

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

RADDOPPIO COSENZA – PAOLA/ S. LUCIDO

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica di compatibilità idraulica modelli bidimensionali (Torrente Settimo)

SCALA:

-

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

RC1C 03 R 09 RI ID0002 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	Emissione esecutiva	L. Nani	Novembre 2021	A.Cappelli	Novembre 2021	I. D'Amore	Novembre 2021	A. Vittozzi Giugno 2022 U.O. Opere Civili e gestione delle varianti Ord. n. 2022 Dir. Ing. Angelo Vittozzi N° 420/22 ITALFERR S.p.A.
B	Emissione a seguito di richiesta integrazioni CSLLPP - Parere n°5/2022	G.Giannetta	Giugno 2022	A.Cappelli	Giugno 2022	I. D'Amore	Giugno 2022	
File: RC1C.03.R.09.RI.ID0002002.B								n. Elab:

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DATI DI BASE	5
3	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	6
3.1	MANUALE DI PROGETTAZIONE FERROVIARIO.....	6
3.2	NTC 2018 E RELATIVA CIRCOLARE APPLICATIVA.....	7
3.3	PAI, PGRA	11
4	SOFTWARE MIKE 21.....	13
5	ANALISI IDRAULICA DEL TORRENTE SETTIMO.....	15
5.1	RISULTATI.....	17
6	STIMA DELL'EROSIONE LOCALIZZATA	24
6.1	FROHELICH.....	25
6.2	FORMULA DI BREUSEURS.....	26
6.3	FORMULA CSU	27
6.4	MELVILLE.....	29
6.5	VERIFICHE	31
7	COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	38
	BIBLIOGRAFIA.....	40

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

1 PREMESSA

Il presente documento è parte del progetto di fattibilità economica della nuova linea AV Salerno-Reggio Calabria raddoppio Cosenza-Paola S.Lucido e descrive lo studio idraulico per la progettazione delle nuove opere di attraversamento, delle opere di protezione idraulica e la verifica di compatibilità degli interventi proposti. Il tracciato ferroviario in progetto che, per un lungo tratto si sviluppa in galleria, presenta nei due tratti allo scoperto, a monte ed a valle della galleria suddetta, diverse interferenze con il reticolo idrografico.

In particolare, lato Cosenza l'opera interferisce con Il torrente Settimo, un affluente in sponda sinistra del Crati.

SITO	WBS	pk	Tipologico	Dimensioni
Torrente Settimo	VI02	1+858.00	Viadotto	

Figura 1. Tabella riassuntiva interferenze in progetto con bacini di estensione superiore ai 10 kmq

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

NTC 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";

- Manuale di Progettazione RFI;
- Piano di Assetto Idrogeologico – Rischio Frane – Alluvioni (PAI), dei territori dell'ex Autorità di Bacino Regionale Calabria;
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Il ciclo 2016-2021 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

La verifica idraulica dell'attraversamento sul Torrente Settimo è stata implementata per mezzo di un modello bidimensionale in MIKE 21®. Le analisi idrauliche si sono basate sulle informazioni plano-altimetriche ricavate dai LiDAR del Ministero dell'Ambiente con risoluzione 1 m e 2m, integrate con il LiDAR ed i rilievi topografici delle opere interferenti, previsti nell'ambito della campagna di indagine svolta appositamente ai fini del presente studio.

Gli attraversamenti in progetto sono stati verificati in termini di:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">PROGETTO</td> <td style="width: 10%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 20%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 10%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>3 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	3 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	3 di 41								

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Analisi cartografica e dei rilievi disponibili;
- Realizzazione di un modello idraulico bidimensionale mediante il software MIKE 21 del Danish Hydraulic Institute (DHI)
- Analisi dello stato ante operam considerando eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 50, 200 anni e 500 anni;
- Analisi dello stato ante operam considerando eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 50, 200 anni e 500 anni;
- Redazione delle planimetrie, dei profili e delle sezioni trasversali con livelli idrici ed energetici nelle configurazioni attuale e di progetto;
- Verifiche allo scalzamento delle pile.

Lo studio idraulico riportato nei successivi paragrafi è stato redatto in accordo con il manuale di progettazione ferroviario e con gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore.

2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

DESCRIZIONE ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione Idrologica generale	-	RC1C03R09RIID0001001
Stralcio planimetrico della mappa di pericolosità idraulica	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002001
Planimetri di progetto –VI02 Torrente Settimo	1:1.000	RC1C03R09P7ID0002001
Sezioni idrauliche ante/post-operam - VI02 (Torrente Settimo) - Tavola 1/2	1:200	RC1C03R09W9ID0002001
Sezioni idrauliche ante/post-operam - VI02 (Torrente Settimo) - Tavola 2/2	1:200	RC1C03R09W9ID0002002
Profili di rigurgito ante/post-operam - VI02 (Torrente Settimo)	varie	RC1C03R09FZID0002001
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici ante-operam TR50	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002002
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici post-operam TR50	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002003
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max ante-operam TR50	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002004
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max post-operam TR50	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002005
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici ante-operam TR200	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002006
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici post-operam TR200	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002007
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max ante-operam TR200	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002008
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max post-operam TR200	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002098
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici ante-operam TR500	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002010
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria tiranti idrici post-operam TR500	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002011
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max ante-operam TR500	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002012
Studio bidimensionale T. Settimo - Planimetria velocità max post-operam TR500	1:5.000	RC1C03R09P5ID0002013

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">PROGETTO</td> <td style="width: 10%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 10%;">REV.</td> <td style="width: 10%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>5 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	5 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	5 di 41								

2 DATI DI BASE

La base dati necessaria per lo svolgimento dello studio è stata acquisita dai vari enti territoriali. In particolare sono stati reperiti:

- Il modello digitale del terreno da rilievo LiDAR del MATTM con risoluzione a terra 1mx1m nell'entroterra;
- Il modello digitale del terreno da rilievo LiDAR del MATTM con risoluzione a terra 2mx2m per la fascia costiera;
- Cartografia tecnica regionale in formato dwg
- Lo shapefile relativo all'uso del suolo del 2012 (Corine land cover 2012 ISPRA)
<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/corine-land-cover>
- Gli shapefile relativi alla pericolosità idraulica connessa al PAI e al PGRA
<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/varianti-di-aggiornamento-mappe-pai-alle-mappe-pgra-menu/misure-di-salvaguardia-menu>

Sono stati considerati anche i rilievi effettuati da Italferr nell'ambito del presente progetto:

- Rilievi celerimetrici dell'area

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">RC1C</td> <td style="text-align: left;">03</td> <td style="text-align: left;">R09RI</td> <td style="text-align: left;">ID0002 002</td> <td style="text-align: left;">B</td> <td style="text-align: left;">6 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	6 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	6 di 41								

3 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

3.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI 2019 (REV D) ogni tipo di manufatto idraulico verrà verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno T_r :

...omississ...

Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- *linea ferroviaria $T_r = 200$ anni*
- *deviazioni stradali $T_r = 200$ anni*

...omississ...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- *franco minimo non inferiore a 1,50 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente*
- *franco minimo non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni*
- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena.*
- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*
- *Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.”*

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue:

“Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2m;*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2% e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”

3.2 NTC 2018 e relativa Circolare Applicativa

L'Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e la Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018, contengono le istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari interessanti corsi d'acqua naturali o artificiali, con particolare riferimento ai tempi di ritorno e ai franchi idraulici da adottare per le verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, al § 5.1.2.3 delle NTC 2018 “Compatibilità idraulica” si prescrive che:

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.

L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$).

Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;*
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;*
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisorie e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;*
- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.*

Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.

Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato.

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $T_r = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente ψ_0 unitario.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione ψ_1 .

Al § C5.1.2.4 della Circolare applicativa si prescrive inoltre:

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $T_r = 200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.

Gli elementi del ponte, quali le opere strutturali, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, fanno parte di un progetto unitario corredato dallo studio di compatibilità idraulica di cui al punto 5.1.2.3 delle NTC. Il progetto sarà impostato tenendo in considerazione la necessità di garantire l'accesso per il ripristino dell'efficienza idraulica degli attraversamenti parzialmente o totalmente intasati dai detriti durante gli eventi di piena.

Fermo restando quanto previsto dalla Norma, nello studio di compatibilità idraulica, in funzione delle diverse situazioni, è opportuno siano tra l'altro illustrati i seguenti aspetti:

- analisi degli eventi di massima piena; esame dei principali eventi verificatisi nel corso d'acqua; raccolta dei valori estremi in quanto disponibili, e loro elaborazione in termini di frequenza probabile del verificarsi; per i ponti in sezioni di un corso d'acqua che abbiano a monte manufatti artificiali che limitino il naturale deflusso delle piene, queste sono da valutarsi anche nell'ipotesi che tali manufatti siano dismessi;

- ricerca e raccolta, presso gli Uffici ed Enti competenti, delle notizie e dei rilievi esistenti, anche storici, utili per lo studio idraulico da svolgere;

- giustificazione della soluzione proposta per: l'ubicazione del ponte, le sue dimensioni e le sue strutture in pianta, in elevazione ed in fondazione, tenuto conto del regime del corso d'acqua, dell'assetto morfologico attuale e della sua possibile evoluzione, nonché delle caratteristiche geotecniche della zona interessata;

- allontanamento delle acque dall'impalcato e prevenzione del loro scolo incontrollato sulle strutture del ponte stesso o su infrastrutture sottostanti.

Inoltre è di interesse stimare i valori della frequenza probabile ($1/T_r$) di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso.

Nello studio idraulico, in funzione delle diverse situazioni, sono inoltre considerati, ove applicabili, i seguenti problemi:

- *classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna: per ponti posti su vie classificate navigabili va rispettata la luce minima sotto il ponte che compete ai natanti per i quali il corso è classificato, fino alla portata per la quale sia consentita la navigazione;*
- *valutazione dell'influenza dello scavo localizzato che si realizza in corrispondenza delle pile e delle spalle, sulla stabilità di argini e sponde, oltre che delle fondazioni di altri manufatti presenti nelle vicinanze;*
- *esame delle conseguenze della presenza di corpi flottanti, considerando anche il possibile disormeggio dei natanti, trasportati dalle acque in relazione a possibili ostruzioni delle luci (specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte), sia in fase costruttiva sia durante l'esercizio delle opere;*
- *sollecitazioni indotte dall'acqua per evento sismico quando sia di qualche rilievo la superficie immersa delle pile (e, per i ponti esistenti, delle spalle) con riferimento al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno.*

Per la stima del livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno, in assenza di dati che garantiscano una robusta caratterizzazione statistica degli eventi, è da utilizzarsi il minimo fra i valori di portata massimi annuali registrati. Scalzamento e azioni idrodinamiche devono in tal caso essere combinate con tutte le altre azioni variabili, mentre nella situazione corrispondente all'evento di piena di progetto, nella combinazione con le altre azioni variabili sono da considerare solo quelle variabili da traffico.

In situazioni particolarmente complesse può essere opportuno sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici.

Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a $6 \div 7$ m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.

Le limitazioni alle modifiche delle pile o delle spalle e relative fondazioni di ponti esistenti previste al punto 5.1.2.3 della Norma, sono da riferirsi agli elementi che interessano l'alveo, come sopra definito, o i corpi arginali. La possibilità di deroga, subordinata all'autorizzazione dell'Autorità competente come previsto allo stesso punto della norma, è relativa alle sole pile.

Per i ponti esistenti sono ammessi gli interventi per l'incremento della sicurezza strutturale in analogia a quanto prescritto al § 8.4 della Norma, solo nel caso in cui siano esclusi incrementi, rispetto all'attuale, del livello di traffico di progetto e gli stessi interventi non vadano in alcun modo a peggiorare le condizioni di sicurezza idraulica esistenti. Poiché in questi casi sono possibili fenomeni di instabilità locale, in applicazione del §8.3 della Norma, è opportuno effettuare la verifica delle fondazioni, e quindi la valutazione dello scalzamento di eventuali spalle o pile in alveo. Anche gli interventi necessari per l'incremento della sicurezza strutturale devono essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica dove sia messa in evidenza la frequenza probabile ($1/Tr$) degli eventi che garantiscono il franco previsto da Norma.

Nelle Relazioni idrologica e idraulica sarà valutato il sistema di smaltimento delle acque meteoriche, tenendo in considerazione anche i seguenti aspetti:

- *analisi degli eventi pluviometrici brevi ed intensi della zona;*
- *disposizione delle caditoie in numero e posizioni dipendenti dalle loro dimensioni, dalla geometria plano-altimetrica della sede stradale e dai dati pluviometrici, al fine di evitare ristagni;*
- *influenza del trasporto solido e dell'eventuale deposito residuo in condotta sul dimensionamento del sistema di tubazioni che colleghino le acque fino al tubo di eduazione;*
- *posizione e lunghezza dei tubi di eduazione affinché l'acqua di scolo sia portata a distanza tale da evitare la ricaduta sulle strutture anche in presenza di vento.*

Fermo restando il rispetto della normativa ambientale vigente, in tutti quei casi in cui le acque di eduazione possono produrre danni e inconvenienti o nel caso di attraversamento di zone urbane, è opportuno considerare la possibilità che esse siano intubate fino a terra ed eventualmente immesse in un sistema fognante.

Nelle strutture a cassone va considerata l'opportunità di praticare, nei punti di possibili accumulo, fori di evacuazione di eventuali acque di infiltrazione. Tubi di evacuazione e gocciolatoi saranno predisposti in modo da evitare scoli di acque sul manufatto.

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:

- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;

- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.

- per sezioni di area maggiore a 1,5 m² è da garantire la praticabilità del manufatto;

- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;

- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;

- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;

- la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;

- il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;

- nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;

- i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento.

Nel caso il tombino sia opera provvisoria, ovvero a servizio di un cantiere, le precedenti disposizioni possono essere assunte come elementi di riferimento, tenendo opportunamente conto del tempo di utilizzo previsto per l'opera provvisoria stessa.

	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

3.3 PAI, PGRA

L'autorità competente sul territorio in cui si localizzano gli interventi in progetto è l'Autorità del Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

Essa ha adottato, con DS n. 540 del 13.10.2020, le *Misure di salvaguardia* collegate all'adozione dei progetti di variante predisposti in attuazione degli aggiornamenti mappe PAI/PGRA di cui alla delibera CIP n. 1 del 20.12.2019 (cfr. allegato n.1 al DS), con efficacia a decorrere dal 14.10.2020.

Accanto alle Misure di Salvaguardia vi sono le Norme Tecniche del PAI che insieme definiscono il quadro di prescrizioni per gli interventi ricadenti in aree caratterizzate da criticità idraulica.

Tra queste ultime ricadono non solo le aree perimetrare per mezzo studi idraulici ma anche quelle individuate secondo criteri geomorfologici: le aree, le linee e i punti di attenzione rappresentano di fatto le aree storicamente inondate e/o localizzate dai Piani di Protezione Civile, i tratti e punti critici rilevati quali ad esempio riduzioni di sezioni, ostruzioni, rotture arginali.

Le *Misure di salvaguardia* predispongono che, per qualsiasi trasformazione territoriale il professionista verifichi che il sito rientri o meno nelle aree classificate a rischio PAI e nelle aree di attenzione del PGRA.

Tra gli interventi consentiti nelle aree di attenzione PGRA si hanno quelli relativi alla manutenzione, all'ampliamento o alla ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché quelli di realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali, purché non producano un significativo incremento del valore del rischio idraulico dell'area (lettera d).

Gli interventi di cui alla lettera d), a esclusione di quelli di manutenzione, devono essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica, predisposto nel rispetto delle disposizioni del Piano Stralcio territorialmente competente che valuti i livelli di pericolosità e/o rischio della zona d'interesse ante e post operam e garantisca la compatibilità degli interventi con le disposizioni della normativa del Piano Stralcio.

SITO	Pk	WBS	Aree PAI 2020
Torrente Settimo	km 1+858.00	VI02	AREA ATT_PGRA AREA ATT_PAI

Tabella 1. Pericolosità idraulica VI02i

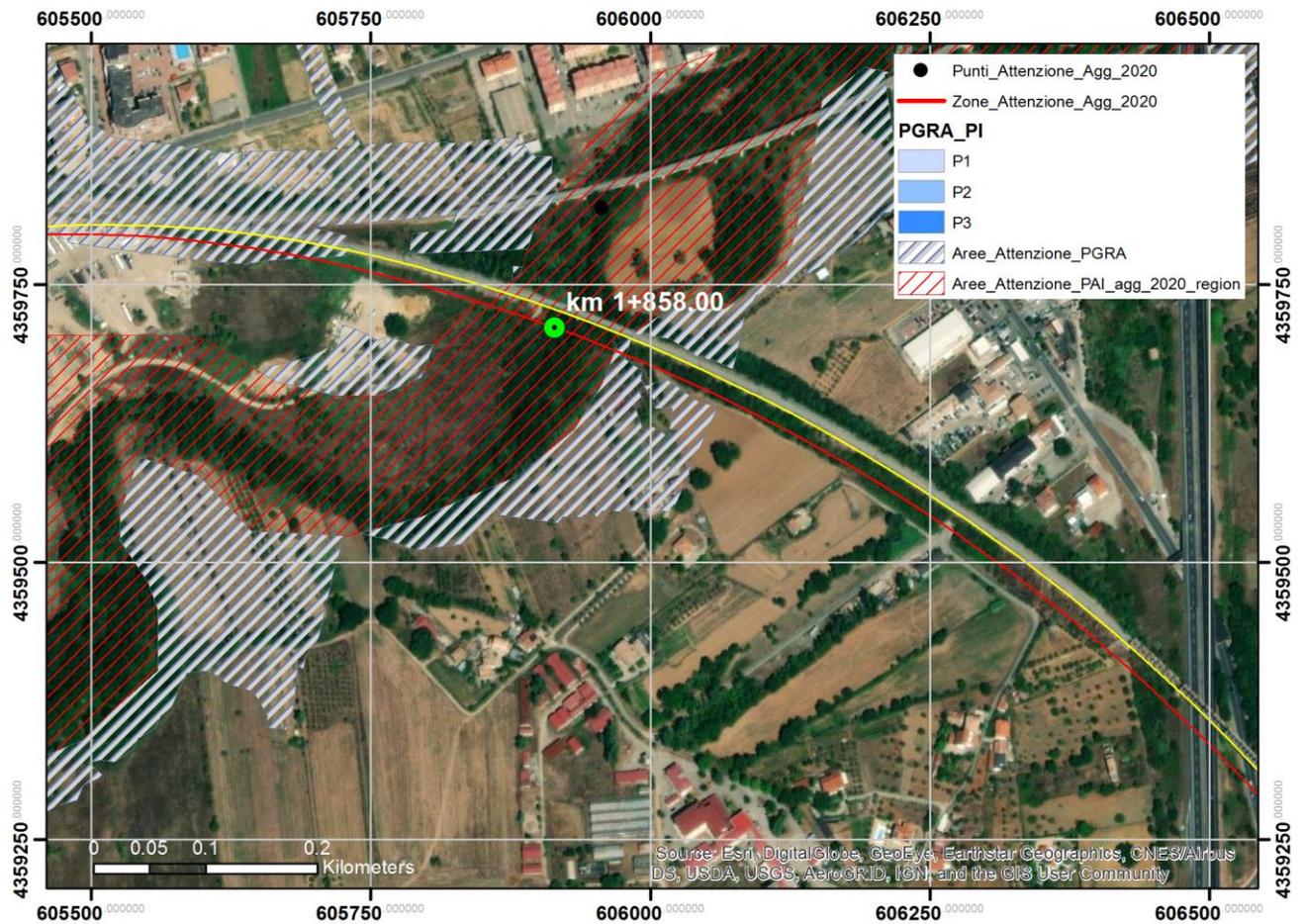


Figura 2. Rischio idraulico dei siti secondo il PAI 2020, il PGRA

	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>13 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	13 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	13 di 41								

4 SOFTWARE MIKE 21

MIKE 21, sviluppato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile schematizzare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di De Saint Venant in un caso bidimensionale piano non stazionario. Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).

Il principale dato di input al modello è la batimetria, ovvero una rappresentazione bidimensionale in termini altimetrici dell'intero dominio di calcolo. La batimetria è costituita da un modello digitale del terreno la cui risoluzione spaziale coincide con quella di calcolo.

Nel presente studio è stato fatto ricorso al rilievo LiDAR della Regione Calabria acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale.

Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner 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 un'elevata risoluzione. Ciò che si ottiene con un rilievo Lidar, è un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche e alla quota (Z), calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I). La nuvola dei punti laser contiene al suo interno informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti presenti. Poiché il laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, è necessario effettuare una classificazione del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenenti al suolo dagli impulsi classificabili come superfici arboree e arbustive, elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, etc. Dalla nuvola di punti totali si ottiene un Modello Digitale di Superficie, mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un Modello Digitale del Terreno (DTM).

Il DTM LiDAR fornisce un nuovo strato informativo, potenziando le conoscenze di base al fine di effettuare simulazioni sulla propagazione dei deflussi nelle due direzioni in maniera sufficientemente accurata.

Nel contempo, il DTM che si ottiene dal rilievo LiDAR, può includere errori che devono essere rimossi al fine di ottenere risultati quanto più possibile accurati e adeguati all'area di studio. La risoluzione spaziale del dato altimetrico in input in MIKE viene fissata mediando tra accuratezza dei risultati e onere computazionale.

La batimetria si completa bloccando tutti i contorni, assegnando alle celle il valore "land value", a meno delle boundary: a tali tratti aperti dovrà essere definito o il livello idrico o la portata uscente.

	<p style="text-align: center;">NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA</p> <p style="text-align: center;">LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI</p>	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09R1</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>14 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09R1	ID0002 002	B	14 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09R1	ID0002 002	B	14 di 41								

Si prosegue poi definendo la scabrezza, che può essere uniforme o variabile spazialmente: solitamente per definire tale substrato informativo si esegue un pre-processing in ambiente GIS sfruttando l'uso del suolo.

Le condizioni al contorno e quelle iniziali devono essere compatibili fra loro.

5 ANALISI IDRAULICA DEL TORRENTE SETTIMO

La definizione della batimetria ha richiesto una fase di pre-processing in GIS necessaria per ricampionare la maglia secondo la risoluzione spaziale più idonea, compromesso tra un buon livello di accuratezza modellistica e onere computazionale. Data la modesta entità del rilievo quindi dell'area da modellare si è ritenuto opportuno adottare una maglia 2x2 m. Il rilievo celerimetrico è stato elaborato al fine di ottenere un raster con cui sovrascrivere le informazioni altimetriche relative alla fascia ferroviaria e alla stazione; l'operazione di sovrapposizione è stata effettuata direttamente in MIKE.

Sempre in GIS è stato creato un raster degli edifici sulla base delle informazioni sulle volumetrie riportate nella CTR. La figura seguente riporta l'estensione del dominio di calcolo. Partendo dalla sezione di monte il dominio di calcolo si estende su una superficie di circa 12 km².

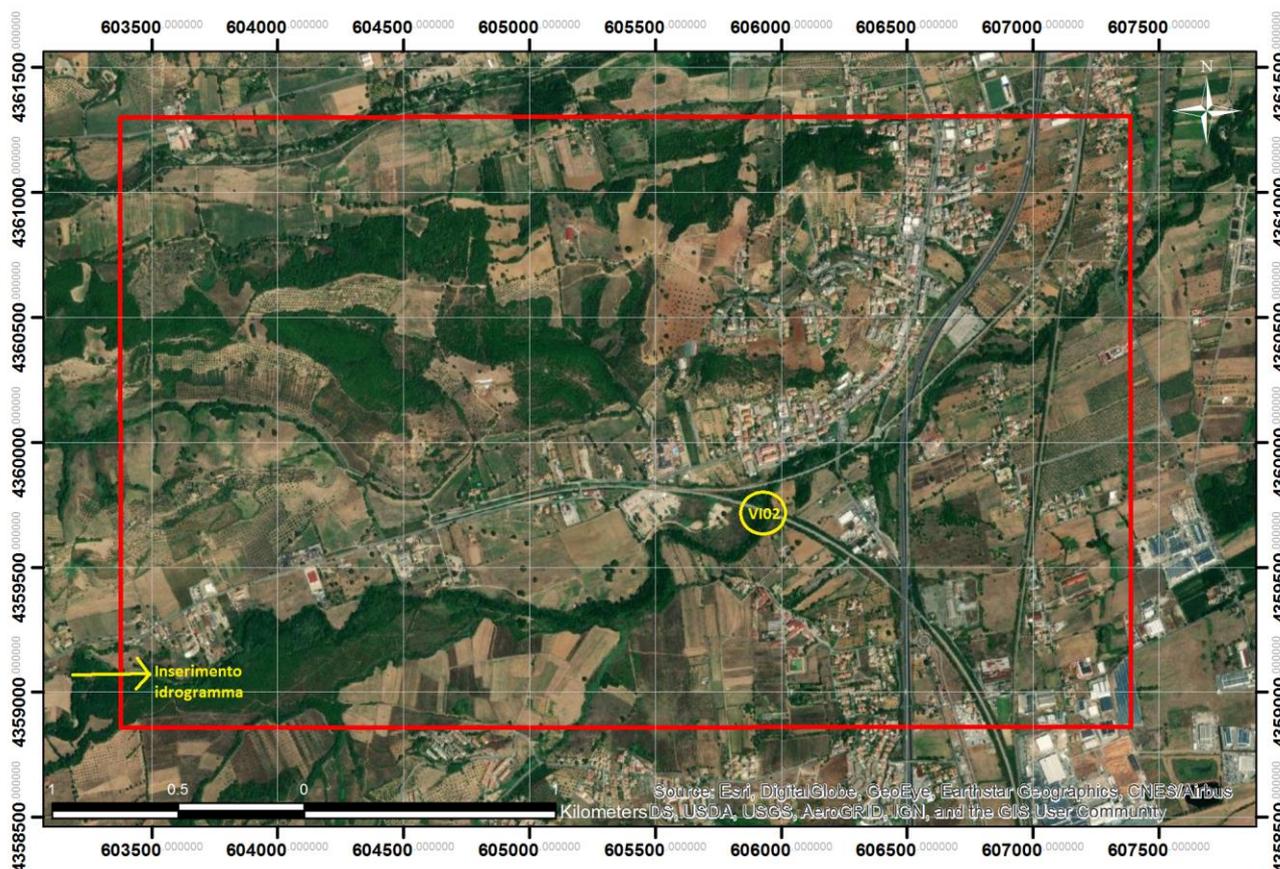


Figura 3. Estensione del dominio di calcolo con indicazione dell'area d'inserimento dell'idrogramma di progetto

La batimetria è stata chiusa su tutti i lati lasciando aperte due ampie finestre sul bordo occidentale e su quello orientale: in corrispondenza delle boundaries poste a ovest è stato assegnato l'idrogramma di progetto, mentre su quelle poste ad est è stato assegnato un livello idrico di 148 m s.l.m. In entrambi i casi l'elevazione delle celle di frontiera è stata abbassata per far sì che le celle stesse risultino sempre bagnate durante l'intera

simulazione per garantire la stabilità computazionale. Il calcolo è stato effettuato su una finestra temporale di 24 ore.

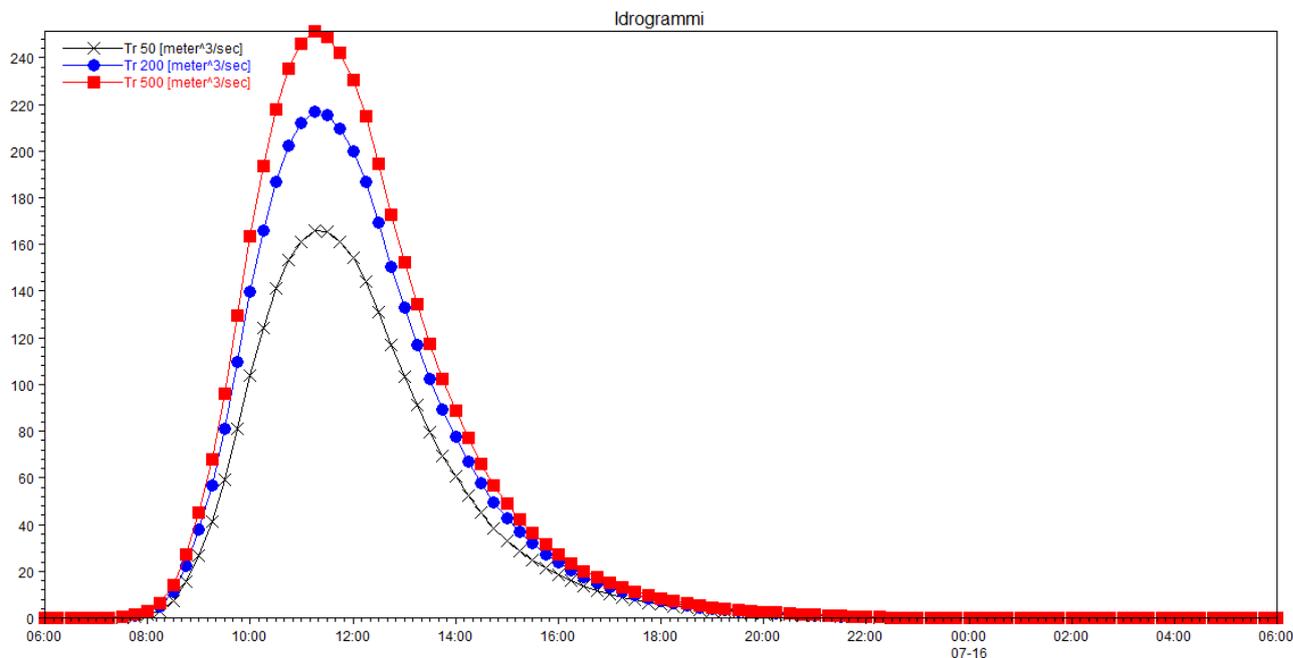


Figura 4. Idrogrammi di progetto del torrente Settimo

L'assegnazione della scabrezza è stata basata sui valori tabellati del coefficiente di Manning in funzione dell'uso del suolo¹ dai quali si è risaliti ai valori del coefficiente di scabrezza di Strickler.

Copertura	n	Ks	%	Ks 2D
	$m^{-1/3} s$	$m^{1/3} s^{-1}$		$m^{1/3} s^{-1}$
Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0.05	20.00	2.00	22.00
Aree industriali commerciali e dei servizi pubblici e privati	0.03	33.33	2.00	35.00
Seminativi in aree non irrigue	0.12	8.33	2.00	10.00
Oliveti	0.12	8.33	2.00	10.00
Colture temporanee associate a colture permanenti	0.25	4.00	2.00	6.00
Sistemi colturali e particellari complessi	0.25	4.00	2.00	6.00
Colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.15	6.67	2.00	9.00
Boschi di latifoglie	0.6	1.67	2.00	4.00
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	0.25	4.00	2.00	6.00
Spagge dune e sabbie	0.3	3.33	2.00	5.00

Figura 5. Valori del coefficiente di scabrezza in funzione della copertura del suolo

¹ Cfr S. Grimaldi et al.(2010) "Flow time estimation with spatially variable hillslope velocity in ungauged basins", Advances in Water Resources 33, 1216-1223 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.903.3106&rep=rep1&type=pdf>

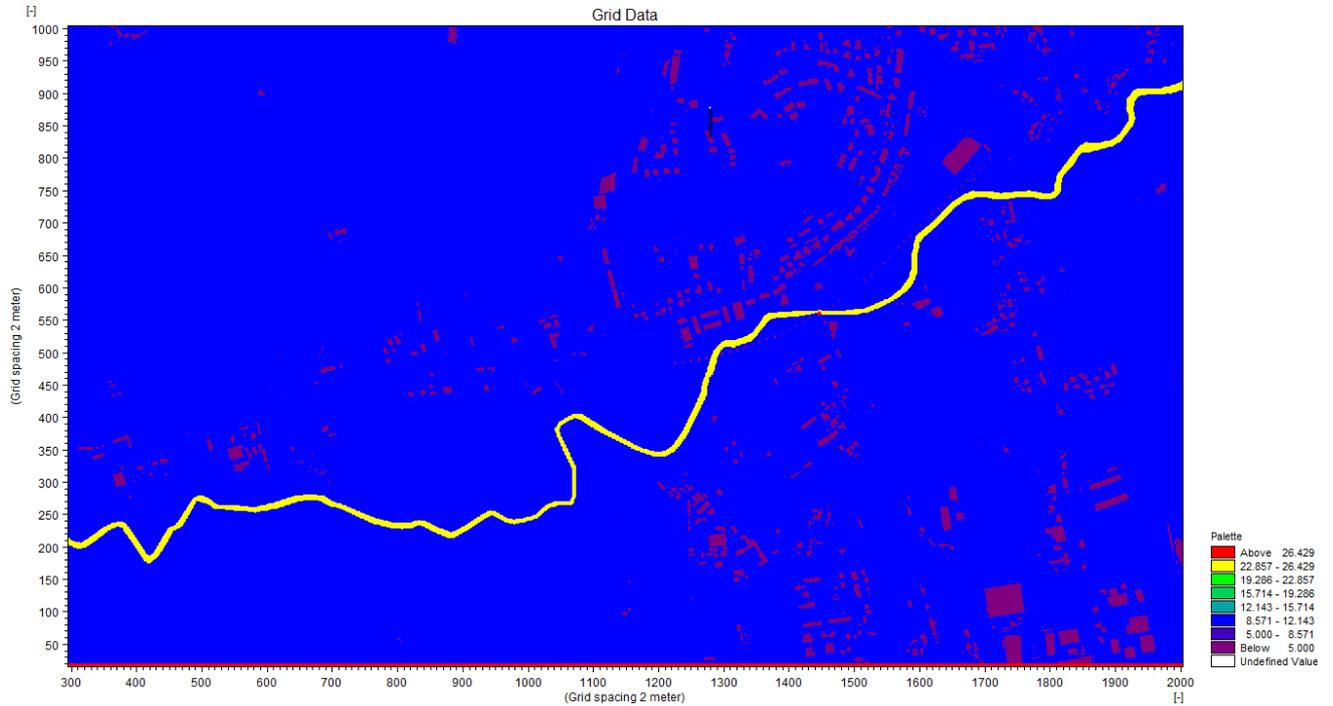


Figura 6. Coefficiente di scabrezza di Manning

5.1 Risultati

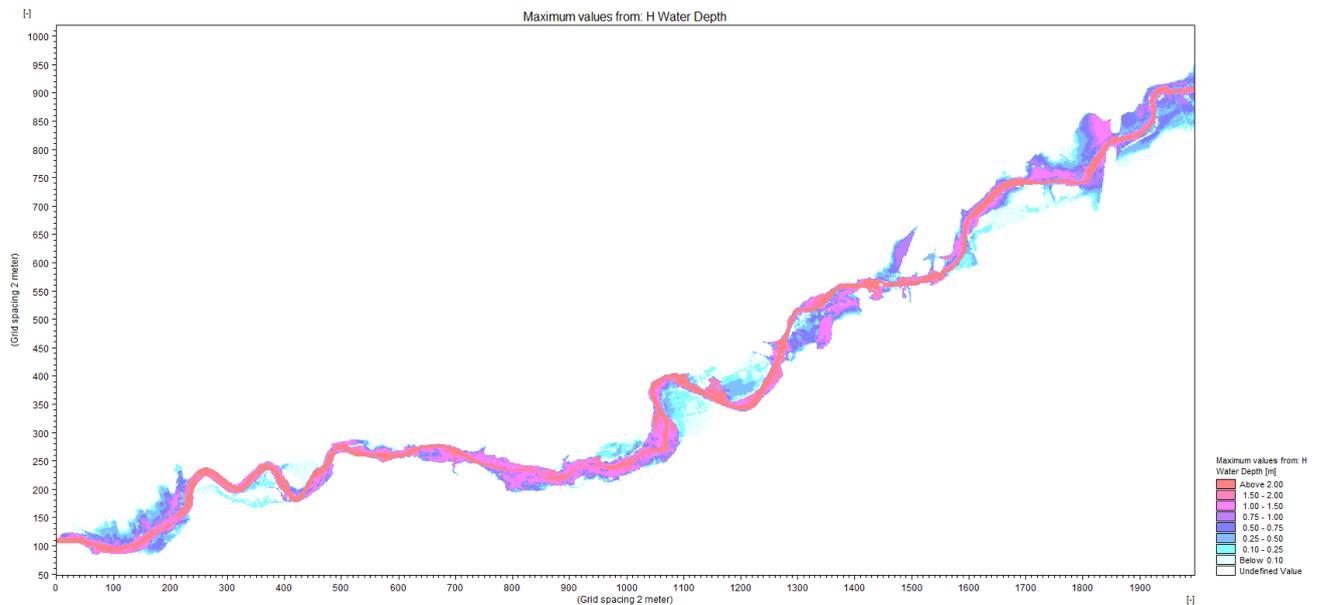


Figura 7. Inviluppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 50 anni -AO

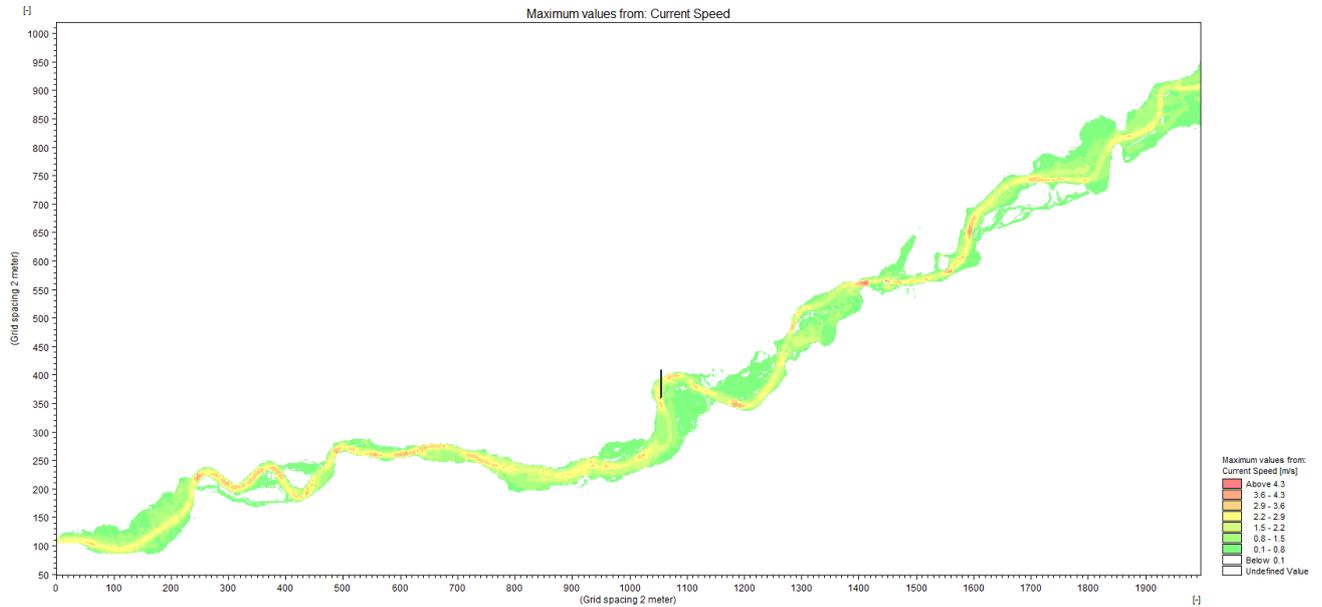


Figura 8. Involuppo delle velocità massime asincrone- Tr 50 anni -AO

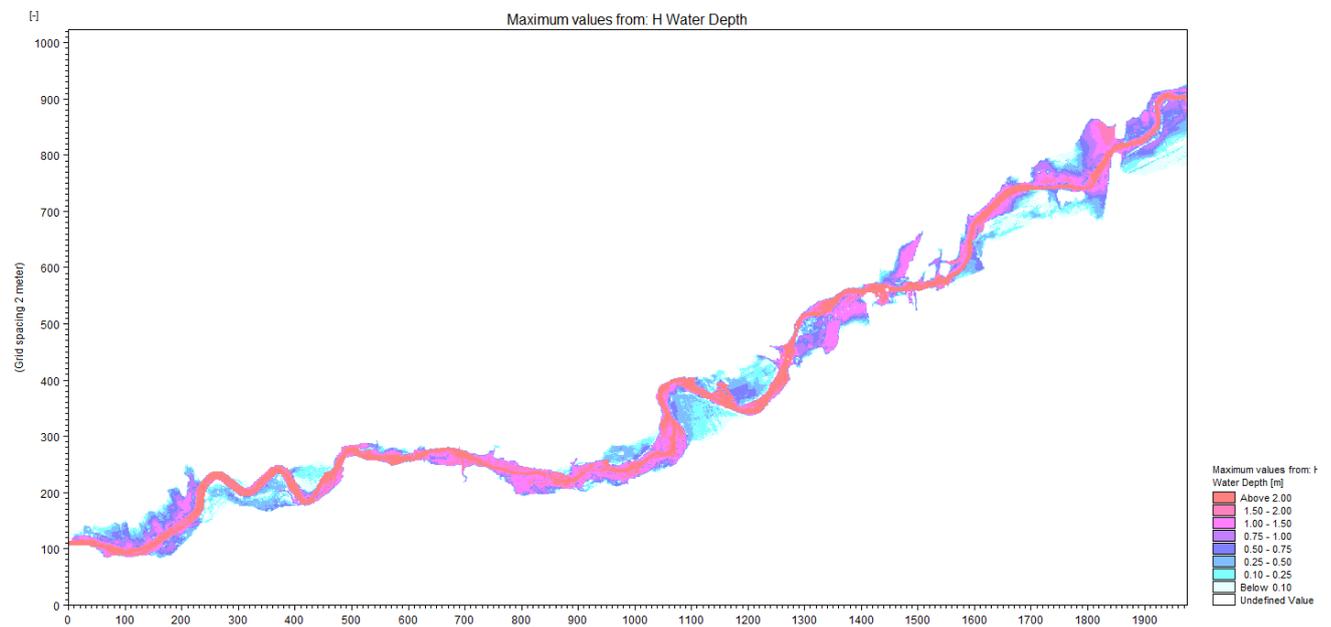


Figura 9. Involuppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 200 anni -AO

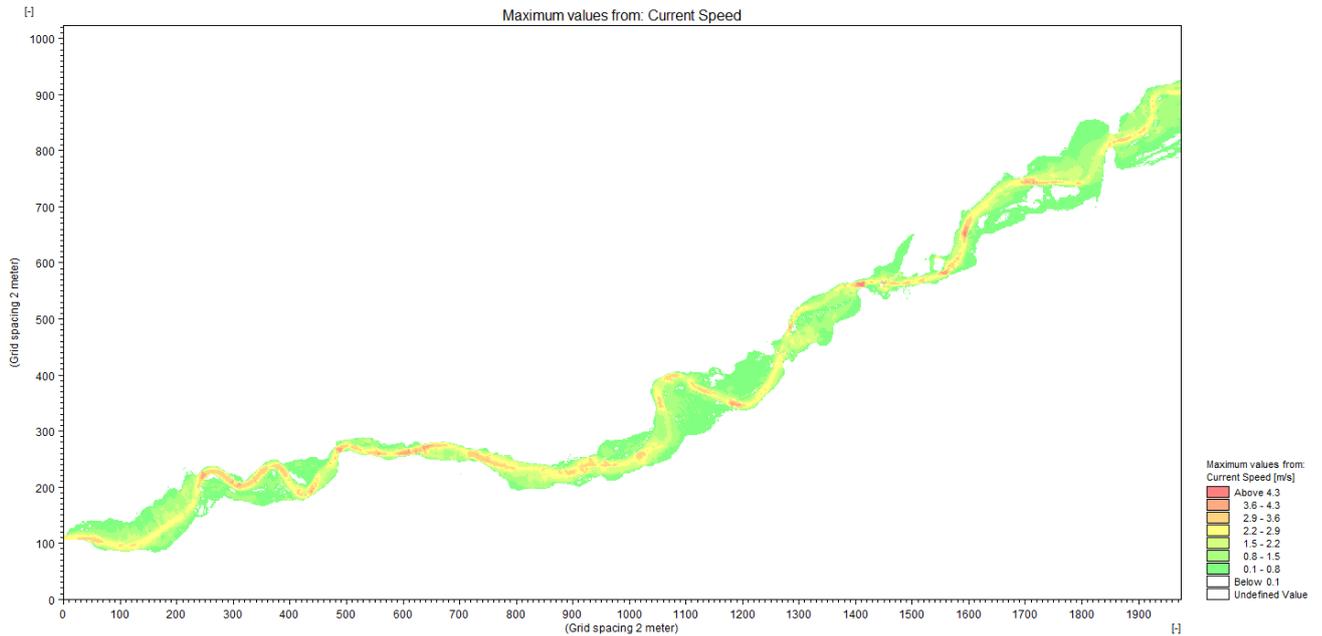


Figura 10. Inviluppo delle velocità massime asincrone- Tr 200 anni -AO

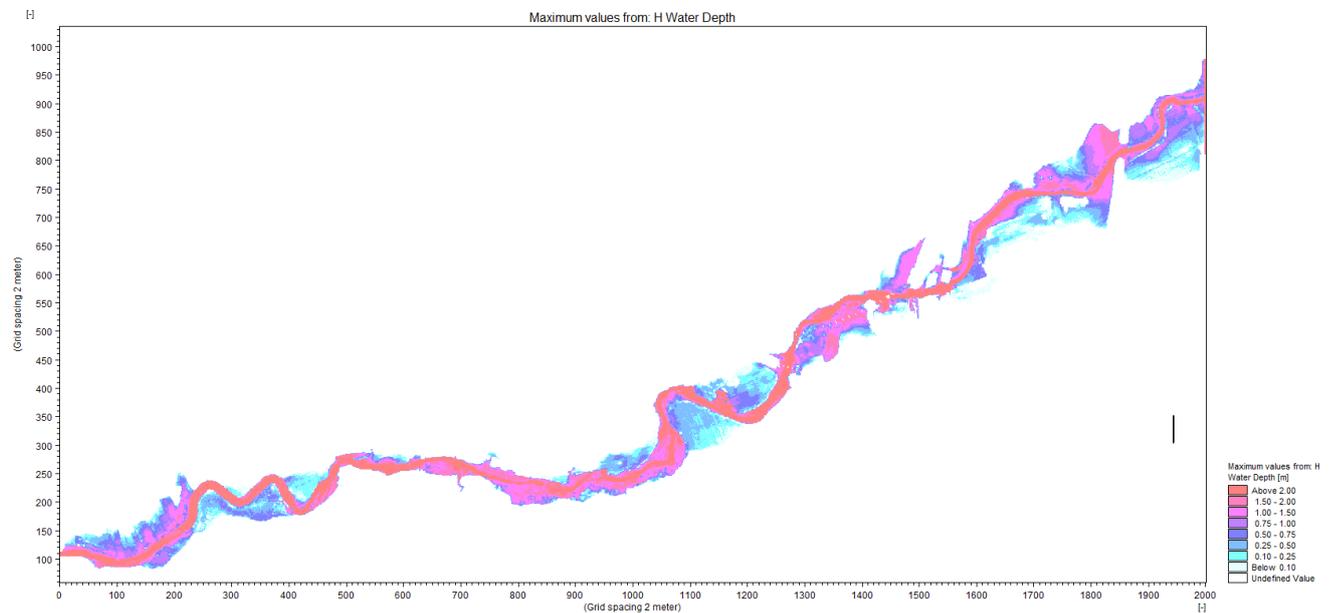


Figura 11. Inviluppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 500 anni -AO

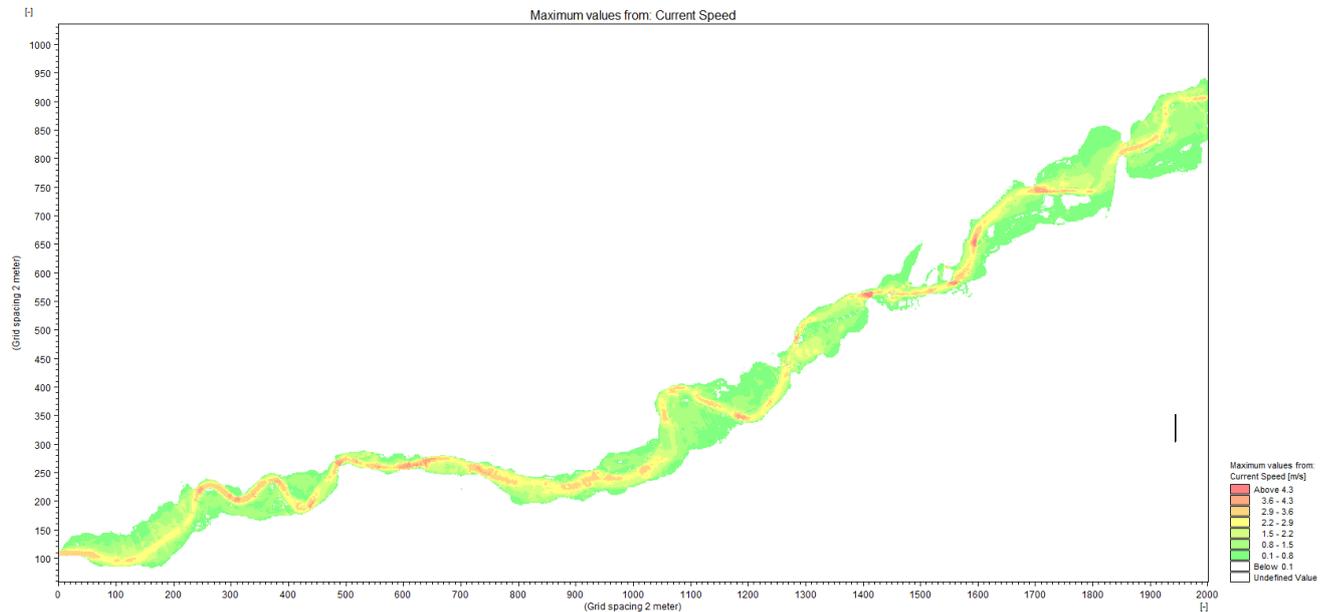


Figura 12. Involuppo delle velocità massime asincrone- Tr 500 anni -AO

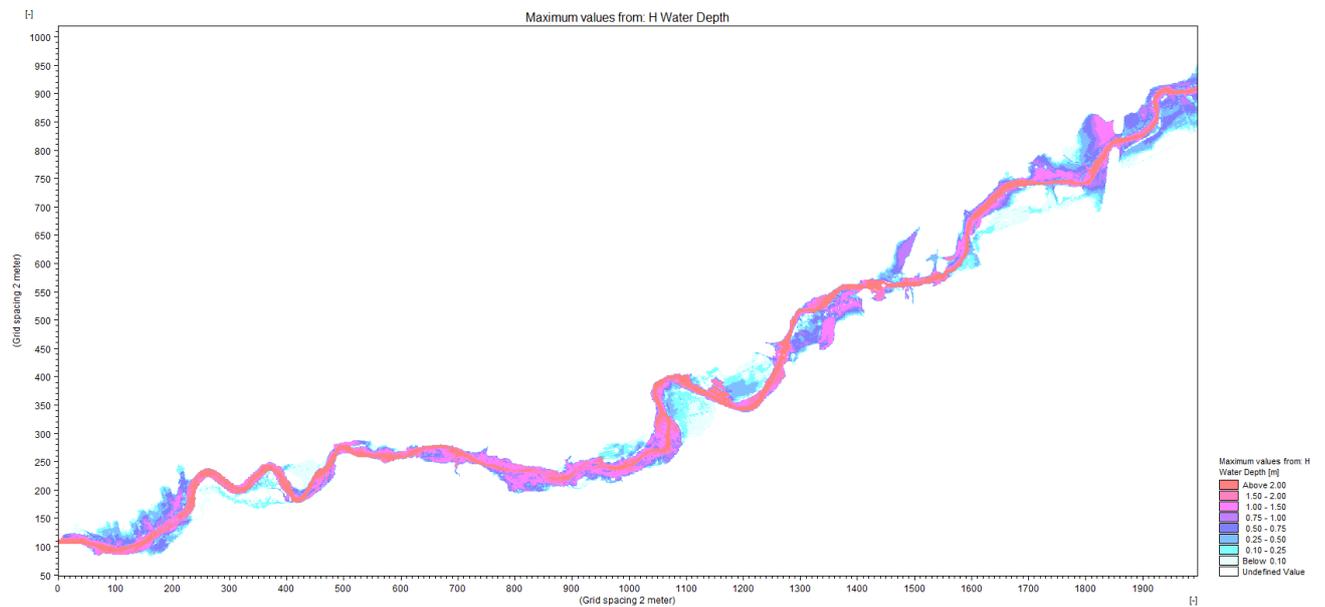


Figura 13. Involuppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 50 anni -PO

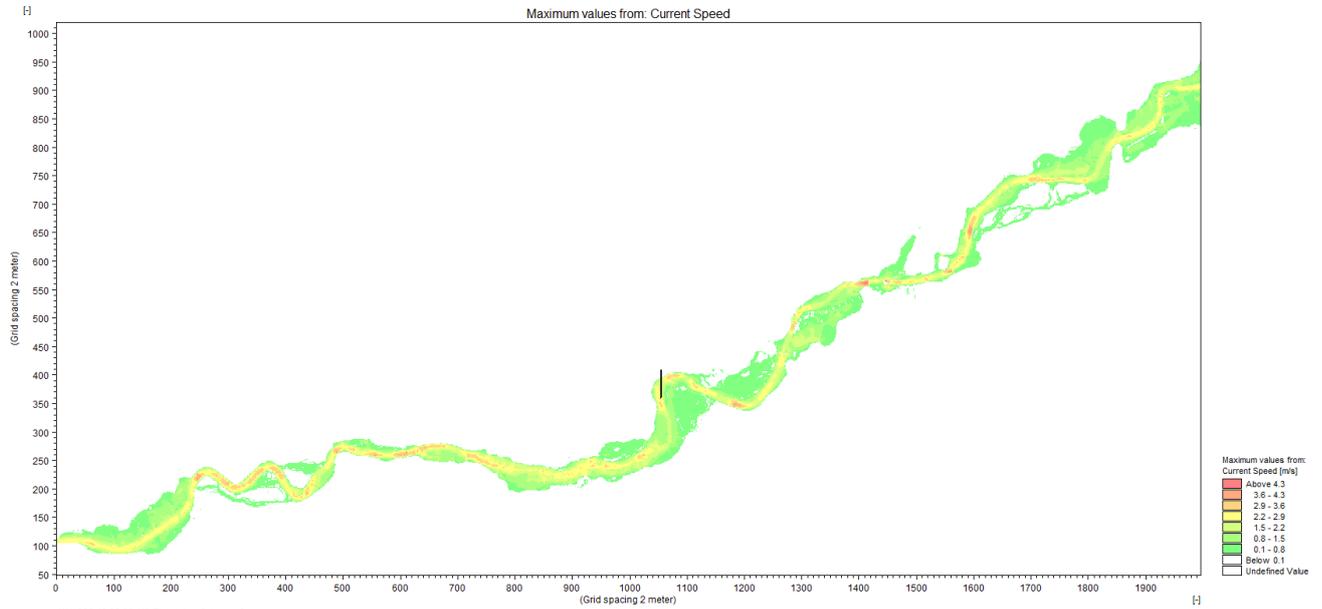


Figura 14. Inviluppo delle velocità massime asincrone- Tr 50 anni -PO

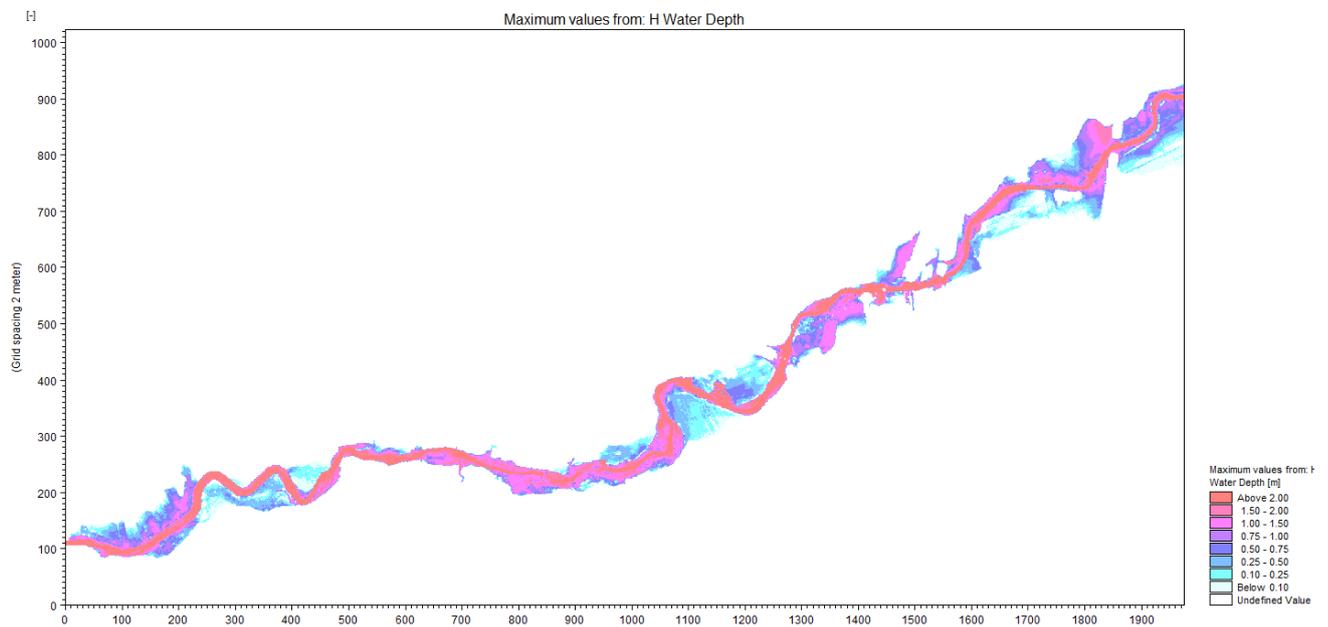


Figura 15. Inviluppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 200 anni -PO

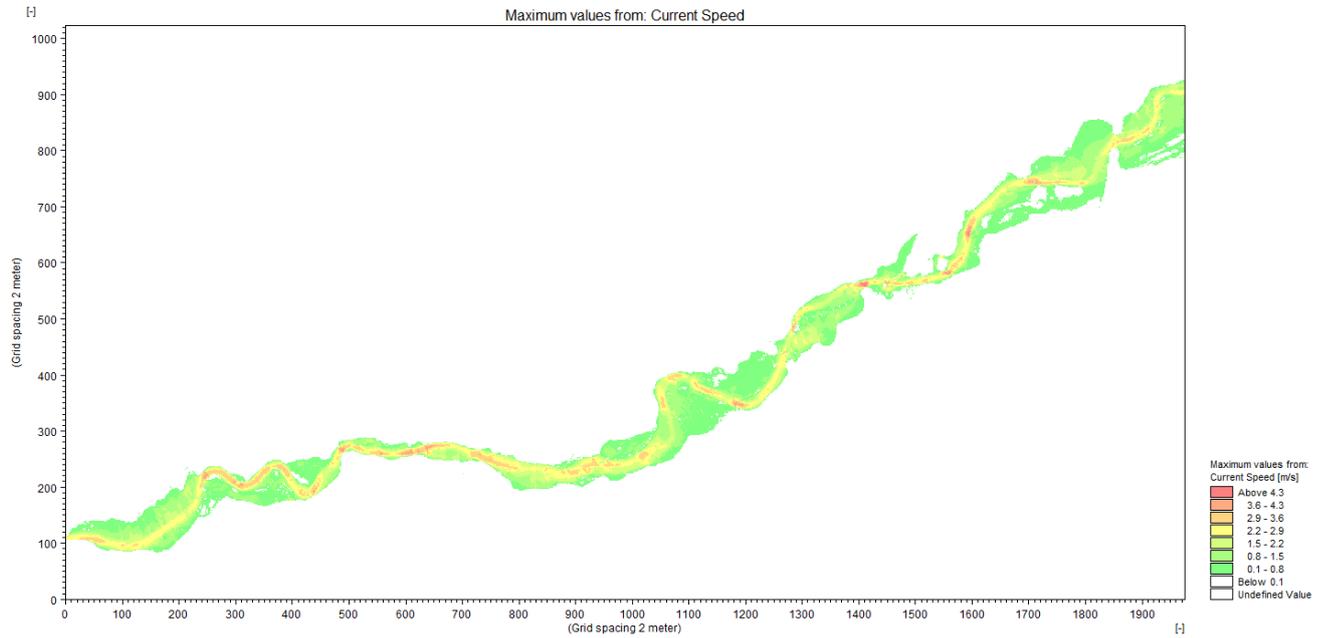


Figura 16. Inviluppo delle velocità massime asincrone- Tr 200 anni -PO

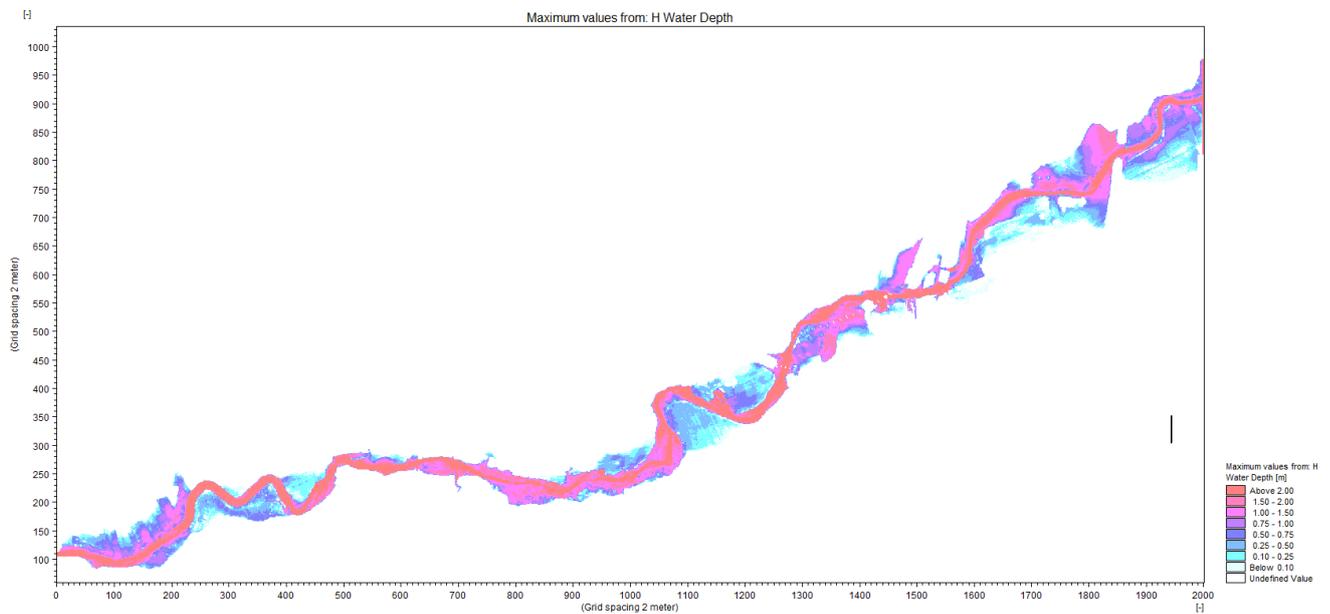


Figura 17. Inviluppo dei tiranti massimi asincroni- Tr 500 anni -PO

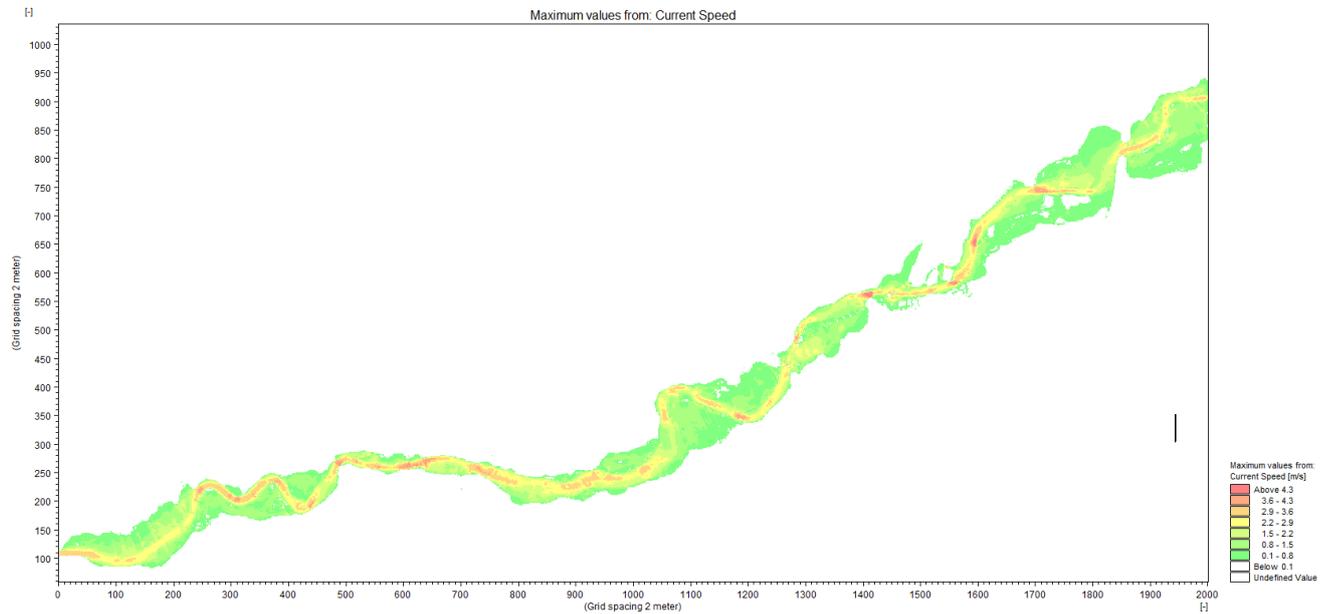


Figura 18. Inviluppo delle velocità massime asincrone- Tr 500 anni -PO

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09R1</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>24 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09R1	ID0002 002	B	24 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09R1	ID0002 002	B	24 di 41								

6 STIMA DELL'EROSIONE LOCALIZZATA

Nelle zone attigue agli elementi strutturali quali pile e spalle dei ponti si genera un complesso di fenomeni erosivi per la variazione di intensità e distribuzione della velocità della corrente. Con l'incremento della velocità associato all'addensamento delle linee di flusso si instaura un sistema di vortici ad asse orizzontale (comunemente definiti a ferro di cavallo) ed ad asse verticale (vortici a scia) che agendo sul contorno della pila provoca un aumento dell'erosione.

E' possibile distinguere due regimi di erosione localizzata in funzione del tempo: il *clear water* e il *live-bed*. Il regime di *clear water* è caratterizzato da una corrente meno aggressiva nei confronti del fondo alveo essendo povera di sedimenti, a fronte di un processo che si sviluppa su lunghi periodi, tanto che possono essere necessari diversi eventi di piena prima che venga raggiunto il valore massimo. Se il flusso d'acqua cresce di intensità, allora vi è un apporto consistente di sedimenti da monte, e si entra in un regime di *live bed*, dove il fenomeno erosivo si accentua e raggiunge i valori massimi in brevissimo tempo.

Nella letteratura tecnica sono disponibili diverse relazioni sperimentali per la valutazione della profondità massima di erosione in corrispondenza delle pile e delle spalle: nel presente progetto si è fatto ricorso a quattro formulazioni raccomandate dal *Federal Highway Administration (FHWA)* illustrate nella pubblicazione N.FHWA-HIF-12-2003.

La massima profondità di scavo è legata a molti fattori tra i quali:

- le caratteristiche granulometriche del materiale di fondo alveo nel tratto del ponte (diametro dei sedimenti e loro distribuzione in frequenza, forma dei grani, presenza di un certo grado di coesione, peso specifico); in particolare l'esistenza di uno strato superficiale di corazzamento e quindi di una distribuzione sostanzialmente bimodale dei sedimenti, limita le capacità erosive della corrente fino al momento in cui la corrente non rimuove lo strato superficiale stesso;
- l'esistenza di apporti solidi da monte in caso di piena che sono in grado, durante il transitorio del passaggio dell'onda di piena, di rimpiazzare i sedimenti rimossi;
- la durata dell'evento di piena in rapporto al tempo necessario alla rimozione del materiale e al raggiungimento di una condizione di stabilità dello scavo;
- la forma e le dimensioni (ingombro, rapporto lunghezza/larghezza) delle pile;
- la profondità, la velocità media e la distribuzione di velocità della corrente indisturbata;
- l'angolo di attacco della corrente, tra la direzione della corrente e l'asse longitudinale della pila;
- il grado di restringimento della sezione del ponte.

Il fenomeno presenta caratteristiche di non stazionarietà: frequentemente in caso di piena la massima erosione, che coincide con i massimi valori di velocità della corrente, si verifica prima del passaggio del colmo

di piena. Una volta transitata l'onda è possibile che la quota del fondo alveo si presenti invariata (o addirittura aumentata) grazie agli apporti solidi giunti da monte che si sono depositati durante tutta la fase di esaurimento della piena stessa. Diventa dunque importante valutare correttamente le condizioni più gravose in termini di velocità della corrente e, sulla base di queste, stimare l'entità dello scavo.

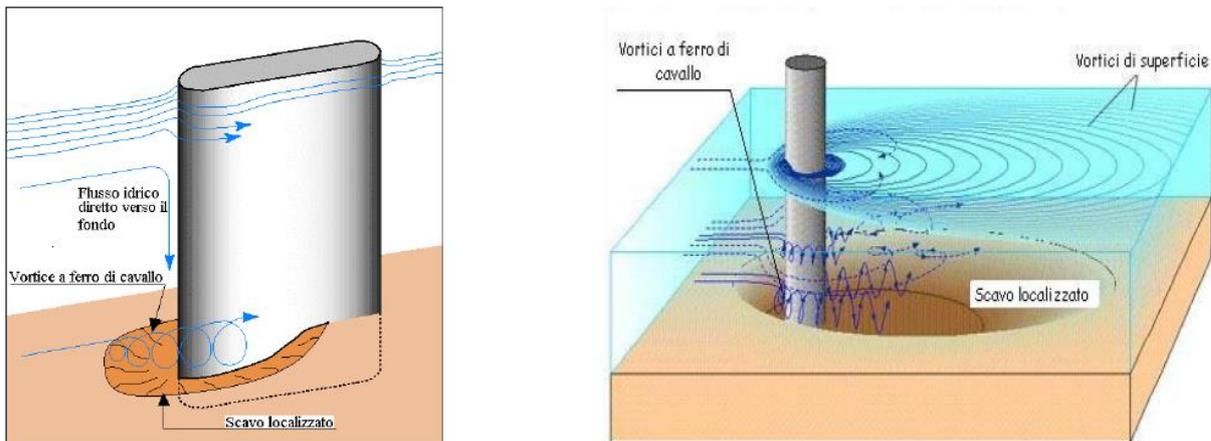


Figura 19. Rappresentazione schematica del campo di moto e del processo di escavazione localizzata in corrispondenza di una pila di ponte.

6.1 Froehlich

Secondo la formulazione di **Froehlich**, lo scalzamento atteso è pari a:

$$y_s = 0,32 \times K_p \times a'^{0,62} \times h_m^{0,47} \times F_m^{0,22} \times d_{50}^{-0,09}$$

con:

- K_p Fattore che tiene conto della forma delle pile, pari a:

$K_p = 1,00$ per pile o gruppi di pile circolari o con fronti arrotondate

$K_p = 0,70$ per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente

$K_p = 1,30$ per pile rettangolari;

- a' la proiezione, nella direzione ortogonale a quella della corrente, della larghezza a della pila;
- h_m Altezza della corrente idrica a monte della pila;
- F_m numero di Froude della corrente in corrispondenza delle pile, pari a:

$$F_m = V_0 / (gh_m)^{1/2}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO RC1C 03 R09RI ID0002 002 B 26 di 41

6.2 Formula di Breuseurs

La formula di Breusers et al. (1977), aggiornata da Elliot e Baker, consente di valutare la profondità di scavo localizzato come:

$$\frac{Y_s}{b} = f_1 \left(\frac{V_0}{V_c} \right) \cdot \left[2 \operatorname{thar} \left(\frac{V_0}{b} \right) \right] \cdot f_2(\text{forma}) \cdot f_3 \left(\alpha, \frac{L}{b} \right) \cdot f_4(b, a)$$

in cui Y_s è la profondità di scavo a partire dal fondo del terreno indisturbato; B , la larghezza della pila; L , la lunghezza della pila; a , l'interasse tra le pile; V_0 , la velocità media della corrente indisturbata; V_c , la velocità critica di trascinarsi relativa al materiale di diametro d ; per i miscugli si adotta $d=d_{50}$ e si può ottenere la velocità critica dalla $V_c = 0,85 \sqrt{2gd_{50}(\gamma_s - \gamma)/\gamma}$ dove γ_s è il peso specifico del materiale di fondo e γ è il peso specifico dell'acqua; d_{50} , il diametro corrispondente al 50% di passante in peso, caratteristico del materiale; α , l'angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila; f_1 , coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale in rapporto a quelle della corrente, pari a:

$$f_1 = 0 \quad \text{per } (V_0/V_c) < 0.5;$$

$$f_1 = 2 \cdot V_0/V_c - 1 \quad \text{per } 0.5 < (V_0/V_c) < 1.0;$$

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

f_2 , coefficiente di forma, pari a:

$$f_2 = 1.00 \quad \text{per pile circolari o con fronti arrotondate};$$

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

$$f_2 = 1.30 \quad \text{per pile rettangolari};$$

f_3 , coefficiente funzione della forma e dell'inclinazione della pila, ricavabile dalla figura seguente; f_4 , coefficiente che tiene conto dell'interasse tra le pile (a), valutabile come

$$f_4 = 1 + 1.79/(a/b - 1)^{0.695} \quad \text{per } a/b < 4$$

$$f_4 = 2.95 - 0.278 \cdot (a/b) \quad \text{per } 4 < a/b < 7$$

$$f_4 = 1 \quad \text{per } a/b > 7$$

Il valore limite 7 è legato all'estensione laterale dello scavo in corrispondenza della pila. Sperimentalmente è stato ricavato che, definite L la distanza tra l'asse della pila e il ciglio laterale della fossa e b la larghezza della pila, il rapporto L/b si mantiene, per tiranti idrici maggiori di b , circa uguale a 3.

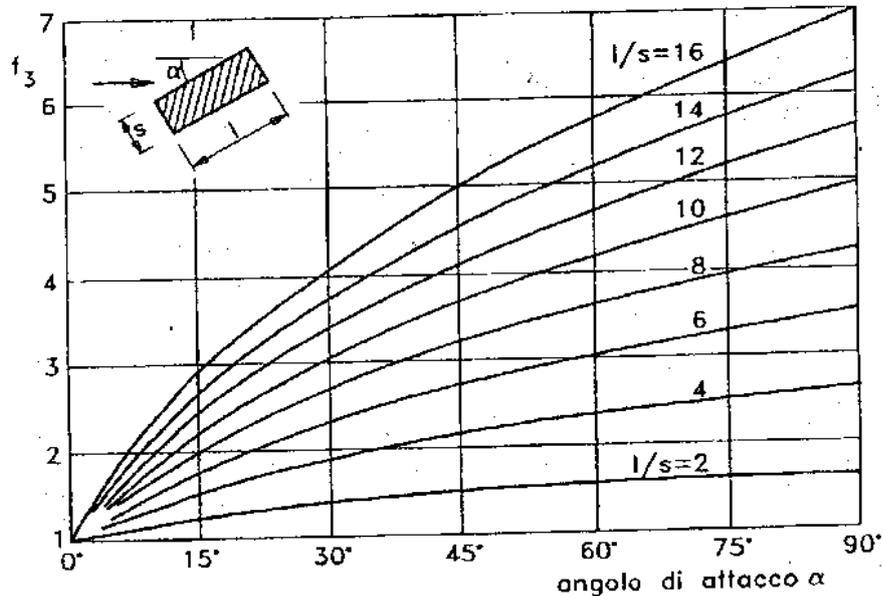


Figura 20 – Diagramma per il calcolo del coefficiente f_3 della formula di Breusers per una pila a sezione rettangolare.

6.3 Formula CSU

Una delle formulazioni comunemente più utilizzate, valida per singola pila, è la nota equazione **CSU** (Colorado State University, 1995); tale espressione venne sviluppata sulla base sia di un'analisi dimensionale dei parametri in grado di influenzare il fenomeno, che a partire dai risultati ottenuti da sperimentazioni condotte in laboratorio. La relazione analitica proposta è la seguente:

$$\frac{Y_s}{Y_0} = 2,0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left(\frac{b}{Y_0} \right)^{0,65} F_0^{0,43}$$

$Y_s [m]$ è la massima profondità di erosione (fase di equilibrio del processo erosivo) a partire dal fondo alveo medio locale; $b [m]$ = larghezza della pila in metri; $Y_0 [m]$ = profondità media della corrente di monte; F_0 = Numero di Froude della corrente di monte; K_1 = fattore di correzione per la forma della pila; K_2 = fattore di correzione per l'angolo di attacco della corrente; K_3 = fattore di correzione per le condizioni del fondo alveo; K_4 = fattore di correzione per il materiale che compone il fondo alveo.

Il coefficiente K_1 è stato tabulato per diversi tipi di forma del fronte della pila e varia da 1.1 per pile squadrate, a 1.0 per pile con fronte semicircolare o per pile circolari o per pile costituite da gruppi di cilindri, fino ad un valore di 0.9 per pile con fronte ben raccordato di forma triangolare.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

Correction Factor, K_1	
Shape of Pier Nose	K_1
(a) Square nose	1.1
(b) Round nose	1.0
(c) Circular cylinder	1.0
(d) Group of cylinders	1.0
(e) Sharp nose	0.9

Il coefficiente K_2 viene calcolato con la seguente formula:

$$K_2 = \left(\cos\theta + \frac{L}{b} \operatorname{sen}\theta \right)^{0.65}$$

L indica la lunghezza della pila; θ indica l'angolo di attacco della corrente rispetto all'asse di simmetria della stessa pila.

Correction Factor, K_2			
Angle	L/a=4	L/a=8	L/a=12
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.75	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0

Angle = skew angle of flow
L = length of pier

Anche il coefficiente K_3 è riportato in appositi tabulati. Esso considera le condizioni morfologiche del fondo e varia da 1.1 per fondo piano fino a 1.3 per fondo con presenza di dune di dimensioni importanti.

Bed Condition	Dune Height ft	K_3
Clear-Water Scour	N/A	1.1
Plane bed and Antidune flow	N/A	1.1
Small Dunes	$10 > H \geq 2$	1.1
Medium Dunes	$30 > H \geq 10$	1.2 to 1.1
Large Dunes	$H \geq 30$	1.3

Il coefficiente K_4 rappresenta un fattore correttivo dello scalzamento che tiene conto della protezione di fondo (armouring) costituita da granulometrie grossolane presenti in alveo o ad una certa profondità. La stima di tale parametro può essere fatta applicando la seguente formula:

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

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_i}{V_{C90} - V_i} \right]$$

	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

$$V_i = 0.645 \left[\frac{D_{50}}{b} \right]^{0.053} \cdot V_{C50}$$

con V_R = carico cinetico; V_i = velocità media in alveo o in golena nella sezione subito a monte del ponte; V_i = velocità di incipiente movimento; b [m] = larghezza della pila; V_{C90} = velocità critica per le particelle con diametro D_{90} ; V_{C50} = velocità critica per le particelle con diametro D_{50} . È possibile calcolare la velocità critica V_C come:

$$V_C = 10.95 y_0^{1/6} D_C^{1/3}$$

in cui y_0 [m] = tirante d'acqua subito a monte delle pile; D_C [m] = dimensione critica delle particelle per la velocità critica.

Il valore K_4 deve essere sempre superiore a 0.7, mentre il materiale del fondo che produce protezione dallo scalzamento non deve essere inferiore a 0.06 m.

6.4 Melville

Secondo la formulazione di **Melville**, lo scalzamento può essere valutato come:

$$Y_s = K_{hb} \cdot K_v \cdot K_d \cdot K_S \cdot K_\theta \cdot K_g$$

I fattori K si calcolano come di seguito indicato mediante espressioni empiriche.

Il fattore K_{hb} tiene conto dell'influenza dell'altezza idrica d rispetto alle dimensioni della pila D_p e può essere calcolato mediante le due seguenti equazioni valide rispettivamente per le pile e le spalle:

- K_{hb} , per le pile:

$$K_{hb} = 2.4 D_p \quad \text{per } D_p/d \leq 0.7;$$

$$K_{hb} = 2\sqrt{d \cdot D_p} \quad \text{per } 0.7 < D_p/d \leq 5.0;$$

$$K_{hb} = 4.5 d \quad \text{per } D_p/d > 5.0;$$

- K_{hb} , per spalle verticali:

$$K_{hb} = 2L \quad \text{per } L/d \leq 1;$$

$$K_{hb} = 2\sqrt{L/d} \quad \text{per } 1 < L/d \leq 25;$$

$$K_{hb} = 10L \quad \text{per } L/d > 25;$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09R1	DOCUMENTO ID0002 002

Il fattore K_f rappresenta l'influenza dell'intensità della corrente e può essere ricavato dalla seguente equazione, valida per sedimenti uniformi:

$$K_f = \frac{V}{V_c} \quad \text{per } \frac{V}{V_c} < 1;$$

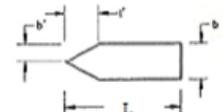
$$K_f = 1 \quad \text{per } \frac{V}{V_c} \geq 1;$$

Il fattore K_d tiene conto della dimensione dei sedimenti e può essere calcolato come segue:

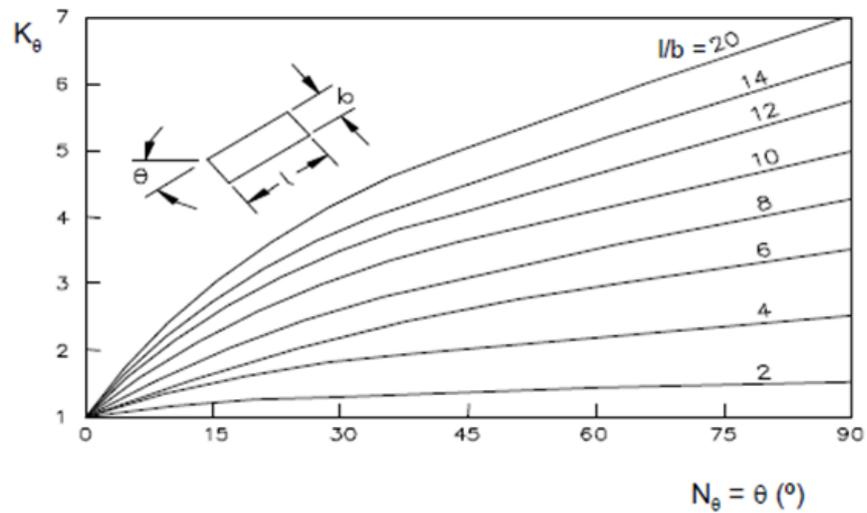
$$K_d = 0.57 \log \left(2.24 \frac{D_p}{D_{50}} \right), \text{ per } \frac{D_p}{D_{50}} \leq 25$$

$$K_d = 1, \text{ per } \frac{D_p}{D_{50}} > 25$$

Il fattore K_s tiene conto della forma dell'ostacolo e può essere calcolato dalla seguente tabella.

Forma della pila	D_p/L	b'/l'	K_s
cilindrica			1,00
rettangolare	1/1		1,22
	1/3		1,08
	1/5		0,99
rettangolare con naso semicircolare	1/3		0,90
naso semicircolare con coda appuntita	1/5		0,86
rettangolare con angoli smussati	1/4		1,01
rettangolare con naso appuntito	1/3	1/2	0,76
		1/4	0,65
Ellittica 	1/2		0,83
	1/3		0,80
	1/5		0,61
Lenticolare	1/2		0,80
		1/3	0,70

Il fattore K_θ tiene conto dell'allineamento dell'ostacolo con la corrente. Il fattore K_θ mette in relazione la profondità di scavo che si verifica per un ostacolo caratterizzato da un angolo θ con quella che si verifica per lo stesso ostacolo con angolo di 0° :



Il fattore K_g tiene conto della forma della sezione e nel caso della pila vale 1.

6.5 Verifiche

Il nuovo attraversamento ferroviario sul torrente Settimo verrà realizzato in viadotto a quattro campate, quella centrale di scavalco ad interasse da 70 m e le altre da 45m. Le pile sono circolari dal diametro di 4.5 m di diametro. Sui plinti di fondazione, di dimensioni 16m x 11.5 m, si prevede un ricoprimento di fondazione di 1 m onde evitare uno scavo eccessivo per la posa degli elementi strutturali a tergo del rilevato esistente.

Le pile bagnate dal deflusso di piena risultano essere due ovvero quelle in sinistra idraulica più prossime all'alveo.

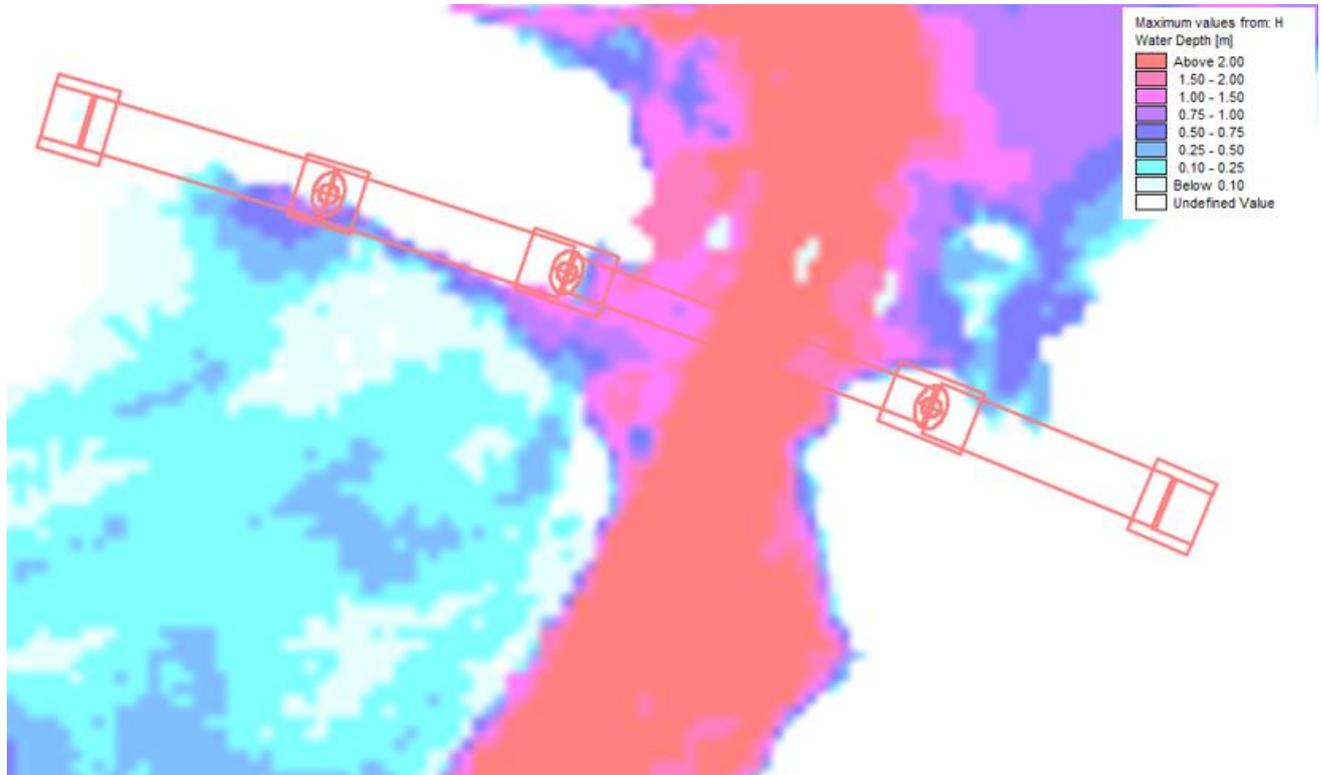


Figura 21. Focus on: tiranti idrici massimi asincroni -post operam- Tr 200

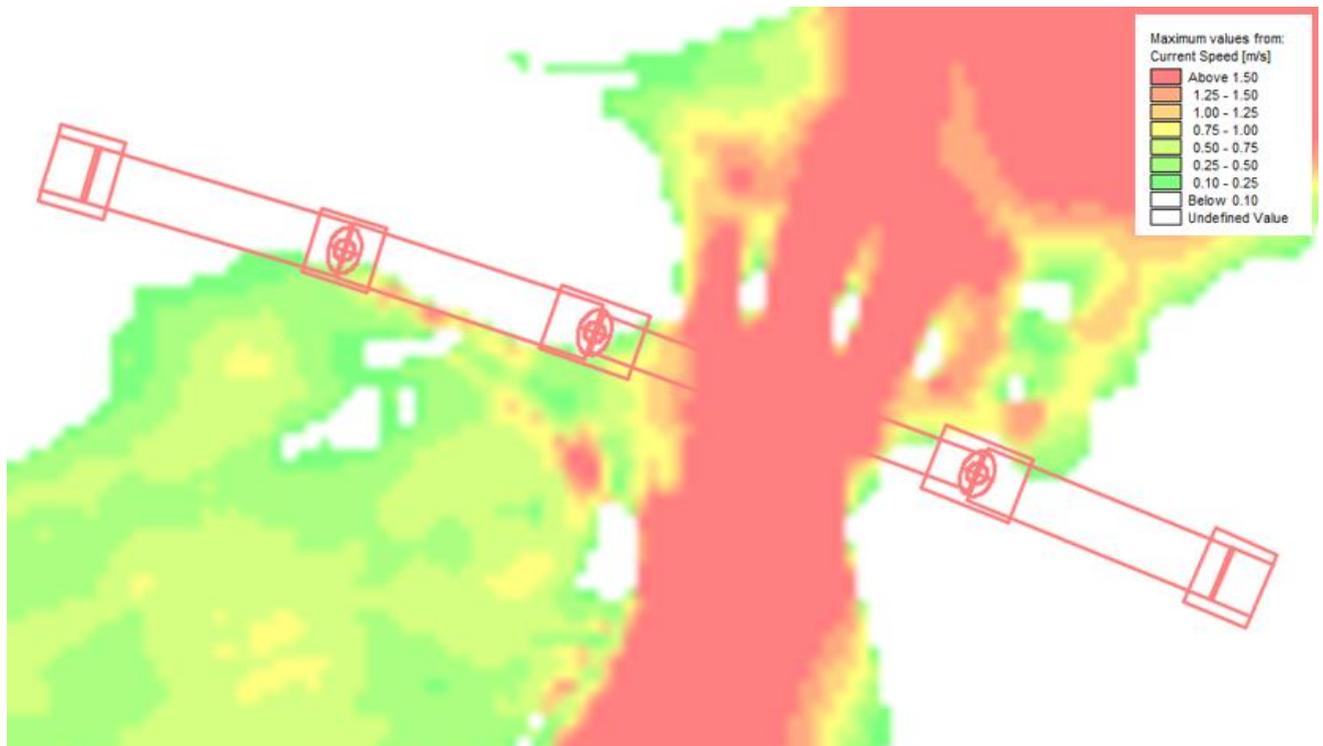


Figura 22. Focus on: velocità massime asincrone -post operam- Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09R1	DOCUMENTO ID0002 002

La stima dello scalzamento massimo è stata eseguita considerando le formule sopra illustrate alla luce dei risultati della modellazione idraulica bidimensionale. Per la pila 3, essendo più esposta, si è tenuto conto della larghezza equivalente pila-fondazione.

Dati PILA -FONDAZIONE			
a	3.5	[m]	Larghezza pila
L	3.5	[m]	Lunghezza pila
β	17	[°]	Direzione dell'asse della pila (da nord)
θ	90	[°]	Direzione della corrente (da nord)
α	73	[°]	Angolo compreso tra l'asse della pila e la direzione della corrente
h_m	0.85	[m]	Tirante idraulico a monte della pila
v	0.35	[m/s]	Velocità media
Fr	0.20	-	Numero di Froude della corrente in corrispondenza della pila
D_{50}	2.63E-05	[m]	Dimensione media del materiale
	0.026347	[mm]	
L/a	1.00	[-]	Rapporto Lunghezza/larghezza
U_c	0.03	[m/s]	Velocità critica della corrente
U/ U_c	13.64	[-]	Rapporto tra velocità media e quella critica
int	45.00	[m]	Interasse tra le pile
γ	1.00	[m]	Ricoprimento al di sopra della testa del plinto
a^*	16.00	[m]	larghezza della fondazione
a_e	14.63	[m]	larghezza efficace pila-plinto

Figura 23. Caratteristiche geometriche e idrauliche –Pila 3

a'	18.27	[m]	proiezione, nella direzione ortogonale a quella della corrente, della larghezza della pila
K_p	1.3	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile rettangolari)
	0.7	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile sagomate)
	1	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile circolari)
y_s	3.25	[m]	Scalzamento massimo calcolato con Froehlic

Figura 24. Scalzamento massimo stimato con Froehlic –Pila 3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

f_1	1	[-]	Coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale in rapporto a quelle della corrente
f_2	1.3	[-]	Coefficiente di forma (pila rettangolare)
	0.75	[-]	Coefficiente di forma (pila sagomata idraulicamente)
	1	[-]	Coefficiente di forma (pila circolare)
f_2	1.3	[-]	Coefficiente di forma di progetto
f_3	1.1	[-]	Coefficiente di forma (da grafico, in funzione di Lunghezza/larghezza e angolo di attacco)
int/a	3.1	[-]	
f_4	2.1	int/a < 4	Coefficiente che tiene conto dell'interasse tra le pile
	2.1	4 < < 7	
	1.0	int/a >= 7	
	2.1	di progetto	
y_s	5.26	[m]	Scalzamento massimo calcolato con Breuseurs

Figura 25. Scalzamento massimo stimato con Breuseurs –Pila 3

L/a	1.00		Rapporto Lunghezza/larghezza
K_1	1.1	[-]	fattore di correzione -forma della pila
K_2	1.2	[-]	fattore di correzione angolo di attacco della corrente
K_3	1.1	[-]	fattore di correzione - condizioni fondo alveo
y_s	7.56	[m]	Scalzamento massimo calcolato con la formula CSU
<i>Correzione per pile ampie in flussi poco profondi</i>			
y/a	0.06	< 0.8	CORREZIONE NECESSARIA
a/D ₅₀	132842.4	> 50	
Fr	0.200	< 1	
Uc	0.026	[m/s]	Velocità critica della corrente
U/Uc	13.64	[-]	Rapporto tra velocità media e quella critica
K_w	0.462		fattore di correzione per pile ampie in flussi poco profondi
y_s	3.49	[m]	Scalzamento massimo calcolato con la formula CSU+ correzione
y_s	3.49	[m]	Scalzamento massimo di riferimento -CSU

Figura 26. Scalzamento massimo stimato con CSU –Pila 3

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

K_{yB}	3.83	[-]	Fattore che tiene conto dell'altezza idrica rispetto alle dimensioni della pila
K_l	1.00	[-]	fattore che tiene conto dell'influenza della corrente
K_d	1.00	[-]	Fattore che tiene conto della dimensione dei sedimenti
a/L	1.00	[-]	
K_s	1.22	[-]	Fattore che tiene conto della forma dell'ostacolo
K_θ	1.00	[-]	Fattore che tiene conto dell'allineamento dell'ostacolo con la corrente
K_G	1.00	[-]	Tiene conto della forma della sezione (per pile vale 1)
y_s	4.67	[m]	Scalzamento massimo di riferimento -Melville

Figura 27. Scalzamento massimo stimato con Melville –Pila 3

Dati PILA			
f	CIRCOLARE	[-]	Forma della pila (CIRCOLARE,QUADRATA,SAGOMATA,ARROTONDATA)
a	4.5	[m]	Larghezza pila
L	4.5	[m]	Lunghezza pila
β	17	[°]	Direzione dell'asse della pila (da nord)
θ	26	[°]	Direzione della corrente (da nord)
α	0	[°]	Angolo compreso tra l'asse della pila e la direzione della corrente
h_m	0.16	[m]	Tirante idraulico a monte della pila
v	0.3	[m/s]	Velocità media alveo
Fr	0.200	-	Numero di Froude della corrente in corrispondenza della pila
D_{50}	2.63E-05	[m]	Dimensione media del materiale
	0.026347	[mm]	
int	45.00	[m]	Interasse tra le pile
L/a	1.00	[-]	Rapporto Lunghezza/larghezza
U_c	0.03	[m/s]	Velocità critica della corrente
U/Uc	11.69	[-]	Rapporto tra velocità media e quella critica

Figura 28. Caratteristiche geometriche e idrauliche - Pila 4

a'	4.5	[m]	proiezione, nella direzione ortogonale a quella della corrente, della larghezza della pila
K_p	1.3	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile rettangolari)
	0.7	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile sagomate)
	1	[-]	fattore che tiene conto della forma delle pile(per pile circolari)
y_s	0.62	[m]	Scalzamento massimo calcolato con Froehlich

Figura 29. Scalzamento massimo stimato con Froehlich- Pila 4

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV/SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

f_1	1	[-]	Coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale in rapporto a quelle della corrente
f_2	1.3	[-]	Coefficiente di forma (pila rettangolare)
	0.75	[-]	Coefficiente di forma (pila sagomata idraulicamente)
	1	[-]	Coefficiente di forma (pila circolare)
f_2	1	[-]	Coefficiente di forma di progetto
f_3	1.0	[-]	Coefficiente di forma (da grafico, in funzione di Lunghezza/larghezza e angolo di attacco)
int/a	10.0	[m]	Rapporto tra l'interasse tra pile e la larghezza della pila
f_4	1.4	int/a < 4	Coefficiente che tiene conto dell'interasse tra le pile
	0.2	4 < < 7	
	1.0	int/a >= 7	
	1.0	di progetto	
y_s	0.32	[m]	Scalzamento massimo calcolato con Breuseurs

Figura 30. Scalzamento massimo stimato con Breuseurs- Pila 4

L/a	1.00		Rapporto Lunghezza/larghezza
K_1	1	[-]	fattore di correzione -forma della pila
K_2	1.0	[-]	fattore di correzione angolo di attacco della corrente
K_3	1.1	[-]	fattore di correzione - condizioni fondo alveo
y_s	1.54	[m]	Scalzamento massimo calcolato con la formula CSU
<i>Correzione per pile ampie in flussi poco profondi</i>			
y/a	0.04	< 0.8	CORREZIONE NECESSARIA
a/D ₅₀	170797.4	> 50	
Fr	0.200	< 1	
Uc	0.026	[m/s]	Velocità critica della corrente
U/Uc	11.69	[-]	Rapporto tra velocità media e quella critica
K_w	0.433		fattore di correzione per pile ampie in flussi poco profondi
y_s	0.67	[m]	Scalzamento massimo calcolato con la formula CSU+ correzione
y_s	0.67	[m]	Scalzamento massimo di riferimento -CSU

Figura 31. Scalzamento massimo stimato con CSU- Pila 4

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

K_{yB}	0.72	[-]	Fattore che tiene conto dell'altezza idrica rispetto alle dimensioni della pila
K_l	1.000	[-]	fattore che tiene conto dell'influenza della corrente
K_d	1	[-]	Fattore che tiene conto della dimensione dei sedimenti
a/L	1.00	[-]	
K_s	1	[-]	Fattore che tiene conto della forma dell'ostacolo
K_θ	1.00	[-]	Fattore che tiene conto dell'allineamento dell'ostacolo con la corrente
K_G	1	[-]	Tiene conto della forma della sezione (per pile vale 1)
y_s	0.72	[m]	Scalzamento massimo di riferimento -Melville

Figura 32. Scalzamento massimo stimato con Melville- Pila 4

Pila	Diametro Pila	Dimensioni plinto	Ricoprimento del plinto	Larghezza equivalente	y_s FROELICH	y_s CSU	y_s BREUSEURS	y_s MELVILLE	y_s MAX
-	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
3	4.5	16 x 16	1	14.63	3.25	3.49	5.26	4.67	5.26
4	4.5	16 x 16	1		0.62	0.32	0.67	0.72	0.67

Figura 33. Tabella riassuntiva con gli scalzamenti stimati

I risultati mostrano come la pila 3 sia soggetta a uno scalzamento superiore alla profondità del piano di posa per cui le fondazioni saranno dimensionate per tenerne conto o eventualmente approfondendo i plinti.

Sono comunque previste delle sistemazioni idrauliche in massi legati in corrispondenze delle pile ed al piede del rilevato esistente della linea storica il cui dimensionamento sarà completato nella successiva fase progettuale.

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO				
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	PROGETTO RC1C	LOTTO 03	CODIFICA R09RI	DOCUMENTO ID0002 002

7 COMPATIBILITA' IDRAULICA

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica degli interventi con l'attuale assetto idraulico del territorio, alla luce degli strumenti di pianificazione territoriale e delle disposizioni legislative vigenti in materia di difesa del suolo e di protezione dal rischio idraulico.

Gli studi sono stati svolti in accordo agli indirizzi dettati per il settore specifico dal "Piano stralcio per l'assetto idrogeologico" della Regione Calabria - approvato con Delibera di Consiglio Regionale n.115 del 28/12/2001 (**PAI_2001**). Questo Piano, è stato oggetto di una variante che prevede l'aggiornamento delle mappe del PAI a quelle del PGRA (**PAI_2020**).

Le direttive emanate dal PAI relativamente alle specifiche tematiche sviluppate nel presente studio sono riportate essenzialmente in tre atti:

- "Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia" – testo aggiornato con delibera del C.I. n°27 del 02708/2011- **NTA**
- "Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree di attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio di inondazione (approvate dal Comitato Istituzionale il 31/07/2020)", che fornisce gli indirizzi generali da applicare nelle attività di progettazione per i casi espressamente previsti dalle Norme di Attuazione
- "Misure di salvaguardia collegate alla adozione dei progetti di variante predisposti in attuazione degli aggiornamenti dei PAI alle nuove mappe del PGRA di cui alla delibera Cip n.1 del 20/12/2019" - **MdS**

In riferimento alle mappe del **PAI_2020** redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria, si riscontra che il sito ricade in aree di attenzione PGRA e PAI.

Le Misure di Salvaguardia (MdS) all'art. 4 citano che nelle Aree di Attenzione PGRA sono consentiti:

omissis...

d) la manutenzione, l'ampliamento o la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture parimenti essenziali, purché non producano un significativo incremento del valore del rischio idraulico dell'area;

omissis...

Gli interventi di cui alla lett. d), a esclusione di quelli di manutenzione, devono essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica, predisposto nel rispetto delle disposizioni del Piano Stralcio territorialmente competente che valuti i livelli di pericolosità e/o rischio della zona d'interesse ante e

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>39 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	39 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	39 di 41								

post operam e garantisca la compatibilità degli interventi con le disposizioni della normativa del Piano stralcio

In ottemperanza a quanto riportato nelle misure di salvaguardia sono stati svolti degli studi idrologici idraulici in conformità alle specifiche tecniche e alle linee guida predisposte dall'ABR.

Gli studi effettuati hanno seguito le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra le opere in progetto e l'idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza delle opere in progetto e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante il metodo di regionalizzazione VAPI e il modello probabilistico di Gumbel
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale, metodo SCS e mediante HEC-HMS.
- analisi su modello matematico di simulazione idraulica secondo un approccio 2D mediante il codice di calcolo MIKE per i bacini con superficie maggiore di 10 kmq e secondo un approccio 1D per i bacini piccoli con estensione inferiore ai 10 kmq.

La presenza del nuovo viadotto, in affiancamento a quello esistente, non altera la funzionalità idraulica, non produce una maggiore estensione delle aree allagabili e non costituisce quindi, in nessun caso, un fattore di aumento del rischio idraulico, né localmente né negli ambiti territoriali limitrofi.

In particolare, i livelli idrici post-operam non sono maggiori di quelli ante-operam, come mostrato negli elaborati grafici relativi a sezioni e profili di rigurgito (RC1C03R09W9ID0002001, RC1C03R09W9ID0002001, RC1C03R09FZID0002001).

Alla luce delle precedenti considerazioni, si può quindi concludere che tutte le opere previste sono idraulicamente compatibili con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

	NUOVA LINEA AV SALERNO-REGGIO CALABRIA LINEA COSENZA-PAOLA-S.LUCIDO												
RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA-MODELLI BIDIMENSIONALI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: left;">PROGETTO</td> <td style="text-align: left;">LOTTO</td> <td style="text-align: left;">CODIFICA</td> <td style="text-align: left;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: left;">REV.</td> <td style="text-align: left;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RC1C</td> <td>03</td> <td>R09RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>40 di 41</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	40 di 41
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03	R09RI	ID0002 002	B	40 di 41								

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.
- Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.
- Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.
- Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.
- G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989
- Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.
- Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.
- Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.
- Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977
- Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.
- Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).
- Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- DM 17 gennaio 2018, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Suppl. Ordinario n. 8.
- Regione Calabria Autorità di Bacino Regionale – Assessorato Lavori Pubblici ed Acque - PAI 2001.
- Distretto Idrografico dell'Appennino Regionale – Autorità di bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno, Regione Abruzzo. Regione Basilicata, Regione Campania, Regione Calabria, Regione Lazio, Regione Molise, Regione Puglia – Piano di gestione del rischio di alluvione 2016.