



**COMUNE DI  
VERCURAGO (LC)**

**Allegato 1: STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO  
DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA**



**Febbraio 2009**

***Dott. Geol. Alessandro Chiodelli***

***Dott: Geol. Enrico Mosconi***

***Via Garibaldi, 4 – 24030 Mozzo (BG) – Cell. 338.9041561 – E\_mail: [alechiodelli@yahoo.it](mailto:alechiodelli@yahoo.it)***

***Via Reich, 16 – 24020 Torre Bordone (Bg) – Cell. 347.1328195 – E\_mail: [enricomosconi@yahoo.it](mailto:enricomosconi@yahoo.it)***





## INDICE

|     |                                              |         |
|-----|----------------------------------------------|---------|
| 1.  | Premessa                                     | pag. 3  |
| 2.  | Metodologia adottata                         | pag. 5  |
| 3.  | Caratterizzazione del fenomeno               | pag. 11 |
| 4.  | Analisi storica                              | pag. 13 |
| 5.  | Inquadramento geografico dell'area di studio | pag. 18 |
| 6.  | Inquadramento geologico                      | pag. 20 |
| 7.  | Inquadramento geomorfologico                 | pag. 28 |
| 8.  | Analisi dei dissesti                         | pag. 31 |
| 9.  | Uso del suolo                                | pag. 33 |
| 10. | Analisi geomorfologica del conoide           | pag. 36 |
| 11. | Analisi idrologica                           | pag. 38 |
| 12. | Stima della portata di piena                 | pag. 48 |
| 13. | Analisi delle sezioni critiche               | pag. 54 |
| 14. | Valutazione della pericolosità               | pag. 56 |
| 15. | Bibliografia                                 | pag. 60 |

## TAVOLE FUORI TESTO

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| 1.  | Corografia del sito                                       |
| 2.  | Carta geologica                                           |
| 3.  | Carta plano-altimetrica del bacino del Torrente Gallavesa |
| 4.  | Carta dell'acclività del bacino                           |
| 5.  | Carta del reticolo idrografico                            |
| 5.a | Profilo topografico dell'asta principale del bacino       |
| 6.  | Carta dei dissesti                                        |
| 7.  | Carta dell'uso del suolo                                  |
| 8.  | Carta geomorfologica del conoide                          |
| 9.  | Carta dell'acclività del conoide                          |
| 10. | Ubicazione delle celle dei parametri delle LSPP           |
| 11. | Carta della pericolosità                                  |

## ALLEGATI

Documentazione Fotografica

Illustrazione delle sezioni critiche e rappresentazione dei risultati.

Scheda conoidi – Allegato 7 alla D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008



## 1 PREMESSA

A seguito della predisposizione della componente geologico, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, di cui alla DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008, è stato sviluppato lo studio di dettaglio dell'area di conoide del Torrente Gallavesa, su cui sorge gran parte dell'abitato del Comune di Vercurago, al fine di definire pericolosità e rischio potenziale secondo i criteri definiti nella succitata deliberazione.

Lo studio di approfondimento è necessario poiché tale ambito è ricompreso negli elaborati del vigente PTCP della Provincia di Lecco, Scenario 8A – Carta Inventario dei Dissesti, come “Conoide attivo”. Pertanto le NTA associate al PTCP menzionato, all'Art. 29 “Compiti della pianificazione comunale”, prevedono che:

- 1) *“i Comuni, in sede di redazione degli strumenti urbanistici generali o loro varianti, provvedano alla verifica di compatibilità ai sensi dell'Art. 18 delle Norme di Attuazione del PAI, tra previsioni urbanistiche e condizioni geologiche del proprio territorio (LR 41/97), in base alle linee guida regionali (DGR n.7/6645 del 29 ottobre 2001)”.*
- 2) *“Gli studi geologici per gli strumenti urbanistici comunali, oltre a definire le quattro classi di fattibilità geologica prescritte, devono pervenire a valutazioni di pericolosità di versante, per tutti gli embacini, o situazioni geomorfologiche in cui esista interferenza tra dissesti e bersagli antropici. Lo studio sarà basato sulle informazioni della banca dati geologica e sulla Carta inventario del dissesto del PTCP (Scenario 8A), nonché sugli studi promossi dalla Provincia e dalla Regione relativi ai conoidi ed alle colate di detrito e trasporto in massa, ove già formati. Le valutazioni di pericolosità potranno essere limitate alle zone di dissesto e a quelle da perimetrare come zone di possibile evoluzione/alta probabilità e influenza/media probabilità dei processi di versante”.*
- 3) *“Nelle situazioni riconosciute a maggiore rischio (R4, R3), per la presenza di condizioni di pericolosità molto alta (H5), alta (H4) e media (H3) che interessino bersagli antropici, le perimetrazioni delle zone di influenza dei dissesti sono effettuate secondo l'impianto metodologico utilizzato dal Servizio Geologico della Regione Lombardia per l'attuazione della Legge 267/1998”.*
- 4) *“Lo studio geologico dovrà contenere anche gli aggiornamenti per la banca dati geologica della Provincia con l'indicazione delle attività di monitoraggio effettuate, l'esito ottenuto, le proposte di eventuali nuovi monitoraggi da implementare, gli studi compiuti per i trasporti solidi e le colate”.*



5) *“Ai Comuni dotati di uno studio geologico redatto ai sensi della LR 41/97 e conforme ai disposti dell'art. 18 delle Norme di Attuazione del PAI, si applicano le disposizioni e le norme dello stesso PAI”.*

6) *“I dissesti sottoposti a verifica con monitoraggio strumentale saranno classificati con grado di pericolosità conseguente agli esiti del monitoraggio stesso”.*

7) *“I movimenti franosi oggetto di sistemazione definitiva possono essere considerati a pericolosità bassa, previa valutazione della pericolosità residua”.*

Mentre l'Art. 31 “Conoidi attivi”, comma 4, indica che:

“L'attuazione delle previsioni di espansione collocate sulle aree di conoide attivo è subordinata, oltre che al disposto dell'Art. 30, all'effettuazione di un'analisi di pericolosità e rischio potenziale condotta secondo i criteri delle presenti norme e alla realizzazione delle eventuali opere di sistemazione”.

Il conoide del torrente Gallavesa è inoltre classificato nell'Atlante dei dissesti della Regione Lombardia, ora atlante IFFI, come conoide quiescente. Pertanto, come previsto dalla DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008, nel caso in cui si renda necessaria una definizione di maggiore dettaglio della pericolosità (e di conseguenza della fattibilità geologica) di porzioni del territorio indagato, potenzialmente interessate da condizioni critiche dal punto di vista geologico/idraulico, possono essere utilizzate le metodologie riportate nell'Allegato 2 paragrafo 2.2.4 *“la zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e trasporto in massa lungo le conoidi alpine”.*

Una volta definita la pericolosità degli ambiti oggetto di approfondimento, in assenza di altre condizioni, è possibile assegnare la relativa classe di fattibilità geologica, seguendo le indicazioni riportate nella Tabella 2: “Correlazione tra classi di pericolosità, classi di fattibilità geologica per le azioni di piano e legenda PAI” della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008.





## 2 METODOLOGIA DI STUDIO ADOTTATA

La metodologia di studio adottata è quella definita dall'Allegato 2 alla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 *“Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”*.

Tale procedura è da utilizzarsi per le conoidi alpine interessate 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 lungo i versanti, anche in assenza di un edificio di conoide ben sviluppato al fondovalle.

In considerazione del fatto che non è possibile fare riferimento ad una metodologia codificata, si è preso spunto dai seguenti lavori:

- A.V. (1996) - Alluvial Fan Flooding. National Academy Press, Washington, 182p.
- Aulitzky H. (1982) - Preliminary two-fold classification of torrents. Mitteil. der Forst. Bundesversuchsanstalt, 144, 243-256.
- Kellerhals R. & Church M. (1990) - Hazard management on fans, with examples from British Columbia. In: Alluvial Fan: a field approach, A.H. Rachocki & M.Church eds., 335-354.
- Ceriani M., Fossati D. & Quattrini S. (1998) - Valutazione della pericolosità idrogeologica sulle conoidi alpine; esempio della metodologia di Aulitzky applicata alla conoide del torrente Re di Gianico - Valcamonica (BS) - Alpi Centrali. XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 3, 15-26.

La procedura di zonazione è stata preceduta da un'analisi storica, che ha permesso di definire un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che interessano la conoide, dando indicazioni sulla frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo e sull'incidenza antropica sulla conoide.

Le analisi storiche comprendono:

- eventi alluvionali sulla conoide;
- localizzazione di aree e manufatti danneggiati, con interviste in loco
- cartografie esistenti
- divagazione dell'alveo in epoca storica
- foto aeree riprese in tempi diversi

Nell'analisi degli eventi storici è opportuno raccogliere informazioni dettagliate riguardanti anche eventi intensi, ma non estremi, che non hanno provocato gravi danni alle infrastrutture e/o





all'edificazione, ma utili ad evidenziare punti critici, quali zone di sovralluvionamento e ponti o attraversamenti che hanno creato sbarramenti temporanei.

All'analisi storica è seguita la caratterizzazione geomorfologica ed idraulica della conoide, per la quale si fa anche riferimento all'apposita scheda conoidi (allegato 7), in cui sono indicati i seguenti punti:

- a) analisi geologica e geomorfologica del bacino (basata sul rilievo di terreno "ex novo" per la conoide e da dati esistenti per il bacino di monte)
- b) analisi idrologica (basata su dati esistenti)
- c) individuazione e descrizione dei punti critici della conoide (sezioni ristrette, attraversamenti, curve, ecc)
- d) valutazione del grado di incisione del canale principale nei vari settori della conoide;
- e) delimitazione dei settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza, curve)
- f) individuazione delle zone che possono modificare, catturare o deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo, bacini naturali di espansione, ecc.);
- g) censimento e valutazione in termini di efficacia e di efficienza delle opere idrauliche nel bacino e sulla conoide
- h) censimento degli attraversamenti (ponti e passerelle) e valutazione della loro influenza sul deflusso
- i) stima dei volumi massimi rimobilizzabili nel bacino (magnitudo).

Particolare attenzione è stata data alle opere di sistemazione idraulica ed agli attraversamenti, come ad esempio:

1. argini o scogliere realizzate nella zona di pertinenza fluviale (individuazione delle sponde naturali recenti) con notevole riduzione di quest'ultima
2. restringimento dell'alveo per cause antropiche nel settore mediano e distale della conoide;
3. briglie poste poco a valle di attraversamenti con forte innalzamento del fondo d'alveo (sovralluvionamento) in prossimità della struttura
4. impossibilità che eventuali deflussi fuori alveo possano rientrare nel medesimo (ad esempio arginatura del settore medio-distale della conoide)
5. piste di accesso all'alveo, a bassa pendenza, in direzione opposta alla corrente, che possono diventare direzioni preferenziali di esondazione
6. vasche di accumulo poste in zone a bassa pendenza, con presenza di opere di attraversamento all'entrata della vasca, di cui valutare l'eventuale capacità di stoccaggio
7. opere idrauliche (briglie e soglie) e/o ponti realizzati in prossimità dell'apice che possono determinare una deviazione del flusso o un pericoloso effetto diga

Una quantificazione di indubbia importanza è il volume massimo di materiale detritico (magnitudo) rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa o misto su una conoide. I valori di magnitudo per i singoli bacini sono messi a disposizione da Regione Lombardia. Nel caso si ritenga che i valori forniti da Regione Lombardia non siano adeguati, è possibile rideterminare la



magnitudo con i metodi di seguito citati, indicando chiaramente le motivazioni per cui si è proceduto a tale scelta. Se i valori di magnitudo per l'area di studio non sono compresi nel database di Regione Lombardia, la stessa può essere valutata:

- I. in modo diretto pedonando attentamente le aste principali del bacino e le zone di testata, e stimando i volumi di materiale presenti (metodo di SCHEURINGER, 1988);
- II. in modo indiretto mediante metodi empirici riportati nella letteratura tecnica (Tabella 1), integrati con i dati storici e con le osservazioni effettuate nei bacini in esame (riattivazione di grandi frane, erosioni di sponda e/o di fondo, presenza di sbarramenti idroelettrici e di opere di difesa idraulica).

Nel caso in cui l'incertezza dei dati non permettesse la definizione di un valore accurato della magnitudo, può essere comunque utile indicare un campo di valori utilizzando le formule sotto riportate:

*Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)*: dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993.

$$M = 21241 * Ab^{0,28}$$

Ab = area del bacino (km<sup>2</sup>)

*Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)*:

$$M = 1000 K * Ab * Mb^{0.8} * Scl_c * I_F^{-2}$$

K = 3 per fenomeni di bed load e debris flood, K = 5.4 per fenomeni di debris flow

Ab = area del bacino (km<sup>2</sup>)

Mb = indice di Melton:  $(H_{max} - H_{min}) / Ab^{0.5}$

H<sub>max</sub> = quota massima del bacino (km)

H<sub>min</sub> = quota minima del bacino (km)

Scl<sub>c</sub> = pendenza del collettore sul conoide (%)

I<sub>F</sub> = indice di frana (1: grandi frane e/o frane lungo la rete idrografica; 2: frane sui versanti; 3: frane piccole o assenti).

*D'Agostino et al. (1996)*:

$$M1 = 39 * Ab * Scl^{1,5} * (I.G.) * (I.T.)^{-0,3}$$

$$M2 = 36 * Ab * Scl^{1,5} * (I.G.) * (1 + C.S.)^{-1}$$

Ab = area del bacino (km<sup>2</sup>)

Scl = pendenza asta principale (%)

I.G. = dipende dai litotipi costituenti il bacino

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

C.S. = coefficiente di sistemazione





*Tropeano & Turconi (1999):*

$$M = (0,542 * Ae + 0,0151) * 0,019 * h * tg q$$

Ae = area effettiva del bacino (km<sup>2</sup>), per aree < 15 km<sup>2</sup>

h = spessore medio del materiale mobilizzabile

tg q è la pendenza media del bacino

*Bianco (1999):*

$$M = 14000A*i(1.5-i)* I.G.(1+0.1I.G.) \pm 13000A0.6$$

A = area del bacino (km<sup>2</sup>)

i = pendenza media dell'asta torrentizia del bacino

I.G.= indice geologico che dipende dai litotipi costituenti il bacino (si veda D'Agostino)

Una volta determinata la magnitudo (M) possono essere calcolate la sezione di deflusso A (m<sup>2</sup>) e l'area inondata B (m<sup>2</sup>) secondo le formule empiriche di Schilling & Iverson (1997), applicabili per volumetrie maggiori di 50.000 m<sup>3</sup>:

$$A = 0.05 M^{2/3}$$

$$B = 200 M^{2/3}$$

Oltre ai parametri indicati è stata determinata la portata di massima piena per diversi periodi di ritorno. Anche in questo caso stati utilizzati i dati presenti nel database di Regione Lombardia. Analogamente alla definizione della magnitudo, in mancanza di dati o nel caso in cui non siano ritenuti validi i suddetti si può procedere al calcolo della portata utilizzando la formula del metodo razionale, dettagliando le scelte dei parametri nella relazione tecnica.

La portata di picco di una colata può essere determinata tramite metodi diretti e indiretti. Per i metodi indiretti valgono le seguenti formule:

$$q = 200 / (S+28) + 0.6 \text{ (Anselmo, 1985)}$$

dove:

q = portata specifica liquida in m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> e S = area del bacino in km<sup>2</sup>.

$$Qdf = Ql*(CX / CX - Cdf) \text{ (Armanini, 1996)}$$



dove:

Qdf = portata massima della colata,

Ql = portata massima liquida,

Cdf = concentrazione della colata e  $Cx = 0.65 \div 0.75$ .

La concentrazione della colata (Cdf) può, secondo Takahashi (1991), essere calcolata assumendo che per pendenze sufficientemente elevate ( $>20^\circ$ ) la concentrazione della colata sia  $Cdf = 0.9 \cdot Cx$ , per cui risulta  $Qdf = 10 \cdot Ql$ . In caso di pendenze minori, la concentrazione della colata è assunta pari a quella della colata satura, in condizioni di movimento incipiente.

In alternativa al metodo morfologico precedentemente descritto, è possibile utilizzare per le valutazioni di pericolosità su conoide anche modellazioni numeriche di sviluppo di una colata detritica (ad esempio FLO2D). Tali applicazioni saranno possibili solo in presenza di dati di partenza tarati su precedenti eventi che si sono verificati lungo l'asta torrentizia. In particolare risultano normalmente di difficile determinazione i parametri legati alla reologia della colata, che possono essere dimensionati in modo appropriato solo analizzando in dettaglio eventi precedenti. Allo stesso modo dovranno essere tarati i valori di magnitudo e di estensione delle aree invase dalla colata, valutata la velocità dell'evento e considerati gli spessori del materiale depositato, etc. Inoltre è necessario utilizzare un DTM di dettaglio (da 1x1 a 5x5 m) che permetta la miglior precisione per la delimitazione delle aree che possono essere invase da colate detritiche, nonché inserire nel modello le opere di difesa del suolo presenti (se non già riportate nel DTM).

Tutti i parametri utilizzati nella modellazione dovranno essere descritti e giustificati nella relazione tecnica.

Tutte le informazioni raccolte hanno concorso alla redazione della carta di pericolosità, che suddivide l'ambito di conoide nelle classi di seguito riportate.

1. Pericolosità molto bassa (H1): area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto
2. 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.
3. Pericolosità media (H3): area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi





4. Pericolosità alta (H4): area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione d'ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti
5. Pericolosità molto alta (H5): comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide

A conclusione dello studio si è proceduto alla discussione critica dei dati ottenuti.



### 3 CARATTERIZZAZIONE DEL FENOMENO

Un contributo sostanziale al modellamento dei bacini alpini è fornito dalle colate detritiche interpretabili come manifestazioni parossistiche legate alla mobilitazione di una miscela d'acqua, sedimenti e materiali fluitati. Le caratteristiche dei fenomeni sono tali da assumere un ruolo decisivo nell'evoluzione delle aree di fondovalle, spesso intensamente antropizzate, circostanza che induce ad un elevato grado di rischio.

Con il termine di "inondazione di un conoide alluvionale" si indica il fenomeno di alluvionamento di zone di conoide o di strutture morfologiche simili, con attivazione di erosione, trasporto in massa di materiale solido e formazione di depositi. Il processo prende origine all'apice della struttura morfologica ed è caratterizzato da correnti torrentizie ad alta velocità che seguono percorsi non sempre definiti a priori.

La probabilità di alluvionamento di un'area di conoide è dipendente da una serie di fattori di seguito elencati:

- a) caratteristiche morfologiche del bacino di alimentazione, superficie e acclività del bacino, lunghezza dell'asta principale e degli affluenti, densità di drenaggio e copertura vegetale;
- b) topografia del conoide: area, forma, pendenza, copertura vegetale, grado di urbanizzazione;
- c) caratteristiche del materiale asportabile dalla corrente: granulometria e caratteristiche geomeccaniche del materiale, giacitura, spessore, porosità, permeabilità e grado di coesione dei depositi di sedimenti, erodibilità dei versanti e presenza di aree in frana;
- d) cause naturali di innesco: pioggia, portata liquida, presenza di frane di sbarramento;
- e) presenza di manufatti o interventi antropici di difesa, o al contrario presenza di restringimenti di alveo.

Appare evidente come alcuni di questi fattori siano definibili con un margine più o meno ampio in maniera deterministica (area, caratteristiche geometriche, litologiche), mentre altri siano definibili solo come variabili casuali e quindi in termini di probabilità (quantità di pioggia, presenza di frane, ecc).

Le colate detritiche sono fenomeni non stazionari, che evolvono in tempi brevi, e caratterizzate da una notevole potenza distruttiva. La probabilità di accadimento di un debris flow è difficile da stimare, soprattutto in assenza di eventi pregressi che permettano una valutazione qualitativa e quantitativa del fenomeno. L'azione motrice principale del fenomeno è la gravità, tanto che questi





fenomeni possono essere definiti sinteticamente come *moti gravitazionali di sedimenti*<sup>1</sup>; devono inoltre essere considerate le azioni associate alle interazioni granulari cioè gli effetti dovuti alle collisioni tra i granuli e alla deformazione del miscuglio. Il regime di moto che contraddistingue la colata detritica, denominato granulare, è intermedio tra quello quasi-statico tipico dei fenomeni franosi e di scorrimento, e quello idrodinamico caratteristico invece delle sospensioni diluite (trasporto solido fluviale).

Nell'analisi del bacino idrografico, le sorgenti tipiche del materiale costituente i debris flow possono essere ricondotti a due classi:

- a) materiale proveniente dall'erosione dei versanti, dall'ostruzione temporanea dell'alveo operata da tronchi d'albero o da una frana depositatosi in alveo
- b) materiale originato da eventi erosivi concomitanti con il verificarsi della colata detritica

Infine le modalità di formazione di una colata detritica possono essere schematicamente classificate nelle seguenti 4 classi:

- debris flow originato dalla mobilitazione di sedimenti che si sono depositati sul fondo alveo del torrente, ad opera di una corrente superficiale generata da piogge intense o da fenomeni di disgelo;
- debris flow originato dal collasso di un versante con successiva trasformazione della frana in colata detritica
- debris flow generato dal crollo di una diga naturale prodotta dall'occlusione di un torrente a seguito dell'evento franoso o da un'ostruzione prodotta da tronchi d'albero fluitati
- debris flow generato dalla fluidizzazione immediata del materiale costitutivo di una frana, imputabile alla presenza sia di una corrente idrica superficiale sia da venute d'acqua nella zona di cedimento.

Alle diverse situazioni morfologiche in cui si hanno i fenomeni di debris flow in ambiente alpino fa riscontro, peraltro, la sostanziale analogia dei processi che emerge da evidenze morfologiche e sedimentologiche dei depositi.

---

<sup>1</sup> V.Ferro, La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill



#### 4 ANALISI STORICA

La valutazione preliminare del grado di pericolosità di un bacino idrografico in termini di attitudine ai fenomeni di alluvionamento si effettua in genere partendo dall'analisi storica degli eventi registrati e/o conosciuti.

Nelle aree di interesse antropico, dove il rimaneggiamento delle forme e dei depositi è particolarmente intenso, le tracce lasciate da vecchi fenomeni di colata detritica sono difficilmente preservate nel tempo.

Inoltre occorre considerare che il conoide del Torrente Gallavesa è completamente urbanizzato ed è quindi assente qualsiasi traccia recente di debris-flow, interpretabile secondo i classici metodi di rilevamento geomorfologico (tipo pedonalizzazione dell'asta o criterio di Aulitzky).

E' inoltre opportuno rilevare che il tratto finale dell'alveo, a valle del ponte su Via San Girolamo, è stato completamente deviato tra gli anni '40 e '50 del secolo scorso, a seguito della costruzione della diga di sbarramento posta tra il lago di Garlate e quello di Olginate. Pertanto, l'originaria direzione lineare di deflusso da est ad ovest, presumibilmente coincidente con il confine comunale Vercurago - Calolziocorte, ha assunto forma convessa, all'interno del territorio di Vercurago (fotografia 1).



**Fotografia 1:** ripresa da elicottero dell'abitato di Vercurago.

*In primo piano la parte terminale del T. Gallavesa (in rosso)*





## COMUNE DI VERCURAGO (LC)

### STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA ai sensi dell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008

L'impronta antropica subita da questo tratto d'alveo è evidenziata da:

- presenza di arginature in c.a. e/o massi e malta
- impermeabilizzazione del fondo dell'alveo (massi immersi nel cemento)
- sezione di deflusso pressoché costante (a valle della sezione 6)
- presenza diffusa di opere di regolarizzazione idraulica
- presenza di un idrometro manuale per la misura delle piene presso la briglia posta a monte del ponte di Via S. Mauro

La ricerca bibliografica ha inoltre previsto la consultazione dei documenti di seguito riportati.

#### Catalogo Vapi prodotto a cura del CNR-IRPI

Tale pubblicazione non segnala alcun fenomeno di piena fluviale/alluvione relativa al bacino del Torrente Gallavesa; sono segnalati solamente fenomeni nel comune di Vercurago relativi al passaggio della piena del Fiume Adda. Vedasi riferimento scheda

7200072 Calolziocorte (Comune di) 9/10/1993 F. Adda

#### Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia (ed. 2002)

Sono segnalati due eventi di crollo all'interno del bacino idrografico del Torrente Gallavesa, rispettivamente nei comuni di Vercurago ed Erve:

|                                                |  |                                            |  |                                                                                                                                                                                                                |  |                                    |  |
|------------------------------------------------|--|--------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------|--|
| n° riferimento 200                             |  | Fonte dato Archivio Servizio Geologico (1) |  | Tipo di evento                                                                                                                                                                                                 |  | Prima attivazione                  |  |
| località Via Italia                            |  | data evento                                |  | <input checked="" type="checkbox"/> frana                                                                                                                                                                      |  | <input type="checkbox"/> Sì        |  |
| Comune Vercurago                               |  | giorno 0 mese 0 anno 1993                  |  | <input type="checkbox"/> alluvione                                                                                                                                                                             |  | <input type="checkbox"/> No        |  |
| Provincia LC                                   |  |                                            |  | <input type="checkbox"/> conoide                                                                                                                                                                               |  | <input type="checkbox"/> Probabile |  |
| Comunità Montana Valle San Martino             |  |                                            |  |                                                                                                                                                                                                                |  |                                    |  |
| Sezioni CTR: 9465                              |  |                                            |  | Descrizione del fenomeno                                                                                                                                                                                       |  |                                    |  |
| Coordinate X 1.533.000 Coordinate Y 5.073.650  |  |                                            |  | Nel 1993 in Via Italia un edificio abitato è stato coinvolto dalla caduta di un masso isolato di circa 1 m3 che si è fermato nel cortile dell'abitazione dopo aver abbattuto un muretto a secco di recinzione. |  |                                    |  |
| Collocazione rispetto alla località minacciata |  |                                            |  |                                                                                                                                                                                                                |  |                                    |  |
| Affidabilità ubicazione punto Media            |  |                                            |  | Intensità                                                                                                                                                                                                      |  | Probabilità                        |  |
| Classificazione fenomeno Crollo                |  |                                            |  | Danni                                                                                                                                                                                                          |  |                                    |  |
| Tipo di materiale                              |  |                                            |  | Valore degli elementi danneggiati                                                                                                                                                                              |  |                                    |  |
| Causa                                          |  |                                            |  | Studi, progetti, relazioni                                                                                                                                                                                     |  |                                    |  |
| Elementi a rischio                             |  |                                            |  |                                                                                                                                                                                                                |  |                                    |  |



## COMUNE DI VERCURAGO (LC)

STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA  
ai sensi dell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|--|---------------|--|---------------|--|-------------------------------------------|--|-----------------------------------------------|--|
| n° riferimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  | 163              |  | Fonte dato    |  | EUROCK (1994) |  | Tipo di evento                            |  | Prima attivazione                             |  |
| località                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  | Costalottiere    |  | data evento   |  |               |  | <input checked="" type="checkbox"/> frana |  | <input checked="" type="checkbox"/> Si        |  |
| Comune                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  | Erve             |  | Provincia     |  | LC            |  | <input type="checkbox"/> alluvione        |  | <input type="checkbox"/> No                   |  |
| Comunità Montana                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  | Vale San Martino |  | giorno        |  | 0             |  | <input type="checkbox"/> conoide          |  | <input checked="" type="checkbox"/> Probabile |  |
| mese                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  | 0                |  | anno          |  | 0             |  |                                           |  |                                               |  |
| Sezioni CTR:                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                  |  | 54e5          |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Coordinate X                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  | 1.534,900        |  | Coordinate Y  |  | 5.072,900     |  |                                           |  |                                               |  |
| Collocazione rispetto alla località minacciata                                                                                                                                                                                                                                                                |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Affidabilità ubicazione punto                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |                  |  | +Ea           |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Classificazione fenomeno                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |                  |  | Crollo        |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Tipo di materiale                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Causa                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |                  |  | Fratturazione |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Elementi a rischio                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| <b>Descrizione del fenomeno</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| L'abitato di Erve è stato interessato più volte da frane di crollo che nella maggior parte dei casi hanno avuto origine dalle ripide pareti rocciose, presenti nelle parti più alte dei versanti, e solo raramente dalla rimobilizzazione di singoli blocchi appartenenti ai depositi detritici superficiali. |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Intensità                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Probabilità                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Danni                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Valore degli elementi danneggiati                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |
| Studi, progetti, relazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                  |  |               |  |               |  |                                           |  |                                               |  |

### EVENTI RECENTI

Di seguito sono elencati gli eventi segnalati nello Studio geologico, idrogeologico e sismico di supporto al P.G.T., redatto ai sensi della DGR n.8/7374 del 28 maggio 2008, a cura degli scriventi.

#### ➤ Fenomeni di dissesto del 1954 e del 1958

Le uniche notizie raccolte indicano che nel 1954 e nel 1958 il tratto di Torrente Gallavesa compreso fra il ponte di via del Maglio (Vercurago) ed il ponte Torchino (Calolziocorte) è stato interessato da fenomeni di debris-flow. Tale indicazione è riportata nello studio geologico di Calolziocorte. I rilievi di terreno da noi eseguiti non hanno trovato riscontri in tal senso.

#### ➤ Fenomeni esondativi presso il ponte tra Via Monelli-Cioni (Vercurago) e Via Rossi (Calolziocorte)

Secondo le testimonianze raccolte dagli abitanti del luogo il tratto in esame è stato interessato, in un recente passato (sino a 15-20 anni fa), da periodici fenomeni esondativi, con allagamento di Via Gonelli -Cioni (battente d'acqua stimato in 20-30 centimetri).





➤ **Alluvione del 2002**

Le precipitazioni intense del 12-27 novembre 2002 hanno fatto registrare localmente valori giornalieri “storici”, talvolta superiori ai dati di riferimento con tempo di ritorno di 200 anni.

In particolare la settimana del 23-27 novembre ha causato i maggiori disagi, in quanto il terreno, ormai saturo dal precedente periodo di pioggia, non garantiva un buon assorbimento.

Anche il territorio comunale di Vercurago non è passato indenne da questo evento alluvionale; infatti, la zona del lungo lago, il torrente che discende dalla località Beseno e passa per Somasca (torrente A nel Piano del Reticolo Minore, menzionato precedentemente) ed i versanti hanno raggiunto condizioni critiche.

Esondazione dell'area costiera perilacuale in zona lungo lago - Via A. Moro

Anche se il livello del lago di Garlate è controllato da sbarramenti artificiali, il periodo prolungato di pioggia del novembre 2002 ha provocato l'esonazione lacuale in tre zone del territorio comunale.

La prima si è verificata allo sbocco del Torrente Gallavesa nel lago di Garlate, in destra idrografica, e si è estesa lateralmente per alcune decine di metri; in particolare in corrispondenza del bar del campo sportivo e del ristorante “Il pesce d'Oro”, il fronte d'acqua ha superato Via A. Moro e lambito gli ingressi degli edifici (vedasi fotografia 2).

La seconda esondazione ha interessato la località Malpensata (Via Lido Maggio), in sinistra idrografica dello sbocco del Torrente Gallavesa nel lago di Garlate; anche in questo caso le testimonianze raccolte indicano che il fronte d'acqua ha superato la rampa di immissione delle barche nel lago, sino a raggiungere i primi stabili.

La terza zona colpita è posta al confine con il comune di Lecco, dove è stato realizzato il nuovo punto di attracco a lago. Durante il fenomeno alluvionale del 2002 quest'area pressoché pianeggiante, che si estende sino al rilevato ferroviario, è stata quasi completamente sommersa dalle acque del lago.

Sulla scorta delle evidenze occorse durante l'evento calamitoso del novembre 2002, tenuto conto che l'intera zona lungo lago posta in destra idrografica del T. Gallavesa è stata oggetto di recenti livellamenti stradali, seppur il livello lacuale sia controllato dagli sbarramenti artificiali, non è possibile escludere che si verifichino ulteriori fenomeni di esondazione in occasione di eventi



atmosferici particolarmente intensi, che potrebbero giungere fino alla quota altimetrica stimata di circa 200 metri s.l.m.



**Fotografia 2:** esondazione lacuale in zona lungo lago - Via A. Moro (alluvione 26\_27/11/2002)  
*Ambito posto nei pressi dello sbocco del Torrente Gallavesa nel lago di Garlate, destra idrografica*





## 5 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO

Il bacino idrografico del Torrente Gallavesa è ubicato nella porzione orientale della provincia di Lecco, lungo i crinali che separano la Valsassina a nord e la Valle Imagna ad est. Il bacino si estende arealmente nei Comuni di Lecco, Erve, Vercurago e Calolziocorte e si chiude con lo sbocco verso il Lago di Olginate ad ovest.

La morfologia complessiva del paesaggio si inserisce nel tipico disegno del pedemonte lecchese, che appare dominato dall'imponente edificio dolomitico rappresentato dai crinali che collegano tra loro i monti Grigna e Resegone.

Il reticolo idrografico del torrente in esame si snoda all'interno della propria valle per una decina di chilometri, attraversando gli abitati di Erve, Calolziocorte e Vercurago.

Lungo il tracciato incombono pareti rocciose strapiombanti, stretti e dirupati varchi, canaloni, cime frastagliate e variamente fratturate dagli agenti erosivi. È dunque un paesaggio severo che, almeno in parte, contrasta con le forme più morbide presenti lungo la sponda lariana del lago, con frapposto il grande specchio d'acqua.

Discendendo da Lecco verso la pianura, il Fiume Adda, prima di tornare in valle, indugia in più piccoli laghi, contornati dall'affollata espansione edilizia dei centri dipendenti da Lecco; il Barro e il Crocione, ancora ampiamente vegetati, sono le due emergenze che dividono questa fascia fluvio-lacuale dalla Brianza e dal piano d'Erba.

La parte settentrionale di questo territorio afferisce alla Valsassina e alla Val Varrone, ambiti territoriali di carattere prettamente prealpino. In particolare, il bacino alterna i suoi aspetti di paesaggio fra larghi penepiani rivestiti da depositi morenici su cui sorge l'abitato di Erve e cupe forre discendenti verso il lago in corrispondenza dell'apice del conoide.

La disposizione degli abitati sui fianchi della valle separava in passato le due fasce agricole predominanti: campi e prati al di sotto, ovvero sul fondovalle; castagneti e alpicoltura al di sopra, sui versanti.

L'espansione urbana di Lecco, Vercurago e Calolziocorte, nonché dei centri industriali circostanti, ha ormai saturato i corridoi morenici, in passato connotati da una forte costruzione del paesaggio agrario.

Si osserva, analizzando il bacino idrografico da sud a nord, il singolare e ravvicinato contrasto fra il pedemonte intensamente urbanizzato, il lago e la circostante fascia dei rilievi, rocciosa, verticale, selvaggia, di grande valore naturale e paesistico.



Un contrasto che, per certi versi, non disturba ma arricchisce lo scenario regionale e si propone quasi come simbolo del difficile equilibrio territoriale in cui si trova, come tanti altri, il bacino idrografico del Torrente Gallavesa.

La corografia del sito è riportata nella Tav.1.





## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### Inquadramento strutturale

I rilievi montuosi che caratterizzano il bacino idrografico del Torrente Gallavesa sono rappresentati da due gruppi strutturalmente separati: a nord una successione sedimentaria carbonatica di età Triassica e Giurassica, mentre a sud si trova una successione compresa tra il Giurassico superiore e il Cretaceo superiore, costituita essenzialmente da formazioni rocciose marnose e arenacee.

L'assetto tettonico della fascia prealpina è espressione di processi di sovrascorrimento che interessano le unità carbonatiche di piattaforma e bacinali di età Giurassica e Triassica.

Durante il periodo cretacico si registra il passaggio tra la sedimentazione prevalentemente carbonatica controllata dalla tettonica distensiva e la deposizione dei sistemi torbiditici terrigeni, sinorogenici controllati dalla tettonogenesi eoalpina delle Alpi centro-orientali.

Tale passaggio si realizza con lo sviluppo di successioni pelagico – torbiditiche in discontinuità sulle Unità Giurassiche. La rinnovata attività tettonica sinsedimentaria è testimoniata in particolare dalle notevoli variazioni di spessore e di facies della “Maiolica”, dallo sviluppo di discontinuità alla sua base e al suo tetto, alla messa in posto di slumps, paraconglomerati e rare Calcitorbiditi tra il *Titoniano Superiore* e l'*Aptiano Inferiore*.

Durante questo intervallo di tempo si verifica una profonda modificazione del bacino lombardo, che porta settori appartenenti precedentemente a zone di alto strutturale a raccogliere successioni bacinali potenti e con tutta probabilità più profonde delle precedenti.

Il passaggio tra sedimentazione pelagica carbonatica e terrigena fine avviene bruscamente nell'*Aptiano inferiore*, con tutta probabilità guidato da un mutamento climatico verso condizioni caldo umide responsabili della maggiore disponibilità di materiali terrigeni che iniziano a raccogliersi nel Bacino Lombardo.

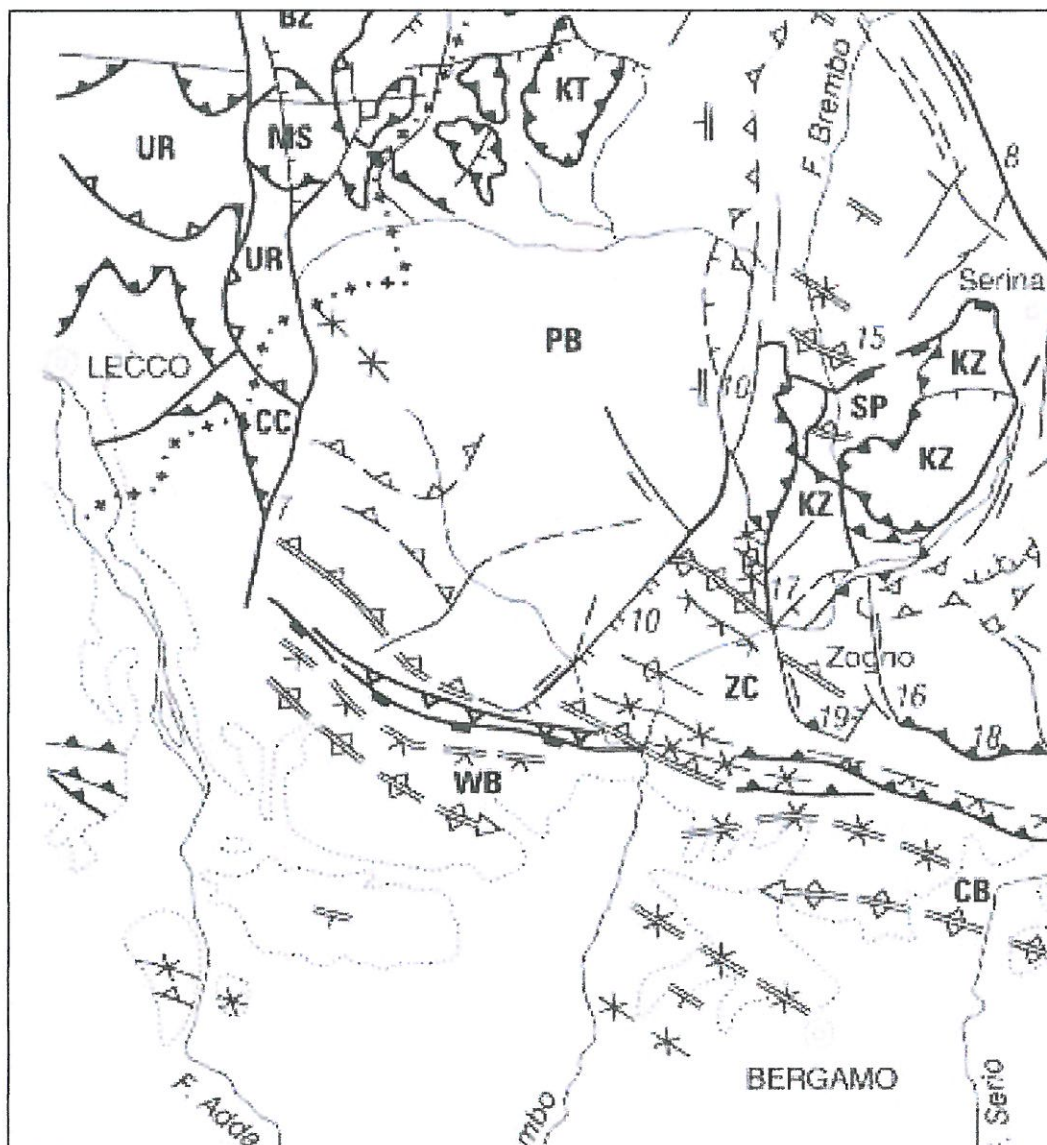
I piani di sovrascorrimento profondi tagliano verso l'alto tali unità carbonatiche e si propagano ad un livello di scollamento superiore, corrispondente alle peliti ubicate alla base delle unità torbiditiche cretache.

Quest'ultime sono interessate da una deformazione molto intensa che si esprime con un complesso sistema di pieghe e sovrascorrimenti sudvergenti (Bersezio e Fornaciari, 1988).

Sono riconosciuti tre settori a differente intensità di deformazione: una zona di faglia settentrionale ampia 1-3 km, un sistema centrale di anticlinali regionali disposte *en echelon*, dirette in media 110



N, una fascia meridionale di pieghe, sinclinali-anticlinali sudvergenti, separate dalle anticlinali centrali per mezzo di piani di sovrascorrimento affioranti ad ovest del Fiume Brembo.



**Fig. 1:** Schema Strutturale dell'area: *Unità M. Resegone - Due Mani (UR); Unità Corna Camozzera (CC); Unità Muschiada (MS); Cintura pedemontana occidentale a pieghe e retroscorrimenti (WB); Cintura pedemontana centrale a pieghe e sovrascorrimenti (CB); (Stralcio della Carta strutturale della Provincia di Bergamo)*





### **Litostratigrafia del Bacino**

Le formazioni litologiche presenti nel bacino sono le seguenti:

#### ***Calcare di Zu (Norico - Retico)***

Quest' unità, formalizzata da Gnaccolini nel 1965, affiora estesamente nella porzione centrale delle Prealpi Bergamasche, dalla Val Taleggio fino al Lago di Iseo.

Il “*Calcare di Zu*” è costituito da calcari micritici e bioclastici, calcari marnosi da grigi a nerastri, in strati decimetrici piano-paralleli o in banchi plurimetrici, costituiti da strati amalgamati. Subordinate sono le intercalazioni di marne e, più raramente, di argilliti marnose nerastre di spessore metrico, presenti soprattutto alla base ed alla sommità. Caratteristica è inoltre la presenza di un membro intermedio, essenzialmente calcareo, con coralli.

Superiormente il “*Calcare di Zu*” passa, con limite netto, alla “*Dolomia a Conchodon*”, in corrispondenza di un livello (15-30 metri) di calcari scuri, sottilmente stratificati con noduli di selce nera.

L'unità passa inferiormente all’“*Argillite di Riva di Solto*”, con un termine graduale, segnato dall'incremento delle intercalazioni calcaree fossilifere. Il limite viene posto convenzionalmente nel punto in cui tali intercalazioni diventano nettamente prevalenti ed i carbonati presentano maggiore contenuto bioclastico.

Recentemente, Jadoul et alii (1994) hanno proposto di porre il limite inferiore in corrispondenza di un trend regressivo, visibile in Val Cavallina, evidenziato dalla comparsa dei primi carbonati con pseudomorfi di evaporiti, sottili orizzonti con carniolate contenenti anche laminazioni di tipo stromatolitico e localmente di calcari dolomitici.

Sulla base del contenuto faunistico, è stato ubicato il limite Norico-Retico in corrispondenza della base del primo orizzonte a coralli presente nel “*Calcare di Zu*”.

#### ***Dolomia a Conchodon – Corna (Retico superiore – Hettangiano)***

Questa formazione è costituita da calcari e calcari dolomitici, talora saccaroidi, a stratificazione indistinta o in grossi banchi, alternati con calcari oolitici, spesso a laminazione parallela.

Il colore è grigio chiaro, grigio bruno o grigio nocciola, quest'ultimo caratteristico dei calcari a maggior contenuto di  $\text{CaCO}_3$  che sono stati utilizzati nel passato anche per la produzione di pietra da taglio; in superficie è generalmente presente una patina di alterazione biancastra.



Morfologicamente la Dolomia a Conchodon dà luogo a ciglioni rilevati, rupi a picco e banconi fessurati ed erosi, ai piedi dei quali sono localmente abbondanti i detriti di falda.

La Dolomia a Conchodon giace in concordanza sopra il Calcare di Zu con limite netto e sotto il Calcare di Sedrina in corrispondenza della comparsa di calcari grigi e grigio scuri stratificati.

Il limite superiore è rappresentato dalla presenza del Calcare di Moltrasio con la scomparsa per tutto il limite del Calcare di Sedrina ad esclusione di due piccoli lembi coinvolti nel sovrascorrimento.

Il passaggio al Calcare di Moltrasio è netto; i calcari grigio bruni, nocciola e grigio scuri, dapprima a stratificazione indistinta si presentano superiormente in banchi di potenza decrescente e passano ai calcari marnosi grigio scuri o neri a stratificazione media sottile, con noduli e liste di selce, del Calcare di Moltrasio.

#### **Calcare di Sedrina (Hettangiano)**

Il calcare di Sedrina rappresenta una successione ben stratificata di calcari bioclastici, talora dolomitici, calcari oolitici e calcari marnosi con noduli di selce, di colore variabile da grigio a nerastro. A tetto la formazione può essere coronata da un intervallo di spessore decametrico intensamente silicizzato, di colore bianco o grigio, scuro fino a nero.

La successione del Calcare di Sedrina può essere suddivisa schematicamente in tre litozone, la prima costituita da calcari grigio scuri a stratificazione media, piano parallela, con rare liste e noduli di selce; una litozona calcareo – marnosa costituita da calcari micritici di colore grigio scuro, a stratificazione media piano – parallela; la terza litozona prevalentemente bioclastica costituita da banchi di calcareniti e calciruditi, spesso fortemente silicizzate con laminazioni oblique o tabulari.

Il limite inferiore è frequentemente transizionale, e normalmente corrisponde al passaggio tra i calcari dolomitici massicci della Dolomia a Conchodon ed una successione meglio stratificata, di colore più scuro, con intercalazioni marnose e più abbondanti noduli di selce. Il limite superiore può essere netto, identificato dai livelli silicizzati che coronano la formazione prima del Calcare di Moltrasio, a volte lo stesso limite diventa graduale quando i livelli non sono riconoscibili.

#### **Calcare di Moltrasio (Sinemuriano – Pliensbachiano)**

Il Calcare di Moltrasio, insieme al Calcare di Domaro costituisce il cosiddetto Gruppo del Medolo.

Il Calcare di Moltrasio è costituito da una successione di calcari marnosi grigio scuri o grigio nerastri leggermente bituminosi, con grossi noduli di selce nera.





Gli strati, di spessore variabile tra i 20 e i 40 cm, sono separati da interstrati marnoso-argillosi di pochi cm di spessore.

Il limite inferiore della formazione è rappresentato dal Calcare di Sedrina.

Tra le due unità esiste un passaggio litologico graduale, che è già stato descritto in precedenza.

Superiormente il Calcare di Moltrasio è a contatto con il Calcare di Domaro.

Anche questo limite è graduale; dai calcari grigio scuri o nerastri a stratificazione media, con interstrati marnoso-argillosi e noduli di selce nera del Calcare di Moltrasio, si passa ai calcari marnosi, selciferi ed arenacei grigio scuri o grigio bruni, talora con noduli di selce nera, a stratificazione media sottile, fittamente intercalati alle marne scagliose del calcare di Domaro.

#### **Calcare di Domaro (Pliensbachiano)**

E' costituito da una successione di calcari marnosi, calcari selciferi e calcari arenacei grigio chiari o grigio scuri, a frattura scheggiata e con patina di alterazione grigio chiara, talora rugginosa, fittamente intercalati a marne scagliose.

La stratificazione è sottile o media, localmente, soprattutto nella parte basale, sono presenti noduli di selce nera.

Frequenti sono invece delle dendriti ferromagnesifere per lo più limonitizzate.

Il limite inferiore è rappresentato dal Calcare di Moltrasio; il passaggio fra le due formazioni è graduale.

Le due unità si distinguono in genere per il colore che diviene più chiaro verso l'alto, per il minor contenuto di argilla del Calcare di Domaro, per la sua grana più grossolana, arenacea e per le sue più spesse e fitte intercalazioni marnose.

Il limite superiore è rappresentato dalla Formazione di Concesio con un graduale passaggio da calcari marnosi a marne calcaree seguite dalla comparsa di calcareniti e calciruditi molto caratteristiche.

#### **Formazione di Sogno (Toarciano – Baiociano inferiore)**

Si tratta di calcari marnoso-siltosi alternati a marne ed argilliti nere, verdi e rossastre; superiormente compaiono calcari rossastri con liste di selce.

La formazione in esame è suddivisibile in tre litozone. La litozona 1 è caratterizzata dall'alternanza di marne, calcari marnosi ed argilliti grigie, verdi e rosse, cui si intercala l'orizzonte di black shales; porzione inferiore con significativa frazione terrigena fine. La litozona 2 comprende un'alternanza



ciclica di calcari marnosi e marne, di colore grigio-verde nelle porzioni inferiore e superiore, rosso in quella intermedia; stratificazione pianoparallela da sottile a spessa; frequentemente gli strati calcarei mostrano gradazione diretta da calcarenite molto fine a marna, e risultano bioturbati prevalentemente nella parte sommitale; ricorrenti orizzonti bioclastici a Bivalvi pelagici. La litozona 3 è costituita da calcari marnosi a stratificazione sottile piana o ondulata, di colore grigio o rossiccio, con intercalazioni argillitiche centimetriche e noduli di selce in prevalenza rossa.

#### **Radiolariti (Baiociano superiore)**

La formazione delle Radiolariti è costituita da selci sottilmente stratificate, gli strati vanno dai 2 ai 15 cm di spessore, di colore rosso bruno o verde, con interstrati argillosi e marnosi e livelli marnoso-calcarei.

Verso l'alto sono frequenti marne calcaree, calcari marnosi più o meno silicei, talora fogliettati, di colore bruno violetto con macchie intercalate grigio verdi chiare. Le superfici degli strati hanno un'evidente ondulazione. Il limite inferiore della formazione presenta caratteri differenti a seconda della posizione paleogeografica e strutturale. Nell'area in esame le radiolariti poggiano sulla Formazione di Concesio e -il passaggio per quanto rapido, si presenta graduale per progressivo incremento degli strati selciferi rispetto a quelli calcareo-marnosi. Superiormente sono ricoperte dal Rosso ad Aptici con cui forma il Gruppo del Selcifero Lombardo.

#### **Rosso ad aptici (Kimmeridgiano - Titoniano)**

La Formazione del Rosso ad Aptici è costituita da una successione talora ritmica di marne, marne calcaree, calcari marnosi e calcari arenacei debolmente silicei, in strati di 5 a 20 cm di spessore.

I colori predominanti sono i rossi, sui quali si sovrappongono sovente venature verdi, quasi bianche all'alterazione. Le selci tendono a localizzarsi nella parte centrale degli strati, in lenti, noduli e liste.

La frattura è solitamente piana, più raramente scheggiata, la stratificazione è sottile.

Il Rosso ad Aptici normalmente ricopre le Radiolariti, ma in alcune aree, dove la lacuna del Giurassico medio è più evidente, si può osservare il contatto tra il Rosso ad aptici ed il Rosso Ammonitico Lombardo.

Superiormente si passa gradualmente alla Maiolica.





### **Maiolica (Titoniano – Aptiano)**

La Maiolica è costituita da calcari più o meno marnosi di colore biancastro o grigio rosato, ben stratificati, lo spessore degli strati varia dai 30 ai 50 cm circa, la frattura è concoide, sono inoltre presenti noduli e liste di selce nera.

La selce diminuisce generalmente verso l'alto della formazione, dove, tra i banchi di calcare, si intercalano dei livelletti pelitici grigi.

Inferiormente la Maiolica è a contatto con il Gruppo del Selcifero Lombardo; il passaggio tra le due unità è graduale, si va da calcari grigio rossastri e biancastri, a frattura concoide, ai calcari marnosi a frattura scheggiata, di colore rosso mattone del Rosso ad Aptici.

A tetto il limite è con la Marna di Bruntino, anche qui il passaggio è graduale, per la comparsa di intercalazioni argillose scure.

### **Sass della Luna (Albiano Superiore)**

Il nome di questa formazione, tratto dall'uso locale, è dovuto al colore bianco-giallognolo, effettivamente lunare, della sua patina di alterazione.

Questa formazione è costituita da calcari marnosi grigio nocciola o azzurrognoli, talvolta a base calcarenitica e marne grigio chiare, in strati e banchi di spessore vario.

Nella parte inferiore degli orizzonti calcareo marnosi sono presenti, alle volte, clasti calcarei di dimensioni fino al centimetro, di colore nerastro o nocciola. Nella parte superiore le marne e i calcari assumono una colorazione rosata fino a giallastra.

Spesso le superfici di strato mostrano frustoli carbonizzati o limonitizzati, trasportati al largo dalle terre emerse.

La formazione del Sass della Luna poggia in concordanza con le Marne di Bruntino; il limite tra le due formazioni è graduale, infatti si passa da alternanze di sottili strati di calcari marnosi a calcari in banchi sempre più potenti e pacchi di marne.

### **Unità Cenomaniane (Cenomaniano)**

Si tratta di diverse unità calcaree, calcareo-marnose ed arenacee deposte durante il Cenomaniano. La sequenza cenomaniana affiora in continuità sull'intera fascia pedecollinare bergamasca di cui Gavarno rappresenta una località in cui può essere facilmente riconosciuta. La sequenza cenomaniana completa comprende un insieme di calcareniti e calcari rossastri nella parte basale di origine torbidaica; un gruppo di calcari micritici chiari inglobanti noduli di selce di origine



diagenetica; delle torbiditi sottili, fini, di colore giallastro, a stratificazione sottile e composizione mista sia silicoclastica che carbonatica; infine una nuova sequenza di calcari micritici simili ai precedenti. Superiormente la sequenza Cenomaniana è ricoperta dalle Peliti Nere Superiori.

#### **Peliti Rosse (Turoniano)**

Trattasi di peliti rosse massive; superiormente, alternanza di peliti rosse e grigie con arenarie micacee, a stratificazione da centimetrica a decimetrica, di origine torbiditica.

Successione di argilliti con subordinati livelli arenacei a stratificazione sottile ed orizzonti calcilutitici di norma silicizzati, costituita da due litozone. La litozona inferiore è argillitica, rossa, con sparse intercalazioni arenitiche lenticolari. La litozona superiore comprende una sequenza coarsening e thickening upwards di arenarie torbiditiche a stratificazione sottile alternate a peliti rosse e calcilutiti silicizzate in strati sottili e medi.

#### **Flysch di Pontida (Turoniano medio-superiore)**

I Flysch di Pontida sono costituiti da alternanze di arenarie fini e peliti di origine torbiditica, a stratificazione da centimetrica a decimetrica; sono intercalati banchi calcarei gradati.

La formazione in esame è un'associazione di facies monotona, costituita in gran parte da strati torbiditici incompleti alla base, a geometria pianoparallela. Distribuzione irregolare dei corpi calcareo-marnosi, senza ciclicità e con frequenza e spessore decrescenti verso l'alto. Si tratta di una successione torbiditica con alternanze marnoso-arenacee a stratificazione variabile da sottile a spessa, a granulometria arenitica fine, con alternanze di strati e banchi calcareo-marnosi potenti sino ad alcuni metri, a volte gradati con base conglomeratica.

La carta geologica del bacino è riportata in Tav.2 (Estratto dalla *Carta Geologica della Lombardia*, S.G.I., 1990).





## 7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il bacino del Torrente Gallavesa si presenta in pianta con forma irregolare, allungato in direzione nord-sud e sviluppato su entrambi i versanti. L'attuale fisionomia dell'impluvio è il risultato del rimodellamento esercitato da processi torrentizi e gravitativi sulla preesistente morfologia glaciale. La superficie del bacino è pari a circa 12 km<sup>2</sup>, mentre la lunghezza dell'asta principale è di circa 8 km, sviluppandosi da quota 233 m s.l.m. (apice del conoide) fino a quota 1870 m s.l.m. in corrispondenza del Monte Serrada (1860 m s.l.m.).

Per valutare le caratteristiche geomorfologiche del bacino è stata effettuata l'analisi ipsometrica, ottenuta utilizzando il modello DTM della Regione Lombardia (cella 20x20), relativo alla zona in esame. L'elaborazione ha permesso di estrarre la curva ipsometrica del bacino di seguito rappresentata.

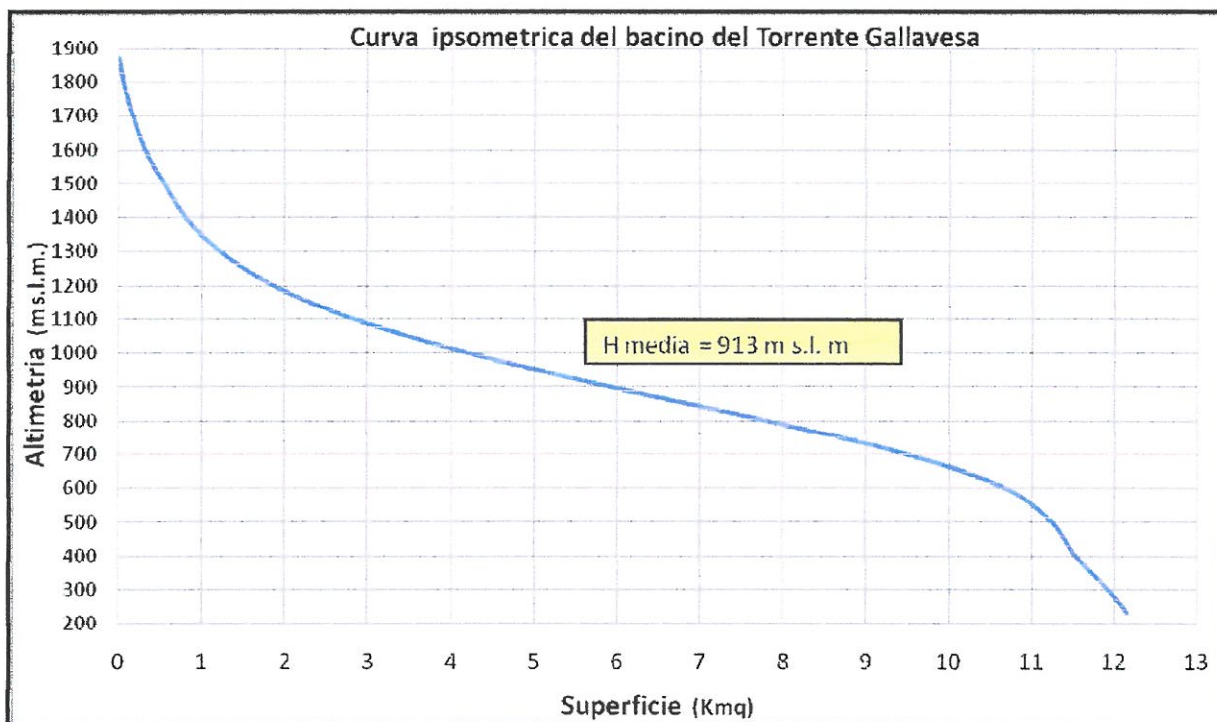


Figura 2: curva ipsometrica del bacino del Torrente Gallavesa

La curva ipsometrica rappresenta la distribuzione areale dell'altitudine del rilievo, e l'andamento rispecchia, in genere, il tipo di processo di denudazione che interessa un bacino.

Tale curva permette inoltre l'estrazione dell'altezza media per la determinazione del tempo di corruzione del bacino nella forma:



$$h_m = \frac{\sum h_i A_i}{\sum A_i}$$

in cui  $h_i$  rappresenta l'altezza media della fascia uguale alla media dei valori di due curve di livello  $i$ -esime che la delimitano; l'espressione grafica di tale formula è appunto la curva ipsometrica.

In funzione della curvatura, è possibile classificare il bacino del Torrente Gallavesa nella *fase di maturità*, in cui si verifica un sostanziale equilibrio tra la fase erosiva e la fase di trasporto.

L'andamento plano-altimetrico del bacino è visibile in Tav.3, mentre in Tav. 4 è rappresentata la Carta dell'acclività del bacino del Torrente Gallavesa.

#### RETICOLO IDROGRAFICO

Il reticolo idrografico è ben sviluppato e gerarchizzato, soprattutto nella sua parte montana, con numerosi bacini e sottobacini affluenti caratterizzati da deflusso periodico e pendenze di fondo mediamente elevate. L'asta principale nel tratto montano presenta un'alternanza di tratti incanalati con alveo in roccia affiorante e tratti sovralluvionati.

Lungo il bacino è presente una traversa di presa, a quota 550 m s.l.m. in Comune di Erve, per la derivazione di acque ad uso idroelettrico, oggetto di recente concessione, ma storicamente presente fin dal '900.

Nel tratto a valle di Erve è presente una soglia di fondo volta a contenere la capacità erosiva della corrente. Il manufatto determina il deposito del materiale eroso a monte dell'abitato stesso.

Nel tratto d'alveo che ricade negli abitati di Calolziocorte e Vercurago, il torrente presenta un andamento rettilineo ed è interamente interessato da opere di regimazione idraulica costituite da arginature e salti di fondo.

Il reticolo idrografico si presenta ben sviluppato con un pattern di tipo dentritico, vedi Tav. 5 *Carta del reticolo idrografico del bacino*, caratterizzato da una serie di canali che confluiscono in tratti successivamente convergenti determinando una struttura arborescente.

Tale struttura risulta ben ramificata nei versanti a monte dell'abitato di Erve, per poi diminuire di frequenza in corrispondenza della chiusura del bacino, quando il Torrente Gallavesa attraversa la forra che si è sviluppata a monte dell'apice del conoide.

L'asta torrentizia principale ha una lunghezza massima di 8,327 km, mentre il drenaggio totale ha una lunghezza complessiva di 20 km.





La densità di drenaggio del bacino risulta pertanto pari a 3,5 km/km<sup>2</sup>.

La pendenza media dell'asta principale è pari al 18 %.

Il profilo topografico dell'asta principale è riportato nella Tav. 5a.

L'Indice di Melton del bacino è pari a:

$$Mel = [(H_{max} - H_{min})/1000] / A^{0.5}$$

H<sub>max</sub>: altitudine massima nel bacino;

H<sub>min</sub> : altitudine minima nel bacino (quota dell'apice del conoide);

A: area del bacino.

$$H_{max} = 1869.44 \text{ m s.l.m.}$$

$$H_{min} = 233.80 \text{ m s.l.m.}$$

$$Area = 12.150 \text{ km}^2$$

$$Mel = (1635.64/1000)/3.48 = 0.47$$

Riepilogo delle caratteristiche geometriche del bacino:

|                                             |                       |
|---------------------------------------------|-----------------------|
| Superficie sottesa alla sezione di chiusura | 12,15 km <sup>2</sup> |
| Lunghezza asta principale                   | 8,327 km              |
| Altezza massima                             | 1.869 m s.l.m.        |
| Altezza minima                              | 233 m s.l.m.          |
| Altezza media                               | 913 m s.l.m.          |

Il tempo di corrivazione t<sub>c</sub>, definito dalla seguente relazione (Giandotti), risulta:

$$t_c = (4\sqrt{A} + 1,5L) / 0,8\sqrt{H_m - H_o}$$

dove

L = massima lunghezza dell'asta principale

H<sub>m</sub> = Altezza media del bacino

H<sub>o</sub> = Altezza minima del bacino

A = Superficie del bacino(km<sup>2</sup>)

$$t_c = 1,26 \text{ hr}$$



## 8 ANALISI DEI DISSESTI

Per la valutazione dei dissesti presenti nel bacino del Torrente Gallavesa è stato utilizzato come dato di riferimento il Progetto IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, accessibile tramite il geoportale della Regione Lombardia. L'analisi ha permesso di individuare i seguenti dissesti:

*Crolli e ribaltamenti diffusi* - con tale denominazione si indicano i fenomeni caratterizzati dal distacco di blocchi o di una massa di roccia variabile da qualche decimetro cubo fino ad alcune centinaia di metri cubi, il cui movimento prevalente avviene per minimo spostamento di taglio o per ribaltamento e procede poi per caduta libera, rimbalzo e rotolamento lungo il versante fino a raggiungere una posizione di equilibrio. Sono diffusi su tutto il bacino, con netta prevalenza nella porzione centro-settentrionale nell'ambito degli affioramenti costituiti da formazioni carbonatiche e dolomitiche (Calcere di Sedrina, Dolomia a Choncodon, Calcere di Zu, Dolomia principale, Calcere di Moltrasio e Calcere di Domaro).

*Scivolamenti* - si tratta di quei fenomeni che implicano il movimento di una porzione di versante lungo il pendio per scorrimento su uno o più piani, o eventualmente anche lungo una zona di limitato spessore; possono essere distinti in *rotazionali* se la superficie è curva, o *traslativi* se la superficie è piana o debolmente inclinata. In base alla profondità della superficie di scivolamento sono distinti in superficiali e profondi.

*Colamenti* - sono fenomeni in cui il movimento principale del materiale coinvolto è simile a quello dei fluidi viscosi. Sono frequenti su pendii e lungo le aste torrentizie, ove scavano solchi con profilo a V e lasciano depositi laterali a forma di argine; in funzione della disponibilità di acqua possono percorrere grandi distanze. Altri fattori che influiscono sul movimento sono le irregolarità morfologiche e le caratteristiche fisico meccaniche dei materiali coinvolti.

*Complessi* - sono individuati quei fenomeni caratterizzati da particolare complessità di movimento e articolazione delle aree, tali da non essere classificabili nei precedenti movimenti.

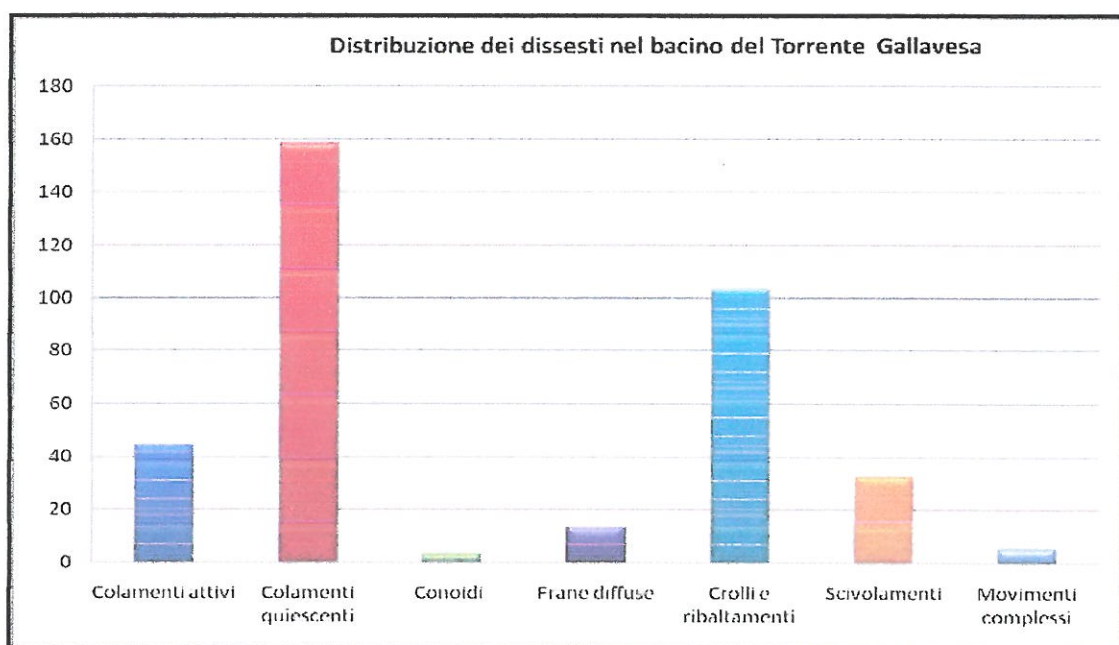
*Frane diffuse* - sono aree in cui sviluppano movimenti franosi di dimensioni limitate, generalmente non cartografabili singolarmente. I movimenti franosi sono generalmente colate o scorrimenti superficiali. Tali aree sono localizzate sui versanti a prato-pascolo e con poca copertura arborea, e





determinano rugosità e irregolarità di ridotte dimensioni (vedasi versante idrografico destro, a valle della loc. Folla).

*Conoidi* - coinvolgono le aree terminali dei bacini potenzialmente soggetti a fenomeni di trasporto di massa. I conoidi principali individuati all'interno del bacino sono quelli su cui sorge parte dell'abitato di Erve.



**Figura 3:** distribuzione dei dissesti nel bacino idrografico del T. Gallavesa, divisi per tipologia

Considerato che i fenomeni di colamento hanno sviluppo lineare (ossia sono impostati soprattutto su alvei attivi e/o rappresentano eventi di ruscellamento), i fenomeni più diffusi sono i crolli e i ribaltamenti, dovuti alla presenza di formazioni calcaree, insistenti alle quote altimetriche maggiori del bacino idrografico.

Le aree soggette a crollo, riferite prevalentemente al Comune di Erve, di cui alla scheda PAI 059-LO-LC sono già *monitorate* dalla Provincia di Lecco, in applicazione delle procedure previste dal Piano Provinciale di Emergenza di Protezione Civile di cui alla Scheda scenario Erve – Frana di Erve, Via Resegone, S.P. 181.

Gli scenari di rischio prevedono l'interruzione della viabilità in caso di crolli significativi, con isolamento dell'abitato.

La distribuzione dei dissesti è riportata nella Tav. 6.



## 9 USO DEL SUOLO

Ai fini dell'analisi preliminare delle caratteristiche del bacino del torrente Gallavesa, per meglio definire le caratteristiche geomorfologiche complessive, è stata redatta la carta di uso del suolo.

La ricostruzione è stata effettuata utilizzando la base informativa esistente, dedotta dal progetto denominato *Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali (DUSAF)* e reperibile sul portale geotematico della Regione Lombardia.

Nella Tav. 7 è riportata la Carta di uso del suolo.

Le classi individuate all'interno del bacino sono le seguenti:

| Classi                             | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | (%)  |
|------------------------------------|-------------------------------|------|
| Aree sterili                       | 0.03                          | 0.2  |
| Aree urbanizzate ed infrastrutture | 0.33                          | 2.6  |
| Boschi                             | 9.03                          | 72.6 |
| Prati                              | 1.74                          | 14.0 |
| Seminativi                         | 0.11                          | 0.9  |
| Vegetazione naturale               | 1.21                          | 9.7  |

### SEMINATIVI

#### Seminativo semplice

Rappresentano i terreni interessati da coltivazioni erbacee soggetti all'avvicendamento o alla monocoltura (ad esclusione dei prati permanenti e dei pascoli), nonché terreni a riposo.

Rappresentano meno dell'1% del bacino e sono localizzati in corrispondenza dell'apice del conoide.

### PRATI

#### Prati e Pascoli

Si intendono prati e pascoli costituiti da coltivazioni foraggere erbacee polifite fuori avvicendamento il cui prodotto viene sfalcato e/o pascolato. Rappresentano il 14% della superficie totale del bacino e sono localizzati principalmente lungo i versanti in sponda destra sopra il Comune di Erve e le aree limitrofe all'abitato stesso.

### BOSCHI

#### Boschi cedui

Sono da considerare "boschi" le aree in cui la copertura di vegetazione arborea sia superiore al 20% della superficie. Nel bacino sono presenti boschi costituiti da piante di latifoglie, sia di norma provenienti da seme, destinate ad essere allevate ad alto fusto, sia sottoposte a tagli periodici più o





meno frequenti (cedui semplici e cedui composti). Appartengono a questa sottoclasse anche i boschi di latifoglie diversamente governati, intesi come boschi costituiti da piante di latifoglie in cui non è riconoscibile una forma di governo (fustaia - ceduo) prevalente. Rappresentano la maggiore superficie del bacino pari a 72%.

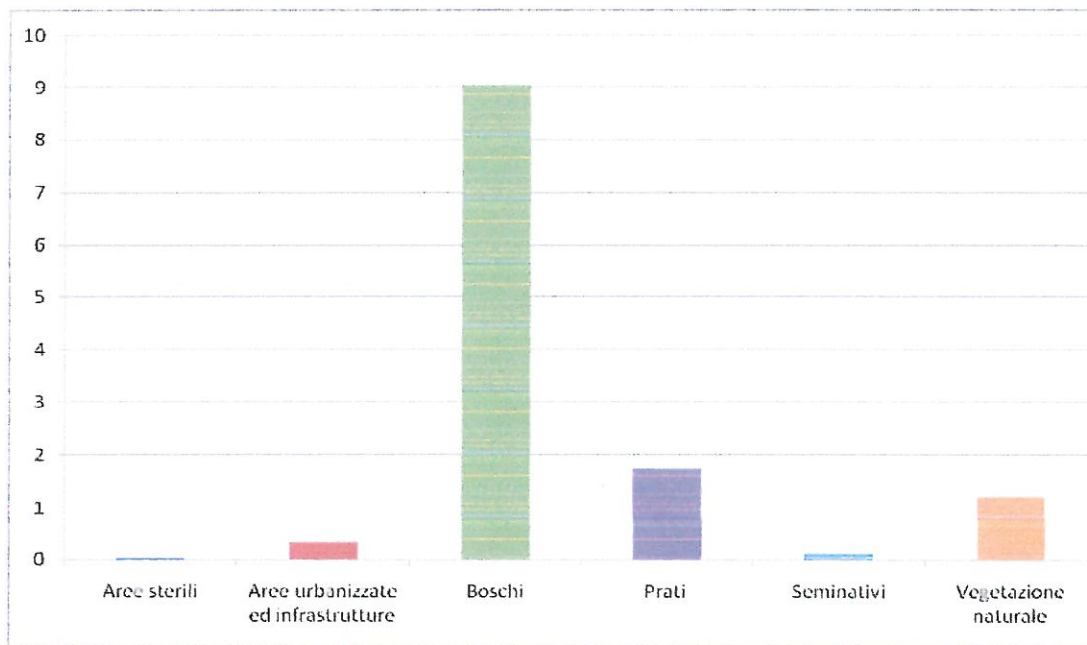


Fig. 4: Istogramma dell'uso del suolo (distribuzione in km2)

## VEGETAZIONE NATURALE

### Vegetazione rupestre e dei detriti

Vegetazione rupestre erbacea ed arbustiva delle pareti rocciose e delle pietraie attive, discontinua e rada distribuita prevalentemente lungo le creste rocciose della parte medio alta del bacino, rappresentativa di una superficie pari al 10% dell'area totale.

## AREE STERILI

### Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione

Comprendono gli accumuli di detriti, costituiti da materiale litoide frammentato e gli affioramenti rocciosi, in cui non si riscontri affatto presenza di vegetazione pioniera o la stessa presenti una copertura molto rada (inferiore al 20% della superficie). Rappresentano una superficie inferiore all'1% del totale.



## **AREE URBANIZZATE**

### **U - Aree urbanizzate ed infrastrutture**

Comprendono le aree urbanizzate senza ulteriore classificazione interna; rappresentano il tessuto urbano che ricade all'interno del bacino, ed in particolare l'intero abitato di Erve, solamente alcune porzioni di Vercurago e Calolziocorte. Rappresentano una superficie pari al 3% del totale.





## 10 ANALISI GEOMORFOLOGICA DEL CONOIDE

Il conoide del bacino del Torrente Gallavesa ha una superficie di circa 1,073 km<sup>2</sup> ed appartiene amministrativamente ai comuni di Vercurago e Calolziocorte, ubicati rispettivamente in destra e sinistra idrografica.

Il corso del Torrente Gallavesa rappresenta fisicamente, per un tratto, il confine territoriale tra i due comuni.

L'apice è posto a quota 233 m s.l.m, mentre verso valle il conoide confluisce nel lago di Olginate a 198,70 m s.l.m. Il collettore si presenta completamente urbanizzato a partire da quota 256 m s.l.m, in corrispondenza dell'attraversamento stradale del ponte in Località Folla.

Il corso originario del torrente è stato deviato artificialmente, verso la destra idrografica del conoide, a seguito della costruzione della traversa di Olginate nel 1944. Il percorso originario era pressoché rettilineo lungo l'edificio di conoide, così come appare nelle carte d'epoca precedenti alla deviazione dell'alveo.



Fig.5: Stralcio della *Carta Geologica delle Provincie Lombarde*, Curioni G. (1876)

Il tratto deviato è riconoscibile a partire dal ponte della SS 639 Bergamo – Lecco, dove l'alveo assume una sezione tipo trapezoidale, con scarpate regolarizzate fino alla confluenza in Adda (Lago di Garlate).

Il tratto rimanente dell'alveo fino all'apice del conoide risulta regolarizzato da arginelli che fungono anche da muri di confine e proprietà, in cui l'alveo si presenta confinato con assenza nel tratto urbanizzato di aree naturali di espansione.

In Tav .8 è riportata la carta geomorfologica dell'area di conoide.



L'edificio di conoide si presenta regolarizzato a causa dell'intensa urbanizzazione e con assenza di evidenti depressioni topografiche ad indicare eventuali paleoalvei.

La carta dell'acclività del conoide è riportata in Tav. 9.

A causa dell'elevata antropizzazione dell'area sono assenti, esternamente all'alveo attivo, le tracce di naturalità indicative a livello geomorfologico dell'attività del conoide.

La pendenza media lungo la bisettrice della conoide è pari a 0.03%

L'approccio basato su due parametri morfometrici, *indice di Melton* (riferito al bacino) e *pendenza della conoide*, permette di classificare la tipologia prevalente dei fenomeni che possono coinvolgere il conoide secondo l'abaco sottostante:

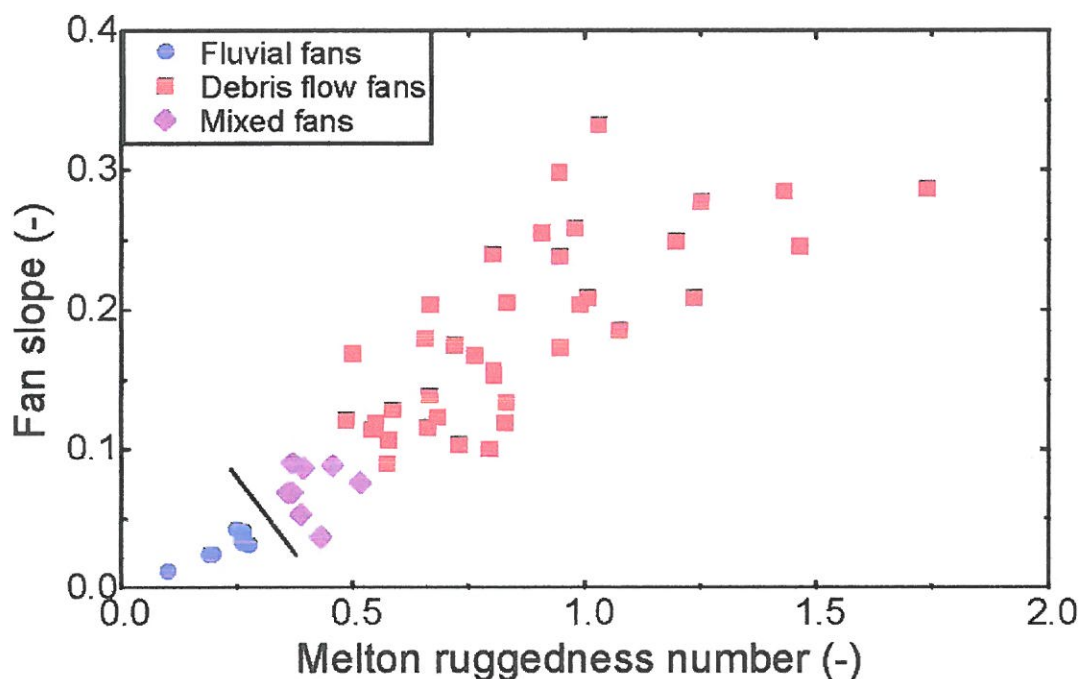


Fig. 9: Classificazione dei conoidi alluvionali secondo il rapporto indice di Melton/pendenza conoide (Marchi e altri, 1993).

In base all'indice di Melton (pari a 0,47) ed alla pendenza della conoide (pari a 0.03%), è possibile stabilire che i fenomeni prevalenti sono legati al trasporto solido di fondo, piuttosto che veri e propri debris flow.





## 11 ANALISI IDROLOGICA

### 11.1 Inquadramento climatologico

I dati bibliografici raccolti<sup>2</sup> indicano che il regime pluviometrico della zona è caratterizzato da valori medio-elevati e compresi tra 1200 e 1700 mm di pioggia/anno (con valori medi dell'ordine dei 1400 mm/anno).

I dati pluviometrici sono tipici del regime prealpino, con una distribuzione bimodale delle precipitazioni; due sono i massimi, uno tra maggio e giugno e l'altro tra ottobre e novembre, con il picco primaverile che prevale su quello autunnale. Le precipitazioni minime si registrano invece nel periodo invernale.

L'analisi meteorologica storica, relativa al periodo 1988-1996, indica che i mesi maggiormente piovosi sono nell'ordine quelli di settembre, giugno, ottobre, maggio, aprile e luglio. Sono segnalati inoltre circa 110 giorni/anno con cielo sereno, circa 90 giorni/anno con cielo poco nuvoloso e circa 160 giorni/anno con cielo coperto.

Un dato particolarmente interessante riguarda la quantità di pioggia giornaliera (ovvero caduta nelle 24 ore) che nel comune di Calolziocorte ha superato il valore di 50 mm, nel periodo 1971- 1996; tale valore è utilizzato come soglia di preallarme dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Regione Lombardia e può essere preso a riferimento per identificare gli eventi meteorici più intensi (vedi tabella).

**TABELLA EVENTI METEOROLOGICI SUPERIORI A 50 MM/GIORNO**

| ANNO | Mese      | Data | mm<br>in 24 ore | mm<br>mensili | mm<br>annuali | n° eventi<br>mensili | n° eventi<br>annui |  |  |
|------|-----------|------|-----------------|---------------|---------------|----------------------|--------------------|--|--|
| 1972 | ottobre   | 27   | 50,0            | 79,5          | 1226,9        | 1                    | 1                  |  |  |
| 1973 | luglio    | 14   | 76,0            | 179,5         | 806,5         | 1                    | 1                  |  |  |
| 1975 | settembre | 6    | 84,0            | 221,5         | 1558,5        | 1                    | 1                  |  |  |
| 1976 | settembre | 12   | 53,5            | 336,5         | 1559,6        | 2                    | 5                  |  |  |
|      |           | 29   | 53,0            |               |               |                      |                    |  |  |
|      | ottobre   | 3    | 60,7            | 426,5         |               | 3                    |                    |  |  |
|      |           | 12   | 55,2            |               |               |                      |                    |  |  |
|      |           | 29   | 65,0            |               |               |                      |                    |  |  |
| 1977 | luglio    | 30   | 63,5            | 176,8         | 1711,7        | 1                    | 3                  |  |  |
|      | ottobre   | 6    | 55,0            | 165,5         |               | 2                    |                    |  |  |
|      |           | 7    | 56,0            |               |               |                      |                    |  |  |
| 1978 | gennaio   | 28   | 82,0            | 216,0         | 1010,9        | 1                    | 1                  |  |  |
| 1979 | gennaio   | 27   | 53,0            | 68,8          |               | 1                    |                    |  |  |
|      | marzo     | 15   | 58,0            | 197,0         |               | 1                    |                    |  |  |

<sup>2</sup> I dati del presente paragrafo sono estratti dallo Studio Geologico del Comune di Vercurago ai sensi della DGR 8/7374 del 28 maggio 2008.



# COMUNE DI VERCURAGO (LC)

## STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA

ai sensi dell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008

|      |           |    |       |       |        |   |   |
|------|-----------|----|-------|-------|--------|---|---|
|      | settembre | 20 | 65,0  |       |        |   |   |
|      |           | 21 | 98,0  | 163,3 |        | 2 |   |
|      | dicembre  | 21 | 54,0  | 103,0 | 1218,0 | 1 | 5 |
| 1980 | ottobre   | 16 | 65,0  | 167,0 | 662,6  | 1 | 1 |
| 1981 | maggio    | 26 | 82,0  | 193,5 | 873,5  | 1 | 1 |
| 1982 | luglio    | 18 | 50,0  | 143,0 |        | 1 |   |
|      | settembre | 6  | 56,0  | 89,5  |        | 1 |   |
|      | ottobre   | 23 | 55,0  | 86,0  |        | 1 |   |
|      | novembre  | 9  | 57,0  |       |        |   |   |
|      |           | 29 | 50,0  | Nn    | 659,0  | 2 | 5 |
| 1983 | aprile    | 22 | 50,0  | Nn    |        | 1 |   |
|      | maggio    | 16 | 50,0  | Nn    |        |   |   |
|      | Agosto    | 3  | 60,0  | Nn    | 735,0  | 2 | 3 |
| 1984 | maggio    | 4  | 60,0  | Nn    |        | 1 |   |
|      | giugno    | 4  | 70,0  | Nn    |        | 1 |   |
|      | agosto    | 24 | 60,0  | Nn    |        | 1 |   |
|      | settembre | 5  | 50,0  |       |        |   |   |
|      |           | 6  | 100,0 | Nn    |        |   |   |
|      | ottobre   | 5  | 50,0  | Nn    | 1472,0 | 3 | 6 |
| 1985 | maggio    | 13 | 60,0  |       |        |   |   |
|      |           | 14 | 60,0  | Nn    |        | 2 |   |
|      | settembre | 16 | 50,0  | Nn    | 751,0  | 1 | 3 |
| 1986 | aprile    | 26 | 50,0  |       |        |   |   |
|      |           | 27 | 60,0  | Nn    |        | 2 |   |
|      | settembre | 19 | 50,0  | Nn    | 807,0  | 1 | 3 |
| 1990 | giugno    | 20 | 71,0  | 212,7 |        | 1 |   |
|      | agosto    | 31 | 58,5  | 153,8 |        |   |   |
| 1991 | dicembre  | 9  | 70,7  | 108,1 | 1189,5 | 2 | 3 |
|      | settembre | 11 | 55,2  |       |        |   |   |
|      |           | 22 | 90,0  |       |        |   |   |
|      |           | 29 | 91,4  | 313,6 | 1165,1 | 3 | 3 |
| 1992 | giugno    | 19 | 51,2  | 343,3 |        | 1 |   |
|      | luglio    | 10 | 91,3  |       |        |   |   |
|      |           | 11 | 63,1  | 302,8 |        | 2 |   |
|      | settembre | 10 | 100,6 |       |        |   |   |
|      |           | 28 | 51,7  | 315,2 |        | 2 |   |
|      | dicembre  | 5  | 56,5  | 135,1 | 2015,1 | 1 | 6 |
| 1993 | giugno    | 23 | 51,5  | 187,2 |        | 1 |   |
|      | luglio    | 11 | 63,1  |       |        |   |   |
|      |           | 20 | 51,0  | 182,3 |        | 2 |   |
|      | settembre | 23 | 68,0  |       |        |   |   |
|      |           | 24 | 81,1  |       |        |   |   |
|      |           | 25 | 86,7  | 394,5 |        |   |   |
|      | ottobre   | 2  | 74,5  | 358,2 | 1641,2 | 4 | 7 |
| 1994 | gennaio   | 6  | 50,9  |       |        |   |   |
|      |           | 7  | 51,1  | 177,8 |        | 2 |   |
|      | maggio    | 18 | 59,6  | 197,4 |        | 1 |   |
|      | settembre | 1  | 54,6  |       |        |   |   |
|      |           | 8  | 53,4  |       |        |   |   |
|      |           | 14 | 53,6  |       |        |   |   |
|      |           | 24 | 94,0  |       |        |   |   |
|      |           | 26 | 101,0 | 568,4 |        | 5 |   |
|      | novembre  | 6  | 55,6  | 129,2 | 1667,1 | 1 | 9 |
| 1995 | maggio    | 12 | 54,0  | 185,8 | 1079,3 | 1 | 1 |





## COMUNE DI VERCURAGO (LC)

### STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA

ai sensi dell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008

|      |          |    |       |       |        |   |   |
|------|----------|----|-------|-------|--------|---|---|
| 1996 | giugno   | 20 | 69,4  |       |        |   |   |
|      |          | 21 | 68,2  |       |        |   |   |
|      |          | 22 | 53,8  | 183,2 |        | 3 |   |
|      | agosto   | 12 | 79,5  |       |        |   |   |
|      |          | 27 | 65,0  |       |        |   |   |
|      |          | 28 | 77,0  | 291,8 |        | 3 |   |
|      | ottobre  | 15 | 74,5  | 149,6 |        | 1 |   |
|      | novembre |    |       |       |        |   |   |
|      |          | 14 | 106,6 | 268,4 | 1634,8 | 1 | 8 |
|      |          |    |       |       |        |   |   |

**TABELLA RIASSUNTIVA EVENTI DAL 1971 AL 1996**

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Anno      | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 |
| n° eventi | 0    | 1    | 1    | 0    | 3    | 5    | 3    | 1    | 5    |
| Anno      | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
| n° eventi | 1    | 1    | 5    | 3    | 6    | 3    | 3    | --   | --   |
| Anno      | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
| n° eventi | --   | 3    | 3    | 6    | 7    | 9    | 1    | 8    | Nc   |

Dalla tabella si comprende come la frequenza con cui si manifestano le piogge intense (superiori ai 50 mm/giorno) è rilevante, e tenda ad aumentare negli ultimi anni (in particolare dal 1992 ad oggi). Questo evidenzia come il territorio lecchese sia particolarmente esposto agli eventi meteorologici più intensi che, in diverse occasioni, hanno creato problemi (come verificatosi il 26-27 novembre 2006).

Dall'analisi dei dati raccolti (dal 1971 al 1996), i mesi in cui più frequentemente si registrano precipitazioni giornaliere superiori ai 50 mm nelle 24 ore sono concentrati tra maggio e novembre (periodo solitamente interessato anche dai fenomeni temporaleschi). Pertanto, nei suddetti mesi, è più alto il rischio di fenomeni naturali calamitosi quali alluvioni e dissesti idrogeologici.

L'evento di precipitazioni intense del 12-27 novembre 2002 merita una citazione a parte, in quanto si sono registrati localmente valori giornalieri "storici", talora con periodo di ritorno superiore ai 200 anni.

Soprattutto la settimana del 23-27 novembre ha causato i maggiori disagi, in quanto il terreno ormai saturo dal precedente periodo di pioggia, non ha permesso che una scarsa infiltrazione dell'acqua. In particolare nel territorio comunale sono stati raggiunti in questi cinque giorni valori complessivi di pioggia fino a 300-350 mm, con valori massimi nei giorni del 25 e 26 novembre; ciò ha provocato i dissesti menzionanti nel paragrafo 4 "Analisi Storica".



#### EVENTO DEL 2002

Nel periodo tra il 14 ed il 29 novembre 2002 si verificarono precipitazioni molto intense sulla zona nord-ovest della Lombardia. Le piogge causarono numerosi dissesti, soprattutto nelle province di Bergamo, Como, Lecco, Sondrio e Varese.

Dai dati rilevati dalle stazioni della rete regionale gestita da ARPA (ora *ISPRA*), i picchi massimi che si registrarono furono:

| Località        | H pioggia (mm) |
|-----------------|----------------|
| Cornalita (BG)  | 649.6          |
| Minoprio (CO)   | 293.0          |
| Casatenovo (LC) | 402.0          |
| Bema (SO)       | 463.6          |
| Ispra (VA)      | 563.4          |

Va rilevato che nelle suddette aree, come precedentemente scritto, il valore medio annuo di precipitazione si aggira sui 1.400÷1.600 mm.





### 11.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

L'Autorità di bacino del Fiume Po ha predisposto tramite l'attivazione del *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*, ai sensi della legge del 18 maggio 1989, la Direttiva sulla piena di progetto da assumere per la progettazione e per le verifiche di compatibilità idraulica. L'Allegato 3 *Distribuzione spaziale delle piogge intense* rappresenta la regionalizzazione dei Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni su una griglia di 2 km di lato estesa a tutto il bacino del Fiume Po.

I valori estratti relativi all'area coperta dal bacino del torrente Gallavesa sono riportati nella tabella sottostante, gli stessi sono riportati nella Tav.10: *Ubicazione delle celle relative ai parametri della LSPP* in scala 1: 50.000.

| CELLA | X           | Y           | a20    | a20   | a100   | n100  | a200   | n200  | a500   | a500  |
|-------|-------------|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| DM64  | 1533000.000 | 5073000.000 | 60.540 | 0.304 | 78.150 | 0.300 | 85.620 | 0.299 | 95.530 | 0.297 |
| DN62  | 1535000.000 | 5077000.000 | 58.820 | 0.312 | 75.710 | 0.306 | 82.900 | 0.305 | 92.410 | 0.302 |
| DN63  | 1535000.000 | 5075000.000 | 59.200 | 0.307 | 76.260 | 0.302 | 83.510 | 0.300 | 93.120 | 0.298 |
| DN64  | 1535000.000 | 5073000.000 | 59.450 | 0.302 | 76.680 | 0.296 | 84.000 | 0.295 | 93.700 | 0.293 |
| DO62  | 1537000.000 | 5077000.000 | 57.900 | 0.310 | 74.440 | 0.304 | 81.490 | 0.302 | 90.810 | 0.299 |
| DO63  | 1537000.000 | 5075000.000 | 58.200 | 0.305 | 74.900 | 0.299 | 82.000 | 0.297 | 91.400 | 0.294 |

Tab. 1: Celle con i parametri delle LSPP relative al bacino del Torrente Gallavesa.

Agli indici  $a$  e  $n$  riferiti al bacino del Torrente Gallavesa sono stati assegnati i seguenti valori:

|        | a20      | n20     | a100     | n100    | a200     | n200    | a500     | n500    |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Indici | 59.01833 | 0.30667 | 76.02333 | 0.30117 | 83.25333 | 0.29967 | 92.82833 | 0.29717 |

L'altezza di pioggia attesa (mm) è in funzione del tempo di ritorno previsto secondo la relazione  $h(t) = at^n$  dove  $t$  è il tempo di corrvazione del bacino.

| tempo di ritorno | h (mm)   |
|------------------|----------|
| 20               | 63.35301 |
| 100              | 81.50330 |
| 200              | 89.22352 |
| 500              | 99.42769 |

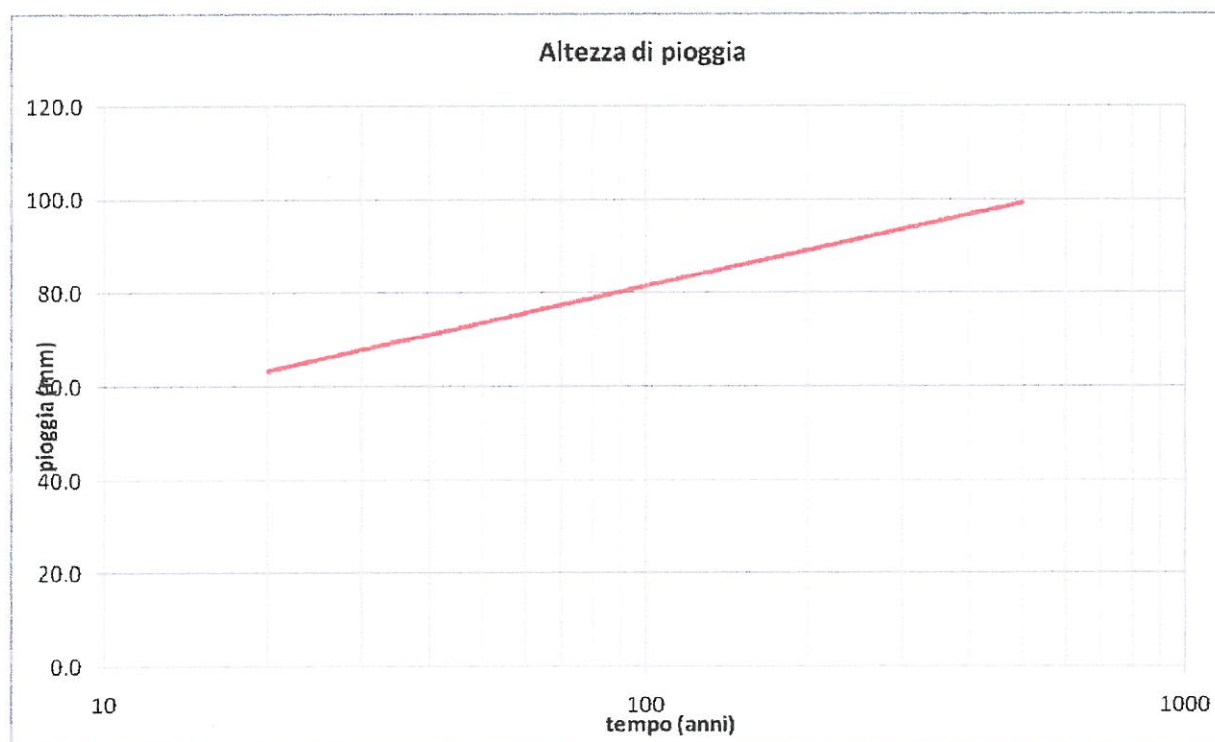


Fig. 6: Altezza di pioggia per il bacino del Torrente Gallavesa con T di ritorno da 20 a 500 anni.





## 12 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA

### 12.1 Documentazione consultata

Lungo il bacino del torrente Gallavesa sono stati effettuati diversi studi idrologici e idraulici; in particolare citiamo quelli messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale e quelli reperibili presso la Comunità Montana della Valle S. Martino.

- *Studio idraulico dei torrenti presenti sul territorio comunale di Calolziocorte*, a cura dello Studio Geologico Tecnico Lecchese, in cui sono individuate per il Torrente Gallavesa le seguenti caratteristiche:

| Tempo di corrivazione ( $t_c$ ) | $Q_{100}$ - (Giandotti e Visentini) |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 54 min                          | 158 m <sup>3</sup> /s               |

- *Verifica tecnica per attraversamento lungo il Torrente Gallavesa*, a cura della Tecno Geo di Bergamo, in cui sono individuate le seguenti caratteristiche:

| Tempo di corrivazione - Giandotti ( $t_c$ ) | $Q_{100}$ - (Formula Razionale) |
|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 1,16 ore                                    | 67,7 m <sup>3</sup> /s          |

- *Studio idrologico-idraulico preliminare del conoide del Torrente Gallavesa*, a cura dello Studio GEA di Ranica (BG), in cui sono individuate le seguenti caratteristiche:

| Tipo formula      | Denominazione            | $Q_{100}$ [m <sup>3</sup> /s] |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Empirica          | Forti - De Marchi        | 103                           |
| Afflussi-deflussi | Razionale                | 108                           |
| Modelli Lineari   | Met. Invaso Iet. Chicago | 100                           |
|                   | Met. Nash Iet. Chicago   | 104.7                         |
|                   | Metodo Geomorfologico    | 101                           |
|                   | Valore adottato          | 105                           |



#### DATI REGIONALI

Il database delle Regione Lombardia (SIBCA) adotta per il bacino del Torrente Gallavesa le seguenti caratteristiche:

| Tempo di corrivazione - Giandotti ( $t_c$ ) | $Q_{100}$ - (Formula Razionale) |
|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 1,26 ore                                    | 51,26 m <sup>3</sup> /s         |

#### DATI DELLA PROVINCIA DI LECCO

Fra gli elaborati consultati per l'analisi idrologica è disponibile la relazione *Rischio idraulico in considerazione di aree antropiche con particolare riguardo alla verifica di ponti e ponticelli posti lungo la rete viaria Provinciale*, a cura dei Prof. Ing. Marco Mancini, Ing. Claudio Meroni e Ing. Sergio Bavagnoli, effettuata per la Provincia di Lecco nell'ambito delle attività di protezione civile. Lo studio esamina ed organizza, in un apposito Database geografico, i ponti della Provincia di Lecco; per quindici di questi quantifica la capacità di smaltimento della portata di piena in termini di rischio di esondazione o periodo di ritorno, evidenziando le sezioni maggiormente pericolose ai fini delle attività antropiche.

Come si evince dalla relazione la scelta delle quindici sezioni è stata motivata tramite:

- analisi delle insufficienze storiche;
- indicazioni del Comitato Provinciale di Protezione Civile (19/09/2002);
- Ufficio Tecnico del Settore Viabilità e Protezione Civile della Provincia di Lecco.

Nella relazione è illustrata la metodologia generale, mentre i calcoli delle singole sezioni sono riportati in apposite monografie consultabili sul portale della Provincia di Lecco.

Per ogni attraversamento è stata messa a punto una monografia in cui sono riportati i rilievi, le risultanze dell'analisi idrologica, le verifiche idrauliche e la lista degli eventuali interventi di mitigazione del rischio idraulico.

L'analisi di verifica delle portate smaltibili è stata condotta confrontando i valori di piena riferiti a diversi periodi di ritorno con quelli smaltibili dall'attuale geometria dell'attraversamento. Il periodo di ritorno delle portate di piena è stato assunto pari a quello individuato dalla Legge 267/98 e cioè di 50, 100, 200 anni. In caso di sezione insufficiente sono stati individuati gli elementi soggetti a



maggior grado di rischio in caso di esondazione. Infine, per ognuno dei 15 attraversamenti, si è predisposta una scheda di sintesi<sup>3</sup>.

Nella tabella sottostante sono riportati i bacini studiati (come si può notare non è stato considerato il bacino del Torrente Gallavesa, in quanto gli autori non hanno ritenuto di annoverarlo tra quelli a rischio di esondazione).

| Bacino | Sezione di chiusura | Torrente         | Area               | Lunghezza asta principale | CN AMC III | Altezza media | Pendenza media asta | Tc Giandotti | Tc SCS |
|--------|---------------------|------------------|--------------------|---------------------------|------------|---------------|---------------------|--------------|--------|
|        |                     |                  | [Km <sup>2</sup> ] | [Km]                      |            | [m]           | [%]                 | [ore]        | [ore]  |
| 1      | Bellano             | Pioverna         | 154.31             | 31.10                     | 82         | 1115.0        | 2.5                 | 2.52         | 2.92   |
| 2      | Colico              | Il Perlino       | 6.46               | 6.70                      | 81         | 834.0         | 14.8                | 0.91         | 1.34   |
| 3      | Colico              | Inganna          | 3.94               | 5.75                      | 82         | 1006.1        | 18.0                | 0.86         | 1.11   |
| 4      | Colico              | Valle Merla      | 3.59               | 4.83                      | 81         | 705.0         | 20.0                | 0.83         | 1.23   |
| 5      | Dervio              | Varrone          | 83.00              | 21.85                     | 84         | 1395.0        | 6.5                 | 2.52         | 2.92   |
| 6      | Dervio              | Varrone          | 82.00              | 21.85                     | 84         | 1395.0        | 6.5                 | 2.52         | 2.92   |
| 7      | Dervio Redaelli     | Rio loc Redaelli | 0.61               | 0.90                      | 84         | 696           | 45                  | 0.25         | 0.22   |
| 8      | Garlate             | Molina           | 3.06               | 3.00                      | 90         | 402.6         | 14.9                | 1.0          | 0.7    |
| 9      | Introbio            | Pioverna         | 58.24              | 12.58                     | 80         | 1134.0        | 13.4                | 2.24         | 2.05   |
| 10     | Lomagna             | Molgoretta       | 31.68              | 11.50                     | 88         | 328.2         | 2.4                 | 5.06         | 3.46   |
| 11     | Nibionno            | Bevera           | 6.63               | 6.40                      | 90         | 358.0         | 2.4                 | 3.0          | 2.7    |
| 12     | Perego              | Roggia Molgora   | 1.27               | 1.90                      | 88         | 410.9         | 2.5                 | 1.1          | 0.6    |
| 13     | Varenna             | Esino            | 20.07              | 9.47                      | 79         | 1032.0        | 13.4                | 1.42         | 2.09   |

Tab. 2: Caratteristiche fisiografiche dei bacini e confronto tra i tempi di corrivazione calcolati con il metodo di Giandotti e con quello del SCS.

## ANALISI REGIONALE

Il metodo proposto<sup>4</sup>, illustrato nello studio precedentemente citato, permette di creare un unico campione di dati di portata massima annuale, relativamente ad una regione idrologicamente simile, individuata nel caso in esame dai bacini padani appartenenti alla Regione Idrologica A, riportata in *Figura 5*. In questo caso il fattore di crescita viene stimato a scala regionale e si basa sulla distribuzione di probabilità nota come General Extreme Value (GEV), i cui parametri sono stati stimati per i valori di portata al colmo massima annuale riportati fino all'anno 1970 dalla

<sup>3</sup> Provincia di Lecco - *Rischio idraulico in considerazione di aree antropiche con particolare riguardo alla verifica di ponti e ponticelli posti lungo la rete viaria Provinciale* a cura dei Prof. Ing. Marco Mancini, Ing. Claudio Meroni e Ing. Sergio Bavagnoli.

<sup>4</sup> Cfr.: CNR-GNDICI - U.O. 1.8 - Rapporto VAPI, *Italia Nord-Occidentale: bacino del fiume Po e Liguria Tirrenica*, a cura di C. DE MICHELE e R. ROSSO, in base agli studi di Daniel Adom, Baldassare Bacchi, Gianfranco Becciu, Armando Brath, Paolo Burlando, Elpidio Caroni, Carlo De Michele, Paolo La Barbera, Marco Mancini e Renzo Rosso della U.O. n.1.8 presso il Politecnico di Milano, pubblicazione 1999.





Pubblicazione n.17 del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) per le aree di competenza dell'Ufficio Po - Parma e della Sezione di Genova, rispettivamente il bacino del Fiume Po e la Liguria Tirrenica e rinormalizzati rispetto al valore medio dei massimi annuali di piena per ciascun bacino,  $E[Q]$ .

L'espressione usata per determinare la portata al colmo è

$$Q_T = \bar{Q} \cdot \left[ \xi + \alpha \cdot \left( \frac{1 - e^{-\kappa T}}{\kappa} \right) \right]$$

dove  $\bar{Q} = E[Q]$  rappresenta la portata indice del bacino, mentre i parametri  $\xi$ ,  $\alpha$  e  $\kappa$  sono stati stimati sulla base delle osservazioni disponibili e riportati in *Figura 7* e in *Tabella 3*, divisi per comparti omogenei dal punto di vista del comportamento idrologico.

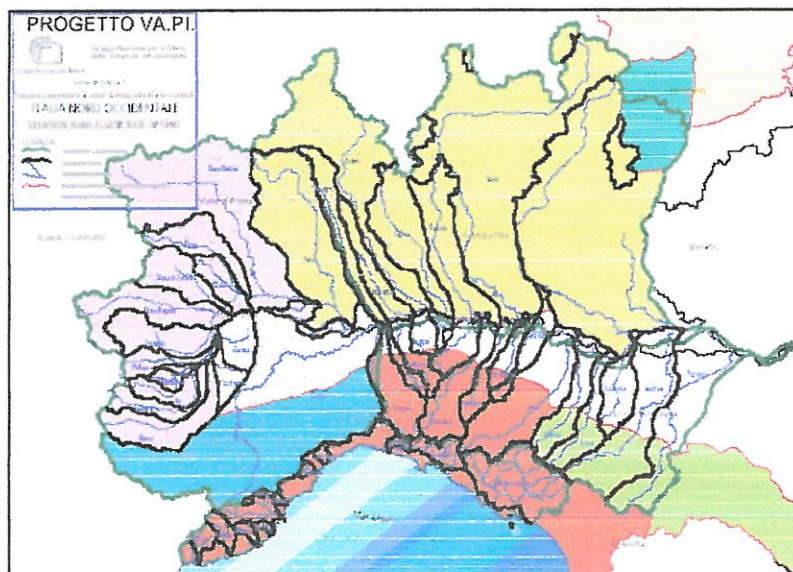


Fig. 7: Regioni omogenee dell'Italia Nord-Occidentale sulla base della stagionalità degli estremi e della proprietà d'invarianza di scala in senso statistico della portata al colmo di piena; i bacini di nostro interesse si trovano nella Regione A.

| Regione |                         | $n$ | $\alpha$ | $\varepsilon$ | $k$    |
|---------|-------------------------|-----|----------|---------------|--------|
| A       | Alpi e Prealpi Centrali | 316 | 0.365    | 0.745         | -0.110 |

Tab. 3: Parametri della distribuzione GEV per le regioni omogenee di piena dell'Italia Nord Occidentale ( $n$  indica la numerosità del campione utilizzato).

E' possibile, a questo punto, determinare le curve di crescita della portata al colmo regionale per assegnato periodo di ritorno, dove il rapporto adimensionale  $Q/\bar{Q}$  è indicato con il termine  $x_T$ , detto quantile rinormalizzato, i cui valori sono riportati in *Tabella 4* in funzione dei periodi di ritorno.



| Regione |                         | Periodo di Ritorno, anni |      |      |      |      |      |
|---------|-------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
|         |                         | 10                       | 20   | 50   | 100  | 200  | 500  |
| A       | Alpi e Prealpi Centrali | 1.68                     | 2.03 | 2.52 | 2.93 | 3.37 | 4.00 |

Tab. 4: Valori del fattore di crescita  $x_T$  per alcuni valori salienti del periodo di ritorno  $T$ .

La portata indice può essere stimata sulla base della proprietà dell'invarianza di scala della portata al colmo massima annuale  $Q$  al variare della superficie  $A$  del bacino sotteso. Il legame viene usualmente espresso da una relazione di potenza tra la media osservata del massimo annuale di portata al colmo di piena e la superficie del bacino sotteso,

$$\bar{q} = \bar{q}(1)A^m$$

dove  $\bar{q}(1)$  rappresenta il contributo unitario caratteristico per quella regione e  $m$  l'esponente caratteristico di scala; i parametri sono stati stimati<sup>5</sup> sulla base dei dati osservati.

| Regione |                         | $M$                   | $\bar{q}(1), \text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ |
|---------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
| A       | Alpi e Prealpi Centrali | 0.799 ( $\pm 0.183$ ) | 2.098                                               |

Tab.5: Esponente caratteristico  $m$  della relazione di potenza tra la media osservata del massimo annuale di portata al colmo di piena e la superficie del bacino sotteso, a meno dell'errore standard di stima (in parentesi), e valori del contributo unitario.

Una volta stimata la portata indice, la portata al colmo si ricava dall'espressione precedente, usando i parametri riportati in *Tabella 5*, relativi alla regione d'appartenenza. Visto il forte errore standard di stima per la Regione A, il valore della portata indice ottenuto deve essere considerato puramente indicativo (osservazione riportata nella relazione citata).

Per il bacino del Torrente Gallavesa si ricava:

$$\text{Contributo unitario caratteristico} = 15.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

$$X_{T\ 100} = 2.93$$

$$Q_{100} = 44.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

<sup>5</sup> Cfr.: CNR-GNDICI - U.O. 1.8 - Rapporto VAPI, *Italia Nord-Occidentale: bacino del fiume Po e Liguria Tirrenica*, a cura di C. DE MICHELE e R. ROSSO, in base agli studi di Daniel Adom, Baldassare Bacchi, Gianfranco Becciu, Armando Brath, Paolo Burlando, Elpidio Caroni, Carlo De Michele, Paolo La Barbera, Marco Mancini e Renzo Rosso della U.O. n.1.8 presso il Politecnico di Milano, 2000.





## 12.2 Metodo razionale

La valutazione della portata attesa alla sezione di chiusura, con tempo di ritorno  $T_{100}$ , è stata effettuata applicando il metodo razionale, che si basa sulle seguenti ipotesi fondamentali:

- la pioggia critica è quella che ha durata pari al tempo di corrivazione del bacino;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La formula razionale fornisce il valore della portata  $Q$  ( $m^3/s$ ) in funzione del tempo di ritorno  $T$  (anni), a partire dal volume specifico dei deflussi in funzione dell'ampiezza dell'area scolante secondo la relazione seguente:

dove  $Q_c = 0,28ciA$

$Q_c$  = portata al colmo ( $m^3/s$ )  
 $c$  = coefficiente di deflusso (-)  
 $i$  = intensità di pioggia (mm/hr)  
 $A$  = superficie del bacino ( $km^2$ )

Il coefficiente di deflusso rappresenta il rapporto tra gli afflussi meteorici ed i corrispondenti afflussi superficiali, in funzione del tipo di terreno, del grado di saturazione, del tipo di copertura vegetale, dalla pendenza e da altri fattori.

Per la valutazione di tale parametro si è fatto uso della tabelle sotto riportate, con riferimento alle caratteristiche del bacino idrografico e di uso del suolo descritte nel capitolo 7.

Coefficienti di deflusso raccomandati da *American Society of Civil Engineers* e da *Pollution Control Federation*, con riferimento prevalente ai bacini urbani

| Caratteristiche del bacino                                        | c           |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.) | 0,70 – 0,95 |
| Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)                             | 0,05 – 0,10 |
| Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)                          | 0,10 – 0,15 |
| Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)                            | 0,15 – 0,20 |
| Suoli argillosi a debole pendenza (2%)                            | 0,13 – 0,17 |
| Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)                         | 0,18 – 0,22 |
| Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)                           | 0,25 – 0,35 |

Tab. 6: Valori del coefficiente di deflusso per aree urbane.





Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

| Tipo di suolo                                                                                                                                                 | c             |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
|                                                                                                                                                               | Uso del suolo |       |
|                                                                                                                                                               | Coltivato     | Bosco |
| Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso                                                                                              | 0,20          | 0,10  |
| Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili                                                                                   | 0,40          | 0,30  |
| Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile | 0,50          | 0,40  |

Tab. 7: Coefficienti di deflusso per aree ricoperte da vegetazione.

Le tabelle sono contenute nell'Allegato 7 – Norme di Attuazione del PAI (Piano stralcio per l'assetto idrogeologico), Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.

Sulla base delle osservazioni e delle caratteristiche del bacino in esame, vista la prevalenza di aree coperte da vegetazione rispetto alle aree urbanizzate, secondo le classi prevalenti riportate nella tabella sottostante:

| Classi                             | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | (%)  |
|------------------------------------|-------------------------------|------|
| Aree sterili                       | 0.03                          | 0.2  |
| Aree urbanizzate ed infrastrutture | 0.33                          | 2.6  |
| Boschi                             | 9.03                          | 72.6 |
| Prati                              | 1.74                          | 14.0 |
| Seminativi                         | 0.11                          | 0.9  |
| Vegetazione naturale               | 1.21                          | 9.7  |

Tab. 8: Classi di uso del suolo (vedi Cap. 7)

si adotta, cautelativamente, un coefficiente di deflusso pari a 0.35.

L'applicazione del metodo razionale fornisce un valore pari a

$$Q_{100} = 78 \text{ m}^3/\text{s}$$



### 12.3 Analisi della magnitudo

Per la valutazione della magnitudo del conoide sono state utilizzate le formule riportate nell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 con le indicazioni di seguito riportate.

Valori contenuti nel Database SIBCA (Sistema informativo bacini e corsi d'acqua alpini) fornito dalla Regione Lombardia

- Bottino, Crivellari & Mandrone (1996): 42.742 m<sup>3</sup>
- Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000): 41.425 m<sup>3</sup>

Portata di picco di una colata, che può essere determinata tramite metodi diretti e indiretti. Fra i metodi indiretti possono essere utilizzate le seguenti formule:

$$q = 200 / (S+28) + 0.6 \text{ (Anselmo, 1985)}$$

dove  $q$  = portata specifica liquida in m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> e  $S$  = area del bacino in km<sup>2</sup>.

$$q = 200/(12,15+28) + 0.6 \quad 5,58 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

$$Q_{\text{bacino}} = 67,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

La relazione che lega portata liquida con portata solida è la seguente:

$$Q_{df} = Q_l * (CX / CX - C_{df}) \text{ (Armanini, 1996)}$$

dove

$Q_{df}$  = portata massima della colata,

$Q_l$  = portata massima liquida,

$C_{df}$  = concentrazione della colata e  $CX = 0,65 \div 0,75$ .

La concentrazione della colata ( $C_{df}$ ), dipendente dall'inclinazione del pendio, può essere stimata tramite l'equazione di Takahashi, quando la pendenza dell'alveo è inferiore a 20°, posta nella forma:

$$C_{df} = p_m(\tan\theta) / (p_s - p_m)(\tan\phi - \tan\theta)$$

dove

$\phi$  = angolo di attrito statico del materiale posto pari a circa 35° (6)





$\theta$  = inclinazione dell'alveo (in questo caso si considera il tratto finale di alveo compreso tra l'orrido a valle di Erve - quota 366 m s.l.m. - fino alla confluenza al Lago di Garlate - quota 198.70 - per una lunghezza complessiva di 3,1 km.

L'inclinazione media è pari a  $3^\circ$  ( $\theta$ ).

$\rho_s$  = densità dei solidi grossolani =  $2.600 \text{ kg/m}^3$

$\rho_m$  = densità del fluido interstiziale (acqua + fini) =  $1.500 \text{ kg/m}^3$

$C_{df} = 0.11$

posto

$C_x = 0,7$

$Q_l = 78 \text{ m}^3/\text{s}$  con T100 (valore stimato secondo le indicazioni riportate nel paragrafo 10)

$Q_{df} = 78 * (0,7/0,7-0,11) = 91 \text{ m}^3/\text{s}$

Alla luce delle analisi e delle stime effettuate è importante sottolineare che i risultati sono stati ottenuti facendo riferimento a valori riportati in letteratura.

La distinzione tra la componente liquida e quella solida dipende dalla pendenza del canale, dalla granulometria del materiale solido, dalla densità e dal grado di addensamento del miscuglio della colata.

In particolare il valore della portata solida aumenta all'aumentare del valore di pendenza del canale e del valore di densità attribuito al fluido interstiziale della colata, e al diminuire dell'angolo di attrito statico del materiale solido mobilizzabile e del coefficiente di massimo impaccamento della colata ( $C_x$ ).

Altri autori<sup>6</sup> hanno elaborato un criterio morfologico che, correlando tra loro i parametri morfometrici del bacino e del conoide, consente di definire quale sia la tipologia del trasporto solido di piena sui conoidi alluvionali. Gli autori hanno classificato i bacini studiati in tre categorie:

- a) bacini i cui corsi d'acqua presentano, nel tratto terminale, evidenze di trasporto solido con movimento al fondo di materiale grossolano;
- b) bacini nei quali più spesso si verificano episodi di trasporto solido, anche in forma iperconcentrata; non sono esclusi tuttavia fenomeni di debris flow e perciò tali bacini vengono definiti misti;
- c) bacini con tracce evidenti di fenomeni di debris flows.

<sup>6</sup> Il rischio idraulico nelle aree di conoide a cura di Regione Lombardia, Q.R.R. n. 34



Gli autori hanno correlato la pendenza media del conoide  $S_b$  con l'indice di Melton del bacino di alimentazione, ed hanno proposto i seguenti valori limite che separano le tre tipologie di bacini:

Su conoidi con  $S_b < 3.9^\circ$  si verifica solo trasporto solido;

Su conoidi con  $3.9^\circ < S_b < 5.1^\circ$  si hanno conoidi di tipo misto;

Su conoidi con  $S_b > 5.1^\circ$  possono scorrere correnti detritiche;

Il conoide del bacino del Torrente Gallavesa presenta le seguenti caratteristiche morfometriche:

$Q_{\max} = 233.80$  m s.l.m.

$Q_{\min} = 198.70$

$L_{\text{bisettrice}} = 1120$  m

$S_b = 1.7^\circ$

Pertanto, in base a tale criterio, il bacino in oggetto ricade tra quelli interessati da fenomeni di trasporto solido con movimento al fondo di materiale grossolano.



### 13 ANALISI DELLE SEZIONI CRITICHE

Le valutazioni delle caratteristiche morfologiche del bacino e del conoide del Torrente Gallavesa indicano che, in termini morfometrici e di assetto litostratigrafico, il bacino rientra in quelli classificabili per fenomeni di trasporto solido.

Nell'ambito di una valutazione della pericolosità ai fini della pianificazione urbanistica, e in considerazione del fatto che il collettore del conoide è completamente urbanizzato e quindi privo di qualsiasi zona di espansione naturale, è stata effettuata l'analisi critica di tutti i potenziali punti di ostruzione/occlusione dell'alveo del Torrente utilizzando come parametro di riferimento il valore di portata centennale  $Q_{100} = 91 \text{ m}^3/\text{s}$ ; tale valore corrisponde alla portata liquida centennale, opportunamente incrementata dall'apporto solido proveniente dal bacino, stimato su basi cautelative.

Non avendo testimonianza di eventi pregressi significativi, sono state analizzate tutte le sezioni critiche lungo l'asta torrentizia.

Per l'analisi del deflusso lungo le sezioni critiche è stato utilizzato il programma HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), sviluppato per la valutazione dei fenomeni idraulici caratterizzati sia da moto gradualmente vario, che rapidamente vario.

Le n.9 sezioni analizzate, ubicate lungo tutti i potenziali punti di ostruzione (ponticelli pedonali e/o carrali, soglie, etc..), a partire dalla Località Folla fino al Lago di Garlate, sono visibili nella Tav. 8: Carta geomorfologica del conoide del Torrente Gallavesa e nell'Allegato: Rappresentazione schematica delle sezioni critiche.

Di seguito si elencano i punti critici considerati.

- Sezione 9:** Ponte in Località Folla, fondo con alveo naturale (presenza di detrito alluvionale), quota 256,5 m s.l.m..
- Sezione 8:** Ponte su via Maglio, fondo con alveo in roccia, quota 231,78 m s.l.m..
- Sezione 7:** Ponte che collega la Via Gonelli Cioni con la Via Rossi, fondo con alveo in roccia, quota 230,00 m s.l.m..
- Sezione 6:** Ponte lungo la Via S.Girolamo, fondo con alveo alveo naturale (presenza di detrito alluvionale), quota 225,00 m s.l.m..





- Sezione 5:** Ponte sulla strada S.S. 639 Bergamo-Lecco (collegamento tra Via Roma e Corso Dante), alveo artificiale (massi immersi nel cemento), quota 222,20 m s.l.m..
- Sezione 4:** Presenza di una soglia in alveo con  $h = 1$  m, alveo artificiale (massi immersi nel cemento), quota 212,87 m s.l.m..
- Sezione 3:** Ponte della Ferrovia (fondo impermeabilizzato con sassi e malta), quota 212,55 m s.l.m..
- Sezione 2:** Ponte di Via S. Mauro (fondo impermeabilizzato con sassi e malta), quota 209,00 m s.l.m..
- Sezione 1:** Ponte pedonale presso lo sbocco nel Lago di Garlate (fondo impermeabilizzato con sassi e malta), quota 201,00 m s.l.m..

I coefficienti di scabrezza adottati sono i seguenti (secondo Strickler, riportati nella Tab. 2 della *Direttiva 4: Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle strutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B, Autorità di Bacino del Fiume Po*):

- alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli con pochi massi : 25÷30
- fondo compatto: 40÷45

Trattandosi di una verifica monodimensionale, finalizzata all'individuazione delle sezioni critiche per portate crescenti, sono state considerate le seguenti caratteristiche:

- tutte le sezioni sono di forma rettangolare;
- i ponti non hanno pile o spalle rastremanti interferenti con la sezione attiva dell'alveo.

La verifica è stata condotta considerando che la quota limite della sezione coincide con la quota di intradosso del manufatto.

La verifica ha evidenziato che per valori crescenti di portata liquida, a partire da  $Q_{100} = 78 \text{ m}^3/\text{s}$ , incrementati progressivamente fino a  $91 \text{ m}^3/\text{s}$  (apporto solido), il tratto di alveo critico è ubicato a monte del ponte di San Girolamo, tra le sezioni 6 e 9. Il tratto di valle, invece, non presenta sezioni critiche in riferimento ai valori di  $Q_{100}$  considerato.



## 14 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA'

L'analisi storica effettuata, le indicazioni bibliografiche ed i rilievi di terreno hanno consentito di definire le considerazioni di seguito elencate.

- L'analisi storica ha rilevato che nessun evento significativo, classificabile come *debris flow* (inteso come *colata detritica matura*), ha mai coinvolto gli abitati di Calolziocorte e Vercurago.
- Il recente studio effettuato dai Prof. Ing. Marco Mancini, Ing. Claudio Meroni e Ing. Sergio Bavagnoli per conto della Provincia di Lecco, "*Rischio idraulico in considerazione di aree antropiche con particolare riguardo alla verifica di ponti e ponticelli posti lungo la rete viaria Provinciale*", non ha individuato criticità lungo gli attraversamenti stradali che riguardano il collettore del conoide del Torrente Gallavesa.
- L'estesa copertura boschiva e la natura litologica del substrato affiorante o subaffiorante nelle porzioni medio-sommitali del bacino idrografico, la presenza di diverse opere di regimazione idraulica nell'abitato di Erve, la presenza di una forra incisa a monte della conoide caratterizzata da rotture di pendenza che favoriscono la dissipazione dell'energia idraulica, la bassa pendenza del conoide e la presenza di opere di regimazione idrauliche lungo la stessa, hanno un rilevante effetto di mitigazione in relazione ad eventuali fenomeni alluvionali.

In base a queste evidenze si è proceduto alla valutazione della pericolosità dell'ambito di conoide.

In accordo con la metodologia regionale è stato applicato il metodo di Aulitzky, uno dei metodi più diffusi per valutare la pericolosità di un'area di conoide, modificato secondo i criteri di Ceriani et al. [1998].

Il metodo Aulitzky, nella forma originale e derivate, mira ad interpretare i cosiddetti testimoni silenziosi di eventi passati (lobi di colata, tracce sulla vegetazione, etc.), riconducendo le considerazioni emerse dai rilievi di terreno ad una serie di quesiti relativi a: dimensione del materiale trasportato/eroso presente sul conoide, massimo spessore del singolo strato dei depositi,



acclività del conoide, copertura vegetale, morfologia del terreno in relazione all'erosione torrentizia e condizioni di deflusso delle acque.

Il metodo consente di definire l'indice di torrenzialità del bacino di studio, e conseguentemente la tipologia di trasporto solido cui può essere soggetto, oltre che classificare in modo qualitativo la pericolosità sulle varie porzioni dell'edificio di conoide.

La metodologia è riportata nella tabella seguente.

| 1 Dimensione massima del materiale trasportato/eroso presente sulla conoide: | punteggio |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| < 0.01 m <sup>3</sup>                                                        | 1         |
| 0.01 – 0.2 m <sup>3</sup>                                                    | 2         |
| 0.2 – 1.0 m <sup>3</sup>                                                     | 3         |
| > 1.0 m <sup>3</sup>                                                         | 4         |

Punteggio: 2

| 2 Massimo spessore della singola colata che può essere differenziata dallo strato umifero o da uno strato con differente struttura: | punteggio |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| inferiore a 0.1 m                                                                                                                   | 1         |
| 0.1 – 0.5 m                                                                                                                         | 2         |
| 0.5 – 1.0 m                                                                                                                         | 3         |
| superiore a 1.0 m                                                                                                                   | 4         |

Punteggio: 1

La stima di tale parametro è scarsamente verificabile per l'assenza di indicatori recenti a causa dell'elevata urbanizzazione che si estende sino all'apice della conoide, della stabilizzazione degli argini e dell'obliterazione delle caratteristiche di naturalità.

| 3 Acclività della conoide | punteggio |
|---------------------------|-----------|
| 0 – 2 %                   | 1         |
| 2 – 7 %                   | 2         |
| 7 – 15 %                  | 3         |
| >15 %                     | 4         |

Punteggio: 1





## COMUNE DI VERCURAGO (LC)

### STUDIO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO DELLA CONOIDE DEL TORRENTE GALLAVESA

ai sensi dell'Allegato 2 della DGR n. 8/7374 del 28 maggio 2008

| 4 L'attuale copertura vegetale predominante è:                                                                                     | punteggio |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| • campi, senza muretti o terrazzamenti, con presenza di pochi e piccoli sassi sul terreno                                          | 1         |
| • prati e pascoli con presenza di sporadici muretti o terrazze, presenza di piccoli sassi in terra                                 | 2         |
| • formazioni prevalenti di larici, betulle, pini o abeti su substrato grossolano e Sassoso                                         | 3         |
| • vegetazione in prevalenza rustica su substrato grossolano e sassoso, con possibile presenza di specie quali larici, pini o abeti | 4         |

Punteggio: 1

L'elevato grado di urbanizzazione, circoscrive il grado di valutazione solo all'apice della conoide. Tale ambito è caratterizzato da aree a verde privato (giardini) e presenza di vegetazione ripariale lungo l'alveo

| 5 L'andamento del terreno nelle aree di conoide è:                                                                                                        | punteggio |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| • superfici fortemente sopraelevate in confronto al letto del torrente che è incassato e non può esondare                                                 | 1         |
| • superfici sopraelevate che possono essere raggiunte dalla colata solo in caso di riempimento o di un'ostruzione dell'alveo                              | 2         |
| • presenza di poche forme di deposito, disseminate dalla colata di fango oppure investite in occasione del dilagare della colata                          | 3         |
| • le aree hanno possibilità di essere colpite dalla colata concentrata e compatta ad alta velocità, come testimoniato dai solchi prodotti da grossi massi | 4         |

Punteggio: 2

| 6 L'andamento del terreno nelle aree di conoide è:                                                                                                                  | punteggio |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| • alveo ampio o incassato, che può far scorrere la colata                                                                                                           | 1         |
| • alveo senza ostacoli significativi, ma poco inciso; sulla conoide altezze idriche minime (dell'ordine dei centimetri)                                             | 2         |
| • alveo con possibili sezioni critiche solo in occasione del trasporto di tronchi e grossi massi; sulla conoide altezze idriche ridotte (dell'ordine dei decimetri) | 3         |
| • alveo con sezioni critiche (ponti, restringimenti, curve); sulla conoide trasporto di massa e/o portate liquide con elevate capacità erosive e di trasporto       | 4         |

Punteggio 3

**Punteggio totale = 10**



La classificazione dei conoidi secondo tale metodo prevede:

Punteggio < 10: conoide a bassa pericolosità

Punteggio compreso tra 10 e 16: conoide a media pericolosità

Punteggio > 16: conoide ad alta pericolosità

In base a tale criterio il conoide in oggetto risulta a pericolosità medio/bassa. Si fa presente che il metodo illustrato fa riferimento ad edifici di conoide in ambito montano potenzialmente soggetti a fenomeni di debris flow. Facciamo altresì presente che la conoide del Torrente Gallavesa, pur appartenendo a quelle alpine, si colloca in ambito urbanizzato, con strutture potenzialmente interferenti con le dinamiche torrentizie.

Sulla base dei risultati ottenuti (osservazioni di terreno, analisi delle sezioni critiche e valutazioni con il metodo di Aulitzky precedentemente illustrato) è stata redatta la carta della pericolosità dell'alveo lungo la conoide (Tav. 11), adottando la classificazione prevista dall'Allegato 2 della D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008.

**Pericolosità bassa (H2):** aree a bassa probabilità di essere coinvolte in eventi alluvionali. Sono individuate in tale classe le aree distali dall'alveo attivo poste a sud di via Maglio in sponda idrografica destra e a valle del rilevato ferroviario in sponda idrografica sinistra.

**Pericolosità media (H3):** aree allagabili con minor frequenza e/o con modesti valori di velocità e altezze d'acqua. Sono comprese in questa classe tutte le aree poste in prossimità del Torrente Gallavesa, tra cui la loc. Folla.

**Pericolosità alta (H4):** aree ad alta pericolosità, potenzialmente allagabili con significativi valori di velocità e altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido. È stato individuato un unico ambito posto in fregio a via Gonelli Cioni.

**Pericolosità molto alta (H5):** comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze. È classificata in classe H5 tutto l'alveo attuale del Torrente Gallavesa, delimitato dalle arginature esistenti, e a monte della sezione 8 (ponte su Via Maglio) dalle scarpate naturali esistenti.

Alla pericolosità illustrata corrispondono le classi di fattibilità geologica e le norme tecniche di attuazione indicate nella Relazione Geologica Generale di accompagnamento.





## 15 BIBLIOGRAFIA

- Benini G., Sistemazioni idraulico forestali, Utet
- Caivano G., Rischio idraulico ed idrogeologico, EPC Libri, 2003
- Criteri attuativi della L.R. 12 del 2005 per il Governo del Territorio, Regione Lombardia, 2005
- Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, Mc Graw Hill Editrice, 2004
- HEC-RAS (v. 4.0) Applications guide
- Marchetti M., Geomorfologia fluviale, Pitagora editrice, 2002
- P.T.C.P.della Provincia di Bergamo, Provincia di Bergamo, 2004
- Di Rosa G., Rischio idrogeologico e difesa del territorio, D.Flaccovio Editore
- Carta Geologica della Lombardia, S.G.N. 1990, Regione Lombardia
- Il rischio idraulico nelle aree di conoide, Quaderni Regionali di Ricerca n. 34, Regione Lombardia, 1999
- Seminara G. e Tubino M., Debris flows: Meccanica, controllo e previsione, C.N.R., 1993
- Panizza M., Manuale di geomorfologia applicata, Ed. FrancoAngeli, 2005
- P.T.C.P.della Provincia di Lecco, Provincia di Lecco, 2003
- Carta Geologica della Provincia di Bergamo, a cura di Servizio Territorio della Provincia di Bergamo, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Milano, Centro di studio per la geodinamica alpina e quaternaria del CNR, 2000
- Castiglioni G.B. - Geomorfologia - UTET, Torino, 1986
- Celico P. - Prospezioni idrogeologiche, Liguori Editore, Napoli, 1986
- S.I.T. della Regione Lombardia: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>
- ILWIS 3.4 © 52 North, Applications guide, Luglio 2007
- Bersezio R., Fornaciari M., Gelati R., 1990 - *Geological map of the Southalpine foothills between Brianza and Iseo Lake*. Mem. Soc. Geol. It., 45: 107-110, Roma
- Marchi L., Pasuto A., Tecca P.R., Flow process on alluvial fans in Eastern Italian Alps, Z. Geomorph. N.F., Berlin Stuttgart, Dezember, 37, 4, pp. 447-458, 1993.
- Studio Tecno.Geo., Relazione idraulica per il Comune di Calolziocorte - Progetto di collettamento acque nel T. gallavesa, 2005
- Studio GEA, Studio idrologico idraulico preliminare di un tratto del Torrente Gallavesa in fregio all'area ex Safilo in Comune di Vercurago, 2006
- Studio Geologico Tecnico Lecchese, Studio idraulico dei torrenti presenti sul territorio comunale di Calolziocorte, 2005