



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

Torrente Azzirolo - Ponte esistente SF13 Relazione idrologica e studio idraulico

Codice Unico Progetto (CUP): F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	ID	RT22	6	2

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PVIDRT22_62_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA D.L.		Maggio 2020	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	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 & GEOTECHNICA
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile
Ing. Antonio Ambrosi



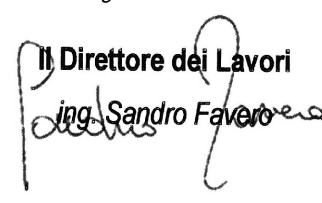
Il Geologo
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



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 LO410C E 1101

Dott. Ing. Luigi Mupo

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
4	DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO	8
4.1	APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA DEL PROGETTO VAPI	8
4.1.1	Determinazione del parametro CN	12
4.1.2	Calcolo del coefficiente di deflusso	17
4.1.3	Calcolo della portata di progetto.....	17
5	SOFTWARE UTILIZZATI	18
5.1	Metodologia di calcolo Software HEC-RAS	19
5.2	Metodologia di calcolo Software GEOSLOPE.....	23
5.3	Metodologia di calcolo Software MACSTARS.....	26
6	RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA	30
7	VERIFICA DELL'ARGINE DI PROTEZIONE	46
7.1	AZIONI VARIABILI	46
7.2	FALDA.....	46
7.3	Caratterizzazione geotecnica e sismica	46
7.3.1	Caratterizzazione Geotecnica	46
7.3.2	Calcolo dell'azione sismica di progetto.....	47
7.4	Risultati delle analisi	48
8	VERIFICA DELLE PROTEZIONI IN GABBIONI	50
8.1	Verifica a trascinamento	50
8.2	Verifiche Geotecniche	51
8.2.1	Combinazioni di carico	52
8.2.2	Falda.....	53
8.2.3	Verifiche agli SLU	53
8.2.4	Condizioni sismiche	55
8.2.5	Risultati delle verifiche	56
9	CONCLUSIONI	67
	ALLEGATO 1 OUTPUT HEC RAS CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	
	ALLEGATO 2 OUPUT HEC RAS CONFIGURAZIONE TRANSITORIA	
	ALLEGATO 3 OUTPUT CALCOLO GEOSLOPE	
	ALLEGATO 4 OUTPUT CALCOLO MACSTARS	

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la “*Relazione Idrologica e Studio Idraulico*” relativa all’opera di regimazione fluviale SF13, in corrispondenza del ponte al km 19+776 dell’asse principale.

La sistemazione fluviale oggetto della presente relazione insiste su due ponti ad arco, il primo relativo alla viabilità principale al km 19+776, il secondo relativo ad una viabilità locale in disuso.

Gli eventi alluvionali del Novembre 2018 hanno provocato, nell’area in esame, l’esonazione in sinistra idraulica a monte del ponte della viabilità principale. In tale occasione, le acque di esondazione sono arrivate ad invadere la carreggiata del tratto di viabilità principale AP 15, con conseguente danneggiamento della carreggiata stessa e dilavamento delle scarpate del rilevato stradale di approccio al ponte ad arco.



Figura 1 Foto da drone dell’area in esame a seguito dell’evento di novembre 2018; a destra i danni provocati al rilevato del tratto AP15

In seguito ai danni provocati dalle esondazioni del Novembre 2018, ed alla luce dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica, si propone, nel presente Progetto Esecutivo di Variante n.3 la seguente soluzione progettuale:

- riprofilatura delle sezioni fluviali e protezione delle stesse con gabbioni e materassi tipo Reno;
- riprofilatura della sezione di intradosso del ponte al km 19+776;
- protezione con gabbioni al piede dei rilevati di approccio del ponte al km al km 19+776;
- demolizione del ponte in disuso sulla viabilità locale;
- protezione del tratto stradale AP 15 con argini in affiancamento al rilevato esistente.

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tale soluzione garantisce la protezione del rilevato stradale con un franco minimo di 1 m, ed un franco in corrispondenza del ponte sulla viabilità principale pari a 1.8 m rispetto al punto più basso dell'impalcato.

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

A valle della presentazione dei risultati della modellazione idraulica saranno altresì presentate le verifiche di carattere geotecnico dell'intervento di progetto.

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".
- P.A.I della Regione Siciliana , Relazione Generale 2004.
- P.A.I della Regione Siciliana, rapporti "*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).

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera di regimazione fluviale SF13 prevede, come già accennato in premessa, la riprofilatura dell'alveo e la protezione dello stesso mediante gabbioni e materassi tipo Reno.

Tale intervento è corredato da:

- Riprofilatura della sezione di intradosso del ponte alla progressiva pk 19+776, e protezione con gabbioni del rilevato di approccio allo stesso;
- Realizzazione di argini rivestiti con materassi tipo Reno in affiancamento al tratto AP15;
- Demolizione del ponte di valle, ubicato su una viabilità attualmente in disuso.

Gli argini di protezione dell'AP15 si estendono dalla pk 19337.81 alla pk 19797.81, su tutte le sezioni la quota di coronamento è pari a 287.4.

Le protezioni in gabbioni sono inoltre previste a protezione dei rilevati di approccio, in prossimità delle spalle dell'attraversamento, in sinistra idraulica ed in destra idraulica lato valle. La protezione del rilevato in destra idraulica lato monte è invece integrata all' intervento di rivestimento dell'alveo (vedasi Sezione tipologia D - Figura 6)

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici relativi all'opera in esame, riportando nel seguito alcuni stralci esemplificativi dell'opera.

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

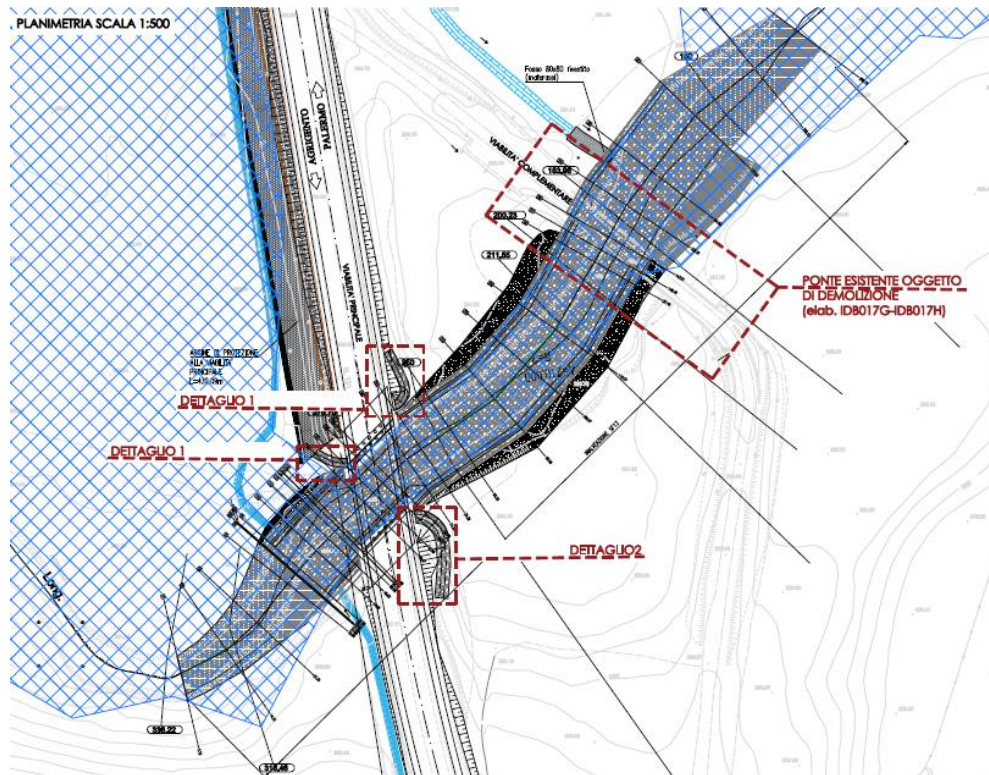


Figura 2: Stralcio planimetrico SF13

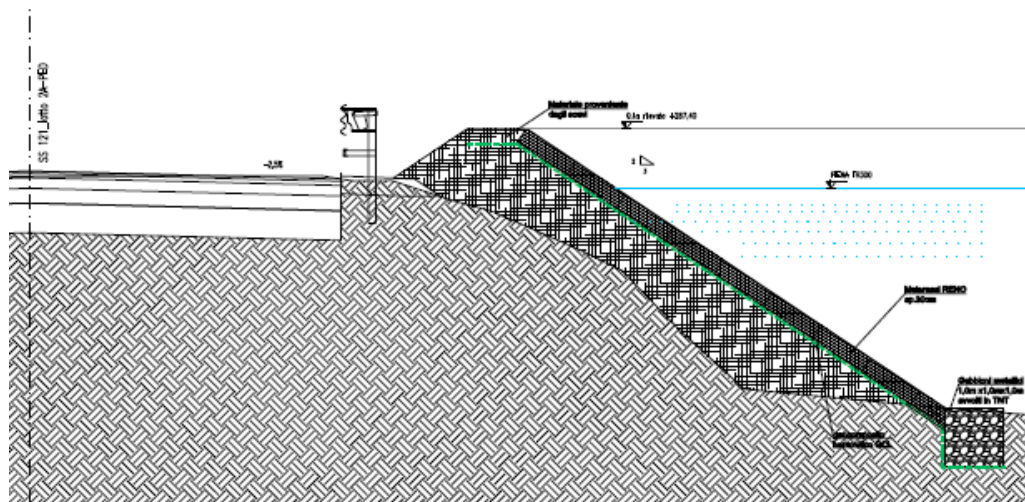


Figura 3: Tipologico Argine di protezione AP15

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

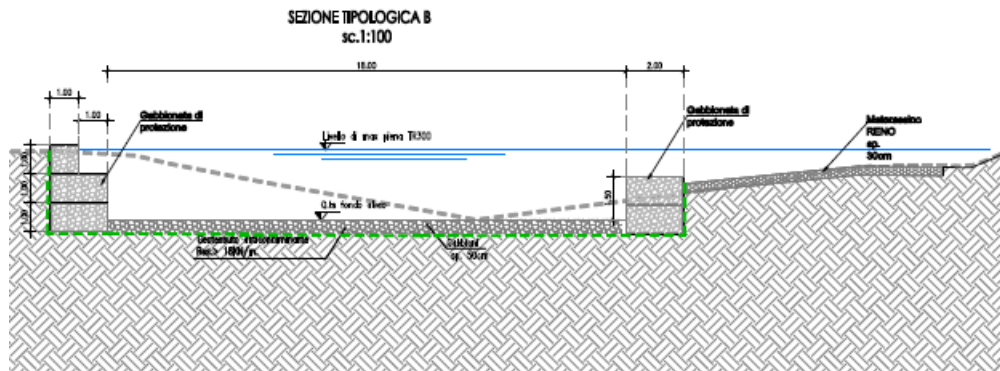


Figura 7: Sezione tipologica B

L'attuale struttura del ponte alla pk 19+776 è costituita da un ponte ad arco in cemento, dal riempimento, nonché dagli interventi già realizzati nel progetto esecutivo ovvero l'installazione, all'intradosso dei ponti in parola, di centine in acciaio con profilo IPE 180, fissate ai piedritti dell'arco esistente. L'intervento proposto consiste pertanto nel ripristinare il paramento proseguendo in verticale il cordolo di base esistente e collegare il paramento in testa tramite inghisaggi alla spalla del ponte sovrastante realizzato nel progetto esecutivo.

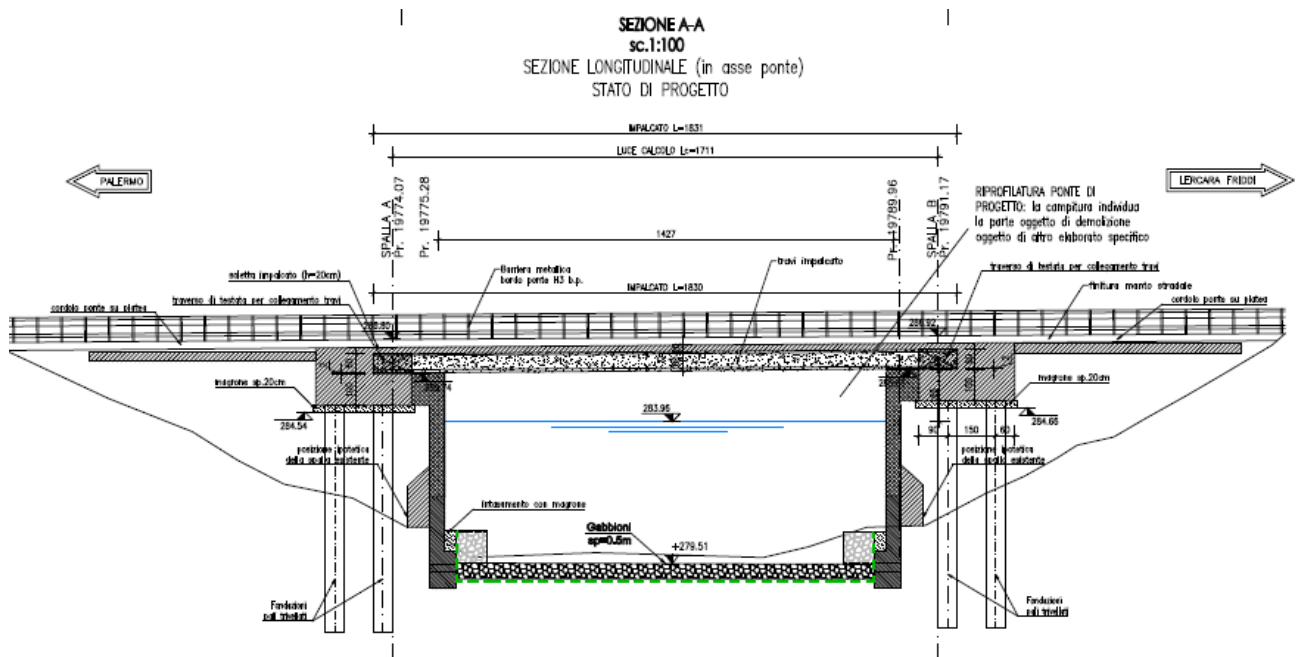


Figura 8 Configurazione di progetto ponte pk. 19+776

4 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

Si riporta nel presente paragrafo la metodologia proposta per il calcolo della portata di progetto del torrente Azzirolo.

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.

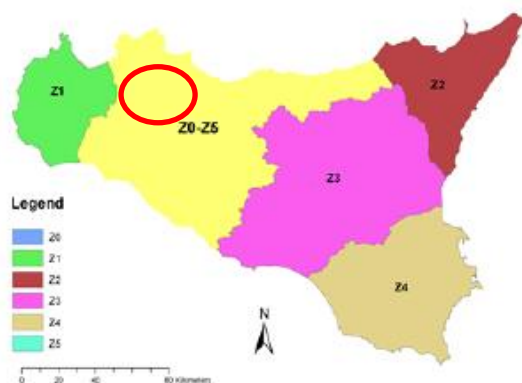


Figura 9: Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.

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.

Sottozona Parametro	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
a	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
b	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 10: 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 **Campofelice**.

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

$$h(t, T = 300) = 70.3 * t^{0.2244}$$

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

SF13 – 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	22.3	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzoiuso	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

SF13 – 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 11: 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 76.77 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:

$$t_c = 3.1 [h]$$

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 “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 colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

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 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

SF13 – 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

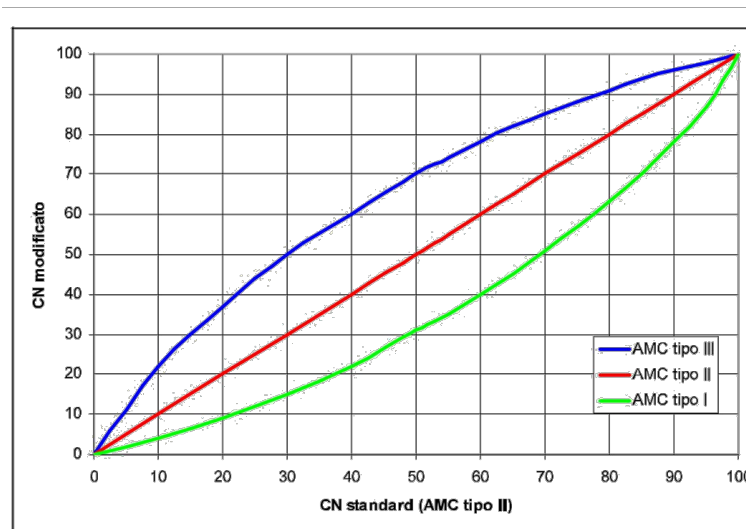


Figura 12 - Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali

Considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), si è considerata la tipologia idrologica di suolo **D**.

il valore del parametro CN è stato ricavato come media pesata dei valori CN_i attribuiti ai diversi usi del suolo.

A partire dalla carta di uso del suolo del 2018 della Regione Sicilia, le categorie di uso del suolo presenti nel bacino di competenza sono state ricondotte a 3 categorie principali, a ciascuna delle quali è stato attribuito un valore di CN stabilito sulla base di quanto riportato in Tabella 2.

Si riportano i valori di CN attribuiti a ciascuna categoria:

- 1- Spazi aperti, pascoli e terreni coltivati $CN_{SA}=85$
- 2- Aree boschive o forestali $CN_{AB}=82$
- 3- Aree impermeabilizzate, aree residenziali e commerciali $CN_{AI}=95$

Il valore del CN da attribuire al bacino o sottobacino è stato quindi calcolato come:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}}$$

Essendo le aree di pertinenza di ogni categoria per il bacino in esame:

- $A_{SA} = 55.6$ (km² Spazi aperti/pascoli e terreni coltivati)
- $A_{AB} = 20.4$ (km² Aree boscate e forestali)
- $A_{AI} = 0.8$ (km² Aree impermeabilizzate residenziali e commerciali)

Si ottiene quindi:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}} = \frac{85 * 55.6 + 82 * 20.4 + 95 * 0.8}{76.77} = 84$$

Considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 84.

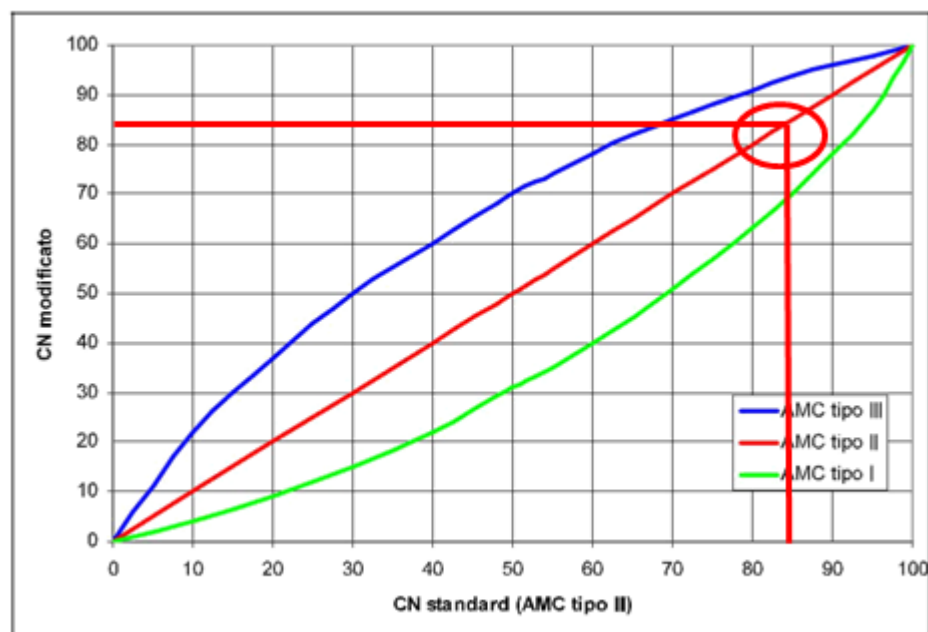


Figura 13 - Procedura grafica per la stima di CN

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:

$$h(t_c, T = 300) = 70.3 * 3.1^{0.2244} = 90.4 [mm]$$

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

- $S = 254 \left(\frac{100}{84} - 1 \right) = 48.4 [mm]$
- $I_a = 0.2 * 48.4 = 9.7$
- $P_{net} = \frac{(90.4 - 9.7)^2}{90.4 - 9.7 + 48.4} = 50.5 [mm]$

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:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P} = 0.56$$

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:

$$Q = 351.0 m^3/s$$

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, secondo uno schema monodimensionale della propagazione dei deflussi in alveo in condizioni di moto permanente in corrente mista.

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 14.

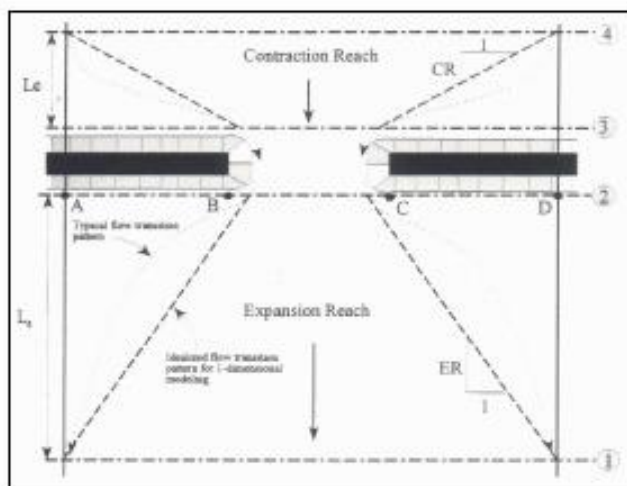


Figura 14 Schema per il tracciamento delle sezioni in corrispondenza di un ponte

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 14 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 di spalle e pile nelle sezioni di monte e di valle del ponte.

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 nel paragrafo seguente.

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 1 e 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.

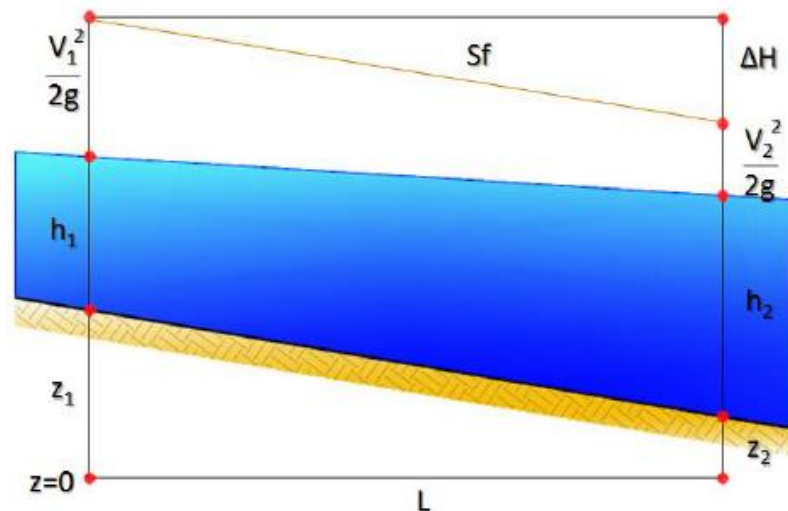


Figura 15 - Conservazione dell'energia, schema di calcolo

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:

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

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.

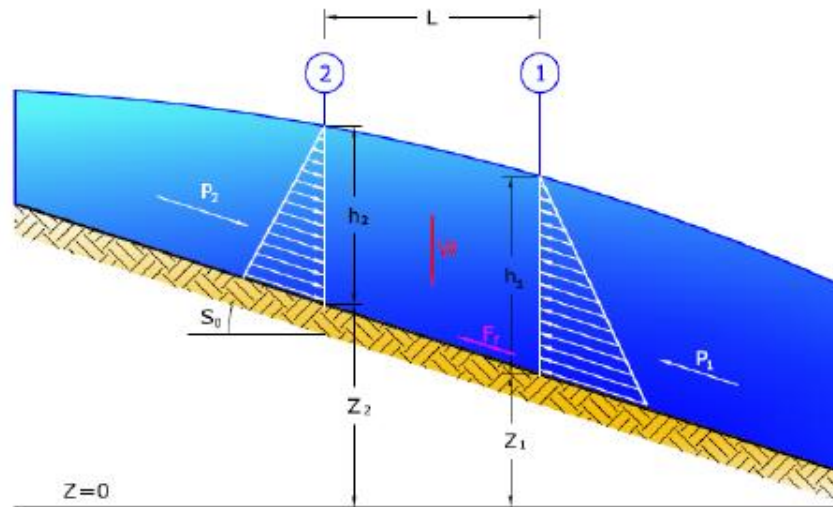


Figura 16 - Conservazione della quantità di moto, schema di calcolo

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

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

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE

Le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite rispondono a requisiti di semplicità e rapidità e sono correntemente impiegate, malgrado le loro limitazioni, nella pratica professionale e nella ricerca; ognuno dei metodi disponibili fornisce un'equazione finale che permette di determinare il coefficiente di sicurezza. [Tancredi, 1996].

Ogni metodo assume una serie di ipotesi semplificative così da poter rendere risolvibile il sistema di equazioni che, come vedremo, risulta essere staticamente indeterminato.

Alcuni di questi metodi sono stati risolti con metodo iterativo, vale a dire creando una procedura di calcolo che facilita la loro implementazione su macchina. Tra questi ci interessa maggiormente approfondire il metodo implementato dal programma di calcolo SLOPE/W, che è il metodo di Bishop (1955) e la sua semplificazione.

Le analisi di stabilità che adottano tali metodi sono quelle dell'equilibrio limite globale. Tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta

quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Dato l'elevato numero di incognite, ogni metodo assume delle ipotesi semplificative che rendono risolvibile il sistema e sono proprio tali ipotesi che differenziano un metodo dall'altro.

Esistono diverse formulazioni ascrivibili a diversi autori per il calcolo e la soluzione di problemi relativi alla stabilità dei pendii tramite metodi dell'equilibrio limite, tutti questi metodi si basano su ipotesi comuni, che sono:

- Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- La rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- Il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- La resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia. [Tancredi, 1996]

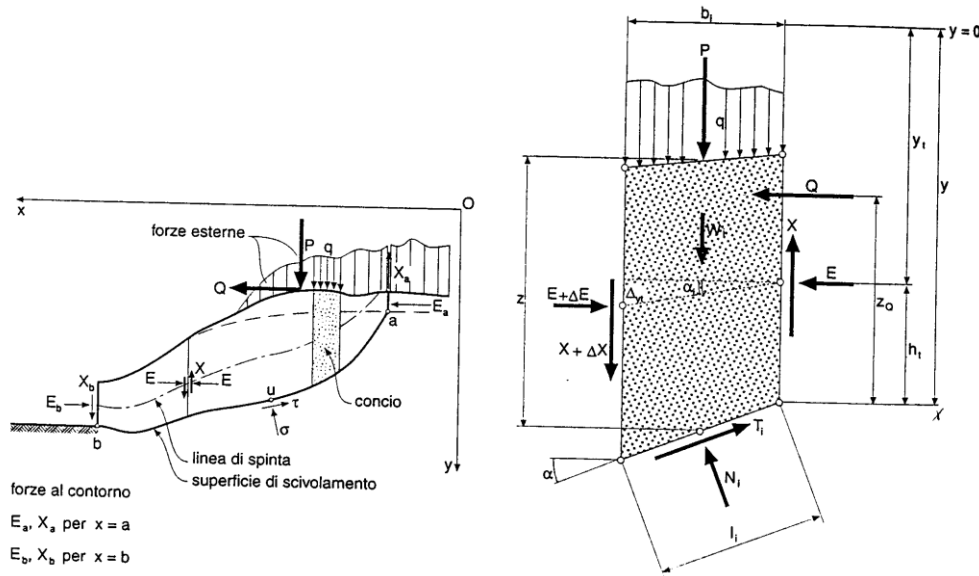


Figura 17: METODO DELLE STRISCE

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso W , l'azione tangenziale alla base T , l'azione normale efficace alla base N , la spinta dell'acqua sulla base U , gli sforzi tangenziali X e quelli normali E sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in n conci, si hanno a disposizione $3n$ equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere $5n-2$ così composte:

- n valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- $n-1$ valori per ciascuna delle forze d'interfaccia (X ed E)
- $n-1$ valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- n valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno $2n-2$ incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato, per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse caso per caso e sono queste stesse che caratterizzano un metodo da un altro. L'esistenza di molti metodi di

calcolo porta alcune volte alla indeterminatezza della soluzione, è bene quindi sottolineare che da studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che, quelli che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio danno sostanzialmente gli stessi risultati in termini di coefficiente di sicurezza, o meglio che non differiscono tra loro più del 5%.[Duncan,1980].

5.3 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE MACSTARS

Il programma di calcolo MACSTARS W consente la verifica di stabilità di muri in gabbioni. Le verifiche di stabilità, in assenza di rinforzi, sono eseguite mediante i metodi classici dell'equilibrio limite.

Con il programma MACSTARS W è possibile effettuare le seguenti tipologie di verifica:

- verifica di stabilità globale
- verifica di stabilità interna
- verifica dell'opera come muro di sostegno

La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzata per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo.

A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni ai rinforzi stessi.

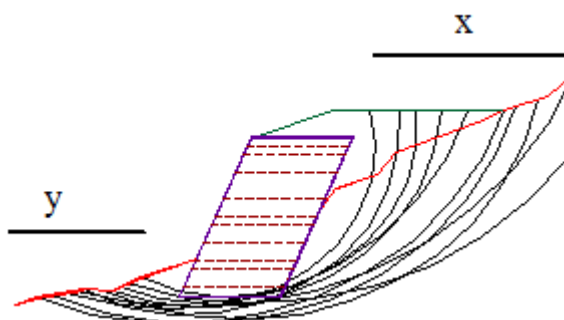


FIGURA 18- ESEMPIO ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale è una verifica di stabilità all'equilibrio limite.

L'utente definisce:

- il numero delle superfici da generare;
- il metodo di verifica all'equilibrio limite globale (Bishop, Janbu);
- il tipo di superfici (circolari, casuali);
- il tratto di ingresso a valle delle superfici y (usualmente da 0.5 a 1.0 volte l'altezza dell'opera);
- il tratto di uscita a monte delle superfici x (usualmente da 1.5 a 2.0 volte l'altezza dell'opera);
- la lunghezza minima dei segmenti che costituiscono la singola superficie di scorrimento;
- un'eventuale quota minima al di sotto della quale le superfici non possono arrivare Z_{min} ;
- eventuali limitazioni all'angolo con cui è generato il primo tratto della superficie di scorrimento;
- il metodo di calcolo dei rinforzi: rigido e deformativo con i relativi parametri di calcolo.

Il minimo dei coefficienti di sicurezza calcolati (uno per ogni superficie) è il coefficiente di sicurezza del pendio.

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera. In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata.

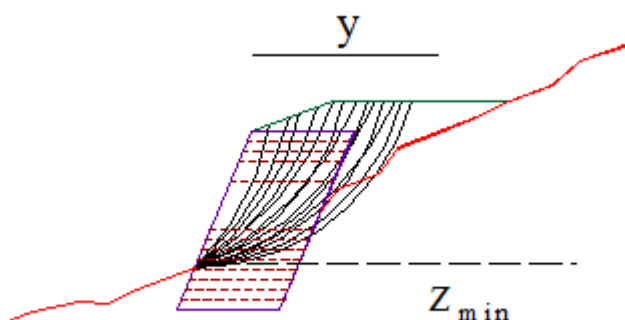


FIGURA 19- ESEMPIO ANALISI DI STABILITÀ INTERNA

L'utente definisce:

- l'opera o i suoi blocchi da verificare;
- il numero delle superfici da generare;
- il metodo di verifica (Bishop, Janbu);
- il tipo di superfici (circolari, casuali);
- il tratto di uscita a monte delle superfici y (usualmente da 1.5 a 2.0 volte l'altezza dell'opera);
- la lunghezza minima dei segmenti che costituiscono la singola superficie di scorrimento;
- un'eventuale quota minima al di sotto della quale le superfici non possono arrivare Z_{\min} ;
- eventuali limitazioni all'angolo con cui è generato il primo tratto della superficie di scorrimento;
- il metodo di calcolo dei rinforzi: rigido e deformativo con i relativi parametri di calcolo.

Il minimo dei coefficienti di sicurezza calcolati (uno per ogni superficie) è il coefficiente di sicurezza del pendio. La verifica deve essere effettuata su ogni blocco impostato nel modello.

Nella verifica dell'opera come muro di sostegno, intera o una sua parte, viene considerata come un muro monolitico, formato da blocchi che compongono l'opera stessa, che sostiene le spinte del terreno che si trova a monte.

La verifica dell'opera come muro di sostegno si articola a sua volta nelle tre verifiche classiche dei muri di sostegno:

- verifica al ribaltamento;
- verifica allo scorrimento;
- verifica per capacità portante.

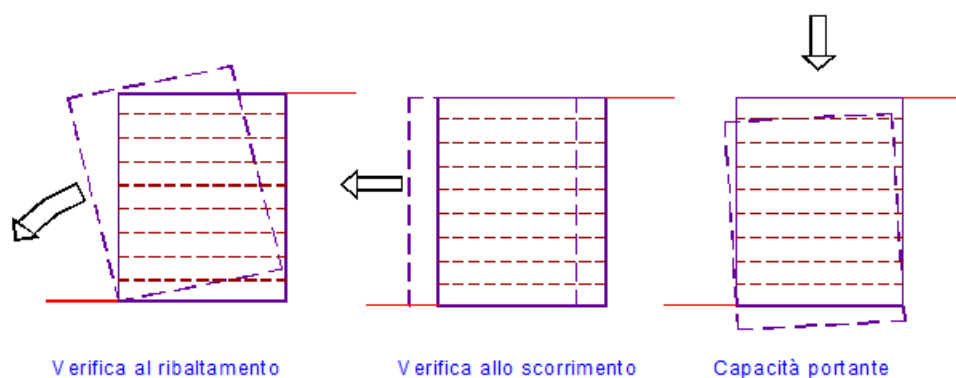


FIGURA 20- VERIFICHE ESEGUITE NELLA VERIFICA DELL'OPERA COME MURO DI SOSTEGNO

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

6 RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica per la configurazione di progetto, per le sezioni inerenti alla sistemazione fluviale SF13.

Per gli output di calcolo completi si rimanda all'Allegato 1 della presente relazione.

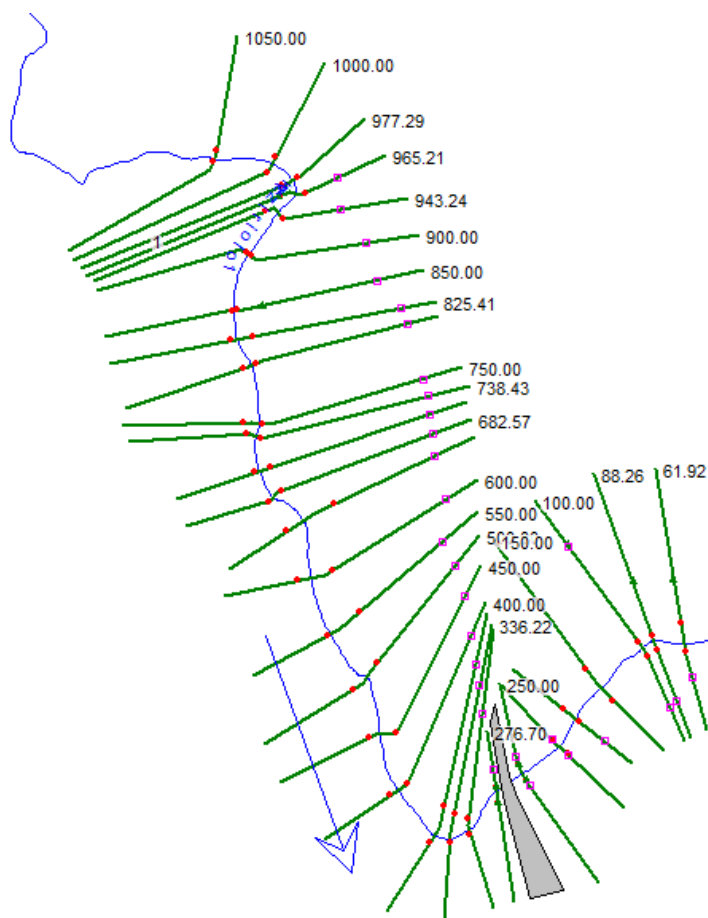


Figura 21- Geometria di calcolo HEC-RAS

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

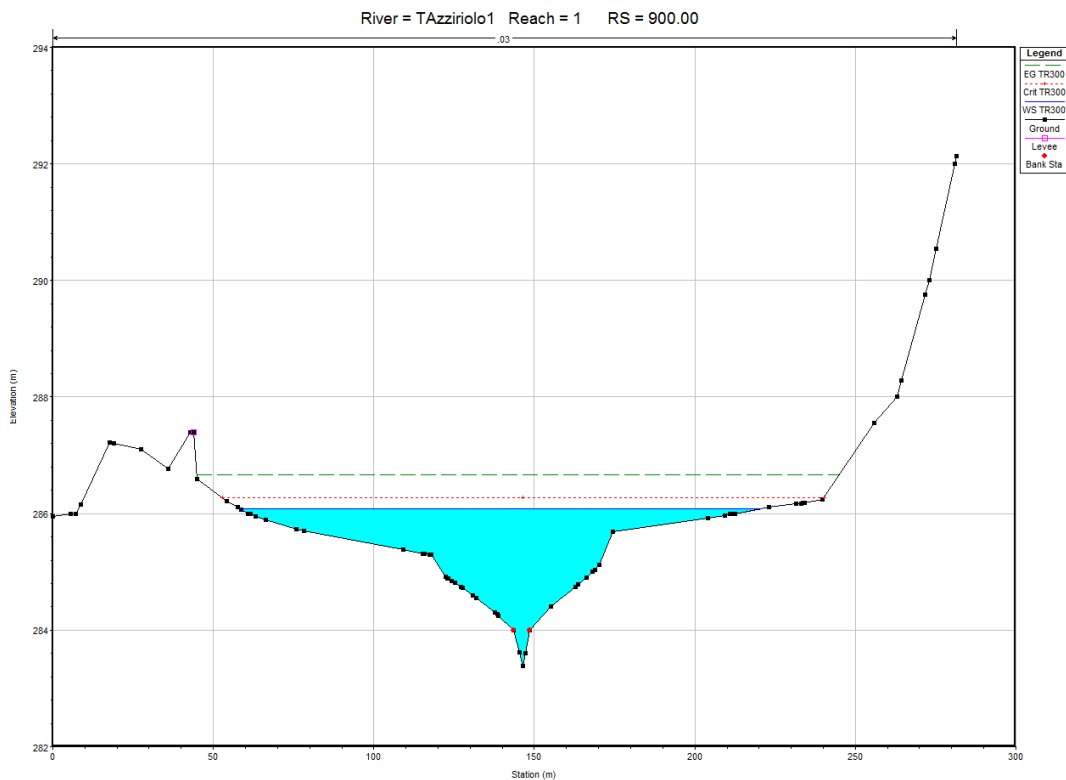


Figura 22- River station 900 Tr 300 anni

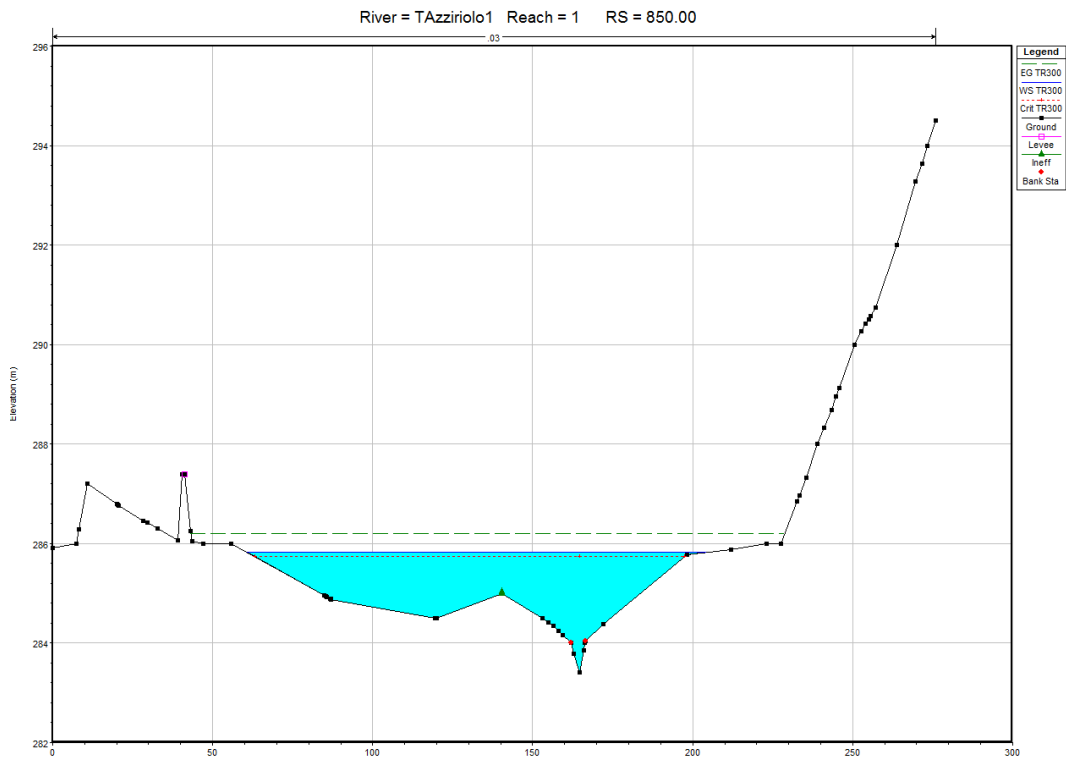


Figura 23- River station 850 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

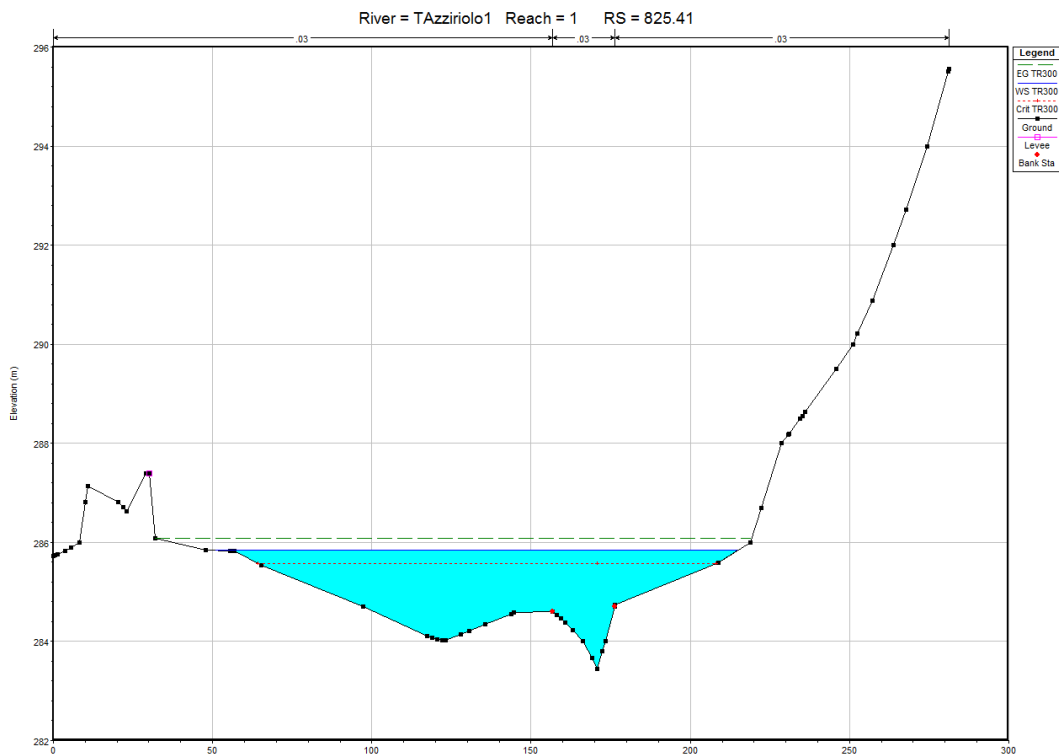


Figura 24- River station 825.41 Tr 300 anni

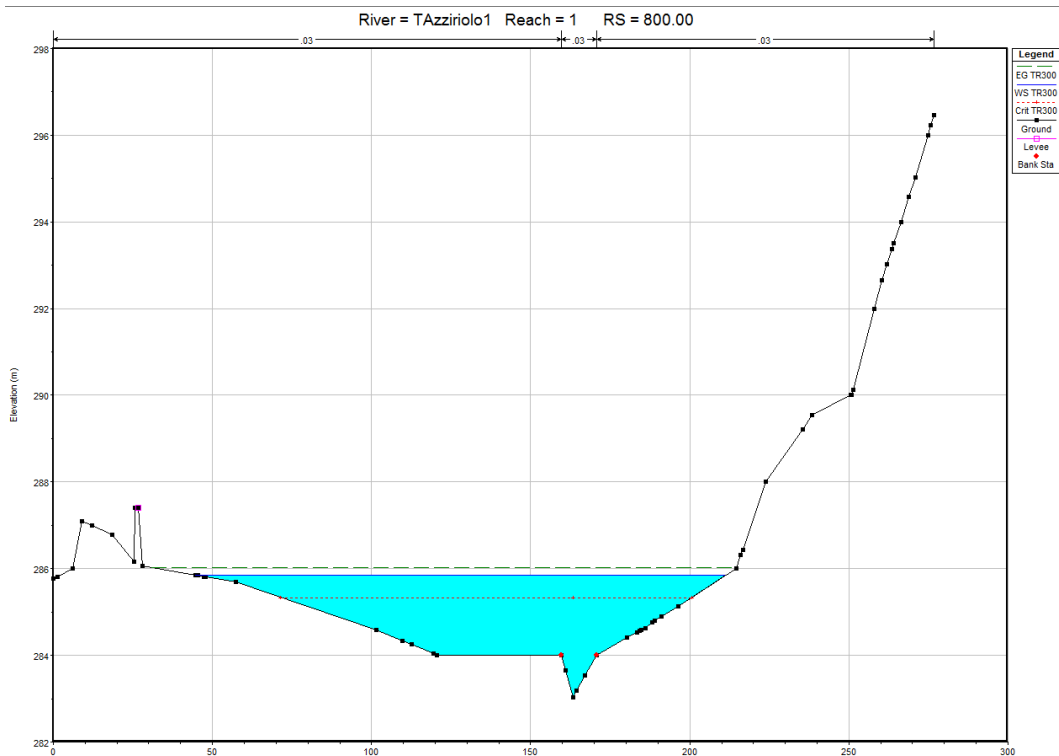


Figura 25- River station 800 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

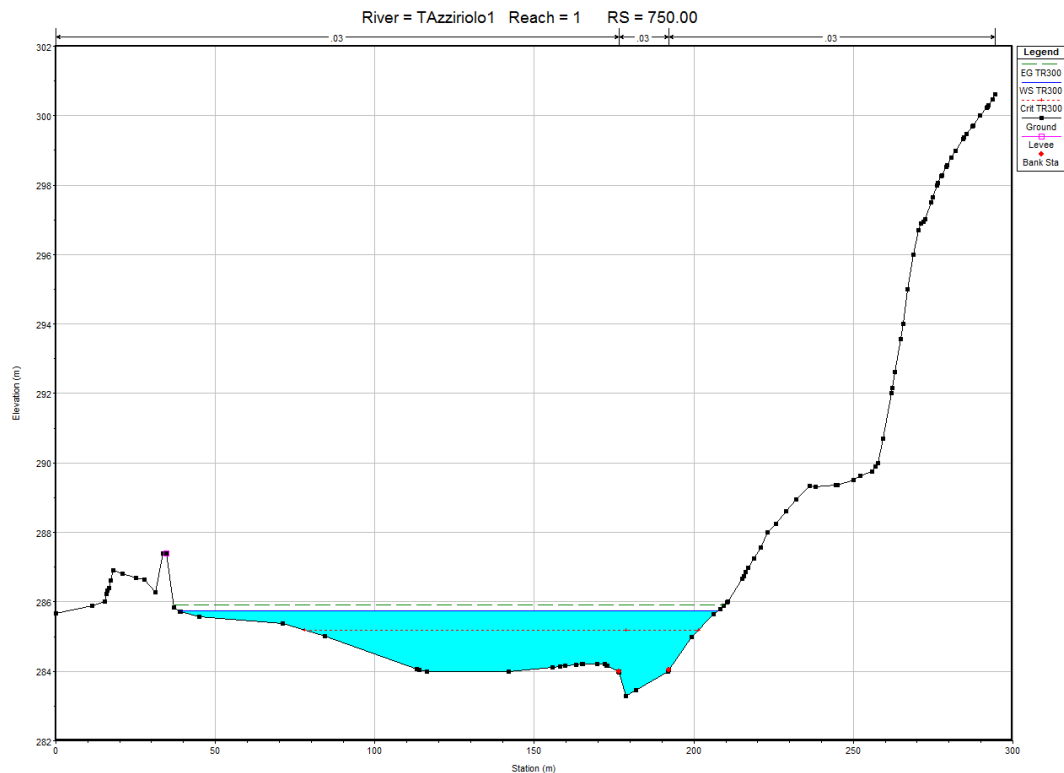


Figura 26- River station 750 Tr 300 anni

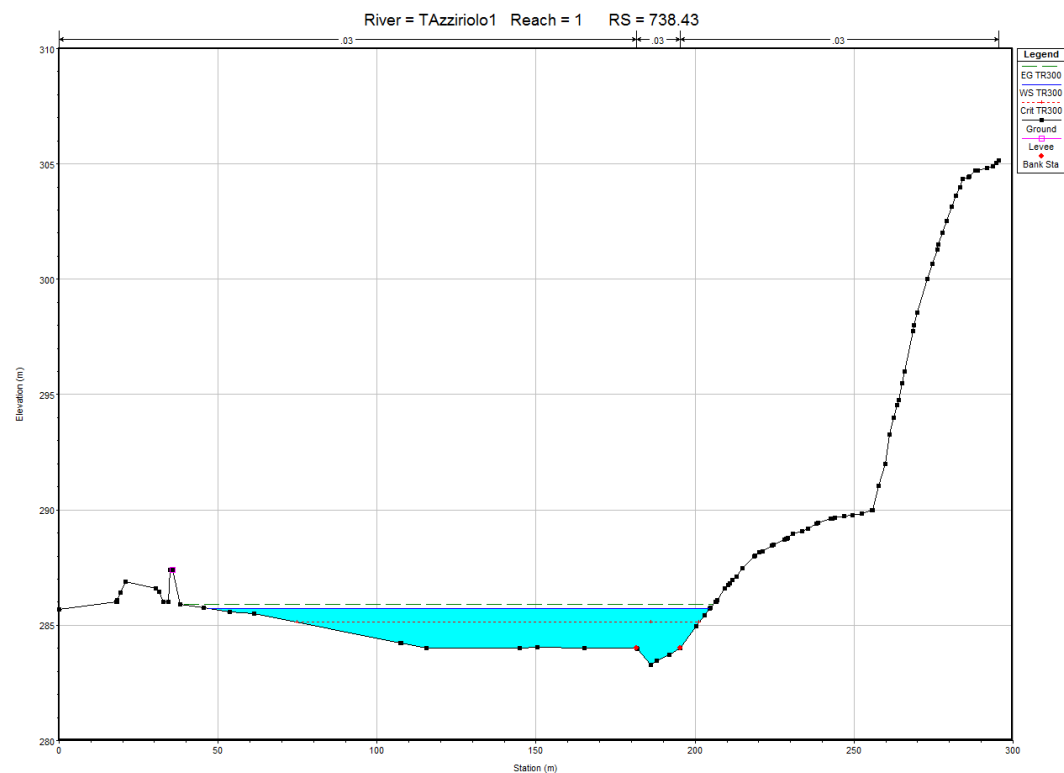


Figura 27- River station 738.43 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

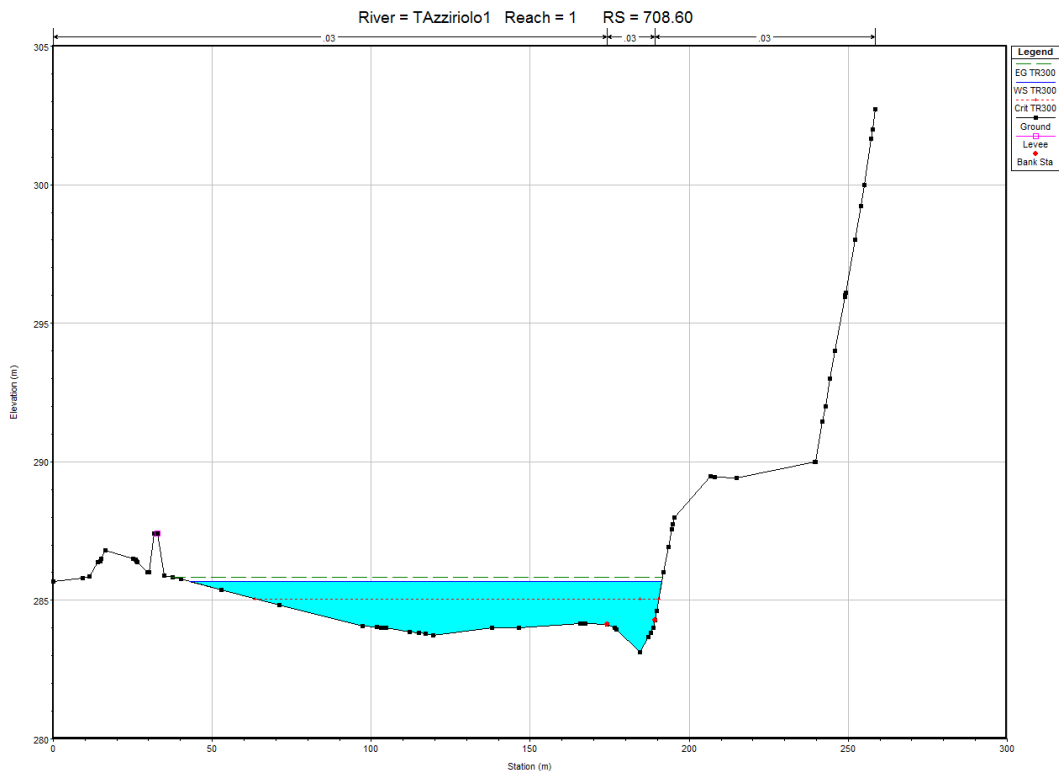


Figura 28- River station 708.6 Tr 300 anni

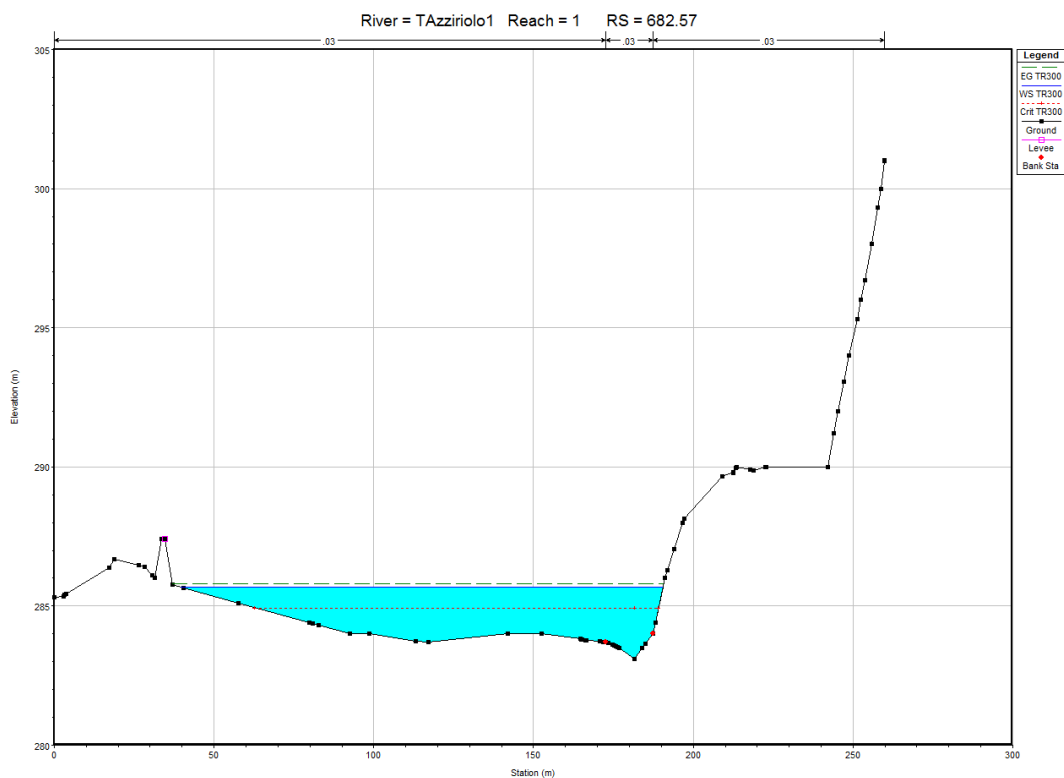


Figura 29- River station 682.57 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

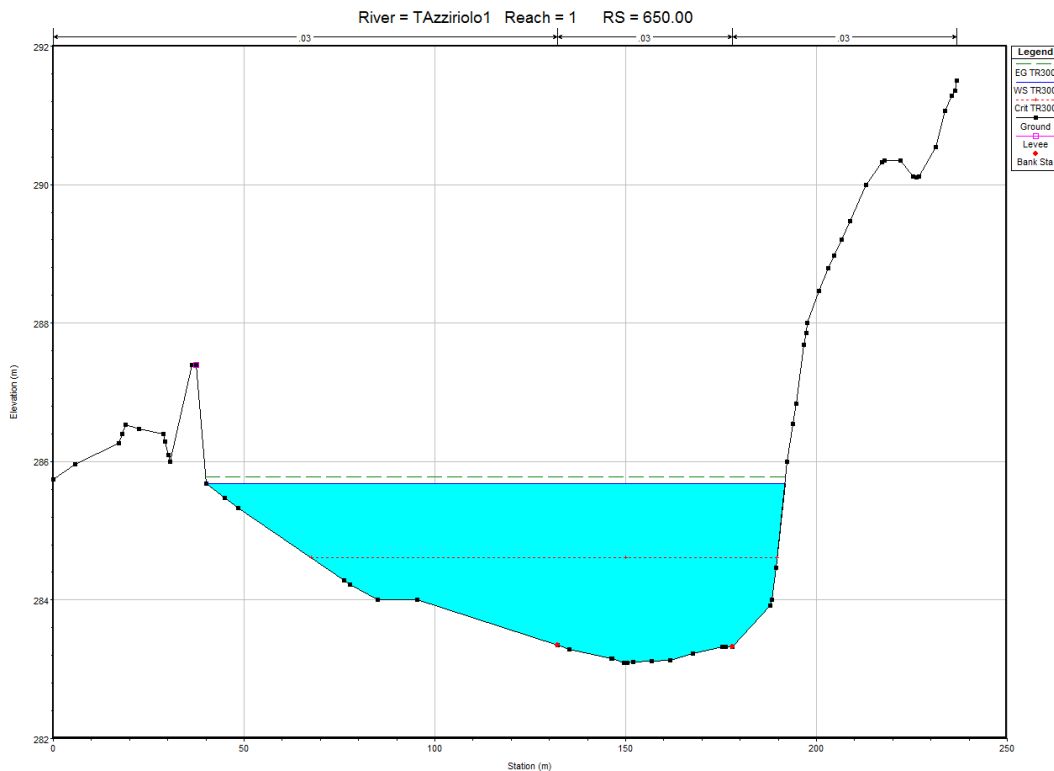


Figura 30- River station 650.00 Tr 300 anni

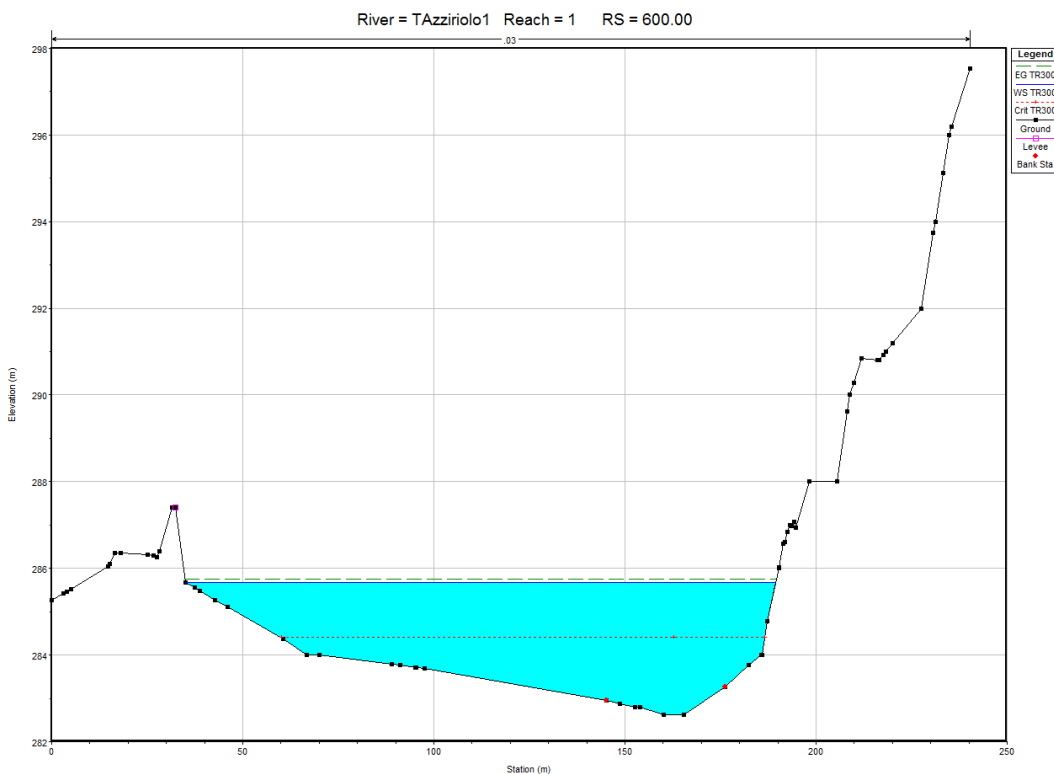


Figura 31- River station 600.00 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

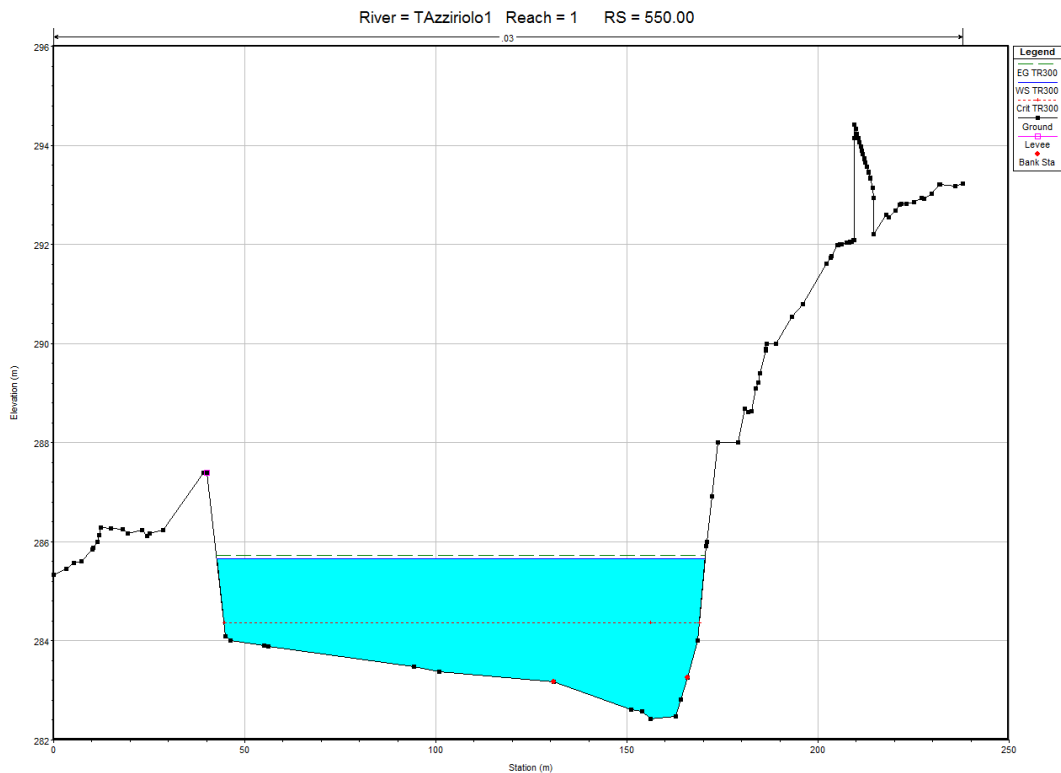


Figura 32- River station 550.00 Tr 300 anni

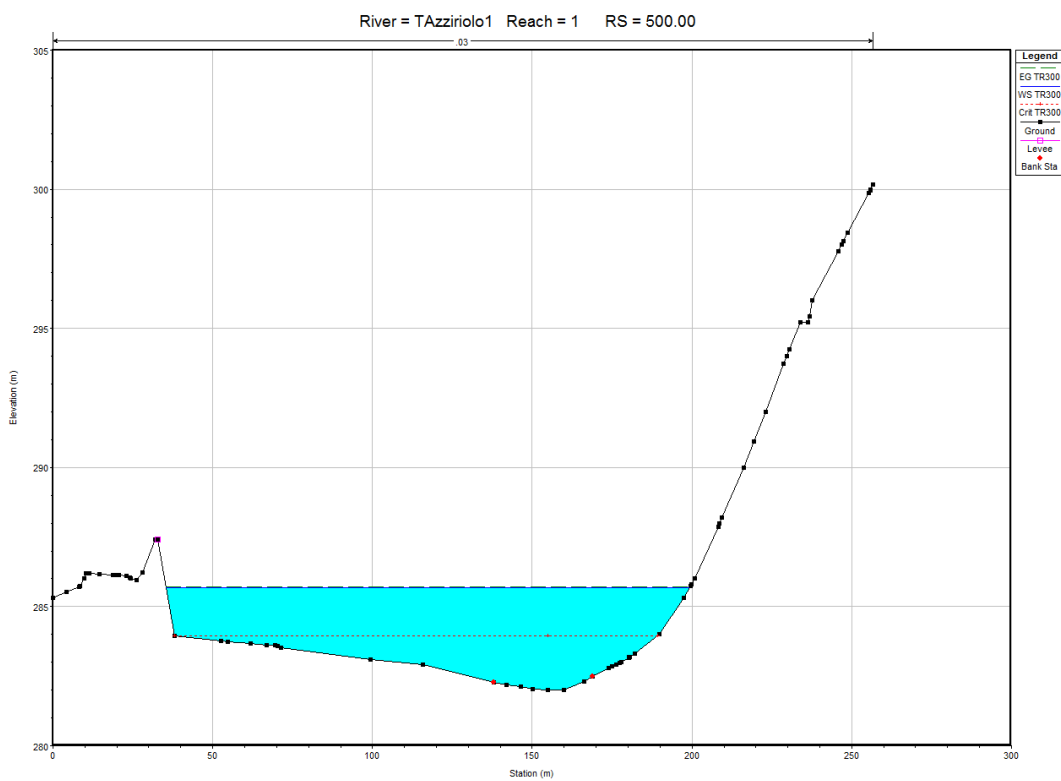


Figura 33- River station 500.00 Tr 300 anni

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

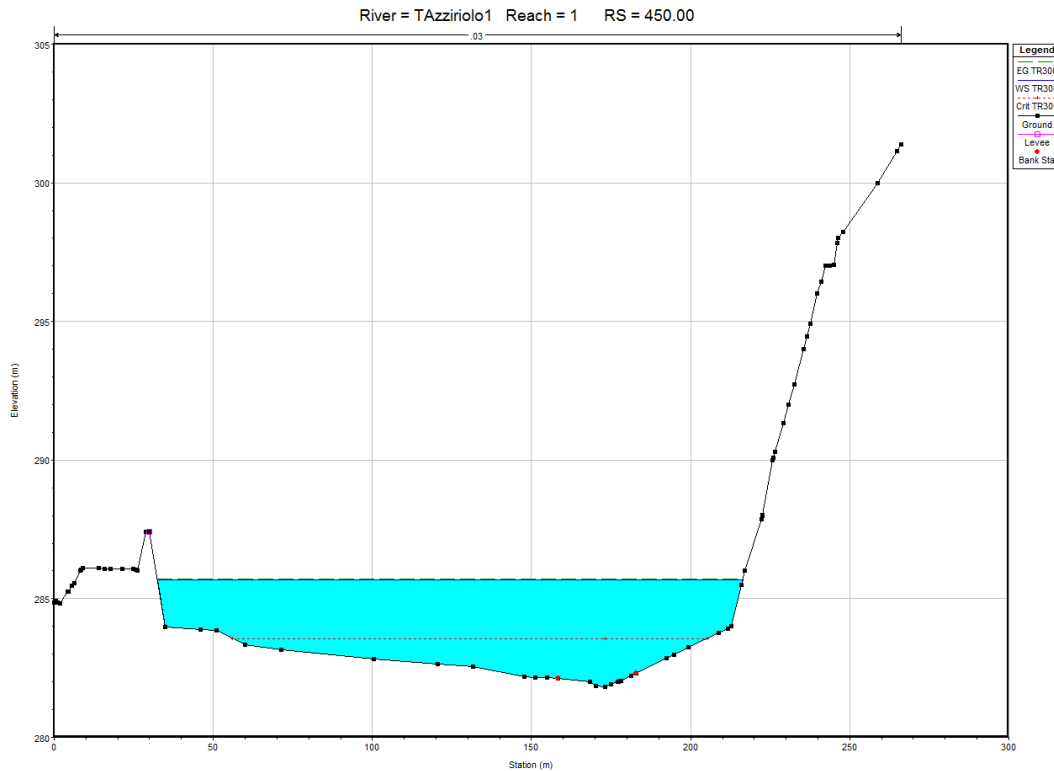


Figura 34- River station 450.00 Tr 300 anni

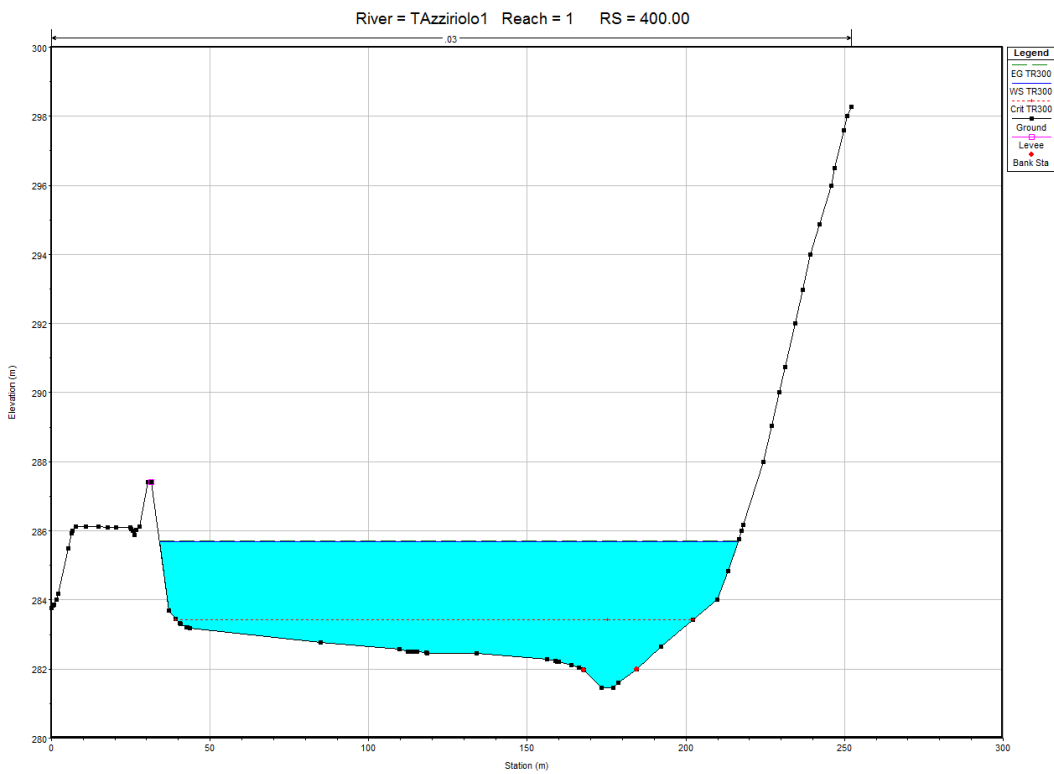


Figura 35- River station 400.00 Tr 300 anni

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

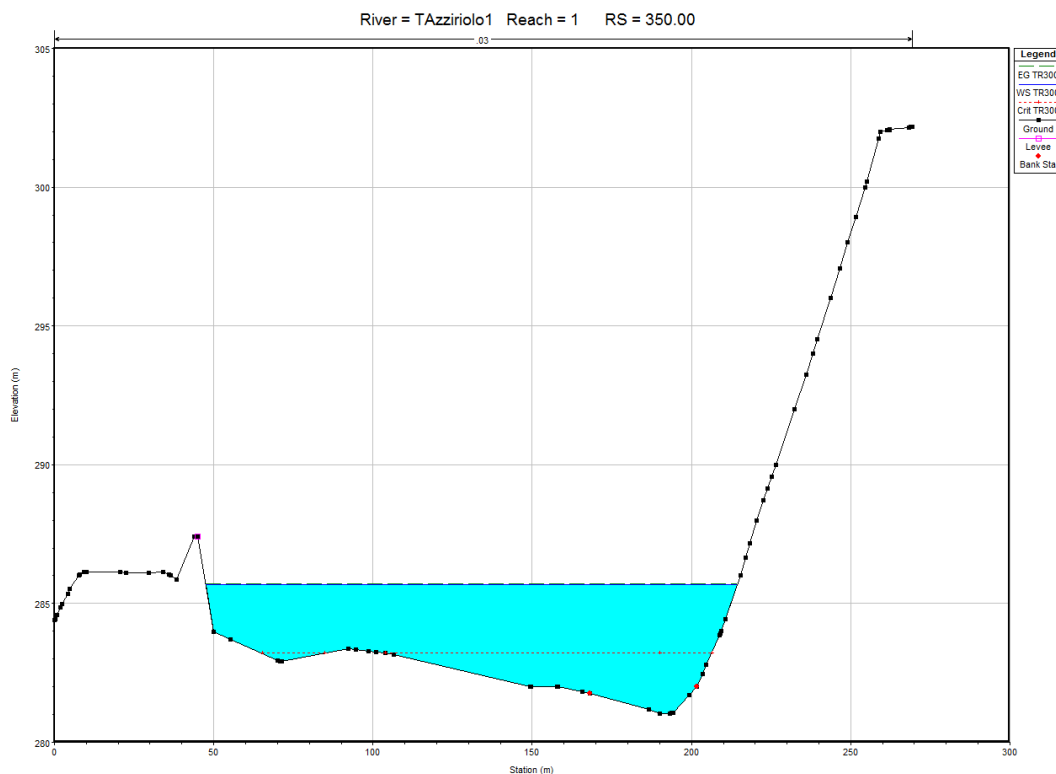


Figura 36- River station 350.00 Tr 300 anni

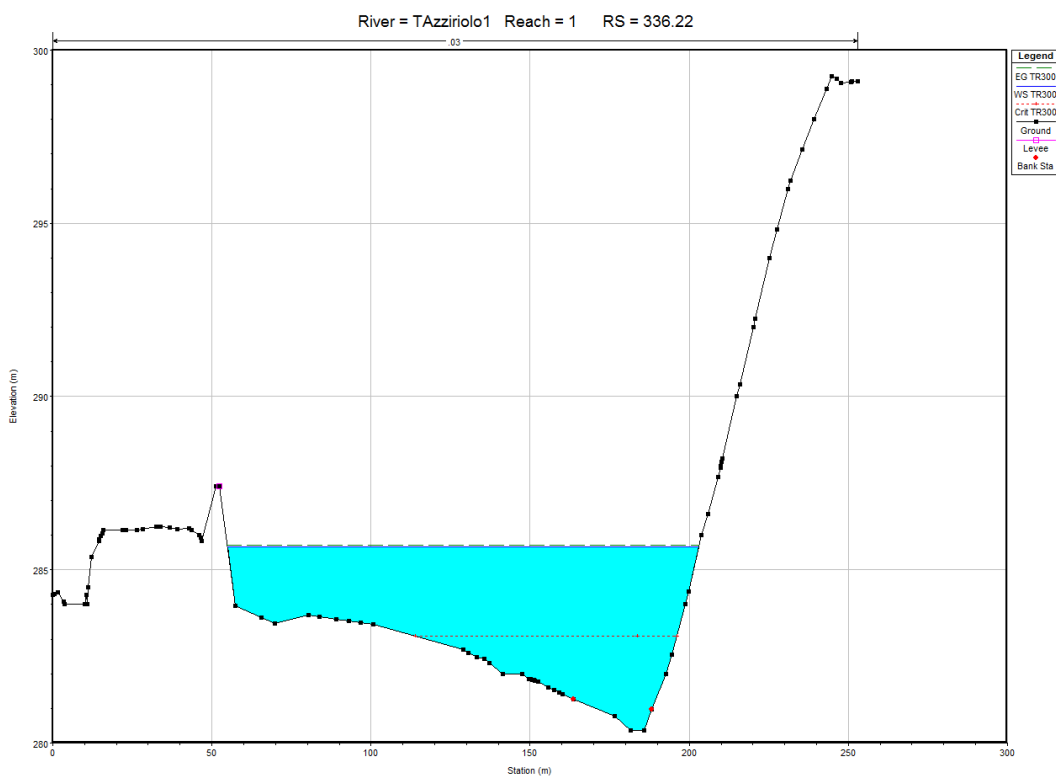


Figura 37- River station 336.22 Tr 300 anni

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

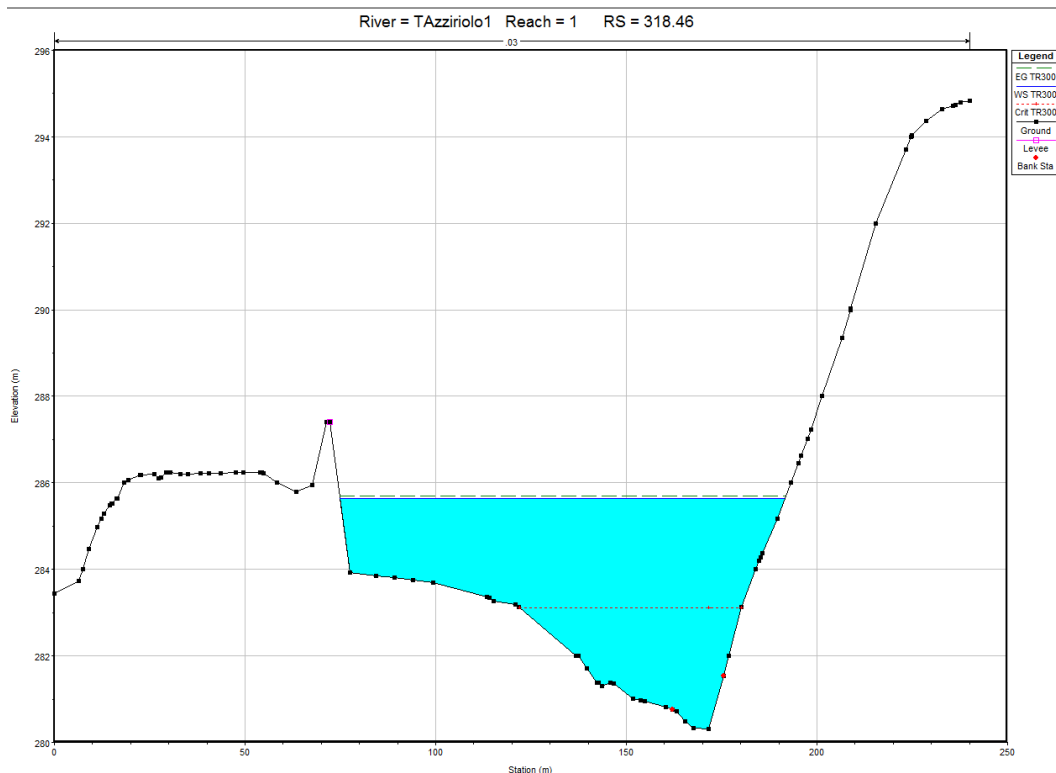


Figura 38- River station 318.46 Tr 300 anni

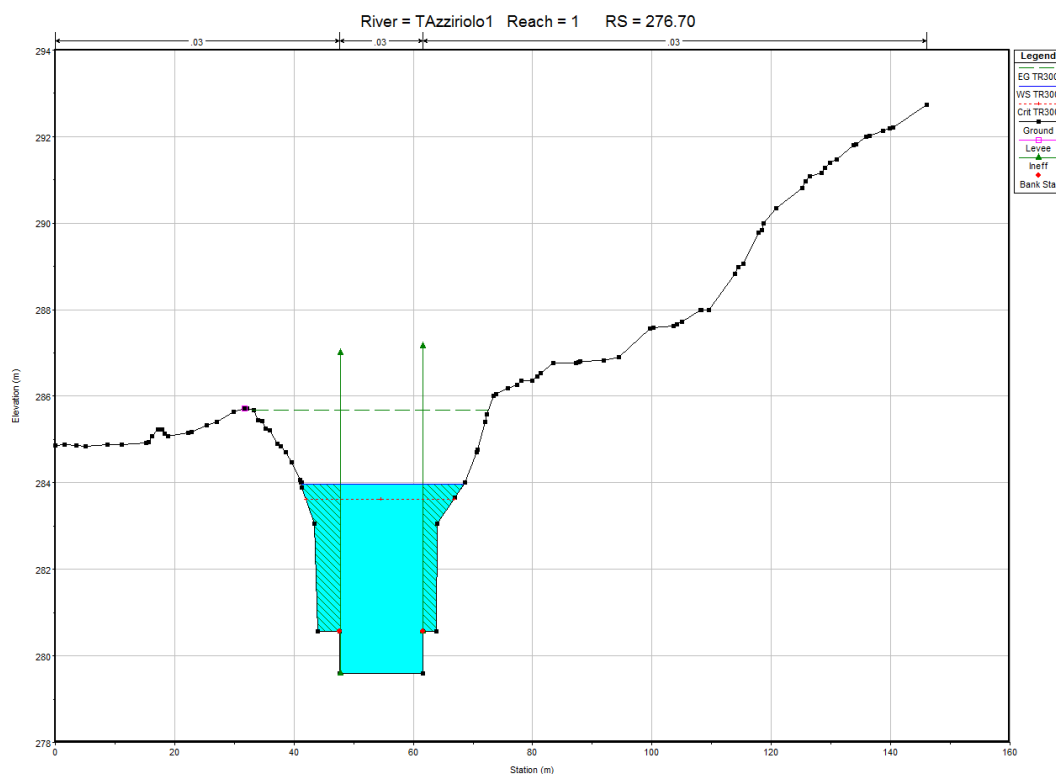


Figura 39- River station 276.70 Tr 300 anni- Sezione a monte del ponte al km 19.776

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

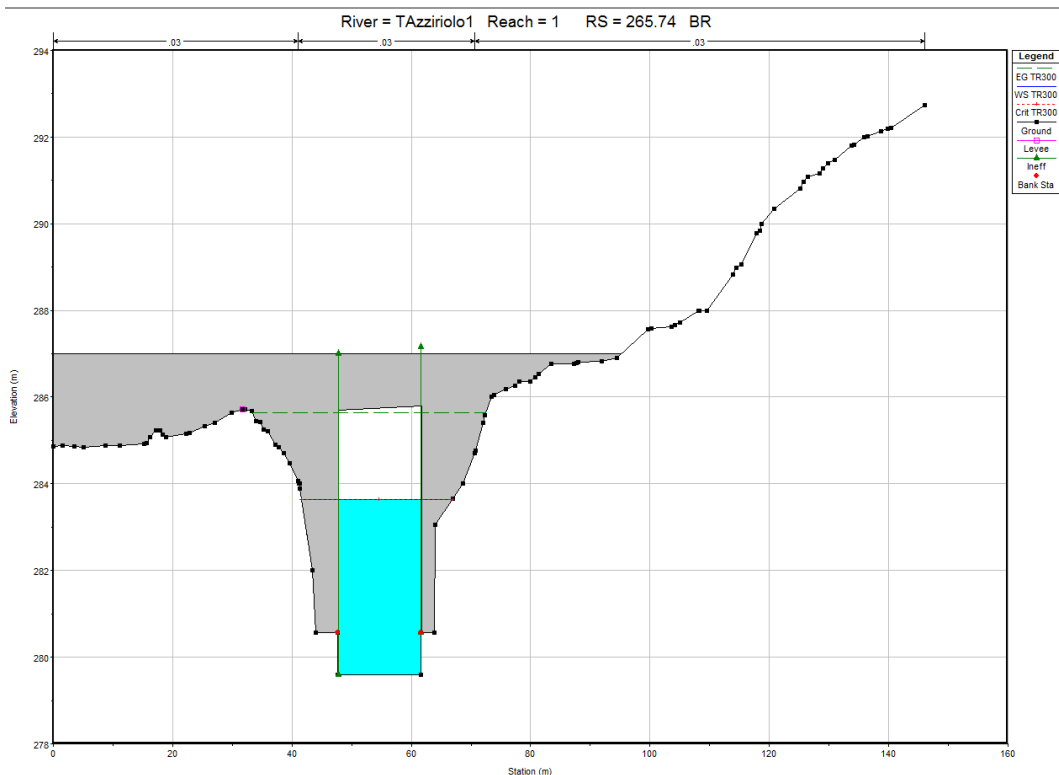


Figura 40- River station 265.74 Tr 300 anni- Sezione di monte del ponte al km 19.772

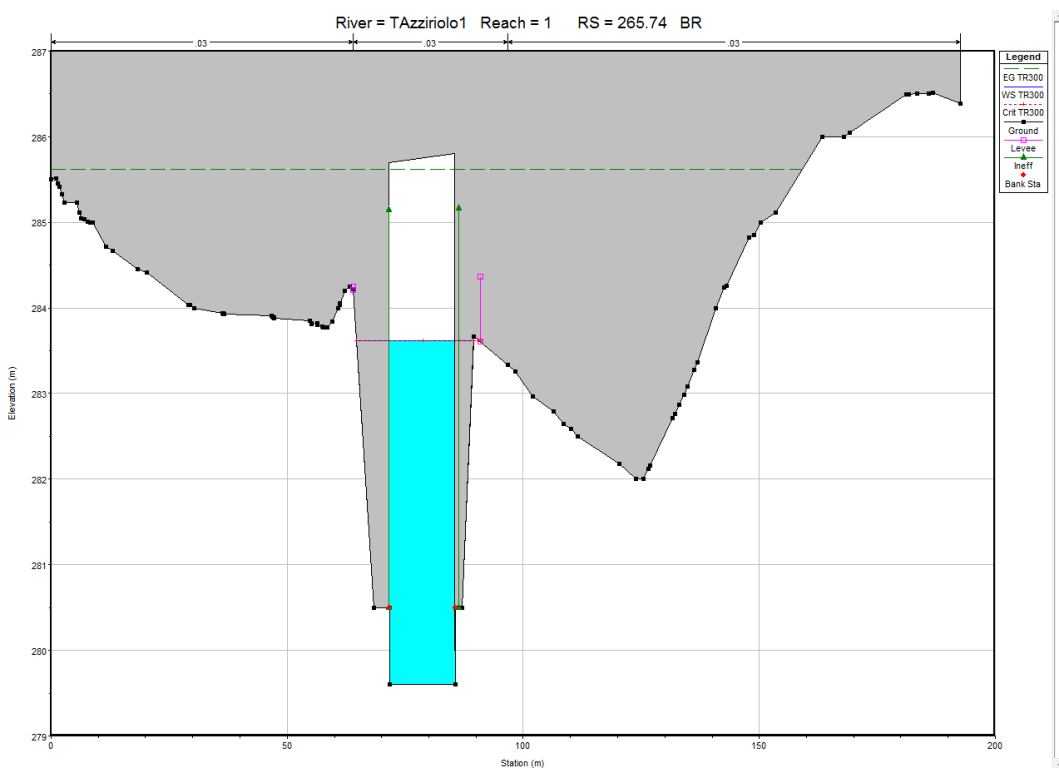


Figura 41- River station 265.74 Tr 300 anni- Sezione di valle del ponte al km 19.776

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

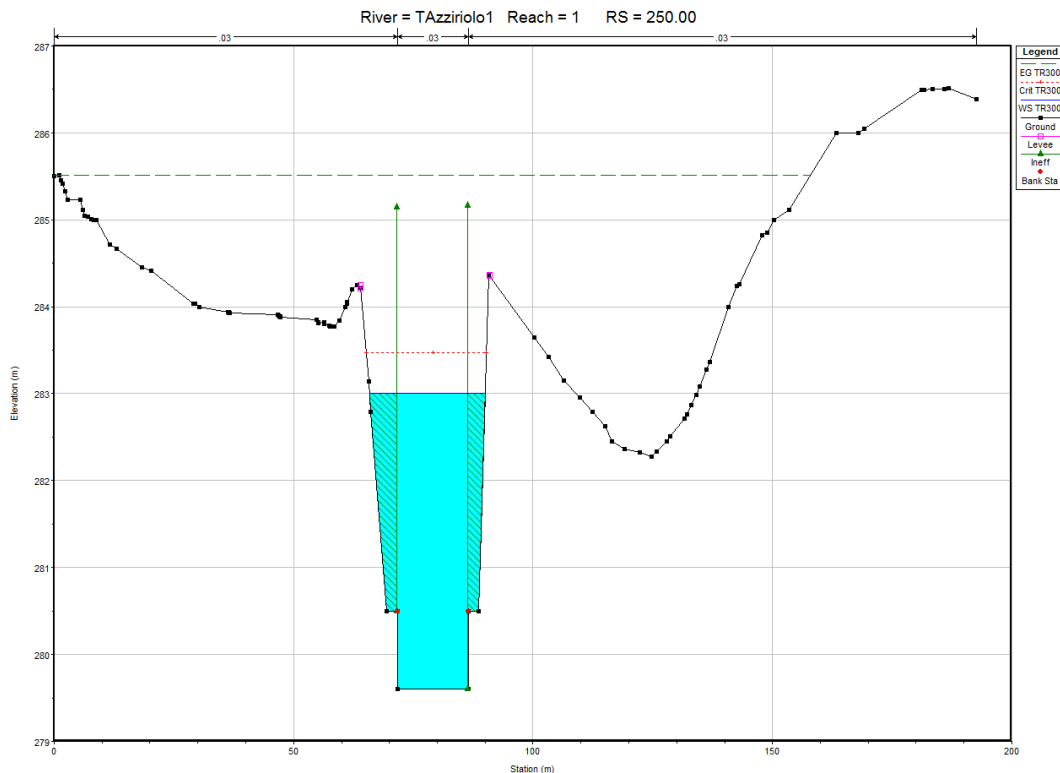


Figura 42- - River station 250.00 Tr 300 anni- Sezione a valle del ponte al km 19.776

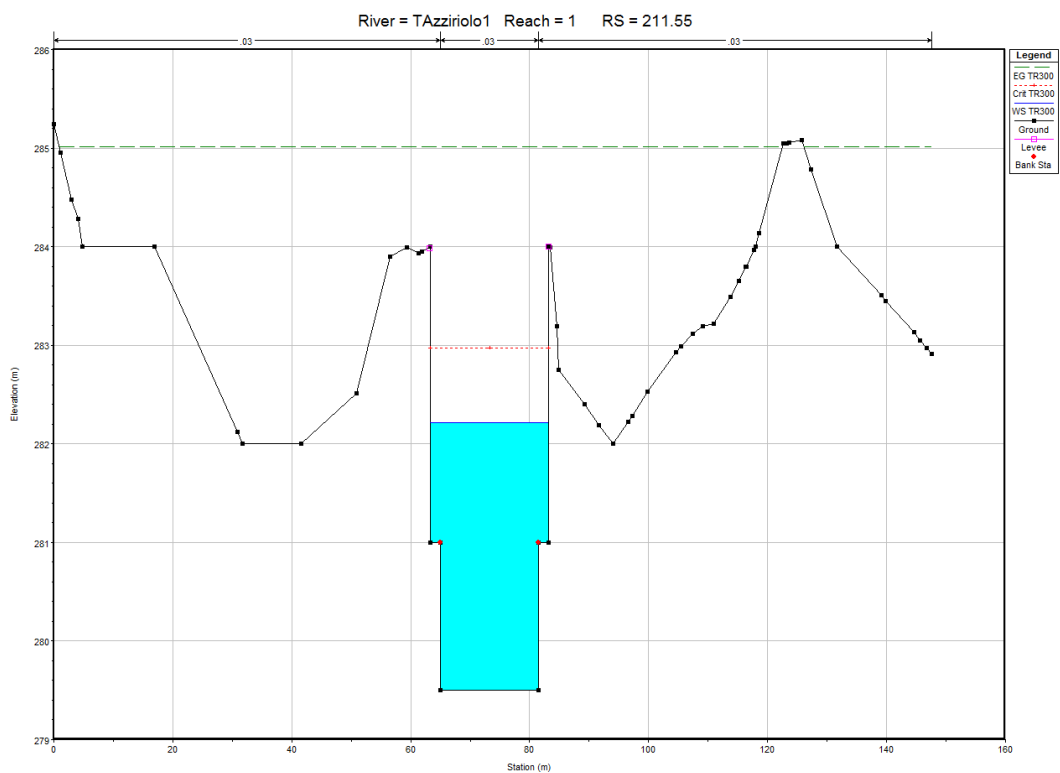


Figura 43- River station 211.55 Tr 300 anni

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

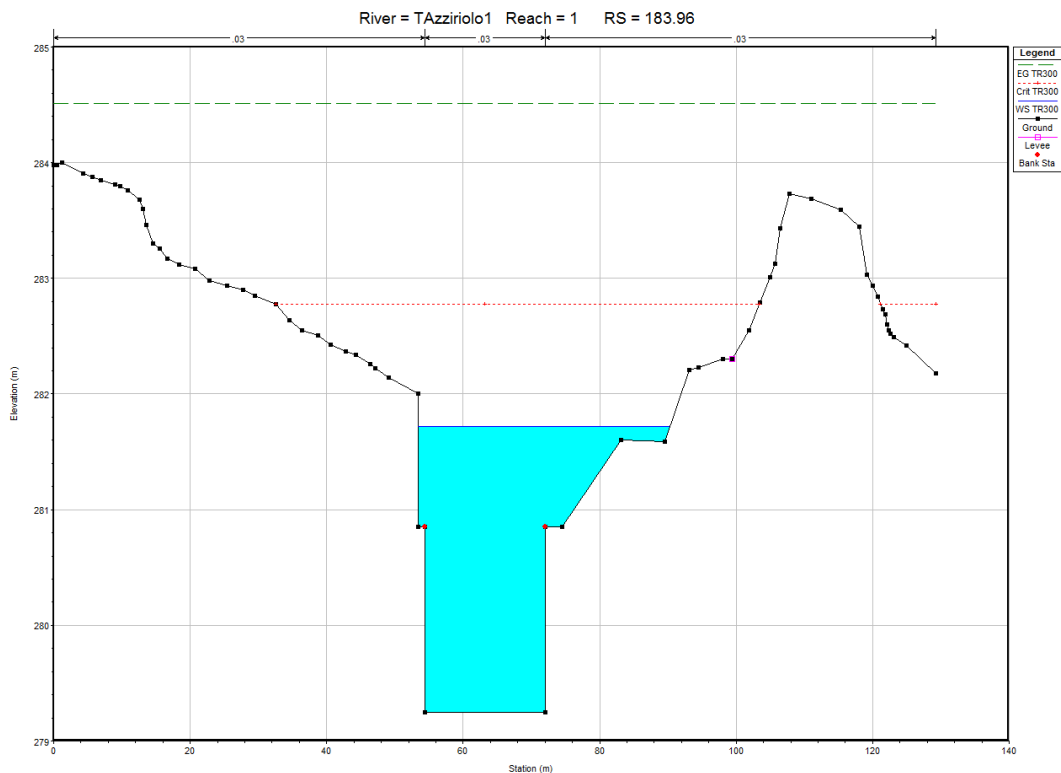


Figura 44- River station 183.96 Tr 300 anni

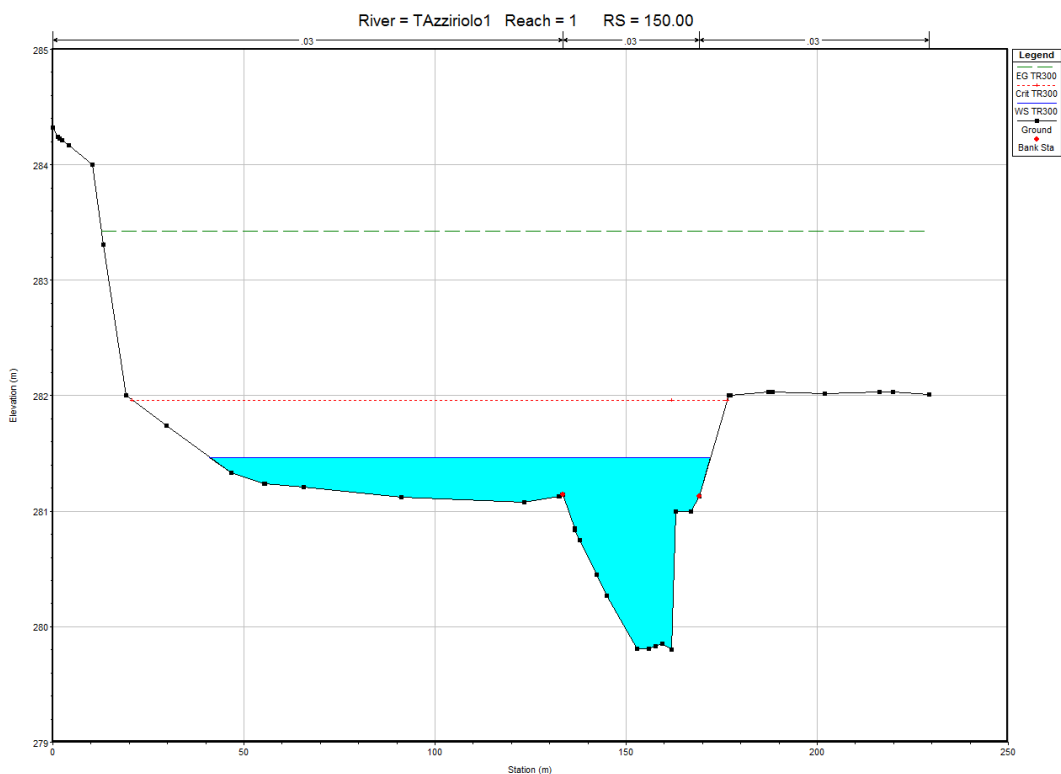


Figura 45- River station 150.00 Tr 300 anni

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 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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

I risultati ottenuti vengono altresì mostrati di seguito in formato tabellare.

POSTOPERAM SF 13									
Sezione	Q	Quota min. Alveo	Quota pelo libero	Hidr (max)	Velocità in alveo	Velocità sponda sinistra	Velocità sponda destra	Froude	
	(m ³ /s)	(m.s.l.m.)	(m. s.l.m.)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		
Azzirolo	1050.00	351	284.32	287.33	3.01	4.14	1.87	2.47	0.9
Azzirolo	1000.00	351	284.37	287.10	2.73	3.16	1.41	1.99	0.73
Azzirolo	977.29	351	283.97	286.87	2.90	3.78	1.39	2.07	0.84
Azzirolo	965.21	351	283.67	286.42	2.75	4.71	1.21	2.29	1.16
Azzirolo	943.24	351	283.39	286.31	2.92	4.65	1.74	1.99	1.02
Azzirolo	900.00	351	283.39	286.09	2.70	5.58	2.68	2.32	1.15
Azzirolo	850.00	351	283.42	285.82	2.40	4.13	2.54	2.13	0.91
Azzirolo	825.41	351	283.45	285.84	2.39	2.79	2.02	1.37	0.68
Azzirolo	800.00	351	283.04	285.84	2.80	2.66	1.7	1.48	0.56
Azzirolo	750.00	351	283.29	285.74	2.45	2.49	1.65	1.28	0.55
Azzirolo	738.43	351	283.29	285.73	2.44	2.28	1.63	1.24	0.5
Azzirolo	708.60	351	283.14	285.69	2.55	2.1	1.62	0.92	0.47
Azzirolo	682.57	351	283.09	285.68	2.59	2	1.5	0.98	0.43
Azzirolo	650.00	351	283.09	285.68	2.59	1.58	1.09	1.23	0.32
Azzirolo	600.00	351	282.62	285.68	3.06	1.44	1.04	0.99	0.27
Azzirolo	550.00	351	282.43	285.65	3.22	1.4	1.12	0.83	0.26
Azzirolo	500.00	351	281.99	285.68	3.69	1.04	0.8	0.7	0.18
Azzirolo	450.00	351	281.83	285.68	3.85	0.83	0.67	0.61	0.14
Azzirolo	400.00	351	281.47	285.68	4.21	0.8	0.65	0.55	0.13
Azzirolo	350.00	351	281.02	285.68	4.66	0.85	0.64	0.49	0.13
Azzirolo	336.22	351	280.37	285.67	5.30	1.02	0.69	0.66	0.15
Azzirolo	318.46	351	280.32	285.64	5.32	1.38	0.95	0.7	0.2
Azzirolo	276.70	351	279.60	283.96	4.36	5.81	-	5.14	0.89
Azzirolo	265.74	Bridge							
Azzirolo	250.00	351	279.60	283.00	3.40	7.02	5.96	-	1.22
Azzirolo	211.55	351	279.50	282.21	2.71	7.53	3.43	3.39	1.46
Azzirolo	183.96	351	279.25	281.72	2.47	7.60	2.8	2.52	1.54
Azzirolo	150.00	351	279.80	281.47	1.67	6.89	2.92	1.99	2.1
Azzirolo	100.00	351	278.50	281.15	2.65	6.02	1.58	1.83	1.18
Azzirolo	88.26	351	278.77	281.00	2.23	6.77	3.02	3.34	1.7
Azzirolo	61.92	351	278.54	280.78	2.24	5.28	2.91	2.21	1.37

Tabella 4 Risultati modellazione idraulica- configurazione di progetto

I risultati ottenuti mostrano come, nella configurazione di progetto, il ponte alla pk 19.776 abbia un franco di 1.74 m circa rispetto al punto più basso dell'impalcato, e che quindi siano soddisfatti i criteri minimi richiesti dalla vigente normativa.

Dai risultati è anche possibile vedere come l'inalveazione di progetto sia tale da garantire il deflusso della piena con tempo di ritorno 300 anni all'interno dell'alveo (sezioni HEC RAS da 267.70 a 183.90).

I risultati mostrano altresì che l'intervento proposto garantisce che l'esonazione causata dalla piena con tempo di ritorno 300 anni non arrivi alla quota piano stradale del tratto AP15. Tuttavia, essendo in alcune sezioni i franchi di sicurezza esigui rispetto all'attuale piano stradale, l'intervento di sistemazione sarà corredato dalla realizzazione di un argine a protezione del tratto stradale in oggetto dalla sezione 900 del modello HEC-RAS (corrispondente alla progressiva n. 966 dell'asse principale).

Tale risultato è sinteticamente illustrato nella Tabella 5.

Sezione HEC-RAS	n. Progressiva stradale	Quota pelo libero (m. s.l.m.)	Quota piano strada (m. s.l.m.)	Quota coronamento Argine (m. s.l.m.)
965.21	962	286.42	288.40	-
943.24	965	286.31	287.40	-
900.00	966	286.09	287.10	287.4
850.00	968	285.82	286.70	287.4
825.41	969	285.84	286.60	287.4
800.00	970	285.84	286.60	287.4
750.00	972	285.74	286.50	287.4
738.43	973	285.73	286.40	287.4
708.60	974	285.69	286.10	287.4
682.57	975	285.68	286.40	287.4
650.00	976	285.68	286.30	287.4
600.00	978	285.68	286.20	287.4
550.00	979	285.65	286.10	287.4
500.00	980	285.68	286.00	287.4
450.00	982	285.68	285.90	287.4
400.00	983	285.68	286.00	287.4
350.00	984	285.68	286.00	287.4
336.22	985	285.67	286.10	287.4
318.46	986	285.64	286.20	287.4
276.70	-	283.96	286.80	287.4

Tabella 5 Confronto tra quote idrometriche POSTOPERAM, quote dell'attuale piano stradale e quota di coronamento argine POSTOPERAM

La quota di coronamento di tale argine, pari a 287.4 m.s.l.m., è stata determinata al fine di garantire un adeguato franco di sicurezza anche nella fase transitoria, antecedente alla demolizione del ponte ad arco di valle, posto sulla viabilità in disuso.

A tal fine, è stato quindi sviluppato un ulteriore modello idraulico con entrambi i ponti ad arco.

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

I risultati della modellazione, in termini di altezze idrometriche, sono di seguito presentati in forma tabellare, mentre per gli output grafici si rimanda all' Allegato 2 del presente documento.

Sezione HEC-RAS	n. Progressiva stradale	Quota pelo libero	Quota piano strada	Quota coronamento Argine
		(m. s.l.m.)	(m. s.l.m.)	(m. s.l.m.)
965.21	962	286.42	288.40	-
943.24	965	286.31	287.40	-
900.00	966	286.52	287.10	287.4
850.00	968	286.54	286.70	287.4
825.41	969	286.54	286.60	287.4
800.00	970	286.54	286.60	287.4
750.00	972	286.52	286.50	287.4
738.43	973	286.52	286.40	287.4
708.60	974	286.51	286.10	287.4
682.57	975	286.50	286.40	287.4
650.00	976	286.51	286.30	287.4
600.00	978	286.50	286.20	287.4
550.00	979	286.49	286.10	287.4
500.00	980	286.51	286.00	287.4
450.00	982	286.51	285.90	287.4
400.00	983	286.51	286.00	287.4
350.00	984	286.51	286.00	287.4
336.22	985	286.50	286.10	287.4
318.46	986	286.48	286.20	287.4
276.70	-	286.03	286.80	287.4

Tabella 6 Confronto tra quote idrometriche nella fase transitoria antecedente alla demolizione del secondo ponte ad arco, quote dell'attuale piano stradale e quota di coronamento argine

7 VERIFICA DELL'ARGINE DI PROTEZIONE

La verifica dell'argine di protezione, previsto tra le progressive pk 19+337.81 e 19+770.12 è stata eseguita con l'ausilio del codice di calcolo GeoSlope della Slope/W International.

Per il progetto e la verifica dell' opera sono state esaminate le varie azioni riportate nei paragrafi seguenti.

7.1 AZIONI VARIABILI

Sovraccarico uniforme indefinito

Nel caso specifico si terrà conto di un sovraccarico accidentale uniforme indefinito, dovuto al traffico stradale, pari a 20 kPa in condizioni statiche.

7.2 FALDA

Il livello idrico in condizioni ordinarie è stato cautelativamente posto a -1m da piano campagna. In condizioni di piena è stato considerato il livello idrico massimo corrispondente alla condizione transitoria, antecedente alla demolizione del ponte ad arco di valle, posto sulla viabilità in disuso, pari a -1m dalla quota di coronamento del nuovo argine (vedasi Tabella 6).

Ai fini della modellazione, in corrispondenza dell'evento di piena, l'argine di progetto è stato considerato impermeabile in quanto l'intervento prevede il rivestimento dello stesso con geocomposito bentonitico proprio ad evitare l'imbibimento del terreno costituente l'opera (vedasi elaborati grafici di progetto). Nello specifico caso la condizione di magra risulterà quindi più sfavorevole ai fini della stabilità dell'opera.

7.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

7.3.1 *Caratterizzazione Geotecnica*

Ai fini della caratterizzazione dei terreni di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri.

TERRENO DI FONDAZIONE: LSA

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 5 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 25^\circ$$

Tali valori sono stati cautelativamente utilizzati anche per la caratterizzazione del rilevato stradale esistente.

Per un maggiore dettaglio circa la caratterizzazione dei terreni di fondazione si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale allegata al presente Progetto di Variante.

Per quanto concerne i parametri geotecnici del terreno costituente il rilevato di progetto ed il riempimento a tergo delle opere, dove previsto, sono stati considerati i seguenti parametri:

TERRENO PER RILEVATO/ RIEMPIMENTO

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 38^\circ$$

7.3.2 Calcolo dell'azione sismica di progetto

Il calcolo delle azioni sismiche, viene condotto nel rispetto della normativa vigente.

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

$$\text{Longitudine: } 13^\circ.5221$$

$$\text{Latitudine: } 37^\circ.8496$$

Per le analisi in condizioni sismiche, concordemente alle indicazioni della normativa vigente, è stato preso come riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e, dunque, i seguenti parametri:

- | | |
|--|------------------------------|
| – categoria di suolo | B |
| – Coefficiente topografico | T1 |
| – fattore di sito | $S = 1.20$ |
| – accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido: | $a_g = 0.1470$ |
| – massima accelerazione su sottosuolo tipo B | $a_{\max} = 0.176 \text{ g}$ |
| – coefficiente sismico orizzontale: | $k_h = 0.067$ |
| – coefficiente sismico verticale: | $k_v = \pm 0.033$ |

Concordemente alle indicazioni di normativa i coefficienti di smorzamento sono stati posti pari a $\beta = 0.38$.

Quanto riportato nei Par. 7.3.1 e 7.3.2 si applica anche per le verifiche al capitolo 8 del presente elaborato.

7.4 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riportano nel seguito i risultati delle analisi in forma sia grafica che tabellare, rimandando all'Allegato 4 per il dettaglio degli output di calcolo.

	Magra	Piena
Statica	1.17	1.4
Sismica	1.30	-

Tabella 7 Risultati analisi di stabilità argine AP15

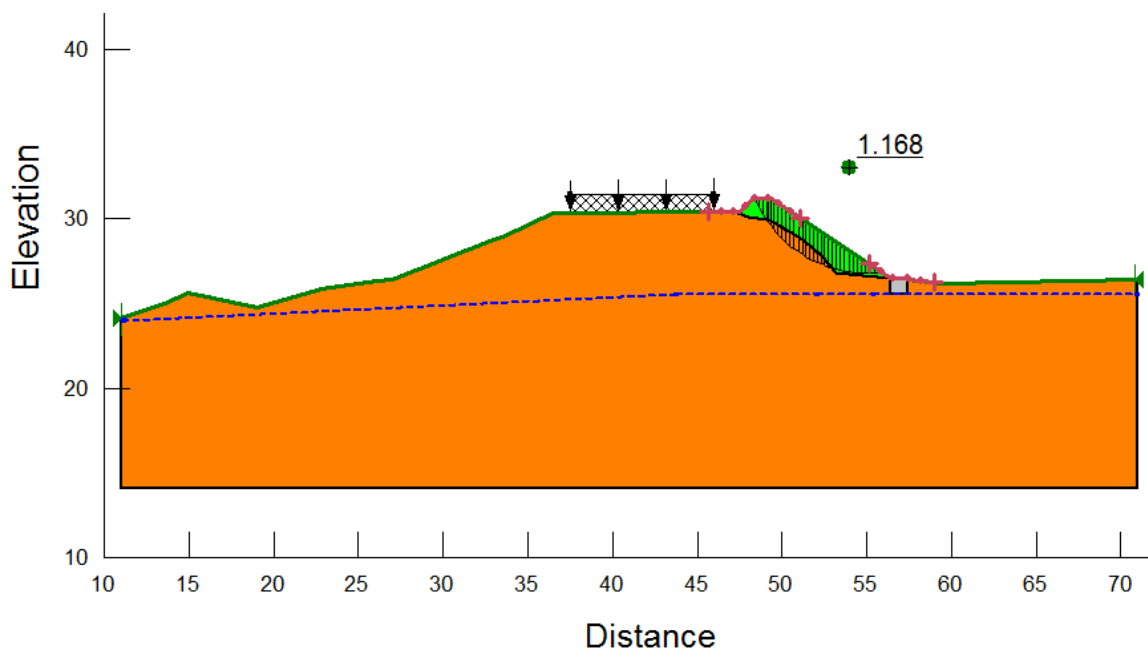


Figura 46 Analisi di stabilità in condizioni statiche -Magra

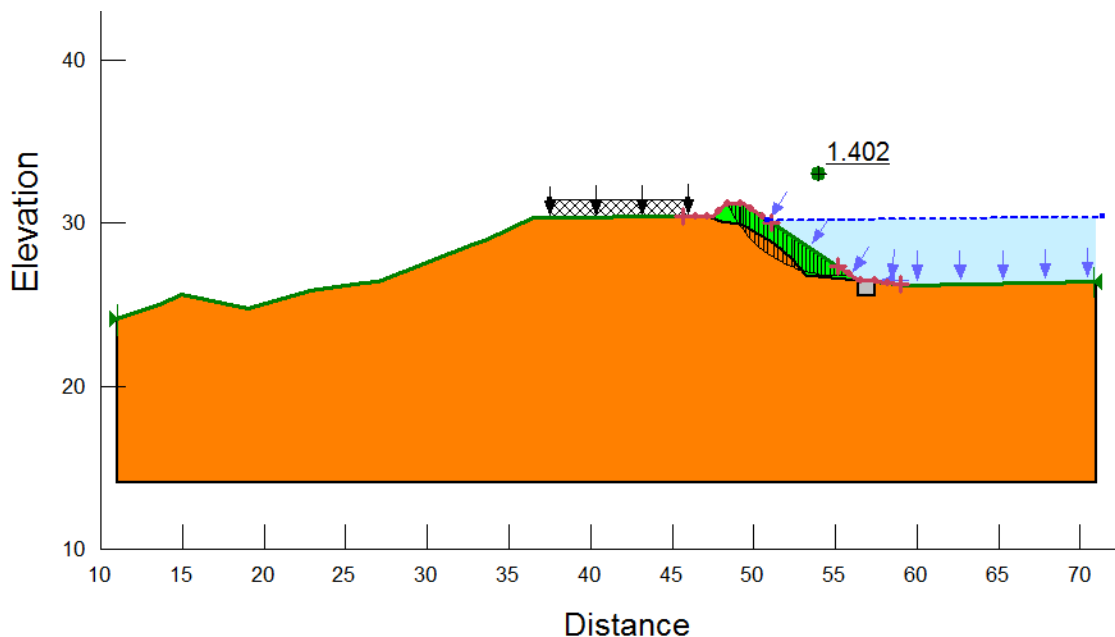


Figura 47 Analisi di stabilità in condizioni statiche -Piena

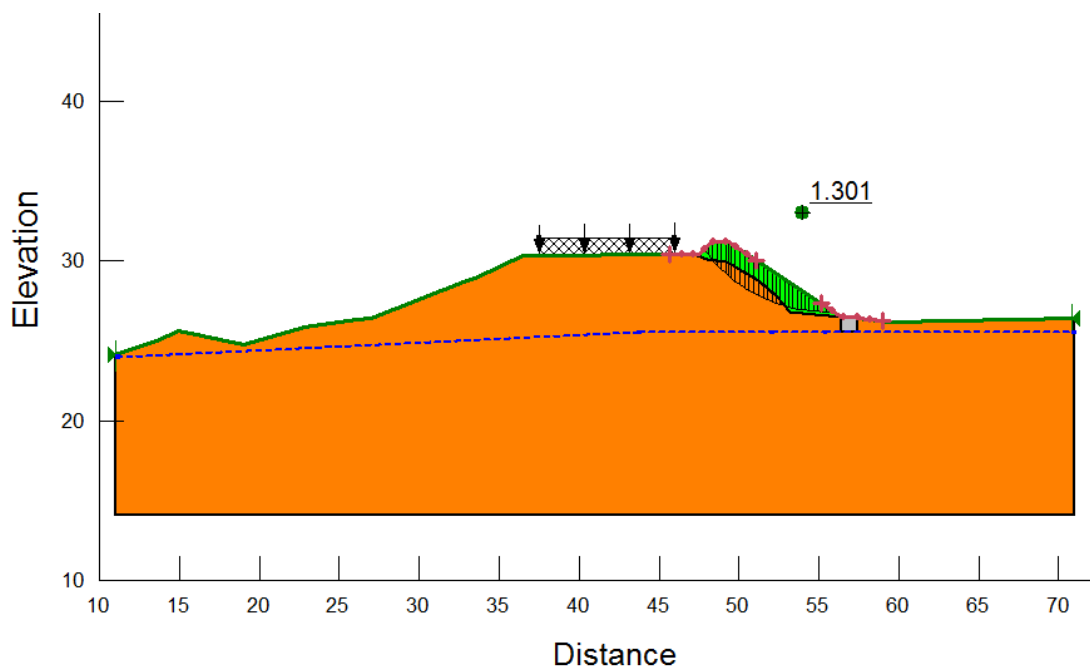


Figura 48 Analisi di stabilità in condizioni sismiche

8 VERIFICA DELLE PROTEZIONI IN GABBIONI

8.1 VERIFICA A TRASCINAMENTO

La verifica dell'intervento di protezione spondale e di fondo alveo, previsto nel presente progetto è stata eseguita secondo la metodologia di seguito descritta.

Per la determinazione della velocità critica del materiale costituente i gabbioni si è fatto riferimento alla formulazione di Shields per la quale:

$$\tau_{cr} = \gamma R_H i$$

Dove:

τ_{cr} : tensione critica di trascinamento

γ : peso specifico della massa liquida

R_H : raggio idraulico

i : pendenza del fondo

Secondo la formulazione di Gauckler-Strikler la stessa relazione può essere scritta come:

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

Considerato un materiale cui $\gamma_s = 2600 \text{ kg/m}^3$ la precedente equazione può scriversi come:

$$v_{cr} = 0.31 K_S R_H^{1/6} \sqrt{d}$$

Dove il coefficiente di scabrezza K_s assume valori compresi tra 25 e 35 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$.

Nella verifica in esame sono stati considerati i seguenti valori tabellati.

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)

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Come mostrato nella tabella seguente, le velocità sono compatibili con le sistemazioni proposte. L'intervento di progetto si ritiene pertanto verificato.

POSTOPERAM SF 13					
Sezione	Quota min. Alveo	Quota pelo libero	Velocità in alveo	Velocità sponda sinistra	Velocità sponda destra
	(m.s.l.m.)	(m. s.l.m.)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
1050.00	284.32	287.33	4.14	1.87	2.47
1000.00	284.37	287.10	3.16	1.41	1.99
977.29	283.97	286.87	3.78	1.39	2.07
965.21	283.67	286.42	4.71	1.21	2.29
943.24	283.39	286.31	4.65	1.74	1.99
900.00	283.39	286.09	5.58	2.68	2.32
850.00	283.42	285.82	4.13	2.54	2.13
825.41	283.45	285.84	2.79	2.02	1.37
800.00	283.04	285.84	2.66	1.7	1.48
750.00	283.29	285.74	2.49	1.65	1.28
738.43	283.29	285.73	2.28	1.63	1.24
708.60	283.14	285.69	2.1	1.62	0.92
682.57	283.09	285.68	2	1.5	0.98
650.00	283.09	285.68	1.58	1.09	1.23
600.00	282.62	285.68	1.44	1.04	0.99
550.00	282.43	285.65	1.4	1.12	0.83
500.00	281.99	285.68	1.04	0.8	0.7
450.00	281.83	285.68	0.83	0.67	0.61
400.00	281.47	285.68	0.8	0.65	0.55
350.00	281.02	285.68	0.85	0.64	0.49
336.22	280.37	285.67	1.02	0.69	0.66
318.46	280.32	285.64	1.38	0.95	0.7
276.70	279.60	283.96	5.81	-	5.14
265.74	Bridge				
250.00	279.60	283.00	7.02	5.96	-
211.55	279.50	282.21	7.53	3.43	3.39
183.96	279.25	281.72	7.60	2.8	2.52
150.00	279.80	281.47	6.89	2.92	1.99
100.00	278.50	281.15	6.02	1.58	1.83
88.26	278.77	281.00	6.77	3.02	3.34
61.92	278.54	280.78	5.28	2.91	2.21

Sezioni con Argine in sinistra idraulica

Sezioni con rivestimento in Gabbioni

Tabella 8 – Output modello HEC-RAS per le sezioni oggetto di sistemazione fluviale

8.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riporta nel seguito la metodologia di calcolo utilizzata ai fini delle verifiche geotecniche delle protezioni in gabbioni.

Le verifiche sono state condotte considerando le sezioni più gravose in corrispondenza delle spalle in aggiunta alla sezione più gravosa per la sistemazione idraulica (Tipologico C).

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, così come i coefficienti sismici di progetto, si rimanda ai Par. 7.3.1e 7.3.2 della presente relazione.

8.2.1 Combinazioni di carico

Il progetto e la verifica delle strutture in questione sono state eseguite mediante il metodo degli “Stati Limite”, in accordo a quanto previsto nel §6.5.3, verificando:

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- scorrimento sul piano di posa;
- verifica al ribaltamento;
- collasso per carico limite dell’insieme fondazione-terreno;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno e stabilità interna (locale).

La stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata secondo l’Approccio 1 con la Combinazione 2 (A2+M2+R2) in accordo a quanto previsto dal §6.8 delle NTC2018, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni ed i parametri geotecnici, ed alla tabella 6.8.I per le verifiche di sicurezza.

Le rimanenti verifiche sono state effettuate secondo l’approccio 2 Combinazione (A1+M1+R3) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.1.

Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della tabella 6.5.I sono applicati agli effetti delle azioni stabilizzanti.

Di seguito si riportano le tabelle dei coefficienti parziali delle azioni e dei terreni relativi secondo quanto riportato nella normativa vigente.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_{Fk})	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_ψ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,0	1,0

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di sovrano

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Nel seguito si riporta una breve descrizione dei criteri di verifica, per ognuna delle condizioni esaminate, in condizioni statiche e sismiche.

8.2.2 Falda

Il livello idrico in condizioni ordinarie è stato cautelativamente posto a:

- Quota assoluta +281.6 m.s.l.m. per le sezioni in corrispondenza delle spalle.
- +1 m da fondo alveo per la sezione tipologica C

In condizioni di piena è stato invece considerato un livello pari a:

- Quota assoluta +283.9 m.s.l.m. per le sezioni in corrispondenza delle spalle.
- + 3.3 m da quota di fondo alveo per la sezione tipologica C.

8.2.3 Verifiche agli SLU

Verifica allo scorrimento sul piano di posa (GEO)

La risultante delle azioni orizzontali agenti sulla struttura deve risultare non superiore alla forza resistente costituita dall'attrito sul piano di imposta. Questa a sua volta è valutata come prodotto

della risultante delle azioni verticali (ortogonali al piano di imposta) per il coefficiente di attrito in fondazione $\mu = \tan(\phi')$.

Verifica al ribaltamento (GEO)

La somma dei momenti instabilizzanti, valutati rispetto allo spigolo di valle della fondazione, dovuti alle azioni agenti sul paramento, deve risultare non superiore al momento stabilizzante dovuto al peso proprio della struttura e alle relative azioni variabili.

Verifica di capacità portante (GEO)

Nella verifica del collasso fondazione-terreno (verifica della capacità portante), l'azione di progetto è data dalla componente della risultante delle forze normali al piano di posa, mentre la resistenza di progetto è il valore della forza normale al piano di posa a cui corrisponde il raggiungimento del carico limite del terreno di fondazione. La verifica viene eseguita direttamente dal software Macstars 4.0., mediante l'utilizzo del criterio di Brich Hansen (1970).

Verifica di stabilità globale e di stabilità interna (GEO)

Queste verifiche consentono di accertare che la geometria della sezione esaminata, in relazione alle caratteristiche di resistenza al taglio del materiale impiegato, assicuri un sufficiente fattore di sicurezza nei confronti della rottura.

Per l'analisi di stabilità è stato utilizzato il metodo di calcolo di Bishop, che permette di determinare il coefficiente di sicurezza alla rottura.

L'analisi di stabilità è stata condotta secondo il principio dell'equilibrio limite globale; tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio.

Scelta, quindi, una superficie di rottura, si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale; qui di seguito sono riportate schematicamente le azioni agenti su di un singolo concio:

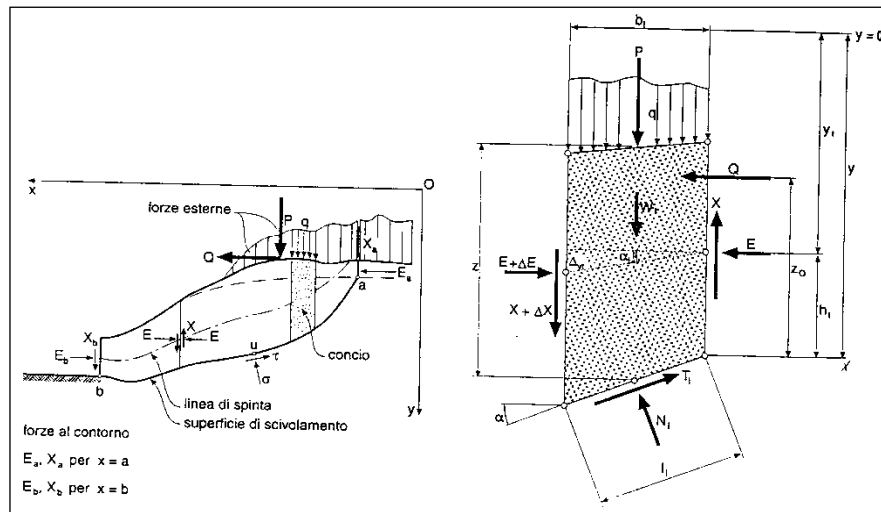


Figura 49- Forze agenti su un singolo concio

Per ogni concio sono disponibili, per la risoluzione del sistema, le tre equazioni della statica (equilibrio traslazione verticale, orizzontale ed equilibrio dei momenti), quindi per n conci si avranno $3xn$ equazioni linearmente indipendenti.

8.2.4 Condizioni sismiche

Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto, definita al Capitolo 3 (NTC2018), le opere e i sistemi geotecnici devono rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, con i requisiti di sicurezza indicati nel § 7.1 delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018).

Le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) di cui al § 3.2.1.

Nelle verifiche di sicurezza relativamente alle opere di sostegno, è necessario verificare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni, nel rispetto della condizione indicata al §6.2.1, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (7.11.1) ed impiegando le resistenze parziali di progetto γ_R indicati nella tabella 7.11.III.

Tab. 7.11.III - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Relativamente alla verifiche di stabilità globale e di stabilità interna (GEO), queste sono condotte utilizzando lo stesso approccio indicato al §6.8.2, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle

azioni e sui parametri geotecnici ed impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$ (§7.11.4 NTC2018).

8.2.5 Risultati delle verifiche

Le verifiche sono state condotte secondo la metodologia illustrata nei precedenti paragrafi.

Le verifiche statiche sono state condotte in considerazione al livello sia di magra che di piena, mentre per le verifiche sismiche si è considerato il solo livello di magra per la non contemporaneità di eventi eccezionali (vedasi par. 8.2.2).

Le verifiche condotte si ritengono soddisfatte laddove il coefficiente di sicurezza risulti maggiore di 1, essendo tale valore già comprensivo del coefficiente di sicurezza minimo imposto dalla vigente normativa per le singole verifiche (vedasi dettaglio allegato 5).

Si riportano nel seguito i risultati delle verifiche in forma grafica e tabellare, rimandando all'Allegato 5 per gli output di calcolo.

	Fs min		
	Statica		Sismica
	Magra	Piena	-
Stabilità globale	1.34	1.19	1.43
Scorrimento	3.45	2.94	2.49
Capacità portante	2.68	8.9	2.31
Ribaltamento	11.34	3.7	11.66

Tabella 9 Risultati verifiche di stabilità- Fs spalla sx

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

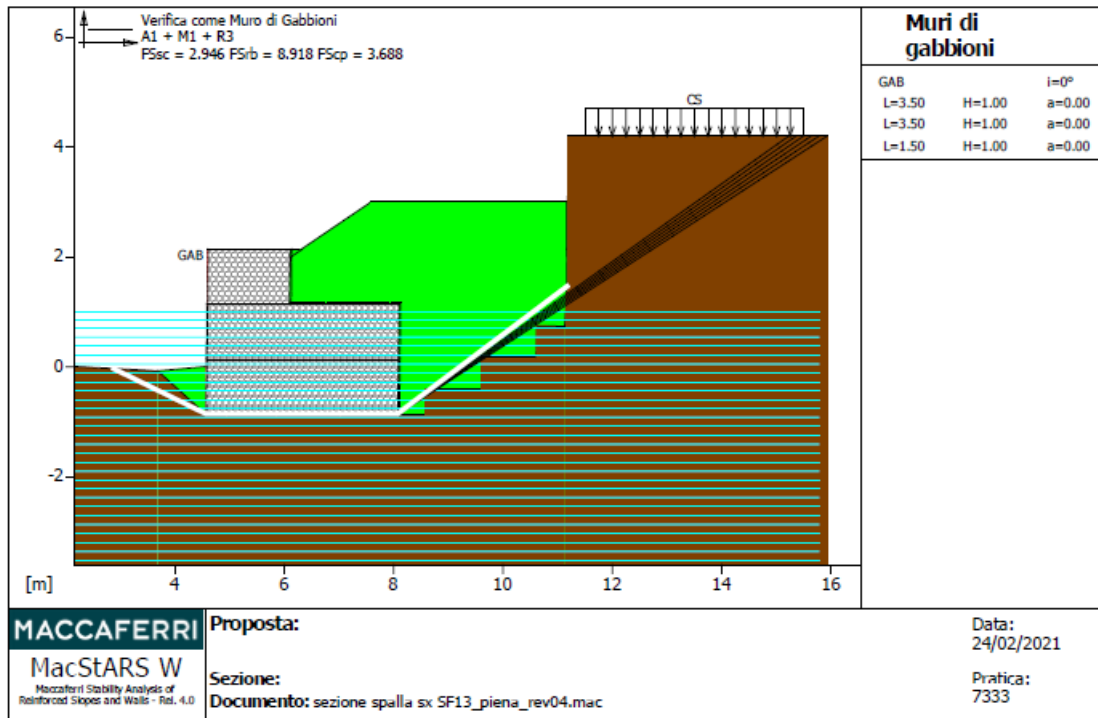


Figura 50 Verifica come muro di sostegno sezione spalla sx- condizione di piena -statica

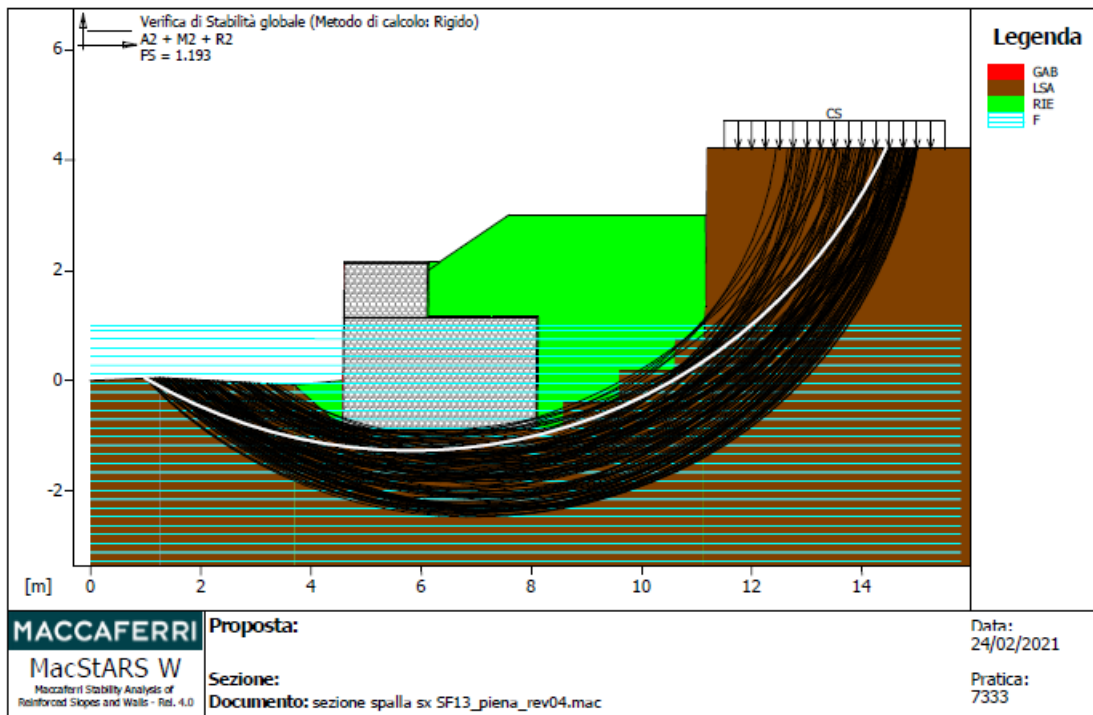


Figura 51 Verifica di stabilità globale sezione spalla sx- condizione di piena -statica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

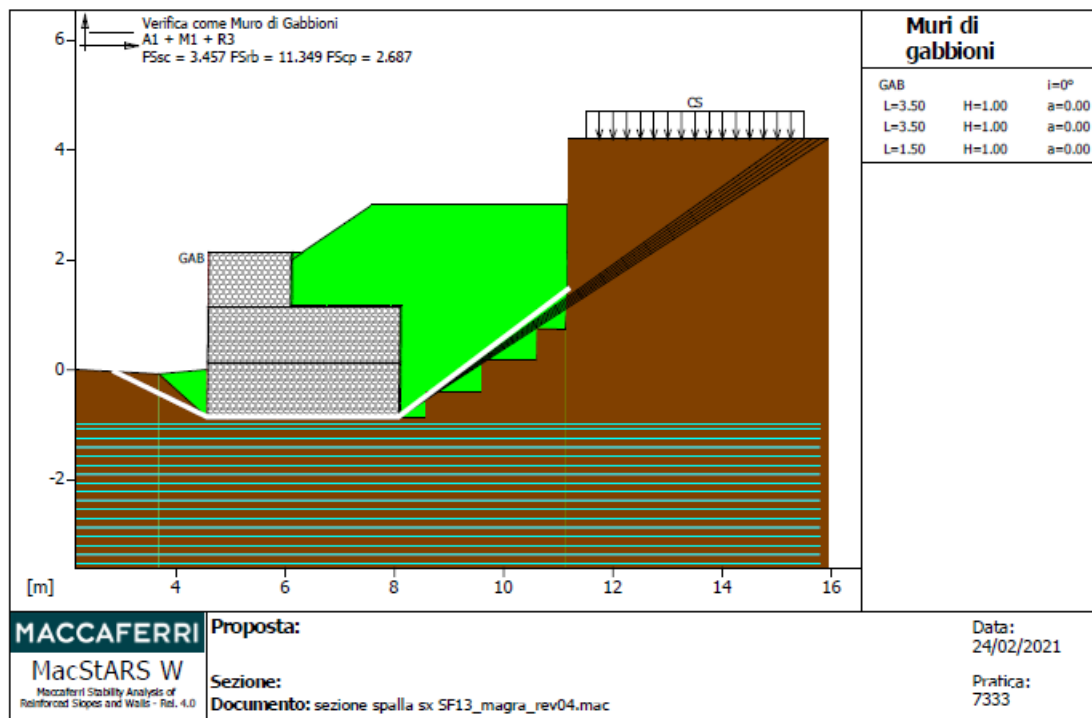


Figura 52 Verifica come muro di sostegno sezione spalla sx- condizione di magra -statica

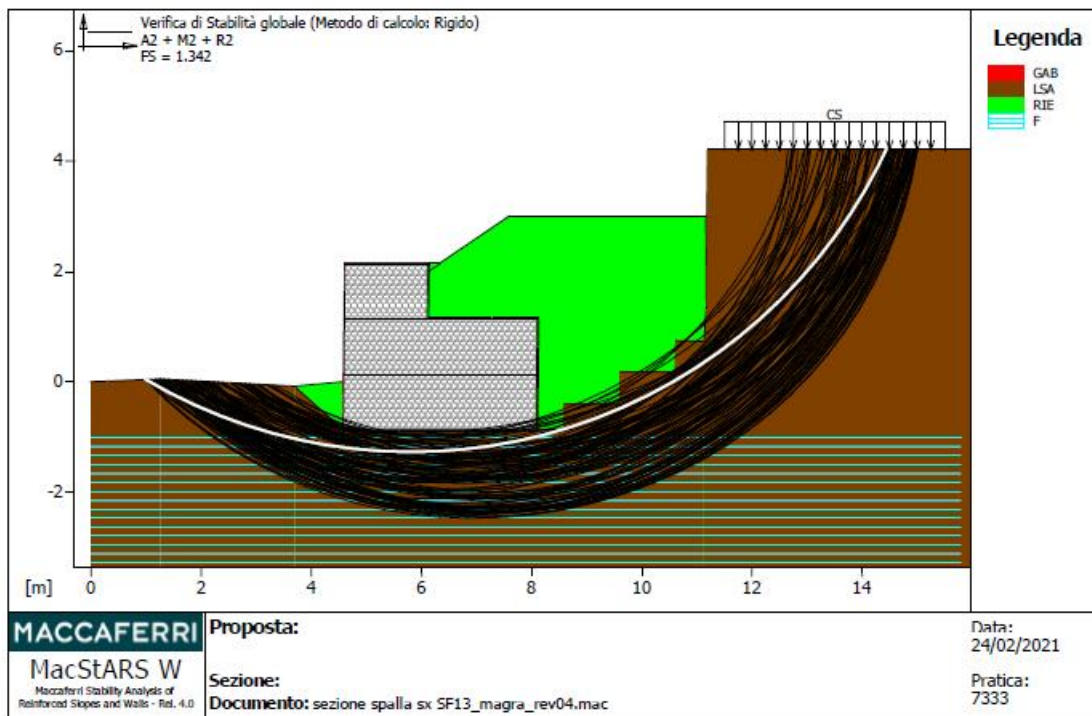


Figura 53 Verifica di stabilità sezione spalla sx- condizione di magra -statica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

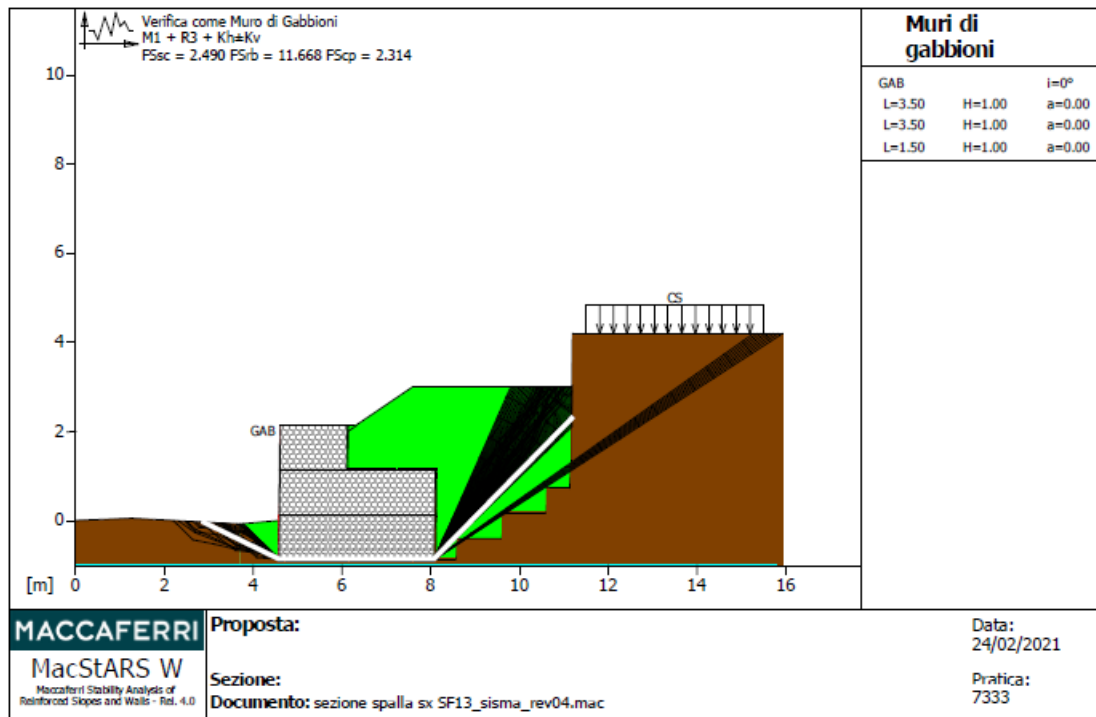


Figura 54 Verifica come muro di sostegno sezione spalla sx- condizione di magra -sismica

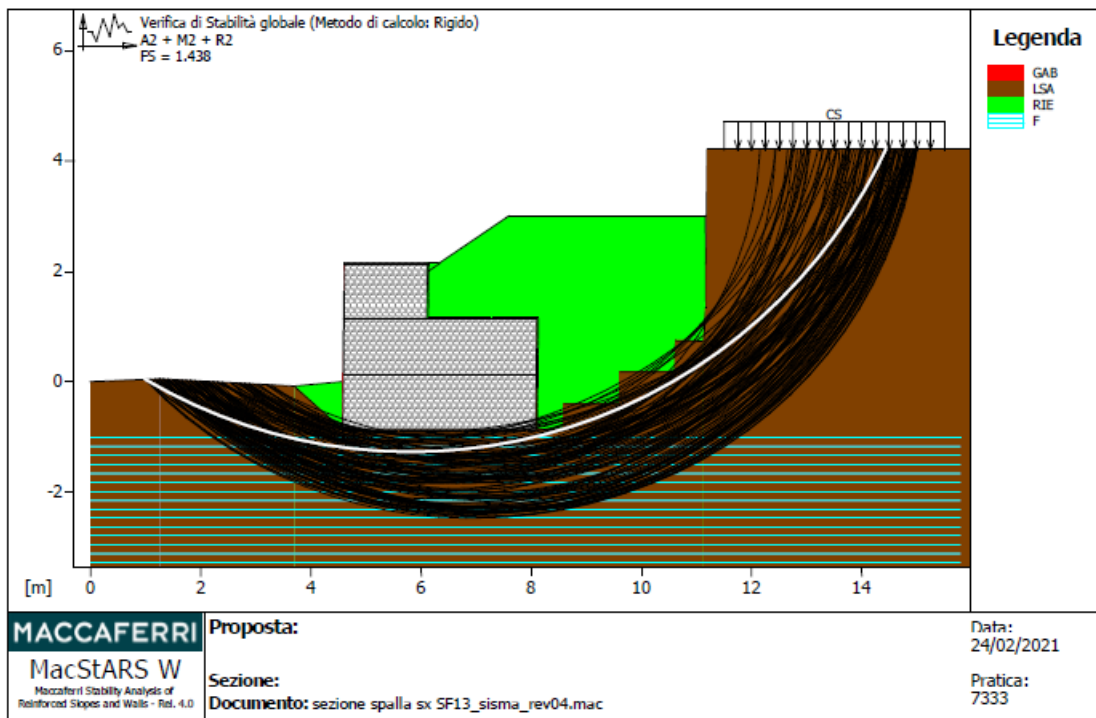


Figura 55 Verifica di stabilità globale sezione spalla sx- condizione di magra -sismica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

	Fs min		
	Statica		Sismica
	Magra	Piena	-
Stabilità globale	1.14	1.32	1.20
Scorrimento	1.89	2.06	1.47
Capacità portante	3.17	6.2	3.17
Ribaltamento	4.19	2.83	2.99

Tabella 10 Risultati verifiche di stabilità- Fs alveo

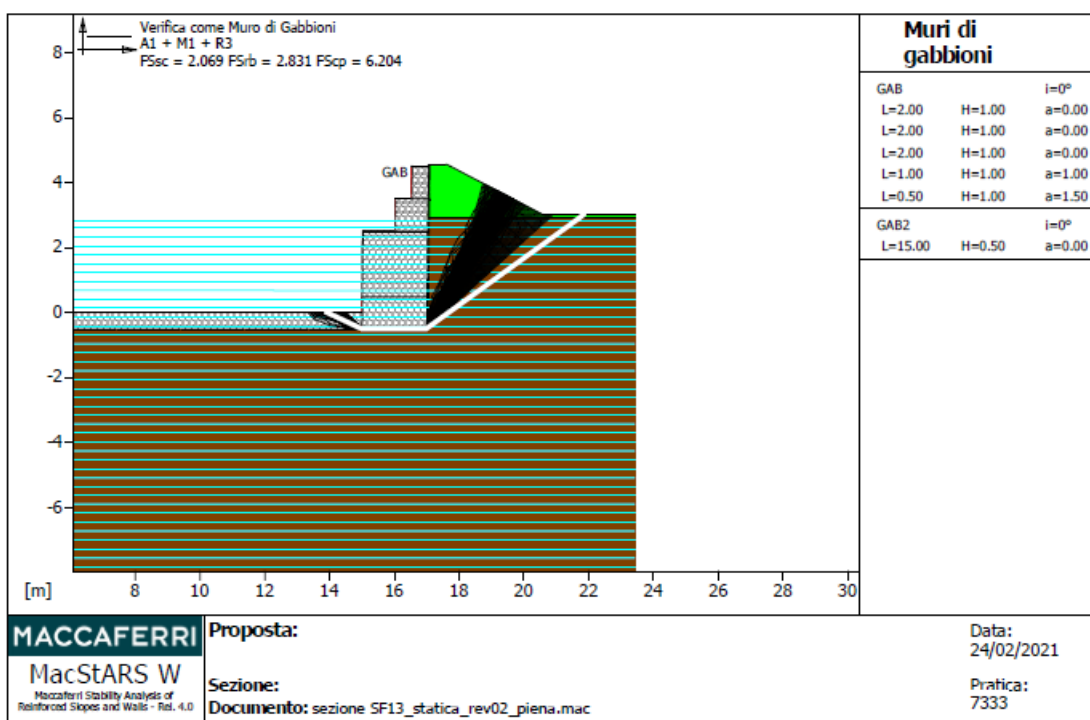


Figura 56 Verifica come muro di sostegno sezione alveo- condizione di piena

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

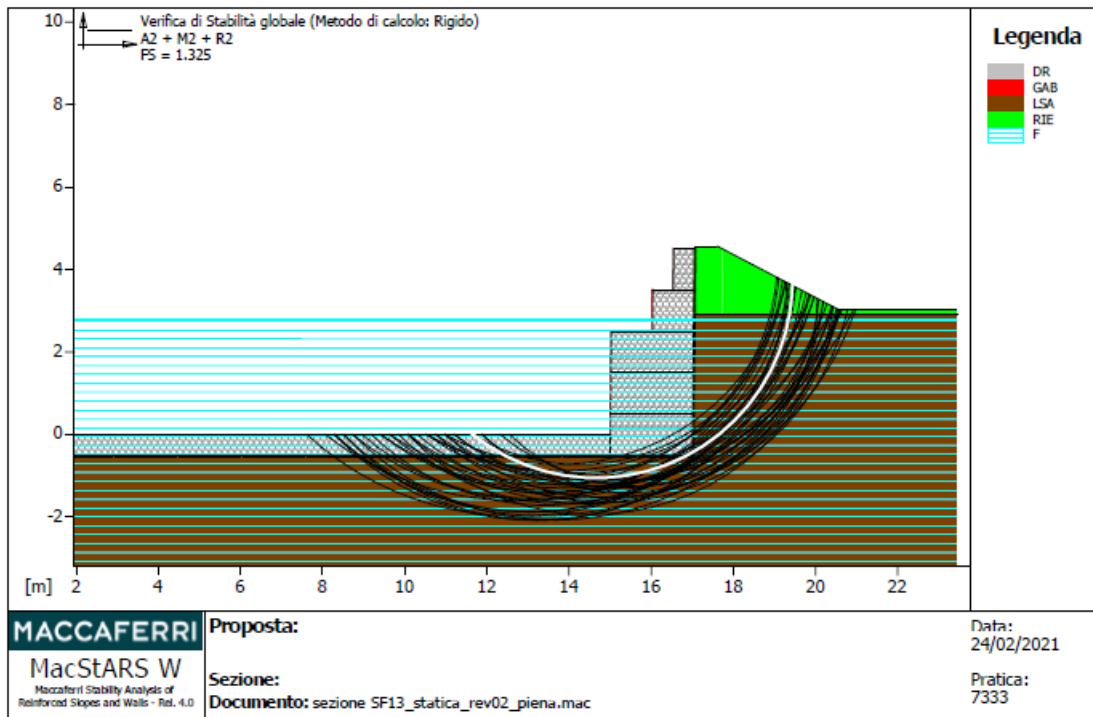


Figura 57 Verifica di stabilità globale sezione alveo- condizione di piena

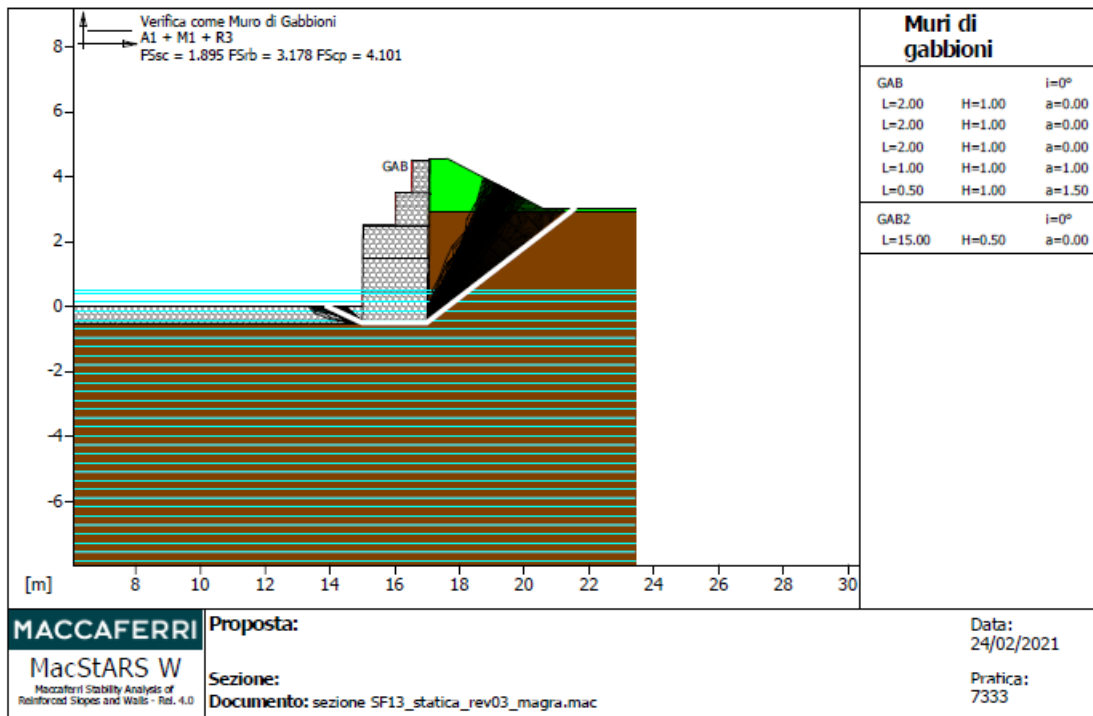


Figura 58 Verifica come muro di sostegno sezione alveo- condizione di magra-statica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

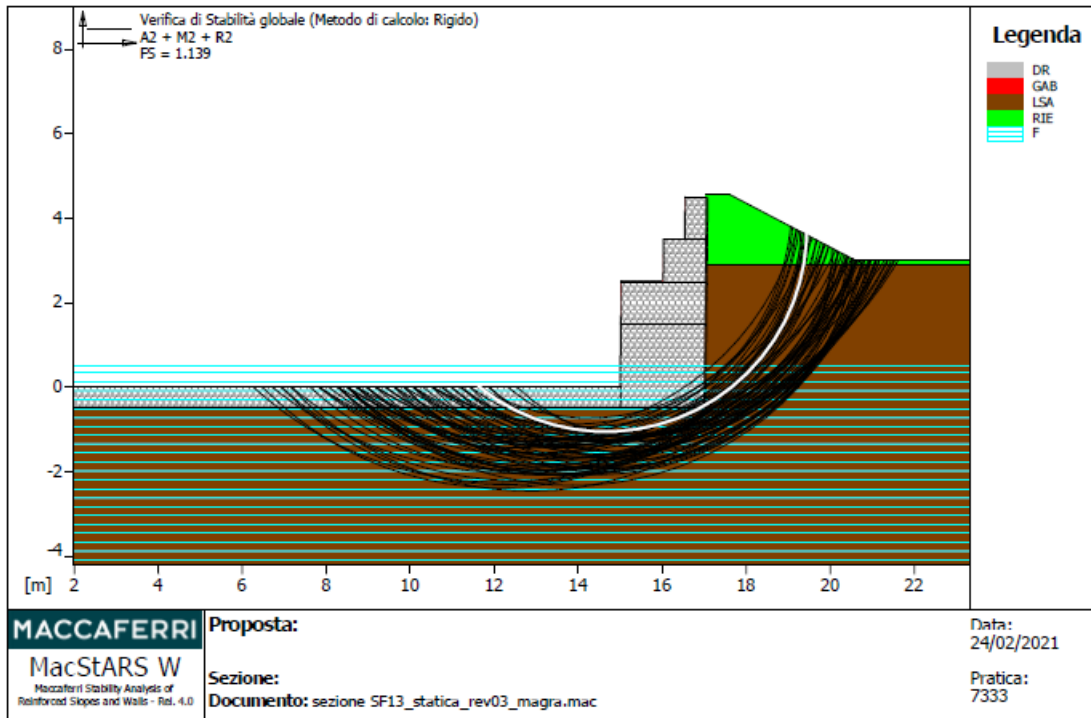


Figura 59 Verifica di stabilità globale- condizione di magra-statica

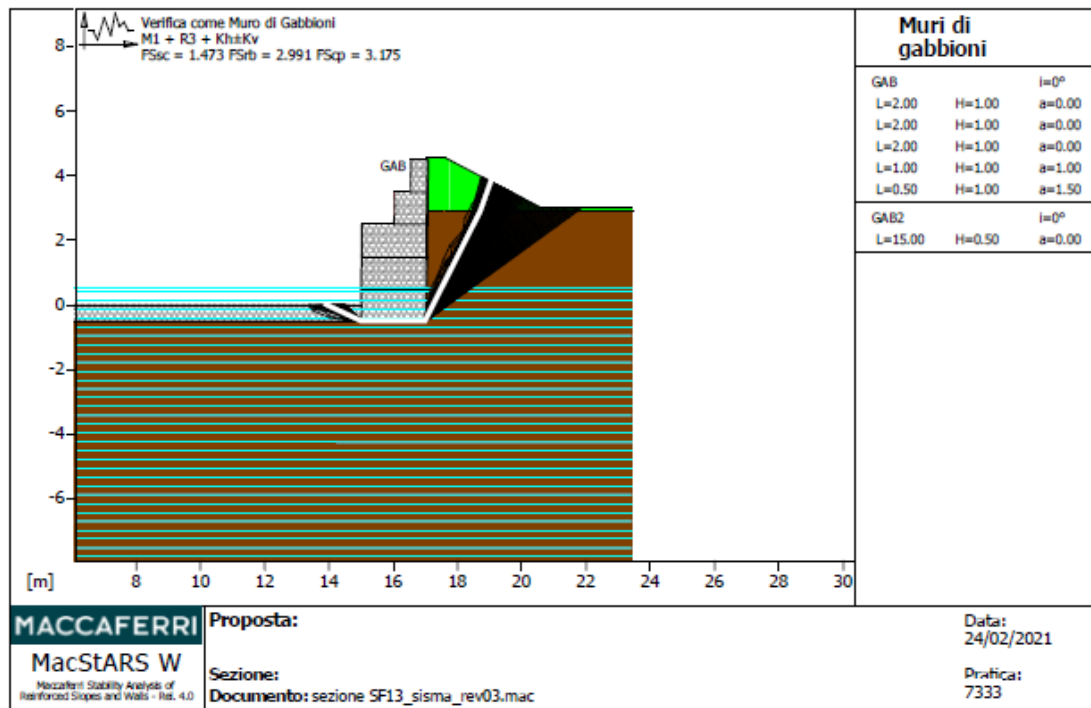


Figura 60 Verifica come muro di sostegno sezione alveo- condizione di magra-sismica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

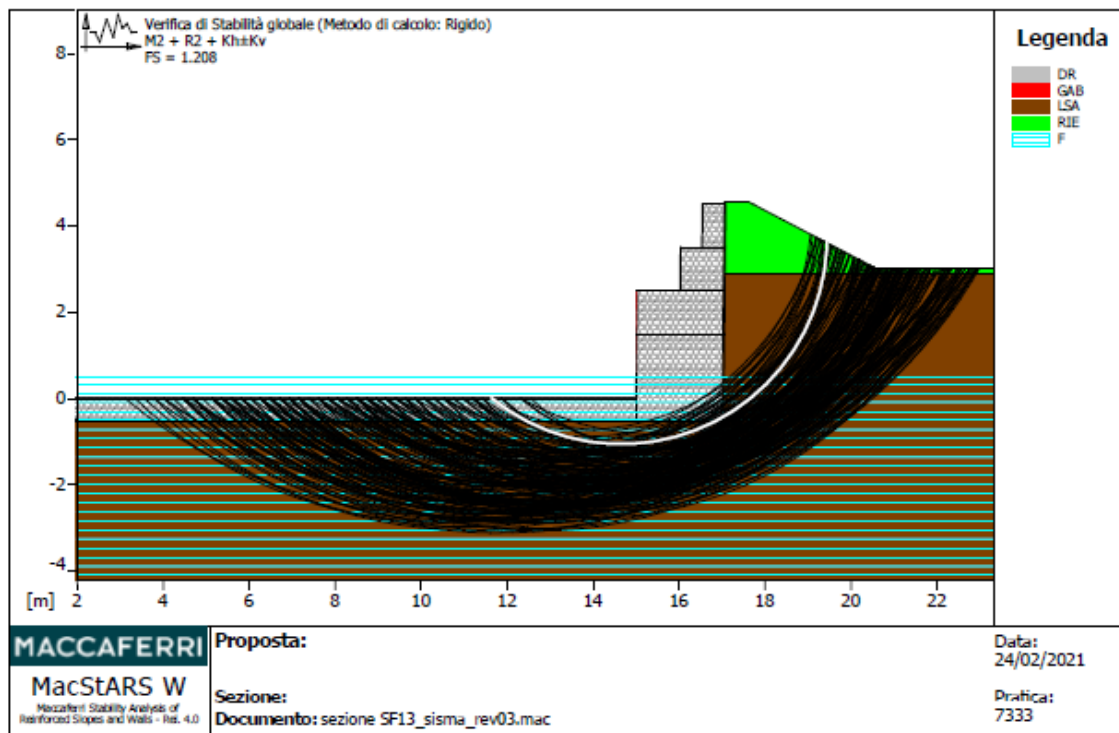


Figura 61 Verifica di stabilità globale sezione alveo- condizione di magra-sismica

	Fs min		
	Statica		Sismica
	Magra	Piena	-
Stabilità globale	1.08	1.14	
Scorrimento	2.08	1.78	1.72
Capacità portante	1.94	1.74	1.03
Ribaltamento	1.97	1.66	1.87

Tabella 11 Risultati verifiche di stabilità- Fs spalla dx

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

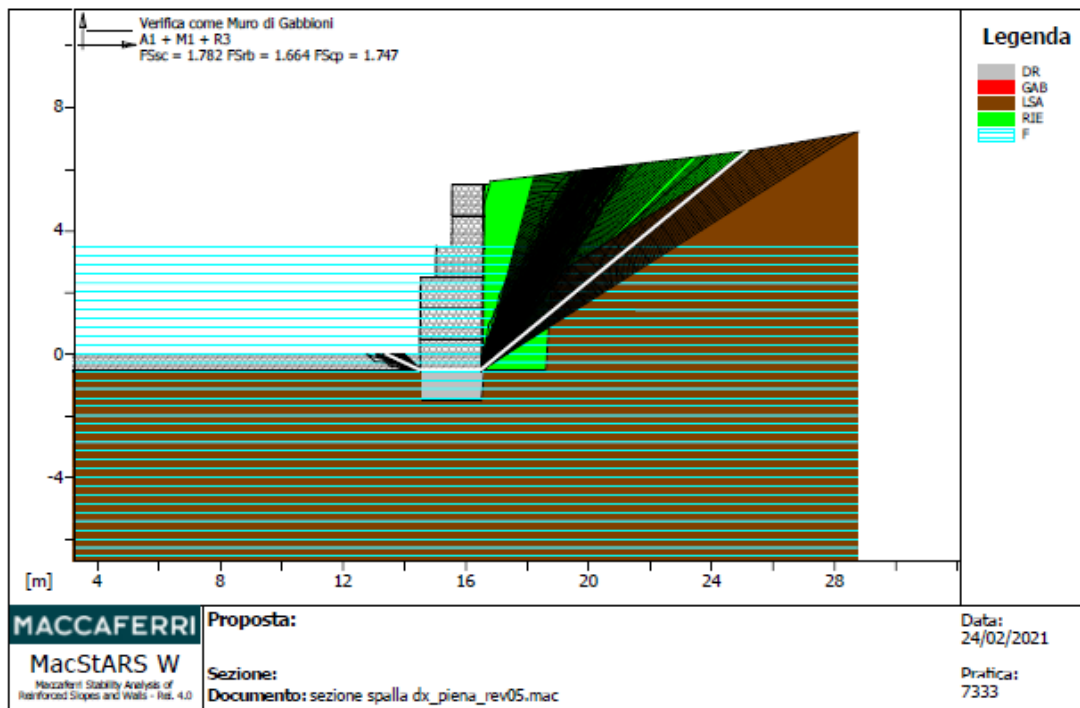


Figura 62 Verifica come muro di sostegno sezione spalla dx - condizione di piena

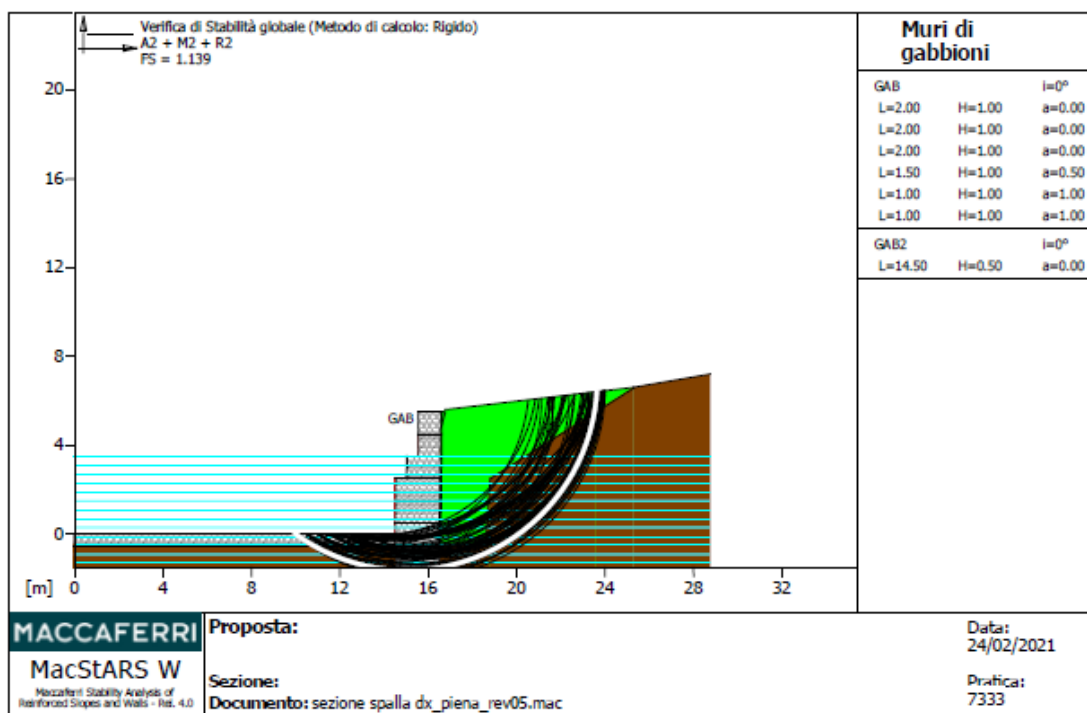


Figura 63 Verifica di stabilità globale sezione spalla dx- condizione di piena

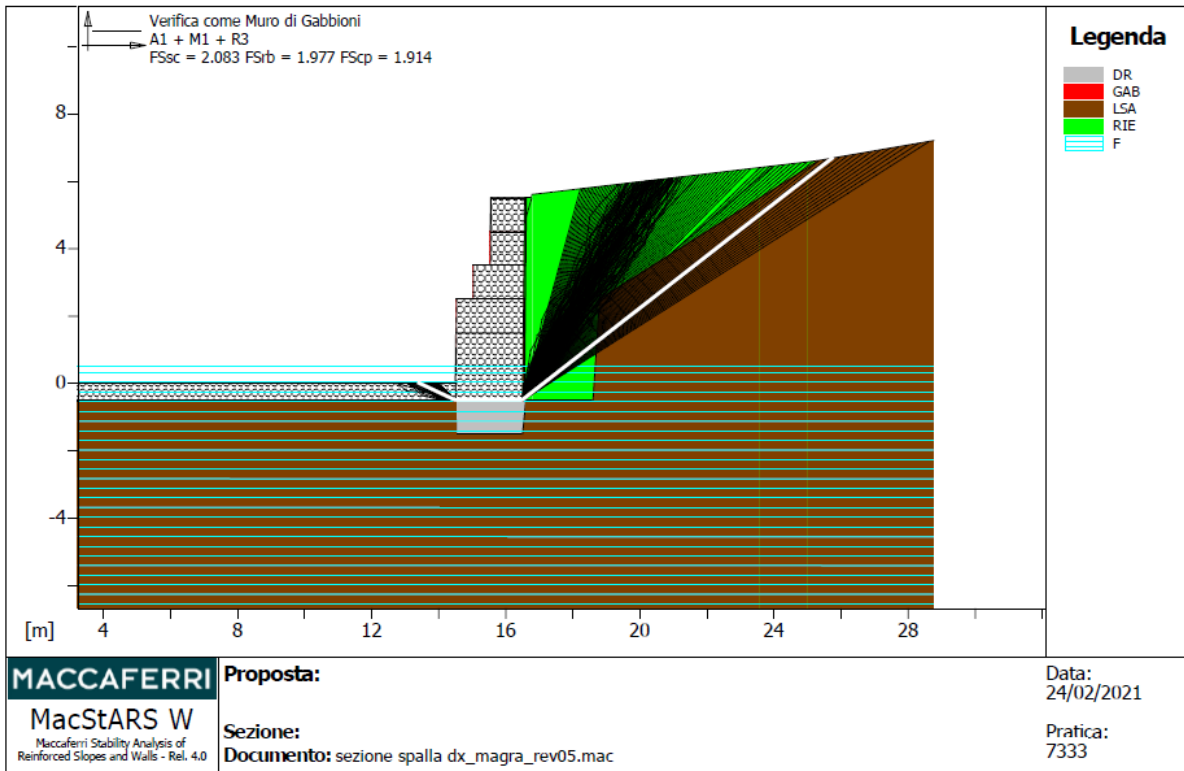


Figura 64 Verifica di stabilità globale sezione spalla dx- condizione di magra-statica

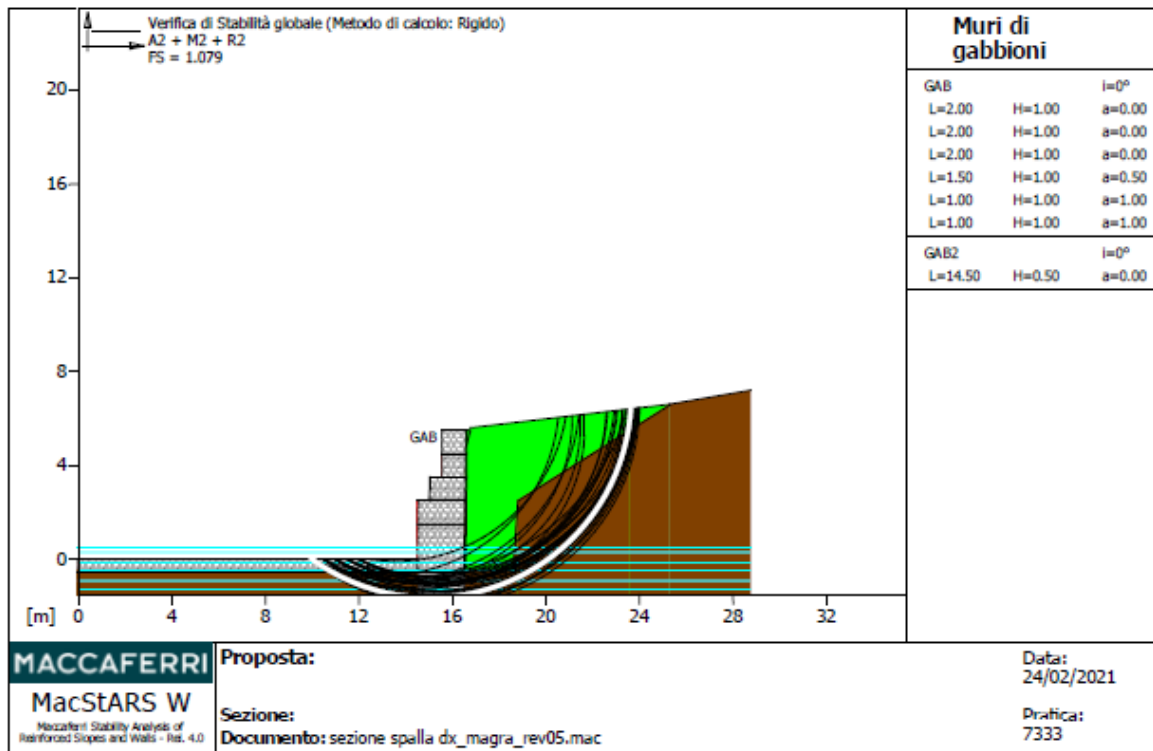


Figura 65 Verifica di stabilità globale sezione spalla dx- condizione di magra-statica

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

SF13 – OPERE DI REGIMAZIONE FLUVIALE - Relazione Idrologica e Studio Idraulico

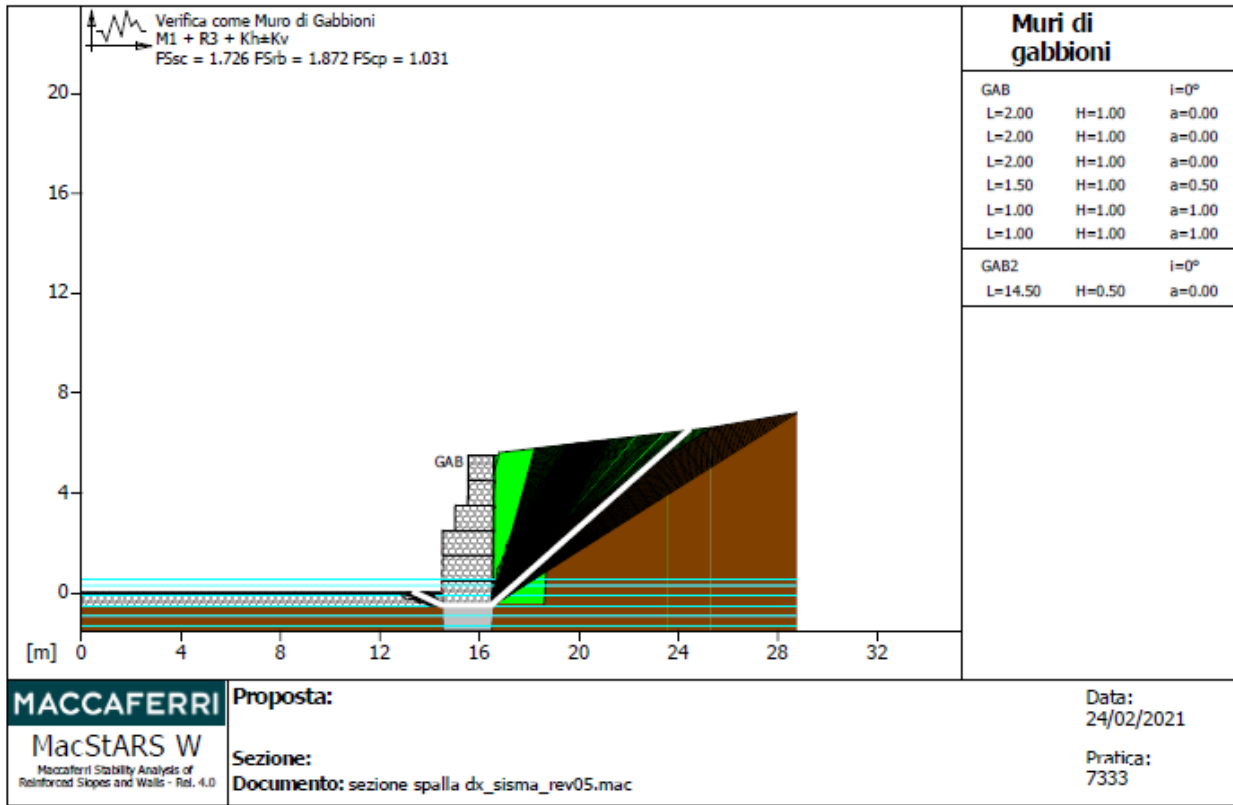


Figura 66 Verifica come muro di sostegno spalla dx- condizione di magra-sismica

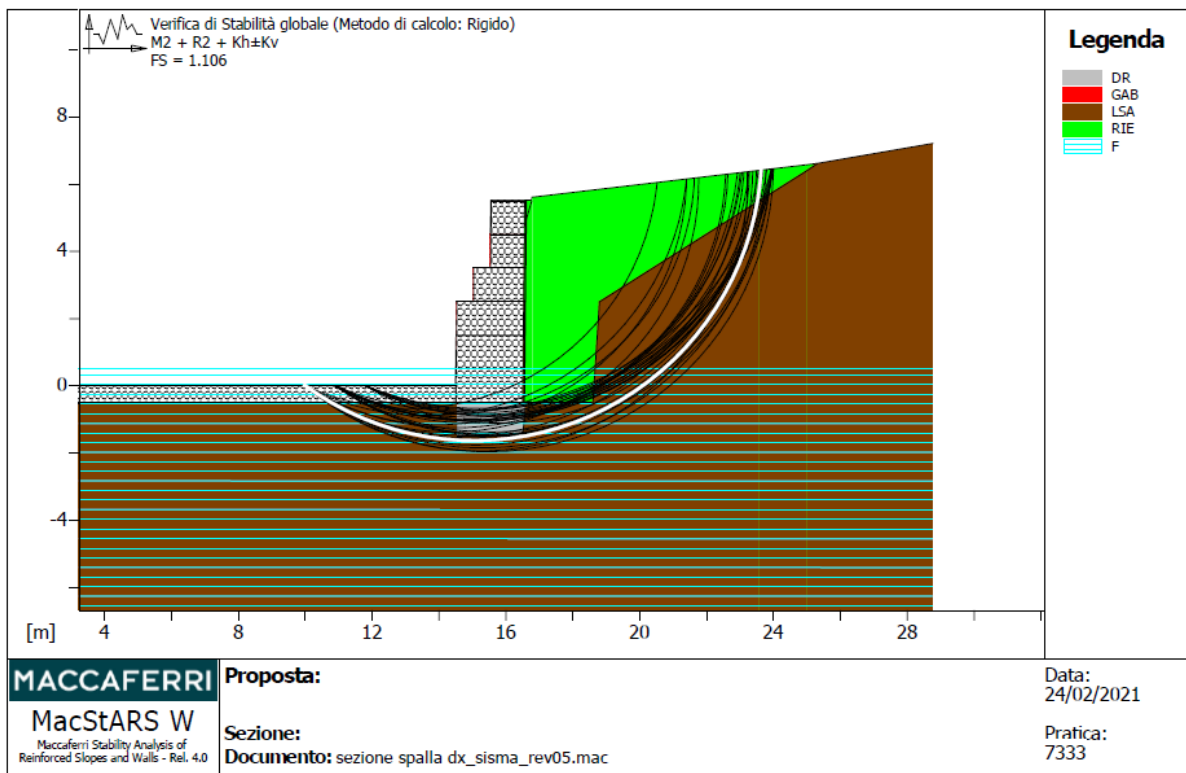


Figura 67 Verifica di stabilità globale sezione spalla dx- condizione di magra-sismica

9 CONCLUSIONI

Nella presente *Relazione Idrologica e Studio idraulico*, relativa all'opera di regimazione fluviale SF13, 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 relativi all'opera SF13 si ritengono pertanto verificati per il deflusso della piena di progetto.