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 BARBINO

RELAZIONE TECNICO-IDRAULICA

DOTT. GEOL. CORRADO REGUZZI
DOTT. GEOL. BARBARA ARAMINI

Villa d'Almè, aprile 2004

INDICE ..... PAG.

1 PREMESSA 3

2 METODOLOGIA DI LAVORO 3

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 4

3.1 GEOLOGIA 4
3.1.1 Substrato roccioso 4
3.1.2 Depositi superficiali 5
3.1.3 Tettonica 6
3.2 GEOMORFOLOGIA 6
3.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA 8

4 ANALISI STORICA 9

5 ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO 10

5.1 ANALISI GEOLOGICA 10
5.2 ANALISI GEOMORFOLOGICA 12
5.3 ANALISI MORFOMETRICA 14
5.3.1 Bacino idrografico 14
5.3.2 Conoide 15

6 RILIEVO GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO 15

6.1 SEZIONI TRASVERSALI 19

7 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA 20

8 VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO 26

9 ZONAZIONE DEL CONOIDE 29

9.1 RISULTATI 30

10 PERICOLOSITA' DEL CONOIDE 34

10.1 CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ 36

11 FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO 38

11.1 NORMATIVA 38

12 RIDUZIONE DEL RISCHIO 42

13 PROPOSTA DI RIDELIMITAZIONE DEL CONOIDE DEL PAI 42

14 ALLEGATI 44

1 PREMESSA

Il presente studio, su 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 identificato allo sbocco della torrente della Val Barbino: 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.

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 Barbino. 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 sul pendio retrostante l'abitato di Clusone, corrispondente al versante meridionale del crinale che ha il suo apice nella Cima Blum (quota 1292 m s.l.m.).

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 unicamente dalla formazione della *Dolomia Principale*: si tratta di 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: poggia in contatto tettonico sui litotipi del S. Giovanni Bianco; il limite superiore è con le Dolomie Zonate.

3.1.2 Depositi superficiali

I depositi superficiali, che costituiscono le pendici del monte Crapet, sono:

Complesso di Bratto – Unità del Seminario di Clusone (Pleistocene inf.)

Si tratta di depositi di versante costituiti da conglomerati a stratificazione metrica o plurimetrica a supporto clastico con ciottoli mal selezionati di dimensioni variabili fra 5 cm e 50 cm a buona cementazione; la litologia è esclusivamente riferibile alla Dolomia Principale. La stratificazione assume la medesima inclinazione del pendio (circa 30°) e i conglomerati costituiscono la fascia di versante fra quota 700 e 820 m s.l.m. a partire dall'ospedale fino alla località Conca Verde di Rovetta. Tale unità costituisce un evidente gradino morfologico troncato verso valle da una scarpata di circa 25-50 m di altezza; è in continuità con il versante a monte ed è profondamente incisa dalle vallecole che nascono dal Crapet. La falda di detrito che costituisce l'unità rappresenta un episodio sedimentario locale, non correlabile con altri depositi della valle principale. L'unità poggia direttamente sul substrato roccioso mentre superiormente il limite coincide con la superficie topografica.

Complesso di Castione – Unità di Fino del Monte (Pleistocene inf.-medio)

Si tratta di depositi di versante e/o conoide costituiti da conglomerati, in corpi lenticolari plurimetrici a supporto clastico, con ciottoli da centimetrici a decimetrici spigolosi e mal selezionati. La litologia ricalca quella presente nel bacino di alimentazione (Dolomia Principale). Essi costituiscono una sottile fascia fra la quota 670 e 700 m s.l.m., compresa fra il torrente della Val Barbino (zona ospedale) e la parrocchiale.

L'unità presenta una buona cementazione, soprattutto lungo le scarpate erosionali. Essa poggia probabilmente sul substrato roccioso mentre il limite

superiore corrisponde alla superficie topografica anche se verso la piana è ricoperta, con contatto erosionale, dai depositi fluvioglaciali appartenenti al Complesso di Fiorine.

Complesso di Fiorine - Unità di Sternida (Pleistocene medio)

Sono depositi fluvioglaciali costituiti da conglomerati grossolanamente stratificati a supporto clastico con matrice arenacea; i ciottoli sono mal selezionati e di dimensioni da cm a dm, spigolosi a buona cementazione. Tale unità costituisce il terrazzo morfologico su cui sorge gran parte dell'abitato di Clusone dalla quota topografica massima di 700 m s.l.m. sino alla quota di 530 m s.l.m.

3.1.3 Tettonica

L'elemento strutturale più rilevante dell'area esaminata corrisponde alla "Faglia di Clusone": essa ha un decorso ENE-ONO con rapida immersione verso sud. E' stata interpretata come una faglia di incuneamento di scaglie (thrust) più settentrionali sulla Dolomia Principale. Infatti, essa mette in contatto i litotipi del Norico a sud con i litotipi del Carnico a nord.

E' presente un altro elemento strutturale di minore importanza che decorre immediatamente a nord delle cime del Monte Simer e della Cima Crapet: è una faglia immergente verso sud che ha provocato il ribassamento della porzione di versante retrostante.

3.2 Geomorfologia

L'ambito territoriale considerato corrisponde al versante meridionale della Cima Crapet che a partire dalla quota 1146 m s.l.m. si raccorda con la piana di Clusone con un andamento pressochè costante verso sud.

La morfologia è articolata in dossi allungati e numerose vallecole incise e poco sviluppate; essa è in stretta relazione con le caratteristiche litologiche dei materiali costituenti il territorio. Nella porzione di affioramento del substrato roccioso, costituito dai litotipi della Dolomia Principale, le vallecole sono molto

incise, con fondo a V, e con il talweg impostato nella roccia; le scarpate sono spesso ripide con cigli in erosione. Le peculiarità di tali morfologie è determinata dall'elevato grado di fratturazione della dolomia in tale porzione di territorio, causa predisponente delle intense azioni erosive superficiali. Lungo gli impluvi infatti è facile osservare creste e pinnacoli che definiscono forme che presentano analogie morfologiche con i "calanchi".

Ciò si riflette sulle condizioni di stabilità delle sponde fluviali che tendono ad essere soggette a scivolamenti e crolli, sia per azione della gravità sia per azione delle acque circolanti.

La porzione di versante presa in esame può essere morfologicamente suddivisa in due fasce:

- fascia ad elevata pendenza (fino alla quota media di 700 m s.l.m.), caratterizzata da substrato roccioso prevalentemente affiorante o ricoperto da spessori ridotti di materiale eluviale e da morfologie fortemente condizionate dalla presenza di numerose vallecole incise nel bedrock; tali incisioni hanno un andamento principale verso sud a scarso sviluppo longitudinale ma spesso con parecchie ramificazioni di secondo ordine che individuano una morfologia di tipo dendritico.
- fascia a bassa pendenza (generalmente inferiore a 15°) individuata a quote inferiori a 700 m s.l.m., costituente il raccordo con la piana vera e propria di Clusone. Questa porzione di territorio è fortemente antropizzata e le sue morfologie originarie spesso sono mascherate o distrutte dall'azione antropica. E' costituita da depositi superficiali di varia origine di spessori rilevanti (parecchi metri) che suturano il substrato roccioso, individuabile in corrispondenza dei rilievi isolati situati a margine della piana. In tale fascia le incisioni torrentizie sono state canalizzate e generalmente intubate.

Buona parte degli impluvi che scorrono lungo il versante del Monte Simer hanno edificato, in corrispondenza dello sbocco sulla piana di Clusone, degli apparati di conoide, le cui morfologie sono ora poco visibili a seguito della

sovrapposizione con le varie fasi deposizionali ed erosive da parte del ghiacciaio camuno.

L'azione antropica ha inoltre modificato sostanzialmente l'andamento topografico e il naturale sedime di scorrimento delle acque. Infatti tutti gli impluvi risultano intubati fino allo sbocco sulla piana e taluni sono stati anche convogliati nel collettore fognario.

I potenziali dissesti, legati a questi conoidi, attualmente sono prevalentemente riconducibili a fenomeni di esondazione causati, in modo particolare, dalle possibili ostruzioni dei tombotti di attraversamento che, anche quando idonei allo smaltimento delle portate liquide, sottostimano sempre le eventuali portate solide che possono ostruirli.

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 scarsamente organizzato, con vari impluvi di limitato sviluppo longitudinale che si dipartono dalle pendici della Cima Crapet a quote generalmente non superiori a 1000 m s.l.m.

Tali incisioni sono pressochè rettilinee, con un andamento lungo la massima pendenza verso sud e ramificazioni frequenti di secondo ordine a scarso sviluppo. Le vallecole si presentano per buona parte dell'anno asciutte per la limitata estensione dei bacini e si riattivano in coincidenza con le precipitazioni stagionali.

Tutti gli impluvi provenienti da questo versante non hanno un recapito vero e proprio sulla piana di Clusone: dopo aver attraversato il centro edificato (con tratti intubati) non sono più individuabili sulla piana con incisioni fisicamente riconoscibili, in quanto le acque tendono ad infiltrarsi in terreni a buona permeabilità.

Le condizioni idrogeologiche dell'ambito considerato dipendono dalle caratteristiche di permeabilità dei litotipi affioranti: in corrispondenza del substrato

roccioso la circolazione delle acque è condizionata dalla permeabilità secondaria. Il grado di fratturazione e di cataclasi della Dolomia Principale in quest'area risulta molto elevato, determinante una permeabilità medio-elevata.

I depositi superficiali sono prevalentemente costituiti da ghiaie e sabbie con quantità di matrice fine, limosa, variabile, generalmente non elevata. Spesso i depositi di versante risultano possedere un certo grado di cementazione, comunque irregolare, dove si alternano strati cementati ad altri sciolti; anche all'interno del medesimo banco il grado di cementazione varia notevolmente.

La permeabilità che può essere attribuita a questo materiale è mediamente buona-elevata.

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 vallecola della Val Barbino, sono riportati nello Studio dei dissesti del 1997, realizzato dalla Comunità Montana Valle Seriana Superiore.

La scheda relativa individua i possibili dissesti che si possono verificare lungo l'asta torrentizia, gli eventuali danni attesi e i possibili rimedi; non sono invece indicate datazioni o citazioni di eventi storici.

Si riporta parte della scheda suddetta relativamente ai danni e fattori di rischio, dai quali si intuisce quali problematiche sono presenti lungo il corso d'acqua in esame.

DANNI E FATTORI DI RISCHIO: a monte della zona urbanizzata di Clusone si verificano danni alle sponde derivanti dal crollo delle difese spondali. A valle della strada statale della Presolana la rete fognaria costruita sotto l'alveo può essere

danneggiata dall'erosione del letto del torrente in caso di forti portate.

Rischi seri di esondazione del torrente con allagamenti dei campi circostanti e delle abitazioni che si trovano a 605 m s.l.m. si possono avere tra la strada statale e la provinciale per Lovere. Danni possono essere arrecati anche alle strutture cimiteriali recentemente costruite. L'esondazione del torrente in corrispondenza del tombotto costruito sotto la strada provinciale per Lovere può determinare l'allagamento della stessa strada. Gravi danni alle abitazioni circostanti e alla zona artigianale di Clusone possono essere provocati dall'esondazione del torrente a valle del tombotto della strada provinciale per Lovere.

5 ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del torrente della Val Barbino si sviluppa dal monte omonimo (quota 1146 m s.l.m.) ed è compreso fra due crinali; alla sommità del crinale destro, alla quota di 960 m s.l.m., è posto il Monte Simer.

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

L'analisi geologica e geomorfologica seguente prende in esame il bacino idrografico della Val Barbino fino al tombotto di attraversamento di via Milano; l'analisi morfometrica è stata effettuata distintamente per il bacino e il conoide, il cui apice è posto alla quota di 675 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.

A partire dalla sommità del bacino idrografico, Cima Crapet, il versante è caratterizzato da:

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

  La litologia è data dalla sola formazione della Dolomia Principale: si tratta di dolomie e calcari dolomitici di colore grigio. L'intensa tettonizzazione subìta ha provocato una spiccata cataclasi della roccia che facilita l'erodibilità.

Il substrato roccioso è visibile lungo l'alveo fino alla quota topografica di 675 m s.l.m., mentre sul versante destro la dolomia è presente (subaffiorante) fino alla quota di circa 715 m s.l.m.; in sinistra è visibile anche a quote maggiori (sino a 750 m s.l.m.).

- **Substrato roccioso subaffiorante** con copertura eluviale molto ridotta (con spessori di ordine decimetrico).
- **Falde di detrito** sono visibili lungo l'alveo, generate dal franamento dei blocchi dolomitici dalle scarpate retrostanti. Si tratta prevalentemente di accumuli di ciottoli e blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche alla base delle pareti.

  Nella porzione di testata dl bacino, fra la quota 1000 m s.l.m. e 850 m s.l.m., fra le due ramificazioni principali del torrente, è visibile una falda detritica avente spessore di ordine metrico.
- **Deposito di versante** visibile in sinistra idrografica a contatto con il substrato roccioso; esso è rappresentato da un conglomerato (denominato Unità di Bratto) con struttura organizzata in strati inclianti, paralleli al versante. I clasti si presentano spigolosi, a litologia unicamente dolomitica di dimensioni variabili, orientati parallelamente alla stratificazione. Il deposito presenta l'alternanza di strati ben cementati (di spessore metrico), costituiti da ciottoli e blocchi di dimensione anche metrica, a supporto prevalentemente clastico e strati meno compatti dove i ciottoli hanno dimensioni inferiori e la matrice (di tipo sabbioso) è abbondante. Tale struttura comporta un'erosione differenziale, per cui gli orizzonti più compatti risultano morfologicamente "sporgenti".

  Esso è ben visibile sulla scarpata dell'impluvio, a partire dalla quota di 700 m s.l.m.; il suo spessore è valutabile in 20-30 m. Tale deposito costituisce la porzione di versante in destra, dalla quota 800 m s.l.m. fino alla quota di circa 690 m s.l.m. dove si raccorda con il pendio edificato di Clusone. Non è invece visibile sul versante in sinistra idrografica.
- **Deposito di versante e/o conoide** visibile solo in piccoli spaccati nella porzione di pendio retrostante l'ospedale. Esso è costituito da ciottoli

spigolosi, a litologia esclusivamente dolomitica, immersi in matrice fine sabbiosa scarsamente cementati; i blocchi hanno dimensioni centimetriche-decimetriche e sono disposti parallelamente all'andamento del versante. La scarsità degli affioramenti rende dubbia la sua origine: potrebbe trattarsi sia di un deposito di versante, soprattutto alle quote maggiori, sia un deposito di conoide messo in posto per successivi eventi di debris flow. Il suo spessore non è valutabile con precisione, comunque di ordine decametrico.

Costituisce il versante in destra dalla quota 725 m s.l.m. fino alla quota 665 m s.l.m., dove si raccorda con il pendio edificato, mediante una scarpata di alcuni metri di altezza. In sinistra costituisce una fascia intermedia fra il conglomerato cementato ed il pendio a bassa acclività sottostante.

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 ad elevata acclività costituito da un substrato roccioso fortemente fratturato.

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

- porzione sommitale (dalla Cima Crapet alla quota 900 m s.l.m.): il versante si presenta uniforme senza significativi cambi di pendenza; l'assenza di una rete idrografica organizzata ha permesso agli agenti atmosferici di operare un'erosione uniforme. Si riconoscono forme legate principalmente all'azione della gravità, come una falda detritica (individuata fra la quota 1000 e 875 m s.l.m.), alimentata dal tratto di pendio soprastante ad elevata acclività (oltre i 975 m s.l.m.). L'attività di questa falda detritica è difficile da determinare in quanto il detrito si presenta colonizzato anche se nel settore sommitale dell'area si evidenziano alcuni solchi di alimentazione "freschi"; ciò non esclude la possibilità di periodiche attivazioni del fenomeno.

- porzione centrale (dalla quota 900 m s.l.m. alla quota 675 m s.l.m.): le forme dipendono principalmente dai fenomeni legati all'azione delle acque superficiali che hanno operato un'erosione concentrata lungo l'asta torrentizia coinvolgendo man mano i versanti laterali. L'interazione fra l'azione erosiva delle acque ed il substrato roccioso, a scarsa compattezza, ha favorito la creazione di un impluvio incassato, le cui scarpate risultano molto acclivi con altezze massime di 40÷50 m e i cui cigli sono in continuo arretramento. I tratti di versante prossimi all'alveo presentano analogie morfologiche con le aree "calanchive": si alternano dossi e pinnacoli ad aree di erosione concentrata che costituiscono anche le zone di alimentazione di piccoli coni detritici presenti lungo il torrente.
- porzione terminale (dalla quota 675 m s.l.m. alla chiusura): il versante si presenta poco acclive; lungo l'alveo le scarpate possiedono altezza limitata ma elevata pendenza, impostate nei depositi superficiali; tale condizione favorisce l'erosione al piede, tanto che parte delle sponde dell'alveo sono state oggetto di tentativi di consolidamento con gabbioni o muri in cls, attualmente instabili o addirittura crollati

  Il versante in destra è caratterizzato da una serie di terrazzamenti (mantenuti a prato sfalciato) che consentono il raccordo con il terreno, quasi pianeggiante, dell'area dell'ospedale. In sinistra lungo il versante non si evidenziano le morfologie originarie, a causa dell'edificazione operata.

  La quota di 675 m s.l.m. corrisponde alla zona di apice del conoide: la morfologia permette a fatica di interpretare il limite dell'apparato del conoide, sia per le varie fasi di erosione e sedimentazione di origine fluvioglaciale, avvenute successivamente all'edificazione del conoide, sulla piana di Clusone, sia per le modifiche operate dall'edificazione. Grazie anche al supporto delle foto aeree è stato possibile delimitare il conoide: esso si presenta con il lobo destro più ampio e sviluppato, comprendente l'area fra via Somvico e Via Furia; il lobo sinistro si sviluppa a monte di Via Defendente e Via Trento chiudendosi rapidamente verso l'apice.

L'assenza di circolazione di acque incanalate, di morfologie fresche nelle aree circostanti l'alveo, legate al possibile trasporto e deposizione di debris flow, unitamente alle attuali caratteristiche geometriche e topografiche dell'alveo attivo, indicano lo stato di inattività del conoide nelle aree esterne all'alveo attivo attuale.

La rete idrografica è costituita da un collettore principale, individuabile dalla quota topografica di 850 m s.l.m., che raccoglie le acque del versante attraverso due piccole incisioni, riconoscibili sino alla quota di 930 m s.l.m.

L'asta principale scorre fino alla quota topografica di 655 m s.l.m. dove si immette in un tubo fino ad oltrepassare la strada provinciale.

Nel tratto a monte dell'attraversamento, l'impluvio non presenta ramificazioni secondarie significative: sono visibili alcuni solchi in corrispondenza delle incisioni createsi nella roccia a causa della sua elevata erodibilità, che favoriscono lo scorrimento delle acque provenienti da monte, senza costituire però delle vallecole organizzate.

L'impluvio scorre, lungo tutto il tratto a monte della quota di 675 m s.l.m., nell'alveo impostato nel substrato roccioso: l'andamento del talweg è caratterizzato da più salti morfologici che collegano tratti a bassa inclinazione; in particolare si sottolinea la presenza di cascate alle quote di 750, 730 e 690 m s.l.m.

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: 0,22 km^2

Pendenza media bacino:	48%
Lunghezza alveo principale:	0,69 km
Pendenza media alveo principale:	40%
Lunghezza totale rete idrografica:	1,33 km
Densità di drenaggio:	5,52 km/km^2
Indice di Melton:	1,015

La pendenza media dell'alveo risulta pari a 40% con tratti, dall'apice del conoide fino a 800 m s.l.m, costituiti da roccia con pendenza del 90÷100%. La pendenza media del bacino si aggira attorno ai 25°.

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:	0,08 km^2
Quota apice:	675 m s.l.m.
Lunghezza massima:	308 m
Larghezza massima:	400 m
Pendenza media conoide:	9,4 %
Pendenza media alveo:	14 %
Lunghezza alveo:	210 m
Indice di Melton:	0,10

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 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 della Val Barbino, con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'apice del conoide.
- ***Limite di conoide***: rappresenta il limite dei conoidi individuati nell'ambito considerato. Si sottolinea la presenza di un piccolo conoide sul lato destro di quello della Val Barbino: il limite di separazione fra i due è stato posto lungo via Somvico, anche se non si esclude che possono esservi interdigitazioni fra i due conoidi.
- ***Corso d'acqua principale e secondario***: il torrente considerato si attiva solo in occasione di eventi meteorici intensi, perciò è stato classificato "con acque periodiche".
- ***Orlo di scarpata e/o di frana attivo e/o fortemente in erosione:*** con questo simbolo si evidenziano i cigli delle scarpate fluviali che determinano un risalto morfologico elevato (il torrente è incassato anche 20-30 m rispetto la topografia circostante); essi si presentano in erosione a causa delle scadenti caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso (dolomia cataclasata) e della presenza di materiale sciolto su pendio; l'instabilità delle scarpate è determinata, non tanto dall'erosione al piede operata dalle acque, ma da processi di tipo gravitativo che determinano l'arretramento dei cigli. Gli orli della scarpata fluviale si presentano continui ma con un andamento articolato per la diversa erodibilità del substrato.

- ***Orlo di scarpata e/o di frana inattivo:*** con questo simbolo si evidenziano i cigli delle scarpate fluviali che non presentano indizi di attività e possono essere considerate stabilizzate; si tratta in particolare dei cigli delle scarpate in destra idrografica sul pendio retrostante l'ospedale. La loro morfologia "a gradini" potrebbe rappresentare il risultato della sovrapposizione di eventi di tipo deposizionale con altri di tipo erosivo.
- ***Falda e cono detritico:*** sono rappresentati con tale simbolo gli accumuli di ciottoli e blocchi rocciosi presenti in vari punti lungo l'alveo, in particolare a partire dalla quota di 850 m s.l.m. fino all'apice del conoide; essi rappresentano il risultato del franamento del materiale roccioso costituente le scarpate laterali. Questi accumuli, i cui blocchi hanno dimensioni variabili, inferiori al m^3, raggiungono anche il letto del torrente e possono essere presi in carico durante eventi di piena dello stesso.
- ***Cascata:*** si tratta di salti morfologici dell'alveo in roccia, i cui dislivelli raggiungono anche i 10÷15 m; sono generalmente sono seguiti e preceduti da tratti a debole pendenza. Queste forme sono rinvenute frequentemente nel tratto di torrente fra la quota di 800 s.l.m. e l'apice del conoide.
- ***Erosione concentrata:*** sono state individuate le morfologie che denotano delle direzioni preferenziali di erosione operata dalle acque; esse si rinvengono spesso nelle zone più incise delle scarpate.
- ***Solchi di trasporto detritico:*** sono stati tracciati alcuni solchi ravvisati all'interno dell'area sommitale del bacino indicata come falda detritica; essi corrispondono alle vie preferenziali di trasporto del materiale detritico proveniente del pendio retrostante.
- ***Elementi antropici:*** sono stati individuati le soglie, i tombotti di attraversamento, i tratti intubati e i terrazzamenti.

Le caratteristiche peculiari del conoide sono rappresentate nella "*Carta geomorfologica del conoide"* in scala 1:2.000 (*Tav. 5*).

- ***Limite del conoide:*** rappresenta il limite del conoide così come ricostruito sulla base delle foto aeree e dell'interpretazione morfologico-topografica.

- ***Orli di scarpata fluviali attivi:*** i cigli delle scarpate fluviali in tale tratto di torrente realizzano un dislivello che dalla zona di apice tende a diminuire fino al tombotto, passando da circa 20 m a meno di 2 m. Essi risultano impostati in un deposito superficiale parzialmente cementato, talora con indizi di instabilità conseguenti all'erosione operata dalle acque al piede della scarpata. In particolare: nella zona apicale il dislivello è superiore a 15 m, nella zona mediana è di circa 4 m, nella zona distale scende a 1,5 m (considerata quest'ultima sino al tratto intubato).

  I possibili fenomeni di dissesto che possono interessare le scarpate del torrente, lungo il tratto di conoide, coinvolgono volumi ridotti di materiale e sono legati principalmente allo scivolamento di frammenti rocciosi di dimensioni dell'ordine del dm^3.
- ***Punti di possibile tracimazione della colata*****:** rappresenta il punto di possibile disalveamento, con fuoriuscita delle acque dall'asta torrentizia. È stato evidenziato nella zona mediana del conoide alla quota di 666 m s.l.m. nel punto in cui la larghezza dell'alveo si riduce a pochi metri ed il dislivello con il piano campagna circostante è circa 3.5 m.
- ***Probabile direzione della colata:*** sono stati individuati i possibili percorsi della colata nel caso di esondazione. Essa si può propagare in sinistra idrografica raggiungendo la quota topografica di circa 664 m s.l.m., coinvolgendola piccola piana, la strada privata e una porzione di prato a lato della strada, fino ad incrociare via Milano; in destra la colata, nel primo tratto, è contenuta dalla scarpata per poi espandersi fino ad interessare l'area sterrata pianeggiante, utilizzata come parcheggio.
- ***Limite di massima espansione della colata:*** sulla base dei volumi della colata esondabile, è stata ipotizzato che il limite raggiungibile dal materiale, corrisponde all'incrocio fra via Milano e via Defendente.
- ***Probabile direzione delle acque esondate:*** sono stati individuati i possibili percorsi della sola porzione liquida della colata: l'acqua, fuoriuscita a monte dell'intubamento, scorerà preferibilmetne in via Milano; dopo aver incrociato via S. Defendente può diramarsi e scorrere in più

direzioni fino a raggiungere la Strada Provinciale, invadendola nel tratto diretto verso Ovest. il tirante idrico dovrebbe comunque essere limitato (1-3 dm), salvo fenomeni di ostruzione dell'alveo con successivo effetto-diga.

- ***Arginatura:*** sono state individuate le arginature presenti sul corso d'acqua; alcuni tratti sono stati regimati con gabbioni in doppia fila, in pessime condizioni, con cedimenti e spanciamenti.
- ***Soglia:*** sono state localizzate due piccole soglie in calcestruzzo lungo l'alveo nel tratto iniziale alla quota di 658 e 662 m s.l.m.. Si presentano in buono stato di conservazione e di funzionamento.

6.1 Sezioni trasversali

Sono state tracciate 10 sezioni lungo l'alveo nei punti ritenuti più rappresentativi o in corrispondenza di particolari morfologie.

La sezione 1 è ubicata in corrispondenza del tombotto di attraversamento della strada comunale: a tergo del tombotto è stata realizzata una vasca, in calcestruzzo, di raccolta del materiale trasportato dalle acque del torrente. Tale opera, in buone condizioni, si ritiene funzionale e idonea per i quantitativi di detrito depositati durante gli eventi di piena ordinaria; anche il tombotto è sufficientemente dimensionato per lo smaltimento delle acque di normale deflusso. Attualmente la vasca contiene materiale per circa 1/3 della sua capacità.

In occasione di eventi eccezionali la vasca non è in grado di contenere tutto il materiale trasportato.

Dalla sezione 2 alla sezione 6 l'alveo ha una larghezza che varia da 1.5 a 2.5 m, con un'altezza da 1.5 m fino a 3.5 m. Questo tratto di alveo si caratterizza per la presenza di arginature (in sponda sinistra), costituite da gabbioni instabili. Questi gabbioni sono destinati a crollare invadendo l'alveo.

Il detrito deposto all'interno dell'alveo è costituito da blocchi e ciottoli di dimensione massima di 40 cm e dimensione media di 10÷15 cm, spigolosi a litologia uniforme dolomitica.

La vegetazione sulle sponde è di tipo arbustivo con soggetti di altezza di 2÷3 m e cespugli radi.

Le caratteristiche dell'alveo rinvenute fra la sezione 7 e 8, indicano un alveo con fondo piatto incassato in scarpate subverticali di altezza compresa fra 1 e 2 m, con cigli parzialmente in erosione; lateralmente si sviluppano piccoli pianori che si raccordano con i versanti soprastanti aventi pendenze variabili fra 40° e 50°.

Il detrito visibile all'interno dell'alveo è costituito da blocchi e ciottoli di dimensione media di 10÷15 cm ma con elementi più grossi, fino a circa 80 cm di diametro; la litologia è sempre calcareo-dolomitica.

La vegetazione sui terrazzi e sulle scarpate è di tipo prevalentemente arbustivo con elementi arborei d'alto fusto.

La sezione 8 corrisponde alla porzione di apice del conoide (quota 675 m s.l.m.); a monte della quale l'alveo si imposta nel substrato roccioso.

Le sezioni 9 e 10 costituiscono due "sezioni-tipo" dell'andamento dell'alveo nel tratto "montano": si alternano cioè zone con alveo ampio impostato sul materiale detritico, franato dalle pareti rocciose acclivi (talora quasi verticali), con zone molto ristrette, in cui la roccia affiora anche in alveo.

In ogni caso l'alveo risulta fortemente inciso (le scarpate mostrano dislivelli notevoli, anche di 40-50 m) e la vegetazione è sviluppata, con elementi arborei, nei tratti meno acclivi.

Il materiale detritico, nei tratti in cui è presente, è caratterizzato da dimensioni eterogenee, variabili da 150 cm a 15 cm ad elevata spigolosità e litologia dolomitica.

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: **213 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 Barbino è pari a 0,75: 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 Barbino.

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	0,25
S.C.S.	0,14
VALORE MEDIO	**0,19**

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 Barbino ha un indice di drenaggio pari a 5,5, che dipende principalmente dalla lunghezza media del versante e dal controllo strutturale delle pareti rocciose che influenzano in senso longitudinale lo sviluppo del bacino.

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	1,51
SCS	1,52
Anselmo	1,69
Iszkowski	1,90
VALORE MEDIO	**1.655**

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 1300 m^3.

Tale valore, puramente indicativo, non tiene però conto del contributo, ritenuto significativo, determinato da possibili franamenti o colate provenienti dalle scarpate fluviali; pertanto è stata 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.	4.370 3.255
Takei	5.400
Marchi	2.200
Hampel	2.033
Crosta	2.694
VALORE MEDIO	**3.325**

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:

$$Q_{df} = 16,55\ m^3/s$$

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.

Per la conoide della Val Barbino sono state prese in considerazione solo 5 delle 6 caratteristiche indicate da Aulitzky poiché non è stato possibile identificare colate recenti e valutarne lo spessore.

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 1:2.000; sono stati delimitati alcuni settori, non ad uguale area, 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	> 1,0 mc	4
2	0,01 - 0,2 mc	2
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	0,01 - 0,2 mc	2
11	-	-
12	-	-

Domanda 3 – Acclività del conoide:

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	7-15 %	3
2	>15%	4
3	>15%	4
4	>15%	4
5	>15%	4
6	>15%	4
7	7-15%	3
8	0-2%	1
9	0-2%	1
10	>15%	4
11	0-2%	1
12	0-2%	1

Domanda 4 – Attuale copertura vegetale predominante:

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

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	Superfici chiaramente sopraelevate	2
3	Superfici fortemente sopraelevate	1
4	Superfici fortemente sopraelevate	1
5	Superfici fortemente sopraelevate	1
6	Superfici fortemente sopraelevate	1
7	Superfici fortemente sopraelevate	1
8	Aree colpite o con possibilità di essere colpite	4
9	Superfici fortemente sopraelevate	1
10	Superfici fortemente sopraelevate	1
11	Superfici fortemente sopraelevate	1
12	Superfici fortemente sopraelevate	1

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

SETTORE	RISPOSTA	PUNTI
1	Sezione critica lungo l'alveo	3
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	-	-
8	Deflusso sulla conoide con altezze idriche minime	1
9	-	-

10	-	-
11	-	-
12	-	-

RISULTATI:

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

La classificazione del conoide secondo Aulitzky ha permesso di evidenziare che le aree a maggiore pericolosità sono l'alveo e la scarpata in destra idrografica, ad elevata acclività; il pendio circostante risulta a pericolosità media mentre le porzioni più pianeggianti sono 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, in quanto, non essendo sempre stato possibile rispondere a tutti i quesiti di Aulitzky

(come le domande 1 e 6), il risultato è fortemente condizionato dal parametro dell'acclività e della vegetazione.

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 limitata, non sono rilevabili fenomeni significativi di sovralluvionamento o depositi di debris flow;
- il substrato roccioso costituente il bacino risulta spesso fratturato, localmente anche in modo pervasivo; ciò determina la formazione di piccole falde di detrito sciolto;
- le piccole falde di detrito presenti sui versanti del bacino, a seguito di precipitazioni intense e prolungate, possono rimobilizzarsi, alimentando il trasporto solido del torrente;
- si ritiene pertanto possibile il verificarsi di fenomeni di trasporto misto acqua e detriti (debris flow e debris torrent), dove il materiale sciolto presente sui versanti del bacino venga preso in carico dalla corrente e trasportato a valle;
- l'alveo attuale del torrente risulta molto incassato fra le scarpate, almeno fino alla quota 666 m s.l.m.;
- i terreni a lato sono fortemente sopraelevati rispetto al letto del torrente;
- in corrispondenza dell'apice del conoide, l'alveo è incassato per decine di metri rispetto alle aree di conoide prospicienti;
- la semplice analisi morfologica consente di escludere che il corso d'acqua attuale, possa fuoriuscire dall'alveo attivo, lungo tutta l'asta del bacino considerato, fino al punto di chiusura considerato (apice del conoide);
- lungo il conoide, dall'apice fino alla quota (in alveo) di 666 m s.l.m., il corso d'acqua non può esondare per la presenza di un alveo ben definito e compreso fra scarpate ben sviluppate in altezza;

si possono verificare fenomeni assimilabili a debris flow: essi risulteranno necessariamente contenuti nell'alveo attivo, attuale, fino alla quota di 666 m s.l.m.;

- a partire da tale quota, a causa della morfologia (assenza di sponde di contenimento, presenza di un tombotto di volume insufficiente per trattenere completamente le possibili portate solide, tubazione ostruibile), è possibile che la tracimazione del torrente e la fuoriuscita della colata lungo via Milano fino all'incrocio con via Defendente.

Dalle considerazioni sopra esposte si evince che l'attività del conoide è limitata essenzialmente alla zona di alveo attuale e può coinvolgere la porzione di territorio posta nell'immediato intorno ed a valle del punto di inizio della tubazione.

Pertanto l'evoluzione del conoide può considerarsi in fase non più edificatoria e le aree esterne all'alveo attivo sono classificabili come stabilizzate.

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.

Dalla cartografia realizzata si evince che:

- la zona dell'alveo torrentizio è classificata in classe H5 (pericolosità molto elevata);
- un piccolo lobo, sviluppato sia in destra che in sinistra a partire dalla quota di circa 666 m s.l.m. fino all'incrocio con via Milano, è potenzialmente soggetto a fenomeni di debris flow; esso rientra nella classe H4 (pericolosità elevata);
- sono state classificate in classe H3 (pericolosità media) le scarpate del torrente, per problematiche legate principalmente alla stabilità delle stesse più che a fenomeni di esondazione; mentre la zona di Via Milano e del terreno posto immediatamente ad ovest della medesima, possono essere interessati da esondazioni; tali aree saranno normate in classi di fattibilità differenziate;
- il restante territorio, compreso nell'area delimitata dal PAI, non può essere interessato nè da esondazioni nè da fenomeni di "*debris flow*" e viene pertanto classificato in classe H2 (pericolosità bassa).

Si sottolinea che anche l'area potenzialmente soggetta a fenomeni di esondazione del torrente, individuata fra via S. Defendente e viale V. Emanuele, è stata classificata in classe H3 (pericolosità media): essa è comunque esterna al perimetro del conoide.

La trasformazione di quest'area da classe di pericolosità a classe di fattibilità verrà realizzata nell'ambito dello studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale in via di predisposizione su tutto il territorio comunale.

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 3a - 3b - consistenti limitazioni
H4	Classe 4b - gravi limitazioni
H5	Classe 4a - gravi limitazioni

L'area individuata a pericolosità media, esterna al perimetro del conoide, verrà normata all'interno dello studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale, al fine di mantenere un'uniformità con altre situazioni simili che potrebbero presentarsi sul territorio comunale.

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

11.1 Normativa

Per le aree che rientrano nelle classi 3 e 4 di fattibilità si riportano le prescrizioni contenute nelle Note tecniche Attuative del PAI all'art. 9 relativamente alle aree di conoide.

Classe 4a - 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 4b - Fattibilità con gravi limitazioni

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

commi 7 e 8:

- 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 di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla letterea d) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457 senza aumenti di superficie e volume;
- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico-funzionale;
- 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;

- la realizzazione, l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue.

Classe 3a - 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.

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

Classe 3b - Fattibilità con consistenti limitazioni

Progetti di nuovi interventi edificatori, interventi di risanamento conservativo, restauro e ristrutturazione di opere o edifici esistenti devono essere preceduti da una specifica indagine geotecnica, supportata da prove in sito (e di laboratorio, dove opportuno), nella quale si valutino le condizioni di stabilità esistenti e quelle successive all'intervento proposto; l'indagine deve inoltre fornire esatte indicazioni sulle caratteristiche delle fondazioni.

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 - conode protetta
Classe 3 - consistenti limitazioni	Cn - conode protetta
Classe 4 - gravi limitazioni (da H4)	Cp - conode parzialmente protetta
Classe 4 - gravi limitazioni (da H5)	Ca - conode attiva non protetta

Gran parte del conoide è classificato come Cn essendo ormai completamente protetto senza indizi di riattivazione recente (ovvero si considera stabilizzato); l'area classificata come Cp ("area di conoide attivo parzialmente protetto") è limitata alla fascia di più probabile esondazione, mentre l'area classificata come Ca ("area di conoide attivo non protetto") riguarda il solo alveo attivo del torrente.

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 Barbino

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)