

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L. (Lotto 01)

IDROLOGIA E IDRAULICA
TORRENTE CANCELLO
Relazione idraulica Torrente Canello

PFTE da sottoporre all'esame del CSLP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale.»

SCALA:

ITALFERR S.p.A.
- Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Spezia
Dott. Ing. Andrea Nardinocchi
iscritto all'Albo Professionale
CO.P. N. 1263

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

R C 0 W 0 1 D 7 8 R I I D 0 0 0 2 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	M. Coccato	Giugno 2020	G. De Gianni	Giugno 2020	S. Vantori	Giugno 2020	D. Tiberti Giugno 2020

File: RC0W01D78RIID0002003A.doc

n. Elab.: 249

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cannello	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	2 di 33

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	4
2.1	Inquadramento dell'area di studio	4
2.2	Il Piano per l'Assetto Idrogeologico ed il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	4
2.3	Obiettivi dello studio idraulico	6
3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	8
3.1	Il modello di calcolo	8
3.1.1	Geometria di calcolo	8
3.1.2	Scabrezze	11
3.1.3	Portate	12
4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	14
4.1	Torrente Cannello - Configurazione <i>ante operam</i> (cfr. IN250 del PFTE)	14
4.1.1	Confronto con i risultati del PGRA.....	15
4.2	Configurazione <i>post operam</i>	16
4.3	Valutazioni sui fenomeni di scalzamento delle pile	17
4.3.1	Hec 18 - CSU	18
4.3.2	Equazione S/M di Sheppard-Melville	20
4.3.3	Verifica stabilità massi a protezione delle pile	22
4.3.4	Risultati	24
5	COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	26
	APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM	28
	ALLEGATO 1 – ELABORATI DI RIFERIMENTO DEL PFTE.....	33



COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA

P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.

LOTTO 01

Relazione idraulica Torrente Cannello

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	3 di 33

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto definitivo denominato “Elettrificazione tratta Lamezia T. – Catanzaro L. (lotto 01)” ed ha per oggetto la verifica idraulica dell’opera di attraversamento del torrente Cannello.

Il torrente Cannello è un affluente in destra del fiume Amato; entrambi i corsi d’acqua sono stati oggetto di studio idraulico, eseguito mediante modellazione numerica bidimensionale, nell’ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) di velocizzazione, mediante rettifiche di tracciato, della linea ferroviaria esistente tra Lamezia e Settingiano.

Per tutto quanto attiene, pertanto, l’analisi idrologica, mediante la quale sono state definite le portate utilizzate nel modello idraulico, e l’analisi idraulica della situazione ante operam, si rimanda al PFTE sopra citato ed in particolare agli elaborati di riferimento di Tabella 1 (Allegato 1 alla relazione).

Tabella 1 – Elaborati di riferimento PFTE di velocizzazione della linea Lamezia –Settingiano

CODIFICA	DESCRIZIONE
RC0Y.0.0.R.10.RI.ID.00.0.1.001.B	Relazione idrologica
RC0Y.0.0.R.10.C3.ID.00.0.1.001.B	Corografia dei bacini Tav. 1 di 2
RC0Y.0.0.R.10.C3.ID.00.0.1.002.B	Corografia dei bacini Tav. 2 di 2
RC0Y.0.0.R.10.FZ.ID.00.0.2.001.A	Modellazione Fiume Amato - Profili di rigurgito
RC0Y.0.0.R.10.P4.ID.00.0.2.001.A	Planimetria tiranti idrici Tr200 Stato di Fatto e Stato di Progetto - Tav. 1 di 4
RC0Y.0.0.R.10.P4.ID.00.0.2.002.A	Planimetria tiranti idrici Tr300 Stato di Fatto e Stato di Progetto - Tav. 2 di 4
RC0Y.0.0.R.10.P4.ID.00.0.2.003.A	Planimetria Velocità Tr200 Stato di Fatto e Stato di Progetto - Tav. 3 di 4
RC0Y.0.0.R.10.P4.ID.00.0.2.004.A	Planimetria Velocità Tr300 Stato di Fatto e Stato di Progetto - Tav. 4 di 4
RC0Y.0.0.R.10.RI.ID.00.0.2.001.A	Relazione Idraulica Fiume Amato
RC0Y.0.0.R.10.W9.ID.00.0.2.001.A	Modellazione Fiume Amato - Sezioni

Nel presente studio idraulico viene, invece, analizzata la sola situazione post operam determinata dalla presenza del manufatto, a servizio delle opere di elettrificazione della linea, che attraversa il torrente Cannello.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	4 di 33

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

2.1 Inquadramento dell'area di studio

In Figura 1 è riportata l'estensione del dominio di calcolo bidimensionale, delimitato in rosso, definito nell'ambito del PFTE. L'area di studio occupa una superficie di circa 6.7 km² e si sviluppa in un tratto del fiume Amato di circa 7 km, andando ad interessare il suo principale affluente di destra, ovvero il torrente Cancellò, per una lunghezza pari a circa 2 km fino alla confluenza. Il tratto oggetto di studio è caratterizzato da estensione compresa tra i comuni di Pianopoli, Amato e Marcellinara.

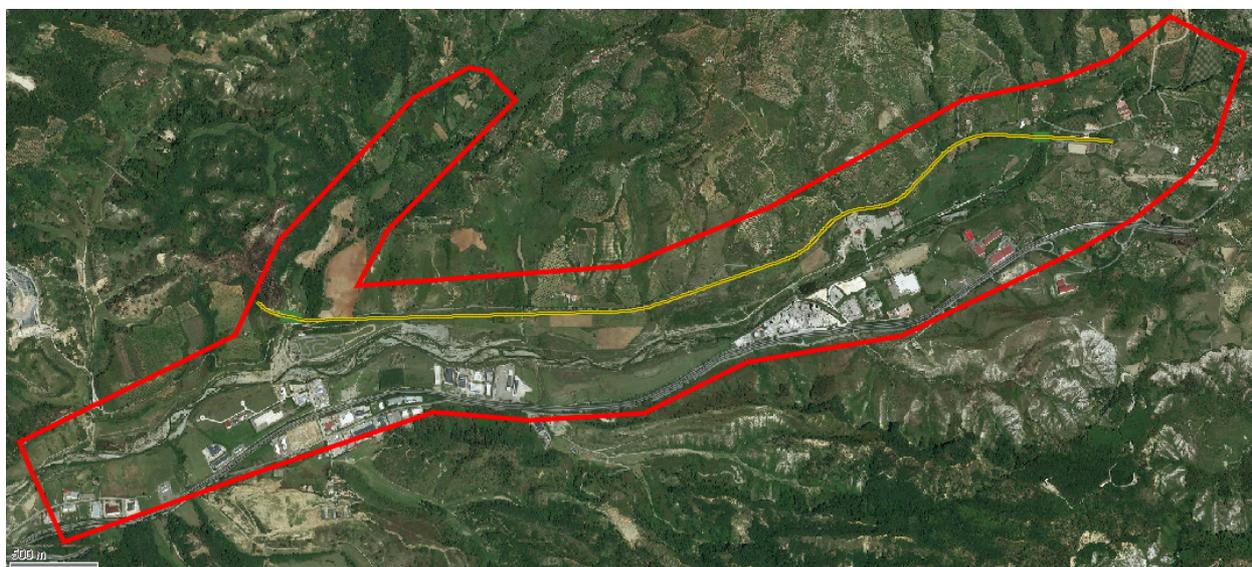


Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.

2.2 Il Piano per l'Assetto Idrogeologico ed il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

In merito al rischio di esondazione dell'area di intervento si è fatto riferimento al Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI, anno 2001) ed al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

Nella redazione del PAI, la valutazione del rischio è stata conseguita utilizzando:

- 1) i risultati di modelli idrologico-idraulici, che hanno permesso di individuare le sezioni di esondazione per portate di piena con assegnati tempi di ritorno, usualmente pari a $T=20÷50, 100÷200$ e $300÷500$ anni;
- 2) criteri geomorfologici, per tener conto dell'andamento plano-altimetrico degli alvei fluviali e delle evidenze relative ai depositi alluvionali conseguenti a fenomeni di trasporto dei materiali solidi;
- 3) le informazioni storiche, da cui si è dedotto per i vari eventi alluvionali in quali località si siano verificate le inondazioni;
- 4) le aerofotogrammetrie, utili per l'osservazione delle tracce di piena.

Per quanto riguarda l'assegnazione delle classi di rischio, nel PAI si è tenuto conto dei seguenti elementi:

1. se il calcolo idraulico ha mostrato esondazioni in specifiche sezioni trasversali, in sponda destra o in sponda sinistra o in entrambe, il livello di rischio è stato valutato in maniera inversamente proporzionale al tempo di ritorno e proporzionale all'importanza degli elementi esposti. Nelle sezioni risultate critiche per $T=20+50$ anni, e in presenza di edifici, strutture viarie principali e aree industriali, si è stabilito un livello di rischio R4. Analogamente, nel caso di esondazioni per $T=100+200$ anni, si è scelto il livello di rischio R3. Infine, per $T=500$ anni, il rischio è stato valutato come R2 o R1;
2. nelle sezioni in cui il calcolo idraulico non ha mostrato esondazioni, ma per le quali risulta dalle informazioni storiche e aerofotogrammetriche che le stesse esondazioni sono occorse, per rotture di argini o sormonti, si è preferito operare delle scelte di classi di rischio cautelative. Ciò tiene in considerazione i limiti del calcolo idraulico. Pertanto, nel caso di informazioni tratte da documentazione storico-cronachistica riguardante località soggette a inondazioni negli eventi del passato, il livello di rischio adottato varia da R1 (aree allagate o allagabili in base all'andamento altimetrico della zona) a R2 (aree inondate con danni economici meno rilevanti) a R3 (aree inondate con danni economici più rilevanti).

In mancanza di studio idrologico-idraulico, non essendo state valutate aree di esondazione a diversi tempi di ritorno e, quindi, aree a rischio, sono state comunque individuate aree, punti e zone di attenzione che derivano dall'utilizzo del criterio geomorfologico e, in presenza di dati storici, del criterio storico.

Il T. Cancellò, secondo il PAI, ricade nella classificazione "aree di attenzione" (Figura 1).

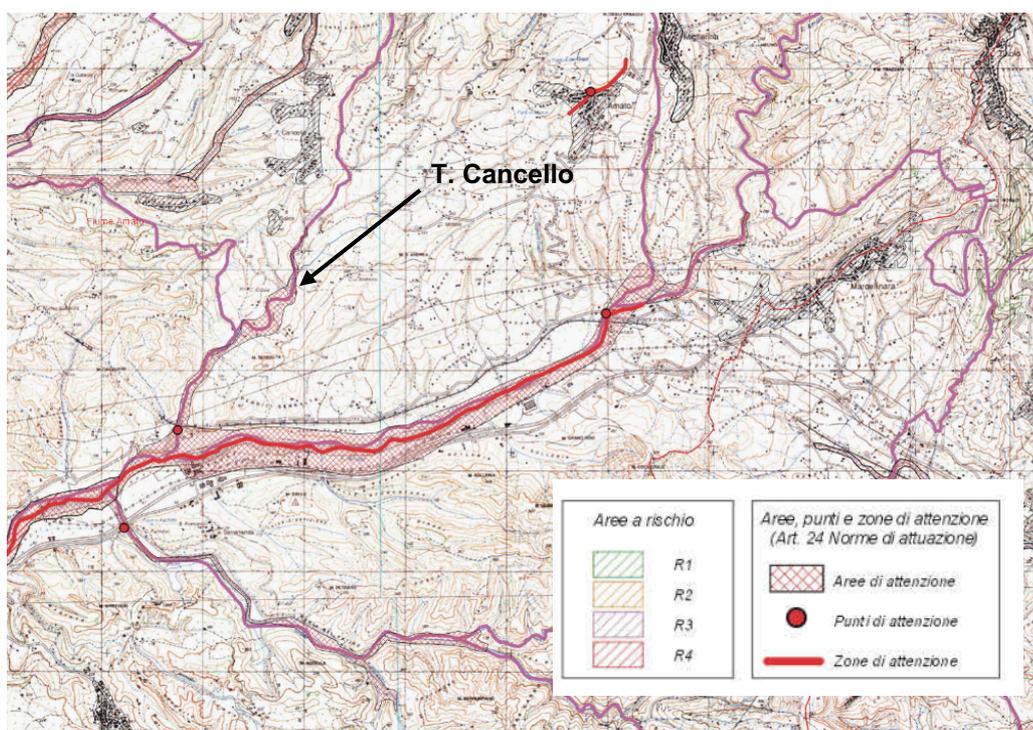


Figura 2 – Perimetrazione aree a rischio idraulico PAI (2001) nell'area di intervento.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cannello	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	6 di 33

Le aree perimetrare nel PAI come aree a rischio idraulico sono state recepite nel PGRA dell’Autorità di Bacino della Regione Calabria (2015) come aree di pericolosità idraulica secondo il seguente criterio:

- aree R4 → P3 (pericolosità elevata) aree allagabili con tempi di ritorno di 50 anni;
- aree R3 → P2 (pericolosità media) aree allagabili con tempi di ritorno di 200 anni;
- aree R2, R1 → P1 (pericolosità bassa) aree allagabili con tempi di ritorno di 500 anni.

In Figura 3 è riportato un inquadramento dell’area di intervento con sovrapposte le aree di pericolosità idraulica P1, P2 e P3 secondo il PGRA: il torrente Cannello è classificato come pericolosità idraulica elevata P3.



Figura 3 – Mappa della pericolosità idraulica del PGR della Regione Calabria nella zona d’interesse.

2.3 Obiettivi dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è la verifica del franco idraulico nella configurazione post operam in corrispondenza del manufatto di attraversamento del torrente Cannello, a servizio delle opere di elettrificazione della linea ferroviaria.

Il manufatto in progetto viene realizzato immediatamente a nord del ponte esistente provvisorio sul torrente Cannello, disponendo le due pile in ombra alle pile del ponte esistente (Figura 4).

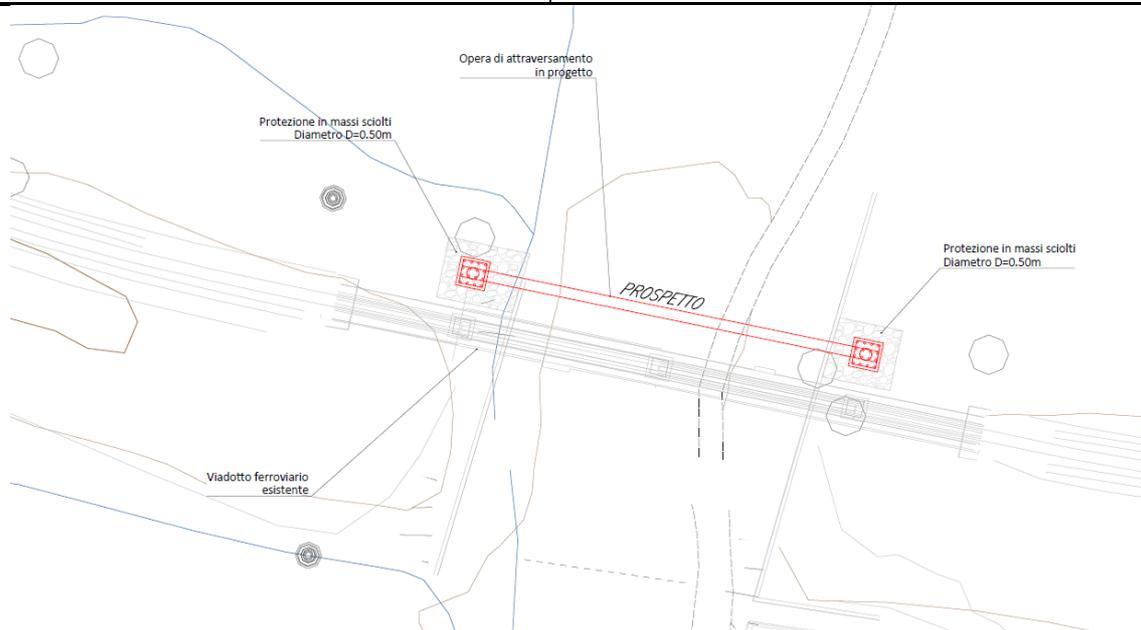


Figura 4 – Pianta manufatto di progetto di attraversamento del T. Cancellò.

Nell'ambito del PFTE sono state svolte simulazioni nella configurazione ante operam dei luoghi che hanno permesso di ricavare con dettaglio le mappe di allagamento, le massime altezze d'acqua e velocità, nonché le modalità di propagazione della piena nell'area di studio per eventi associati a diversi tempi di ritorno.

Nella presente progettazione definitiva sono state svolte simulazioni nella configurazione post operam sopra descritta che hanno permesso, allo stesso modo, di ricavare con dettaglio le mappe di allagamento, le massime altezze d'acqua e velocità, che sono rappresentate negli elaborati grafici elencati in Tabella 2. Sono stati, inoltre, valutati lo scalzamento in corrispondenza delle pile dell'opera in progetto e verificate le protezioni delle stesse.

Tabella 2 – Elaborati di riferimento progetto definitivo elettrificazione della linea.

CODIFICA	DESCRIZIONE
RC0T01D78PZID0002003A	Planimetria PO delle aree di esondazione con indicazione dei tiranti idrici (TR200)
RC0T01D78PZID0002004A	Planimetria PO delle aree di esondazione con indicazione dei tiranti idrici (TR300)
RC0T01D78PZID0002005A	Planimetria PO delle aree di esondazione con indicazione delle velocità (TR200)
RC0T01D78PZID0002006A	Planimetria PO delle aree di esondazione con indicazione delle velocità (TR300)
RC0T01D78PZID0002007A	Pianta, prospetto e sezione dell'opera di attraversamento

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	8 di 33

3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

3.1 Il modello di calcolo

L'analisi idraulica è stata svolta implementando il modello matematico InfoWorks ICM sviluppato dall'azienda inglese Innowyze (ex HR Wallingford software) . Una descrizione del modello è disponibile in Appendice A.

Vista la conformazione dell'area di studio e del corso d'acqua da analizzare, nonché dell'informazione topografica disponibile, si è scelto di implementare un modello in configurazione geometrica completamente bidimensionale. Un modello bidimensionale, infatti, consente un'analisi degli allagamenti nelle zone periferuali più approfondita per tutti gli eventi caratterizzati da esondazioni.

3.1.1 Geometria di calcolo

Per rappresentare l'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo bidimensionale è stato reperito il rilievo LiDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente (2008-2010), avente una risoluzione pari a 1 m (Figura 5).

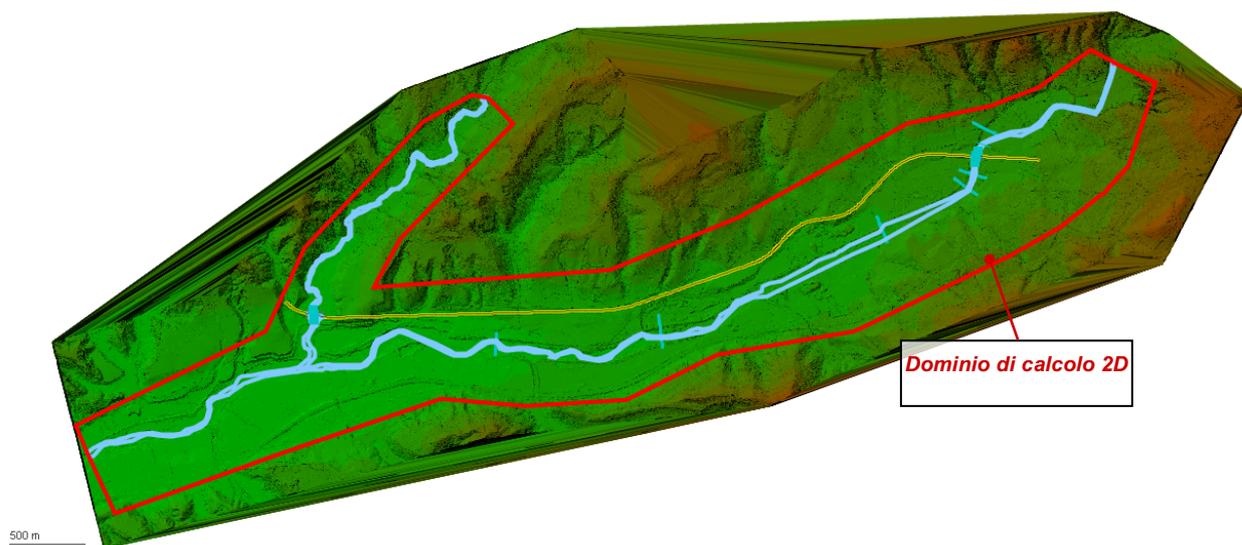


Figura 5 – Modello del terreno ed estensione del dominio di calcolo.

Al fine di valutare la bontà del dato LiDAR ed eventuali necessità di integrazione dell'informazione topografica, è stato effettuato un confronto sui valori di quota del terreno forniti dal DTM ottenuto tramite il rilievo Lidar con quelli ottenuti con i rilievi effettuati nell'Agosto 2019, che restituiscono valori puntuali delle quote del terreno in corrispondenza di una maglia regolare di lato 10m. Le aree per le quali sono disponibili i rilievi effettuati con drone sono rappresentate in Figura 6.

Il confronto ha dimostrato che le due fonti altimetriche sono assolutamente coerenti e che le differenze riscontrabili non significative (dell'ordine del decimetro) sono imputabili ad una non precisa corrispondenza planimetrica del punto rilevato con drone.

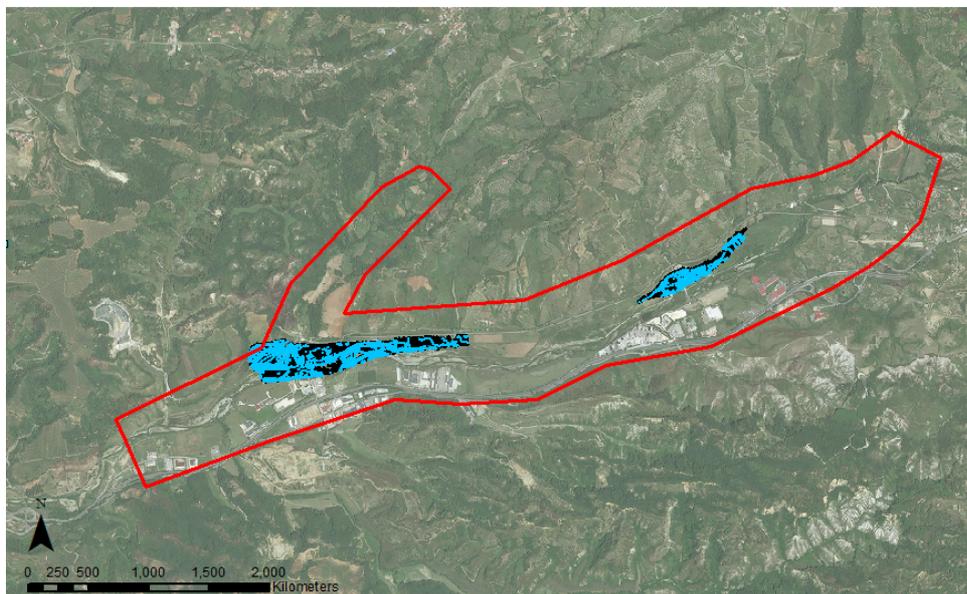


Figura 6 – Estensione del rilievo da drone (punti in blu).

Quale ulteriore dato topografico, è stato fornito il rilievo di sezioni d'alveo effettuato allo scopo nell'Agosto 2019: tale informazione è stata utilizzata per verificare, ed eventualmente correggere, le quote del fondo alveo.

A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 7 il confronto tra il dato ricavato da rilievo topografico (in grigio) e dalla sezione LiDAR corrispondente (in verde). Il confronto delle sezioni topografiche con le corrispettive sezioni ricavate da DTM mostra un sostanziale accordo dei dati topografici.

Alla luce dei risultati di tali confronti, data la coerenza dei valori di quota del terreno, si è ritenuto che il DTM estratto dai dati LIDAR forniti dal Ministero dell'Ambiente sia adeguato per implementare un modello con dominio completamente bidimensionale, senza necessità di integrazioni.

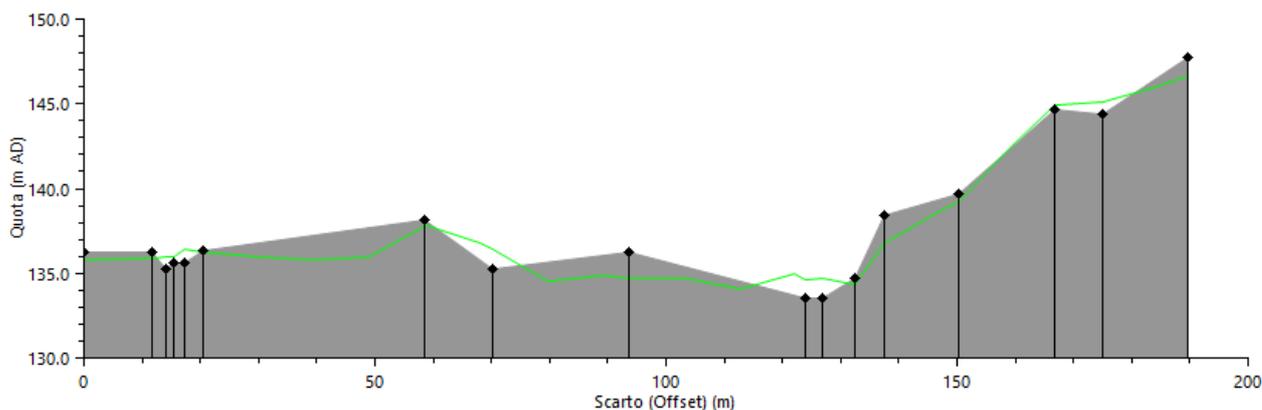


Figura 7 – Confronto sezione come da rilievo topografico (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde).

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	10 di 33

La **geometria di calcolo bidimensionale** è definita da una *mesh* ad elementi triangolari le cui caratteristiche plano-altimetriche sono determinate sulla base del modello digitale del terreno e di eventuali elementi antropici presenti (rilevati, edifici).

La procedura di creazione della *mesh* di calcolo del dominio bidimensionale ha tenuto in particolare considerazione la definizione della presenza di rilevati e di elementi morfologici significativi per la propagazione della piena nelle aree allagate mediante opportuni elementi, quali *breakline*, elementi lineari quotati, ecc. (Figura 8).

In particolare, si è avuto cura di modellare in dettaglio il rilevato ferroviario mediante l'elemento denominato *base linear structure* (BLS). Tale elemento quotato ha permesso di recepire nel modello idraulico l'esatto andamento plano-altimetrico del piano ferroviario. Nel modello idraulico sono stati considerati e modellati gli attraversamenti ferroviari oggetto di studio (in particolare per gli scopi del presente studio il ponte esistente provvisorio sul Torrente Cancellò - Figura 9), utilizzando elementi bidimensionali (struttura lineare Ponte 2D), nonché le interferenze minori, secondo le caratteristiche geometriche ottenute da rilievo topografico.

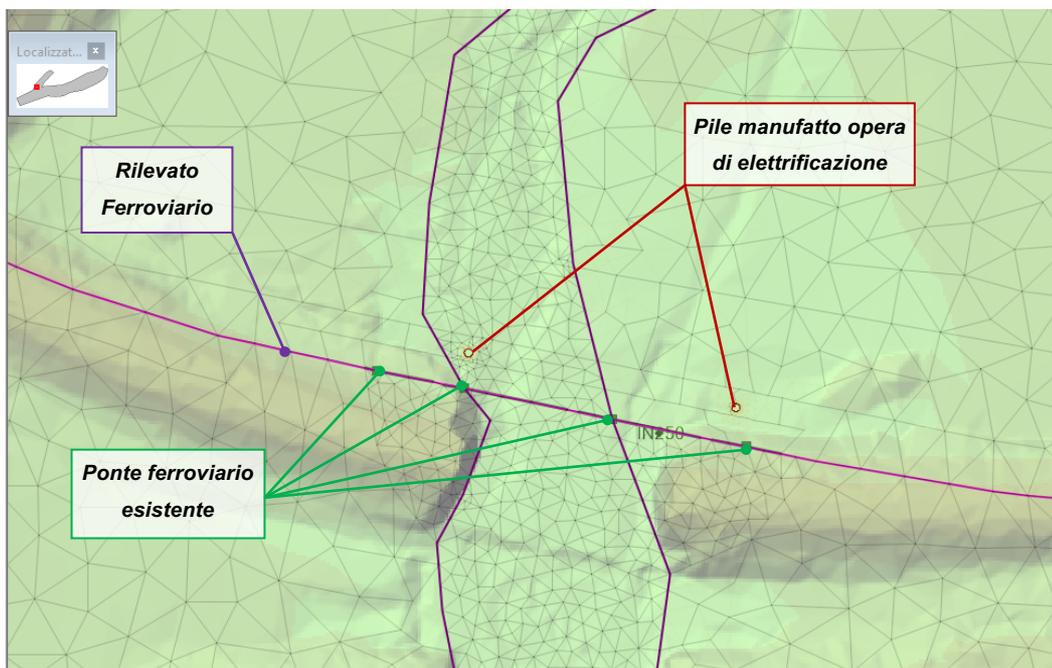


Figura 8 – Particolare della *mesh* di calcolo con sovrapposizione del DTM.

Il manufatto di progetto sul torrente Cancellò delle opere di elettrificazione (Figura 10) è stato modellato inserendo le pile dell'attraversamento nel processo di magliatura (Figura 8), per valutarne l'effetto sulla corrente. I livelli idrici attesi, infatti, si assumono ben al di sotto della quota di sottotrave dell'impalcato (cfr. § 4.2); non si è ritenuto, pertanto, necessario inserire l'impalcato nel modello.

- Alveo: alveo con irregolarità modeste e caratterizzato da moderata presenza di vegetazione, $n = 0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Tabella 3);

Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d'acqua.

Descrizione	Manning n [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]
alvei con fondo compatto, senza irregolarità	0.022÷0.028
alvei regolari con vegetazione erbacea	0.028÷0.033
alvei con ciottoli e irregolarità modeste	0.033÷0.040
alvei fortemente irregolari	0.040÷0.066

- Zona esterna: zona caratterizzata da predominanza di uso del suolo di tipo seminativo e insediamenti residenziali isolati, $n = 0.045 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Tabella 4).

Tabella 4 – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.

Copertura del suolo	Manning n [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]
Aree boscate	0.06
Tessuto residenziale sparso o isolato	0.07
Insediamenti industriali, artigianali, commerciali e tessuto residenziale continuo	0.10
Prati, parchi giardini e seminativi	0.04
Reti stradali	0.02

3.1.3 Portate

Le portate utilizzate nel modello numerico sono desunte dallo studio idrologico del PFTE (elaborato: RC0Y00R10RIID0001001B), a cui si rimanda per i dettagli. In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2018 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni.

La portata duecentennale rappresenta l'evento di progetto di riferimento per le verifiche previste dalle NTC2018 e dal manuale di progettazione ferroviario; la portata trecentennale è stata considerata al fine di valutare gli scenari corrispondenti al superamento delle portate di progetto.

Gli idrogrammi per Tr 200 e 300 anni per i diversi sottobacini che caratterizzano il bacino del fiume Amato sono riportati in Figura 11, mentre in Tabella 5 sono riportati i valori di picco degli stessi.

Nel caso del torrente Cancellò, il bacino in corrispondenza della linea ferroviaria esistente, risulta caratterizzato da un'estensione di 17.59 km^2 .

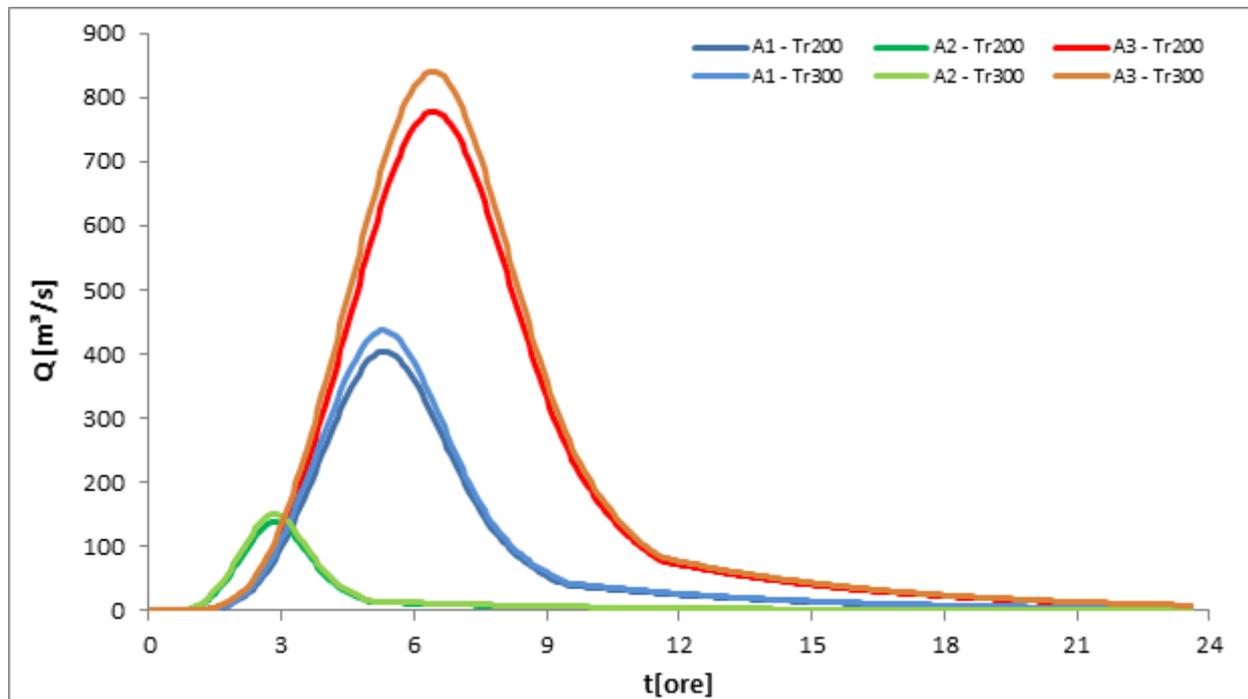


Figura 11 – Fiume Amato: idrogrammi di piena per Tr 200 e 300 anni per i bacini A1, A2, A3.

Tabella 5 – Valori di picco degli idrogrammi ricavati con il modello afflussi-deflussi.

Bacino	Superficie [km ²]	Portata al picco [m ³ /s]	
		TR200 anni	TR300 anni
A1	108.76	404.1	436.2
A2	17.59	138.4	150.3
A3	144.56	778	840.1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Canello	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	14 di 33

4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche, in termini di massimi livelli idrici e velocità per la configurazione ante operam, sviluppata nell'ambito del PFTE, e post operam del presente progetto definitivo.

4.1 Torrente Canello - Configurazione ante operam (cfr. IN250 del PFTE)

Per l'affluente di destra del fiume Amato (torrente Canello), la portata esondata a monte defluisce in direzione sud attraverso il ponte esistente (IN250). Come si osserva in Figura 12, l'attraversamento crea un restringimento che costringe la portata a riconvogliare in alveo; tuttavia la stessa fuoriesce nuovamente a valle dell'attraversamento, allagando le aree perfluviali in sinistra idraulica (corrispondente alla destra idraulica del F. Amato), poco a monte della confluenza con il fiume Amato.

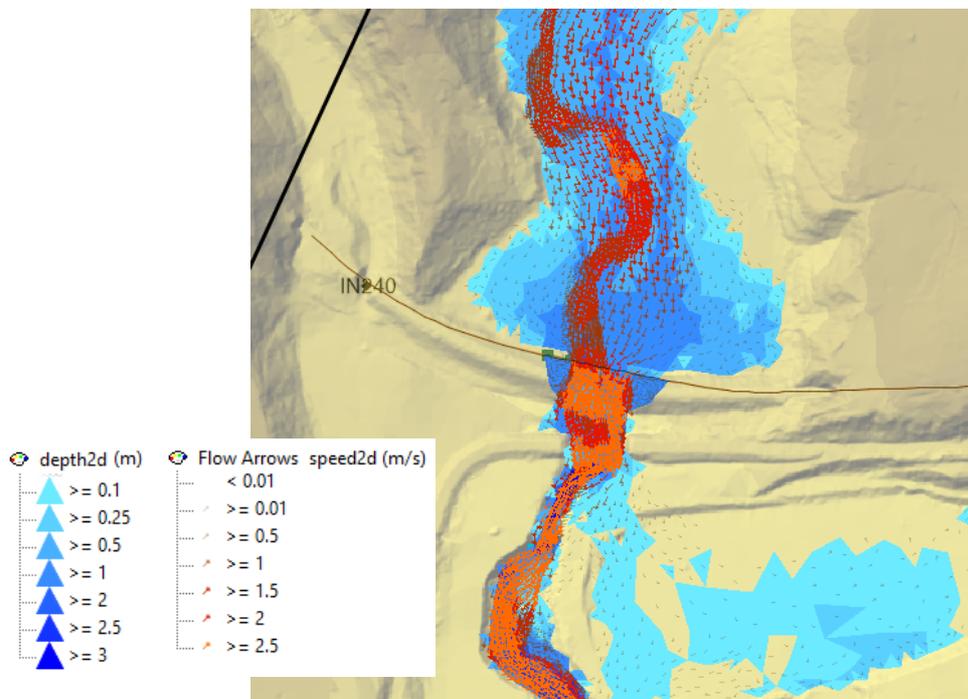


Figura 12 – Risultati della simulazione per lo Scenario ante operam per l'evento TR300 – dettaglio velocità in corrispondenza dell'attraversamento IN250

In Tabella 6 sono riportati i massimi livelli idrici che si instaurano lungo l'affluente in una sezione immediatamente a monte del manufatto di elettrificazione in progetto.

Tabella 6 – Massimi livelli idrici ante operam a monte del manufatto di elettrificazione.

Scenario	Massimo livello idrico [m s.m.m.]
ante operam TR200	92.02
ante operam TR300	92.09

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
LOTTO 01						
Relazione idraulica Torrente Cancellò	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	15 di 33

4.1.1 Confronto con i risultati del PGRA

Con il PGRA si è pervenuti alla redazione della carta di pericolosità e di rischio idraulico attraverso una rivisitazione del PAI 2001. Pertanto, per essere più aggiornate rispetto alle aree di rischio del PAI, le aree di pericolosità del PGRA sono state messe a confronto con le aree di allagamento ottenute dal modello idraulico oggetto di studio. I risultati ottenuti mediante implementazione del modello bidimensionale InfoWorks risultano in generale accordo con le perimetrazioni del PGRA.

Per quanto concerne l'estensione delle aree allagate, in Figura 13 è possibile osservare un confronto tra i risultati per l'evento TR200 e le perimetrazioni PGRA per i corsi d'acqua simulati (F. Amato e T. Cancellò). Differenze localizzate di estensione delle aree interessate da allagamento sono imputabili a differenze di diversi strumenti e software di modellazione: la modellazione del tratto oggetto di studio mediante un modello di carattere bidimensionale permette un'affidabile valutazione della dinamica di propagazione dell'onda di piena nonché dei livelli d'acqua.

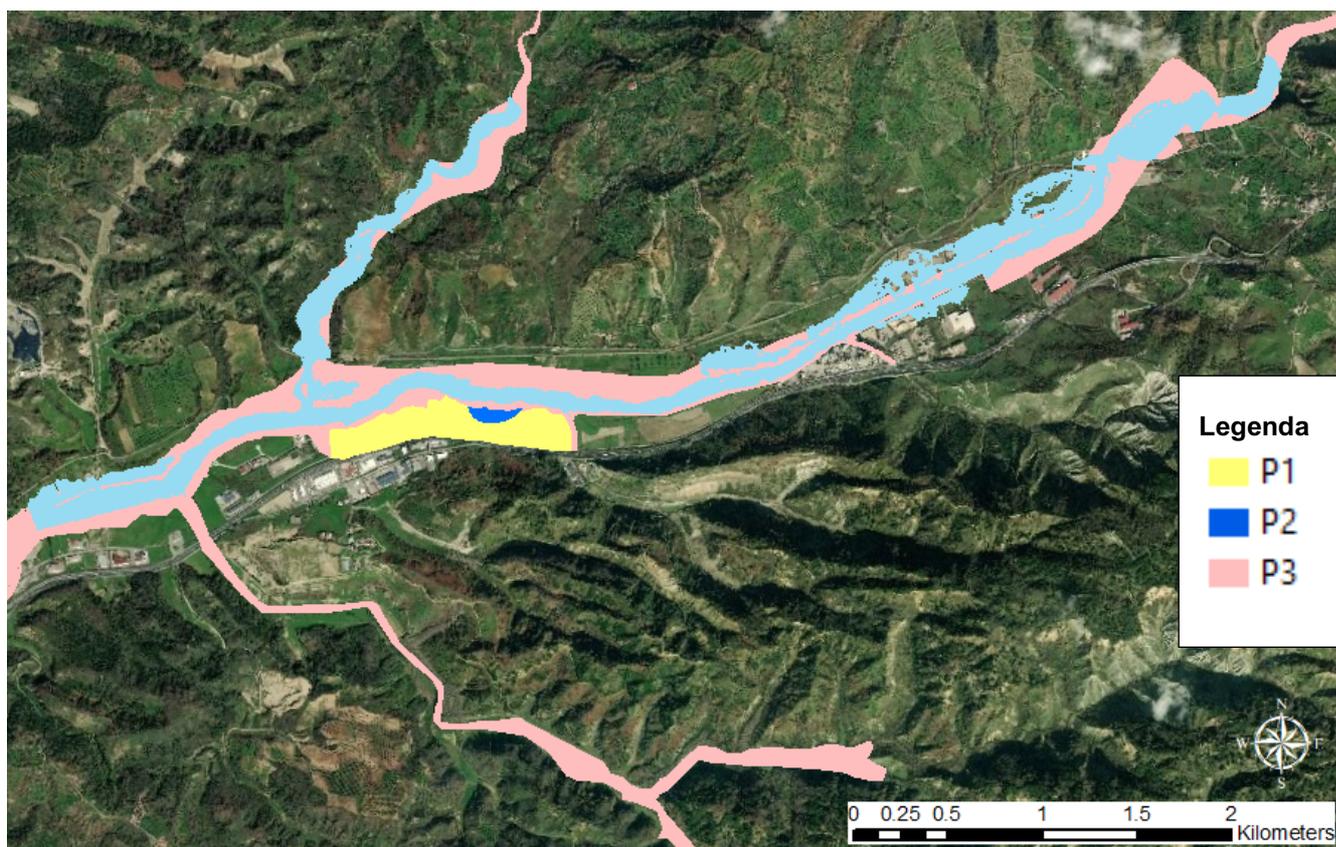


Figura 13 – Confronto risultati delle simulazioni nello scenario ante operam per l'evento TR200 (in azzurro) e fasce PGRA

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	16 di 33

4.2 Configurazione *post operam*

Le aree allagate ed i campi di velocità per la configurazione *post operam* sono riportate in dettaglio negli elaborati grafici di progetto (cfr. Tabella 2).

Nelle figure seguenti vengono riportati due stralci planimetrici estratti dai risultati del modello idraulico. La quota di sottotrave dell'attraversamento è pari a 98.48 m s.m.m. ed in Tabella 7 sono riportati i risultati delle simulazioni Tr200 e Tr300 anni per il manufatto di progetto, in termini di livello idrico e franco idraulico dell'opera.

Tabella 7 – Massimi livelli idrici *post operam* a monte del manufatto di elettrificazione.

Scenario	Massimo livello idrico [m s.m.m.]	Franco idraulico [m]
post operam TR200	92.03	6.45
post operam TR300	92.10	6.38

Rispetto alla condizione *ante operam* il livello idrico aumenta di un solo centimetro per effetto dei lavori in progetto.

Il franco idraulico, che secondo il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2018 deve risultare ≥ 1.50 m è ampiamente verificato.

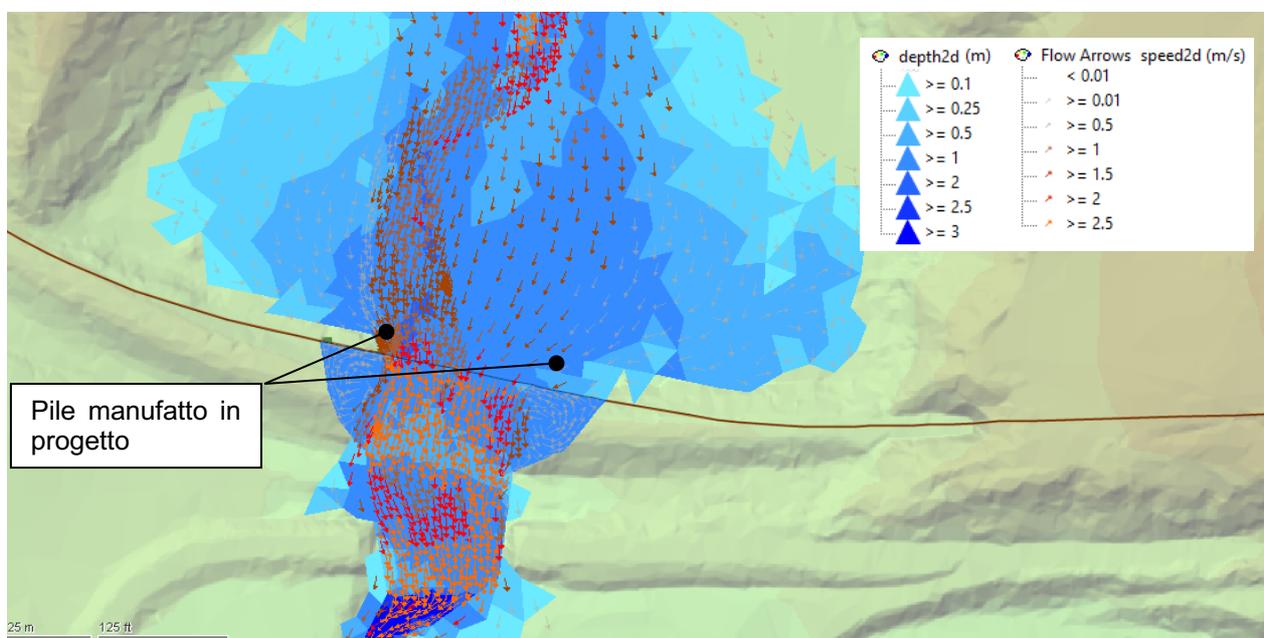


Figura 14 – Risultati della simulazione per lo scenario *post operam* per l'evento TR200 – massime altezze d'acqua.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Canello	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	17 di 33

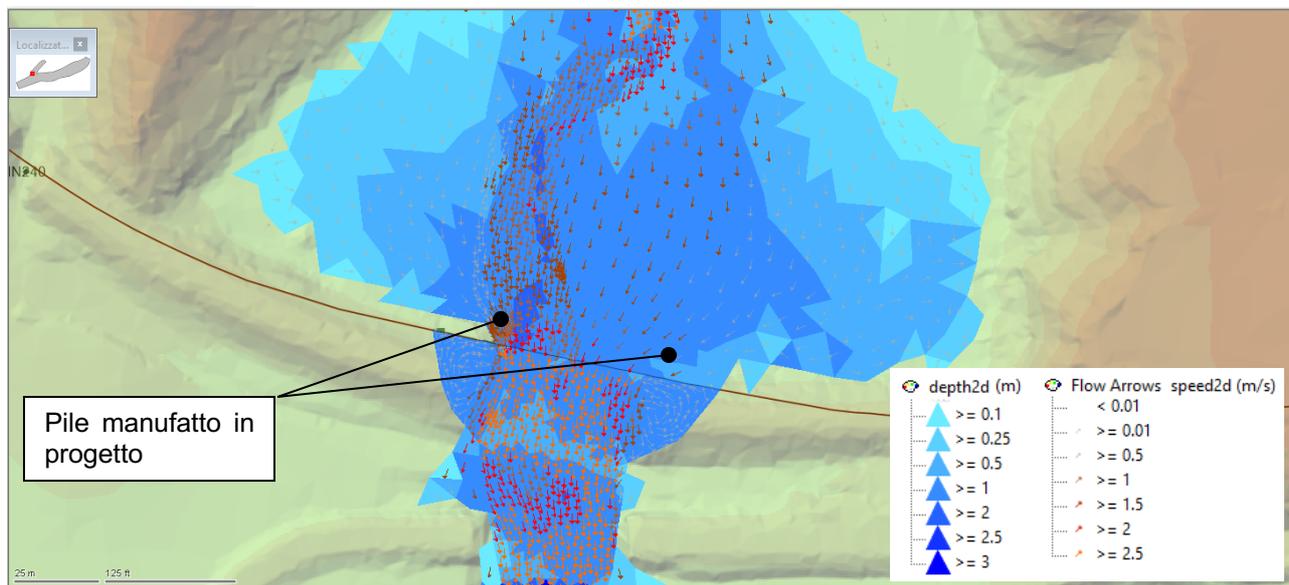


Figura 15 – Risultati della simulazione per lo scenario post operam per l'evento TR300 – massime altezze d'acqua.

4.3 Valutazioni sui fenomeni di scalzamento delle pile

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalla corrente in prossimità delle pile dei ponti, al fine di definire la quota d'imposta delle fondazioni, non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità. Nel presente studio sono state utilizzate la metodologia di calcolo CSU e l'equazione S/M di Sheppard-Melville trattate nei successivi paragrafi, utilizzando il valore massimo fra quelli ottenuti.

Si riporta di seguito un abaco in cui vengono messi a confronto, per un fissato valore del numero di Froude, diversi metodi per il calcolo dello scavo localizzato cui sono interessate le pile in alveo. In ascissa è indicato il rapporto tra tirante e larghezza della pila mentre sull'asse delle ordinate è rappresentato il rapporto tra la profondità di scavo e la larghezza della pila.

Per questo studio sono state considerate le trattazione di Melville e il metodo CSU mentre la teoria di Bruesers è stata scartata dal momento che, come si evince dal grafico sotto riportato, fornisce valori di scavo poco variabili rispetto a diverse condizioni in input. Inoltre, studi sperimentali confermano la maggiore attendibilità dei risultati che si ottengono applicando la teoria di Melville rispetto alle altre.

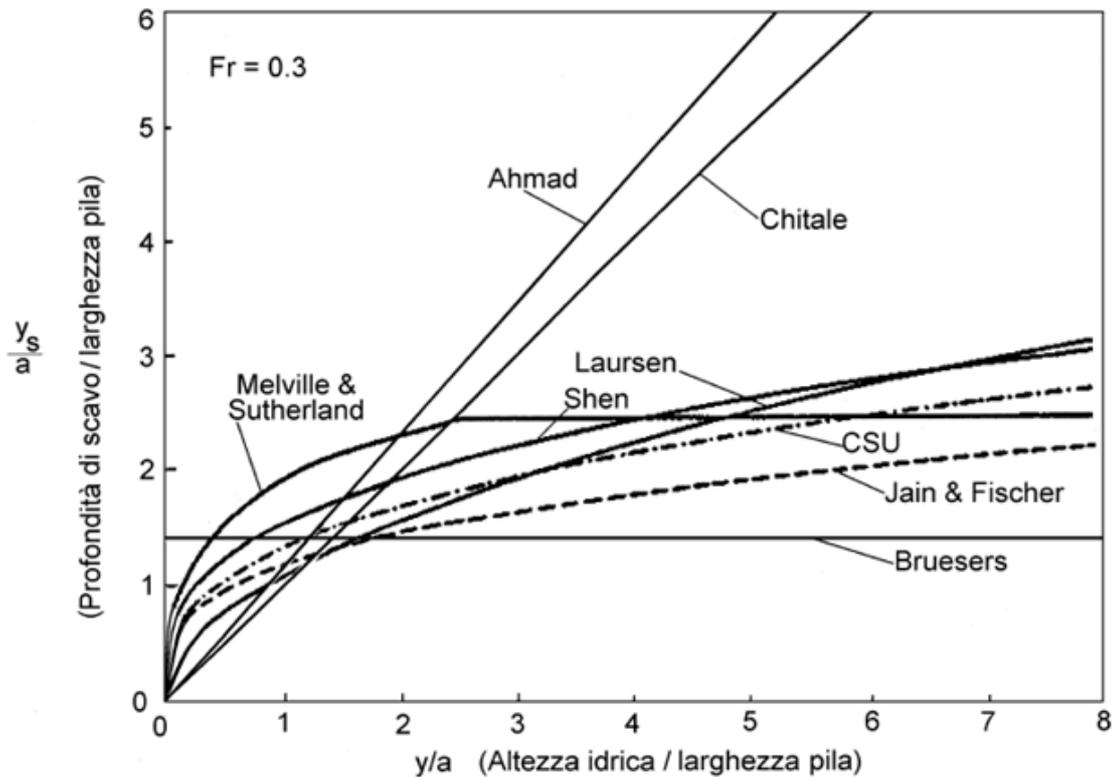


Figura 16 – Abaco di confronto.

4.3.1 Hec 18 - CSU

L'equazione HEC-18 riportata nella monografia "Evaluating Scour at bridge - Fifth Edition" edita dalla Federal Highway Administration è basata sull'equazione CSU ed è raccomandata sia in presenza che in assenza di trasporto solido. L'equazione calcola la massima profondità di scavo per pile semplici in canali con fondo sabbioso:

$$y_s = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.65} \cdot y_1 \cdot Fr_1^{0.43}$$

dove

K_1 fattore correttivo legato alla forma della pila

K_2 fattore correttivo dipendente dall'angolo di attacco della corrente

K_3 fattore correttivo legato alle condizioni del fondo

a larghezza della pila [m];

y_1 profondità della corrente subito a monte della pila [m];

F_{r1} numero di Froude in corrispondenza della pila.

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

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } F_{r1} \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3 \cdot a \quad \text{se } F_{r1} \geq 0.80;$$

Le tabelle seguenti riportano invece i fattori correttivi K_1 e K_3 .

Tabella 8 – Coefficiente correttivo K_1

Forma del pila	K_1
Squadrata	1.10
Arrotondata	1.00
Circolare	1.00
Gruppo di pali	1.00
Triangolare	0.90

Tabella 9 - Coefficiente correttivo K_3

Configurazione fondo alveo	Altezza dune (m)	K_3
Clear – water	-	1.10
Piatto	-	1.10
Piccole dune	$0.60 \leq H < 3.00$	1.10
Dune medie	$3.00 \leq H < 9.00$	$1.10 \div 1.20$
Dune grandi	$H \geq 9.00$	1.30

Il coefficiente K_2 è stimato attraverso l'espressione seguente:

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

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
LOTTO 01						
Relazione idraulica Torrente Cancellò	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	20 di 33

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

Se $\frac{L}{a} > 12$ il rapporto assume il valore massimo pari a 12.

Nel caso di pile tozze con basse profondità della corrente, tale relazione può essere utilizzata introducendo un fattore correttivo inferiore all'unità. Infatti l'applicazione delle formule usuali a casi con tiranti comparabili con la larghezza della pila fornirebbero risultati eccessivi, rispetto a quanto riscontrato nella realtà.

L'applicazione di tali fattori è vincolata al soddisfacimento delle seguenti condizioni:

- Il rapporto tra la profondità della corrente e la larghezza della pila deve essere inferiore a 0.8 ($y/a < 0.8$);
- Il rapporto tra la larghezza della pila e il diametro medio dei sedimenti è maggiore di 50 ($a/d_{50} > 50$);
- Il numero di Froude è inferiore a 1.

Il fattore correttivo da applicare all'equazione precedente può essere calcolato nel modo seguente:

$$K_w = 2.58 \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{0.34} \cdot F_{r1}^{0.65} \quad \text{per } V/V_c < 1$$

$$K_w = 1.0 \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{0.13} \cdot F_{r1}^{0.25} \quad \text{per } V/V_c > 1$$

4.3.2 Equazione S/M di Sheppard-Melville

L'equazione di Sheppard-Melville è il risultato di diversi studi effettuati da vari ricercatori.

Nel seguente gruppo di equazioni sono riportate le relazioni per il calcolo dello scavo y_s :

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{per } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0$$

$$\frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left(\frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{per } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c}$$

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{per } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c}$$

Le grandezze coinvolte direttamente e indirettamente sono:

$$f_1 = \tanh \left[\left(\frac{V_1}{\alpha^*} \right)^{0.4} \right]$$

$$f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}$$

$$f_2 = \left[\frac{\left(\frac{\alpha^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{\alpha^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{\alpha^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$

$$V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$$

$$V_{1p1} = 5V_c$$

$$V_{1p2} = 0.6\sqrt{gY_1}$$

$$\alpha^* = K_s \alpha_p$$

$$\alpha_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta$$

$$K_s = \begin{cases} 1 & \text{(pila circolare)} \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & \text{(pila rettangolare)} \end{cases}$$

in cui:

a è la larghezza della pila

L è la lunghezza della pila

θ è l'angolo di attacco della corrente espresso in gradi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	22 di 33

$$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5 y_1}{d_{50} \left[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re)) + 0.002 Re \right] + \frac{111}{Re} - 6} \right) & \text{per } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21 y_1}{d_{50}} \right) & \text{per } Re > 70 \end{cases}$$

$$Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}$$

$$u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$$

Si precisa, inoltre, che y_1 è il tirante della corrente in arrivo, V_1 è la velocità della corrente, V_c è la velocità critica e d_{50} è il diametro medio dei sedimenti.

Questa formulazione è stata ottenuta sia da risultati in laboratorio che da risultati sul campo e, confrontata con altri metodi, è quella raccomandata per situazioni di progetto in quanto fornisce risultati più precisi.

Per tutte le suddette formulazioni, qualora la sommità della fondazione sia esposta al flusso della corrente all'interno della buca erosiva occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da Melville e Raudkivi (1996), che utilizza una larghezza della pila equivalente definita come:

$$b_e = b \cdot \left(\frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left(\frac{b^* - Y}{b^* + h_0} \right)$$

dove:

h_0 : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo;

Y : profondità dell'estradosso della fondazione rispetto al fondo alveo;

b^* : larghezza della fondazione.

4.3.3 Verifica stabilità massi a protezione delle pile

Il dimensionamento delle protezioni attorno alla pila è stato effettuato in accordo all'equazione di Breusers. Tale relazione evidenzia come i processi di escavazione localizzata non si instaurino quando la velocità media è inferiore a metà della velocità critica di incipiente movimento del diametro medio dei sedimenti al fondo.

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento può essere effettuata in due modi: mediante un equilibrio delle forze agenti sul materiale di fondo, oppure mediante il criterio di stabilità di Shields.

Si consideri per esempio un cubetto di materiale di lato d posto su un piano inclinato α e investito da una corrente con velocità v . Le forze attive F e resistenti sono:

$$F_1 = G \cdot \sin \alpha = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \sin \alpha \quad \text{componente del peso immerso}$$

$$F_2 = \frac{C_D \cdot d^2 \cdot \rho_w \cdot v_f^2}{2} \quad \text{spinta idrodinamica}$$

$$R = f \cdot G \cdot \cos \alpha = f \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \cos \alpha \quad \text{resistenza d'attrito}$$

essendo, rispettivamente $C_D \cong 0.5 \div 1$ e $f \cong 0.6 \div 0.8$ i coefficienti di resistenza idrodinamica e d'attrito e v_f la velocità media che agisce sulla faccia del cubetto: quindi in prossimità al fondo, solitamente indicata come velocità al fondo.

Le condizioni di equilibrio allo scorrimento e alla rotazione rispetto allo spigolo di valle:

$$F_1 + F_2 = R \quad \text{e} \quad (F_1 + F_2) \cdot \frac{d}{2} = \frac{G \cdot d}{2} \cdot \cos \alpha \quad \text{danno modo di dedurre il valore della velocità critica}$$

v_{cr} che dà luogo al moto. I due valori della velocità, ritenuto che possa, per le pendenze esigue, porsi $\sin \alpha \cong 0$ e $\cos \alpha \cong 1$, sono rispettivamente:

$$v_{cr} = v_0 \cdot \sqrt{f} \quad v_{cr} = v_0$$

Dove:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{C_D \cdot \gamma_w}}$$

Essendo $f < 1$ si può dedurre come sia più facile il trascinarsi del materiale rispetto al ribaltamento.

Assegnati i valori di $C_D \cong 0.8$ e $f \cong 0.6$ si ottiene:

$$v_{cr} = 0.85 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}}$$

Dalla quale assunto $\gamma_s = 26000 \text{ N/m}^3$, si ha rispettivamente

$$v_{cr} \cong 5 \cdot \sqrt{d} \quad \text{e} \quad v_{cr} \cong 6 \cdot \sqrt{d}$$

E' ritenuto che il coefficiente associato a \sqrt{d} debba essere maggiore a 8 per determinare il movimento.

Una deduzione può farsi anche a partire dalla relazione di Shields ottenendo:

$$v_{cr} = K_s \cdot R_H^{1/6} \sqrt{0.06 \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \cdot \sqrt{d}}$$

Nel presente studio il valore della velocità critica è stato assunto pari al minore tra i due calcolati con le due metodologie precedentemente descritte.

4.3.4 Risultati

L'opera di attarversamento in progetto presenta pile in alveo interessate dal deflusso della corrente sia per l'evento di piena di progetto Tr300 anni.

L'analisi dell'escavazione localizzata per le pile è stata eseguita con le metodologie descritte ai paragrafi precedenti, considerando i risultati delle simulazioni idrauliche del modello bidimensionale riportati in Tabella 10 per la pila in destra idraulica ed in Tabella 11 per la pila in sinistra idraulica.

Tabella 10 – Risultati post operam Tr 300 anni in corrispondenza della pila destra del manufatto di elettrificazione.

Scenario	Massimo livello idrico [m s.m.m.]	Massimo tirante pila dx [m]	Massima velocità pila dx [m/s]	Angolo di attacco della corrente
post operam TR300	92.10	0.60	1.14	25.3°

Tabella 11 – Risultati post operam Tr 300 anni in corrispondenza della pila sinistra del manufatto di elettrificazione.

Scenario	Massimo livello idrico [m s.m.m.]	Massimo tirante pila sx [m]	Massima velocità pila sx [m/s]	Angolo di attacco della corrente
post operam TR300	92.10	0.15	1.12	50.9°

Riguardo alla geometria, la pila presenta forma circolare di diametro pari a 1.50 mentre la fondazione ha forma rettangolare quadrata di lato pari a 3.70 m.

Il materiale d'alveo risulta caratterizzato dai seguenti valori:

- pila in destra idraulica: $d_{50}=0.341$ mm;
- pila in sinistra idraulica: $d_{50}=0.272$ mm;

I risultati che si ottengono per lo scavo in corrispondenza della pila e del plinto sono riassunti in Tabella 12.

Tabella 12 – Scavo localizzato pila VI01

	Destra idraulica		Sinistra idraulica	
	CSU [m]	M/S [m]	CSU [m]	M/S [m]
Pila	1.88	2.06	0.79	1.45
Pila+plinto	2.65	3.03	-	2.18

Lo scavo preso in considerazione per il dimensionamento delle opere di fondazione è il massimo tra i due valori ottenuti:

- 3.03 m per la pila in destra idraulica
- 2.18 m per la pila in sinistra idraulica

Per la pile sono state previste delle protezioni al piede costituite da una fila di massi di diametro 50 cm.

Per la stabilità delle protezioni intorno alla pila, si è verificato che la velocità di incipiente movimento fosse almeno doppia rispetto alla velocità media in alveo (cfr. par. 4.3.3), assumendo il valore della velocità in corrispondenza della pila destra che è il superiore tra le due pile.

La tabella seguente riporta: il diametro dei massi della protezione d , la velocità critica calcolata come $v_{cr1} = 8 \cdot \sqrt{d}$, la velocità critica calcolata con il criterio di Shields v_{cr2} , la velocità media della corrente v_{media} e i rapporti tra le velocità critiche calcolate e la velocità media.

d [m]	$v_{cr1} = 8 \cdot \sqrt{d}$ [m/s]	R_H	v_{cr2}	v_{media}	v_{cr1}/v_{media}	v_{cr2}/v_{media}
0.5	5.7	2.79	5.2	1.14	4.96	4.56

Dalla tabella si evince che le protezioni sono sufficienti ad evitare fenomeni di escavazione localizzata nell'intorno delle pile.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	26 di 33

5 COMPATIBILITA' IDRAULICA

Lo strumento normativo preso a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono le “Norme di Attuazione e Misure di Salvaguardia” del PAI 2001, aggiornate dalla Regione Calabria nel 2011, che fanno riferimento ai livelli di rischio come previsti dal PAI stesso. Nello specifico si è proceduto alla sovrapposizione dell'impronta dell'opera in progetto con le aree di rischio previste dal PAI 2001, mettendo in luce il fatto che l'opera ricade pienamente in una “area di attenzione” (Figura 17).



Figura 17 – Opera in progetto ed aree a rischio idraulico (PAI 2001).

Secondo le Norme di attuazione sopracitate, nelle aree di attenzione, in mancanza di studi di dettaglio ed ai fini della tutela preventiva, valgono le stesse prescrizioni vigenti per le aree a rischio R4.

Nello specifico, nelle aree a rischio R4 sono vietate tutte le opere e attività di trasformazione dello stato dei luoghi e quelle di carattere urbanistico e edilizio, ad eccezione di alcune opere tra le quali (art. 21, comma 2, lettera “g”) quelle inerenti “*all'ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o d'interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete (energetiche, di comunicazione, acquedottistiche e di scarico) non altrimenti localizzabili, compresi i manufatti funzionalmente connessi, a condizione che non costituiscano ostacolo al libero deflusso, o riduzione dell'attuale capacità d'invaso*”.

Si ritiene che l'intervento in progetto ricada in tali fattispecie.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	27 di 33

Il confronto tra i risultati Ante e Post Operam evidenzia come non ci siano sostanzialmente variazioni in termini di estensione delle aree di allagamento (Figura 18) e di tiranti idrici in prossimità dell'opera in progetto (cfr. paragrafo 4.2).

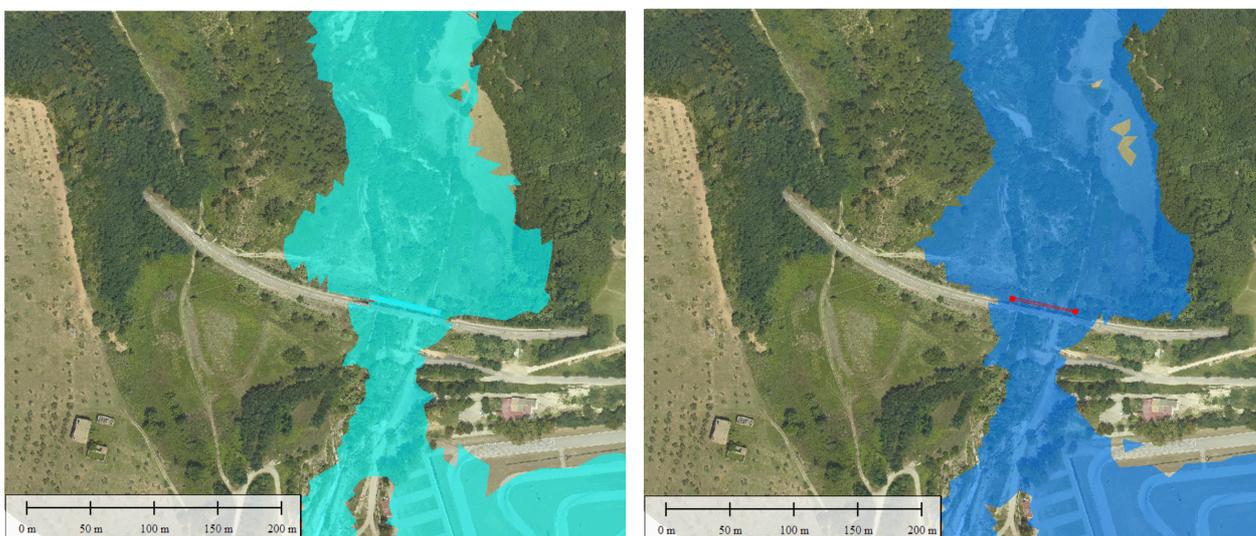


Figura 18 – Confronto delle aree di allagamento per Tr200 anni (AO a sinistra e PO a destra).

Per l'intervento previsto inoltre, la progettazione presentata è stata accompagnata da uno studio idrologico idraulico redatto in conformità alle specifiche tecniche e alle linee guida predisposte dall'ABR, come richiesto dalle Norme di attuazione.

In conclusione, alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dal rischio idraulico.

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	28 di 33

Appendice A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM

Punti di forza dell'applicativo software

I punti di forza principali dell'applicativo derivano dalla sua ampissima gamma di applicazione che ne consente l'utilizzo di qualsiasi situazione reale senza bisogno di ricorrere ad artifici o semplificazioni del problema. L'interfaccia utente, semplice e completo, la velocità di calcolo e la robustezza dell'approccio numerico completano il prodotto rendendolo facilmente fruibile ai tecnici che operano nel settore dell'idraulica.

Modelli idrologici disponibili

Pur trattandosi di un modello idraulico, InfoWorks ICM dispone di una serie modelli di trasformazione afflusso-deflussi per connettere una sezione di deflusso del reticolo di drenaggio, a un bacino idrografico che produce la portata di alimentazione in risposta ad un evento meteorico. E' quindi possibile sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno tra cui anche degli opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in diversi sottobacini. A scelta l'utente potrà scegliere tra questi modelli idrologici:

- Formula Razionale
- Modello CN (SCS)
- Modello Green-Ampt
- Modello Horton
- Modello New UK
- Modello dell'Infiltrazione costante
- Modello di Horner

Si possono anche inserire diversi modelli di corrivazione e di computazione delle perdite iniziali.

Approccio numerico alla componente 1D

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione del momento e della massa).

Le equazioni sono le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

- A area bagnata del condotto;
- Q portata;
- x distanza lungo l'asse del condotto;
- t tempo;
- g costante gravitazionale;
- H carico idraulico totale dato da z+h;
- z quota dello scorrimento;
- h livello idrico;
- S_f cadente piezometrica.

In particolare, la prima è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la seconda è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in più forme, in funzione della scelta delle variabili dipendenti. La cadente piezometrica viene computata con varie possibili metodologie (a scelta dell'utente): in InfoWorks sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Strickler.

Per poter essere integrate queste equazioni devono essere opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks CS è quello dei 4 punti di Priessmann mentre il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione, per permettere a InfoWorks di simulare anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) il motore di calcolo adotta la tecnica dello slot per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandate presenti nel modello, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello slot).

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
	LOTTO 01					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	30 di 33

L'applicabilità di questo metodo di soluzione è stato testato in centinaia di studi e applicazioni anche con riscontri di misure idrometriche ottenuti su dei bacini sperimentali.

Ci sono alcune limitazioni sull'utilizzo di questo approccio sono:

- i risultati sono semplificati per elementi molto pendenti e per le quali comunque InfoWorks produce dei risultati comunque vicini alla realtà;
- il risalito idraulico (ovvero quella discontinuità che si nota nei profili di rigurgito dove un tubo molto pendente incontra un tubo a bassa pendenza per cui l'acqua forma un vero e proprio sovrizzo improvviso) non viene rappresentato in modo preciso ma il passaggio da corrente veloce a lenta viene computato su una certa distanza (qualche metro a seconda della geometria della situazione reale).

Si noti che la metodologia di calcolo a moto vario è in grado di tener conto anche dei volumi in gioco e quindi di tener conto delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello.

Approccio numerico alla componente 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned} \quad (3)$$

dove:

- h è l'altezza dell'acqua;

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA					
	P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.					
Relazione idraulica Torrente Cancellò	LOTTO 01					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	31 di 33

- u e v sono rispettivamente le velocità nelle direzioni x e y ;
- $S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y ;
- $S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y ;
- q_{1D} è la portata per unità di area;
- u_{1D} e v_{1D} sono rispettivamente le componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y .

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia per considerare che una cella è bagnata, e la velocità è impostata a zero se la profondità è sotto il valore di soglia. Questo evita la creazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate/asciutte. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1 mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente. In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibile e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

Produzione della magliatura 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire la magliature dei domini 2D da simulare. Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri, ecc.). Il processo di magliatura tiene conto di questi vincoli e, se lo si desidera, è in grado di produrre una magliatura dipendente dalla conformazione morfologica del terreno. Laddove il terreno risulta più pendente viene infittita la maglia per assicurarsi che i triangoli non abbiano i vertici con differenze di quota superiori ad un termine fissato dall'utente.

Collegamento 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello modo e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempi:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D;
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa);
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando si rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

Tempi di calcolo e dimensione del modello

Il software consente di eseguire calcoli e ottenere risultati in tempi rapidi. Mentre la componente 1D sui moderni processori consente dei tempi di simulazione irrisori (pochi secondi per modellare una rete di 1,000 nodi per una ventata di 4 ore di durata) la componente bidimensionale può necessitare di tempi d'attesa più lunghi in funzione del numero di triangoli e dalle condizioni di moto del dominio. Su dei processori Core i7 ci si può attendere che una simulazione di 10,000 triangoli di un evento reale di 60 minuti possa necessitare qualche minuto per essere computata. Il motore di calcolo 2D è stato testato su domini di calcolo con oltre 5 milioni di triangoli ma per queste ampiezze di dominio si consiglia di dotarsi di specifica GPU (hardware non sempre presente in classici Desktop e molto raramente in Laptop) che accelerano i tempi di calcolo di 30-50 volte rispetto ai normali processori consentendo quindi tempi computazionali molto ridotti (ordine di decine di minuti) per domini 2D di centinaia di migliaia di triangoli.

	<p>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA</p> <p>P.D. ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T.CATANZARO L.</p> <p>LOTTO 01</p>												
<p>Relazione idraulica Torrente Cannello</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC0W</td> <td>01</td> <td>D 78</td> <td>RI ID 0002 003</td> <td>A</td> <td>33 di 33</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	33 di 33
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC0W	01	D 78	RI ID 0002 003	A	33 di 33								

ALLEGATO 1 – Elaborati di riferimento del PFTE