

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA**

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA **rpa** MANDANTE



PROGETTO ESECUTIVO

RIASSETTO NODO DI BARI

TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

APPALTATORE D'Agostino Agostino Antonio DIRETTORE TECNICO Costruzioni Generali S.p.A. (data e firma)	PROGETTAZIONE DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE Ing. M. RASIMELLI (data e firma)	SCALA: ---
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	---------------

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA / DISCIPLINA Progr. REV.
IA3S 01 E ZZ RI ID0002 002 F

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	02/04/2021	F. Lomurno	02/04/2021	M. Rasimelli	21/04/2021	
B	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	20/10/2021	F. Lomurno	20/10/2021	M. Rasimelli	20/10/2021	
C	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	20/10/2021	F. Lomurno	20/10/2021	M. Rasimelli	20/10/2021	
D	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	13/01/2022	F. Lomurno	13/01/2022	M. Rasimelli	14/01/2022	
E	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	11/07/2022	F. Lomurno	12/07/2022	M. Rasimelli	13/07/2022	
F	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Continisio	12/12/2022	F. Lomurno	12/12/2022	M. Rasimelli	13/12/2022	

File: IA3S01EZZRIID0002002F

n. Elab.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	2 DI 114

INDICE

1. PREMESSA	5
2. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA.....	6
3. RILIEVI 2021.....	9
4. METODI DI CALCOLO PER L'ANALISI IDROLOGICA	16
4.1 Analisi Idrologica	16
4.2 Determinazione delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici	16
4.3 Analisi Pluviometrica	18
4.4 Analisi afflussi deflussi con il metodo CN	19
4.5 Coefficienti di scabrezza	22
5. METODOLOGIA DI CALCOLO E VERIFICA DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICA .	24
5.1 Codice di Calcolo	24
5.2 Le equazioni del moto vario.....	26
5.3 Applicazione delle equazioni del moto vario in HEC-RAS.....	28
6. VERIFICA DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICHE	31
6.1 Stima dell'erosione	31
6.2 Erosione indotta da restringimento	32
6.3 Erosione localizzata alla base di una pila	33
6.4 Erosione localizzata alla base delle spalle di un ponte	39
6.5 Verifica dell'erosione in alveo	40
6.5.1 Tensioni agenti.....	41
6.5.2 Tensioni resistenti e loro verifica	41
6.6 Dimensionamento delle sistemazioni idrauliche	41
7. LAMA VALENZANO E LAMA SAN MARCO - MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE	46
7.1 Geometria dell'alveo.....	47
7.2 Condizioni al contorno e definizione delle portate.....	47
7.3 Portata di progetto.....	47
7.4 Risultati delle Simulazioni Idrauliche	49
7.4.1 Simulazioni Ante Operam.....	49
7.4.2 Simulazione Post Operam.....	51
7.5 Sistemazione idraulica lama Valenzano	53
7.6 Verifica del Franco di Progetto Lama Valenzano.....	55

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante:	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl						
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	3 DI 114

7.7	Verifica all'erosione localizzata alla base delle spalle dell'attraversamento sulla Lama Valenzano	55
7.8	Verifica dell'erosione dell'alveo	57
7.9	Sistemazione idraulica Lama San Marco.....	58
7.10	Verifica franco di progetto.....	62
7.11	Verifica dell'erosione dell'alveo	62
7.12	Dimensionamento e verifica della sistemazione idraulica	64
8.	LAMA CUTIZZA 1 E LAMA CUTIZZA 2 – MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE	70
8.1	Geometria dell'alveo.....	70
8.2	Condizioni al contorno e definizione delle portate.....	71
8.3	Portate di progetto.....	71
8.4	Risultati delle Simulazioni Idrauliche	72
8.4.1	Simulazioni Ante Operam.....	72
8.4.2	Simulazione Post Operam.....	75
8.5	Sistemazione idraulica Lama Cutizza 1	77
8.6	Sistemazione idraulica lama Cutizza 2	79
8.7	Verifica del Franco di Progetto	80
8.8	Verifica allo scalzamento delle pile dell'attraversamento sulla Lama Cutizza 2 ..	81
8.9	Calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo della Lama Cutizza 2	84
8.10	Verifica dell'erosione dell'alveo	85
9.	LAMA SAN GIORGIO - MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE.....	88
9.1	Geometria dell'alveo.....	88
9.2	Sistemazione idraulica della Lama San Giorgio.....	89
9.3	Condizioni al contorno e definizione delle portate.....	91
9.4	Portate di progetto.....	91
9.5	Risultati delle Simulazioni Idrauliche	92
9.5.1	Simulazione ante operam.....	92
9.5.2	Simulazione post operam	94
9.5.3	Cava Cutizza.....	95
9.6	Verifica del franco di sicurezza.....	96
9.7	Verifica allo scalzamento delle pile dell'attraversamento sulla Lama san Giorgio	97
9.8	Calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo del ramo secondario di Lama San Giorgio	98
9.9	Verifica dell'erosione dell'alveo	100
9.10	Dimensionamento e verifica della sistemazione idraulica	101
10.	ATTRAVERSAMENTI MINORI	107
10.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	107
10.1.1	Criteri di verifica	107

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 4 DI 114

10.1.2 Risultati verifica moto permanente	108
10.1.3 Tombini scatolari e circolari	111
10.1.4 Verifica idraulica a moto uniforme per gli attraversamenti minori.....	112
10.1.5 VERIFICA OPERE IDRAULICHE	112
10.1.6 Sistemazione idraulica degli attraversamenti.....	113

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 5 DI 114

1. PREMESSA

Il presente lavoro è parte integrante degli elaborati specialistici relativi allo studio idrologico ed idraulico del Progetto Esecutivo per il Riassetto del Nodo di Bari, e riprende i dati ottenuti dallo studio idrologico ed idraulico del Progetto Definitivo presentato. Il progetto prevede una variante di cintura della linea ferroviaria Bari – Lecce, tra le stazioni di Bari Centrale e S. Giorgio – Torre a mare.

Scopo della presente relazione è il dimensionamento idraulico dei manufatti degli attraversamenti maggiori le cui verifiche sono state condotte facendo riferimento al Manuale di Progettazione RFI/Italferr, al Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) della Regione Puglia. La progettazione delle opere è stata sviluppata sulla base delle indicazioni del CIPE del 26/10/12.

La presente relazione integra le risultanze delle valutazioni idrauliche condotte mediante modellazione numerica bidimensionale relativamente al manufatto ferroviario in corrispondenza della Lama Valenzano, Lama San Marco, Lama Cutizza 1, Lama Cutizza 2 e Lama San Giorgio.

L'inserimento dei manufatti di attraversamento sarà valutato mediante l'utilizzo di una modellazione numerica bidimensionale al fine valutare il deflusso delle portate di progetto sia nella configurazione ante, sia post operam i cui risultati consentiranno di valutare la compatibilità idraulica degli interventi stessi.

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS)

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	6 DI 114

2. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

Nell'ambito del riassetto del Nodo di Bari è prevista la realizzazione della variante di tracciato tra Bari Centrale e S. Giorgio – Torre a mare (Figura 1).



Figura 1 - Inquadramento geografico della zona in esame

La variante di tracciato tra Bari Centrale e San Giorgio Torre a Mare si sviluppa per 10 km, impegnando in uscita dalla stazione di Bari Centrale il corridoio attualmente occupato dalle Ferrovie del Sud Est e ricongiungendosi con la linea storica circa 2.5 km dopo l'abitato di San Giorgio (BA). Il nuovo tracciato ferroviario attraversa il territorio dei Comuni di Bari e Triggiano. La ferrovia attraversa una zona sostanzialmente pianeggiante, in cui il tracciato della linea si sviluppa parte in rilevato parte in trincea. La variante di tracciato prevede l'attraversamento di quattro corsi d'acqua a carattere spiccatamente torrentizio,

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	7 DI 114

denominati Lama Valenzano, Lama San Marco, Lama Cutizza 1, Lama Cutizza 2 e Lama San Giorgio. Le suddette lame, stante l'estensione.

dei rispettivi bacini idrografici, sono classificate, secondo le prescrizioni tecniche ferroviarie, come corsi d'acqua maggiori.

Per tali attraversamenti si rende necessario lo svolgimento delle verifiche idrauliche, mediante modellazione numerica bidimensionale, al fine di valutare il rispetto dei franchi di sicurezza richiesti, sia la compatibilità idraulica dell'inserimento di detti manufatti nei rispettivi corsi d'acqua. Si ricorda, in particolare, che i corsi d'acqua analizzati sono denominati "lame" per la particolare morfologia della sezione poco accentuata e caratterizzate dall'assenza di deflussi significativi per lunghi periodi nel corso dell'anno, anche nelle stagioni più piovose.

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS)

I cinque modelli numerici sono stati implementati sulla base delle sezioni idrauliche rilevate mediante rilievo lidar esteso alle intere aree da indagare e del rilievo dei manufatti esistenti. I rilievi sono stati eseguiti nell'ottobre del 2021.

I valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati per la modellazione numerica dei corsi d'acqua in oggetto sono stati definiti sia sulla base dei sopralluoghi eseguiti, sia delle indicazioni disponibili in letteratura. I valori dei coefficienti sono stati scelti tenendo conto delle attuali condizioni di manutenzione in cui versano i corsi d'acqua e di un loro possibile peggioramento.

Nell'analisi idraulica eseguita sono stati confrontati i livelli nei profili idrici e nelle sezioni idrauliche ottenuti dalle simulazioni effettuate relativamente allo STATO ATTUALE (ante operam) ed a quello di PROGETTO (post operam).

Successivamente si sono valutati i franchi di sicurezza al deflusso delle piene di progetto così come stabilito dal manuale di progettazione RFI/Italferr.

Nelle seguenti figure è ripotata l'ubicazione planimetrica degli attraversamenti della Lama Valenzano, San Marco, Cutizza 1 e 2 e San Giorgio.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	8 DI 114



Figura 2 - Planimetria dell'attraversamento ferroviario della Lama Valenzano e della Lama San Marco

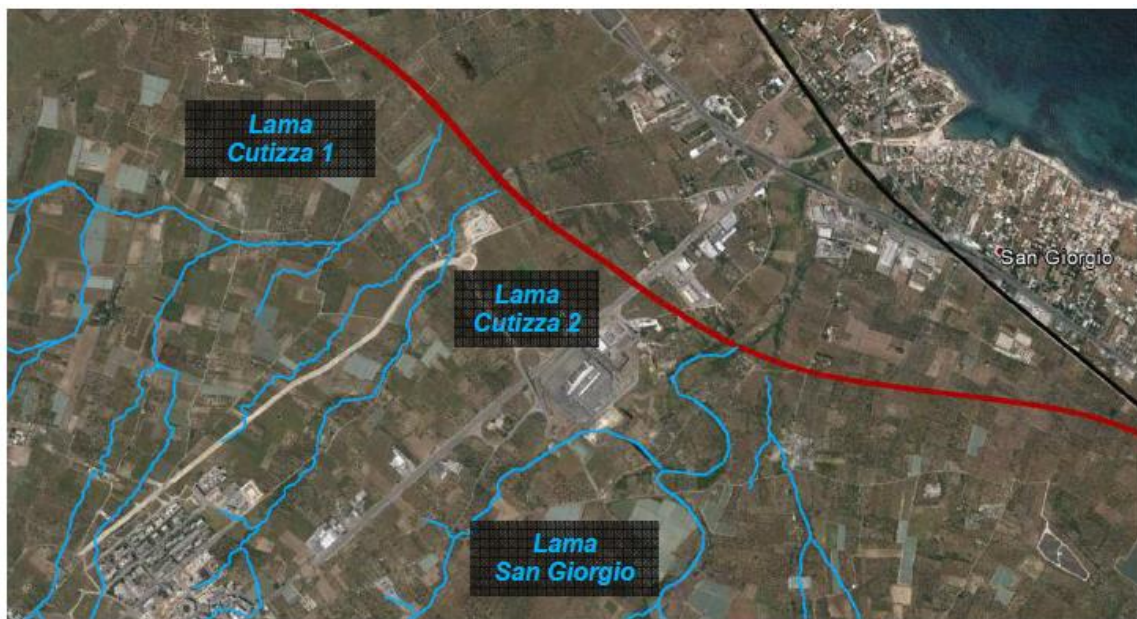


Figura 3 - Planimetria dell'attraversamento ferroviario della Lama Cutizza 1, Lama Cutizza 2 e Lama San Giorgio.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	9 DI 114

3. RILIEVI 2021

Le aree su cui sono presenti le lame oggetto del presente studio idraulico sono state oggetto di rilievi, eseguite con sensore Lidar montato su drone.

In particolare i rilievi sono stati eseguiti nell'ottobre del 2021, utilizzando il DJI, che integra un modulo Livox LiDAR, una IMU ad alta precisione e una fotocamera da 20mpx CMOS da 1 pollice stabilizzato su 3 assi, il tutto montato sul drone matrice 300 RTK.

Il Lidar (Light Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato con un mezzo aereo sul quale è installato un laserscanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad una elevata risoluzione

I voli sono stati eseguiti con strisciate sovrapposte del 45% utilizzando 3 echi di ritorno. In tal modo è stato possibile elaborare il modello digitale del terreno quanto più idoneo all'esecuzione di un nuovo studio idraulico. Si evidenzia che lo studio idraulico in fase esecutiva è stato eseguito utilizzando un modello numerico bidimensionale per tutti i bacini.

Le aree oggetto del rilievo hanno ricoperto un le superfici delle lame in cui sono posizionate le principali linee di sezione idraulica riportate nel progetto definitivo, al fine di avere una correlazione tra i due dati topografici:

Lama	Ettari
Valenzano	Area: 144,02 ha
San Marco	Area: 52,906 ha
Cutizza 1 e Cutizza 2	Area: 78,303 ha
San Giorgio	Area: 169,01 ha

Il sensore lidar utilizzato durante i rilievi è in grado di registrare il dato RGB della nuvola di punti rilevati, dai quali è stato possibile ottenere un'ortofoto delle aree oggetto d'indagine.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

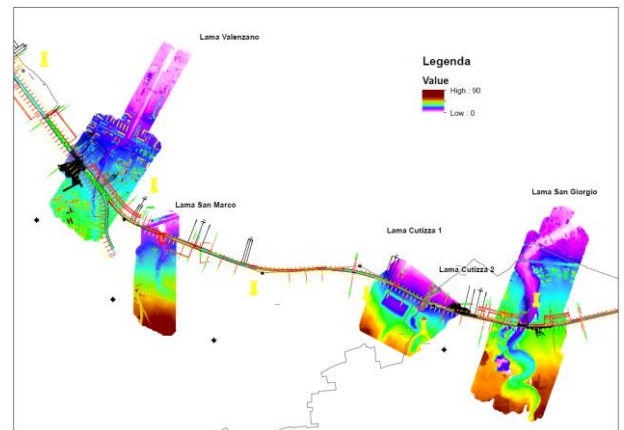
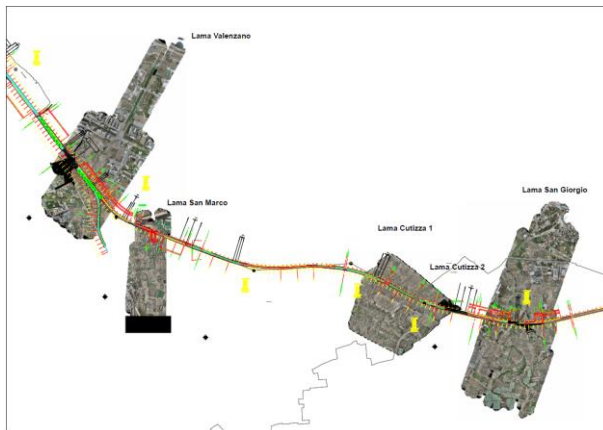
TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	10 DI 114



La nuvola di punti lidar è stata elaborata al fine di ottenere un DTM quanto più simile allo stato di progetto. In particolare, dato che il rilievo era finalizzato allo studio idraulico bidimensionale delle lame, l'elaborazione ha tenuto in considerazione una serie di filtri. È stata filtrata la vegetazione mentre sono state mantenute le gli edifici e i manufatti antropici. In tal modo sono stati mantenuti tutti gli ostacoli al naturale deflusso delle acque. Di seguito si riporta un esempio della categorizzazione della nuvola di punti lidar, stralciata da un tratto rilevato lungo Lama Valenzano.



Figura 4 - Nuvola di punti Lidar con RGB

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

PROGETTO ESECUTIVO:

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	11 DI 114

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

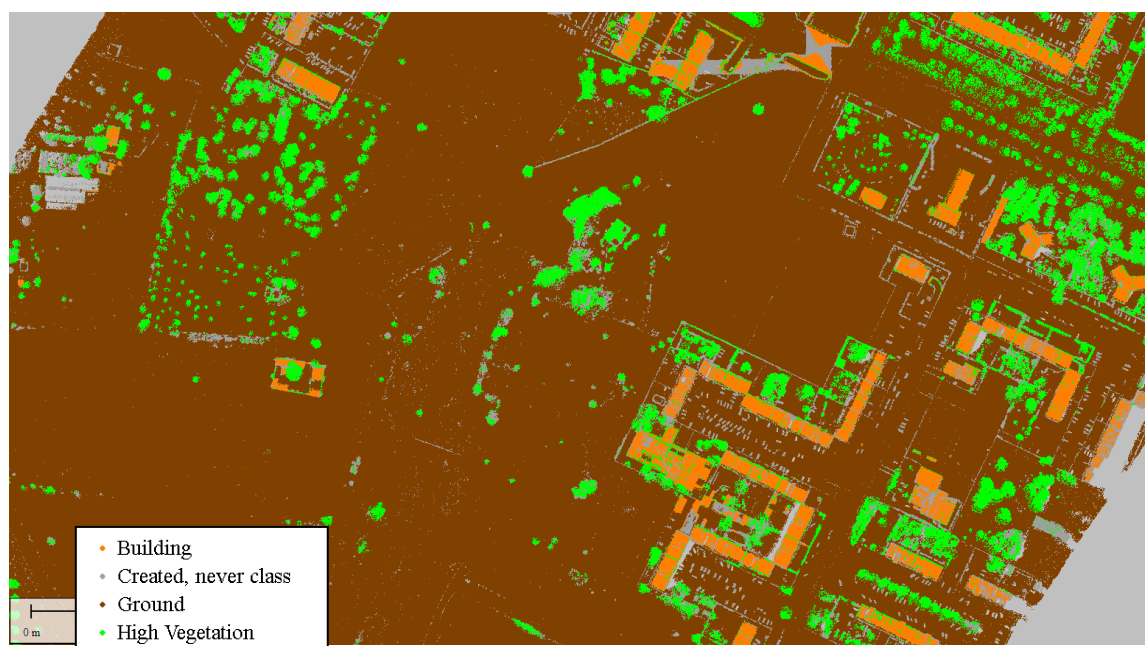


Figura 5 - Classificazione nuvola di punti

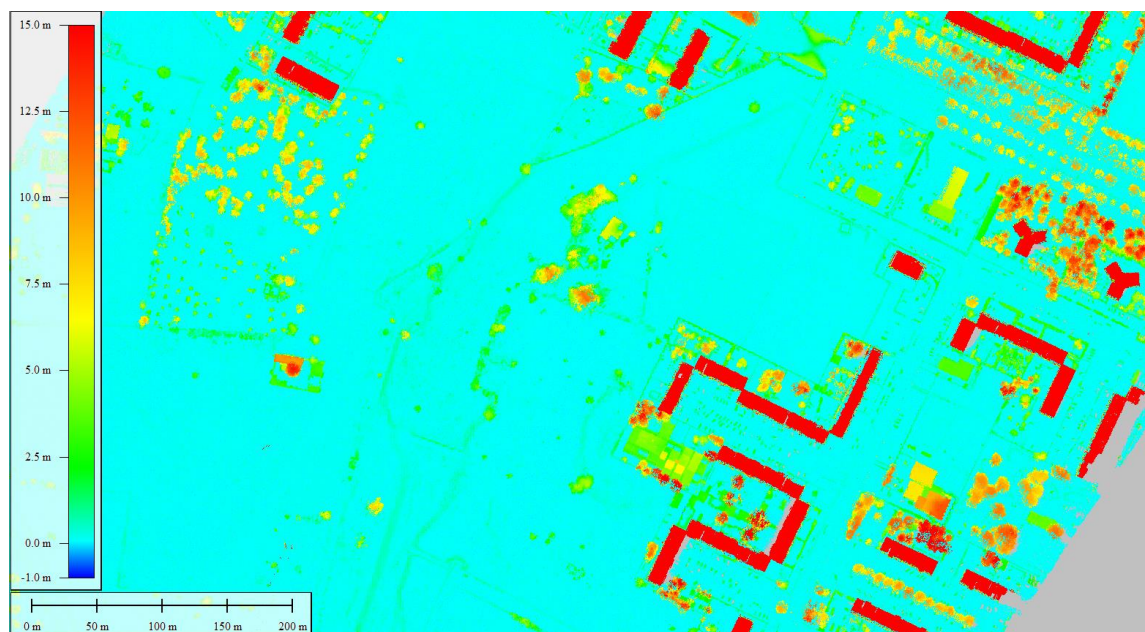


Figura 6 - Scala di altezza rispetto al piano campagna

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 12 DI 114



Figura 7 - DTM in quote ortometriche

In corrispondenza degli attraversamenti idraulici, il DTM è stato modellato utilizzando il dato tridimensionale del progetto in esame. Sono state pertanto modificate le geometrie con l'inserimento di salti idraulici, savanelle, ecc.

Di notevole interesse rispetto allo studio idraulico presentato in RevA ricoprono due importanti modifiche di carattere topografico non opportunamente caratterizzate nel suddetto studio. Queste modifiche ricadono in corrispondenza l'area su cui è stata realizzata la vasca di laminazione dal Comune di Bari, nella zona antistante la lottizzazione del Comparto Sant'Anna Maglie 21 E 22 nel quartiere Japigia, località Sant'Anna, e dell'area su cui sorge l'attuale Cava Cutizza, che nel presente progetto verrà riempita.

La vasca di laminazione suddetta è posta a monte di Lama Cutizza 1 e Lama Cutizza 2, ha una profondità di circa 5m e dimensioni di circa 334x194m.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

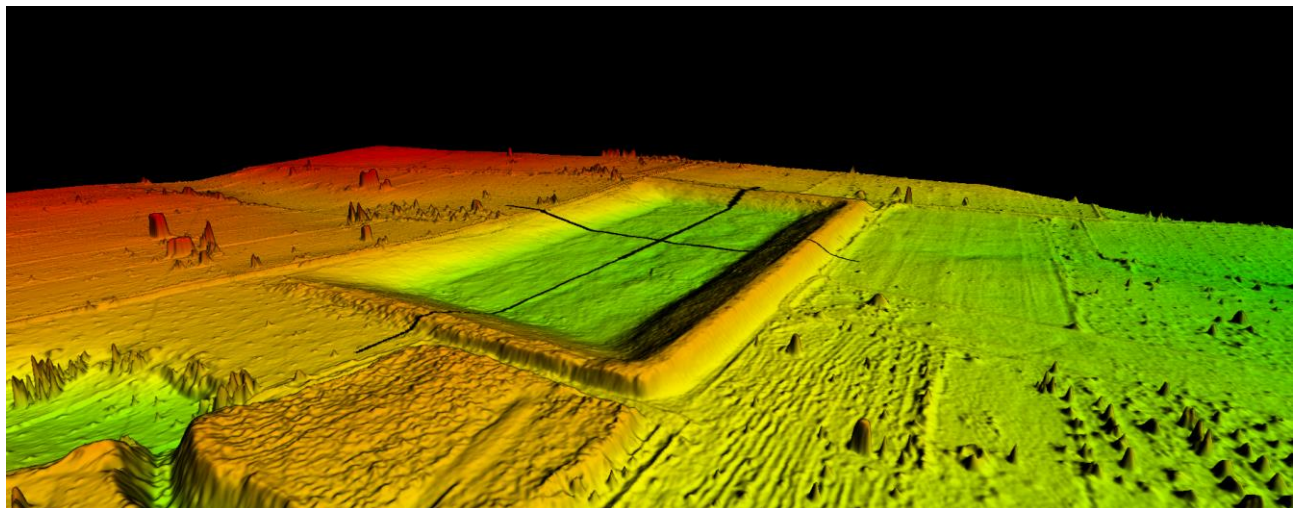
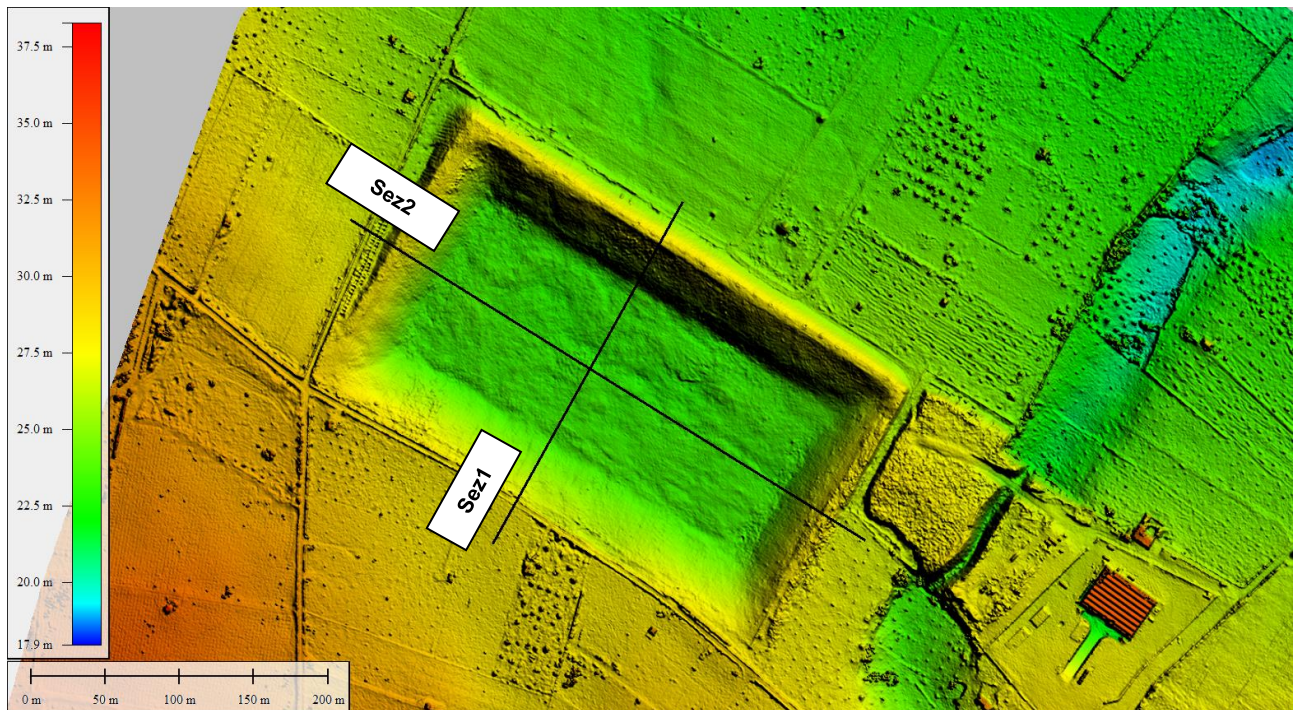
RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	13 DI 114

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici



APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	14 DI 114

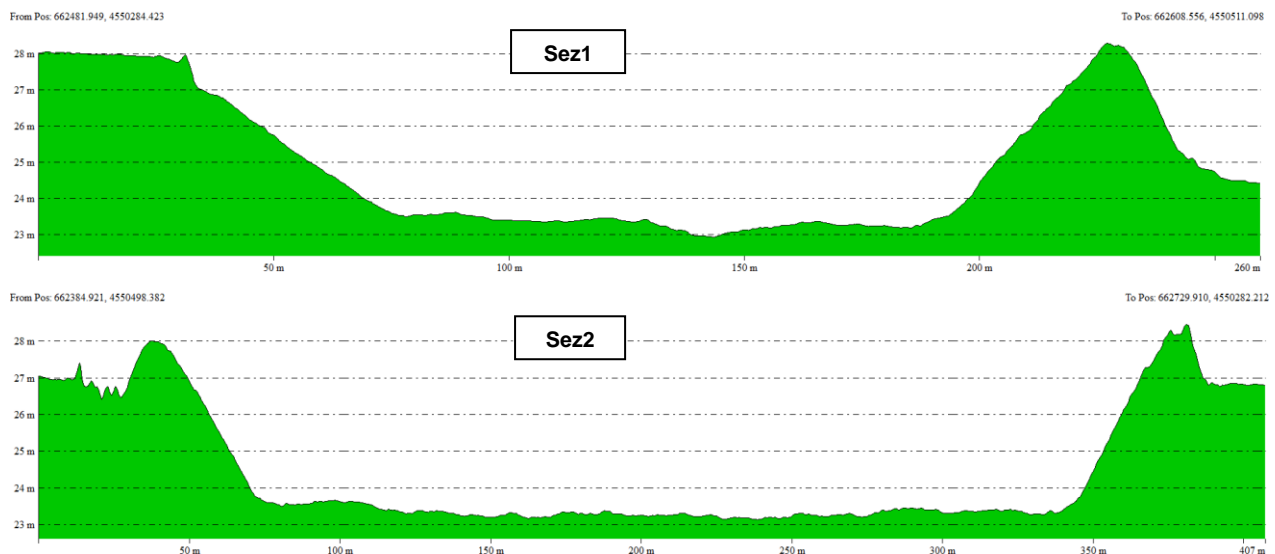


Figura 8 Assonometrie e sezioni della vasca di laminazione

Tale vasca è stata integrata nel presente studio idraulico bidimensionale e con i risultati di seguito descritti. Mentre per quanto riguarda la Cava Cutizza, ubicata nelle vicinanze del centro commerciale Bari Blu, nel comune di Triggiano, in località San Giorgio e in prossimità di Lama San Giorgio, a circa 1.50 km dalla periferia del centro abitato e al ridosso del confine territoriale della città di Bari.

La sistemazione ambientale prevede il riempimento dell'area di ex-cava, in modo da ottenere una configurazione stabile dal punto di vista geotecnico mediante il riporto di terre e rocce da scavo provenienti dagli scavi per la realizzazione della tratta ferroviaria, l'inerbimento e la piantumazione di essenze vegetali idonee.

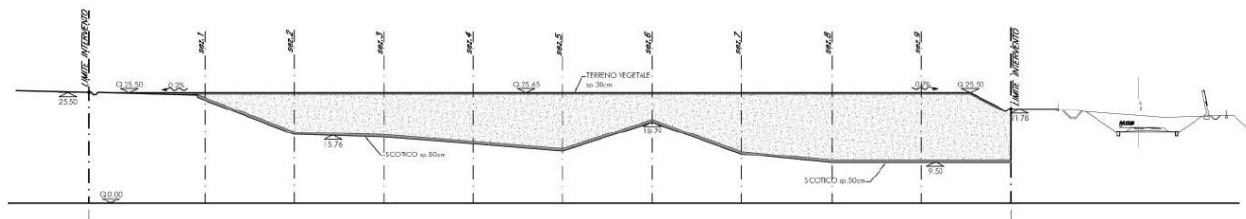


Figura 9 - sezione trasversale dell'intervento

Dal punto di vista morfologico l'attuale cava si presenta alla stregua di una valle artificiale con uno sviluppo tra le quote circa 10.50 m s.l.m. e 25.50 m s.l.m. A seguito della sistemazione ambientale qui prevista, al sito

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	15 DI 114

sarà conferita una morfologia simile a quella pre-esistente all'attività estrattiva, riempiendo i volumi cavati con materiali di riporto abbancati secondo la geometria di progetto, tale da garantirne la stabilità, riportando tutto il piano campagna ad una quota di circa 25.50m s.l.m..

Nel presente studio idraulico la modellazione è stata eseguita tenendo presente la cava riambientalizzata.



Figura 10 - Assonometria 3D del DSM rilevato con l'ubicazione della Cava Cutizza riambientalizzata

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	16 DI 114

4. METODI DI CALCOLO PER L'ANALISI IDROLOGICA

4.1 Analisi Idrologica

L'analisi idrologica in aree esoreiche, ha previsto come fase preliminare l'individuazione dei parametri morfometrici dei bacini idrografici chiusi in sezioni ritenute significative. I dati ricavati sono stati utilizzati nelle elaborazioni pluviometriche e nei modelli afflussi-deflussi che consentono di determinare gli idrogrammi di piena riferiti ai tempi di ritorno prefissati. L'analisi pluviometrica è stata effettuata secondo la metodologia VAPI Puglia. La stessa ha consentito di individuare le curve di possibilità pluviometrica grazie alle quali sono stati determinati gli ietogrammi di pioggia che costituiscono l'input del modello afflussi-deflussi dal quale si ricavano gli idrogrammi di piena.

4.2 Determinazione delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici

Attraverso l'utilizzo di ESRI-ArcGis e dalle informazioni cartografiche di dettaglio oltre ai rilievi topografici eseguiti per lo specifico scopo, è stato possibile individuare lo sviluppo planimetrico dei bacini idrografici e le rispettive caratteristiche morfometriche che costituiscono l'input per le modellazioni idrauliche bidimensionali.

Al fine del tracciamento dei bacini contribuenti sono stati valutati anche gli ostacoli determinati dallo stato di antropizzazione del territorio che in molti casi determinano uno sbarramento con una laminazione significativa ai deflussi ed una conseguenziale parzializzazione del bacino. In aggiunta, lo stato di antropizzazione comporta un aumento delle superfici impermeabili con maggiori effetti sul ruscellamento.

Si ribadisce che i tratti interessati dalla modellazione idraulica bidimensionale sono stati valutati sulla base di un rilievo Lidar su piattaforma drone di risoluzione geometrica inferiore al metro.

Nel caso di studio sono stati esaminati 6 bacini a carattere esoreico a seguito dell'individuazione di specifiche sezioni di chiusura scelte in posizioni utili per le finalità del presente studio, e per ognuno di essi sono state determinate le relative caratteristiche morfometriche. Si rappresenta che sono

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 17 DI 114

stati valutate anche gli idrogrammi relativi a reticoli secondari che influiscono sui dati della modellazione, in particolare per il bacino della lama Valenzano e della lama San Giorgio.

Bacino	Quota max (m slm)	Quota media (m slm)	Quota min (m slm)	CN (II)	Area (Km ²)	Pendenza media (%)	Asta principale (Km)
Bacino Lama Valenzano	312.64	191.81	15.20	78	99.32	2.46	27.78
Bacino Lama San Marco	197.40	95.87	23.80	66	18.60	2.34	14.46
Bacino Lama Cutizza 1	65.10	44.83	23.24	84.5	3.50	1.69	3.63
Bacino Lama Cutizza 2	65.29	45.12	19.89	84	3.34	1.75	3.60
Bacino Lama San Giorgio	521.73	338.31	2.15	66	604.87	3.85	57.24

Dati morfometrici bacini idrografici

I bacini determinati e le grandezze morfometriche ad essi associate hanno consentito, attraverso l'applicazione di modelli di calcolo ampiamente diffusi in letteratura scientifica e specificati di seguito, di determinare gli idrogrammi di piena, relativi ad eventi con tempo di ritorno di 200 e 300 anni. Per questi bacini si sono scelte condizioni di input al modello a parametri concentrati, ovvero ubicate in specifici punti del modello.

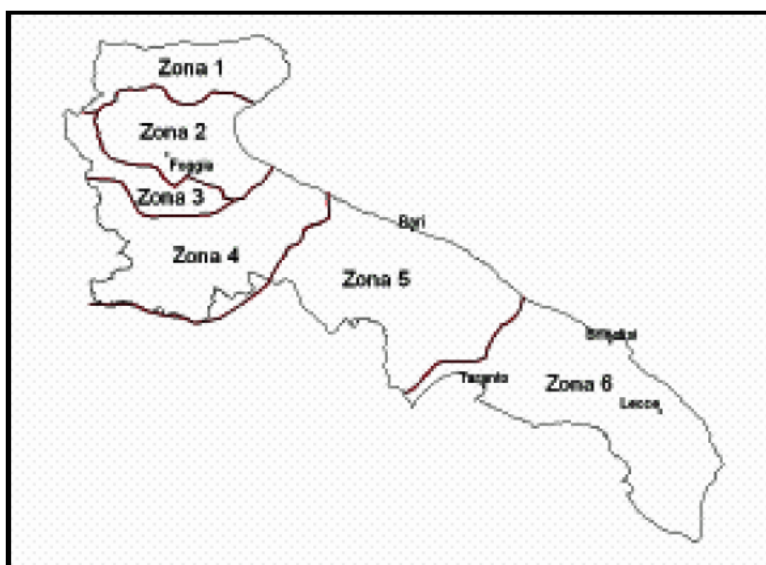
APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	18 DI 114

4.3 Analisi Pluviometrica

L'analisi degli eventi pluviometrici estremi è di fondamentale importanza nello studio dei fenomeni legati alle piene fluviali; lo studio delle piogge massime viene effettuato attraverso l'analisi statistica dei dati storici rilevati nelle diverse stazioni pluviometriche.

Le Curve di Possibilità Pluviometrica a diversi tempi di ritorno sono determinate attraverso l'applicazione della metodologia indicata dal progetto "Valutazione Piene" (VaPi) sviluppata dal Gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI). La metodologia utilizzata nel VAPI fa riferimento alla distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value) con regionalizzazione di tipo gerarchico.

L'analisi regionale di terzo livello, basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, ha portato all'individuazione dei bacini esaminati, che si trovano nella zona omogenea numero 5, e a definire le rispettive curve di possibilità pluviometrica relative ai tempi di ritorno di 200 e 300 anni.



APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	19 DI 114

In particolare, per ognuna delle sei zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione, il rapporto VAPI individua una relazione che consente di determinare i parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica. Per la zona 5 la relazione proposta è la seguente:

$$h(\text{mm}) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002z)/3.178]}$$

Con riferimento alla stessa procedura VAPI, il risultato fornito da questa relazione esprime l'andamento dei valori medi delle precipitazioni massime annuali e per derivare il valore associato ad un predefinito tempo di ritorno esso va moltiplicato per un fattore di crescita KT. Dall'applicazione della metodologia appena descritta si ricavano le curve di possibilità pluviometrica (CPP) riferite ai tempi di ritorno di 200 e 300 anni. Dette curve sono state utilizzate nella fase di modellazione idrologica per l'analisi della trasformazione afflussi-deflussi.

4.4 Analisi afflussi deflussi con il metodo CN

Il calcolo della precipitazione efficace e del ruscellamento superficiale è stato effettuato secondo vari approcci scientifici tra cui anche il metodo razionale utilizzando le varie formulazioni disponibili in letteratura.

A valle di un confronto fra le diverse metodologie adoperate, viene sommariamente descritto il modello che ha consentito di determinare i risultati con la migliore approssimazione possibile in funzione dei dati disponibili, il modello a cui si fa riferimento è l'SCN-SCS (Curve Number del Soil Conservation Service). La metodologia utilizzata, particolarmente adatta alla realtà territoriale in esame (modello ampiamente usato anche dall'Autorità di Bacino della Puglia), consente la ricostruzione delle piene attraverso la definizione dell'indice CN (Curve Number), valore che dipende dalla geologia e dall'uso del suolo.

Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si determina in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, alla copertura vegetale, al grado di antropizzazione dei luoghi e alle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento. In particolare, attraverso analisi

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	20 DI 114

della carta geologica, dell'ortofoto e della carta dell'uso del suolo, si è provveduto a valutare il valore del Curve Number ponderato per ciascun bacino. I valori dei CN di ogni bacino sono riportati nella tabella riassuntiva delle caratteristiche di ognuno di essi già riportata in precedenza.

I parametri considerati nel modello sono:

- CN (Curve Number);
- S grado di saturazione del terreno;
- Ia (Initial Abstraction), grado di assorbimento iniziale del terreno;
- AMC (Antecedent Moisture Condition), grado di imbibizione precedente l'evento;

Secondo il modello, la relazione che lega la precipitazione netta cumulata dall'inizio dell'evento meteorico sino al generico istante t alla precipitazione lorda è la seguente

$$P_{netta} = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

nella quale S si ricava dalla formula

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

mentre Ia si calcola secondo l'ipotesi di letteratura:

$$Ia = 0.2S$$

L'ulteriore parametro necessario al modello per la valutazione della durata critica di precipitazione, è il Time Lag (tL), tempo di ritardo tra il centro del pluviogramma e quello dell'idrogramma, valutato secondo la formula seguente:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{S^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Attraverso il quale, sulla base della ipotesi di letteratura per cui:

$$t_c = t_L / 0.6$$

Facendo riferimento ad una condizione AMC=3 è stato possibile calcolare il tempo di corrivazione, secondo il metodo SCS-CN, che rappresenta il tempo in cui si raggiunge la portata massima di

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl						
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	21 DI 114

piena. Infine sono stati determinati gli idrogrammi di piena ed i volumi idrologici per i tempi di ritorno prefissati per ognuno dei 6 bacini per mezzo dell'idrogramma unitario adimensionale di Mockus che mette in relazione il rapporto tra la generica portata Q all'istante t e la portata al colmo Qp che si verifica all'istante ta (durata della fase di crescita) con la variabile dimensionale t/ta.

$$t_a = t_L / 0.9$$

Gli idrogrammi di piena hanno rappresentato l'input per la simulazione di propagazione delle piene nei tre modelli conseguiti. Il tempo t è in ore mentre la portata Q

Lama Valenzano			Lama San Marco			Lama Cutizza 1			Lama Cutizza 2			Lama San Giorgio		
t	Q200	Q300	t	Q200	Q300	t	Q200	Q300	t	Q200	Q300	t	Q200	Q300
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.25	16.89	17.42	1.80	2.47	2.75	0.45	2.17	2.36	1.39	3.93	4.32	4.99	41.47	53.63
2.82	21.96	22.65	2.25	3.22	3.58	0.56	2.82	3.07	1.74	5.12	5.62	6.23	53.91	69.72
3.38	27.03	27.88	2.70	3.96	4.41	0.68	3.48	3.78	2.09	6.30	6.92	7.48	66.36	85.81
4.51	52.36	54.01	3.61	7.67	8.54	0.90	6.73	7.33	2.78	12.20	13.41	9.97	128.57	166.26
5.07	67.14	69.26	4.06	9.84	10.95	1.02	8.64	9.40	3.13	15.64	17.19	11.22	164.85	213.18
5.64	81.92	84.50	4.51	12.00	13.36	1.13	10.54	11.47	3.48	19.08	20.97	12.47	201.14	260.11
6.76	111.48	114.99	5.41	16.33	18.18	1.36	14.34	15.61	4.17	25.97	28.54	14.96	273.72	353.97
9.02	157.09	162.04	7.21	23.01	25.61	1.81	20.20	21.99	5.57	36.60	40.22	19.95	385.70	498.77
9.58	163.85	169.00	7.66	24.00	26.71	1.92	21.07	22.94	5.91	38.17	41.95	21.20	402.29	520.22
11.27	168.92	174.23	9.02	24.75	27.54	2.26	21.72	23.65	6.96	39.35	43.24	24.94	414.73	536.31
13.53	157.09	162.04	10.82	23.01	25.61	2.71	20.20	21.99	8.35	36.60	40.22	29.92	385.70	498.77
15.78	131.75	135.90	12.62	19.30	21.48	3.16	16.95	18.44	9.74	30.69	33.73	34.91	323.49	418.32
18.04	94.59	97.57	14.42	13.86	15.42	3.62	12.17	13.24	11.13	22.04	24.22	39.90	232.25	300.33
20.29	65.88	67.95	16.23	9.65	10.74	4.07	8.47	9.22	12.52	15.35	16.87	44.88	161.74	209.16
22.54	47.30	48.78	18.03	6.93	7.71	4.52	6.08	6.62	13.91	11.02	12.11	49.87	116.12	150.17
24.80	36.06	37.20	19.83	5.28	5.88	4.97	4.64	5.05	15.31	8.40	9.23	54.86	88.54	114.50
27.05	24.83	25.61	21.64	3.64	4.05	5.42	3.19	3.48	16.70	5.78	6.36	59.85	60.96	78.84
29.31	18.07	18.64	23.44	2.65	2.95	5.88	2.32	2.53	18.09	4.21	4.63	64.83	44.38	57.39
31.56	13.01	13.42	25.24	1.91	2.12	6.33	1.67	1.82	19.48	3.03	3.33	69.82	31.93	41.30
33.82	9.29	9.58	27.05	1.36	1.51	6.78	1.19	1.30	20.87	2.16	2.38	74.81	22.81	29.50
36.07	6.76	6.97	28.85	0.99	1.10	7.23	0.87	0.95	22.26	1.57	1.73	79.79	16.59	21.45
38.32	4.90	5.05	30.65	0.72	0.80	7.68	0.63	0.69	23.65	1.14	1.25	84.78	12.03	15.55
40.58	3.55	3.66	32.46	0.52	0.58	8.14	0.46	0.50	25.05	0.83	0.91	89.77	8.71	11.26
42.83	2.53	2.61	34.26	0.37	0.41	8.59	0.33	0.35	26.44	0.59	0.65	94.75	6.22	8.04
45.09	1.86	1.92	36.06	0.27	0.30	9.04	0.24	0.26	27.83	0.43	0.48	99.74	4.56	5.90
47.34	1.27	1.31	37.86	0.19	0.21	9.49	0.16	0.18	29.22	0.30	0.32	104.73	3.11	4.02
51.85	0.84	0.87	41.47	0.12	0.14	10.40	0.11	0.12	32.00	0.20	0.22	114.70	2.07	2.68
54.11	0.42	0.44	43.27	0.06	0.07	10.85	0.05	0.06	33.39	0.10	0.11	119.69	1.04	1.34
56.36	0.00	0.00	45.08	0.00	0.00	11.30	0.00	0.00	34.79	0.00	0.00	124.68	0.00	0.00

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandatario: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	22 DI 114

4.5 Coefficienti di scabrezza

I coefficienti di scabrezza sono stati assegnati ai diversi areali di uso del suolo desunti dalla CTR 1:5000 della Regione Puglia e disponibile come strato informativo sul portale SIT Puglia. Ogni modello bidimensionale ha una copertura totale con il layer uso del suolo e pertanto per ogni parte si è assegnato uno specifico numero di Manning “n”.

Coefficienti di scabrezza modello lama Valenzano

Classificazione uso del suolo	Coefficiente di Manning (n)
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	0.05
aree sportive (calcio, atletica, tennis, etc)	0.02
aree verdi urbane	0.05
boschi di conifere	0.08
cespuglieti e arbusteti	0.08
frutteti e frutti minori	0.06
insediamenti ospedalieri	0.02
insediamenti produttivi agricoli	0.02
insediamento commerciale	0.02
insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	0.02
insediamento industriale o artigianale con spazi annessi	0.02
parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)	0.02
reti ferroviarie comprese le superfici annesse	0.02
reti stradali principali e spazi accessori	0.02
reti stradali secondarie e spazi accessori	0.02
seminativi semplici in aree non irrigue	0.05
suoli rimaneggiati e artefatti	0.05
tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	0.02
tessuto residenziale continuo, denso recente, alto	0.02
tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.02
uliveti	0.06
vigneti	0.07

Coefficienti di scabrezza modello Cutizza 1 e 2

Classificazione uso del suolo	Coefficiente di Manning (n)
colture temporanee associate a colture permanenti	0.05
frutteti e frutti minori	0.06

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl						
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	23 DI 114

insediamento industriale o artigianale con spazi annessi	0.02
reti stradali secondarie e spazi accessori	0.02
seminativi semplici in aree non irrigue	0.05
suoli rimaneggiati e artefatti	0.05
tessuto residenziale sparso	0.02
uliveti	0.06
vigneti	0.07

Coefficienti di scabrezza modello lama San Giorgio

Classificazione uso del suolo	Coefficiente di Manning (n)
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	0.05
aree estrattive	0.07
cespuglieti e arbusteti	0.08
depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	0.03
frutteti e frutti minori	0.06
insediamenti produttivi agricoli	0.02
insediamento commerciale	0.02
insediamento industriale o artigianale con spazi annessi	0.02
reti stradali secondarie e spazi accessori	0.02
seminativi semplici in aree non irrigue	0.05
suoli rimaneggiati e artefatti	0.05
tessuto residenziale sparso	0.02
uliveti	0.06
vigneti	0.07

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	24 DI 114

5. METODOLOGIA DI CALCOLO E VERIFICA DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICA

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS)

Mentre per la verifica delle sistemazioni idrauliche, partendo dall'analisi dei risultati ottenuti con le simulazioni numeriche condotte per le massime piene, va verificata la possibilità che si verifichino erosioni in corrispondenza delle pile dei ponte in progetto e nell'alveo del corso d'acqua. Si rimanda agli elaborati di geotecnica e di geologia per il dettaglio della stratigrafia, poiché la trattazione e la verifica dell'erosione è stata condotta nelle condizioni più cautelative cioè impostando valori di granulometria di materiale alluvionale; tale materiale si trova solamente negli strati più superficiali e la roccia calcarea è affiorante già al di sotto di 1-1,5m dal piano campagna.

I fondamenti concettuali di quanto descritto sono riportati di seguito.

5.1 Codice di Calcolo

HEC-RAS è un software di simulazione idraulica sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software consente il tracciamento di profili di correnti monodimensionali in moto permanente ed in moto vario, a fondo fisso e a fondo mobile, e trova ampio utilizzo in un gran numero di problemi di idraulica fluviale. Il programma è in grado inoltre di simulare il moto vario di onde in domini puramente bidimensionali, eventualmente connessi ad elementi monodimensionali. Nelle applicazioni di moto vario, il software consente la risoluzione numerica delle equazioni monodimensionali di De Saint Venant (nella forma derivata da Barkau, 1982) utilizzando uno schema implicito a quattro punti (il cosiddetto "box scheme"). In questo schema (vedi Figura 22), le derivate

spaziali ed i valori delle funzioni sono calcolati nell'istante $(n+\theta) \Delta t$ intermedio tra il passo temporale $n \Delta t$ ed il passo temporale $(n+1) \Delta t$. I valori delle variabili al tempo $(n+1) \Delta t$ entrano quindi in tutti i termini delle equazioni del moto, generando così un sistema di equazioni simultanee implicite. La soluzione simultanea

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 25 DI 114

delle equazioni in forma implicita e un aspetto molto importante dello schema di calcolo, perché permette all'informazione dell'intero sistema di influenzare la soluzione in qualsiasi punto del modello. Di conseguenza, il passo temporale della risoluzione può essere significativamente maggiore rispetto ad uno schema numerico esplicito. L'analisi di stabilità di Von Neumann (Fread 1974, Liggett e Cunge 1975) mostra che teoricamente lo schema implicito utilizzato da HEC-RAS è incondizionatamente stabile per $0,5 < \theta \leq 1$, condizionatamente stabile per $\theta = 0,5$ ed instabile per $\theta < 0,5$.

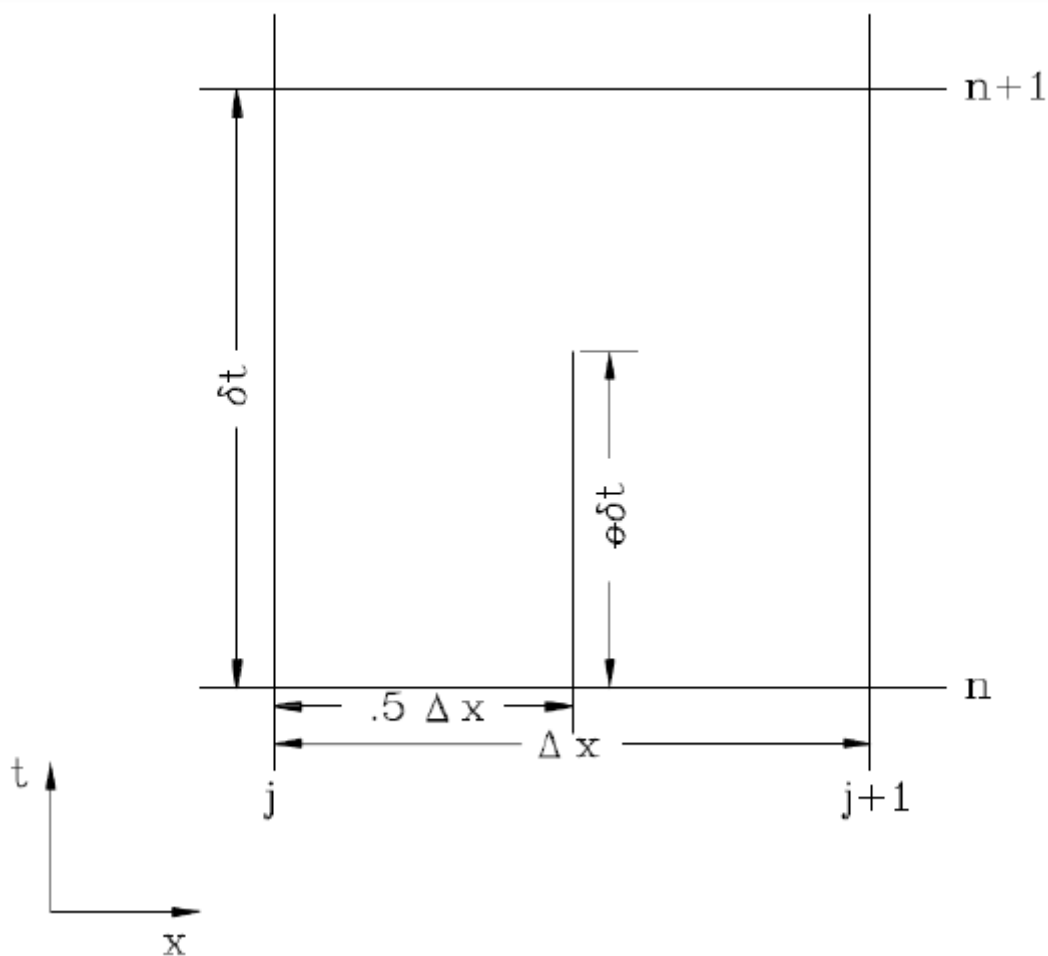


Figura 11 - Schema alle differenze finite implicito a quattro punti ("box scheme").

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	26 DI 114

Inoltre, per i modelli (o le parti di modello) bidimensionali, il software consente di risolvere numericamente le equazioni di Navier-Stokes alle acque basse (equazioni Shallow Water) utilizzando un approccio sub-grid bathymetry (Casulli, 2008), che consente di tener conto di tutta l'informazione batimetrica disponibile anche utilizzando griglie di calcolo di risoluzione piu grossolana. Per ulteriori dettagli sul codice HEC-RAS si rimanda ai manuali liberamente reperibili su web.

5.2 Le equazioni del moto vario

Le leggi fisiche che governano il deflusso a pelo libero dell'acqua sono:

- 1) il principio di conservazione della massa (principio di continuita);
- 2) il principio di conservazione della quantita di moto.

Per un flusso monodimensionale tali principi sono espressi matematicamente dalle equazioni di De Saint Venant, che nella consueta formulazione differenziale assumono la seguente forma:

$$1) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (\text{conservazione della massa}),$$

$$2) \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (\text{conservazione della quantita di moto}),$$

dove:

- x ascissa curvilinea lungo l'asse del canale;
- t coordinata temporale;
- Q portata fluente;
- A area della sezione bagnata;
- q_l flusso laterale entrante per unita di lunghezza;
- g accelerazione di gravita;
- V velocita media del flusso;
- z quota del pelo libero;
- S_f cadente del carico idraulico.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	27 DI 114

Per il calcolo della cadente del carico idraulico, HEC-RAS utilizza la classica espressione di Chezy, in combinazione con l'equazione di Manning delle resistenze al moto:

$$S_f = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R_H^{4/3}} = \left(\frac{Q}{K} \right)^2,$$

in cui n è il coefficiente di Manning, funzione della scabrezza del canale, R_H è il raggio idraulico della sezione bagnata e K è la cosiddetta "conveyance", per definizione pari a:

$$K = Q / \sqrt{S_f} = \frac{AR_H^{2/3}}{n}$$

Definita la cadente in una sezione qualsiasi e nella sezione a valle di essa, HEC-RAS consente di scegliere tra diverse opzioni per il calcolo della perdita di carico distribuita nel tronco compreso tra di esse: nelle simulazioni di moto vario, come nel caso del presente studio, la cadente lungo il tronco d'alveo è generalmente calcolata come media delle cadenti S_f nella sezione a monte e a valle del tronco stesso:

$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

In alternativa, è possibile calcolare la cadente come media armonica o come media geometrica delle cadenti, oppure ricavarla dalla media delle "conveyance" K delle sezioni.

L'equivalente delle leggi di De Saint Venant per un dominio bidimensionale è rappresentato dalle già citate equazioni delle acque basse, che costituiscono un caso particolare delle più generali leggi di Navier-Stokes. Nella consueta formulazione differenziale, le equazioni assumono la seguente forma:

- conservazione della massa:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot hV + q = 0$$

- conservazione della quantità di moto:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	28 DI 114

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \bullet \nabla V = -g \nabla H + v_t \nabla^2 V - c_f V + fk \times V$$

dove

V è il vettore velocità (u,v) nel dominio bidimensionale

H è la quota assoluta della superficie liquida

h è l'altezza della colonna d'acqua

q è il flusso di portata immesso/prelevato

g è l'accelerazione di gravità

v_t è il coefficiente di viscosità eddy

c_f è il coefficiente di scabrezza del fondo

f è il parametro di Coriolis

k è il versore verticale

∇ è l'operatore del $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$

5.3 Applicazione delle equazioni del moto vario in HEC-RAS

Al fine di consentirne l'applicazione ad una gamma di problemi idraulici il più ampia possibile, HECRAS offre la possibilità di suddividere le sezioni fluviali del modello monodimensionale in alveo inciso ed aree allagabili (in sinistra e in destra all'alveo inciso).

Il software consente di assegnare a ciascuna parte di sezione una propria scabrezza, ed anche un differente sviluppo del percorso di deflusso.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	29 DI 114

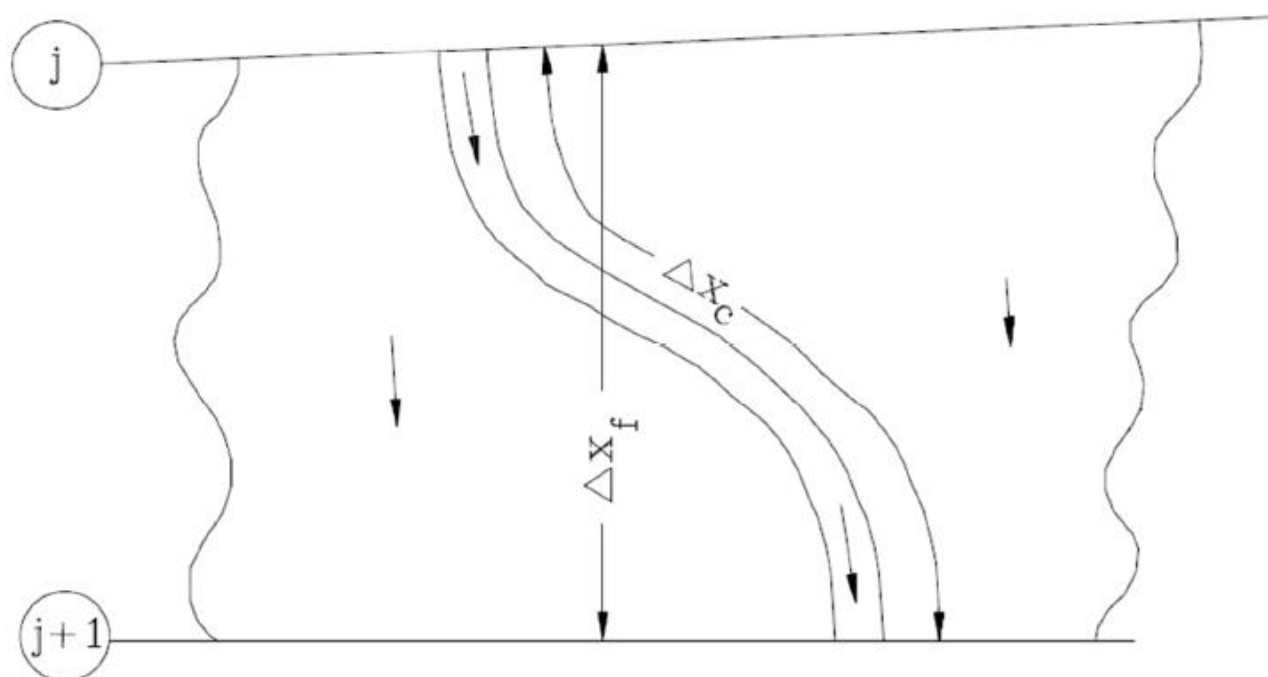


Figura 12 - Differenziazione dei percorsi di deflusso in HEC-RAS (Δx_f : deflusso nelle aree allagabili; Δx_c : deflusso nell'alveo)

Tale schematizzazione, inizialmente proposta da Fread (1976) e Smith (1978), consente l'utilizzo (con le dovute modifiche) delle equazioni del moto monodimensionale sopra riportate anche in problemi per loro natura quasi-bidimensionali o bidimensionali, qualora si possa ragionevolmente ritenere che la superficie dell'acqua sia orizzontale in ogni sezione perpendicolare alla direzione del flusso e che lo scambio di quantità di moto tra alveo inciso ed aree golenali sia quindi trascurabile.

In tali casi, si può assumere che in ogni sezione la ripartizione del flusso tra alveo inciso ed aree di espansione sia proporzionale alle rispettive conveyance K , ossia che:

$$Q_c = FQ$$

dove

Q_c flusso nell'alveo inciso

Q flusso totale

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 30 DI 114

$$F = K_c / (K_c + K_f)$$

K_c conveyance dell'alveo inciso

K_f conveyance delle aree allagabili di espansione

Sotto queste ipotesi, è possibile modellare l'alveo inciso e le aree allagabili come due canali separati, e combinare le rispettive equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto in un singolo set di due equazioni:

Conservazione della massa

$$1) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f} = 0$$

Conservazione della quantità di moto

$$2) \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\Phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left(\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right) + gA_f \left(\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right) = 0$$

dove i pedici "c" e "f" si riferiscono rispettivamente all'alveo inciso e alle aree allagabili laterali.

In alternativa, HEC-RAS consente anche di modellare l'alveo inciso con un modello monodimensionale, e le aree allagabili con una serie di modelli bidimensionali; il trasferimento di portate da un modello all'altro avviene attraverso collegamenti opportunamente posizionati in corrispondenza delle sponde dell'alveo, costituiti da soglie tracimabili. Per la presente progettazione si è preferito utilizzare quest'ultimo approccio, in quanto rappresenta un buon compromesso tra precisione dei risultati e rapidità di implementazione e di calcolo.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	31 DI 114

6. VERIFICA DELLE SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Per quanto riguarda la verifica delle sistemazioni idrauliche si confermano i risultati presenti nel progetto definitivo.

Dall'analisi dei risultati ottenuti con le simulazioni numeriche condotte per le massime piene, va verificata la possibilità che si verifichino erosioni in corrispondenza delle pile dei ponti in progetto e nell'alveo del corso d'acqua.

Si rimanda agli elaborati di geotecnica e di geologia per il dettaglio della stratigrafia, poiché la trattazione e la verifica dell'erosione è stata condotta nelle condizioni più cautelative cioè impostando valori di granulometria di materiale alluvionale; tale materiale si trova solamente negli strati più superficiali e la roccia calcarea è affiorante già al di sotto di 1-1,5m dal piano campagna.

6.1 Stima dell'erosione

L'erosione complessiva in una determinata sezione è la somma di fenomeni agenti in scale spazio-temporali diverse. Possono distinguersi in particolare i seguenti fenomeni:

- Fenomeno dell'erosione localizzata in corrispondenza di un restringimento;
- Fenomeno dell'erosione localizzata in corrispondenza di un ostacolo.

L'erosione localizzata alla base delle pile e delle spalle dei ponti e in presenza di restringimenti è provocata dalla rapida variazione di intensità e distribuzione della velocità. In particolare, la presenza di una pila in alveo genera un aumento della velocità della corrente, associato all'addensamento delle linee di flusso. Successivamente si instaura un sistema di vortici che, abbracciando la pila, causa l'evoluzione dell'erosione.

in letteratura Esistono una serie di relazioni semi-empiriche per la valutazione della profondità massima di erosione nelle forme di erosione localizzata al piede delle pile e delle spalle dei ponti e dell'erosione in presenza di un restringimento.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	32 DI 114

6.2 Erosione indotta da restringimento

La presenza di un restringimento nella sezione trasversale del fiume causa la variazione delle caratteristiche del flusso della corrente; in particolare si ha un aumento della velocità e quindi dell'azione tangenziale sul fondo alveo con il conseguente innesco di fenomeni erosivi.

Diverse sono le espressioni per la stima della massima profondità di erosione a seconda se si hanno condizioni di "acqua chiara" (clear water) o "letto mobile" (live bed) in quanto la corrente raggiunge l'equilibrio in modo diverso.

Nella condizione live-bed l'equilibrio si raggiunge quando la quantità di materiale depositato eguaglierà la quantità di materiale messo in sospensione. Nella condizione clear-water l'equilibrio si raggiunge quando la resistenza del terreno eguaglierà l'azione tangenziale della corrente.

Nella condizione live-bed la massima profondità di erosione Y_s è valutata attraverso la seguente relazione di Laursen (1960):

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{6/7} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{k_2} \Rightarrow y_s = y_2 - y_0 \quad (12)$$

Dove:

y_1 , altezza della corrente a monte del restringimento [m]; y_2 , altezza della corrente nella sezione ristretta [m];

y_0 , altezza della corrente nella sezione ristretta in assenza di erosione [m];

$Q_{1,2}$, portata rispettivamente nella sezione a monte della sezione ristretta e nella sezione ristretta [m³/s];

$W_{1,2}$, larghezza rispettivamente della sezione a monte del restringimento e della sezione ristretta [m];

$n_{1,2}$, coefficiente di scabrezza di Manning nella sezione a monte del restringimento e nella sezione ristretta [m^{-1/3}s];

$k_{1,2}$, parametri legati alle modalità di trasporto solido (vedi. Tabella 1); V , velocità di trascinamento della corrente [m/s];

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 33 DI 114

V_c , velocità critica di trascinamento del materiale [m/s].

Lo stesso autore ha semplificato successivamente la relazione (12) ottenendo:

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \cdot \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1} \Rightarrow y_s = y_2 - y_0$$

con lo stesso significato dei parametri

Table 1 - Coefficienti k_1 e k_2 .

V/V_c	k_1	k_2	Modalità di trasporto
<0.50	0.59	0.066	Trasporto di fondo
0.50÷2.00	0.64	0.21	Trasporto misto
>2.00	0.69	0.37	Trasporto in sospensione

Nella condizione clear-water la profondità massima di erosione è stimata attraverso la seguente espressione (Laursen 1963):

$$y = \left(\frac{Q^2}{40 \cdot D_m^{2/3} \cdot W_2^2} \right)^{3/7} \Rightarrow y_s = y - y_0$$

$D_m = 1.25 \cdot d_{50}$;

d_{50} , diametro medio del terreno di fondo alveo [m];

Q , portata nella sezione ristretta [m^3/s];

W , larghezza della sezione ristretta [m].

6.3 Erosione localizzata alla base di una pila

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	34 DI 114

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalle pile dei ponti non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità. Di conseguenza, per poter ottenere delle stime il più verosimili possibili, nel presente studio sono di seguito riportate diverse metodologie di calcolo per poi ottenere un unico valore mediando i singoli risultati calcolati.

CSU EQUATION (Richardson, 1990)

$$y_s = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot a^{0.65} \cdot y_1^{0.35} \cdot Fr_1^{0.43}$$

$K_{1,2,3,4}$, fattori di correzione rispettivamente per la forma del pila (Tabella 2), per l'angolo di attacco della corrente, per la condizione del fondo alveo (Tabella 3) e per la presenza di strati corazzati; a , larghezza della pila [m];

y_1 , altezza della corrente subito a monte della pila [m]; Fr_1 , numero di Froude in corrispondenza della pila.

Per pile con pila arrotondato allineate con la corrente esistono delle limitazioni nella profondità di erosione ricavate sperimentalmente:

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3.0 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 > 0.80.$$

Table 2 - Coefficiente K_1

Forma del pila	K_1
Squadrato	1.10
Arrotondato	1.00
Circolare	1.00
Gruppo di pali	1.00
Triangolare	0.90

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	35 DI 114

Table 3 - Coefficiente K3

Configurazione fondo alveo	Altezza dune (m)	K ₃
Clear – water	-	1.10
Piatto	-	1.10
Piccole dune	0.60 ≤ H < 3.00	1.10
Dune medie	3.00 ≤ H < 9.00	1.10 ÷ 1.20
Dune grandi	H ≥ 9.00	1.30

Il coefficiente K₂ è stimato attraverso l'espressione seguente:

$$K_2 = \left(\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65}$$

dove L è la lunghezza della pila in direzione della corrente e θ angolo di attacco della corrente.

Il coefficiente K₄ tiene conto della presenza di strati corazzati con granulometria d₅₀ ≥ 0.06 m.

$$0.7 \leq K_4 = \left[1 - 0.89(1 - V_r)^2 \right]^{0.5} \leq 1$$

dove

$$V_r = \frac{V_1 - V_i}{V_{c90} - V_i} \quad V_i = 0.645 \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{0.053} V_{c50}$$

V₁, velocità della corrente a monte della pila [m/s];

V_i, velocità della corrente a monte della pila all'innescarsi del moto delle particelle [m/s];

V_{c50,90}, velocità critiche del materiale per d₅₀ e d₉₀ [m/s];

B, larghezza del pila della pila [m].

FRÖELICH EQUATION (Fröelich, 1991)

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 36 DI 114

$$y_s = 0.32 \cdot \phi \cdot B'^{0.62} \cdot y_1^{0.47} \cdot Fr_1^{0.22} \cdot d_{50}^{-0.90} + B$$

dove

ϕ , è pari a 1.30 per rostri rettangolari; 1.00 per rostri circolari; 0.70 per rostri triangolari;

B' , proiezione di b nella direzione della corrente [m];

y_1 , altezza idrica a monte della pila [m].

Per pile con pila circolare allineate con la corrente esistono delle limitazioni nella profondità di erosione ricavate sperimentalmente:

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3.0 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 > 0.80.$$

BREUSERS (1977)

$$\frac{y_s}{B} = f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) \cdot \left(2 \tanh\left(\frac{y_0}{B}\right)\right) \cdot f_2(\text{forma}) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{L}{B}\right)$$

dove:

B - L, larghezza e lunghezza della pila [m];

V_0 , velocità media della corrente indisturbata [m/s];

V_c , velocità critica di trascinamento [m/s],

$$V_c = 0.85 \cdot \left(2 \cdot g \cdot d_{50} \frac{\gamma - \gamma_s}{\gamma}\right)^{1/2}$$

con γ e γ_s il peso specifico del materiale dell'acqua e di fondo e d_{50} il diametro del settaccio che consente il passaggio del 50% del materiale.

α , angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila;

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 37 DI 114

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} \leq 0.50 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 2 \cdot \frac{V_0}{V_c} - 1 \quad \text{per } 0.50 < \frac{V_0}{V_c} \leq 1.0 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} > 1.0 ;$$

$f_2(\text{forma}) = 1$ per pile circolari o con fronti arrotondati;

$f_2(\text{forma}) = 0.75$ per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;

$f_2(\text{forma}) = 1.30$ per pile rettangolari;

$f_2(\text{forma}) = 1$ per pile circolari o con fronti arrotondati;

$$f_3\left(\alpha, \frac{L}{B}\right) \quad \text{Figura 9}$$

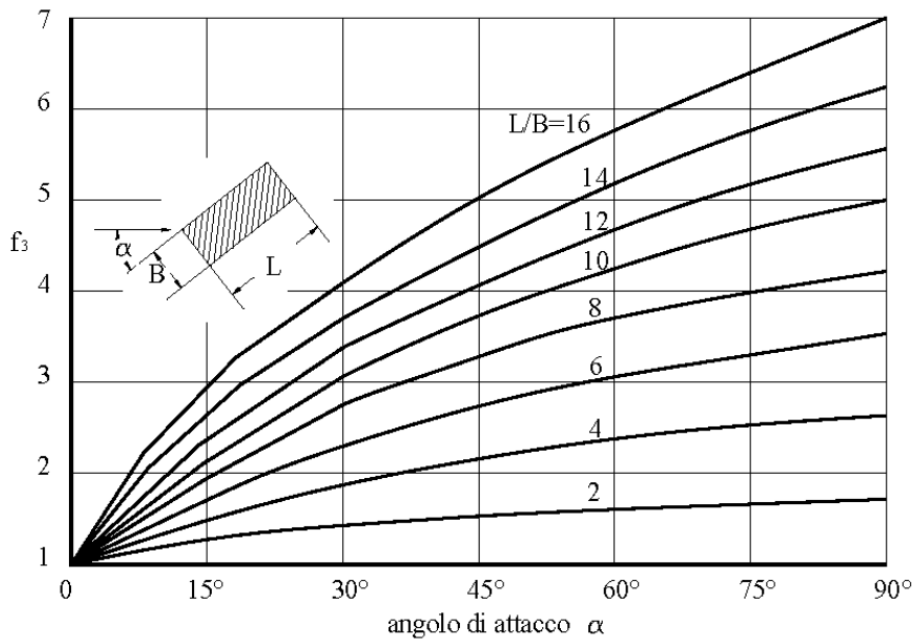


Figura 9 - Fattore f_3 .

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	38 DI 114

$$y_s = k_f \cdot k_v \cdot (\varepsilon + k_h) \cdot \frac{V^2}{g} - 30d_{85}$$

dove:

k_f , coefficiente funzione del rapporto di forma della pila (L, lunghezza; B, larghezza)

e dell'angolo d'attacco della corrente (α): $k_f = f\left(\frac{L}{B}, \alpha\right)$;

k_h , coefficiente funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente (Y) e la larghezza efficace della pila (B'): $k_h = f\left(\frac{Y}{B'}\right)$;

k_v , coefficiente funzione del rapporto tra il termine cinetico (V, velocità media) e larghezza efficace della pila (B'): $k_v = f\left(\frac{V^2}{g \cdot B'}\right)$

ε , coefficiente correttivo pari ad 1.0 per pile fondate in alveo attivo ed 0.60 per pile in aree golenali.

LAURSEN, TOCH, NEILL (1956-70)

$$y_s = 1,35 B' \left(\frac{y}{B'}\right)^{0,3}$$

dove

b' , dimensione efficace della pila [m];

y , tirante idrico [m].

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	39 DI 114

6.4 Erosione localizzata alla base delle spalle di un ponte

Le turbolenze che si attestano alla base dei rilevati di approccio degli attraversamenti fluviali sono analoghe alle turbolenze che si attestano al piede delle pile.

Notevole influenza sull'evoluzione del fenomeno erosivo e sulle profondità massime di escavazione è data dalla geometria dei rilevati.

La valutazione della massima profondità è stata condotta attraverso la relazione semi- empirica ricavate da Fröelich (1991) e l'equazione HIRE.

FRÖELICH EQUATION (Fröelich, 1991)

$$y_s = 2.27 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot L'^{0.43} \cdot y_a^{0.57} \cdot Fr^{0.61} + y_a$$

Dove:

K_1 , fattore di correzione funzione della geometria della spalla (Tabella 2);

K_2 , fattore di correzione funzione dell'angolo di attacco della corrente (Figura 10);

L' , lunghezza della spalla proiettata ortogonalmente alla corrente [m];

y_a , altezza idrica nella sezione di approccio [m];

Fr , numero di Froude nella sezione di approccio.

Table 4 – Coefficiente K_1

Geometria della spalla	K_1
Parete verticale	1.00
Parete verticale con lati inclinati	0.82
Parete completamente sagomata	0.55

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	40 DI 114

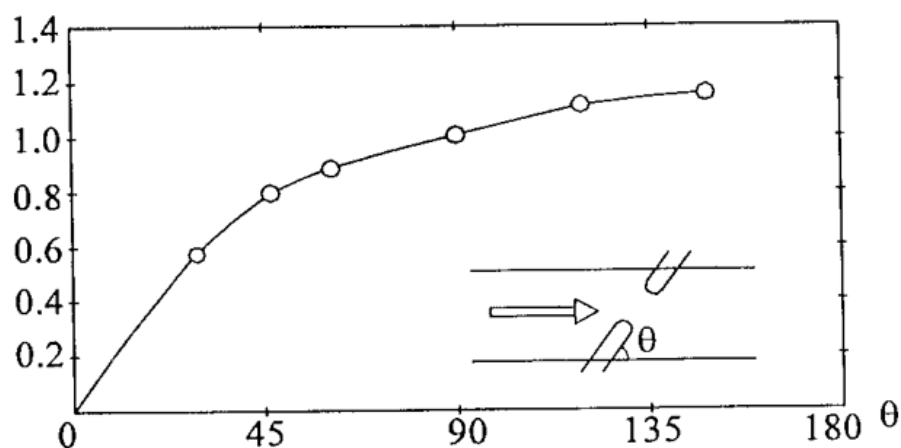


Figura 13- Coefficiente K2

6.5 Verifica dell'erosione in alveo

Per quanto riguarda le protezioni realizzate in massi sciolti e massi cementati la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende dalle caratteristiche della corrente, dalla pendenza del piano di posa, dalla forma e dimensioni del pietrame, ecc.

Nel caso di protezioni realizzate con materassi tipo Reno e gabbioni l'azione di contenimento della rete metallica incrementa la loro resistenza al trascinamento, permettendo un movimento parziale all'interno delle tasche senza però compromettere la stabilità della protezione.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	41 DI 114

6.5.1 Tensioni agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w R_H i_f$$

Con tratti a diversa pendenza, si effettuano le verifiche in tutti i settori, e, a favore di sicurezza, si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m).

6.5.2 Tensioni resistenti e loro verifica

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento τ_c il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi.

Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

$$\tau_1 = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d_{75}$$

dove:

τ_1 tensione massima di trascinamento (kg/m^2);

C^* coefficiente di Shields, adimensionale;

γ_m peso specifico del materiale d'alveo ($2600 \text{ Kg}/m^3$);

γ_w peso specifico dell'acqua ($1000 \text{ Kg}/m^3$);

d_{75} diametro del vaglio che consente il passaggio del 75% del materiale d'alveo. Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto vale circa 0.047

6.6 Dimensionamento delle sistemazioni idrauliche

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

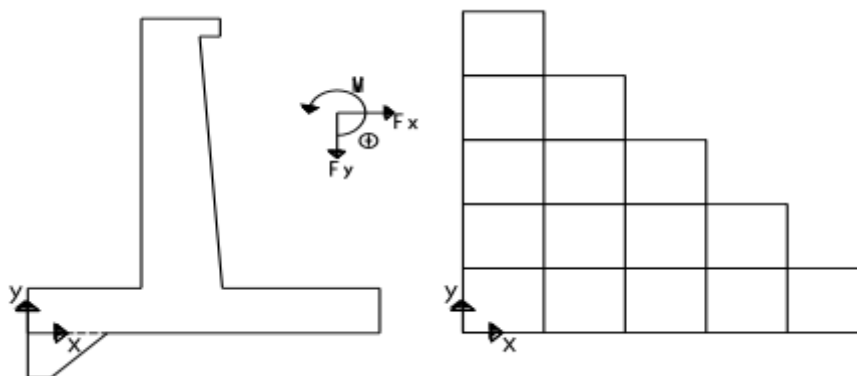
- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	42 DI 114

- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:



Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta St è applicata ad $1/3 H$ di valore

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	43 DI 114

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2\beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$d < (b-f-e)$ secondo Muller-Breslau

g_t Peso unità di volume del terreno;

b Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

f Angolo di resistenza al taglio del terreno;

d Angolo di attrito terra-muro;

e Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo e , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo b , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità q tale che:

$$\text{tg } q = k_h / (1 \pm k_v)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = g_w \cdot z$$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	44 DI 114

Con risultante pari a:

$$S_w = 1/2'g_w'H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo g_t con g'_t ($g'_t = g_{\text{saturo}} - g_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + p) c_u s_c i_c + q$$

Dove:

A' = $B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c Fattore di forma

$s_c = 0,2 (B'/L')$ per fondazioni rettangolari

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H .

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 g' B' N_g s_g i_g$$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	45 DI 114

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \tan \phi'$$

per forma rettangolare

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B'}{L'} \right)$$

per forma rettangolare

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$$

per forma rettangolare, quadrata o circolare.

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	46 DI 114

7. LAMA VALENZANO E LAMA SAN MARCO - MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS).

I modelli numerici sono stati implementati sulla base delle sezioni idrauliche rilevate mediante battuta topografica estesa alle intere aree da indagare e del rilievo dei manufatti esistenti. Accanto a tali rilievi di tipo "tradizionale" è stato accostato un modello digitale del terreno (DTM) sufficientemente dettagliato, ottenuto da una scansione con sensore LIDAR eseguita nell'ottobre del 2021.

I valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati per la modellazione numerica dei corsi d'acqua in oggetto sono stati definiti sia sulla base dei sopralluoghi eseguiti, sia delle indicazioni disponibili in letteratura. I valori dei coefficienti sono stati scelti tenendo conto delle attuali condizioni di manutenzione in cui versano i corsi d'acqua e di un loro possibile peggioramento.

Nell'analisi idraulica eseguita sono stati confrontati i massimi livelli idrici e le planimetrie di allagamento ottenuti dalle simulazioni effettuate relativamente allo STATO ATTUALE (ante operam) ed a quello di PROGETTO (post operam).

Nel seguito si riportano le risultanze relative alla porzione di analisi a monte dell'attraversamento ferroviario di progetto.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	47 DI 114

7.1 Geometria dell'alveo

Trattandosi di due lame che saranno connesse tra loro mediante un canale scolmatore oggetto di progettazione del lotto 2, la modellazione bidimensionale è stata eseguita analizzando i due corsi d'acqua.

L'area analizzata nel presente studio si estende per una superficie di circa 104 ha.

All'interno del dominio di calcolo comprende sia lama Valenzano che Lama San Marco, in quanto è stato prescritto dalla Autorità di Bacino della Regione Puglia di progettare l'attraversamento ferroviario della lama San Marco in modo tale che i relativi deflussi subito a valle di un nuovo manufatto sottoposto alla SS16, possano essere recapitati a gravità nell'alveo della lama Valenzano, proteggendo il tessuto urbano della città di Bari sito immediatamente a valle. Nel modello in esame è stato implementato anche il canale scolmatore presente nel lotto 2 al fine di verificare come l'immissione del suddetto canale in Lama Valenzano, si ripercuota sull'opera di attraversamento oggetto del presente lotto.

7.2 Condizioni al contorno e definizione delle portate

Le simulazioni numeriche del modello bidimensionale sono state condotte in condizioni di moto vario, immettendo le onde di piena in ingresso dalle sezioni di monte dei due corsi d'acqua.

La condizione al contorno è impostata nella sezione di valle a ridosso della linea di costa. In favore di sicurezza, non avendo a disposizione una serie storica di misure di marea, è stata imposta come condizione al contorno di valle un valore pari a 1 m s.m.m.

7.3 Portata di progetto

Per le portate di progetto utilizzate per la valutazione della compatibilità idraulica delle opere che interagiscono con il corso idrico ed impiegata nelle simulazioni idrauliche, sono state considerate, a favore di sicurezza quelle con tempo di ritorno di 300 anni e sono le seguenti:

- **Lama Valenzano TR300: 174.23 m³/s**
- **Lama San Marco TR300: 27.54 m³/s**

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	48 DI 114

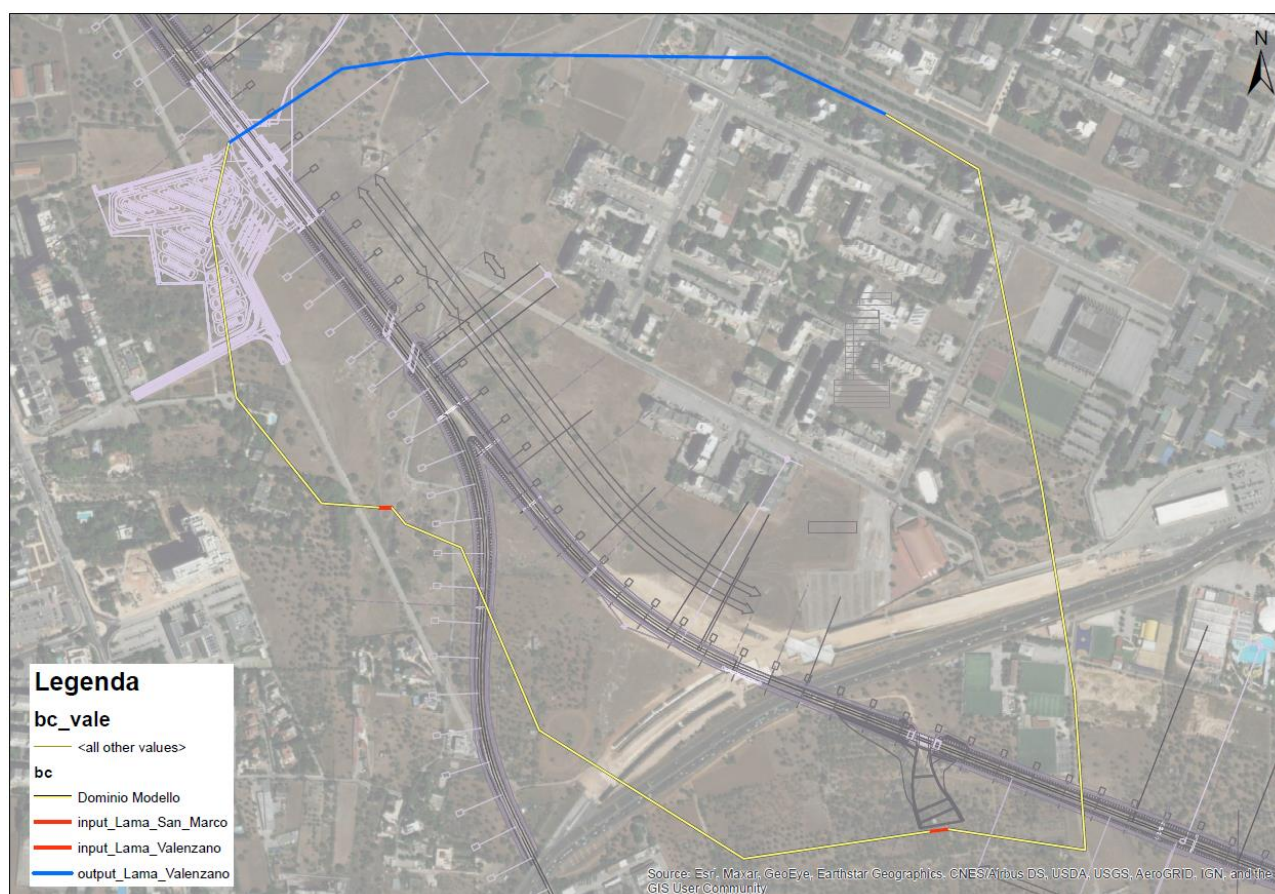


Figura 14 - Dominio di Calcolo

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	49 DI 114

7.4 Risultati delle Simulazioni Idrauliche

7.4.1 Simulazioni Ante Operam

In Figura 15 sono riportati l'inviluppo degli allagamenti, i massimi livelli idrici assieme alle direzioni principali della corrente e degli allagamenti secondari.

Prendendo in considerazione la lama Valenzano, il deflusso della portata di progetto si mantiene all'interno della sua sezione naturale. A valle dell'area su cui sorgerà l'attraversamento, si nota come parte dei deflussi provenienti dall'area di Lama san Marco tendano a riversarsi all'interno della lama Valenzano.

Situazione più complessa la si ritrova in corrispondenza della lama san Marco dove, a ridosso del rilevato della strada tangenziale il normale deflusso viene interrotto, poco a monte dell'ostacolo il livello idrico si attesta a 24 m s.m.m. generando un rigurgito verso monte. A valle della strada statale, si individuano allagamenti piuttosto diffusi, chesi propagano verso valle seguono la pendenza media del terreno, o si incanalandosi nelle incisioni artificiali della superficie. Via La Pira Giorgio, Via Giustina Rocca e Via Appulo Guglielmo diventano delle vie preferenziali di scolo per le acque provenienti dalla Lama San Marco, il flusso si dirige verso la Lama Valenzano scaricando la portata in essa.

La simulazione idraulica bidimensionale dello stato di fatto ha messo in luce le potenziali importanti criticità dovute alla mancanza del tratto canalizzato terminale dell'alveo della Lama San Marco.

Risulta quindi evidente la necessità di intervenire con adeguate opere di sistemazione idraulica in modo tale da convogliare verso mare le acque del corso d'acqua che, nello stato attuale, possono generare degli allagamenti diffusi a valle della strada tangenziale (SS16) generando potenziali rischi per l'incolumità pubblica.

Gli interventi di regimazione dovranno inserirsi adeguatamente nel tessuto urbano e territoriale circostante e tener conto delle interferenze con le opere ferroviarie e stradali previste in sede di progetto.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

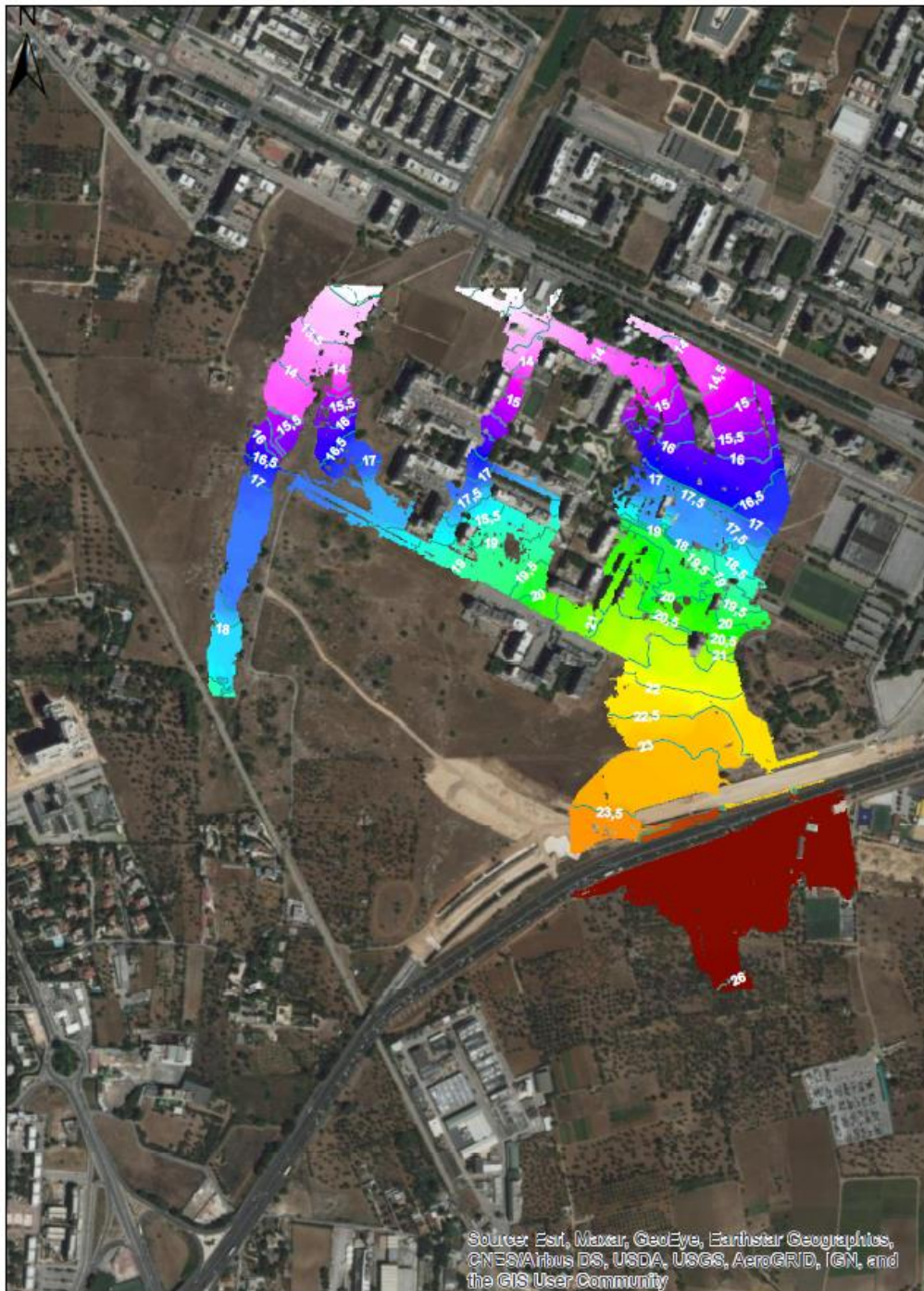
TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	50 DI 114



Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 15 - Modellazione Bidimensionale Ante Opera Lama Valenzano - Lama San Marco

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	51 DI 114

7.4.2 Simulazione Post Operam

Sulla base della sistemazione idraulica di progetto precedentemente esposta è stata eseguita la simulazione numerica Post Operam. In Figura 16 sono riportate l'estensione dei massimi allagamenti e le linee di massimo livello idrico ottenute per le simulazioni Post Operam sulla base della condizione iniziale imposta con le onde di piena con tempo di ritorno di 300 anni.

Per quanto riguarda Lama Valenzano, a monte dell'attraversamento ferroviario di progetto. In questa porzione di corso d'acqua, il flusso si mantiene pressoché incanalato all'interno dell'alveo naturale della lama, mentre subito a valle si evidenzia un innalzamento del tirante idrico rispetto all'ante opera, probabilmente dovuto all'immissione di lama san marco in lama valenzano. Questo genera nel modello elaborato, una piccola fuoriuscita dall'alveo sulla sinistra idraulica, poco dopo l'attraversamento di lama Valenzano. I tiranti idraulici si ristabilizzano poco più a valle.

Mentre in corrispondenza della Lama San Marco si evidenzia come l'acqua, incanalata all'interno dell'opera proposta, tenda ad accumularsi all'interno del canale scolmatore che immette in Lama Valenzano. Si evidenziano due fuoriuscite dal canale scolmatore, una immediatamente a valle dell'attraversamento della SS16 in destra idraulica, ed un altro poco prima dell'immissione

Del canale scolmatore in lama Valenzano.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	52 DI 114

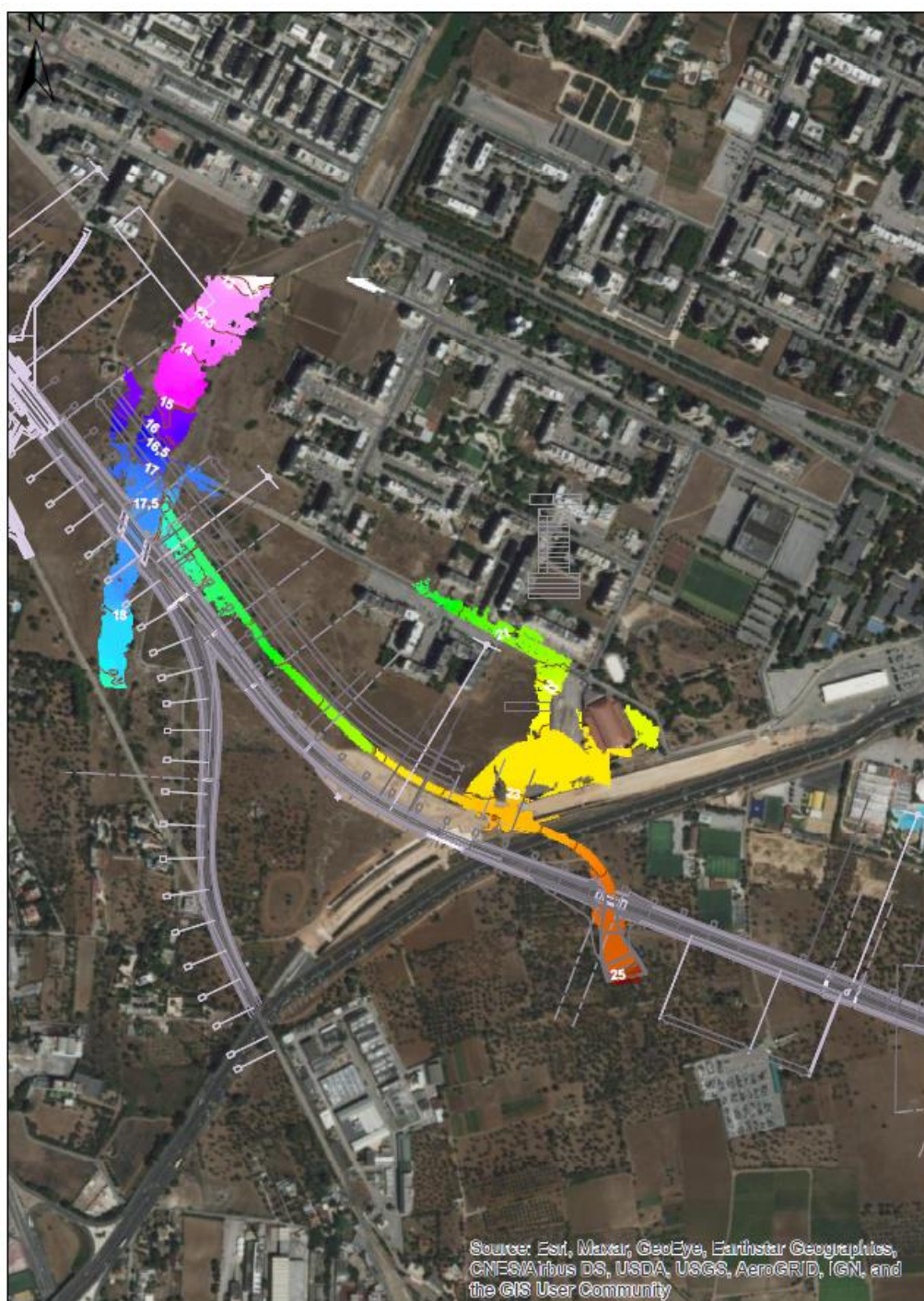


Figura 16 . Modellazione Bidimensionale Post Opera Lama Valenzano - Lama San Marco

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	53 DI 114

7.5 Sistemazione idraulica lama Valenzano

La sistemazione idraulica della Lama Valenzano in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario prevede la disposizione di protezioni spondali in materassi tipo reno e gabbioni secondo quanto visibile nell'elaborato IA3S01EZZPZVI010Z001B e riassunto nella Figura seguente

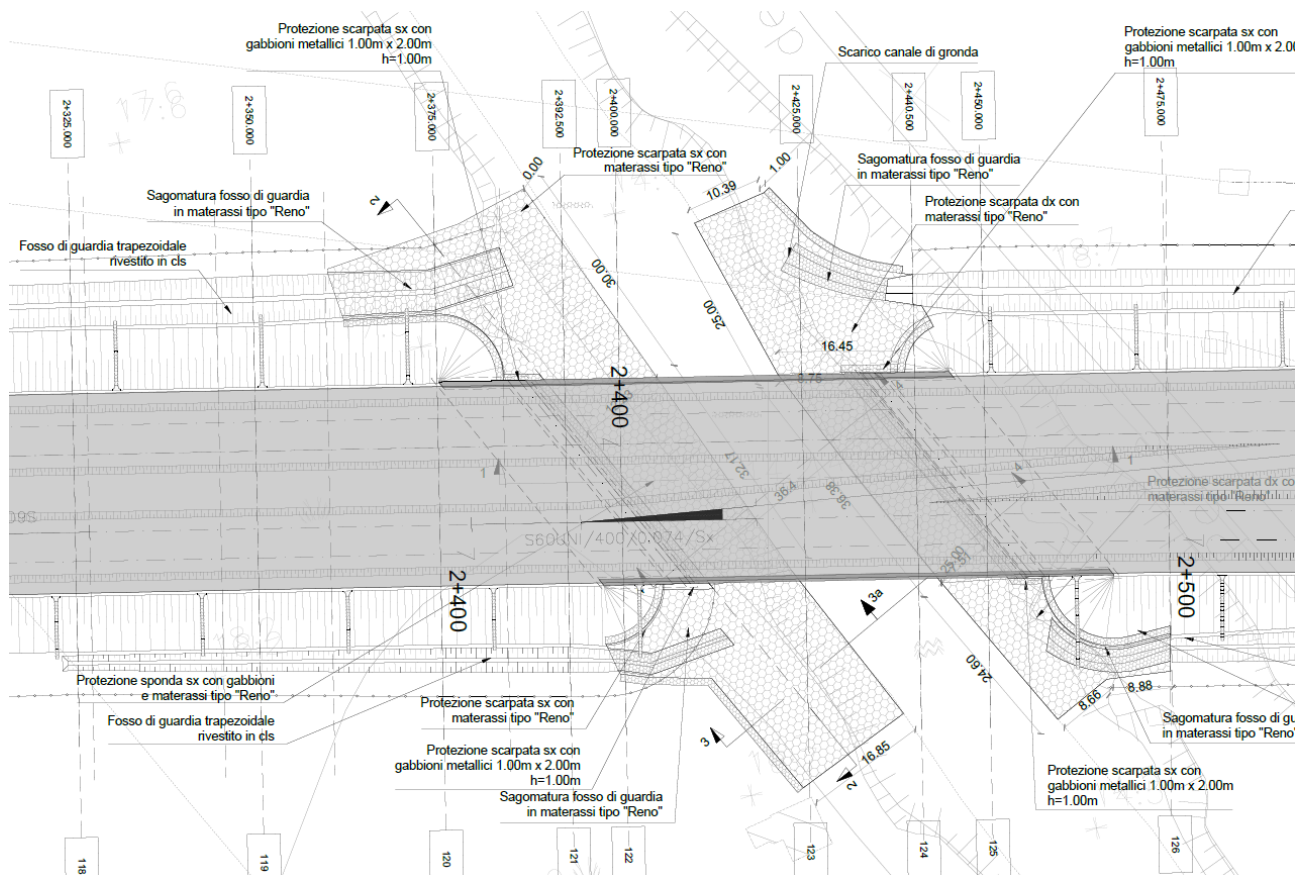


Figura 17 - Sistemazione idraulica della Lama Valenzano

I materassi sono disposti lungo le sponde naturali del corso d'acqua e sono assicurati sulla testa della scarpata da una doppia linea di gabbioni. Al piede della sponda, all'interno dell'alveo del corso d'acqua, è prevista un'ulteriore fila di gabbioni per l'ancoraggio al fondo alveo. La disposizione è descritta in Figura seguente.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

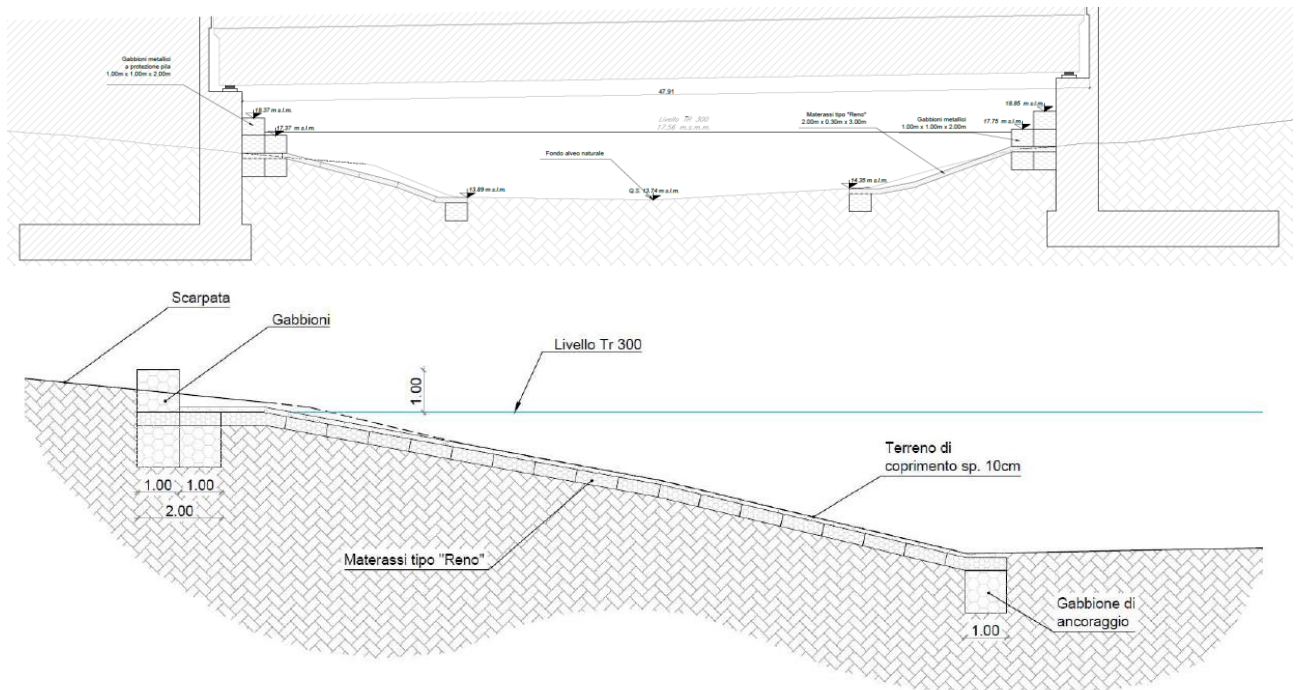
TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	54 DI 114



Lo scarico dei fossi di guardia disposti al piede del rilevato ferroviario avviene tramite un letto di materassi tipo reno che si innesta nella protezione spondale. I materassi tipo reno sono sagomati con la stessa forma del fosso di guardia in arrivo e si innestano nelle sponde dell'alveo con una leggera curva a favore di corrente. I materassi consentono la dispersione per infiltrazione delle portate derivanti da eventi meteorici di modesta entità e garantiscono un'adeguata protezione dai fenomeni erosivi che si possono manifestare nei punti di recapito localizzato delle portate idrologiche.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	55 DI 114

7.6 Verifica del Franco di Progetto Lama Valenzano

La verifica del franco di progetto è eseguita sulla base delle portate di progetto applicando le prescrizioni tecniche ferroviarie. Nei confronti della massima piena, secondo il manuale di progettazione Italferr, il franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena deve essere pari a 0.5 m e comunque non inferiore ad 1 m sul livello idrico. Nella circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, nella quale sono contenute le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, si prescrive che il franco minimo sul livello idrico per una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni sia pari a 1.50-2.00 m.

La tabella seguente riassume i dati della verifica fatta nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento in progetto

Lama Valenzano						
	portata	livello	carico totale	intradosso attraversamento	franco rispetto al carico totale	franco rispetto al livello
	m ³ /s	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m
tr300	174,23	17,56	17,85	19,89	2,04	2,33

La verifica del livello idrico e del carico idraulico totale in relazione all'intradosso dell'attraversamento su Lama Valenzano risulta verificato in base alle prescrizioni di ITALFERR e delle NTC 2008.

7.7 Verifica all'erosione localizzata alla base delle spalle dell'attraversamento sulla Lama Valenzano

Nel calcolo dell'erosione localizzata alla base delle spalle dell'attraversamento sulla Lama Valenzano si è tenuto conto dell'equazione semi-empirica ricavata da Fröelich esplicitata nel paragrafo 6.4 della presente relazione.

Assumendo i parametri idraulici provenienti dalla simulazione monodimensionale, si svolgono i calcoli per le spalle dell'impalcato di progetto posizionate nell'alveo del corso d'acqua.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	56 DI 114

Lama Valenzano		
Pila in alveo		
Lunghezza spalla	m	36
Intersasse spalla	m	48
Portata	m ³ /s	174.23
Tirante Idraulico	m	3.79
Velocità media in alveo	m/s	3.83
Froude		0.63
Risultati		
Fröelich	m	8.71

Nel progetto si prevede di posizionare il plinto di fondazione a soli 1.5 m di profondità dall'alveo. Di conseguenza lo scavo che si verrebbe a formare in condizione di massima piena non dovrebbe comportare la sua esposizione; a favore di sicurezza la verifica allo scalzamento viene ripetuta considerando anche le dimensioni del plinto stesso.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	57 DI 114

7.8 Verifica dell'erosione dell'alveo

Per quanto riguarda la verifica dell'erosione dell'alveo si confermano i risultati presenti nel progetto in cui si riporta che la resistenza al trascinamento delle protezioni dell'alveo è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i materassi Reno non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

Tensioni agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico $RH (m)$ e alla pendenza del fondo if :

$$\tau_b = \gamma_w R_H i_f$$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore $RH (m)$ nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\begin{aligned} \text{Lama Valenzano} \quad \text{Tensione al Fondo Tr300} \quad \tau_b = \gamma_w R_H i_f = \\ \tau_b = 1000 * 3.79 * 0.06\% = \mathbf{2.27 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

Tensioni resistenti e loro verifica

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento t_c il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi.

Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

- $t_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d$

dove: t_c tensione massima di trascinamento (kg/m^2)

- C^* coefficiente di Shields, dimensionale
- γ_m peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	58 DI 114

- d diametro del masso. Con riferimento ad una protezione tipo materasso Reno da 30 cm, in modo cautelativo, si fa riferimento al singolo masso di diametro pari a 30 cm, immaginando che il comportamento del materasso sia assimilabile a quello di un unico masso.

Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto vale circa 0.047. Inoltre, per i massi di peso specifico circa pari a 2600 Kg/m³, la formula citata diventa:

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.30 = 22.56 \text{ kg/m}^2$$

per cui si ha:

			Esito Verifica	Coefficiente di sicurezza
Verifica fondo alveo	$\tau_b \leq \tau_c$	2.27 < 22.56 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c =$ 9.94

La protezione in materassi tipo reno risulta quindi verificata per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

7.9 Sistemazione idraulica Lama San Marco

La sistemazione idraulica in corrispondenza dell'intersezione tra il percorso della Lama San Marco e il tracciato ferroviario prevede la realizzazione del cavalcaferrovia del nuovo percorso della tangenziale di Bari. Per evitare la sovrapposizione della struttura dell'attraversamento della lama con la galleria artificiale, si è deciso di posizionare l'attraversamento alla progressiva 3+400 km, risagomando adeguatamente l'alveo a partire da circa 120 m a monte.

Nella configurazione di progetto è previsto l'inserimento dell'attraversamento ferroviario sulla Lama San Marco da realizzarsi mediante un attraversamento di luce pari a 28.60 m. Il piano del ferro è posto a quota 29.60 m s.m.m.

La sistemazione idraulica della Lama San Marco prevede un leggero spostamento dell'alveo per l'imbocco nell'attraversamento di progetto con la disposizione di protezioni spondali in materassi tipo reno, gabbioni ed arginatura in terra.

L'opera consiste in un convogliamento della lama San Marco mediante un opportuno imbocco idraulico realizzato planimetricamente mediante un restringimento di sezione ed altimetricamente mediante una rampa rivestita con massi affioranti annegati nel cls.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	59 DI 114

La pendenza della rampa è di circa il 10.8% e la presenza di massi affioranti consente una adeguata dissipazione energetica della portata di progetto evitando la formazione di fronti d'onda e risalti idraulici.

La sistemazione del fondo mediante massi affioranti continua anche a valle della rampa fino all'imbocco dell'attraversamento ferroviario, ove la sistemazione prevede la posa di materassi tipo Reno. Questo tipo di protezione assicura una particolare resistenza all'azione erosiva della corrente, garantisce una superficie idraulicamente molto scabra, e allo stesso tempo il rivestimento possiede un ottimo livello di permeabilità all'acqua, nonché una ottima durabilità.

Il tratto di sistemazione a monte della linea ferroviaria prevede l'inserimento di una serie di taglino in c.a. di contenimento dei massi e di legame dell'intera sistemazione idraulica.

La sezione della canalizzazione della lama San Marco all'interno dell'attraversamento ferroviario è di tipo trapezia con larghezza al fondo di 14.90 m e in testa di 21.30 m con una pendenza delle scarpate 2/3.

La canalizzazione planimetrica all'interno dell'attraversamento ferroviario è tale da evitare qualsiasi interazione con le spalle della struttura ferroviaria.

Lo scarico dei fossi di guardia disposti al piede del rilevato ferroviario avviene nel letto di materassi tipo reno disposti sul fondo alveo del corso d'acqua. I materassi consentono la dispersione per infiltrazione delle portate derivanti da eventi meteorici di modesta entità e garantiscono un'adeguata protezione dai fenomeni erosivi che si possono manifestare nei punti di recapito localizzato delle portate idrologiche.

I materassi sono disposti lungo le sponde naturali del corso d'acqua e sono assicurati sulla testa della scarpata da una doppia linea di gabbioni.

A valle dell'attraversamento ferroviario è prevista la nuova canalizzazione della lama San Marco. L'opera idraulica di deviazione della Lama San Marco si estende dalla sezione immediatamente a valle dell'attraversamento ferroviario di progetto, fino alla Lama Valenzano, per una lunghezza di circa 965 m. Il tracciato si sviluppa altimetricamente su due livellette di pendenza pari a 0.48%, intervallate da un salto di fondo di 1.05 m. Il tratto del canale più a monte (dalla progressiva 0 e 300 m) e quello più a valle (850-1097 m) sono di tipo arginato, il tratto intermedio è di tipo incassato. In questa parte centrale è prevista un'opera di attraversamento della Strada Statale 16 (Figura 26).

La sezione trasversale del canale artificiale ha forma trapezoidale (Figura 27), con sponde di pendenza 2/3, altezza minima pari a 2 m e base variabile tra il 14 m (sezione più a monte) a 8 m, tratto a valle del raccordo planimetrico.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

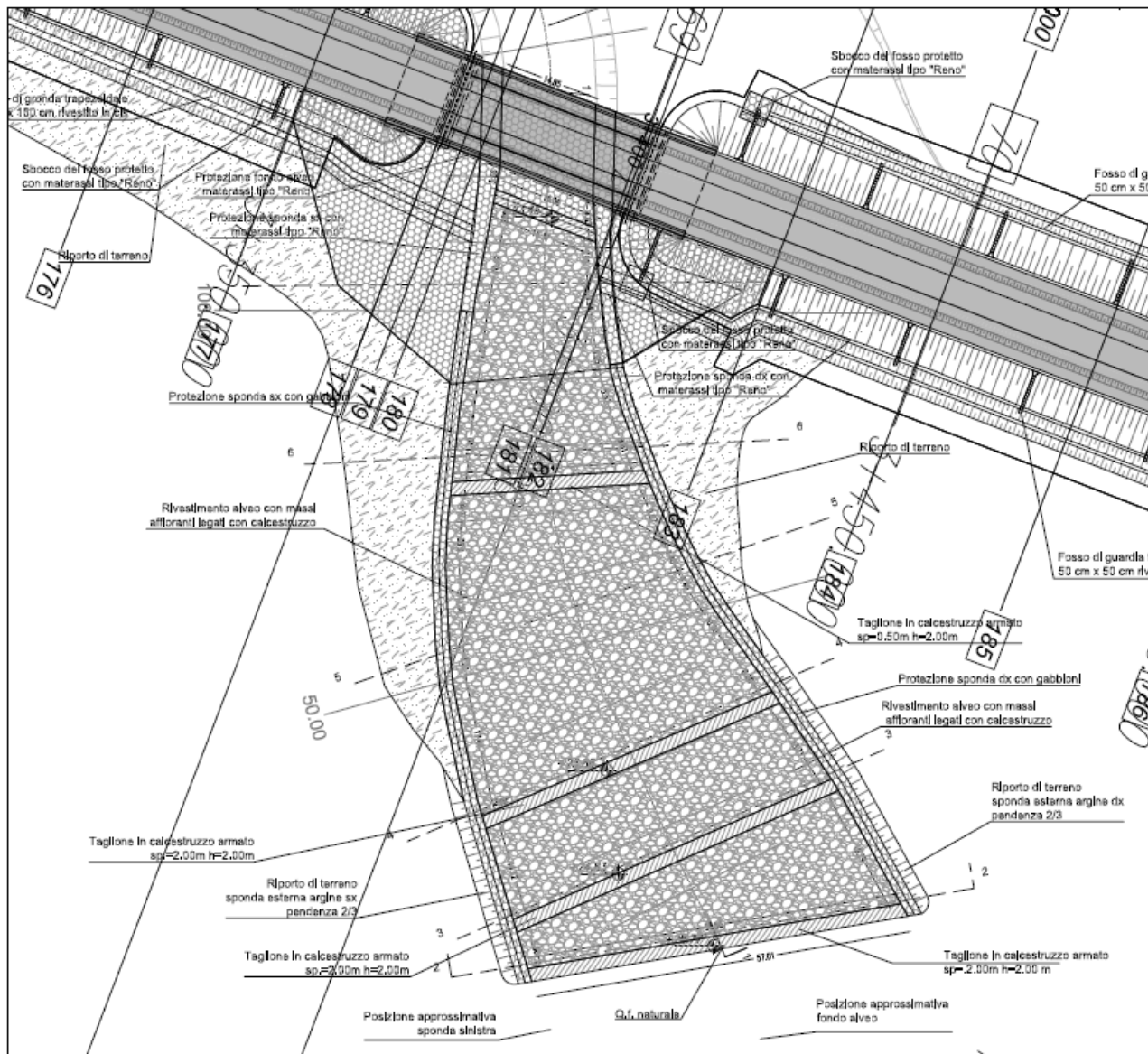
PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	60 DI 114

La sezione sarà internamente rivestita da materassi di tipo "Reno" dello spessore di 30 cm. Questo tipo di protezione assicura una particolare resistenza all'azione erosiva della corrente, garantisce una superficie idraulicamente poco scabra, e allo stesso tempo il rivestimento possiede un ottimo livello di permeabilità all'acqua, nonché una buona durabilità. Si precisa che la suddetta opera di canalizzazione verso la lama Valenzano non rientra nel presente lotto.



APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	61 DI 114

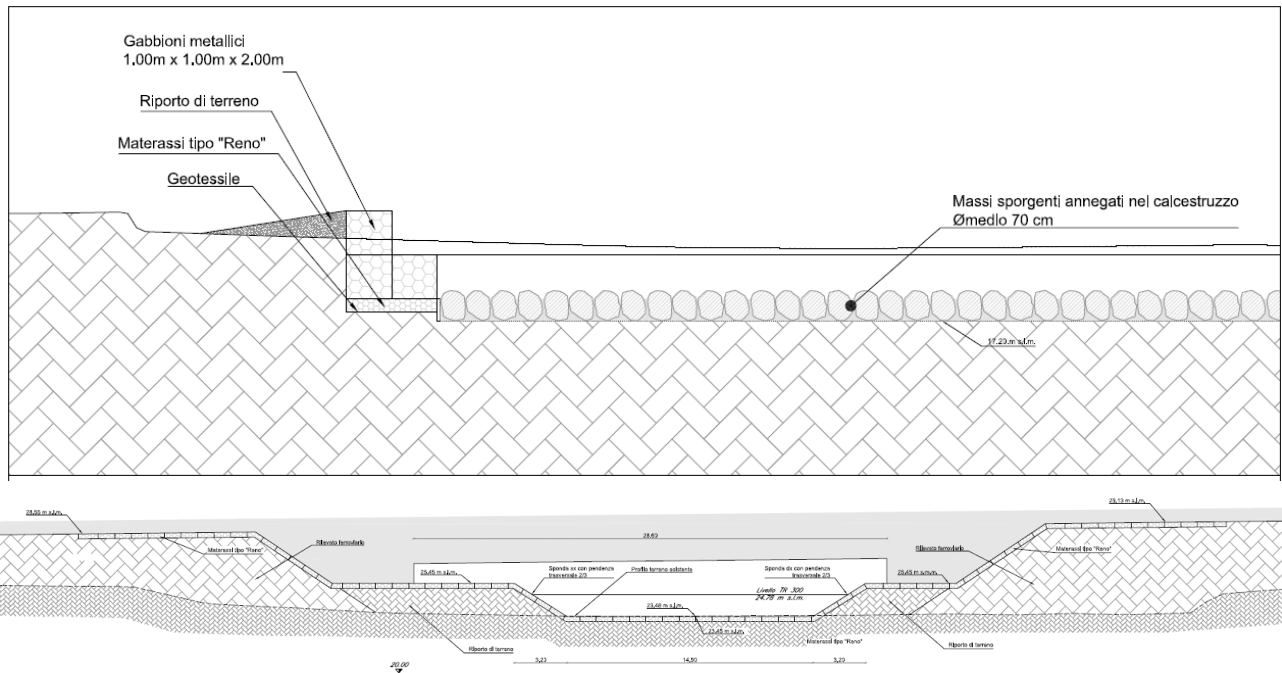


Figura 18 - Sistemazione idraulica Lama san Marco

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandatario: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 62 DI 114

7.10 Verifica franco di progetto

La verifica del franco di progetto è eseguita sulla base delle portate di progetto applicando le prescrizioni tecniche ferroviarie.

La tabella seguente riassume i dati della verifica fatta nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento in progetto:

Lama San Marco						
	portata	livello	carico totale	intradosso attraversamento	franco rispetto al carico totale	franco rispetto al livello
	m ³ /s	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m
tr300	27.54	24,78	24,83	26,8	1,97	2,02

La verifica del livello idrico e del carico idraulico totale in relazione all'intradosso dell'attraversamento su Lama San Marco risulta verificato in base alle prescrizioni di ITALFERR e delle NTC 2008.

7.11 Verifica dell'erosione dell'alveo

Per quanto riguarda la verifica dell'erosione dell'alveo si confermano i risultati presenti nel progetto in cui si riporta che la resistenza al trascinarsi delle protezioni dell'alveo è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i materassi Reno e per Massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

Tensioni agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico RH (m) e alla pendenza del fondo if :

$$\tau_b = \gamma_w R_H if$$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore RH (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	63 DI 114

Lama San Marco	Tensione al Fondo Tr300 – Materassi Reno	$\tau_b = \gamma_w R_{Hf} =$
	$\tau_b = 1000 \cdot 1.70 \cdot 0.01\% = \mathbf{0.17 \text{ kg/m}^2}$	
Lama San Marco	Tensione al Fondo Tr300 – Massi cementati	$\tau_b = \gamma_w R_{Hf} =$
	$\tau_b = 1000 \cdot 1.70 \cdot 0.01\% = \mathbf{0.17 \text{ kg/m}^2}$	

Il raggio idraulico considerato per la verifica della protezione del fondo alveo, con l'utilizzo dei massi cementati, a favore di sicurezza è pari al raggio idraulico massimo.

Tensioni resistenti e loro verifica

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento t_c il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi.

Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

- $t_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d$

dove: t_c tensione massima di trascinamento (kg/m²)

- C^* coefficiente di Shields, dimensionale
- γ_m peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m³)
- d diametro del masso. Con riferimento ad una protezione tipo materasso Reno da 30 cm, in modo cautelativo, si fa riferimento al singolo masso di diametro pari a 30 cm, immaginando che il comportamento del materasso sia assimilabile a quello di un unico masso, mentre per i Massi cementati si fa riferimento al singolo masso di diametro pari a 60 cm.

Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto vale circa 0.047. Inoltre, per i massi di peso specifico circa pari a 2600 Kg/m³, la formula citata diventa:

Mentre per i massi di dimensione media $D=0.30$ m (Materassi Reno):

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.30 = 22.56 \text{ kg/m}^2$$

Mentre per i massi di dimensione media $D=0.60$ m (Massi cementati):

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.60 = 45.12 \text{ kg/m}^2$$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 64 DI 114

per cui si ha:

			Esito Verifica	Coefficiente di sicurezza
Verifica fondo alveo	$\tau_b \leq \tau_c$	0.17 < 22.56 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c =$ 132.71
Verifica fondo alveo	$\tau_b \leq \tau_c$	0.17 < 45.12 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c =$ 265.41

La protezione in materassi tipo reno e massi cementati risulta quindi verificata per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

7.12 Dimensionamento e verifica della sistemazione idraulica

Di seguito si riportano i dati relativi al dimensionamento ed alle verifiche delle sistemazioni a gabbioni previste in Lama San Marco. Le verifiche sono state eseguite considerando la sezione di lama San Marco considerata con il maggiore grado di instabilità. Per la verifica si è utilizzato il software GDW della Geostru.

DATI PROGETTO:

Titolo progetto: Sistemazione Lama San Marco

Descrizione del progetto Sistemazione Lama San Marco

Committente RFI

Schema sistemazione Lama san Marco

APPALTATORE:
**D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
 GENERALI s.r.l.**

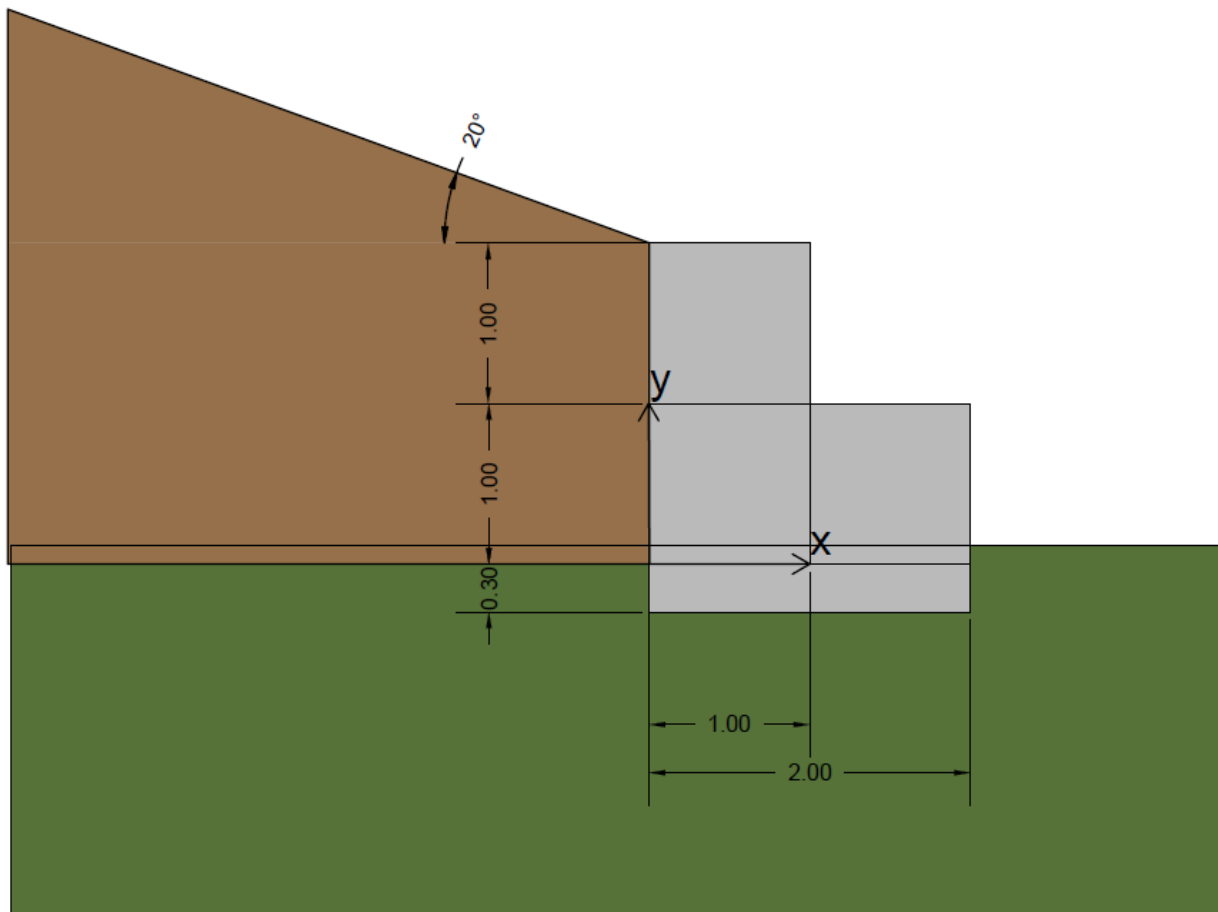
RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:
 Mandataria: Mandante:
RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

**TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
 BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE**

PROGETTO ESECUTIVO:
 IDRAULICA
Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	65 DI 114



DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1.00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

TIPI

Nome	B[m]	H[m]	L[m]	Peso[KN/m ³]
1	1.00	1.00	2.00	26.00
2	1.00	1.00	2.00	26.00

STRATI:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI												
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl													
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA3S</td> <td>01</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 0002</td> <td>F</td> <td>67 DI 114</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	67 DI 114
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	67 DI 114								

valle					
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.553 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.565 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.012 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	78.00	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	19.47	4.14	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta Sismica monte X	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.553 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.565 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.012 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	70.20	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	19.47	4.14	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI												
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl													
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA3S</td> <td>01</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 0002</td> <td>F</td> <td>68 DI 114</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	68 DI 114
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	68 DI 114								

Spinta Sismica monte X	0.41	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.553 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.565 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.012 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	78.00	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	19.47	4.14	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta Sismica monte X	0.41	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.09	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	178.34	10.11	28.30	14.91	2660.55 Nq=26.09 Ng=35.19 Nc=38.64 sq=1.03 sc=1.03 sg=0.98 iq=0.84 ic=0.84	64.73

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	69 DI 114

2	181.42	12.98	28.48	19.47	ig=0.77 1242.87 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02 sc=1.02 sg=0.98 iq=0.8 ic=0.78 ig=0.71	66.78
3	164.52	13.52	27.11	19.88	1217.17 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02 sc=1.02 sg=0.98 iq=0.78 ic=0.77 ig=0.69	60.93
4	181.68	13.52	28.50	19.88	1235.39 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02 sc=1.02 sg=0.98 iq=0.79 ic=0.78 ig=0.7	66.95

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	17.65	1.90	41.10	44.89	2.61
2	13.98	1.46	18.61	36.52	2.62
3	12.17	1.36	19.98	33.30	2.91
4	13.44	1.43	18.45	36.93	2.62

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	70 DI 114

8. LAMA CUTIZZA 1 E LAMA CUTIZZA 2 – MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS).

I modelli numerici sono stati implementati sulla base delle sezioni idrauliche rilevate mediante battuta topografica estesa alle intere aree da indagare e del rilievo dei manufatti esistenti. Accanto a tali rilievi di tipo "tradizionale" è stato accostato un modello digitale del terreno (DTM) sufficientemente dettagliato, ottenuto da una scansione con sensore LIDAR eseguita nell'ottobre del 2021.

I valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati per la modellazione numerica dei corsi d'acqua in oggetto sono stati definiti sia sulla base dei sopralluoghi eseguiti, sia delle indicazioni disponibili in letteratura. I valori dei coefficienti sono stati scelti tenendo conto delle attuali condizioni di manutenzione in cui versano i corsi d'acqua e di un loro possibile peggioramento.

Nell'analisi idraulica eseguita sono stati confrontati i massimi livelli idrici e le planimetrie di allagamento ottenuti dalle simulazioni effettuate relativamente allo STATO ATTUALE (ante operam) ed a quello di PROGETTO (post operam).

Nel seguito si riportano le risultanze relative alla porzione di analisi a monte dell'attraversamento ferroviario di progetto.

8.1 Geometria dell'alveo

La variante di tracciato della linea ferroviaria Bari – Lecce, tra le stazioni di Bari Centrale e S. Giorgio – Torre a mare, intercetta la Lama Cutizza 1 e la Lama Cutizza rispettivamente alle progressive 6+180 km e 6+565 km.

La geometria utilizzata per implementare il modello numerico e per la definizione delle aree di potenziale allagamento per le diverse portate di progetto è stata ottenuta da un rilievo lidar eseguito nell'ottobre del 2021 in corrispondenza delle aree su cui sorgono le Cutizza 1 e 2. Di notevole interesse rispetto allo studio idraulico

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	71 DI 114

presentato in revA ricoprono due importanti modifiche di carattere topografico non opportunamente caratterizzate nel suddetto studio. Queste modifiche ricado in corrispondenza l'area su cui è stata realizzata la vasca di laminazione dal Comune di Bari, nella zona antistante la lottizzazione del Comparto Sant'Anna Maglie 21 E 22 nel quartiere Japigia, località Sant'Anna, immediatamente a monte dell'attraversamento di Lama Cutizza 1, ed ha una profondità di circa 5m e dimensioni di circa 334x194m.

L'area analizzata nel presente studio si estende per una superficie di circa 50 ha.

8.2 Condizioni al contorno e definizione delle portate

Le simulazioni numeriche del modello bidimensionale sono state condotte in condizioni di moto vario, immettendo le onde di piena in ingresso dalle sezioni di monte dei due corsi d'acqua.

La condizione al contorno è impostata nella sezione di valle a ridosso della linea di costa. In favore di sicurezza, non avendo a disposizione una serie storica di misure di marea, è stata imposta come condizione al contorno di valle un valore pari a 1 m s.m.m.

8.3 Portate di progetto

Per le portate di progetto utilizzate per la valutazione della compatibilità idraulica delle opere che interagiscono con il corso idrico ed impiegata nelle simulazioni idrauliche, sono state considerate, a favore di sicurezza quelle con tempo di ritorno di 300 anni e sono le seguenti:

- **Lama Cutizza 1 Tr300 : 23.65 m³/s**
- **Lama Cutizza 2 Tr300 : 43.24 m³/s**

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 73 DI 114

invece si incanala all'interno della lama. In questo ramo è presente un restringimento della sezione che causa notevoli incrementi della velocità della corrente idrica.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 74 DI 114

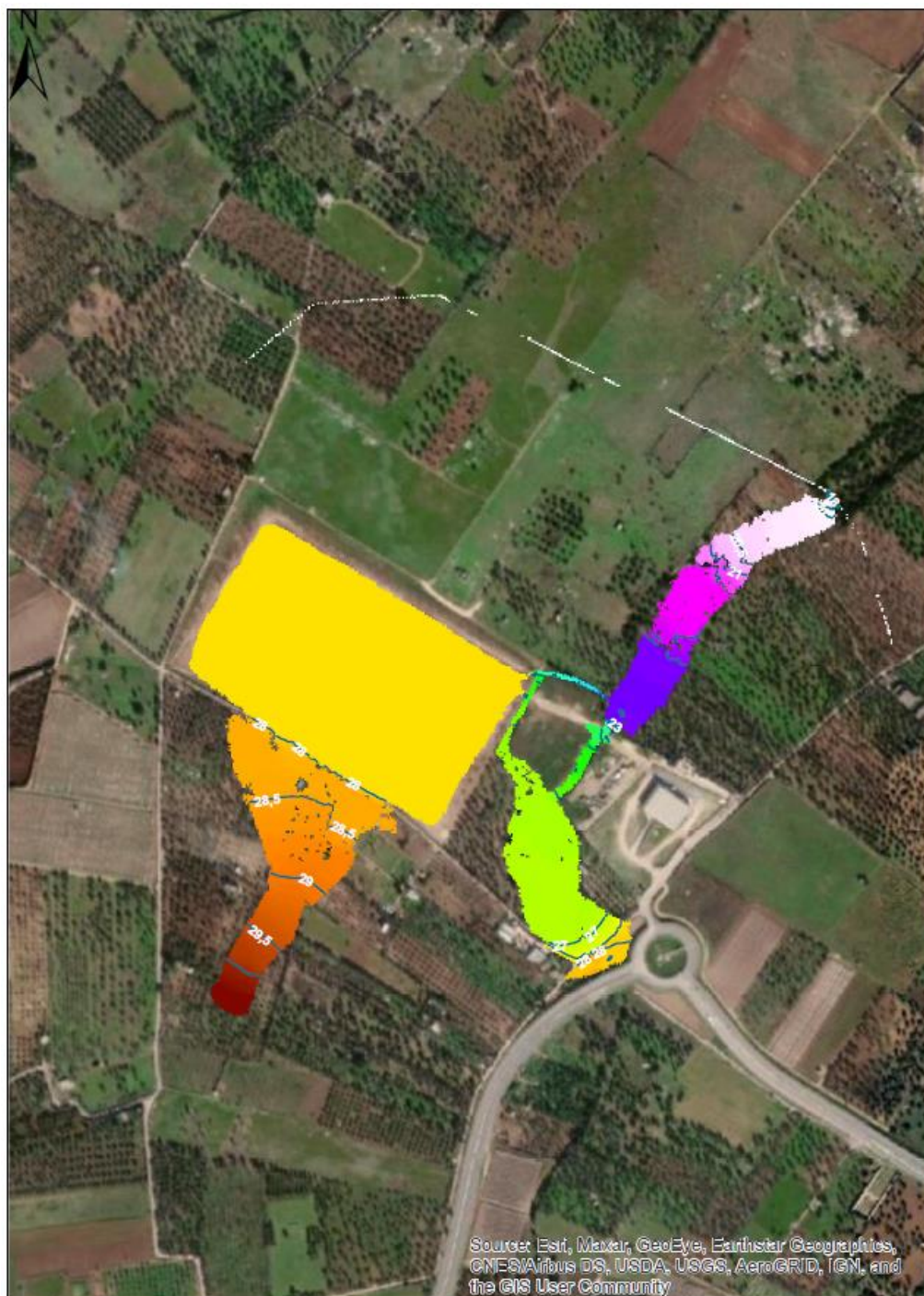


Figura 19 - Modellazione Bidimensionale Ante Opera Lama Cutizza 1 e Lama Cutizza 2

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 75 DI 114

8.4.2 Simulazione Post Operam

Nella simulazione posto operam, per Lama cutizza 1 la situazione rimane pressoché identica all'ante, confermando che la vasca di laminazione è in grado di contenere tutto il contributo idrologico/idraulico, quindi a valle della vasca non arriva nessun contributo idraulico. Mentre per quanto concerne Lama Cutizza 2, la modellazione è stata eseguita su un modello geometrico che ha preso in considerazione il rilievo Lidar con risoluzione geometrica di 1 m, al quale è stata applicata una escavazione di 1 m per la savanella e di 0.5 m per le golene per quanto riguarda la sistemazione su lama cutizza 2. Inoltre non avendo a disposizione l'ubicazione corretta del troppo pieno della vasca di laminazione realizzata dal Comune di Bari lungo lama Cutizza 1, è stato ipotizzato un canale di troppo pieno di 4 m larghezza ed 1.5 m di profondità in grado di trasportare dalla vasca di laminazione una portata massima di circa 4 m³/s verso lama Cutizza 2. Si nota come in corrispondenza del salto idraulico presente nel progetto ci sia un incremento di velocità e conseguente incanalamento all'interno dell'opera prevista.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	76 DI 114

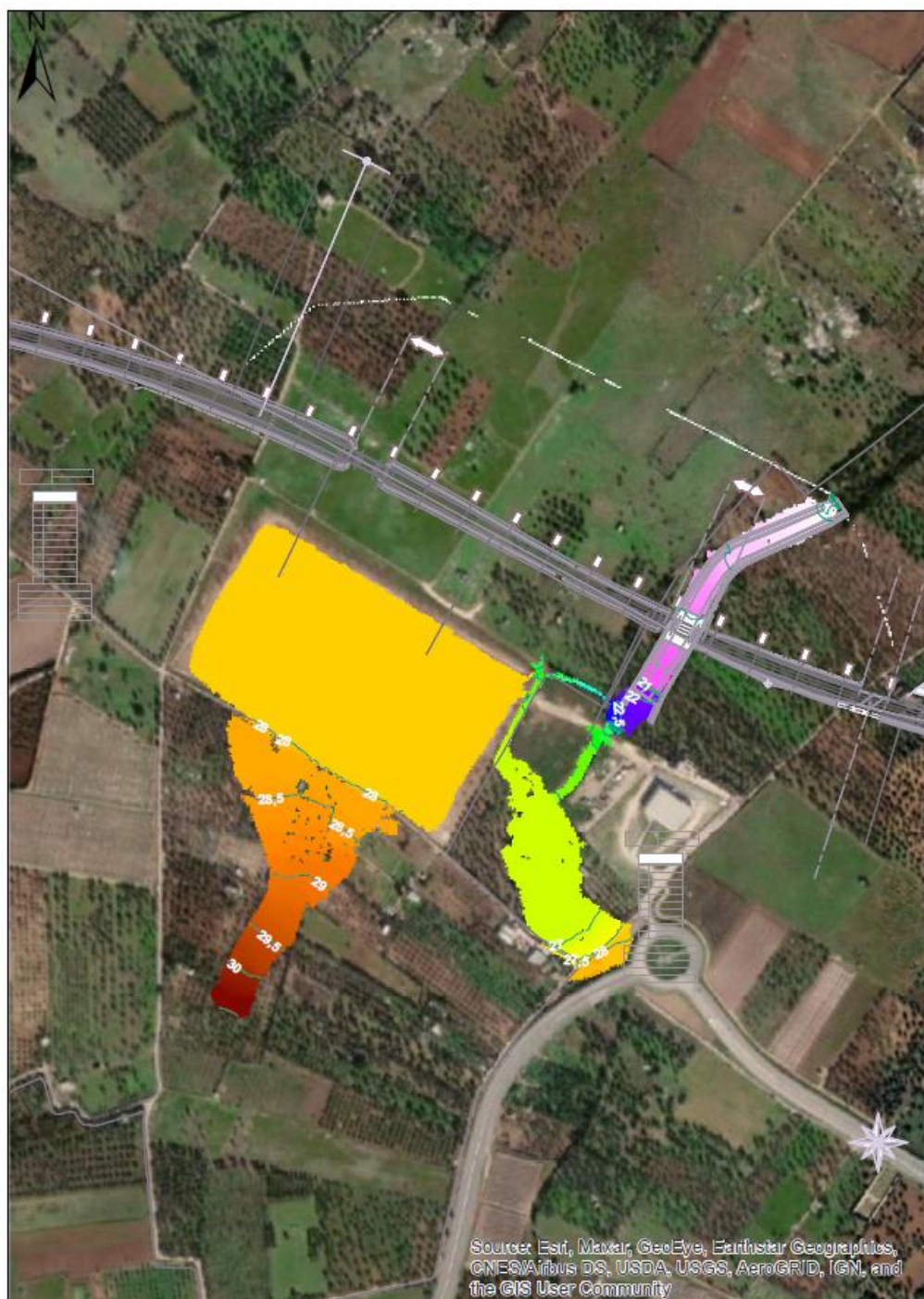
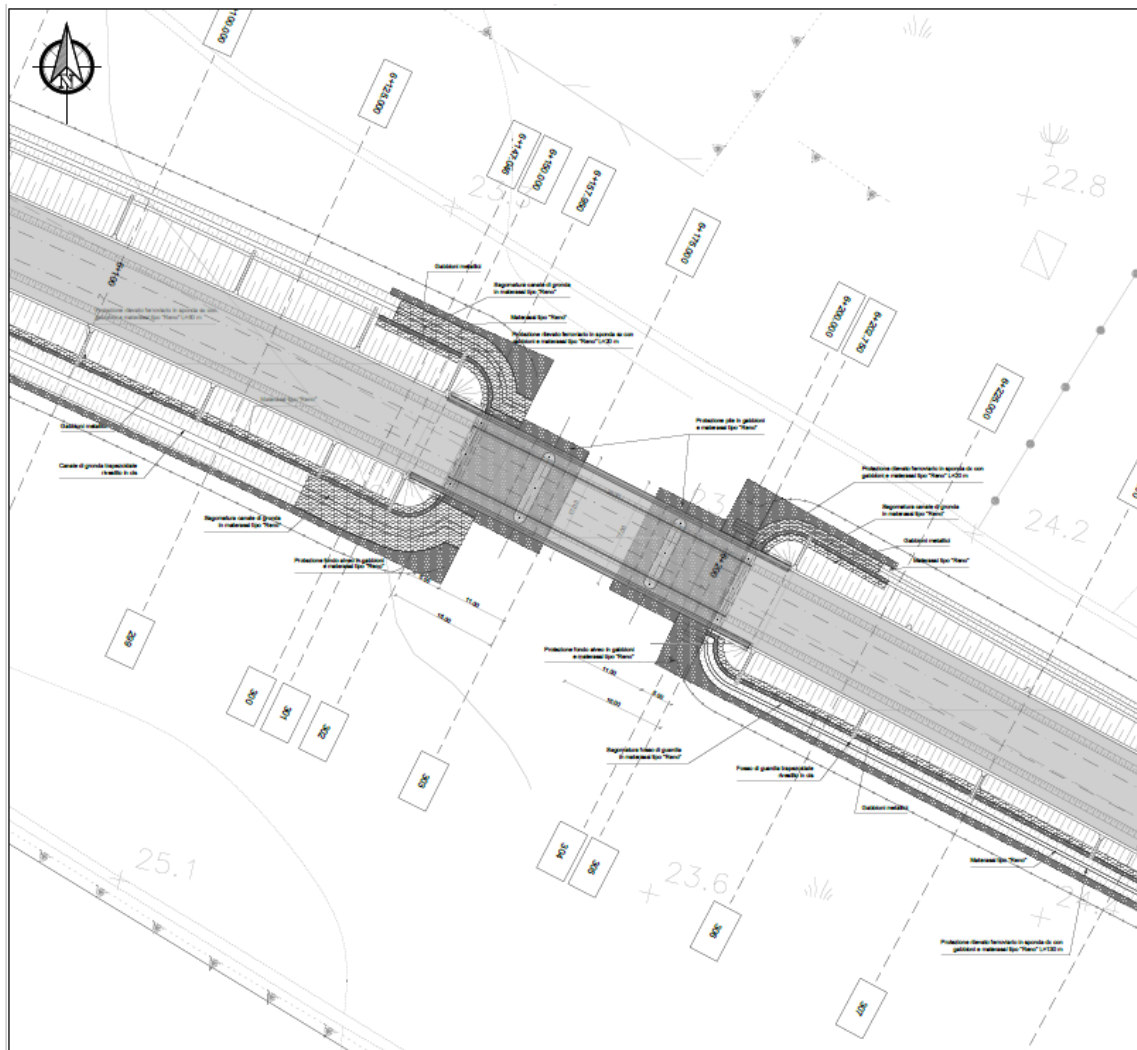


Figura 20 - Modellazione Bidimensionale Post Opera Lama Cutizza 1 e Lama Cutizza 2

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 77 DI 114

8.5 Sistemazione idraulica Lama Cutizza 1

La sistemazione idraulica della Lama Cutizza 1 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario prevede la disposizione di protezioni spondali in materassi tipo reno e gabbioni secondo quanto visibile nell'elaborato IA3S01EZZPZVI030Z001C e riassunto nella Figura seguente:



APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	78 DI 114

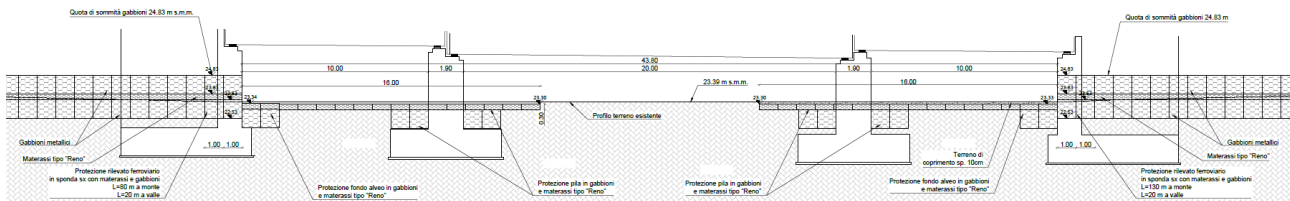


Figura 21 - Sistemazione idraulica Lama Cutizza 1

I materassi sono disposti sul fondo alveo del corso d'acqua a protezione delle spalle e delle pile dell'impalcato e sono assicurati al piede del rilevato ferroviario da una linea di gabbioni.

Lo scarico dei fossi di guardia disposti al piede del rilevato ferroviario avviene tramite un letto di materassi tipo reno che si innesta nella protezione idraulica dell'alveo. I materassi tipo reno sono sagomati con la stessa forma del fosso di guardia in arrivo e si innestano nelle protezioni dell'alveo con una leggera curva a favore di corrente. I materassi consentono la dispersione per infiltrazione delle portate derivanti da eventi meteorici di modesta entità e garantiscono un'adeguata protezione dai fenomeni erosivi che si possono manifestare nei punti di recapito localizzato delle portate idrologiche.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 79 DI 114

8.6 Sistemazione idraulica lama Cutizza 2

La sistemazione idraulica della Lama Cutizza 2 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario prevede la disposizione di protezioni spondali in materassi tipo reno e gabbioni secondo quanto visibile nell'elaborato IA3S01EZZPZVIO40Z001C e riassunto nella Figura seguente:

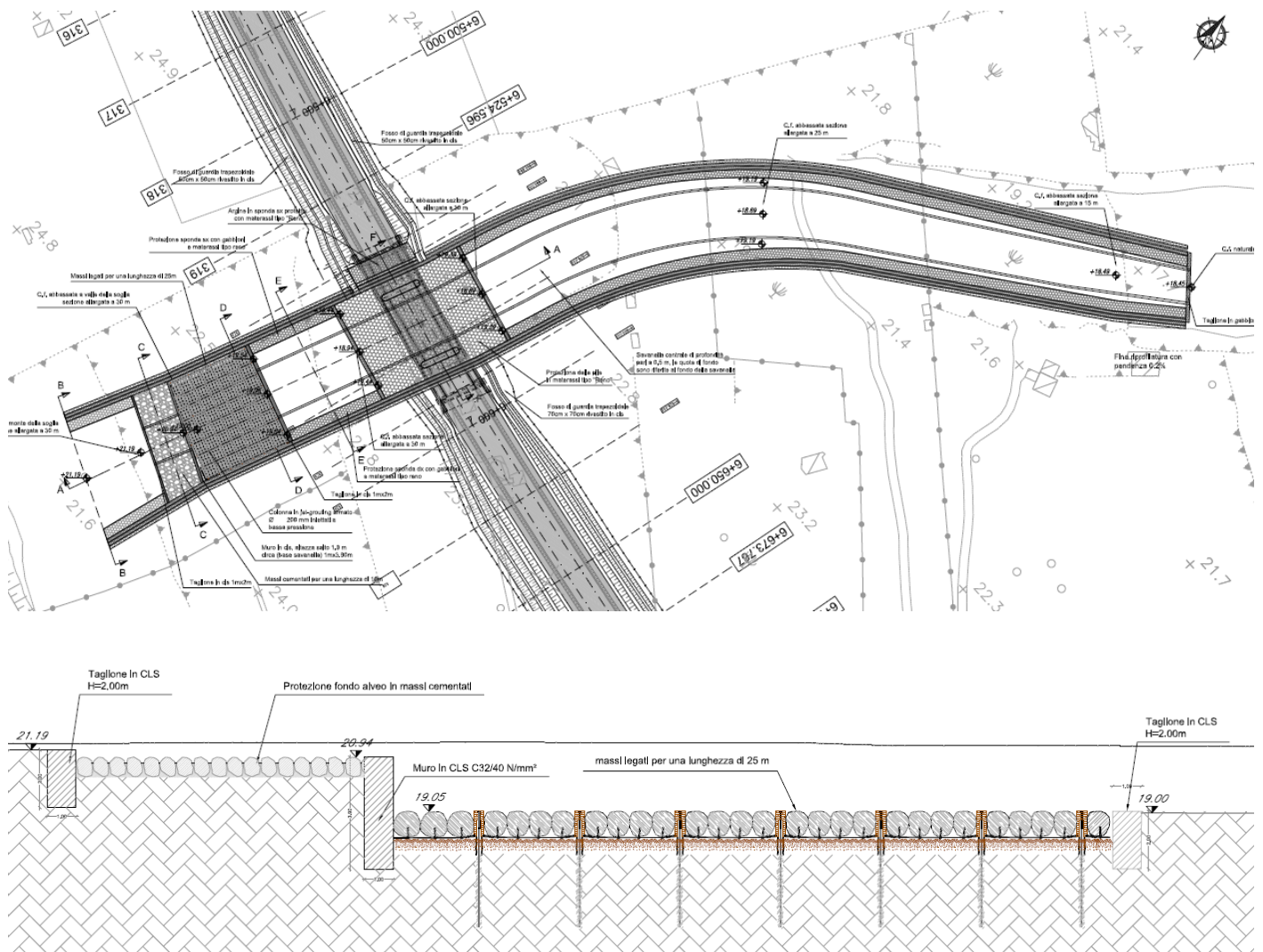


Figura 22 - Sistemazione idraulica Lama Cutizza 2

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 80 DI 114

Nell'ambito del progetto dell'attraversamento della Lama Cutizza 2, è previsto un risezionamento e abbassamento dell'alveo della lama circa 70 m a monte dell'attraversamento e per i duecento metri successivi allo stesso. In corrispondenza dell'inizio dell'intervento di abbassamento si prevede la realizzazione di un salto di fondo di 1.9 m per garantire la stabilità dell'alveo ed evitare fenomeni di erosione. A monte del salto va disposta una protezione del fondo costituita da massi cementati e a valle è prevista la posa di massi legati per la larghezza della sezione del corso d'acqua e per una lunghezza di 25 m.

A partire dal salto e per circa 220 m a valle dell'opera di progetto la nuova pendenza della lama sarà pari allo 0.2%, per raccordarsi correttamente al tratto a valle, nel quale va mantenuta la pendenza naturale. In tutto il tratto d'intervento, l'alveo va regolarizzato realizzando un fondo piano con una savanella centrale profonda di 0.50 m rispetto al resto dell'alveo regolarizzato e le sponde del corso d'acqua vanno protette con gabbioni e materassi tipo reno.

8.7 Verifica del Franco di Progetto

La verifica del franco di progetto è eseguita sulla base delle portate di progetto applicando le prescrizioni tecniche ferroviarie. Nei confronti della massima piena, secondo il manuale di progettazione Italferr, il franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena deve essere pari a 0.5 m e comunque non inferiore ad 1 m sul livello idrico. Nella circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, nella quale sono contenute le Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, si prescrive che il franco minimo sul livello idrico per una portata con tempo di ritorno pari a 300 anni sia pari a 1.50-2.00 m.

La tabella seguente riassume i dati della verifica fatta nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento in progetto.

Lama Cutizza 1						
	portata	livello	carico totale	intradosso attraversamento	franco rispetto al carico totale	franco rispetto al livello
	m ³ /s	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m
Tr300	23.65	0	0	25,8	25,8	25,8

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 81 DI 114

La verifica del livello idrico e del carico idraulico totale in relazione all'intradosso dell'attraversamento su Lama Cutizza 1 risulta verificato in base alle prescrizioni di ITALFERR e delle NTC 2008.

Lama Cutizza 2						
	portata	livello	carico totale	intradosso attraversamento	franco rispetto al carico totale	franco rispetto al livello
	m ³ /s	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m
Tr300	43.24	20,4	20,55	21,9	1,35	1,5

La verifica del livello idrico e del carico idraulico totale in relazione all'intradosso dell'attraversamento su Lama Cutizza 2 risulta verificato in base alle prescrizioni di ITALFERR e delle NTC 2008.

8.8 Verifica allo scalzamento delle pile dell'attraversamento sulla Lama Cutizza 2

Per quanto riguarda la verifica allo scalzamento delle pile dell'attraversamento sulla Lama Cutizza 2 si confermano i risultati presenti nel progetto definitivo in cui si definisce che il calcolo dello scalzamento delle pile del nuovo attraversamento ferroviario è stato effettuato facendo riferimento ai valori che i parametri idraulici assumono per la portata trecentennale.

Nel calcolo dello scalzamento si è tenuto conto solamente delle caratteristiche dello strato superficiale del terreno del fondo alveo, trascurando, dunque, la possibile presenza di strati rocciosi più profondi. I parametri che definiscono la granulometria del fondo alveo corrispondono a quelli di un limo sabbioso, tipico dei depositi alluvionali.

La valutazione dello scalzamento è stata condotta sia considerando le dimensioni di ingombro della pila in alveo (configurazione 1) sia considerando le dimensioni di ingombro del plinto di fondazione (configurazione 2). Può infatti accadere che il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione innescata dalla presenza della pila provocando ulteriori scalzamenti stante le sue maggiori dimensioni e forme più tozze.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	82 DI 114

In favore di sicurezza si è quindi considerato quale valore dello scalzamento di progetto la media tra lo scalzamento generato dalla sola pila e quello generato dal solo plinto.

Si sottolinea che nella verifica vengono utilizzate le sole formule CSU e di Breusers in quanto le altre formule sono ritenute inappropriate per un alveo con le caratteristiche della lama Cutizza 2.

Lama Cutizza 2		
Pila in alveo		
Larghezza Pila	m	1.9
Lunghezza Pila	m	11.6
Incidenza pila-corrente	(°)	0
Intersasse pile	m	20
Portata	m ³ /s	43.24
Tirante Idraulico	m	1.45
Velocità media in alveo	m/s	1.90
D50	m	0.00002
D85	m	0.00015
D90	m	0.0002
Dmedio	m	0.00002
Risultati		
CSU	m	1.34
BREUSERS	m	1.75
Valore Medio		1.55

Configurazione 1: pila in alveo

Assumendo i parametri idraulici provenienti dalla simulazione bidimensionale per la portata trecentennale, si svolgono i calcoli per le pile dell'impalcato di progetto posizionate nell'alveo del corso d'acqua.

Nel progetto si prevede di posizionare il plinto di fondazione a soli 1.5 m di profondità dal fondo dell'alveo. Di conseguenza lo scavo che si verrebbe a formare in condizione di massima piena potrebbe comportare la sua

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 83 DI 114

esposizione; a favore di sicurezza la verifica allo scalzamento viene ripetuta considerando anche le dimensioni del plinto stesso.

Configurazione 2: plinto

Si eseguono dunque nuovamente i calcoli con gli stessi parametri idraulici utilizzati per quantificare lo scavo della pila.

Lama Cutizza 2		
Plinto in alveo		
Larghezza Pila	m	6
Lunghezza Pila	m	13
Incidenza pila-corrente	(°)	0
Intersasse pile	m	20
Portata	m ³ /s	43,24
Tirante Idraulico	m	1.45
Velocità media in alveo	m/s	1.9
D50	m	0.00002
D85	m	0.00015
D90	m	0.0002
Dmedio	m	0.00002
Risultati		
CSU	m	2.75
BREUSERS	m	3.55
Valore Medio		3.15

Si assume come valore dello scalzamento di progetto quello che si ottiene dalla media dei valori calcolati per il plinto e per la pila:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	84 DI 114

SCALZAMENTO DI PROGETTO (pile in golena) = MEDIA(1.55; 3.15) = 2.64 m

I risultati ottenuti mettono in evidenza la necessità di prevedere delle opportune protezioni dell'alveo al fine di garantire la stabilità delle pile del viadotto ferroviario. Le pile sono dunque protette dai materassi tipo Reno.

8.9 Calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo della Lama Cutizza 2

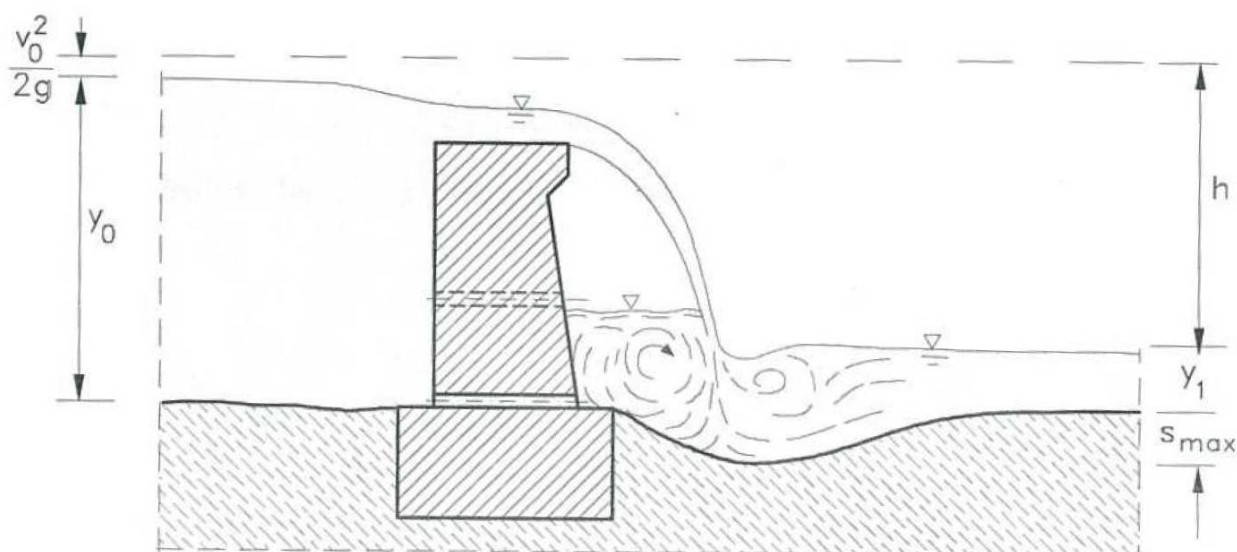
Per quanto riguarda calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo della Lama Cutizza 2 si effettua il calcolo utilizzando l'equazione di *Schoklitsch* (1932), secondo il quale lo scavo prodotto dall'azione del getto sfiorante da una soglia sul fondo di un corso d'acqua può essere calcolato con la seguente relazione:

$$s_{\max} = 4.75 \frac{h^{0.2} q^{0.57}}{d_{90}^{0.32}} - y_1$$

In cui i valori sopra riportati corrispondono allo schema di Figura seguente, e nel caso del salto di fondo sulla Lama Cutizza, corrispondono a:

- $q=Q/b=43.24/30=1.44 \text{ m}^3/\text{s m}$
- $h = H_{\text{monte salto}} - y_{\text{valle salto}} = 22.29-20.39 = 1.9 \text{ m};$
- $d_{90} = 0.2 \text{ mm}$ diametro del materiale di fondo;
- $y_1 = 1.40 \text{ m}.$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	85 DI 114



La formula di *Schoklitsch* (1932) restituisce un valore di scavo pari a 9.73 m, si ritiene dunque indispensabile proteggere il fondo alveo con un opportuno letto di massi legati.

8.10 Verifica dell'erosione dell'alveo

Per quanto riguarda la verifica dell'erosione dell'alveo si confermano i risultati presenti nel progetto definitivo in cui si definisce che La resistenza al trascinamento delle protezioni dell'alveo è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi e per i materassi Reno non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

Tensioni agenti – Lama Cutizza 2

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico RH (m) e alla pendenza del fondo if :

$$\tau_b = \gamma_w R_H i f$$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore RH (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	86 DI 114

Lama Valenzano – Monte Salto Tensione al Fondo Tr300 $\tau_b = \gamma_w R_H i_f =$
 $\tau_b = 1000 * 0.88 * 1.80\% = \mathbf{15.84 \text{ kg/m}^2}$

Lama Valenzano – Valle Salto Tensione al Fondo Tr300 $\tau_b = \gamma_w R_H i_f =$
 $\tau_b = 1000 * 3.06 * 0.20\% = \mathbf{6.12 \text{ kg/m}^2}$

Lama Valenzano – Attraversamento Tensione al Fondo Tr300 $\tau_b = \gamma_w R_H i_f =$
 $\tau_b = 1000 * 2.72 * 0.20\% = \mathbf{5.44 \text{ kg/m}^2}$

Tensioni resistenti e loro verifica – Lama Cutizza 2

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento t_c il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi.

Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

- $t_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d$

dove:

- t_c tensione massima di trascinamento (kg/m²)
- C^* coefficiente di Shields, dimensionale
- γ_m peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m³)
- d diametro del masso. Con riferimento ad una protezione tipo materasso Reno da 30 cm, in modo cautelativo, si fa riferimento al singolo masso di diametro pari a 30 cm, immaginando che il comportamento del materasso sia assimilabile a quello di un unico masso.

Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto vale circa 0.047. Inoltre, per i massi di peso specifico circa pari a 2600 Kg/m³, la formula citata diventa, per i materassi tipo reno:

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.30 = 22.56 \text{ kg/m}^2$$

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	87 DI 114

Mentre per i massi di dimensione media $D=0.60$ m:

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.60 = 45.12 \text{ kg/m}^2$$

Per cui si ha:

			Esito Verifica	Coefficiente di sicurezza
Verifica fondo alveo - monte salto massi cementati	$\tau_b \leq \tau_c$	15.84 < 45.12 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c = 2.84$
Verifica fondo alveo - valle salto massi legati	$\tau_b \leq \tau_c$	6.12 < 45.12 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c = 7.37$
Attraversamento tipo Reno	$\tau_b \leq \tau_c$	5.44 < 22.56 kg/m ²	OK	$\tau_b / \tau_c = 4.14$

La protezione in massi e materassi tipo reno risulta quindi verificata per un tempo di ritorno pari a 300 anni.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	88 DI 114

9. LAMA SAN GIORGIO - MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo bidimensionale in moto vario implementato mediante il software HEC-RAS dello U.S. Army Corps of Engineers. È un programma sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS).

I modelli numerici sono stati implementati sulla base delle sezioni idrauliche rilevate mediante battuta topografica estesa alle intere aree da indagare e del rilievo dei manufatti esistenti. Accanto a tali rilievi di tipo "tradizionale" è stato accostato un modello digitale del terreno (DTM) sufficientemente dettagliato, ottenuto da una scansione con sensore LIDAR eseguita nell'ottobre del 2021.

I valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati per la modellazione numerica dei corsi d'acqua in oggetto sono stati definiti sia sulla base dei sopralluoghi eseguiti, sia delle indicazioni disponibili in letteratura. I valori dei coefficienti sono stati scelti tenendo conto delle attuali condizioni di manutenzione in cui versano i corsi d'acqua e di un loro possibile peggioramento.

Nell'analisi idraulica eseguita sono stati confrontati i massimi livelli idrici e le planimetrie di allagamento ottenuti dalle simulazioni effettuate relativamente allo STATO ATTUALE (ante operam) ed a quello di PROGETTO (post operam).

Nel seguito si riportano le risultanze relative alla porzione di analisi a monte dell'attraversamento ferroviario di progetto.

9.1 Geometria dell'alveo

La variante di tracciato della linea ferroviaria Bari – Lecce, tra le stazioni di Bari Centrale e S. Giorgio – Torre a mare, intercetta la Lama San Giorgio alla progressiva 7+730.00 km, a monte della Strada Statale 16 Adriatica.

La geometria utilizzata per implementare il modello numerico e per la definizione delle aree di potenziale allagamento per le diverse portate di progetto è riferita al rilievo Lidar eseguito nell'ottobre del 2021.

L'area analizzata nel presente studio si estende per una superficie di circa 33 ha.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	89 DI 114

9.2 Sistemazione idraulica della Lama San Giorgio

La sistemazione idraulica della Lama San Giorgio in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario prevede la disposizione di un'estesa protezione al piede delle due pile presenti in alveo sul lato interno al corso d'acqua (esposto alla corrente).

La protezione è costituita da un letto di massi legati la cui estensione copre completamente l'impronta del plinto di fondazione delle pile con un adeguato margine di

sicurezza di almeno 2 m. La sistemazione idraulica dell'alveo della lama prevede anche delle protezioni spondali in materassi tipo reno e gabbioni sul lato delle pile esterno all'alveo, verso le spalle dell'impalcato.

La sistemazione idraulica della Lama San Giorgio è visibile nell'elaborato IA3S01EZZWZID0002010B ed è riassunta nella Figura seguente.

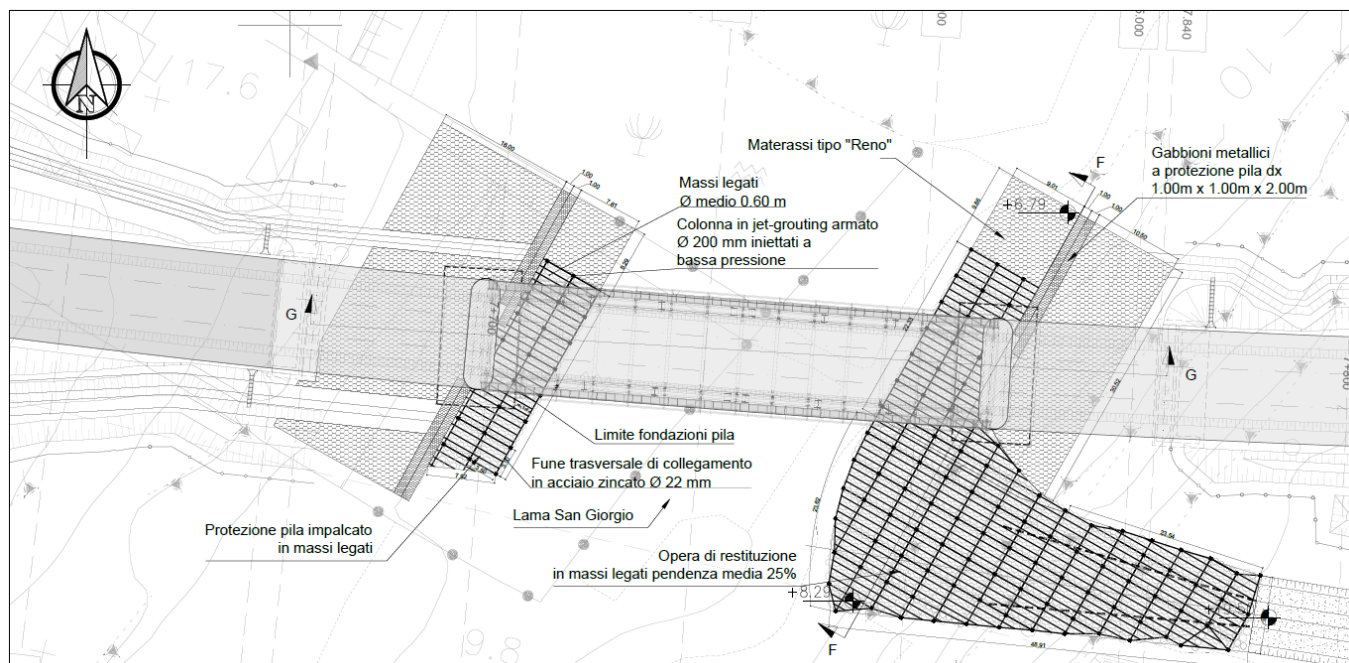


Figura 23 - Sistemazione idraulica lama San Giorgio

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	90 DI 114

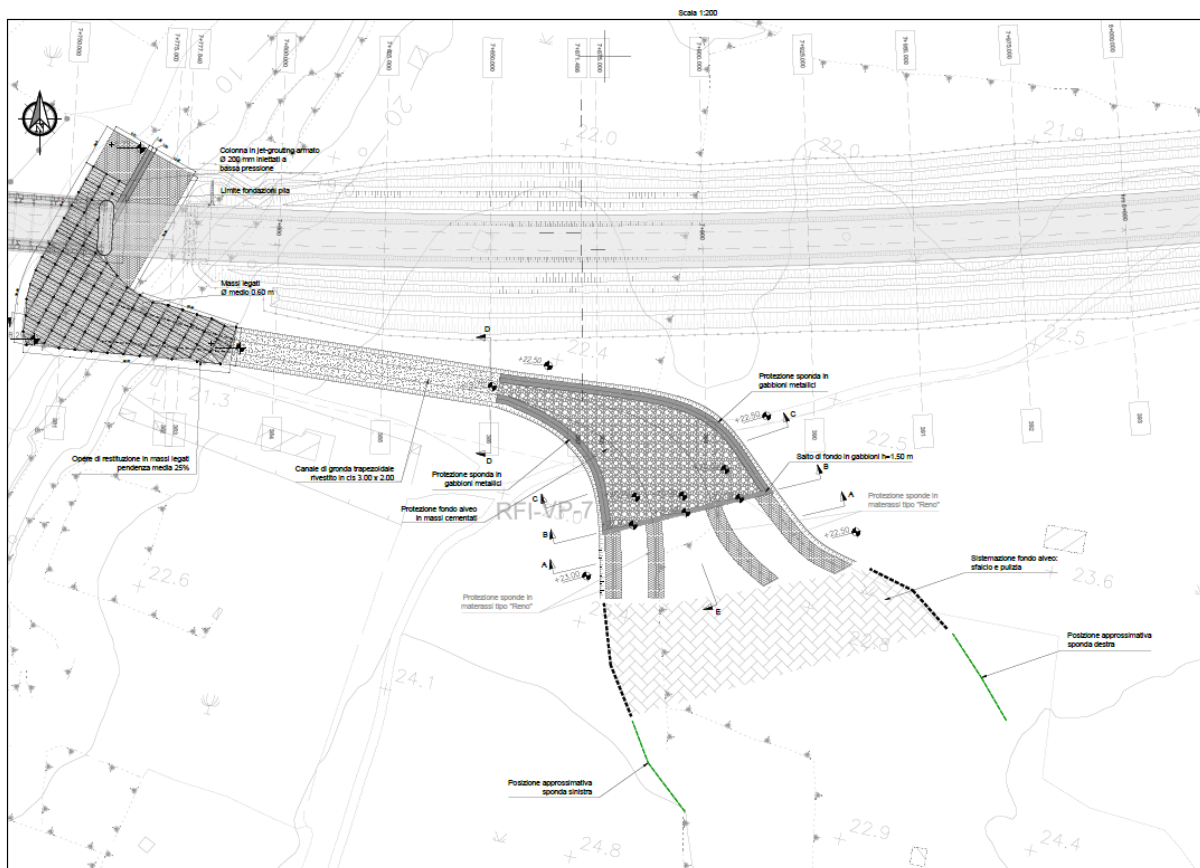


Figura 24 - Sistemazione idraulica lama ramo secondario San Giorgio

I materassi sono disposti sulle sponde del corso d'acqua a protezione delle spalle e delle pile dell'impalcato e sono assicurati al piede del rilevato ferroviario da una linea di gabbioni.

Lo scarico dei fossi di guardia disposti a protezione della trincea ferroviaria avviene sulle protezioni disposte sul fondo dell'alveo, sui massi legati e sui materassi tipo reno. I massi legati ed i materassi consentono la dispersione per infiltrazione delle portate derivanti da eventi meteorici di modesta entità e garantiscono un'adeguata protezione dai fenomeni erosivi che si possono manifestare nei punti di recapito localizzato delle portate idrologiche.

Mentre l'intervento per la realizzazione del canale deviatore prevede:

una prima zona di sfalcio e pulizia del fondo alveo;

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	91 DI 114

- un tratto in cui si prevede una sistemazione spondale in materassi tipo reno ed una savanella centrale le cui sponde vanno anch'esse protette con materassi tipo reno;
- un salto di fondo di circa 1.5 m, realizzato in gabbioni metallici e fondato su un letto di massi cementati;
- una zona di imbocco nel successivo canale deviatore in cls, in questo tratto il fondo alveo è rivestito in massi cementati e le sponde sono protette con gabbioni metallici;
- un canale trapezoidale rivestito in cls, largo al fondo 3 m, profondo 2 m e con sponde di pendenza 1 su 1, il canale è posto ad una profondità media, dal piano campagna, di circa 3 m, ad ulteriore tutela della sede ferroviaria;
- un'opera di restituzione nella Lama San Giorgio, realizzata con una rampa in massi legati che ha il compito di agevolare la dispersione per infiltrazione delle portate derivanti da eventi meteorici di modesta entità e garantire, al contempo, un'adeguata protezione dai fenomeni erosivi che si possono manifestare nei punti di recapito localizzato delle portate idrologiche.

Si specifica che la protezione in massi cementati a valle del salto di fondo non solo costituisce un'adeguata protezione contro l'eventuale erosione ma evita anche il rischio d'innescio di infiltrazioni nel sottosuolo di parte delle portate idrologiche e la conseguente possibilità che queste interessino la sede ferroviaria in trincea.

9.3 Condizioni al contorno e definizione delle portate

Le simulazioni numeriche del modello bidimensionale sono state condotte in condizioni di moto vario, immettendo le onde di piena in ingresso dalle sezioni di monte dei due corsi d'acqua.

La condizione al contorno è impostata nella sezione di valle a ridosso della linea di costa. In favore di sicurezza, non avendo a disposizione una serie storica di misure di marea, è stata imposta come condizione al contorno di valle un valore pari a 1 m s.m.m.

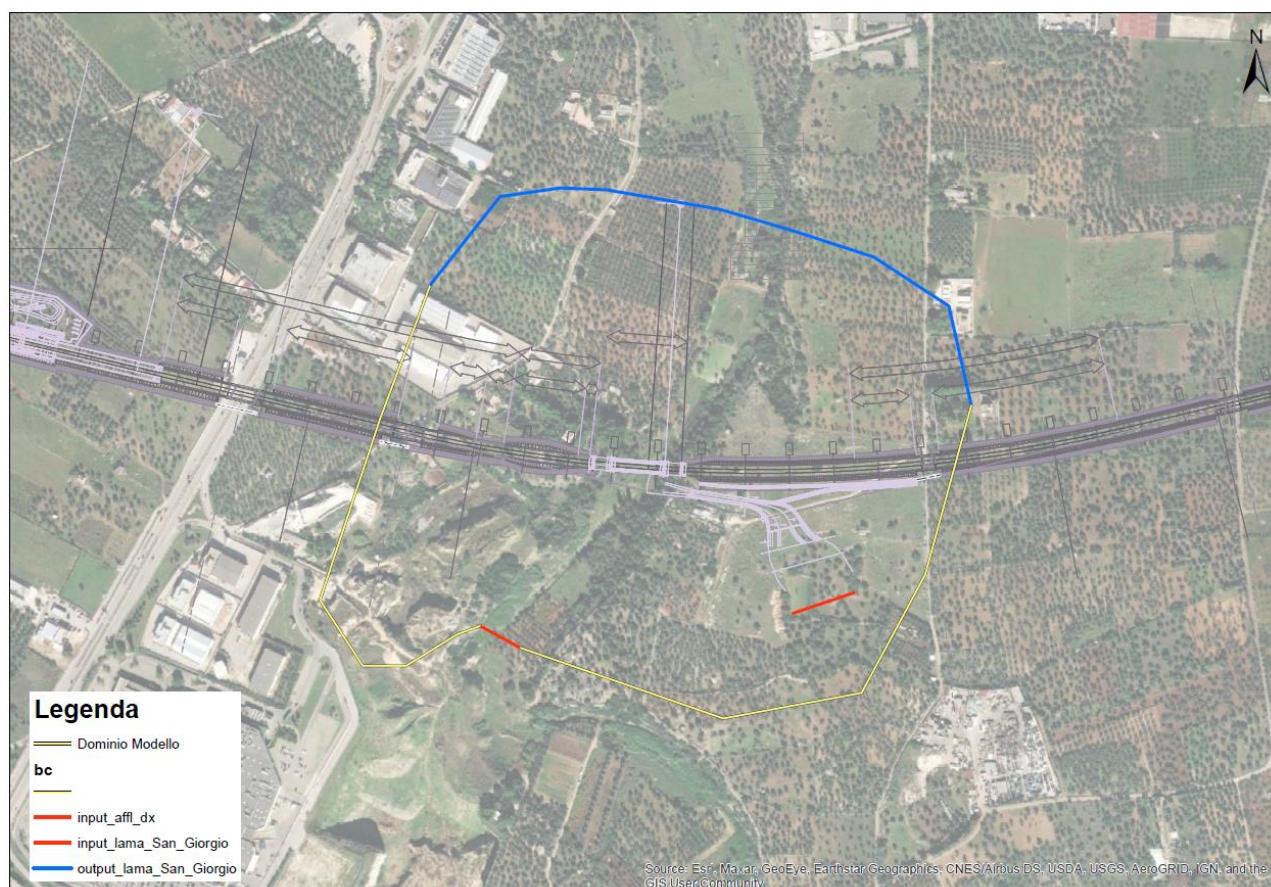
9.4 Portate di progetto

Per le portate di progetto utilizzate per la valutazione della compatibilità idraulica delle opere che interagiscono con il corso idrico ed impiegata nelle simulazioni idrauliche, sono state considerate, a favore di sicurezza quelle con tempo di ritorno di 300 anni. In particolare per la lama San Giorgio sono state prese in considerazione le portate del bacino idrografico della lama, a cui è stata sommata la portata proveniente dal ramo secondario, affluente in destra idraulica.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	92 DI 114

Le portate utilizzate nella modellazione sono le seguenti:

- **Tr300 536.32+8.22 m3/s**



9.5 Risultati delle Simulazioni Idrauliche

9.5.1 Simulazione ante operam

La simulazione ante operam evidenzia come il deflusso della lama San Giorgio sia naturalmente vincolato all'interno dell'alveo, mentre per quanto riguarda il ramo secondario il deflusso segue la morfologia del territorio, in direzione nord-sud andandosi ad incanalare all'interno di una lama minore che sfocia all'interno di lama San Giorgio.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	93 DI 114

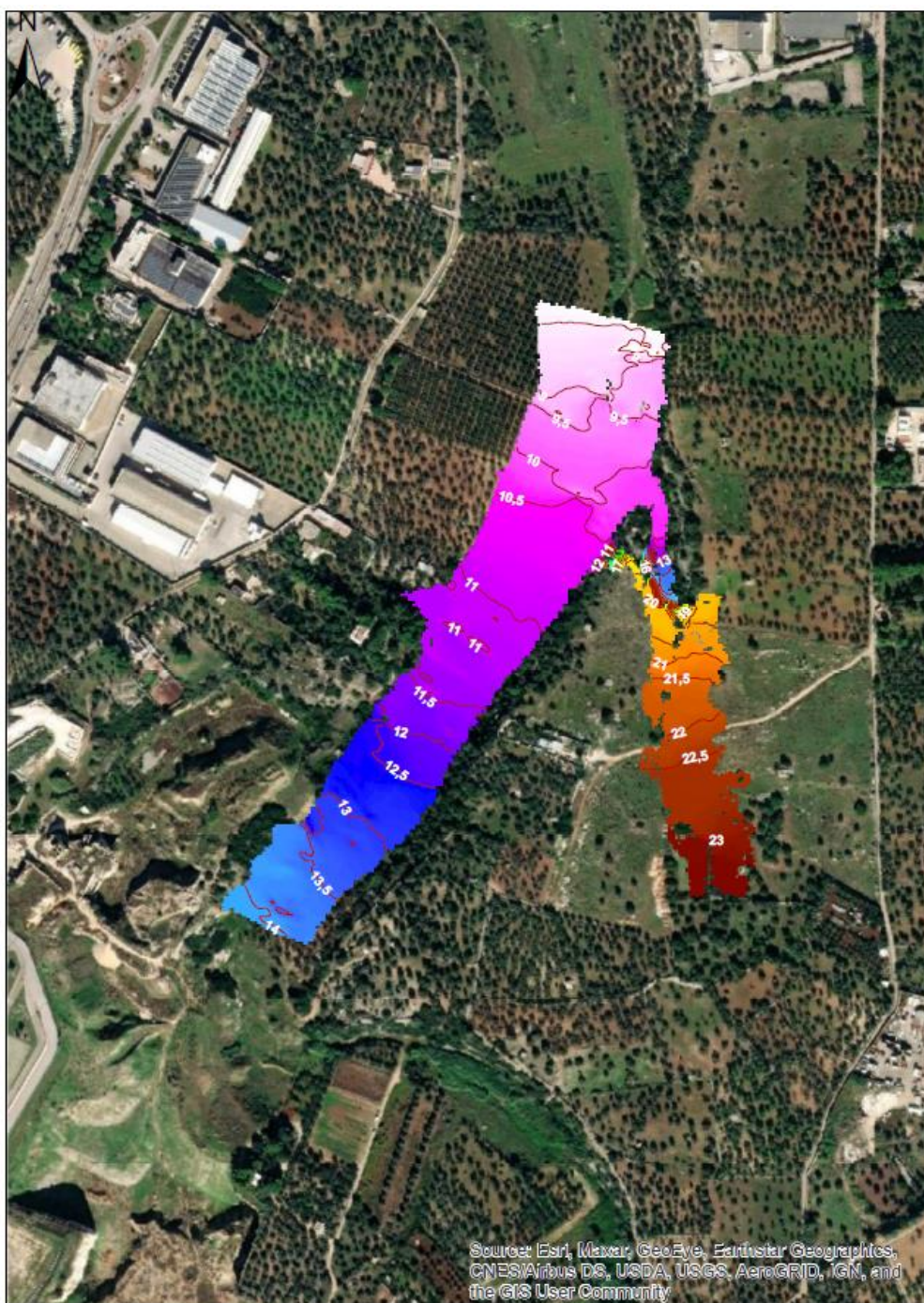


Figura 25 - Modellazione Bidimensionale Ante Opera Lama San Giorgio

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	94 DI 114

9.5.2 Simulazione post operam

Nella simulazione post operam si rileva che in corrispondenza del canale deviatore di lama San Giorgio, oggetto di intervento nel presente progetto, le portate risultano deviate all'interno della lama San Giorgio. Mentre in corrispondenza dell'attraversamento principale non si denotano situazioni di criticità.

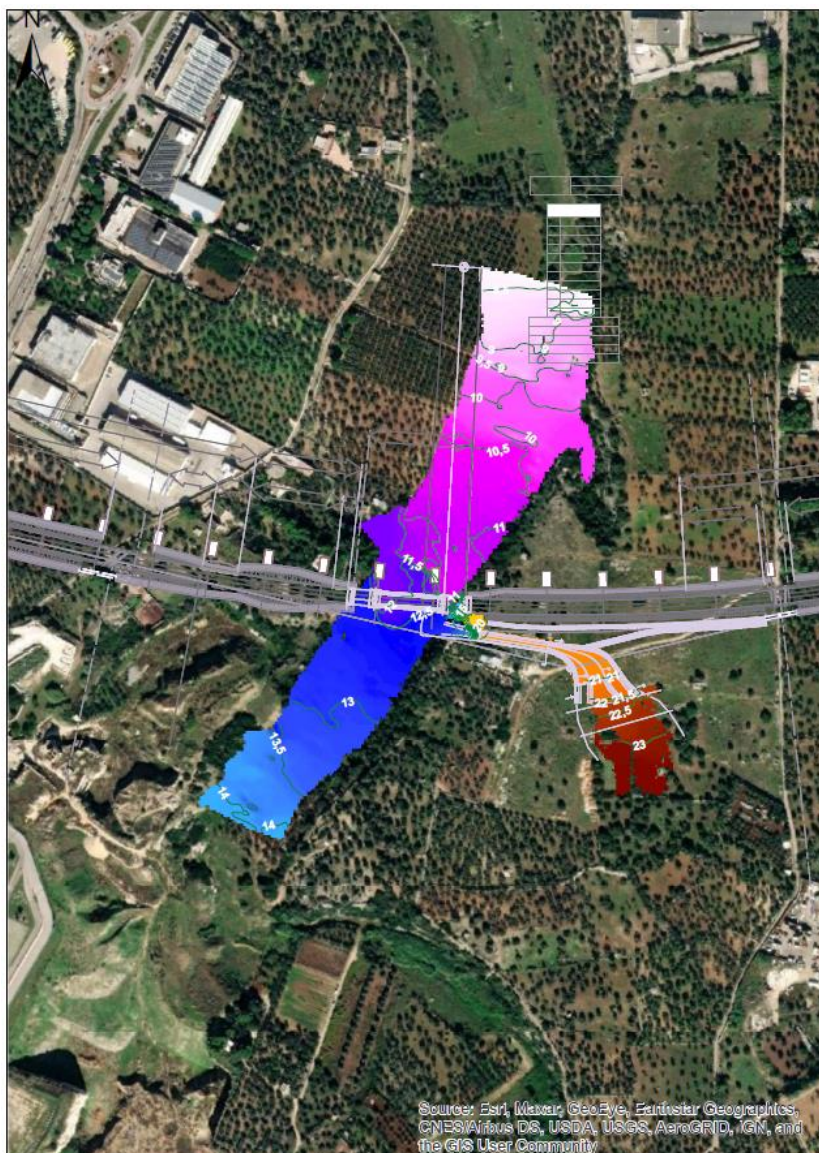


Figura 26 - Modellazione Bidimensionale Post Opera Lama San Giorgio

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	95 DI 114

Si riporta la sezione riferita al canale deviatore del ramo secondario di lama san Giorgio con indicazione del grado di riempimento riferito alla simulazione idraulica:

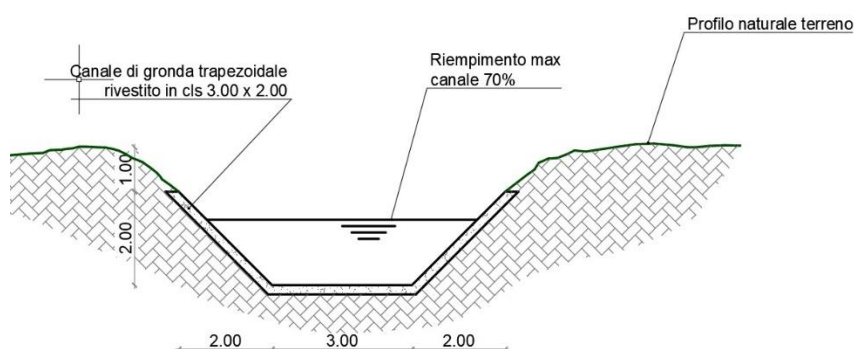


Figura 27: Sezione canale deviatore del ramo secondario Lama san Giorgio

Nel dimensionamento delle opere si è imposto di non restringere le sezioni del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli per l'evento di progetto comportino per il canale, invece, non determinino gradi di riempimento superiori al 70% dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento. La verifica è stata comunque condotta nel rispetto del grado di riempimento.

9.5.3 Cava Cutizza

Per quanto concerne lama San Giorgio è opportuno evidenziare che nel presente studio, è stata considerato anche l'apporto generato dalla Cava Cutizza, oggetto di riambientalizzazione. Lo studio idraulico infatti ha eseguito la modellazione bidimensionale non considerando l'area su cui sorge Cava Cutizza come un basso morfologico che potrebbe rappresentare un'area di accumulo delle acque meteoriche, ma come un rilevato, così come previsto dal progetto.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	96 DI 114



Figura 28 - Assonometria 3D del DSM rilevato con l'ubicazione della Cava Cutizza riambientalizzata

Dai risultati della modellazione, si evidenzia come tutto il contributo idrologico ed idraulico del bacino di lama San Giorgio, viene incanalato all'interno della lama stessa, sia nell'ante opera che nel post opera. Pertanto la rinaturalizzazione della cava non va a creare situazioni di instabilità idraulica. L'inserimento delle opere di progetto nella lama San Marco non perturba le condizioni di moto delle piene di progetto e il deflusso resta confinato all'interno dell'alveo attivo del corso d'acqua.

9.6 Verifica del franco di sicurezza

La verifica del franco di progetto è eseguita sulla base delle portate di progetto applicando le prescrizioni tecniche ferroviarie. Nei confronti della massima piena, secondo il manuale di progettazione Italferr, il franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena deve essere pari a 0.5 m e comunque non inferiore ad 1 m sul livello idrico. Nella circolare n. 617 del 2 febbraio 2009, nella quale sono contenute le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 97 DI 114

le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008, si prescrive che il franco minimo sul livello idrico per una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni sia pari a 1.50-2.00 m.

La tabella seguente riassume i dati della verifica fatta nella sezione immediatamente a monte dell’attraversamento in progetto

Lama San Giorgio						
	portata	livello	carico totale	intradosso attraversamento	franco rispetto al carico totale	franco rispetto al livello
	m3/s	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m
tr300	536,31+8,22	12,73	13,28	14,8	1,52	2,07

9.7 Verifica allo scalzamento delle pile dell’attraversamento sulla Lama san Giorgio

Per quanto riguarda la verifica allo scalzamento delle pile dell’attraversamento sulla Lama san Giorgio si definisce che il calcolo dello scalzamento delle pile del nuovo attraversamento ferroviario è stato effettuato facendo riferimento ai valori che i parametri idraulici assumono per la portata trecentennale.

Nel calcolo dello scalzamento si è tenuto conto solamente delle caratteristiche dello strato superficiale del terreno del fondo alveo, trascurando, dunque, la possibile presenza di strati rocciosi più profondi. I parametri che definiscono la granulometria del fondo alveo corrispondono a quelli di un limo sabbioso, tipico dei depositi alluvionali.

La valutazione dello scalzamento è stata condotta considerando le dimensioni di ingombro della pila in alveo. Si sottolinea che nella verifica vengono utilizzate le sole formule CSU e di Breusers in quanto le altre formule sono ritenute inappropriate per un alveo con le caratteristiche della lama san Giorgio.

Lama San Giorgio		
Pila in alveo		
Larghezza Pila	m	3.4
Lunghezza Pila	m	13.0

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	98 DI 114

Incidenza pila-corrente	(°)	0
Interasse pile	m	60
Portata	m ³ /s	536.31
Tirante Idraulico	m	4.31
Velocità media in alveo	m/s	6.78
D50	m	0.00002
D85	m	0.00015
D90	m	0.0002
Dmedio	m	0.00002
Risultati		
CSU	m	7.04
BREUSERS	m	14.50
Valore Medio		10.77

Pila in alveo

Assumendo i parametri idraulici provenienti dalla simulazione bidimensionale per la portata trecentennale, si svolgono i calcoli per le pile dell'impalcato di progetto posizionate nell'alveo del corso d'acqua.

I risultati ottenuti mettono in evidenza la necessità di prevedere delle opportune protezioni dell'alveo al fine di garantire la stabilità delle pile del viadotto ferroviario. Le pile sono dunque protette da massi legati.

9.8 Calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo del ramo secondario di Lama San Giorgio

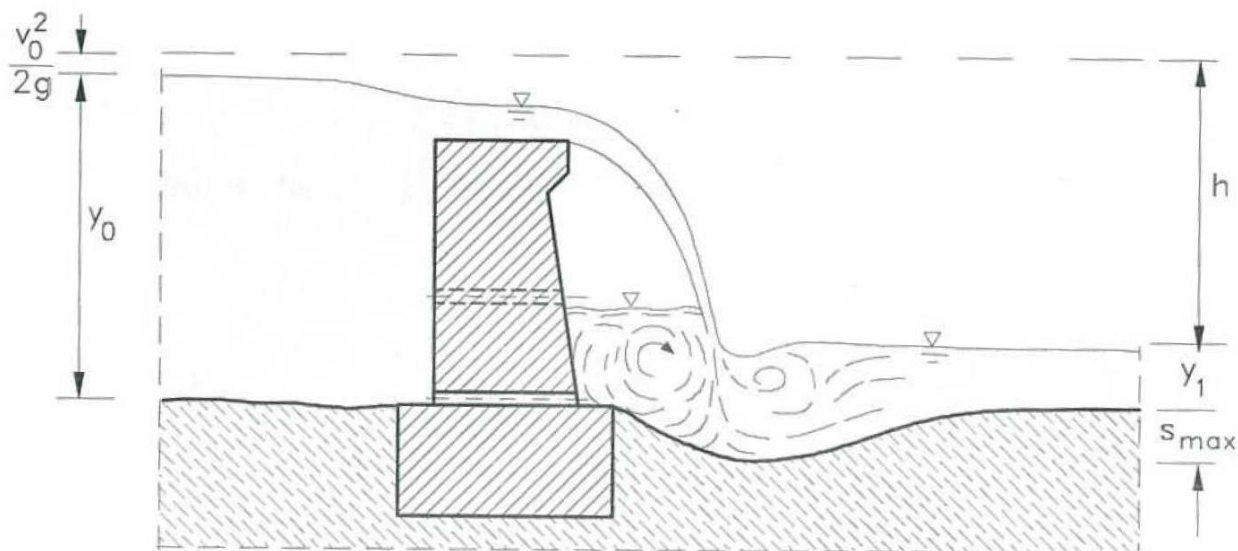
Per quanto riguarda calcolo dell'erosione a valle del salto di fondo della Lama San Giorgio si effettua il calcolo utilizzando l'equazione di *Schoklitsch* (1932), secondo il quale lo scavo prodotto dall'azione del getto sfiorante da una soglia sul fondo di un corso d'acqua può essere calcolato con la seguente relazione:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	99 DI 114

$$s_{\max} = 4.75 \frac{h^{0.2} q^{0.57}}{d_{90}^{0.32}} - y_1$$

In cui i valori sopra riportati corrispondono allo schema di Figura seguente, e nel caso del salto di fondo sulla Lama San Giorgio, corrispondono a:

- $q = Q/b = 8.22/36.65 = 1.44 \text{ m}^3/\text{s m}$;
- $h = H_{\text{monte salto}} - y_{\text{valle salto}} = 21.50 - 20.00 = 1.50 \text{ m}$;
- $d_{90} = 0.2 \text{ mm}$ (diametro del materiale di fondo);
- $y_1 = 0.80 \text{ m}$.



La formula di *Schoklitsch* (1932) restituisce un valore di scavo pari a 2.90 m, si ritiene dunque di proteggere il fondo alveo con un opportuno letto di massi legati.

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	100 DI 114

9.9 Verifica dell'erosione dell'alveo

Per quanto riguarda la verifica dell'erosione dell'alveo si precisa che l'alveo è caratterizzato da roccia calcarea affiorante si procede comunque con la verifica all'erosione dell'alveo assimilando il litotipo presente a massi cementati.

Tensioni agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico RH (m) e alla pendenza del fondo if :

$$\tau_b = \gamma_w R_H i_f$$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore RH (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\begin{aligned} \text{Lama San Giorgio} \quad \text{Tensione al Fondo Tr300} \quad \tau_b = \gamma_w R_H i_f = \\ \tau_b = 1000 * 4.31 * 0.006\% = \mathbf{0.26 \text{ kg/m}^2} \end{aligned}$$

Tensioni resistenti e loro verifica

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento t_c il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi.

La formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

- $t_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d$

dove: t_c tensione massima di trascinamento (kg/m²)

- C^* coefficiente di Shields, dimensionale
- γ_m peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m³)
- d diametro del masso. Ipotizzando di assimilare la roccia calcarea presente in alveo a massi legati, in modo cautelativo, si fa riferimento al singolo masso di diametro pari a 60 cm.

Il coefficiente di Shields per il pietrame sciolto vale circa 0.047. Inoltre, per i massi di peso specifico circa pari a 2600 Kg/m³, la formula citata diventa:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	101 DI 114

$$t_c = 0.047 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.60 = 45.12 \text{ kg/m}^2$$

per cui si ha:

			Esito Verifica	Coefficiente di sicurezza
Verifica fondo alveo	$\tau_b \leq \tau_c$	0.26 < 45.12 kg/m ²	OK	$\tau_c / \tau_b =$ 173.54

La verifica precedente può essere applicata anche al ramo secondario di Lama San Giorgio dove è previsto l'intervento di riprofilatura con massi legati, la verifica all'erosione a valle del salto idraulico risulta soddisfatti e pari ai valori ricavati precedentemente, nonostante la presenza di roccia calcarea affiorante già al di sotto di 1 – 1.50 m dal p.c..

9.10 Dimensionamento e verifica della sistemazione idraulica

Di seguito si riportano i dati relativi al dimensionamento ed alle verifiche delle sistemazioni a gabbioni previste in Lama San Giorgio. Le verifiche sono state eseguite considerando la sezione di lama San Giorgio considerata con il maggiore grado di instabilità. Per la verifica si è utilizzato il software GDW della Geostru.

DATI PROGETTO:

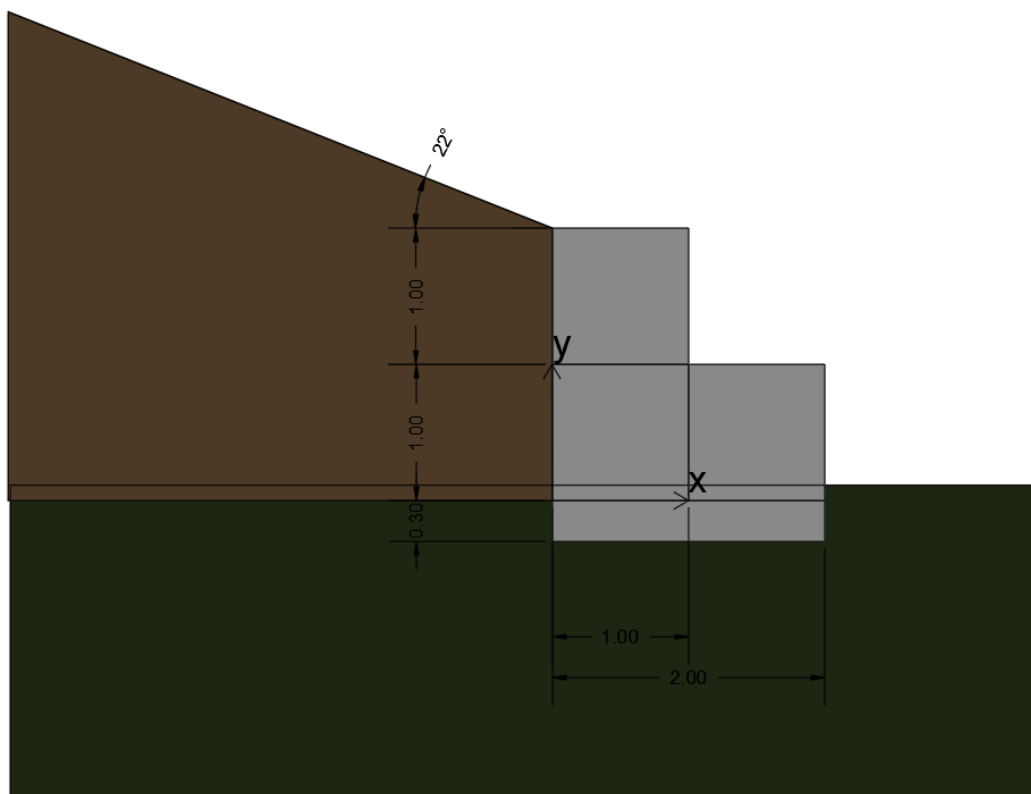
Titolo progetto: Sistemazione Lama San Giorgio

Descrizione del progetto Sistemazione Lama San Giorgio

Committente RFI

Schema sistemazione Lama san Giorgio

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	102 DI 114



DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1.00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1.00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

TIPI

Nome	B[m]	H[m]	L[m]	Peso[KN/m ³]
1	1.00	1.00	2.00	26.00
2	1.00	1.00	2.00	26.00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	1	0.00	2
2	1	0.00	1

Altezza fondazione	0.30 [m]
Base fondazione	0.30 [m]

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI												
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl													
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA3S</td> <td>01</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 0002</td> <td>F</td> <td>104 DI 114</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	104 DI 114
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	104 DI 114								

Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.70 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.739 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.039 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	80.34	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	24.66	5.24	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta Sismica monte X	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.70 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.739 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.039 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	72.31	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	24.66	5.24	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta Sismica monte X	1.36	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI												
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl													
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA3S</td> <td>01</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 0002</td> <td>F</td> <td>105 DI 114</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	105 DI 114
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	105 DI 114								

Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0.70 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.739 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0.039 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0.00	80.34	0.00	0.83	0.83
Spinta terreno monte	24.66	5.24	0.00	0.00	0.67
Peso terreno mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua mensola	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta idrostatica monte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta Sismica monte X	1.36	0.00	0.00	0.00	1.32
Spinta Sismica monte Y	0.00	0.29	0.00	0.00	1.32
Spinta idrostatica valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta terreno valle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spinta sismica valle Y	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
Sottospinta idrostatica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acqua gaveta	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m²]	Carico esercizio [kN/m²]
1	184.56	11.48	28.78	16.84	2597.08 Nq=26.09 Ng=35.19 Nc=38.64 sq=1.03 sc=1.03 sg=0.98 iq=0.82 ic=0.82 ig=0.75	67.25
2	189.79	16.44	29.09	24.66	1156.14 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02	70.74

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl						
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	106 DI 114

					sc=1.02 sg=0.98 iq=0.75 ic=0.73 ig=0.65	
3	172.39	18.23	27.67	26.02	1110.36 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02 sc=1.02 sg=0.98 iq=0.72 ic=0.7 ig=0.61	64.71
4	190.66	18.23	29.14	26.02	1132.72 Nq=13.86 Ng=15.45 Nc=24.76 sq=1.02 sc=1.02 sg=0.98 iq=0.74 ic=0.71 ig=0.63	71.32

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	16.07	1.71	38.62	45.02	2.61
2	11.55	1.18	16.34	36.52	2.62
3	9.45	1.06	17.16	33.39	2.91
4	10.46	1.12	15.88	37.03	2.62

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandataria:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	107 DI 114

10. ATTRAVERSAMENTI MINORI

Come descritto nella relazione idrologica allegata, sulla base del DTM (Digital Terrain Model) disponibile sul sito del Servizio Informativo Territoriale della Regione Puglia è stato possibile ricostruire la rete idrografica e i bacini dei compluvi che intersecano la linea di nuova costruzione. Sono stati così individuati dei compluvi minori, che possono definirsi “effimeri” in quanto si attivano solo in concomitanza di piogge brevi ed intense e convogliano tutte le acque che non si sono infiltrate nel sottosuolo recapitandole celermente alla piana costiera.

Sono identificate come interferenze minore un compluvio afferente ad un tombino sulla linea ferroviaria esistente e posizionato alla progressiva 9+790 della tratta in variante.

10.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

10.1.1 Criteri di verifica

Lo studio idraulico è finalizzato al dimensionamento delle sezioni di deflusso dei manufatti e degli eventuali accorgimenti da mettere in opera per consentire lo smaltimento delle acque meteoriche intercettate dal rilevato e, più in generale, alla risoluzione delle problematiche connesse con il regime idraulico dell’area interessata dalla nuova linea ferroviaria in progetto.

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI/Italferr ogni tipo di manufatto idraulico viene verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno T_r :

[...]

b) Inalveamenti:

- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ Km}^2$.
- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ Km}^2$.

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ Km}^2$.
- linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ Km}^2$.

(essendo S la superficie del bacino) [...]

Nel proporzionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d’acqua principali e secondari realizzati con ponti e tombini si è cercato di:

- garantire l’assenza di rigurgiti sia in corrispondenza delle portate di

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	108 DI 114

- modellamento che in quelle di progetto;
- migliorare o al massimo mantenere inalterato il livello di rischio idraulico esistente;
- evitare l'innescio di fenomeni erosivi in prossimità dell'opera prevedendo nei raccordi a monte ed a valle, la realizzazione di opere di presidio elastiche (materassi adagiati su geotessuto);
- assicurare con il periodo di ritorno previsto dal disciplinare, la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria.

Nel dimensionamento delle opere si è imposto di non restringere le sezioni del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli per l'evento di progetto comportino per i tombini invece non determinino:

- gradi di riempimento superiori al 70% dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento.

Particolari accorgimenti sono stati adottati al fine di assicurare una corretta manutenzione dell'opera, onde poter ridurre al minimo gli interventi atti a garantirne l'efficienza ed, in ogni caso, a ridurre a livelli minimi i costi delle opere.

10.1.2 Risultati verifica moto permanente

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche idrauliche sui tombini eseguite in moto permanente mediante l'utilizzo del software Hec RAS

- **Tombino 9+790**

Dati geometrici Luce: 4 m Altezza: 2 m Pendenza: 0.2 %	
-----------------------------------------------------------------	--

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

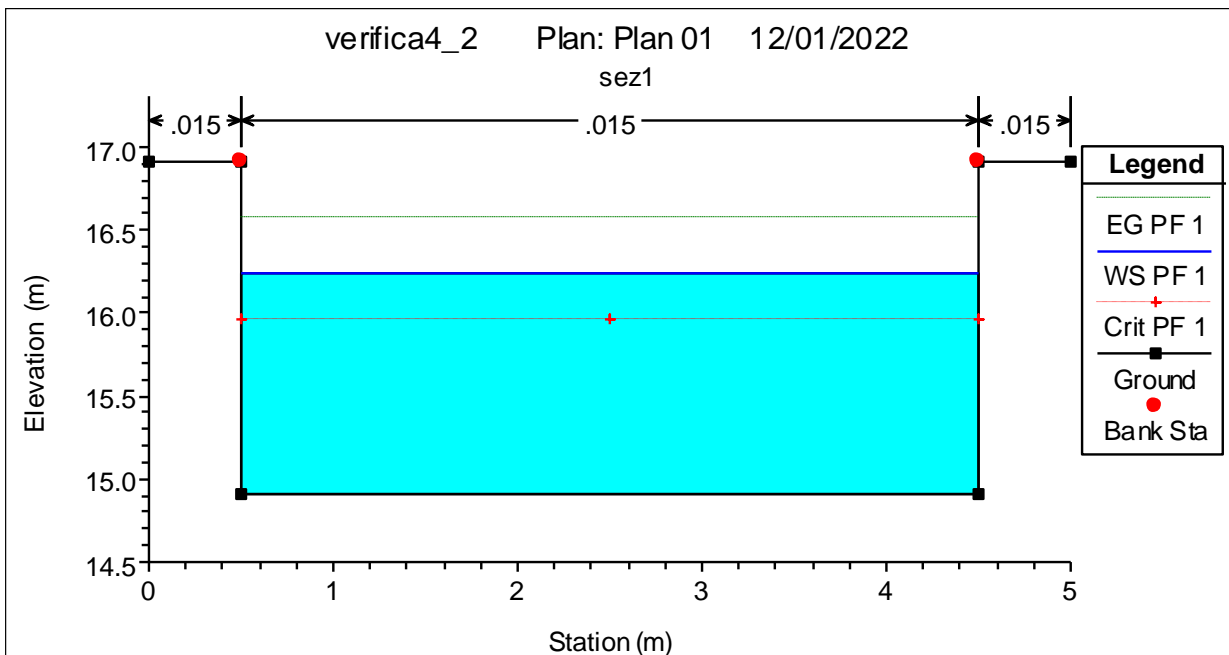
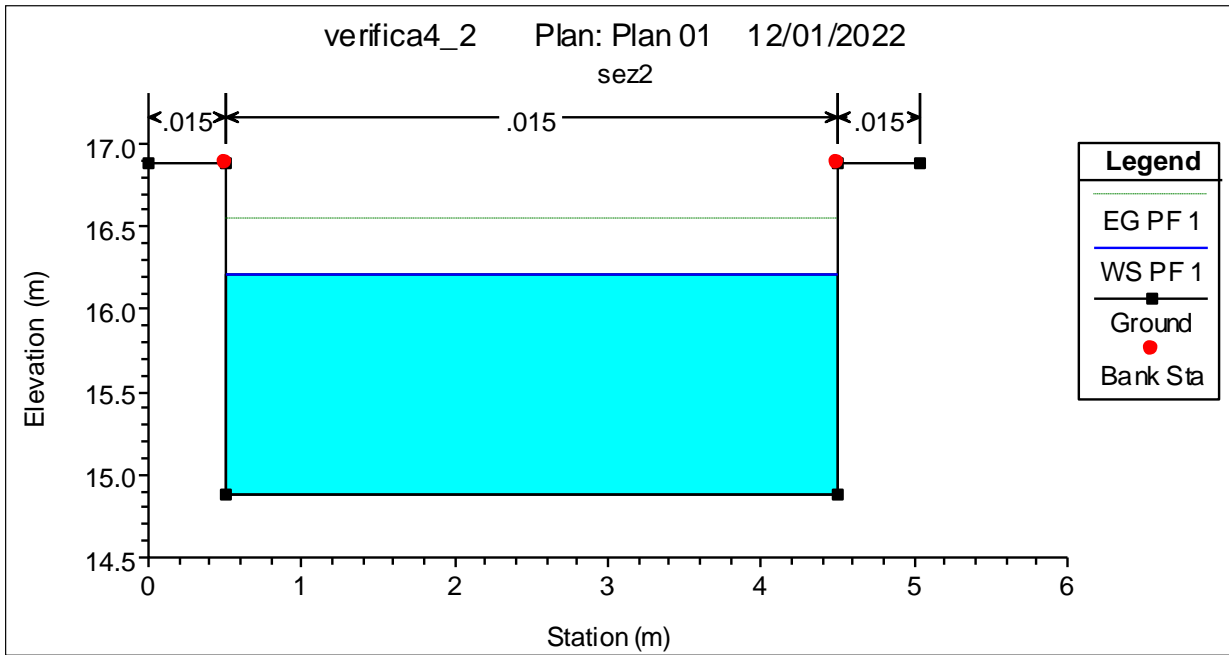
TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	109 DI 114



APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

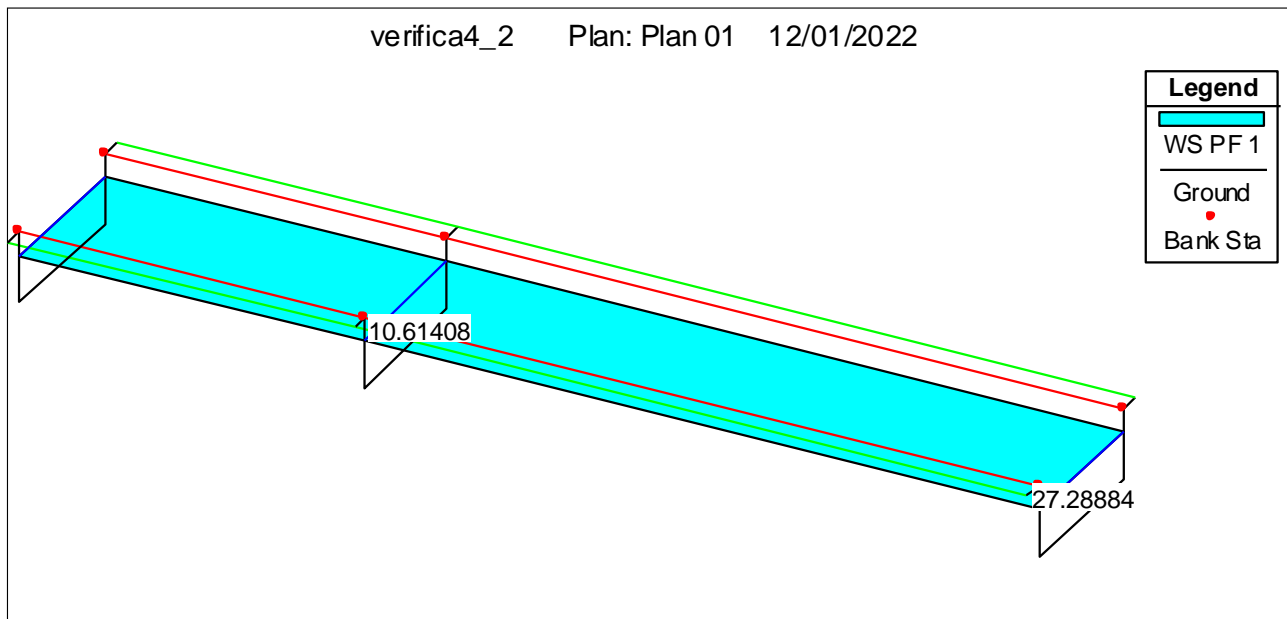
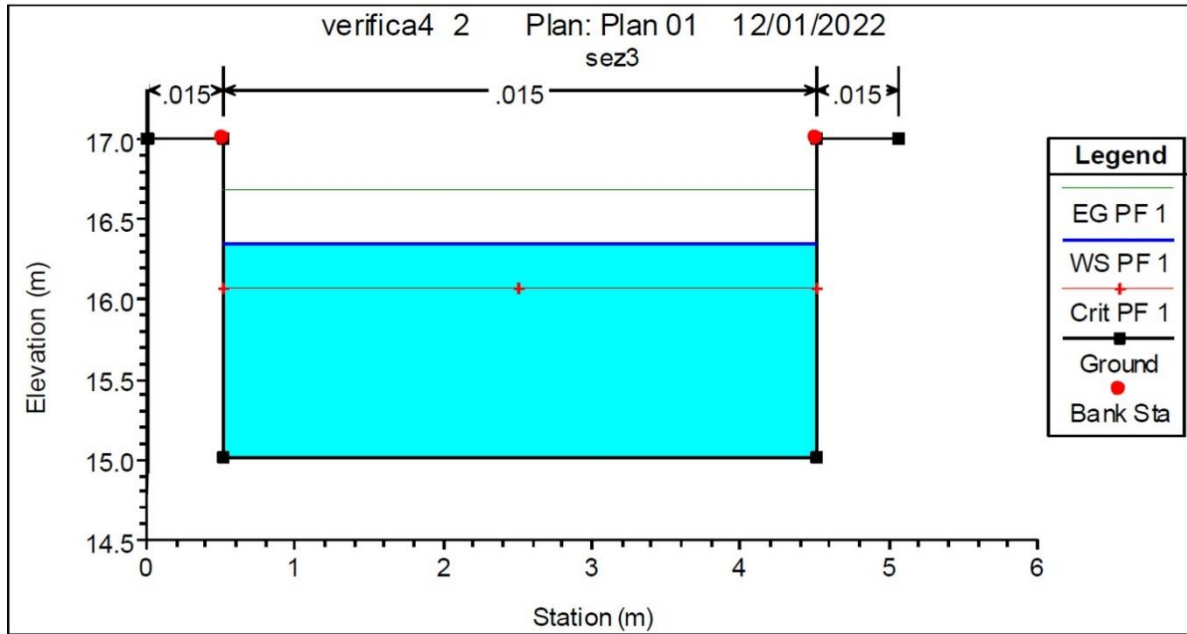
TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	110 DI 114



APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE												
PROGETTISTA: Mandataria: Mandante: RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl													
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici													
	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA3S</td> <td>01</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 0002</td> <td>F</td> <td>111 DI 114</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	111 DI 114
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	111 DI 114								

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G.Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[m ²]	[m]	
4*2	27.28884	PF1	13.68	15.04	16.37	16.07	16.68	0.001993	2.57	5.33	4.00	0.71
4*2	10.61408	PF1	13.68	15.00	16.33		16.75	0.002017	2.58	5.31	4.00	0.71
4*2	2.13286	PF1	13.68	14.98	16.31	16.04	16.63	0.002000	2.57	5.33	4.00	0.71

Verifica tombino 9+790						
sezione	quota fondo (m slm)	livello idrico (m slm)	altezza tombino (m)	tirante (m)	grado di riempimento (%)	verificato
3	15.04	16.34	2	1.33	66%	si
2	15.00	16.31	2	1.33	67%	si
1	14.98	16.29	2	1.33	67%	si

10.1.3 Tombini scatolari e circolari

I tombini sono opere d'arte che hanno la funzione di consentire l'attraversamento del rilevato in oggetto alle acque meteoriche raccolte a monte mediante canalizzazioni naturali (impluvi) ed artificiali (fossi di guardia e cunette); solitamente essi vengono posizionati in corrispondenza alle linee di impluvio del terreno. La dimensione minima interna di progetto per i tombini circolari in calcestruzzo è pari a 1.5 m mentre per quelli scatolari è di 2.0 m.

La pendenza da assegnare al fondo della condotta deve essere sufficiente per consentire lo smaltimento delle acque torbide e comunque superiore al 2‰. Nel dimensionamento della sezione idraulica, si evita che essa risulti eccessivamente larga da favorire la sedimentazione dei materiali solidi trasportati dalla corrente, i quali potrebbero determinare un ostacolo ai deflussi; d'altra parte, un'altezza eccessiva d'acqua a parità di altre condizioni, darebbe luogo a notevoli velocità ed a forti azioni di trascinamento che, in presenza di acque torbide, possono causare erosione nella superficie del manufatto.

Una volta nota, dall'analisi idrologica, la portata che tale manufatto deve essere in grado di far defluire, essa viene utilizzata per determinare il tirante idraulico all'interno della canna del tombino utilizzando la nota relazione di Gauckler – Strickler. Il manufatto di sbocco è caratterizzato da muri d'ala che si sviluppano a

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	112 DI 114

becco di flauto seguendo l'inclinazione delle scarpate del rilevato e si collegano all'inalveazione di raccordo al fosso naturale ed ai fossi di guardia che vi recapitano.

La tipologia di imbocco a fondo allineato risulta analoga a quella dello sbocco: la canna dell'attraversamento prosegue con due muri d'ala a becco di flauto secondo l'inclinazione della scarpa del rilevato, fino a collegarsi all'inalveazione di raccordo.

L'accesso per manutenzione a questo tipo di imbocco risulta fruibile con facilità e sicurezza.

10.1.4 Verifica idraulica a moto uniforme per gli attraversamenti minori

Il dimensionamento idraulico degli attraversamenti minori viene eseguito utilizzando le usuali formule dell'idraulica. Per la verifica dei manufatti in progetto si fa riferimento alla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

- Q : portata in m³/s;
- n : coefficiente di scabrezza secondo Manning;
- R_H : raggio idraulico;
- i : pendenza del corso d'acqua;
- Ω : sezione bagnata.

Il valore del coefficiente di scabrezza per le strutture in calcestruzzo viene assunto pari a 0,015 m^{-1/3}/s⁻¹ e debitamente aumentato in caso di deterioramento interno del manufatto.

10.1.5 VERIFICA OPERE IDRAULICHE

10.1.5.9 Verifiche idrauliche degli attraversamenti

Nel seguito sono riportate le verifiche idrauliche degli attraversamenti secondari previsti in progetto. Nella tabella sono riportati:

APPALTATORE: D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI GENERALI s.r.l.	RIASSETTO NODO DI BARI					
PROGETTISTA: <u>Mandatario:</u> <u>Mandante:</u> RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl	TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE					
PROGETTO ESECUTIVO: IDRAULICA Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici	PROGETTO IA3S	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 0002	REV. F	FOGLIO 113 DI 114

- identificazione dell'opera;
- progressiva chilometrica [km];
- superficie del bacino afferente [km²];
- portata di verifica associata al tempo di ritorno [m³/s];
- dimensioni dell'opera (Luce, Altezza) [m];
- pendenza del fondo [%];
- velocità [m/s] e tirante idraulico [m];
- grado di riempimento [%];
- verifica.

Attraversamento	Progressiva [km]	Superficie [km ²]	Portata Tr=200 [m ³ /s]	Luce [m]	Altezza [m]	Pendenza dell'opera [%]	Velocità [m/s]	Tirante [m]	Grado di riempimento [%]	Verificato
Tombino	9+790	1.51	13.68	4.00	2.00	0.2%	2.57	1.33	67%	Si

La verifica è stata comunque condotta nel rispetto del grado di riempimento.

10.1.6 Sistemazione idraulica degli attraversamenti

A monte e a valle degli attraversamenti idraulici della linea ferroviaria è prevista una sistemazione in materassi tipo reno e gabbioni posta a protezione del tratto di fosso naturale prossimo allo scatolare.

La sistemazione ha l'obiettivo di proteggere l'interfaccia tra il fosso naturale e l'opera di attraversamento e dunque di evitare l'innesco di fenomeni erosivi. L'inizio del tratto in sistemazione è protetto da un taglione in gabbioni.

APPALTATORE:
D'AGOSTINO ANGELO ANTONIO COSTRUZIONI
GENERALI s.r.l.

RIASSETTO NODO DI BARI

PROGETTISTA:

Mandataria: Mandante:

RPA srl Technital SpA HUB Engineering Scarl

TRATTA A SUD DI BARI – VARIANTE DI TRACCIATO TRA
BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

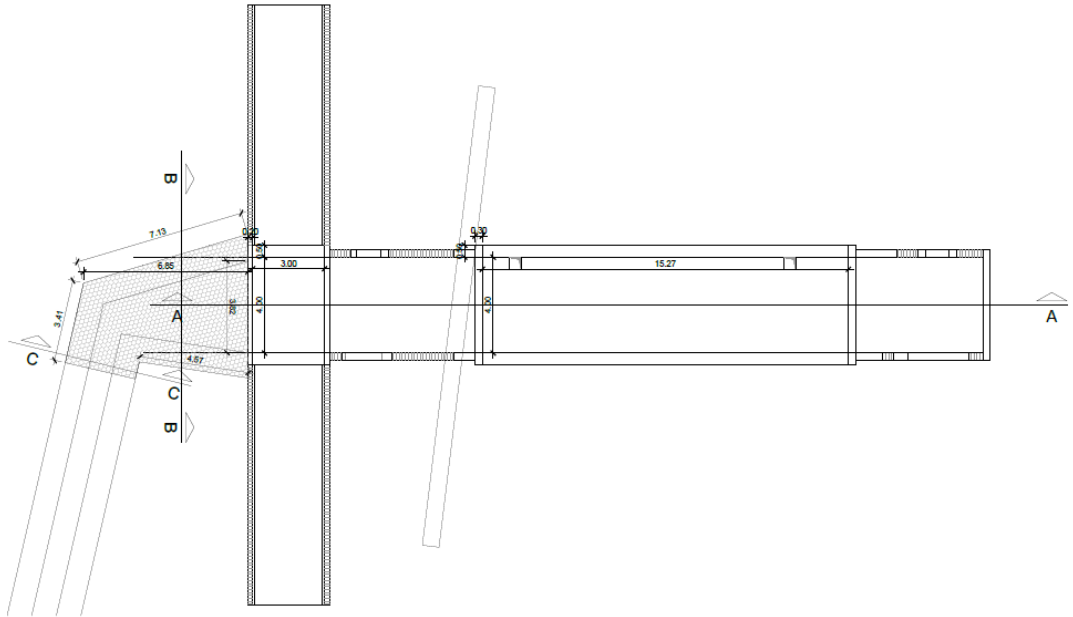
PROGETTO ESECUTIVO:

IDRAULICA

Relazione Tecnica Attraversamenti Idraulici

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA3S	01	E ZZ RI	ID0002 0002	F	114 DI 114

PLANIMETRIA SISTEMAZIONE IDRAULICA
Scala 1:100



PLANIMETRIA TOMBINI
Scala 1:100

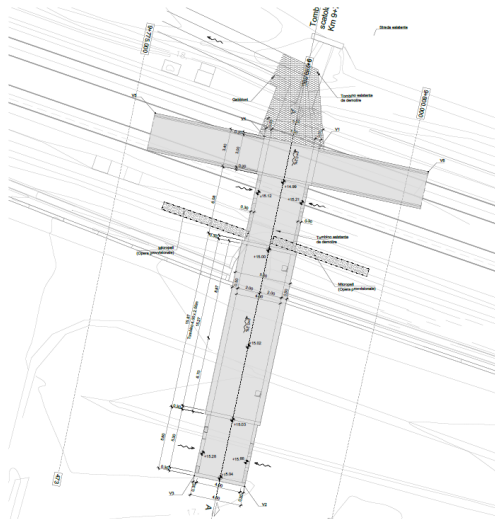


Figura 29 - Sistemazione idraulica degli attraversamenti minori