



**Comune di Piazzatorre**  
Provincia di Bergamo

*Revisione degli ambiti soggetti a pericolosità da  
frana nei siti a rischio idrogeologico  
molto elevato (L.267/98)  
Comune di Piazzatorre - località Piazza Camping*

COMMITTENTE:  
Comune di Piazzatorre

*Relazione tecnico illustrativa*

Data: febbraio 2008

N° progetto: 0711026

Redatto da: SC

AGGIORNAMENTI E REVISIONI		Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
	c					
	b					
	a					

**Dott. Geol. Stefania Cabassi**

Via Ing. s. Calvi n° 37

Piazza Brembana (BG)

e mail: scabassi@libero.it

-----

## INDICE

PREMESSA .....	2
1.0 INQUADRAMENTO DEL SITO .....	3
2.0 STUDI E LAVORI PRECEDENTI .....	3
3.0 ANALISI CARTOGRAFICA E FOTOGRAFICA.....	6
4.0 EVENTI ALLUVIONALI CHE HANNO INTERESSATO LA VAL GERU' (cfr. tavola 05).....	7
5.0 BACINO DELLA VAL GERU': DISSESTI IN ATTO O POTENZIALI.....	10
6.0 OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA E DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO .....	15
7.0 RILIEVO DI TERRENO .....	28
8.0 ANALISI IDROLOGICA.....	31
9.0 CALCOLO DELLA PORTATA LIQUIDA (Tr. 100 anni).....	34
10.0 CALCOLO DELLA MAGNITUDO DELL'EVENTO DI RIFERIMENTO.....	35
11.0 CALCOLO DELLA PORTATA SOLIDA (Tr. 100 anni).....	40
12.0 ANALISI IDRAULICA (Modellazione con HEC – RAS) .....	41
13.0 ANALISI DI STABILITA' .....	42
14.0 LUNGHEZZA DELLA COLATA .....	43
15.0 SCENARIO DI EVENTO .....	48
16.0 DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITA', DELLA VULNERABILITA' E DEL RISCHIO .....	55
 CONCLUSIONI	

## **PREMESSA**

Il presente studio, commissionato dall'Amministrazione Comunale di Piazzatorre (Bg) e diretto alla Regione Lombardia Settore Struttura Pianificazione Territoriale, è stato redatto a supporto della proposta di ridefinizione della pericolosità da frana delle aree a rischio idrogeologico molto elevato, in riferimento alla località Piazzo – Camping inserita nell'elaborato 2 del PAI allegato 4.1 (tavola 013 LO-BG) interessata da fenomeni di tipo debris flow che avvengono lungo la Val Gerù.

L'ultimo evento disastroso con trasporto in massa su conoide che ha interessato l'area in esame è accaduto nel 1987 in concomitanza con gli eventi alluvionali che hanno colpito soprattutto il settore della Valtellina, adiacente a quello in studio.

Come dettagliato nello studio, l'evento si è manifestato con una certa intensità e violenza, colpendo la località Piazzo, posta in zona distale del conoide della Val Gerù e raggiungendo anche il campeggio e il confine della località residenziale Rossanella.

L'evento del 1987 non è stato l'unico evento rintracciabile nella storia della Val Gerù: l'esame delle morfologie dei luoghi e i fenomeni di dissesto che ancora caratterizzano il bacino in esame confermano la presenza di una dinamica morfologica attiva quanto meno concomitante con il periodo di ritiro dei ghiacciai se non ancora più antica, caratterizzata da intensa attività di degradazione del bacino intervallata da eventi di dissesto più o meno catastrofici, legati alle precipitazioni intense.

A seguito dell'evento del 1987 sono state realizzate numerose opere di regimazione idraulica finalizzate alla mitigazione dello stato di rischio cui è soggetto l'abitato.

L'ultimo intervento in ordine temporale (terminato nel 2007), finanziato dalla Regione Lombardia, ha portato all'ampliamento di una vasca di espansione posta all'apice del conoide e nella realizzazione di un vallo di contenimento delle colate che si sviluppa lungo tutta l'estensione del tratto distale del conoide.

Si tratta di un intervento di difesa passiva, presentante caratteristiche diverse dagli interventi di difesa attiva realizzati a più riprese dopo il 1987, ma che si ritiene sicuramente l'intervento più efficace al fine della mitigazione della pericolosità dei fenomeni in esame.

Partendo dall'esame dall'assetto morfologico ed idrologico attuale del bacino, nonché esaminando la funzionalità e l'efficacia di tutte le opere realizzate, sono state eseguite analisi (con approccio misto qualitativo e quantitative ed avvalendosi anche di simulazioni numeriche) volte a determinare lo stato di pericolosità che caratterizza ad oggi le aree in esame rapportata ad uno scenario di evento anche più catastrofico di quello manifestatosi nel 1987.

Questo documento analizza gli eventi che hanno caratterizzato la Val Gerù e gli interventi di mitigazione del rischio che sono stati realizzati nell'ultimo ventennio, la fine di proporre una ridefinizione degli ambiti della pericolosità dei fenomeni di dissesto in esame.

Lo stesso documento si pone come punto di partenza per eventuali successive analisi di maggior dettaglio, anche finalizzate alla programmazione di interventi di completamento al fine di raggiungere un'ulteriore mitigazione del rischio cui risulta soggetto l'abitato in esame.

## **1.0 INQUADRAMENTO DEL SITO**

L'abitato di Piazzatorre, situato in Alta Valle Brembana a circa 50 km da Bergamo, sorge ad una quota media di 950 m s.l.m. e si estende con orientamento NNE-SSW in corrispondenza di un terrazzamento fluvio – glaciale costeggiato dallo scorrimento del Torrente Torcola, affluente in sinistra idrografica del Fiume Brembo di Mezzoldo.

L'area in esame, posta ad una quota compresa tra i 1430 m dell'apice del conoide della Val Gerù e i 1060 m del settore medio distale dell'apparato di conoide, è localizzata in corrispondenza della chiusura della valle principale dove al terrazzamento fluvio-glaciale si sovrimpongono i conoidi di deiezione vallivi della Val Gerù, della Val Gremanzo e della Valle Torcola.

Il settore medio distale dell'apparato di conoide mostra localmente un intenso grado di antropizzazione con particolare riferimento all'abitato del Piazzo, posto a ridosso del collettore sul conoide. In un'area più distante ma sempre ascrivibile al settore di conoide è invece presente l'abitato della Rossanella che, occupando tutta l'ampiezza della valle, si estende in lunghezza per alcune centinaia di metri.

La morfologia delle aree in esame è ben rappresentata dalle riprese aeree e fotografiche allegate al presente studio.

Le aree in esame sono rappresentate nella Carta Tecnica Regionale ai fogli C3 e C4 nelle sezioni alla scala 1:10.000 C3B5, C3C5, C4B1, C4C1.

## **2.0 STUDI E LAVORI PRECEDENTI**

Di fondamentale importanza ai fini della completezza dello studio è stato l'esame di tutta la documentazione disponibile sulla Val Gerù, disponibile presso l'archivio comunale e i Sistemi Informativi Regionali.

I documenti riguardano i progetti redatti a supporto della realizzazione delle opere di mitigazione del rischio che sono seguite all'evento alluvionale:

- progetto di massima per la sistemazione idrogeologica scheda intervento BR/14/01 (Dr. Ing. Frassoni – Dr. Geol. Ghilardi marzo 1994);
- progetto definitivo – esecutivo per i lavori di messa in sicurezza e sistemazione della “Val Gerù – Legge 267/98” (Studio d’Architettura e Ingegneria Papetti, Studio Associato di Geologica Spada – Maggio 2004);
- progetto definitivo – esecutivo per i lavori di messa in sicurezza e sistemazione della “Val Gerù – Accordo di Programma Quadro” (Studio d’Architettura e Ingegneria Papetti, Studio Associato di Geologica Spada – Ottobre 2004).

Fondamentale l'esame dello studio che ha portato alla *“perimetrazione e alla zonazione della pericolosità e del rischio da frana in adempimento alla legge 267/98 – Località Piazzo-Camping”* (realizzato da GeoTer 1999) e lo *Studio Geologico a supporto del PRG Generale* redatto da Studio Geologico Geotecnico Padano di Pavia dr. Geol. Daniela Barbano (agosto 2000).

Da questi studi sono stati ricavati tutti i dati relativi alle analisi svolte dai professionisti e inerenti le tipologie di opere che sono state realizzate in questi ultimi 20 anni (a partire dall'evento alluvionale del 1987).

In particolare è stato molto utile il confronto tra i valori di portata liquida, solida, magnitudo calcolati dai vari professionisti per caratterizzare l'evento alluvionale catastrofico di riferimento.

Inoltre tali studi presentano già una raccolta importante di informazioni relative all'evento alluvionale del 1987 e agli eventi successivi, all'efficienza delle opere realizzate e alla necessità di realizzarne di nuove.

Tutti i dati raccolti vengono presentati nei paragrafi seguenti contestualmente all'esame dei singoli aspetti della problematica in esame.

Sono stati anche consultati gli archivi informatici della Regione Lombardia (SIBCA e Geo IFFI) dove vengono riportati i dati e le caratteristiche dei dissesti relativi al bacino della Val Gerù.

Per la caratterizzazione di un evento potenziale di debris flow con evoluzione in fenomeno di trasporto in massa su conoide, nonché al fine di determinare la pericolosità dei fenomeni che possono manifestarsi e lo stato di rischio cui risultano soggette le aree potenzialmente coinvolte, è stato necessario acquisire i seguenti dati, come già detto in gran parte ricavabili dagli studi precedenti e comunque verificati e ricalcolati nel corso del presente studio:

- stima della pioggia critica di innesco dei fenomeni;
- determinazione della portata liquida e solida del corso d'acqua;
- quantità di detrito eroso per unità di lunghezza e stima della Magnitudo dell'evento;
- parametri morfometrici del bacino, del corso d'acqua del conoide;
- stima dell'indice di Melton;
- analisi delle condizioni minime per la deposizione;
- stima dell'area inondata;
- distanza percorsa dalla colata;
- estensione del deposito su conoide
- analisi dei depositi presenti nell'area in esame.

Dei dati di cui sopra si sottolinea che alcuni sono difficilmente determinabili con precisione per via analitica se non si hanno a disposizione "precisi dati di taratura" derivanti da informazioni di tipo i quantitativo degli avvenimenti accaduti in passato: infatti i valori delle variabili introdotte nelle operazioni di calcolo possono fornire risultati significativamente diversi, la cui "sensatezza" non può che essere comprovata dal confronto con quanto accaduto in passato e dalle evidenze di terreno. Nella determinazione dei dati di cui sopra è stato pertanto adottato un approccio misto quali-quantitativo: da una parte sono stati eseguiti rilievi morfologici, sedimentologici e topografici in sito al fine di acquisire il maggior numero di dati possibili di supporto alle analisi, dall'altra sono stati raccolti i dati contenuti negli studi precedenti che riportano alcune indicazioni, seppur per la maggior parte qualitative, in merito alle caratteristiche dell'evento del 1987 e di alcuni eventi minori successivi.

Dall'altra parte le problematiche sono state affrontate, ove possibile, con un approccio analitico-quantitativo, applicando le più note formule presenti in letteratura e confrontando i risultati con quanto ricavato dall'approccio qualitativo e dagli studi precedenti.

Come confermato dalla maggior parte dei lavori eseguiti per la determinazione della pericolosità sui conoidi, solo approcci di tipo "misto" possono portare al raggiungimento di un risultato che si avvicina alla realtà dello scenario di evento potenziale.

Il confronto di tutti questi dati ha portato alla determinazione della pericolosità attuale del conoide e dello stato di rischio residuo "fotografato" allo stato attuale, ovvero a seguito della realizzazione delle opere di difesa e di mitigazione del rischio realizzate.

Si precisa che la proposta di perimetrazione è stata fatta ed è strettamente connessa allo "stato di fatto" dei luoghi in esame, ciò non esclude che, qualora si vadano a realizzare nuove opere di

mitigazione del rischio, i risultati raggiunti dal presente studio possano essere rivisti e modificati alla luce della realizzazione di nuove opere efficienti in rapporto al manifestarsi dell'evento di dissesto di riferimento.

### **3.0 ANALISI CARTOGRAFICA E FOTOGRAFICA**

L'area in esame è rappresentata da un rilievo aereofotogrammetrico di recente realizzazione che copre tutta l'area interessata dal bacino della Val Gerù e del centro abitato.

A integrazione della cartografia di cui sopra sono stati realizzati rilievi topografici di dettaglio anche a opere finite che hanno interessato l'area di realizzazione del vallo di contenimento e di ampliamento della vasca esistente all'apice del conoide e l'area di realizzazione del vallo di contenimento a monte della località Piazza, con la rispettiva canalizzazione di immissione nel Torrente Torcola.

Ulteriore cartografia è rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 e alla scala 1:50.000 (rispettivamente tavole C3B5, C3C5, C4B1, C4C1 e fogli C3 e C4) e dalla Carta IGM (tavoletta, sezioni 077IV 055II 056 III).

Infine è stato visionato presso l'ufficio tecnico comunale il volo aereo eseguito a supporto della realizzazione della carta aereofotogrammetrica e le foto scattate dopo l'evento alluvionale del luglio 1987.

L'esame di questa documentazione ha consentito di:

- analizzare l'estensione del conoide della Val Gerù e l'andamento del canale collettore su conoide, nonché rintracciare le modifiche sostanziali che il bacino e il corso d'acqua hanno subito nel tempo;
- esaminare lo stato di dissesto del bacino idrografico (con particolare riferimento alla consultazione della cartografia IGM da cui si evince l'esistenza di alcuni fenomeni franosi posti lungo l'asta torrentizia principale);
- individuare sulla foto aerea le aree in erosione e in dissesto nel bacino idrografico, in particolare lungo i versanti insistenti sull'asta torrentizia e determinarne l'estensione areale;
- ricavare il profilo longitudinale dell'alveo, le caratteristiche morfometriche del bacino, del corso d'acqua e dell'apparato di conoide, le sezioni (in questo caso i dati sono stati integrati con i rilievi in sito);
- individuazione dell'estensione della colata (dalle foto aeree scattate successivamente all'evento) e foto di dettaglio sulle località invase dal detrito (in questo caso le informazioni

raccolte sono relative all'altezza del fronte della colata, alla granulometria dei detriti trasportati e ai danni provocati dall'impatto del fronte della colata su manufatti).

Le rappresentazioni cartografiche sono state realizzate sul rilievo aereofotogrammetrico integrato dai rilievi topografici di dettaglio eseguiti dopo la realizzazione dei due valli di contenimento.

#### **4.0 EVENTI ALLUVIONALI CHE HANNO INTERESSATO LA VAL GERU' (cfr. tavola 05)**

Le informazioni relative alla storia degli eventi alluvionali costituiscono un punto di partenza per la presente analisi e per le eventuali successive, in quanto è in base alle caratteristiche di tale evento che possono essere "tarati" gli scenari di eventi ipotizzati per la determinazione della pericolosità e del rischio residuo dell'area in esame.

Le informazioni numeriche e quindi "quantitative" legate all'evento "reale" sono un prezioso supporto per le analisi modellistiche più all'avanguardia.

Durante l'evento alluvionale del 1987 al pluviografo di Piazza Brembana (6 km a sud di Piazzatorre) furono registrati 103 mm di pioggia il 18 luglio, 197 mm il 19 luglio e un totale di 360 mm in 81 ore (tra il 16 e il 19 luglio, di cui 300 mm concentrati in 48 ore).

Alla stazione di Diavolo in comune di Carona, qualche chilometro più a est di Piazzatorre (cfr. tavola 01), furono registrati 89 mm il 18 luglio, 170 mm di pioggia il 19 luglio e un totale di 311 mm di pioggia tra il 16 e il 19 luglio (di cui 259 mm in 48 ore).

Il debris torrent si è innescato il 18 luglio 1987, quando l'acqua e i detriti provenienti dai canali del settore medio basso del bacino e confluenti in zona apicale del conoide (quota 1430 m s.l.m.) si sono trovati il settore medio apicale del collettore sul conoide sbarrato da depositi detritici accumulatisi nel tempo a seguito di altri fenomeni.

A questo punto il detrito fluidificatosi ha iniziato a scorrere lungo il margine sinistro del conoide creando un solco di erosione piuttosto inciso.

Si precisa che precedentemente all'evento lungo l'apparato di conoide non era presente un solco di incisione ben definito: il conoide era infatti interessato solo da alcuni solchi di ruscellamento concentrato non ben definiti e incisi.

La profondità dell'incisione creatasi (lunghezza dell'ordine di 900-1000 metri, praticamente tutto il collettore attuale del conoide a valle della vasca di espansione) si attestava (e ancora oggi l'incisione è conservata) mediamente sui 4 – 5 metri, ma in alcuni punti (visibili ancora oggi dalle scarpate in erosione) raggiunge anche gli 6-7 metri.



La larghezza della sezione di deflusso creata nel tratto medio – apicale si attesta sui 15 metri.

La pendenza media del canale formatosi nel tratto medio apicale è dell'ordine del 30%.

La mancanza di un alveo inciso e la diminuzione di pendenza del versante (15-18%) nel settore medio distale (presumibilmente da quota 1180 m s.l.m., in base alle evidenze morfologiche di terreno) ha poi fatto sì che la colata detritica che scendeva nel canale si diramasse a ventaglio su un fronte di 200 metri circa, in tre lobi differenti e tutti con un'altezza media del fronte dell'ordine dei quattro metri.

Il lobo di sinistra (idrografica) ha invaso l'area occupata dal palazzo del ghiaccio e delle due villette a monte, il lobo centrale ha invaso il condominio tre pini, pino bianco, pino rosso, abete e rive, il lobo di destra ha investito il bacino dell'acquedotto ed è poi proseguito in direzione del campeggio. Tutte le strade e le aree della parte alta di Piazza sono state sommerse dai detriti.

Le altezze di accumulo dei sedimenti sono state rilevate dalle foto e dalle testimonianze (cfr. tavola 05): in corrispondenza del condominio tre pini l'accumulo detritico raggiungeva il secondo piano (circa 4 metri di fronte).

La colata è poi proseguita in direzione del campeggio (seguendo in questo caso le linee di massima pendenza) dove si sono registrati accumuli massimi dell'ordine dei 2 metri.

Acqua, fango e detriti, con bassa altezza e scarso potere distruttivo, si sono spinti sino al primo fabbricato a valle del campeggio, in zona sud-est della Rossanella.

Da qui ciò che era rimasto della colata (una miscela liquido fangosa) si è diretto verso la valle Torcola.

La colata seguendo la topografia dell'area e subendo l'effetto di "laminazione" ad opera degli ostacoli morfologici e antropici incontrati lungo il percorso, si è diretta prevalentemente in direzione SSW, risparmiando l'abitato della Rossanella che si sviluppa più a monte e a quote topografiche maggiori (e che risulta inoltre protetto da un fitto bosco a tergo).

Questa è la massima distanza raggiunta dalla colata, che ha quindi interessato piuttosto la sponda destra idrografica dell'attuale collettore su conoide e, solo nell'ultimo tratto (come deviata dalle strutture presenti) si è allungata in direzione della sinistra idrografica.

Sempre di questo evento si sa che non ci sono state persone coinvolte grazie all'avanzare lento della colata che ha permesso l'evacuazione delle case e del campeggio.

Il volume complessivo mobilizzato dall'evento è compreso tra gli 80.000 e i 90.000 mc.

L'estensione della colata su conoide ha coperto una superficie areale di 92.000 mq, mentre l'area di accumulo con spessori più significativi (mediamente dell'ordine dei due metri) ammontava a circa 26.500 mq (sarebbero confermate le grandezze d'ordine della magnitudo ipotizzata per l'evento).

La lunghezza della colata fuori alveo (dal punto ipotizzato di disalveo più a valle dell'apice del conoide a quota 1240 m), è stata dell'ordine di 780 ml.

*Si sottolinea che nel 1987 lungo il conoide e a monte in zona apicale non erano presenti opere idrauliche di nessun tipo, inoltre nel corso degli anni, il tratto rettilinea attualmente inciso a valle dell'apice si presentava in forte sovralluvionamento.*

E' proprio stata la presenza di questo "sbarramento detritico" a innescare il fenomeno di trasporto in massa che ha coinvolto l'abitato di Piazzo.

Altri particolari che emergono dalle testimonianze di quell'evento sono legate alla circolazione idrica di sub alveo.

Negli studi precedenti si dà molta importanza alla falda di subalveo, ovvero una forma di circolazione idrica sub superficiale che interesserebbe l'alveo della val Gerù ed i rispettivi detriti, con *forti sottospinte idrauliche* solo in concomitanza con eventi idrologici estremi.

Le conferme di questo fenomeno sarebbero da rintracciarsi nelle tracce di sifonamento presenti lungo le briglie realizzate a seguito dell'evento alluvionale, nonché da alcune testimonianze che riferiscono di alcune "protuberanze" che si possono osservare lungo il conoide durante gli eventi meteorici significativi.

Successivamente all'evento del 1987, si registra l'evento del 1991 che ha convogliato circa 15.000 mc di materiale all'apice del conoide (dove dopo il 1987 è stato realizzato un bacino di accumulo raggiungibile da una pista di cantiere).

La vasca è stata pulita nel 1993 e nel 2001 conteneva ancora circa 15.000 mc di materiale, accumulatosi quindi dopo lo svaso in meno di un decennio e senza che si siano manifestati eventi alluvionali significativi.

Questo dato importante ha portato alcuni studiosi ad affermare che il trasporto solido in condizioni normali della Val Gerù è dell'ordine di 25.000 mc in dieci anni.

Appena terminati i lavori di realizzazione di una struttura di sostegno a lasar nella zona monte della vasca, le forti piogge del giugno 2007 hanno causato la movimentazione di diverse centinaia di mc di materiale che ha invaso il settore alto della vasca di espansione interrando le nuove strutture realizzate.

Relativamente all'evento avvenuto presumibilmente a metà del 1800 che raggiunse presumibilmente la Colonia Montana Genovese, non si hanno informazioni certe, ne' sono stati registrati danni (anche perché a quell'epoca esistevano solo edifici rurali sparsi).

Il fronte di lobo di colata individuabile subito a monte della Colonia (evidenziato da una forma convessa con pendenza più elevata verso valle) che costituirebbe traccia dell'evento, potrebbe anche essere ascrivibile ad un evento più antico di poco successivo al ritiro glaciale (in ragione

dell'intercalazione dei depositi detritico alluvionali con quelli fluvioglaciali che caratterizza l'area in esame).

L'espansione di tale colata deve essere stata resa possibile da volumi di materiale di molto superiori a quelli dell'evento del 1987, sicuramente mobilizzabili in un contesto temporale e di dinamica morfologica differente da quello attuale (verosimilmente il tempo del ritiro dei ghiacciai durante il quale il rapido rilascio tensionale dei versanti non più soggetti alla contropinta delle masse glaciali innescava movimenti franosi anche di grandi dimensioni (in certi casi i fenomeni interessavano interi settori di versante per ampiezze anche superiori a 1 kmq).

La profonda incisione della Val Gerù, l'assetto tettonico strutturale del bacino e dei versanti che sovrastano a nord l'abitato di Piazzatorre, interessati da una dinamica morfologica attiva, nonché la presenza nel fondovalle di svariati metri di depositi detritico – alluvionali (anche in corrispondenza dell'abitato durante le indagini geognostiche eseguite non è stato mai intercettato il substrato roccioso sino a profondità di svariate decine di metri) costituiscono elementi che possono supportare quest'ipotesi.

La Val Gerù nel recente passato è stata comunque più volte interessata da fenomeni di debris flow e debris torrent, come rilevabile dagli spaccati naturali e antropici presenti lungo l'edificio di conoide e che evidenziato dalle sequenze stratigrafiche, strati di spessore da decimetrico sino ad un massimo di qualche metro, geneticamente legati ad eventi alluvionali e di trasporto solido nonché, come rilevabile dai lobi di colata stabilizzati che si allungano in destra e sinistra idrografica nel settore medio – distale del conoide (cfr. tavola 02).

## **5.0 BACINO DELLA VAL GERU': DISSESTI IN ATTO O POTENZIALI**

Il bacino della Val Gerù è costituito in gran parte da detrito proveniente dalla disgregazione dei versanti rocciosi appartenenti alla formazione dei Calcari di Esino che nell'area in esame, a causa dell'intensa tettonizzazione subita durante i sovrascorrimenti che hanno accompagnato la formazione della catena alpina, presentano un grado di fatturazione molto elevato, dando vita a spettacolari forme morfologiche quali guglie, pinnacoli ecc..

Tali accumuli detritici sono soggetti agli agenti gravitativi, crionivali ed agenti legati allo scorrimento delle acque superficiali, che si traducono in fenomeni franosi (frane di scivolamento, colate detritiche), fenomeni valanghivi (che interessano il settore più alto del bacino), fenomeni di debris flow e di trasporto in massa su conoide.

Nel seguito vengono descritti i principali fenomeni di dissesto (in atto o potenziali) che interessano il bacino in esame e che sono stati presi in considerazione per la stima della magnitudo e per la formulazione dello scenario di evento potenziale.

### **Fenomeni franosi**

Il primo movimento franoso in esame è una frana di scivolamento roto-traslazionale con evoluzione in colata, impostata in detrito di falda (pezzatura minuta), situata sul versante sinistra idrografico della valle principale (cfr. tavola 02 e tavola 08).

Il piede del corpo frana è localizzato alla quota 1750 m s.l.m., mentre la nicchia di frana si imposta alla base della parete rocciosa posta ad una quota di 1750 m.

Il 20 – 21 agosto 1987, le forti piogge e l'erosione al piede esercitata dal corso d'acqua anche dall'evento del luglio 1987, hanno innescato il movimento franoso per un tratto di larghezza media dell'ordine di 40 metri. Il materiale trasportato a valle dalla piena è stato stimato in circa 10-15.000 mc. Allo stato attuale il movimento è quiescente ma alcuni settori dello stesso potrebbero riattivarsi in caso di evento analogo.

Lungo al sponda destra idrografica, a quota 1700 m s.l.m. è presente un altro movimento franoso di più grosse dimensioni, già individuato nella cartografia IGM (anno 1934). Si tratta anche in questo caso di una frana di scivolamento roto traslazionale, suscettibile di riattivazione parziale e locale in caso di erosione al piede, come verificatosi nel 1987, quando il movimento si è riattivato ed ha anche causato un temporaneo sbarramento dell'alveo.

Lungo il tratto compreso tra i 1600 e i 1700 m, lungo il fianco sinistro della valle principale, sono presenti alcuni piccoli smottamenti di terreni ascrivibili alla tipologia "soil slip". Si tratta di smottamenti che coinvolgono al massimo i primi due metri di terreno.

A quota 1610 m, in sponda sinistra idrografica, è presente una forte erosione al piede del versante ed è evidente una nicchia di frana impostata alla base di un pendio caratterizzato dalla presenza di bosco ad alto fusto. Alcune fessure di trazione a monte della nicchia fanno pensare a un possibile coinvolgimento, in caso di riattivazione del fenomeno, di parte del tratto di pendio boscato. Il possibile coinvolgimento di alberi ad alto fusto in frana e il loro trascinamento nella corrente di piena rende il fenomeno alquanto pericoloso.

A Quota 1575 m, in sponda destra è localizzata una frana di scivolamento in detrito in sponda destra (riportata anche nella cartografia IGM del 1934 – cfr. foto 1).

I fenomeni del 1987 hanno accentuato l'erosione al piede del corpo in frana.



*Foto 1*

### **Fenomeni valanghivi**

Si concentrano nel settore alto del versante (cfr. tavola 08), lungo l'asta valliva principale e alcune aste secondarie esposte soprattutto a ovest. Si tratta di fenomeni stagionali che danno luogo a trasporto di materiale detritico che raggiunge il fondo alveo e che si presenta particolarmente concentrato sino a circa 800 m s.l.m. Fa eccezione un fenomeno localizzato in sponda sinistra idrografica della valle Gerù e che si raccorda alla stessa valle in prossimità dell'apice del conoide. Lungo le due aste principali che formano la val Gerù la presenza di depositi valanghivi è individuabile sino a circa 1750 m di quota, mentre più a valle prevalgono gli accumuli detritici di genesi gravitativa.

### **Debris flow e trasporto in massa su conoide**

Si tratta del fenomeno di dissesto principale che caratterizza la Val Gerù e le sue aste tributarie ed è legato alla "fluidificazione" delle masse detritiche presenti sui versanti e lungo il fondo alveo.

Da una foto ripresa a seguito dell'evento alluvionale del 1987 (cfr. tavola 03 – foto 2) sono evidenti tutti i solchi di incisione percorsi dalle colate innescatesi in concomitanza dell'evento e che hanno causato l'ingente accumulo di materiale in alveo poi trasportato a valle e trascinamento lungo l'apparato di conoide.

Nella tavola 08 sono stati individuati i canali che possono essere oggetto di fenomeni di colata e che lo sono stati in occasione dell'evento del 1987.



*Foto 2*

Il collettore del conoide della Val Gerù è stato interessato dal fenomeno di debris più pericoloso di tutto il bacino in esame, in ragione della confluenza di tutti i suddetti canali nelle due aste principali della valle che, confluendo proprio in corrispondenza dell'apice del conoide, hanno determinato uno scenario di evento catastrofico.

La pericolosità dei fenomeni è legata alla conformazione morfologica del bacino, alla sua costituzione geologica (nel settore medio alto i versanti e il fondo valle si impostano quasi esclusivamente in detrito in erosione) e agli aspetti pluviometrici che sono stati caratterizzati, soprattutto nell'ultimo ventennio, da piogge intensissime di breve durata. Questo aspetto in particolare legato all'assetto della val Gerù fa sì che le acque di ruscellamento non riescano a drenare completamente attraverso i depositi costituenti l'alveo (sebbene caratterizzati da elevata permeabilità) e si concentrino lungo gli strati più superficiali causando la fluidificazione degli stessi e il trasporto verso valle (in modo simile a quanto avviene per gli scivolamenti che si innescano lungo i pendii, come verificato con le simulazioni numeriche - cfr. allegato 7).

Il rischio connesso all'evento del 1987 è stato legato alla presenza di strutture e infrastrutture antropiche localizzate lungo l'apparato di conoide, coinvolte dai fenomeni di trasporto in massa, fortunatamente, grazie alla contenuta velocità della colata, senza perdita di vite umane.

L'innescò del debris e il punto di tracimazione sono stati individuati poco più a valle dell'apice del conoide. La presenza di un lungo tratto sovralluvionamento che si spingeva dall'apice sino a circa un terzo dello sviluppo dell'apparato di conoide, ha costituito ostacolo al propagarsi della colata detritica e a seguito della rottura di questo "sbarramento" naturale, si è avuto il propagarsi della colata a ventaglio nel tratto medio – terminale del conoide.

Si sottolinea che precedentemente all'evento alluvionale non era presente lungo il conoide un collettore di deiezione ben definito. Quello che si osserva oggi è il risultato della colata del 1987 che ha scavato un profondo e largo canale di deflusso oggi completamente regimato da opere idrauliche realizzate successivamente all'evento.

Dall'esame della morfologia dei luoghi si evince che l'evento del 1987 non è stato l'unico evento degno di nota.

Lobi di colata sono infatti individuabili nel settore medio – distale del conoide sia in sponda destra che in sponda sinistra idrografica (cfr. tavola 02).

Il loro riconoscimento è più facile in corrispondenza della sponda sinistra, dove si possono osservare anche alcuni paleo – canali di incisione (rami di deflusso abbandonati), mentre in sponda destra le pesanti attività antropiche legate alla realizzazione della pista di accesso alla vasca di accumulo, hanno reso irriconoscibile le testimonianze di eventi passati.

Lungo il settore distale dell'apparato del conoide si scorgono altri due fronti di vecchi lobi di colata. Il più evidente è posto nella zona del campeggio al confine con la località Rossanella (più o meno dove si è spinta la colata del 1987), mentre il secondo lobo (sicuramente più antico) è posizionato a monte della Colonia Genovese (cfr. tavola 02).

In questo secondo caso sembra che una colata detritica abbia raggiunto intorno al 1850 quest'area, tuttavia non vi sono testimonianze e data la conformazione morfologica dell'area, nonché la presenza anche di terreni di natura fluvio-glaciale (evidenziati anche dalla più bassa permeabilità e dalla manifestazione di emergenze idriche), il lobo potrebbe anche essere legato, come detto nel precedente paragrafo, ad un evento ancora più antico ascrivibile al periodo di ritiro dei ghiacciai quaternari.

Inoltre alcune riprese fotografiche mostrano la Colonia Genovese nel 1927 in fase di realizzazione ed è evidente la vasta zona boscata già ben formata della località "Tagliata" (un evento tale da formare un lobo detritico a monte della Colonia avrebbe lasciato una testimonianza "morfologica"

ben più evidente e sicuramente sarebbe stata tramandata solo 80 anni dopo quando venne realizzata la colonia stessa).

L'evento potrebbe invece essere ascrivibile (come riportato nella pubblicazione "Gente di Piazzatorre" edita dalla stessa Amministrazione Comunale e che descrive la storia di questo comune) al 1495 quando la piena del Brembo travolse anche il ponte di Piazzatorre localizzato nel fondovalle.

## **6.0 OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA E DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO**

Successivamente all'evento del 1987 (le opere sono state completate intorno al 1988) sono state realizzate dall'ex Genio Civile di Bergamo numerose opere tra cui la più importante è la vasca di espansione ubicata in zona apicale del conoide (quota 1420 m s.l.m.) della capacità di circa 10.000 mc.

Per accedere alla vasca è stata anche realizzata una pista di cantiere (lunghezza dell'ordine di 2 km) che affrontando numerosi tornanti raggiunge la vasca e garantisce la possibilità di eseguire i lavori di svaso, pulizia e di manutenzione della stessa.

A monte della vasca di espansione sono state realizzate due briglie lungo il ramo destro idrografico della Val Gerù.

Da quota 1420 a quota 1143 metri sono state inoltre realizzate circa 21 opere trasversali tra briglie, soglie, oltre a difese spondali in muratura di pietrame, massicciate e impermeabilizzazioni del fondo alveo (tutte individuate dalla cartografia allegata con colore differente in funzione dell'età di realizzazione).

Si tratta di briglie in cls, alcune si presentano lesionate, scalzate in corrispondenza della fondazione (sifonate), soprattutto nel tratto tra i 1360 m s.l.m. e i 1320 m s.l.m. (cfr. foto 3 , 4, 6) o completamente sommerse dai detriti nel tratto compreso tra i 1320 m s.l.m. e i 1240 m s.l.m. (il tratto sovralluvionato – cfr. foto 5).





*Foto 3*



*Foto 4*



*Foto 5*



*Foto 6*



*Foto 7*



*Foto 8*

Le briglie erano state realizzate con un'altezza dal fondo alveo di 2,5 metri (alla gavèta), ma l'interrimento dell'alveo ha ridotto il "salto morfologico".

Inoltre risulta carente l'immorsamento in sponda delle opere, in quanto la corrente ha "aggirato" le spalle della briglia scoprendone le "ali" che erano state ancorate alla sponda.

Nella tavola 03 sono state indicate le opere che risultano “inefficienti” per scalzamento, lesione o semplice interrimento (a lato del numero di individuazione dell’opera è stata riportata una sigla “I”).

I muri arginali e il fondo alveo rivestito in pietrame e cls presenti a valle della vasca di espansione (integrati con opere realizzate nel 1996) mostrano un discreto stato di conservazione (cfr. foto 7).

Nell’ultimo tratto da quota 1200 m s.l.m. sino alla tombinatura dell’alveo in corrispondenza della quota 1143 m s.l.m., sono presenti alcune briglie e soglie (cfr. foto 8), realizzate sempre a seguito dell’evento alluvionale, che si trovano strutturalmente in buono stato di conservazione e si presentano anche discretamente vegetate da vegetazione di tipo arbustivo con qualche elemento arboreo (piccoli larici di altezza anche di un metro).

Da quota 1143 m la valle è stata tombinata (ex Genio Civile di Bergamo) mediante canalizzazione in finsider (diametro 120 cm) che si immette nell’ultimo tratto del corso d’acqua canalizzato prima dell’immisione nel torrente Torcola.

Nel 1992 sono state realizzate alcune opere integrative e si è intervenuto su quelle realizzate a seguito dell’evento alluvionale dell’87.

Tra il 1994 e il 1996 su progetto di massima del 1994 del Dr. Ing. Roberto Frassoni (con studio in Ponteranica-Bg) e Dr. Geol. Sergio Ghilardi (con studio in Ranica-Bg) sono state realizzate ulteriori opere che hanno interessato l’alveo nel settore a monte dell’apice del conoide, la vasca di espansione e il tratto medio – alto del collettore sul conoide.

In particolare sono state realizzate 10 briglie in pietrame e cls lungo l’asta torrentizia principale (ramo destro idrografico della Val Gerù – cfr. foto 10 - 11) e sono state ripristinate e adeguate le due briglie realizzate dal Genio Civile (già interrate e lesionate a meno di dieci anni).

Le briglie hanno un’altezza di 2,5 metri alla gavèta e 1.0 metro di berma di fondazione.

Riguardo allo stato di conservazione, sebbene si tratti di opere massicce e strutturalmente ben realizzate, l’entità del trasporto solido e la dinamica dell’alveo ne hanno diminuito significativamente in breve tempo l’efficienza (soprattutto a causa dell’interrimento e dello scalzamento laterale).

La vasca di espansione è stata ampliata (il progetto prevedeva un ampliamento sino a 20.000 mc ma l’obiettivo non è stato raggiunto) ed è stato ripristinato ed allungato un muro di contenimento a delimitazione dell’area di accumulo sino a chiudersi in corrispondenza di uno sperone roccioso.

A valle della vasca è stata realizzata una briglia di altezza complessiva pari a 5 metri

Lungo il collettore del conoide sono state ripristinate alcune briglie (come la numero 19 dove è evidente un’opera di rinforzo della fondazione) e ne sono realizzate cinque nuove a monte della

stessa (cfr. foto 9) in pietrame e cls, anch'esse con altezza dal fondo alveo media di 3.5 metri (dalla gavèta), di cui 1,0 metri costituiscono la base di fondazione.

Di alcuni interventi realizzati nel 1996, soprattutto in relazione alle briglie a monte della vasca di espansione e nel tratto mediano del collettore sul conoide, l'efficacia è stata compromessa dall'impossibilità di "ancorare" le spalle e i fondo delle stesse in roccia (l'alveo e le rispettive sponde sono infatti costituite da detriti scarsamente cementati (soprattutto in corrispondenza della sponda destra idrografica, a valle della vasca di espansione) e facilmente erodibili e asportabili in caso di piene torrentizie.

In sede di progetto di massima i progettisti avevano proposto il rivestimento, tra quota 1130 m e 1400 m del fondo alveo, in questo tratto interessato dalla formazione della profonda incisione, in particolare per limitare le infiltrazioni di acqua e per stabilizzare il fondo.

Già nota la problematica della stabilità dei versanti tra le quote 1440 e 1575 metri (le scarpate mostrano segni di forte erosione alla base) era stato proposto di intervenire con opere di ingegneria naturalistica (l'intervento sarebbe stato comunque "a rischio" e in ragione dell'elevata acclività delle scarpate e della forte energia del rilievo che caratterizza l'area e che rende spesso vani i tentativi di agire con opere quali quelle proposte, come peraltro verificato in analoghi contesti).



*Foto 9*



*Foto 10*

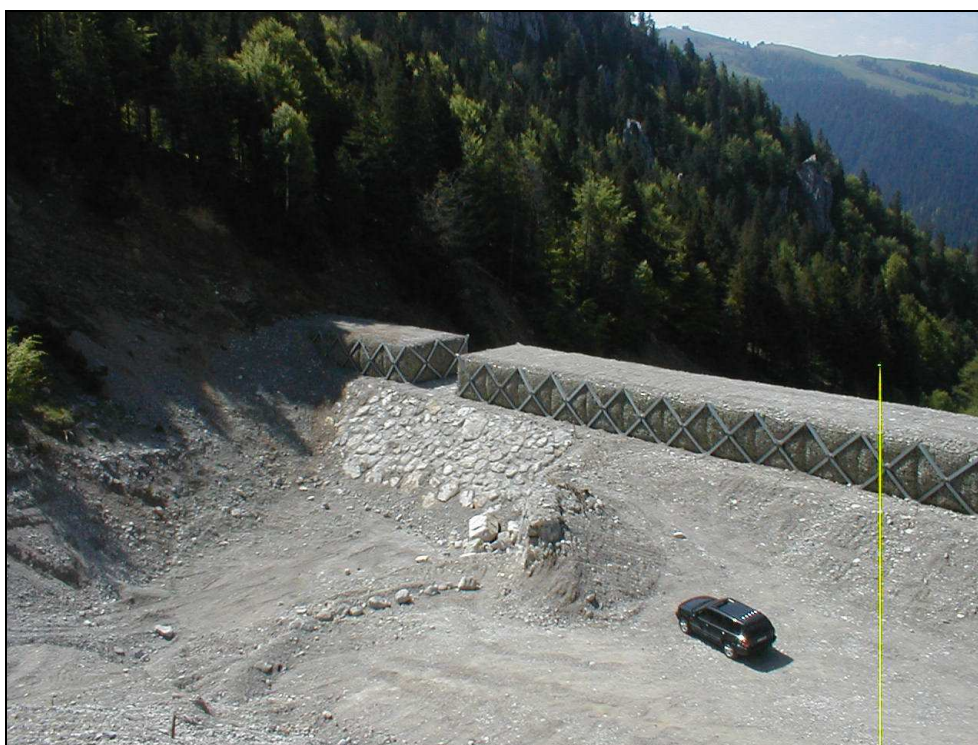


*Foto 11*

Dovevano essere inoltre realizzate opere di rivestimento di sponda nel tratto compreso tra 1350 e 1390 m ma, forse per carenza di fondi non sono mai state realizzate.

Nel 2004 sono stati realizzati i progetti definitivi – esecutivi per la realizzazione di ulteriori opere di difesa (con fondi sulla L 267/98 e sull’Accordo di Programma Quadro) e di mitigazione del rischio. Le opere realizzate tra il 2005 e il 2007 hanno interessato la parte alta dell’alveo (finanziate ai sensi dell’Accordo di Programma Quadro), dove è stata ampliata la vasca di espansione (con volume di accumulo di circa 23.000 mc – cfr. foto 12) ed è stato realizzato un vallo di contenimento in elementi modulari tipo “lasar” di altezza sul fronte di quattro metri e a monte del vallo di oltre sei metri (dal fondo della vasca di espansione – cfr. foto 13).

Lungo il canale in destra idrografica, a monte della vasca è stata realizzata un’opera di sostegno del detrito di versante (sempre in elementi modulari “tipo lasar” – cfr. foto 14) di altezza (in origine) di quattro metri fuori terra. Ad oggi questa struttura risulta già parzialmente coperta (in parte per intervento antropico e in parte per i forti temporali che hanno interessato l’area nel mese di giugno del 2007) ed emerge dal detrito per un’altezza di soli 0.5 metri nel punto più alto (foto 15).



*Foto 12*





Tale opera si è resa anche necessaria per contenere e sostenere il detrito canalizzato lungo l'asta torrentizia a seguito dello scavo eseguito alla base per l'ampliamento della vasca di espansione. Sempre con lo stesso intervento è stata ripristinata ed adeguata la pista di cantiere che dovrà servire in futuro per le attività di pulizia e di manutenzione della vasca di accumulo.

Con i finanziamenti di cui alla L. 267/98 sono state invece realizzate le opere nella parte distale del conoide a monte dell'abitato del Piazzo e lungo il tratto di valle che porta all'immissione della Val Gerù nel torrente Torcola.

L'opera più importante è il vallo in terra (consolidato alla base da scogliere in massi ciclopici e rivestito da elementi anti erosivi, come le gesotuoie – cfr. foto 17 - 18) che si sviluppa per totali 460 m a protezione della località Piazzo (maggiormente colpita durante gli eventi alluvionali dell'87) e in direzione opposta a protezione della località Rossanella e del Campeggio.

Il vallo ha un'altezza media di 4,5 metri e una capacità volumetrica di 11.500 mc (ramo a ovest) e di 25.500 mc (ramo a est) è aperto sul fronte per consentire il passaggio dell'acqua (il trattenimento dei detriti è garantito da una fessura selettiva a pettine – cfr. foto 19) e si chiude intorno al canale aperto realizzato in pietrame e cls con sezione trapezoidale utile pari a 8 mq (cfr. foto 16).

In corrispondenza del fondo del canale sono stati realizzati alcuni salti al fine di rallentare la corrente e consentire il deposito dei restanti elementi lapidei trasportati prima dell'immissione nel tratto coperto.

Il tratto coperto, resosi necessario data la presenza della strada di collegamento agli impianti sportivi invernali e alla località Piazzo, è lungo circa venti metri ed è stato realizzato con una struttura scatolare prefabbricata in cls armato.

A valle del tratto coperto riprende il canale a sezione trapezoidale in pietrame e cls sino all'immissione con il torrente Torcola.

La pendenza media dell'alveo nel tratto regimato dal vallo sino alla confluenza con il torrente Torcola (con sezione minima pari a 8 mq) è del 5-8%.

La vecchia canalizzazione interrata (tubo in finsider diametro 160 cm) che partiva da quota 1145 sino all'attraversamento stradale in lo località Piazzo (mostrata nelle foto realizzate in fase di cantiere) è stata mantenuta e confluisce all'interno della nuova canalizzazione.

Le ultime opere realizzate sono finalizzate al trattenimento della portata solida torrentizia, i cui valori di magnitudo si attestano però sull'ordine dei 100.000 mc, contro i circa 55.000 mc complessivi circa di capacità delle due vasche di espansione realizzate.

In particolare la parte alta della vasca di accumulo potrà trattenere solo parte del detrito mobilizzabile nel bacino (stimato intorno ai 23.000 mc), mentre la restante parte sormonterà il vallo o fluiterà lungo il canale regimato e ancora lungo l'apparato di conoide (sono infatti stati individuati

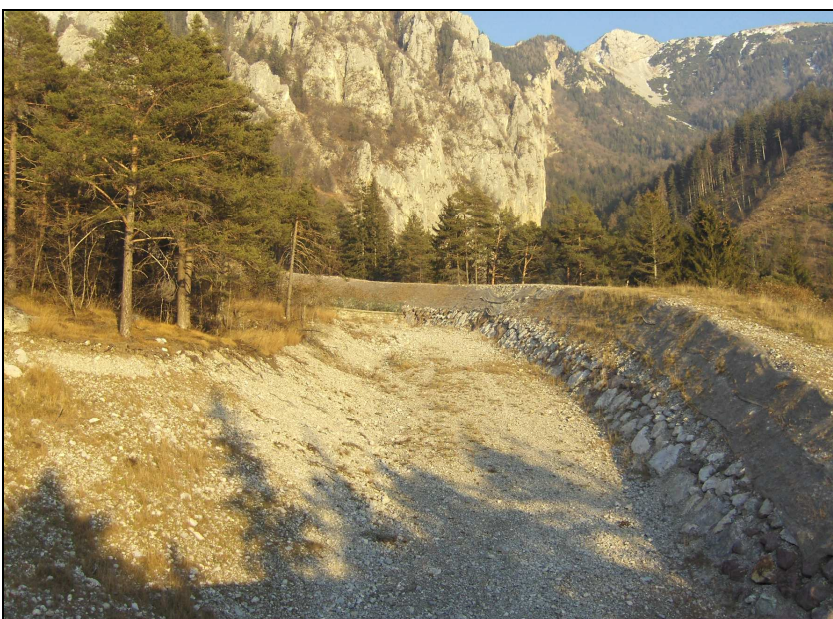
alcuni punti di disalveo possibile, soprattutto in sponda destra idrografica dove si sviluppa la pista di cantiere) sino a raggiungere il vallo di contenimento più basso.



*Foto 16*



*Foto 17*



*Foto 18*



*Foto 19*

I possibili scenari di evento connessi alla funzionalità e all'efficienza delle opere delle opere sono stati analizzati in paragrafo 14.

In sintesi sull'efficienza delle opere si può affermare che:

- le briglie posizionate a monte del conoide si possono comunque ritenere allo stato attuale quasi tutte efficienti;
- l'opera di sostegno realizzata con i lasar può ritenersi efficiente benché interrata quasi completamente, dal momento che garantisce al materiale a tergo un sostegno importante al piede e ne previene il franamento (così come opera da sostegno al piede anche nei confronti della prima briglia a monte della vasca di espansione);
- l'efficienza della vasca di contenimento delimitata dal vallo in terra costituito da elementi modulari "tipo lasar" (volume utile par a 23.000 mc circa) è legata all'esecuzione di operazioni periodiche di svasso e di pulizia. Come verificato in questi anni, la capacità di trasporto torrentizia in condizioni normali è dell'ordine di 25.000 mc per decennio, volumi che necessitano di operazioni di svasso da prevedersi con cadenza almeno annuale e verifiche da eseguirsi periodicamente soprattutto a seguito di eventi meteorici intensi (come quelli del 1991 che hanno mobilitato circa 15.000 mc di materiali e come quello minore del giugno 2007 che ha causato un significativo interrimento della vasca di espansione recentemente ampliata, come da foto 20);



- il primo tratto di canalizzazione del collettore sul conoide (da quota 1420 m a quota 1390 m) si presenta in buono stato di conservazione: hanno giocato un ruolo importante le opere di difesa arginali realizzate nel primo tratto che hanno impedito un'eccessiva erosione al piede del versante (in questo tratto in erosione anche in sponda sinistra idrografica). In alcuni tratti è presente un discreto grado di interrimento che può essere mitigato prevedendo di rimuovere materiale ad esempio in concomitanza con le operazioni di pulizia della vasca di espansione;
- le opere comprese nel tratto o tra i 1360 m e i 1250 m sono invece da considerarsi inefficienti a causa delle lesioni, dello scalzamento e dei sifonamenti, nonché a causa del significativo riempimento di detrito che si concentra soprattutto nel tratto tra i 1320 m e i 1250 m. Sempre in questo tratto la presenza di aperture lungo la sponda destra idrografica dà luogo alla formazione di punti di possibile disalveo con conseguenti effetti negativi, in termine di erosione di scalzamento delle opere esistenti;
- la presenza del detrito anche legato alle operazioni di formazione della pista di cantiere localizzato in sponda destra idrografica agisce a svantaggio nei confronti dei fenomeni erosivi legati agli eventi di piena e di debris flow: infatti parte del materiale incoerente e mobilizzabile può essere perso in carico dalle correnti in deflusso con conseguente incremento del trasporto solido in alveo e fuori alveo;
- le opere più vecchie realizzate da quota 1220 m a quota 1200 m mostrano invece un buon grado di efficienza e, come testimoniato dalla presenza di vegetazione, non sono state

interessata dopo la realizzazione da significativi eventi di trasporto solido che, in base alle evidenze di terreno, si sono arrestate lungo l'alveo a quote maggiori;

- la presenza della tombinatura a quota 1145 (canalizzazione in finsider) non è causa di potenziali problematiche dal momento che la frazione solida verrebbe trattenuta a monte se limitata, mentre in caso di fenomeno di carattere eccezionale, con invasione completa del canale di detriti, l'acqua e il detrito trascinanti dalla sezione di deflusso canalizzata, sarebbero raccolti dal vallo e l'acqua potrebbe essere rilasciata in corrispondenza del nuovo canale trapezoidale realizzato in caso di intasamento della vecchia canalizzazione;
- il tratto di canalizzazione aperta e quello interrato sono stati dimensionati (come si evince anche dal modello idraulico riportato in tavola 07) al fine di smaltire le portate di progetto stimate per Tr 100 anni (13 mc/sec);
- il vallo di contenimento in basso presenta una volumetria maggiore di accumulo (pari a 25.500 mc per il tratto a copertura della località Piazza (a logica in relazione alla presenza di edifici e di elementi a vulnerabilità più alta), mentre in corrispondenza del tratto che si sviluppa in direzione opposta, la minor volumetria (11.500 mc) è legata alla logistica dell'area di intervento. Le opere di difesa arginali sono state completate con scogliere in massi ciclopici alla base e elementi anti - erosivi lungo le scarpate al fine di garantirne la stabilità, la durabilità e l'efficienza nel tempo.

La documentazione fotografica raccolta (in parte inserita anche nelle tavole grafiche allegate) mostra lo stato di conservazione e di efficienza delle opere.

## **7.0 RILIEVO DI TERRENO**

Nel corso di questi anni, in cui venivano eseguiti i lavori finanziati ai sensi della L. 267/98 e dell'Accordo di Programma Quadro (iniziati nel 2005, terminati e collaudati nel 2007), sono stati eseguiti numerosi sopralluoghi lungo l'asta torrentizia della Val Gerù, sopralluoghi che hanno consentito di acquisire dati e informazioni in merito all'assetto dei versanti, delle sponde, dell'asta torrentizia e del conoide, nonché di analizzare lo stato di efficienza delle opere realizzate in più fasi a seguito dell'evento alluvionale del 1987.

L'analisi dello stato di efficienza delle opere ha consentito in particolare di acquisire ulteriori dati in merito alla tipologia e alle caratteristiche degli eventi di dissesto che hanno caratterizzato l'area in studio dopo il 1987: sebbene non si sia più verificato un evento analogo, lo stato di attività del

torrente non si è esaurito, come testimoniato dai “segni” che mostrano le opere anche di recente realizzazione (briglie lesionate, interrimento della vasca di espansione ecc...).

Il rilievo di terreno ha consentito inoltre di individuare tutte quelle zone soggette ad intensa attività erosiva che sono sorgenti di apporto detritico significative durante gli eventi meteorici (frane, erosioni di sponda e di fondo alveo), nonché di effettuare una stima della quantità di detrito mobilizzabile (Magnitudo) mediante analisi morfologica che supporti la determinazione analitica della stessa.

Infine sono state rintracciate sul terreno le forme morfologiche più significative (lobi di colata, canali di deflusso, abbandonati e riattivabili, punti di possibile disalveo, attuali e passati) necessari a caratterizzare dinamicamente e dal punto di vista della pericolosità il conoide della Val Gerù.

### **7.1 GRANULOMETRIA**

Nel settore alto del versante i depositi valanghivi sono caratterizzati da detriti a pezzatura grossolana, anche con blocchi dell'ordine di qualche mc crollati dalle pareti aggettanti lungo l'alveo. Nel tratto in cui i depositi sono ascrivibili ad apporti gravitativi dai versanti, la pezzatura degli stessi diminuisce: in corrispondenza del fenomeno franoso individuato a quota 1750 m, il materiale apportato in alveo è caratterizzato dalla presenza di detrito con pezzatura centi – decimetrica.

Lo stato di fatturazione degli ammassi rocciosi e il rimaneggiamento dei blocchi in alveo porta comunque a caratterizzare il detrito della Val Gerù come detrito di pezzatura eterogenea mal classato, con presenza di qualche blocco ma dove tutte le frazioni granulometriche sono in genere ben rappresentate.

L'esame granulometrico risulta difficile perché nei tratti di alveo esaminati la componente più fine è stata asportata dalle correnti liquide, mentre è rimasta la frazione più grossolana (in superficie sono inoltre presenti blocchi decimetrici a fare da “corazza” ai sedimenti inferiori di diametro decisamente inferiore).

Dall'esame di alcuni spaccati naturali presenti lungo l'apparato di conoide (cfr. foto 21) si può comunque apprezzare questo assortimento granulometrico completo e si possono individuare blocchi anche di alcune decine di dmc, sabbie e sabbie fini, ghiaie ben rappresentate in tutte le frazioni granulometriche.

Il valore modale e rappresentativo del diametro dei sedimenti, ricavato dai rilievi eseguiti in più punti (cfr. foto 22-25), è comunque compreso tra i 2.5 e i 4.5 cm.

Dagli studi svolti precedentemente e in particolare dallo studio redatto dal Dr. Geol. Ghilardi e Dr. Ing. Frassoni (1994) si afferma che i “depositi a quote inferiori 1445 m sono ben classati e cementati a partire da una quota di 4 – 5 m p.c.”. In realtà non si sono tradivate evidenze atte a confermare questa affermazione, anche durante l’esecuzione dei sondaggi realizzati a quota 1440 m (in corrispondenza della vasca di espansione) non sono stati individuati livelli più cementati rispetto ad altri, ma si è descritto il deposito come un unico strato detritico della potenza di 70 metri (sino alla profondità raggiunta dal sondaggio non è stato individuato substrato roccioso).



*Foto 21: Depositato conoide quota 1250 m*



*Foto 22 - 23: Depositato in alveo quota 1200 m  
(foto in alto) 1300 (foto in basso)*





*Foto 24: Depositato conoide quota 1350 m*



*Foto 25: Depositato conoide quota 1430 m*

## 8.0 ANALISI IDROLOGICA

Per quanto riguarda l'analisi delle piogge sono stati acquisiti ed utilizzati per le elaborazioni relative alla portata liquida centenaria, i risultati delle elaborazioni svolte nei seguenti lavori:

- Interventi di sistemazione idrogeologica in località Valle del Gerù, Progetto di massima (Dr. Ing. A. Frassoni, Dott. Geol. S. Ghilardi – marzo 1994)
- Perimetrazione e zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei siti a rischio in adempimento alla legge 267/98 – Comune di Piazzatorre, località Piazza Camping (GeoTer, settembre 1999)
- Lavori di messa in sicurezza della Val Gerù (Legge 267/98 e Accordo di Programma L. 183 – Dr. Arch. F. Papetti, Studio Associato di Geologia Spada, Ing. L. Rudelli).

Il primo studio per la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica ha fatto ricorso alle informazioni fornite dall'elaborato del piano Valtellina “relazione idrologica – Stima delle portate di piena centenarie per il bacino del Fiume Brembo a monte di Lenna). In particolare sono state

Revisione degli ambiti soggetti a pericolosità da frana nei siti a rischio idrogeologico molto elevato (L.267/98) 31  
Comune di Piazzatorre - Località Piazza - Camping



esaminate dai tecnici le curve iso-a e iso-n relative alle precipitazioni per tempi di ritorno dei 100 anni.

Le carte sono state costruite elaborando i massimi valori annuali delle precipitazioni intense (durata 1,3,6,112,24 ore) di 42 stazioni pluviografiche gestite dal servizio Idrografico Italiano, ricadenti nel bacino in esame e nei bacini vicini.

Per ognuna delle stazioni, utilizzando la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel, sono stati calcolati i valori centenari per le varie durate e poi sono state ricavate le curve di possibilità pluviometrica  $h=atn$  (per  $tr=100$ anni).

Dai valori di  $a$  e  $n$  calcolati si sono costruite le carte iso-a e iso-n, da cui è stata ricavata, per interpolazione, la curva di possibilità pluviometrica per la zona a monte di piazzatorre. Il valore della curva è:

$$h=48t^{0.416}$$

sono state inoltre ricavate le curve di possibilità pluviometrica per differenti tempi di ritorno, basandosi sui dati acquisiti dalla centralini meteorologica di San Martino de' Calvi.

Ottenendo i seguenti rapporti:

$$Ka\ 48/51.7 = 0.928$$

$$Kn = 0.416/0.374 = 1.112.$$

Gli studiosi hanno ipotizzato che i valori di  $Ka$  e  $Kn$  rimangano invariati al variare dei tempi di ritorno, pertanto sono state costruite le diverse curve per differenti tempi di ritorno che hanno portato ai risultati contenuti nella tabella seguente.

Per  $Tr$  100 il risultato ottenuto è il seguente:

$$h=51.7 t^{0.374}$$

Durata in ore	Tempo di ritorno $Tr$ (anni)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
1	25	31	35	40	44	48	52	57	60
3	40	49	56	64	70	76	82	90	95
6	53	66	74	85	93	101	109	119	127
12	71	88	99	114	124	135	145	159	170
24	94	117	133	152	166	180 (*)	194 (**)	213	227

Tabella 1

Il tempo di corrivazione del bacino è stato calcolato dai tecnici con la formula di Giandotti, analizzando i dati morfometrici dei due bacini principali del Gerù (asta principale in destra

idrografica e asta secondaria in sinistra idrografica) che confluiscono alla sezione di chiusura di 1430 m s.l.m.

Impluvio destra idrografica

Area = 0.75

Q max 2290

Q chiusura 1430

Q media 1810

Lunghezza alveo 1.5 km

Pendenza media 57%

Tempo corrivazione  $t_c$  0.37 ore = 22 minuti, altezza critica 31.74 mm

Impluvio sinistra idrografica

Area = 0.45

Q max 2200

Q chiusura 1430

Q media 1820

Lunghezza alveo 1.3 km

Pendenza media 59%

Tempo corrivazione  $t_c$  0.29 ore = 17 minuti altezza critica 28.68 mm

Anche nel lavoro svolto dalla GeoTer, i dati utilizzati per le analisi ideologiche fanno riferimento ai dati pluviometrici del Servizio Idrografico Italiano e sono state anche valutate le soglie pluviometriche per l'innescò dei debris flow per eventi con diversa durata.

Nella zona in studio, la soglia delle piogge di durata di un'ora è 42.2 mm, per le piogge di durata di 12 ore è 129.1 mm, per le piogge di durata di 24 ore 176.4 mm, per le piogge di durata di 48 ore è di 241 mm.

Si ricorda che il dissesto del 18 – 19 luglio 1987 ha fatto registrare alla stazione del Diavolo 170 mm in 24 ore (\* cfr. tabella 1) e 259 mm in 48 ore e alla stazione di Piazza Brembana 197 mm in 24 (\*\* cfr. tabella 1) ore e 300 mm in 48 ore, superando quindi i valori di soglia per l'innescò dei debris flow.

Dal confronto con i valori di possibilità pluviometrica forniti dallo studio precedentemente citato (cfr. tabella 1), si è trattato di un evento piovoso eccezionale con tempo di ritorno centennale o superiore.

Nell'ultimo studio consultato, i tecnici fanno riferimento ancora ai dati della tabella precedente per le analisi svolte e in aggiunta vengono riportate le seguenti informazioni.

I dati più recenti di pioggia sono relativi alla stazione di Olmo al Brembo, per il periodo dal 1990 al 2003.

La piovosità media annua è risultata nel periodo pari a 2050 mm con una distribuzione delle precipitazioni molto interessante: il minimo è sempre invernale (febbraio con soli 50 mm), mentre i

massimi di precipitazione si sono registrati rispettivamente a ottobre-novembre (267 mm al mese) ed a giugno (225 mm).

L'anno più piovoso è stato il 2000 con una precipitazione totale di 3306 mm; il meno piovoso l'anno 2003 con 1411 mm.

Interessante è il dato delle precipitazioni nel mese di novembre nei due anni degli ultimi eventi alluvionali, con picchi di precipitazione elevatissimi: 669 mm nel 2000 e ben 906 mm nel 2003.

Il temporale del 3 luglio 2002 (che a Piazzatorre ha innescato la colata della valle detta Canal Brut) ha fatto registrare 32 mm di pioggia in 30'.

Non si hanno dati in merito all'evento del 1991 che ha riversato nella vasca di espansione del Gerù 15.000 mc di materiale.

I punti di rilevamento pluviometrico sono riportati in tavola 01.

## **9.0 CALCOLO DELLA PORTATA LIQUIDA (Tr. 100 anni)**

Nel progetto a supporto delle opere di sistemazione idrogeologica della Val Gerù redatto nel 1994, le portate sono state calcolate con il metodo razionale calcolando rispettivamente per l'impluvio in destra idrografica confluyente all'apice del conoide della val Gerù un'altezza critica di pioggia pari a

$$h_c \text{ 31.74 mm}$$

e per l'impluvio di sinistra

$$h_c = 28.68 \text{ mm.}$$

Come coefficiente di deflusso è stato utilizzato un valore di  $C=0.6$  (più a favore di sicurezza, piuttosto che adottare un valore pari a 0.4 in accordo con diversi metodi di calcolo).

L'introduzione di tale valore nella formula razionale:

$$Q = 0.278 C * h_c * (S/t_c)$$

dove S è la superficie del bacino, insieme ai valori del tempo di corrivazione indicati nel paragrafo precedente hanno portato all'ottenimento di valori di portata complessivamente di 18.1 mc/sec (di cui 10.7 mc/sec dall'impluvio in destra idrografica e 7.4 mc/sec dall'impluvio in sinistra idrografica).

L'utilizzo di un coefficiente di deflusso più alto ha determinato un valore di portata forse troppo cautelativo, che tuttavia trova una spiegazione nell'utilizzo che ne è stato fatto per la progettazione delle opere di difesa.

Assumendo infatti  $c=0.4$  i risultati sono i seguenti:

$$\text{Impluvio destro } q=7.2 \text{ mc/sec}$$

$$\text{Impluvio sinistro } q=4.9$$

Totale portata alla confluenza =12.1 mc/sec

Nello studio della Geoter, la portata liquida è stata calcolata secondo la formula di Anselmo (1985) con valore pari a 9,93 mc/sec e secondo la formula razione con valore di  $Q_{100} = 12,1$  mc/sec (adottando in questo caso  $C= 0,4$ ).

Nello studio redatto a supporto della realizzazione delle ultime opere (vasca di espansione e rilevato di contenimento delle colate), la determinazione della portata di massima piena è stata eseguita (utilizzando i risultati delle analisi idrologiche di cui alla tabella 1) in modo più approfondito, distinguendo le tipologie di afflussi-deflussi (afflusso diretto, deflusso superficiale, deflusso ipodermico, deflusso profondo), calcolando l'idrogramma di piena, lo ietogramma di progetto.

Come pioggia di progetto è stato adottato lo ietogramma costante con durata pari al tempo di corrivazione (calcolato con il metodo di Giandotti e pari a  $t_c = 17.5$  min) ed intensità derivata dalle curve di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno di 100 anni.

E' stata quindi calcolata la precipitazione netta e il coefficiente di afflusso risultato pari a  $c=0,3$ .

Infine.

Applicando il modello di trasformazione afflussi-deflussi che fa riferimento al metodo degli invasi successivi di Nash il valore ottenuto della portata è pari a:

$$Q_{100} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il valore assunto come valore di riferimento per le successive analisi svolte e finalizzate alla proposta di ridefinizione della pericolosità per l'area in esame è quello ricavato dalle analisi eseguite con i dati a disposizione e che ha portato alla stima della portata:

$$Q_{100} = 12,1 \text{ mc/sec}$$

## **10.0 CALCOLO DELLA MAGNITUDO DELL'EVENTO DI RIFERIMENTO**

Relativamente all'evento del 1987 la prima stima riguardo la magnitudo dell'evento si trova nello studio redatto dall'ing. A. Frassoni, dove viene indicato un valore compreso tra gli 80.0000 e i 90.000 mc di materiale.

Un'analisi più di dettaglio, utilizzando alcune formule analitiche presenti in letteratura per la determinazione della magnitudo dell'evento, si trova negli elaborati redatta da GeoTer e nel lavoro svolto a supporto della realizzazione delle ultime opere (Studio Associato di Geologia Spada).

Le formule più usate in letteratura hanno fornito valori compresi tra i 50.000 e i 100.000 mc (cfr. tabella 2), simili nei valori massimi a quelli osservati durante l'evento del 1987, che può ritenersi un caso critico, prossimo al massimo volume mobilizzabile.

<b>Riferimento bibliografico</b>	<b><i>Magnitudo (mc)</i></b>
Bottino, Crivellati & Mandrone (1996)	M = 23.054
D'Agostino et al (1996)	M1 = 63.950 M2 = 59.030
Hampel (1977)	M = 245.905
Marchi e Tecca (1996)	M = 93.800
Rickenmann & Zimmermann (1997)	M = 57.000 M = 85.500
Takei (1984)	M = 16.258
Yazawa & Mizuyama	M1 = 57.000 M2 = 85.000

Tabella 2

I tecnici hanno assunto come valori ragionevoli di magnitudo della colata critica **circa 100.000 mc**. Questo valore è confermato dagli stessi anche dalle valutazioni sui materiali potenzialmente rimobilizzabili in caso di evento meteorico intenso, infatti le verifiche eseguite sul terreno e l'analisi delle foto aeree hanno evidenziato una superficie del bacino in erosione nella parte alta, che può fornire materiale, di circa 85.000 mq ai quali cui sono da aggiungere quantitativi potenzialmente provenienti alcune zone di potenziale dissesto.

Nel sito SIBCA della Regione Lombardia sono indicati per il bacino in esame, i valori di Magnitudo seguenti:

<b>Riferimento bibliografico</b>	<b><i>Magnitudo (mc)</i></b>
Bottino, Crivellati & Mandrone (1996)	M = 23.238,78
D'Agostino et al (1996)	M = 27.266,69
Bianco (1977)	M = 32.580,08

Tabella 3

La grandezza d'ordine dei valori sopra riportati non è confrontabile con quelli calcolati e pertanto non sono da considerarsi ne' sufficientemente cautelativi, ne' rappresentativi per l'evento di riferimento dello studio.

In aggiunta alle analisi svolte negli studi precedenti, il volume mobilizzabile è stato determinato nel presente studio per via analitica utilizzando anche il metodo di Crosta, Frattini, Ceriani & Quattrini (2000- cfr. tabella 4), che considera anche l'indice di franosità del bacino in esame e la tipologia di fenomeno di trasporto solido.

Dall'applicazione della formula per il calcolo della magnitudo è stato determinato un valore di **137.530 mc** alla sezione di chiusura dell'apice del conoide (1430 m s.l.m.).

Tabella 4 : parametri introdotti nel calcolo:  $M=1000*(K*A*Mb^{0.8}*Scl*if^{-2})$

Area bacino	A	1,17
Pend. Conoide apice	Sc	42,94
Pendenza conoide	Sf	27
Pendenza collettore sul conoide	Scl	28
Lunghezza asta sul conoide Lcl	Lcl	993
Quota massima del bacino	Hmax	2,29
Quota minima del bacino	Hmin	1,43
pendenza media bacino		29,2
fattore K (Crosta,Ceriani...)	K	5,4
Indice di frana (Crosta, Ceriani,...)	If	1
Indice di Melton	Mb	0,73

Tale valore è stato ottenuto attribuendo al parametro dell'indice di frana il valore corrispondente alla presenza di significativi fenomeni franosi interferenti con la rete idrografica (in ragione dell'effettiva presenza di alcuni fenomeni franosi che potrebbero riattivarsi in concomitanza di un evento di debris flow per fenomeni di erosione e scalzamento al piede che avvengono nell'alveo del Gerù).

Per il calcolo dell'indice di Melton da introdurre nella formula, è stata utilizzata la relazione (Melton M.A. – 1985):

$$Me = (H_{max} - H_{min}) \cdot A^{-0.5}$$

Me è l'indice di Melton che esprime la tipologia di trasporto.

Se  $Me > 0.5$ , oppure se la pendenza media del conoide è superiore al valore di  $(7 - 14 Me)$ , il bacino è a rischio di debris flow.

$H_{max}$  e  $H_{min}$  sono le quote rispettivamente massima e minima del bacino (m)

A è l'area del bacino (km<sup>2</sup>).

Al di là dei metodi analitici si è ritenuto opportuno stimare i volumi del materiale mobilizzabile nel bacino anche attraverso un'analisi di tipo geomorfologico, capace di coniugare dati di rilevamento

di terreno, quindi l'effettivo stato di fatto del bacino, dati cartografici e ricavabili dalle foto aeree, con formule di tipo empirico e sperimentali.

I metodi proposti in letteratura (Hungry et al. 1984, Scheuringer 1988 e Spreafico et al. 1999) si basano su:

- individuazione delle aree sorgenti di sedimento collegate alla rete idrografica;
- stima dei volumi per unità di lunghezza dei tratti di collettore.

Nel caso in esame è stato utilizzato il metodo di Hungry et al. (British – Columbia – Canada, 1984) dove:

$$V = \sum L_i * e_i$$

(V = volume totale mc,  $L_i$  lunghezza dei tratti di torrente di caratteristiche uniformi m,  $e_i$  apporto detritico per unità di lunghezza  $m^3 * m^{-1}$ ).

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

I valori indicativi dell'apporto detritico unitario per diverse caratteristiche di alveo torrentizio sono tabulati in base alla pendenza dell'alveo e al materiale presente in alveo e in sponda in relazione alle sue condizioni di stabilità (come da indicazioni contenute nella tabella 5 a lato tratta dal lavoro dello stesso Hungry).

### Tabella 5

Misurando le lunghezze di tutti i tratti di incisione presenti nel bacino della Val Gerù (sia del canale principale che si estende in destra idrografica che del secondario che è posto in sinistra) con le relative pendenze (come riportati in tavola 08 – scenario di evento) e considerando gli apporti come di seguito descritto:

- per i settori più alti del bacino, dove le incisioni sono impostate in roccia è stato stimato un apporto detritico unitario di 1 mc/m;
- nei tratti interessati da apporti valanghivi, con presenza di detrito in alveo potenzialmente mobilizzabile, sono stati stimati 5 mc/ml;

- nei tratti intermedi dove, come evidenziato anche dal profilo vallivo eseguito e riportato in tavola 04, è presente una coltre detritica sottile, sono stati stimati 2 mc di apporto per metro lineare;
- nei tratti di canale interessati da debris flow (cfr. tavola 08) l'apporto al corso d'acqua principale è stato stimato in 10 mc/ml, per il canale secondario e 20 mc/ml, per il principale;
- per tutti i tratti sottesi a fenomeni franosi (assimilati a sorgenti di detrito localizzati) sono stati attribuiti *volumi mobilizzabili dell'ordine di 200 mc/ml*;
- nei tratti in cui prevalgono fenomeni di intensa erosione di sponda sono stati calcolati apporti di 20 mc/ml e, dove è possibile anche il collasso di alcuni tratti 30 mc/ml.

Come si evince dall'esame della cartografie, della documentazione fotografica, l'apporto dal canale principale, impostato a quote inferiori a 1800 m in detrito e con presenza di alcuni importanti fenomeni di dissesto interferenti con la rete idrografica è molto più significativo rispetto al canale secondario, che presenta degradazione significativa solo nell'ultimo tratto e in corrispondenza del quale la copertura detritica ha un minor spessore e maggior stabilizzazione.

Dai calcoli eseguiti è risultato un apporto per il canale principale di 75.390 mc dall'asta torrentizia in destra idrografica e 30.956 mc dall'asta torrentizia in sinistra: la magnitudo totale risulta pari a:

$$M=106.346 \text{ mc (da metodo Hungr et al. British - Columbia - Canada, 1984)}$$

Questo valore trova buon accordo con i risultati analitici forniti dai differenti metodi di calcolo della magnitudo presenti in letteratura.

I risultati derivanti da tutti i metodi applicati che maggiormente si avvicinano al caso in esame (scartando quindi quei valori troppo bassi o troppo alti che si discostano dalla media) portano ad una stima della magnitudo compresa tra i **63.950 (di d'Agostino)** e i **137.530** (di Crosta, Ceriani, Quattrini e Frattini) dove, il valore calcolato sulla base delle analisi morfologiche e di terreno e pari a 106.346 mc si inserisce quale valore medio e trova anche buon accordo con le analisi svolte a seguito dell'evento del 1987 che ha portato alla stima di un volume mobilizzato dell'ordine degli 80.000 e i 90.000 mc.



## 11.0 CALCOLO DELLA PORTATA SOLIDA (Tr. 100 anni)

Relativamente al calcolo della portata della miscela liquido fangosa, gli altri studiosi tra cui GeoTer 1999, ritengono corretta l'applicazione della formula di Takahashi che vuole che, per pendenze medie dell'alveo superiori a 20° si utilizzi la relazione :

$$Q_{df} = 10 Q_l$$

Dove  $Q_{df}$  è il massimo valore della portata della colata durante un evento.

Dati i valori di portata ricavati dagli studi si deduce che i valori di portata della miscela liquido fangosa risultano compresi tra **99,3 e 121 mc/sec**.

Nella relazione geologica redatta dallo Studio Geologico Associato Spada, la stima della portata viene fatta in base alla relazione Armanini (1996), adottando l'ipotesi semplificativa di Takahashi, il che porta a stimare la portata massima della colata (liquido + solido) nell'ordine di **70-80 mc/sec** (in ragione di valori di portata liquida calcolati compresi tra i 6.6 e gli 8.8 mc/sec, tra i quali è stato comunque adottato un valore di portata di progetto pari a 7.4 mc/sec).

Un altro metodo interessante che si è ritenuto di applicare per la stima della portata di picco è quella che utilizza la formula di "Dam Break" dove il fronte della colata è assimilato all'onda che si forma per collasso di uno sbarramento (come verificatosi per altro nel 1987). Il metodo è il seguente:

$$Q_p = \frac{8}{27} \cdot B \cdot h \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

$B$  larghezza del canale

$h$  profondità del fronte

$g$  accelerazione di gravità

In questo caso aiuta il fatto di avere i dati misurati in seguito all'accadimento dell'evento del 1987: si riferisce infatti nei rapporti redatti a seguito dell'evento che *il fronte della colata aveva un'altezza media di circa 4 metri, tale da provocare un'incisione di analoga altezza, mentre la larghezza del canale raggiungeva anche i 20 metri (mediamente il solco inciso è stato di 15 metri)*.

Dall'applicazione di questa formula si ricava una portata di **112.75 m/sec**. Anche in questo caso si conferma l'ordine del valore corrispondente alla massima portata di piena, in relazione anche alle portate liquide calcolate.

## 12.0 ANALISI IDRAULICA (Modellazione con HEC – RAS)

Ricavato il profilo dell'alveo principale dalla cartografia di base integrata dai rilievi topografici e dai rilievi di terreno (cfr. tavola 04), tracciate le sezioni di riferimento sono stati verificati gli aspetti idraulici del torrente in caso di evento di piena di carattere centenario, utilizzando il codice di calcolo HEC – RAS.

Questo programma consente di simulare il passaggio dell'onda di piena e del trasporto solido di fondo alveo, attraverso le sezioni di riferimento, fornendo importanti indicazioni sui punti a maggior rischio di tracimazione (il programma calcola infatti il livello di piena del fenomeno ipotizzato che rapportato all'andamento topografico consente di verificare quali sono i punti a maggior rischio). I risultati dell'analisi sono contenuti in tavola 07.

Si sottolinea che l'utilizzo di questo codice di calcolo non è comunque esaustivo dell'analisi sulla Val Gerù in quanto:

- i fenomeni che si sono manifestati in passato non sono fenomeni ascrivibili ad un classico torrente in piena con trasporto solido, ma piuttosto assimilabili a un vero e proprio movimento franoso di “colata” incanalata;
- il ruolo dell'acqua di precipitazione è quello della saturazione “troppo veloce” degli orizzonti superficiali di detrito con conseguente “fluidificazione” e mobilizzazione dello stesso;
- la massa trasportata è caratterizzata da elevata densità tale da non poter essere reologicamente trattata come un normale trasporto solido (si tratta infatti di un materiale con comportamento assimilabile a un fluido di Bingham).

Il modello è stato comunque verificato in considerazione delle portate di piena centenarie calcolate e in presenza di trasporto solido da base del fondo alveo (con granulometria inferiori a quelle realmente mobilizzate durante l'evento di debris, di ordine millimetrico e non centimetrico).

Si ribadisce che anche in concomitanza con l'evento del luglio 1987 non è stata osservata “portata liquida” ma la colata è stata avvistata più similmente come un fronte detritico in avanzamento a velocità lenta.

### **13.0 ANALISI DI STABILITA'**

Come già analizzato nello Studio Geologico a supporto del progetto di sistemazione e messa in sicurezza della Val Gerù, per molti aspetti la problematica tratta può essere assimilata ad un caso di “stabilità di versante” dove il pendio è costituito dal profilo del canale e il materiale potenzialmente instabile è il detrito stesso che occupa la sede dell'alveo.

Trattandosi di detriti calcarei a pezzatura medio grossolana (come evidenziato dalle analisi granulometriche eseguite in sito) i valori dell'angolo d'attrito sono dell'ordine dei 36°-37°, coincidenti in molti punti del profilo analizzato con la pendenza dell'alveo.

In condizioni di assenza di acqua i materiali (che ricoprono il fondo valle con spessori anche superiori ai 20 metri, come emerso dalle indagini geognostiche eseguite a supporto degli ultimi interenti realizzati, in corrispondenza dell'apice del conoide e dell'attuale vasca di espansione), possiedono coefficienti di sicurezza superiori all'unità e al valore cautelativo di riferimento di 1,3.

Ipotizzando la presenza di una normale falda di subalveo, ipotesi che trova riscontro nel caso degli eventi alluvionali quando effettivamente le acque piovane si infiltrano a monte e scorrono all'interno del detrito, in condizioni di saturazione o quando i processi di scorrimento sono più veloci rispetto a quelli di infiltrazione (nel caso di eventi alluvionali intensi), i valori del coefficiente di sicurezza diminuiscono in proporzione all'innalzamento della falda divenendo inferiori all'unità (come verificato negli scenari n° 1-3-4-5).

Lungo alcuni punti del “pendio” (cfr. tavola 07) si possono manifestare condizioni di instabilità, soprattutto legate alla maggior pendenza dell'alveo, tali da prendere possibile la formazione di superfici di scivolamento all'interno del detrito costituente l'alveo.

Le masse di terreno rese e instabili dai processi di “sottospinta idraulica” possono venir prese contestualmente in carico dalle correnti di piena e trasportate a valle.

Si precisa che, come verificato nelle analisi svolte, tali fenomeni possono accadere anche a valle dell'apice del conoide e quindi della vasca di espansione, dove l'alveo è interessato da fenomeni di sovralluvionamento e dove, anche i rilievi di terreno condotti in più occasioni a seguito dell'evento alluvionale del 1987 hanno evidenziato una spiccata tendenza alla deposizione di materiale (tra i 1320 m e i 1240 m) che, con spessori anche dell'ordine dei 3 – 5 metri, non solo rende inefficiente l'opera di regimazione delle briglie esistenti, ma crea un pericoloso “effetto diga” tale da ostacolare il normale deflusso proveniente da monte.

La presenza di materiali in alveo nella zona in sovralluvionamento fa sì anche che si possano incrementare i valori di magnitudo calcolati e che fanno riferimento alla parte di bacino a monte della zona apicale (vasca di espansione).

## 14.0 LUNGHEZZA DELLA COLATA

La distanza di esaurimento della colata sul conoide è stata determinata con il metodo di Takahashi ipotizzando come punto di esondazione l'apice del conoide, anche perché la vasca di espansione non è comunque in grado di contenere i volumi di magnitudo ipotizzati per il bacino in esame (il volume utile della vasca è dell'ordine di 23.000 mc).

$$Xl = U^2/G$$

Dove U è la velocità valutata sulla base dei valori di velocità, spessore concentrazione relativi alla colata fluente nel torrente di monte assunta in moto uniforme:

$$U = u_u \cdot \cos(\theta_u - \theta_d) \cdot \left[ 1 + \frac{[(\sigma - \rho_m) \cdot c_u \cdot \kappa_a + \rho_m] \cos \theta_u \cdot \frac{g \cdot h_u}{u_u^2}}{2[(\sigma - \rho_m) \cdot c_u + \rho_m]} \right]$$

$$G = \frac{c_u \cdot g \cdot (\sigma - \rho_m) \cdot \cos \theta_d \cdot \tan \alpha}{[c_u \cdot (\sigma - \rho_m) + \rho_m]} - g \cdot \sin \theta_d$$

dove:

$\theta_u$  è l'inclinazione della zona di movimentazione

$\theta_d$  l'inclinazione della zona di deposito

$\sigma$  è la densità delle particelle

$\rho_m$  è la densità apparente del fluido interstiziale e delle particelle in sospensione

$g$  è l'accelerazione di gravità

$h_u$  è l'altezza media del detrito stimabile da osservazioni in situ

$\kappa_a$  è un coefficiente empirico simile al coefficiente di pressione attiva del terreno

$\tan \alpha$  è la tangente dell'angolo di attrito cinetico

$u_u$  è la velocità media calcolata nella zona di movimentazione

(relazione empirica di Takahashi):  $u_u = 1.5 \sqrt{g \cdot h_u \cdot \sin \theta_u}$

$c_u$  è la concentrazione pari a

$$c_u = \frac{\rho_m \cdot \tan \theta_u}{(\sigma - \rho_m)(\tan \varphi - \tan \theta_u)}$$

$\varphi$  è l'angolo di attrito interno del materiale.

Il metodo prevede la definizione di alcuni parametri morfometrici dell'area di transizione canale – apice di conoide – apparato di conoide – collettore, la determinazione della granulometria dei sedimenti in alveo e l'attribuzione di alcuni parametri fisici come la densità dei sedimenti e della miscela liquido fangosa e la concentrazione volumetrica del materiale costituente la colata.

Se la maggior parte dei parametri da introdurre nel metodo di calcolo sono facilmente determinabili, parametri come la concentrazione volumetrica del materiale, che influenza non poco i risultati di calcolo, sono di difficile determinazione anche in laboratorio, a causa del “fattore scala” che non consente la riproduzione dell’evento al fine di ricavare un valore preciso.

Tale parametro viene normalmente fatto variare in un range compreso tra 0.55 e 0.65, lo stesso autore per fenomeni come quello analizzato suggerisce di considerare  $c=0.65$ .

Un altro parametro importante nella stima della distanza di arresto della colata è il diametro rappresentativo dei sedimenti.

La variazione di questo parametro in casi di debris flow, dove il diametro rappresentativo è più spesso dell’ordine di alcuni centimetri che non millimetri, determina risultati significativamente differenti tra loro.

Nel caso in esame per la determinazione del diametro rappresentativo sono stati esaminati i sedimenti trasportati in vasca quelli lungo il tratto di collettore sul conoide.

Sono state inoltre visionate le fotografie degli accumuli seguenti l’evento del 1987.

La determinazione della granulometria è comunque un’operazione difficoltosa che riguarda comunque solo alcuni campioni scelti tra tutto il sedimento disponibile.

A complicare le analisi, negli alvei torrentizi i processi di deposizione, trasporto ed erosione determinano una distribuzione spaziale eterogenea sia areale che verticale dei sedimenti che non agevola le operazioni di analisi e di campionamento.

Inoltre occorre capire se il sedimento che si sta analizzando è stato mobilizzato dal flusso nel fondo alveo o se è stato messo in posto per frane, slavine ecc...

Nel caso in esame campionando i sedimenti alle quote più basse si è limitato il rischio di incorrere in granulometrie non legate alle attività di trasporto e di accumulo nel senso stretto del termine.

Un altro problema è legato alla rappresentatività dei sedimenti. Infatti negli alvei come quello in studio si rileva spesso la presenza di un livello più superficiale e grossolano rispetto al materiale presente nello strato sottostante.

Questa è una tipica caratteristica degli alvei a fondo ghiaioso (diametri compresi tra 2 e 64 mm) come quello in esame. La mediana della distribuzione granulometrica dello strato superficiale è in genere da due a sei volte quella del sottostrato.

Da quanto esaminato risulta che la granulometria dei sedimenti analizzati risulta eterogenea con valori del diametro rappresentativo dei sedimenti compresi tra 2.5 cm e 4.5 cm.

Nel modello di Takahashi si è optato per l’introduzione di un valore medio pari a 3.5 cm.

Definiti i parametri in gioco il valore ottenuto dall'applicazione della formula è stato analizzato criticamente al fine di validarne la sensatezza, in particolare confrontandolo con le caratteristiche dell'evento del 1987.

In quell'occasione, come rappresentato e sintetizzato in tavola 05, la distanza massima percorsa dalla colata dal punto di esondazione (poco più a valle dell'apice del conoide) era stata di 1266 metri, considerando come punto più lontano la prima casa a nord-est dell'abitato della Rossanella.

Si sottolinea che in tale occasione non era presente un vero e proprio canale collettore sul conoide, ne' erano state realizzate opere. La colata propagatasi in direzione del campeggio ha subito una significativa perdita di potere distruttivo solo oltrepassata l'area del campeggio stesso, che ha agito da ostacolo alla massa di detrito in movimento.

L'area interessata dalla deposizione del materiale (con spessori variabili da pochi centimetri sino a 4 – 5 metri) è stata in occasione di quell'evento pari circa 90.000 mq, l'area interessata in modo più significativo (spessori e volumi maggiormente concentrati) pari a circa 26.000 mq.

La massima distanza di arresto calcolata con l'introduzione dei parametri di cui alla tabella sotto, è risultata pari a 1204 metri (assumendo come costante di calcolo della velocità 0,04).

Al variare di alcuni parametri sono stati ottenuti valori anche più ridotti (962 m considerando una costante di calcolo della velocità pari a 0,03) tuttavia, sia a livello cautelativo, sia in ragione dell'analogia riscontrata con l'evento del 1987, il valore ottenuto può essere considerato valido.

Un'ulteriore verifica è stata fatta applicando il metodo di Rickenmann D. (1998).

Tale metodo pone in correlazione il valore della Magnitudo, quello del massimo dislivello compiuto dalla colata e la lunghezza della stessa.

$$L = 1,9 * M^{0.16} * H^{0.83}$$

La relazione completa non viene quasi mai utilizzata dal momento che la differenza di quota non è conosciuta a priori.

Nel caso in studio si sa però quale è stata la massima distanza percorsa dalla colata dell'evento del 1987, si conosce il punto di disalveo e si ha una stima della Magnitudo.

I dati in possesso servono per verificare la bontà del risultato ottenuto applicando la formule sopra o la sua versione semplificata:

$$L_{\max} = 30 * M^{0.33}$$

Nel caso in esame considerando un valore di Magnitudo di 106.346 si ottiene un valore della lunghezza della colata (dall'apice del conoide) pari a 1367.54 m.

Il valore può rappresentare il valore massimo del range rappresentante la distanza di arresto della colata.

Introducendo nella relazione completa i parametri che hanno caratterizzato l'evento del 1987 (punto massimo 1420 m s.l.m. minimo il punto di arresto a 1062 m corrispondente all'edificio a nord-est della Rossanella, magnitudo pari a 90.000 mc) si ottiene un valore di arresto della colata di 1586,77 m (anche superiore a quella che è effettivamente stata la distanza di arresto paria circa 1266 m).

In sintesi il valore della massima distanza percorsa dalla colata può essere compreso tra

$$962,00 \text{ m} < L < 1367,54 \text{ m}$$

Il valore assunto per la formulazione dello scenario di evento è di **1204 m** (cfr. tabella 6 seguente).

Tabella 6

### CALCOLO DELLA MASSIMA ESTENSIONE LONGITUDINALE DELLA COLATA DETRITICA (METODO DI TAKAHASHI)

#### DATI INTRODOTTI NEL CALCOLO

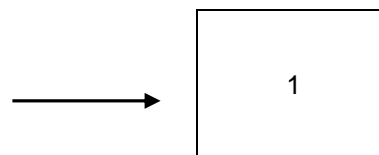
Angolo fondo alveo a monte cambio pendenza	<b>Bu</b>	20,91	°
Angolo fondo alveo a valle cambio pendenza	<b>Bd</b>	11,10	°
Diametro rappresentativo sedimenti	<b>d</b>	3,5	cm
Densità dell'acqua	<b>pl</b>	1000	Kg/mc
Densità dei sedimenti fini	<b>pf</b>	2500	Kg/mc
Densità dei sedimenti grossolani	<b>ps</b>	2700	Kg/mc
Densità del fluido interstiziale acqua e sed.	<b>pm</b>	1200	Kg/mc
Angolo d'attrito interno del materiale	<b>Phi</b>	37	°
Concentrazione volumetrica del materiale	<b>c*</b>	0,65	
Accelerazione di gravità	<b>g</b>	9,81	
Costante "a"	<b>a</b>	0,04	
Larghezza a monte	<b>Lb</b>	25	m
Portata liquida di piena del corso d'acqua	<b>Ql</b>	12	mc/sec.

#### RISULTATI

Concentrazione volumetrica del materiale nella corrente	$Cu =$	<b>0,59</b>	
Portata massima della miscela liquido-solido	$Qm =$	<b>120</b>	mc/sec.
Distanza percorsa dalla colata detritica	$XI =$	<b>1204</b>	m

#### Condizioni del conoide per calcolo BD

- 1) il conoide è inciso da un alveo torr. con pendenza Bd e sezione circa rettangolare larga Lb
- 2) il conoide è approssimabile ad un piano di pendenza Bd



Pendenza n della superficie del deposito  $n =$  **19,4** °

**CALCOLO DELL'AREA DI ACCUMULO***Condizioni dell'accumulo*

- 1) la superficie del deposito ha la forma ad imbuto
- 2) la zona di deposito avviene in un canale rettangolare largo Bd
- 3) condizione in cui si trascura che parte del materiale si deposita a monte dell'apice di conoide.

<b>X</b>

**Volume della miscela depositata nella zona a rischio XI :**  $W_{rmax} =$ 

<b>235093</b>
---------------

 mc  
 $W_{rmin} =$ 

<b>160342</b>
---------------

 mc

Si sottolinea che il metodo di Takahashi trascura le seguenti condizioni al contorno che, nel caso in esame, ovvero dopo le sistemazioni eseguite a seguito del 1987, agiscono invece a favore di sicurezza (come indicato in tavola 08):

- si trascura che parte del materiale trasportato si deposita a monte dell'apice del conoide (sia nel canale di deflusso sia, nel caso in esame, in corrispondenza della vasca di espansione);
- non vengono valutati gli effetti morfologici dell'area di espansione della colata, come la presenza di un'ulteriore zona di accumulo a monte del vallo di protezione realizzato nel tratto distale del conoide, il rallentamento subito ad opera dei "terrazzamenti e delle gradonature" costituenti la pista di accesso alla vasca di espansione a quota 1430 m s.l.m., la presenza di tratti boscati ad alto fusto più o meno fitti in grado comunque di costituire un prezioso ostacolo al propagarsi della colata, la presenza di strutture antropiche poste trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione della colata in grado di "arginare" la stessa;
- la presenza del vallo di contenimento più basso che è in grado, se non di trattenere tutto il volume potenzialmente mobilizzabile comunque di rallentare significativamente la propagazione verso valle.

Infine si sottolinea che nella distanza percorsa dalla colata è contenuto un volume di detrito mobilizzato superiore al valore di magnitudo calcolato (compreso in un range tra 235.093 e 160.342 mc), pertanto il valore è da ritenersi verificato dal metodo applicato.

Le possibili "direzioni di propagazione della colata" sono state valutate su base morfologica e sono riportate in tavola 08 contestualmente alla formulazione dell'ipotesi di scenario di evento.



## 15.0 SCENARIO DI EVENTO

Al fine di determinare la pericolosità dei fenomeni che possono accadere nel bacino della Val Gerù, con particolare riferimento al fenomeno catastrofico che può avvenire in concomitanza di fenomeni di precipitazione intensa calcolati per tempi di ritorno dei 100 anni e che mobilita oltre 100.000 mc di materiale (in ragione della possibile riattivazione dei fenomeni franosi che interferiscono con l'asta torrentizia) è stato ipotizzato uno scenario di evento anche maggiore in termini di apporto detritico in alveo dal bacino sotteso all'incisione valliva, rispetto a quello verificatosi nel 1987 che ha mobilitato quasi 100.000 mc ma che erano in gran parte già accumulati da eventi di debris flow precedenti sia all'apice del conoide sia lungo il primo tratto del collettore a valle dello stesso.

Lo scenario è stato ipotizzato con diversi approcci:

- per via analitica (calcolo delle curve di possibilità pluviometrica, calcolo della pioggia critica, calcolo delle portate liquide, calcolo delle portate solide, calcolo delle altezze di deflusso in alveo, calcolo della magnitudo, individuazione degli accumuli detritici in alveo mobilizzabili, calcolo della distanza di esaurimento della colata detritica);
- con metodo morfologico (individuazione dei tratti soggetti ad erosione, deposizione, dissesti di tipo franoso, valanghivo, individuazione dei punti di possibile tracimazione e di sormonto della colata detritica, verifica dello stato di conservazione delle opere presenti in alveo, calcolo dell'area di espansione e di accumulo della colata in corrispondenza dell'apice del conoide, individuazione dei punti di possibile tracimazione, verifica dei percorsi preferenziali di espansione della colata detritica e di deflusso della componente prevalentemente liquido - fangosa);
- confronto con lo scenario di dissesto (reale) connesso all'evento del 1987 (in questo caso il confronto ha coinvolto sia le analisi quantitative che quelle qualitative di tipo morfologico).

Lo scenario prevede innanzitutto il fattore di innesco dei fenomeni di dissesto che interessano il bacino in esame: le piogge critiche.

La soglia critica della pioggia di innesco dei fenomeni di debris flow è stata calcolata pari a **180 mm in 24 ore** (cfr. tabella 1, paragrafo 8.0) condizione che in questi ultimi anni si è manifestata più volte (gennaio 2001, maggio 2002, novembre 2002, giugno 2007).

Questo valore consente di determinare anche i valori di portata liquida **12,1 mc/sec** (calcolati con il metodo razionale (cfr. paragrafo 9.0) e solida che sono dell'ordine di **120 mc/sec** (cfr. paragrafo 10.0) e che costituiscono il valore di picco del trasporto solido mobilizzato (il quantitativo generale è invece rappresentato dal valore di magnitudo che risulta pari a **106.346 mc**).

Un primo esame sulle sezioni di deflusso determinate dai rilievi cartografici e topografici mostra come tali valori di portata solida (calcolati alla sezione di chiusura dell'apice del conoide) sono in grado di innescare significativi fenomeni erosivi di sponda che, in alcuni tratti, rischiano addirittura di causare il collasso di interi tratti di sponda nel settore medio alto del bacino a monte dell'apice del conoide e del tratto stabilizzato con briglie.

Le tracce del passaggio del debris flow sono distinguibili ancora adesso in corrispondenza del settore medio alto del collettore del conoide dove sono presenti in sinistra idrografica scarpate alte anche 6 metri e il fondo alveo è stato inciso per una larghezza anche di venti metri.

Stesse condizioni si individuano lungo il canale principale a monte dell'apice del conoide, quello che si sviluppa in destra orografica: anche in questo caso il fondo alveo è caratterizzato da larghezza in alcuni tratti anche dell'ordine di 30 metri con scarpate di 8 metri.

Tali sezioni sono state create dal transito delle colate detritiche che, non avendo possibilità di fuoriuscire dal canale di deflusso a monte dell'apice del conoide non possono far altro che incidere maggiormente il canale stesso (la forte erosione è legata alla pendenza e alla concentrazione detritica della colata) sino al raggiungimento di un'area a minor pendenza e maggior ampiezza dove è reso possibile l'arresto.

I quantitativi di materiale trasportato a valle in concomitanza di un evento meteorico intenso (quando l'acqua, non riuscendo a penetrare nei depositi ancorché caratterizzati da buona permeabilità tendono a scorrere in superficie con forte velocità, capacità di erosione e trasporto) provengono dai canali minori confluenti nell'asta principale che, soprattutto in sponda destra idrografica sono caratterizzati a loro volta da fenomeni di debris flow (cfr. tavola 08) a causa della presenza principalmente di depositi detritici e a causa della forte pendenza.

Alle quote più alte sono invece presenti in alveo depositi valanghivi, anch'essi suscettibili di rimobilizzazione in caso di evento idrologico estremo (cfr. tavola 08).

Apporti detritici localizzati sono invece legati alla presenza di dissesti franosi interferenti con la rete idrografica (individuati in tavola 02 e tavola 08) che costituiscono sorgenti puntuali di detrito, come quantificato in paragrafo 10.

Al trascorrere del tempo dall'inizio dei fenomeni meteorici intensi, scorre nel canale un sempre maggior quantitativo di materiale trasportato che si depone in parte nello stesso in alveo, dove presenti opere di regimazione idraulica (come nel tratto compreso tra 1550 m s.l.m. e l'apice del conoide 1440 m s.l.m.) e progressivamente raggiunge la vasca di espansione.

Simultaneamente, anche se con minor intensità, analoghi processi avvengono in corrispondenza del canale secondario posto in sinistra orografica e che confluisce anch'esso all'apice del conoide.

La confluenza in apice dei due canali è una condizione sfavorevole che la val Gerù presenta in quanto porta ad un accumulo quasi simultaneo (come verificato dai tempi di corrivazione molto simili) e ingente di materiale proprio nel punto più fragile del sistema vallivo: la zona apicale (si parla di un magnitudo stimata in condizioni critiche di circa 100.000 mc).

Il vallo di contenimento è stato dimensionato e strutturato al fine di contenere le spinte provenienti dall'impatto con il fronte di colata (come da calcoli allegati al progetto esecutivo di realizzazione del vallo di contenimento) e pertanto in grado di comportarsi come un vero e proprio bacino di accumulo che può rilasciare parte del detrito in deflusso dall'apertura sul fronte opportunamente realizzata.

La capacità d'invaso totale della vasca non è però sufficiente a contenere i volumi stimati, pertanto è possibile che si verifichi un sormonto dello stesso vallo.

All'arrivo di nuovo materiale infatti lo stesso inizierà ad accumularsi a quote sempre maggiori sino a formare un piano inclinato che andrà verosimilmente a raccordarsi ai due canali confluenti all'apice del conoide, mentre a valle sarà delimitato dal rilevato in lasar.

L'assetto morfologico sarà del tutto simile ad un "nuovo apparato di conoide".

In caso di sormonto del vallo, per riempimento dello stesso, il flusso avverrebbe in due direzioni: l'apertura sul fronte del vallo (qualora non già intasata) e soprattutto, date le condizioni morfometriche dell'area di accumulo, sormonteranno il vallo in direzione destra idrografica, dove manca una "spalla di contenimento" diversamente dalla sponda sinistra caratterizzata da una scarpata di erosione naturale più alta e difficilmente sormontabile (lo stesso accumulo di materiale al piede della scarpata ne favorirebbe la stabilità temporanea nei confronti di un possibile franamento per scalzamento al piede a causa proprio della contro spinta esercitata al piede).

I "flussi detritici" fuori alveo si porterebbero in direzione della pista di cantiere seguendo le linee di pendenza della stessa pista e non potendo più rientrare in alveo.

Lungo il collettore principale il trasporto in massa evolverebbe come una colata delimitata dall'alveo, rallentando in corrispondenza dei cambi di pendenza legati alla presenza delle briglie e trovando tuttavia ancora dei punti di possibile disalveo legati sia alla conformazione naturale della sponda destra idrografica, sia al modellamento antropico imputabile alla realizzazione della pista di cantiere.

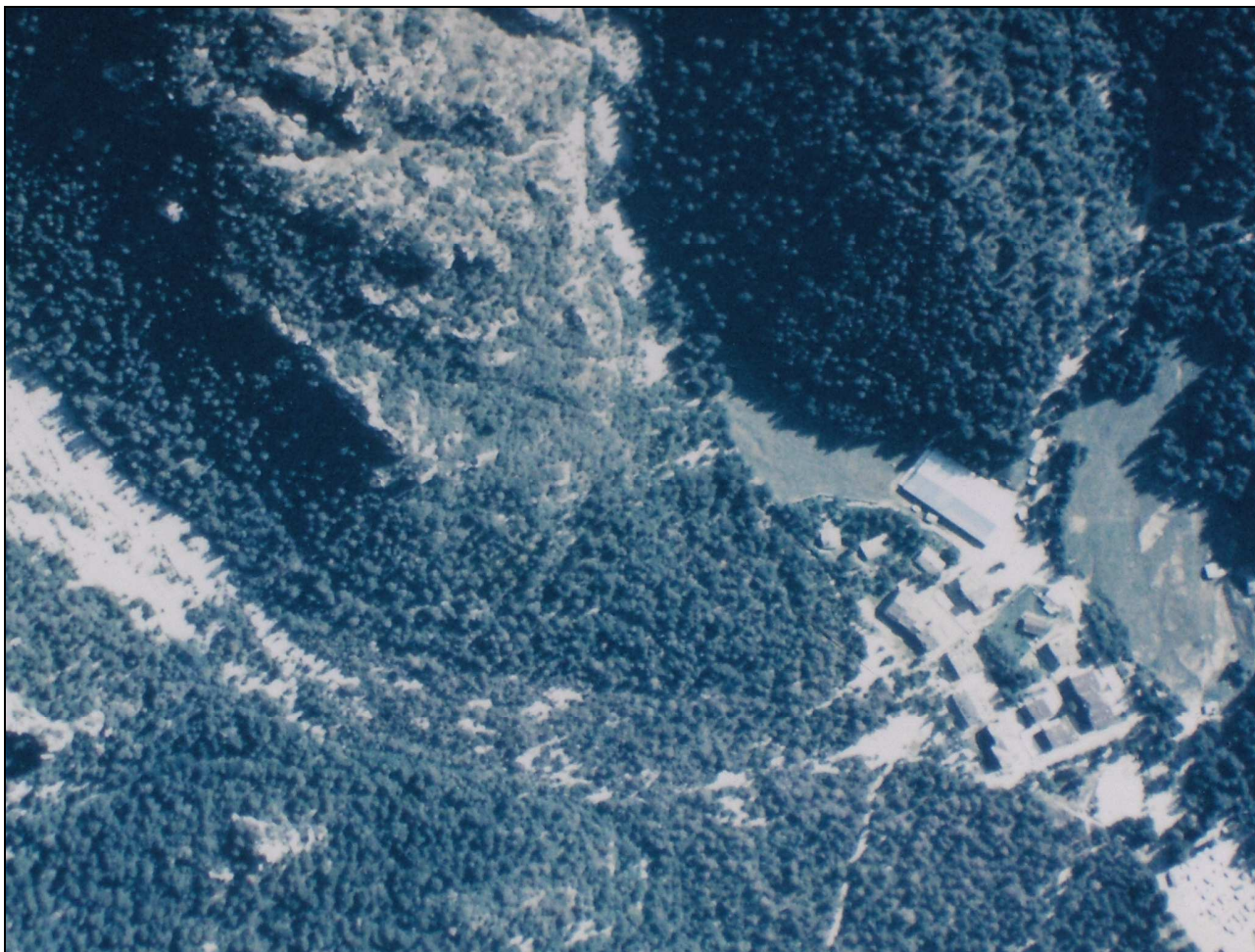
Sino a quote dell'ordine dei 1250 metri, la sponda sinistra mostra maggiori altezze delle scarpate che opererebbero a favore del contenimento in alveo della colata detritica, mentre a partire dalla quota di 1250 metri anche il fianco sinistro vallivo tende ad "aprirsi e le quote delle scarpate ad abbassarsi".

E' in questa zona che peraltro si osservano tracce di disalveo passati, compreso l'evento del 1987 che tuttavia, come già sottolineato, era caratterizzato da un assetto del settore medio distale del conoide completamente differente dall'attuale.

Lungo il tratto medio del collettore sul conoide, dove sono presenti ingenti quantità di detrito a causa dei fenomeni di sovralluvionamento (da quota 1320 m a quota 1250 m) che hanno completamente coperto le opere di regimazione idraulica realizzate, si manifesterebbero fenomeni di fluidificazione come avvenuto nel 1987: la componente liquida della colata saturerebbe gli strati più superficiali dei depositi peraltro caratterizzati da un minor grado di addensamento rispetto ai depositi di fondo alveo che agirebbero in questo caso da "strato base" di scivolamento della colata (come verificato anche in tavola 7).

A valle del tratto attualmente in sovralluvionamento potrebbero diramarsi altri rami della colata fuori alveo sia in sponda sinistra ma più probabilmente in sponda destra idrografica.

E' interessante notare come l'assetto del conoide sia piuttosto cambiato a seguito dell'evento del 1987. In quell'occasione infatti mancava un'incisione ben definita del canale soprattutto a quote inferiori ai 1250 metri: tutto il tratto di canale compreso tra questa quota e la località il Piazzo è stato inciso dal propagarsi della colata che si è quindi evoluta maggiormente (si parla di migrazione del collettore) nel settore sinistro idrografico del conoide (come si osserva a partire dalla curvatura in destra idrografica posta a quota 1240 m – cfr. foto 26).



*Foto 26*

Allo stato attuale i deflussi fuori alveo si spingerebbero maggiormente in direzione della sponda destra idrografica dove le scarpate risultano mediamente più basse e dove sono presenti alcune “aperture” che possono favorire episodi di disalveo.

L'ipotesi è confermata anche dall'esame delle briglie realizzate lungo il collettore a seguito del 1987. Alcune di queste in particolare la n° 20 e la n° 21 (cfr. tavola 03) presentano scalzamenti e lesioni in corrispondenza della spalla destra, come se fossero state aggirate dai fenomeni di trasporto solido di questi ultimi anni (si pensa probabilmente agli eventi del 1991, 1996, 2001 e 2002). Lesioni alle spalle delle briglie in sponda sinistra le troviamo in corrispondenza della n° 22 dove è stato anche individuata una traccia di possibile disalveo a causa di un locale abbassamento della sponda.

A parere della scrivente quindi i modellamenti subiti dal conoide del Gerù imputabili sia all'evento del 1987 che ai modellamenti antropici “sposterebbero” l'asse delle possibili tracimazioni dalla sponda sinistra (più interessata dall'evento dell'87) in direzione della sponda destra.

Come già detto un punto di potenziale disalveo è individuabile anche in sponda sinistra, dove peraltro il rischio connesso ai fenomeni di potenziale esondazione è maggiore a causa della vicinanza dell'abitato del Piazzo già pesantemente coinvolto durante l'evento del 1987.

Nell'esame delle possibili direzioni di percorrenza delle correnti fuori alveo (riportate in tavola 08), la cui distanza di arresto massima è stata determinata in 1204 m (cfr. paragrafo 14) sono state anche valutate soprattutto a livello morfologico dai rilevamenti in sito, tutte quelle condizioni che agiscono a favore della mitigazione della pericolosità dei fenomeni, nonché del contenimento nell'espansione della colata, condizioni a favore che sono senz'altro in numero maggiore rispetto a quelle presenti circa 20 anni fa e che non sono valutabili nei metodi di calcolo adottati per la stima della distanza massima percorsa dalla colata.

Si è già detto come la vasca di espansione posta all'apice del conoide agisca a favore della mitigazione dei fenomeni sia perché in grado di contenere (se mantenuta in condizioni di efficienza) circa 23.000 mc di materiale, sia perché in grado di rallentare sensibilmente i flussi detritici prima che si verifichi il sormonto, che sarà comunque "governato" nel deflusso dal nuovo assetto morfologico raggiunto dalla vasca riempitasi progressivamente.

A valle della vasca agiscono a favore di sicurezza i seguenti elementi:

- pista di cantiere: è in grado con la sua morfologia "terrazzata" di ridurre il potere distruttivo della colata, rallentando la discesa. Le stesse masse detritiche possono "diffondersi su un'area ampia", condizione che mitiga la pericolosità dell'evento;
- lungo il collettore sono presenti, almeno nel settore più alto e in quello medio distale, opere di regimazione ancora efficienti e in grado di svolgere un importante ruolo di rallentamento della colata in alveo e di deposizione dei materiali;
- a valle con sviluppo ad arco e quindi di contenimento di tutte le direttrici di possibile propagazione delle colate è stato realizzato un vallo di protezione dotato a tergo di una "zona di espansione e di contenimento della colata". Complessivamente la capacità di "stoccaggio" del vallo basso è di 37.000 mc, divisi in 11.500 mc (ramo a ovest) e di 25.500 mc (ramo a est). Considerata l'ipotesi che parte del materiale in discesa nel settore occidentale del conoide rallenti e possa anche depositarsi in corrispondenza dei terrazzamenti formati dalla pista di cantiere (avendo a disposizione una superficie più ampia rispetto al settore orientale) e inoltre considerando che il settore orientale del vallo protegge direttamente le abitazioni del Piazzo, l'opera risulta dimensionata correttamente anche se i volumi contenibili nel settore occidentale sono meno della metà di quelli del settore orientale;
- gioca a favore della mitigazione della pericolosità dei fenomeni che possono interessare il conoide nel settore occidentale a valle del vallo di protezione (nell'ipotesi di un potenziale sormonto anche

di quest'opera, dati i volumi in gioco) anche la presenza di una fitta zona boscata che si estende sino all'abitato della Rossanella e che risulta interrotta solo in corrispondenza della stretta fascia della pista di cantiere. Si tratta di oltre duecento metri di bosco all'interno del quale sono distinguibili blocchi detritici correlabili a passanti eventi di trasporto in massa;

- nel settore orientale a monte delle abitazioni del Piazzo la fascia boscata è più stretta e meno fitta, tuttavia è in grado di fornire una seppur minima protezione in termini di "trattenimento" di materiali.

Le condizioni "aggravanti" legati al trasporto in massa nel tratto compreso tra i due valli sono legate al fatto che l'area si presenta denudata con presenza di detrito mobilizzabile e che potrebbe essere eroso dal passaggio dei rami fuori alveo della colata e trasportato a valle andando ad incrementare (l'incremento non è ragionevolmente stimabile) i volumi di magnitudo calcolati.

Stesso discorso vale per i detriti presenti nel tratto in sovralluvionamento lungo il canale principale: l'arrivo di altro materiale da monte nel canale metterebbe in movimento svariati metri cubi di detrito che attualmente ingombrano l'alveo e che costituirebbero sicuramente un pesante ostacolo al deflusso (il tratto in esame si sviluppa per circa 360 metri con un'altezza media degli accumuli di 4 metri, tali da costituire un volume di circa 1500 mc che vanno ad aggiungersi ai valori di magnitudo calcolati.

In considerazione dello scenario di partenza, che contempla si ricorda lo scenario più critico di innesco di tutta una serie di fenomeni di dissesto tali da mobilizzare un quantitativo di materiale anche superiore a quello dell'evento del 1987, della possibilità di sormonto di entrambe le opere longitudinali di protezione realizzate e nell'ipotesi assunta di distanza di arresto della colata pari a 1204 metri dal disalveo principale posto in corrispondenza dell'apice del conoide (dove potrebbe verificarsi il primo sormonto) si può affermare che si opera a favore di sicurezza se si considera l'arresto della propagazione delle colate legate all'evento catastrofico ipotizzato entro i limiti della stessa zona interessata dall'evento del 1987.

Naturalmente la zona in esame è caratterizzata rispetto agli eventi del 1987, data la comprovata efficienza tecnico - realizzativa dei valli di protezione e la presenza comunque di un'importante numero di opere di regimazione idraulica lungo l'asta torrentizia, da una significativa mitigazione della pericolosità dei fenomeni (cfr. paragrafo seguente e tavola 09) che vanno perdendo progressivamente il loro potere distruttivo dal punto di disalveo sino al punto di arresto.

Tuttavia si ritiene, come meglio espresso nel paragrafo successivo, che la vulnerabilità dei luoghi caratterizzati dalla presenza di un nucleo edificato proprio a ridosso del vallo di protezione (peraltro in ragione di quanto esaminato ancora potenzialmente interessabili da colate di sormonto, anche se

di minor portata, in relazione al potere distruttivo dei fenomeni) sia da considerarsi alla luce delle analisi svolte e dell'esame dello stato di fatto del bacino della Val Gerù, ancora alta.

## **16.0 DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITA', DELLA VULNERABILITA' E DEL RISCHIO**

Lo scenario di evento ipotizzato, sortito dalle analisi svolte (secondo le direttive della Regione Lombardia) e verificato dai rilievi in sito, porta ad individuare per le aree in esame già soggette alla perimetrazione riportata nel lavoro della GeoTer (cfr. tavola 06) una diminuzione di un grado rispetto al livello di pericolosità che caratterizzava le aree precedentemente alla realizzazione delle ultime opere di difesa.

Seppur non in grado di contenere completamente i volumi di detrito stimati in caso di evento catastrofico le opere di difesa passiva e attiva realizzate in questi anni, sono in grado di mitigarne la pericolosità e da agire da "scudo" nei confronti delle aree antropizzate poste in zona medio distale del conoide.

E' parso comunque opportuno, nell'affrontare la nuova perimetrazione della pericolosità (proposta in tavola 09 e tavola 10), mantenere un certo margine di sicurezza legato alle seguenti motivazioni:

- allo stato di fatto le opere realizzate sono efficienti e funzionali tuttavia, in riferimento soprattutto alla vasca di espansione a monte, la sua capacità di stoccaggio e la sua efficienza non può essere garantita con sicurezza se non si provvede ad uno svuotamento della stessa compatibile con le velocità di interrimento;
- alcune briglie presenti a monte del conoide sono prossime al sovralluvionamento e altre mostrano incipienti lesioni. L'efficienza di queste opere, che comunque ad oggi gioca un ruolo a favore di sicurezza, non può essere garantita per l'immediato futuro data la veloce dinamica evolutiva che interessa il tratto di alveo in esame;
- discorso analogo può essere fatto per le opere a valle della vasca di espansione che, in un lungo tratto centrale risultano completamente sommerse da detrito, lesionate, sifonate, "scalzate" in corrispondenza delle spalle e quindi inefficienti se non addirittura pericolose;
- una più precisa definizione dello stato di pericolosità delle aree in esame, non può che derivare da una simulazione numerica condotta con il supporto di analisi di laboratorio volte a determinare l'esatta reologia dei materiali costituenti la colata e l'interferenza degli stessi con le opere e l'assetto morfometrico dell'area.



In ragione di quanto sopra espresso sono state attribuite le seguenti classi di pericolosità:

- **H5 pericolosità molto elevata:** è stata attribuita a tutte quelle zone a monte del vallo di protezione di valle, che possono essere interessate direttamente in caso di evento di trasporto in massa, dai flussi detritici in alveo e fuori alveo;
- **H4 pericolosità elevata:** è stata attribuita alle zone immediatamente a valle del vallo di protezione, alla località Piazza e alla località Camping, in quanto potenzialmente interessabili da trasporto di detrito e potenziale danneggiamento di opere e manufatti nelle aree prossime al rilevato di protezione e alla canalizzazione di immissione nel T. Torcola. L'area perimetrata segue i limiti della zona coinvolta dall'evento del 1987 (classificata nello studio GeoTer 1999, come H5, pericolosità molto elevata);
- **H3 pericolosità moderata:** si tratta di una stretta fascia che si sviluppa parallelamente al limite dell'area classificata come H4 e che comprende il settore più a monte della località Rossanella con i relativi edifici che risultano "direttamente esposti" nel tratto a monte nel caso dello scenario di evento catastrofico. Tale area ha comunque una moderata probabilità di essere esposta ai fenomeni, tuttavia sono possibili deflussi definibili come "residuali", che hanno subito forte laminazione ad opera degli ostacoli morfologici e antropici posti a monte della stessa, con altezze idriche ridotte (20 – 30 cm) ed è possibile il trasporto di materiali prevalentemente liquido – fangosi e sabbiosi – ghiaiosi;
- **H2 pericolosità bassa:** è stata individuata una stretta fascia di raccordo a monte dell'abitato della Rossanella; gioca a vantaggio della protezione di quest'area dai fenomeni di trasporto in massa su conoide la forte laminazione che le correnti subiscono ad opera degli ostacoli morfologici ed antropici presenti a monte della stessa (zona boscata, aree edificate, andamento topografico dell'area). Le opere di difesa idraulica sono idonee a garantire tale classe di pericolosità anche in caso di eventi estremi come quello ipotizzato
- **H1 pericolosità nulla:** comprende le zone della Rossanella e la località Tagliata, posta a monte della Colonia Genovese e classificata precedentemente alla realizzazione delle opere di difesa, come a pericolosità moderata (H3). L'area, anche il settore più a nord, non è comunque stata raggiunta dall'evento del 1987. Come verificato nel corso del presente studio tali zone risultano attualmente completamente protette dalla realizzazione delle opere di difesa.

Relativamente alla vulnerabilità e al rischio, è stata considerata la destinazione d'uso delle aree soggette alla perimetrazione di pericolosità (cfr. tavola 09).

Partendo dall'assunzione che una stima della vulnerabilità delle aree in esame è stata eseguita contestualmente alla valutazione della pericolosità dei fenomeni, concetto che esprime anche "l'intensità attesa" degli stessi, la valutazione del rischio viene eseguita con la procedura semplificata, ovvero introducendo il concetto delle classi di elementi a rischio a sua volta derivante dalle categorie d'uso del suolo desumibili dall'azzonamento del PRG.

Come rappresentato nella cartografia di tavola 09, sono presenti 4 classi di elementi a rischio, da E1 a E4, a vulnerabilità crescente in quanto l'ultima classe comprende le zone edificate e intensamente antropizzate (cfr. tabella 7).

Incrociando le classi di pericolosità attribuite alle aree e le classi di elementi a rischio secondo la matrice seguente, si determina il grado di rischio zona per zona.

	H1	H2	H3	H4	H5
E1	R1	R1	R1	R1	R2
E2	R1	R1	R2	R2	R3
E3	R1	R2	R2	R3	R4
E4	R1	R2	R3	R4	R4

*Tabella 7*

Come si evince dall'esame della cartografia di tavola 09, la maggior parte delle aree mostra una diminuzione del grado di rischio derivante dalla realizzazione delle opere, fatto salvo l'abitato del Piazzo, per il quale, sebbene sia un dato tangibile la mitigazione della pericolosità dei fenomeni che potenzialmente possono interessare l'abitato e, a parere della scrivente, conseguentemente anche del grado di rischio rispetto al fenomeno del 1987, la matrice di cui sopra prevede ancora l'attribuzione di un grado di rischio elevato, in ragione della classificazione come E4.

Nella classificazione PAI inerente le aree a rischio idrogeologico molto elevato, le classi di pericolosità H5 e H4 sono delimitate come zona 1, mentre la classe H3 come zona 2 (cfr. tavola 10). Le classi H2 e H1 risultano esterne alla perimetrazione.

In tavola 10 si riporta la proposta di aggiornamento della tavola 013-LO- BG di cui all'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici di cui all'allegato 4.1 del PAI (perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato).

## CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto a supporto della proposta di ridefinizione della pericolosità da frana delle aree a rischio idrogeologico molto elevato, in riferimento alla località Piazza – Camping (inserita nell'elaborato 2 del PAI allegato 4.1, tavola 013 LO-BG, - cfr. tavola 06), coinvolta nel 1987 da un fenomeno di trasporto in massa su conoide che si è manifestato con una certa intensità e violenza (cfr. paragrafo 4.0 e tavola 05), colpendo direttamente la località Piazza e raggiungendo il settore più a monte della località Rossanella.

A seguito di quell'evento alluvionale sono stati realizzati numerosi interventi (cfr. tavola 04a e 04b e paragrafo 6.0) di cui gli ultimi in ordine temporale (iniziati nel 2005 e terminati nel 2007) costituiti da una vasca di espansione in zona apicale del conoide (finanziata con l'Accordo di Programma quadro) e da un vallo di contenimento a monte dell'abitato del Piazza (finanziato con la L. 267/98).

La realizzazione di questi due interventi ha portato l'Amministrazione Comunale all'affidamento del presente incarico finalizzato ad esaminare lo stato di dissesto attuale della Val Gerù, l'efficacia dei numerosi interventi realizzati e definire lo stato di pericolosità e di rischio cui è soggetto l'abitato allo stato attuale.

Le analisi sono state eseguite seguendo il metodo analitico - morfologico contenuto nel documento "criteri attuativi l.r. 12/2005 per il governo del territorio" in riferimento all'allegato 2 "zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e trasporto in massa lungo le conoidi alpine".

L'individuazione di uno scenario di evento potenziale, descritto in paragrafo 15.0 e sintetizzato nella tavola grafica 08 allegata allo studio, ha consentito di formulare, alla luce delle analisi svolte, una proposta di ridefinizione della pericolosità e del rischio cui risulta soggetto attualmente l'abitato. La proposta è descritta in paragrafo 16.0 e individuata graficamente nelle tavole 09 e 10.

Si sottolinea che il presente studio si presta ad aggiornamenti e revisioni, ponendosi come punto di partenza per eventuali successive analisi, anche finalizzate alla programmazione di interventi di completamento finalizzati al raggiungimento di un'ulteriore mitigazione dello stato di rischio cui risulta soggetto l'abitato in esame.

Piazza Brembana, febbraio 2008

Dott. Geol. Stefania Cabassi