

**STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PER UN'AREA DA
DESTINARSI A CAMPEGGIO ALL'INTERNO DEL COMUNE DI
CROVIANA (TN).**

Relazione tecnica

Rev. N.	Data	Descrizione:	Redatto da:	Controllato da:
00	Aprile 2013	Prima emissione	Silvano Pisoni	Paolo Grisenti
01				
02				
03				
04				
05				

Commessa 13006

Data aprile 2013

TAV.

TERA  Ingegneria
Studio Associato

Via dei Solteri, 37/1 – 38121 Trento

Tel 0461 931764

Fax 0461 1860879

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2.1. Descrizione dell'area.....	4
2.1.1. Carta sintesi geologica	4
2.1.2. Assetto idrologico	5
3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	6
4. IDROLOGIA.....	9
4.1. Il modello HydroCare	9
4.2. Come lavora Hydrocare	9
4.2.1. La definizione delle piogge	9
4.2.2. Il motore di calcolo: il modello Tsunami.....	10
4.3. L'applicazione del modello Hydrocare al Noce.....	12
4.4. Definizione delle portate per la modellazione idraulica	16
5. ANALISI IDRAULICA	20
5.1. Modellazione monodimensionale	20
5.1.1. il modello HEC-RAS	20
5.1.2. Principali grandezze utilizzate nei calcoli idraulici	25
5.1.3. Risultati delle simulazioni	27
5.2. Modellazione bidimensionale.....	27
5.2.1. Il modello Anuga	27
5.2.2. Come funziona il modello	27
5.2.3. Principali parametri di calcolo	29
6. CONCLUSIONI	29

1. PREMESSA

In riferimento all'intenzione del Comune di Croviana di realizzare un campeggio su un'area prossima al torrente Noce, viene redatto il presente studio per valutare il rischio che un'esondazione del torrente possa interessare tale area e per individuare eventuali misure di mitigazione.

La valutazione delle aree esondabili viene condotta attraverso l'applicazione di modelli numerici sia nella determinazione della piena di progetto che nella simulazione idraulica all'interno del tratto di torrente considerato.

Attraverso l'applicazione di tali modelli si giunge alla perimetrazione delle aree esondabili per i differenti scenari ipotizzati potendo quindi valutare il rischio idraulico che insiste sull'area.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area sulla quale si vuole realizzare il campeggio si trova destra orografica del torrente Noce, sulla p.f. 781/1 del C.C di Croviana (TN). Attualmente l'area è adibita ad uso sportivo (campo da calcio).

L'accesso avviene da una stradina sterrata che termina una volta superato il campo da calcio.

Sul lato nord ovest dell'area insiste una palazzina su tre piani di proprietà del comune di Croviana.

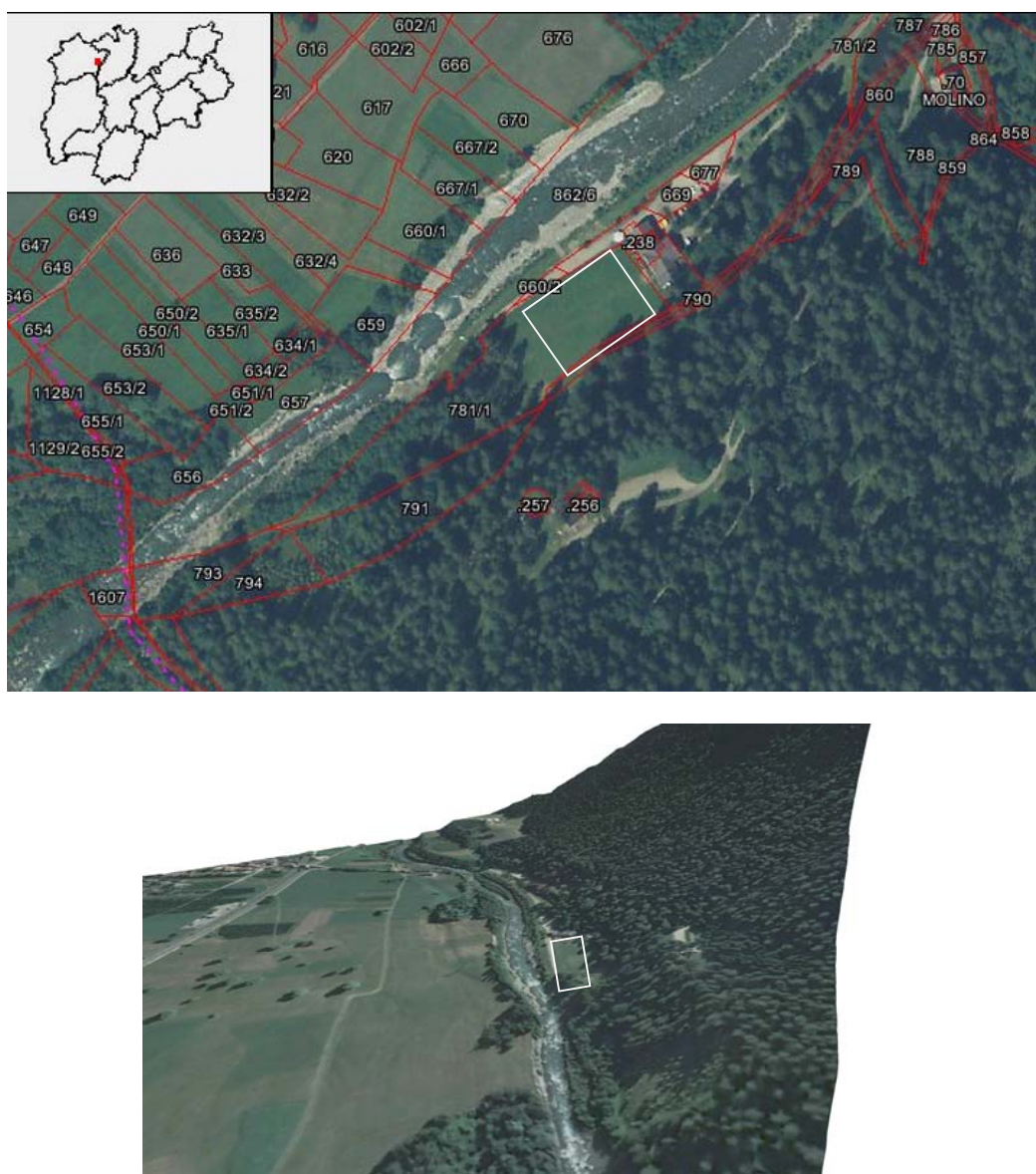


Figura 2-1: vista dell'area su planimetria catastale (in alto) e ricostruzione tridimensionale (in basso)

2.1. Descrizione dell'area

Come già anticipato, attualmente l'area è sede di un campo sportivo ed è confinata a sud-est dal versante del monte Peller e a nord-ovest dal torrente Noce. Dal punto di vista idrologico l'area è delimitata a monte dal Rio Valsorda mentre a valle scorre il rio Mulini. Il tratto del Noce interessato allo studio è sede di un Sito di Importanza Comunitaria (S.I.C. IT3120117 - Ontaneta di Croviana).

Nel tratto adiacente all'area di interesse il corso d'acqua presenta una pendenza media pari a 1.7 % e la sponda in sx è più alta di quella destra di circa 3 m.

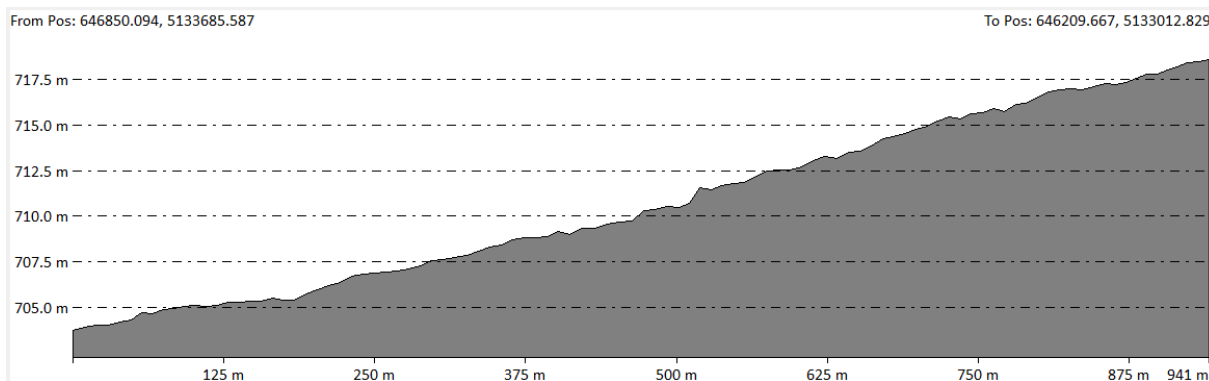


Figura 2-2: profilo longitudinale

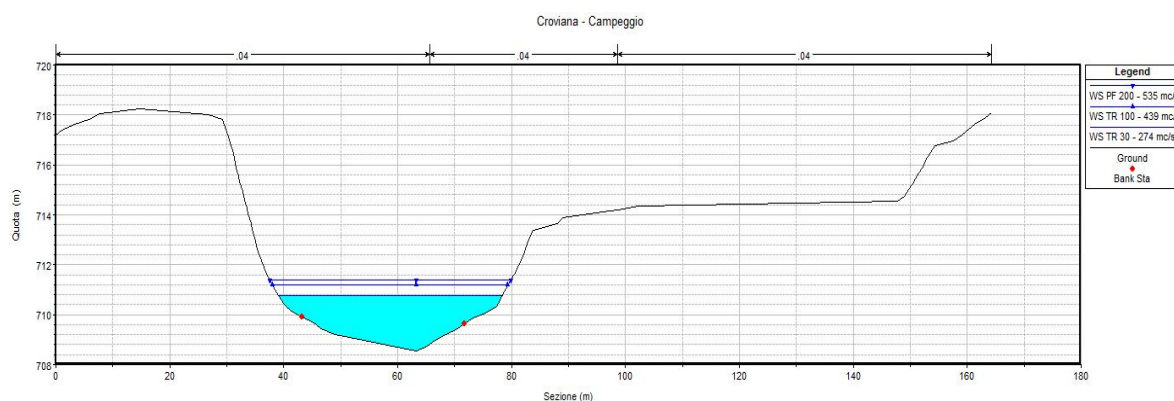


Figura 2-3: sezione trasversale alla progressiva 420. E evidente la differenza di quota tra argine destro e sinistro

L'alveo del Noce è caratterizzato da un fondo corazzato con una forte variazione delle frazioni granulometriche (presenza di massi ciclopici).

Le sponde del torrente sono parzialmente coperte da vegetazione di tipo arbustivo.

2.1.1. Carta sintesi geologica

Sulla carta di sintesi geologica l'area oggetto di studio è classificata come "Aree con penaltà leggere" come illustrato nell'immagine seguente:

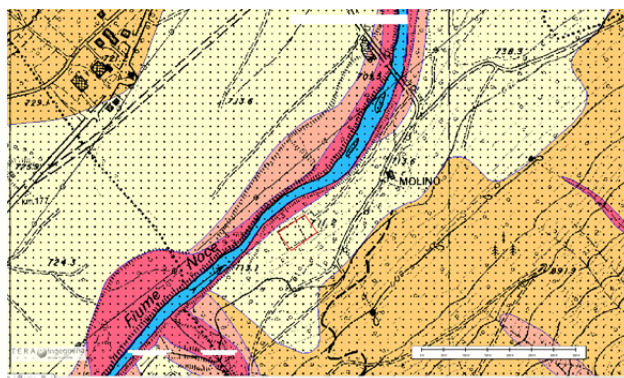


Figura 2-4: estratto carta di sintesi geologica

2.1.2. Assetto idrologico

Si illustra di seguito l'estratto della carta della pericolosità e del rischio del P.G.U.A.P.

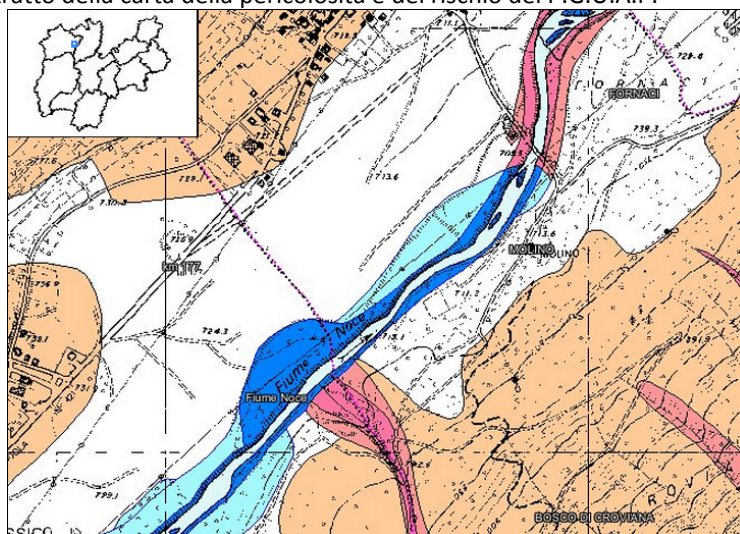


Figura 2-5: estratto carta della pericolosità del PGUAP

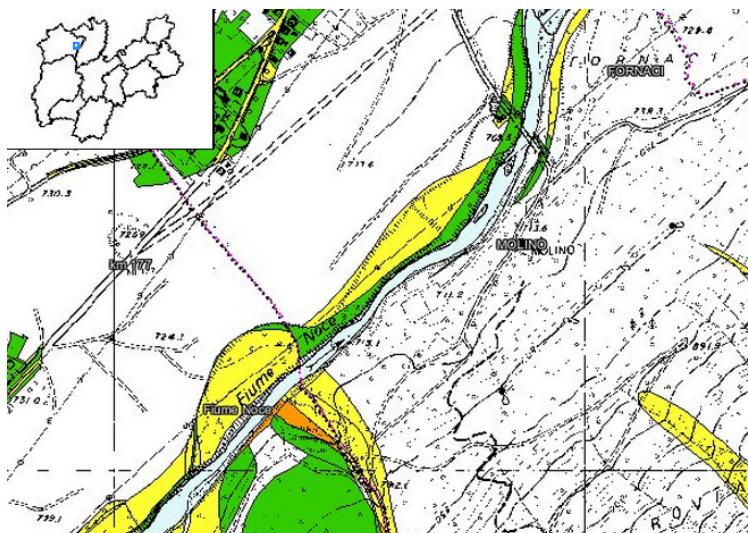


Figura 2-6: estratto carta del rischio del PGUAP

L'area è classificata come area a rischio R0.

3. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Si illustrano di seguito alcune immagini che mostrano lo stato attuale dell'area e del torrente.



Figura 3-1: vista in direzione sud-est del torrente



Figura 3-2: vista da sud-est dell'area



Figura 3-3: vista dalla stradine sterrata che fiancheggia l'area.



Figura 3-4: vista del Noce nel tratto di studio

Figura 5: Via S. Giovanni Bosco vista dal confine di proprietà della P.ED. 438



Figura 3-6: caratteristica dell'alveo in prossimità dell'area



Figura 3-7: vista dell'impianto sportivo

4. IDROLOGIA

L'onda di piena di progetto è stata determinata facendo riferimento allo studio idrologico del Noce realizzato su incarico del Servizio bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento nell'ambito della definizione della nuova Carta di Pericolosità.

A partire da tale studio si sono ricavate le portate di progetto per il tratto di Noce considerato.

Nei paragrafi seguenti si illustra la metodologia utilizzata e le caratteristiche del modello idrologico.

4.1. Il modello HydroCare

La determinazione delle onde di progetto per la verifica idraulica del Noce nel tratto oggetto dello studio, è stata fatta tramite l'utilizzo del Software Hydrocare.

La motivazione della scelta è dovuta alle specificità che l'analisi idrologica deve affrontare:

- dimensioni del bacino considerevoli (circa 470 km²)
- l'esigenza di considerare la variabilità spaziale e temporale delle precipitazioni.

Hydrocare è un modello afflussi-deflussi volto a determinare la piena di progetto da utilizzare nel dimensionamento delle opere idrauliche, sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli studi di Trento su incarico del Servizio Opere Idrauliche della Provincia Autonoma di Trento. Il software implementa alcuni modelli idrologici per la simulazione delle piene con assegnato tempo di ritorno nei bacini idrografici della provincia di Trento, nel rispetto delle indicazioni riportate nel Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP) della Provincia Autonoma di Trento in vigore dall'8 Giugno 2006.

Il modello è stato costruito partendo dall'analisi di 13 anni di precipitazioni, rilevate nelle stazioni del Trentino Alto Adige, per la generazione di una serie di eventi prototipo da utilizzare nell'analisi geostatistica del campo di pioggia. A questo è associato un motore di calcolo, denominato Tsunami, che permette di generare le piene di progetto a partire dal set di parametri scelto in fase di calibrazione sollecitando il bacino interessato con le piogge sintetiche derivate dall'analisi geostatica prima citata.

4.2. Come lavora Hydrocare

Hydrocare si compone di un'analisi geostatica dei dati pluviometrici delle stazioni del Trentino Alto Adige a cui associa un motore di calcolo, il modello Tsunami, che permette di definire le piene di progetto relative alla pioggia sintetica (derivate dall'analisi geostatica) utilizzate come forzante per i moduli di generazione del deflusso.

Il modello Tsunami è composto di tre fasi operative:

- La costruzione della geometria del bacino con l'inserimento di tutti gli elementi che lo compongono;
- La calibrazione del bacino una volta costruito sulle stazioni di riferimento contenute all'interno dello stesso;
- La generazione delle portate di progetto con l'utilizzo delle piogge sintetiche ed il set di parametri derivante dalla calibrazione di cui al punto precedente.

4.2.1. La definizione delle piogge

La definizione delle piogge sintetiche da utilizzare nel modello è stata costruita seguendo i seguenti step operativi:

- *Determinazione degli eventi prototipo:* per la costruzione del modello sono stati analizzati i dati pluviometrici relativi a 164 stazioni di misura gestite dall'Ufficio Idrografico della Provincia di Trento (SOI e SUAP) e dall'Ufficio Idrografico della Provincia di Bolzano (UIBZ). In base all'analisi dei picchi di portata registrati nei principali idrometri di ciascun bacino di primo livello, sono stati individuati i 13 eventi che hanno dato luogo alle portate massime annuali, ai quali sono stati aggiunti altri eventi, in numero variabile in funzione del bacino in esame, selezionati a partire dal superamento di una fissata portata di soglia.
- *Cumulata per tutte le precipitazioni:* sugli eventi individuati sono state eseguite una serie di analisi al fine di determinare una finestra temporale costante, all'interno della quale ciascun fenomeno di piena si potesse

considerare esaurito. Per ciascun evento sono state calcolate le precipitazioni cumulate in ciascuna delle stazioni attive su finestre temporali di 3, 4, 5, 6 e 7 giorni e si è osservato come, per la maggior parte degli eventi, la piena si potesse considerare esaurita dopo un tempo di pioggia di 5 giorni. Quindi, a partire dalla data di picco, si è valutata la precipitazione cumulata nei 5 giorni antecedenti a tale data in ciascuna stazione e per ognuno degli eventi di piena.

- *Analisi geostatica:* La precipitazione totale in ciascuna stazione di misura costituisce il campione di dati sui quali è stata svolta l'analisi geostatistica del campo di pioggia arrivando a determinare i semivariogrammi di calcolo.
- *Interpolazione per determinare le altezze di pioggia:* Stabiliti i semivariogrammi di calcolo al punto precedente il modello interpola i risultati arrivando a definire una griglia continua, a copertura dell'intera regione Trentino Alto Adige che descrive la quantità di pioggia caduta localmente. Lo stesso procedimento è stato eseguito per mappare il volume di precipitazione per ognuno dei bacini di primo livello.

Completati questi primi step di analisi nel modello sono presenti quattro possibili approcci per la determinazione dell'onda di piena.

Approccio 1: Distribuzione di probabilità cumulata dei volumi di precipitazione.

Con questo approccio, per ognuno degli eventi di pioggia, viene individuato, tramite l'interpolatore geostatistico kriging, il volume di precipitazione su una griglia a maglie quadrate a copertura di bacino. Si costruisce quindi la curva di distribuzione cumulata dei volumi di pioggia (cdf) che fornisce, al variare del tempo di ritorno (T_r), il volume di precipitazione cumulato che insiste sul bacino. Tutto questo rende possibile la generazione di n campi di precipitazione che rispettino il volume totale relativo al tempo di ritorno (T_r) e che presentino la stessa struttura spazio temporale degli n eventi a disposizione.

Approccio 2: Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP).

A partire dai valori dei parametri caratterizzanti le LSPP nell'area di progetto, viene calcolato il volume di precipitazione che insiste sul bacino per diversi tempi di pioggia (T_p) relativi ad un certo tempo di ritorno (T_r). Gli ietogrammi così costruiti vengono utilizzati come input del modello idrologico per generare l'involuppo delle onde di piena relativo ad un certo T_r .

Approccio 3: Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) con variabilità temporale delle precipitazioni.

Il volume di precipitazione di progetto viene calcolato con lo stesso metodo dell'approccio 2. La variabilità temporale viene introdotta utilizzando delle piogge sintetiche che presentino, per una assegnata durata T_p , una struttura temporale riconducibile agli eventi prototipo utilizzati nell'approccio 1. Gli ietogrammi così costruiti vengono utilizzati come input del modello idrologico per generare l'involuppo delle onde di piena relativo ad un certo T_r per una prefissata durata T_p . Le simulazioni che danno luogo alla massima portata ed al massimo volume relativamente ad una certa durata T_p vengono successivamente aggregate per generare l'involuppo complessivo delle onde di piena.

Approccio 4: Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) con variabilità spazio-temporale delle precipitazioni.

Tale approccio è sostanzialmente identico all'approccio 3 ma durante la costruzione delle piogge sintetiche viene riprodotta la struttura spazio-temporale relativa agli eventi prototipo utilizzati nell'approccio 1.

4.2.2. Il motore di calcolo: il modello Tsunami

Il modello Tsunami è stato sviluppato all'interno del Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale (DICA) dell'Università degli Studi di Trento con lo scopo di fornire uno strumento di aiuto ai servizi della Provincia Autonoma di Trento (PAT) nell'analisi e nella progettazione idrologica.

Il motore è stato implementato con un interfaccia grafica nel sistema GIS JGrass, denominata JgrassSoi. L'interfaccia provvede a creare tutti i dati, trasmessi attraverso opportuni files, necessari al suo completo funzionamento e a graficare l'output del motore stesso.

Nel suo complesso il modello è stato suddiviso in due macroparti; una prima denominata Calibrazione finalizzata a determinare il set di parametri migliore per la riproduzione di una piena reale mentre la seconda provvede a generare le piene di progetto a partire dal set di parametri scelto nella precedente fase per un assegnato tempo di ritorno.

Ogni macroparte risulta essere costituita da un programma principale con funzioni di gestione di sottoprogrammi "Stand Alone" costruiti con una metodologia molto simile alla programmazione ad oggetti; quindi ogni sottoprogramma risulta essere completamente autonomo dagli altri dipendendo solamente dal programma principale e con una funzione specifica.

Nel modello la struttura geomorfologica del territorio viene scomposta nei suoi elementi fondamentali ai quali viene associato uno specifico modello per la loro riproduzione numerica. Gli elementi fondamentali che compongono la struttura del modello sono:

il descrivere brevemente quali sono gli elementi fondamentali riproducibili con software:

- **Bacini Elementari:** sono le porzioni di territorio, individuate dall'apposito modulo dell'interfaccia, che risultano drenare le eventuali precipitazioni verso il medesimo tratto di fiume;
- **Torrenti Elementari:** sono i singoli tratti di fiume caratterizzati dal non avere lungo il loro tragitto immissari e di avere come sezione di chiusura la confluenza in un altro tratto di fiume;
- **Dighe e Laghi:** tutti gli invasi che potrebbero modificare il deflusso nel bacino generando con la loro presenza, ciò vale in particolar modo per gli invasi artificiali, una forte discontinuità nella rete idrografica;
- **Condotte Forzate:** sono gli elementi che conducono l'eventuale portata turbinata da un invaso alla centrale idroelettrica e successivamente all'eventuale restituzione in alveo;
- **Idrovore:** sono tutte le opere umane deputate al pompaggio di acqua da depressioni del terreno;
- **Derivazioni:** sono tutti gli interventi realizzati sui corsi d'acqua al fine di deviare, in parte o totalmente, il deflusso naturale del fiume verso canali artificiali o altre opere antropiche;
- **Punti Notevoli:** sono tutti quei punti del corso d'acqua nei quali sia localizzato o uno strumento di misura, idrometro, oppure l'ingresso del fiume in un invaso o dalla restituzione di una condotta forzata o dall'ingresso nel fiume della portata pompata da un'idrovora oppure da un prelievo di acqua con una derivazione.

Inoltre sono stati inseriti nelle geometrie degli elementi complementari sia per esigenze di natura strutturale del codice sia di natura geometrica quali:

- **Bacini:** sono l'unione di uno o più bacini elementari caratterizzati dal drenare tutti nel medesimo punto notevole;
- **Torrenti:** sono l'unione di tutti i torrenti elementari necessari per trasferire la portata riprodotta in un punto notevole di monte verso la sezione di chiusura;
- **Congiunzioni:** sono quegli elementi complementari necessari alla riproduzione della portata in un punto notevole caratterizzato dall'aver in arrivo più componenti (;
- **MaxiBacini:** sono entità ausiliarie formate da uno o più bacini caratterizzati dal drenare tutti in un unico Punto Notevole adatto alla calibrazione del modello.

L'utilizzo del modello si divide in due fasi: la calibrazione e il progetto.

La calibrazione

In questa fase si valutano i set di parametri da fornire ai vari moduli che si intendono utilizzare per la riproduzione del bacino idrografico da esaminare. Il modello consente di scegliere tra le varie calibrazioni precedentemente realizzate ed immagazzinate nel database dell'interfaccia grafica o di realizzarne ex-novo nel caso in cui non siano disponibili precedenti simulazioni dei modelli (e quindi non si abbia a disposizione i parametri con cui riprodurre il deflusso), oppure nel caso in cui l'utente non ritenga le calibrazioni presenti nel database affidabili. Per la calibrazione del modello si dovrà selezionare una piena reale che i modelli dovranno cercare di riprodurre fornendo ai modelli stessi il maggior numero di dati ausiliari possibili e l'utente sceglierà lo schema dei modelli da utilizzare e il calibratore da utilizzare.

Per dati ausiliari si intendono in particolar modo i dati relativi al comportamento degli invasi, in special modo di quelli artificiali che nello sviluppo temporale della piena da riprodurre comporta l'introduzione di una fortissima discontinuità nella rete idrografica. Risulta ovvio che più i dati sugli scarichi sono precisi più corretta è stima dei parametri dei modelli utilizzati per la riproduzione del bacino con una conseguente ricaduta sulla generazione della piena di progetto.

I metodi di calibrazione dei parametri presenti nel modello sono:

- il calibratore automatico denominato Particle Swarming con una funzione obbiettivo rappresenta dell'indice statistico di Nash;
- il calibratore automatico su valori massimi con una funzione obbiettivo "Peak-weighted root mean square error";
- la calibrazione manuale dei parametri.

Per i primi due casi in fase di definizione della simulazione di calibrazione l'interfaccia lascia all'utente la libertà di definire quali, tra i parametri dei modelli prescelti, saranno i parametri che verranno stimati dal calibratore stesso in modo tale che l'utente è libero di calibrare tutti i parametri dei modelli selezionati oppure solamente alcuni.

Il progetto

Una volta eseguita la prima fase di calibrazione si può procedere con la seconda tramite la quale il modello procede alla creazione della piena di progetto vera e propria. L'utente in questa fase seleziona la sezione di chiusura nella quale generare la piena di progetto, il tempo di ritorno desiderato, la metodologia con la quale verranno create le piogge sintetiche, le manovre da far eseguire agli invasi e la calibrazione di riferimento.

Con la scelta della calibrazione di riferimento il modello sceglie di utilizzare i set di parametri stimati dalla prima fase per i bacini, ma soprattutto sceglie implicitamente la metodologia di produzione del deflusso, infatti qualora la calibrazione prescelta sia stata effettuata con uno schema che comprenda l'utilizzo del modello di infiltrazione, SCS, ed il modello geomorfologico per la produzione del deflusso questo stesso schema viene applicato alla generazione della piena di progetto.

Non potendo generare sinteticamente delle temperature con un assegnato tempo di ritorno, in fase di Progetto non è possibile utilizzare il modello di accumulo e scioglimento nivale; per tale motivo va valutata con attenzione la possibilità di ricostruire piene di progetto basandosi su calibrazioni che abbiano questo modello attivo. Altro elemento fondamentale è l'eventuale presenza di invasi all'interno del territorio situato a monte della sezioni di chiusura genera una forte discontinuità nella rete idrografica, quindi nel caso in cui la sezione di progetto sia localizza a valle di una diga risulta determinante il comportamento dell'invaso sull'entità e sulla forma della piena di progetto.

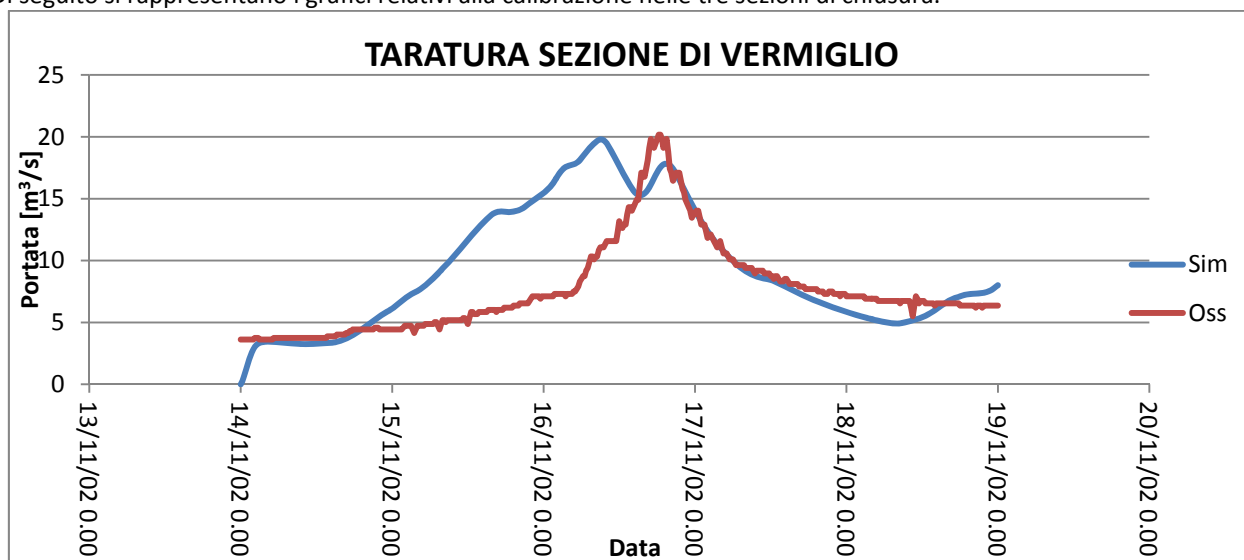
4.3. L'applicazione del modello Hydrocare al Noce

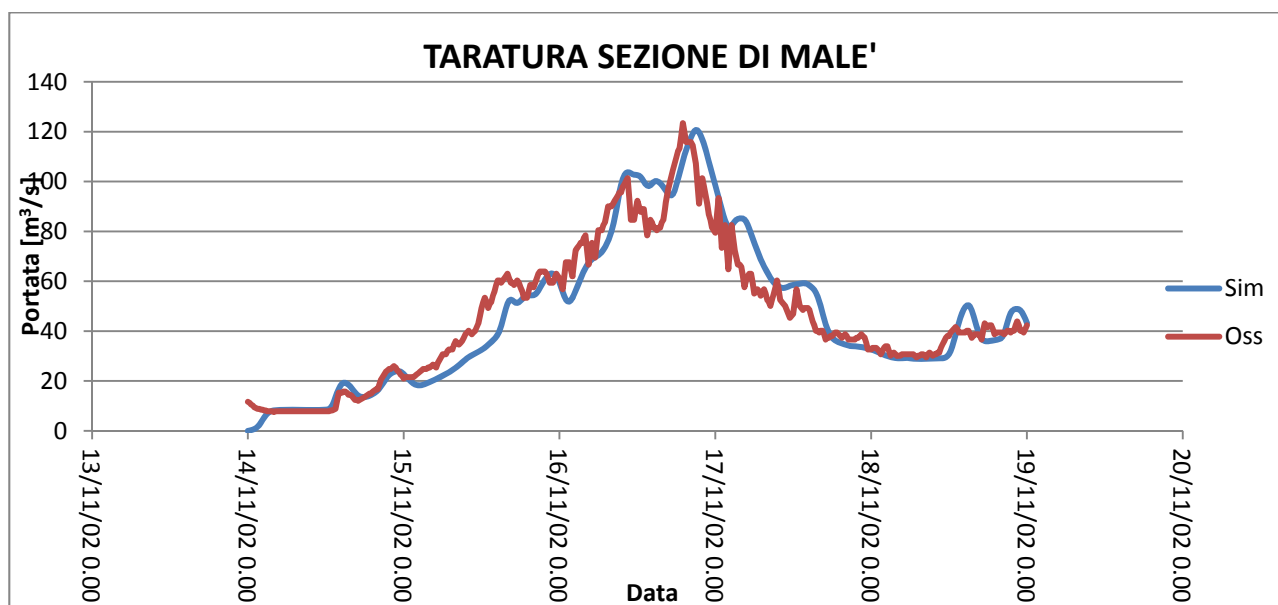
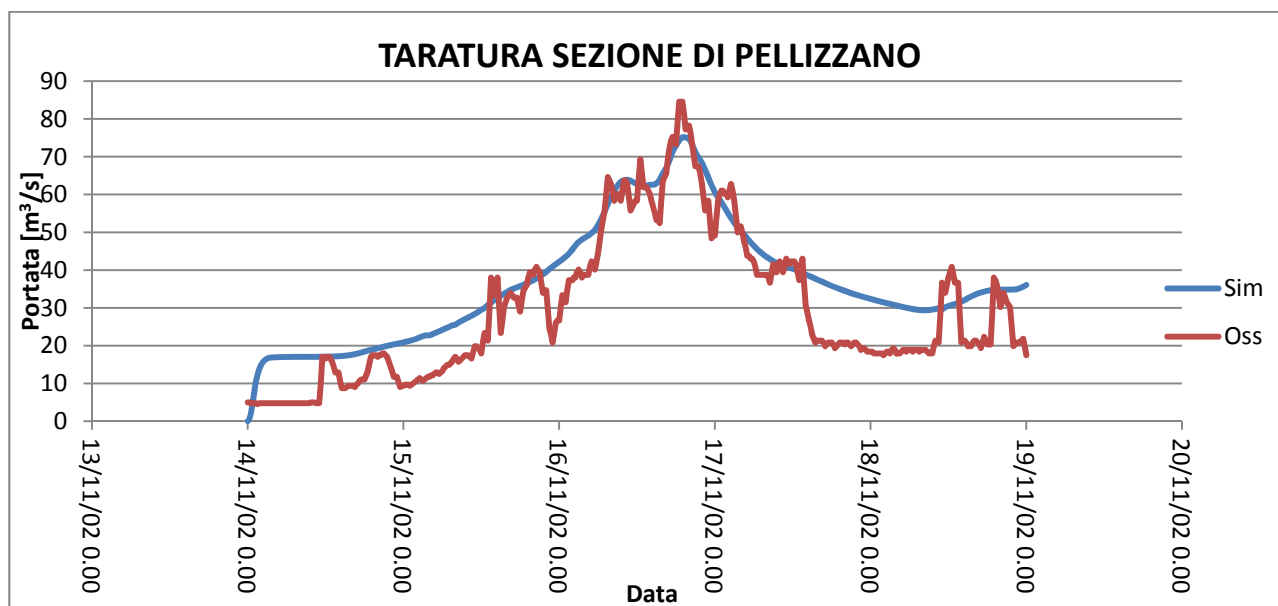
La calibrazione del modello Hydrocare è stata realizzata utilizzando le stazioni di Vermiglio, Pellizzano e Malè e considerando l'evento di piena compreso tra il 14/11/2002 e il 19/11/2002.

La taratura ha permesso di determinare due parametri di modellazione:

- cp - coefficiente di perdita: permette di discriminare l'acqua che si infila nel suolo da quella che da origine a deflusso superficiale;
- m: parametro del modello che regola la risposta impulsiva o meno del bacino.

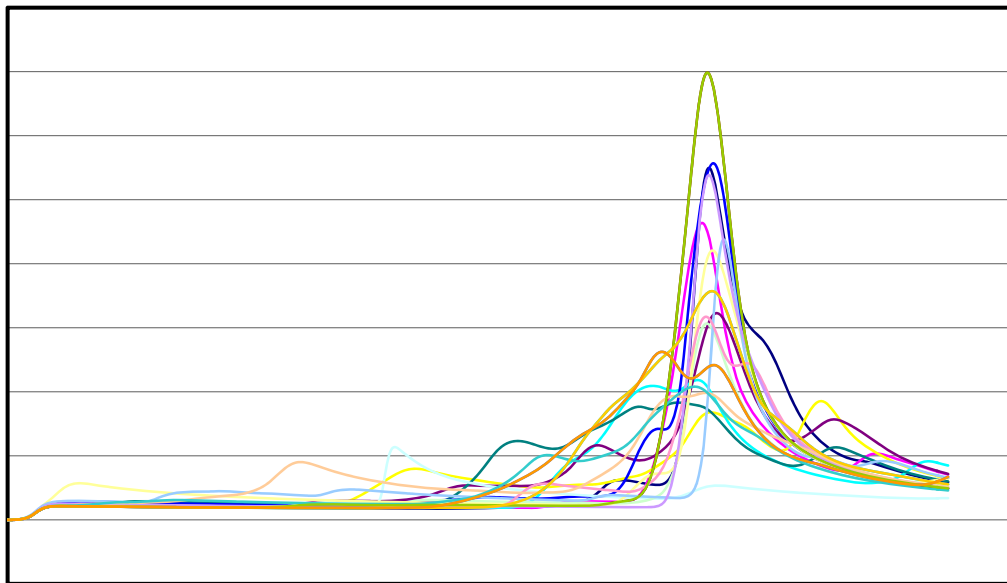
Di seguito si rappresentano i grafici relativi alla calibrazione nelle tre sezioni di chiusura.





Con i parametri così stimati sono state valutate le onde di piena (fase di progetto) per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni. Come modello delle piogge sintetiche si sono provati ad utilizzare tutti gli approcci riportati nel paragrafo 4.2.1 anche se poi la scelta della pioggia di progetto è sempre stata tra quelle ricostruite con la distribuzione di probabilità cumulata dei volumi di precipitazione della serie storica (approccio 1) che presenta valori di picco molto maggiori degli altri approcci. A titolo di esempio si riportano di seguito le onde di piena ottenute alla sezione di chiusura del bacino per il tempo di ritorno di 200 anni ottenute con i diversi metodi per la valutazione delle piogge sintetiche.

Q [mc/s]



T [h]

Figura 4-1: le portate generate a Mostizzolo per un $T_r=200$ anni e l'approccio 1 per le piogge sintetiche.

Q [mc/s]

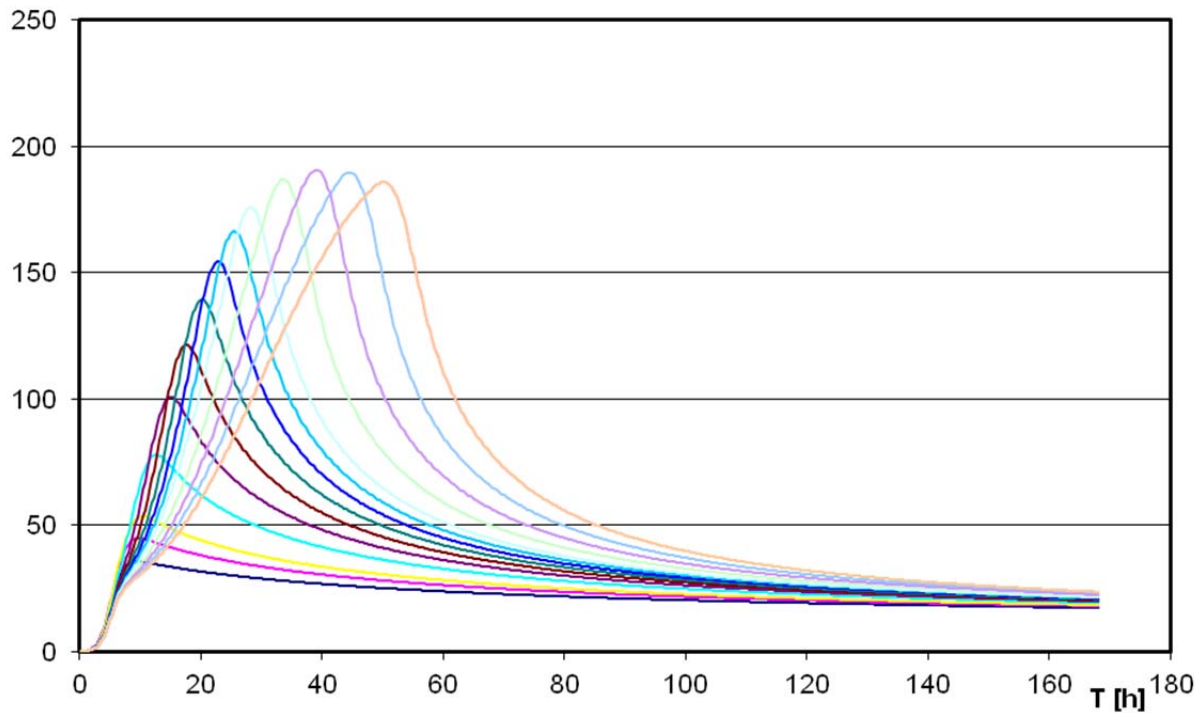


Figura 4-2: le portate generate a Mostizzolo per un $T_r=200$ anni e l'approccio 2 per le piogge sintetiche.

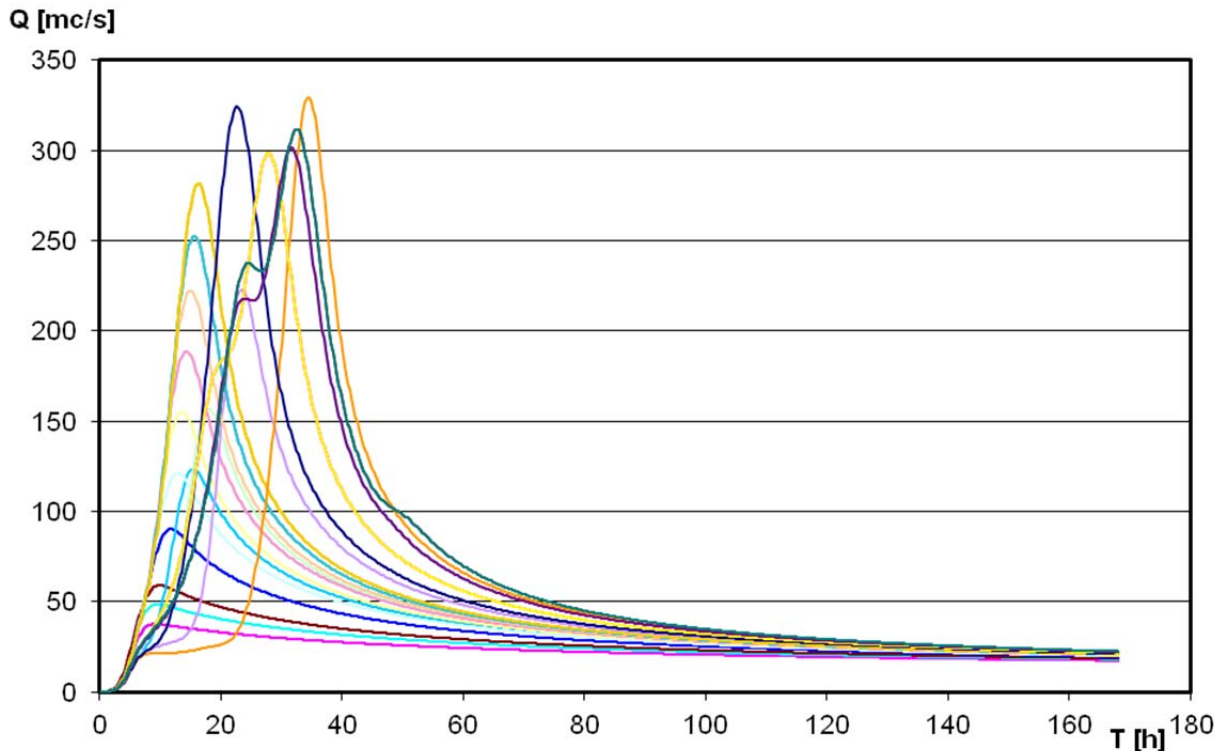


Figura 4-3: le portate generate a Mostizzolo per un $Tr=200$ anni e l'approccio 3 per le piogge sintetiche.

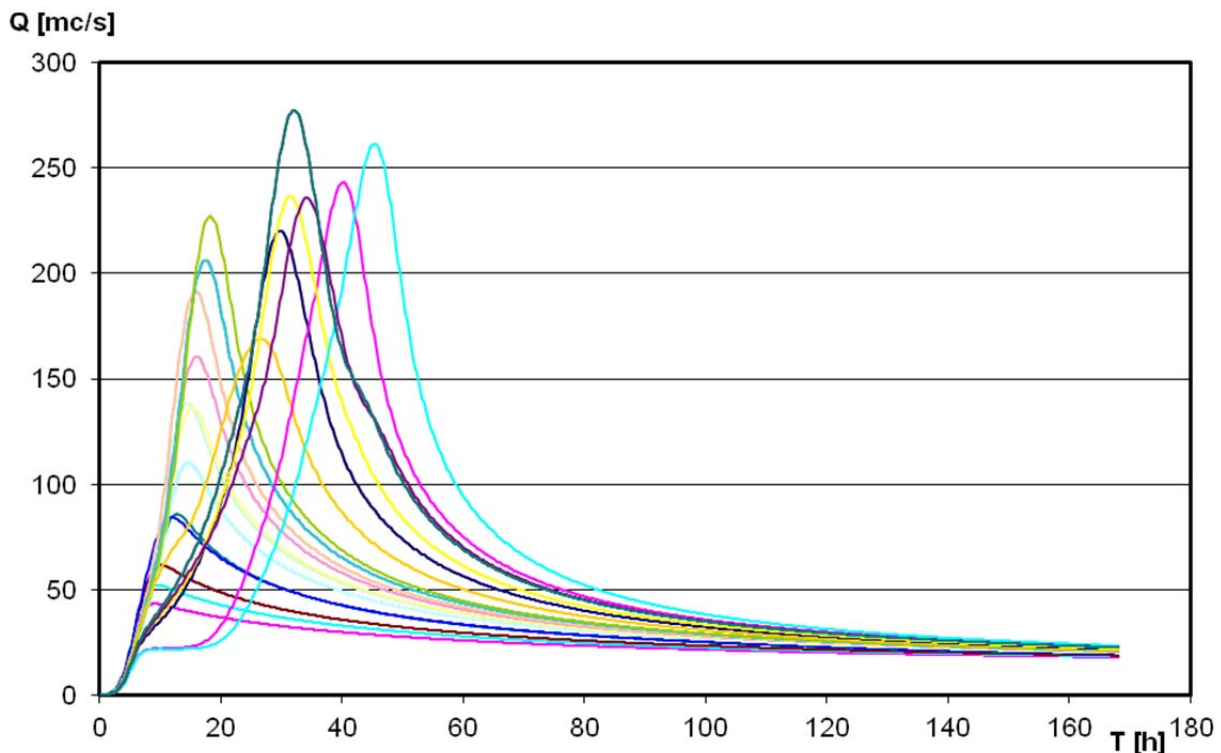


Figura 4-4: le portate generate a Mostizzolo per un $Tr=200$ anni e l'approccio 4 per le piogge sintetiche.

Come si evince dalla lettura dei grafici sopra riportati l'approccio 1, che ricordiamo è quello che ricostruisce gli eventi di piena rispettando la distribuzione di probabilità cumulata dei volumi di precipitazione della serie storica, restituisce

valori di picco doppi rispetto agli altri approcci. Questo dato è confermato per tutti i tempi di ritorno considerati per cui come piena per le verifiche idrauliche si è deciso di utilizzare quelle determinate con l'approccio 1.

Le portate per i diversi tempi di ritorno considerati (30, 100 e 200 anni) sono state poi valutate in otto diverse sezioni di chiusura individuate in corrispondenza dell'immissione nel tratto vallivo del Noce dei principali affluenti così come mostrato in Figura 4-5. I parametri utilizzati per la determinazione delle piene di progetto sono uguali per ogni sezione di chiusura in quanto utilizzano la stessa calibrazione.

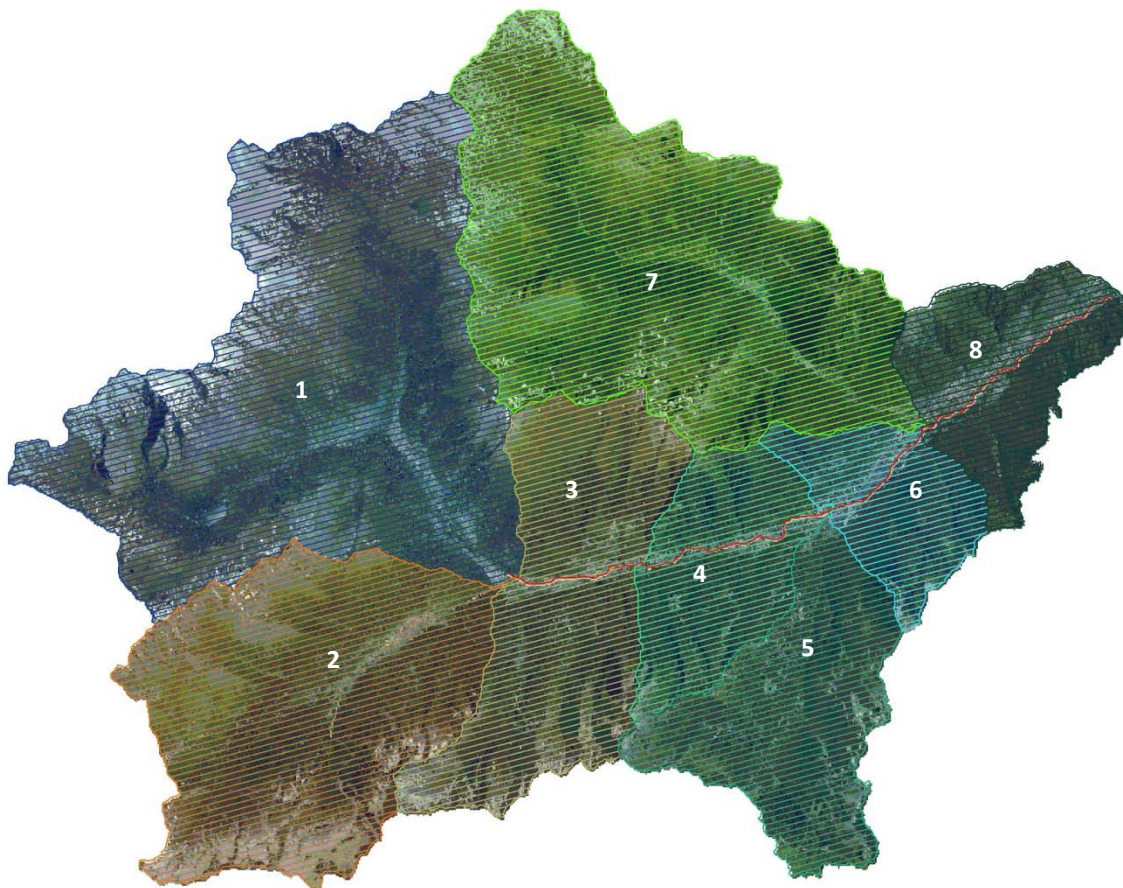


Figura 4-5: sottobacini e interbacini individuati nello studio idrologico. 1:Noce Bianco, 2:Vermigliana, 3: Fazzon , 4: S.Vigilio , 5: Meledrio, 6: Baiarda, 7: Rabies, 8: Mostizzolo.

4.4. Definizione delle portate per la modellazione idraulica

Considerata la lunghezza del tratto studiato (circa 25 km) non è possibile attribuire un'unica portata nella sezione di monte ma si è dovuto suddividere l'asta in 4 tratti a ciascuno dei quali viene associata la portata afferente al tratto considerato.

A titolo cautelativo, la sezione di chiusura considerata per la determinazione del bacino scolante per ciascun tratto, è quella posta al termine del tratto stesso. Si considera quindi che ciascun tratto sia soggetto alla portata calcolata alla sezione di valle, sovrastimando quindi le portate in ingresso nella parte iniziale del tratto considerato.

Nella tabella successiva si riassumono le sezioni di inizio e fine dei diversi sottotratti:

Tratto	INIZIO	FINE
1	Confl. tra Vermigliana e Noce	Confl. del Rio Spona con il torrente Noce
2	Confl. del Rio Spona con il torrente Noce	Confl. del torrente Meledrio con il torr. Noce
3	Confl. del torrente Meledrio con il torrente Noce	Confl. del torrente Rabies con il torrente Noce
4	Confl. del torrente Rabies con il torrente Noce	Mostizzolo

Nelle immagini successive si illustra, per ciascun tratto considerato, la porzione di bacino contribuente alla piena di progetto:

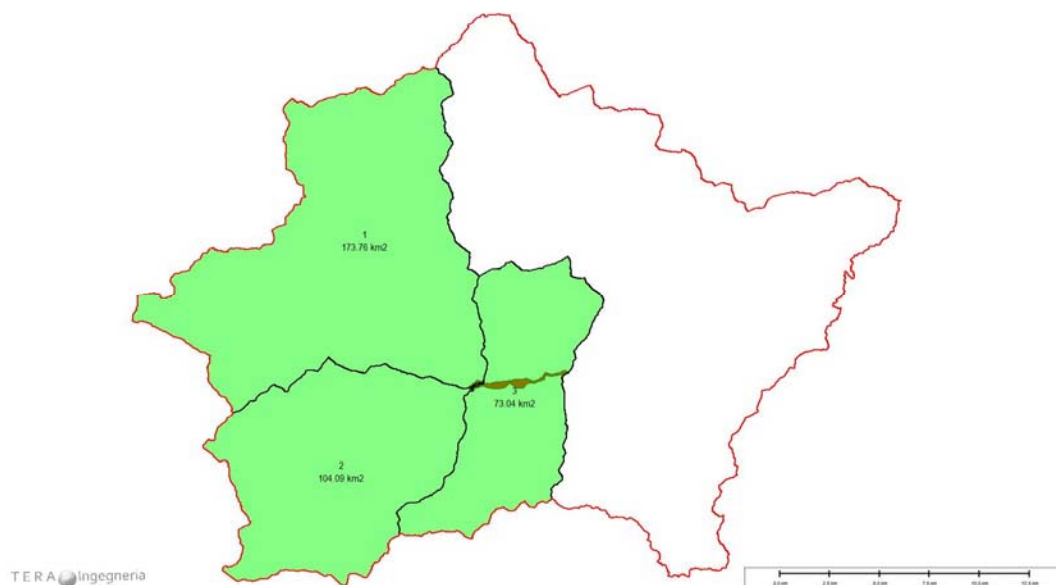


Figura 4-6: sottobacini e interbacini che contribuiscono alla formazione della piena di progetto per il tratto n. 1

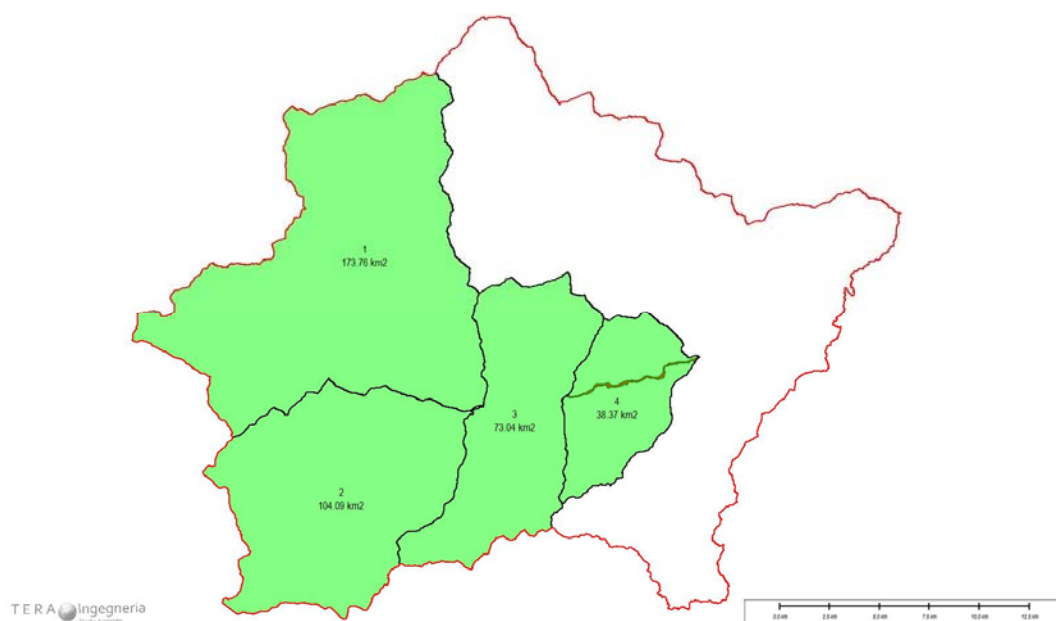


Figura 4-7: sottobacini e interbacini che contribuiscono alla formazione della piena di progetto per il tratto n. 2

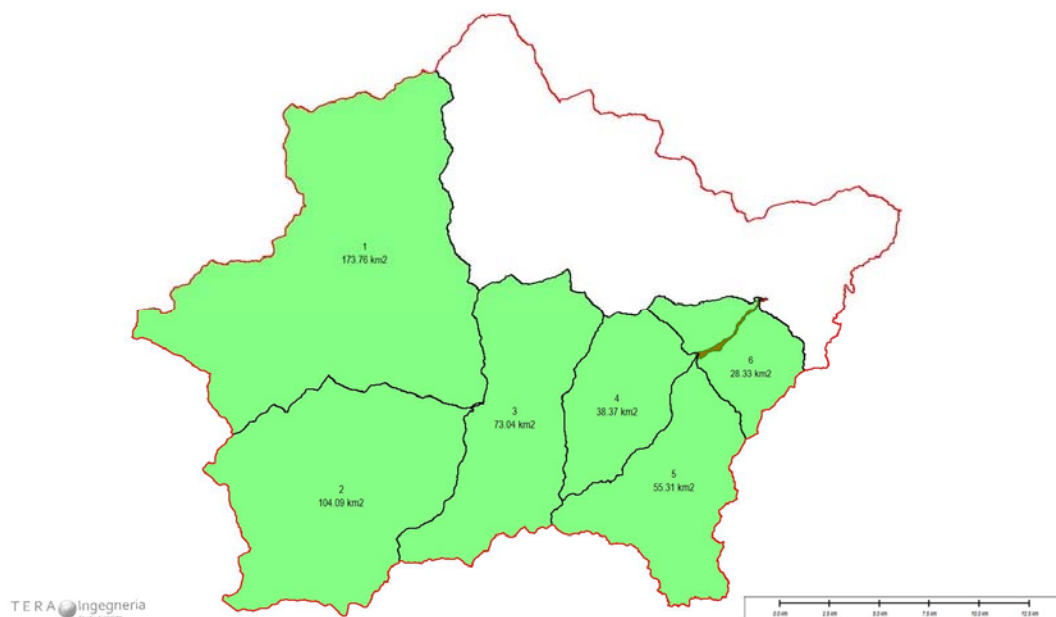


Figura 4-8: sottobacini e interbacini che contribuiscono alla formazione della piena di progetto per il tratto n. 3

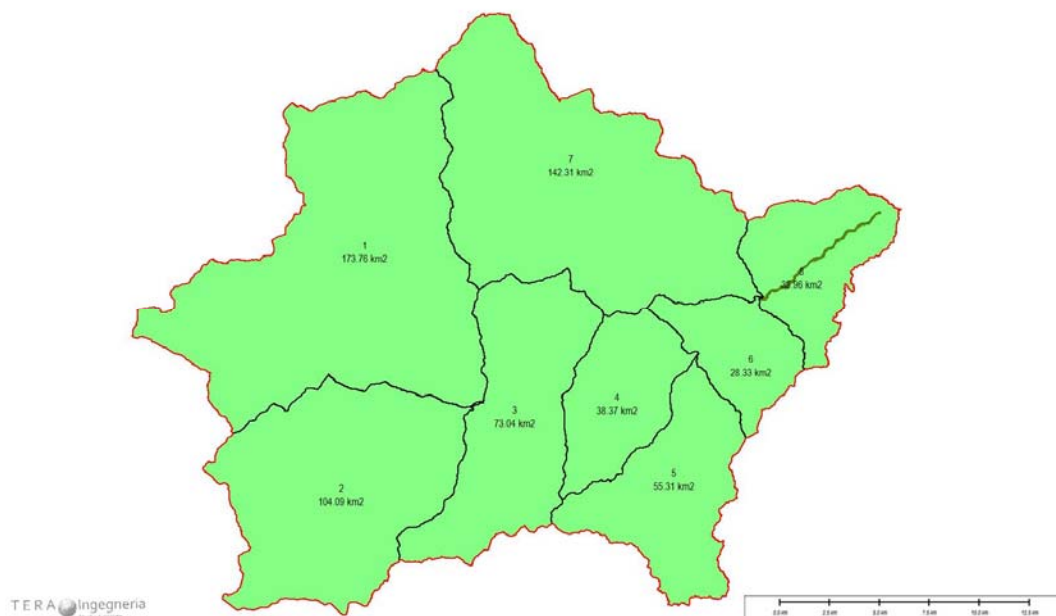


Figura 4-9: sottobacini e interbacini che contribuiscono alla formazione della piena di progetto per il tratto n. 4

Nella tabella successiva si riassumono le superfici afferenti per ciascun tratto e i valori massimi di portata per i tempi di ritorno considerati

TR [ANNI]	PORTATA			
	TRATTO 1 [m ³ /s]	TRATTO 2 [m ³ /s]	TRATTO 3 [m ³ /s]	TRATTO 4 [m ³ /s]
10	107	118	148	178
30	207	231	274	347
50	260	290	342	439
100	334	373	439	568
200	409	456	535	699
500	505	562	658	865
SUP [km ²]	336	382	465	646

L'area interessata dallo studio ricade all'interno del tratto 3. Per i Tempi di ritorno valutati, 30, 100 e 200 anni si considerano quindi le seguenti portate di progetto:

Tempo di ritorno [anni]	Portata [m ³ /s]
30	274
100	439
200	535

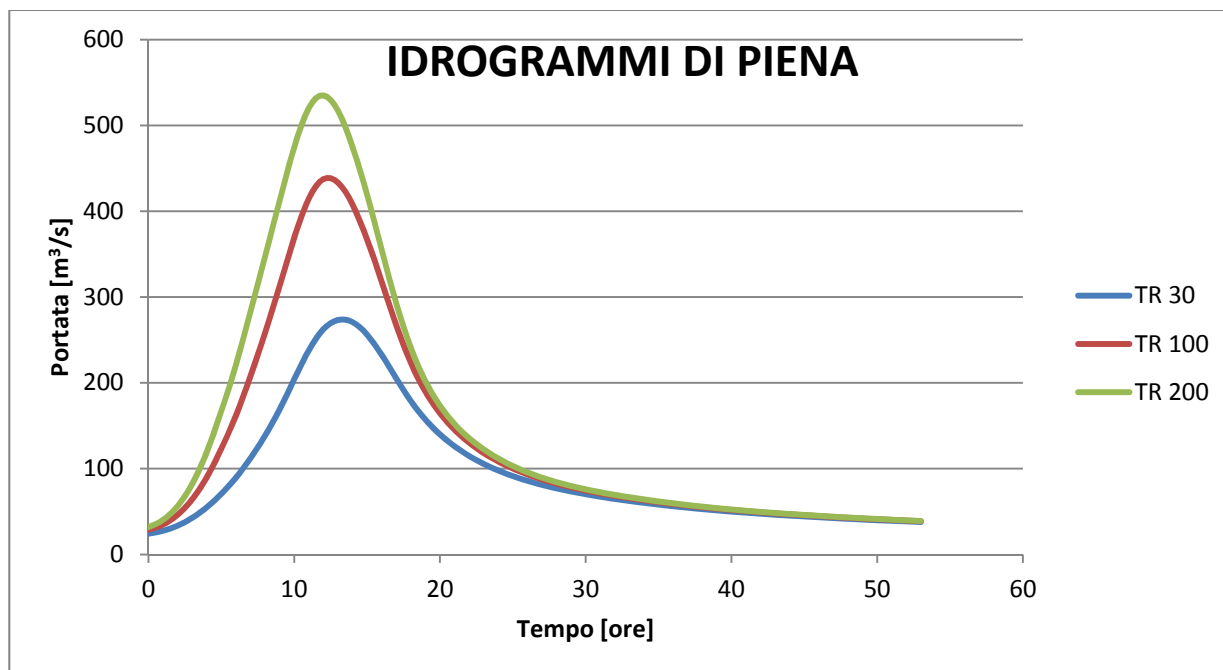


Figura 4-10: idrogrammi di piena per i tempi di ritorno considerati

5. ANALISI IDRAULICA

5.1. Modellazione monodimensionale

5.1.1. il modello HEC-RAS

Il modello di calcolo utilizzato per l'analisi idraulica del corso d'acqua in monodimensionale è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; attualmente è aggiornato versione 4.1, Gennaio 2010. Il programma si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia valutando le perdite di carico dovute all'attrito (tramite l'equazione di Manning) e quelle causate dalle repentine variazioni di sezione (per mezzo di un coefficiente di contrazione o di espansione che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica).

In condizioni di regime misto, nei tratti del canale ove il profilo subisce brusche variazioni dovuti alla presenza di risalti idraulici, di ponti, briglie o eventuali confluenze di più rami viene utilizzata l'equazione della quantità di moto.

Questo modulo permette di valutare: gli effetti provocati dalla violazione delle zone golenali, le modifiche al profilo causate da migliorie apportate al canale e dall'inserimento di arginature. Permette inoltre di effettuare analisi di più configurazioni geometriche contemporaneamente; calcoli di più profili (profili multipli); analisi idrauliche in corrispondenza di ponti e/o sottopassi ad aperture multiple.

Per creare un modello idraulico è necessario introdurre i dati riguardanti la geometria del corso d'acqua tramite sezioni trasversali evidenziando le opere d'arte presenti, stabilire i dati di portata da inserire (l'utente ha la possibilità di variare la portata in qualsiasi sezione lungo un ramo), occorre inoltre inserire le condizioni al contorno necessarie per stabilire il livello del pelo libero all'estremità del sistema (in funzione del regime di corrente in cui ci troviamo la condizione al contorno necessaria sarà quella di monte se la corrente è veloce, quella di valle se la corrente è lenta, entrambe se il regime è misto). Il software permette di visualizzare e stampare le sezioni trasversali, i profili, le scale di deflusso, la prospettiva dell'intero corso d'acqua o di una parte di esso, le tabelle numeriche dei risultati relativi ad alcune o a tutte le sezioni trasversali.

Il calcolo del profilo parte da una sezione dove sono state definite le condizioni al contorno (boundary conditions) e prosegue, con una procedura iterativa alle differenze finite chiamata "Standard Step Method", ricercando la quota del pelo libero della sezione a valle, nel caso di corrente veloce, o della sezione a monte nel caso di corrente lenta.

La quota del pelo libero (WS= water surface profile) o *tirante idrico* di una sezione viene calcolata risolvendo la seguente equazione:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

dove :

Y_1, Y_2 = altezze geometriche del pelo libero calcolate rispetto alla quota di fondo della propria sezione;

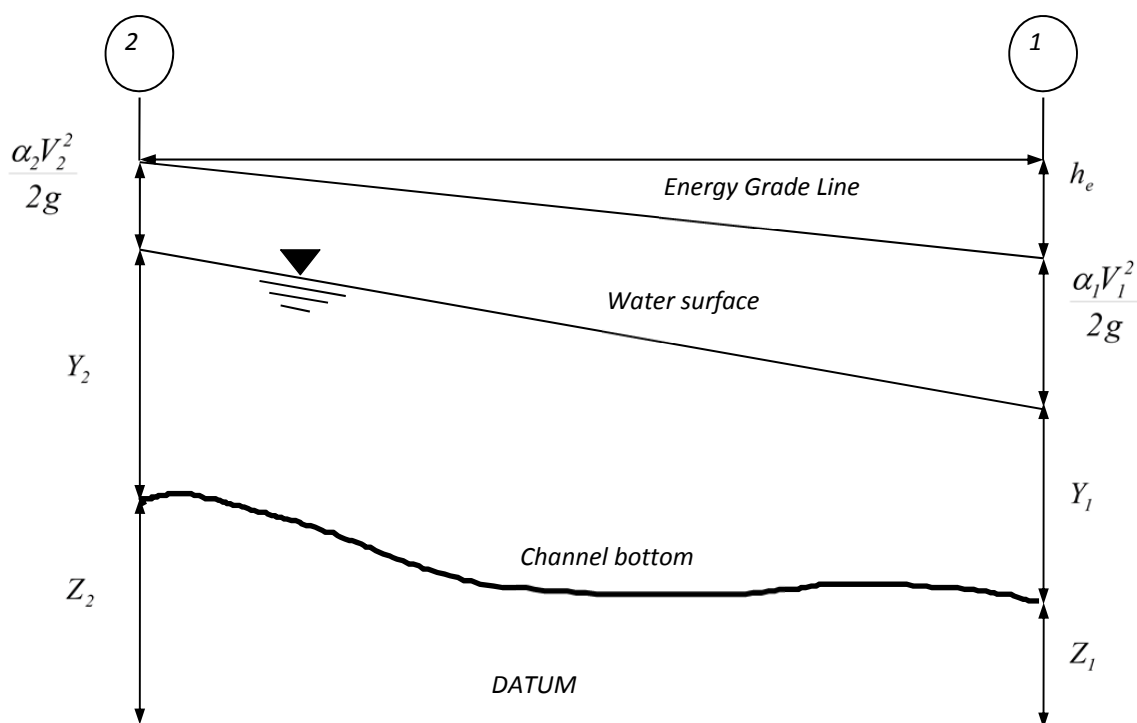
Z_1, Z_2 = altezze geometriche del fondo della sezione rispetto ad una quota di riferimento;

V_1, V_2 = velocità media nelle due sezioni (in funzione di Q/A);

α_1, α_2 = coefficiente di Coriolis;

g = accelerazione di gravità;

h_e = perdita di carico totale;



La perdita di carico totale comprende la perdita di carico dovuta all'attrito e quelle dovute a brusche variazioni di sezione tramite un coefficiente di contrazione o di espansione. L'equazione della perdita di carico totale è la seguente:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove :

L = distanza calcolata come media pesata del corso d'acqua compreso tra le sezioni 1 e 2;

$\bar{S}_f$ = pendenza della linea dei carichi per attrito tra due sezioni;

C = coefficiente di perdita di carico per rapida contrazione o espansione;

La distanza L intesa come media pesata del tratto compreso tra due sezioni in funzione della portata media che si verifica nei tratti:

- laterale destro argine/golena (*rob right overbank*),

- centrale (*ch asse canale*),

- laterale sinistro argine/golena (*lob left overbank*),

si calcola come:

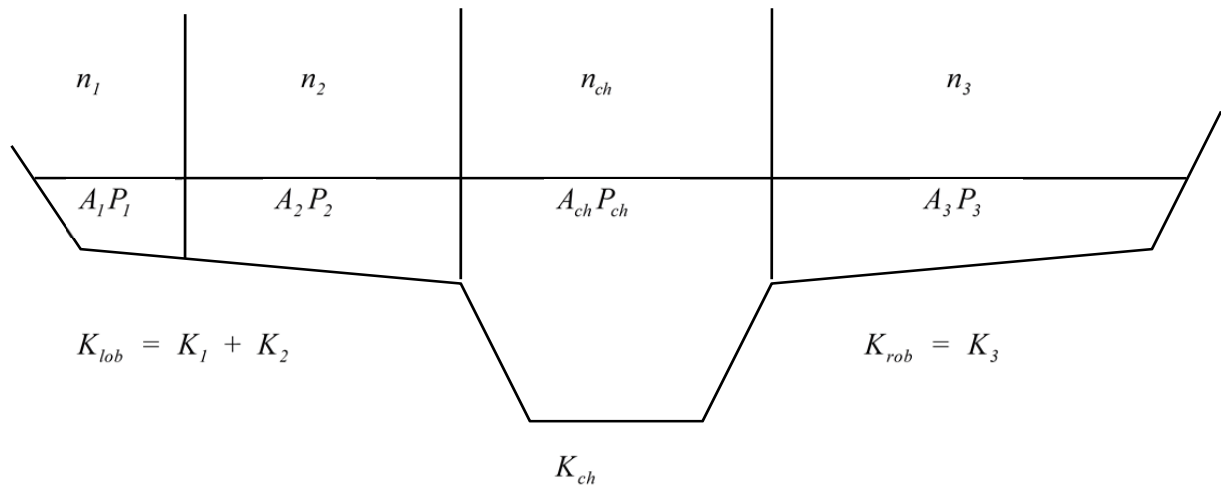
$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = lunghezza del tratto compreso tra due sezioni in funzione della portata media rispettivamente a sinistra, al centro e a destra;

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = media aritmetica della portata tra due sezioni rispettivamente per la golena sinistra, per il canale principale e per la golena destra.

Per determinare la capacità di trasporto totale ed il coefficiente di Coriolis in una sezione occorre dividerla in parti caratterizzate ciascuna da una velocità di deflusso tendenzialmente uniforme; il metodo utilizzato da HEC-RAS consiste nel suddividere la sezione in aree aventi lo stesso coefficiente di Manning utilizzando cioè i valori di n come base per la suddivisione della sezione trasversale.



La capacità di trasporto (conveyance) viene calcolata per ognuna delle zone suddivise in base ai valori del coefficiente di Manning :

$$Q = KS_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

dove :

- K = capacità di trasporto della singola zona suddivisa;
- n = coefficiente di Manning dell'area;
- A = area di deflusso della zona;
- R = raggio idraulico della zona (definito dal rapporto tra l'area A ed il perimetro bagnato).

Il programma somma tutte le capacità di trasporto ottenute dalla suddivisione delle golene fino ad ottenere una capacità di trasporto per la golenella sinistra e una per la golenella destra. La capacità di trasporto del canale principale viene normalmente calcolata come singolo contributo senza cioè essere suddivisa. La capacità di trasporto totale della sezione trasversale si ottiene sommando i tre contributi forniti dalla golenella sinistra, dal canale principale e dalla golenella destra.

Per ciò che concerne il coefficiente di Coriolis α (velocity coefficient) si può definire in termini di capacità di trasporto e area bagnata secondo la seguente equazione :

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove :

- A_t = area bagnata totale della sezione;
- A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = area bagnata rispettivamente della golenella sinistra, del canale principale e della golenella destra;
- K_t = capacità di trasporto totale della sezione;
- K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = capacità di trasporto rispettivamente della golenella sinistra, del canale principale e della golenella destra;

Le perdite di carico per attrito sono calcolate da HEC-RAS come prodotto di $\bar{S}_f$ ed L dove L viene calcolato con

l'equazione $L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$ mentre per $\bar{S}_f$ il programma può optare tra quattro equazioni

alternative derivate dall'equazione di Manning $\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$:

capacità di trasporto media
$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

pendenza piezometrica media
$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

media geometrica della pendenza
$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \cdot S_{f2}}$$

media armonica della pendenza
$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f1} \cdot S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

Il metodo di calcolo per la definizione della quota del pelo libero segue una procedura iterativa (20 iterazioni sono il valore di default) utilizzando le equazioni (1) e (2). La sequenza dello “Standard Step Method” risulta essere questa:

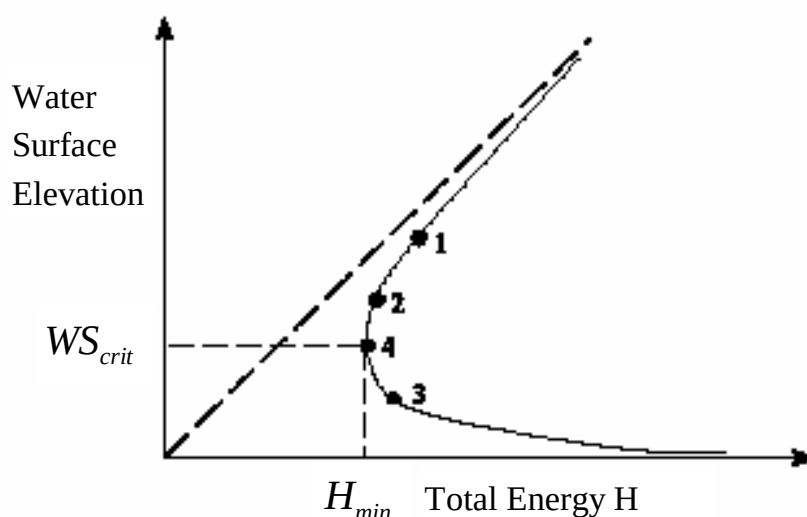
- essendo note le condizioni al contorno della sezione di partenza viene assunto un valore per l'altezza del pelo libero nella sezione di monte (o in quella di valle se ci troviamo in regime di corrente veloce);
- in funzione dell'altezza del pelo libero assunta si determina la capacità di trasporto e la velocità;
- con i valori trovati ai punti 1 e 2, viene calcolata la pendenza piezometrica $\bar{S}_f$ e la perdita di carico dovuta a brusche variazioni della sezione risolvendo l'equazione (2);
- con i valori trovati ai punti 2 e 3 viene risolta l'equazione (1) per WS_2 ;
- il valore di WS_2 trovato viene comparato con il valore assunto al punto 1, se lo scarto supera il valore prefissato di default uguale a 0.003 m (questo valore può essere modificato a piacimento dall'utente) il programma ripete i passi di calcolo da 1 a 5 fino a che la condizione venga soddisfatta.

La determinazione dell'altezza critica WS di ogni sezione segue una procedura iterativa combinando due metodi: quello parabolico e quello secante.

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

dove :

H = carico totale
 WS = altezza del pelo libero



Nei punti dove l'altezza del pelo libero attraversa l'altezza critica l'equazione (1) non è più applicabile. Questa infatti risulta valida solo nelle situazioni di *moto permanente gradualmente vario* mentre nelle situazioni di passaggio da corrente veloce a lenta e viceversa cioè in presenza di risalti idraulici, brusche variazioni della sezione trasversale, variazioni di pendenza significanti, restringimenti dovuti a ponti, briglie, confluenze di rami, HEC-RAS adotta l'equazione del momento derivata dalla seconda legge di Newton :

Forza = Massa x Accelerazione

$$\sum F_x = ma$$

Applicando la seconda legge di Newton (teorema della quantità di moto) al volume di acqua compreso tra due sezioni tracciate nei punti 1 e 2 si può scrivere :

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho \Delta V_x$$

dove :

P = spinta idrostatica nei punti 1 e 2

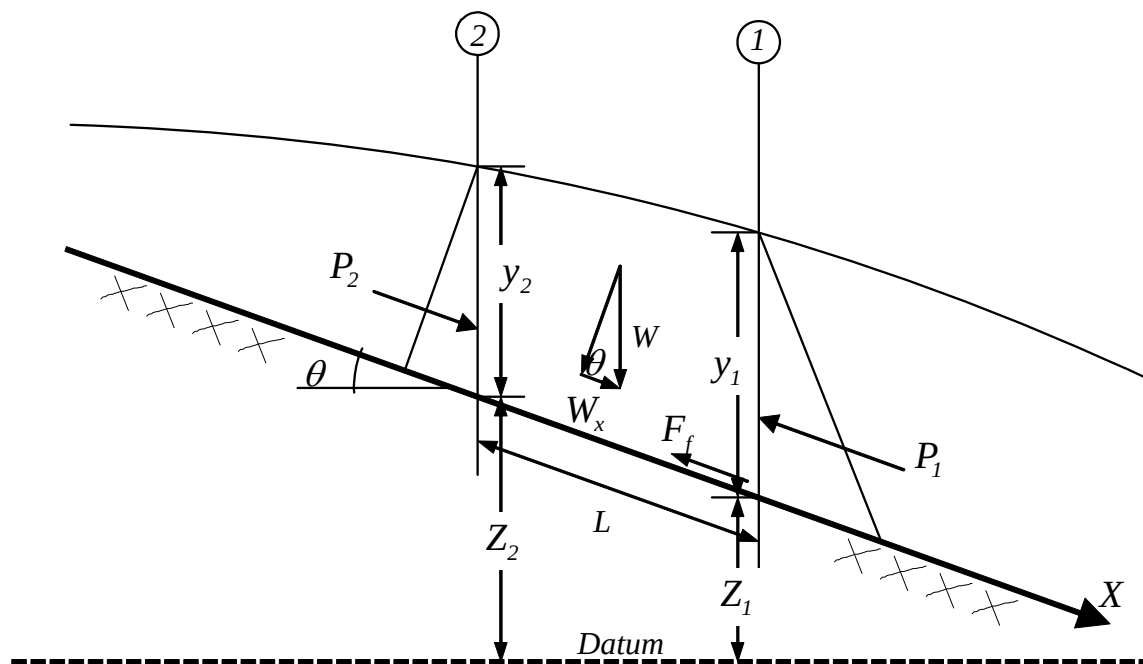
W_x = componente longitudinale della risultante delle forze di massa

F_f = risultante degli sforzi d'attrito

Q = portata

ρ = densità dell'acqua

ΔV_x = differenza di velocità dal punto 2 al punto 1 lungo l'asse delle X



La spinta idrostatica lungo l'asse delle X è :

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta$$

assunto che la spinta idrostatica è valida solo per pendenze minori di 1:10, dato che il $\cos \theta$ per una pendenza di 1:10 (circa 6 gradi) è uguale a 0.995 e la pendenza nei canali ordinari è molto minore di 1:10, la correzione $\cos \theta$ può essere portata uguale a 1. Per cui la spinta idrostatica nelle sezioni 1 e 2 sarà :

$$P_1 = \gamma A_1 \bar{Y}_1 \quad \text{e} \quad P_2 = \gamma A_2 \bar{Y}_2$$

La componente longitudinale della risultante delle forze di massa è :

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \quad W_x = W \cdot \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{Z_2 - Z_1}{L} = S_0 \quad W_x = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0$$

La risultante degli sforzi d'attrito è :

$$F_f = \tau \bar{P} L \quad \text{dove : } \tau = \text{sforzo di taglio} \quad \bar{P} = \text{media del perimetro bagnato tra le sezioni 1 e 2}$$

$$\tau = \gamma \overline{RS}_f \quad \text{dove : } \overline{R} = \text{media del raggio idraulico} \left(R = \frac{A}{P} \right)$$

$$F_f = \gamma \frac{\overline{A}}{\overline{P}} \overline{S}_f \overline{P} L \quad \text{e quindi :} \quad F_f = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \overline{S}_f L$$

La quantità di moto della massa fluida è :

$$ma = Q\rho \Delta V_x \quad \text{dove : } \rho = \frac{\gamma}{g} \quad \text{e} \quad \Delta V_x = (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

$$\text{quindi} \quad ma = Q\rho \Delta V_x = \frac{Q\gamma}{g} (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

5.1.2. Principali grandezze utilizzate nei calcoli idraulici

Portata al colmo di progetto

La modellazione idraulica sul tratto del Noce oggetto di studio è stata fatta a moto permanente ipotizzando le tre portate picco ottenute dall'analisi idrologica per i differenti tempi di ritorno:

- TR 30 anni: 274 m³/s
- TR 100 anni: 439 m³/s
- TR 200 anni 535 m³/s

Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici. Ai fini del calcolo, si possono assumere valori del coefficiente n riportati in Tabella 5-1 seguente a seconda della tipologia d'alveo e di golena; tali valori sono da intendersi di riferimento e, quindi, in ogni situazione reale vanno adeguatamente soppesati con le condizioni esistenti. La scelta di tali valori è stata desunta da informazioni reperite da studi precedenti, integrate da sopralluogo diretto.

DESCRIZIONE DEL CORSO D'ACQUA: ALVEO E AREA GOLENALE	n Manning (m-1/3·s)	ks Strickler (m1/3·s -1)
<i>tratti montani dei corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione arbustiva-arborea in alveo</i>	0.040÷0.033	25÷30
<i>corsi d'acqua regolari con vegetazione e movimento di materiale sul fondo</i>	0.033÷0.028	30÷35
<i>corsi d'acqua di pianura, con andamento regolare e scarsa presenza di vegetazione</i>	0.028÷0.025	35÷40
<i>tratti urbanizzati dei corsi d'acqua, con fondo naturale e pareti in massi regolari cementati</i>	0.028÷0.025	35÷40
<i>corsi d'acqua con fondo e pareti totalmente cementati, in buono stato e privi di manufatti in alveo</i>	0.025÷0.022	40÷45
<i>tratti tombinati perfettamente lisciati e dotati di dispositivi di trattenuta di materiale flottante o di trasporto</i>	0.020÷0.018	50÷55
<i>aree golenali verdi, caratterizzate da vegetazione regolare e alberi di medie dimensioni</i>	0.050÷0.040	20÷25

aree golenali a prato, con erba tagliata e assenza di alberi	0.033÷0.025	30÷40
aree urbane adibite a parcheggio o con strade abbastanza ampie	0.020÷0.018	50÷55

Tabella 5-1: Valori del parametro di scabrezza per diverse tipologie d'alveo e di area golenale, secondo la formulazione di Stricklere di Manning.

Considerata la presenza di vegetazione sulle sponde e la forte variabilità granulometrica del fondo e assumendo un approccio conservativo si fissa un coefficiente di strickler pari a $25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ sia per l'alveo inciso che per le aree golenali così come riportato nella tabella seguente:

tratto di sezione	n Manning ($\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$)	ks Strickler ($\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$)
alveo inciso	0.040	25
Aree golenali dx e sx	0.040	25

Tabella 5-2: valori del parametro di scabrezza utilizzati

Caratterizzazione geometrica dell'alveo

Le sezioni di calcolo si sono ricavate dal rilievo laser altimetrico della Provincia di Trento corretto sulle quote del fondo mediante rilievo topografico.

Il rilievo Lidar infatti assume come quota all'interno del torrente quella del pelo libero. Per correggere questo valore si è proceduto come segue:

- 1) Si è perimetrato il limite del pelo libero utilizzando lo stesso dato lidar e le ortofoto;
- 2) Si sono interpolate le sezioni tra i rilievi topografici disponibili all'interno dell'area di studio;
- 3) Si è assunta come quota del modello quella delle sezioni interpolate all'interno del perimetro bagnato mentre quella del DTM lidar per i punti esterni.

Tale procedura ha permesso di rimuovere artificialmente l'acqua all'interno del Noce.

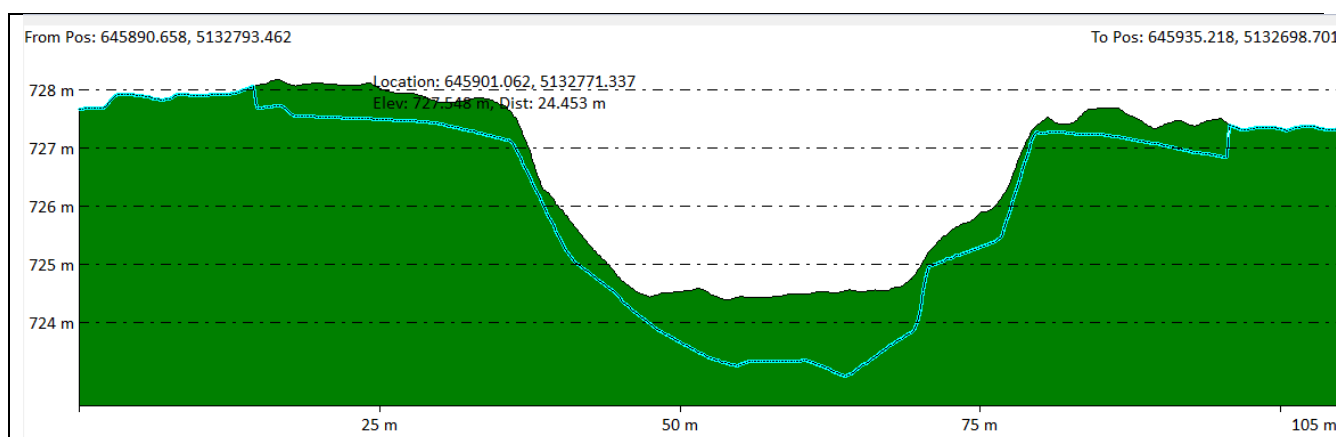


Figura 5-1: rappresentazione di una sezione trasversale. In verde le quote del DTM lidar, in ciano la sezione del rilievo topografico. E' evidente la differenza all'interno dell'alveo rappresentato dalla presenza di acqua al momento del rilievo laseraltimetrico

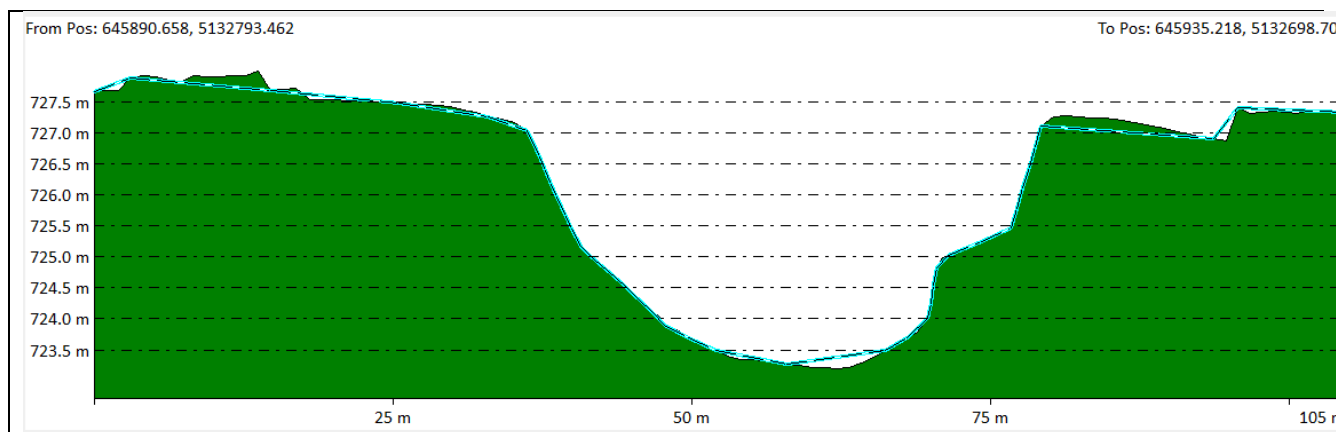


Figura 5-2: rappresentazione della sezione trasversale dopo la rimozione artificiale dell'acqua all'interno del torrente

Una volta corretto il DTM si sono estratte automaticamente le sezioni con Passo pari a 20 m.

La planimetria della geometria definita nel modello è riportata nell'Allegato 1: Risultati simulazioni idrauliche.

Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello iniziale della superficie libera su cui avviare il processo di calcolo. Nel caso specifico si è fatto riferimento ad una corrente mista con la possibilità di avere transizione tra corrente supercritica e subcritica e quindi sono necessarie due condizioni al contorno: una a monte ed una a valle.

Le condizioni al contorno utilizzate sono la profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili. Il codice chiede di inserire come dato la pendenza dei carichi totali che nello specifico è stata approssimata con la pendenza del tratto di canale a monte della sezione considerata. Anche questo valore è stato ricavato dal rilievo topografico.

5.1.3. Risultati delle simulazioni

La topografia e le portate prevedibili per il bacino hanno permesso di calcolare la quota del pelo libero per ciascuna sezione di calcolo.

I risultati nei diversi scenari sono rappresentati nell'allegato alla presente relazione.

5.2. Modellazione bidimensionale

5.2.1. Il modello Anuga

ANUGA è un software di modellazione idrodinamica bidimensionale che simula la propagazione di acqua chiara su geometrie complesse. Il progetto è sviluppato dall' Australian National University (ANU) e da Geoscience Australia (GA) da cui deriva il nome.

ANUGA è basato sulla soluzione dell' equazione delle acque basse (Shallow Water Equation) discretizzata su griglie triangolari non strutturate. Lo schema numerico utilizzato è quello dei volumi finiti.

ANUGA è in grado di gestire fenomeni di transizione (correnti da sub a supercritiche)

Il modello ANUGA è stato valutato in diversi casi test, teorici e reali, verificando la sua precisione e le sue prestazioni rispetto ad altri modelli commerciali. I risultati ottenuti mostrano una buona capacità del modello di riprodurre le condizioni reali. (cfr. Sachi Canning ANUGA – *Installation and Testing of new hydraulic model* - Griffith University 2009 o S. Néelz and G Pender - *Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling Packages SC080035/SR2* - Environment Agency UK June 2010).

5.2.2. Come funziona il modello

ANUGA è costituito da una serie di moduli e librerie scritte nel linguaggio di programmazione Python. integrato con moduli scritti in C per la parte computazionalmente più pesante.

Per l'utilizzo del modello l'utente deve specificare per la zona di studio, rappresentata da una mesh triangolare, la topografia o batimetria, il coefficiente di attrito/resistenza, le condizioni iniziali, le condizioni al contorno e le forzanti, come pioggia, onde di piena e/o gradienti di pressione se applicabili.

ANUGA segue l'evoluzione della quota del pelo libero e della quantità di moto all'interno di ogni cella per ogni passo temporale. Lo schema numerico prevede la soluzione dell'Equazione delle Acque Basse scritta in forma conservativa (i coefficienti delle sue derivate sono costanti o, se variabili, non compaiono esplicitamente nell'equazione).

L'equazione delle acque base in forma conservativa è:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = \mathbf{S}$$

Dove $\mathbf{U} = [h \quad uh \quad vh]^T$ è il vettore delle grandezze conservate con h livello dell'acqua, uh e vh le quantità di moto in x e y . Le altre grandezze che entrano nel sistema sono la quota del terreno z , e la quota assoluta dell'acqua w , con $w=z+h$. I flussi in direzione x e y , $\mathbf{E}$ e $\mathbf{G}$ nell'equazione precedente sono dati da:

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + gh^2/2 \\ uvh \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} vh \\ vuh \\ v^2h + gh^2/2 \end{bmatrix}$$

e il termine sorgente (che comprende la gravità e la resistenza) è dato da:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh(z_x + S_{fx}) \\ -gh(z_y + S_{fy}) \end{bmatrix}$$

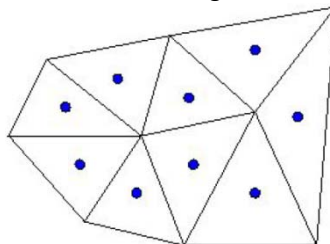
Dove S_f è la l'attrito di fondo. La resistenza è modellata usando le leggi di Manning:

$$S_{fx} = \frac{u\eta^2\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} \quad \text{and} \quad S_{fy} = \frac{v\eta^2\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}}$$

Dove η è il coefficiente di resistenza di Manning.

Questo set di equazione implementato in Anuga fornisce un modello affidabile per la valutazione dei flussi associati ad eventi naturali quali inondazioni, rotture arginali o tsunami.

Il dominio di calcolo è rappresentato da una mesh a celle triangolari come quella di seguito mostrata



La dimensione delle celle può variare all'interno della mesh per permettere maggiori precisioni nelle aree di particolare interesse.

Considerando l' i -esima cella, A_i è l'area della cella i -esima e l_{ij} è la lunghezza del bordo tra le celle i -esima e j -esima. Applicando il teorema della divergenza otteniamo per ogni volume un'equazione che descrive la velocità di variazione della media delle quantità conservate all'interno di ogni cella, in termini di flussi attraverso i bordi delle celle e l'effetto dei termini sorgenti.

L'equazione assume la forma:

$$\frac{d\mathbf{U}_i}{dt} + \frac{1}{A_i} \sum_{j \in \mathcal{N}(i)} \mathbf{H}_{ij} l_{ij} = \mathbf{S}_i$$

Dove:

$\mathbf{U}_i$ = vettore delle quantità conservate

$\mathbf{S}_i$ = termine sorgente associato alla cella i -esima

$\mathbf{H}_{ij}$ = flusso attraverso il bordo ij -esima.

Il flusso $\mathbf{H}_{ij}$ vien calcolato mediante un funzione di flusso che è consistente con il flusso delle acque basse in quanto conservativo per tutti i vettori $\mathbf{U}$ e per i vettori normali $\mathbf{n}$

Il modello utilizzato, nonostante la flessibilità e potenza, presenta i seguenti limiti:

- Il modello è 2D, non tiene pertanto conto di variazioni delle grandezze sulla verticale;
- Considera il fluido inviscido (viscosità cinematica nulla);

- Lo schema numerico è molto robusto ed affidabile ma non è il più veloce disponibile, per geometrie semplici può essere preferibile un modello alle differenze finite

5.2.3. Principali parametri di calcolo

Si presentano di seguito i principali parametro di calcolo in forma tabellare:

Numero di volumi di calcolo	103410
Superficie massima celle	2m ² nel canale, 8m ² esterno al canale
Coefficiente di Resistenza di Manning	0.04 s/m ^{1/3}
Condizione di monte	portata costante pari a: TR 30: 274 m ³ /s TR 100: 439 m ³ /s TR 200: 535 m ³ /s La sezione di monte è posta ad una distanza tale da non influenzare il campo di moto nell'area interessata allo studio.
Condizione di valle	Altezza tirante pari a 1 m (la sezione di valle viene posta ad una distanza tale da non influenzare il campo di moto nell'area interessata allo studio)
Schema numerico	Metodo ai volumi finiti, schema upwind di 1° ordine nel tempo e di secondo ordine nello spazio

6. CONCLUSIONI

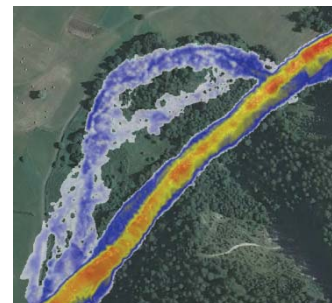
Come già anticipato si precisa che la valutazione della pericolosità di esondazione del Torrente Noce sull'area di studio viene fatta in condizioni di acqua chiara (non si valutano fenomeni di trasporto solido) e in condizioni di "fondo fisso" (non si considerano evoluzioni morfologiche dell'asta fluviale e delle sue sponde). Variazioni della morfologia come sbarramenti, cedimenti arginali ecc. possono modificare sensibilmente i risultati ottenuti nelle condizioni ipotizzate.

La stima delle onde di progetto è stata fatta per i tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni mentre la valutazione del coefficiente di resistenza è stata fatta considerando lo stato rilevato del torrente e delle sue sponde.

La granulometria del fondo e la presenza di vegetazione hanno portato a considerare un valore piuttosto ridotto del coefficiente di Strickler, pari a 25 m^{1/3} s⁻¹ sia per l'alveo che per le sponde.

Le modellazioni mono e bidimensionale hanno dato risultati confrontabili evidenziando le seguenti caratteristiche del corso d'acqua:

- il regime di flusso del tratto studiato è del tipo misto, avendo tratti in condizioni sub-critiche alternati da altri in condizioni super-critiche (cfr. pag. 17-18-19 dell'allegato);
- subito a monte del campo sportivo il torrente presenta tiranti elevati (sezione progr. 500) per poi vederli diminuire nel tratto adiacente al campo sportivo;
- Il regime di moto a monte dell'area è di tipo sub-critico mentre in adiacenza all'area è di tipo super-critico. Le velocità aumentano proprio in adiacenza dell'area (per TR200 si ha una velocità di 5,5 m/s circa a monte per passare ai 7,5 m/s circa nel tratto prossimo al campo da calcio);
- nei diversi scenari ipotizzati l'area da destinarsi a campeggio non viene raggiunta dall'esondazione;
- esiste sempre un franco maggiore di 2 m tra la quota del pelo libero e la quota del campo sportivo (vedi sezioni trasversali comprese tra le progressive 360 e 460).
- nel tratto in adiacenza al campo sportivo gli effetti delle piene considerate sono tra loro confrontabili. Si riscontrano invece forti differenze nel tratto in corrispondenza della confluenza del Rio Valsorda, dove per i tempi di ritorno di 100 e 200 anni si verificano delle esondazioni nell'ontaneta confinante con il corso d'acqua (cfr immagine a lato).



Nonostante il campo da calcio non venga allagato, si evidenzia, soprattutto nella modellazione bidimensionale, come l'area di esondazione sia molto prossima alla parte sud-ovest dell'area di studio. Questo comportamento si giustifica dalla morfologia del torrente che, in tale area, presenta una zona a quota leggermente inferiore rispetto all'area circostante.

Nell'immagine successiva si mostra una sequenza di fotogrammi in cui si evidenzia la dinamica di esondazione.

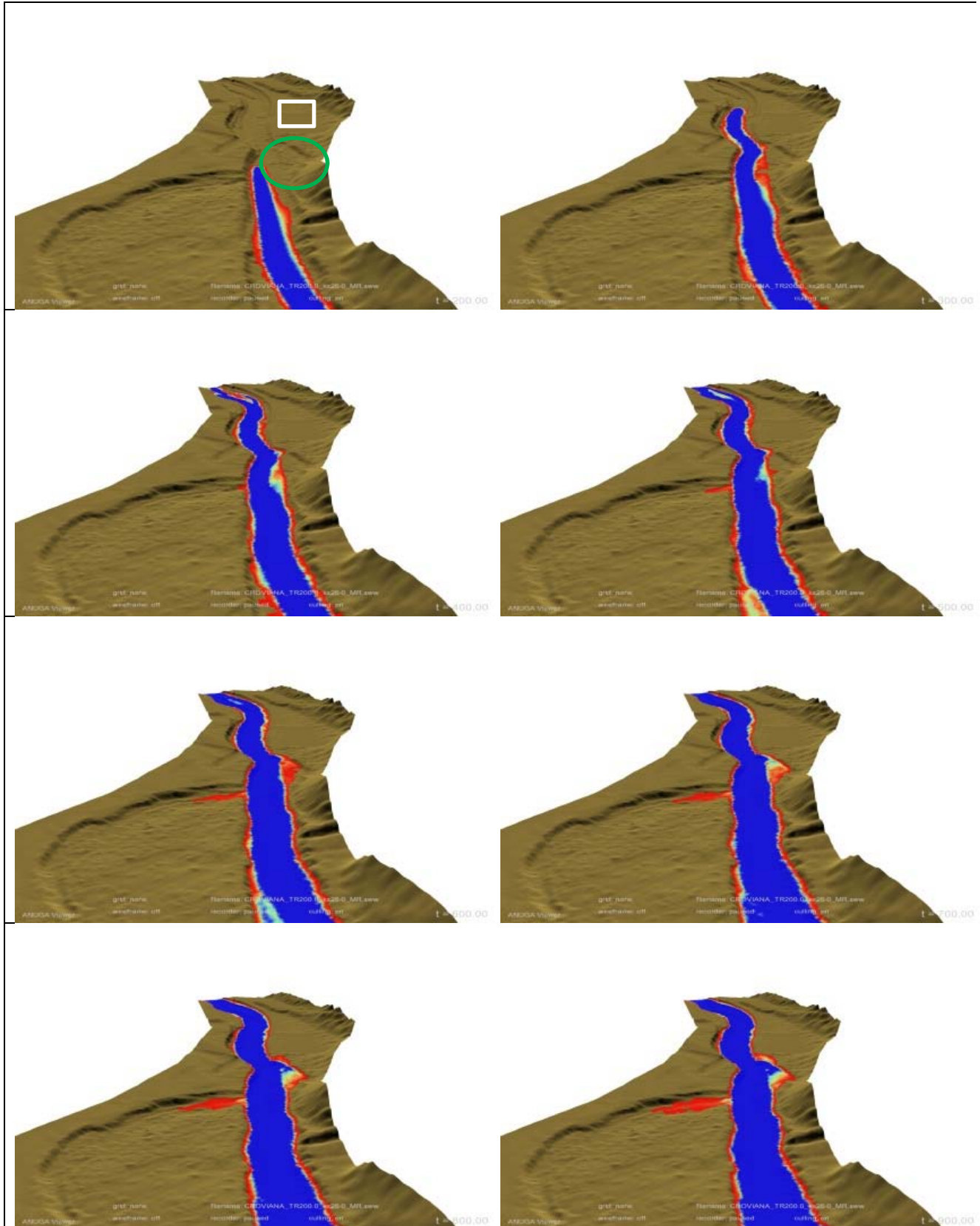


Figura 6-1: sequenza della dinamica di esondazione per TR 200 anni vista da sud-ovest. Nell'immagine in alto a sinistra si evidenzia in bianco l'area da destinarsi a campeggio e in verde la zona allagata più vicina al campo sportivo.

In considerazione di quanto esposto si propongono due interventi di mitigazione del rischio residuo :

- 1) La possibilità che si abbia allagamento dell'area per esondazione del Noce può avvenire per flussi che provengano dal lato sud-ovest che peraltro presenta un tomo naturale che protegge parzialmente l'area. Si propone pertanto una rimodellazione del tomo esistente in maniera da proteggere completamente l'area da flussi provenienti dal lato sud-ovest

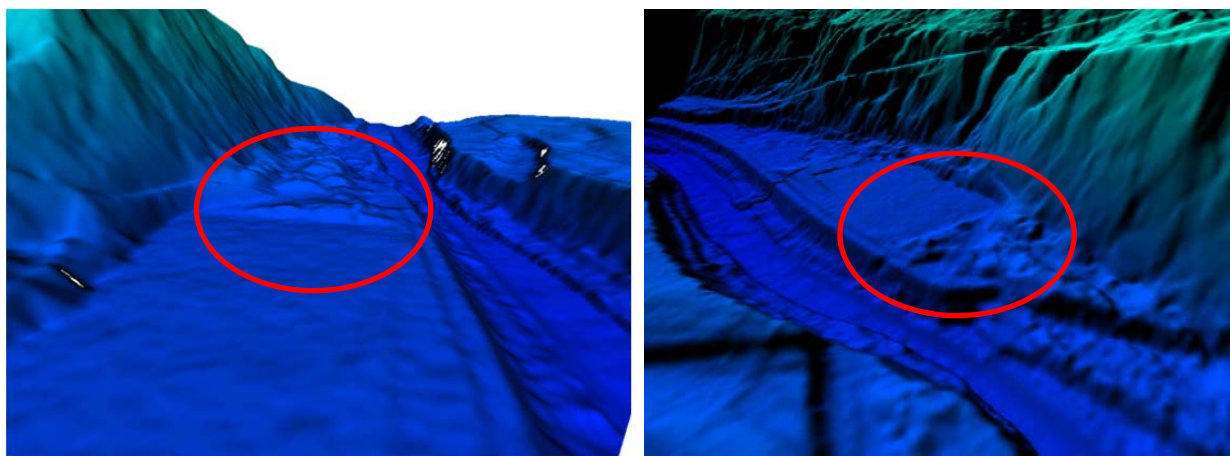


Figura 6-2: vista 3d dell'area di studio. Cerchiato in rosso si evidenzia la presenza di un tomo naturale a parziale protezione dell'area

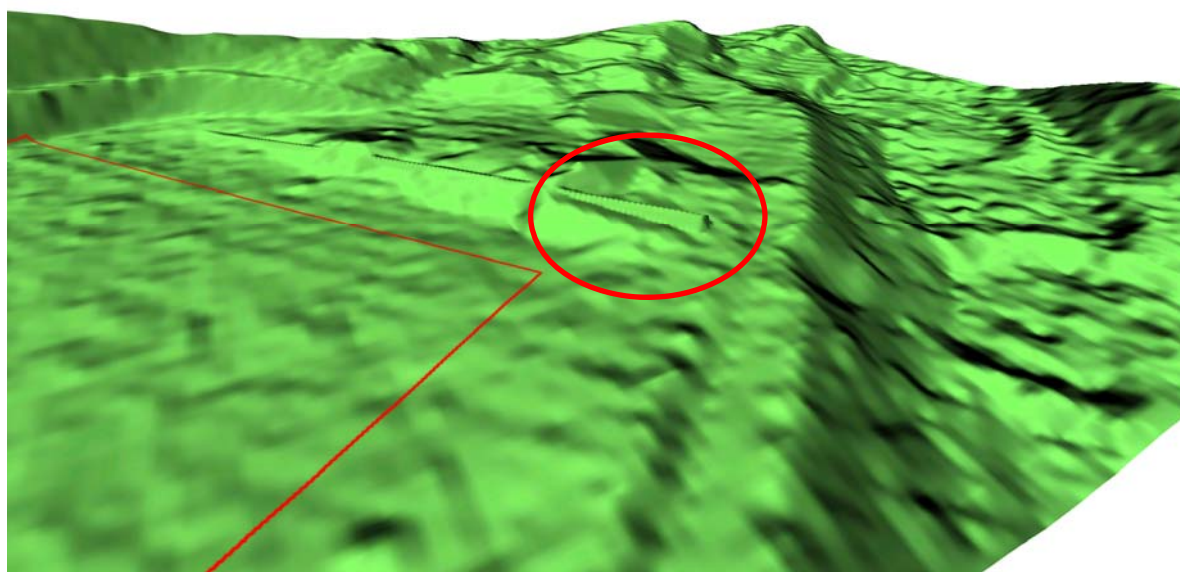


Figura 6-3: cerchiato in rosso l'intervento di rimodellazione del tomo

- 2) A differenza di fenomeni di dissesto sui versanti (colate, frane ecc...) che hanno carattere impulsivo, gli eventi di esondazione si manifestano su tempi decisamente più lunghi. Si propone pertanto, come intervento di mitigazione del rischio, un sistema di gestione dello stato di allerta che preveda una serie di disposizioni da attuare prima, durante e post evento come ad esempio:
 - monitoraggio delle condizioni meteo;
 - monitoraggio del corso d'acqua;
 - messa in preallarme dei fruitori della struttura;
 - evacuazione della struttura;
 - chiusura della struttura fino al termine dell'evento.