COMUNE DI CLUSONE

PROVINCIA DI BERGAMO

STUDIO DI DETTAGLIO

ai sensi della D.G.R. 29.10.2001 n° 7/6645

in attuazione della L.R. 41/97

BACINO DELLA VAL GAVAZZO

RELAZIONE TECNICO-IDRAULICA

DOTT. GEOL. CORRADO REGUZZI

DOTT. GEOL. BARBARA ARAMINI

Villa d'Almè, aprile 2004

INDICE..... PAG.

1. PREMESSA 2

2. METODOLOGIA DI LAVORO 2

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE 3

3.1. GEOLOGIA 3
3.1.1. Substrato roccioso 3
3.1.2. Depositi superficiali 4
3.1.3. Tettonica 6
3.2. GEOMORFOLOGIA 6
3.3. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA 7

4. ANALISI STORICA 9

5. ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO 10

5.1. ANALISI GEOLOGICA 10
5.2. ANALISI GEOMORFOLOGICA 12
5.3. ANALISI MORFOMETRICA 16
5.3.1. Bacino idrografico 16
5.3.2. Conoide 16

6. RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 17

6.1. SEZIONI TRASVERSALI 18

7. VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA 19

8. VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO 26

9. ZONAZIONE DEL CONOIDE 28

9.1. RISULTATI 29

10. PERICOLOSITA' DEL CONOIDE 35

10.1. CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ 36

11. FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO 38

11.1. NORMATIVA 38

12. RIDUZIONE DEL RISCHIO 41

13. PROPOSTA DI RIDELIMITAZIONE DEL CONOIDE DEL PAI 41

14. ALLEGATI 43

1. PREMESSA

Il presente studio, per incarico dell'Amministrazione comunale di Clusone, è stato predisposto ai fini della valutazione della pericolosità dei conoidi identificati sul territorio comunale dal PAI (Piano Assetto Idrogeologico – Atlante dei dissesti) come *"Ca – Area di conoide attivo non protetta".*

In questa relazione viene valutata la pericolosità del conoide posto allo sbocco del torrente della Val Gavazzo: attraverso il rilievo di dettaglio e l'applicazione di modelli sperimentali, è stata valutata la pericolosità dei fenomeni agenti e il rischio conseguente per giungere alla zonazione del conoide in classi di fattibilità.

L'area di studio si estende sul territorio comunale di Clusone e di Rovetta.

Lo studio è stato condotto sulla base delle linee guida proposte da Regione Lombardia – Territorio e Urbanistica nel documento "*Valutazione e gestione del rischio da frana*" (luglio 2001), contenute nella D.G.R. n° 7/6645 del 29 ottobre 2001, ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97.

2. METODOLOGIA DI LAVORO

Lo studio geologico-tecnico dei conoidi si è basato prioritariamente sul rilievo geologico e geomorfologico di dettaglio, che ha permesso di cartografare i litotipi e le forme caratterizzanti il bacino idrografico del conoide della Val Gavazzo. Questa analisi ha consentito di interpretare le morfologie che hanno interessato il conoide e che possono avere originato fenomeni di trasporto in massa o colate detritiche con trasporto di ingenti quantità di materiale solido, noti come "*debris flow*" o "*debris torrent*".

Parallelamente è stata effettuata un'analisi idrologica, sulla base dei dati esistenti e un'analisi idraulica del bacino idrografico per la stima delle portate di piena e del materiale solido, che potenzialmente può essere trasportato dal torrente (magnitudo).

I risultati delle analisi hanno permesso di effettuare una zonazione della pericolosità, definita sulla base dell'*indice di pericolo locale di Aulitzky.*

Le classi di pericolosità in cui è stato suddiviso il conoide sono state trasformate in classi di fattibilità geologica per le azioni di piano secondo quanto riportato nella D.G.R. 11.12.2001 n. 7365: "Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della Legge 18 maggio 1989 n. 183".

L'esito finale dello studio ha pertanto consentito una nuova perimetrazione del conoide secondo la legenda dell'elaborato n. 2 "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree in dissesto" del PAI.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di indagine si sviluppa lungo il pendio individuato dal crinale tra la cima del M. Fogarolo (1529 m s.l.m.) e il M. Montagnina (1598 m s.l.m.) e la piana di Clusone in prossimità della località Vogno.

3.1. Geologia

L'inquadramento geologico-strutturale è riportato nella *"Carta Geologica"* in scala 1:10.000 (*Tav. 1*).

3.1.1. Substrato roccioso

Il substrato roccioso costituente il versante è rappresentato da:

Calcare di Zorzino (Norico medio): calcari micritici nerastri in strati piano-paralleli di spessore da centimetrico a pluridecametrico, all'interno dei quali sono visibili sottili livelli marnosi neri. Nella parte superiore dell'unità si ha un aumento nel contenuto di terrigeni che determina una stratificazione fitta dei calcari marnosi che talvolta risultano carboniosi. Il Calcare di Zorzino presenta notevoli variazioni di spessore comprese tra un minimo di 300 m, nella zona di Artavaggio e in Val Taleggio, ed un massimo di 1100 m, in corrispondenza della sponda del lago

d'Iseo. Il limite superiore è rappresentato dalle Argilliti di Riva di Solto, mentre inferiormente l'unità poggia sulle Dolomie Zonate e, talvolta, direttamente sulla Dolomia Principale (in corrispondenza di Vertova e Fiorano, in Val Seriana). Esso costituisce l'ossatura di buona parte del versante della Val Gavazzo fino alla quota di circa 1150 m s.l.m.; a valle è suturato dai depositi superficiali presenti sulla piana di Clusone.

Dolomie Zonate (Norico medio): l'unità è costituita da doloareniti in strati piano-paralleli decimetrici che talvolta presentano negli strati più grossolani una struttura gradata. Lo spessore è estremamente variabile, da nullo in corrispondenza della Cima Campelli, sino ad uno spessore massimo superiore a 200 m nella zona tra Zogno-Selvino-Poscante. L'età è stata attribuita sulla base della sola posizione stratigrafica, poichè i fossili rinvenuti risultano rimaneggiati.

Esse si rinvengono, in contatto tettonico sopra il Calcare di Zorzino, in una sottile fascia fino alla quota topografica di 1200 m s.l.m.

Dolomia Principale (Norico inferiore-medio): è costituita da dolomie stratificate scure alla base della successione (Membro Basale) a cui seguono dolomie chiare in grossi banchi metrici (Membro medio-superiore) e localmente, in sommità, la facies della dolomia diventa più massiva con brecce dolomitiche, che indicano l'eteropia con la successione del Gruppo dell'Aralalta. Lo spessore della Dolomia Principale varia da un minimo di 900 m ad un massimo di 1500 m in relazione alla tettonizzazione subìta. Il limite inferiore non è mai osservabile: l'unità poggia in contatto tettonico sui litotipi del S. Giovanni Bianco mentre il limite superiore è con le Dolomie Zonate.

La Dolomia Principale costituisce la porzione sommitale del versante del Fogarolo in contatto stratigrafico con le Dolomie Zonate.

3.1.2. Depositi superficiali

I depositi superficiali sono presenti essenzialmente nella porzione terminale del versante del Fogarolo di raccordo con la piana di Clusone.

Essi sono rappresentati da:

Complesso dell'Oglio – Unità di Songavazzo (Pleistocene medio-sup.)

Si tratta di depositi glaciali costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbioso-limosa con clasti arrotondati di dimensioni da centimetriche a pluridecimetriche.

Morfologicamente l'unità si riconosce perchè presenta forme conservate come cordoni morenici a profilo arrotondato, parzialmente in erosione che si elevano, rispetto la superficie topografica circostante, di circa 20 m. Tale unità passa con continuità alla piana fluvioglaciale.

Essa rappresenta il prodotto di più fasi di oscillazione glaciale, indicato dal numero di cordoni morenici successivi e dal crescere del grado di conservazione degli stessi andando da nord a sud: tutto ciò indica che la lingua glaciale che risaliva dalla Val Borlezza deve essersi ritirata più volte, lasciando lo spazio a piccoli bacini lacustri o palustri.

Questa unità costituisce buona parte della porzione pianeggiante delle località Vogno (comune di Rovetta) e Aleda.

Unità postglaciale (Pleistocene sup. - Olocene)

Si tratta di depositi di varia origine che hanno ricoperto le formazioni rocciose e i depositi più antichi.

Sono presenti depositi di versante lungo tutta la fascia compresa fra le quote 500 e 700 m s.l.m., da entrambi i lati della valle Gavazzo, derivati dall'alterazione del substrato roccioso. Il deposito è costituito da ciottoli e blocchi spigolosi sia a supporto di matrice (sabbioso-argillosa) che a supporto clastico, all'interno dei quali non si riconosce alcun tipo di organizzazione; la litologia è uniforme ed in tal caso si tratta dei litotipi calcarei dello Zorzino.

Allo sbocco della Val Gavazzo sono presenti depositi di conoide costituiti da diamicton e ghiaie a supporto clastico con ciottoli da spigolosi a subarrotondati a litologia calcarea: si tratta di un conoide originatosi a seguito di successivi episodi di debris torrent e/o debris flow.

La piana di località Lama, costituente un'area leggermente depressa in sinistra idrografica allo sbocco della Val Gavazzo, è caratterizzata da depositi lacustri e palustri di tipo limoso-argilloso, originatisi per recente interrimento di una depressione, favorito dalla presenza di un piccolo corso d'acqua.

3.1.3. Tettonica

L'elemento strutturale più rilevante, nell'intorno dell'area esaminata, è costituito da un contatto tettonico sviluppato in direzione NW-SE lungo il versante settentrionale Pizzo Formico-Monte Fogarolo. Si tratta di una faglia diretta il cui piano immerge verso NE, portando al ribassamento della porzione inferiore del versante.

3.2. Geomorfologia

L'ambito territoriale considerato corrisponde al versante settentrionale del Monte Fogarolo, che si sviluppa dalla quota 1526 m s.l.m. fino alla piana di Lama posta alla quota di 575 m s.l.m.

La morfologia è fortemente condizionata dalle caratteristiche litologiche del substrato roccioso costituente il versante: i litotipi dolomitici (appartenenti alla Dolomia Principale e alle Dolomie Zonate) affioranti nelle porzioni più elevate del versante, determinano una morfologia netta, articolata ad elevata pendenza.

L'area costituita dai litotipi calcarei e calcareo-marnosi, rappresentati dal Calcare di Zorzino, è morfologicamente suddivisibile in due porzioni:

- l'altopiano di S. Lucio (esteso fra quota 1.200 m s.l.m. e la quota 1.000 m s.l.m.) con morfologie di tipo carsico ben sviluppate, talora di consistenti dimensioni, rappresentate da doline. Numerosi dossi arrotondati si alternano alle doline, residuali dell'azione erosiva carsica (ad esempio S. Lucio e Cascina Succo Martino);
- il versante sottostante (da quota 1.000 m s.l.m. sino a quota 750 m s.l.m.) ad acclività media di 20°, senza particolari risalti morfologici, con andamento regolare, interrotto dall'incisione della Val Gavazzo;

- la porzione terminale (da quota 750 m s.l.m. alla piana di Clusone) caratterizzata da un andamento morfologico omogeneo, con pendenze medie generalmente attorno a 30°. I terreni sono costituiti da depositi di versante.

All'interno della fascia terminale si sviluppa il conoide della Val Gavazzo, la cui morfologia, classicamente a ventaglio e posta allo sbocco della valle, è ben identificabile. Un'intensa azione antropica (l'area è stata utilizzata come cava di ghiaia nei decenni scorsi), e il riempimento di una cavità con rifiuti urbani, ha profondamente mutato le morfologie originarie.

Sull'area di conoide non è riconoscibile un impluvio entro cui possano scorrere le acque di piena ordinaria: ciò è dovuto in parte alla scarsa portata del corso d'acqua ed in parte alla elevata permeabilità dei terreni che consentono lo scorrimento al di sotto della superficie topografica. La presenza di un fitto reticolo di strade sterrate ha cancellato e condizionato lo scorrimento superficiale delle acque: in occasione di portate più significative del torrente, le acque solcano il pendio formando nuovi percorsi, in corrispondenza dei quali si accentuano fenomeni erosivi.

Non disponendo di un recettore ben formato entro cui scorrere, le acque di scorrimento superficiale, presenti solo saltuariamente, possono determinare fenomeni di erosione e di trasporto di materiale ghiaioso, originando potenzialmente così fenomeni di debris torrent, lungo tutto l'apparato di conoide.

La *"Carta geomorfologica"* è riportata nella *Tav. 2*, in scala 1:10.000.

3.3. Idrografia e idrogeologia

L'ambito considerato mostra un reticolo idrografico organizzato con pochi impluvi ma ben sviluppati; andando da ovest verso est sono: Val Flex, che nasce dal versante fra il Fogarolo ed il Formico e sbocca sulla piana di Clusone alla località Fiorine; la Val Gavazzo e la Valle Rinata che nasce dal versante in località

Cascina Succo Martino e si immette nel Borlezza in località Luisa, scorrendo interamente nel territorio comunale di San Lorenzo di Rovetta.

Tali incisioni sono pressoché rettilinee, con un andamento lungo la massima pendenza e scarse ramificazioni di secondo ordine a scarso sviluppo, localizzate esclusivamente nelle porzioni di apice della valle. In particolare si sottolinea l'assenza di significativi impluvi secondari tributari della Val Gavazzo.

Le valli drenano ampie porzioni di versante e si presentano pertanto sempre attive; in occasioni di precipitazioni intense la loro portata può aumentare significativamente.

Degli impluvi precedentemente citati, solo la Val Gavazzo non ha un recapito organizzato allo sbocco: l'elevata permeabilità dei depositi costituenti il conoide favorisce l'infiltrazione delle acque.

Ai piedi del conoide, in località Lama, è presente uno stagno artificiale che in parte può fungere da recettore delle acque che saltuariamente scorrono superficialmente. Le acque del laghetto sono convogliate nel torrente Borlezza, mediante un tubo posto sotto al parcheggio antistante il capannone della Fibrilia, realizzato mediante il riempimento dell'originaria porzione di vallecola.

Le condizioni idrogeologiche dell'ambito considerato dipendono dalle caratteristiche di permeabilità dei litotipi presenti: i depositi superficiali hanno una permeabilità che dipende dalla composizione granulometrica; il substrato roccioso ha una permeabilità primaria generalmente bassa e una permeabilità secondaria condizionata dal grado di fratturazione e della sua struttura tettonica.

Nell'ambito esaminato i depositi superficiali di versante sono costituiti da blocchi, ghiaie e sabbie, a scarsa o nulla cementazione, con matrice fine in percentuale variabile: la loro permeabilità può essere definita buona. Il deposito eluviale, che ricopre in discontinuità il substrato roccioso, risulta costituito da litotipi a granulometria fine, di tipo limoso-sabbiosa, con ciottoletti derivanti dall'alterazione in posto del bedrock; ad esso può essere attribuita una permeabilità media.

Il substrato roccioso di tipo dolomitico (presente nella porzione sommitale del bacino idrografico) è generalmente compatto e poco fratturato: ciò determina una permeabilità primaria nulla ed una secondaria bassa.

Il substrato roccioso appartenente alla formazione del Calcare di Zorzino ha una permeabilità primaria ridotta, ma una permeabilità secondaria variabile; la presenza di numerose evidenze superficiali di tipo carsico nell'altopiano di S. Lucio, fanno una significativa circolazione idrica sotterranea, favorita dalla possibile presenza di condotti di tipo carsico.

4. ANALISI STORICA

Le procedure per la zonazione dei conoidi alpini prevedono che venga effettuata un'analisi storica, atta a ricostruire un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che interessano il conoide, dando indicazioni sulla frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo e dell'incidenza antropica sul conoide.

Sono stati consultati gli archivi nazionali, il censimento regionale, lo studio dei dissesti della Comunità Montana e gli archivi comunali.

Gli unici dati relativi ad eventi, che interessano la Val Gavazzo, sono riportati nello Studio dei dissesti del 1997, realizzato dalla Comunità Montana Valle Seriana Superiore.

Si riporta parte della scheda suddetta relativamente ai danni e fattori di rischio presenti lungo il corso d'acqua in esame.

DANNI E FATTORI DI RISCHIO: nel 1980 una grande quantità di detriti scaricati dalla conoide della Val Gavazzo ha raggiunto e interrotto anche la strada provinciale n. 53 Lovere-Clusone. Più facilmente si possono danneggiare la strada del Gavazzo e quella di accesso allo stabilimento Fibrilia. La strada che porta all'eliporto può subire danneggiamenti.

Situazioni di rischio riguardano anche l'area Fibrilia, che può essere invasa dal materiale detritico accumulatosi a monte lungo la via Sandrera. Inoltre, il riporto realizzato in adiacenza alla strada provinciale ha comportato l'intubazione del tratto

iniziale della valle nella quale trovano sbocco le acque raccolte della piana e dal Gavazzo. Ora, l'eventualità di una ostruzione della tubazione sotterranea mette a rischio di allagamento tutta l'area circostante per una superficie di circa 12500 mq.
Il rischio maggiore è comunque quello dello smottamento del terrapieno che potrebbe interessare la strada provinciale sottostante, il depuratore di Rovetta e alcuni edifici poco sotto.

5. ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del torrente Gavazzo si sviluppa dal monte Fogarolo (quota 1541 m s.l.m.) ed è compreso fra i due versanti, quello di San Lucio e quello di Cascina Succo Martino.

La *"Corografia del bacino"* idrografico è riportata nella *Tav. 3*.

L'analisi geologica e geomorfologica seguente prende in esame il bacino idrografico della Val Gavazzo fino allo sbocco nel laghetto artificiale in località Lama; l'analisi morfometrica è stata effettuata distintamente per il bacino e il conoide, il cui apice è posto alla quota di 700 m s.l.m.

5.1. Analisi geologica

La ricostruzione geologica del bacino idrografico è stata effettuata mediante una serie di rilievi sul terreno, l'analisi dettagliata delle cartografie presenti in bibliografia e delle foto aeree.

Essa ha permesso di evidenziare i seguenti elementi:

- **Substrato roccioso affiorante** lungo l'incisione torrentizia dove costituisce scarpate ad elevata inclinazione anche di notevole sviluppo (fino a 30 m).

  La litologia del substrato roccioso è data dalle formazioni della Dolomia Principale e delle Dolomie zonate fino alla quota di circa 1.100 m s.l.m.: si tratta di dolomie e calcari dolomitici, generalmente massivi o in bancate di spessore plurimetrico. A quote inferiori affiora unicamente il Calcare di Zorzino, costituito da calcari nerastri con intercalazioni marnose, in strati

piano paralleli di spessore da centimetrico a decimetrico.

La giacitura del Calcare di Zorzino ha condizionato la morfologia asimmetrica delle scarpate della Val Gavazzo: gli strati hanno la medesima direzione della valle; la scarpata in destra è sviluppata lungo i piani di strato, disposti a franapoggio con inclinazione di 20÷30°, mentre la scarpata in sinistra, con strati a reggipoggio, ha subito una differente erosione che ha modellato il versante con pendenza di 40°.

- **Substrato roccioso subaffiorante** con copertura eluviale molto ridotta (con spessori di ordine decimetrico).
- **Deposito eluviale** presente lungo i versanti meno acclivi con spessori limitati al metro e granulometria generalmente fine, di tipo limoso-sabbiosa, contenente anche scaglie del substrato roccioso sottostante.
- **Deposito alluvionale e/o detritico** presente nell'alveo della Val Gavazzo, costituito da ciottoli e blocchi da spigolosi a poco spigolosi, scarsamente arrotondati, di dimensioni medie di alcuni decimetri. Tale deposito è molto abbondante e si presenta per il 50÷80% colonizzato al di sopra della quota di 850 m s.l.m.; a quote inferiori la vegetazione diminuisce e ricopre una superficie variabile fra 20 e 40%. Si ritiene che la provenienza e l'alimentazione di questo deposito sia prevalentemente legata ai versanti laterali che racchiudono il fondovalle, sia per fenomeni di tipo gravitativo che di colate detritiche localizzate; l'apporto dalla zona alta del bacino è invece modesto, per la scarsa portata liquida del corso d'acqua.

  Il detrito occupa tutta la larghezza dell'alveo, costituendo una fascia variabile fra 10 m e 40 m; lo spessore è valutabile in modo incerto, ma è comunque notevole, fino a più decine di metri.
- **Deposito di versante** presente su entrambi i lati della valle a contatto con il substrato roccioso; esso è maggiormente sviluppato in destra idrografica a partire dalla quota di 850 m s.l.m. fino a circa 750 m s.l.m., grazie alla minore pendenza degli strati della roccia sottostante che ha consentito un maggior accumulo di materiale proveniente dalle scarpate retrostanti.

  Si tratta di blocchi e ciottoli di dimensioni decametriche non organizzati, a

litologia esclusivamente calcareo-marnosa, di colore grigio scuro-nero.
Lo spessore è limitato ad alcuni metri.

- **Deposito di conoide** visibile a partire dalla quota di 700 m s.l.m.: esso è costituito da blocchi e ciottoli poco arrotondati e spigolosi, a litologia esclusivamente calcarea; i blocchi hanno dimensioni massime di alcuni decimetri. Tale deposito è stato messo in posto per successivi eventi di debris torrent; il suo spessore è valutabile mediamente in 20 m.
  La forma del conoide è ben identificabile sul terreno: a partire dal suo apice (collocato alla quota di 700 m s.l.m.) per i primi 150 m esso è limitato lateralmente dai versanti, che fungono perlatro da "contenimento" limitando l'espansione della colata; tende poi ad allargarsi man mano si raggiunge la piana, dove ha uno sviluppo longitudinale di circa 450 m.

5.2. Analisi geomorfologica

Le morfologie visibili all'interno del bacino idrografico sono riconducibili alle azioni prodotte dalla gravità e dalle acque superficiali che agiscono su un versante mediamente ad elevata acclività costituito da un substrato roccioso erodibile.

Il bacino idrografico può essere suddiviso in varie porzioni che presentano caratteri morfologici simili:

- porzione sommitale (dalla cima del Fogarolo alla quota 1.200 m s.l.m.): il versante si presenta uniforme senza significativi cambi di pendenza; la presenza di un substrato roccioso poco erodibile ha permesso agli agenti atmosferici di operare un'erosione uniforme. Tale porzione di versante è solcata da alcune vallecole che, disposte lungo la massima pendenza, originano a quota 1.240 m s.l.m. il corso vero e proprio della Val Gavazzo. Al di sotto di tale quota non sono più visibili impluvi organizzati tributari della valle principale.
- porzione centrale (dalla quota 1.200 m s.l.m. alla quota 1.000 m s.l.m.): le morfologie derivano dall'azione di lisciviazione operata dalle acque su rocce calcaree (carsismo), con formazione di doline e inghiottitoi anche di ampie dimensioni. Ad esse si alternano dossi arrotondati, residuali

dell'azione erosiva. Si tratta dell'area di San Lucio e, in destra idrografica nel comune di San Lorenzo di Rovetta, della corrispondente area di Cascina Succo Martino. Lungo tale versante l'incisione del Gavazzo diventa sempre più importante con scarpate laterali di decine di metri di altezza ad elevata acclività, impostate nel substrato roccioso. A partire dalla quota di 1.075 m s.l.m. la direzione del torrente è costante verso NNE, con un andamento rettilineo senza cambi di direzione, fino all'apice del conoide.

- porzione terminale (dalla quota 1.000 m s.l.m. alla piana in località Lama): il versante è mediamente acclive, uniforme, senza significativi cambi di pendenza, impostato direttamente sul substrato roccioso (che risulta subaffiorante o ricoperto da scarso deposito eluviale) o talora sul detrito di versante che costituisce la fascia di raccordo retrostante la piana.

  In tale porzione l'alveo del Gavazzo si presenta con fondo piatto, impostato nel materiale detritico e di larghezza variabile fra 10 m e più decine di metri. Il thalweg mostra un andamento a "salti", ovvero i tratti semipianeggianti sono raccordati fra loro da piccole scarpate.

  L'elevata permeabilità del deposito di fondo del torrente provoca l'infiltrazione delle acqua provenienti da monte, tanto che in superficie non si nota un solco vero e proprio di scorrimento e l'acqua viene drenata sul fondo del detrito. Questa condizione si realizza sino alla quota di circa 700 m s.l.m., corrispondente all'apice del conoide. Fino a tale quota le scarpate laterali dell'alveo si presentano ad elevata pendenza (in funzione delle caratteristiche giaciturali della roccia che ne costituisce l'ossatura), con talora cigli in erosione.

  L'apparato di conoide del torrente Gavazzo è ben identificabile sul terreno: esso si sviluppa dalla quota di 700 m s.l.m., fino alla zona più depressa della località Lama nei pressi del piccolo impluvio che la attraversa. La forma, tipicamente a ventaglio, risulta simmetricamente sviluppata rispetto all'asse della valle. A causa dell'ampiezza del fondovalle, non è univocamente individuabile il punto di apice del conoide: esso è stato posto

alla quota di 700 m, punto di ragionevole compromesso fra la morfologia de conoide e del punto di sbocco della valle.

La zona centrale del conoide è più convessa e rilevata rispetto alle porzioni laterali; la pendenza di queste ultime diminuisce gradatamente andando dall'apice all'unghia del conoide; la continuità morfologica è interrotta dal tracciato stradale presente.

All'interno dell'area del conoide non si individua alcun alveo principale: sono tuttavia visibili dei solchi di erosione discontinui, orientati lungo la massima pendenza, spesso interrotti dalle strade sterrate presenti: tali solchi vengono utilizzati dall'acqua che saltuariamente scorre in superficie.

Il solco più sviluppato decorre centralmente al conoide e termina con un piccolo cono detritico attivo e recente, posto alla quota di circa 580 m s.l.m. Da esso si diparte un piccolo rivolo che raggiunge il laghetto artificiale, realizzato nella porzione più depressa dela località Lama. Da qui l'acqua del laghetto viene intubata e convogliata verso il Borlezza.

La morfologia originaria del conoide è stata modificata da attività di escavazione operate in passato, di rimodellamento (con riporti); la realizzazione di strade sterrate ha ulteriormente modificato l'aspetto originario del conoide. Tuttavia l'assenza di un alveo vero e proprio costituisce un connotato proprio del conoide stesso, non derivante dalle modifiche antropiche indotte.

La presenza di morfologie fresche legate al trasporto e deposizione di debris torrent, le attuali caratteristiche geometriche e topografiche dell'alveo e del conoide, la presenza di ingenti quantità di materiale detritico in alveo, consentono di definire lo stato di attività del conoide. Si ribadisce che in condizioni di normale piovosità le acque del torrente Gavazzo si infiltrano nel detrito e scorrono sul fondo, senza più riemergere in superficie e alimentando gli acquiferi.

Quando il deflusso di acqua aumenta, per precipitazioni intense, l'acqua può scorrere sulla superficie del detrito; lo scorrimento dell'acqua nell'incisione è obbligato dalla morfologia dell'alveo caratterizzato da

sponde alte, ben definite; all'interno dell'alveo, su una arghezza varibile fino a 40 m, data la sua conformazione a fondo piatto privo di incisioni (in sezione), il deflusso può divagare liberamente. Sul conoide, in assenza di un alveo, il percorso dell'acqua può assumere diverse direzioni. Lo scorrimento superficiale di acqua in condizioni di piena, può rimobilizzare e prendere in carico ingenti volumi del materiale sciolto presente, sia in alveo che sul conoide trasportandolo a valle.

Le morfologie presenti sul conoide consentono di ipotizzare che le porzioni più facilmente interessate da eventuali colate detritiche sono quelle disposte lungo l'asse della valle, mentre le porzioni laterali risultano via via meno coinvolte.

La rete idrografica è costituita da un collettore principale, individuabile a partire dalla quota topografica di 1.240 m s.l.m., che raccoglie le acque del versante provenienente da tre incisioni, riconoscibili a partire da quota 1.500 m s.l.m. Tali incisioni sono, nel tratto iniziale, parallele fra loro con direzione nordovest, poi piegano, assumendo una direzione verso nord fino al punto di origine dell'unico impluvio.

L'asta principale scorre fino alla quota topografica di 700 m s.l.m., in corrispondenza dell'apice del conoide dove, a causa delle modifiche antropiche apportate nel tempo, non è più visibile.

L'impluvio non presenta ramificazioni secondarie nel tratto fra quota 1.240 m e 700 m s.l.m.: sono visibili alcuni piccoli solchi in corrispondenza delle incisioni createsi nella roccia, che favoriscono il drenaggio delle acque provenienti dalle pareti laterali, senza costituire però delle vallecole organizzate.

Il rilievo geomorfologico di dettaglio ha permesso di verificare le caratteristiche geometriche dell'alveo evidenziando i punti più critici per il deflusso: la descrizione delle sezioni è riportata nel capitolo successivo.

5.3. Analisi morfometrica

5.3.1. Bacino idrografico

Le caratteristiche morfometriche del bacino idrografico sono:

Superficie:	2,16 km^2
Pendenza media bacino:	22%
Lunghezza alveo principale:	3,27 km
Pendenza media alveo principale:	26%
Lunghezza totale rete idrografica:	3,87 km
Densità di drenaggio:	1,79 km/km^2
Indice di Melton:	0,58

La pendenza media dell'alveo risulta pari a 26%. La pendenza media del bacino si aggira attorno ai 12°.

L'Indice di Melton del bacino permette di determinare, in rapporto con la pendenza, il tipo di trasporto possibile lungo l'alveo: in tal caso si tratta di un trasporto tipo debris flow o debris flood.

5.3.2. Conoide

Le caratteristiche morfometriche del conoide sono:

Superficie:	0,14 km^2
Quota apice:	700 m s.l.m.
Lunghezza massima:	520 m
Larghezza massima:	571 m
Pendenza media conoide:	21 %
Pendenza media alveo:	26 %
Lunghezza alveo:	470 m
Indice di Melton:	0,30

L'Indice di Melton del conoide permette di definire che in tale tratto è possibile un trasporto tipo debris flow o debris flood.

6. RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

Nel sito in esame si è proceduto al rilevamento geomorfologico finalizzato alla definizione di tutti i processi e fenomeni, associati all'innesco di «*debris flow*» o «*debris torrent*».

Sono stati in particolare cartografati i fenomeni geomorfici associati alla dinamica torrentizia e di versante, per i quali, di seguito, viene data una descrizione dettagliata.

Le caratteristiche peculiari dell'area sono rappresentate nella "*Carta geomorfologica e litologica del bacino*" in scala 1:5.000 (*Tav. 4*).

Gli elementi rappresentati sono:

- ***Limite di bacino idrografico***: rappresenta il limite del bacino idrografico del Torrente Gavazzo, con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'apice del conoide.
- ***Limite di conoide***: rappresenta il limite del conoide individuato nell'ambito considerato.
- ***Corso d'acqua principale***: è stato individuato il corso del torrente principale dove è presente.
- ***Orlo di scarpata attiva:*** con questo simbolo si evidenziano i cigli delle scarpate che determinano un risalto morfologico significativo; essi si presentano talora in erosione a causa delle caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso e della presenza di materiale sciolto su pendio.
- ***Cono detritico:*** è stato individuato il piccolo cono detritico attivo posto in corrispondenza di uno dei principali solchi di erosione presenti sul conoide.
- ***Elementi antropici:*** sono stati individuati i tombotti di attraversamento, i tratti intubati e gli orli delle scarpate antropiche.

- ***Aree di riporto:*** sono state delimitate le aree costituite da riporti di materiale.

Le caratteristiche peculiari del conoide sono rappresentate nella "*Carta geomorfologica del conoide"* in scala 1:2.000 (*Tav. 5*). Su di essa sono riportati tutti gli elementi rappresentati nella carta geomorfologica del bacino relativi all'area di conoide. Alcuni elementi sono stati particolarmente evidenziati:

- ***Limite di conoide***: rappresenta il limite del conoide così come ricostruito dalle osservazioni in sito e dall'analisi morfometrica.
- ***Solchi di erosione concentrata:*** sono state individuate le morfologie che indicano i percorsi attuali creati dalle acque che solcano il conoide; si tratta di solchi di erosione "provvisori" che possono mutare nel tempo in funzione della diversa propagazione delle acque e delle colate detritiche;.
- ***Aree di riporto di materiale e/o discarica:*** sono state identificate le aree con riporti di materiale e/o rimodellate e quelle utilizzate come discarica.

6.1. Sezioni trasversali

Sono state tracciate 6 sezioni lungo l'alveo nei punti ritenuti più rappresentativi o in corrispondenza di particolari morfologie.

La sezione 1 è ubicata a quota 500 m s.l.m., in corrispondenza del solco di erosione principale immediatamente a monte del piccolo cono detritico.

Il solco risulta a fondo piatto con ciottoli spigolosi di Ø max di 20 cm e medio di 5 cm; le scarpate laterali hanno altezze di circa 5 m in condizioni di precaria stabilità; la vegetazione presente sul fondo è costituita da soggetti arbustivi sparsi. Tale solco risulta particolarmente attivo e costituisce una via di deflusso delle colate detritiche, anche se in occasione di eventi eccezionali esso non è in grado di contenere tutto il materiale trasportato.

Dalla sezione 2 (quota 700 m s.l.m., corrispondente all'apice del conoide) alla sezione 5 (quota 860 m s.l.m.) l'alveo ha una larghezza che varia da 20 a 40 m,

con fondo piatto ma “ondulato”, con molto detrito grossolano sciolto, privo di matrice; l’alveo risulta incassato in scarpate ad acclività maggiore di 40°, talora impostate direttamente nel substrato roccioso, talora ricoperte da detrito di versante avente spessore massimo di alcuni metri.

Il detrito deposto all'interno dell'alveo è costituito da blocchi e ciottoli di dimensione massima di 50÷30 cm e dimensione media di 20÷10 cm, da poco arrotondati a tabulari, senza spigoli vivi, a litologia uniforme calcarea e calcareo marnosa.

Man mano si sale dall’apice del conoide alla sezione 5, le dimensioni dei clasti tendono a diminuire; anche l’alterazione superficiale dei singoli clasti aumenta nella medesima direzione: il deposito sembra più “vecchio”, risalendo la valle.

Non è visibile acqua in superficie: essa scorre sul fondo del detrito a causa dell'elevata permeabilità del materiale che favorisce l’infiltrazione delle acque.

La vegetazione è ben diffusa anche all’interno dell’alveo, con specie erbacee e arbustive: a monte dell’apice del conoide essa ricopre circa l’80% della superficie del fondo, mentre si dirada verso la sezione 5, dove occupa circa il 20-40%.

La sezione 6 (quota 890 m s.l.m.) rappresenta tipicamente l'andamento di tutto l'alveo del tratto "montano": l’alveo si restringe con larghezze inferiori a 10 m, il fondo assume man mano una forma più concava; la quantità di detrito presente sul fondo diminuisce; le scarpate laterali sono molto acclivi, con dislivelli notevoli, anche di 40÷50 m, impostate prevalentemente nel substrato roccioso; la vegetazione è sviluppata, con elementi arborei, nei tratti meno acclivi.

7. VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

In questo capitolo sono illustrate le caratteristiche idrologiche e morfometriche, utilizzate per il calcolo delle altezze di pioggia, delle portate liquide e per la valutazione del trasporto solido.

I dati relativi alle precipitazioni sono quelli riportati negli Annali del Servizio Idrografico Mareografico Nazionale, relativamente alla Stazione meteorologica di Clusone, sita ad una quota di 648 m s.l.m.

I dati a disposizione sono riferiti ad un periodo di 36 anni e riguardano le precipitazioni della durata di 1 ora, 3, 6, 9, 12 e 24 ore.

I valori delle precipitazioni massime, riferiti a tempi di ritorno di 100, 50 e 10 anni hanno consentito l'applicazione dell'equazione della "curva della possibilità pluviometrica" (di seguito riportata) mediante la quale é stato possibile risalire ai quantitativi massimi di precipitazione registrabile nell'area.

Sulla base dell'equazione della curva della possibilità pluviometrica si ha infatti:

$$h(t) = a(t) * d^{n}(t)$$

in cui:

h = altezza di pioggia espressa in mm,

t = durata della pioggia

a e *n* sono due parametri il cui valore dipende dalle caratteristiche pluviometriche della zona; nel caso in esame, i valori di riferimento di *a* e *n* sono ottenuti dall'analisi del dati pluviometrici della Stazione di Clusone riportati nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, di cui si riporta la tabella riassuntiva:

TEMPO DI RITORNO (anni)	**a**	**n**
10	35,8	0,37
50	45,7	0,37
100	50,0	0,37

Per procedere ai successivi calcoli è necessario valutare *l'altitudine media* del bacino, la quale è valutata sulla base dei valori ottenuti dalla curva ipsografica, dove le singole aree, comprese fra due curve di livello contigue, vanno a "pesare" con il proprio valore di pendenza sul valore finale.

Attraverso la relazione:

$$Hm = (1 / A) \times \sum a_i \times h_i.$$

con:

A = area totale del bacino;

a_i = area del bacino compresa nell'intervallo i-esimo di quota;

h_i = altitudine media dell'intervallo di quota i-esimo.

si ricava l'altitudine media del bacino, che risulta essere pari a: **565 m**.

L'esame della curva ipsometrica permette di ricavare informazioni sulle caratteristiche del bacino. Una forte pendenza del tratto terminale della curva indica che il torrente è incassato, mentre un profilo non troppo concavo indica che il bacino è in condizioni di maturità.

Rappresentando la curva ipsografica in un diagramma adimensionale, si ricava la curva ipsometrica, dal cui andamento è possibile dedurre alcune informazioni sul grado di evoluzione volumetrica raggiunta dal bacino in relazione a quello primogenio. Ciò è possibile calcolando l'integrale della curva, definito integrale ipsometrico, il cui valore costituisce una valutazione del volume di bacino attualmente presente rispetto a quello teoricamente supposto originario.

Il valore dell'integrale del bacino della Val Gavazzo è pari a 0,73: valori superiori a 0,6 sono caratteristici dello stadio giovanile, cioè indicativi di una fase di prevalente erosione.

Nelle *Tavv 7 e 8* sono riportate rispettivamente il profilo altimetrico e ipsometrico del Torrente della Val Gavazzo.

È stato calcolato il *Tempo di corrivazione* T*c,* il quale rappresenta il tempo necessario affinchè l'acqua caduta dal punto più lontano del bacino giunga fino alla sezione di chiusura.

Nella stima del tempo di corrivazione di piccoli bacini montani non è infrequente incorre in errori legati alla applicazione delle formule sviluppate per aree non assimilabili a bacini montani (es. comprensori di bonifica), pertanto sono state utilizzate solo le formule applicabili nella situazione morfologica locale.

Le formule di calcolo più usate sono:

- *Formula di Giandotti:*

$$\tau_c(h) = \frac{4\sqrt{S_b} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_m}}$$

- *Formula di Pezzoli:*

$$\tau_c(h) = \frac{0.055L_p}{\sqrt{P_m}}$$

- *Formula Puglisi*

$$tc(h) = 6L^{2/3}(H_{max} - H_o)^{-1/3}$$

- *Formula Ventura*

$$tc(h) = 0.127 \sqrt{(A/p)}$$

- *Formula S.C.S:*

$$\tau_c(\min) = \frac{100L^{0.8}\left[\left(\frac{1000}{CN}\right) - 9\right]^{0.7}}{1900S_a^{0.5}}$$

dove:

$S_b\ (km^2)$ = superficie del bacino;

$L_p\ (km)$ = lunghezza dell'asta principale;

$P_m\ (\%)$ = pendenza media del bacino;

$H_m\ (m)$ = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura;

$h_{max}\ (km)$ = altezza massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

$L\ (ft)$ = lunghezza del corso d'acqua principale esteso fino allo spartiacque;

CN = Curve Number del bacino;

$S_a(\%)$ = inclinazione media del corso d'acqua principale.

La valutazione del tempo di corrivazione è stata ottenuta mediando i valori dele formule comunque più consone per i piccoli bacini montani; i risultati sono riportati nella seguente tabella:

TEMPO DI CORRIVAZIONE	**Ore**
GIANDOTTI	0,56
S.C.S.	1,67
VALORE MEDIO	**1,12**

Nell'allegato 1 si riportano i calcoli effettuati per la stima del tempo di corrivazione.

La *densità di drenaggio* si ricava dal rapporto tra la somma della lunghezza di tutte le aste, di qualsiasi ordine gerarchico, presenti nel bacino e l'area del bacino stesso.

L'indice consente la valutazione indiretta della permeabilità di un bacino, anche se per piccoli bacini montani, con un pattern poco sviluppato, l'indice è influenzato maggiormente dalle caratteristiche orografiche del versante piuttosto che dalle caratteristiche di permeabilità del terreno.

$$Dr = \sum li / A_i$$

Il torrente della Val Gavazzo ha un indice di drenaggio pari a 1,8, che indica una basso sviluppo dei corsi d'acqua rispetto la superficie del bacino e, di conseguenza, una buona permeabilità dei terreni.

Per calcolare la portata del torrente sono state utilizzate varie formule adatte per i bacini aventi le medesime caratteristiche.

Le formule di calcolo più usate sono:

- *Formula di Giandotti:*

$$Q_{max} = \lambda SH\sqrt{Z}/4\sqrt{S}+1,5L (m^3/s)$$

- *Formula di Turazza:*

$$Q_{max} = 11,57*SKm\ (h/t_p+t_c)\ (m^3/s)$$

- *Metodo razionale:*

$$Q_c = 0,28*KiS\ (m^3/s)$$

- *Metodo S.C.S:*

$$Q_c = 28*R_0S/t_p\ (m^3/s)$$

- *Formula di Anselmo:*

$$q = 200/ (S + 28) + 0.6\ (m^3/s/km^2)$$

- *Formula di Iszkowski:*

$$q = cmH\ (m^3/s/km^2)$$

dove:

$S\ (Km^2)$ = superficie del bacino

H (m) = altezza di pioggia ragguagliata all'intero bacino, di durata uguale o superiore al tempo di corrivazione

Z (m) = altitudine media del bacino

λ = fattore che dipende dall'estensione del bacino (per S<500 Km^2 λ=166)

L (m) = lunghezza massima della vallata

K = coefficiente di deflusso (per il bacino del torrente della Val Barbino è stato considerato pari a 0,9)

t_c *(giorni)* = tempo di corrivazione

t_p *(giorni)* = durata della pioggia

h (m) = altezza di pioggia ragguagliata sull'intero bacino

m = coefficiente di piena, il cui valore varia da 1 a 2

i (mm/hr) = intensità di pioggia

R_0 *(mm)* = volume netto di pioggia per unità di superficie

tp (ore) = tempo crescita onda di piena

c = coefficiente dipendente dalle caratteristiche morfologiche del bacino

m = coefficiente dipendente dall'estensione del bacino

L'analisi dei risultati permette di effettuare la media considerando solo le formule ritenute più consone, da cui si ricava la portata considerando un tempo di ritorno di 100 anni:

METODO	**PORTATA (m3/s)**
Razionale	28,4
Turazza	16,8
Anselmo	15,6
Iszkowski	18,7
VALORE MEDIO	**19,8**

Nell'allegato 2 si riportano i calcoli effettuati per la stima delle portate di massima piena.

8. VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO

La magnitudo è definita come il volume massimo di materiale detritico rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa o misto su un conoide.

Il volume di materiale attualmente presente in alveo, lungo il conoide, è stato stimato in circa 50.000 m^3.

Tale valore è puramente indicativo e basato solo su stime del possibile spessore del materiale in alveo; pertanto è stato effettuato un calcolo della magnitudo considerando le metodologie presenti in bibliografia.

Le formule di calcolo più usate sono:

- *Formula D'Agostino, Cerato, Coali:*

$$M = 45A^{0,9} SCL^{1,5} I.G. \ (m^3)$$
$$M = 39A \ SCL^{1,5} I.G. \ I.T.^{-0,3} \ (m^3)$$

- *Formula Takei:*

$$M = 13600A^{0,61} \ (m^3)$$

- *Formula Marchi:*

$$M = 10000A \ (m^3)$$

- *Formula Rickemann & Zimmerman:*

$$M = (110\text{-}2,5A)*L \ (m^3)$$

- *Formula Hampel*

$$M = 150A \ (i\text{-}3)^{2,3} \ (m^3)$$

- *Formula Tropeano & Turconi:*

$$M = (0,542Ae+0,0151)*0,019*h*tgq \ (m^3)$$

- *Formula Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini:*

$$M = K*A*Mb^{0,}8*Scl_c*(1/I_F)^2 \ (m^3)$$

- *Formula Bottino, Crivellari & Mandrone:*

$$M = 21241A^{0,28}\,(m^3)$$

dove:

$A\ (km^2)$ = area del bacino

$SCL\ (\%)$ = pendenza asta principale

$I.G.$ = indice geologico che dipende dai litotipi costituenti il bacino

$I.T.$ = indice di trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky

$L\ (m)$ = lunghezza dell'alveo sul conoide

$i\ (\%)$ = pendenza del conoide

$Ae\ (km^2)$ = area effettiva del bacino

$h\ (m)$ = spessore medio del materiale mobilizzabile

tgq = pendenza media del bacino

K = 3 per fenomeni di bed load e debris flood; 5,4 per debris flow

Mb = Indice di Melton del bacino

$Scl_c\ (\%)$ = pendenza del collettore sul bacino

I_F = Indice di frana (1: grandi frane e/o frane lungo la rete idrografica; 2: frane sui versanti; 3: frane piccole o assenti)

Nell'allegato 3 si riportano i calcoli effettuati per la stima della magnitudo.

L'analisi dei risultati permette di effettuare la media considerando solo le metodologie ritenute più valide poiché proposte per piccoli bacini:

METODO	**MAGNITUDO (m^3)**
D'Agostino et A.	35.793 33.504
Takei	21.754
Marchi	21.600
Rickemann	22.100
Crosta	50.920
VALORE MEDIO	**30.945**

Può essere utile anche stimare la portata massima della colata Q_{df}, secondo la formula di Armanini:

$$Q_{df} = Q_l*(C^{\alpha}/C^{\alpha}-C_{df})$$

Dove:

Q_l = portata massima liquida

C^{α} = 0,65÷0,75

C_{df} = concentrazione della colata

La concentrazione della colata può essere assunta, per pendenze indicativamente maggiori di 20° pari a $C_{df} = 0,9\ C^{\alpha}$ da cui risulta:

$$Q_{df} = 10*Q_l$$

In tal caso la portata della colata risulta essere:

$$Q_{df} = 198,5\ m^3/s$$

9. ZONAZIONE DEL CONOIDE

La procedura per la valutazione della pericolosità e zonazione dei conoidi è stata redatta dalla *Regione Lombardia - Territorio e Urbanistica (dicembre 2000)* per i conoidi alpini interessati da trasporto solido e/o in massa (bed load, debris flood, debris flow, debris torrent) o per colate detritiche tipo debris flow e debris avalanche, che possono innescarsi sui versanti, anche in assenza di un edificio di conoide ben sviluppato sul fondovalle.

La metodologia utilizzata per la zonazione è quella proposta da Aulitzky (1982), modificata da Ceriani (1998), che consente di determinare *l'indice di pericolo locale* per le rispettive zone del conoide; tale metodo si basa sull'osservazione e sull'interpretazione di alcune caratteristiche morfologiche che il conoide presenta allo stato attuale.

Alla determinazione quantitativa dell'indice di pericolo locale si perviene rispondendo a sei quesiti (domande 1-6) e attribuendo ad ogni risposta un punteggio da 4 a 1.

Il grado di pericolosità ottenuto mediando i valori attribuiti alle domande, viene così interpretato: punteggi superiori a 2,6 indicano alta pericolosità, punteggi fra 2,6 e 1,9 indicano pericolosità media e punteggi inferiori a 1,9 sono caratteristici di aree a bassa pericolosità.

9.1. Risultati

Per la valutazione della pericolosità locale è stata effettuata una suddivisione del conoide a partire dalla base topografica a scala 1:5.000; sono stati delimitati alcuni settori, non ad uguale area ma che individuano le medesime caratteristiche morfologiche-topografiche, indipendentemente dalle dimensioni di ciascun settore. La *Tav. 9 "Zonazione del conoide"* riporta la suddivisione del conoide e l'indice di pericolo locale.

Di seguito si riporta per ciascun settore l'applicazione della metodologia di Aulitzky.

Domanda 1 – Dimensione massima del materiale trasportato/eroso presente sulla conoide:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	0.2 - 1,0 mc	3
2	0,01 - 0,2 mc	2
3	0,01 - 0,2 mc	2
4	0,01 - 0,2 mc	2
5	0,01 - 0,2 mc	2
6	0,01 - 0,2 mc	2
7	0,01 - 0,2 mc	2
8	< 0,01 mc	1
9	< 0,01 mc	1
10	< 0,01 mc	1
11	< 0,01 mc	1
12	< 0,01 mc	1
13	< 0,01 mc	1
14		-

Domanda 2 – Massimo spessore del singolo debris flow:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	1 metro e oltre	4
2	1 metro e oltre	4
3	1 metro e oltre	4
4		-
5		-
6		-
7		-
8		-
9		-
10		-
11		-
12		-
13		-
14		-

Domanda 3 – Acclività del conoide:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	>15%	4
2	>15%	4
3	>15%	4
4	7-15%	3
5	7-15%	3
6	7-15%	3
7	>15%	4
8	>15%	4
9	7-15%	3
10	0-2%	1

11	2-7%	2
12	2-7%	2
13	2-7%	2
14	0-2%	1

Domanda 4 – Attuale copertura vegetale predominante:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	Vegetazione rustica	4
2		-
3		-
4	Successione già evoluta	2
5	Prati pascoli	2
6	Prati pascoli	2
7	Successione evoluta	3
8	Vegetazione rustica	4
9	Prati pascoli	2
10	Prati pascoli	2
11	Prati pascoli	2
12	Prati pascoli	2
13	Prati pascoli	2
14	Campi	1

Domanda 5 – Andamento del terreno nelle aree del conoide a causa dell'erosione:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	Aree colpite o con possibilità di essere colpite	4
2	Aree colpite o con possibilità di essere colpite	4
3	Aree colpite o con possibilità di essere colpite	4
4	Superfici che potrebbero essere investite	2
5	Superfici che potrebbero essere investite	2
6	Superfici che potrebbero essere investite	2
7	Aree investite dal dilagare della colata	3
8	Aree colpite o con possibilità di essere colpite	4
9	Superfici che potrebbero essere investite	2
10	Superfici che potrebbero essere investite	2
11	Superfici che potrebbero essere investite	2
12	Superfici che potrebbero essere investite	2
13	Superfici che potrebbero essere investite	2
14	Superfici non raggiungibili dal torrente	1

Domanda 6 – Condizioni di deflusso lungo l'alveo e sulla conoide:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	Fenomeni di trasporto di massa	4
2	Fenomeni di trasporto di massa	4
3	Fenomeni di trasporto di massa	4
4	Fenomeni di trasporto di minore intensità	3
5	Fenomeni di trasporto di minore intensità	3
6	Fenomeni di trasporto di minore intensità	3
7	Fenomeni di trasporto di massa	4
8	Fenomeni di trasporto di massa	4
9	Fenomeni di trasporto di minore intensità	3

10	Deflusso con altezze idriche minime	1
11	Deflusso con trasporto limitato	2
12	Deflusso con trasporto limitato	2
13	Deflusso con trasporto limitato	2
14	Deflusso con altezze idriche minime	1

RISULTATI:

SETTORE	TOTALE PUNTI	N° DOMANDE RISPOSTE	INDICE DI PERICOLO LOCALE
1	23	6	**3,8**
2	18	5	**3,6**
3	18	5	**3,6**
4	13	5	**2,6**
5	13	5	**2,6**
6	13	5	**2,6**
7	13	4	**3,2**
8	13	4	**3,2**
9	13	5	**2,6**
10	10	5	**2,0**
11	10	5	**2,0**
12	10	5	**2,0**
13	11	5	**2,2**
14	4	4	**1,0**

La classificazione del conoide secondo Aulitzky ha permesso di evidenziare che le aree a maggiore pericolosità sono la porzione centrale del conoide e le zone immediatamente ai lati; le porzioni più distali risultano a pericolosità media mentre il settore più pianeggiante è a bassa pericolosità.

10. PERICOLOSITA' DEL CONOIDE

La pericolosità del conoide, valutata con la metodologia di Aulitzky, è stata riesaminata per tener conto delle informazioni raccolte con il rilievo geomorfologico.

L'analisi degli aspetti geologici e geomorfologici, le valutazioni delle portate liquide e solide, permettono di effettuare alcune considerazioni:

- la quantità di materiale sciolto presente in alveo risulta elevata, anche sottoforma di depositi di debris flow;
- lungo l'asta torrentizia incassata il maggior apporto di materiale proviene dalle scarpate laterali che la racchiudono, piuttosto che da monte, lungo l'alveo; i versanti laterali sono costituiti sia da depositi di versante che da substrato roccioso fratturato; a seguito di precipitazioni intense e prolungate, tali materiali possono rimobilizzarsi, alimentando il trasporto solido del torrente;
- il verificarsi di fenomeni di trasporto misto acqua e detriti (debris flow e debris torrent) è pienamente compatibile con le condizioni rinvenute, dove il materiale sciolto presente sui versanti del bacino venga preso in carico dalla corrente e trasportato a valle;
- il percorso di deflusso del torrente nella valle è unico e rappresentato dall'alveo attuale, fino alla quota di 700 m s.l.m.,
- al di sotto di tale quota, ovvero a partire dall'apice del conoide, non è presente un recettore nè è visibile un canale preferenziale di scorrimento;
- l'acqua proveniente da monte tende normalmente a scorrere sul fondo del deposito trattandosi di un materiale grossolano sciolto, ad elevata permeabilità;
- i terreni sul conoide sono stati fortemente alterati dall'azione antropica che ha distrutto le originarie morfologie;
- in occasione di normali precipitazioni l'occasionale deflusso delle acque avviene preferibilmente lungo una direzione corrispondente alla

porzione centrale del conoide (di ciò ne è testimonianza il piccolo cono detritico posto a quota 580 m s.l.m.);

- in occasioni di intense precipitazioni può formarsi una colata detritica nell'alveo incassato, a partire da una quota massima di 900 m s.l.m.;
- la colata detritica, vista la pendenza dell'alveo e l'andamento perfettamente rettilineo, può raggiungere una velocità significativa;
- raggiunto l'apice del conoide, la colata detritica, priva di un recettore che lo contenga può divagare, investendo ampie porzioni del conoide;
- è più probabile che la colata detritica investa il settore sinistra del conoide, in quanto tale area è geometricamente allineata con la direzione della valle da cui proviene la colata stessa;
- le aree più distali del conoide possono essere coinvolte solo dalle colate detritiche più rilevanti; tali aree potranno essere investite da fenomeni via via sempre più ridotti, in termini di volume di acqua, di materiale depositato e di velocità.

Dalle considerazioni sopra esposte si evince che il conoide è fortemente attivo e eventuali colate detritiche possono coinvolgere un'ampia zona, che dall'apice del conoide stesso giungono fino alla piana sottostante (località Lama).

10.1. Classificazione della pericolosità

La *Carta della pericolosità del conoide* che ne è scaturita (*Tav. 10*) tiene conto delle valutazioni sopra esposte.

La pericolosità è stata suddivisa nelle seguenti classi:

- **Pericolosità molto elevata** (**H5**): comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.

- **Pericolosità alta** (**H4**): aree esterne all'alveo attivo con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in

massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti.

- **Pericolosità media** (**H3**): area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed ad erosioni di sponda. Si possono avere deflussi con tiranti idrici ridotti (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi; area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su base storica.

- **Pericolosità bassa** (**H2**): area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto.

La classificazione ha condotto a definire che:

- la zona centrale del conoide è classificata in classe H5, fino alla quota di 580 m s.l.m. (pericolosità molto elevata);
- un'ampia fascia attorno alla precedente zona, sviluppato sia in destra che in sinistra a partire dalla quota di circa 675 m s.l.m. fino alla piana, è intensamente coinvolta da fenomeni di debris flow; tale fascia si estende maggiormente in sinistra con larghezza massima di 100 m, mentre in destra si estende per circa 60 m; essa rientra nella classe H4 (pericolosità elevata);
- le porzioni laterali più distali lungo l'apparato di conoide (identificate a partire dalla quota di circa 640 m s.l.m. fino alla piana) possono essere interessate da fenomeni di debris, ma con trasporto limitato di materiale e altezze idriche ridotte; esse rientrano nella classe H3 (pericolosità media);
- la fascia più pianeggiante del conoide, comprendente tutta l'area a cavallo del piccolo torrente proveniente dalla località Lama fino alla strada sterrata, potrebbe essere interessata soprattutto da colate

prevalentemente liquide, caratterizzate comunque da altezze idriche ridotte; essa viene pertanto classificata in classe H2 (pericolosità bassa).

11. FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

Le classi di pericolosità sono state trasformate in classi di fattibilità geologica per le azioni di piano secondo la Tabella 1 riportata nella D.G.R. 11.12.2001 n. 7365: " Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della Legge 18 maggio 1989 n. 183", di cui si riporta lo stralcio relativo ai conoidi:

PERICOLOSITA'	***CLASSI DI FATTIBILITA'***
H2	Classe 2 - modeste o consistenti limitazioni
H3	Classe 3 - consistenti limitazioni
H4	Classe 4 - gravi limitazioni
H5	Classe 4 - gravi limitazioni

La *"Carta della fattibilità"* del conoide è riportata sulla *Tav. 11* (scala 1:2.000).

11.1. Normativa

Per le aree che rientrano nella classe 4 di fattibilità si riportano le prescrizioni contenute nelle Note tecniche Attuative del PAI all'art. 9 relativamente alle aree di conoide.

Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni

Gli interventi consentiti sono quelli previsti nella NdA del PAI all'art. 9 comma 7:

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- i cambiamenti delle destinazioni colturali, purché non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
- gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue.

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

Progetti di nuovi interventi edificatori, interventi di risanamento conservativo, restauro e ristrutturazione di opere o edifici esistenti, opere di movimento terra con volumi superiori a 100 m^3, sono subordinati alla presentazione di uno studio idraulico specifico per l'area di progetto che definisca le effettive condizioni di pericolosità rispetto a possibili fenomeni di debris flow (colate detritiche), dovuti a eventi con tempi di ritorno di 100 anni; lo studio deve quantificare i possibili effetti massimi locali dei fenomeni descritti, particolarmente nella definizione dell'areale coinvolto e dell'altezza della colata; deve inoltre essere predisposto il progetto dettagliato delle opere di difesa, con valutazione della sua efficacia nella riduzione del rischio, con quantificazione dell'eventuale rischio residuo e dimostrazione della sua accettabilità rispetto alle caratteristiche di progetto.

Deve inoltre essere effettuata una valutazione della stabilità dell'area di progetto e delle caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione; la necessità di una specifica indagine geotecnica con prove in sito, a corredo di tali valutazioni, verrà stabilita dal tecnico incaricato.

Modificazioni dell'uso del suolo devono essere accompagnate da relazione geologica che ne dimostri la compatibilità con le condizioni di stabilità presenti.

Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

Progetti di nuovi interventi edificatori, interventi di risanamento conservativo, restauro e ristrutturazione di opere o edifici esistenti, sono subordinati alla presentazione di uno studio geologico che valuti gli aspetti territoriali, dell'area di intervento e di un intorno significativo, relativi alla dinamica geomorfologica, alle caratteristiche idrauliche, alle caratteristiche geotecniche (sia per la valutazione della stabilità che per le fondazioni).

Tale studio deve inoltre individuare gli interventi necessari a mitigare le problematiche evidenziate.

12. RIDUZIONE DEL RISCHIO

L'indagine ha evidenziato la presenza di aree aventi un grado di pericolosità variabile da basso a molto elevato. E' stata predisposta una specifica normativa di fattibilità geologica che limita gli interventi e obbliga ad adeguati studi preventivi e alla realizzazione delle necessarie opere di difesa. Per la riduzione della pericolosità delle aree nelle quali vi è già un utilizzo in atto (presenza di infrastrutture, edifici, etc.), si auspica l'attuazione di interventi volti a ridurre il rischio mediante opere di carattere idraulico di adeguata tipologia alle specifiche condizioni presenti (arginature, scogliere, soglie, briglie, rilevati deviatori, vasche di espansione e/o di sedimentazione, etc.).

E' necessario che il Piano di Emergenza comunale consideri e predisponga adeguati scenari di intervento di tutte le aree nelle quali permane il rischio evidenziato nel presente studio.

13. PROPOSTA DI RIDELIMITAZIONE DEL CONOIDE DEL PAI

Lo studio effettuato ha permesso di valutare la pericolosità del conoide, classificato dal Pai come "Ca - conoide attivo non protetto" e di normarlo, ai fini dello strumento urbanistico comunale.

Le risultanze delle studio permettono, pertanto, di proporre una nuova delimitazione del conoide riportata nella *Tav. 12* (scala 1:10.000).

Il passaggio fra le classi di fattibilità e la classificazione del PAI è desunta dalla Tabella 1 riportata nella D.G.R. 11.12.2001 n. 7365, secondo il seguente schema:

CLASSI DI FATTIBILITA'	***VOCI LEGENDA PAI***
Classe 2 - modeste o consistenti limitazioni	Cn - conoide protetta
Classe 3 - consistenti limitazioni	Cn - conoide protetta
Classe 4 - gravi limitazioni (da H4)	Cp - conoide parzialmente protetta
Classe 4 - gravi limitazioni (da H5)	Ca - conoide attiva non protetta

Gran parte del conoide è classificato come Ca e Cp; le aree classificate come Cn riguardano solamente le porzioni più distali del conoide.

DOTT. GEOL. CORRADO REGUZZI

DOTT. GEOL. BARBARA ARAMINI

Villa d'Almè, aprile 2004

14. ALLEGATI

Allegato 1: Stima del tempo di corrivazione

Allegato 2: Stima delle portate di piena

Allegato 3: Stima della magnitudo

Allegato 4: Scheda del conoide della Val Gavazzo

Allegato 5: Documentazione Fotografica

Tav. 1: Carta geologica (scala 1:10.000)

Tav. 2: Carta geomorfologica (scala 1:10.000)

Tav. 3: Corografia del bacino idrografico (scala 1:10.000)

Tav..4: Carta geomorfologica del bacino (scala 1:5.000)

Tav. 5: Carta geomorfologica del conoide (scala 1 2.000)

Tav. 6: Sezioni trasversali (scala 1: 100)

Tav. 7: Profilo altimetrico (scala 1: 5.000)

Tav. 8: Profilo ipsografico e ipsometrico

Tav. 9: Zonazione del conoide (scala 1:2.000)

Tav. 10: Carta della pericolosità del conoide (scala 1:2.000)

Tav. 11: Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (scala 1:2.000)

Tav. 12: Proposta di ridelimitazione del conoide PAI (scala 1:10.000)