

**Regione Friuli Venezia Giulia
PROVINCIA DI UDINE**

Comune di Faedis

***Relazione modello idraulico per la V.C.I.
come da PGRA 21-27 e N.T.A. Autorità di Bacino Alpi Orientali
sulla PISTA CICLABILE nel tracciato di progetto in Comune di
FAEDIS-Torrente GRIVO'
(Parte II)***

COMMITTENTE: Geol. Gian Paolo Droli

Tecnico incaricato

*Geol. Vittorio Bisaglia
V.le Internato Ignoto, 22 (Padova)
cell. (+39) 3687217303
info: vittorio.bisaglia@gmail.com*



Padova 25 agosto 2025

PREMESSA

Su incarico del Committente è stata redatta la presente Verifica di Compatibilità Idraulica al fine di valutare la compatibilità dell'opera e di eventuali interventi di mitigazione e cautele tecniche da prevedere in sede progettuale atte a mitigare i possibili danni alle opere previste nell'ambito della realizzazione di una **PISTA CICLABILE** nel tracciato di progetto in **Comune di FAEDIS-Torrente GRIVO'** (Ud).

Lo studio in questione è stato eseguito allo scopo di fornire valutazioni e suggerimenti di supporto all'intervento di progetto come previsto dalla normativa vigente, emanata con:

- **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** edito dal Distretto Idrografico Alpi Orientali (2021-2027) e in vigore dal 05.02.2022.
- **D.M. 17.01.2018** "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" in cui vengono stabiliti i criteri da osservare per la pianificazione delle indagini specialistiche e per le metodiche di progetto;
- **Piano Regolatore Generale** dei Comune di Faedis (agg. Giugno 2022);
- **L.R. n. 22/2009** "Norme per il governo del territorio" che stabilisce criteri, indirizzi, metodi e contenuti degli strumenti di pianificazione;
- **D.P.C.M. 29.09.1998** "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1 del D.L. 11/06/1998 n. 180 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico e a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania" in cui vengono stabiliti i criteri da osservare per l'individuazione, perimetrazione, valutazione e mitigazione del rischio idrogeologico.

Per la stesura del presente elaborato tecnico sono stati utilizzati precedenti riferimenti bibliografici e d'archivio che hanno supportato le informazioni geologiche e geotecniche raccolte mediante verifiche dirette eseguite in sito.

Per accertare le condizioni d'idoneità dei terreni su cui insisteranno le strutture di progetto, sono state predisposte ed attuate le seguenti fasi di lavoro:

- **Inquadramento** bibliografico dell'area di studio per quanto attiene agli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici e idrografici;
- **Modellazione** idraulica 1D e 2D dell'area di studio e di un suo congruo intorno;
- **Analisi di pericolosità idraulica e rischio idraulico** dell'area di studio e del manufatto di progetto;
- **Valutazioni** conclusive;
- **Attestato** di rischio idraulico.

Nella presente relazione sono descritti e riportati i risultati della modellazione idraulica richiesta.

MODELLAZIONE IDRAULICA monodimensionale e bidimensionale a fondo fisso

Premessa

Per modellazione idraulica si intende la comprensione dei processi fisici e dei cambiamenti della rete idraulica connessa ai fenomeni di allagamento e ai fenomeni di piena.

Costruire un modello vuol dire sviluppare un algoritmo in grado di prevedere gli effetti di un determinato fenomeno. In modo più specifico, il fenomeno studiato consiste nelle

caratteristiche fisiche assunte da un flusso idrico prodotto da un determinato evento pluviometrico. I suoi effetti, per quanto concerne la sfera di interesse del modellatore, riguardano le relazioni tra le caratteristiche del flusso e la morfologia del territorio che ne viene attraversato.

In particolare, occorre valutare accuratamente tre elementi chiave e le loro rispettive variazioni temporali:

- le caratteristiche degli apporti idrici in bacino (valutazione delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione, ecc.);
- le caratteristiche morfologiche del bacino stesso e dell'alveo in particolare;
- l'idraulica del flusso.

In tale contesto ci si avvale di software dedicati in grado di conferire alla modellazione un grado accettabile di affidabilità dei risultati, in considerazione della notevole complessità delle elaborazioni necessarie.

Il più diffuso ed efficace di tali programmi è senz'altro HEC-RAS e viene indicato specificamente come applicativo per la modellazione idraulica 2D a fondo fisso per la Verifica di Compatibilità Idraulica ai sensi delle Norme Tecniche di attuazione del PGRA.

HEC-RAS viene pubblicato nel 1996 dall' Hydrologic Engineering Center for the US Army Corps of Engineers (HEC), il Corpo degli ingegneri dell'esercito degli Stati Uniti, un ente nato con lo scopo dichiarato di "fornire servizi vitali di ingegneria pubblica e militare; collaborare alla pace e alla guerra per rafforzare la sicurezza della nostra nazione, stimolare l'economia e ridurre i rischi di disastri".

Si tratta dunque di un prodotto messo a punto per conto del genio dell'esercito statunitense il quale, tuttavia, ha già a suo tempo deciso di rendere liberamente disponibile il programma consentendone il download libero e gratuito a tutti attraverso la propria piattaforma web.

Il sistema HEC-RAS contiene i seguenti componenti di analisi fluviale per: (1) calcoli unidimensionali del profilo della superficie dell'acqua a flusso costante; (2) simulazione di flusso instabile unidimensionale e/o bidimensionale; (3) Calcoli del trasporto di sedimenti di confine mobili con flusso quasi instabile o completamente instabile (1D e 2D); e (4) analisi unidimensionale della qualità dell'acqua. Un elemento chiave è che tutti e quattro i componenti utilizzano una rappresentazione dei dati geometrici comune e routine di calcolo geometrico e idraulico comuni. Oltre ai quattro componenti di analisi fluviale, il sistema contiene diverse funzionalità di progettazione idraulica che possono essere richiamate una volta calcolati i profili della superficie dell'acqua. HEC-RAS dispone anche di un ampio sistema di integrazione e mappatura dei dati spaziali (HEC-RAS Mapper).

HEC-RAS è progettato per eseguire calcoli idraulici unidimensionali e bidimensionali per un'intera rete di canali naturali e costruiti, aree di overbank/golene, aree protette da argine; ecc.

In parole povere è in grado di simulare il flusso idraulico all'interno di un determinato alveo, oppure su una intera piana alluvionale a seguito di una esondazione, di cui sono stati precedentemente definiti dal modellatore i parametri morfo metrici ed i coefficienti d'attrito, oltre che la presenza di eventuali opere idrauliche (costruzione del modello geometrico). Una volta assegnate le portate di afflusso a monte per determinati tempi di ritorno oppure definita una curva di probabilità pluviometrica (costruzione del modello idrologico), è possibile ottenere i parametri del flusso nel tempo e nello spazio (modello idraulico).

Si avranno così informazioni molto precise, di carattere tempo-spaziale, sulle quote del tirante idrico, che ci consentiranno una verifica delle sezioni d'alveo e/o della luce di eventuali opere idrauliche, e sulle velocità del flusso, in modo da poter verificare la possibilità di erosione del letto e delle sponde.

HEC-RAS consente inoltre di realizzare modelli di trasporto solido e modelli di temperatura e/o qualità dell'acqua. Nell'ultima versione attualmente disponibile per il download, la 6.6, è possibile costruire il modello idrologico bidimensionale contemplando la possibilità di inserimento di dati pluviometrici e di infiltrazione al suolo, sulla piana alluvionale, variabili nello spazio e nel tempo.

Metodologia utilizzata

Per la Verifica di Compatibilità Idraulica sono state seguite tutte le indicazioni e raccomandazioni sulla base dell'All. A punto 2 delle NTA in relazione alle alluvioni di pianura.

L'approccio metodologico scelto consiste inizialmente nel calcolo unidimensionale del profilo della superficie dell'acqua a flusso costante lungo l'asta fluviale in studio (Progno d'Illassi) e, successivamente, nel calcolo bidimensionale mediante la connessione di strutture laterali atte a impostare le condizioni di sormonto.

L'estensione del modello è di circa 2,36 km a monte (sezione 8426) e 1,6 km (sezione 1428) a valle l'area in studio; la mesh impostata per il modello 2D è di 10x10 metri in prossimità dell'area e di 25x25 metri esternamente.

Di seguito il percorso seguito per ottenere le quote del tirante idrico e le velocità relative al tempo di ritorno di 100 anni:

- Acquisizione dei DTM lidar dal portale SIGMA dell'Autorità di Bacino;
- Definizione ed estrazione delle sezioni inerenti la batimetria di alveo sulla base dei dati lidar estratti dal portale SIGMA dell'Autorità di Bacino¹;
- Acquisizione dell'idrogramma di piena (Tr100) fornito dal portale SIGMA relativo ai nodi idrologici ricadenti nel tratto fluviale investigato (*torrente_grivo__24h_M02_100anni.csv*).
- Definizione topografica e idraulica del modello monodimensionale;
- Calcolo del modello monodimensionale per il segmento fluviale in studio;
- Definizione del modello bidimensionale e attribuzione delle geometrie con i valori di Manning's ricavati dalla cartografia Uso del Suolo CORINE;
- Elaborazione del modello idraulico monodimensionale e bidimensionale tr100 anni mediante successivi step's di calibrazione dei dati idraulici contenuti in SIGMA dell'Autorità di Bacino;
- Estrazione dei tiranti idrici tr100 anni e delle velocità di flusso;
- Estrazione dei profili locali;
- Comparazione tiranti (Tr100) ottenuti dalla modellazione per lo Stato di Fatto e lo Stato di Progetto.

¹ In SIGMA non sono fornite sezioni topografiche ad hoc del Torrente Grivò

Modellazione monodimensionale

Fase pre-processing

Il modello concettuale (figure n. 1 e 2) è stato implementato esclusivamente sulla base dei DTM lidar **Rilievo Lidar Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia Ambito 01** scaricati da SIGMA e di n. 41 sezioni batimetriche estratte dai lidar n. 45 sezioni virtuali. Le boundary condition iniziali sono:

- 1) upstream modello impostato a **sezione 8426** in prossimità di *Agriturismo Petrigh*;
- 2) downstram modello impostato a **sezione 1488** in corrispondenza all'immissione di via Taviele e via Marcolini in località Ziracco;
- 3) idrogramma di piena Tr 100, estratto da SIGMA nodo idrologico **torrente_grivo__24h_M02_100anni.csv** . Come ampiamente descritto nella relazione di modellazione idrologica allegata l'idrogramma di piena connesso alla sezione **8426** è stato derivato sulla base del bacino idrologico **Unita Gestione: Isonzo – Torrente Grivò** . Per il bilanciamento delle portate totali Tr 100 anni immesse nel tratto del Torrente Grivò investigato è stata immessa una portata residua in corrispondenza della sezione **5775** (cfr: *Relazione sul MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO per la V.C.I. come da PGRA 21-27 e N.T.A. Autorità di Bacino Alpi Orientali sulla PISTA CICLABILE nel tracciato di progetto in Comune di FAEDIS-Torrente GRIVO' a firma del Geol. Gian Paolo Drolli*).

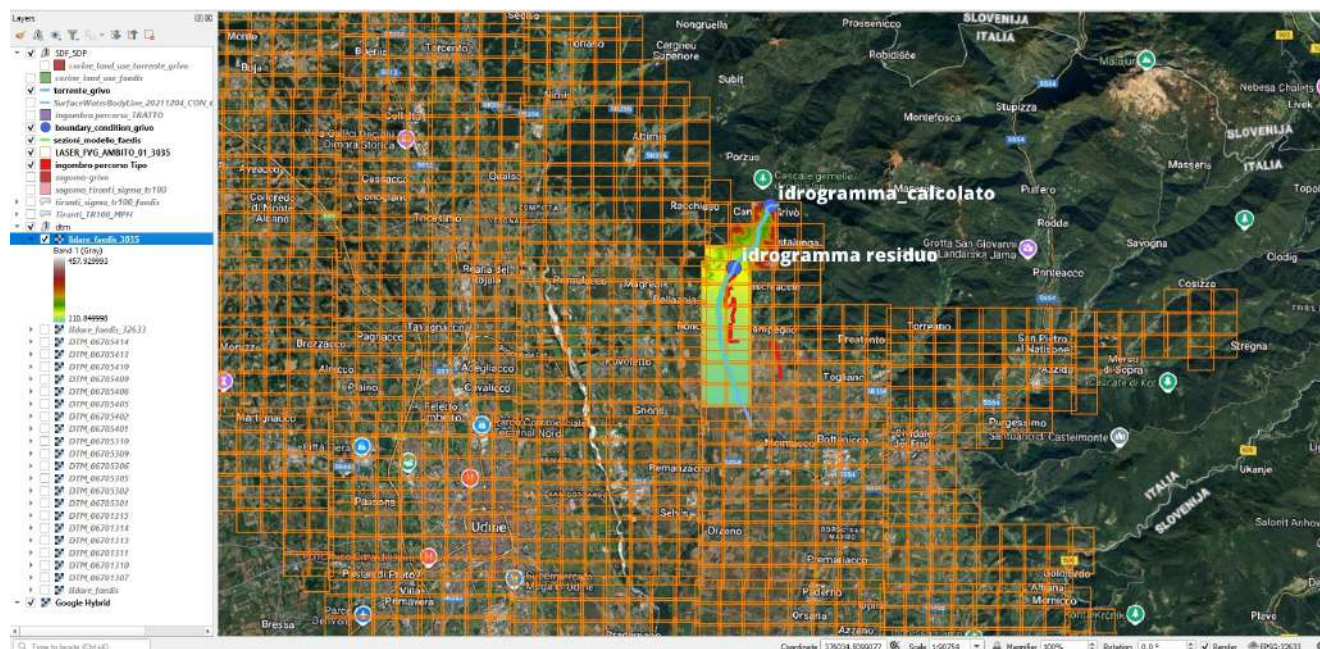


figura n. 1: Modello concettuale, in rosso area in studio

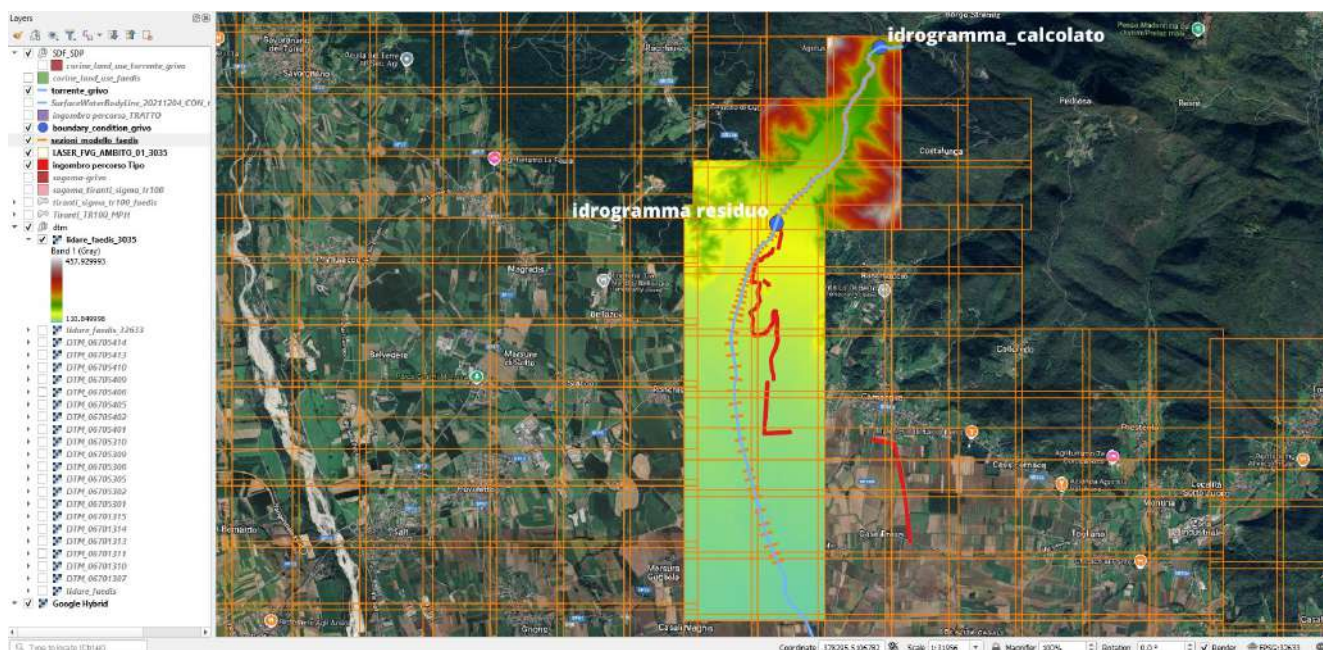


figura n. 2: Modello concettuale dettaglio, in rosso area in studio

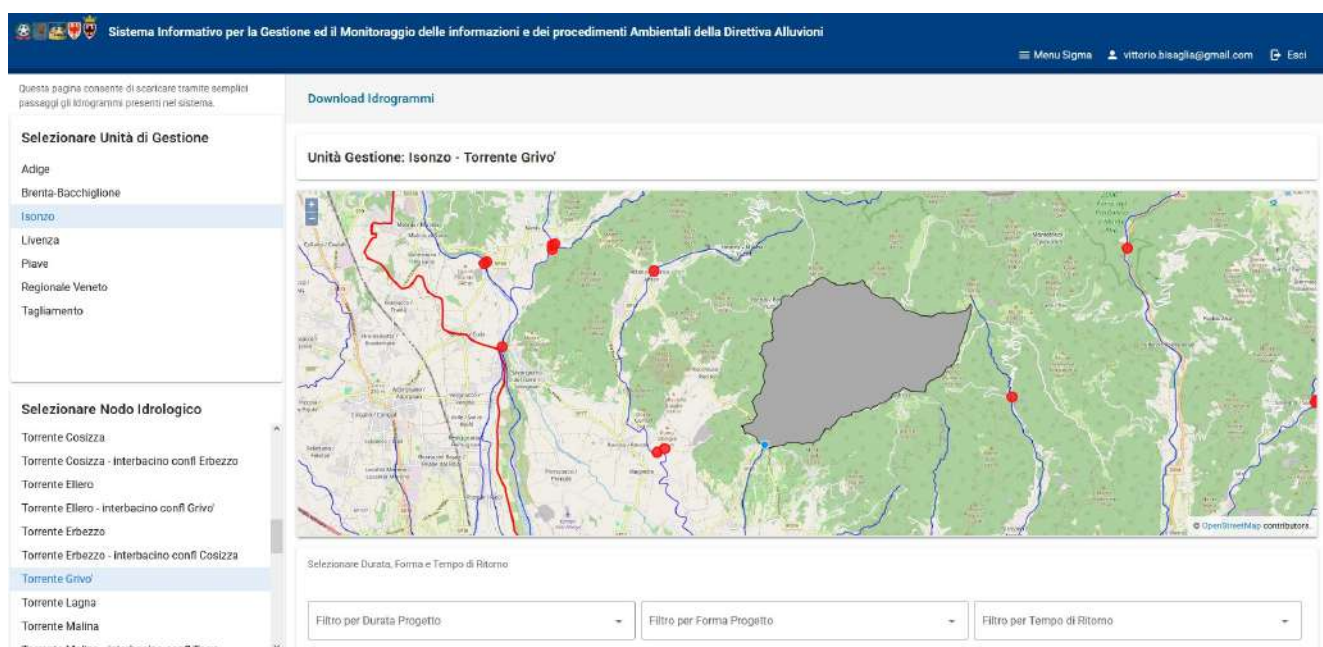


figura n. 3: nodo idrologico Unita Gestione: Isonzo – Torrente Grivò

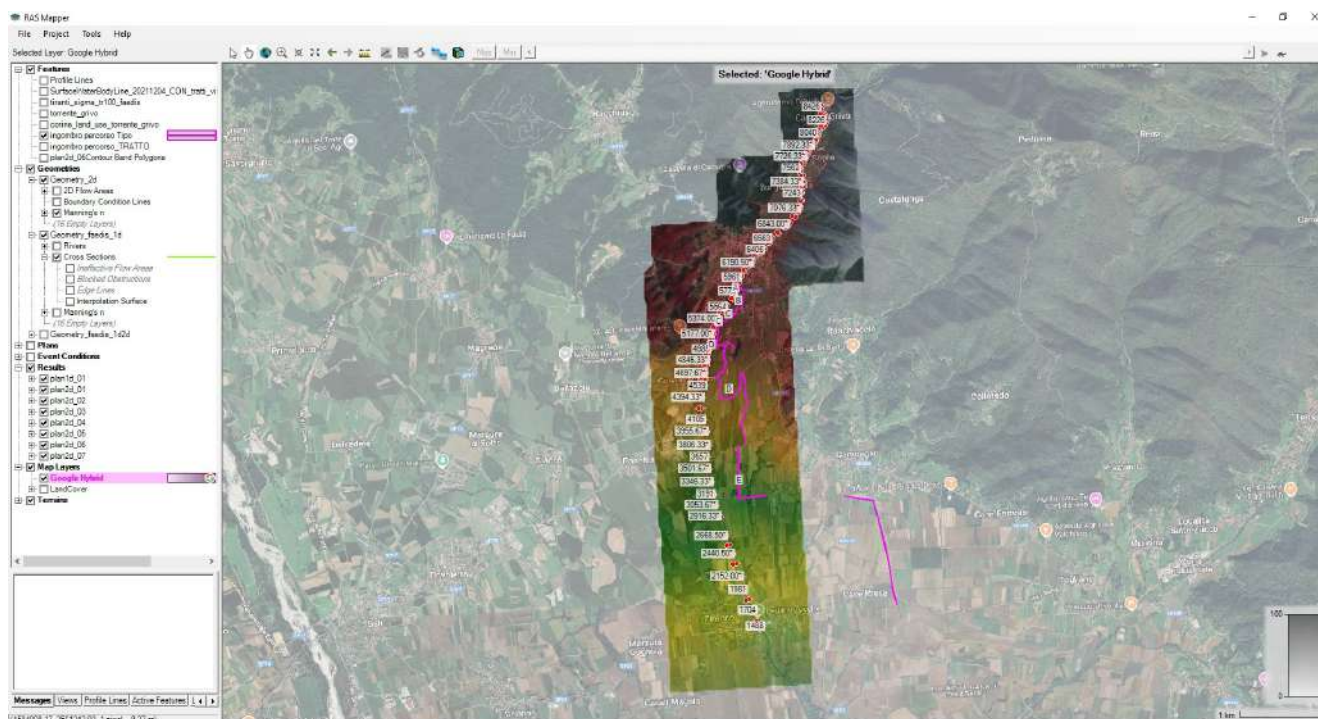


figura n. 4: modello 1D, in magenta pista ciclabile in progetto

Sulla base del DTM lidar scaricato da SIGMA sono state tracciate e impostate n°41 sezioni batimetriche imponendo le soglie di blank e levees (figura n. 5)

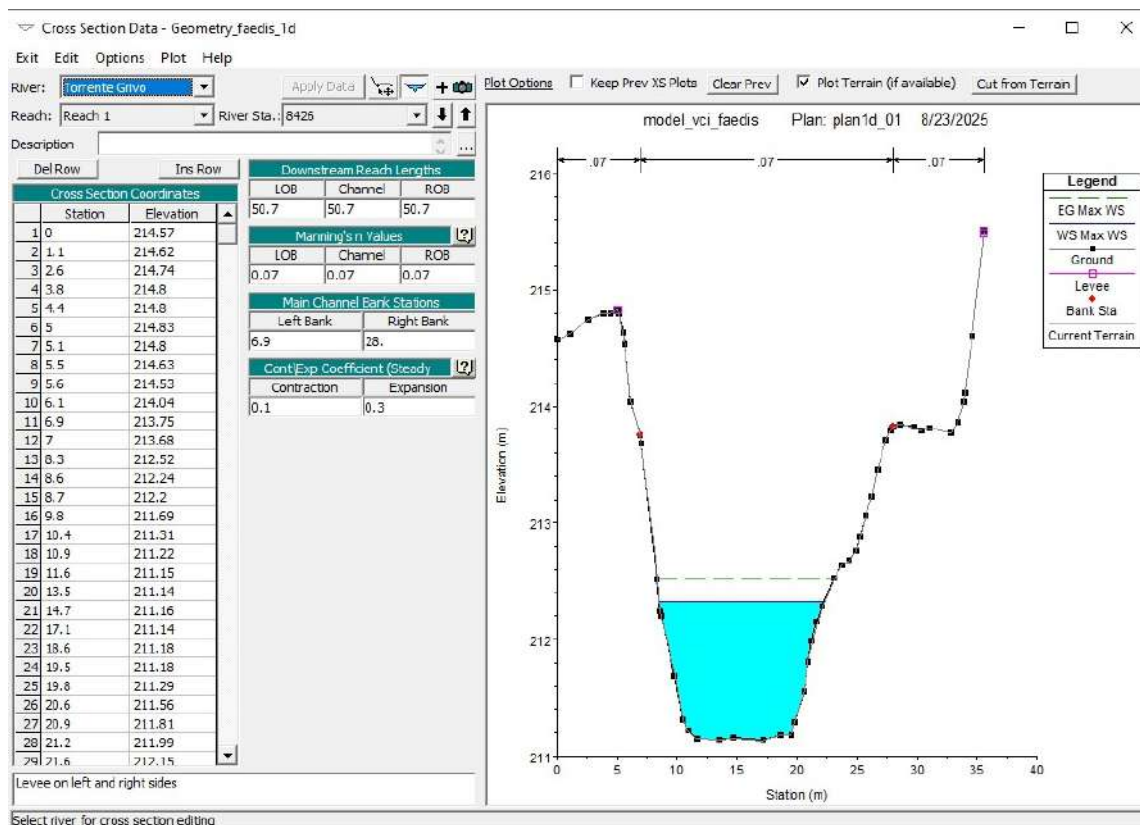


figura n. 5: impostazione delle sezioni trasversali e definizione delle soglie blank – levees

Dove necessario le sezioni sono state infittite mediante il comando XS interpolation con un interasse di circa 50-100 metri da ciò le sezioni virtuali utilizzate per la modellazione monodimensionale risultano **45**.

1 FASE DI PROCESSING 1D E RISULTATI

Sulla base delle assunzioni sopra descritte (**pag. 5**) per la fase di processing è stato utilizzato il modulo Unsteady Flow Analysis imponendo i valori derivati dall' idrogramma di piena Tr 100 anni relativo al nodi idrologico **Unita Gestione: Isonzo – Torrente Grivò** scaricati da SIGMA.

In dettaglio la *boundary condition inflow* relativa alla sezione **8426** a monte è stata impostata calcolando un *idrogramma tr 100 di piena derivato* pari al **0.84 %** dell'idrogramma SIGMA **torrente_grivo_24h_M02_100anni.csv**. Mentre, In corrispondenza della sezione **5775**, è stato impostato un flusso laterale con onda di piena residua pari alla differenza tra gli idrogramma SIGMA e quello derivato. Infine la *boundary condition outflow* è stata impostata alla sezione a valle n. 1488 in condizione *Normal Depth* imponendo un slope pari a 0.001 (**figura n. 6, 7, 8**).

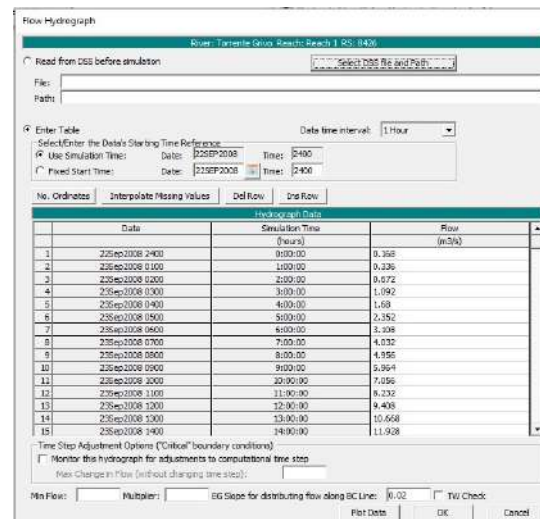
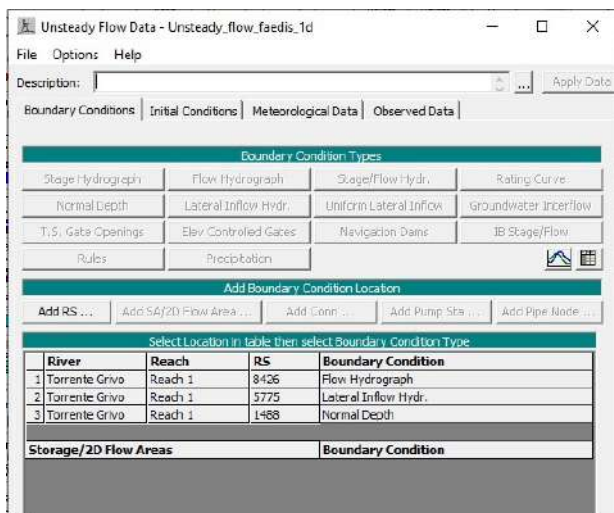


figura n. 6: Unsteady Flow Data 1D

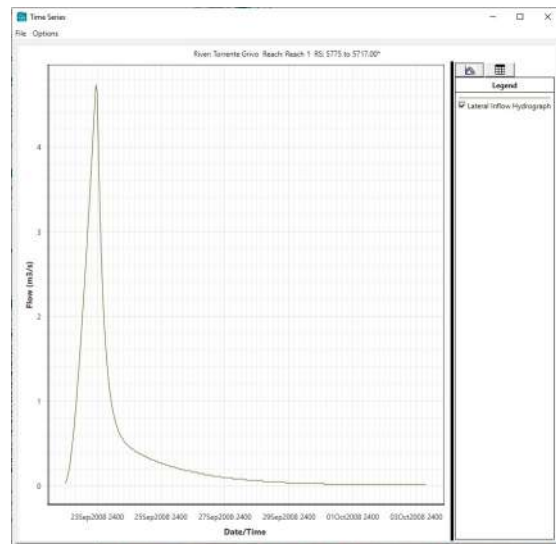
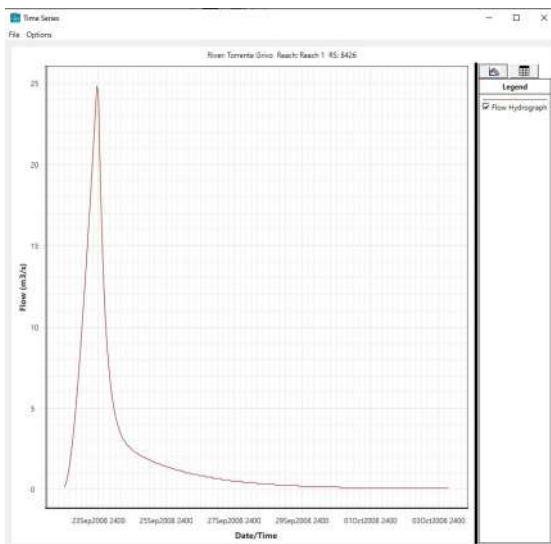


figura n. 7: Idrogrammi utilizzati : derivato e residuo

Quindi si è proceduto alla fase di processing (**figura n. 8, 9 e 10**).

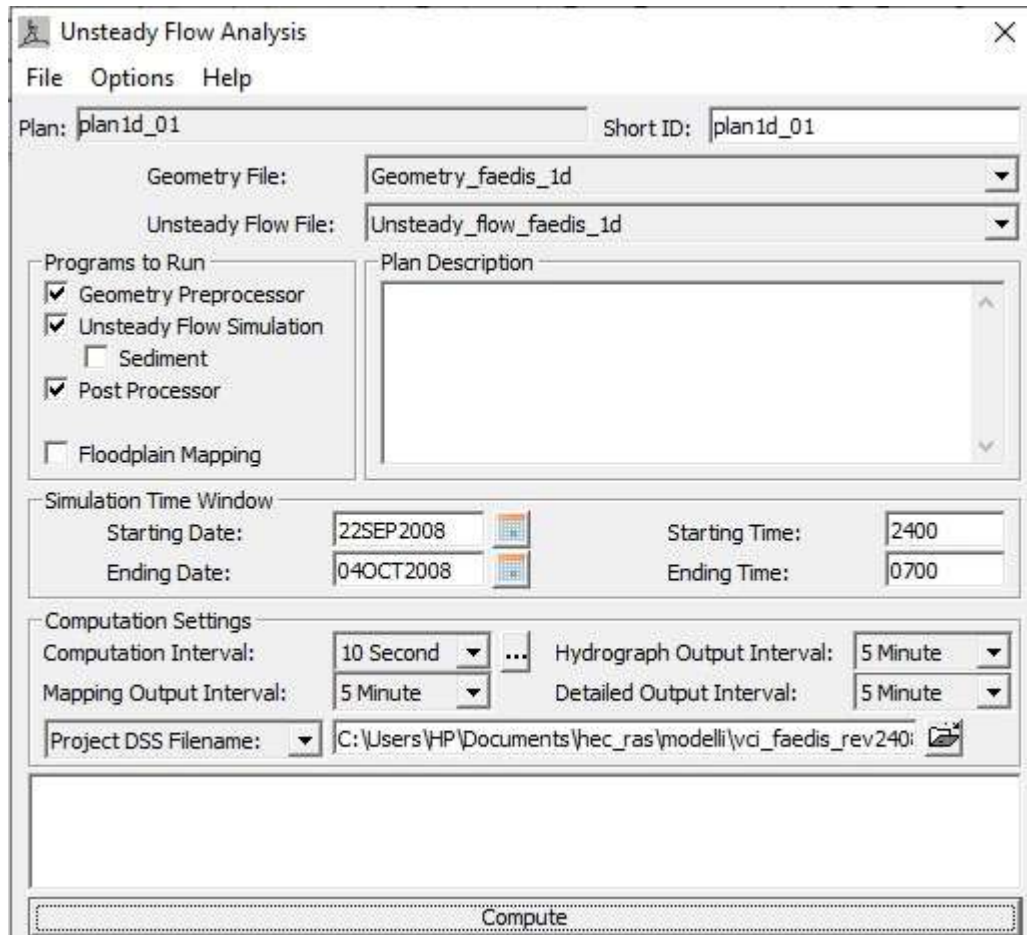


figura n. 8: Unsteady Flow Analysis 1D

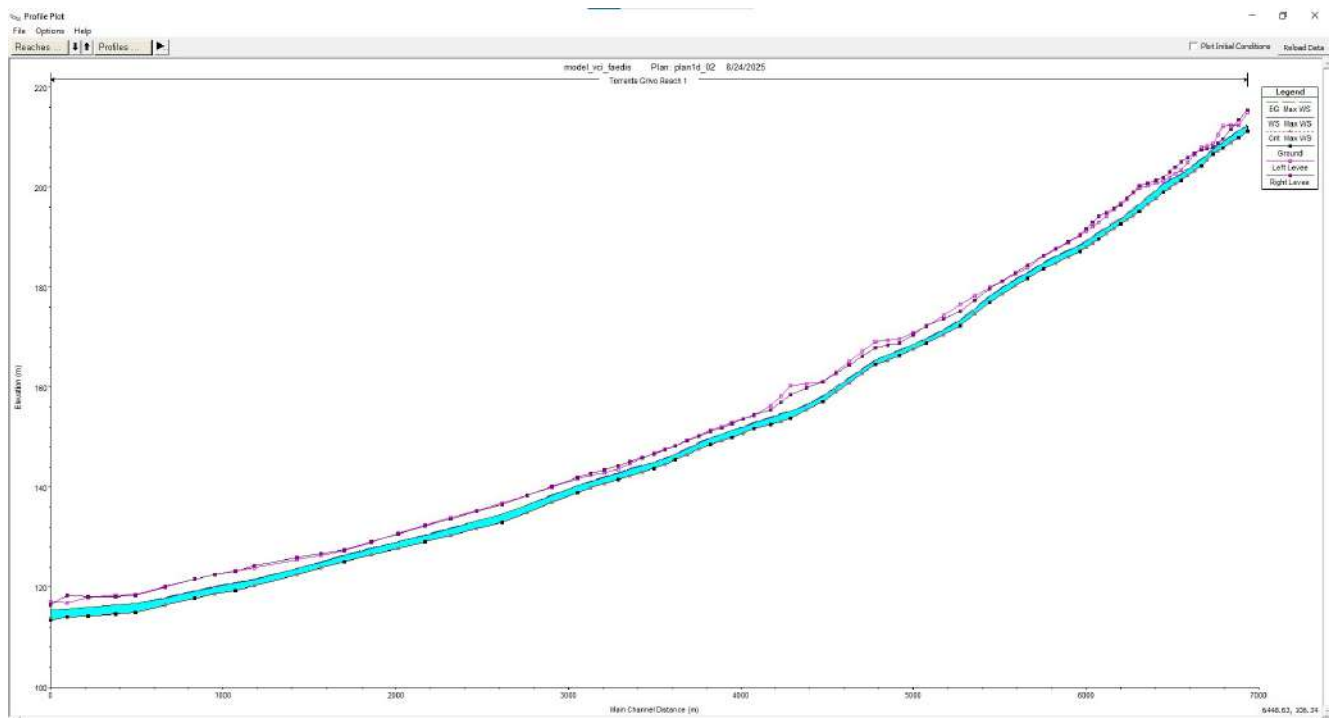


figura n. 9: andamento idrometrico massimo (tr 100) lungo il tratto analizzato

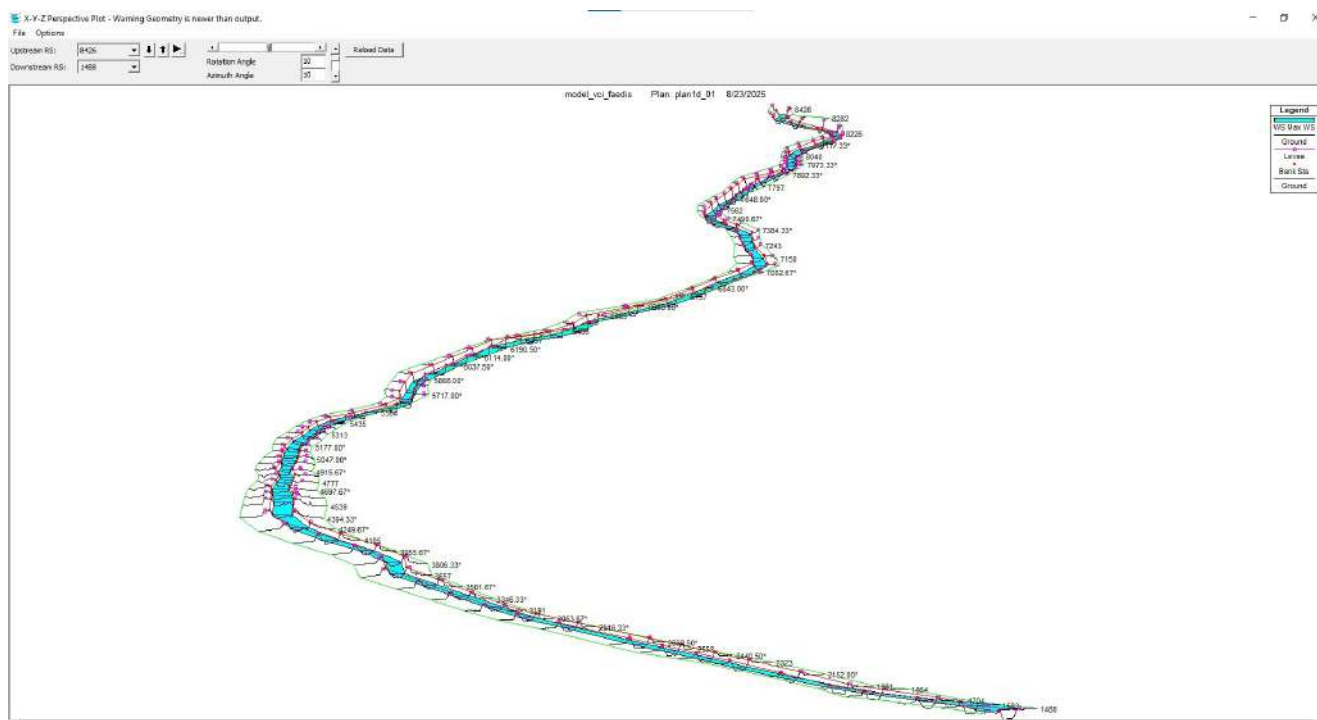


figura n. 10: layout grafico 3d processing modello 1D

2 ANALISI DEI DATI

Sulla base degli idrogrammi impostati i risultati della modellazione monodimensionale evidenziano l'assenza di criticità per sormonto lungo l'intero tratto investigato anche imponendo coefficienti di Manning's in alveo elevati (0.07) e EG slope pari a 0.02.

Modellazione bidimensionale

1 FASE DI PRE-PROCESSING

Sulla base dei DTM lidar, delle informazioni estratte da SIGMA relative ai tiranti Tr 100 e dei risultati ottenuti dalla modellazione monodimensionale, è stata definita l'area di propagazione del flusso 2D in sinistra *Torrente Grignò* (Dominio 2D) al fine di calibrare in maniera ottimale il modello di propagazione con i dati forniti dal PGRA (**figura n. 11**).

La modellazione bidimensionale appare più indicata per l'analisi di propagazione delle piene viste le caratteristiche morfologiche e idrografiche del bacino *Torrente Grivò*; inoltre dall'analisi del modello monodimensionale non sono emerse criticità per sormonto per cui l'impostazione del modello mono-bidimensionale risulta alquanto complessa e priva di riscontro oggettivo nell'impostazione delle strutture laterali di collegamento.

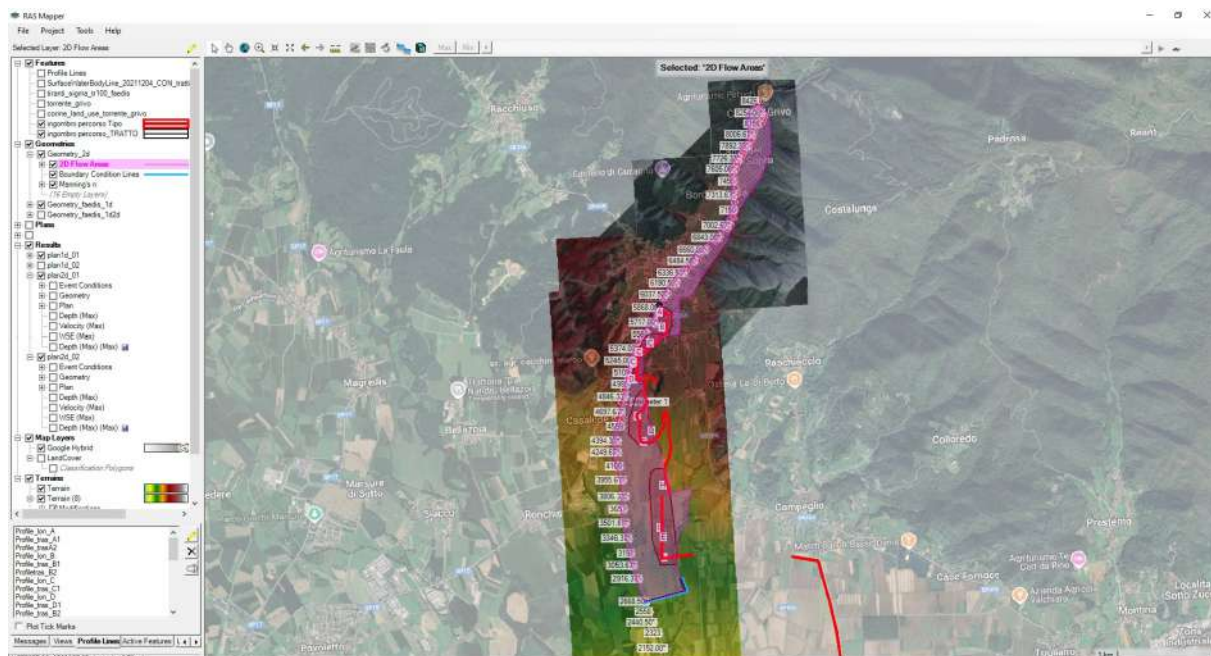


figura n. 11: area flusso 2D e pista ciclabile (rosso)

I limiti di tale area sono stati tracciati in sinistra *Torrente Grignò* seguendo l'andamento del Tr 100 contenuto in SIGMA.

La mesh impostata in corrispondenza del percorso in progetto 2D è pari a 10x10 metri mentre esternamente è stata impostata 25x25 metri (**figura n. 12**).

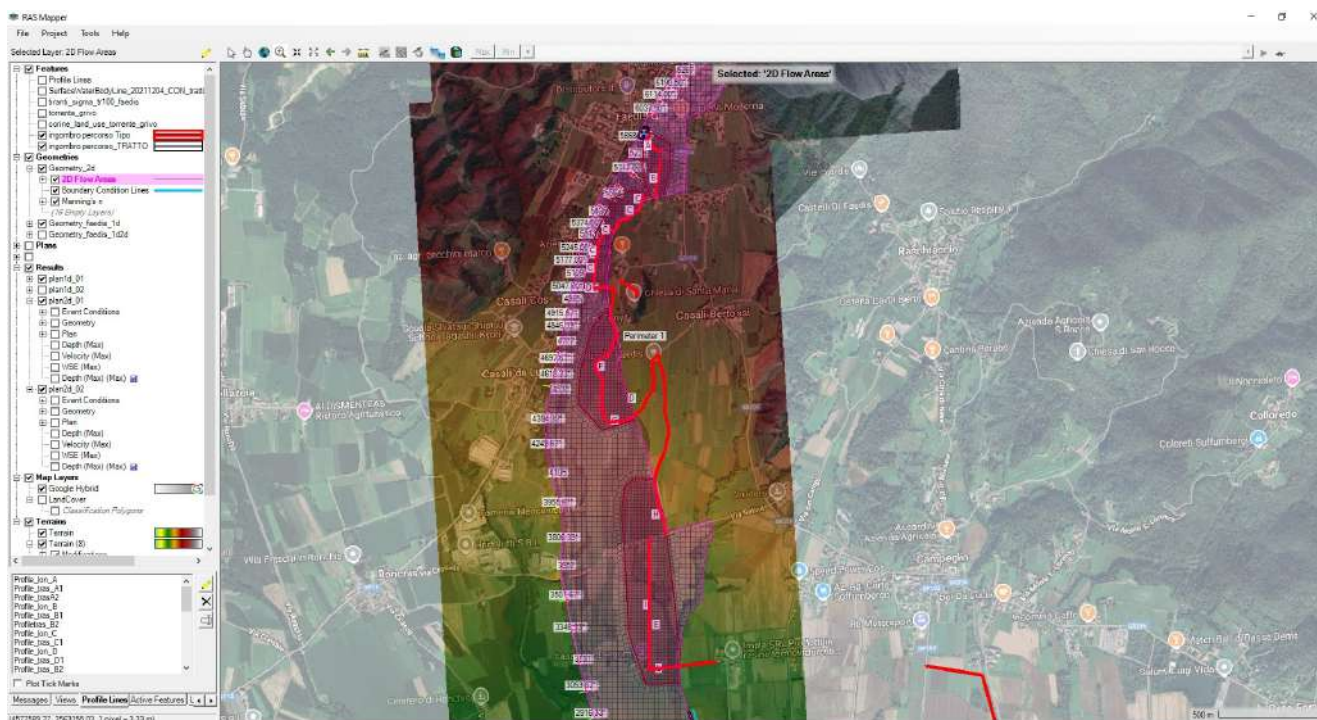


figura n. 12: area di studio flusso 2D con mesh 10x10 metri e sagoma area in studio (rosso)

I *coefficienti di Manning's* in alveo pari a 0.07 sono stati opportunamente assegnati sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione monodimensionale al fine del raggiungimento ottimale della calibrazione con i dati SIGMA.

Sono state impostate n° 3 *boundary condition* rispettivamente Inflow, lateral flow e normal depth in chiusura del bacino. In dettaglio per la fase di processing è stato utilizzato il modulo *Unsteady Flow Analysis* imponendo di partenza i valori dell'idrogramma di piena **derivato** Tr 100 anni relativo al nodo idrologico **Unita Gestione: Isonzo – Torrente Grivò** connesso alla *boundary condition Inflow*, le portate relative all'idrogramma **residuo** sono state connesse lateralmente *con boundary condition lateral flow*. La sezione di chiusura, *boundary condition outflow*, è stata impostata come *normal depth* attribuendo il *friction slope* pari a 0.02. (**figura n. 13**).

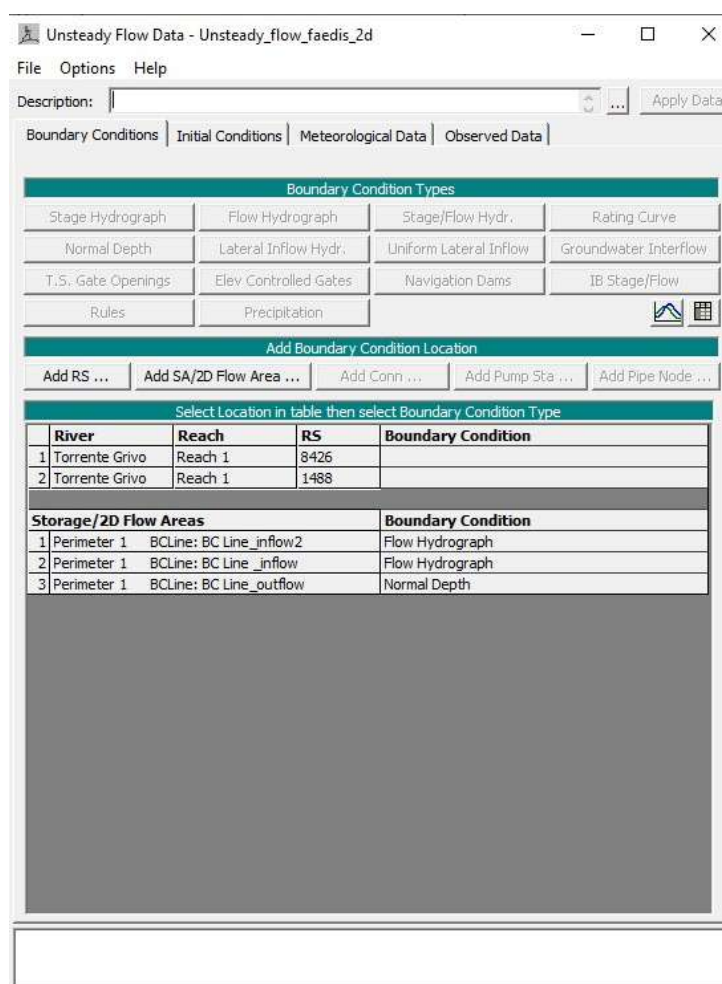


figura n. 13: Unsteady Flow Data 2d

4.2 FASE DI PROCESSING

Successivamente si è proceduto al runnig del modulo *Unsteady Flow Analysis*.

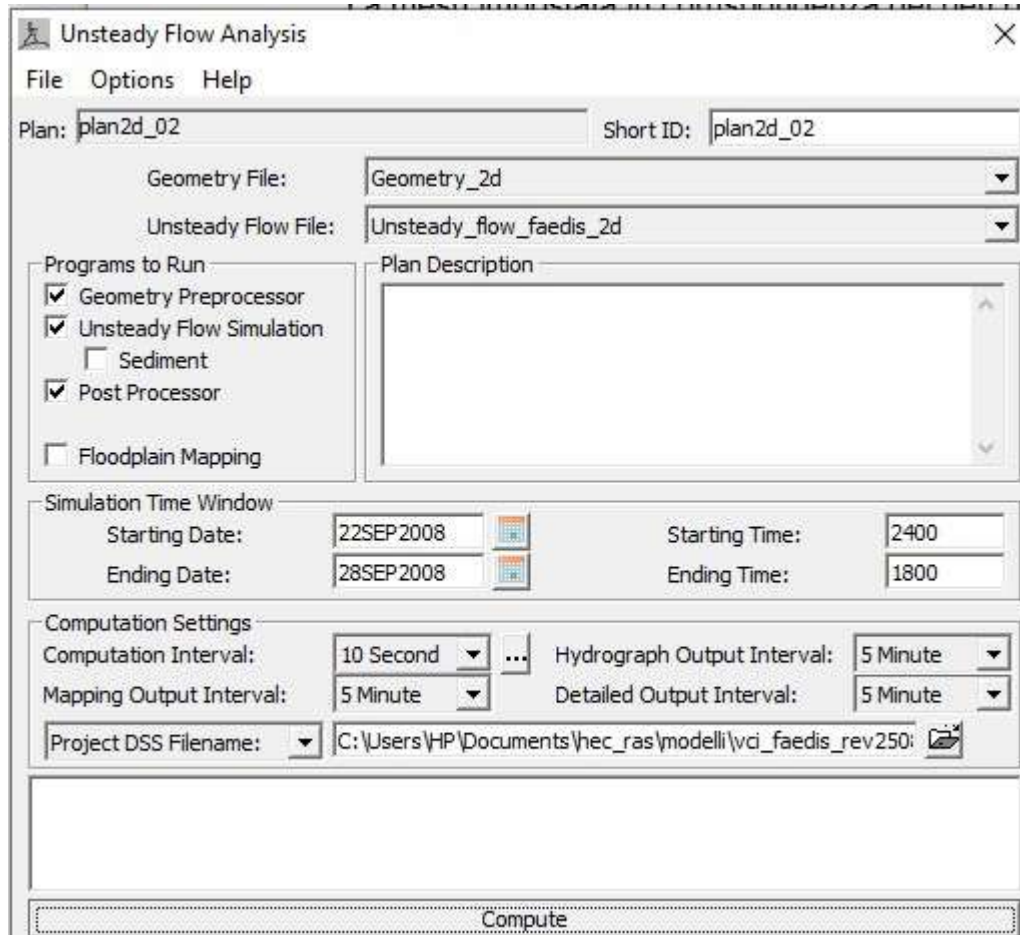


figura n. 14: unsteady flow analysis 2D

4.3 RISULTATI

Al fine di ottenere dati quanto più prossimi alla convergenza con il Tr 100 SIGMA la calibrazione del modello è stata implementata focalizzando la superficie di elaborazione nell'intorno dell'area in studio.

Dopo successivi e reiterati steps di taratura e calibrazione degli idrogrammi e il ricampionamento dei dtm alle mesh adeguate si è raggiunta una soddisfacente convergenza con i dati Tr 100 SIGMA come richiesto dalle NTA del PGRA (**figura n. 15, 16**).

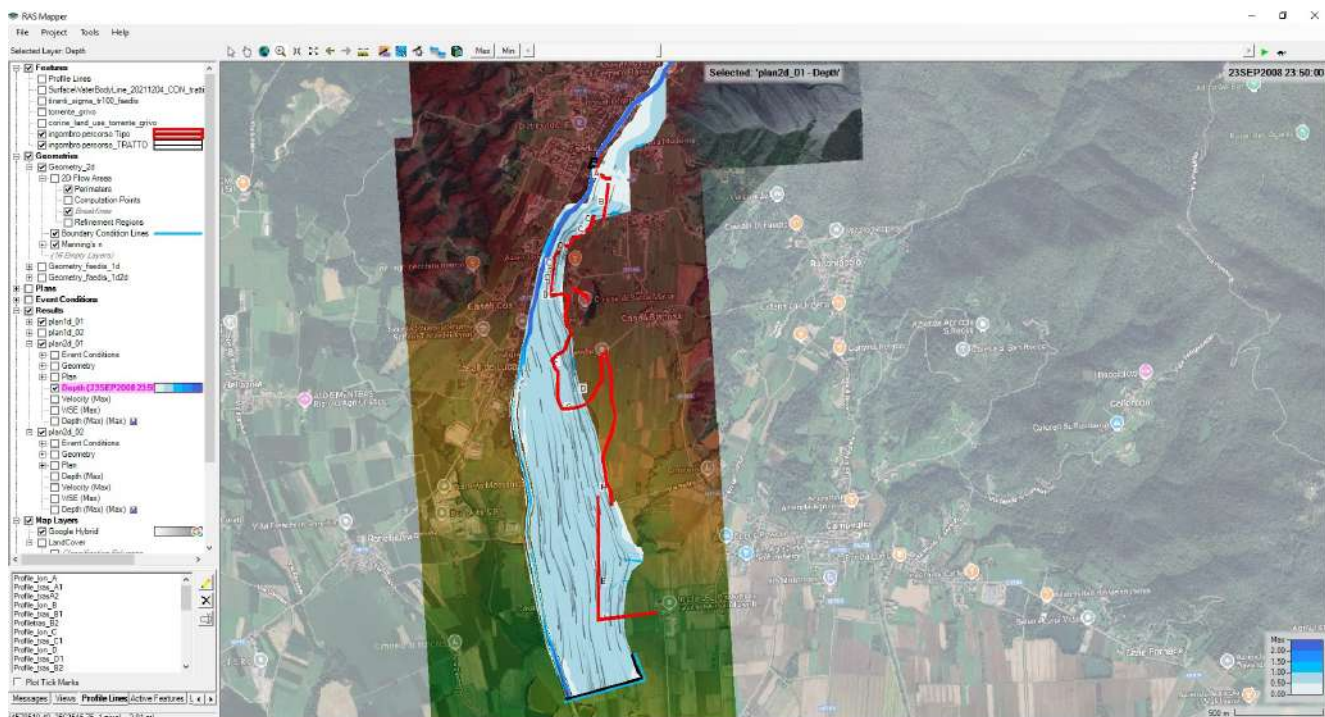


figura n. 15: tiranti ottenuti da modello bidimensionale

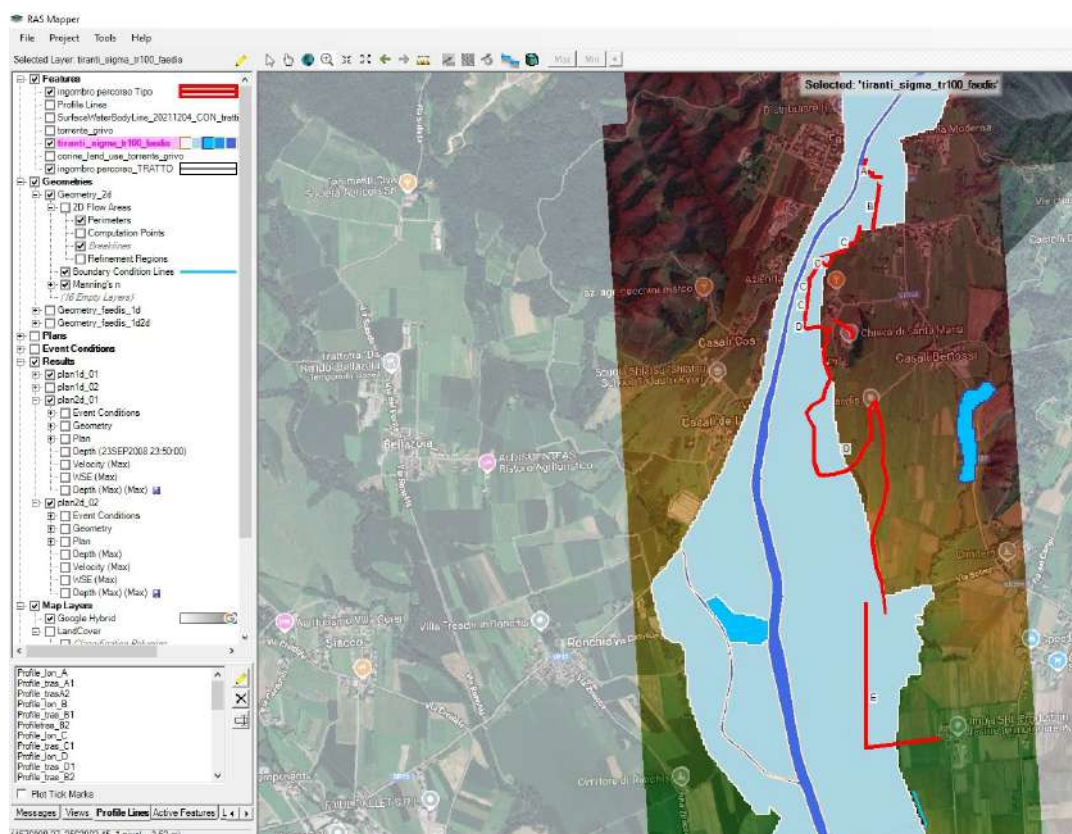


figura n. 16: tiranti Tr 100 SIGMA

Per determinare le quote di sicurezza sulla base dei tiranti calcolati sono stati considerati solo i tratti della pista ciclabile in progetto soggetti al PGRA. Per facilitare l'analisi delle quote di sicurezza la pista ciclabile è stata suddivisa in tratti etichettati in successione da monte a valle : A, B, C, C, D, E, F, G, H, I, L (figura 17).

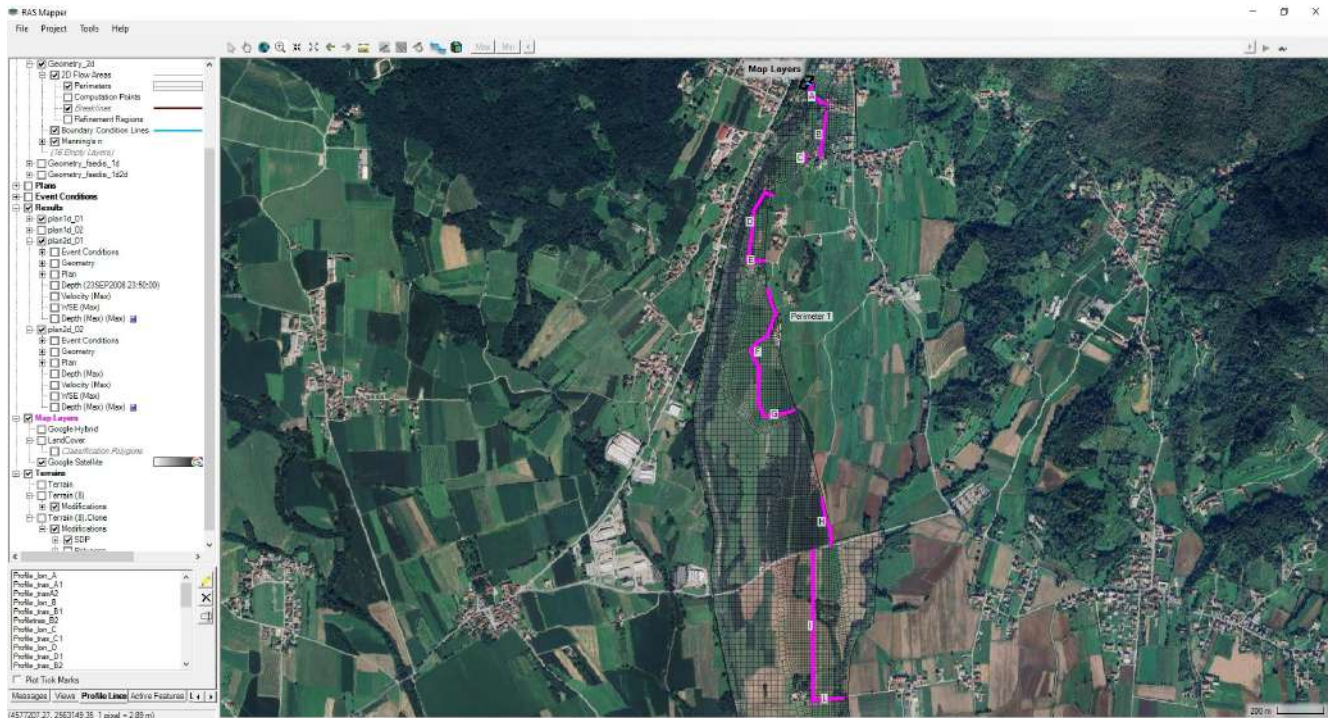
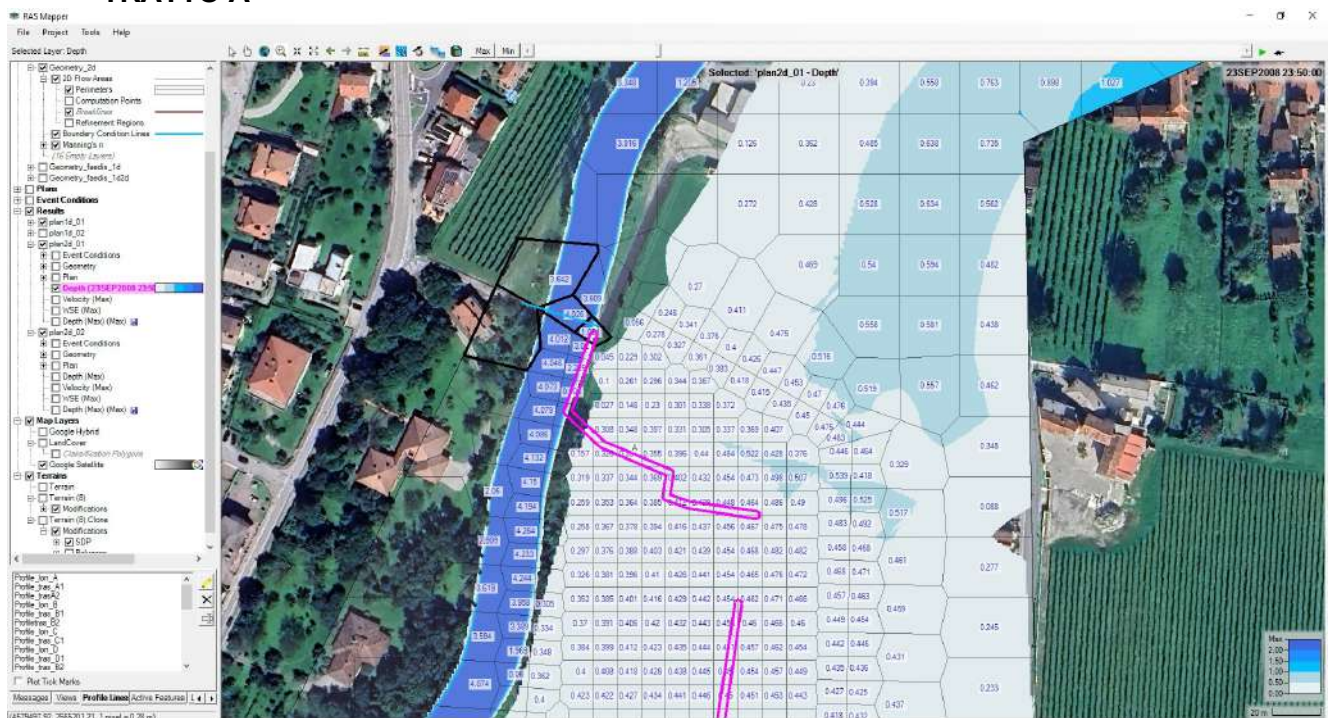


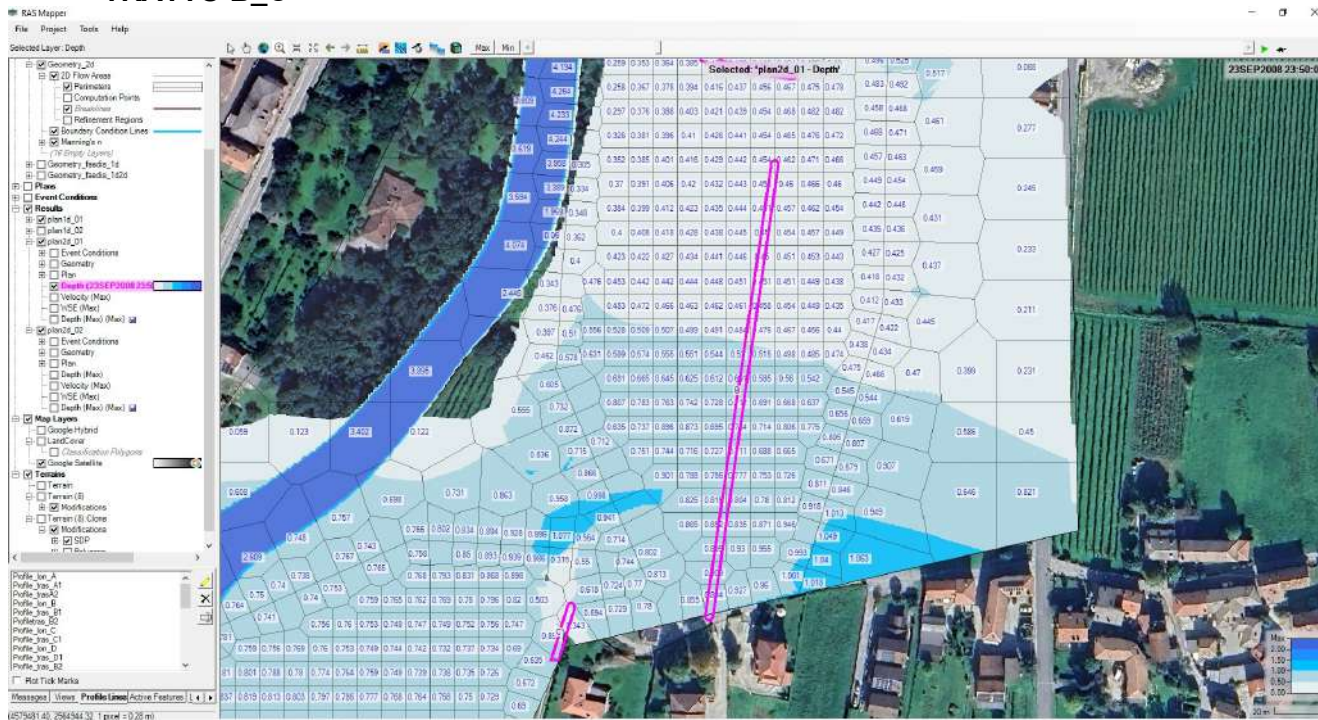
figura n. 17: tratti pista ciclabile soggetti a PGRA elencati con lettere progressive

Nelle successive figure si riportano i tiranti calcolati (mesh 10x10 m) in corrispondenza di ogni tratto.

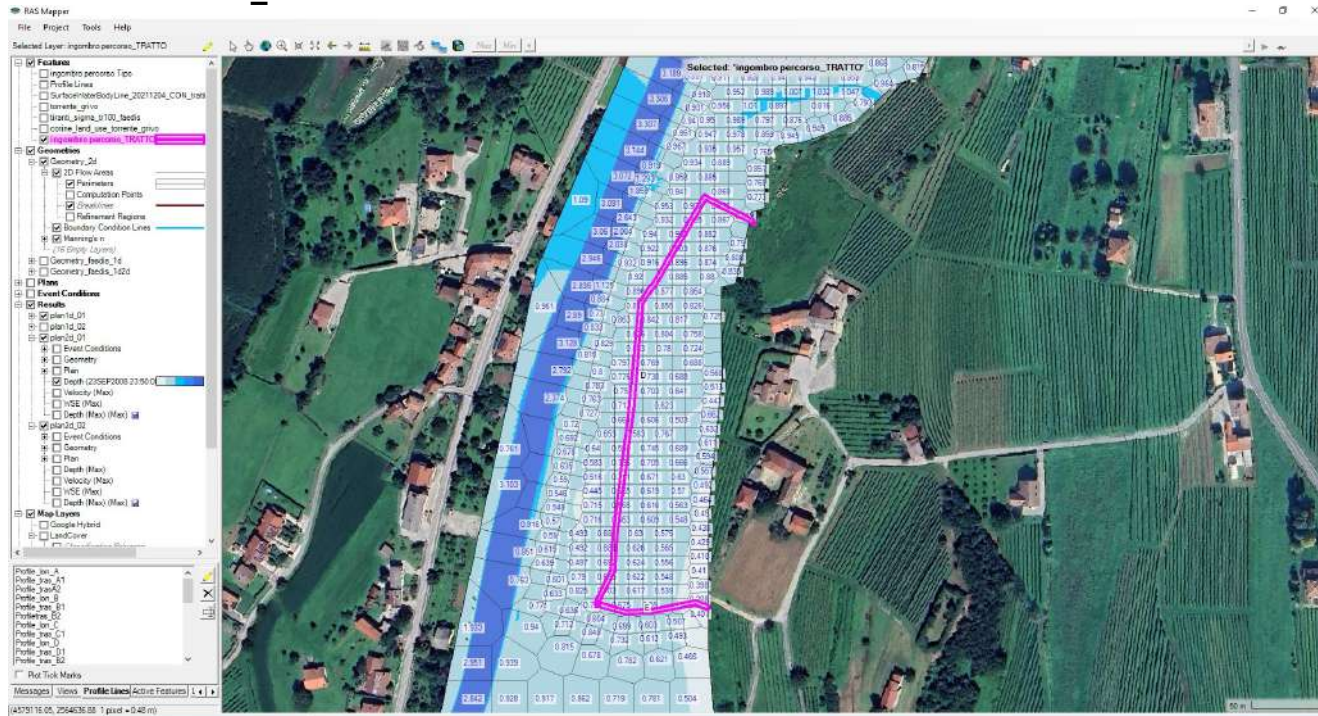
TRATTO A



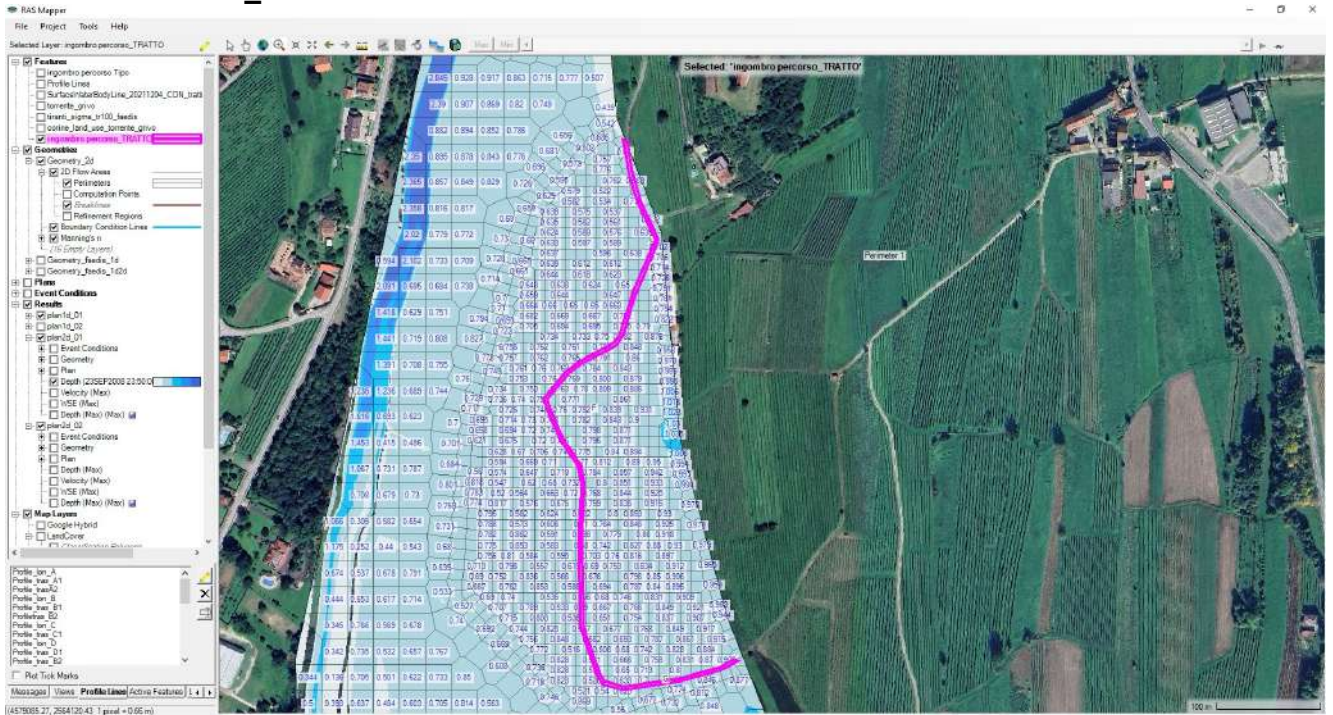
TRATTO B_C



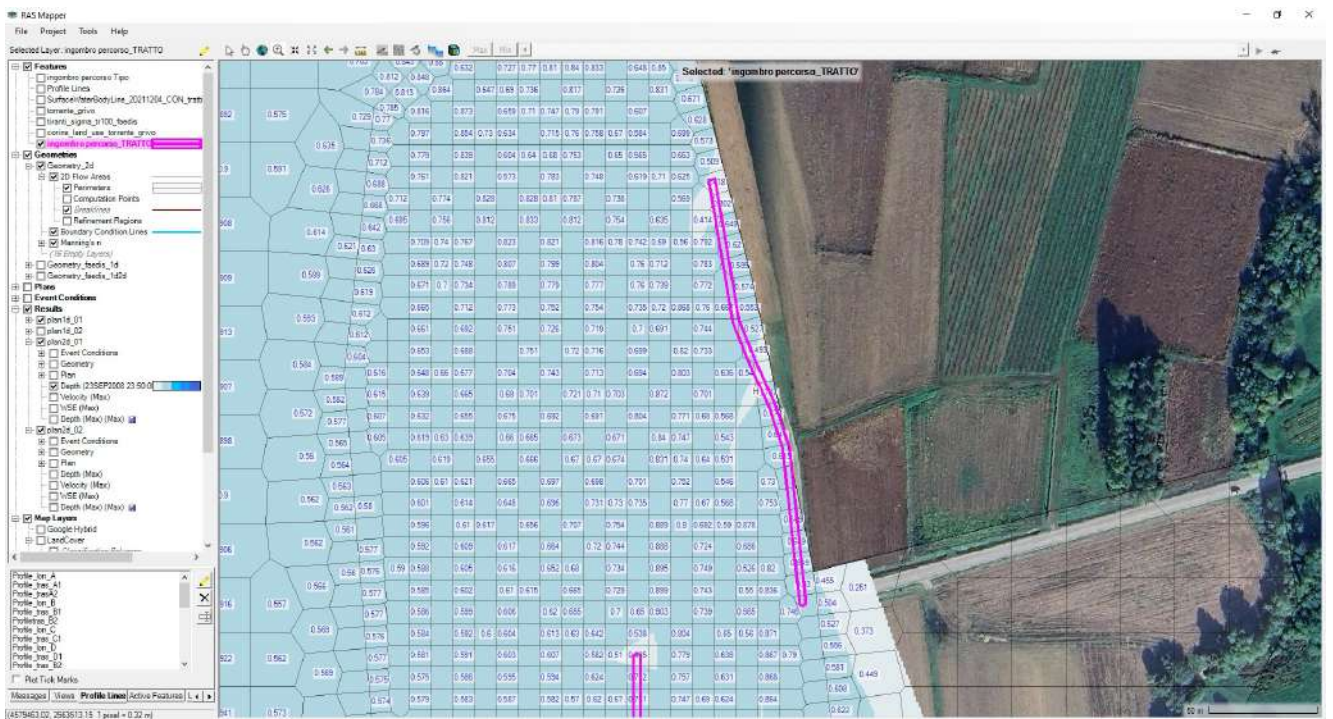
TRATTO D_E



TRATTO F_G



TRATTO H



TRATTO I_L



5 Quota di sicurezza

La quota di sicurezza è stata ottenuta elevando il DTM di riferimento dell'area di progetto per uno spessore variabile da un minimo di **0,5 metri** a un massimo di **1,0 metri** . (riferimento quote DTM lidar 1x1 m **LASER_FVG_AMBITO_01_3035** , scaricati da SIGMA e utilizzati per la modellazione).

Successivamente è stata elaborata una nuova modellazione modificando unicamente il DTM di riferimento al fine di valutare le possibili modifiche del tirante nelle aree limitrofe all'area di progetto .

Come esempio si riporta il **TRATTO H** :

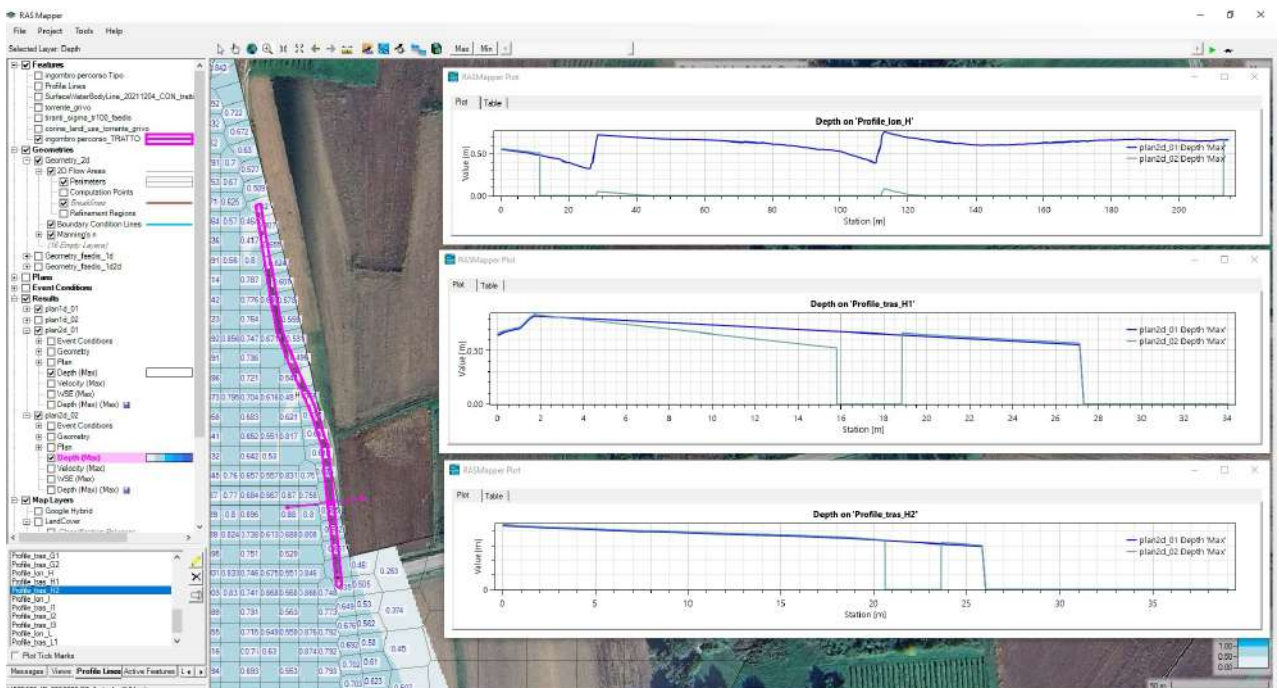


figura n. 17: Profili longitudinale e trasversali Tratto H Tr 100 SDP e SDF in magenta sagoma progetto

Nella successiva tabella si riportano gli spessori dei rilevati da progettare per il raggiungimento della quota di sicurezza per ogni TRATTO analizzato:

TRATTO	SPESSORE SICUREZZA RILEVATO (metri)
A	0,5
B	0,95
C	0,9
D	1,0
E	0,8
F	0,9
G	0,95
H	0.7
I	1,0
L	1,0

Per la definizione della soglia di perturbazione dei tiranti attesa dallo SDP (*per le NTA deve essere inferiore a 5 cm*) sono state elaborate ad hoc tavole comparative delle differenze d'altezza dei tiranti tra SDP e SDF.

La comparazione tra i tiranti SDF e SDP è stata ottenuta utilizzando un modulo di *Grass 8.3.0 (r.mapcalc.simple)* contenuto in *Qgis 3.28* che ha prodotto un raster di differenza aritmetica tra i raster SDP e SDF (**figure n. 37 e 38**).

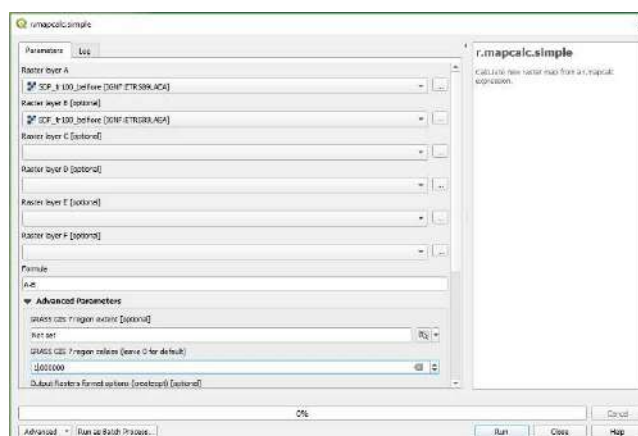


figura n. 18: Grass 8.3.0 r.mapcal.simple

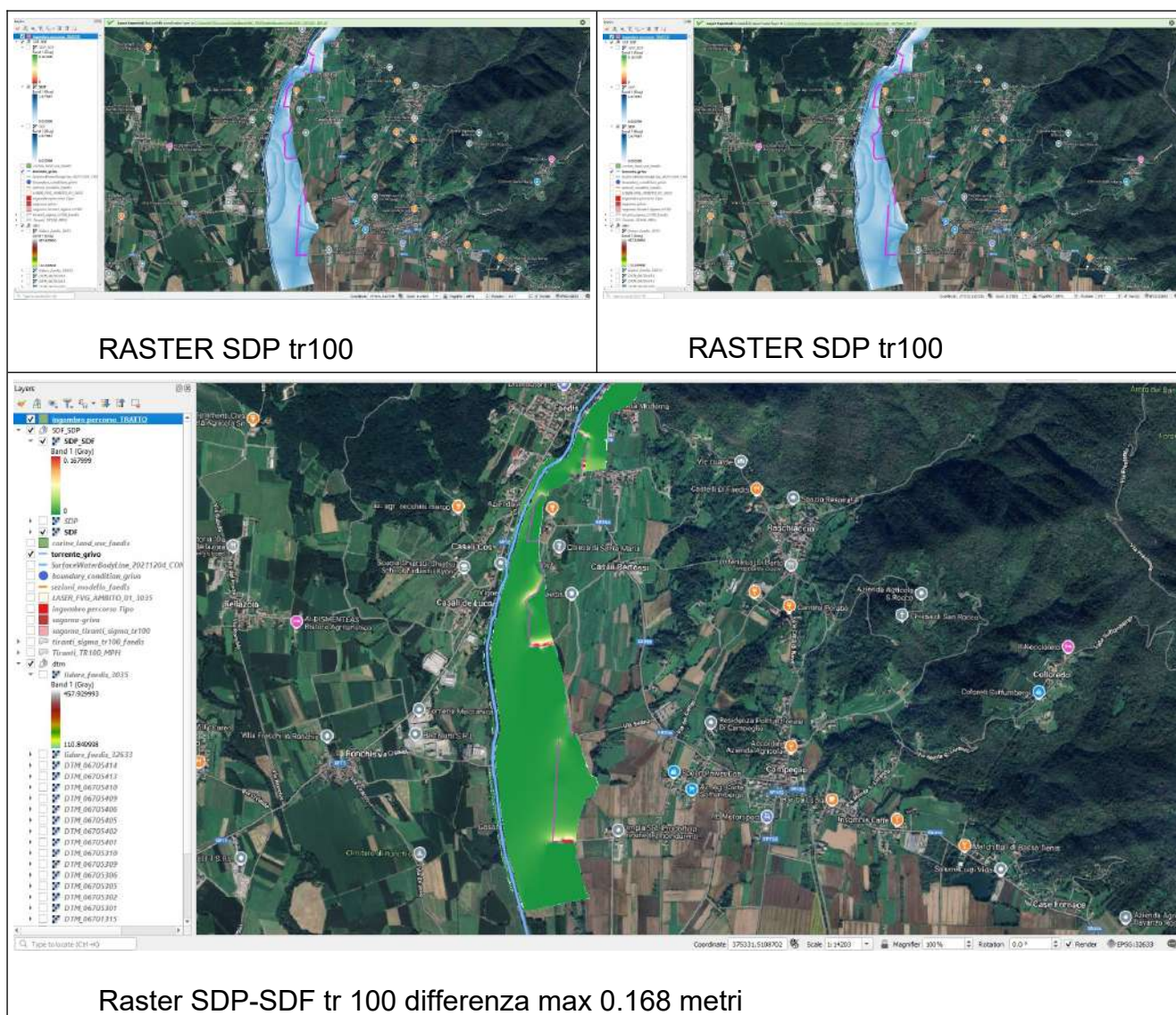


figura n. 18: Comparazione tiranti Tr 100 SDP – SDF

6 CONCLUSIONI

Dalle modellazioni effettuate si evince che le opere di mitigazione proposte sono efficaci e azzerano in maniera soddisfacente l'altezza dei tiranti per il progetto in studio per l'evento Tr 100.

Si evidenzia che la differenza dei tiranti elaborati nella comparazione tra SDF e SDP raggiunge valori pari 16,8 cm quindi al di sopra della soglia massima prevista dalla NTA PGRA che deve essere inferiore a 5 cm.

Da ciò nella fase di progettazione e realizzazione saranno determinanti opere di mitigazione in termini di *trasparenza idraulica* atti a determinare un abbassamento della soglia tra SDP e SDF al di sotto della soglia imposta dal NTA.

Padova, 25 agosto 2025

Tecnico incaricato:
Geol. Vittorio Bisaglia