

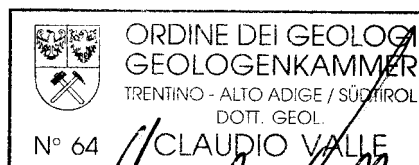


SOLAGNA S.R.L.
SOCIETA' ENERGETICA ELETTRICA ANTERMONT S.R.L.
RECA 3 s.r.l.

REALIZZAZIONE DI STRUTTURA RICETTIVA IN AREA CON
DESTINAZIONE URBANISTICA "CAMPEGGI E/O AREE DI
SOSTA ATTREZZATE PER AUTOCARAVAN" IN LOC. ALBA
DI CANAZEI (TN)

STUDIO DI COMPATIBILITA'

(Art.18 NdA del PUP)



REL.4077/22

CV/ maggio 2022

"Questo documento non potrà essere copiato, riprodotto o pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto dello Studio "GEOLOGIA APPLICATA"

(legge 22 aprile 1941 nr. 633, art. 2575 e segg. c.c.)

38016 Mezzocorona (TN) – Via del Teroldego, 1 – Tel. 0461/605904 – Fax 0461/606500 – E-mail: info@geologiaapplicata.it
- C.F. e P.IVA 01460020233



Indice

1	OGGETTO	3
2	INQUADRAMENTO DELLA ZONA DI INDAGINE E CSP	4
3	CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL BACINO IMBRIFERO	6
4	IDROGRAMMI DI PIENA.....	18
4.1	Geolitologia, uso del suolo e CN	18
4.2	Analisi idrologica	20
4.2.1	Modello geomorfologico AdB-ToolBox	20
4.2.2	Dati in input.....	21
4.3	Idrogramma liquido.....	24
4.4	Idrogramma colata	26
5	ANALISI GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA E VALUTAZIONE SUI VOLUMI SOLIDI MOBILIZZABILI DAL RIO CIAMPAC	29
6	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON FLUMEN2D.....	36
6.1	Fondamenti matematico-numerici del codice Flumen2D.....	36
6.2	Dati di input della modellazione 2D	38
6.2.1	Dominio di calcolo	38
6.2.2	Condizioni al contorno	39
6.2.3	Idrogramma di piena	39
6.2.4	Parametri numerici.....	39
6.2.5	Parametri idraulici e reologici	39
6.3	Risultati della modellazione 2D.....	40
6.3.1	Espansione della colata a 0,5 ore dall'inizio dell'evento	41
6.3.2	Espansione della colata a 1 ora dall'inizio dell'evento	42
6.3.3	Espansione della colata a 2 ore dall'inizio dell'evento	43
6.3.4	Espansione della colata a 3 ore dall'inizio dell'evento, picco di portata.....	44
6.3.5	Sezioni longitudinali e sezione trasversale	45
7	INTERVENTO PER LA PROTEZIONE IDRAULICA DELL'AREA DI INTERESSE.....	48
8	PROPOSTA DI MAPPATURA PER LA CSP	52
9	CONCLUSIONI.....	55
10	BIBLIOGRAFIA.....	57



1 OGGETTO

La presente relazione rappresenta lo studio di compatibilità al pericolo idraulico per la realizzazione, in area destinata a *“Campeggi e/o aree di sosta attrezzate per autocaravan”*, di una struttura ricettiva coerente con la destinazione urbanistica citata in località Alba di Canazei, nei pressi delle stazioni di partenza della cabinovia Alba – Ciampac e della funivia Alba – Col dei Rossi.

L'area oggetto di studio interessa le seguenti particelle fondiarie del C.C. Canazei:

- p.f. 1344 e 1346 di proprietà della Società Solagna S.r.l.;
- p.f. 1356 e 1357 di proprietà della Società Energetica Elettrica Antermont S.r.l.

Attraverso l'analisi geologica stratigrafica e morfoevolutiva del territorio afferente i bacini idrografici interessati, lo studio determinerà l'idrogramma di una colata di detrito con tempo di ritorno bicentenario ($T_r=200$ anni) e valuterà la propagazione della stessa colata lungo il rio Ciampac fino alla sua immissione nella parte finale del rio Contrin, affluente di sinistra idrografica dell'Avisio.

Pertanto, l'analisi permetterà di verificare la compatibilità idraulica della realizzazione di un campeggio e/o aree di sosta attrezzate per autocaravan: in particolare si valuterà l'opportunità della realizzazione di un'opera di difesa passiva lungo la parte finale del rio Ciampac.

La propagazione della colata di detrito sopra menzionata sarà studiata mediante un modello matematico-numerico bidimensionale ai volumi finiti a celle quadrate.

2 INQUADRAMENTO DELLA ZONA DI INDAGINE E CSP

L'area oggetto di studio si trova ad Alba di Canazei, in sinistra idrografica della parte terminale del rio Contrin e del rio Ciampac.

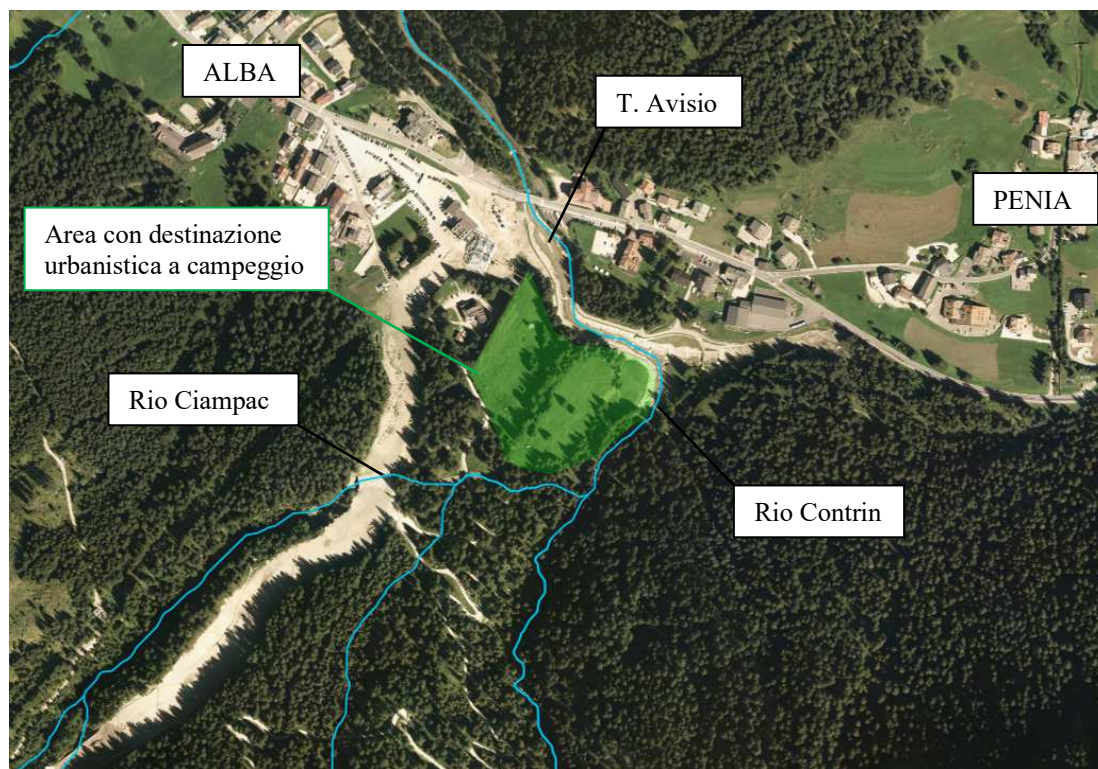


Figura 2.1: Localizzazione su ortofoto 2015-PAT della zona oggetto di indagine ad Alba di Canazei.

Per tale area la Carta di Sintesi della Pericolosità-CSP, entrata in vigore il 02/10/2020, identifica una pericolosità di tipo “APP – da approfondire” (art.18) legata ad una penosità alluvionale torrentizia da approfondire riferita al rio Ciampac.

Nella parte marginale ad est sono individuate, inoltre, delle fasce di pericolosità “P4 – Elevata”, “P3 – Media” e “P2 – Bassa” per la presenza del rio Contrin poco prima della sua immissione nel torrente Avisio.

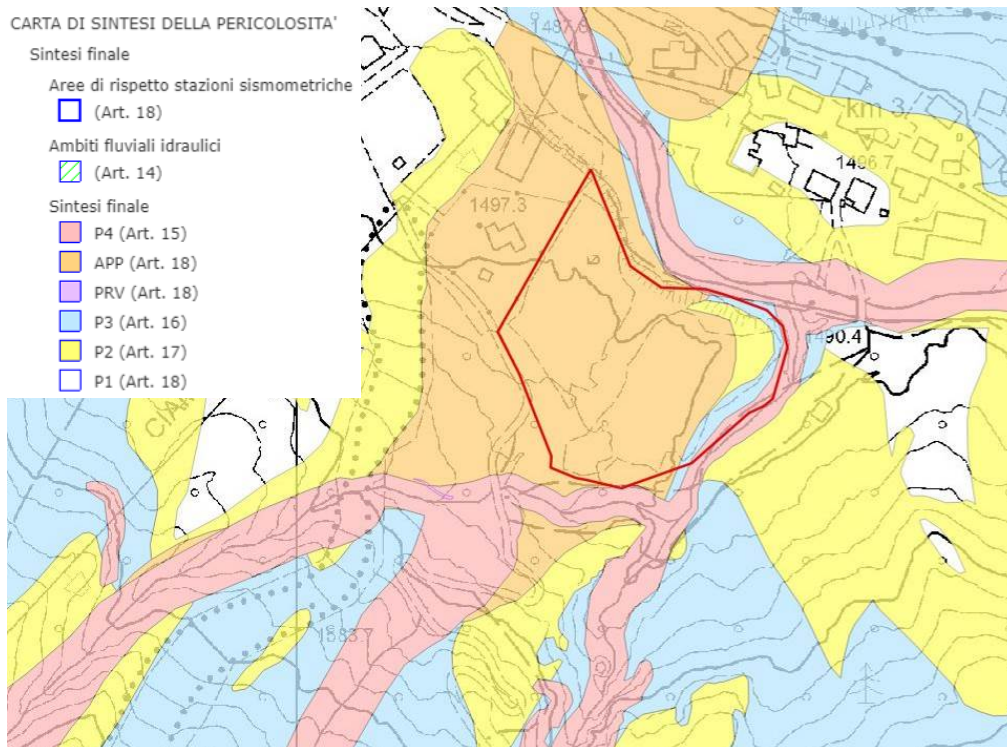


Figura 2.2: Estratto della CSP per la zona oggetto di indagine.

In riferimento alla Carta della pericolosità alluvionale torrentizia, che descrive e classifica le porzioni del territorio interessate dai fenomeni alluvionali legati al reticolo idrografico torrentizio, si segnala la collocazione della zona di studio in area “APP – da approfondire” legata al conoide del rio Ciampac e sul lato est in area H4, H3 e H2 per la presenza del rio Contrin.

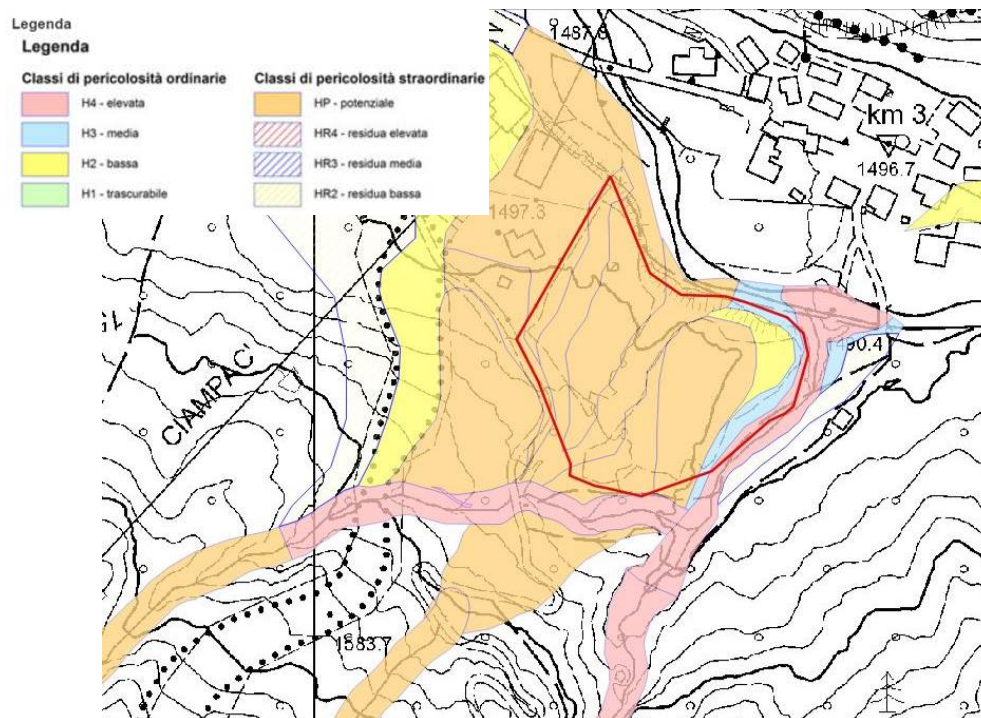


Figura 2.3: Estratto della Carta della pericolosità torrentizia per la zona oggetto di indagine.

3 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL BACINO IMBRIFERO

Il bacino imbrifero sotteso dal rio Ciampac e chiuso a quota 1495 m s.l.m. (subito prima dell'immissione nel rio Contrin) presenta una superficie pari a 3,966 kmq e interessa prevalentemente il versante boscato del Ciampac.

La delimitazione dello spartiacque del bacino imbrifero afferente alla zona di studio è stata eseguita sulla base del rilievo Lidar 2014 aggiornato con voli 2018, fornito dal Servizio Geologico della PAT e caratterizzato da una risoluzione di 0,5 m.

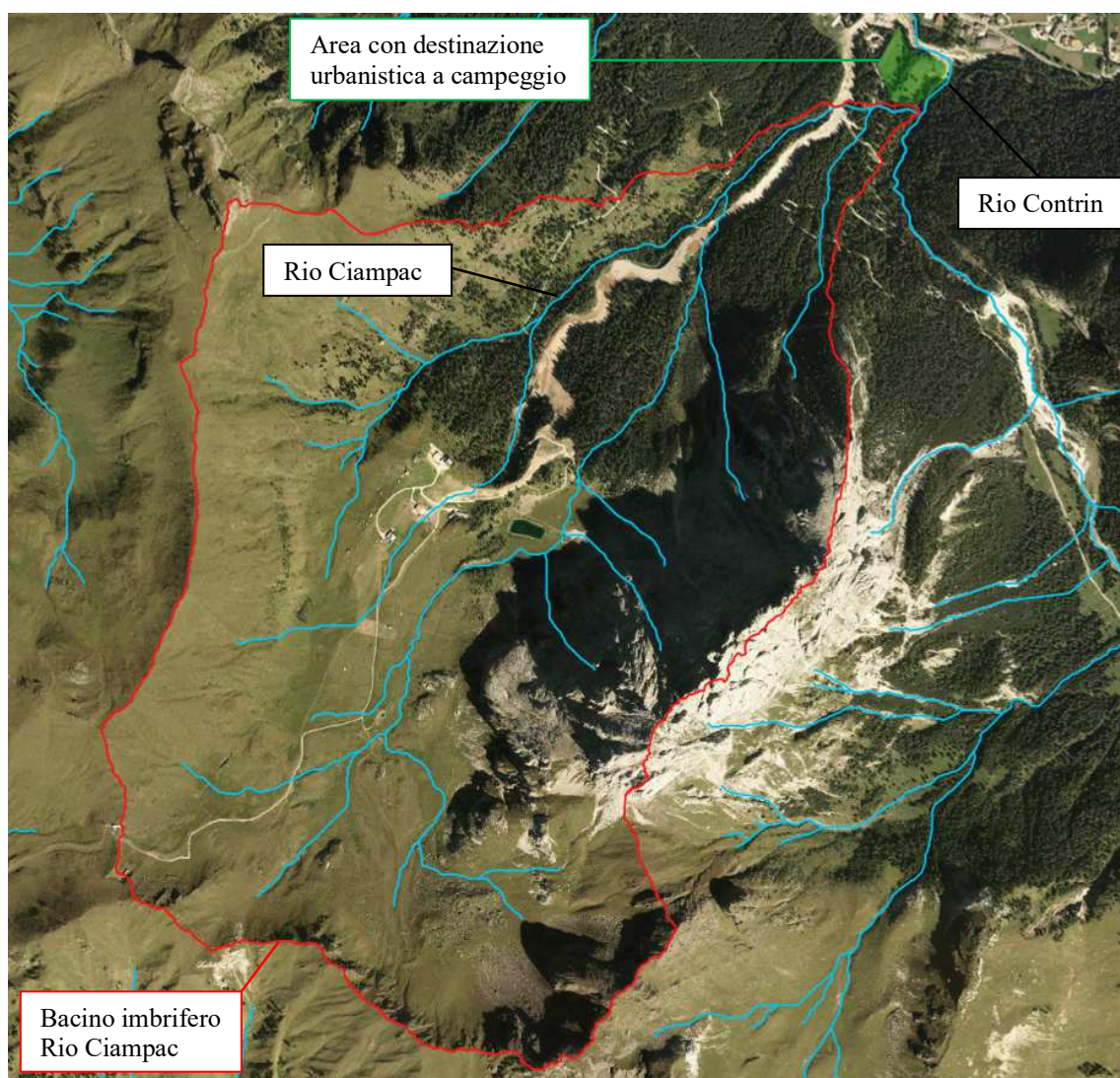


Figura 3.1: Individuazione su Ortofoto 2015-PAT del bacino idrografico del rio Ciampac e dell'area oggetto di studio.

Si riportano in tabella le caratteristiche principali del bacino imbrifero.

Bacino imbrifero del rio Ciampac	
Area Bacino [km ²]	3,966
Altitudine media [m s.l.m.]	2197,31
Altitudine minima [m s.l.m.]	1495,03
Altitudine massima [m s.l.m.]	2715,01
Pendenza media del bacino [%]	71,2

Tabella 3.1: Caratteristiche principali del bacino imbrifero del rio Ciampac chiuso a quota 1495 m s.l.m.

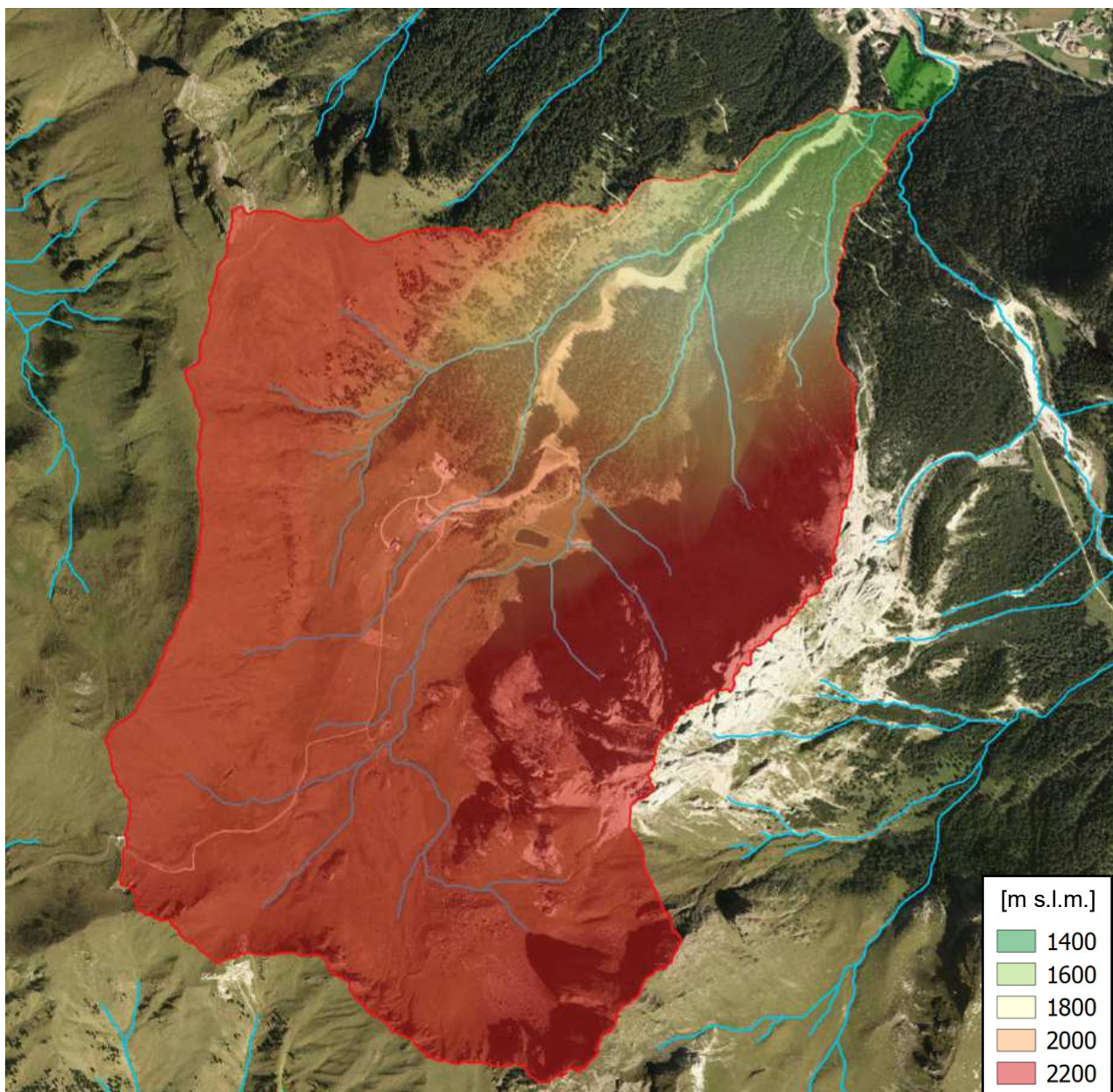


Figura 3.2: Delimitazione su ortofoto del bacino del rio Ciampac e dell'area oggetto di studio.

Dal punto di vista geologico generale osserveremo quanto segue.

La successione vulcanica del Buffaure è caratterizzata dalla serie vulcanica del M.te Fernazza cui appartengono in serie, a partire dal basso, iniziali lave basaltiche, seguite da lave sottomarine a pillow, arenarie e torbiditi vulcanoclastiche, ialoclastiti e breccie stratificate in banchi, con in ultimo gli stessi depositi caotici vulcanoclastici (Caotico Eterogeneo) ben visibili in seno alla Crepa Neigra (sotto riportata in Figura 3.3 la carta litologica del Buffaure tratta da Castellarin, Somnavilla, Rossi, Simboli, De Luca del 1972).

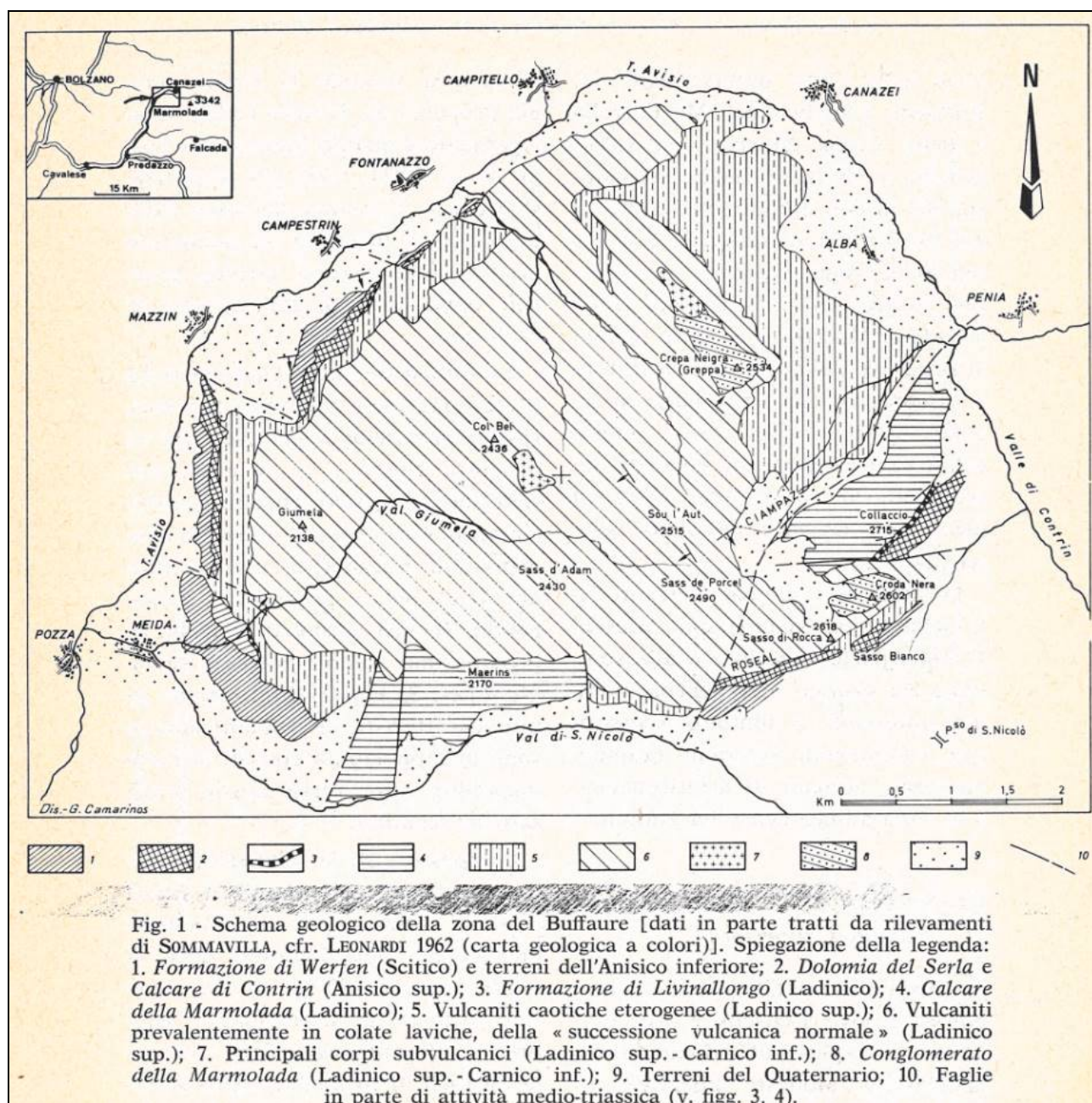


Figura 3.3: Carta litostratigrafica del Buffaure.

I materiali caotici del Buffaure costituirebbero l'intervallo inferiore della locale successione vulcanica costituendosi però in un miscuglio di vulcaniti e di rocce sedimentarie interpretate in passato come accumuli derivanti da una possente attività vulcanica a carattere prevalentemente esplosivo. L'ipotesi più recente e sostenuta da Castellarin, Simboli, Rossi et Al. ascrive la sequenza di tali litotipi ad una genesi gravitativa sottomarina a ciclo eruttivo già avviato e in rapido sviluppo mentre erano più intensi i movimenti lungo faglie sinsedimentarie. Successivamente a questa attività ne subentra un'altra prevalentemente lavica a carattere fessurale con ingenti spessori di lave a cuscini e brecce di cuscini per lo più direttamente sovrapposti ai terreni caotici.

Nel particolare la conca del Ciampac-Buffaure consente di apprezzare parte delle vicissitudini paleoambientali in età ladinica.

La zona in esame appartiene ad un'ampio bacino di età ladinica determinatosi in un contesto di tettonica sinsedimentaria nel quale confluirono materiali lavici e piroclastici al di sopra della piattaforma carbonatica (Dolomia del Serla) e/o dei terreni werfeniani. La presenza di enormi olistoliti all'interno del Caotico Eterogeneo (

Foto 1) viene relazionata alla presenza della tettonica distensiva (faglie dirette) del periodo (Figura 3.4).



Foto 1

Sulla conca del Ciampac incombe ad ovest la sagoma della Crepa Neigra (Foto 2) e svetta verso est la dorsale del Collaccio (Foto 3 e Foto 4) con l'evidente ricoprimento laterale da parte dei prodotti effusivi del Cgl. della Marmolada sul lato sud e del Caotico eterogeneo nelle zone di piede (Foto 5).

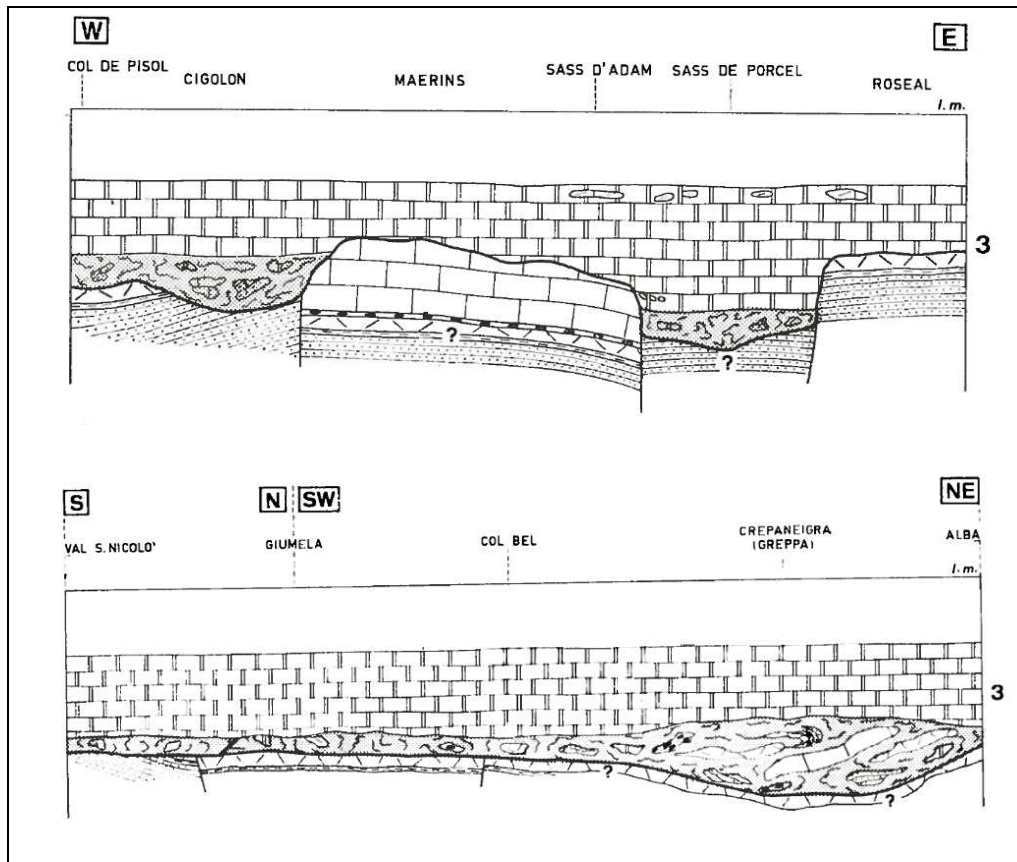


Figura 3.4: Da Castellarin, Rossi, Simboli, Sommavilla e DeLuca, 1977.

Nell'area di studio dominano pertanto i prodotti lavici e piroclastici ladinici con inglobati i termini carbonatici della Formazione di Contrin.

Tutta la cresta morfologica che si sviluppa tra Sella Bruneck e Sasso di Rocca è costituita dalle vulcaniti che si presentano generalmente con aspetto massivo, ancorchè articolate morfologicamente. Proprio in virtù della matrice eterogenea che le caratterizza, della mancanza di un diffuso setting mesostrutturale (è stato osservato solamente a livello locale) che ponga le basi per una forte localizzazione dell'azione erosiva o per l'innescio di cinematismi, esse sono facile preda degli agenti esogeni che determinano prevalentemente un arrotondamento delle forme senza mai arrivare ad inciderle in modo da determinare presupposti di instabilità a scala significativa. In ogni caso è evidente la propensione alla generazione di prodotti sciolti che si radunano al piede dei versanti attraverso un'azione lenta ma continua di smantellamento capillare che tuttavia permette il recupero degli accumuli da parte della copertura erbosa.



Foto 2



Foto 3

Testimonianza di questo aspetto è la mancanza di evidenti nicchie di passati distacchi massivi così come di una fascia detritica grossolana al piede dei versanti più ripidi. Solamente verso est e cioè verso *Sass Bianc de Roseal* e *Sass de Roces* (Foto 4), proprio in virtù della loro costituzione ibrida carbonatico/conglomeratica vulcanica prevalente, si localizzano al piede alcuni blocchi di

dimensioni peraltro contenute. Tali caratteristiche risulterebbero coerenti con le morfologie calanchive attuali (Foto 5).



Foto 4



Foto 5

Scendendo dall'Alpe Ciampac si orla sul lato orografico sinistra il prativo che costituisce i declivi che collegano la cresta che da Sella Bruneck porta alla Crepa Neigra e nell'ambito dei quali sono veramente scarse e ridotte in superficie le forme di denudazione; la sponda orografica destra è senz'altro più ricca di forme con le estese falde detritiche che orlano il piede del Colac' (Foto 6). La produttività gravitativa di tale fianco è in particolare dettata dalla presenza di un sistema di faglie inverse che a più riprese hanno interessato il Colac' (Figura 3.5) nel corso dell'evento Valsuganese (tettonica compressiva neoalpina), stesso evento cui vanno relazionati i sovrascorrimenti del Vernel-Marmolada (Figura 3.6) e che costituiscono le fonti di alimentazione dei grandi conoidi che colmano la valle di Contrin (vedasi Figura 3.7). A questi si associano gli effetti di un'importante struttura NS che taglia il piede del versante e che è accompagnata da un'estesa fascia cataclastica e correlata falda detritica (Foto 7). Nell'estratto della Carta Geologica vengono ben cartografate le strutture morfologiche quaternarie cui afferiscono tali depositi. La conca del Ciampac, che si apre tra le due spalle orografiche, trova a ricoprimento delle vulcanoclastiti del Fernazza depositi morenici di età diverse con gli ultimi episodi stadiali che orlano il piede meridionale del Colac' (Foto 3). La conca più ribassata che ospita il bacino artificiale vede la coalescenza tra depositi di versante (falde detritiche) e prodotti colluviali provenienti dal dilavamento sia delle vulcanoclastiti che dai depositi glaciali della Piana soprastante.



Foto 6

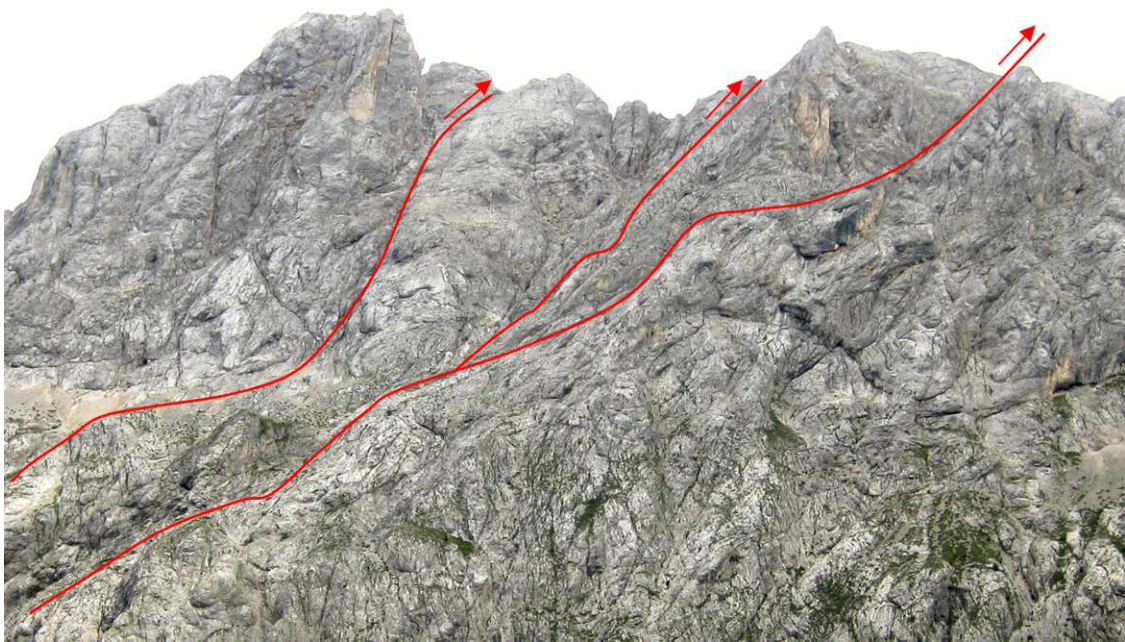


Figura 3.5

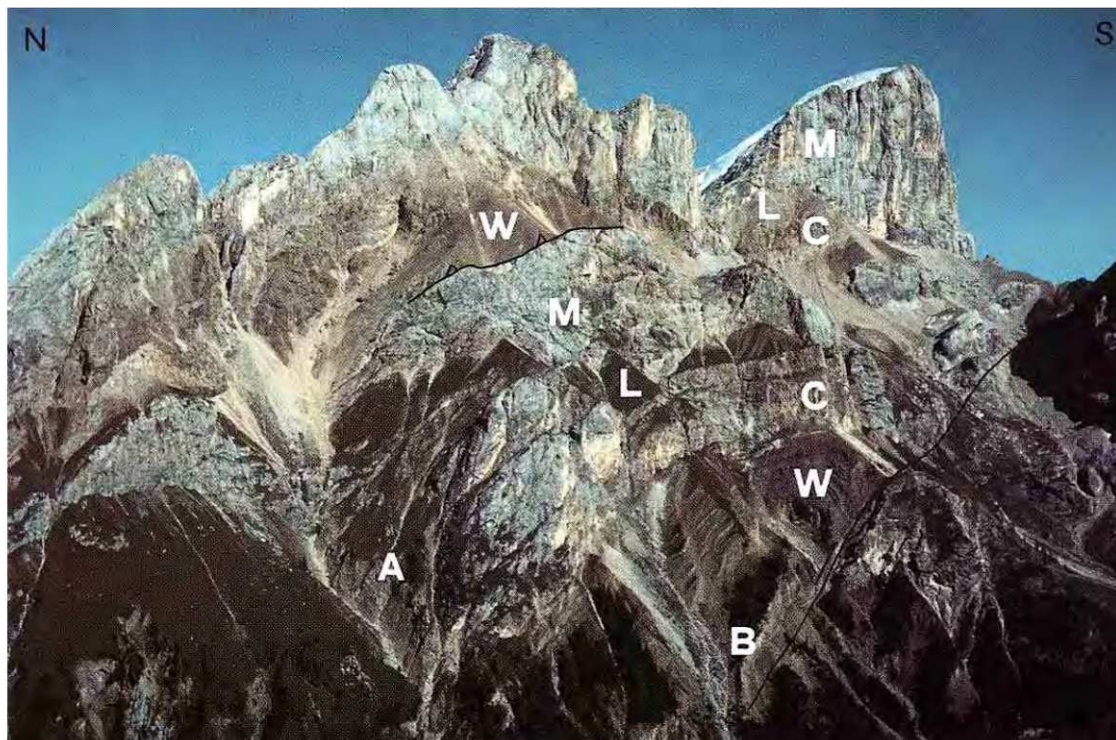
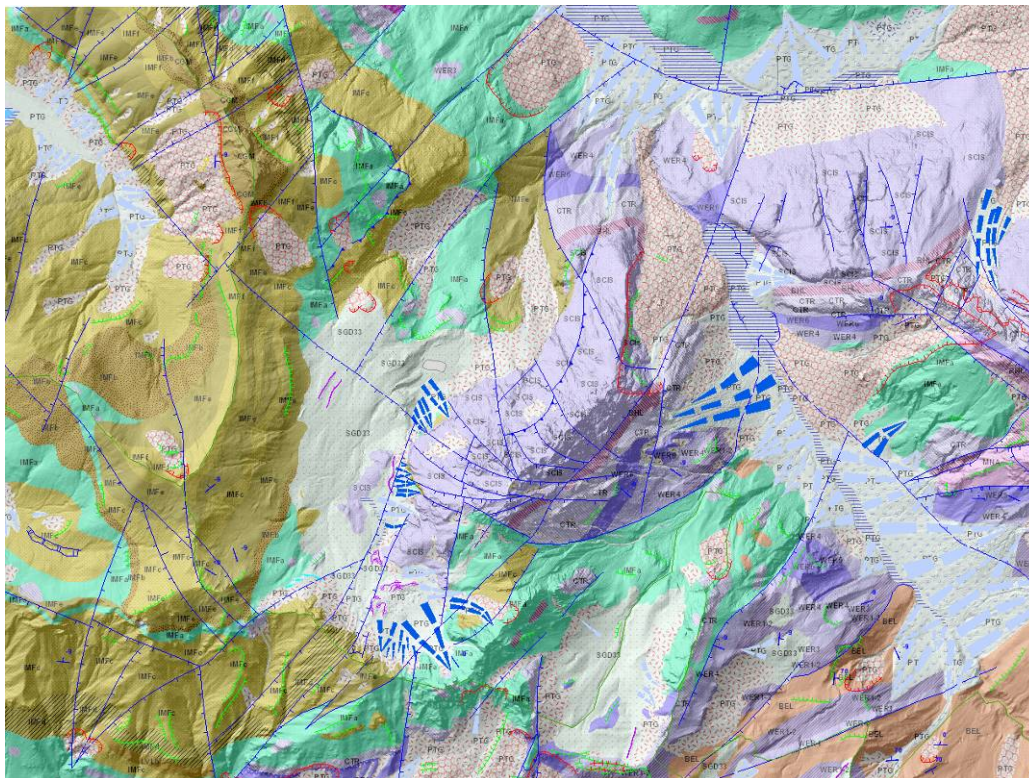


Fig. 3.27 - The southern cliff of the Marmolada massif is extremely complicated by SW-vergent thrusts. B, Bellerophon Fm; W, Werfer Fm; C, Contrin Fm; L, Livinallongo Fm; M, Marmolada Limestone; A, Caotico eterogeneo.

Figura 3.6: da Carminati-Doglioni, 2008.



DEPOSITI QUATERNARI

- Deposito di versante
- Cono di detrito
- Deposito di debris flow
- Deposito glaciale (tili indifferenziato)
- Rock Glacier

Simboli Conoidi

- Conoide di debris flow
- Conoide misto: debris flow e gravitativo e/o valanga

SINTEMI

- PTG - SISTEMA POSTGLACIALE ALPINO

SUCCESSIONE SEDIMENTARIA E VULCANICA

Litofacies vulcaniche Triassiche della Val di Fiemme - Fassa

- IMFa - FORMAZIONE DEL MONTE FERNAZZA - Caotico eterogeneo Aud.
- IMFb - FORMAZIONE DEL MONTE FERNAZZA - Arenarie vulcanoclastiche, ialoclasti sensu stricto, torbiditi vulcanoclastiche e subordinatamente carbonatiche, breccie stratificate in banchi.
- IMFc - FORMAZIONE DEL MONTE FERNAZZA - Pillow-breccias
- IMFd - FORMAZIONE DEL MONTE FERNAZZA - Lave basaltiche coerenti massicce
- SCI - FORMAZIONE DELLO SCILIAR
- SCISa - FORMAZIONE DELLO SCILIAR - Depositi di scarpata (slope) dolomitizzata
- BHL - FORMAZIONE DI BUCHENSTEIN-LIVINALONGO
- MNA - FORMAZIONE DI MOENA

- RMR - CONGLOMERATO DI RICHTHOFEN-CALCARI SCURI DI MORBIAC INDISTINTI
- WER1 - FORMAZIONE DI WERFEN - Membro di Tesero
- WER2 - FORMAZIONE DI WERFEN - Membro di Mazzin
- WER4 - FORMAZIONE DI WERFEN - Membro di Siusi
- WER6 - FORMAZIONE DI WERFEN - Membro di Campil
- BEL - FORMAZIONE A BELLEROPHON
- GAR - ARENARIA DI VAL GARDENA

Figura 3.7: Estratto della Carta Geologica Progetto CARG della Provincia di Trento.



Foto 7

Superata la soglia rocciosa si assiste ad un rapido aumento dei gradienti clivometrici che con un alternarsi di piccole scarpate rocciose e locali rotture di pendenza sedi di relitti di depositi morenici ivi alloggiati digrada fino alla base del versante laddove, con continuità dai piedi settentrionali del Colac', affiora la serie triassica ivi rappresentata dai litotipi calcareo-marnoso-arenacei del Werfen (Foto 8).



Foto 8

Per quanto concerne la Valle del Contrin gli aspetti strutturali sono ancora più improntati e quindi le coperture quaternarie occupano un posto rilevante nel condizionamento della morfologia avendo determinato una sorta di livellamento del solco vallivo soprattutto nella zona che precede il salto di quota che raccorda la Valle sospesa al fondovalle dell'Avisio. In questo ambito lo sbarramento è stato determinato da una grande frana postglaciale (Foto 9) che ha interessato il fianco orientale del Colac' e che ha permesso il sovraalluvionamento di tutta la parte più a monte dando luogo a messa in posto di depositi alluvionali per spessori rilevanti, presentando tutt'oggi un certo carattere di attività per trasporto solido fin sul fondovalle (Foto 10).

Nel successivo capitolo 5 vengono riportate le considerazioni applicative che supportano le analisi idrauliche attraverso una stima dei volumi di materiale sciolto mobilizzabile.

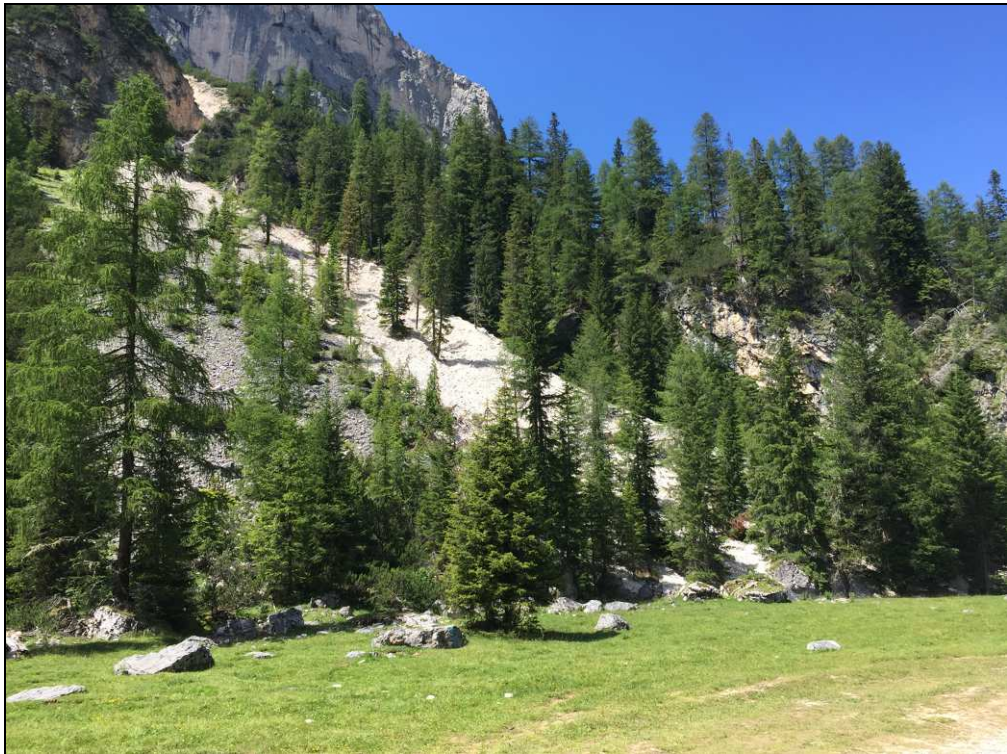


Foto 9



Foto 10



4 IDROGRAMMI DI PIENA

In generale la modellazione idrologica ha per obiettivo la determinazione dell'onda di piena di progetto per un tempo di ritorno di 200 anni, come previsto dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche-PGUAP [2].

Le onde di piena rappresentano una delle condizioni al contorno dei modelli idrodinamici a moto vario che solitamente vengono utilizzati per la delimitazione delle aree di esondazione; nel caso specifico sono demandate a determinare un'eventuale colata, fenomeno che potrebbe manifestarsi in occasione di eventi pluviometrici estremi.

4.1 Geolitologia, uso del suolo e CN

Le carte della litologia e dell'uso del suolo del bacino idrografico permettono di definire la capacità drenante del sistema suolo-soprassuolo e di procedere contestualmente alla determinazione dello ietogramma efficace ai fini del deflusso superficiale. La suddivisione delle piogge viene effettuata attraverso il metodo SCS valutando il valore del parametro Curve Number (CN), indicatore dell'attitudine del complesso suolo-soprassuolo a produrre deflusso superficiale.

La carta dell'uso del suolo permette di caratterizzare la capacità di deflusso del soprassuolo, mentre la carta della permeabilità è rappresentativa del substrato geolitologico, che è dotato di una permeabilità primaria, collegata alle caratteristiche intrinseche della roccia, e di una permeabilità secondaria, rappresentativa dello stato di fratturazione. Le caratteristiche di permeabilità vengono sintetizzate in un unico indice che deriva dalla riclassificazione della carta geolitologica in quattro gruppi idrologici:

- A. *Permeabilità alta*, bassa capacità di deflusso, suoli con elevata infiltrabilità anche se completamente saturi, conducibilità idraulica alta (rocce calcaree fossilifere organogene molto fratturate, depositi alluvionali, falde e coni di detrito, tufi incoerenti, ceneri);
- B. *Permeabilità medio-alta*, suoli con moderata infiltrabilità se saturi, tessitura medio grossolana, conducibilità idraulica media (morene, coltri eluviali e colluviali, sabbie conglomerati e sabbioni cementati, rocce in genere molto fratturate);
- C. *Permeabilità medio-bassa*, suoli con bassa infiltrabilità se saturi, tessitura medio fine, conducibilità idraulica bassa (rocce sedimentarie compatte, rocce dolomitiche compatte, rocce calcaree compatte, rocce fratturate);
- D. *Permeabilità bassa*, alta capacità di deflusso, suoli con ridottissima infiltrabilità se saturi, suoli ricchi di argilla rigonfiante, conducibilità idraulica estremamente bassa (rocce eruttive intrusive e magmatiche, rocce argillose, rocce metamorfiche).

		CN			
CLASSE DI PERMEABILITÀ		A	B	C	D
USO DEL SUOLO	Fustaia densa di conifere	18	27	40	50
	Fustaia rada di conifere	23	32	50	55
	Ceduo scadente	35	45	58	68
	Lariceti, cembrete e larici-cembrete	40	48	63	75
	Pascoli nudi o arborati	37	50	68	75
	Prati e colture agrarie	41	47	65	76
	Improduttivo nudo	45	55	70	80
	Aree urbanizzate	80	85	90	95
	Rupi boscate	40	50	65	75
	Arbusteti e mughete	38	45	60	70
	Bosco di latifoglie	25	36	50	55
	Pinete di Pino silvestre e/o Pino nero	38	49	64	73
	Piste da sci	50	65	75	80
	Zone incendiate	70	75	80	88
	Laghi e corsi d'acqua	99	99	99	99
	Paludi e zone umide	90	90	90	90
	Ghiacciai	95	95	95	95

Tabella 4.1: Parametro CN in funzione dell'uso del suolo e della permeabilità.

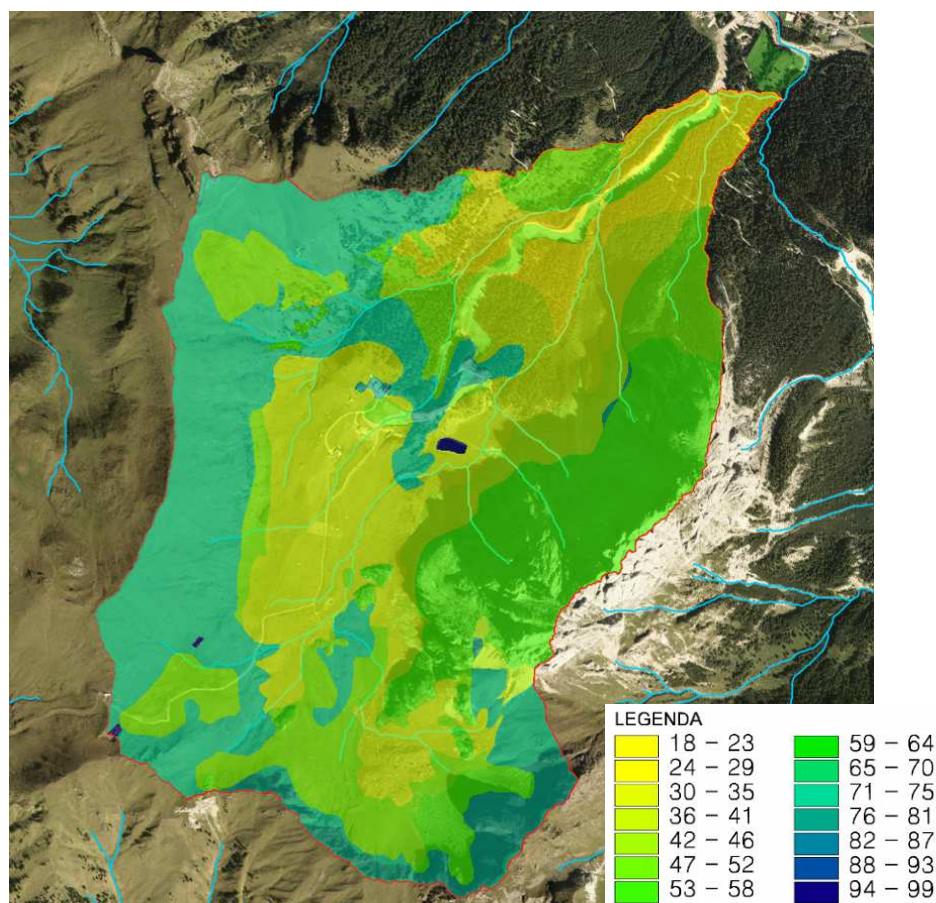


Figura 4.1: Carta del Curve Number per l'area del bacino imbrifero in esame.



4.2 Analisi idrologica

L'analisi idrologica ha per obiettivo la definizione dell'onda di piena di progetto per Tr 200 anni.

4.2.1 Modello geomorfologico AdB-ToolBox ¹

Il calcolo della portata al colmo è stato effettuato per mezzo di un modello afflussi-deflussi denominato AdB-ToolBox realizzato a cura del Ministero dell'Ambiente. L'estensione Analisi Idrologiche, compresa nel software, consente il calcolo delle portate di progetto su specifiche sezioni della rete idrografica. Si riportano di seguito alcune indicazioni presenti nel manuale d'uso [5][2].

Il modello adottato propone un'applicazione distribuita dell'approccio geomorfologico combinando le equazioni del Soil Conservation Service per il calcolo della pioggia efficace, il metodo cinematico per la propagazione del deflusso superficiale alla sezione di chiusura e un serbatoio lineare per la simulazione del deflusso di base. Si tratta di un approccio consolidato nella letteratura tecnica e nella pratica operativa le cui potenzialità nei settori della pianificazione territoriale e della progettazione di interventi di difesa idraulica sono note. È tuttavia opportuno evidenziarne alcuni limiti applicativi allo scopo di non incorrere in errate interpretazioni dei risultati forniti dallo strumento stesso. Lo schema modellistico adottato è di tipo semplificato ed è indirizzato a cogliere in modo concettuale i processi ritenuti più importanti nel determinare la risposta idrologica di piena di un bacino idrografico montano. Si ritiene che una superficie di 200-250 km² costituisca il limite superiore per l'applicazione del modello. Nei limiti di estensione territoriale indicati, risultati soddisfacenti possono essere ottenuti avendo a disposizione solo i seguenti livelli informativi:

- il modello digitale del terreno per definire la direzione di deflusso, l'area contribuyente, il reticolo idrografico;
- la carta del CN;
- i parametri cinematici della propagazione dell'onda di piena ossia la velocità media sul versante e nel canale, di norma rispettivamente prossimi a 0.02 m/s e 2 m/s;
- i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica.

È evidente, peraltro, che la qualità di tali livelli informativi costituisce un presupposto in grado di influenzare direttamente i risultati della simulazione idrologica. Un elevato standard qualitativo dei dati di input è conseguibile con idonee procedure di validazione, ma esso tuttavia non garantisce da solo la validità dei risultati della simulazione stessa. A tale obiettivo si può pervenire solo attraverso una fase di taratura e validazione dei parametri del modello da condurre sulla base

¹ AdB-ToolBox (versione 1.8) con Estensione ANALISI IDROLOGICHE (AI) - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Direzione Generale per la Difesa del Suolo.



di riscontri di natura oggettiva principalmente costituiti da registrazioni idrometriche di eventi di piena realmente accaduti. Tale fase non può che essere messa in atto dagli utenti con specifico riferimento all'area di indagine e utilizzando preferibilmente i quantili derivati da procedure di regionalizzazione statistica dell'informazione idrometrica. Di qualche aiuto può risultare anche la simulazione di alcuni singoli eventi di piena registrati utilizzando una delle opzioni previste dal modello.

4.2.2 Dati in input

Per le simulazioni effettuate nel corso del presente studio, i dati in input utilizzati sono i seguenti.

Il **modello digitale del terreno** (DTM) è un raster ottenuto dal rilievo LIDAR della Provincia Autonoma di Trento nel 2014 (aggiornato con voli 2018) caratterizzato da una risoluzione di 0,5 m e ricampionato a risoluzione 1 m per rendere meno pesanti le elaborazioni successive. L'operazione preliminare è stata quella di "depittare" il DTM con un algoritmo presente in AdB-ToolBox eliminando così le aree concave; fatto ciò, è stato possibile creare gli altri raster per il modello afflussi-deflussi denominati UPSLOPE e FLOWDIR che sono rispettivamente la carta delle aree cumulate e la carta delle direzioni di drenaggio.

La **carta del Curve Number** è ottenuta rasterizzando, con la medesima risoluzione di 1 m, la cartografia provinciale in formato shapefile della geologia e dell'uso del suolo; il file da utilizzare in AdB-ToolBox è denominato CN.

La scelta dei **parametri cinematici** (nel software indicati come "parametri avanzati") è stata guidata dalla calibrazione dei parametri cinematici del modello afflussi-deflussi effettuata dalla Provincia Autonoma di Trento nel 2003 [1]. Il modello richiede anche altri due parametri che rivestono un peso importante nella definizione dell'idrogramma di progetto per bacini di notevole estensione: "*ARF*" e "parametro geomorfologico *C*".

La variabilità spazio-temporale della precipitazione a scala di bacino è messa in conto tramite il coefficiente di riduzione dell'area (Area Reduction Factor, *ARF*). In mancanza di informazioni specifiche derivate da approfondimenti a scala locale, si fa riferimento alla funzione di riduzione dei nubifragi ricavata da Moisello e Papiri (1986). In tale relazione empirica il fattore di riduzione (inteso come rapporto tra l'altezza di pioggia media, relativa ad una data area *A*, e l'altezza di pioggia puntuale rappresentativa del bacino) risulta dipendente sia dall'area *A* che dalla durata della precipitazione *d*, secondo la relazione:

$$ARF = 1 - \exp \left(- 2.472 \cdot A^{-0.242} \cdot d^{0.6 - \exp \left(- 0.643 \cdot A^{0.235} \right)} \right)$$

Dove l'area è espressa in km², la durata in ore, e con $5 \leq A \leq 800$ km² e $15 \leq d \leq 12$ h.

Il Fattore geomorfologico *C* è un fattore di riduzione delle precipitazioni per grandi bacini, tale riduzione può inglobare fenomeni come l'effetto di laminazione dell'onda di piena e aspetti morfologici come la presenza di aree al di sopra di una certa quota (zero termico) che a causa della

temperatura non contribuiscono come le altre al deflusso superficiale. Le precipitazioni sono quindi moltiplicate per un fattore (x_{att}), dipendente dalla sola area del bacino A e applicato solo se l'area supera la soglia A_{th} :

$$x_{att} = 1 - C \cdot (A - A_{th})$$

Dove C è un parametro che assume valori normalmente compresi tra 0.0008 e 0.0013.

Per gli altri parametri per i quali non esistono in letteratura indicazioni specifiche, si sono mantenuti i valori di default suggeriti dal software.

I parametri scelti per il bacino imbrifero in esame, riportati nella Tabella 4.2, sono in linea con quanto suggerito in [1]. La classe AMC scelta è la 3, mentre lo ietogramma in input è stato scelto di forma triangolare in quanto tende a massimizzare il valore al picco della piena.

Velocità caratteristica di versante	0,05 ms ⁻¹
Velocità caratteristica di reticolo	2,0 ms ⁻¹
Valore di soglia per l'area drenata (min – max)	0,00 - 0,01 km ²
Forma dello ietogramma	Triangolare
Classe AMC	3.0
Step output dell'idrogramma	5 min

Tabella 4.2: Parametri cinematici utilizzati per l'analisi idrologica del bacino imbrifero in esame.

I valori delle curve di possibilità pluviometrica sono stati forniti dalla Provincia Autonoma di Trento - Dipartimento Protezione Civile e Infrastrutture - Servizio Prevenzione Rischi - Ufficio Previsioni e Pianificazione sotto forma di file raster. Si tratta di tre file raster (a_1 , n , CV) che coprono la superficie dei bacini imbriferi esaminati ciascuno dei quali descrive la distribuzione spaziale di un singolo parametro. Il modello scala-invariante utilizzato è quello di Gumbel e la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica è descritta dalla seguente equazione:

$$h_T(d) = a_1 \cdot \left(1 - \frac{CV \cdot \sqrt{6}}{\pi} \cdot (\varepsilon + y_T) \right) \cdot d^n \quad \text{con} \quad y_T = \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right)$$

con $h_T(d)$ valore di precipitazione caratterizzato da un tempo di ritorno T per una durata di pioggia d , n , CV e a_1 parametri stimati come di seguito riportato, ε numero di Eulero pari a 0,5772157.

I valori dei parametri n , CV e a_1 sono stati stimati sulla base dei dati delle altezze di pioggia massime annuali di durata compresa nell'intervallo 1-24 ore. I valori dei parametri n ed a_1 sono determinati tramite regressione lineare dei logaritmi delle medie campionarie delle altezze di pioggia massime annuali relative alle diverse durate rispetto ai logaritmi delle corrispondenti durate. Il valore del coefficiente di variazione globale CV è calcolato come media dei quadrati dei

coefficienti di variazione calcolati per i massimi annuali relativi alle durate comprese fra 1 e 24 ore. Per quanto riguarda gli scrosci, l'esponente di scala n si può ritenere costante sull'intero territorio trentino, con valore pari a 0,366.

Le procedure di analisi sono state applicate sulla base dei valori massimi annuali di precipitazione di breve durata registrati tra il 1923 ed il 2009 in 62 stazioni pluviografiche ubicate nel territorio provinciale. Dette 62 stazioni sono quelle caratterizzate da numerosità campionaria almeno pari a 15 anni per tutte le durate comprese nell'intervallo 1h-24h. Per quanto riguarda il problema di estrapolazione spaziale delle linee segnalatrici, al fine di rendere più affidabile tale valutazione nelle zone "di bordo" prossime ai confini amministrativi provinciali sono stati utilizzati dati di precipitazione massima annuale relativi a diverse stazioni ubicate in province limitrofe (Brescia, Bolzano, Belluno e Vicenza). I valori di pioggia di progetto utilizzati per il calcolo delle curve di possibilità pluviometrica sono indicati in Tabella 4.3.

Tempo [h]	Tr [anni]							
	2	5	10	20	30	50	100	200
0,25	13.0	16.7	19.1	21.4	22.8	24.5	26.7	29.0
0,50	16.8	21.5	24.6	27.6	29.4	31.5	34.5	37.4
0,75	19.4	24.9	28.6	32.1	34.1	36.6	40.0	43.3
1,00	21.6	27.7	31.7	35.6	37.9	40.6	44.4	48.2
2,00	28.5	36.6	41.9	47.1	50.0	53.7	58.7	63.6
3,00	33.6	43.1	49.4	55.4	58.9	63.2	69.1	74.9
4,00	37.7	48.4	55.4	62.2	66.1	71.0	77.5	84.1
5,00	41.2	52.9	60.6	68.0	72.3	77.6	84.8	92.0
6,00	44.4	56.9	65.2	73.2	77.8	83.5	91.2	98.9
7,00	47.2	60.5	69.4	77.9	82.7	88.8	97.1	105.3
8,00	49.8	63.9	73.2	82.2	87.3	93.7	102.4	111.1
9,00	52.2	67.0	76.8	86.1	91.5	98.3	107.4	116.5
10,00	54.5	69.9	80.1	89.9	95.5	102.5	112.0	121.5
11,00	56.6	72.6	83.2	93.4	99.2	106.5	116.4	126.2
12,00	58.6	75.2	86.2	96.7	102.8	110.3	120.6	130.7
13,00	60.5	77.7	89.0	99.9	106.1	113.9	124.5	135.0
14,00	62.4	80.0	91.7	102.9	109.3	117.4	128.3	139.1
15,00	64.1	82.3	94.3	105.8	112.4	120.7	131.9	143.0
16,00	65.8	84.4	96.7	108.6	115.4	123.9	135.3	146.8
17,00	67.4	86.5	99.1	111.2	118.2	126.9	138.7	150.4
18,00	69.0	88.5	101.4	113.8	121.0	129.9	141.9	153.9
19,00	70.5	90.4	103.7	116.3	123.6	132.7	145.0	157.2
20,00	72.0	92.3	105.8	118.7	126.2	135.5	148.0	160.5
21,00	73.4	94.2	107.9	121.1	128.7	138.2	151.0	163.7
22,00	74.8	95.9	109.9	123.4	131.1	140.8	153.8	166.8
23,00	76.1	97.7	111.9	125.6	133.5	143.3	156.6	169.8

24,00	77.4	99.4	113.9	127.8	135.8	145.8	159.3	172.7
-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabella 4.3: Altezza di pioggia di progetto [mm] per vari tempi di ritorno per il bacino in esame.

Con questi valori di altezza di pioggia si ricavano le curve di possibilità pluviometrica illustrate in Figura 4.2, che corrispondono ai valori di a ed n indicati in Tabella 4.4.

Tempo di ritorno [anni]	a	$n (<1h)$	$n (>1h)$
200	48,155	0,366	0,402

Tabella 4.4: Valori di a e n della curva di possibilità pluviometrica per il bacino in esame per un tempo di ritorno di 200 anni.

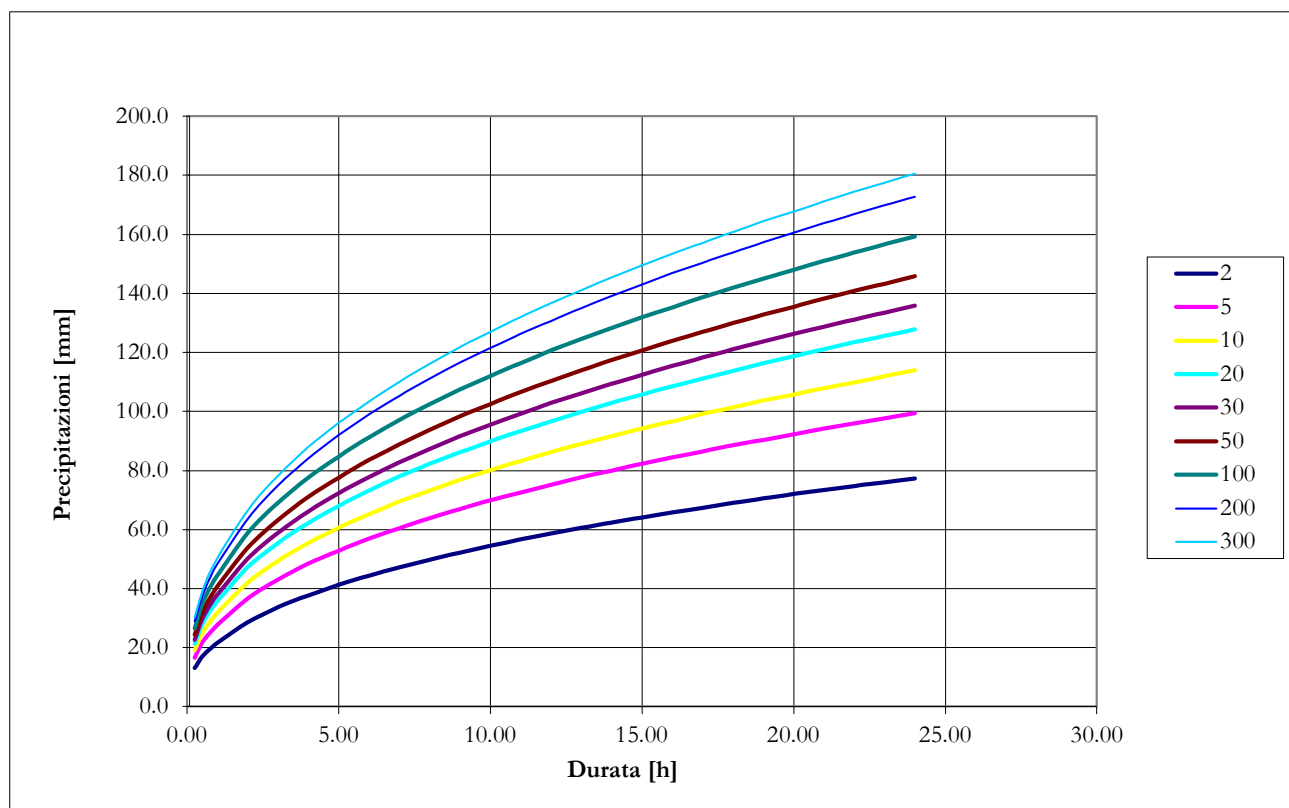


Figura 4.2: Linee di possibilità pluviometrica per il bacino idrografico in esame chiuso a quota 1495 m s.l.m.

4.3 Idrogramma liquido

Il codice AdB-ToolBox ha permesso di valutare l'idrogramma liquido di piena con Tr 200 anni per il bacino esaminato e di stimare la portata al picco.

Bacino rio Ciampac	Tr 200 anni
Portata al picco [m ³ /s]	12,24

Tabella 4.5: Portata teorica al colmo della piena per un tempo di ritorno di 200 anni per il bacino in esame chiuso a quota 1495 m s.l.m.

Lo ietogramma di progetto e l'idrogramma di piena per il bacino imbrifero analizzato sono riportati nelle figure che seguono. Preme precisare che l'idrogramma sotto riportato è l'idrogramma liquido, cioè non comprendente un'eventuale presenza di trasporto solido che sarà invece computata nel paragrafo 4.4.

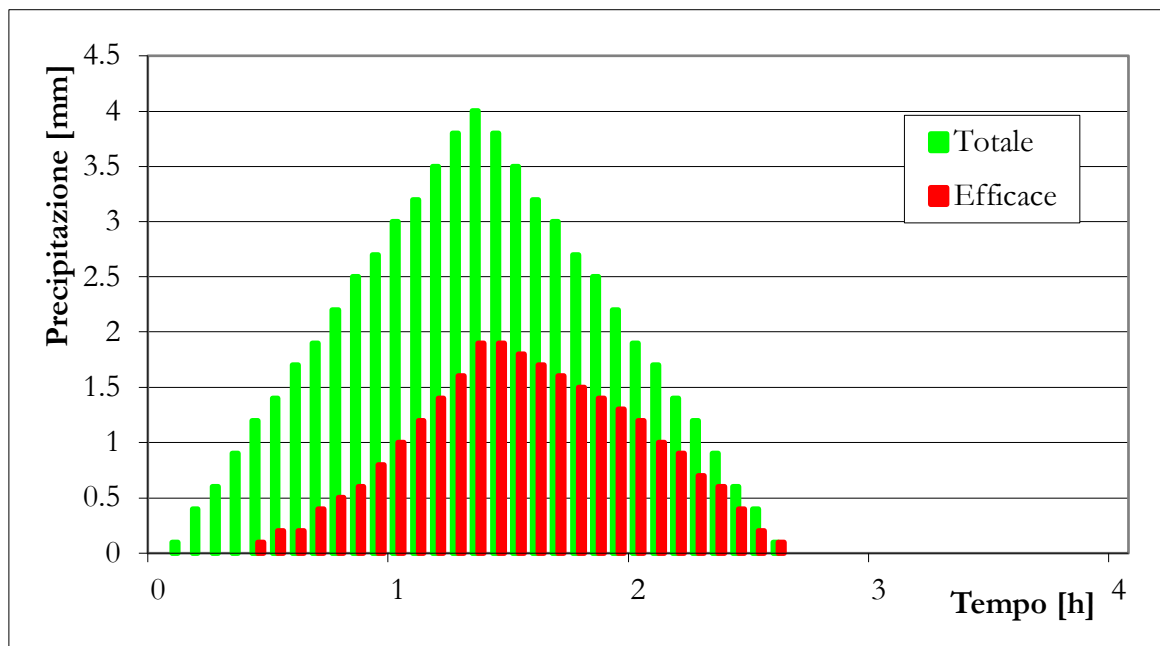


Figura 4.3: Tr 200 - Ietogramma di progetto utilizzato per la determinazione dell'idrogramma di piena per il bacino imbrifero in esame; P_{tot} indica la pioggia totale (costante), P_{exc} la pioggia efficace.

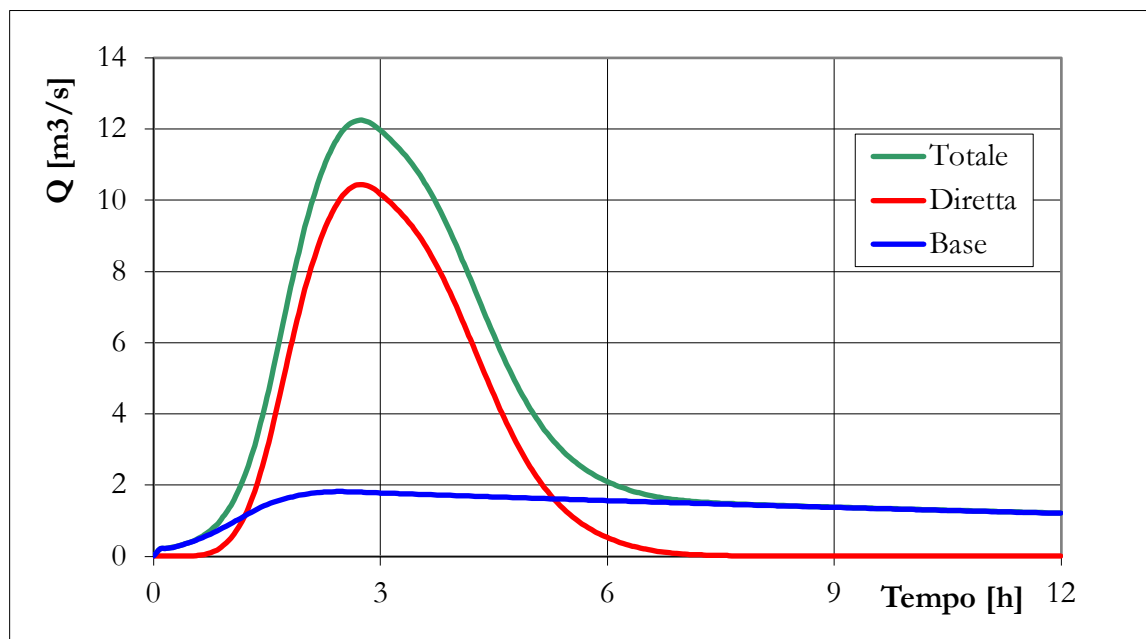


Figura 4.4: Tr 200 - Idrogramma di piena per il bacino in esame chiuso a quota 1495 m s.l.m.; Q_{bas} indica il deflusso profondo, Q_{dir} quello superficiale, Q_{tot} quel totale somma dei precedenti.



4.4 Idrogramma colata

La conoscenza dell'idrogramma liquido di progetto, rappresentato nel paragrafo precedente, permette di definire, attraverso il metodo volumetrico, l'idrogramma della colata; ne segue la necessità di definire il sedimentogramma della colata, ossia l'andamento della concentrazione volumetrica del sedimento nel corso dell'evento.

Le colate come quella in esame sono fenomeni di piena caratterizzati da una concentrazione volumetrica del sedimento superiore al 15%. Nella letteratura scientifica esistono diverse modalità di classificazione del fenomeno, che si possono ricondurre alle proprietà della matrice fluida – concentrazione volumetrica del sedimento e concentrazione di materiale fine coesivo [6]. Basse concentrazioni danno luogo a *mud flood* caratterizzato da elevate velocità di propagazione del fronte, mentre concentrazioni elevate ($C > 0,45$) danno luogo a colate di fango o granulari in presenza rispettivamente di matrice fluida coesiva o non coesiva.

Il sedimentogramma di progetto presenta un picco praticamente coincidente con il picco dell'idrogramma liquido, la concentrazione massima dell'idrogramma è del 18%, mentre la concentrazione minima è pari all'1%. La concentrazione media del picco sedimentogramma è pari all'incirca al 16,4%.

Secondo il metodo volumetrico, si fa uso della seguente espressione:

$$\frac{Q_{tot}}{Q_l} = \frac{C^*}{C^* - C_m}$$

dove:

- C^* rappresenta la massima concentrazione di massimo impaccamento del materiale costituente l'ammasso (0,65);
- C_m rappresenta la concentrazione volumetrica di equilibrio del fronte stazionario della colata in movimento.

La simulazione della colata è stata effettuata ipotizzando un evento estremo nell'ipotesi di alimentazione solida continua da monte.

Tali ipotesi riguardanti le concentrazioni della colata e le fonti di sedimento saranno affinate successivamente con l'acquisizione di informazioni più dettagliate di natura geologica. Tali dati permetteranno una più precisa simulazione del fenomeno anche in vista del dimensionamento delle opere di difesa.

Nella realtà la presenza del bosco che si è sviluppato al di sopra dei depositi presenti sul bacino e sul conoide tende ad inibire l'erosione del versante, limitandone l'alimentazione solida; ciò non toglie che potrebbero verificarsi eventi che in futuro potrebbero cambiare la copertura, a seguito ad esempio di un incendio o di una tempesta analoga alla tempesta Vaia.

Nella figura che segue si mostrano i vari idrogrammi ottenuti con il metodo volumetrico. Dall'integrale delle curve ottenute si stima che il volume complessivo della colata (liquido + solido, curva blu) sia pari a 104500 m^3 , mentre il volume che ci si attende venga depositato presso la zona di analisi sia pari a circa 20300 m^3 (solido, curva blu meno curva azzurra). Ne risulta quindi che la colata di detrito ipotizzata ha un bacino imbrifero di $3,966 \text{ km}^2$, e un volume di materiale movimentabile stimato in 20300 m^3 .

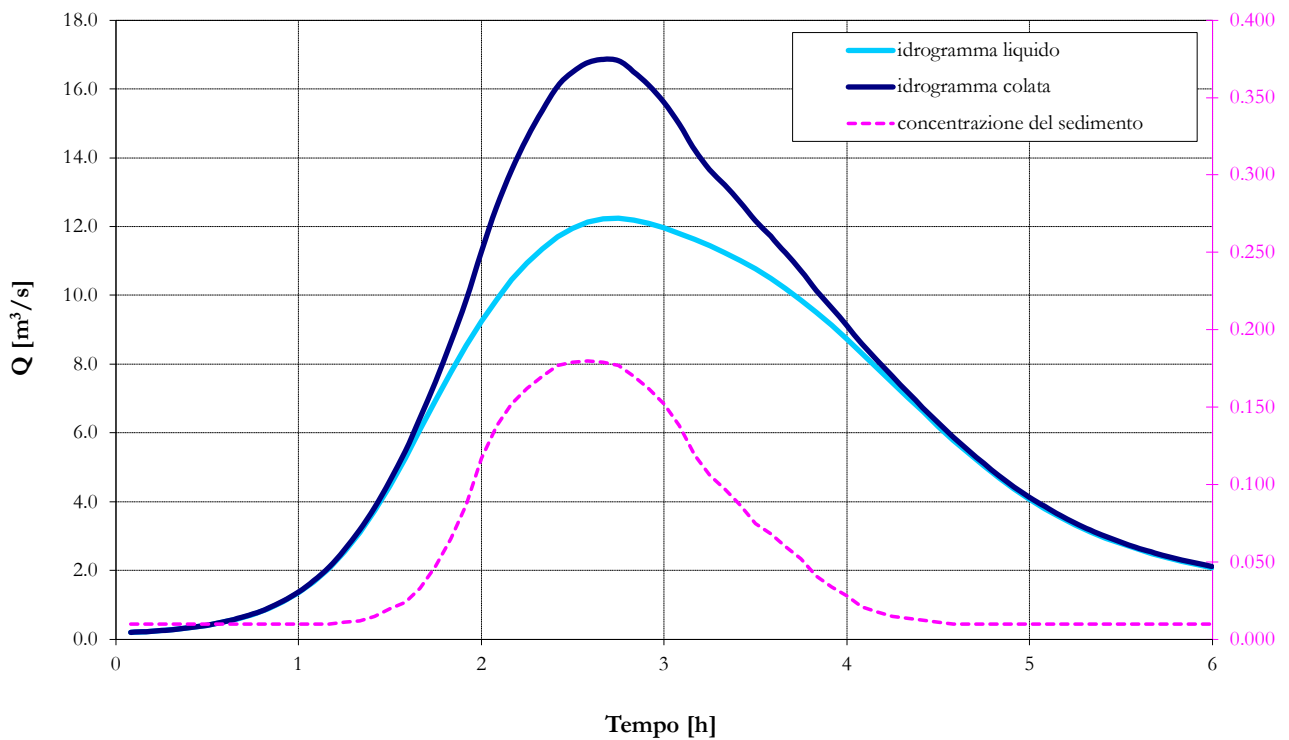


Figura 4.5: Idrogramma liquido, idrogramma della colata e sedimentogramma di progetto per un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Per quanto riguarda i volumi mobilitati dalla simulazione della colata detritica, questi appaiono in linea con quanto risulta da dati storici relativi a bacini presenti nell'area del Triveneto, vedasi Figura 4.6.

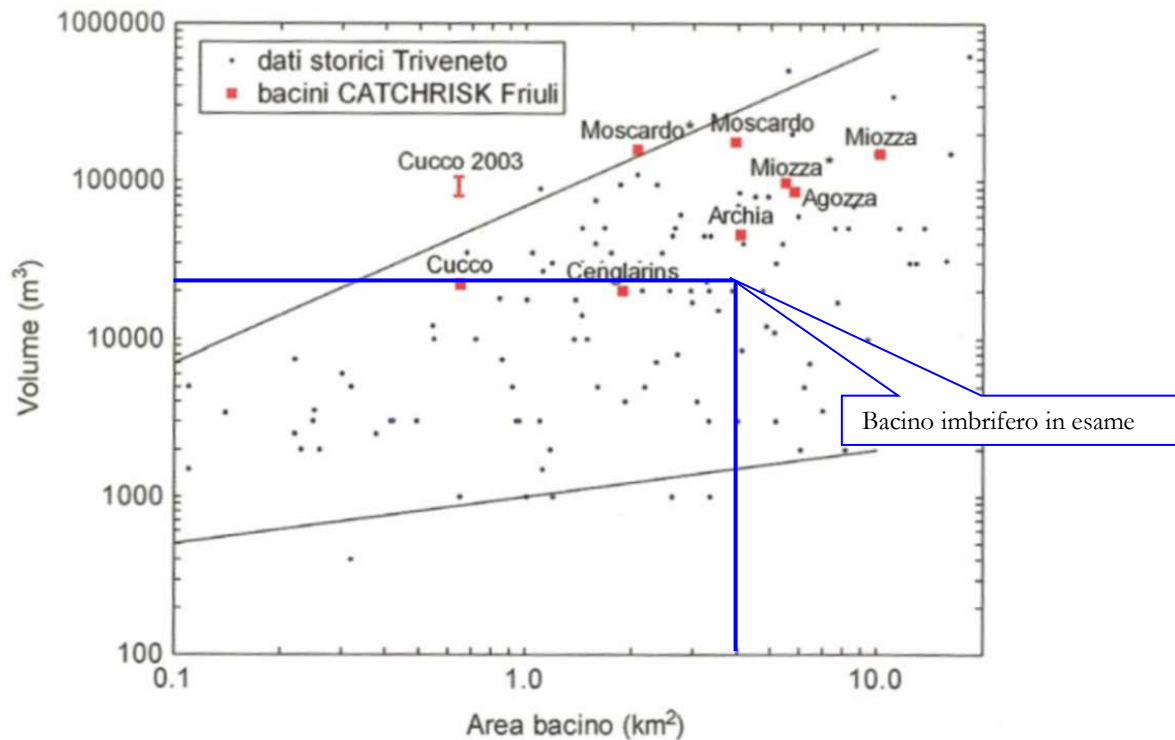


Figura 4.6: confronto fra valutazioni di terreno dei volumi mobilizzabili ed eventi storici documentati nei bacini dell'Italia nordorientale. Viene indicata la posizione del bacino in esame in base all'area dello stesso bacino e del volume mobilizzato.

Come già accennato l'ampiezza della zona di ricarica di sedimento è in grado di garantire il volume della colata detritica di progetto stimata, la quale sarà alla base delle simulazioni 2D.

La tipologia e il meccanismo di colata che si potrebbe verificare è quello classico di franamento dai versanti della zona di distacco con conseguente temporaneo sbarramento dell'alveo del rio. Tale sbarramento induce un accumulo di acqua e detriti a monte e nel momento in cui la spinta dell'acqua vince questo ostacolo si ha l'innesco della colata di acqua mista a sedimento. Si può quindi concludere che la tipologia di colata, i volumi coinvolti e il meccanismo di formazione/alimentazione della stessa siano da ritenersi plausibili per l'area di studio.

5 ANALISI GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA E VALUTAZIONE SUI VOLUMI SOLIDI MOBILIZZABILI DAL RIO CIAMPAC

Nell'ambito di valutazioni di carattere morfologico evolutivo nell'area a valle della confluenza del Rio Ciampac e Rio Contrin l'anno scorso sono stati eseguiti sopralluoghi lungo il bacino del Rio Ciampac con l'intento di valutare le dinamiche di mobilizzazione del sedimento da parte del Rio medesimo. Elementi ricercati erano la presenza di accumuli di detrito o di materiale facilmente asportabile presente in alveo o in prossimità di esso, la presenza di dinamiche geomorfologiche attive significative che possono facilmente raggiungere la sede torrentizia e le evidenze morfologiche sia erosive che deposizionali di attività direttamente connesse con il torrente.

Dal punto di vista geomorfologico il bacino idrologico esteso per circa 4 km² risulta caratterizzato da uno sviluppo NE-SW, con marcate differenze tra il versante orientale (dove si eleva la cima del Colac, 2715 m s.l.m.) caratterizzato da forme più aguzze ed estese pareti rocciose e quello occidentale-meridionale, con pendenze più blande e affioramenti rocciosi decisamente meno sviluppati. È riconoscibile un settore centrale semi-pianeggiante a quote elevate che termina approssimativamente presso il Rifugio Ciampac (2170 m s.l.m.), prima di passare al dominio geomorfologico di versante direttamente affacciato sulla Val di Fassa, che raccorda questa porzione più elevata della valle del bacino con la zona della sezione di chiusura, ubicata a circa 1500 m s.l.m. Il Rio Ciampac attualmente non confluisce direttamente nel Torrente Avisio (come invece avveniva in epoche passate ed evidente per la presenza di diversi paleo-solchi erosivi) ma si inserisce nel Rio Contrin, circa 200 m prima che quest'ultimo confluisca nel Torrente Avisio. Il settore deposizionale legato al Rio Ciampac è quindi difficilmente distinguibile da quello legato al Rio Contrin; se ne sottolinea solamente la limitata estensione in relazione all'estensione del bacino idrografico.

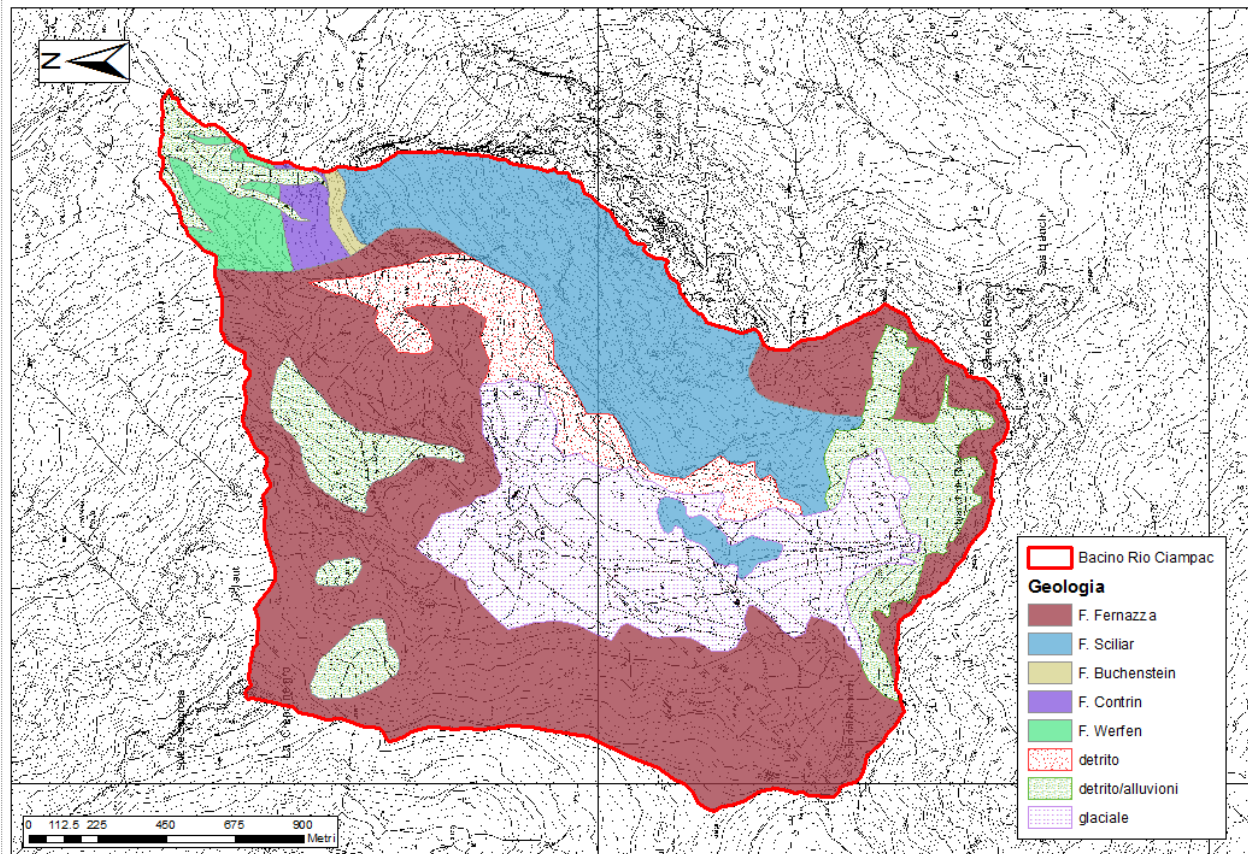


Figura 5.1: Carta geologica del bacino idrologico del rio Ciampac.

Le mesoforme del bacino riflettono abbastanza bene le differenze geologiche (Figura 5.1). I versanti orientali sono infatti caratterizzati dalla Formazione dello Sciliar (dolomie grigie) mentre quelli meridionali e occidentali dalla Formazione di Fernazza (insieme di prodotti vulcanici e vulcanoclastici); il vallone centrale risulta invece riempito da depositi quaternari, legati sia allo smantellamento dei versanti circostanti (depositi colluviali e gravitativi) che a dinamiche relitte (depositi glaciali legati all'ultimo massimo glaciale). Il versante a valle del Rifugio Ciampac è invece caratterizzato dalla successione sedimentaria triassica, con formazioni miste calcareo-dolomitiche e terrigene (Formazione di Buchenstein, Contrin e Werfen). Nei pressi della sezione di chiusura prevalgono ovviamente depositi legati alle dinamiche torrentizie (Figura 5.2).

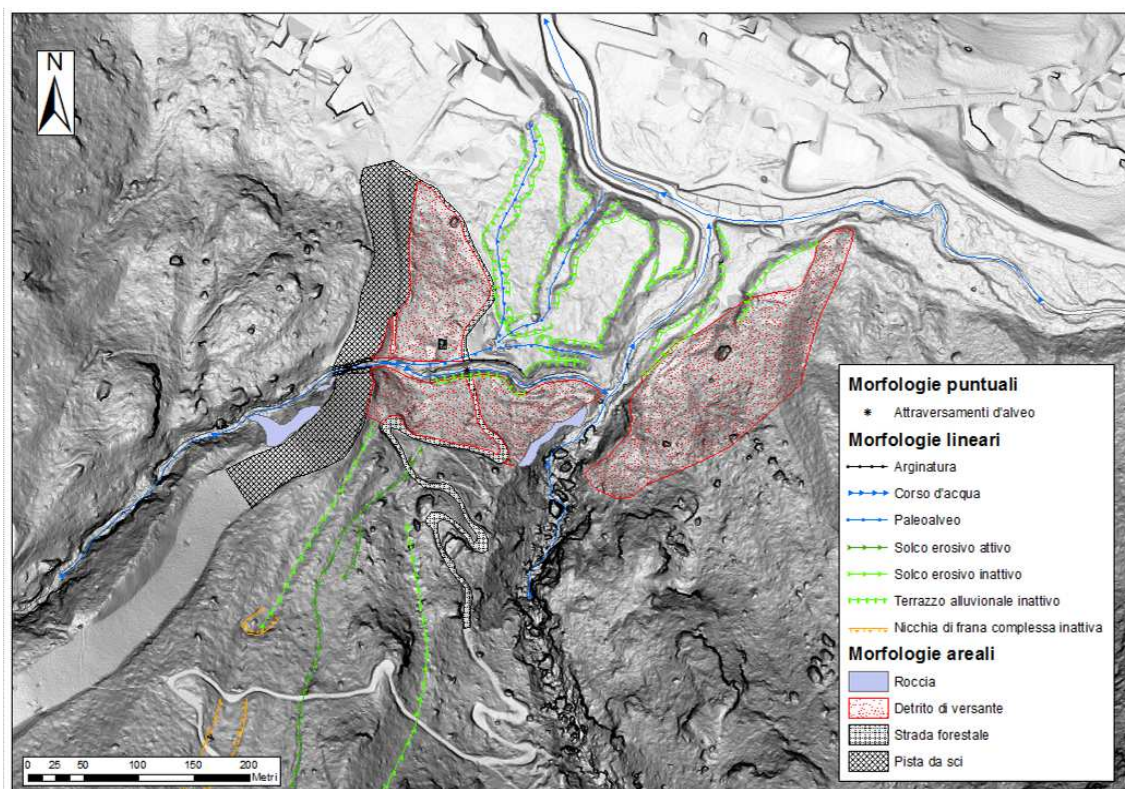


Figura 5.2: Modello digitale del terreno con elementi geomorfologici significativi del settore prossimo alla sezione di chiusura.

Relativamente alle dinamiche più strettamente d'alveo e discendendo il bacino (Figura 5.3) si nota come tutta la porzione più elevata del bacino idrografico (ovvero quella soprastante i 2000 m di quota circa) non possa contribuire dal punto di vista del materiale solido agli eventi che si sviluppano presso la confluenza. Sui versanti si notano conoidi detritici dovuti a colate detritiche e la disponibilità di materiale sciolto fine è significativa ma l'ampia piana impedisce la connessione tra le sorgenti di sedimento e il reticolo idrografico principale.

A valle di questo ripiano, pur con l'importante intervento di rimodellamento antropico legato alle piste da sci, comincia a delinearsi un alveo torrentizio che convoglia il deflusso superficiale. Dal Colac, a circa 1750 m di quota, confluisce in alveo un altro canale erosivo, che attraversa intubato la pista da sci. Tale solco scorre in corrispondenza di un significativo deposito detritico di origine mista (crolli di singoli blocchi e in massa, colate detritiche); in tale area la disponibilità di sedimento è sicuramente illimitata, sono chiaramente visibili anche forme di erosione/deposizione legate ad episodi di colata detritica ma la capacità di asportazione del materiale è limitata del flusso idrico.

Allontanandosi dalle pareti rocciose impermeabili, parte del flusso liquido si infila infatti nel detrito grossolano, portando alla diminuzione del flusso e alla deposizione del materiale solido. Eventi più significativi possono sicuramente andare più lontani, raggiungendo il sottopassaggio presso la pista da sci ma anche in questo caso è probabile che, a causa della ristrettezza del

passaggio, la maggior parte del materiale solido esca dall'alveo e venga deposta nei pressi della pista da sci.

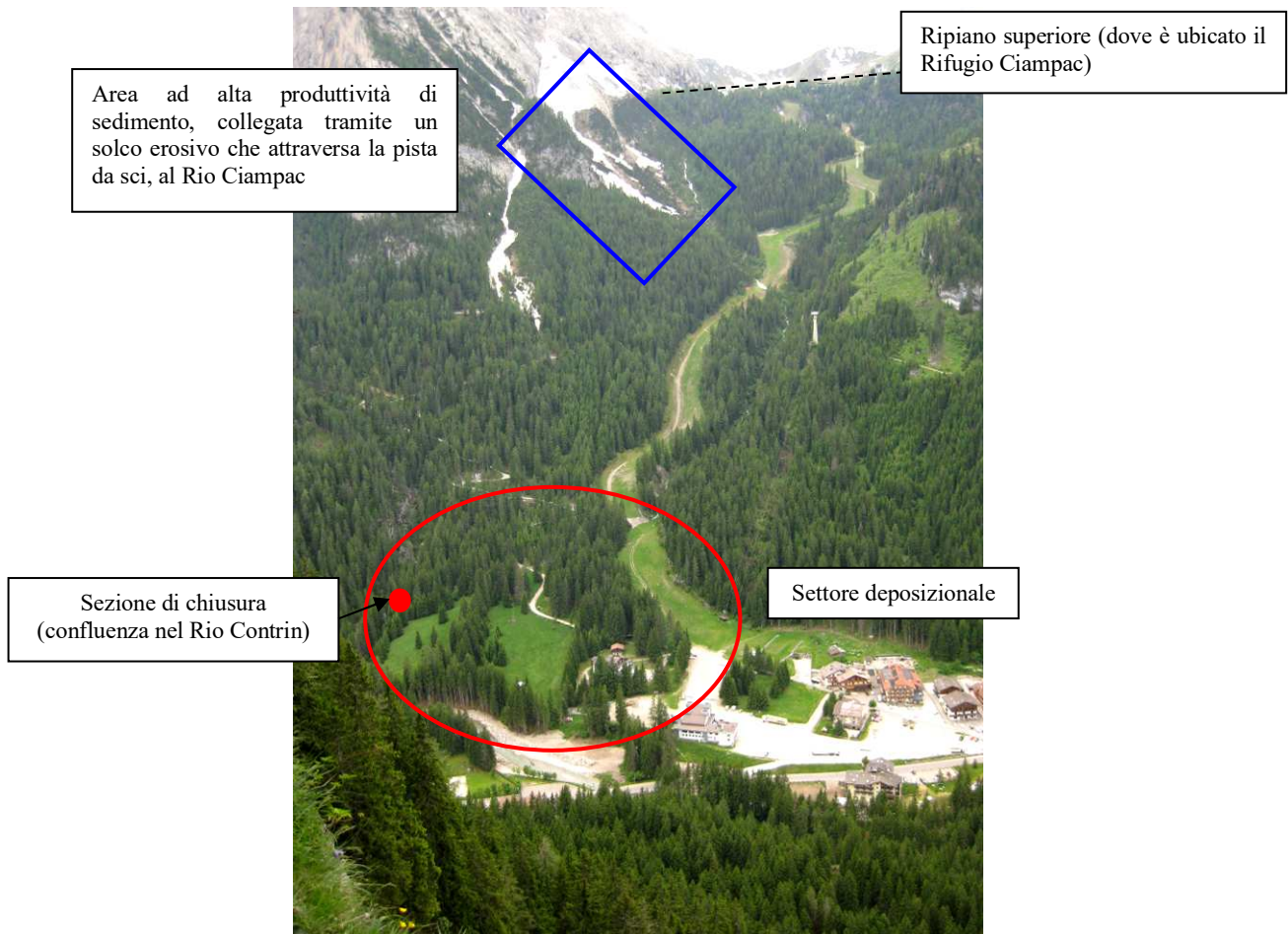


Figura 5.3: Vista d'insieme con dettagli della parte inferiore del bacino idrologico del Rio Ciampac.



Figura 5.4: SX: fotografia della piana superiore. Le dinamiche che si sviluppano lungo i versanti non sono connesse al reticolo idrografico. DX: affluente in destra idrografica del Rio Ciampac, che scorre su un deposito detritico potenziale fonte di sedimento.



Figura 5.5: SX: Alveo del Rio Ciampac, con fondo e parzialmente anche sponde in roccia. DX: Settore prossimo alla sezione di chiusura. Depositi torrentizi vegetati e stabilizzati.

Dopo la confluenza, comunque, l'alveo del Rio Ciampac progressivamente risulta meglio definito, con sponde erosive, scavate in materiale misto sciolto-roccioso, la cui altezza varia da pochi metri ad alcune decine di metri; il fondo alveo risulta talvolta impostato direttamente in roccia. Il sedimento che può arrivare in alveo è quindi soprattutto legato a fenomeni di instabilità (franette superficiali o limitati crolli in massa del substrato roccioso) delle sponde più che a fenomeni di aratura; si segnala comunque che le evidenze geomorfologiche legate all'attività erosiva del torrente sono generalmente sempre modeste. Si arriva infine al nuovo sottoattraversamento della pista da sci, nei pressi della sezione di chiusura; le morfologie deposizionali recenti sono poche e integralmente vegetate con la presenza di alberi di alto fusto.

In base alle ortofoto e ai sopralluoghi in sito, alle morfologie e ai depositi osservati si ritiene solamente la parte alta del bacino soggetta a fenomeni di colata detritica; ai piedi del Colac, in particolare, si evidenziano diversi conoidi detritici legati a tali dinamiche. La geomorfologia della parte alta della valle impedisce però la connessione diretta tra questi settori ad elevata produttività di sedimento con il reticolo idrografico principale e le dinamiche che si instaurano in alveo sono di alluvione torrentizia.

Si può quindi concludere che alla sezione di sbocco, in base a considerazioni di carattere geomorfologico e con l'esclusione di ogni altro metodo di valutazione, è ragionevole attendersi eventi di alluvione torrentizia.



Classe	Pendenza alveo (°)	Materiale alveo	Sponde	Condizioni di stabilità	Apporto detritico unitario (m ³ /m)
A	20 - 35	Roccia	Non erodibili	Stabile (virtuale assenza di detrito)	0 - 5
B	10 - 20	Sottile strato di detrito o suolo sciolto su roccia	Non erodibili (roccia)	Stabile	5 - 10
C	10 - 20	Copertura detritica o morena	Altezza < 5 m	Stabile	10 - 15
D	10 - 20	Copertura detritica o morena	Detrito, altezza > 5 m	Angolo di riposo del materiale	15 - 30
E	10 - 20	Copertura detritica o morena	Detrito, altezza > 20 m	Sponde potenzialm. instabili (area in frana)	Fino a 200 (sorgente di detrito localizzata)

Figura 5.6: Valori indicativi dell'apporto detritico unitario per diversi tipi di alvei torrentizi (da Hungr et al., 1984).

Per definire un ordine di grandezza del materiale disponibile e mobilizzabile da parte del Rio Ciampac è stato applicato il metodo speditivo di Hungr et al. (1984) che sulla base di alcuni parametri (pendenza, materiale in alveo, etc.) permette di suddividere gli alvei torrentizi in classi e stimare quindi un apporto detritico medio per metro lineare di alveo (Figura 5.6). Per il Rio Ciampac sono stati individuati 8 tratti omogenei, visibili in Figura 5.7, suddivisi in base all'apporto detritico. Complessivamente si stima quindi che il Rio Ciampac sia in grado di mobilizzare circa 20.000 mc di materiale sciolto.

STIMA DEI VOLUMI TOTALI MOBILIZZABILI (considerando l'attivazione simultanea di tutte le sorgenti di sedimento)				
Nome tratto	Classi di Hungr	Apporto detritico per tratto (mc/m)	Lunghezza del tratto (m)	Apporto detritico per tratto (mc)
TRATTO 01	C	10	263	2628
TRATTO 02	B	5	545	2727
TRATTO 03	A	2.5	371	927
TRATTO 04	B	5	308	1541
TRATTO 05	C	10	203	2032
TRATTO 06	A	2.5	100	250
TRATTO 07	C	10	532	5320
TRATTO 08	C	10	508	5079
TOTALE				20.504

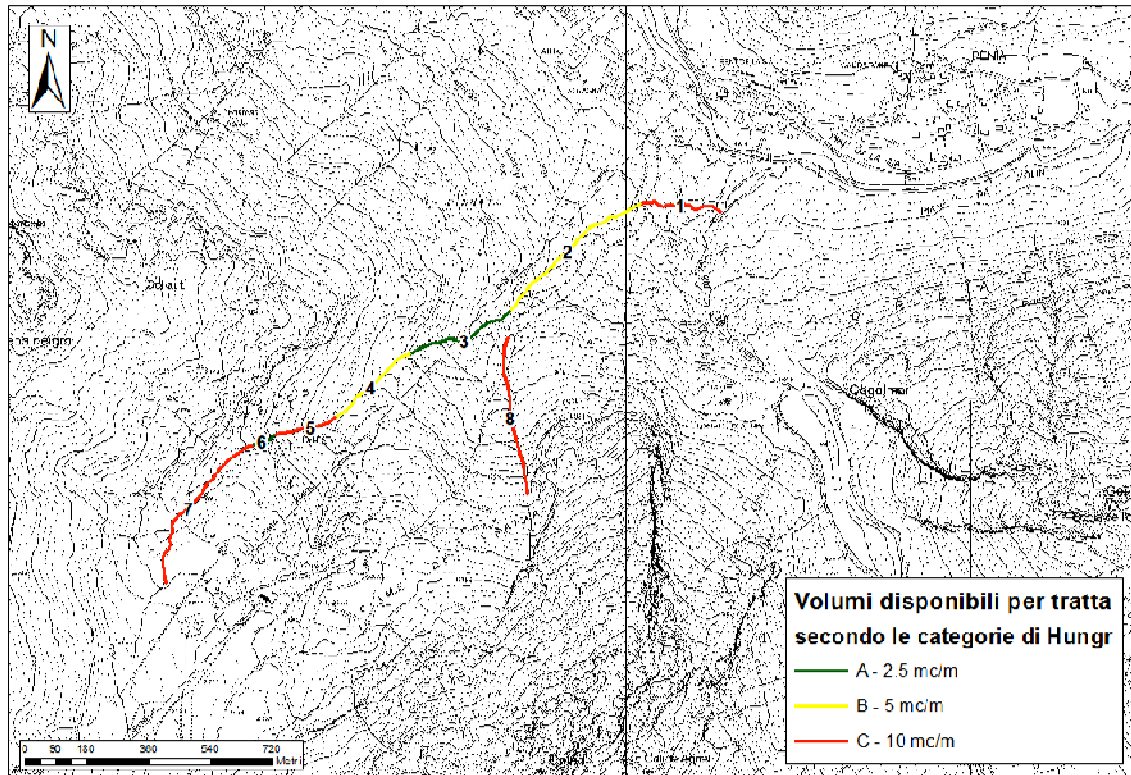


Figura 5.7: Suddivisione in classi (secondo Hungry) dei tratti di alveo riconoscibili del Rio Ciampac.

6 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON FLUMEN2D

Le simulazioni sono state eseguite tramite il codice di calcolo Flumen2D. Il codice di calcolo Flumen2D permette di valutare fenomeni di propagazione di onde impulsive in alvei a fondo fisso e mobile a concentrazione variabile, ossia con concentrazione funzione delle variabili idrodinamiche. Per il caso in esame si è scelta una modellazione su fondo fisso.

6.1 Fondamenti matematico-numeric del codice Flumen2D

Il codice di calcolo Flumen2D permette di valutare fenomeni di propagazione di onde impulsive in alvei a fondo fisso e mobile a concentrazione variabile, ossia con concentrazione funzione delle variabili idrodinamiche.

Le equazioni del modello matematico, scritte in forma conservativa, sono [7], [8]:

$$\mathbf{U}_t + \mathbf{F}_x + \mathbf{G}_y = \mathbf{H} + \mathbf{S}$$

dove la variabile conservata $\mathbf{U}$ e i flussi conservativi $\mathbf{F}$ e $\mathbf{G}$ nelle direzioni x e y, per quanto riguarda i bilanci delle due fasi liquida e solida, sono:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} h + z_b \\ (c\Delta + 1)uh \\ (c\Delta + 1)vh \\ ch + c_b z_b \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} uh \\ (c\Delta + 1)\left(u^2 h + g \frac{h^2}{2}\right) \\ (c\Delta + 1)uvh \\ cuh \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} vh \\ (c\Delta + 1)uvh \\ (c\Delta + 1)\left(v^2 h + g \frac{h^2}{2}\right) \\ cvh \end{bmatrix}$$

mentre il flusso non conservativo $\mathbf{H}$ e il termine sorgente $\mathbf{S}$ sono:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\partial z_b}{\partial x} (c\Delta + 1)gh \\ -\frac{\partial z_b}{\partial y} (c\Delta + 1)gh \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\tau_x}{\rho_w} \\ -\frac{\tau_y}{\rho_w} \\ 0 \end{bmatrix}$$

dove h è la profondità, u e v sono le componenti della velocità lungo le direzioni ortogonali x e y rispettivamente, z_b è la quota locale del fondo, c la concentrazione media sulla verticale, c_b la concentrazione solida dei sedimenti del fondo, ρ_w and ρ_s le densità dei sedimenti e dell'acqua, rispettivamente, $\Delta = (\rho_s - \rho_w)/\rho_w$ la densità relativa immersa dei sedimenti, $\tau = (\tau_x, \tau_y)$ il vettore dello sforzo tangenziale al fondo.

Le condizioni di chiusura relative alla concentrazione e allo sforzo al fondo vengono di seguito descritte. Per quanto riguarda la concentrazione, la formula di chiusura viene derivata dalla formula di trasporto di Meyer-Peter e Müller [9], definendo $q_s = (cu_h, cv_h)$. Come riportato in



precedenti lavori, l'equazione che definisce la concentrazione in funzione delle variabili idrodinamiche è la seguente:

$$c = c_b \beta \frac{w^2}{h}$$

dove $w^2 = u^2 + v^2$ è il modulo della velocità della corrente e β è un coefficiente, funzione della densità del materiale e dalla scabrezza del fondo:

$$\beta = \frac{8\sqrt{g}}{g\Delta c_b \sqrt{h}} \left(1 - \frac{g_{cr} \Delta d_{s0} h^{1/3}}{w^2 n_{td}} \right)$$

È possibile anche considerare la propagazione su fondo fisso, in questo caso la concentrazione risulta assimilata ad una variabile trasportata in modo avvevativo e la quota del fondo una variabile nota.

Per definire invece il valore dello sforzo sul contorno si è utilizzata la formulazione adottata da O'Brien e Julien [10] nel codice Flo2D:

$$\begin{aligned} \tau_x &= \tau_s \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} + \frac{K}{8h} \eta u + \frac{n_{td}^2}{h^{1/3}} \gamma_m u \sqrt{u^2 + v^2} \\ \tau_y &= \tau_s \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} + \frac{K}{8h} \eta v + \frac{n_{td}^2}{h^{1/3}} \gamma_m v \sqrt{u^2 + v^2} \end{aligned}$$

dove τ_s è lo sforzo di soglia, η è la viscosità dinamica, n_{td} è il coefficiente di resistenza dispersivo-turbolento γ_m è il peso specifico della mistura, K è un parametro di resistenza per deflussi laminari (variabile nell'intervallo 24÷50000 al variare della scabrezza del fondo).

Il parametro di Manning dispersivo-turbolento dipende dalla concentrazione volumetrica c e dal valore di Manning della superficie attraverso la relazione empirica:

$$n_{td} = n \cdot (1 + b \cdot e^{m \cdot c})$$

dove il valore dei coefficienti b e m è rispettivamente di 0.0538 e 6.0896.

Lo schema numerico di calcolo è conservativo, esplicito e ai volumi finiti, tipo Godunov. Il solutore delle equazioni del modello è shock-capturing (HLL) ed è quindi adatto all'analisi della propagazione di fenomeni impulsivi con correnti sia subcritiche che supercritiche.

L'aggiornamento temporale delle variabili conservate viene eseguito tramite il seguente bilancio ai volumi finiti, nel quale risulta già inclusa la lateralizzazione:

$$\mathbf{U}_{i,j}^{n+1} = \mathbf{U}_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\mathbf{F}_{i-\frac{1}{2},j} - \mathbf{F}_{i+\frac{1}{2},j} \right] + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[\mathbf{G}_{i,j-\frac{1}{2}} - \mathbf{G}_{i,j+\frac{1}{2}} \right] + \Delta t (\mathbf{H}_{i,j} + \mathbf{S}_{i,j})$$

La stabilità del metodo di calcolo viene garantita dal rispetto della condizione di Courant:

$$\Delta t = \frac{C_{eff} \min[\Delta x, \Delta y]}{\max[S_{3x}, |S_{1x}|, S_{3y}, |S_{1y}|]} \quad C_{eff} = 0.49$$

ove S è la celerità delle piccole perturbazioni.

6.2 Dati di input della modellazione 2D

6.2.1 Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni include la parte terminale del bacino idrografico considerato e il conoide fino al torrente Avisio.

Il dominio di calcolo viene rappresentato con una griglia a maglia quadrata di lato 1 m, sufficiente per schematizzare con adeguata accuratezza la parte terminale del bacino in esame. L'altimetria del dominio è ricavata dal rilievo Lidar realizzato dalla Società Incremento turistico Canazei (SITC) nel mese di settembre 2018, la cui risoluzione è di 1m, integrato con la conformazione dell'alveo del rio Ciampac in corrispondenza del ponte della pista da discesa estratta da un rilievo eseguito dalla medesima Società nell'ambito dei lavori di sistemazione del ponte stesso; questa integrazione si è resa necessaria in quanto il rilievo Lidar ovviamente non fornisce indicazioni in merito agli elementi che si trovano al di sotto del ponte, e quindi non permette di modellare adeguatamente l'alveo del rio.

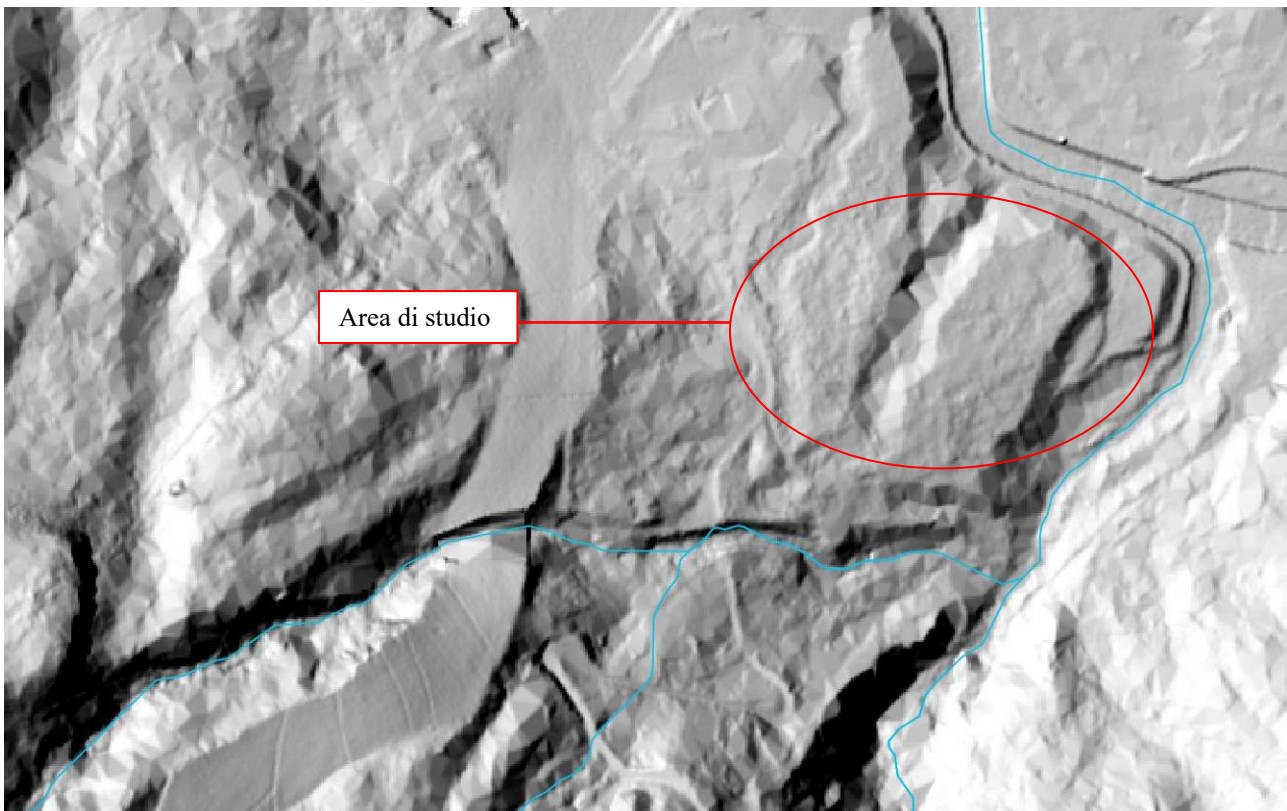


Figura 6.1: Estensione del campo di moto su ombre Lidar SITC 2018.

6.2.2 Condizioni al contorno

Nel caso in esame viene posta la condizione di moto localmente uniforme sul bordo del dominio di calcolo; tale condizione entra in gioco se la colata si propaga fino al confine del dominio di calcolo. La medesima condizione al contorno viene assegnata anche alla cella di calcolo dove viene immesso l'idrogramma di progetto.

6.2.3 Idrogramma di piena

L'idrogramma della colata viene assegnato alle celle di calcolo del dominio computazionale nel punto all'apice del conoide considerato. I valori di portata dell'idrogramma sono riportati in Figura 4.5.

6.2.4 Parametri numerici

Il programma valuta i flussi di massa e quantità di moto nelle direzioni x e y, quando almeno una delle due celle di calcolo presenta un tirante idrico superiore a $h_{\min \text{ flooding}}$; tale parametro è stato posto pari a 1 cm.

6.2.5 Parametri idraulici e reologici

Come è stato ricordato in precedenza, la chiusura fenomenologia dello sforzo tangenziale al fondo è stata definita tramite la relazione reologica di O'Brien e Julien [10]. Il parametro di resistenza, K , rappresentativo del termine di sforzo viscoso, è stato posto pari a 1000 (valore tipico per superfici erodibili con presenza di vegetazione). La viscosità dinamica, η , della mistura è stata scelta pari a 10 Pa s per i valori di concentrazione di progetto, come proposto in letteratura, [10] e [11]. La fase di arresto della colata e, quindi, il limite del deposito ed il suo spessore dipendono principalmente dal valore del parametro di soglia τ_s . Per massimizzare gli eventuali depositi o spessori in alveo si è scelto un valore pari a 100 Pa (vedasi [10] e [11]) che corrisponde ad una colata più coesiva, in grado di creare depositi di materiale di maggior spessore. Con tali valori di viscosità e sforzo al fondo si è voluta rappresentare la situazione più gravosa dal punto di vista del tirante in alveo pur tenendo presente che le velocità sarebbero risultate sottostimate; si ribadisce, però, che lo scopo del presente studio è la verifica della capacità dell'alveo di contenere la colata di progetto.

Gli sforzi dispersivo-turbolenti dipendono dal parametro m_{td} , che sulla base dei dati di letteratura è stato posto pari $0,05 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. Il valore di γ_m , peso specifico della mistura, è stato posto pari a 13 kN/m^3 valutato considerando la concentrazione media del picco della colata C_m pari a 0.18.

Per completezza di analisi si è sviluppata un'ulteriore simulazione modificando alcuni dei parametri sopra descritti al fine di simulare una colata maggiormente fluida; si è verificato che, a fronte di velocità di colata maggiori, i tiranti risultano leggermente inferiori alla simulazione iniziale che è stata quindi mantenuta come risultato finale a favore di sicurezza.



6.3 Risultati della modellazione 2D

Nel seguito viene riportata la mappa dello spessore di propagazione della colata [m] in ciascuna cella di calcolo per vari step temporali nello sviluppo della colata, adottando come sfondo le ombre del Lidar SITC 2018 e l'ortofoto 2015 PAT (vedasi figure successive).

Le simulazioni eseguite non hanno tenuto conto del possibile trasporto di legname da parte del flusso di piena del rio; tale evenienza risulta infatti difficilmente modellizzabile e quantificabile; un'eventuale presenza di elementi arborei di dimensioni superiori a 10 m all'interno del flusso iperconcentrato potrebbe creare un intasamento locale e determinare delle nuove direttrici del flusso. Dai sopralluoghi effettuati non sono emerse tuttavia aree in cui sono presenti elementi arborei di grandi dimensioni in situazione instabile nei pressi del compluvio.

Le simulazioni realizzate hanno evidenziato che nel tratto di rio lungo una sessantina di metri a valle del passaggio sotto alla pista, la sponda sinistra è al limite sufficiente per il transito della piena con elevato trasporto solido; il franco è inferiore ai 50 cm in più punti.

Si evidenzia che subito a valle del tratto critico la sponda sinistra del rio Ciampac è stata di recente sistemata tramite innalzamento della stessa, tanto che nella simulazione sviluppata è garantito un franco superiore ad 1 m (vedasi successiva Figura 6.10).

Inoltre, si segnala che anche immediatamente a monte dell'attraversamento della pista da discesa la sponda sinistra presenta una zona critica; infatti, vista la presenza del ponte e alla luce delle quote attuali della sponda non è possibile escludere che, in occasione di un evento di piena quale quello simulato, la sezione idraulica risulti parzialmente ostruita e il flusso in arrivo fuoriesca dall'alveo e si diriga direttamente verso valle lungo la pendenza della pista da sci, con eventuali ulteriori divagazioni in direzione dell'area oggetto di studio. Tale eventualità è da considerarsi come residua e l'eventuale fuoriuscita dall'alveo si può ipotizzare avvenga con spessori di propagazione limitati data la non elevata pendenza dell'area a valle e la sua notevole estensione planimetrica.

6.3.1 Espansione della colata a 0,5 ore dall'inizio dell'evento

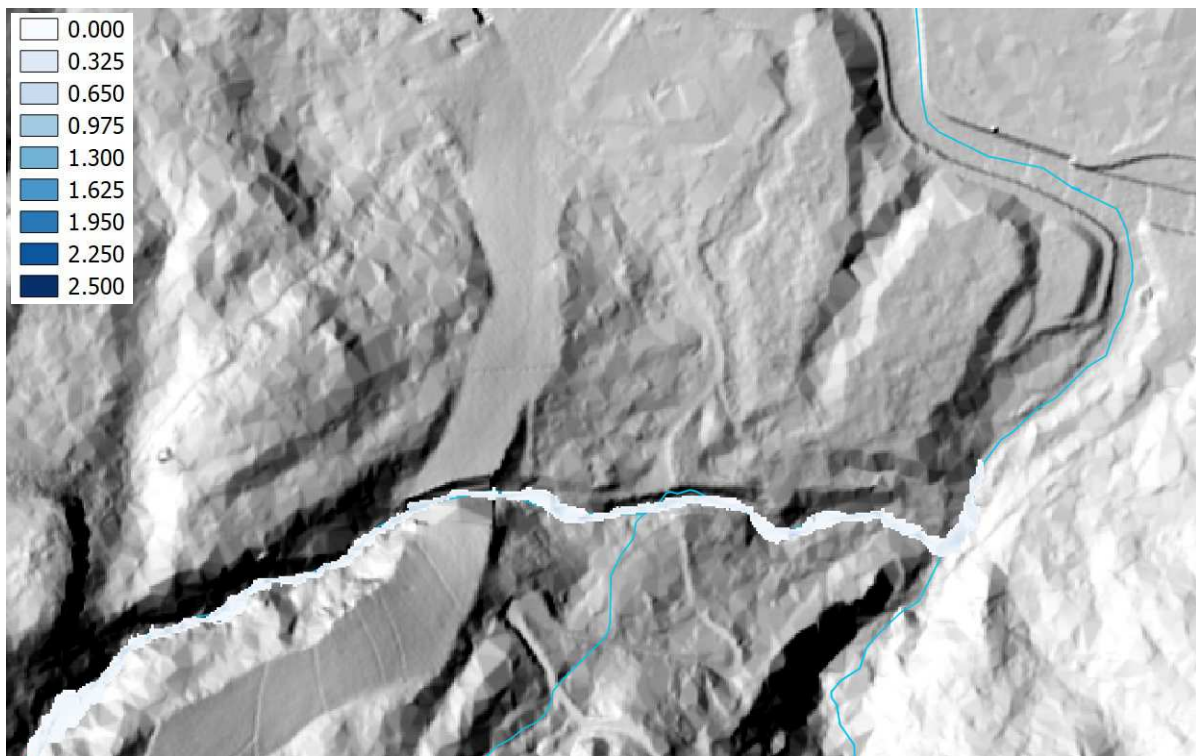


Figura 6.2: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su Lidar SITC 2018, per un istante temporale pari a 0,5 h dall'inizio dell'evento.



Figura 6.3: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su ortofoto, per un istante temporale pari a 0,5 h dall'inizio dell'evento.

6.3.2 Espansione della colata a 1 ora dall'inizio dell'evento

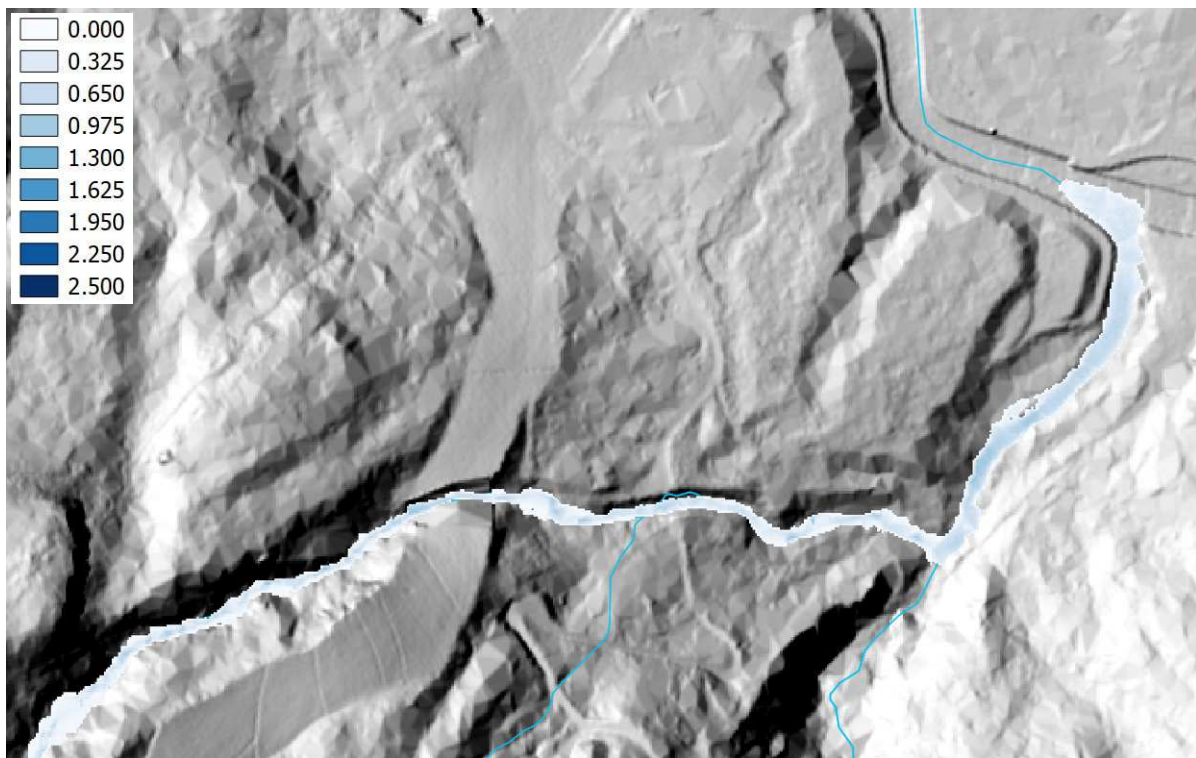


Figura 6.4: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su Lidar SITC 2018, per un istante temporale pari a 1 h dall'inizio dell'evento.



Figura 6.5: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su ortofoto, per un istante temporale pari a 1 h dall'inizio dell'evento.

6.3.3 Espansione della colata a 2 ore dall'inizio dell'evento

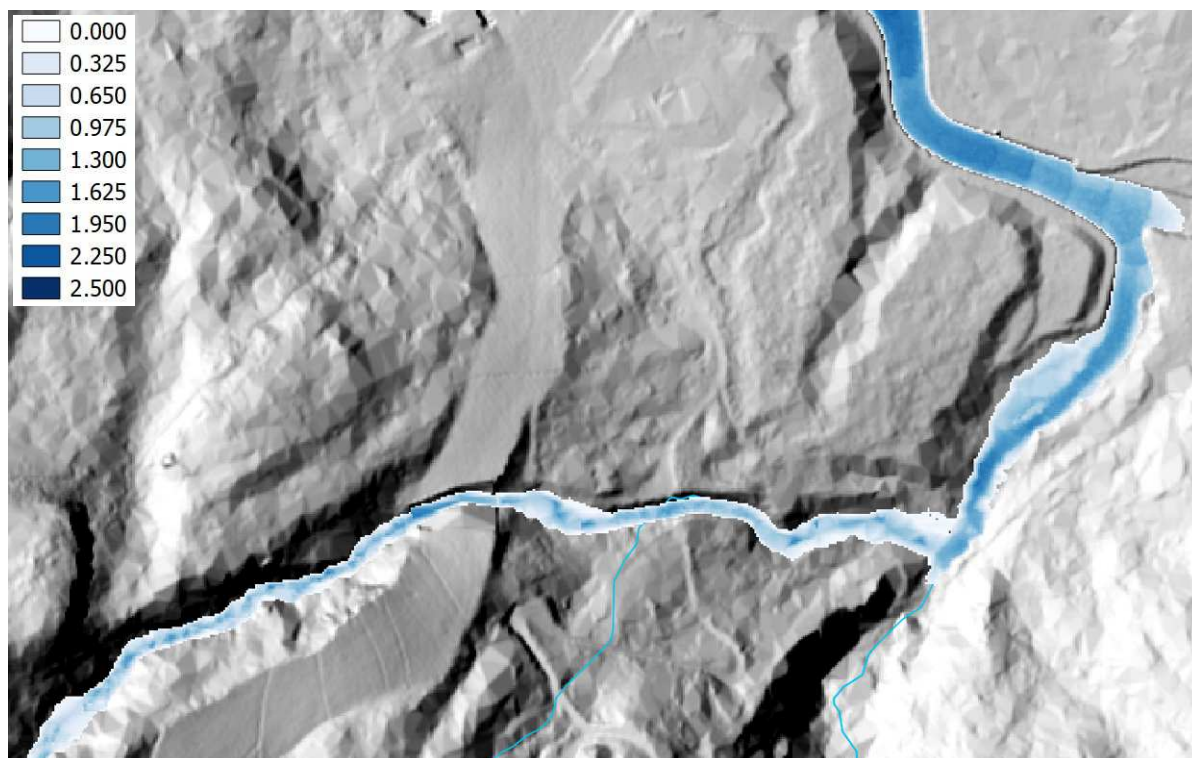


Figura 6.6: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su Lidar SITC 2018, per un istante temporale pari a 2 h dall'inizio dell'evento.



Figura 6.7: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su ortofoto, per un istante temporale pari a 2 h dall'inizio dell'evento.

6.3.4 Espansione della colata a 3 ore dall'inizio dell'evento, picco di portata

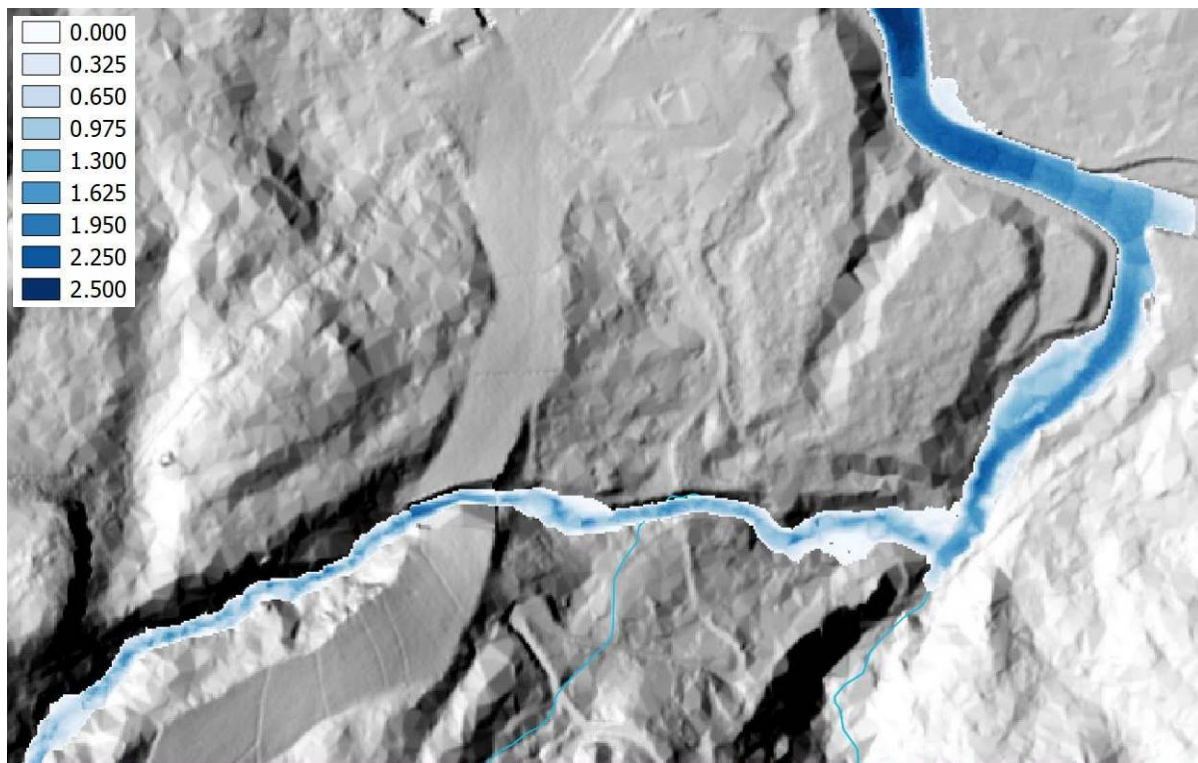


Figura 6.8: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su Lidar SITC 2018, per un istante temporale pari a 3 h dall'inizio dell'evento.



Figura 6.9: Spessore di propagazione della colata con TR 200 anni [m] su ortofoto, per un istante temporale pari a 3 h dall'inizio dell'evento.

6.3.5 Sezioni longitudinali e sezione trasversale

Per meglio comprendere l'andamento della colata lungo il percorso a monte dell'area in oggetto si è analizzato nel dettaglio il tratto di rio estraendo alcune sezioni longitudinali lungo la sponda sinistra e una sezione trasversale nel punto in cui la colata è più vicina al raggiungimento della quota arginale.

Il tratto in prossimità del nuovo ponte sulla strada sterrata comunale è stato realizzato negli scorsi anni e il tratto d'argine sinistro del rio è stato sistemato, per circa 30 metri a monte del ponte e circa 50 a valle, con una scogliera di notevoli dimensioni che garantisce un franco di almeno 1 metro.

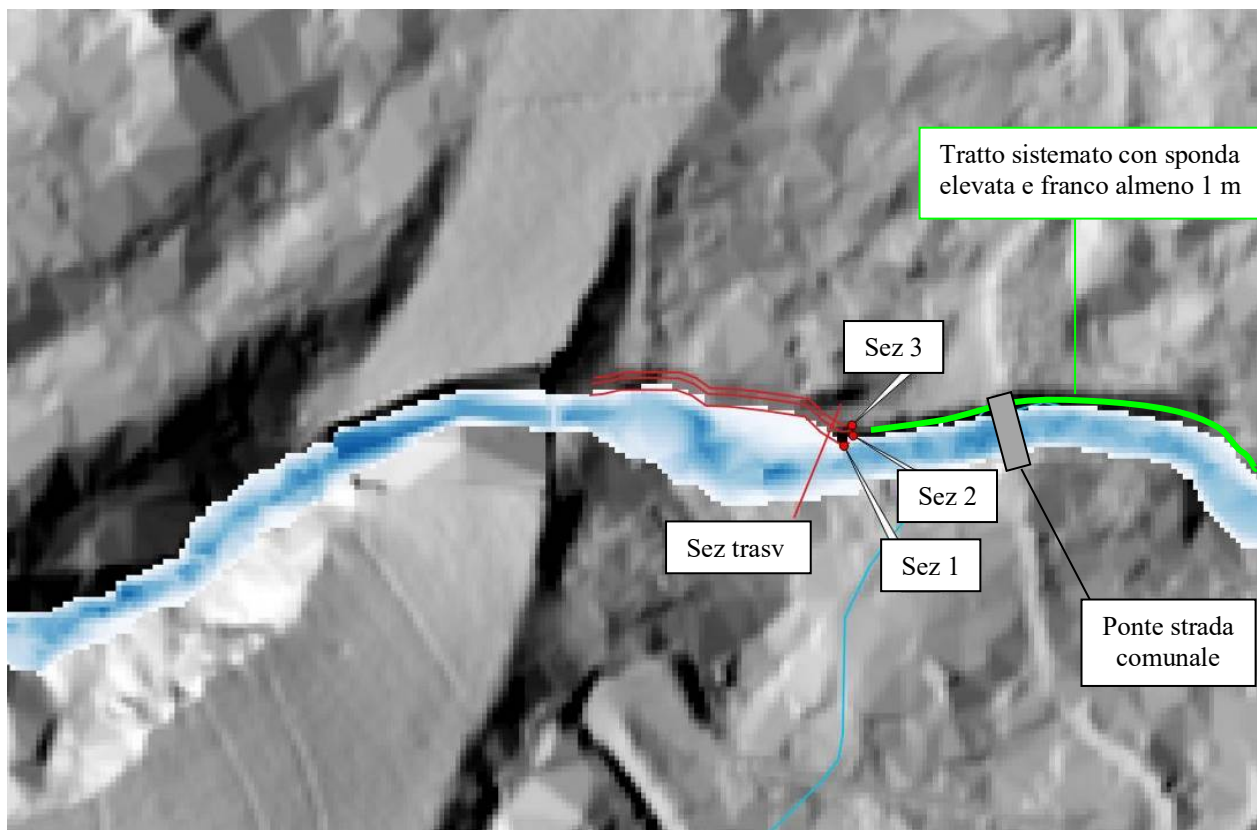


Figura 6.10: Spessore di propagazione della colata [m] in corrispondenza del picco di piena su Lidar SITC 2018; sono evidenziate le tracce delle sezioni longitudinali realizzate lungo la sponda sinistra e della sezione trasversale nella zona più critica del corso d'acqua.

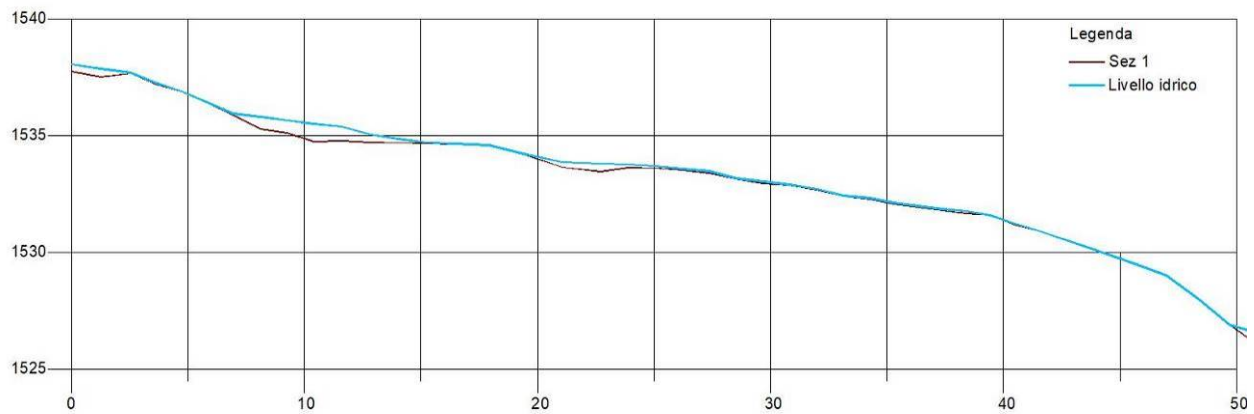


Figura 6.11: Sezione longitudinale n.1 con indicato il livello idrico in corrispondenza del picco di piena; la sponda non riesce a contenere la portata in arrivo.

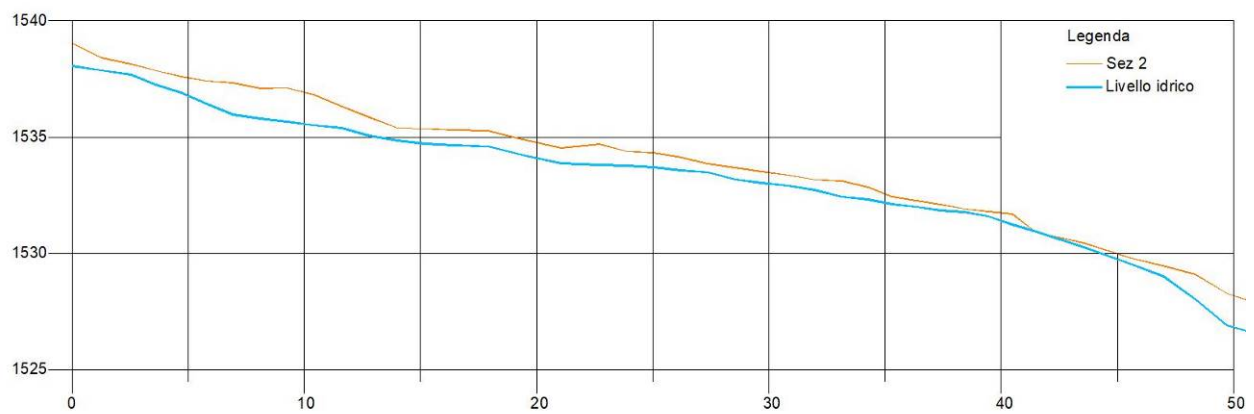


Figura 6.12: Sezione longitudinale n.2 con indicato il livello idrico in corrispondenza del picco di piena; in alcuni punti il franco idraulico è esiguo.

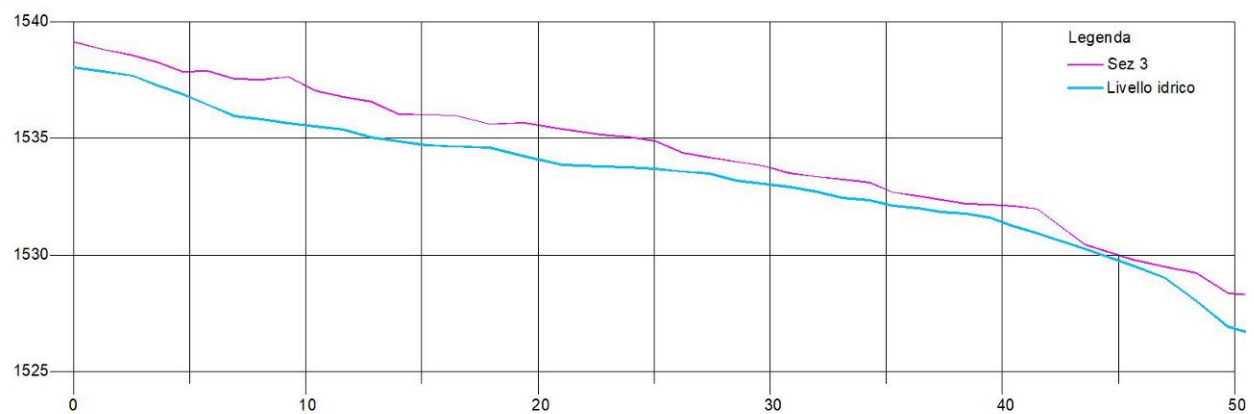


Figura 6.13: Sezione longitudinale n.3 con indicato il livello idrico in corrispondenza del picco di piena; in alcuni punti il franco idraulico è limitato a qualche decina di cm.

Nei pressi del punto in cui la colata è più vicina al raggiungimento della quota arginale si è tracciata una sezione trasversale al rio per valutare il franco arginale rispetto al tirante che si instaura in presenza dell'evento con $Tr = 200$ anni.

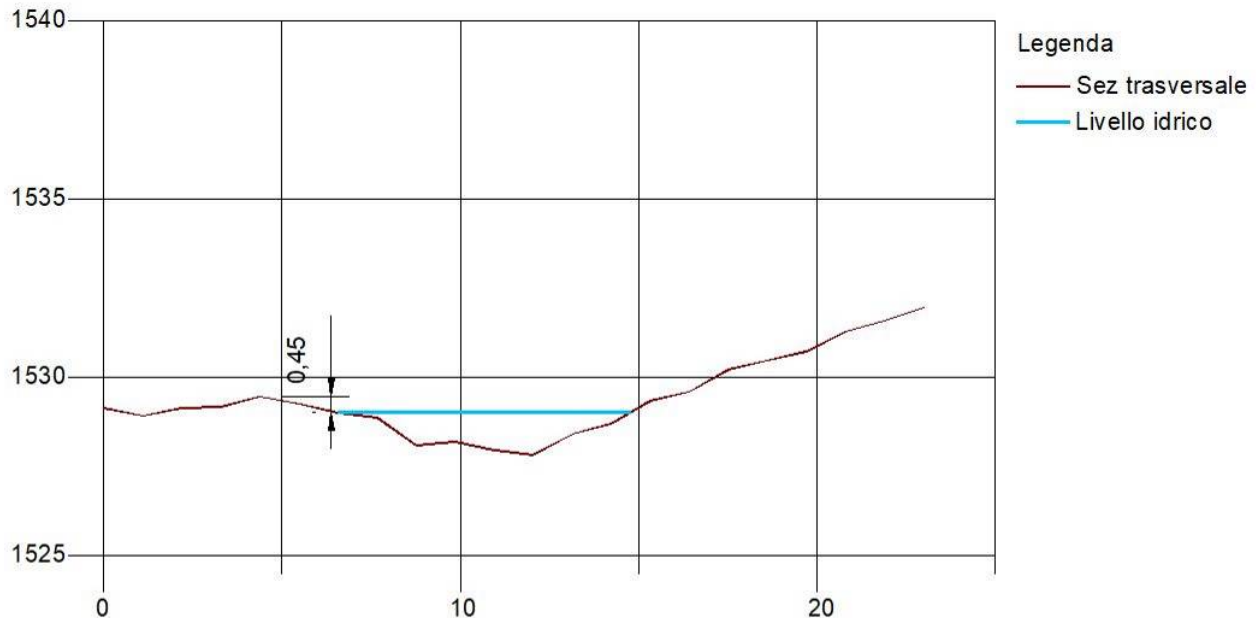


Figura 6.14: Sezione trasversale con indicato il livello idrico in corrispondenza del picco di piena; si nota come la sponda sinistra presenti un franco idraulico inferiore ai 50 cm.

La quota del pelo libero del flusso di colata è risultato quasi in grado di raggiungere le medesime quote della sommità arginale in più punti della sponda sinistra del rio Ciampac tra pista e ponte.

La situazione che si configura è tuttavia il risultato di ipotesi di progetto notevolmente cautelative e le eventuali fuoriuscite che si possono ipotizzare in caso di intasamento della sezione non si prospettano di particolare intensità data la notevole dimensione dell'alveo nel tratto oggetto di studio.

Il tratto di sponda in questione sarà con ogni probabilità oggetto di interventi di sistemazione futuri che porteranno ad un'eliminazione del problema in corrispondenza dell'alveo del rio.

7 INTERVENTO PER LA PROTEZIONE IDRAULICA DELL'AREA DI INTERESSE

Le simulazioni realizzate hanno evidenziato che il tratto di rio Ciampac da quota 1540 a quota 1528 m s.l.m., è in grado di smaltire senza fuoriuscite l'idrogramma solido-liquido di progetto costituito in sostanza da una colata con concentrazioni massime prossime al 18%.

L'area oggetto di studio, localizzata un centinaio di metri più a valle del compluvio non risulta interessata dal materiale trasportato dalla corrente e così anche le superfici a bosco circostanti. Tuttavia, si mette in evidenza che, nel tratto tra il passaggio del rio sotto alla pista e il ponte della strada sterrata comunale, la sponda sinistra è al limite sufficiente per il transito della piena e il franco è inferiore ai 50 cm in più punti.

Si può, quindi, ipotizzare un pericolo residuo che porta a prevedere delle azioni sul terreno atte a ridurre al minimo l'impatto negativo dell'evento.

L'intervento descritto nel seguito è il risultato di numerosi incontri e sopralluoghi dei progettisti con i tecnici del Servizio Bacini Montani al fine di giungere ad una soluzione efficace e condivisa in merito alla protezione delle aree destinate ad accogliere il campeggio.

In particolare, la proposta di intervento è relativa alla realizzazione di un tomo della lunghezza pari a circa 50 m con altezza massima pari a circa 2 m e larghezza pari a circa 4 m che si raccorda gradualmente con il declivio naturale del pendio situato a monte della strada comunale del Contrin; ad ulteriore garanzia di protezione a valle della strada comunale del Contrin sarà realizzato un secondo tomo sulla proprietà della ASUC di Alba, che ha già dato l'autorizzazione all'esecuzione degli interventi.

Le opere proposte garantiscono un grado di protezione elevato all'intera area urbanizzata presente sul conoide; l'effetto di protezione oltre ad interessare l'area di realizzazione del Camping, garantisce protezione alla struttura alberghiera denominata Chalet Queen, alle stazioni di valle degli impianti di risalita della Ciampac e della Doleda oltre che a tutta l'area parcheggio degli stessi e costituisce una protezione alle strutture dell'antenna TV e radio situate in prossimità della zona di intervento.



Figura 7.1: Localizzazione dell'area di realizzazione delle opere di protezione e dell'area destinata a campeggio.

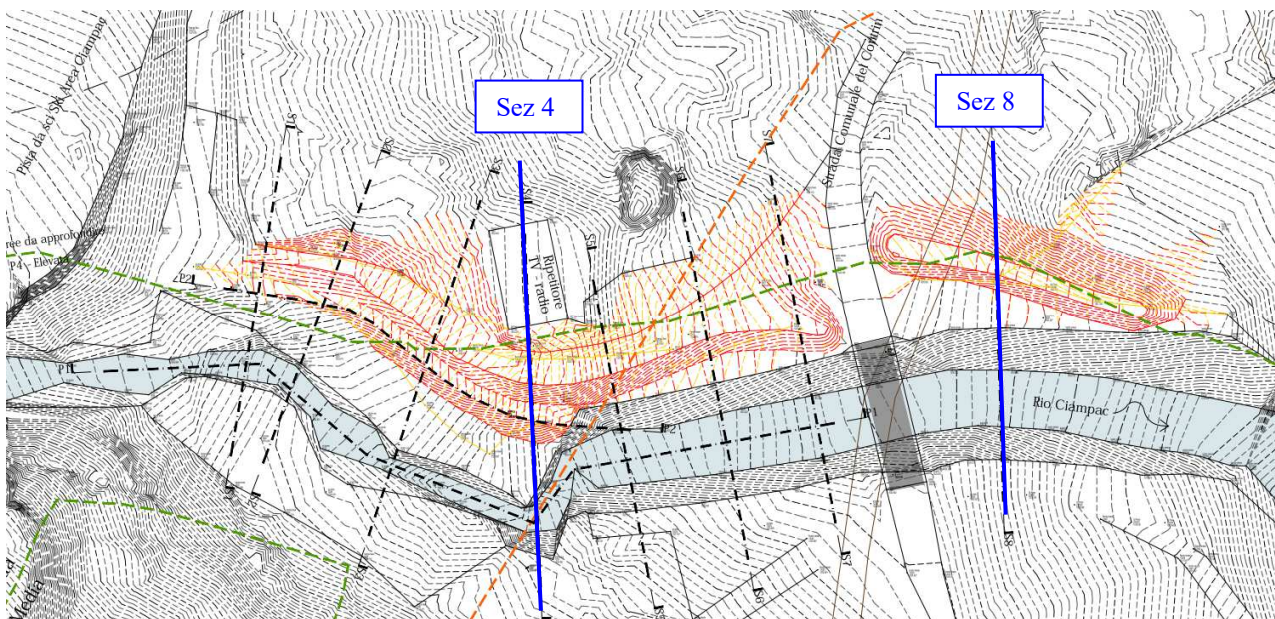


Figura 7.2: Estratto della planimetria di progetto degli interventi di protezione idraulica.

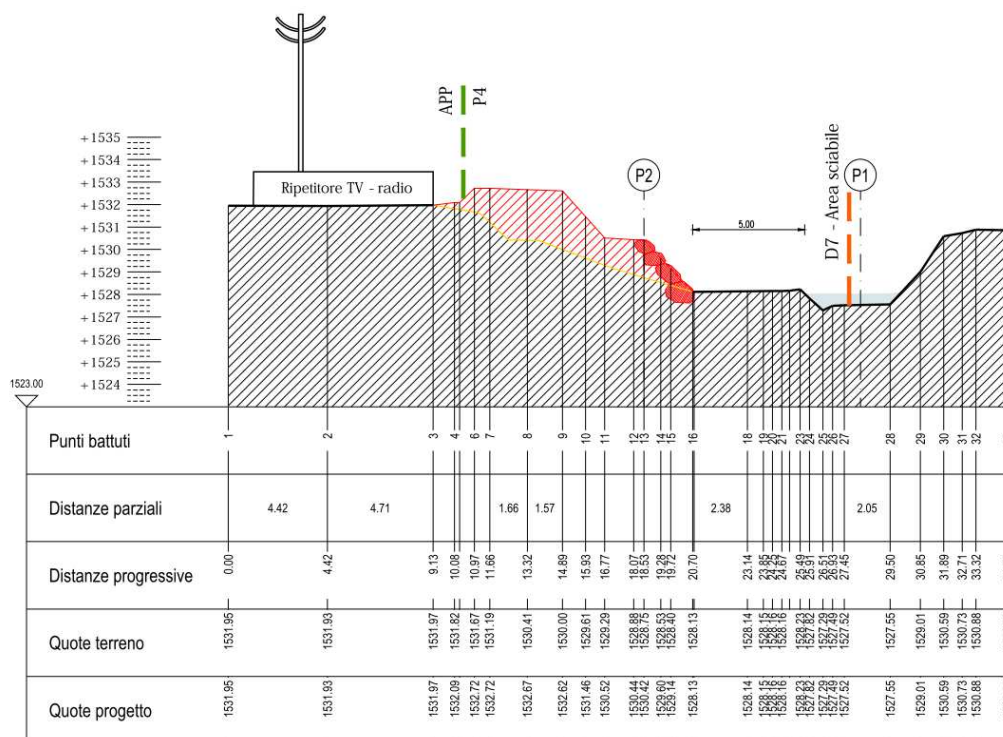


Figura 7.3: Sezione 4 di progetto relativa al tomo più a monte.

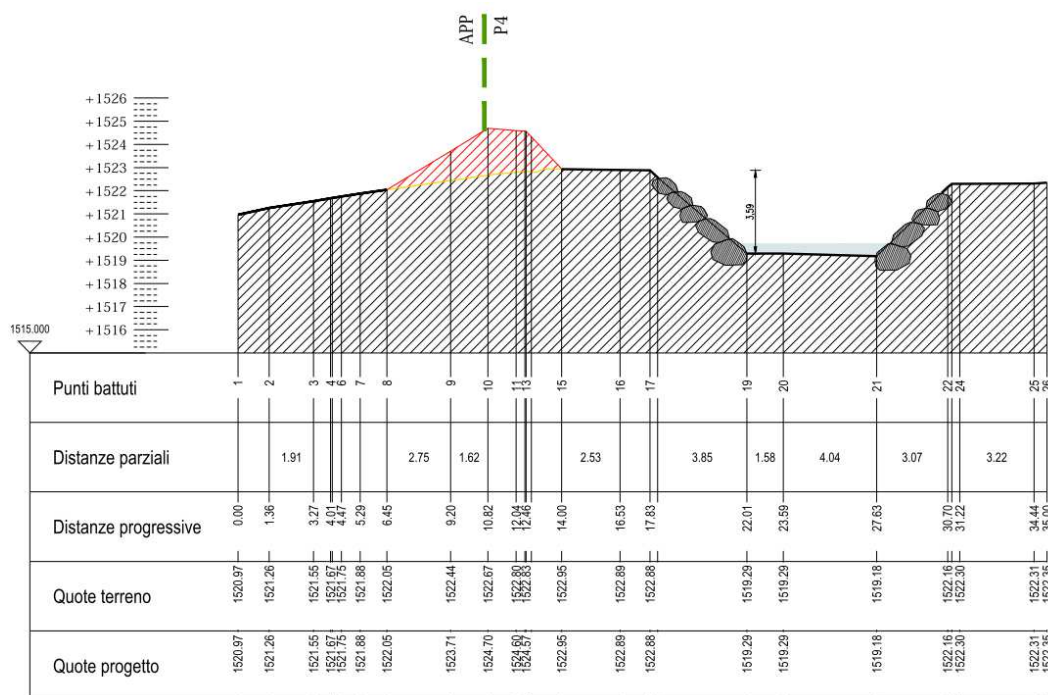


Figura 7.4: Sezione 8 di progetto relativa al tomo più a valle.

Come visibile dalle immagini sopra riportate, al fine di impedire la potenziale erosione del tomo più a monte è prevista anche una scogliera in massi ciclopici a protezione dello stesso sul lato a



contatto con il potenziale deflusso delle acque. Per quanto riguarda il tomo più a valle, esso sarà realizzato a debita distanza dall'alveo per evitare interferenze idrauliche e con la naturale conformazione del rio.

Tutte le opere previste sono esterne all'alveo e, laddove il fondo è naturale, si mantengono a circa 5 m dallo stesso; complessivamente gli interventi si collocano in un'area già abbondantemente urbanizzata a seguito della costruzione dell'antenna TV e radio e che, a seguito della tempesta Vaia, risulta già priva di alberi.

Per i dettagli progettuali si rimanda agli elaborati redatti da Larsech Engineering – ing. Thomas Amplatz.

8 PROPOSTA DI MAPPATURA PER LA CSP

A seguito della proposta progettuale per le opere di protezione idraulica descritte nel precedente paragrafo la CSP può essere rivista per la previsione relativa all'area del conoide, attualmente mappata come "APP – da approfondire", modificandone la classificazione in "H2 – bassa".

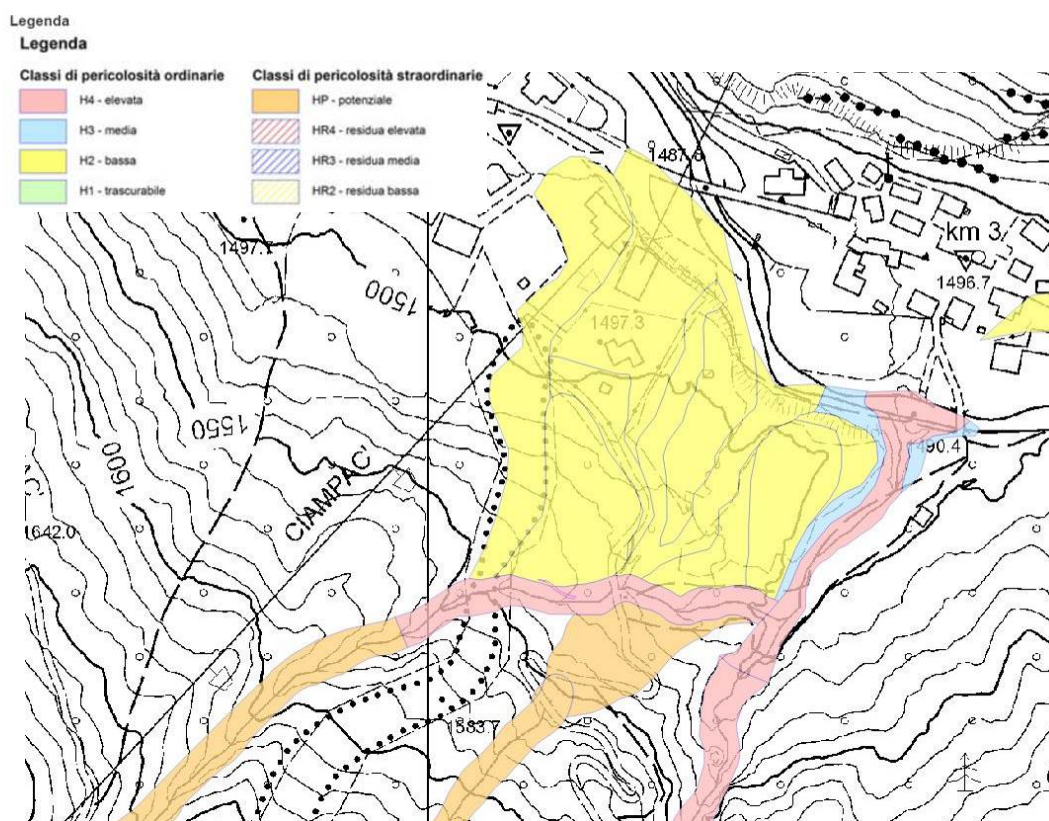


Figura 8.1: Proposta di nuova classificazione per la Carta della pericolosità torrentizia nell'area in esame.

In merito alla classificazione presente nella parte marginale ad est dell'area di interesse, relativa a delle fasce di pericolosità H4 e H3 per la presenza del rio Contrin poco prima della sua immissione nel torrente Avisio, si evidenziano i seguenti aspetti (vedasi dettaglio in figura seguente):

- la zona H4 interessa esclusivamente l'alveo e le sponde del rio Contrin, per una fascia di larghezza complessiva pari a circa 20 m dei quali al massimo 10 m rientrano nella perimetrazione dell'area urbanisticamente destinata a campeggio da PRG del Comune di Canazei;
- la zona H3 ricalca, nella porzione più a nord, la strada forestale arginale utilizzata dal competente servizio per la manutenzione del corso d'acqua, e prosegue in direzione sud ovest interessando il versante in sinistra idrografica per un'ampiezza di circa 10-15 m

interamente all'interno della perimetrazione dell'area urbanisticamente destinata a campeggio da PRG del Comune di Canazei;

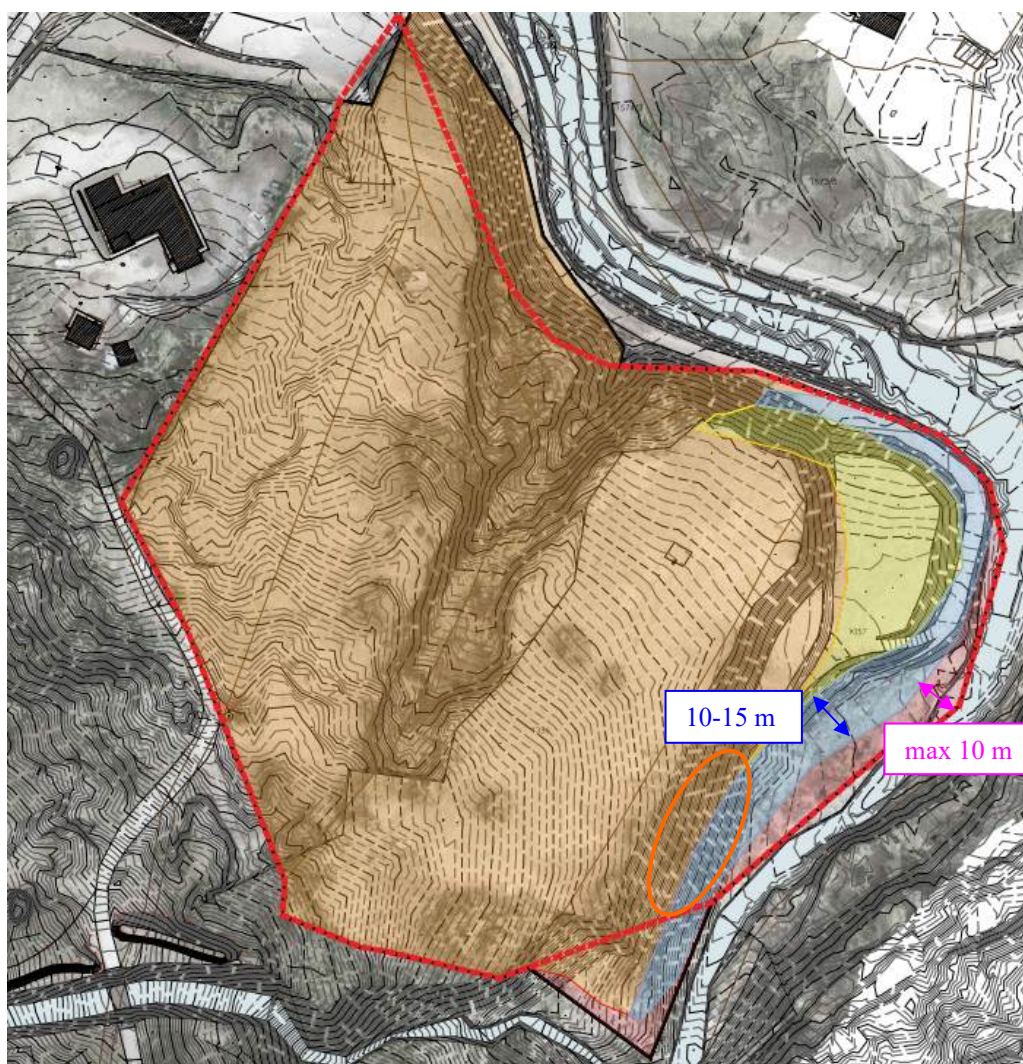


Figura 8.2: Estratto della CSP vigente con sovrapposizione sullo stato di fatto dell'area di studio.

- la strada forestale si trova ad una quota sempre inferiore di almeno 3-3.5 metri rispetto all'adiacente pianoro classificato H2, come evidenziato dalla densità delle curve di livello che costituiscono la rampa laterale;
- la linea di passaggio da zona H3 a zona attualmente classificata APP (vedasi cerchio ARANCIO in figura precedente) si trova ad una quota più elevata di 5 metri rispetto all'alveo del rio Contrin;
- il limite dell'area di potenziale esecuzione di opere relative al nuovo campeggio (vedasi Tav. 05 del progetto redatto da Larsech Engineering – ing. Thomas Amplatz della quale si riporta un estratto) si trova sempre esterno alle aree di pericolosità H4 e H3 ed interessa soltanto zone classificate H2 secondo la proposta di nuova mappatura della CSP.

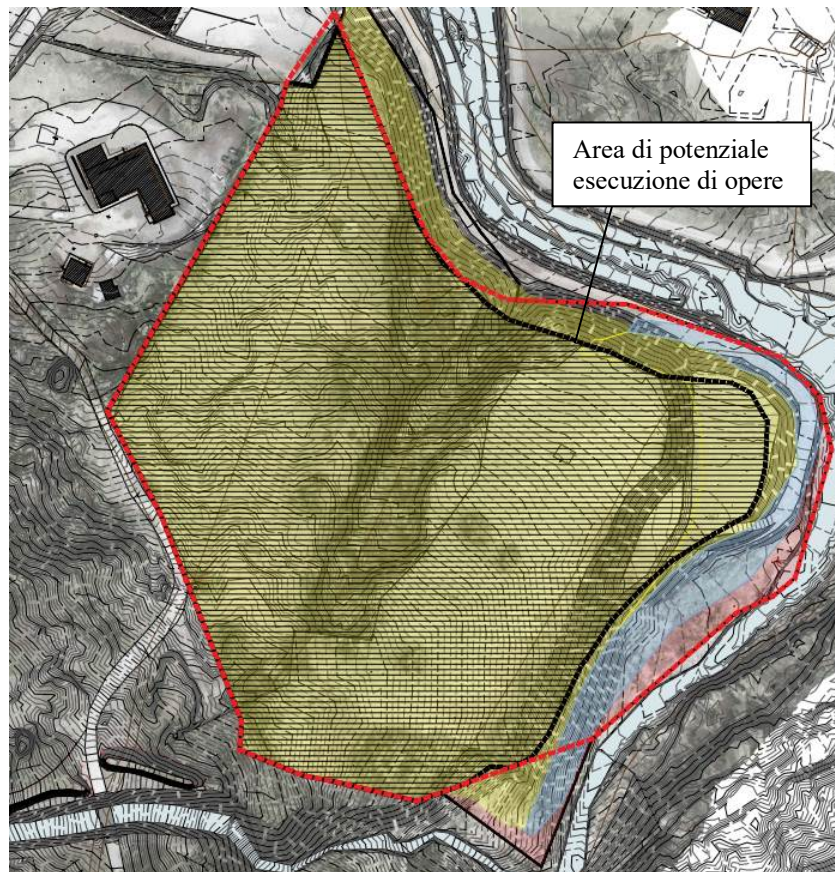


Figura 8.3: Limite dell'area di potenziale esecuzione di opere relative al nuovo campeggio sovrapposto alla proposta di nuova mappatura della CSP.

Alla luce delle considerazioni esposte si ritiene, quindi, che l'intervento sia compatibile con quanto espresso dalla CSP vigente anche per la parte marginale ad est dell'area di interesse.

9 CONCLUSIONI

Lo studio geologico e idraulico messo a punto ha permesso di addivenire ad un'analisi delle problematiche idrauliche che possono interessare un'area individuata a campeggio nel PRG comunale e che si colloca nella parte terminale del bacino del Rio Ciampac.

Nello specifico, sulla base dei contributi di carattere geologico e idrologico, lo studio è giunto a determinare l'idrogramma di una colata di detrito con tempo di ritorno bicentenario ($T_r=200$ anni) valutando la propagazione della stessa colata lungo il rio Ciampac fino alla sua immissione nella parte finale del rio Contrin, affluente di sinistra idrografica dell'Avisio.

Pertanto, l'analisi ha permesso di verificare la compatibilità idraulica della realizzazione del campeggio e/o aree di sosta attrezzate per autocaravan.

L'analisi ha evidenziato che il tratto di rio Ciampac da quota 1540 a quota 1528 m s.l.m. è in grado di smaltire senza fuoriuscite l'idrogramma solido-liquido di progetto relativo ad un evento con tempo di ritorno di 200 anni; è stato, tuttavia, messo in evidenza che nel tratto tra il passaggio del rio sotto alla pista e il ponte della strada sterrata comunale, la sponda sinistra è al limite sufficiente per il transito della piena e il franco è inferiore ai 50 cm in più punti.

Si è, pertanto, previsto un intervento atto a ridurre al minimo il potenziale impatto negativo dell'evento sull'area che il PRG del Comune di Canazei destina a campeggio; tale intervento è il risultato di numerosi incontri e sopralluoghi dei progettisti con i tecnici del Servizio Bacini Montani al fine di giungere ad una soluzione efficace e condivisa.

La proposta progettuale è relativa alla realizzazione di un tomo della lunghezza pari a circa 50 m con altezza massima pari a circa 2 m e larghezza pari a circa 4 m che si raccorda gradualmente con il declivio naturale del pendio situato a monte della strada comunale del Contrin; ad ulteriore garanzia di protezione a valle della strada comunale del Contrin sarà realizzato un secondo tomo sulla proprietà della ASUC di Alba, che ha già dato l'autorizzazione all'esecuzione degli interventi.

Al fine di impedire la potenziale erosione del tomo più a monte è prevista anche una scogliera in massi ciclopici a protezione dello stesso sul lato a contatto con il potenziale deflusso delle acque; per quanto riguarda il tomo più a valle, esso sarà realizzato a debita distanza dall'alveo per evitare interferenze idrauliche e con la naturale conformazione del rio.



Alla luce di quanto sopra esposto **si ritiene l'intervento in progetto compatibile con quanto espresso dalla CSP e con il livello di penalità individuato dalla Carta della pericolosità alluvionale torrentizia.**



10 BIBLIOGRAFIA

- [1] Associazione Italiana di Idronomia, Calibrazione dei parametri cinematici del modello afflussi-deflussi, Relazione tecnico scientifica, 2003.
- [2] Provincia Autonoma di Trento, Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche, 2005.
- [3] CARG – Carta Geologica della Provincia di Trento
- [4] DOGLIONI CARMINATI 2008 – Structural styles and Dolomites Field Trip – Servizio Geologico d'Italia
- [5] Manuale d'uso del software applicativo AdB-ToolBox (versione 1.5 e superiori) Estensione ANALISI IDROLOGICHE (AI).
- [6] Takahashi, T., 1978. Mechanical characteristics of debris flow, J.Hydraulic Div., ASCE, Vol 104, NoHY8, pp.1153-1169.
- [7] Fraccarollo L., Giuliani M., Rosatti G., 2004, Calcolo di onde di piena in alvei naturali a fondo mobile, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento.
- [8] Fraccarollo L. e Giuliani M., 2007, A simplified approach to predict flood in sedimentary stream, XXXII Congress of IAHR, Venice.
- [9] Meyer-Peter E., Mueller R., 1948, Formulas for bed-load transport, Proc. of 2nd Meeting IAHSR, Stockholm, Sweden, pp. 1-26.
- [10] O'Brien J.S., Julien P.Y., 1985, Physical processes of hyperconcentrated sediment flows, Proc. Of the ASCE Specialty Conf. on the Delineation of Landslides, Floods and Debris Flow Hazards in Utah, Utah Water Research Laboratory, Series UWRL/g-85/03, 260-279.
- [11] O'Brien, 2006, Flo-2D User Manual.