

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>				
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143	Pag. 1 di 56

Concessione di Fiume Treste
Centrale di stoccaggio Cluster F

INTERVENTO PROTEZIONE CLUSTER F FIUME TRESTE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA E
STUDIO DI COMPATIBILITA'

01	09/10/2024	Revisione	Y. Zorzi	M. Colli	C. Gatti
00	12/01//2024	Emissione	Y. Zorzi	M. Colli	C. Gatti
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Cronologia delle revisioni					

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 2 di 56</div>	

INDICE

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
2.1. VINCOLI DOVUTI AL PAI.....	6
3. STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	11
3.1. GENERALITA'	12
3.1.1. IDROGRAFIA DEL FIUME TRESTE.....	12
3.2. ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO E CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	12
3.2.1. CARATTERISTICHE SPECIFICHE MORFOLOGICHE NELLA TRATTA DI INTERESSE.....	12
3.3. CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DELL'ALVEO NELLA TRATTA DI INTERESSE.....	18
3.4. PORTATE DI RIFERIMENTO	19
3.4.1. IDROLOGIA: STUDIO DELLE PORTATE PRESE A RIFERIMENTO NELLE MODELLAZIONI ESEGUITE	19
3.5. OPERE DI DIFESA IDRAULICA E MANUFATTI INTERFERENTI.....	22
3.5.1. STATO DI FATTO	22
3.5.2. STATO DI PROGETTO.....	22
3.6. MODALITÀ DI DEFLUSSO IN PIENA: IDRAULICA.....	26
3.6.1. Modello digitale del terreno assunto a base delle modellazioni.....	26
3.6.2. Caratteristiche del modello.....	26
3.6.3. Scabrezza.....	27
3.7. EFFETTI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO	29
3.7.1. STATO DI FATTO	29
3.7.2. STATO DI PROGETTO.....	34
3.7.3. Verifica delle opere di protezione contro l'erosione (dimensionamento massi)	37
METODO USACE (1994).....	41
METODO DI ISBACH	43
3.7.5. Verifica delle opere di protezione contro l'erosione (verifica a scalzamento)	45
PROTEZIONE AL PIEDE DEI PENNELLI.....	50
3.7.6. Particolari attenzioni operative	51
4. OPERE INTEGRATIVE.....	52

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 3 di 56</div>	

5. CONCLUSIONI55

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 4 di 56</div>	

1. PREMESSA

La presente relazione illustra gli aspetti idraulici legati alla potenziale interferenza tra la via Fiume Treste e le opere di difesa spondale previste in sx idraulica a tutela della Centrale di Stoccaggio Gas Cluster F che dovrà essere ripristinata allo scopo di limitare i fenomeni di erosione in corso.

Osservazione:

l'analisi idraulica è stata condotta avvalendosi del supporto e dei risultati un modello bidimensionale appositamente implementato per i soli scopi di definire condizioni idrauliche più opportune e sicure in relazione alle interferenze dell'infrastruttura in progetto; le risultanze del modello implementato (con specifico riferimento allo stato di progetto) risultano dunque complementari al quadro conoscitivo ufficiale sul fiume Trigno già in possesso degli enti e delle autorità che operano per la messa in sicurezza del territorio: tale quadro conoscitivo risulta essere la base informativa mediante la quale si è provveduto a tarare i modelli matematici utili allo sviluppo del presente progetto.

Da un punto di vista idrologico:

- l'analisi idrologica indica e sviluppa le portate idriche/fluviali in funzione di determinati tempi di ritorno ritenuti significative per la verifica delle opere in progetto
- per le portate della tratta fluviale d'interesse si è fatto riferimento: alle disposizioni dell'allegato 1 delle norme di attuazione del PAI del "Piano di stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del Fiume Trigno" condotto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale;

Da un punto di vista idraulico:

- l'analisi idraulica risulta allineata, per quanto possibile, con i risultati degli studi idraulici sul fiume Trigno noti sulla tratta di interesse condotti dall'Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore" nell'ambito della redazione del Piano di Gestione del rischio alluvioni, ai vincoli per le zone ricomprese nelle Aree a pericolosità idraulica PI1, PI2 e PI3 e della fascia di riassetto fluviale del PAI;
- lo studio idraulico della tratta esaminata fornisce altresì la caratterizzazione idraulica del corso d'acqua per un congruo tratto fluviale, significativo per l'area di intervento, facendo riferimento ad un nuovo Modello digitale del terreno alle sezioni trasversali d'alveo, all'uopo sviluppato nell'ambito di una campagna di rilevazioni funzionali alla progettazione delle opere in epigrafe;
- l'analisi idraulica, realizzata mediante modello bidimensionale, ricostruisce il profilo del pelo libero del Fiume Treste in condizioni di moto vario: gli idrogrammi utilizzati come precedentemente citato NON derivano da una nuova analisi idrologica del bacino fluviale ma fanno riferimento alle portate definite nelle norme di attuazione del PAI;

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 5 di 56</div>	

Come si vedrà nel proseguo della presente relazione, ovvero nell'ambito dell'analisi dell'alveo, è evidente come il fiume Treste nelle sezioni specifiche di interesse abbia subito una evoluzione morfologica che lo ha avvicinato pericolosamente al Cluster F motivo per cui si rende necessaria con la massima urgenza la realizzazione di opere per mettere al sicuro il cluster da fenomeni ordinari e per fermare l'erosione ulteriore in sinistra idraulica.

La proposta elaborata ha lo scopo di realizzare un presidio infrastrutturale in grado letteralmente di allontanare il campo cinetico ad elevata energia dalla sponda sinistra e per quanto possibile spostarlo sulla destra idrografica almeno nella tratta frontale al cluster F. La cui configurazione di progetto è stata condotta verificando:

- il tempo di ritorno dell'onda di progetto
- la compatibilità idraulica degli elementi tracimabili di repellenza
- le possibili interferenze causate delle opere;
- lo scalzamento dell'infrastruttura per le portate superiori a quella di progetto

la presente relazione è da intendersi quale "studio di compatibilità idraulica" per le opere in epigrafe e dunque rappresentativo per gli effetti prodotti dall'intervento in progetto nei confronti delle condizioni idrauliche attuali del tratto di corso d'acqua interessato e di quelle di progetto dello stesso, essendo diverse da quelle attuali.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 6 di 56</div>	

2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1. VINCOLI DOVUTI AL PAI

Il Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI):

- all'art.17 delle Norme di attuazione disciplina la *"realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse"* che ricadono all'interno della fascia di riassetto fluviale o delle fasce di pericolosità; in particolare l'art.17 cita testualmente:
La realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse nella fascia di riassetto fluviale o nelle fasce di pericolosità può essere autorizzata dall'Autorità competente in deroga ai conseguenti vincoli, previa acquisizione del parere favorevole del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino, a patto che:
 - si tratti di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse non delocalizzabili;*
 - non pregiudichino la realizzazione degli interventi del PAI;*
 - non concorrano ad aumentare il carico insediativo;*
 - siano realizzati con idonei accorgimenti costruttivi;*
 - risultino coerenti con le misure di protezione civile di cui al presente PAI e ai piani comunali di settore.*
- all'art. 21 delle Norme di attuazione il PAI detta inoltre le direttive per i Comuni, più precisamente riporta:
I Comuni, nell'ambito della normativa vigente degli strumenti urbanistici o dei piani di settore relativa a interventi sui manufatti edilizi esistenti, assumono tutte le misure opportune per ridurre il rischio e realizzare le previsioni del PAI. In particolare per le strutture altamente vulnerabili ricadenti nella fascia di riassetto fluviale consentono e promuovono:
 - variazioni di destinazione d'uso al fine di rendere compatibili i manufatti con la loro collocazione;*
 - la realizzazione di opere finalizzate alla riduzione del rischio idraulico;*
 - procedure per la delocalizzazione degli edifici posti in aree a pericolosità idraulica alta (PI3).*
- all'art. 11 il PAI individua e perimetra a scala di bacino le aree inondabili per eventi con tempo di ritorno assegnato e le classifica in base al livello di pericolosità idraulica, definita secondo tre classi: PI1, PI2 e PI3:
 - Aree a pericolosità idraulica alta (**PI3**): aree inondabili per tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni;
 - Aree a pericolosità idraulica moderata (**PI2**): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 30 e minore o uguale a 200 anni;
 - Aree a pericolosità idraulica bassa (**PI1**): aree inondabili per tempo di ritorno maggiore di 200 e minore o uguale a 500 anni.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 7 di 56</div>	

Mentre, all'art. 12, il PAI individua e perimetra la *Fascia di riassetto fluviale*, che comprende l'alveo, le aree di pertinenza fluviale e quelle necessarie per l'adeguamento del corso d'acqua all'assetto definitivo previsto dallo stesso Piano per l'assetto idraulico.

La disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale, in caso di sovrapposizione, sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità.

Come riportato nelle Norme di attuazione del PAI, nella fascia di riassetto fluviale sono consentiti i seguenti interventi:

- a) gli interventi idraulici e di sistemazione ambientale finalizzati a ridurre il rischio idraulico purché tali da non pregiudicare la sistemazione idraulica definitiva prevista dal Piano;
- b) demolizione senza ricostruzione;
- c) interventi sul patrimonio edilizio per adeguamenti minimi necessari alla messa a norma delle strutture e degli impianti relativamente a quanto previsto dalle norme in materia igienico - sanitaria, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche e di tutela della pubblica incolumità;
- d) interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria di cui all'art. 3, comma 1, lettere a) e b) del D.P.R. n. 380 del 06-06-2001 e s.m.i.;
- e) adeguamento e ristrutturazione delle opere relative alle reti dei trasporti ed alle reti di adduzione e distribuzione dei servizi esistenti, sia pubbliche che di interesse pubblico, non delocalizzabili purché approvati dalla Autorità idraulica competente previo parere del Comitato Tecnico della Autorità di Bacino senza aggravare le condizioni di pericolosità idraulica e pregiudicare gli interventi previsti dal PAI.

Nelle aree a pericolosità PI3 non ricadenti nella fascia di riassetto fluviale, invece, oltre agli interventi ammessi sopra riportati, sono consentiti i seguenti interventi:

- a) interventi sui manufatti esistenti di restauro e risanamento conservativo come definiti dall'art. 3 comma 1, lettera c) del D.P.R. n. 380 del 06-06-2001 e s.m.i., senza aumentare la vulnerabilità dell'edificio, senza cambio di destinazione che aumenti il carico insediativo e senza aumenti di superfici e volumi;
- b) interventi di ristrutturazione edilizia come definiti dall'art. 3, comma 1, lettera d) del D.P.R. n. 380 del 06-06-2001 e s.m.i., a condizione che siano stati realizzati o siano realizzati contestualmente gli interventi previsti dal PAI previa autorizzazione dell'Autorità idraulica competente.

Nelle aree a pericolosità PI2 non ricadenti nella fascia di riassetto fluviale, sono consentiti, oltre agli interventi sopra riportati, i seguenti interventi:

- a) interventi di ristrutturazione urbanistica di cui all'art. 3, comma 1, lettera e) del D.P.R. n. 380 del 06-06-2001 e s.m.i. a condizione che siano stati realizzati o siano realizzati contestualmente gli interventi previsti

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 8 di 56

dal PAI previa autorizzazione dell'Autorità idraulica competente e acquisito il parere del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino;

b) realizzazione di nuove infrastrutture purché progettate sulla base di uno studio di compatibilità idraulica, senza aumentare le condizioni di rischio e a patto che risultino assunte le misure di protezione civile di cui al presente PAI e ai piani comunali di settore.

Nelle aree a pericolosità PI1, infine, sono consentiti tutti gli interventi coerenti con le misure di protezione civile previste dal presente PAI e dai piani comunali di settore.

Si specifica che la disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale, in caso di sovrapposizione, sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità.

Nel caso specifico in oggetto, l'area di intervento ricade in una zona di confine tra diverse aree di pericolosità, mentre il Cluster F risulta essere "apparentemente" al di fuori delle aree di pericolosità idraulica.

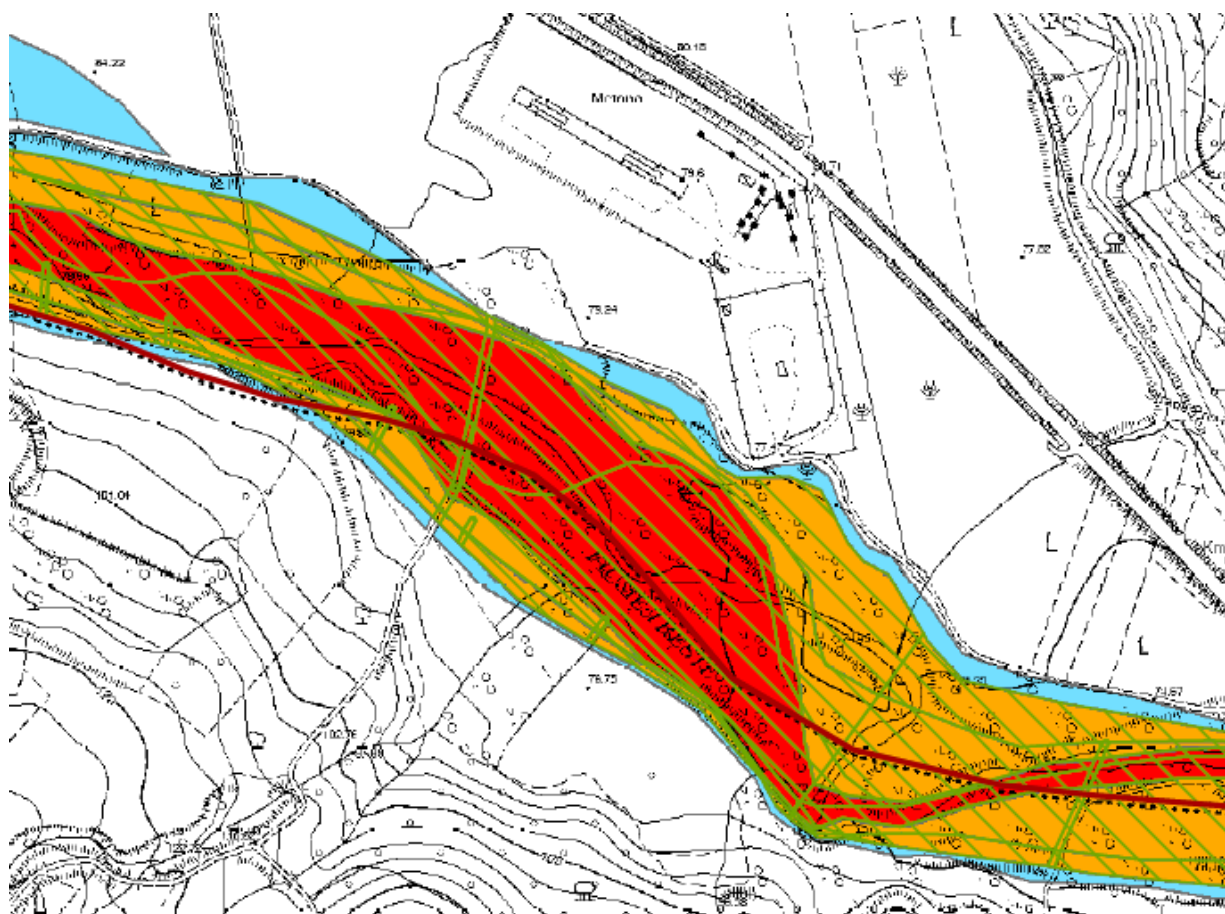


Figura - 1 T 04.21.A Carta della Pericolosità Idraulica

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 9 di 56





	PI3 Aree a pericolosità idraulica elevata	
	PI2 Aree a pericolosità idraulica moderata	 Fascia di riassetto fluviale
	PI1 Aree a pericolosità idraulica bassa	

Figura - 2 Legenda Carta della Pericolosità Idraulica

Siccome il PAI specifica che, in caso di sovrapposizione, la disciplina relativa alle fasce di riassetto fluviale prevale sulla disciplina relativa alle aree a diversa pericolosità, nel caso in oggetto si considererà come vincoli di interesse quelli legati alla *Fascia di riassetto fluviale*.

In realtà l'analisi di pericolosità idraulica appena riportata risulta per lo più condotta in una condizione d'alveo che non risulta essere quella attuale, dove l'effetto erosivo della sponda sinistra ha creato un meandro che lambisce il sedime del cluster F:



Figura - 3 Confronto prima (2003) dopo(2023) alveo Treste frontalmente al cluster F

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commessa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 10 di 56</div>	

Il PAI inoltre richiede che le portate di piena da utilizzarsi nella progettazione di opere “definitive” che interessano i corsi d’acqua sono quelle con tempo di ritorno 200 anni; i progetti che non garantiscono la messa in sicurezza per tempo di ritorno 200 anni o i franchi di seguito indicati devono stimare il rischio residuo.

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamenti
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm 75
Poco sistemato ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

Il franco non potrà comunque essere inferiore al carico cinetico della corrente; deroghe ai franchi sopra definiti potranno essere ammesse dall'Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Per quanto attiene alle opere in progetto le verifiche idrauliche stato di fatto/progetto hanno fatto necessariamente riferimento alla TR 200

Per quanto attiene alla sicurezza delle eventuali opere provvisorie del cantiere la proposta in questa sede è di far riferimento alle portate previste dalle NTCU 2018 per le opere provvisorie; in tal senso si veda quanto previsto al paragrafo 3.4.

In ogni caso l'indicazione generale espressa dalla pianificazione è quella di una destinazione al fiume delle aree che gli sono proprie, in quanto sede dei fenomeni idrodinamici correlati ai diversi stati idrologici, e di una riduzione della vulnerabilità delle stesse aree, in rapporto agli insediamenti che sono presenti o che si devono realizzare in futuro.

Nelle Fasce di alveo attivo (quali quelle antistanti il Cluster F) è pertanto assolutamente prevalente la funzione idraulica, rispetto alla quale la migliore compatibilità è offerta dalle aree naturali (vegetazione spontanea arborea ed erbacea, superfici di acque lentiche, aree prive di copertura vegetale) e dalle aree agricole.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 11 di 56</div>	

3. STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Come disposto dalla citata direttiva del PAI, tutti i progetti relativi agli interventi devono essere corredati da uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica commisurato alla rispettiva importanza e dimensione degli stessi interventi, che comunque non sostituisce la valutazione di impatto ambientale, gli studi e gli atti istruttori di qualunque tipo richiesti al soggetto promotore dalla normativa vigente.

Lo studio dovrà dimostrare:

- a) la compatibilità del progetto con quanto previsto dal PAI, ed in particolare dalle norme di attuazione e dalle misure di salvaguardia;
- b) che le realizzazioni garantiscano, secondo le caratteristiche relative a ciascuna fattispecie e le necessità, la sicurezza del territorio in coerenza con i tre criteri di priorità fissati all'art. 31, comma 2, lettera c) della L. 183/89 e riferiti alla "incolumità delle popolazioni", al "danno incombente" ed alla "organica sistemazione".

La compatibilità idrogeologica deve essere:

- a) verificata in funzione dei dissesti che interessano le aree a rischio idrogeologico come individuate dal PAI;
- b) stimata in base alla definizione ed alla descrizione puntuale delle interferenze tra i dissesti idrogeologici individuati e le destinazioni o le trasformazioni d'uso del suolo attuali o progettate;
- c) valutata confrontando gli interventi proposti con il livello di rischio individuato dal PAI e con gli effetti sull'ambiente.

Lo studio di compatibilità idraulica delle opere in progetto si propone in questa sede sia sviluppato sui seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

- Assetto geometrico dell'alveo,
- Caratteristiche morfologiche dell'alveo,
- Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale,
- Portate di piena,
- Opere di difesa idraulica,
- Manufatti interferenti,
- Modalità di deflusso in piena, (*)
- Effetti degli interventi in progetto.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 12 di 56</div>	

Osservazione:

Il software utilizzato per le modellazioni numeriche è Infoworks ICM che rappresenta lo stato dell'arte della modellazione integrata 1D/2D; le caratteristiche peculiari del software sono consultabili in maniera compiuta accedendo alle refernces della software house al link <https://www.innovyze.com/en-us/products/infoworks-icm>

3.1. GENERALITA'

3.1.1. IDROGRAFIA DEL FIUME TRESTE

Il Fiume Treste è un fiume Abruzzese, affluente del fiume Trigno, che a sua volta sfocia nel mare Adriatico.

Nasce nel monte Castel Fraiano, ad un'altitudine di 1412 m s.l.m, presso il comune di Castiglione Messer Marino, e scorre per 37 km attraversando, nell'ordine, il territorio dei comuni di Fraine, Carunchio, Liscia, Palmoli, San Buono, Furci, Fresagrandinaria e Cupello (per un brevissimo tratto), fino a confluire a sinistra nel fiume Trigno, in località Bonifica Bufalara.

Presenta un bacino idrografico di circa 160 kmq, e ricade interamente nella provincia di Chieti.

Durante il suo corso viene alimentato a sinistra dal canale Vallone Lama in corrispondenza della località di Ponte Rio Torto, nel comune di Fraine.

Poco più a valle delle sezioni di interesse il Treste si immette nel Trigno e somma ad esso il suo contributo idrologico.

Da un punto di vista idraulico Trigno e Treste risultano "idraulicamente" indipendenti ovvero le portate di piena in carico nel Trigno rigurgitano debolmente verso il Treste e viceversa.

3.2. ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO E CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

3.2.1. CARATTERISTICHE SPECIFICHE MORFOLOGICHE NELLA TRATTA DI INTERESSE

3.2.1.1 EVOLUZIONE MORFOLOGICA NELLE SEZIONI DI INTERESSE

Nelle seguenti immagini si riporta l'evoluzione morfologica dell'ultimo decennio del fiume Trigno nelle sezioni di interesse.

Come si può osservare, nel 2004, in prossimità del Cluster F, l'alveo del fiume risulta spostato verso la destra idraulica, in posizione che solo lambiva strada esistente in area golenale; negli anni successivi fino al settembre 2012 nulla o poco sembra essere cambiato rispetto a quanto osservato nel 2004.

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 13 di 56



Figura - 4 Immagine Google Earth Settembre 2004



Figura - 5 Immagine Google Earth Giugno 2011

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 14 di 56</div>	



Figura - 6 Immagine Google Earth Settembre 2012

Diversamente, ad Ottobre 2012, l'alveo del fiume si presenta leggermente spostato verso sinistra, ovvero incomincia un processo di "meandrizzazione" in sinistra che interessa il sedime originario della strada golenale che viene spostata verso il cluster F

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 15 di 56

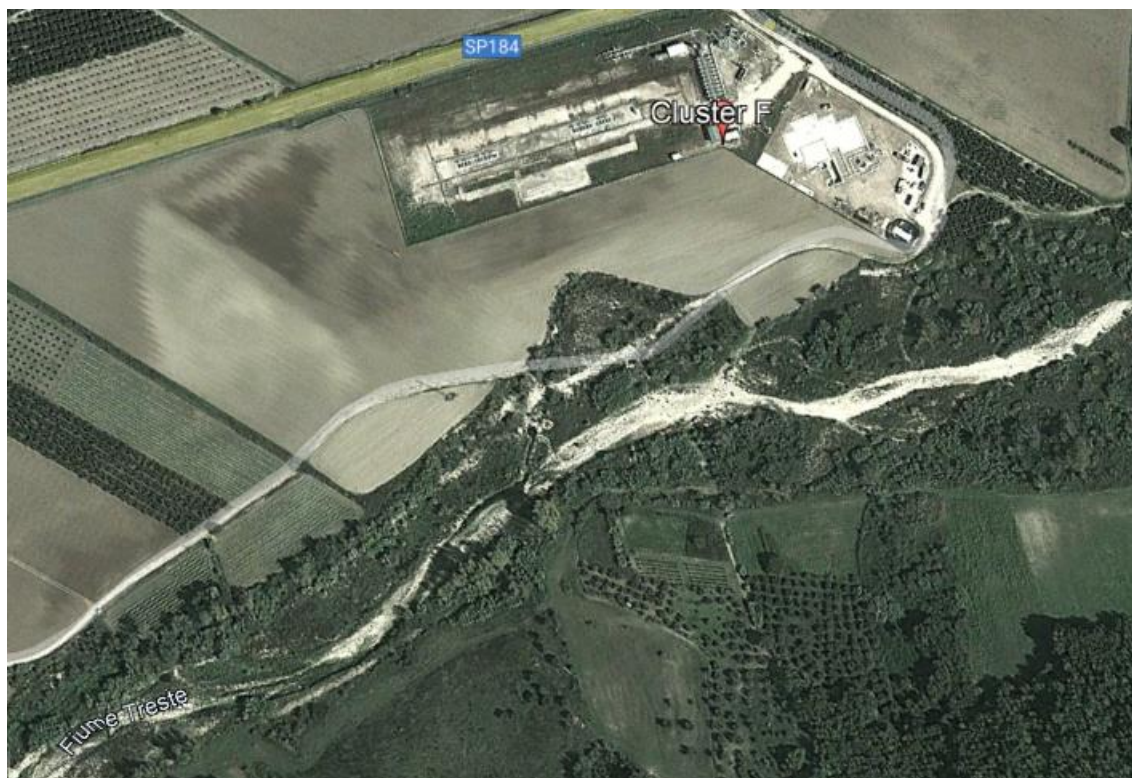


Figura - 7 Immagine Google Earth Ottobre 2012

A Ottobre 2014, la situazione risulta pressoché simile alla situazione osservata ad Ottobre 2012; mentre tra l'anno 2014 e l'anno 2016, sembra riaccentuarsi la forte erosione in sinistra idraulica che porta, l'alveo del fiume a scavalcare completamente la strada che fino a qualche anno prima risultava parallela ad esso.

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 16 di 56



Figura - 8 Immagine Google Earth Ottobre 2014



Figura - 9 Immagine Google Earth Giugno 2016

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 17 di 56</div>	

Dal 2017, la situazione sopra riportata risulta ulteriormente aggravata, dal momento che l'alveo del fiume continua ad erodere la sponda sinistra, avanzando sempre di più verso il Cluster F.



Figura - 10 Immagine Google Earth Ottobre 2017

Nell'anno 2022 l'azione del fiume risulta la medesima, ovvero il Fiume Treste continua la sua opera di erosione in sinistra idraulica; nel fotogramma sotto riportato la sponda in sinistra idraulica risulta oramai irrimediabilmente recessa verso il cluster F.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 18 di 56</div>	



Figura - 11 Immagine Google Earth Aprile 2022

3.3. CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DELL'ALVEO NELLA TRATTA DI INTERESSE

Dal punto di vista litostratigrafico e geolitologico, Il Treste nelle sezioni di interesse risulta impostato su depositi alluvionali ghiaiosi.

E' dunque caratterizzato da un substrato formato da sedimenti generalmente grossolani arrotondati tipici dell'ambiente fluviale.

In alveo si rileva la presenza di ghiaia arrotondata di colore grigio, eterogenea, con clasti di dimensioni variabili da centimetrici a pluridecimetrici, immersi in una matrice sabbioso limosa e argillosa con percentuali minime nella zona in centro alveo, e massime a ridosso delle sponde.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 19 di 56</div>	

3.4. PORTATE DI RIFERIMENTO

3.4.1. IDROLOGIA: STUDIO DELLE PORTATE PRESE A RIFERIMENTO NELLE MODELLAZIONI ESEGUITE

Come accennato le portate di progetto prese a riferimento per le verifiche di compatibilità idraulica delle opere di protezione in progetto sono:

- 502 mc/s TR200 portata di progetto per le opere definitive che dovranno essere messe in campo

:

Tempo di ritorno	Curva inviluppo
30	$Q = 8 A^{0.72}$
100	$Q = 10 A^{0.72}$
200	$Q = 13 A^{0.72}$
500	$Q = 17 A^{0.72}$

Il valore della portata risulta pari a circa:

$$Q=13*(160^{0.72})= 502.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

Per quanto attiene alle portate di progetto durante la realizzazione delle opere (cantiere) esse sono strettamente connesse alla possibilità che durante la durata prevista per le opere si verifichi una piena con un colmo di portata superiore alla capacità di deflusso della sezione adottata, comportandone la distruzione.

Le considerazioni che seguono si rifanno a quanto previsto nelle Norme di piano del PAI, dove si afferma che i calcoli idraulici per la definizione delle condizioni di deflusso vanno condotti con riferimento alle seguenti condizioni fisiche del corso d'acqua:

- assenza dell'opera (condizioni indisturbate),
- presenza dell'opera nella configurazione definitiva,
- fasi significative di costruzione dell'opera, tenendo in conto delle opere provvisorie eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata.

L'ultimo punto, che è quello di interesse nel caso in oggetto, prevede che il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni sia quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 20 di 56</div>	

corrispondente alle fasi di costruzione, non risulti superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera.

Quest'ultimo, definito come Rischio Idraulico, è espresso dalla seguente formula:

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

In cui:

- Ri = rischio idraulico;
- TR = tempo di ritorno in anni;
- N = orizzonte temporale di riferimento in anni.

Come accennato con riferimento alle NTCU 2018, le prescrizioni normative, prevedono che la verifica idraulica sia condotta per un tempo di ritorno pari a TR=200 anni e una durata delle opere N=50 anni ovvero con un rischio pari a Ri = 0.221

Imponendo per le opere provvisorie lo stesso rischio definito per l'opera, è possibile determinare il tempo di ritorno per la fase transitoria "provvisoria" (fase 2) in funzione del periodo di permanenza di quest'ultimo secondo la seguente formula:

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

Nella quale:

- C = durata di costruzione in anni;
- N = durata dell'opera;
- TR = tempo di ritorno di progetto.

Dall'applicazione della formula sopra esposta, considerando il tempo effettivamente previsto per l'intervento (N= 24 mesi) si otterrebbe un tempo di ritorno di progetto pari a 8.5 anni. A titolo di esempio, se la durata del cantiere fosse 36 mesi (3 anni), si otterrebbe un valore del tempo di ritorno per la fase di cantiere TR pari a 12 anni.

Pur trattandosi di una formulazione che si basa su condivise considerazioni di statistica e probabilità di accadimento, riportata peraltro anche nelle Norme di Piano del PAI (Direttiva contenente i criteri per la valutazione della

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 21 di 56</div>	

compatibilità idraulica) volendo tuttavia mantenere un approccio cautelativo e non rigido nella sua applicazione, si è scelto per il caso in oggetto di rifarsi ad un Tempo di ritorno di progetto pari a 10 anni, valore associato ad una ipotetica durata di cantiere di circa due anni e mezzo; per il calcolo delle portate di piena le norme tecniche di attuazione del PAI suggeriscono l'utilizzo delle seguenti curve di inviluppo ove Q è la portata in mc/s e A è l'area del bacino sotteso in kmq.

Tempo di ritorno	Curva inviluppo
30	$Q = 8 A^{0.72}$
100	$Q = 10 A^{0.72}$
200	$Q = 13 A^{0.72}$
500	$Q = 17 A^{0.72}$

Sulla base delle premesse sopra addotte, adottando la regressione logaritmica dei coefficienti A delle succitate curve di Inviluppo (ove 0.72 è costante ed indipendente dal TR) e ricordando di aver assunto 10 anni quale tempo di ritorno di progetto per le portate di verifica delle opere di "pronto accomodo":

Il valore della portata di cantiere risulta pari a circa:

$$Q = 4.5 \cdot (160^{0.72}) = 173 \text{ m}^3/\text{s}$$

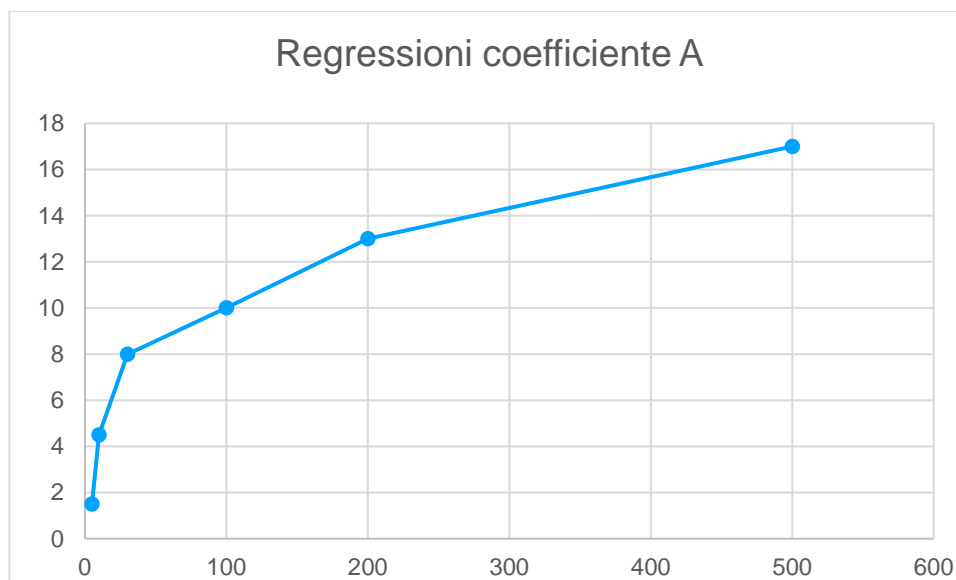


Figura - 12 Regressione logaritmica delle portate Fiume Trigno

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143	Pag. 22 di 56

3.5. OPERE DI DIFESA IDRAULICA E MANUFATTI INTERFERENTI

3.5.1. STATO DI FATTO

La tratta in esame nello stato di fatto risulta caratterizzata dalla totale assenza di manufatti interferenti

- sia di attraversamento (ponti e viadotti);
- sia di protezione spondale.

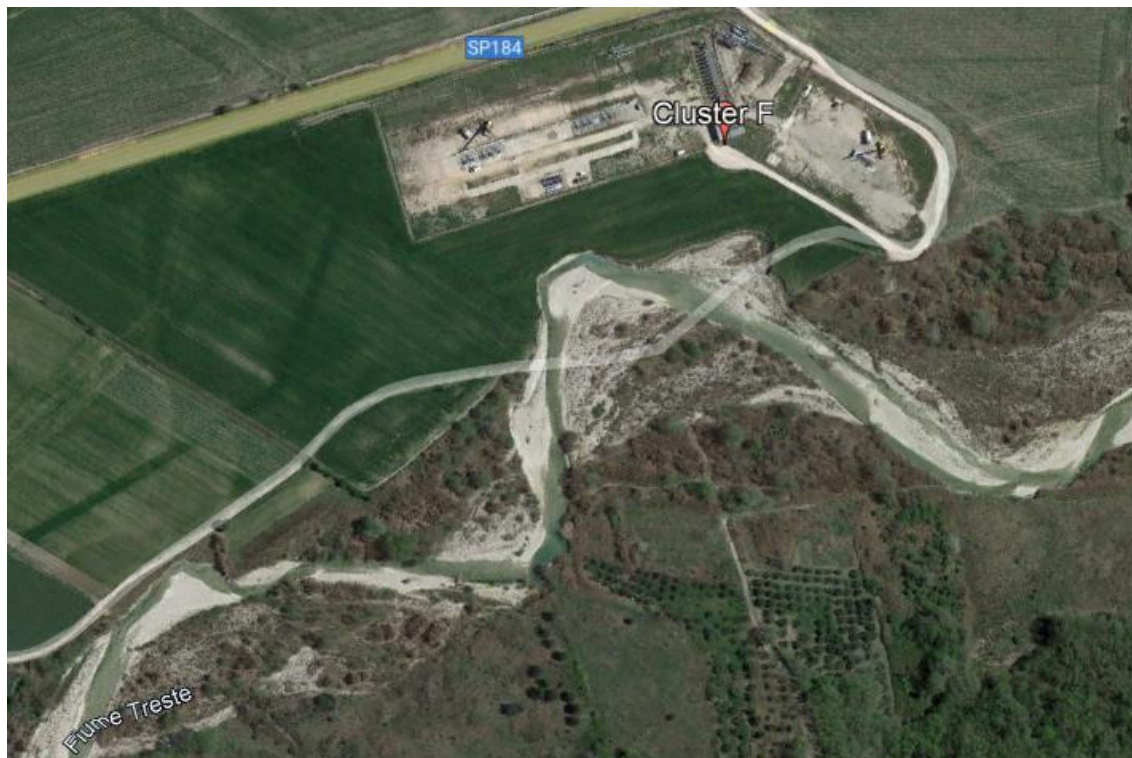


Figura - 13 Assenza di Strutture di controllo deflusso: Ortofoto 2022

3.5.2. STATO DI PROGETTO

L'intervento di pronto accomodo in progetto riguarda la sistemazione alveare e spondale del Fiume Treste, al fine di proteggere l'area del Cluster F da futuri eventi alluvionali che potrebbero accentuare l'erosione presente. Tale corso d'acqua risulta costituito da un alveo largo circa 50,00 m ed una zona golenale ampia circa 120,00 m.

A seguito degli ultimi eventi alluvionali, il corso ha accentuato l'erosione presente in sponda sinistra, portandosi a circa 33,65 m. dalla recinzione del Cluster F e creando una parete pressoché verticale. Attualmente il letto di magra

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 23 di 56</div>	

è situato verso la parte sinistra dell'alveo, in leggero allontanamento dall'ansa in erosione. Tuttavia, in virtù del contesto idraulico e dell'importanza strategica dell'Asset, si ritiene, in attesa dell'esecuzione di un'opera definitiva, di realizzare un intervento di pronto accomodo.

La realizzazione dell'intervento consiste principalmente nella riprofilatura dell'alveo, per una lunghezza di circa 200,00 m, mediante movimentazione del materiale ghiaioso presente tra l'attuale letto di magra e la sponda destra, che verrà posizionato a ridosso dell'ansa erosiva formatasi in sinistra, coadiuvando l'ammorsamento dei pennelli repellenti all'interno della sponda erosa: mantenendo dunque gli attuali piani di scorrimento, si realizzerà un nuovo letto di magra, largo circa 20,00 m, posizionato nella parte centrale del Fiume, in allontanamento dall'erosione.

L'intervento a difesa dell'area Cluster F prevede inoltre la realizzazione delle opere necessarie alla messa in dimora:

- 1) di una arginatura non tracimabile di contenimento della piena TR200 cucita a quella esistente posta a monte del sistema di pennelli repellenti tracimabili di cui ai seguenti punti;
- 2) di N° 7 pennelli tracimabili ad altezza variabile dimensionati per le spinte idrostatiche e idrodinamiche e verificati a scalzamento con il compito di deflettere il campo di velocità potenzialmente critico per i fenomeni di erosione spondale in atto verso il centro alveo
- 3) ripascimento per coadiuvare l'ammorsamento in terreno stabile e non esondabile dei pennelli di cui al punto precedente
- 4) di n°2 cunettoni di stabilizzazione delle quote di imposta dei pennelli posti a monte e valle della tratta interessata alla realizzazione dei pennelli medesimi
- 5) di tutte le opere al contorno, di sistemazione dell'alveo, non specificatamente qui indicate ma necessarie alla gestione dell'alveo nel periodo transitorio (ture di sbarramento tracimabili, deviazioni dell'alveo di magra, creazione/mantenimento dinamico di alveo di magra, ecc)

Il tutto come evidenziato negli elaborati tecnici allegati alla presente relazione. La platea di fondazione in massi sarà interrata per le quote indicate dai disegni progettuali e comunque per una quota non inferiore a 1.5 m sotto l'attuale piano di scorrimento del Fiume Treste, previa bonifica del fondo, ritenendo tale quota non raggiungibile da futuri fenomeni di erosione.

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE		Commessa: NQ/S20011/I01	Codice elaborato: 0418-01-DALB-34143
				Pag. 24 di 56

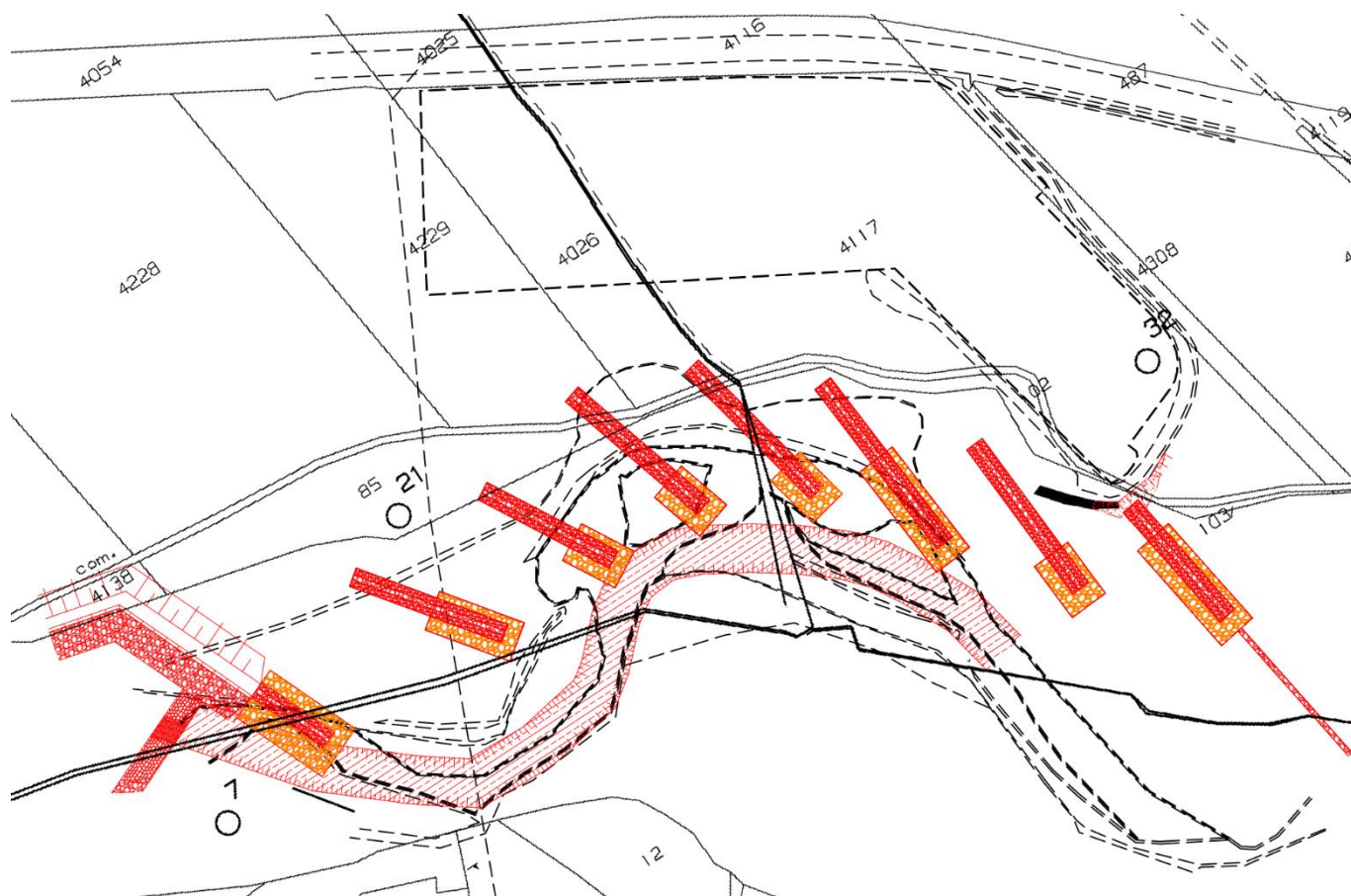


Figura - 14 Sezioni di controllo e posizione indicativa delle infrastrutture in progetto

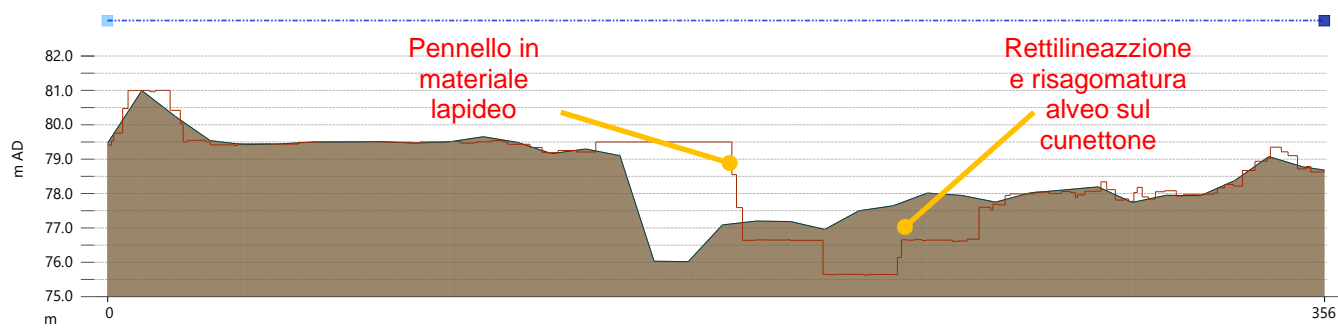


Figura - 15 Sezione di sovrapposizione DTM stato di fatto e di progetto

Per quel che attiene alla sezione caratteristica dei pennelli e delle platee di fondazione dei medesimi si vedano le risultanze delle verifiche di stabilità globale in condizioni idrostatiche ed idrodinamiche, le verifiche a trascinamento

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143

dei massi e le verifiche a scalzamento che hanno portato alle dimensioni di cui ai particolari costruttivi allegati alla presente relazione.

In linea del tutto sintetica:

- 1) Le platee di fondazione dovranno essere approfondite a non meno 1.5 m dal piano di imposta del pennello tracimabile (piano di imposta che grossomodo
- 2) I massi dei pennelli devono avere il diametro non inferiore a 1 metro e peso complessivo pari a circa 2500 kg

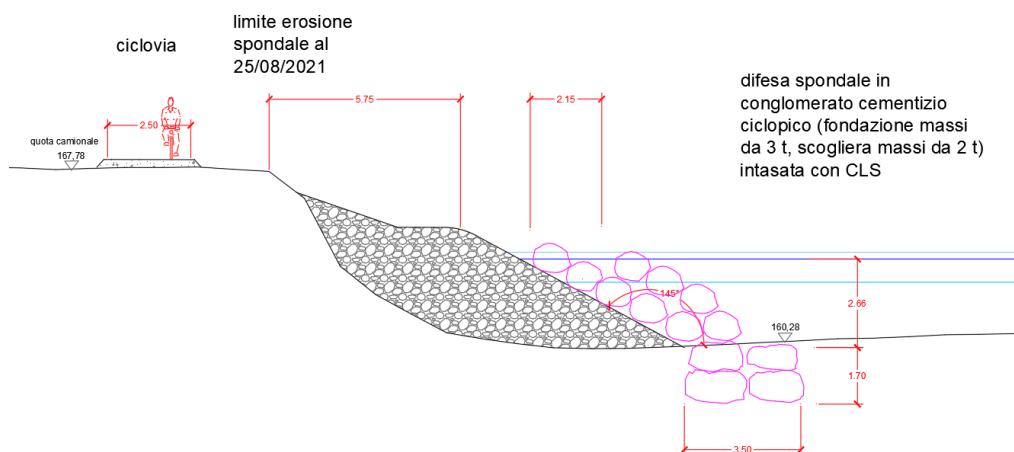


Figura - 16 Stato di progetto esempio "tipico" di repellente spondale

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 26 di 56</div>	

3.6. MODALITÀ DI DEFLUSSO IN PIENA: IDRAULICA

3.6.1. Modello digitale del terreno assunto a base delle modellazioni

Come accennato è stato eseguito un nuovo volo Lidar per la creazione di un DTM attuale sulle sezioni di interesse.

Osservazione

In linea del tutto generale, con specifico riferimento alla creazione del nuovo DTM le quote analizzate presentano una sostanziale variazione morfologica della tratta che inequivocabilmente mostra una dinamica fluviale che tende ad erodere progressivamente la sinistra idraulica depositando progressivamente sedimento sul lato destro del fiume:

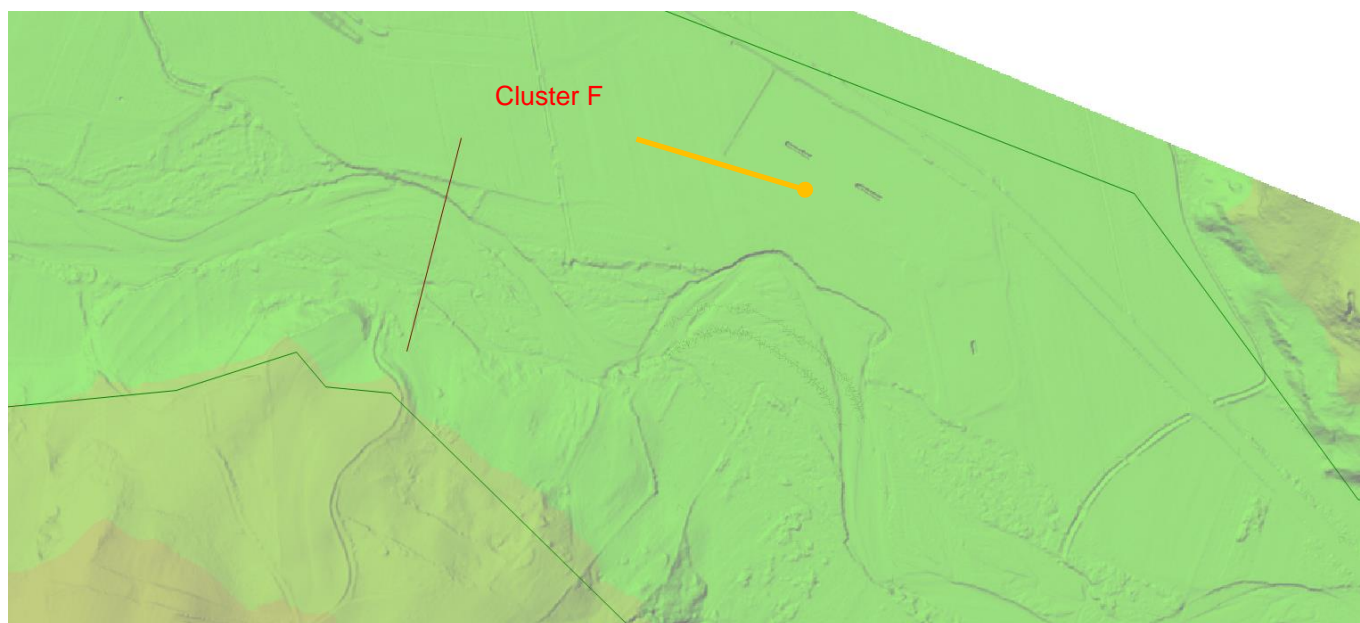


Figura - 17 Volo LIDAR e DTM 2022

3.6.2. Caratteristiche del modello

La ricostruzione morfologica degli areali di simulazione è stata definita con una mesh – o maglia – bidimensionale a passi differenti a seconda del punto caratteristico oggetto di modellazione idraulica: come risulta evidente dall'immagine sotto riportata, il passo caratteristico della mesh nelle aree di esondazione risulta essere maggiore di quello utilizzato per l'alveo; tale passo è ulteriormente rinfittito in prossimità delle variazioni di quota:

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 27 di 56</div>	

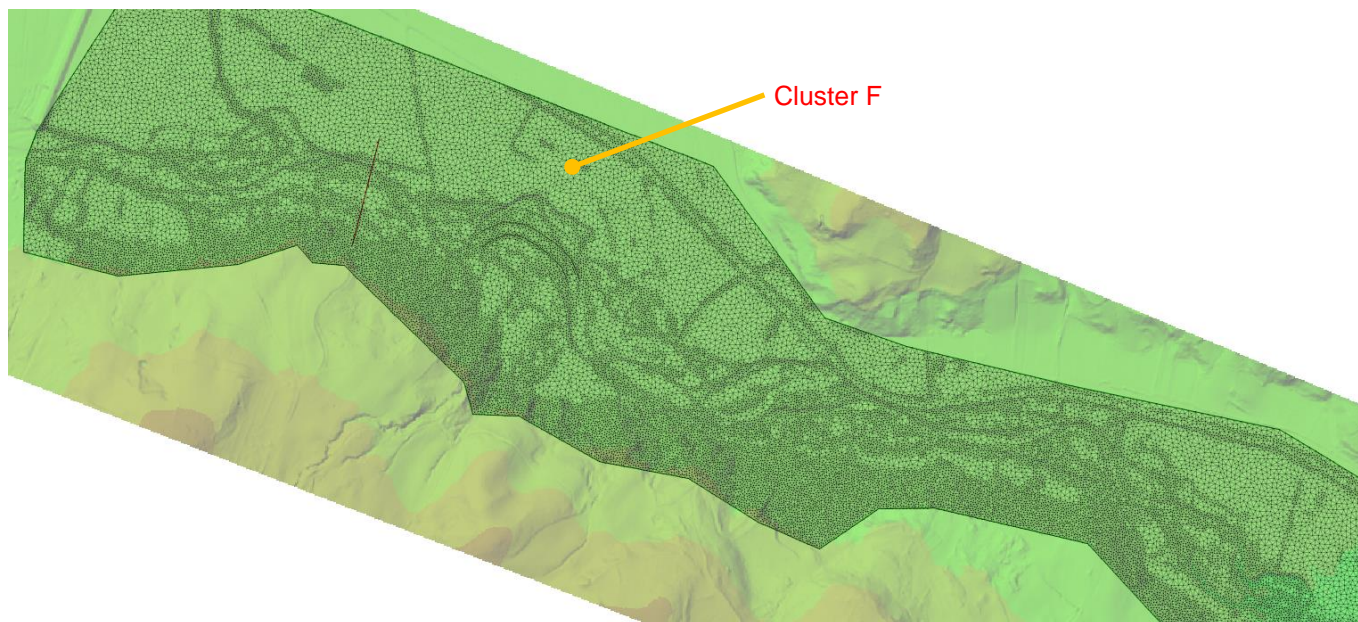


Figura - 18 passo caratteristico della mesh 2d

Alla mesh bidimensionale adottata viene attribuito un valore di scabrezza caratteristico per le condizioni in cui l'alveo e le golene delle tratte oggetto di modellazione si trovano nello stato di fatto e nello stato di progetto.

La scabrezza (cfr. paragrafo successivo) costituisce il parametro di taratura del modello bidimensionale, funzionale ad ottenere risultati delle simulazioni il più possibile aderenti ai risultati ufficiali –in termini di altezze idrometriche registrate o calcolate-

- Mesh di Calcolo:
- Lunghezza tratto esaminato 5500 m
- Numero elementi 186.328
- Dimensione delle celle (min 5, max 50 mq)

3.6.3. Scabrezza

Il coefficiente di scabrezza rappresenta, come misura globale, la resistenza al moto da parte del flusso idrico; il modello idraulico utilizzato consente l'utilizzo di valori differenti per la scabrezza per l'alveo inciso e per le aree golenali, nel rispetto dell'ipotesi di parzializzare la portata di piena in tali aree.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 28 di 56</div>	

La formula utilizzata è la seguente:

$$v = (1/n) R^{2/3} i^{0.5}$$

dove:

- v = velocità media della corrente (m/s),
- R = raggio idraulico (m)
- i = pendenza di fondo (m/m)
- n = coefficiente di Manning.

Il coefficiente di Manning è valutato come:

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

I singoli fattori che determinano il coefficiente di scabrezza n sono ottenuti dalla seguente tabella:

n_0 materiale costituente l'alveo	
Terra	0.020
Roccia	0.025
Alluvione grossolana	0.028
Alluvione fine	0.024
n_1 irregolarità della superficie della sezione	
Trascurabile	0.000
Bassa	0.005
Moderata	0.010
Elevata	0.020
n_2 variazione della forma e delle dimensione della sezione trasversale	
Graduale	0.000
Variazione occasionalmente	0.005
Variazione frequente	0.010-0.015
n_3 effetto relativo alle ostruzioni	
Trascurabile	0.000
Modesto	0.010-0.015
Apprezzabile	0.020-0.030
Elevata	0.040-0.060
n_4 effetto della vegetazione	
Basso	0.005-0.010
Medio	0.010-0.025
Alto	0.025-0.050
Molto alto	0.050-0.100
m_5 grado di sinuosità dell'alveo	
Modesto	1.000

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	Commessa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143	Pag. 29 di 56

Apprezzabile	1.150
Elevato	1.300

Tabella 3.1- 1 Fattori del coefficiente di scabrezza n di Manning

Dove per i singoli fattori che determinano il coefficiente di scabrezza n si è fatto riferimento ai valori “tipici” contenuti nel Manuale dell’Ingegnere.

Il corso d’acqua esaminato:

- relativamente all’alveo di magra, risulta formato nella parte di monte da ghiaia mista a ciottoli;
- le zone golenali sono ricoperte da vegetazione rada e, in pochi tratti, da vegetazione a basso fusto;
- in altre tratte le aree golenali sono interessate da cave di materiale ghiaioso o sabbioso per lo più protetto o non riconnesso al sedime fluviale che in occasione di piene severe determinano la creazione di areali ad esondazione preferenziale che tendono a svuotarsi per percolazione in falda ed evapotraspirazione.

Dai calcoli assunti la scabrezza equivalente utilizzata per la modellazione risulta essere $n=0.055$

3.7. EFFETTI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

3.7.1. STATO DI FATTO

Per quanto le simulazioni dello stato di fatto dell’assetto fluviale sono state riprodotte numericamente le piene conseguenti:

- sia alla TR200 nella tratta di interesse -502 mc/s-
- sia alla portata TR10 per le opere di provvisionali” -circa 175 mc/s-

Osservazioni:

le simulazioni con portate TR200 servono per il confronto SF/SP necessario per la valutazione della compatibilità idraulica ovvero ai benefici indotti dalle opere in progetto; le simulazioni TR10 per una valutazione delle altezze idrometriche eventualmente necessarie all’impresa per le opere provvisionali delle attività di cantiere

Facendo riferimento ai valori di portata precedentemente indicati; le immagini seguenti descrivono entrambi gli scenari di simulazione delle aree interessate dal deflusso ed eventuale esondazione del fiume, in termini di altezza di acqua, velocità e direzione della corrente; un approfondimento specifico è stato fatto per quanto attiene al N° di Froude.

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F <hr/> Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE <hr/> <div> Commessa: NQ/S20011/I01 </div> <div> Codice elaborato: 0418-01-DALB-34143 </div>	Progettista:  <div> Pag. 30 di 56 </div>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Le mappe tematiche di seguito esposte mostrano chiaramente come, nello stato di fatto, la portata di piena transiti principalmente lungo direttrici che si sviluppano lungo il meandro in formazione in sinistra idraulica, a ridosso della sponda.

E' infatti in corrispondenza della sponda ed in particolare di quella sinistra, che si riscontrano le altezze idrometriche maggiori, la massima concentrazione di linee di flusso (freccette rosse), nonché le maggiori velocità della corrente.

Diversamente, nella parte centrale dell'alveo (quella entro cui si vorrebbe deviare il deflusso nello stato di progetto), tanto i livelli, quanto le velocità assumono valori decisamente inferiori. Inoltre, essendo tali risultati riferiti a piene eccezionali, ne consegue che in occasione di piene ordinarie la parte centrale dell'alveo venga interessata in maniera marginale dal deflusso, il quale si concentra ancor più sul canale di magra presente lungo la sponda sinistra.

In sintesi, prendendo a riferimento sia lo scenario con portata corrispondente alla TR=10 anni sia lo scenario con portata TR=200 anni, in prossimità del tratto oggetto di intervento, a ridosso della sponda sinistra, si ottengono tiranti idrici >2 metri e velocità massime comprese fra 4 e 5 m/s.

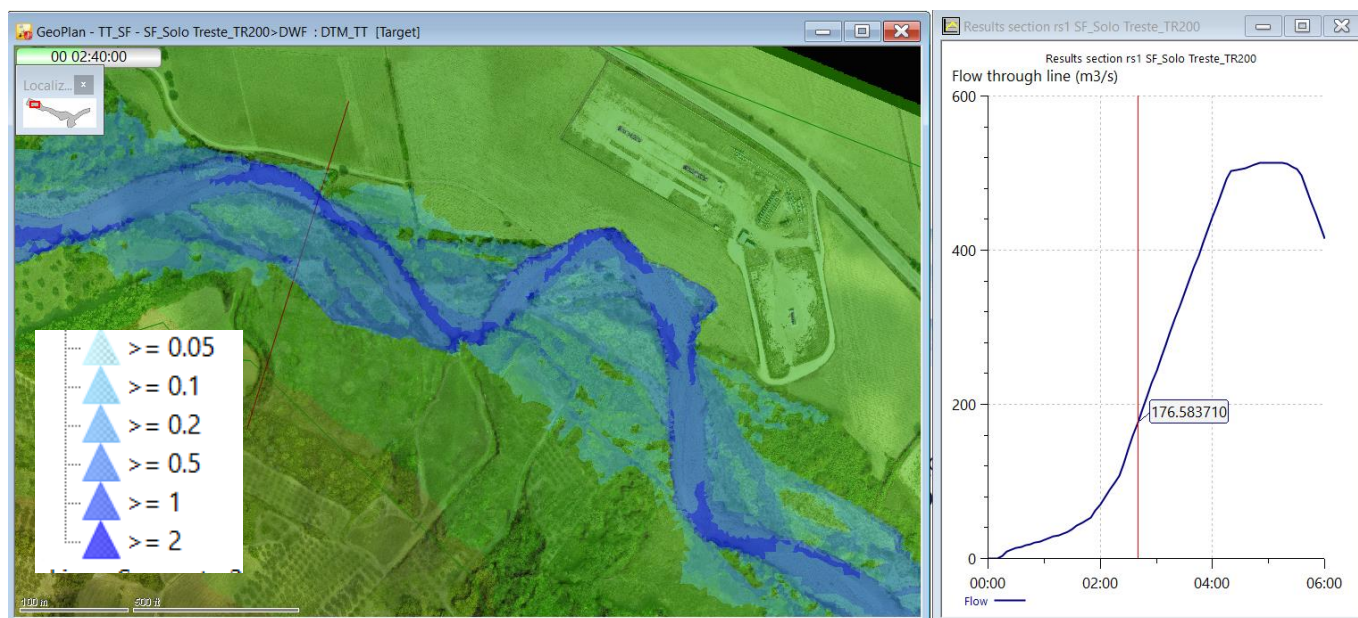


Figura - 19 Tirante idrico (m) – Portata 175 mc/s

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F	Progettista: 		
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE	Commessa: NQ/S20011/I01	Codice elaborato: 0418-01-DALB-34143	Pag. 31 di 56

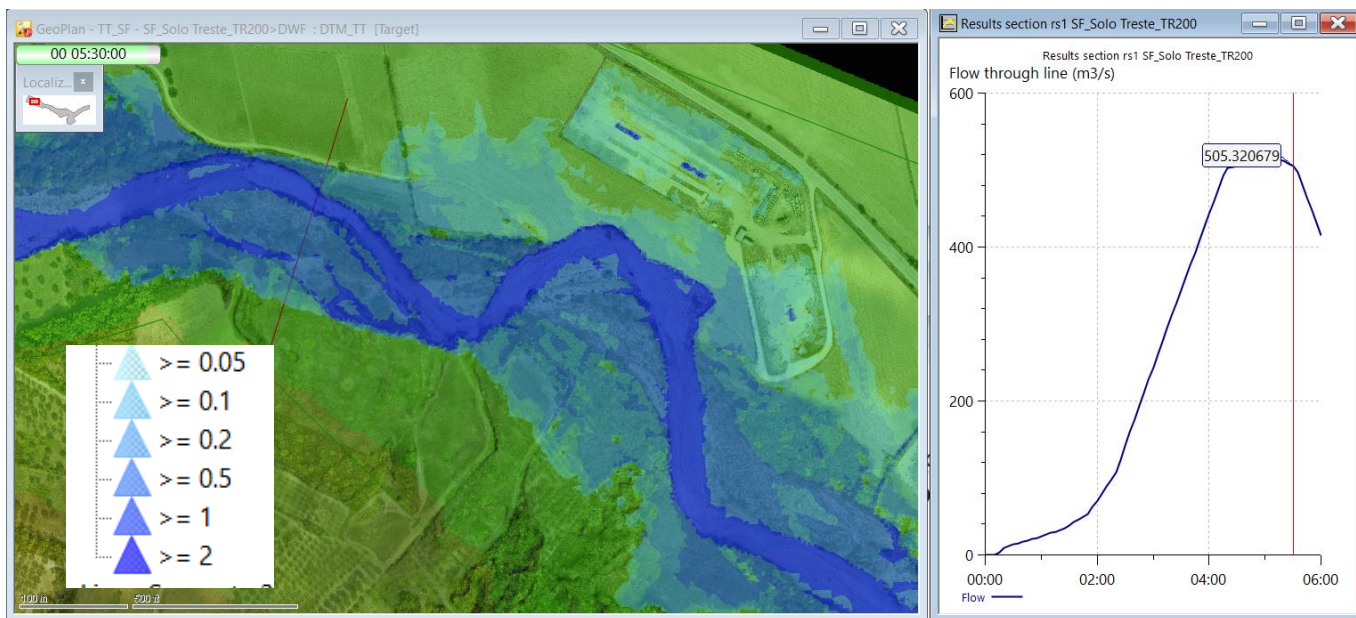


Figura - 20 Tirante idrico (m) – Portata TR = 200 anni (502 m³/s)

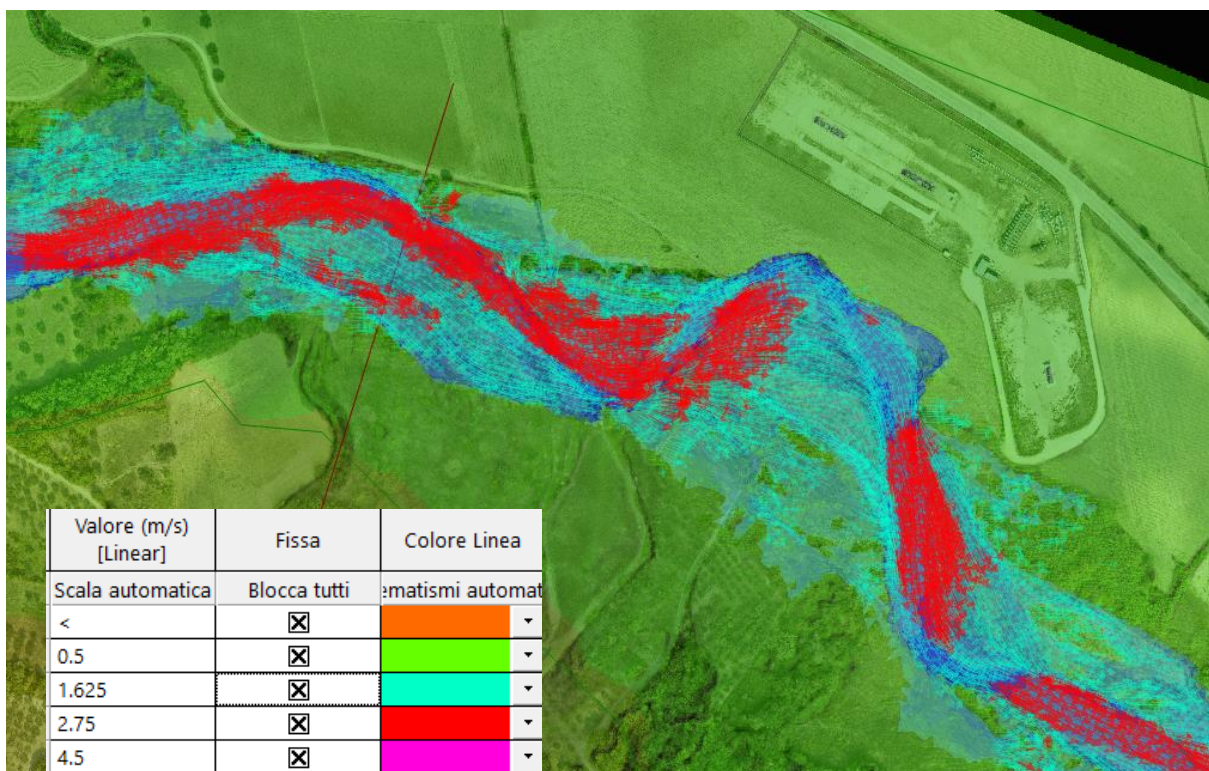


Figura - 21 Traiettorie di flusso della corrente e velocità– Portata TR10 anni (175 m³/s)

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 32 di 56</div>	

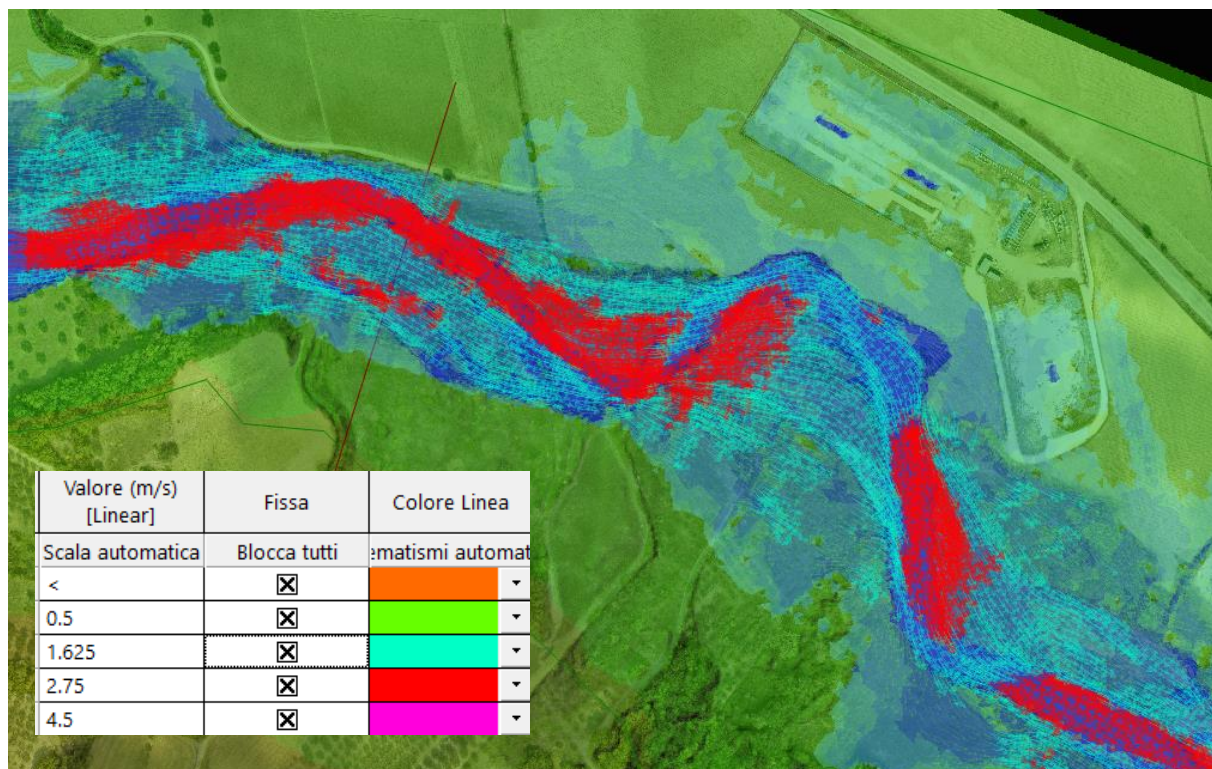


Figura - 22 Traiettorie di flusso della corrente – Portata TR = 200 anni (502 m³/s)

Eventuali opere di protezione del cantiere (palancolate, arginature provvisorie ecc.) dovranno avere altezze compatibili con quella che si verifica con la TR 10 ovvero pressappoco 78.00 m.s.l.m. più un franco idraulico di 30/50 cm

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commessa: NQ/S20011/I01	Codice elaborato: 0418-01-DALB-34143	Pag. 33 di 56	

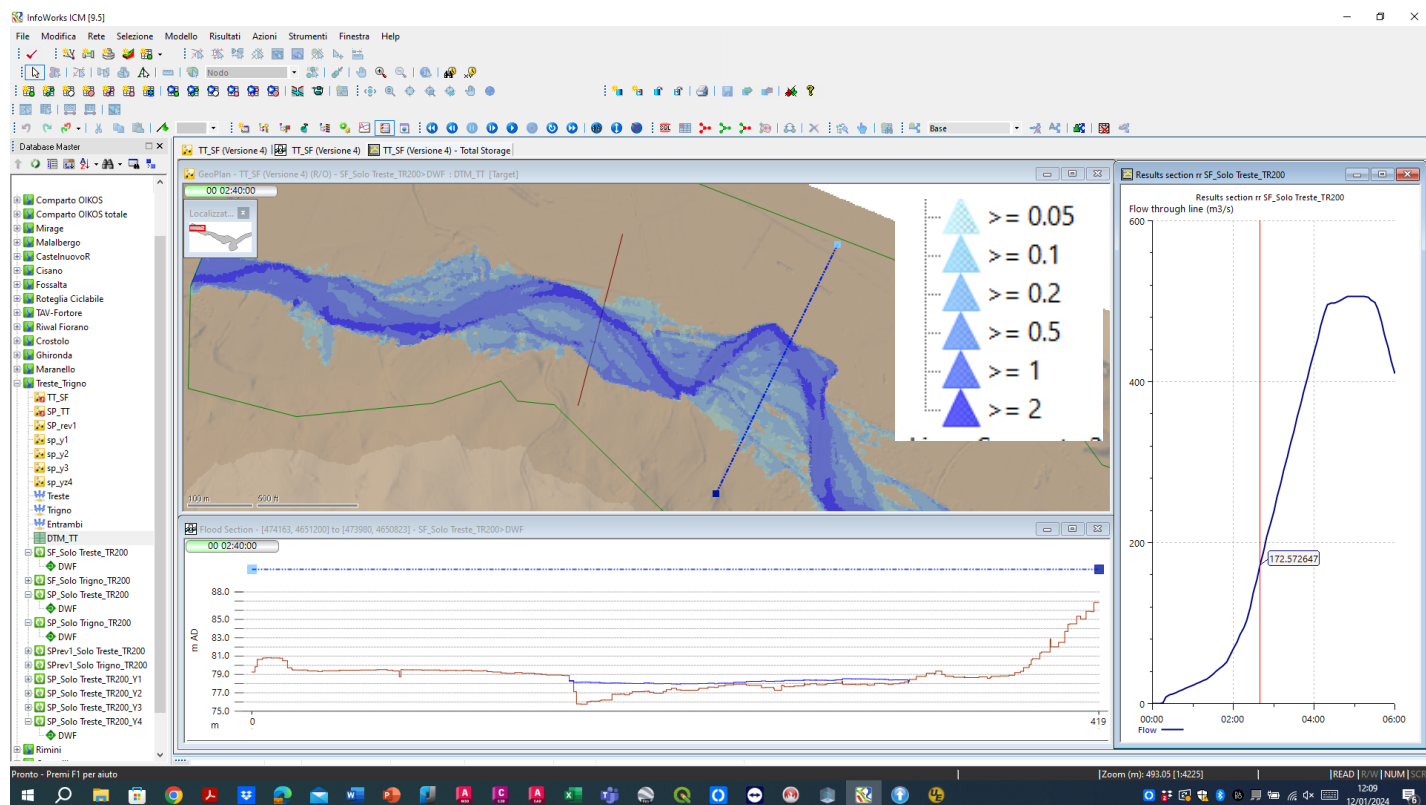


Figura - 23 TR10 altezze idrometriche di riferimento per opere di cantiere

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 34 di 56

3.7.2. STATO DI PROGETTO

Per quanto attiene alle simulazioni nello stato di progetto lo spostamento del deflusso verso il centro alveo determina un notevole beneficio rispetto alla capacità erosiva dell'acqua in quanto il campo di maggiore altezza idrometrica e di maggiore velocità viene allontanato dalla sponda sinistra in erosione, così come evidenziato nelle seguenti immagini:

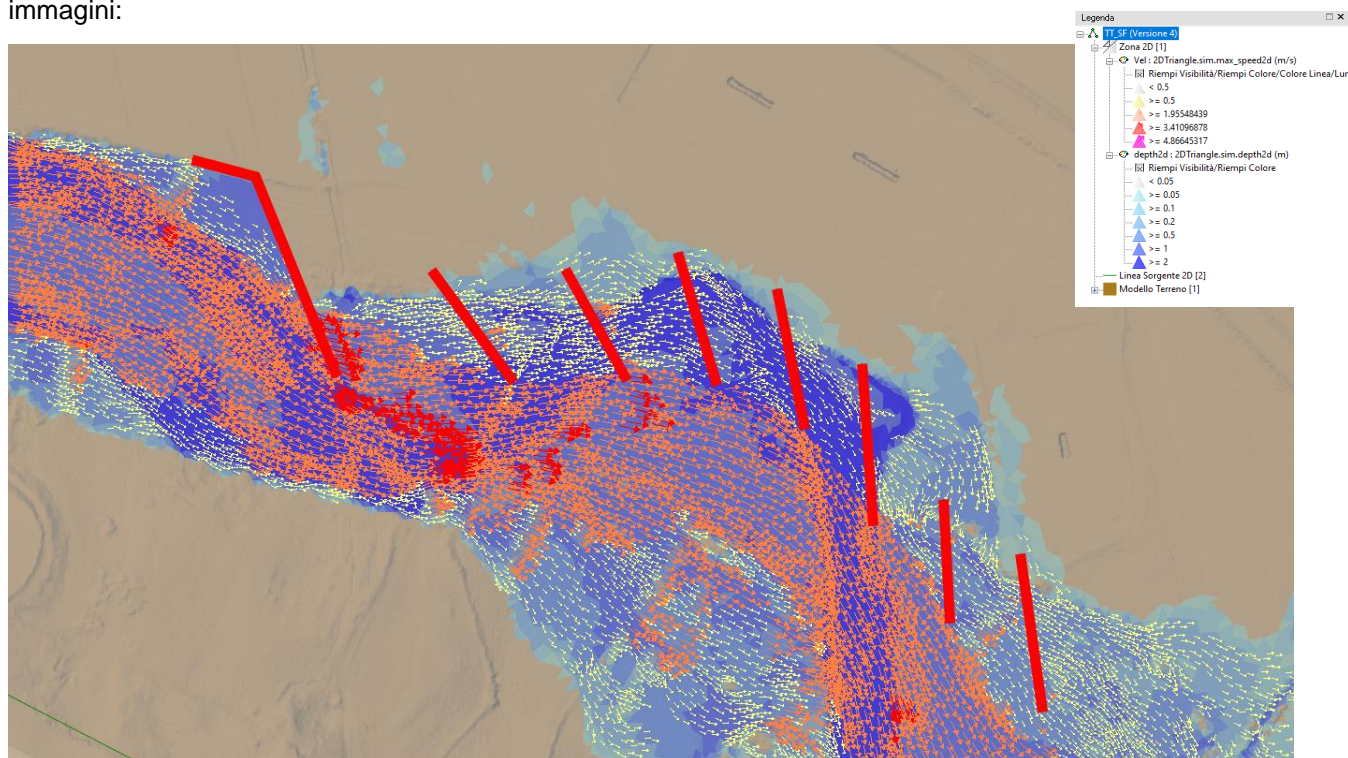


Figura - 24 Stato di progetto: tematismo massima altezza idrometrica e velocità TR 200 in corrispondenza delle sezioni di interesse

- L'effetto "immediato" dei pennelli è quello di tenere il campo ad energia cinetica elevata lontano dalla sponda sinistra deflettendo il campo delle velocità critiche di deflusso verso il "centro alveo"
- L'effetto di questo spostamento del campo di elevate velocità è:
 - L'immediato arresto dei fenomeni erosivi in atto in sinistra
 - Il probabile progressivo "interrimento" del meandro in sinistra negli spazi tra i pennelli
 - La creazione di un alveo inciso di magra in centro alveo al difuori delle traiettorie definite dalle "punte" dei pennelli in corrispondenza delle gavete definite dai cunettoni previsti sul prolungamento dei pennelli di monte/valle

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>				
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143	Pag. 35 di 56

L'effetto indotto sulla corrente dalla presenza della tracimazione dei pennelli risulta congrua con le aspettative di letteratura essendoci un "abbassamento gradinato" indotto sui livelli idrometrici in corrispondenza dei pennelli (vedi figura seguente):

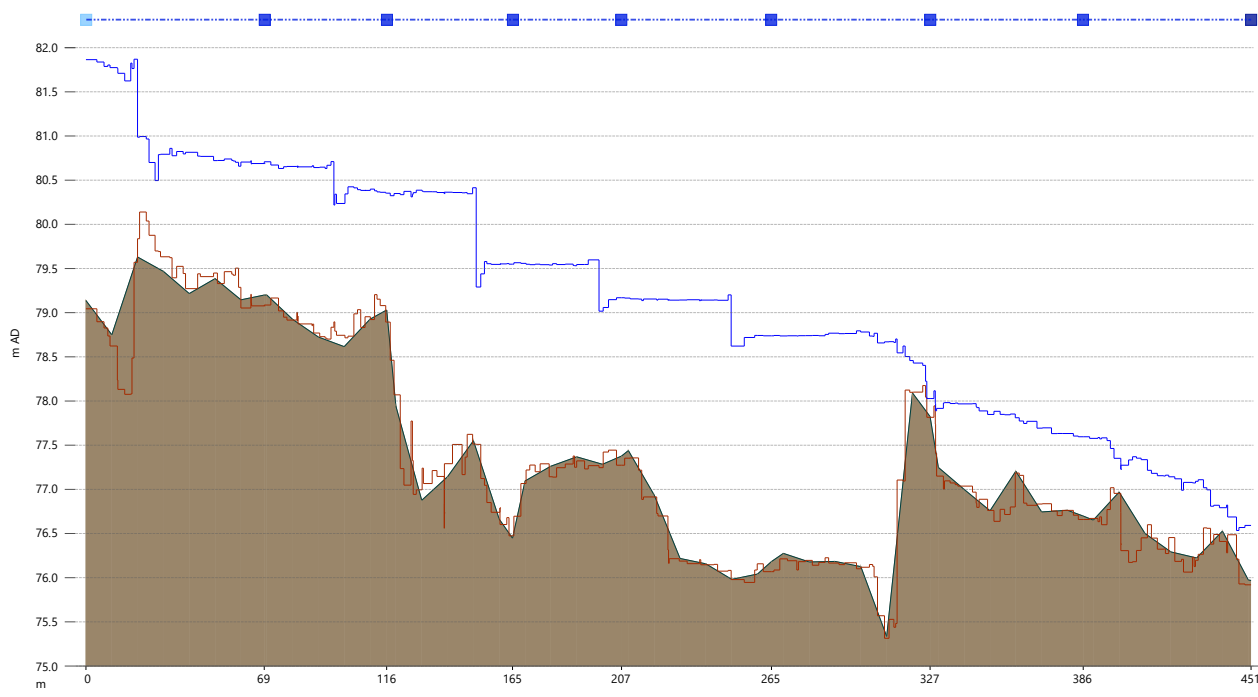


Figura - 25 Stato di progetto: TR 200 effetto "gradonatura" dei livelli idrometrici e risalto idraulico a valle del pennello

le massime velocità ($V > 4-6$ m/s) si verificano in prossimità della "punta" del pennello maggiormente esposta verso il centro alveo, per la realizzazione della quale dovranno essere impiegati i massi di maggiore peso e per la quale non si esclude la necessità di procedere mediante intasamento dei blocchi mediante CLS;

Nelle immagini seguenti si può apprezzare l'effetto dei pennelli sul numero di Froude che determinano una campo di energia inferiore a ridosso della sponda sinistra

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commessa:</div> <div>NQ/S20011/I/01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 36 di 56</div>	

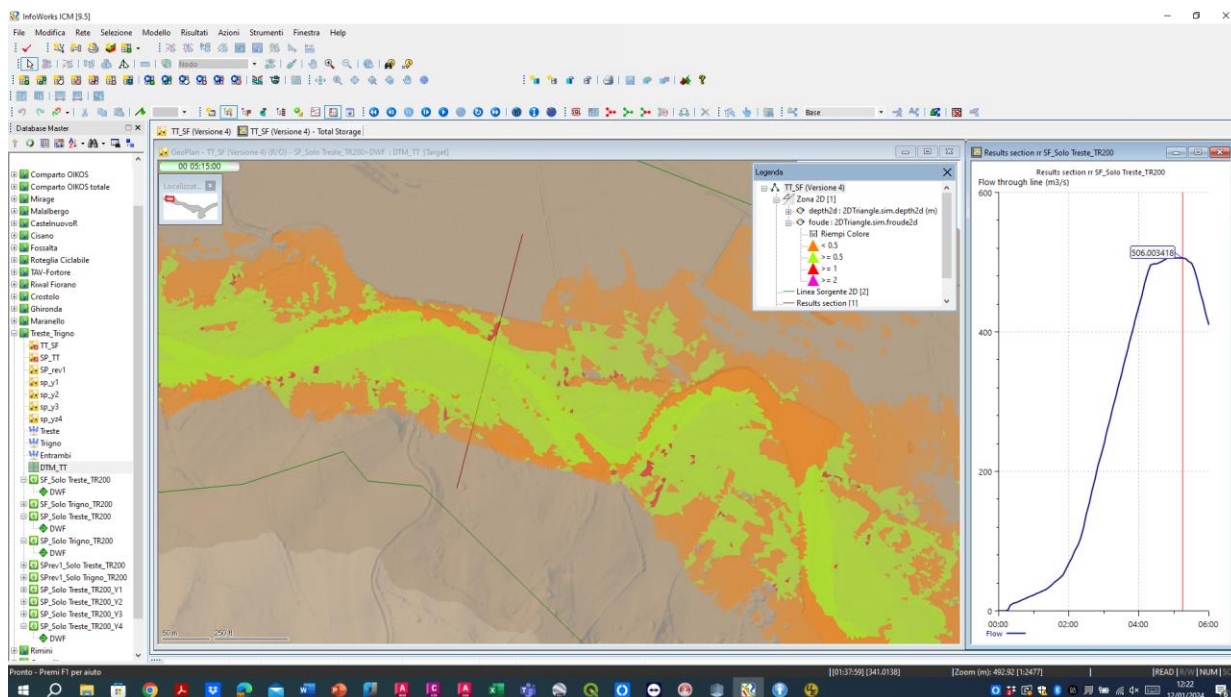


Figura - 26 Stato di fatto: TR 200 numero di Froude

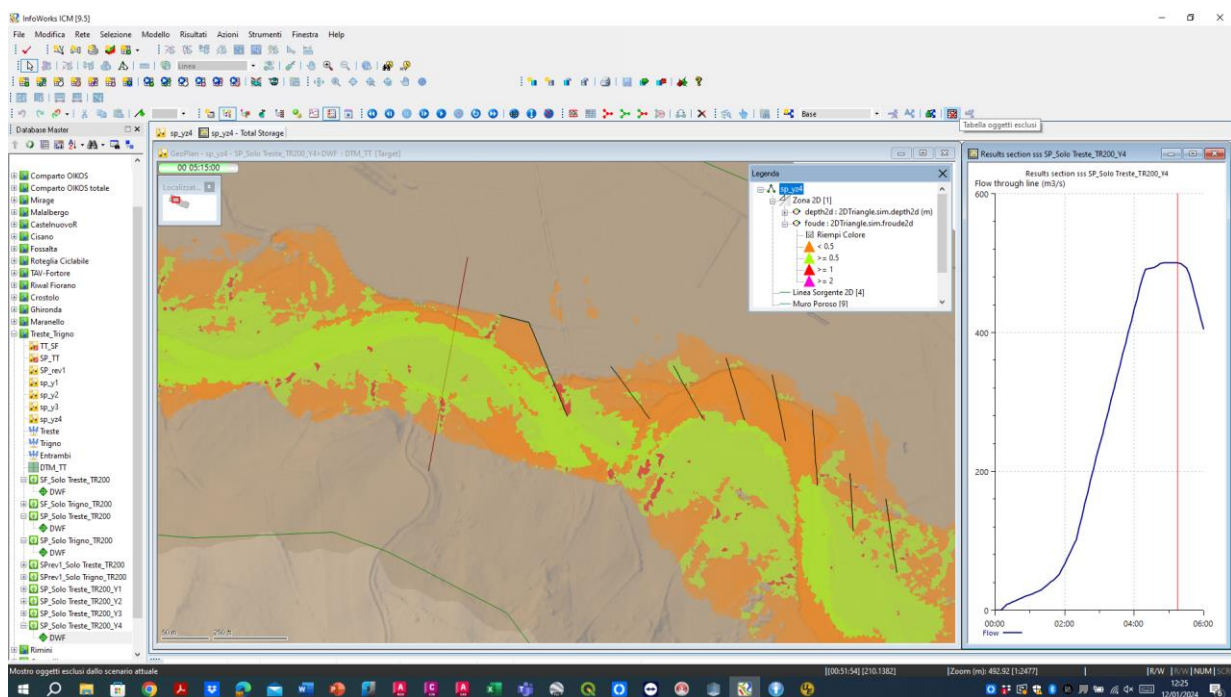


Figura - 27 Stato di progetto: TR 200 numero di froude

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	Commessa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143

3.7.3. Verifica delle opere di protezione contro l'erosione (dimensionamento massi)

In seguito alla valutazione dei livelli connessi al transito della piena di riferimento è stata verificata la dimensione minima dei massi utilizzabili nei pennelli repellenti in funzione dell'azione di trascinamento della corrente. Si riportano in seguito le verifiche effettuate per tale aspetto.

L'analisi delle condizioni critiche di moto incipiente è effettuata mediante l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento. Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

dove:

- γ è il peso specifico dell'acqua;
- R è il raggio idraulico della sezione;
- i la pendenza di fondo.

La condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ossia quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente.

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936, la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \varphi(Re^*)$$

dove:

- τ_{cr} è la tensione tangenziale critica;
- γ_s è il peso specifico materiale d'alveo;
- γ è il peso specifico dell'acqua;
- d è il diametro del granulo;
- φ è il parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli, del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re^*) relativo alla velocità di attrito.

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini empirici ed ingegneristici sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 38 di 56</div>	

che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

Shields $\varphi = 0,058 \div 0,060$ nell'espressione originale di Shields, valida in moto turbolento $Re^* > 1000$ e con diametro medio del materiale molto inferiore del tirante idrico;

Kalinske $\varphi = 0,116$ nell'espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle;

Armanini $\varphi = 0,06 [1 + 0,67(d/h)^{0,5}]$ nella formulazione di Armanini, valida per diametri comparabili con il tirante idrico h.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti le opere di difesa in progetto verrà fatto riferimento, nel caso specifico, all'espressione di Shields nella formulazione di Armanini.

Per le verifiche di stabilità del paramento inclinato, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza α della sponda rispetto all'orizzontale. A tal scopo è normalmente utilizzata la seguente espressione (E.Lane, 1953):

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

dove:

- $\tau_{cr}(0)$ è la tensione critica sul fondo;
- α è l'angolo indicante la pendenza della sponda rispetto all'orizzontale;
- φ_m è l'angolo d'attrito interno del materiale.

Dal confronto fra le tensioni tangenziali esercitate dalla corrente sul fondo e la corrispondente tensione tangenziale critica legata alla pezzatura del materiale utilizzato per il rivestimento, è possibile verificarne la stabilità in alveo identificando le dimensioni dei massi impiegati attraverso il diametro medio di calcolo D50.

Volendo esprimere l'ordine di grandezza dei massi tramite il loro peso, si consideri che, in generale, il volume di elementi di forma abbastanza regolare è compreso tra quello di un cubo di lato pari alla dimensione caratteristica

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commessa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 39 di 56</div>	

calcolata D50 e quello di una sfera di tale diametro. Il rapporto tra questi due volumi è 0,52, mentre il volume del masso caratteristico sarà circa pari a 0,8 volte il volume del cubo.

Per il calcolo del volume del masso caratteristico si utilizzerà la seguente formula:

$$V = 0,80 \cdot (D_{50})^3$$

dove:

- D50 è il diametro medio di calcolo;
- V è il volume del masso caratteristico.

Il volume V moltiplicato per il peso specifico del materiale utilizzato fornisce il peso corrispondente del materiale impiegato. La formula in termini matematici risulta essere la seguente:

$$P = V \cdot \delta$$

dove:

- P è il peso del masso caratteristico;
- V è il volume del masso caratteristico;
- δ è il peso specifico dei massi caratteristici.

In seguito si mostrano in forma tabellare i calcoli eseguiti sia per l'azione sul fondo che sulle sponde inclinate nelle sezioni di intervento per un'azione della piena di riferimento.

La simbologia utilizzata sarà quella precedentemente mostrata.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 40 di 56</div>	

CARATTERISTICHE MASSI		
D50	0,84	m
V	0,47	m ³
δ	18,00	kN/m ³
P	853,49376	kg

VERIFICA FONDO ALVEO		
PARAMETRO	U.M.	VALORE
γ	kN/m ³	9,806
Tipo sezione	-	Trapezia
Larghezza base	m	50,00
Inclinazione sponde	°	35,00
Tirante idrico	m	3,80
B	m	60,85
L sponda	m	6,63
A	m ²	210,62
p	m	74,10
R	m	2,842
i	m/m	0,001
τ_0	kN/m ²	0,028
γ_s	kN/m ³	18,00
d	m	0,84
ϕ	-	0,079
τ_{cr}	kN/m ²	0,543
$\tau_{cr} - \tau_0$	kN/m ²	0,515

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 41 di 56</div>	

VERIFICA SPONDE PENNELLI		
PARAMETRO	U.M.	VALORE
$\tau_{cr}(0)$	kN/m ²	0,543
α	°	46,00
$\cos \alpha$	-	0,695
ϕ_m	°	47,00
$\operatorname{tg}^2 \alpha$	-	1,07
$\operatorname{tg}^2 \phi_m$	-	1,15
$\tau_{cr}(\alpha)$	kN/m ²	0,098
τ_0	kN/m ²	0,028
$\tau_{cr} - \tau_0$	kN/m ²	0,070

Dalle valutazioni effettuate emerge che i massi di fondo non presentano problematiche, mentre i paramenti dei pennelli non devono superare l'inclinazione di 46°.

Oltre a quanto sopra esposto, le dimensioni dei massi da porre in opera sono state verificate mediante le trattazioni dell'USACE (U.S. Army Corps of Engineers – EM 1110-2-1601 del 1994) e mediante la metodologia di Isbach. Entrambe le verifiche sono riportate nei seguenti paragrafi.

METODO USACE (1994)

La verifica dei massi proposta dall'U.S. Army Corps of Engineers è individuata nel manuale EM 1110-2-1601 del 1994.

Il metodo determina il diametro caratteristico D₃₀ del pietrame costituente l'opera a difesa mediante la seguente formulazione:

$$D_{30} = S_f \cdot C_S \cdot C_V \cdot C_T \cdot d \cdot \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{1/2} \cdot \frac{V}{\sqrt{K_1 \cdot g \cdot d}} \right]^{2.5}$$

Dove:

- D₃₀ è la dimensione caratteristica dei massi;
- S_f coefficiente di sicurezza globale, da assumere almeno pari a 1.1 (in via cautelativa si è assunto un valore pari a 1,2);

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 42 di 56</div>	

- C_s coefficiente di stabilità per il collasso incipiente (0.30 per pietrame a spigolo vivo, 0.375 per spigoli arrotondati);
- C_v coefficiente di distribuzione della velocità ($C_v=1$ all'interno delle curve; $C_v=1.283-0.2 \log (R/W)$ al di fuori delle curve (1 per $(R/W)>26$) dove R è il raggio di curvatura e W la larghezza superficiale del pelo libero;
- C_T coefficiente "di spessore" che viene, uguale a 1 se il dimensionamento segue le norme del USACE secondo cui lo spessore della mantellata deve essere pari al maggiore dei seguenti riferimenti: $1 D_{100}(\max)$ o $1.5 D_{50}(\max)$;
- h profondità della corrente idrica;
- g_w peso specifico dell'acqua;
- g_s peso specifico del masso;
- v velocità media della corrente;
- K_1 fattore di correzione della pendenza delle sponde dato da: $K_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}}$ dove α è l'inclinazione della sponda con l'orizzontale e ϕ è l'angolo di riposo del materiale;
- g accelerazione di gravità;
- d è la profondità della corrente idrica.

Una volta calcolato il diametro D_{30} mediante la formulazione proposta, ci si riporta al diametro nominale di riferimento D_{50} ipotizzando di assumere per il parametro D_{85}/D_{15} (esprimente il grading granulometrico) il valore pari a 2.0 ed utilizzando la seguente relazione:

$$\frac{D_{85}}{D_{15}} = \left(\frac{D_{50}}{D_{30}} \right)^3$$

In via speditiva si può assumere $D_{50} = 1.2 D_{30}$.

Di seguito si riporta la verifica della dimensione dei massi, in forma tabulare, mediante l'applicazione del metodo USACE.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>				
	Commessa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143	Pag. 43 di 56

METODO U.S.A.C.E. EM1110/1991		
PARAMETRO	U.M.	VALORE
S_f	-	1,2
C_s	-	0,375
R	m	>26
B	m	-
R/B	-	-
C_v	-	1,283
C_T	-	1,000
V	m/s	4,000
d	m	3,80
γ_w	kN/m ³	9,806
γ_s	kN/m ³	18,00
α	°	35,00
$\text{sen}^2 \alpha$	-	0,33
ϕ	°	47,00
$\text{sen}^2 \phi$	-	0,53
K_1	-	0,620
D_{30}	m	0,456
$D_{50, \min}$	m	0,547
D_{progetto}	m	0,840
$D_{\text{progetto}} > D_{50, \min}$	-	SI
T (spessore riv.)	m	1,20
D_{100}	m	1,09
$1,5 D_{50}$	m	0,821
Verifica T		SI

Dall'applicazione del metodo USACE si evince che il pennello deve avere uno spessore minimo pari ad almeno 1,20 sulle sponde inclinate, che, nel caso presente, risulta pienamente verificato.

METODO DI ISBACH

In letteratura viene adottata anche una seconda formulazione nota come la formula di Isbach (1935) che permette di calcolare il diametro D_{50} secondo la seguente formulazione:

$$D_{50} = C \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right) \frac{V_s^2}{2g}$$

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 44 di 56</div>	

Dove, oltre ai simboli già individuati nella formulazione dell'USACE, il coefficiente C esprime la turbolenza della corrente e viene posto pari a 1,02 per correnti a bassa turbolenza e 0,86 per turbolenza elevata.

Di seguito si riporta la verifica mediante la formulazione proposta.

<i>FORMULA DI ISBACH</i>		
<i>PARAMETRO</i>	<i>U.M.</i>	<i>VALORE</i>
C	-	0,86
V	m/s	4,000
γ_w	kN/m ³	9,806
γ_s	kN/m ³	18,00
D_{50,min}	m	0,840

DIMENSIONE DEI MASSI

Come indicato nei paragrafi precedenti, la dimensione dei massi da impiegare per la realizzazione dei pennelli deve avere un diametro medio minimo di 0,84 m (formula di Isbach) e le inclinazioni delle scarpate dei pennelli non devono superare i 46°.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 45 di 56</div>	

3.7.5. Verifica delle opere di protezione contro l'erosione (verifica a scalzamento)

I fenomeni di erosione connessi alla costruzione dei pennelli hanno molteplice natura:

- Erosione generalizzata sul letto del fiume, dovuta alla riduzione della sezione utile (vedi verifiche precedenti);
- Erosione localizzata al piede generata dai vortici indotti dalle medesime pile.

L'erosione generalizzata del letto del fiume è un fenomeno dipendente dal regime della corrente e dalla natura del materiale di fondo. In presenza di un ponte o di un pennello repellente, molti fattori contribuiscono alla formazione del fenomeno di erosione.

Nel secondo caso, infatti, si crea un'erosione localizzata in corrispondenza della testa del pennello e un deposito immediatamente a valle del corpo di esso (cosiddetta ombra del pennello). Il problema dello scalzamento di un pennello, ai fini del dimensionamento degli stessi, può essere assimilato ad una pila di un ponte di dimensioni maggiori.

Ci sono due differenti forme di erosione generalizzata, dipendenti dal trasporto di materiale presente nel tratto a monte della sezione di attraversamento. Nel caso in cui ci sia trasporto solido nel tratto a monte, si parla di "Live-Bed Contraction Scour", se il trasporto di materiale è trascurabile si ha "Clear-Water Contraction Scour".

Per stabilire in che condizione ci si trovi, dai modelli effettuati si determina la velocità critica V_c di trasporto del materiale del letto e la confronta con la velocità V del flusso nella sezione a monte del ponte dove il flusso non è disturbato dalla presenza del ponte. Se $V_c < V$, allora si considera il caso "Live-Bed Contraction Scour", altrimenti si ricade nel caso "Clear-Water Contraction Scour".

La velocità critica V_c è calcolata secondo l'espressione di Laursen secondo la formula:

$$V_c = K_u y_1^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

dove:

- V_c (m/s) = velocità critica sopra la quale il materiale con diametro $D \leq D_{50}$ va in trasporto;
- y_1 (m) = profondità media del flusso
- D_{50} = diametro medio del materiale di fondo
- $K_u = 6.19$

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste</div> <div>Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO</div> <div>FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 46 di 56</div>	

Nel caso di "Live Bed Contraction Scour", l'espressione utilizzata per stimare l'erosione è ancora una volta la formula di Laursen riportata di seguito:

$$y_2 = y_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{K_1}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

dove:

- y_s = profondità media dell'erosione (m)
- y_2 = profondità dell'alveo dopo l'erosione nella sezione contratta (m)
- y_1 = profondità media dell'erosione nella sezione di monte (m)
- y_0 = profondità iniziale dell'alveo nella sezione contratta (m)
- Q_1 = portata della corrente a monte (m^3 / s)
- Q_2 = portata della corrente nella sezione contratta (m^3 / s)
- W_1 = larghezza del fondo d'alveo nella sezione di monte (m)
- W_2 = larghezza del fondo d'alveo nella sezione contratta dedotta la larghezza delle pile (m)
- K_1 = esponente dipendente dal tipo di materiale trasportato

I valori dell'esponente K_1 sono di seguito riportati

V^* / ω	K_1	TIPO DI MATERIALE TRASPORTATO
< 0.5	0.59	Principalmente trasporto di fondo
0.5÷2.0	0.64	Presenza di sospensione
> 2.0	0.69	Principalmente in sospensione

dove:

- $V^* = (g y_1 S_1)^{1/2}$ velocità di taglio nella sezione di monte (m/s)
- velocità di caduta del materiale del letto con D_{50} (m/s)
- 9.81 g = acceleration of gravity (m/s^2)
- S_1 = slope of the line energy

Nel caso "Clear Water Contraction Scour" si utilizza l'espressione di Laursen

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 47 di 56</div>	

$$y_2 = \left(\frac{Q_2^2}{CD_m^{2/3} W_2^2} \right)^{3/7}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

dove:

- D_m = diametro della particella non trasportabile più piccola (1.25 D_{50}) nella sezione contratta (m)
- D_{50} = diametro medio del materiale di fondo
- $C = 40$

L'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è causata dall'accelerazione del flusso intorno alla pila ed alla formazione di vortici.

Tali vortici, detti a ferro di cavallo (horse toe vortex) rimuovono materiale dalla base della pila, creando una buca dalla forma caratteristica (v. figure seguenti).

Al crescere della profondità dell'erosione, diminuisce la velocità del vortice e quindi la rimozione di materiale. Quando si raggiunge l'equilibrio tra il materiale depositato e il materiale scalzato, l'erosione cessa.

I fattori che influenzano la profondità dell'erosione sono:

- la velocità del flusso a monte della pila, la profondità del flusso;
- la larghezza della pila;
- la forma della pila.
- la lunghezza della pila quando non è ortogonale alla corrente;
- le dimensioni del materiale del letto.

L'HEC – Ras permette di calcolare l'erosione con la formula Colorado State University (CSU) o con la formula di Froehlich. L'equazione CSU ha la forma:

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

dove:

- y_s = profondità dell'erosione (m)
- K_1 = fattore di correzione per la forma dell'estremità della pila
- K_2 = fattore di correzione per l'angolo d'attacco del flusso
- K_3 = fattore di correzione per le forme di fondo
- K_4 = fattore di correzione per il materiale di fondo

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	Commessa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143

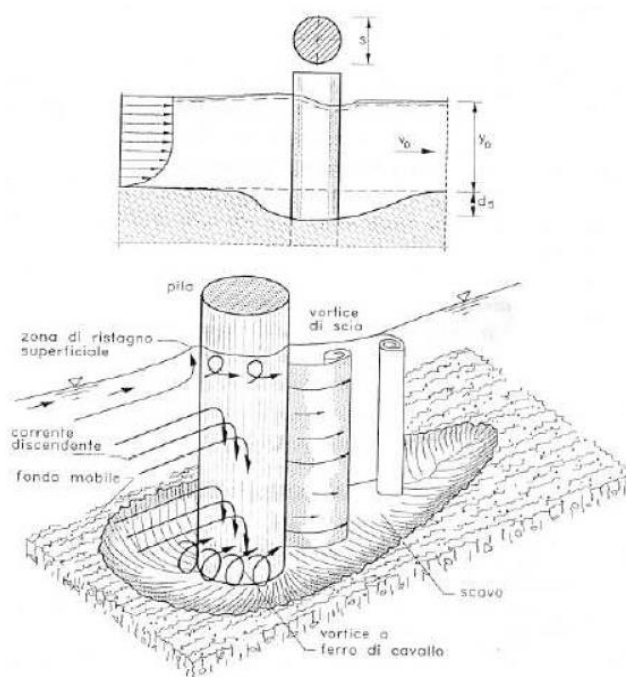
- a = larghezza della pila (m)
- y_1 = profondità del flusso a monte della pila (m)
- Fr_1 = Numero di Froude a monte della pila

L'equazione di Froehlich è:

$$y_s = 0.32 \phi(a')^{0.62} y_1^{0.47} Fr_1^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a$$

dove:

- Φ = fattore di correzione per la forma dell'estremità della pila
- a' = larghezza della pila proiettata nella direzione del flusso



Esempio: scavo alla base di una pila prodotto dalla formazione di vortici

Ulteriori teorie di verifica dello scalzamento al piede sono quelle di seguito riportate:

- **Johnson**

$$d_s = 1.35 b^{0.7} y^{0.3}$$

- **Jain & Fisher**

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	Commissa:	NQ/S20011/I/01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143

Se

$$(Fr_1 - Fr_c) > 0.2 \quad \rightarrow \quad d_s = 2.0b(Fr_1 - Fr_c)^{0.25} (y/b)^{0.5}$$

Se

$$(Fr_1 - Fr_c) < 0 \quad \rightarrow \quad d_s = 1.85b(Fr_c)^{0.25} (y/b)^{0.3}$$

Dove:

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{g y}}$$

$$V_c = 6.19 y^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

Per la valutazione dell'erosione tramite software si è provveduto interrogando il modello bidimensionale in prossimità del pennello maggiormente sollecitato ed estrapolando i valori caratteristici dello scalzamento in funzione della portata con Tr=200 anni.

Quale granulometria costituente il materiale d'alveo si è considerato, sulla base di sondaggi effettuati in precedenza in zona che evidenziano la presenza di sabbie, limi ed argille, un D50=0,02 mm ed un D90=0,002 mm, quale media dei dati da letteratura riportati nella relazione geologica.

Secondo le teorie di cui sopra, applicando i valori caratteristici del caso in esame, considerando quindi un'ostruzione dell'alveo pari alla porzione di testata del pennello maggiormente esposta (15 metri) si ottengono i seguenti valori.

MANU FATTO	DISTANZA PROG.	FONDO ALVEO ATTUALE	QUOTA FONDO EROSO (m)			
			CSU (HEC-18)	Johnson	Jain & Fisher	Froelich
SPALLA	0,00	81,00	81,00	-	-	-
PENNELLO	64,00	77,50	62,49	67,35	75,18	58,84
SPALLA	139,00	81,00	81,00	-	-	-

Quote assolute fondo alveo pre e post erosione secondo le differenti teorie

Nella figura seguente si riportano i grafici delle quote di cui alla tabella precedente, unitamente alla quota calcolata come media matematica delle quote di cui alle differenti teorie; il calcolo considera anche gli effetti di interferenza

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 50 di 56</div>	

longitudinale fra le pile, i quali comportano sulla pila centrale un incremento del 10% del valore di erosione, come confermato dai recenti studi di Keshavarzi e Shrestha (2015; 2018).

Pertanto al valore medio ottenuto dalle varie formulazioni è stato applicato un fattore di incremento di 1.10.

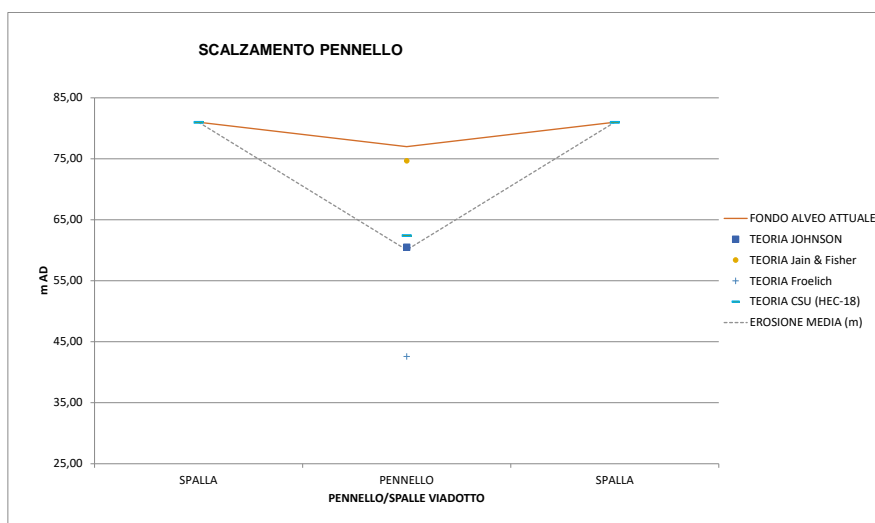


Grafico quote assolute fondo alveo pre e post erosione secondo le differenti teorie

I valori medi dell'erosione debitamente maggiorati del 10% in ragione degli effetti di interferenza longitudinale associati alla TR200 (assunta come base di calcolo a maggior cautela) sono di seguito riportati per ciascuna teoria considerata, unitamente alle conseguenti quote del fondo eroso ed alle quote di estradosso dei plinti previste dal progetto.

MANU FATTO	Distanza Prog.	FONDO ALVEO ATTUALE	PROFONDITA' SCAVO DA EROSIONE (m)				EROSIONE MEDIA (m)
			CSU (HEC-18)	Johnson	Jain & Fisher	Froelich	
SPALLA	0,00	81,00	-	-	-	-	-
PENNELLO	64,00	77,50	15,01	10,15	2,32	18,66	11,53
SPALLA	139,00	81,00	-	-	-	-	-

Valore dello scavo da erosione e confronto con le quote previste per i plinti

PROTEZIONE AL PIEDE DEI PENNELLI

Dalle valutazioni effettuate si evince che il fenomeno erosivo, in corrispondenza al fondo attuale, potrebbe provocare un approfondimento dell'ordine dei 12 metri, condizione che, comunque, sarà scongiurata dalla protezione del fondo

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commessa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
			Pag. 51 di 56	

mediante applicazione di massi di diametro pari a quelli di costituzione del pennello e per una profondità di almeno 1,2 metri (come verificato in precedenza) e di almeno 12 metri a monte ed a valle dei pennelli.

3.7.6. Particolari attenzioni operative

Lo scopo del lavoro non è strettamente limitato a quanto descritto in questa sezione, ma includerà qualsiasi attività non espressamente menzionata, ma necessaria a completare i lavori a perfetta regola d'arte

Per permettere l'esecuzione delle attività, per tutta la durata delle stesse, lungo tutto il tratto di fiume interessato sarà realizzata, prima dell'inizio dei lavori, una "savanella" movimentando il materiale presente nell'alveo a protezione del cantiere che devierà le acque del fiume, la savanella smantellata alla fine dei lavori redistribuendo il materiale nell'alveo del fiume. Tutto il materiale rimosso durante la fase di cantiere, scavi, sarà temporaneamente accantonato a monte del cantiere stesso nell'alveo del fiume per le quantità derivanti dagli scavi nell'alveo, quelli provenienti dalla posa delle gabbionate accantonati in loco, successivamente riutilizzati per il riempimento delle spalle delle barriere di nuova realizzazione e/o redistribuiti in prossimità di dove prelevati.

Particolare attenzione dovrà essere riposta nell'ammorsamento dell'argine di monte con la struttura esistente al fine di realizzare una opera staticamente unitaria di contenimento dell'esondazione verso il cluster F alla quota indicata di 83 m.s.l.m.; tale ammorsamento deve avvenire operativamente mediante riprofilatura a gradini dell'arginatura esistente così come indicato nelle seguenti immagini

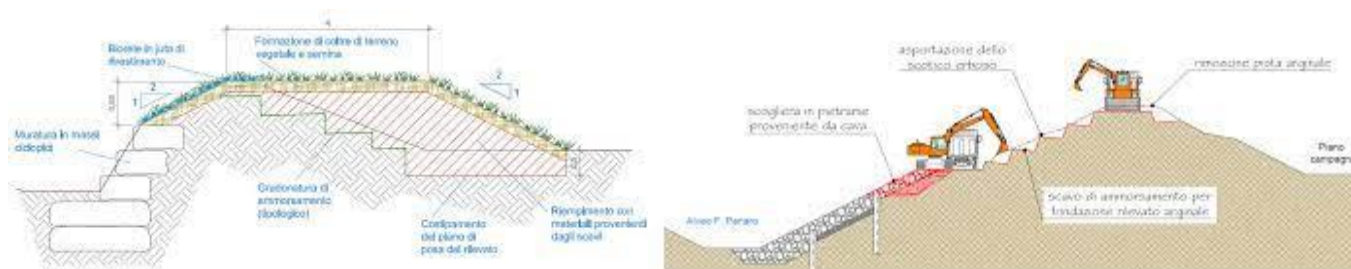


Figura - 28 Stato di progetto: esempio di ammorsamento di nuova struttura in terra su struttura esistente

Fondamentalmente nessun materiale sarà asportato dall'alveo, qualora si presentasse la necessità di approvvigionare materiale.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 52 di 56</div>	

4. OPERE INTEGRATIVE

Tra le problematiche ricorrenti nella realizzazione di pennelli trasversali in alvei in evoluzione morfologica trasversale, la localizzazione dell'erosione in corrispondenza della punta o nell'incipiente azione preliminare dell'opera, può portare a fenomeni di scalzamento delle fondazioni.

Tali fenomeni possono essere limitati in via preliminare realizzando una fondazione estesa mediante massi lungo il letto del corpo idrico, tuttavia, al fine di stabilizzare l'alveo del fiume e, contemporaneamente, di proteggere il tratto di corpo idrico e le nuove opere di sistemazione/difesa fluviale, si prevede la realizzazione di due soglie di protezione del fondo a monte ed a valle del tratto di intervento del cluster F.

Le due opere accessorie hanno lo scopo di "fissare" l'alveo nelle due sezioni individuate stabilizzandone il fondo. Nel tratto, così facendo, si evita quindi l'innescare di fenomeni erosivi intensi che permettono il mantenimento delle fondazioni delle opere.

Le due soglie saranno del tipo sommergibile come quelle illustrate nella seguente immagine:



Figura - 29 Esempio di soglia di stabilizzazione del fondo

In alternativa si può procedere con i classici "cunettoni" sommersi a distanze multiple calcolati in modo che il presidio di valle garantisca il non scalzamento di quello di monte.

Di seguito si riporta un esempio della sezione tipologica dei cosiddetti "cunettoni".

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	Commessa:	NQ/S20011/I/01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143

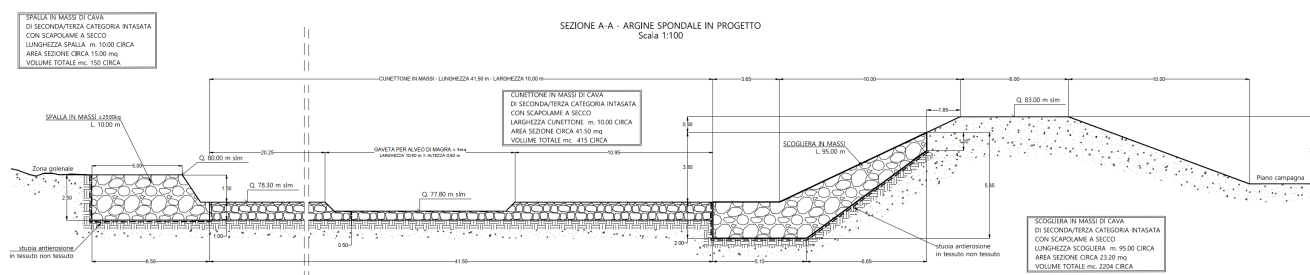


Figura - 30 Tipologico di “cunettone”

Nel presente caso, quindi, si prevede la realizzazione di un “cunettone” in corrispondenza della sezione di monte prossima alla prima opera di sistemazione prevista ed una a valle delle opere in posizione tale da non ricadere all'interno di zone naturali individuate nella Rete Natura 2000, come visibile nel seguente schema grafico e come meglio indicato negli elaborati grafici a corredo del progetto. L'inserimento dei due cunettoni e l'interazione con il trasporto solido è stato verificato mediante l'impiego del modulo di calcolo del trasporto solido del software di modellazione idraulica bidimensionale Infoworks.

Committente:  STOGIT S.p.A.	Località: Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F		Progettista: 	
	Progetto: INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE			
	Commissa:	NQ/S20011/I01	Codice elaborato:	0418-01-DALB-34143
				Pag. 54 di 56

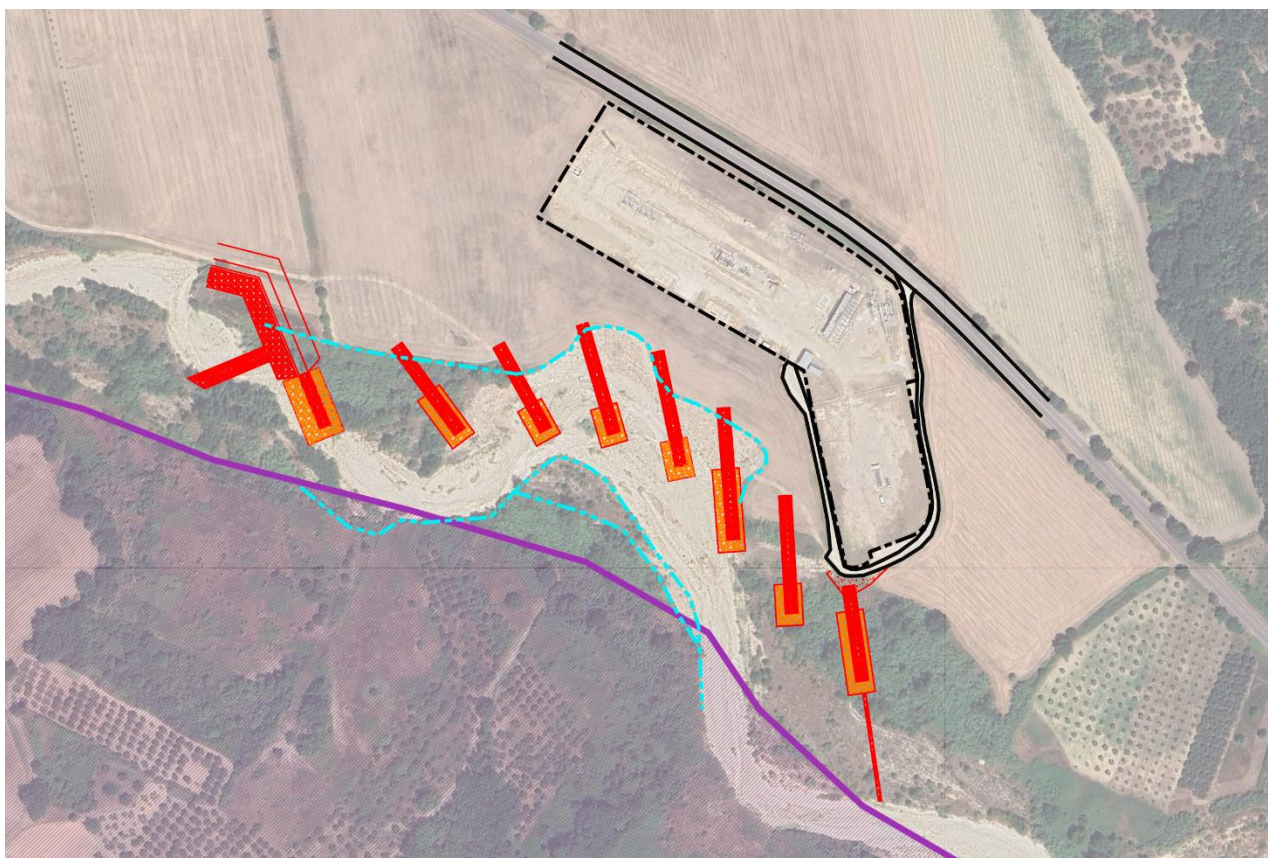


Figura - 31 Individuazione delle posizioni dei cunettoni (sezioni in rosso) e delle aree della Rete Natura 2000 (aree campite in violetto)

Si rimanda agli elaborati grafici di progetto per un maggiore dettaglio della configurazione delle opere previste.

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>		<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>			
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>	<div>Pag. 55 di 56</div>	

5. CONCLUSIONI

La presente relazione ha inteso illustrare gli aspetti idraulici legati all'interferenza tra la i deflussi delle onde di piena attesi per il Fiume Treste e le opere di risagomatura dell'alveo e difesa spondale previste in sx idraulica a tutela del Cluster F di Snam ed in generale della sponda in sx idraulica che nello stato attuale dell'arte risente di fenomenologie di erosione conseguenti ad un processo naturale di meandrazione dell'Alveo.

La configurazione di stato di fatto e di progetto, delle sezioni previste per la realizzazione delle opere di protezione spondale:

- la compatibilità idraulica delle opere;
- le possibili interferenze causate delle opere;
- l'erosione delle opere di protezione per le portate di riferimento;

Con specifico riferimento delle opere in progetto esse si sono rivelate efficaci per le onde con TR=200 anni nel tenere il campo delle velocità critiche (con specifico riferimento ai fenomeni di erosione e trasporto solido) lontano dalla sponda sinistra nella tratta di interesse.

In ottemperanza alle principali direttive contenenti i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno dell'alveo attivo la presente relazione è da intendersi quale "studio di compatibilità idraulica" per l'opera in epigrafe e dunque rappresentativo per gli effetti prodotti dall'intervento in progetto nei confronti delle condizioni idrauliche attuali del tratto di corso d'acqua interessato e di quelle di progetto dello stesso, essendo diverse da quelle attuali.

Le verifiche di compatibilità idraulica sono state eseguite con il supporto di un modello di simulazione numerica bidimensionale.

Le portate prese a riferimento nello stato di fatto sono:

- 173 mc/s portata di progetto per le opere provvisorie di cantiere
- 502 mc/s TR200 portata di progetto per le opere definitive che dovranno essere messe in campo

per le verifiche di compatibilità idraulica delle opere di protezione in progetto sono:

- 502 mc/s TR200 portata di progetto per le opere definitive che dovranno essere messe in campo

Il deflusso di tali portate nelle sezioni di interesse risulta essere, in alcune aree all'interno delle direttrici principali di scorrimento, idraulicamente "lenta" (N° Froude <1) e dunque con bassa capacità di trasporto solido, se

<div>Committente:</div> <div></div> <div>STOGIT S.p.A.</div>	<div>Località:</div> <div>Concessione Fiume Treste Centrale di stoccaggio Cluster F</div>			<div>Progettista:</div> <div></div>	
	<div>Progetto:</div> <div>INTERVENTO DI PRONTO ACCOMODO FIUME TRESTE</div>				
	<div>Commissa:</div> <div>NQ/S20011/I01</div>	<div>Codice elaborato:</div> <div>0418-01-DALB-34143</div>		<div>Pag. 56 di 56</div>	

Dalle analisi effettuate ne deriva che per effetto della protezione spondale in progetto il deflusso delle portate prese a riferimento non subiscono variazioni sostanziali dei principali parametri idraulici (velocità di transito, tirante idraulico, ecc...); tuttavia gli elementi lapidei previsti a protezione spondale verificano puntualmente e nel complesso i criteri e le verifiche di stabilità in funzione della capacità di trasporto ed erosione della corrente.

Modena 09/10/2024

Ing. Yos Zorzi