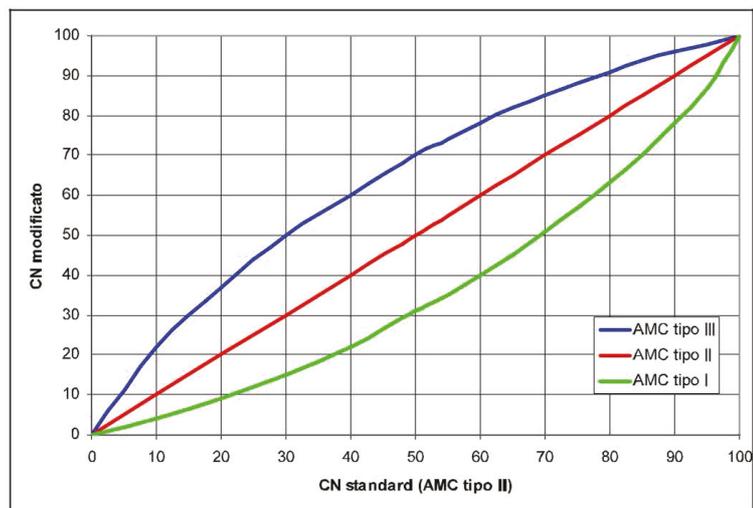


Figura 10 - Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali

Secondo la metodologia sopra descritta, considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 84.

I passaggi principali che hanno condotto all'attribuzione di tale valore del CN vengono di seguito riassunti:

- Superfici con terreni impermeabili pari al 70% —> **GRUPPO D**
- Tipologia di uso del suolo: Terreno coltivato in assenza di pratiche per la conservazione di suolo/Terreno a pascolo/ Spazi aperti —> **CN= 84**
- Classe **AMC** pari a **II** (media)
- $CN_{\text{modificato}} = 84$

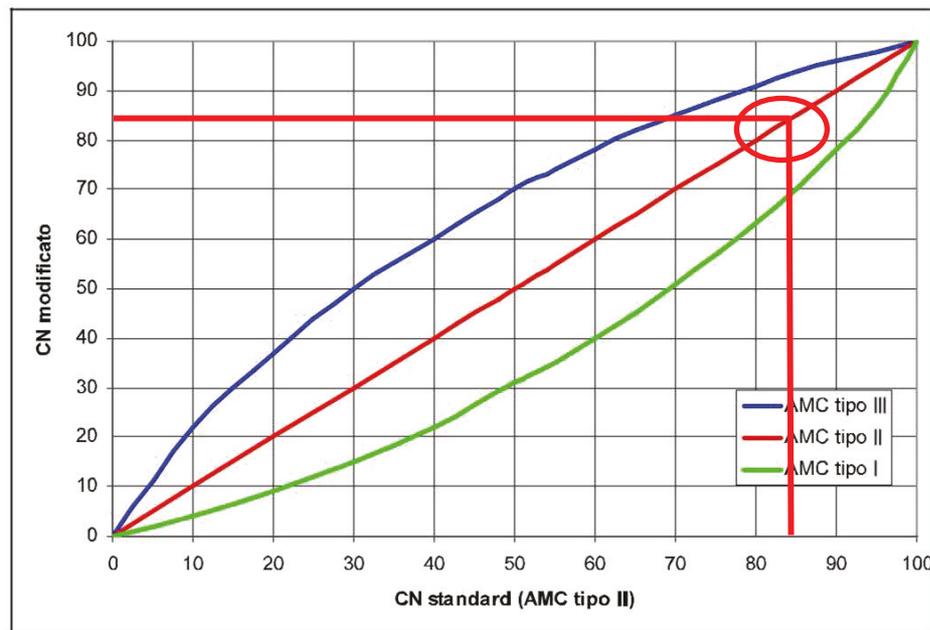


Figura 11 - Procedura grafica per la stima di CN

Il valore di CN così ottenuto risulta in linea con i valori proposti dal rapporto relativo al P.A.I per l'area in esame.

4.1.2 Calcolo del coefficiente di deflusso

La determinazione della pioggia lorda è stata eseguita secondo la metodologia proposta dal VaPi Sicilia, come illustrato nel precedente paragrafo.

Il valore di pioggia lorda, per il tempo di ritorno pari a 300 anni, per il bacino in esame risulta pertanto:

$$h(t_c, T = 300) = 63.24 * 2.2^{0.3415} = 83.0 [mm]$$

Utilizzando le relazioni (1), (2), (3) del paragrafo 8.1.1 si ottengono pertanto i seguenti valori:

- $S = 254 \left(\frac{100}{84} - 1 \right) = 48.4 [mm]$
- $I_a = 0.2 * 48.4 = 9.7$
- $P_{net} = \frac{(83.0 - 9.7)^2}{83.0 - 9.7 + 48.4} = 44.2 [mm]$

Il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

$$\psi = \frac{P_{net}}{P} = 0.53$$

4.1.3 Calcolo della portata di progetto

La portata di progetto con tempo di ritorno trecentennale è quindi stata calcolata sulla base delle metodologie e dei risultati illustrati nei precedenti paragrafi. Applicando pertanto la formula razionale, utilizzando i coefficienti di deflusso calcolati con il metodo SCS, si ottiene per il bacino in esame:

$$Q = 222 \text{ m}^3/\text{s}$$

5 SOFTWARE UTILIZZATI

Per il calcolo delle opere in esame è stato impiegato il software HEC-RAS 5.0.5 della US Army Corps of Engineers.

Per il suddetto software/codice di calcolo si dichiara di aver condotto una valutazione di affidabilità e dell'idoneità al caso specifico di applicazione, attraverso verifiche alternative di controllo sui modelli realizzati ed una validazione critica dei risultati degli stessi mediante analisi semplificate tradizionali, nonché di aver esaminato la documentazione fornita dal produttore o dal distributore sulle modalità e procedure seguite per la validazione dei programmi.

Le sezioni da implementare nel software di calcolo sono state estrapolate seguendo i seguenti criteri:

- In corrispondenza dell'alveo le sezioni risultano perpendicolari allo stesso in condizioni di piena;
- Non deve esserci sovrapposizione delle sezioni;
- Numerazione progressiva a partire dalla prima sezione di valle;
- In corrispondenza dell'attraversamento è necessario tracciare 4 sezioni secondo lo schema di seguito riportato in Figura 12.

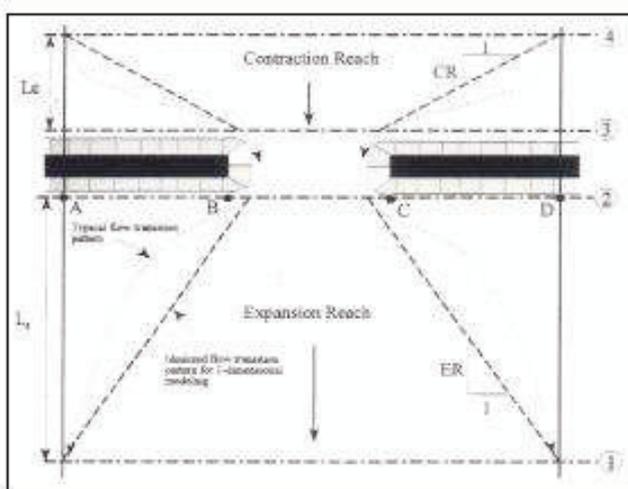


Figura 12 Schema per il tracciamento delle sezioni in corrispondenza di un ponte

La necessità di inserire 4 sezioni per la corretta modellazione dell'attraversamento deriva dal fatto che Hec-Ras valuta le perdite di energia causate da questa struttura in tre parti:

- Dovute all'espansione del flusso che si verifica immediatamente a valle
- Dovute alla contrazione del flusso che si verifica immediatamente a monte
- Dovute all'opera stessa.

Le sezioni 1 e 4 della Figura 12 devono essere tracciate in modo che, rispettivamente a valle ed a monte di esse, il flusso non risenta più della struttura e che le linee di flusso siano approssimativamente parallele. Le lunghezze **Le** ed **Lc** (Length of expansion e length of contraction) dipendono dal grado di restringimento della sezione causato dalla presenza delle pile e dalle spalle del ponte.

L'effetto di “disturbo” della corrente ad opera della presenza dell'attraversamento è stata inoltre simulata mediante l'utilizzo di “Ineffective flow areas” in corrispondenza delle pile.

Allo scopo di tenere in debita considerazione l'angolo di incidenza tra direzione del flusso e l'asse delle pile, sono state modellate *Ineffective flow areas* in corrispondenza delle pile di spessore pari all'effettivo ingombro in senso trasversale alla corrente.

Le soglie sono state modellate come strutture lineari parallele alle sezioni di calcolo (*inline structures*)

Per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati utilizzati i valori di 0,1 e 0,3, valevoli per graduali transizioni, e di 0,3 e 0,5 per le sezioni dei ponti.

Le equazioni che governano la modellazione saranno descritte più nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE HEC-RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center per lo studio delle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo in HEC-RAS è basata sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto monodimensionale;
- moto gradualmente variato;
- distribuzione idrostatica delle pressioni in ciascuna sezione (linee di corrente rettilinee e parallele);
- alvei a debole pendenza ($i < 1:10$);
- perdite di carico continue mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- sponde e fondo delle sezioni fisse (no erosione).

Sotto le predette ipotesi, le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle, a seconda

che il regime sia rispettivamente supercritico o subcritico, risolvendo, con la procedura iterativa dello standard step method, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni ():

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (1)$$

dove, indicando con i pedici 1e 2 le grandezze che si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

- h_1 e h_2 sono le altezze idriche;
- z_1 e z_2 sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato; V_1 e V_2 sono le velocità medie;
- α_1 e α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;
- ΔH è la perdita di carico tra le due sezioni.

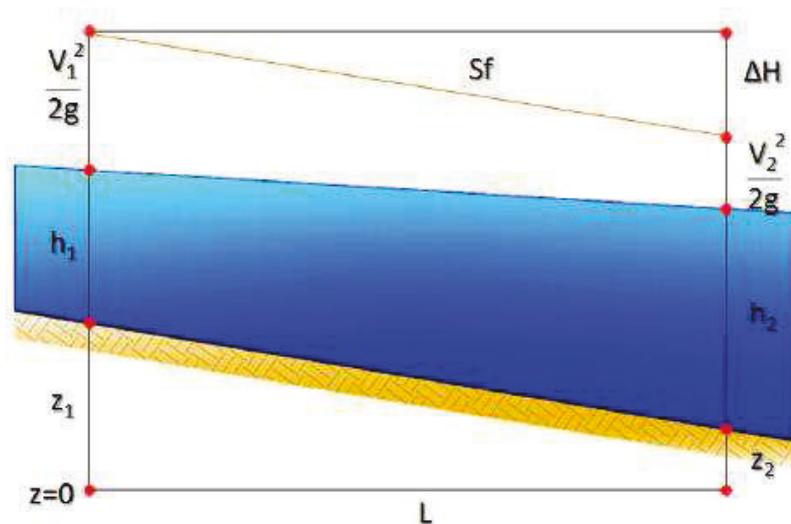


Figura 13 - Conservazione dell'energia, schema di calcolo

L'equazione (1) esprime il ben noto principio per cui la variazione tra due sezioni dell'energia specifica della corrente è pari alle perdite distribuite, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa liquida, ed alle perdite localizzate, in genere dovute alla presenza di strutture in alveo che inizialmente producono un restringimento della corrente e un successivo allargamento con formazione di vortici.

La perdita di carico tra le due sezioni viene, infatti, valutata come la somma di due termini: una componente di attrito h_f , dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning, e una componente h_0 che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico:

$$\Delta H = h_f + h_0 = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

con S_f : cadente della linea dei carichi totali;

C: coefficiente di contrazione ed espansione.

HEC-RAS possiede quattro diverse modalità per la valutazione della cadente media S_f :

1. Trasporto medio valutato tra le sezioni 1,2;
2. Media aritmetica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
3. Media geometrica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
4. Media armonica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni, a meno di indicazioni diverse da parte dell'utente. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata dal moto in tre zone principali: zona golenale sinistra (LOB, left overbank), alveo ordinario (CH, channel), zona golenale destra (ROB, right overbank). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente nelle tre zone. La lunghezza mediata del tratto viene quindi calcolata come:

$$L = \frac{L_{LOB} \cdot \overline{Q}_{LOB} + L_{CH} \cdot \overline{Q}_{CH} + L_{ROB} \cdot \overline{Q}_{ROB}}{\overline{Q}_{LOB} + \overline{Q}_{CH} + \overline{Q}_{ROB}} \quad (3)$$

Con:

L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB} : lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra, alveo ordinario e area golenale destra;

Q_{LOB}, Q_{CH}, Q_{ROB} : portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, alveo ordinario e golena destra.

Per illustrare lo standard step method utilizzato da HEC-RAS per la soluzione dell'equazione (1) si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie libera della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono h_1, V_1 e ΔH . V_1 è desumibile direttamente dal valore di h_1 , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed

espressa da $h_e = h_f + h_o$, per poter ottenere una soluzione. Stante la tipologia delle equazioni, la ricerca della soluzione sarà del tipo "trial and error", per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti:

- Viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi, $\Delta h = (Q/K)^2 L$, dove Δh rappresenta la variazione nella quota del pelo libero, Q è la portata, K il termine di trasporto e L la distanza dalla sezione a monte;
- Sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- Con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di h_e ;
- Con il valore calcolato di h_e , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;
- Viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza (di default pari a 3 mm), il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche.

In corrispondenza di particolari situazioni localizzate, per le quali il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato, come avviene in corrispondenza di ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici ecc. (passaggio attraverso lo stato critico), per il calcolo dei profili idrici viene utilizzata l'equazione di bilancio della quantità di moto:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = M_1 - M_2 \quad (4)$$

Dove:

- P_1 e P_2 sono le spinte agenti in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;
- W_x è la componente della forza peso del volume di controllo nella direzione del moto; F_f è la forza resistente dovuta all'attrito;
- M_2 e M_1 sono i flussi della quantità di moto entranti ed uscenti dalle sezioni 2 e 1.

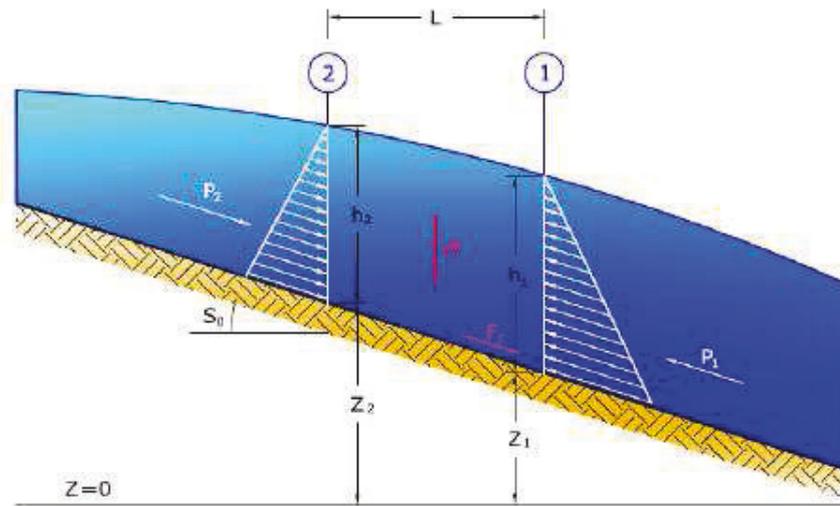


Figura 14 - Conservazione della quantità di moto, schema di calcolo

Esplicitando i vari termini si ottiene la formula funzionale dell'equazione di conservazione della quantità di moto utilizzata da HEC-RAS:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot \Sigma_2} + \Sigma_2 \cdot h_2 + \left(\frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot \overline{S_f} = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot \Sigma_1} + \Sigma_1 \cdot h_1$$

6 RISULTATI DELLE ANALISI

6.1 RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA

Nel modello idraulico realizzato sul torrente Frattina sono state considerate n.36 sezioni di calcolo in corrispondenza della sistemazione fluviale SF 11.

Sull'intero tratto è stato utilizzato un coefficiente di Manning pari a 0.03 valevole sia per i tratti in scogliera che per gli alvei in condizioni ordinarie.

Per la determinazione della portata di progetto si veda il par. 4 della presente relazione.

Dalla planimetria del torrente Frattina nell'area di interesse si può notare come il viadotto costituisca attraversamento vero e proprio del corso d'acqua in 4 punti (dove l'intervento prevede il rivestimento con scogliere in massi cementati), i due viaggino con direzione sub parallela in corrispondenza delle pile da 6 a 10 (sez HEC-RAS da 1101.21 a 964.14), e nelle zone intermedie tra i tratti di scogliera 1-2 e 3-4 il tracciato del corso d'acqua presenti un andamento più curvo e meandriforme che si discosta planimetricamente dal viadotto.

Al fine di analizzare le altezze idrometriche e le velocità in corrispondenza di tutte le pile, la modellazione dell'interferenza tra il corso d'acqua ed il viadotto è stata condotta secondo la metodologia di seguito illustrata:

- 4 elementi *Bridge* in corrispondenza degli attraversamenti;
- Elementi tipo *Ineffective Flow Area* per simulare la presenza delle pile da 6 a 10 dove il corso d'acqua ed il viadotto hanno un andamento sub-parallelo;
- Elementi tipo *Ineffective Flow Area* per le pile 1,3,11 e 14 al fine di verificare la congruenza con i risultati ottenuti in corrispondenza del viadotto (necessità di verifica dettata dalla monodimensionalità del modello);
- Elemento tipo *Ineffective Flow Area* per la pila 13, non interessata da interventi di protezione.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico



Figura 15 Ubicazione planimetrica sezioni di calcolo in corrispondenza della sistemazione SF11

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalla modellazione in forma grafica ed in forma tabellare.

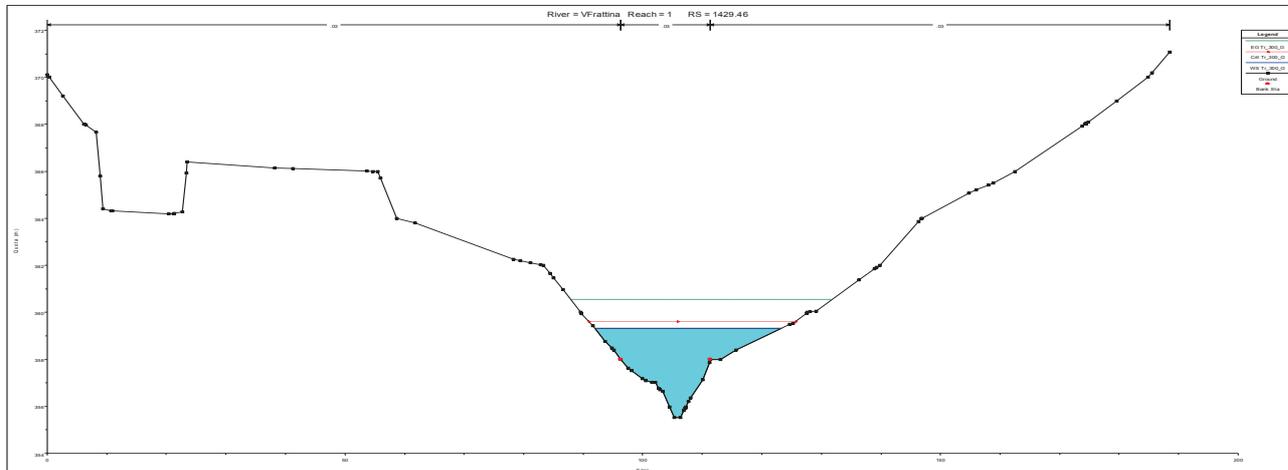


Figura 16- River station 1429.46 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

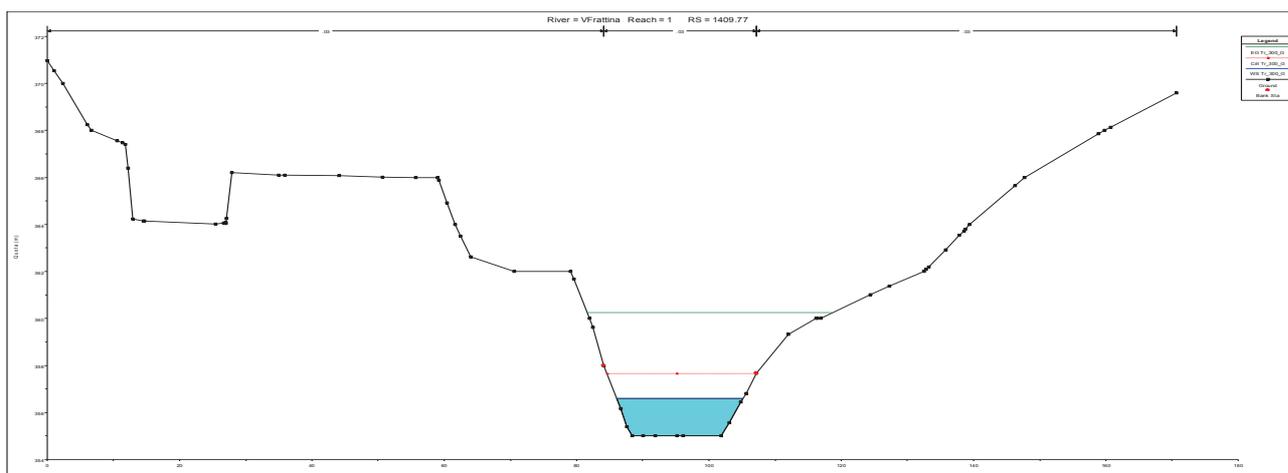


Figura 17- River station 1409.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

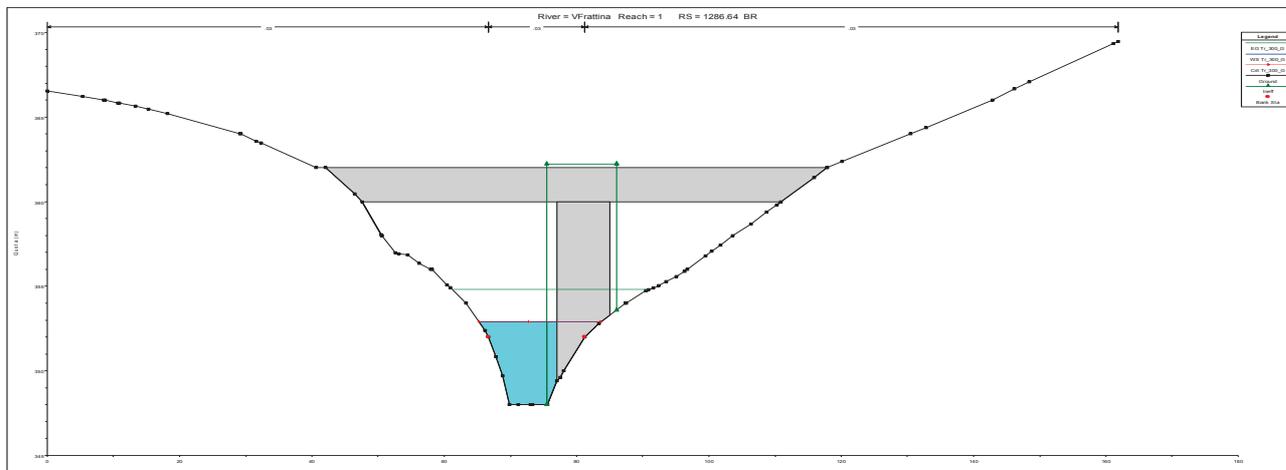


Figura 24- River station 1286.64U del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

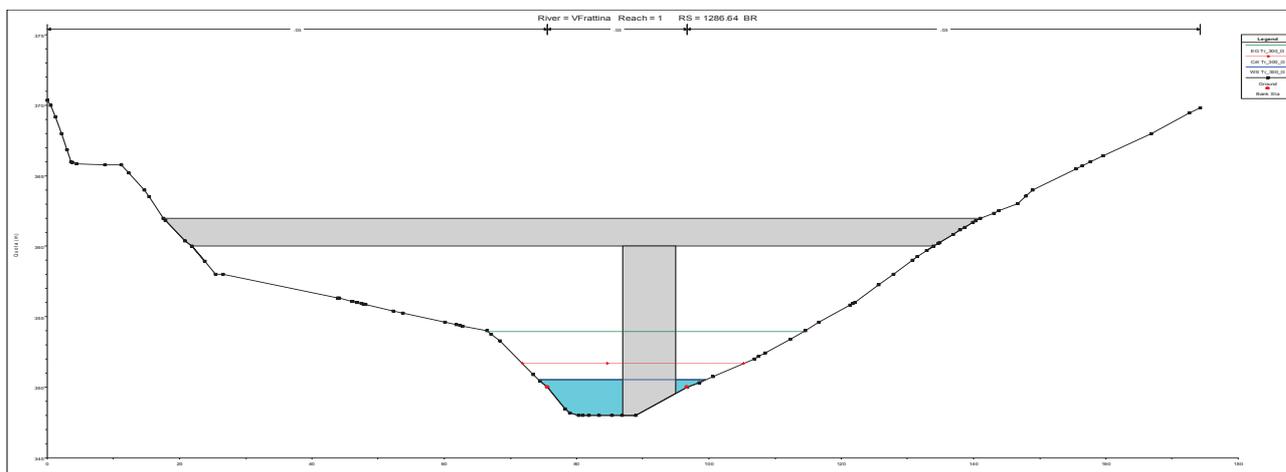


Figura 25- River station 1286.64D del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

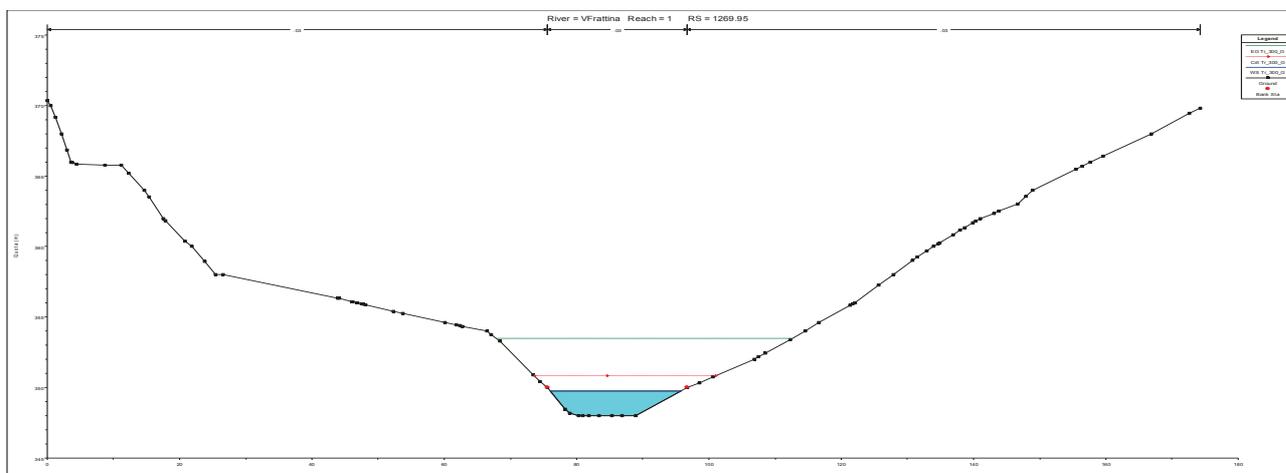


Figura 26- River station 1269.95 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

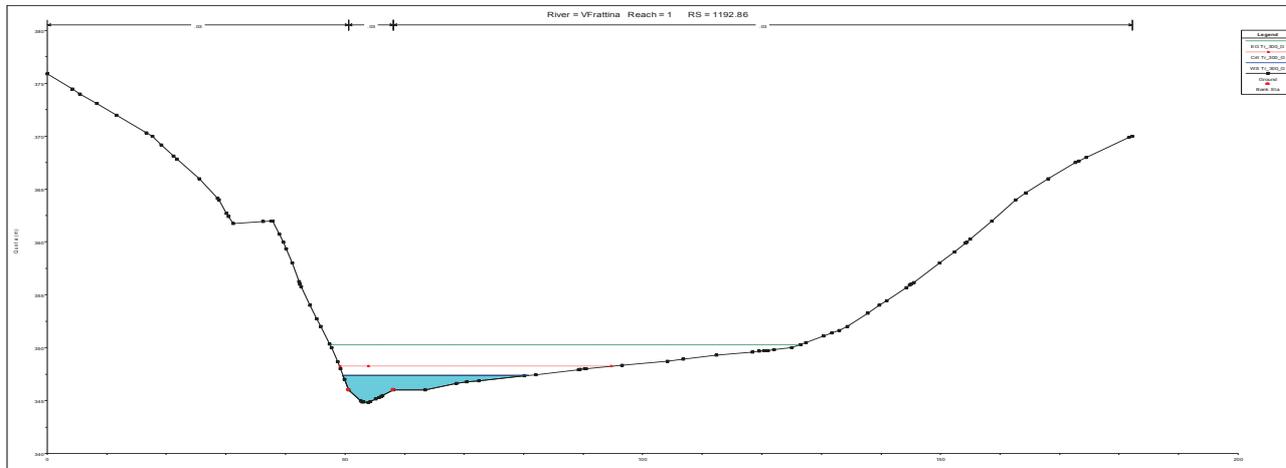


Figura 30- River station 1192.86 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

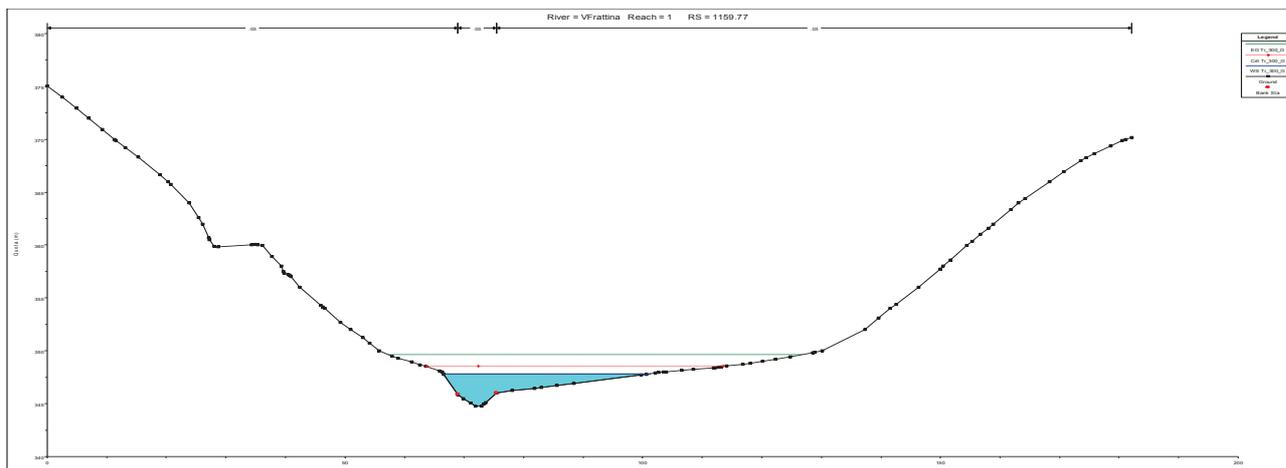


Figura 31- River station 1159.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

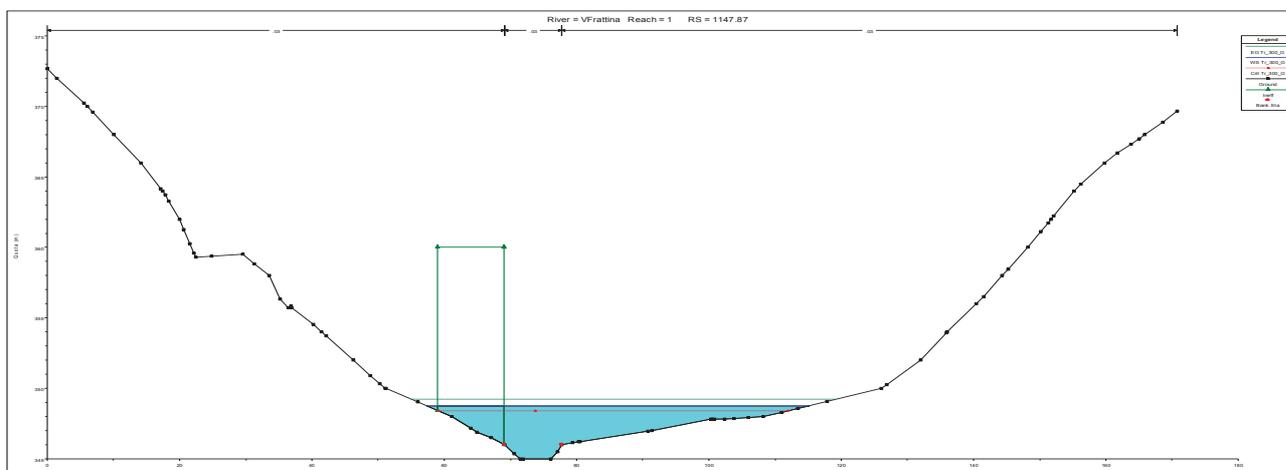


Figura 32- River station 1147.87 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

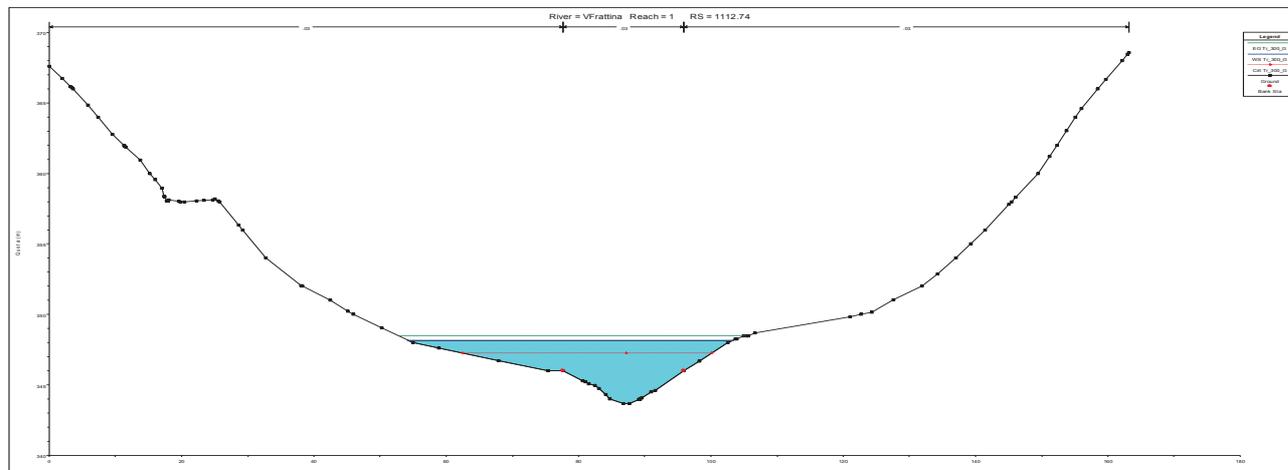


Figura 36- River station 1112.74 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

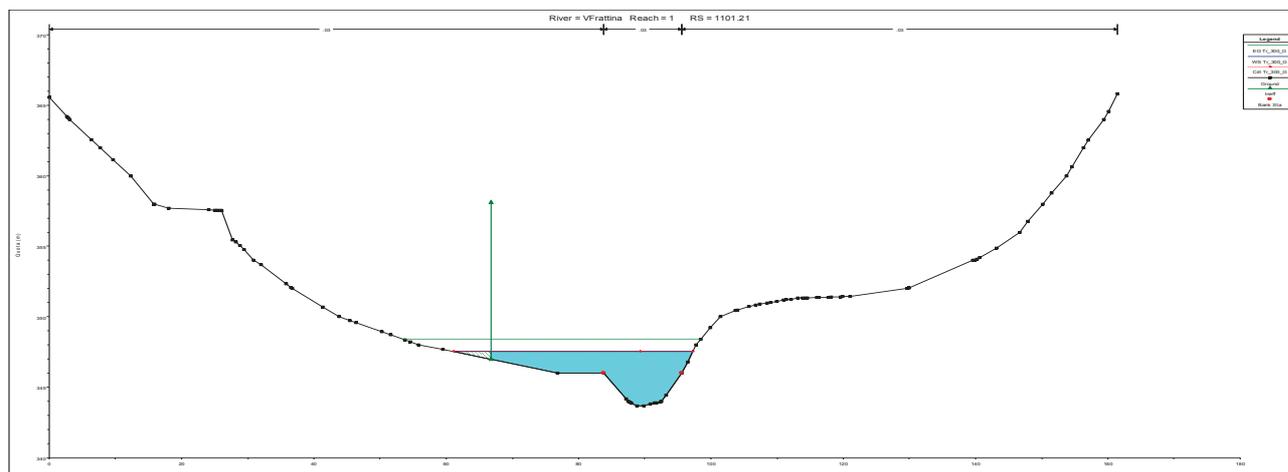


Figura 37- River station 1101.21 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

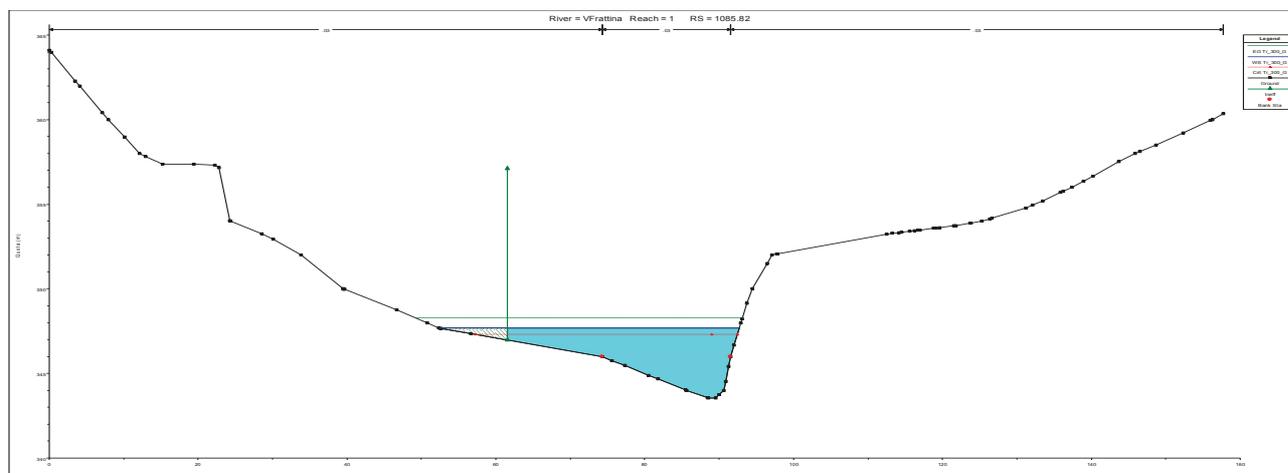


Figura 38- River station 1085.82 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

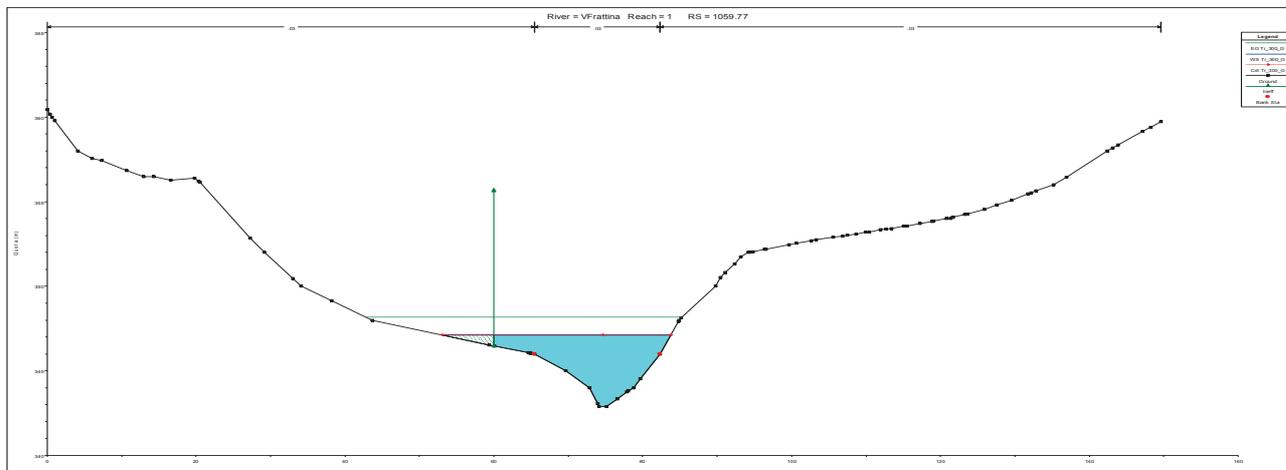


Figura 39- River station 1059.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

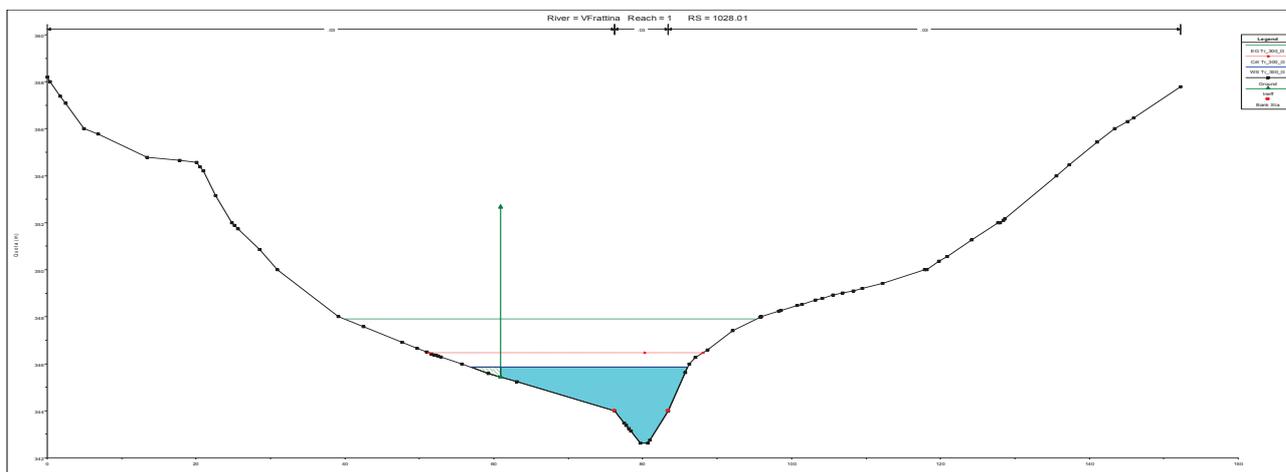


Figura 40- River station 1028.01 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

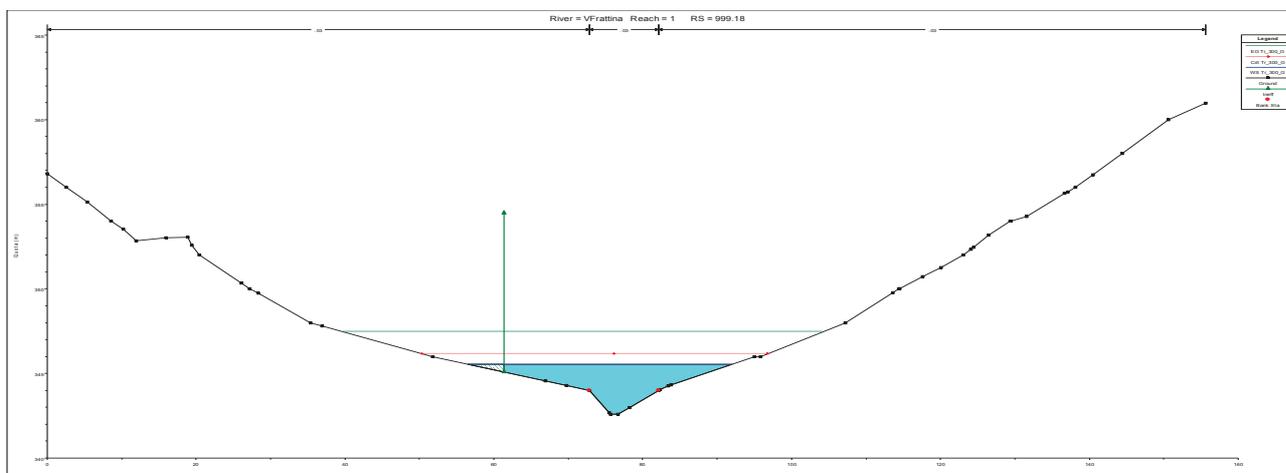


Figura 41- River station 999.18 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".
PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

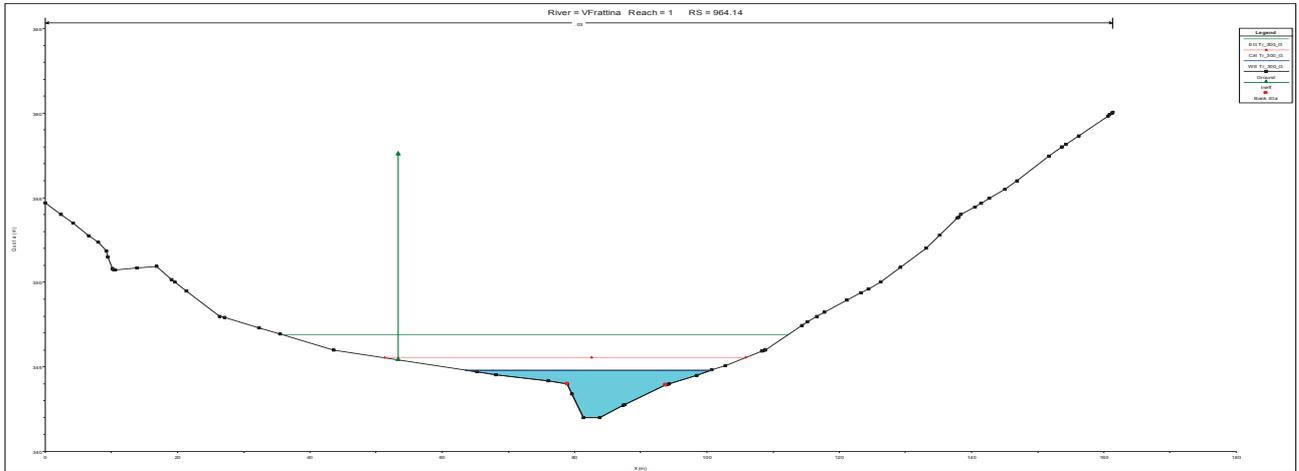


Figura 42- River station 964.14 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

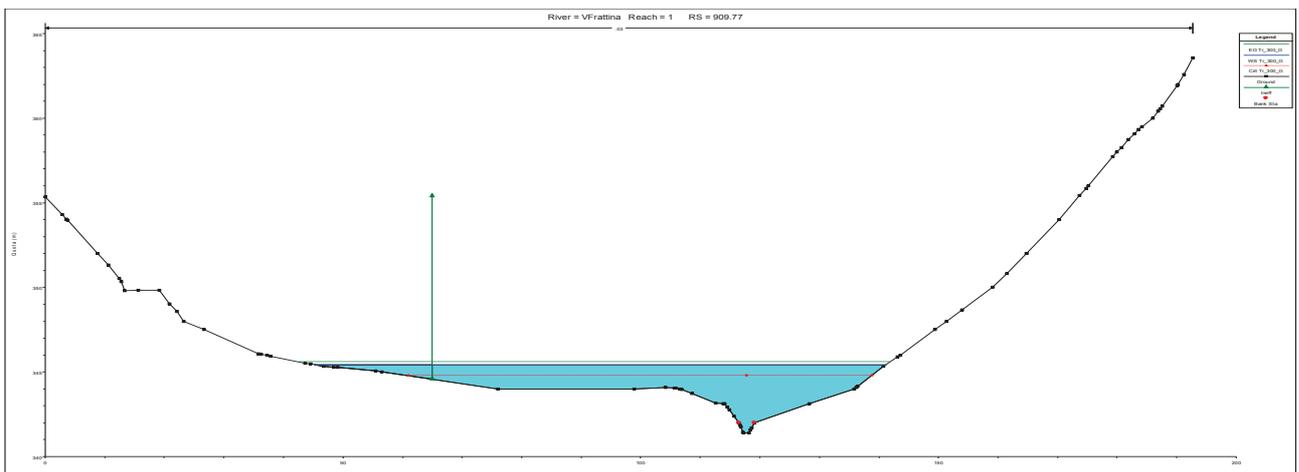


Figura 43- River station 909.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

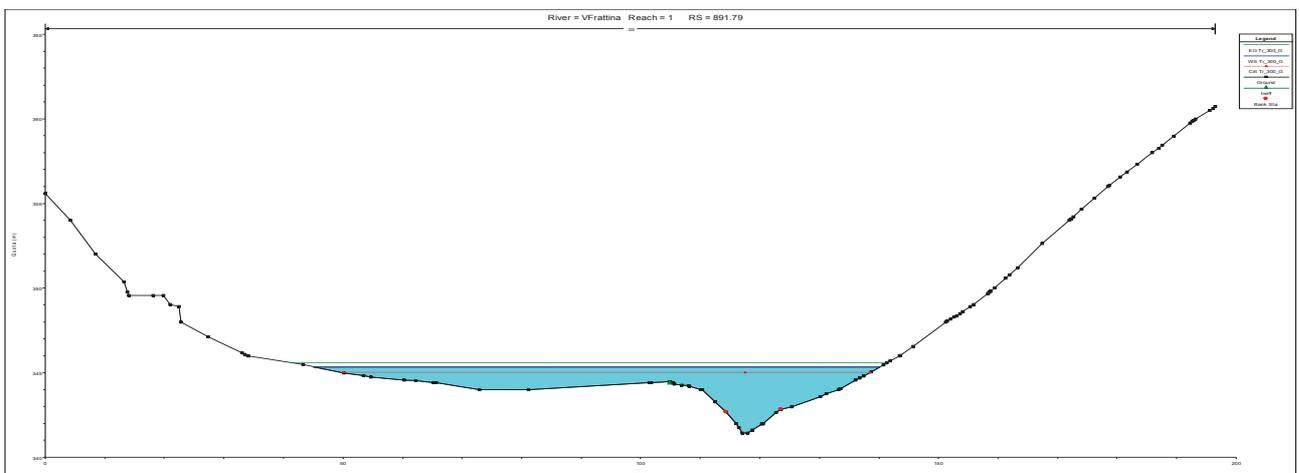


Figura 44- River station 891.79 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

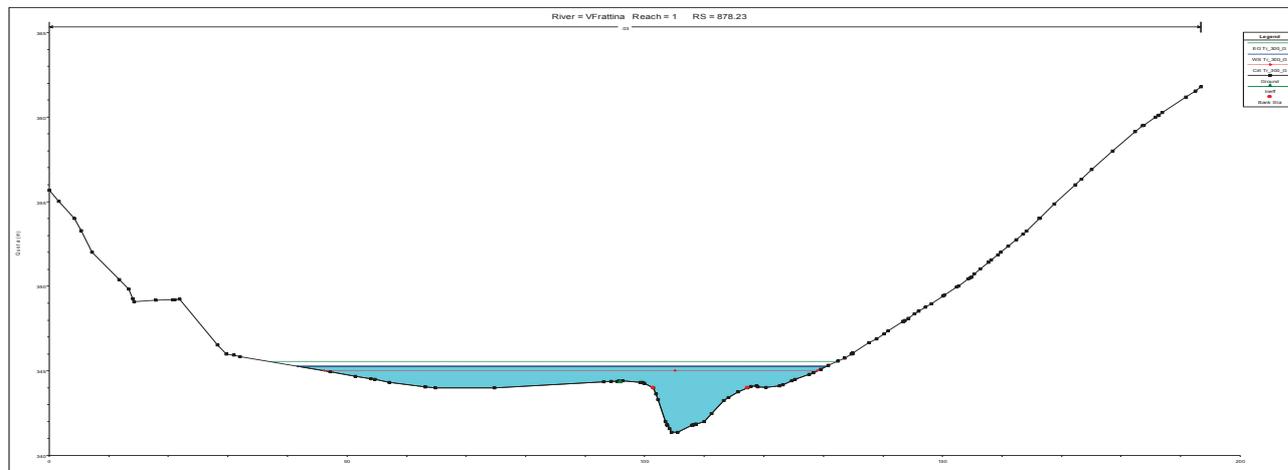


Figura 45- River station 878.23 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

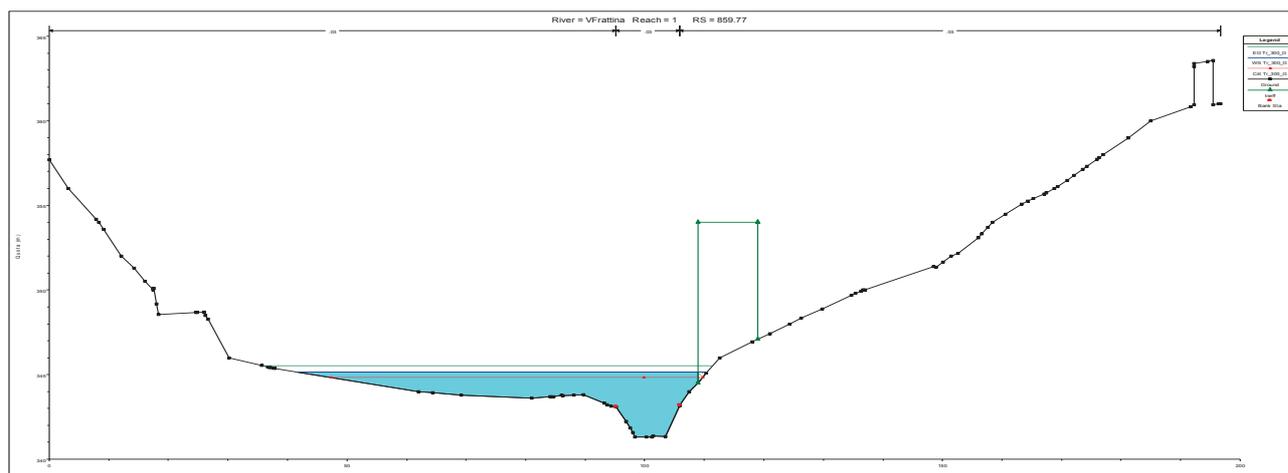


Figura 46- River station 859.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

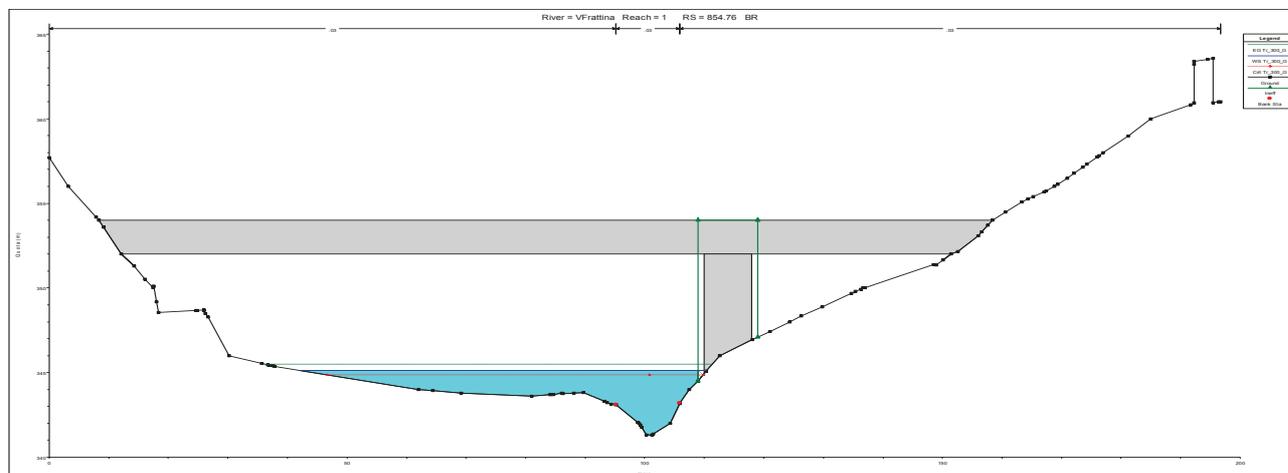


Figura 47- River station 854.76U del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

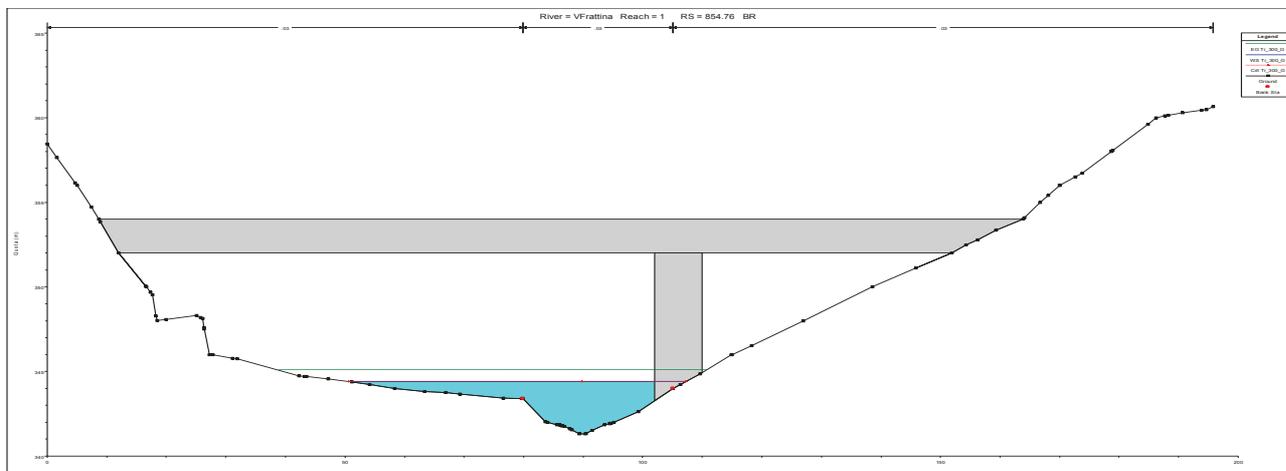


Figura 48- River station 854.76D del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

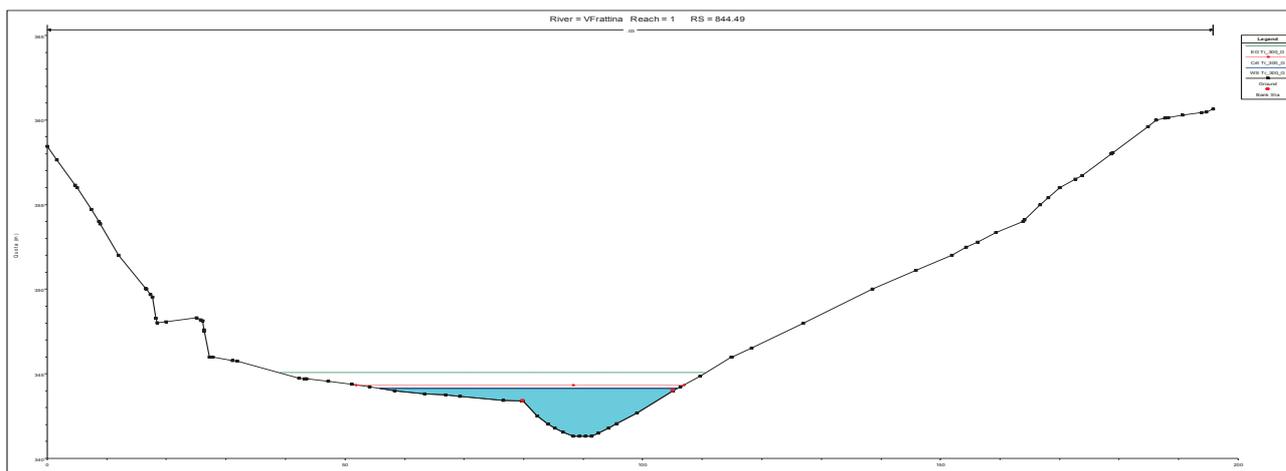


Figura 49- River station 844.49 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

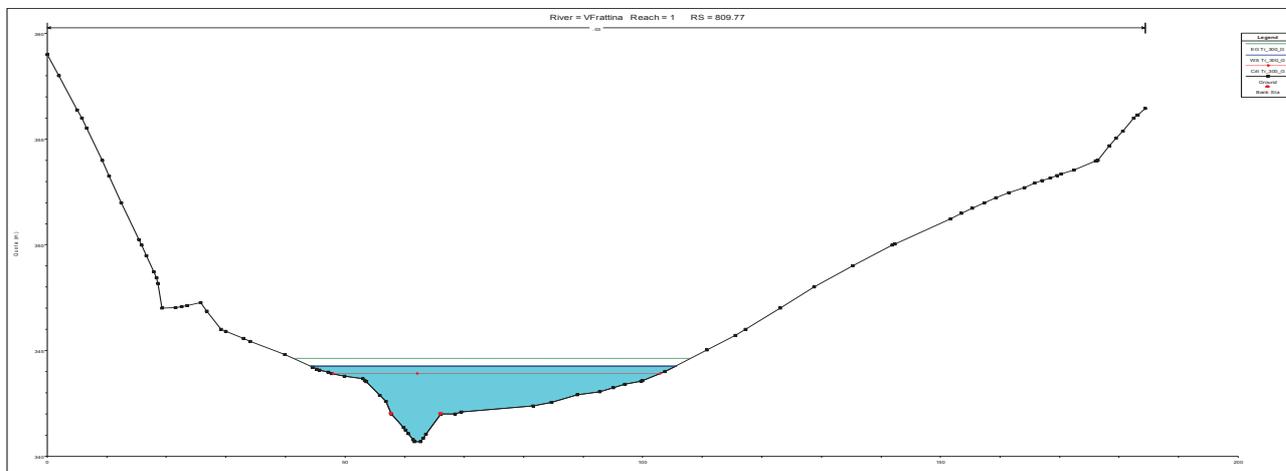


Figura 50- River station 809.77 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

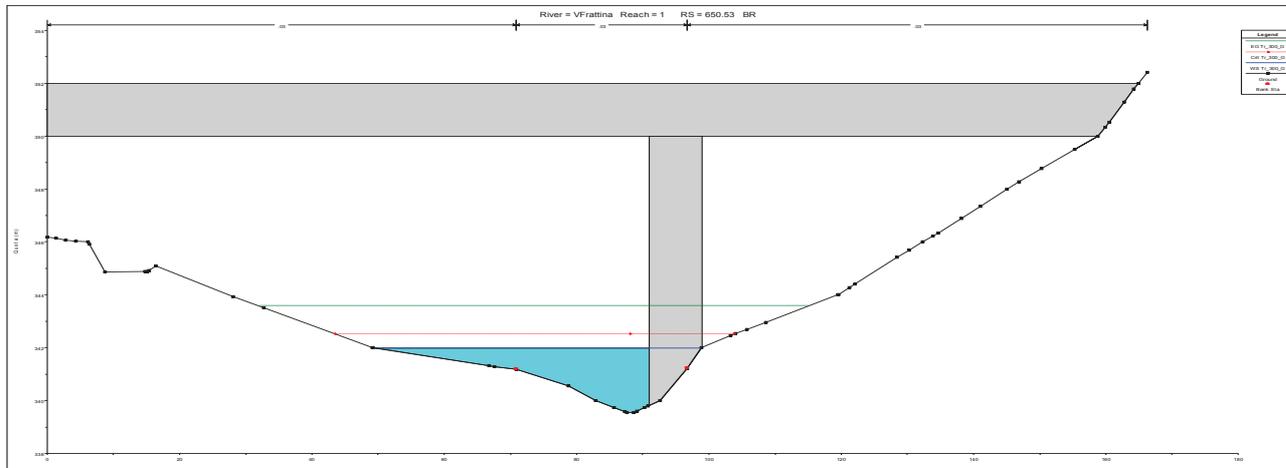


Figura 57- River station 650.53D del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

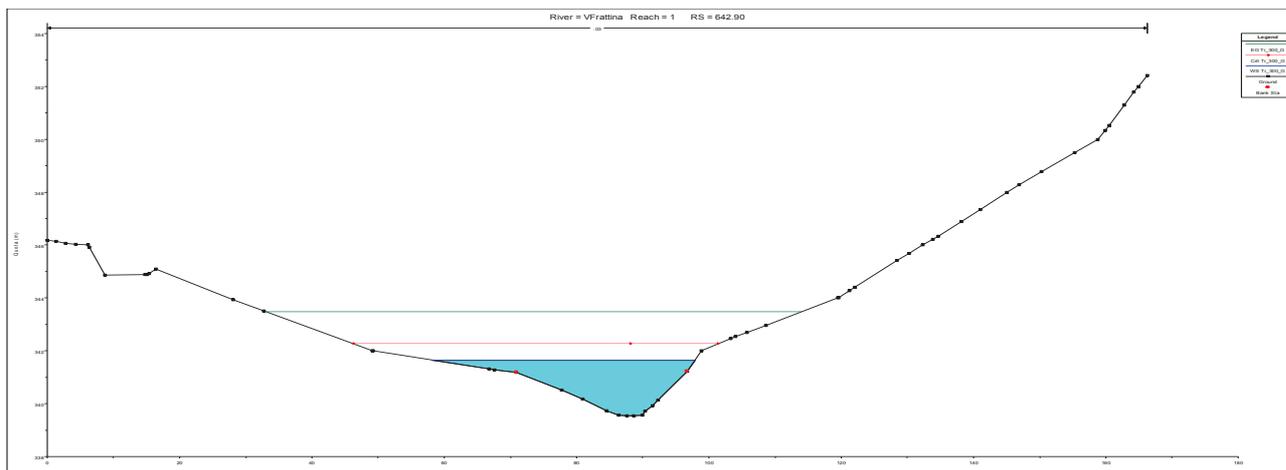


Figura 58- River station 642.90 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

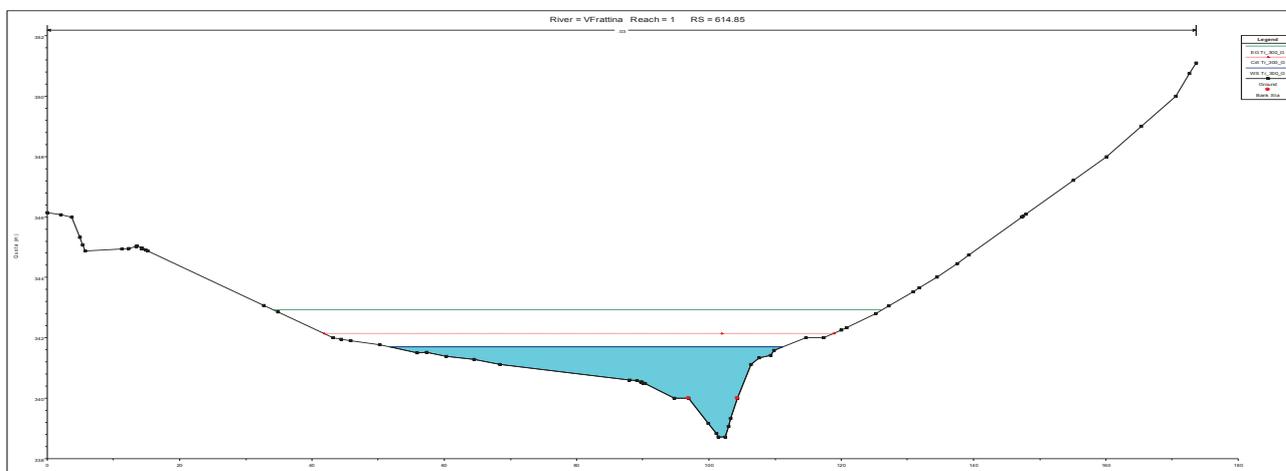


Figura 59- River station 614.85 del modello idraulico del torrente Vallone Frattina con Tr 300 anni

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Sezione HEC-RAS	PORTATA		Quota min fondo alveo	Quota idrometrica	Velocità in alveo	Velocità in sponda sinistra	Velocità in sponda destra	Area bagnata	N. Froude		
	m ³ /s		m.s.l.m.		m/s	m/s	m/s	m ²			
1462.45	222.1		356.43	361.19	4.16	2.29	1.57	70.26	0.75		
1446.89	222.1		356.36	359.98	4.02	3.26	0.33	61.44	0.91		
1429.46	222.1		355.53	359.33	5.12	2.15	2.35	49.84	1.03		
1409.77	222.1		355	356.6	8.45			26.28	2.3		
1373.41	222.1		354	356.54	7.28	1.74	1.21	30.77	1.56		
1346.07	222.1		352	354.03	9.33			23.8	2.25		
1320.14	222.1		350	352.45	9.77			22.73	2.24		
1309.77	222.1		349	351.09	10.58			20.99	2.54		
1302	222.1	Inl Struct									
1300.4	222.1		348	353.11	5.8	1.46		38.99	0.89	Tratto Scogliera 1	
1286.64	222.1	Bridge									
1269.95	222.1		348	349.77	8.52			26.08	2.37		
1259.71	222.1		348	349.71	7.88			28.2	2.36		
1257	222.1	Inl Struct									
1232.98	222.1		346	349.87	4.61	1.81	2.34	66.39	0.82		
1192.86	222.1		344.83	347.38	8.82	3.05	4.74	33.67	1.96		
1159.77	222.1		344.76	347.84	7.24	3.37	3.83	43.25	1.44		
1147.87	222.1		345	348.77	3.69	0.71	2.06	83.85	0.63		Tratto Scogliera 2
1140.18	222.1	Bridge									
1128.05	222.1		344.5	347.42	5.66	2.51	2.56	48.38	1.14		
1112.74	222.1		343.67	348.17	2.74	1.42	1.26	99.5	0.47		
1101.21	222.1		343.67	347.53	4.55	2.66	1.56	58.38	0.83		
1085.82	222.1		343.55	347.69	3.59	2.04	1.12	69.14	0.66		
1059.77	222.1		342.88	347.12	4.66	2.35	1.47	50.54	0.91		
1028.01	222.1		342.63	345.85	7.3	4.37	3.35	38.7	1.44		
999.18	222.1		342.59	345.54	6.98	4.11	3.37	40.37	1.46		
964.14	222.1		342	344.81	6.7	2.45	2.6	39.1	1.52		
909.77	222.1		341.39	345.44	2.55	1.49	1.8	132.34	0.42		
891.79	222.1		341.43	345.35	2.83	1.34	1.66	125.93	0.5		
878.23	222.1		341.37	345.27	2.85	1.48	1.38	110.71	0.55		
859.77	222.1		341.32	345.16	3.21	1.66	1.67	100.17	0.56	Tratto Scogliera 3	
854.76	222.1	Bridge									
844.49	222.1		341.31	344.14	4.38	1.67	0.49	57.09	1.03		
809.77	222.1		340.7	344.28	3.36	1.31	2.17	92.76	0.62		
781.8	222.1		340.18	344.38	2.35	1.1	1.61	127.97	0.41		
750.99	222.1		339.77	344.07	3.56	1.79	1.74	89.3	0.61		
709.77	222.1		339.31	343.45	4.46	1.85	1.76	58.01	0.83		

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Sezione HEC-RAS	PORTATA		Quota min fondo alveo	Quota idrometrica	Velocità in alveo	Velocità in sponda sinistra	Velocità in sponda destra	Area bagnata	N. Froude	
674.04	222.1		339.06	342.38	5.94	1.9	1.87	42.14	1.42	Tratto Scogliera 4
659.77	222.1		339.26	342.72	5.26	2.61	1.75	56.42	1.1	
650.53	222.1	Bridge								
642.9	222.1		339.55	341.65	6.08	1.95	1.7	38.86	1.66	
614.85	222.1		338.72	341.7	6.25	3.02	2.34	55.38	1.28	
591.62	222.1		338.47	342.32	2.85	1.97	1.96	105.19	0.5	

Tabella 4 Risultati modellazione idraulica

6.2 VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI PROTEZIONE DELLE PILE

La presenza di una pila in alveo causa, come ben noto, un aumento delle velocità in corrispondenza della stessa, resa manifesta dall'addensamento delle linee di corrente e della formazione di vortici a ferro di cavallo.

Lo scalzamento locale per effetto delle pile è funzione delle caratteristiche del materiale d'alveo, della configurazione della sezione, delle caratteristiche di deflusso (velocità, profondità di corrente, angolo di incidenza sulla pila) e della geometria della pila e delle fondazioni.

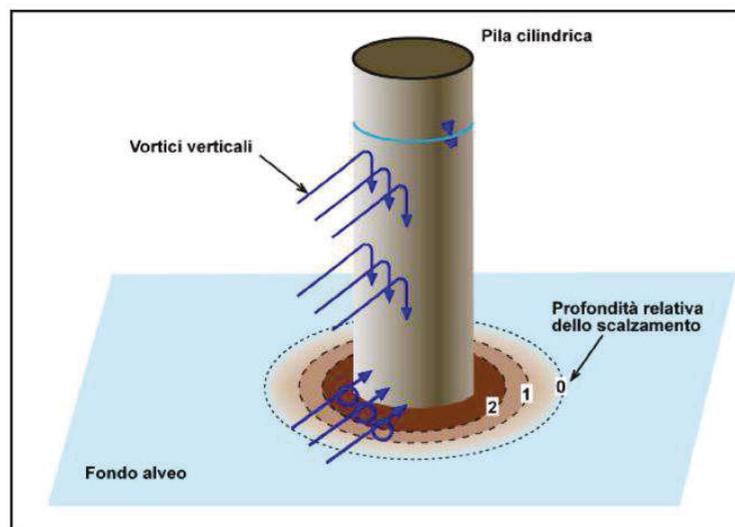


Figura 60 Schema del fenomeno dello scalzamento locale dovuto alla pila

Assunta come riferimento una pila di forma generica la profondità di scavo d_s può essere descritta come funzione delle seguenti variabili:

$$\frac{d_s}{s} = f \left(\frac{V_0}{V_c}, \frac{y_0}{s}, forma, \alpha \right)$$

Dove:

d_s = profondità di scavo misurata dal fondo del terreno indisturbato;

s = larghezza della pila di lunghezza l ;

V_0 = Velocità media della corrente a monte della pila;

V_c = Velocità critica di trascinarsi del materiale di fondo alveo di diametro d ;

α = angolo che la corrente indisturbata forma con la pila.

Per le applicazioni tecniche può quindi essere utilizzata la seguente formula:

$$\frac{d_s}{s} = f_1 \left(\frac{V_0}{V_c} \right) * \left[2 \tanh \left(\frac{y_0}{s} \right) \right] * f_2(forma) * f_3 \left(\alpha, \frac{l}{s} \right)$$

Nella quale:

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_{cr}}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{v_0}{v_{cr}} \leq 0.5$$

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_{cr}}\right) = 2 \frac{v_0}{v_{cr}} - 1 \quad \text{per } 0.5 < \frac{v_0}{v_{cr}} \leq 1.0$$

$$f_1\left(\frac{v_0}{v_{cr}}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{v_0}{v_{cr}} > 1$$

$f_2(forma) = 1.00$ per pile circolari o con rostri arrotondati

$f_2(forma) = 0.75$ per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente

$f_2(forma) = 1.30$ per pile rettangolari

f_3 è ricavabile dal grafico in figura seguente

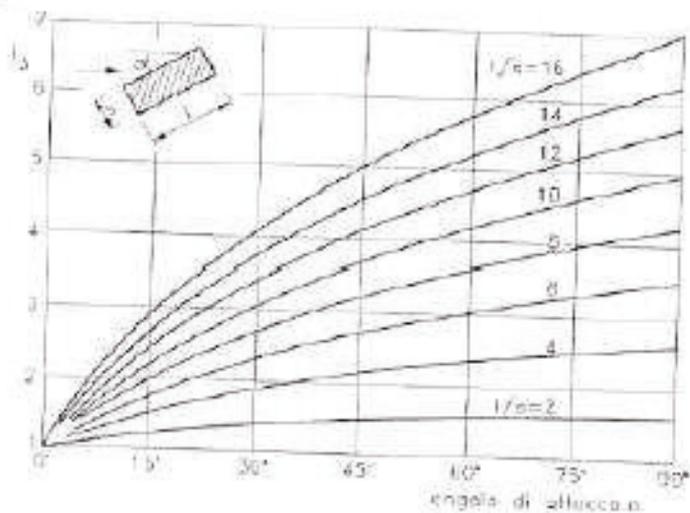


Figura 61 Andamento della funzione f_3 al variare di α , l , s

Come già indicato nei precedenti paragrafi del presente documento gli interventi di protezione proposti prevedono:

- Rivestimento dell'alveo con scogliere in massi cementati in corrispondenza ed in prossimità delle pile in alveo;
- Protezione mediante gabbioni per le pile esterne al corso d'acqua principale laddove i risultati della modellazione hanno mostrato che le acque di esondazione dovute alla piena con tempo di ritorno pari a 300 anni arrivino a lambire le stesse.

Considerando le soluzioni adottate nella presente proposta progettuale si presenta nel seguito una tabella riepilogativa delle pile interessate dal passaggio della piena di progetto, le caratteristiche della corrente in tali punti e l'intervento di protezione adottato.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

ID Pila	Velocità corrente a monte della pila	Altezza corrente a monte della pila	Tipologia Intervento
	m/s	m	
PILA 1	-	-	SCOGLIERA CEM.
PiLA 2	5.8	5.1	SCOGLIERA CEM.
PiLA 3	-	-	GABBIONI
PiLA 4	-	-	GABBIONI
PiLA 5	3.7	3.8	SCOGLIERA CEM.
PiLA 6	2.66	1.53	GABBIONI
PiLA 7	2.04	1.69	GABBIONI
PiLA 8	2.35	1.5	GABBIONI
PiLA 9	4.37	1.1	GABBIONI
PiLA 10	4.11	1.21	GABBIONI
PiLA 11	1.49	1.44	GABBIONI
PiLA 12	3.21	4.05	SCOGLIERA CEM.
PiLA 13	-	-	
PiLA 14	-	-	GABBIONI
PiLA 15	5.26	3.41	SCOGLIERA CEM.
PiLA 16	2.45	1.39	GABBIONI

Tabella 5 Risultati modellazione idraulica e riepilogo tipologia interventi

Viste le tipologie di interventi di protezione, per la determinazione della velocità critica di scalzamento del materiale in alveo si è fatto riferimento a quanto di seguito riportato.

Per i tratti rivestiti in scogliere cementate è stata determinata la tensione critica come sforzo di taglio minimo ammissibile del calcestruzzo non armato secondo la seguente relazione

$$\tau_{c0} = 0.4 + \frac{R_{ck} - 15}{75} = 0.6 [N/mm^2]$$

Essendo il calcestruzzo utilizzato per l'intasamento di classe 30.

La velocità critica è stata quindi determinata utilizzando la formulazione di Shields per la quale

$$\tau_{cr} = \gamma \frac{v_{cr}^2}{K_s^2 R_H^{1/3}}$$

Dove τ_{cr} è espressa in kN/m^2 e γ è stato posto pari a $25 kN/m^3$.

La velocità così ottenuta, per i diversi valori del raggio idraulico, è risultata sempre molto maggiore dei valori di velocità in alveo ottenuti dalla modellazione $V_{cr} \gg 10.6 m/s$.

Gli interventi di protezione dell'alveo mediante scogliere cementate si ritengono pertanto verificati

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Per gli interventi di protezione con gabbioni si è assunto come valore di velocità critica $V_{cr} = 7.6 \text{ m/s}$, secondo quanto riportato dalle tabella seguente.

Material	Allowable velocity [m/s]
Gabions 0.50m - $d_{50} = 0.21 \text{ m}$	7.60
Reno mattress 0.17m - $d_{50} = 0.10 \text{ m}$	4.20
Reno mattress 0.23m - $d_{50} = 0.12 \text{ m}$	5.50
Reno mattress 0.30m - $d_{50} = 0.15 \text{ m}$	6.40
MacMat R	1.50 - 3.00(*)

* For duration less than 60 hours (Utah water research Laboratory)

Tabella 6 Valori di velocità critiche di esercizio per i materiali di rivestimento alveo

Si riporta di seguito il risultato delle verifiche:

VERIFICA PROTEZIONE PILA 6			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	2.66	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.53	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90	°

V_{cr}	5.52
V_0/V_c	0.35
f1	0.00
f2	1
f3	1.5

ds	0.00	m
----	------	---

Figura 62 Risultati verifica intervento di protezione pila 6

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

VERIFICA PROTEZIONE PILA 7			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	2.04	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.69	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

V_{cr}	4.28
V_0/V_c	0.27
f1	0.00
f2	1
f3	1.5

ds	0.00	m
----	------	---

Figura 63 Risultati verifica intervento di protezione pila 7

VERIFICA PROTEZIONE PILA 8			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	2.35	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.5	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

V_{cr}	4.9
V_0/V_c	0.31
f1	0.00
f2	1
f3	1.5

ds	0.00	m
----	------	---

Figura 64 Risultati verifica intervento di protezione pila 8

VERIFICA PROTEZIONE PILA 9			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	4.37	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.1	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

V_{cr}	8.94
V_0/V_c	0.58
f1	0.15
f2	1
f3	1.5

ds	0.48	m
----	------	---

Figura 65 Risultati verifica intervento di protezione pila 9

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

VERIFICA PROTEZIONE PILA 10			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	4.11	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.21	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

Vcr	8.42
V_0/V_c	0.54
f1	0.08
f2	1
f3	1.5

ds	0.29	m
----	------	---

Figura 66 Risultati verifica intervento di protezione pila 10

VERIFICA PROTEZIONE PILA 11			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	1.49	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.44	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

Vcr	3.18
V_0/V_c	0.20
f1	0.00
f2	1
f3	1.5

ds	0.00	m
----	------	---

Figura 67 Risultati verifica intervento di protezione pila 11

VERIFICA PROTEZIONE PILA 16			
V_0	Velocità media della corrente indisturbata	2.45	m/s
V_c	velocità critica del gabbione di protezione	7.6	m/s
Y_0	Altezza della corrente a monte della pila	1.39	m
s	Spessore della pila	3.8	m
l	Lunghezza della pila	8.7	m
α	Angolo di incidenza corrente/pila	90°	

l/s	2.3
-----	-----

Vcr	5.1
V_0/V_c	0.32
f1	0.00
f2	1
f3	1.5

ds	0.00	m
----	------	---

Figura 68 Risultati verifica intervento di protezione pila 16

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE N.3

SF11 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Alla luce dei risultati ottenuti gli interventi di protezione si ritengono verificati essendo la profondità massima di scalzamento sempre inferiore a 0.5 m, ed avendo i gabbioni di protezione spessore pari a 1 m.

Si precisa infine, che gli interventi di protezione sono stati estesi alle pile 1,3,4,13,14 in quanto i risultati della modellazione hanno mostrato franchi tra il livello di piena di progetto e la base di fondazione della pila inferiori a 0.5m.

7 CONCLUSIONI

Nella presente *Relazione Idrologica e Studio idraulico*, relativa all’opera di regimazione fluviale SF11, sono state condotte le verifiche relative alle sistemazioni fluviali afferenti all’opera in esame. A valle di una breve panoramica circa i danneggiamenti causati dall’evento alluvionale del Novembre 2018, è stata descritta la metodologia per il calcolo delle portate di progetto.

La verifica delle opere in esame è stata condotta considerando la portata corrispondente al tempo di ritorno di 300 anni.

Alla luce dei risultati ottenuti, presentati nei precedenti paragrafi, gli interventi di regimazione e di protezione delle pile del viadotto Frattina 1, relativi all’opera SF11, si ritengono verificati per il deflusso della piena di progetto.