



Comune di Pian Camuno  
Provincia di Brescia

Piano di Governo del Territorio: revisione n.1/2013

**Aggiornamento della componente  
Geologica, Idrogeologica e Sismica**

*dgr 30 novembre 2011 n. IX/2616*

Relazione illustrativa

Dicembre 2013

Elaborato A

Dr. geol. Fabio Alberti

**Geo.Te.C.**

Geologia Tecnica Camuna  
Via Albera 3 - Darfo Boario Terme (BS)  
tel / fax 0364 - 533637  
e-mail: [info@geotec-studio.it](mailto:info@geotec-studio.it)

collaboratori:  
Dr. geol. Elena Staffoni  
Dr. geol. Francesco Bosio

## INDICE

<b>1. Premessa</b> .....	1
<b>2. Conoide del torrente Re di Gratacasolo</b> .....	3
2.1. <i>Analisi storica</i> .....	3
2.2. <i>Analisi geologica e geomorfologica del bacino</i> .....	4
2.3. <i>Analisi idrologica</i> .....	6
2.4. <i>Stima dei volumi mobilizzabili - Magnitudo</i> .....	8
2.5. <i>Analisi morfologica del conoide</i> .....	9
2.6. <i>Analisi delle situazioni di criticità</i> .....	10
2.7. <i>Zonazione della pericolosità</i> .....	13
<b>3. Conoidi del settore di versante compreso tra Valle Pelucco e Val Roncaglia</b> .....	13
3.1. <i>Analisi storica</i> .....	14
3.2. <i>Analisi geologica e geomorfologica dei bacini</i> .....	14
3.3. <i>Analisi idrologica</i> .....	20
3.4. <i>Stima dei volumi mobilizzabili - Magnitudo</i> .....	21
3.5. <i>Analisi delle situazioni di criticità</i> .....	23
3.6. <i>Zonazione della pericolosità</i> .....	25
<b>4. Bibliografia</b> .....	26

### Allegati a fine testo :

- All. 1 - Stima delle portate al colmo di piena per eventi con tempo di ritorno di 100 e 200 anni.
- All. 2 - Valutazione della magnitudo.
- All. 3 a, b, c - Stima della distanza di espansione delle colate detritico-fabgose lungo il conoide.
- All. 4 a, b, c - Schede conoidi.
- All. 5 - Torrente Re di Gratacasolo, verifiche idrauliche speditive.
- All. 6 - Documentazione fotografica.

### 1. Premessa

Il presente aggiornamento dello studio relativo alla Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Pian Camuno, redatto dallo scrivente nel 2008, è stato finalizzato a rivalutare le condizioni di pericolosità geologica e conseguentemente della fattibilità geologica di alcune aree in relazione agli interventi di sistemazione eseguiti successivamente alla redazione dello studio. Le aree prese in esame si trovano in corrispondenza del conoide del torrente Re di Gratacasolo, in relazione all'intervento di "messa in sicurezza e sistemazione opere di difesa del torrente Re di Gratacasolo in comune di Pian Camuno", eseguito nel 2012-2013, ed alla base di un tratto del versante compreso tra il Valzello Pelucco e la Val Roncaglia in relazione agli interventi eseguiti tra il 2011 e il 2013 con i finanziamenti legati alla L. 267/98.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

La rivalutazione della pericolosità comporta modificazioni al mosaico della fattibilità e del quadro dei dissesti del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) con una ripermetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato.

L'aggiornamento dello studio è stato condotto su incarico del comune di Pian Camuno nell'ambito della variante al PGT in data 2013 ed è stato sviluppato in riferimento alle indicazioni contenute della d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616, - "aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374".

Il presente studio riprende, aggiornandole alla situazione morfologica e normative attuale, le valutazioni contenute nello studio relativo alla definizione della Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT redatto dallo scrivente nel 2008 e parzialmente aggiornato, principalmente rispetto agli aspetti sismici, con una variante in data 2011.

Gli elaborati cartografici che accompagnano la relazione illustrativa (elaborato A) sono i seguenti.

- Tavola 1 - Carta morfologica e dei dissesti del bacino idrografico del torrente Re di Gratacasolo (scala 1:20.000)
- Tavola 2 - Carta litologia e della dinamica morfologica (scala 1:4.000):
  - 2 a - settore del conoide torrente Re di Gratacasolo in località Beata-Castrino.
  - 2 b - settore alla base del versante interessato dalla frana della Val Roncaglia
- Tavola 3 - Carta dei vincoli (scala 1:10.000).
- Tavola 4 - Carta di sintesi (scala 1:10.000).
- Tavola 5 - Carta di sintesi (scala 1:2.000) :
  - 5 a - settore del conoide torrente Re di Gratacasolo in località Beata-Castrino
  - 5 b - settore alla base del versante interessato dalla frana della Val Roncaglia
- Tavola 6 Carta di fattibilità delle azioni di piano (scala 1:10.000)
- Tavola 7 Carta di fattibilità delle azioni di piano (scala 1:2.000) :
  - 7 a - settore sud-ovest
  - 7 b - settore sud-est
  - 7 b - settore nord
- Tavola 8 - Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici: delimitazione delle aree in dissesto (scala 1:10.000)

Nella redazione dello studio si è tenuto conto degli studi precedenti e di tutta la documentazione che è stato possibile reperire, principalmente presso il Comune di Pian Camuno e presso la Regione Lombardia.

L'elenco dei documenti e dei testi consultati è riportato in bibliografia.

In questa sede si è anche provveduto ad aggiornare le norme geologiche di piano senza modificarne il contenuto, ma, per semplicità funzionale, raccogliendo in un unico fascicolo (elaborato B), separato dalla relazione illustrativa, le norme geologiche di piano redatte nell'ambito dello studio del 2008 e l'aggiornamento delle norme relativo agli aspetti sismici contenuto nella variante del 2011.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

## 2. Conoide del torrente Re di Gratacasolo

Il torrente Re di Gratacasolo è un affluente di sinistra del Fiume Oglio nel tratto inferiore prelacuale; il bacino idrografico sotteso ha una superficie di circa 21 Km<sup>2</sup>, compresa quasi interamente nel territorio comunale di Pisogne. Allo sbocco sul fondovalle il torrente forma un ampio conoide alluvionale compreso in buona parte nel territorio comunale di Pian Camuno e per il resto in comune di Pisogne, con l'alveo che definisce il limite tra i comuni nella metà superiore del conoide.

Il bacino idrografico del torrente Re di Gratacasolo è interessato da fenomeni franosi di varia tipologia ed entità e da forme di erosione che possono dar luogo ad eventi di piena con forte trasporto solido o di trasporto in massa in grado di raggiungere il conoide di fondovalle.

Per la parte relativa al territorio comunale di Pian Camuno il conoide di fondovalle è stato oggetto di una perimetrazione della pericolosità nell'ambito dello studio riguardante la "Valutazione delle condizioni di pericolosità morfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel settore di fondovalle del territorio comunale e tracciamento delle Fasce Fluviali individuate dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)", condotto dallo scrivente nel 2003, successivamente ripresa nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio redatto dallo scrivente nel 2008.

Recentemente si sono conclusi i lavori relativi all'intervento di "messa in sicurezza e sistemazione opere di difesa del torrente Re di Gratacasolo in comune di Pian Camuno".

### 2.1. Analisi storica

Per quanto riguarda i principali eventi di carattere alluvionale che hanno interessato in passato l'area del conoide del torrente Re di Gratacasolo si è fatto riferimento diretto allo studio geologico del 2008 nel quale erano stati riportati i dati ricavati dalle fonti storiche da vari autori, soprattutto Franzoni ( Franzoni O., 1988). Gli eventi alluvionali principali sono i seguenti.

- 1520 - Distrutte o sepolte dai detriti o dal fango molte case a Gratacasolo.
- 1676 - Maggio? A Gratacasolo viene distrutto il forno fusorio.
- 1757 - Agosto-settembre. Ghiaie e sabbie invadono le campagne delle valli di Gratacasolo e Artogne.
- 1807 - Inverno. Straripano numerosi torrenti, colpito anche Gratacasolo.
- 1810 - 1 dicembre. Inondazione a Gratacasolo.
- 1850 - 14/15 agosto. Piena dopo piogge violente e lesioni ad alcune abitazioni.
- 1850 - 26/28 novembre. Inondazione dell'abitato di Gratacasolo.
- 1882 -15 settembre. Danni probabilmente a coltivi e strade a Gratacasolo.
- 1953 - 9 luglio. Esondazione, interruzione della linea ferroviaria e della SS510 e danni a case coloniche in località Beata.
- 1960 -17 settembre. Disalveamento in corrispondenze del ponte della SS510.

In prima battuta il tempo di ritorno dei fenomeni alluvionali significativi è dell'ordine di 50 anni.



Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

Probabilmente in occasione dell'evento del 1520 è avvenuta la variazione della posizione dell'alveo del torrente che dal limite tra il settore di sinistra e quello centrale del conoide, secondo il tracciato di via Castrino lungo la quale decorre ancora oggi il confine tra i comuni di Pisogne e Pian Camuno, si è spostato nella posizione attuale, al limite tra il settore centrale e quello di destra del conoide.

## **2.2. Analisi geologica e geomorfologica del bacino**

### Reticolo idrografico

Il torrente Re di Gratacasolo è un affluente di sinistra del fiume Oglio nel tratto inferiore prelacuale; il bacino idrografico sotteso ha una superficie di circa 21,7 Km<sup>2</sup>, compresa in buona parte nel territorio comunale di Pisogne. Allo sbocco sul fondovalle l'alveo definisce il limite tra i comuni di Pian Camuno e Pisogne fino al tracciato della ex-SS 510, a valle della quale il conoide è quasi interamente compreso entro il territorio del comune di Pian Camuno.

L'assetto del reticolo idrografico del bacino è caratterizzato dalla presenza di un'asta principale, la Valle di Palotto, avente direzione nord-nord-est, nella quale confluiscono il ramo della valle dei Togni, alla quota di 1050 m circa, e il ramo della Val Negra, alla quota di 600 m circa, che sono invece orientati in direzione est-ovest.

Lungo il tratto posto a valle della confluenza fra la Val Negra e la Valle Palotto, denominato Valle di Gratacasolo e avente direzione ovest-nord-ovest, l'asta si presenta relativamente incisa, con fianchi molto ripidi.

### Aspetti geologici

Nel bacino idrografico del torrente Re di Gratacasolo il substrato roccioso è quasi interamente costituito da rocce metamorfiche appartenenti al Basamento Cristallino Sudalpino (Gruppo dei Micascisti del Maniva) sopra le quali, in netta discontinuità, affiorano localmente formazioni di tipo magmatico effusivo (Porfidi Inferiori), formazioni sedimentarie continentali (Verrucano Lombardo) e formazioni sedimentarie marine (Servino, Carniola di Bovegno) appartenenti alla copertura Sudalpina.

Per quanto riguarda i depositi superficiali, l'intero bacino idrografico è caratterizzato dalla presenza di una diffusa coltre di copertura avente diversa origine, glaciale, fluvio-glaciale, detritica di versante ed eluvio-colluviale. In particolare si riscontra la presenza di una copertura relativamente potente di depositi glaciali nel settore di versante sinistro posto all'altezza di Fraine.

Le principali caratteristiche delle formazioni rocciose affioranti nel bacino sono descritte nei punti seguenti.

- **Micascisti del Maniva.** Questa formazione, che rappresenta il Basamento Cristallino Sudalpino nella parte bassa della Val Camonica, è costituita da micascisti muscovitici con biotite e subordinata clorite, da micascisti muscovitico-biotitico-cloritici a volte granatiferi oppure da micascisti muscovitico-granatiferi. In relazione alla natura di tali rocce e alla presenza di fenomeni tettonici locali, si sono inoltre originati orizzonti costituiti da miloniti siltoso-argillose plastiche, a volte ricche di talco.
- **Formazione di Collio.** Questa unità affiora nella parte inferiore del bacino, nella Valle di Gratacasolo, nella zona di raccordo fra il versante sinistro della Valcamonica e il fondovalle, ed è rappresentata da termini vulcanici. Principalmente si tratta di tufi, da vetrosi a cristallini, di vario colore, ed ignibriti riolitiche rosso-violacee e verdi.

- Verrucano Lombardo. Questa unità affiora lungo il versante sinistro della bassa Valle Palotto e presso le zone di testata dei sottobacini relativi alle valli Palotto, val Negra, valle dei Togni. E' costituita soprattutto da arenarie e conglomerati di colore rosso, a cemento siliceo ed a matrice sericitica, con clasti di origine vulcanica e subordinatamente metamorfica. Questi litotipi sono disposti in grossi banchi, a volte poco distinti, generalmente di forma lenticolare, all'interno dei quali si osservano spesso delle gradazioni granulometriche, con ripetuti passaggi da conglomerati ad arenarie.
- Servino. L'unità affiora nella zona di testata della Valle Palotto ed è costituita da marne, marne calcaree e siltiti di colore rosso, verde o grigio, disposte in strati sottili o fittamente laminate, a volte in banchi rinsaldati; questi litotipi sono alternati a calcari marnosi grigi o grigio-giallastri, in strati di spessore medio o sottile, o, localmente, a calcareniti grigio-rosse in strati medi, oppure a rare arenarie fini di colore verde o rosso, disposte in strati medi.
- Carniola di Bovegno. L'unità, affiorante presso la zona di testata della Valle Palotto, è costituita da dolomie di colore grigio in strati sottili e da dolomie cariate di colore giallo, molto fratturate e spesso ridotte a brecce.
- Calcarea di Angolo. Affiora alla testata della Valle Palotto ed è costituita nella parte inferiore da calcari di colore grigio scuro o neri in strati medi od a stratificazione indistinta e in grossi banchi, localmente alternati a livelli a stratificazione sottile mentre nella parte superiore è rappresentata da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, a stratificazione sottile con sottili interstrati di argilliti nere.
- Calcarea di Camorelli. L'unità compare alla testata delle Val Palotto, nella parte superiore del Monte Guglielmo ed è costituita da calcari e calcari dolomitici di colore grigio chiaro a stratificazione massiccia o in strati da medi a spessi.

#### Assetto morfologico del bacino idrografico

Il bacino idrografico del torrente Re di Gratacasolo ha un assetto morfologico caratterizzato da una forte densità dei fenomeni di degradazione attivi, quiescenti e inattivi che coinvolgono sia la copertura detritica sia il substrato roccioso.

La situazione morfologica e le principali forme di dissesto sono state rappresentate nella Tavola 1 allegata allo studio.

Nel corso dell'ultima glaciazione all'interno della valle del torrente Re è penetrata la lingua del ghiacciaio camuno fino ad una quota di circa 1100 m e questa presenza è ancora evidente nei lembi di depositi glaciali e nei tratti di cordoni morenici posti sui versanti. Nel tratto superiore della valle si hanno evidenze di una lingua glaciale locale solo per il ramo della Val Negra mentre non si hanno evidenze per il ramo principale della Val Palotto.

Al momento del ritiro del ghiacciaio camuno la valle del torrente Re è rimasta sospesa rispetto al fondovalle del fiume Oglio e da allora è stata interessata da una forte tendenza all'erosione di fondo per tutto il tratto medio ed inferiore che ha portato alla formazione dell'attuale forra di raccordo al fondovalle dell'Oglio e che si è estesa in parte anche al tratto superiore.

La rimozione di sostegno al piede dei versanti dovuta all'erosione glaciale e successivamente all'erosione del corso d'acqua ha prodotto una forte instabilità dei versanti sia a livello dei depositi superficiali sia a livello del substrato roccioso con l'innescarsi di numerosi ed estesi fenomeni gravitativi profondi, soprattutto nei tratti dove affiorano le rocce del basamento cristallino.

L'erosione di fondo è tuttora ben attiva lungo tutta la forra del torrente Re anche se l'alveo è in genere impostato in roccia e solo localmente sono presenti dei depositi al fondo, in piccoli tratti meno ripidi impostati su gradini rocciosi o in corrispondenza di apporti detritici dai versanti. Nel tratto inferiore del torrente sono presenti delle briglie in pietra e malta realizzate per trattenere il trasporto solido e per consolidare localmente i depositi sciolti presenti lungo l'alveo. A parte la briglia posta alla quota di 507 m, che è stata completamente distrutta, queste opere si trovano in genere in un discreto stato di manutenzione, anche se cominciano ad evidenziare un principio di scalzamento alla base.

L'erosione lungo il torrente si mantiene intensa anche nel tratto superiore della forra, a monte della confluenza della Val Negra, dove il fondo è principalmente roccioso fino alla località di Palotto, posta all'incirca alla quota raggiunta dai depositi glaciali. Poco a valle di Palotto, in prossimità della derivazione idroelettrica della centrale posta a valle di Fraine, sono presenti alcune briglie realizzate per contenere l'erosione nel tratto dove il fondo è impostato in depositi superficiali. Nel primo tratto relativamente pianeggiante posto a monte di Palotto, corrispondente più o meno all'antico fondovalle glaciale, la tendenza all'erosione di fondo è meno intensa mentre riprende più a monte, nel tratto superiore, dove la pendenza del fondo aumenta nuovamente. L'erosione di fondo si mantiene intensa anche lungo i rami laterali principali e secondari. I rami principali sono rappresentati dalla Val Negra, che ha un tratto inferiore rappresentato da una forra ripida e ben incisa ed i tratti medi e superiore relativamente ripidi, rispettivamente con fondo impostato principalmente in depositi superficiali e in roccia, e dalla Valle dei Togni che si mantiene sempre relativamente ripida e con forte tendenza all'erosione contrastata localmente da alcune briglie situate nel tratto inferiore. Come conseguenza dell'erosione, glaciale prima e torrentizia poi, i versanti della valle del torrente Re di Gratacasolo sono caratterizzati da una serie di fenomeni di degradazione relativamente diffusi rappresentati da:

- frane di grosse dimensioni con superfici di movimento che coinvolgono in profondità il substrato roccioso; tali fenomeni hanno avuto le loro massime fasi di attività in epoche passate, dopo il ritiro dei ghiacci, ed attualmente sono da considerare quiescenti nella maggior parte dei casi, a movimento complessivamente lento e legato principalmente alla precipitazioni prolungate;
- frane superficiali, in genere di piccole dimensioni, che interessano principalmente i depositi superficiali mobilizzando limitati volumi di materiale;
- corsi d'acqua minori caratterizzati da elevata erosione lineare e forte trasporto solido.

Nel complesso la situazione morfologica del bacino del torrente Re di Gratacasolo è favorevole all'innescare di fenomeni di piena con elevato trasporto solido o di trasporto in massa verso il conoide di fondovalle.

### **2.3. Analisi idrologica**

#### Portata critica

Per quanto riguarda la valutazione della portata liquida critica del torrente Re di Gratacasolo nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, redatto dallo scrivente nel 2008, erano state riprese le considerazioni fatte nello studio riguardante la "Valutazione delle condizioni di pericolosità morfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel settore di fondovalle del territorio comunale e tracciamento delle Fasce

Fluviali individuate dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)" redatte sempre dallo scrivente nel 2003. In quella sede erano stati utilizzati alcuni metodi proposti in letteratura ed in particolare il metodo di Giandotti, il metodo di Giandotti perfezionato da Visentini ed i metodi della portata indice e della formula razionale con le elaborazioni proposte da Bacchi, Armanelli e Rossini. Per la stima della pioggia critica nello studio del 2003 si era fatto riferimento ai parametri udometrici della stazione meteorologica di Memmo, situata in Val Trompia, che portano a stime piuttosto alte e largamente conservative. In quella sede si era assunto come rappresentativo il valore di portata ricavato con il metodo della formula razionale e, in ragione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino, era stato considerato anche un aumento della portata liquida per tenere conto del trasporto solido, moltiplicando la portata liquida per un coefficiente compreso fra 1.12 e 1.24 ed ottenendo quindi i valori di 223-244 m<sup>3</sup>/s.

Successivamente sono state fatte altre valutazioni relativamente alla portata critica del torrente Re da parte della Regione Lombardia nell'ambito del SIBCA, da parte della Comunità Montana di Valle Camonica nell'ambito dello studio relativo ai sottobacini idrografici dell'Oglio e nell'ambito della proposta di riperimetrazione della pericolosità contenuta nella progettazione degli interventi di sistemazione eseguiti recentemente nel tratto intermedio del conoide. I valori portata stimati dai diversi studi sono riportati nella seguente tabella, dove i valori assunti come rappresentativi sono evidenziati in grassetto.

<i>Studio</i>	<i>Metodo</i>	<i>TR 100</i>	<i>TR 200</i>
Studio conoide 2003	Giandotti	-	343,3 m <sup>3</sup> /s
	Giandotti e Visentini	-	248,5 m <sup>3</sup> /s
	Portata Indice	-	94,5 m <sup>3</sup> /s
	Formula razionale	-	<b>196,9 m<sup>3</sup>/s</b>
SIBCA	-	51,2 m <sup>3</sup> /s	-
Studio fattibilità AdBPo	Metodo razionale	137 m <sup>3</sup> /s	149 m <sup>3</sup> /s
	CSS CN	23 m <sup>3</sup> /s	31 m <sup>3</sup> /s
	VAPI	68 m <sup>3</sup> /s	78 m <sup>3</sup> /s
	regionalizzazione mG	110 m <sup>3</sup> /s	123 m <sup>3</sup> /s
	media dei metodi	89 m <sup>3</sup> /s	<b>102 m<sup>3</sup>/s</b>
Studio Sottobacini idrografici	-	74,4 m <sup>3</sup> /s	<b>88,80 m<sup>3</sup>/s</b>
Interventi di messa in sicurezza	razionale	103 m <sup>3</sup> /s	112 m <sup>3</sup> /s
	razionale modificato	51 m <sup>3</sup> /s	55 m <sup>3</sup> /s
	SCS CN	82,5 m <sup>3</sup> /s	<b>95,7 m<sup>3</sup>/s</b>
Studio 2013	SCS CN	99 m <sup>3</sup> /s	<b>114 m<sup>3</sup>/s</b>
	SCS CN più portata solida	123 m <sup>3</sup> /s	<b>141 m<sup>3</sup>/s</b>

In questa sede è stata rivista la valutazione delle portate assumendo come riferimento i parametri pluviometrici della stazione di Breno, mediamente più rappresentativa delle condizioni dell'area in esame, e si ritiene di

assumere come rappresentativi per la sola portata liquida i valori ricavati con il metodo CN che sono pari a 99 e 114 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per il tempo di ritorno di 100 e 200 anni.

Tenendo conto del trasporto solido, moltiplicando la portata liquida per un coefficiente compreso fra 1.12 e 1.24 si arriva ai valori massimi di 123 e 441 m<sup>3</sup>/s.

Le espressioni utilizzate ed i calcoli relativi sono riportati in allegato a fine testo (allegato 1).

#### **2.4. Stima dei volumi mobilizzabili - Magnitudo**

La magnitudo rappresenta il volume massimo di materiale mobilizzabile all'interno di un bacino idrografico per l'alimentazione delle colate detritico-fangose. Nell'ambito dello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, redatto dallo scrivente nel 2008, erano state riprese le considerazioni fatte nello studio riguardante la "Valutazione delle condizioni di pericolosità morfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel settore di fondovalle del territorio comunale e tracciamento delle Fasce Fluviali individuate dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)" redatte sempre dallo scrivente nel 2003. Tali valutazioni erano state condotte con i metodi disponibili in letteratura che propongono delle formule basate sulle caratteristiche morfometriche del bacino e del conoide, sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del bacino e sul grado di dissesto al suo interno.

Successivamente sono state fatte altre valutazioni relativamente alla magnitudo del torrente Re sia da parte della Regione Lombardia nell'ambito del SIBCA sia nella proposta di ripermimetrazione della pericolosità contenuta nella progettazione degli interventi di sistemazione eseguiti recentemente nel tratto intermedio. I valori di magnitudo stimati dai diversi studi sono riportati nella seguente tabella mentre le formule proposte dai metodi utilizzati per il calcolo della magnitudo sono riportate in allegato a fine testo (allegato 2).

Metodo	<i>studio PGT</i>	<i>SIBCA</i>	<i>progetto</i>
Rickermann & Zimmerman	129.276 m <sup>3</sup>	-	137.784 m <sup>3</sup>
Hampel	4.053 m <sup>3</sup>	-	-
Crosta, Ceriani, Frattini Quattrini	176.052 m <sup>3</sup>	79.760 m <sup>3</sup>	50.987 m <sup>3</sup>
Bottino, Crivellari & Mandrone	50.276 m <sup>3</sup>	50.188 m <sup>3</sup>	50.311 m <sup>3</sup>
D'Agostino et al. mas.	270.715 m <sup>3</sup>	97.078 m <sup>3</sup>	-
D'Agostino et al. min.	249.891 m <sup>3</sup>	-	-
Takei	88.875 m <sup>3</sup>	-	-
Bianco	82.380 m <sup>3</sup>	168.24 m <sup>3</sup>	-
Marchi e Tecca	-	-	217.500 m <sup>3</sup>
Kronfellner-Kraus mas	316.046 m <sup>3</sup>	-	-
Kronfellner-Kraus min.	169.038 m <sup>3</sup>	-	-
media dei metodi (senza estremi)	<b>152.063 m<sup>3</sup></b>	-	161.731 m <sup>3</sup>

Nel complesso le valutazioni risultano relativamente simili e si è ritenuto di mantenere come rappresentativo il valore di 152.000 m<sup>3</sup> già considerato nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT.

Per valutare a livello indicativo la capacità di espansione dei fenomeni di colata che possono interessare il torrente Re di Gratacasolo è stata fatta una valutazione della distanza di arresto, a partire dall'apice del conoide,

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

di un'eventuale colata di entità pari alla magnitudo stimata. La valutazione è stata fatta con la metodologia empirica proposta da Takahashi, riportata in allegato a fine testo (allegato 3a), ed i risultati ottenuti evidenziano, nell'ipotesi che la colata si mantenga all'interno dell'alveo, una distanza di arresto della colata dell'ordine di 840 m a partire dall'apice, ovvero con un'espansione che arriva poco a valle del guado di via Vescovo, comprendendo tutto il tratto medio-superiore del conoide.

### **2.5. Analisi morfologica del conoide**

Il conoide alluvionale del torrente Re di Gratacasolo si apre a valle di una forra rocciosa stretta e relativamente ripida. Nel tratto apicale del conoide, a monte del canale idroelettrico che deriva le acque del torrente passando al di sotto dell'alveo alla quota di circa 244 m, l'alveo è mediamente inciso, contenuto entro scarpate d'erosione relativamente alte, protette da muri in pietra e malta in discreto stato di manutenzione, e presenta una tendenza all'erosione del fondo contrastata dalla soglia a scivolo dell'opera di derivazione e dalla deposizione di materiale al calare delle piene.

Nel tratto medio-superiore del conoide, compreso tra il canale idroelettrico ed il ponte di via XXV Aprile, ex-SS510, il corso d'acqua, data la diminuzione di pendenza rispetto alla forra, è caratterizzato dalla tendenza alla deposizione di materiale in alveo al calare delle piene ed al conseguente innalzamento del fondo e l'alveo si presenta decisamente pensile rispetto alle zone poste esternamente ad esso. La deposizione di materiale avviene principalmente al calare delle piene maggiori mentre nei periodi di morbida e di magra il corso d'acqua tende a rimuovere il materiale in alveo erodendo il fondo. In tutto questo tratto l'alveo è delimitato su entrambe le sponde da muri d'argine in blocchi e malta, localmente in precario stato di conservazione per asportazione del legante cementizio, posti alla sommità di un grosso rilevato d'argine in terra. Con gli interventi recenti del 2012-2013 sono stati realizzati due tratti di scogliera in massi intasati con terra lungo entrambe le sponde nel tratto posto a monte del ponte di via XXV Aprile (ex-SS510) compreso tra il ponte e la briglia situata subito a monte di esso.

In questo tratto sono presenti 4 briglie in blocchi di pietra e calcestruzzo realizzate dopo il 1960 per contenere l'erosione di fondo che probabilmente minacciava di scalzare i muri d'argine. Con il tempo l'erosione ha iniziato a scalzare alla base le briglie ed a valle di ciascuna di esse sono stati realizzati dei tratti di selciato di fondo in grossi massi legati con calcestruzzo che sono stati via via soggetti anch'essi all'erosione. Con l'intervento di sistemazione realizzato di recente si è provveduto alla manutenzione delle tre briglie di valle e dei relativi tratti di selciato mentre la briglia di monte non è stata interessata dai lavori e presenta la gaveta localmente erosa, parte del calcestruzzo della muratura dilavato ed il selciato di fondo a valle di essa fortemente scalzato.

La presenza di queste briglie comporta un notevole innalzamento locale del fondo dell'alveo e la conseguente diminuzione della sezione di deflusso; questo effetto è molto evidente in corrispondenza della briglia posta più a monte dove, per un tratto lungo la sponda destra, il muro di argine è stato sostituito da gabbioni. Nel tratto compreso tra il ponte di via XXV Aprile (ex-SS510) e la seconda briglia a monte, il rilevato di terra presente lungo la sponda sinistra si riduce notevolmente e l'argine è costituito quasi esclusivamente dalla muratura. In occasione di una piena, negli anni '80, lungo questo tratto di sponda si erano verificate delle filtrazioni all'interno del corpo arginale con affioramento di acqua alla base esterna del muro: con i lavori realizzati recentemente, oltre alla

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

pulizia dell'alveo ed alla sistemazione del selciato di fondo fino al lato di valle del ponte, sono stati realizzati dei tratti di scogliera a protezione della base delle due sponde tra il ponte e la prima briglia a monte e nello stesso tratto è stato rialzato il muro d'argine in sponda destra.

La sezione del ponte di via XXV Aprile può essere facilmente ostruita in caso di forte trasporto solido perchè costituita da tre campate alte circa 2 m sorrette da due pile in alveo.

A valle del ponte di via XXV Aprile (ex-SS510) e fino al ponte della ferrovia Brescia-Edolo è ancora presente lungo entrambe le sponde una muratura d'argine in blocchi e malta. Nel tratto compreso tra il ponte di via 25 aprile e la prima briglia posta a valle di esso alla base dei muri d'argine è presente su entrambe le sponde anche un rilevato in terra che è protetto da un muro in calcestruzzo lungo il lato interno e, fino a questa briglia, la muratura d'argine lungo la sponda destra è stata rinforzata e rialzata recentemente. La briglia determina un innalzamento locale del fondo, ma con una riduzione della sezione di deflusso minore di quella provocata dalle briglie poste a monte; con gli interventi recenti è stato sistemato il corpo della briglia ed a valle è stato realizzato un tratto di selciato di fondo in grossi massi intasati con terra per proteggerla dall'erosione alla base. Le murature d'argine continuano verso valle fino alla briglia successiva, che sostiene l'attraversamento a guado di via del Vescovo, e oltre, fino al ponte della ferrovia Brescia-Edolo, poco a monte del quale si trova una soglia di fondo in calcestruzzo in via di erosione. Nel tratto compreso fra la briglia e l'attraversamento della linea ferroviaria l'alveo diventa via via meno pensile fino a trovarsi con una quota del fondo leggermente inferiore rispetto a quella delle zone adiacenti. La briglia in calcestruzzo posta in corrispondenza del guado di via Vescovo determina un notevole innalzamento del fondo ed una riduzione della sezione di deflusso e comporta un'elevata probabilità di esondazione verso entrambe le sponde anche perchè la muratura d'argine si interrompe in corrispondenza del guado, dove sono state predisposte delle scanalature per inserire delle barriere temporanee in caso di piena. A valle del guado, verso il ponte della ferrovia, la larghezza dell'alveo si riduce progressivamente. Il ponte della ferrovia e la soglia posta a monte di esso costituiscono altri due punti critici in quanto presentano sezioni di deflusso molto limitate; i muri di spalla del ponte sono inoltre in via di erosione alla base. Nella parte inferiore del conoide, lungo il tratto compreso tra il ponte della linea ferroviaria ed il ponte della SS42, l'alveo è contenuto da un muro d'argine in blocchi e malta, in precario stato di conservazione per asportazione del legante cementizio, all'esterno del quale è presente un leggero rilevato d'argine in terra. Lungo tutto questo tratto la sezione di deflusso è piuttosto limitata, così come in corrispondenza del ponte della SS42. A valle del ponte della SS42 l'alveo si trova inciso rispetto alle zone esterne e non sono presenti opere, salvo una grossa soglia di fondo in calcestruzzo poco a valle del ponte ed un leggero rilevato d'argine in terra lungo la sponda sinistra, e le sponde sono impostate direttamente nei depositi naturali e soggette ad erosione.

La situazione morfologica del conoide del torrente Re di Gratacasolo è stata rappresentata alla scala 1:4.000 nella Carta Litologica e della Dinamica Geomorfologica (Tavola 2a) ed è stata riportata in forma sintetica nella scheda allegata a fine testo (allegato 4a).

## **2.6. Analisi delle situazioni di criticità**

Sulla base della situazione morfologica e delle opere presenti lungo l'alveo nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, redatto nel 2008, erano state individuate le situazioni critiche rispetto

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

alla possibilità di esondazione in occasione delle piene maggiori o di eventi di colata ed erano state definite le condizioni di pericolosità delle aree di conoide.

Sezioni morfologicamente critiche si riscontrano già nel tratto medio-superiore del conoide, in corrispondenza delle briglie che comportano un innalzamento del fondo con una conseguente riduzione della sezione disponibile al deflusso: in particolare in corrispondenza della briglia posta più a monte, a quota 230 m dove la sommità dell'argine in sponda destra è costituita da gabbioni in cattive condizioni di manutenzione, in parte allentati e svuotati e che potrebbero cedere facilmente, e della terza briglia da monte, a quota 216 m dove la riduzione di sezione è maggiore. A partire da queste sezioni un'eventuale esondazione avverrebbe verso la sponda destra, perché la sponda sinistra è più alta, con deflusso delle acque o delle frazioni liquide principalmente lungo l'asse di via Torre, via Dante e via Alfieri, in direzione sub-parallela all'alveo fino a via XXV Aprile, disposta trasversalmente al conoide, e da qui proseguirebbe oltre disperdendosi lungo le strade poste più a valle.

Al passaggio dal tratto medio-superiore al tratto medio-inferiore del conoide un'altra situazione critica è rappresentata dalla sezione del ponte di via XXV Aprile, ex-SS510, che potrebbe essere facilmente ostruita in caso di forte trasporto solido o di materiale fluitato perché costituita da tre campate alte circa 2 m e della larghezza di circa 6,7, 8 e 8 m, separate da due pile in alveo della larghezza di circa 1 m. In caso di esondazione a partire da questa sezione le frazioni fuoriuscite possono espandersi sia in destra sia in sinistra deviando via via nelle aree e lungo le strade poste a valle: principalmente lungo via Carducci e secondariamente in via Castrino in sinistra e lungo la stessa via XXV Aprile e le vie a valle di essa in destra.

Altra sezione critica è rappresentata dal guado di via Vescovo, a quota 202 m al termine del tratto medio-inferiore, dove la briglia che sostiene il guado determina una forte riduzione della sezione accentuata dall'interruzione degli argini in corrispondenza della strada, sia pure con delle scanalature fatte per inserire delle tavole di legno e ripristinare la continuità arginale, favorendo in questo modo l'esondazione sia in destra sia in sinistra.

Più a valle, nel tratto distale, le sezioni critiche sono rappresentate dal ponte della ferrovia, caratterizzato da una sezione di deflusso molto limitata e posto al termine di un tratto lungo il quale si ha un progressivo e notevole restringimento della larghezza dell'alveo, e da tutto il tratto terminale del torrente dove l'alveo presenta altezze e larghezze molto limitate e si riduce la pendenza del fondo.

Altre situazioni critiche erano legate allo stato di manutenzione degli argini in muratura di pietra e malta che in alcuni tratti si presentavano con parti di calcestruzzo dilavato o ammalorato e che in caso di piena avrebbero potuto dar luogo a fenomeni di filtrazione ed al limite essere danneggiati fino a provocare l'esondazione per sfondamento. I tratti di argine nelle condizioni di manutenzione peggiori si trovavano in sponda sinistra, tra la prima e la seconda briglia a monte del ponte di via XXV Aprile e nel tratto posto a monte della briglia di quota 205 m.

Le situazioni critiche lungo il conoide e la perimetrazione delle pericolosità sono stati rivisti in questa sede in seguito agli interventi eseguiti con i recenti lavori di sistemazione nel 2010-2013.

Gli interventi eseguiti sul conoide del torrente Re di Gratacasolo sono consistiti in:

- svaso dell'alveo in tutto il tratto medio-superiore e medio-inferiore, dalla prima briglia da monte, a quota 230 m, fino al guado di via Vescovo a quota 202 m;



Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

- manutenzione delle briglie di quota 220 m, 216 m, 212 m e dei tratti di selciato di fondo posti a valle di esse;
- manutenzione della briglia di quota 205 m e realizzazione di un tratto di selciato di fondo in grossi massi a secco a valle di essa;
- realizzazione di una scogliera in grossi massi intasati con terra a protezione della base di entrambe le sponde nel tratto compreso tra la briglia di quota 212 m ed il ponte di via XXV Aprile e sovrizzo dell'argine in pietra e malta in sponda destra nel medesimo tratto;
- realizzazione di un tratto di scogliera di massi intasati con terra a secco a protezione della rampa di accesso all'alveo posta in sponda destra subito a valle del ponte di via XXV Aprile;
- sistemazione dell'area situata in sponda destra subito a valle del ponte di via XXV Aprile in modo da favorire il rientro in alveo di eventuali acque di esondazioni fuoriuscite alla sezione di monte del ponte e realizzazione di un tratto di argine in sponda destra sempre per favorire il rientro delle acque in alveo;
- consolidamento e sovrizzo del muro d'argine della sponda destra tra il ponte di via XXV Aprile e la briglia di quota 205 m.

Gli interventi eseguiti hanno portato una riduzione delle condizioni di pericolosità rispetto ai fenomeni alluvionali che possono interessare il tratto intermedio del conoide del torrente Re. Lo svasso dell'alveo e la sistemazione delle briglie a monte del ponte di via XXV Aprile hanno migliorato le condizioni di deflusso delle acque e ridotto la possibilità di fuoriuscita a partire dalle sezioni critiche delle briglie. Lo svasso e la sistemazione del selciato di fondo subito a monte ed in corrispondenza del ponte hanno migliorato le condizioni di deflusso in caso di piena e ridotto di conseguenza la probabilità di esondazione alla sezione del ponte che rimane però ancora critica nel caso di forte trasporto solido in ragione dell'altezza non eccessiva e della presenza delle pile in alveo. Nel caso di esondazione a partire dalla sezione del ponte la sistemazione delle aree esterne alla sponda destra non ha influenza sul deflusso delle acque lungo via XXV Aprile mentre diminuisce di un poco la possibilità che le acque raggiungano le abitazioni poste in prossimità della sponda, favorendo il rientro in alveo di una parte di esse.

Per il resto rimangono le criticità descritte precedentemente e già individuate nello studio geologico relativo al PGT.

Le situazioni di criticità emerse dall'analisi morfologica sono state confrontate anche con una verifica idraulica indicativa fatta in condizioni di moto uniforme, riportata in allegato a fine testo (allegato 5). La verifica idraulica evidenzia un franco relativamente ridotto per le sezioni delle briglie presenti a monte del ponte di via XXV Aprile ed in particolare per la terza briglia da monte, dove la sezione risulta insufficiente. Dalla verifica risulta sufficiente la sezione complessiva del ponte di via XXV Aprile, dove in effetti la criticità è legata alla presenza delle pile del ponte che la suddividono in sottosezioni, mentre si confermano insufficienti le sezioni dell'attraversamento a guado di via Vescovo, dell'attraversamento della ferrovia e del tratto di alveo compreso tra il ponte della ferrovia ed il ponte della SS42.

Le vie preferenziali di deflusso delle acque di esondazione lungo il conoide a partire dalle sezioni d'alveo potenzialmente critiche sono state rappresentate nella Carta Litologica e della Dinamica Geomorfologica (Tavola 2a) differenziandole in due ordini di probabilità, maggiore e minore.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

### **2.7. Zonazione della pericolosità**

Sulla base delle considerazioni espresse relativamente alla riduzione della pericolosità apportata dagli interventi eseguiti sul conoide del torrente Re di Gratacasolo la perimetrazione delle aree potenzialmente interessate da fenomeni di esondazione e di colata è stata modificata solo in parte rispetto alla situazione precedente alla realizzazione degli interventi e limitatamente al tratto intermedio del conoide, a valle di via XXV aprile. Tenendo conto del miglioramento delle condizioni di deflusso alla sezione del ponte e nei tratti posti a monte ed a valle di esso e della sistemazione della base del muro d'argine in sponda sinistra nel tratto a monte del ponte, che portano ad una diminuzione della portata in caso di esondazione e ad una riduzione della probabilità di rottura dell'argine, è stata ridotta l'ampiezza della fascia assegnata alla classe di pericolosità H4 in sponda sinistra, riassegnandone una striscia esterna alla classe di pericolosità H3 nel tratto compreso tra la prima via posta a valle di via XXV Aprile ed il tracciato della ferrovia.

Per il resto è stata mantenuta invariata la perimetrazione contenuta nello studio relativa alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT redatto nel 2008.

La nuova perimetrazione della pericolosità è stata rappresentata nella Carta di Sintesi sia sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 (Tavola 4) sia sulla carta topografica alla scala 1:2.000 (Tavola 5a) allegate allo studio.

Conseguentemente alla modificazione della pericolosità per l'area interessata sono state variate la valutazione della fattibilità geologica e la classificazione secondo le voci della legenda della carta delle aree in dissesto del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) per cui l'area declassata è stata assegnata alla classe di fattibilità 3 ed alla voce Cn della legenda PAI secondo le indicazioni contenute nella d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

La situazione aggiornata della fattibilità è stata rappresentata nella Carta di Fattibilità, sia sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 (Tavola 6) sia sulla carta topografica alla scala 1:2.000 (Tavola 7a) allegate allo studio, mentre la situazione relativa alle voci della legenda PAI è stata aggiornata nella Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici (Tavola 8).

### **3. Conoidi del settore di versante compreso tra Valle Pelucco e Val Roncaglia**

Il settore di versante posto a monte dell'abitato di Pian Camuno e compreso tra la Valle Pelucco e la Val Roncaglia è interessato da una serie di fenomeni franosi legati a deformazioni gravitative profonde di versante ed è stato oggetto di una perimetrazione della pericolosità fatta dallo scrivente nell'ambito dello studio relativo alla "Perimetrazione e zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98 - Comune di Pian Camuno - Versante tra T. Pelucco e Val Roncaglia" (1999). La perimetrazione della pericolosità, "Scheda 034 LO BS - Roncaglia Pelucco" nell'Allegato 4.1 del PAI comprendeva sia le zone direttamente in frana sia le zone dei conoidi posti a valle delle linee di impluvio che solcano il versante in frana.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

Recentemente si sono conclusi i lavori relativi agli "Interventi di regimazione idraulica Val Pelucco e completamento della frana in località Roncaglia - Valle Pelucco (L. 03/08/1998 n. 267 - Programma 2001).

Gli interventi realizzati sono consistiti sostanzialmente nella formazione di una vasca di deposito in corrispondenza dei conoidi delle due linee di impluvio della Valle del Fossato e della valle posta ad est di essa, denominate rispettivamente come fosso A e fosso B nello studio del 1999 e Valzello 2 e Valzello 1 in questo studio. La vasca è stata posizionata nel tratto mediano dei conoidi, subito a monte del canale idroelettrico coperto che decorre alla base del versante alla quota di circa 246 m, e lungo il lato di valle della vasca è disposta una griglia che intercetta le acque provenienti dalle due linee di impluvio e le convoglia nel canale idroelettrico.

### **3.1. Analisi storica**

Per quanto riguarda gli eventi di carattere alluvionale che hanno interessato in passato le due linee di impluvio in esame si è fatto riferimento diretto allo studio geologico precedente nel quale erano stati riportati i dati che vari autori, soprattutto Franzoni ( Franzoni O., 1988), hanno ricavato dalle fonti storiche. Gli eventi relativi ai due impluvi sono i seguenti.

- Valle del Fossato (Valzello 2) - 17-18 settembre 1960 - colata detritico-fangosa - 1 vittima; lesioni parziali e abbattimento di edifici; intasamento del canale idroelettrico; strade invase dalle acque e dal materiale detritico.
- Impluvio ad est della Val del Fossato (Valzello 1) - autunno 1966 - colata detritico-fangosa - la massa di fango e detriti ha raggiunto l'abitato; strade invase dalle acque e dal materiale detritico.

### **3.2. Analisi geologica e geomorfologica dei bacini**

#### Aspetti litologici.

Le due linee di impluvio in esame si trovano nella parte inferiore del versante sinistro della Val Camonica compreso tra la Valle Pelucco e la Val Roncaglia.

La situazione litologica del tratto di versante in esame è stata rappresentata alla scala 1:4.000 nella Carta Litologica e delle Dinamica Morfologica allegata allo studio (Tavola 2b).

Dal punto di vista litologico il versante è impostato quasi interamente nelle rocce della formazione dei Micascisti del Maniva e solo alla sommità compare la formazione del Verrucano Lombardo.

I Micascisti del Maniva sono rappresentati principalmente da micascisti muscovitici con biotite e subordinata clorite, da micascisti muscovitico-biotitico-cloritici a localmente granatiferi e localmente da paragneiss biotitico-cloritici o a due miche. Gli ammassi rocciosi sono in genere molto fratturati e si rilevano spesso settori cataclasati o milonitizzati anche perchè sul versante in esame il substrato roccioso è interessato da deformazioni gravitative profonde e da fenomeni franosi minori ad esse associati. La roccia cataclasata si presenta completamente ed intensamente fratturata, facilmente disgregabile in frammenti minuti e con un comportamento geotecnico molto debole, comparabile a quello di una terra poco coesiva. La roccia milonitizzata, oltre all'intensa fratturazione, è caratterizzata da una parziale ricristallizzazione con la comparsa di minerali di neof ormazione, in particolare grafite e talco che rendono untuose le superfici, e minerali delle argille che rendono la compagine fortemente

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

sensibile alle variazioni del contenuto d'acqua, dura e coerente in condizioni asciutte e plastica in condizioni umide.

Roccia milonitizzata compare spesso tra le quote di 470 e 510 m circa ovvero nella parte superiore del tratto più inciso della Valle del Fossato e nella fascia della testata del valle posta ad est di essa

Nel settore di versante in esame la roccia è affiorante o subaffiorante solo nei tratti più acclivi, soprattutto lungo i fianchi delle linee di impluvio, mentre per il resto è coperta da coltri di depositi superficiali rappresentati da depositi glaciali, detritici di versante e soprattutto corpi o accumuli di frana coperti da un orizzonte eluvio-colluviale.

I depositi glaciali sono rappresentati principalmente da diamicton, ovvero da blocchi, ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia, limo e argilla, da poco a leggermente consolidati e compaiono in lembi più o meno potenti nelle zone meno acclivi del versante.

I depositi detritici di versante sono nel complesso poco diffusi e compaiono alla base delle pareti rocciose presenti lungo i fianchi delle linee di impluvio e nei tratti più acclivi del versante, al raccordo con i ripiani di frana della zona di Comignane. Sono depositi sciolti, a supporto clastico o di matrice, costituiti da clasti a spigoli vivi di dimensioni relativamente contenute, principalmente piccoli blocchi e ciottoli.

I depositi superficiali più diffusi sul settore in esame sono rappresentati da sedimenti di origine eluviale e colluviale, derivanti rispettivamente dall'alterazione in posto del substrato roccioso e dalla mobilitazione del materiale eluviale da parte della gravità e delle acque di ruscellamento. In questa sede sono stati associati ai depositi eluvio-colluviali anche gli accumuli ed i corpi di frana in terra relativamente superficiali che sono in genere coperti da depositi eluvio-colluviali e che hanno una composizione granulometrica generalmente simile. I depositi eluvio-colluviali sono sedimenti sciolti, da poco a non addensati, costituiti da abbondante matrice di sabbia, limo e argilla con poca ghiaia e rari ciottoli e blocchi. Gli accumuli ed i corpi di frane in terra sono costituiti da blocchi con ciottoli e ghiaia con una matrice più o meno abbondante analoga a quella dei sedimenti eluvio-colluviali. I depositi eluvio-colluviali costituiscono delle coltri prevalentemente discontinue e poco potenti nei tratti più acclivi del versante, dove ricoprono direttamente il substrato roccioso più o meno alterato e fratturato o settori di corpi di frana in roccia, mentre diventano continue e relativamente potenti nei tratti meno acclivi dove ricoprono in genere gli accumuli o i corpi di frana in terra che invece presentano spessori variabili da pochi m a qualche decina di metri.

#### Aspetti morfologici.

Il versante sinistro della Val Camonica nel tratto che comprende le linee di impluvio in esame è interessato da fenomeni gravitativi profondi che si estendono dalla base fino alla sommità ed ai quali sono associati numerosi fenomeni franosi minori.

La situazione morfologica del tratto di versante in esame e dei conoidi delle due linee di impluvio è stata rappresentata alla scala 1:4.000 nella Carta Litologica e delle Dinamica Morfologica allegata allo studio (Tavola 2b) ed i principali elementi di carattere morfologico sono riportati in forma sintetica nelle schede a fine testo (allegati 4b e 4c).

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

I fenomeni gravitativi profondi interessano a vari livelli il substrato roccioso con profondità che variano da 50-70 m fino a 150-200 m e consistono in fenomeni di colata (o flusso o creep) legati ad un comportamento degli ammassi rocciosi di tipo viscoso con movimenti distribuiti su più superfici di scorrimento in genere coincidenti con linee di debolezza di tipo litologico, scistosità o variazioni di composizione, o soprattutto di tipo tettonico come fasce cataclasate o milonizzate.

La deformazione della compagine rocciosa è relativamente limitata dove l'ammasso roccioso è contenuto lateralmente e le condizioni di tensione si mantengono sostanzialmente in un campo di creep primario o secondario, mentre è maggiore dove manca il contenimento e si ha rilascio tensionale, come avviene al piede degli ammassi in frana.

La forma di questi fenomeni franosi è complessa, con movimenti che interessano spesso l'intero versante, dalla base alla sommità, e con una suddivisione del corpo di frana in un mosaico di settori a diverso grado di deformazione. La suddivisione in corpi minori si rileva in senso longitudinale e trasversale al corpo di frana, ma anche nel senso dello spessore, con movimento differenziale tra coperture superficiali e substrato o all'interno dello stesso substrato in relazione al diverso grado di fratturazione e di alterazione.

La presenza di zone di rilascio tensionale alla base ed ai fianchi dei corpi di frana maggiori, spesso anche in corrispondenza della scarpata principale o delle scarpate secondarie e dei fianchi che delimitano i vari settori, favoriscono inoltre l'innescò di una serie di fenomeni minori di degradazione o di frana. Si hanno infatti forme di erosione da ruscellamento diffuso o concentrato o frane di diversa tipologia in ragione della struttura locale dell'ammasso roccioso o dei terreni, con fenomeni franosi per colata e scivolamento in terra, cataclasi e miloniti, e fenomeni di crollo, scorrimento e ribaltamento negli ammassi rocciosi fratturati.

I fenomeni franosi si sono sviluppati per riequilibrare lo stato tensionale del versante modificato in seguito alla rimozione di sostegno al piede operata del ghiacciaio, prima con l'escavazione e poi con il suo ritiro, e successivamente ad opera dei corsi d'acqua.

La velocità di deformazione dei fenomeni è generalmente lenta. Le conoscenze attuali dei fenomeni presenti nel territorio di Pian Camuno consentono solo di avanzare delle ipotesi sulle modalità di movimento. Alcuni fenomeni franosi, o almeno alcuni settori di essi, sono caratterizzati da movimenti relativamente continui sia pure con variazioni di velocità, come risulta dalle osservazioni delle immagini radar da satellite e dalle evidenze di terreno, mentre altri fenomeni sembrano caratterizzati da un'alternanza di periodi di stasi, anche lunghi, e periodi relativamente brevi di attività. I periodi di attività o comunque le variazioni della velocità di deformazione sono in relazione alle modificazioni dello stato tensionale che si succedono nel tempo indotte da diverse cause:

- per l'evoluzione dei fenomeni stessi e per l'attività dei fenomeni erosivi e franosi minori, che portano ad una modificazione della geometria del versante;
- per le variazioni del grado di saturazione e del regime delle pressioni dell'acqua nei terreni e negli ammassi rocciosi;
- per le variazioni della resistenza al taglio di terreni e rocce, in particolare delle miloniti, connesse a fenomeni di alterazione e soprattutto a variazioni del contenuto d'acqua.

La dinamica di questi fenomeni è pertanto direttamente condizionata dall'andamento delle precipitazioni e subisce delle accelerazioni o delle riattivazioni in occasione di periodi di forti precipitazioni.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

L'evoluzione di questi fenomeni franosi è stata accompagnata negli anni 1960 e 1966 da fenomeni di colata lungo le due linee di impluvio in esame e lungo la vicina Val Pelucco.

In seguito a questi fenomeni il canale idroelettrico che decorre alla base del versante, originariamente scoperto, è stato coperto e sono state eseguite sistemazioni con briglie e soglie lungo i corsi d'acqua, mentre nel settore intermedio del versante, per ridurre i fenomeni erosivi e di frana presenti lungo il corso del Pelucco, è stato realizzato un canale di gronda in calcestruzzo, tra le quote di circa 645 m e 619 m, per convogliare le acque del Pelucco nella Val Roncaglia.

Successivamente l'evoluzione dei fenomeni franosi ha portato ad evidenti deformazioni lungo il versante, soprattutto nella parte inferiore del settore compreso tra la Val Roncaglia e la Valle del Fossato. In particolare si ricordano gli abbassamenti delle sedi stradali nelle località di Braff e Polentù e le lesioni da movimento differenziale, con movimento verso il basso del settore in sponda sinistra, delle briglie presenti lungo la Valle del Fossato.

In seguito a questi eventi nel 1994 è stata condotta un'indagine geologica (Indagine geologica sul versante compreso tra la Val Roncaglia e il torrente Pelucco; GEOCAM, 1994.) Nel corso dell'indagine sono stati eseguiti 7 sondaggi geognostici a diverse quote lungo il versante e spinti a profondità comprese fra 17 e 33 m e sono state condotte (1993-1994) delle misure piezometriche ed inclinometriche in strumenti posizionati in alcuni dei fori di sondaggio. Le misure eseguite hanno messo in evidenza le condizioni critiche di stabilità dell'intero versante, interessato da scivolamenti con superfici relativamente profonde (nel substrato fratturato e milonitizzato) e scivolamenti in seno alla copertura detritica a frazione fine (sabbioso-limosa) prevalente ed una certa correlazione tra movimenti e variazioni del livello piezometrico.

Sulla base dell'indagine sono stati condotti due interventi (*Progetto di bonifica versante in località Val Roncaglia-Val Pelucco in comune di Pian Camuno. Interventi di salvaguardia, miglioramento e valorizzazione delle superfici agro-forestali misura 1.9 5b reg. cee 2081/93 - Comunità Montana di Valle Camonica.* - Lavori di consolidamento versante in Valle Roncaglia in comune di Pian Camuno. Interventi di competenza della Regione e degli enti locali da realizzare a seguito degli eventi alluvionali dell'anno 1994. Legge 30 giugno 1995, n.265 - art.30 - Comunità Montana di Valle Camonica) finalizzati alla manutenzione del canale di gronda, interessato da lesioni e conseguenti perdite, alla realizzazione di drenaggi suborizzontali per la stabilizzazione di due tratti di versante interessati dai dissesti, a monte di Polentù ed alla base del versante, con recapito delle acque drenate nella Val Roncaglia.

Nel 1999 il settore di versante tra Val Roncaglia e Val Pelucco è stato inserito dalla Regione Lombardia tra le aree a rischio idrogeologico molto elevato relative alla L. 267/98 (Perimetrazione e zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98 - Comune di Pian Camuno - versante tra Torrente Pelucco e Val Roncaglia - Geo.Te.C., 1999). Lo studio, al quale si rimanda per i dettagli, ha portato ad una perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato - Zona 1 e 2 - inserite nella cartografia del PAI ed è stato propedeutico alla individuazione di interventi di sistemazione e di indagine e monitoraggio finanziati nell'ambito della L. 267/98 dei quali è stata recentemente completata la prima fase.

Le deformazioni superficiali legate all'attività dei fenomeni franosi per deformazione gravitativa profonda presenti in questo settore del versante della Val Camonica sono state confermate dalle rilevazioni da satellite SAR (tecnica PS) condotta su immagine radar relative al periodo 1993-2000 da parte del Politecnico di Milano in alcune aree della Val Camonica per conto della Struttura rischi idrogeologici della Regione Lombardia.

In occasione dei periodi di precipitazioni prolungate degli anni 2000 e 2002 si sono nuovamente evidenziate localmente, nei settori più attivi, lesioni a manufatti, sprofondamenti del terreno e innesco di fenomeni franosi, scivolamento e crollo, di piccole dimensioni associate alle deformazioni maggiori. Altre deformazioni si sono notate in occasione delle piogge del 2010.

La situazione morfologica del versante posto a monte di Pian Camuno può essere caratterizzata da ulteriori movimenti delle frane profonde, principalmente per riattivazione in seguito a periodi di piogge prolungate piuttosto che intense. Le modalità di deformazione, in riferimento alle notizie storiche e, soprattutto, in relazione all'assetto morfologico dell'area, non sembrano portare a fenomeni di collasso repentini delle intere masse in frana, ma sembra che i fenomeni gravitativi profondi procedano con velocità di deformazione relativamente lenta nel complesso, accompagnati da fenomeni a scala minore, che possono invece avere un'evoluzione rapida, per scivolamento o colata di roccia debole o di terre e per scorrimento di roccia fratturata.

Le deformazioni lente possono provocare lesioni di varia intensità alle strutture esistenti, soprattutto quelle poste in corrispondenza o in prossimità delle zone di svincolo, al piede, lungo i fianchi o le scarpate principali o secondarie, e, in ragione della situazione morfologica, sono in grado di interessare con diversa intensità l'intero versante, dalla base fino alla sommità del Monte Rotondo.

I fenomeni minori lo sono solo a scala relativa e comprendono una serie di forme che vanno da piccoli fenomeni di caduta di blocchi o scivolamento fino a frane di scivolamento o colata sul versante o incanalate lungo le linee di impluvio, soprattutto alla base del versante, che possono coinvolgere volumetrie significative e costituire una minaccia per l'abitato sottostante.

Linea di impluvio posta a est della valle del Fossato (Valzello 1 - Fosso B)

Questa linea di impluvio è disposta secondo il fianco destro della parte più esterna del settore di frana che interessa il tratto di versante a valle della zona di Comignane e si è accentuata nel 1966 quando lungo di essa si è verificato un fenomeno di colata detritica che a partire dalla zona della testata, con un volumetria dell'ordine di 3.000 m<sup>3</sup>, ha raggiunto la base del versante. In seguito all'evento sono state realizzate dal Genio Civile delle opere per contenere i fenomeni di erosione e di degradazione lungo l'impluvio ed per impedire l'innesco e la propagazione di nuove colate: in particolare sono state realizzate delle briglie e delle difese di sponda in gabbioni. La linea di impluvio prende evidenza dalla quota di circa 510 m, dove raccoglie le acque di due solchi di ruscellamento che si originano nella zona di Comignane da una quota non superiore a 620-650 m mentre più a monte la situazione idrografica è piuttosto complicata sia per l'assetto topografico legato ad una serie di scarpate, ripiani e nicchie di frane sia per la presenza di strade e sistemi di drenaggio che modificano il percorso delle acque di ruscellamento.

Da 500 a 420 m circa e da 390 m fino a 260 m circa, alla base del versante, la linea di impluvio mostra due tratti ripidi in corrispondenza dei quali è bene incisa mentre nel tratto intermedio, dove la pendenza è minore, è

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

presente un vecchio lobo di colata e l'alveo è poco inciso ed è in questo tratto che sono stati sistemati dei gabbioni lungo le sponde per impedire all'acqua di esondare.

Nella situazione attuale le opere presenti lungo la linea di impluvio sono in condizioni di manutenzione da discrete ad accettabili e solo nei tratti più ripidi si osservano delle lesioni dovute all'erosione mentre per il resto mostrano principalmente segni di degradazione legati all'usura da parte degli agenti atmosferici o della vegetazione infestante e localmente delle deformazioni legate alla degradazione dei fianchi. Il corso d'acqua che percorre l'impluvio ha un regime temporaneo, con deflusso principalmente in occasione delle piogge anche se sono presenti alcune sorgenti temporanee lungo il fianco destro alla quota di 420-430 m, a valle del tratto ripido superiore, ed una sorgente alla quota di circa 540 m, poco a monte della testata. Altre sorgenti sono presenti in prossimità dell'impluvio alla base del versante.

I fenomeni di erosione incanalata sono evidenti soprattutto nel tratto superiore e nel tratto inferiore dell'impluvio, dove le scarpate dei fianchi sono soggette ad erosione alla base ed a fenomeni di degradazione da parte della gravità e delle acque di ruscellamento. Poco a monte della zona della testata i due solchi di ruscellamento, che a partire dalla quota di circa 510 m danno origine alla linea di impluvio, scorrono per un tratto subparalleli alla direzione del versante lungo due fessure di trazione impostate nel substrato roccioso.

La presenza di fenomeni di erosione lungo il fondo e di forme di erosione da ruscellamento e di degradazione lungo i fianchi dell'impluvio e la possibilità che l'evoluzione delle deformazioni gravitative profonde comporti, se non il verificarsi di fenomeni franosi in corrispondenza dei fianchi o della testata, anche solo un maggior rilascio tensionale degli ammassi rocciosi può portare, in occasione di piogge intense o prolungate, all'insorgere di nuovi fenomeni di colata in grado di raggiungere il fondovalle.

#### Valle del Fossato (Valzello 2 - Fosso A)

La Valle del Fossato è una linea di impluvio bene incisa e molto ripida, impostata principalmente nel substrato roccioso e disposta secondo il fianco destro del settore di frana che interessa la parte inferiore del versante compreso tra di essa e la Val Roncaglia. Nel 1960 la Valle del Fossato è stata interessata da una colata detritica che si è originata a partire dalla zona della testata e che ha percorso tutto l'impluvio fino al fondovalle dove si è espansa raggiungendo il canale idroelettrico a cielo aperto che decorre poco a valle della base del versante causandone la tracimazione e generando un'ondata di acqua e fango che si è riversata sull'abitato provocando danni e la morte di una persona.

In seguito all'evento sono stati realizzati lungo l'alveo degli interventi di sistemazione costituiti da briglie in muratura e in gabbioni ed il canale idroelettrico è stato coperto. Attualmente le briglie sono in buona parte lesionate, soprattutto quelle poste nel tratto superiore dell'impluvio, con fratture che evidenziano una significativa tendenza al movimento verso valle dell'intero fianco sinistro, e solo la briglia posta alla quota di 300 m circa è stata sistemata e consolidata con tiranti di ancoraggio nel corso degli interventi recenti.

La linea di impluvio prende origine alla quota di circa 560-580 m, in corrispondenza della scarpata principale del fenomeno franoso che interessa il settore di versante posto a valle di Comignane, mentre più a monte la situazione idrografica è piuttosto complicata sia per l'assetto topografico legato ad una serie di scarpate, ripiani e



Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

nicchie di frane sia per la presenza di strade e sistemi di drenaggio che modificano il percorso delle acque di ruscellamento.

La linea è sempre bene incisa ed impostata nel substrato roccioso, prevalentemente subaffiorante nel tratto inferiore e spesso affiorante nel tratto superiore, dove gli ammassi rocciosi sono in genere molto fratturati o cataclasati.

Il corso d'acqua che percorre l'impluvio ha un regime temporaneo, con deflusso principalmente in occasione delle piogge anche se sono presenti delle sorgenti sia nel tratto inferiore sia nel tratto superiore.

La sorgente presente nella parte superiore dell'impluvio, alla quota di circa 500 m, è captata dall'acquedotto comunale.

Le opere realizzate lungo l'impluvio hanno consentito di ridurre notevolmente l'erosione al fondo ed alla base dei fianchi dell'incisione, ma sono proseguiti localmente i fenomeni di degradazione della parte media e superiore dei fianchi, con forme di reptazione intensa, erosione da ruscellamento e piccole frane per scorrimento nei depositi superficiali e nel substrato roccioso alterato e con forme di scorrimento e di crollo nel substrato roccioso fratturato. Queste situazioni sono in legate anche al procedere delle deformazioni profonde, rispetto alle quali la valle del Fossato è disposta lungo il fianco destro del settore più attivo dei fenomeni franosi che interessano la zona di Comignane. La testimonianza diretta dell'attività dei fenomeni è rappresentata dalle lesioni riportate dalle briglie presenti lungo la valle che in molti casi sono legate ad un movimento verso valle del fianco sinistro dell'impluvio. Legate alle deformazioni profonde sono anche le fessure di trazione presenti a monte dei fianchi in prossimità della testata dell'impluvio.

La presenza di fenomeni di degradazione lungo i fianchi e la possibilità che l'evoluzione delle deformazioni gravitative profonde comporti, se non il verificarsi di fenomeni franosi in corrispondenza dei fianchi o della testata, anche solo un maggior rilascio tensionale degli ammassi rocciosi può portare, in occasione di piogge intense o prolungate, all'innescò di nuovi fenomeni di colata in grado di raggiungere il fondovalle.

### **3.3. Analisi idrologica**

#### Portata critica

Per quanto riguarda la valutazione della portata liquida critica delle due linee di impluvio in esame in questa sede, come per il torrente Re di Gratacasolo, si è fatto riferimento ad alcuni metodi proposti in letteratura ed in particolare al metodo di Giandotti, al metodo di Giandotti perfezionato da Visentini ed ai metodi della portata indice e della formula razionale con le elaborazioni proposte da Bacchi, Armanelli e Rossini. Per la stima della pioggia critica si è fatto riferimento ai parametri udometrici della stazione meteorologica di Breno che per la posizione risulta più rappresentativa di altre della situazione dell'area in esame. In ragione delle ridotte dimensioni dei bacini idrografici direttamente sottesi le valutazioni sono indicative e tendono ad essere relativamente conservative e, come nello studio del 2003, in questa sede si è ritenuto di assumere come rappresentativi della portata liquida i valori ricavati con il metodo della portata indice, pari a 2,1 e 3,6 m<sup>3</sup>/s per eventi con tempo di ritorno di 200 anni e rispettivamente per la Valle del Fossato e per l'impluvio posto ad est.

Le espressioni utilizzate ed i calcoli relativi sono riportati in allegato a fine testo (allegato 1).

### 3.4. Stima dei volumi mobilizzabili - Magnitudo

In riferimento alla possibilità, messa in evidenza dalla rispettiva situazione morfologica, che entrambe le linee di impluvio in esame siano interessate da fenomeni di colata è stata fatta una stima della quantità di materiale che potrebbe essere mobilizzata in occasione di tali eventi. La valutazione condotta in questa sede sulla base dei metodi di uso comune esistenti in letteratura che propongono delle formule basate sulle caratteristiche morfometriche del bacino e del conoide, sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del bacino e sul grado di dissesto al suo interno, concorda sostanzialmente con le considerazioni fatte dallo scrivente nell'ambito dello studio relativo alla L. 267/98 e riprese nel 2008 nello studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT.

I valori di magnitudo stimati in questa sede sono riportati in sintesi nella seguente tabella mentre in allegato a fine testo (allegato 2) sono riportate le formule proposte dai metodi utilizzati ed i relativi calcoli.

	Valle ad est	Valle del Fossato	
Rickermann & Zimmerman (1997)	12.202	33.300	m <sup>3</sup>
Hampel (1977)	11.638	4.814	m <sup>3</sup>
Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	8.469	13.010	m <sup>3</sup>
Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	14.277	11.704	m <sup>3</sup>
D'Agostino et al. (1996)	13.860	9.829	m <sup>3</sup>
D'Agostino et al. (1996)	12.794	9.073	m <sup>3</sup>
Takei (1984)	5.724	3.712	m <sup>3</sup>
Kronfellner-Kraus (1984-1985)	13.147	7.705	m <sup>3</sup>
Kronfellner-Kraus (1984-1985)	6.182	3.621	m <sup>3</sup>
Bianco (1999)	19.495	14.522	m <sup>3</sup>
<i>media</i>	11.779	11.129	m <sup>3</sup>
<i>media escludendo valori estremi massimo e minimo</i>	11.571	9.296	m <sup>3</sup>

Come negli studi precedenti anche in questa sede si è fatto riferimento ai valori medi per avere una valutazione a livello indicativo.

Sulla base dei valori di magnitudo è stata fatta una valutazione indicativa della capacità di espansione dei fenomeni di colata che possono interessare le due linee di impluvio in esame. La valutazione è stata condotta con la metodologia empirica proposta da Takahashi per calcolare la distanza di arresto, a partire dall'apice del conoide, di un'eventuale colata di entità pari alla magnitudo stimata.

I calcoli relativi sono riportati in allegato a fine testo ed i risultati ottenuti evidenziano che nel caso di un'espansione lineare si ha una distanza di arresto della colata dell'ordine di 150 m (allegato 3b) a partire dall'apice per l'impluvio posto ad della Valle del Fossato (Valzello 1), ovvero in grado di raggiungere via don Gelmi, e dell'ordine di 320 m (allegato 3c) per la Valle del Fossato, ovvero in grado di raggiungere le prime case poste a valle di via don Gelmi. Se si considera, come più probabile in riferimento alla situazione topografica, un'espansione su una superficie che si apre quasi a ventaglio le distanze di arresto si riducono a 63 m per la Valle ad est della Valle del Fossato, ovvero quasi a lambire la casa posta più a monte di via don Gelmi, ed a circa

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

85 m per la Valle del Fossato, ovvero, considerando la deposizione a partire dal cambio di pendenza determinato dalla vasca di accumulo realizzata recentemente, a lambire le case poste lungo il lato di monte di via don Gelmi.

Interventi eseguiti recentemente

Le due linee di impluvio in esame sono state interessate recentemente, nel 2012-2013, dai lavori relativi agli "interventi di regimazione idraulica val Pelucco e completamento della frana in località Roncaglia - Valle Pelucco" nell'ambito dei finanziamenti relativi alla Legge 3 agosto 1998 n. 267, Programma 2001.

*Opere realizzate.* I lavori sono consistiti in un primo stralcio comprendente la sistemazione del canale di gronda che decorre lungo il versante tra le quote di 645 e 619 m circa e che deriva le acque dalla Val Pelucco per recapitarle nella Val Roncaglia e la realizzazione di una vasca di accumulo allo sbocco sul fondovalle della Valle del Fossato; sono state inoltre consolidate alcune delle briglie presenti lungo le linee di impluvio ed in particolare la briglia situata nella Valle del Fossato alla quota di circa 302 m.

La vasca di accumulo realizzata a piede del versante in corrispondenza della Valle del Fossato e dell'impluvio posto ad est di essa si trova subito a monte del canale idroelettrico coperto ed è costituita da un vallo contenuto da un rilevato. Il vallo è stato ottenuto in parte con una leggera escavazione del conoide della Valle del Fossato e in parte riportando il materiale scavato a formare un rilevato a ridosso del lato di monte del canale idroelettrico. Lungo il lato di monte del rilevato è stato disposto un manufatto in calcestruzzo armato in modo da evitare che le colate in arrivo trasmettano spinte alla struttura del canale idroelettrico; il manufatto è munito di una griglia metallica filtrante lungo il lato rivolto verso il vallo in modo da arrestare il grosso del materiale solido permettendo il passaggio della frazione più liquida e consentendole il deflusso verso valle; in condizioni ordinarie le acque in arrivo sono convogliate nel canale idroelettrico.

Secondo gli elaborati di progetto la capacità di invaso della vasca è dell'ordine di 18.000 m<sup>3</sup> considerando una superficie superiore dell'accumulo inclinata di circa di 13° ovvero disposta parallelamente alla superficie del conoide. Considerando per l'accumulo una superficie superiore orizzontale la capacità d'invaso è dell'ordine di 2.500-3.000 m<sup>3</sup>.

*Campagna di indagine.* Nell'ambito degli interventi è stata impostata anche una campagna di indagini e di monitoraggio che ha portato alla realizzazione nel settore di versante posto a valle di Comignane di una serie 9 sondaggi geognostici a carotaggio continuo attrezzati con tubi inclinometrici affiancati da altrettanti sondaggi a distruzione di nucleo attrezzati con tubi piezometrici. I sondaggi sono stati spinti fino a profondità dell'ordine di 100-120 m dal piano campagna e sono stati disposti in modo da trovarsi su tre allineamenti paralleli alla direzione del versante e tre allineamenti paralleli alla massima pendenza. Secondo la massima pendenza gli allineamenti sono disposti rispettivamente in prossimità della sponda destra della Val Roncaglia, in prossimità della sponda sinistra della Valle del Fossato ed in prossimità della sponda destra dell'impluvio posto ad est della Valle del Fossato. Secondo la direzione del versante gli allineamenti si trovano rispettivamente alle quote di circa 300 m, poco a monte della base del versante, di circa 400 m, a metà tra la base del versante e Comignane, e di circa 580 m nella parte inferiore della zona di Comignane. Lungo ciascuno dei sei allineamenti sono state inoltre eseguiti degli stendimenti di tomografia sismica a rifrazione e di tomografia elettrica.

I sondaggi sono stati eseguiti tra il 2010 ed il 2011 e successivamente alla realizzazione della strumentazione è stata condotta una campagna di 4 misure inclinometriche nell'arco di circa 1 anno, tra aprile 2011 e maggio 2012. La situazione stratigrafica emersa dai sondaggi mette in evidenza uno spessore della coltre superficiale, rappresentata principalmente da materiale di frana, variabile in genere da 20 a 80 m, localmente di 15 m e con un valore medio di circa 60 m sopra il substrato roccioso che spesso risulta molto fratturato per potenze dell'ordine di 8-10 m fino ad un massimo di circa 40 m.

I piezometri hanno evidenziato l'esistenza di una falda di versante relativamente profonda, sostenuta dal substrato roccioso o contenuta nello stesso substrato fratturato, che non sembra mostrare particolari variazioni in occasione delle piogge. Le misure inclinometriche condotte nel periodo compreso tra aprile 2011 e maggio 2012 hanno evidenziato delle deformazioni che consentono di individuare delle superfici di scorrimento situate a profondità dell'ordine di 10-15 m, 10 m e 30 m rispettivamente per gli allineamenti prossimi alla Val Roncaglia ed alla Valle del Fossato, caratterizzate da velocità di deformazione significative, e delle superfici poste a profondità maggiori, variabili da 20 a 80 m con un valore medio dell'ordine di 60 m, caratterizzate da velocità di deformazione più basse. Le deformazioni maggiori registrate nell'arco dell'anno di osservazione sono infatti dell'ordine di 70-90 mm mentre le deformazioni minori sono dell'ordine di pochi millimetri.

Nel complesso la situazione emersa dalla campagna di indagine e monitoraggio conferma le considerazioni e le ipotesi elaborate sulla base del rilievo di terreno e dei dati delle indagini eseguite in precedenza.

La situazione morfologica e le deformazioni rilevate mettono in evidenza, oltre ai movimenti lenti e profondi, la presenza di fenomeni di scorrimento nella coltre superficiale, più o meno potente, relativamente veloci e che in condizioni di saturazione accentuate potrebbero evolvere in forme di colata incanalandosi principalmente lungo le linee di impluvio esistenti.

### **3.5. Analisi delle situazioni di criticità**

Sulla base della situazione morfologica attuale, dopo la realizzazione della vasca di sedimentazione a monte del canale idroelettrico coperto, è stata fatta una ricostruzione della possibile modalità di espansione delle colate provenienti dai due impluvi.

Per la Valle del Fossato il cambio di pendenza a partire dal quale può iniziare la deposizione del materiale in carico si trova all'apice del conoide, alla quota di circa 284 m. Precedentemente agli interventi di sistemazione recenti l'assetto dell'alveo in corrispondenza del conoide era stato definito successivamente all'evento del 1960 in modo da consentire il deflusso verso valle allontanandolo rispetto alle abitazioni. A partire dall'apice del conoide l'alveo si sviluppava in asse al settore di sinistra del conoide, sistemato con gabbioni lungo entrambe le sponde, con una pendenza uniforme che lo rendeva pensile nella metà inferiore del conoide in modo da superare il canale idroelettrico; l'alveo sistemato terminava subito a valle del canale idroelettrico, in corrispondenza del lato di monte di via Alpini, e da questo punto, in caso di piena o di colata, il deflusso poteva avvenire principalmente mantenendo la stessa direzione del tratto di monte e proseguire nel prato sottostante via Alpini fino a raggiungere ed attraversare via Gelmi e defluire poi lungo via Gemelli; secondariamente a partire dal lato di monte di via Alpini il deflusso poteva deviare a destra lungo la via e da questa verso via Gelmi.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

Nella situazione attuale a partire dall'apice del conoide la direzione preferenziale di deflusso è rivolta ancora verso il settore di sinistra del conoide, lungo il tratto di alveo sistemato con i gabbioni, ma è presente anche una direzione secondaria rivolta verso il settore di destra del conoide dove decorre una strada e solo nel caso di forti portate o comunque di un'altezza di deflusso dell'ordine di qualche metro si potrebbe verificare l'espansione a ventaglio su tutto il tratto superiore del conoide. In ogni caso lungo le due direzioni si raggiunge comunque la vasca di accumulo alla quota di circa 250 m, dove il materiale tende a depositarsi occupando inizialmente i settori di provenienza ed espandendosi poi lateralmente fino a colmare la vasca. Una volta colmata la vasca le frazioni in eccesso possono espandersi oltre di essa lungo tutto il lato di valle avendo eventualmente come direzione preferenziale quella corrispondente alla direzione di arrivo oppure espandendosi in modo diffuso a valle di essa o, soprattutto nel caso di afflusso dal settore di destra del conoide, con deflusso preferenziale dall'estremità di destra della vasca dove si trova un'apertura laterale in corrispondenza della strada che passa sul canale idroelettrico poco a monte del municipio.

A valle del canale idroelettrico le direzioni preferenziali di deflusso per le frazioni fuoriuscite dalla vasca sono rappresentate dalle strade, via degli Alpini a valle del settore di sinistra e la via che collega la vasca con il municipio per l'estremità di destra, mentre per il resto la morfologia è relativamente uniforme e favorisce la dispersione a ventaglio del flusso.

Rispetto alla situazione precedente, per quanto riguarda i fenomeni di colata che possono interessare la Valle del Fossato, la realizzazione della vasca di accumulo permette di arrestare gli eventi di dimensioni minori e di trattenere parte degli eventi di dimensioni maggiori rallentandone la velocità e favorendone la dispersione a ventaglio a valle di essa, riducendo le distanze di espansione e diminuendo nel complesso le condizioni di pericolosità.

La valletta posta ad est della Valle del Fossato presenta un brusco cambio di pendenza all'apice del conoide, alla quota di circa 256 m, a partire dal quale può iniziare la deposizione del materiale in carico in caso di piena o di colata. Il cambio di pendenza si trova di fatto in corrispondenza della strada che decorre tra la base del versante ed il canale idroelettrico coperto. La valletta raggiunge la vasca di sedimentazione in prossimità della sua estremità di destra, vista da monte, dove la vasca è limitata lateralmente solo da una leggera contropendenza. Il tratto inferiore dell'alveo della valletta è rivolto verso il centro della vasca per cui un'eventuale colata tende a dirigersi preferenzialmente in quella direzione andando a riempire la vasca, ma poichè la contropendenza che chiude lateralmente la vasca è minima è facile che una frazione della colata si incanali lungo la strada che passa al di sopra del canale idroelettrico coperto e si diriga verso la zona del municipio. Una volta saturata la capacità di invaso della vasca la colata può portarsi a valle del canale idroelettrico coperto avendo come direzione preferenziale di deflusso l'estremità di destra della vasca, lungo la strada che collega la vasca con la zona del municipio, mentre per il resto la morfologia è relativamente omogenea e la colata può espandersi in modo uniforme verso le case poste lungo il lato di monte di via don Gelmi.

Rispetto alla situazione precedente, per quanto riguarda i fenomeni di colata che possono interessare la valletta posta ad est della Valle del Fossato, la realizzazione della vasca di accumulo ha quindi comportato la capacità di trattenere una parte del materiale in carico rallentandone la velocità e favorendone la dispersione a valle di essa, riducendo le distanze di espansione e diminuendo nel complesso le condizioni di pericolosità.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

### **3.6. Zonazione della pericolosità**

Sulla base delle considerazioni espresse la realizzazione degli interventi eseguiti alla base del versante, sui conoidi delle due linee di impluvio in esame, ha permesso di ridurre le condizioni di pericolosità per le aree situate a valle. La presenza del vallo consente infatti di trattenere eventi di piccola entità e di favorire l'arresto e limitare l'espansione a valle degli eventi di entità maggiore, soprattutto per quanto riguarda la Valle del Fossato perchè è stata sostanzialmente ridotta la pericolosità legata alla direzione preferenziale di deflusso secondo la prosecuzione del tratto di alveo, sistemato dopo gli eventi del 1960, che passava al di sopra del canale idroelettrico coperto.

Nei settori est e centrali dell'area in esame la perimetrazione della pericolosità non ha subito grandi variazioni rispetto alla situazione precedente, ma è stata modificata leggermente per attestarla in modo più aderente alla situazione topografica locale, soprattutto agli elementi antropici che costituiscono di fatto degli ostacoli alla propagazione delle colate. Nel settore ovest dell'area la perimetrazione della pericolosità è stata invece modificata riducendo parzialmente le zone legate alla possibile espansione delle colate secondo la direzione del vecchio alveo che passava al di sopra del canale idroelettrico coperto.

In riferimento alle classi di pericolosità da conoide le aree potenzialmente interessabili da fenomeni di esondazione o di colata da parte della Valle del Fossato e della valle posta ad est di essa sono quindi classificate nel modo seguente.

Alla classe di pericolosità molto alta (H5) sono stati assegnati gli alvei delle due linee di impluvio il fondo della vasca di sedimentazione e tutte le aree di conoide poste a monte di essa.

Alla classe di pericolosità alta (H4). sono state assegnate le aree di conoide situate a valle della vasca di sedimentazione fino a comprendere le abitazioni poste lungo il lato di monte di via don Gelmi ed il primo tratto di via Gemelli.

Alla classe di pericolosità media (H3) sono stati assegnati il piazzale antistante il municipio, la sede stradale di via don Gelmi per tutto il tratto con il lato di valle bordato da fabbricati e, dove mancano i fabbricati, le aree poste a valle della via, fino ai fabbricati o ad altri ostacoli successivi.

Pericolosità bassa (H2). Aree mai interessate nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o aree protette da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessate da fenomeni di dissesto.

A valle delle aree assegnate alle classi di pericolosità maggiori è stata considerata una fascia assegnata alla classe di pericolosità bassa (H2) che si sovrappone alle aree assegnate alle classi H3 o H2 legate alla pericolosità da conoide del torrente della Val Pelucco, del torrente Re o della Val Roncaglia.

Le aree a diversa pericolosità sono state rappresentate nella Carta di Sintesi sia sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 (Tavola 4) sia sulla carta topografica alla scala 1:2.000 (Tavola 5b) allegate allo studio.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

Le aree a diversa pericolosità definite in questa sede sono state assegnate alle classi di fattibilità geologica ed alle zone relative alle aree a rischio idrogeologico molto elevato (Zona 267) e secondo lo schema contenuto nella d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

<i>Classi di pericolosità</i>	<i>Classi di fattibilità</i>	<i>Zona 267</i>
H5 - H4	Classe 4 con norma PAI per la Zona 1	Zona 1
H3	Classe 3 con norma PAI per la Zona 2	Zona 2
H2	Classe 3	-

Le classi di fattibilità sono state rappresentate nella Carta di Fattibilità, sia sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 (Tavola 6) sia sulla carta topografica alla scala 1:2.000 (Tavola 7a) allegate allo studio, mentre la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato è stata rappresentata sia sulla Carta di Fattibilità sia sulla Carta dei Rischi Idraulici ed Idrogeologici (Tavola 8).

Dr. geol. Fabio Alberti

Hanno collaborato:

dr. geol. Francesco Bosio

dr. geol. Elena Staffoni

Darfo Boario Terme, dicembre 2013.

#### 4. Bibliografia

- 1) Allievi J., Ambrosi C., Ceriani M., Colesanti C., Crosta G., Ferretti A., Fossati D., Laffi R. - Nuove strategie integrate per il monitoraggio di aree a deformazione superficiale e/o profonda - Atti della sesta Conferenza Nazionale ASITA 2002.
- 2) Allievi J., Ambrosi C., Ceriani M., Colesanti C., Crosta G., Ferretti A., Fossati D., Mengaz A. - Integration of field and remote sensing techniques or landslides monitoring.. - Abstracts of the contributions of the 27th General Assembly of European Geophysical Society, 2002.
- 3) Bacchi B., Armanelli B., Rossini E. - Valutazione delle portate di piena della Provincia di Brescia Università degli Studi di Brescia, 1999.
- 4) Bacchi B., Mariani M., Rossini E., Armanelli B., Ranzi R. - Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano -Università degli Studi di Brescia, 1999.
- 5) Berruti G. - Levandosi i fiumi sopra le rive - ed. Grafo, 1999.
- 6) Bizoli M. - Studio geologico "Messa n sicurezza e sistemazione opere di difesa del Torrente Re di Gratacasolo" - Comune di Pian Camuno, 2012.

Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia)	Piano di Governo del Territorio: revisione n. 1/2013 <b>Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica</b> (d.g.r. 30/11/11 n. IX/2616)	Relazione illustrativa
---	--	---------------------------

- 7) Cogeo - Sintesi del monitoraggio versante in frana località Roncaglia-Valle Pelucco e individuazione delle criticità e opere necessarie alla mitigazione del rischio.- Comune di Pian Camuno, 2013.
- 8) D.M. 14 gennaio 2008 – Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.- Gazz. Uff., n. 29 del 04/02/2008.
- 9) Fanetti F. - Lavori di messa in sicurezza e sistemazione opere di difesa del torrente Re di Gratacasolo - Progetto Esecutivo. - Comune di Piancamuno, 2012.
- 10) Franzoni O. - Per castigo di Dio, note per una mappa storica delle calamità in Valle Camonica (secoli XIII-XIX).- Quaderni Camuni, n. 43, pag. 195, 1988.
- 11) Geo.Te.C. - Perimetrazione e zonazione della pericolosità e rischio da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla L. 267/98 - Comune di Pian Camuno - versante tra Torrente Pelucco e Val Roncaglia - 1999.
- 12) Geo.Te.C. - Studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica del comune di Pian Camuno - Aggiornamento maggio 2007.
- 13) Geo.Te.C. - Valutazione delle condizioni di pericolosità morfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel settore di fondovalle del territorio comunale e tracciamento delle Fasce Fluviali individuate dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)"- 2003.
- 14) Geo.Te.C. Studio Associato – Piano di Governo del Territorio: Componente geologica, idrogeologica e sismica – Aggiornamento febbraio 2008 –. Comune di Pian Camuno (Provincia di Brescia).
- 15) Geo.Te.C. Studio Associato – Varianti 2011 al Piano di Governo del Territorio: integrazione alla componente Geologica, Idrogeologica e Sismica – Gennaio 2011 con aggiornamenti Agosto 2011 e Novembre 2011 – Comune di Piancamuno (Provincia di Brescia).
- 16) Geocam - Indagine geologica sul versante compreso tra la Val Roncaglia e la Val Pelucco - 1994.
- 17) Landrini G. - Interventi di regimazione idraulica Val Pelucco e completamento della frana in località Roncaglia - Valle Pelucco - L. 3 agosto 1998 n. 267. - Programma 2001 - Progetto esecutivo. - Comune di Pian Camuno, 2008.
- 18) Pedersoli G.S. - La lunga alluvione (1960) - Edizione Toroselle - 1992.
- 19) Regione Lombardia - D.g.r. 30 Novembre 2011 n. IX/2616, "aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12" approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374 - BURL - anno XLI, n. 3, serie ordinaria, giovedì 19 gennaio 2012.
- 20) Regione Lombardia - D.g.r. n 7/14964 del 7 Novembre 2003 - Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM n°3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"- Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXIII, n. 275, 2003.
- 21) Regione Lombardia - Decreto dirigente dell'unità organizzativa n. 19904/03 21/11/2003 - Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - serie ordinaria, n. 49 del 1/12/2003.
- 22) Regione Lombardia - L.r. 11 marzo 2005 n. 12 - Legge per il governo del territorio - BURL. - anno XXXV, n. 69, 16 marzo 2005, 1° Suppl. Ordinario.
- 23) Regione Lombardia - L.r. 14 luglio 2006 n. 12 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "legge per il governo del territorio". - BURL 18 luglio 2006, n. 29, 1° suppl. ord.



**allegato 1: STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA PER EVENTI CON TEMPI DI RITORNO DI 100 E 200 ANNI**

**PARAMETRI MORFOMETRICI DEI BACINI**

	<i>Re di Gratacasolo</i>	<i>Valzello 1</i>	<i>Valzello 2</i>		
Sb =	21,7	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	Area del bacino sotteso
L =	9,9	0,76	0,47	km	Lunghezza dell'asta
Hmin =	250	256	275	m	Altezza minima
Hmax =	1957	1090	760	m	Altezza massima
Hmed =	1236	736,3	507,8	m	Altezza media assoluta
Hmed =	986	480,3	232,8	m	Altezza media relativa

**METODO DI GIANDOTTI**

$Q_c = 0,278 \cdot \frac{\gamma \times \psi}{\lambda \times t_c} \cdot h_{cr} \cdot S_b \cdot Cd =$	255	209	11,9	6,0	m <sup>3</sup> /s	portata al colmo	con Cd=1.0
	<b>153</b>	<b>125</b>	<b>7,2</b>	<b>3,6</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>	con Cd=0.6
$\psi = 0,0667 + 0,0543 \cdot \ln Tr =$	0,354	0,317	0,354	0,354			Cd=coefficiente di deflusso
$\gamma =$	8,5	8,5	8,5	8,5			
$\lambda =$	3	3	3	3			
$Tr =$	200	100	200	200	anni	tempo di ritorno	
$h_{cr} = a \cdot t_c^n =$	56	51	31	31	mm	altezza di pioggia critica	
Stazione di Breno	a = 51,665	47,286	51,665	51,665			
	n = 0,289	0,292	0,289	0,289			
$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S_b} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}} =$	1,33	1,33	0,18	0,17	ore	tempo di corrivazione	

**METODO di GIANDOTTI E VISENTINI (1938)**

$Q_c = \frac{\lambda \cdot S_b \cdot h_c}{0,8 \cdot t_c} \cdot Cd =$	190	174	8,9	4,5	m <sup>3</sup> /s	portata al colmo	con Cd=1.0
	<b>114</b>	<b>104</b>	<b>5,3</b>	<b>2,7</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>	con Cd=0.6
Stazione di Breno	$\lambda =$ 166	166	166	167			Cd=coefficiente di deflusso

**METODO DELLA PORTATA INDICE**

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \mu(Q_c) X_T =$	<b>95</b>	<b>84</b>	<b>3,6</b>	<b>2,1</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>	
$X_T = X_T = \frac{Q_c}{\mu(Q_c)} = 1 + 0,53 \frac{(\exp(0,0521 \cdot Y_G) - 1,033)}{0,072} =$	3,096	2,751	3,096	3,096		coefficiente di crescita	
	200	100	200	200	anni	T (tempo di ritorno)	
$Y_G = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) =$	5,296	4,600	5,296	5,296			
$\mu(Q_c) = 22,68 \cdot A^{0,404} =$	78,67	78,67	12,79	9,60		media della distribuzione per 300<A<2000 km <sup>2</sup>	
$\mu(Q_c) = 3,24 \cdot A^{0,73} =$	30,66	30,66	1,15	0,69		media della distribuzione per 1<A<40 km <sup>2</sup>	
$\mu(Q_c) = \beta \cdot 3,24 \cdot A^{0,73} + (1 - \beta) \cdot 22,68 \cdot A^{0,404} =$	27,29	27,29	-0,63	-0,68		media della distribuzione per 40<A<300 km <sup>2</sup>	
$\beta = \frac{300 - A}{260} =$	1,070	1,070	1,153	1,153			

**METODO DELLA FORMULA RAZIONALE**

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

	Re di Gratacasolo	Valzello 1	Valzello 2		
$Q_{c,T} = \frac{1}{3.6} \cdot \Phi \cdot r(A,d) \cdot A \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1} =$	<b>75</b>	<b>67</b>	<b>3,2</b>	<b>1,6</b>	<b>m<sup>3</sup>/s portata al colmo</b>
$h(t,T) = a_T \cdot d^{n_1} =$	49,68	45,91	25,81	25,28	mm altezza di pioggia media puntuale sul bacino
$a_T = m_1 \cdot \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[ 0.5772 + \text{LnLn} \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} =$	43,77	40,45	43,77	43,77	mm/h
Stazione di Breno CV =	0,288	0,288	0,288	0,288	coeff. variazione areale precipitazioni max annuali da 1 a 24 ore
m <sub>1</sub> =	21,25	21,25	21,25	21,25	mm media areale precipitazioni massime annuali di 1 ora
n <sub>1</sub> =	0,313	0,313	0,313	0,313	media areale esponente altezze medie max annuali pioggia
$r(A,d) = 1 - \exp \left[ -2472 A^{-0.24206} d^{-\exp(0.643 A^{0.235})} \right] =$	0,74	0,74	0,97	0,99	
con					
d = T <sub>c</sub>					
$T_c = \frac{3.3\sqrt{A} + 3.2}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} =$	1,50	1,50	0,19	0,17	ore durata della pioggia
per 10 < T < 200 anni					
per 20 < A < 300 km <sup>2</sup> Φ = 0.298 · T <sup>0.052</sup> · A <sup>0.085</sup> =	0,509941	0,491888	0,3479318	0,3275603	indice di Moisello (1998) % pioggia tradotta in deflusso

**STIMA DELLA PORTATA CON TRASPORTO SOLIDO**

Portata definita secondo il metodo della Portata Indice

$Q_{liq/sol} = 1.13 - 1.24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	107	95	4,0	2,4	m <sup>3</sup> /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	<b>118</b>	<b>105</b>	<b>4,4</b>	<b>2,6</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>

Portata definita con il Modello Razionale

$Q_{liq/sol} = 1.13 - 1.24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	85	76	3,6	1,8	m <sup>3</sup> /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	<b>93</b>	<b>83</b>	<b>3,9</b>	<b>1,9</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>

Portata definita con il Metodo Razionale FAO

$Q_{liq/sol} = 1.13 - 1.24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	129	112	-	-	m <sup>3</sup> /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	<b>141</b>	<b>123</b>	-	-	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>

**METODO RAZIONALE FAO**

con determinazione del coefficiente di deflusso secondo il metodo CN

CN II =	71,81	71,81	indice di deflusso		
$CN_{III} = 23 \cdot \frac{CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}} =$	85,42	85,42	indice di deflusso corretto		
la = 0.2 S					
$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN_{III}} - 1 \right) =$	43,36	43,36	massimo volume specifico trattenuto		
parametri curve possibilità pluviometrica a	162,59	150,00			
dell'autorità di bacino n	0,35	0,35			
hc	59,76	54,70	mm	altezza di pioggia critica	
correzione di Puppini a'	155,2277	143,2035			
n'	0,349	0,349			
hc'	56,55	52,23	mm	altezza di pioggia critica corretta	
$P_n = \frac{(P - la)^2}{P - la + S_b} =$	25,12	21,83	mm	pioggia netta	
C def =	0,44	0,42	coefficiente di deflusso		
$Q_c = \frac{c_{def} \cdot h' \cdot S_b}{3.6 T_c} =$	<b>114</b>	<b>99</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>portata al colmo</b>	

**allegato 2: VALUTAZIONE DELLA MAGNITUDO BACINI IDROGRAFICI**

	Re di Gratacasolo	Valzello 1	Valzello 2		
<b>Parametri morfometrici :</b>					
Area bacino:	21,7	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	
Quota massima:	1957	1090	760	m	
Quota minima:	250	256	275	m	
Quota media:	1236	736,3	507,8	m	
Lunghezza asta nel bacino:	9,9	0,76	0,47	km	
Lunghezza conoide:	1260	170	450	m	
Pendenza media conoide:	4,2	15,3	14,4	%	
<b>1 Metodo di Rickermann &amp; Zimmerman (1997)</b>					
$M = (110-2.5S)*L =$	<b>125307</b>	<b>12202</b>	<b>33300</b>	m <sup>3</sup>	
S =	4,2	15,3	14,4	%	(pendenza conoide)
L =	1260	170	450	m	(lunghezza conoide)
<b>2 Metodo di Hampel (1977)</b>					
$M = 150*A*(Sf-3)^{2.3} =$	<b>5143</b>	<b>11638</b>	<b>4814</b>	m <sup>3</sup>	
A =	21,7	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	(area del bacino)
Sf =	4,2	15,3	14,4	%	(pendenza conoide)
<b>3 Metodo di Crosta, Ceriani, Frattini &amp; Quattrini (2000)</b>					
$M = K*A*M_b*S*(1/IF^2) =$	<b>181205</b>	<b>8469</b>	<b>13010</b>	m <sup>3</sup>	
K =	5,4	5,4	5,4		<i>k=3 per fenomeni di trasporto di fondo; k=5,4 per trasporto in massa</i>
A =	21,70	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	(area del bacino)
$M_b = (H_{max} - H_{min})*A^{(1/2)} =$	0,366	1,695	1,406		(Indice di Melton)
H <sub>max</sub> =	1,957	1,090	0,760	km	quota massima del bacino
H <sub>min</sub> =	0,250	0,256	0,275	km	quota minima del bacino
S =	4,2	15,3	14,4	%	(pendenza conoide)
IF =	1	2	1		<i>indice di frana:grandi frane, frane al piede=1 frane sui versanti=2 frane piccole o assenti = 3</i>
<b>4 Metodo di Bottino, Crivellari &amp; Mandrone (1996)</b>					
Dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati su eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993					
$M = 21241*A^{0.28} =$	<b>50279</b>	<b>14277</b>	<b>11704</b>	m <sup>3</sup>	
Ab =	21,70	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	(area del bacino)
<b>5 Metodo di D'Agostino et al. (1996)</b>					
$M1 = 39*A*S^{1.5}*(I.G.)*(I.T.)^{-0.3} =$	<b>270715</b>	<b>13860</b>	<b>9829</b>	m <sup>2</sup>	
$M2 = 36*A*S^{1.5}*(I.G.)*(1+C.S.)^{-1} =$	<b>249891</b>	<b>12794</b>	<b>9073</b>	m <sup>3</sup>	
A =	21,70	0,242	0,119	km <sup>2</sup>	(area del bacino)
S =	17,2	47,4	56,4	%	<i>pendenza media asta principale nel bacino</i>
I.G. =	4,5	4,5	5		<i>dipende dai litotipi costituenti il bacino, vedi i valori a lato:</i>
I.T. =	1	1	1		<i>indice di trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky: 1 debris flow 2 debris flood 3 trasporto di fondo</i>
C.S. =	0	0	0		<i>coefficiente di sistemazione del bacino</i>

0 rocce porfiriche, granitiche, dioritiche

1 rocce calcaree

2 rocce laviche degradate, tufi basaltici, brecce

3 rocce terrigene

4 rocce metamorfiche

5 copertura morenica, alluvionale e di falda

**allegato 3a: TORRENTE RE DI GRATACASOLO stima massima distanza espansione colate detritico-fangose lungo il conoide**

*Debris flow con magnitudo pari a 152.000 m<sup>3</sup> che si sviluppa con apporti dell'intero bacino*

**1 Portata di progetto di acqua chiara**

$$Q_l = 114 \text{ m}^3/\text{s}$$

**2 Portata di piena della miscela liquido-solido**

$$Q_m = \frac{C^*}{C^* - C_u} Q_l = 1140 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C^* = 1 - n = 0,65 \quad \text{Concentrazione volumetrica del materiale (dove n è la porosità)}$$

$$C_u = 0,9 \cdot C^* = 0,59 \quad \text{Concentrazione del solido nella corrente}$$

**3 Volume dei sedimenti mobilizzabili e trasportabili a valle**

$$W_m = 152000 \text{ m}^3$$

**4 Calcolo della velocità ed altezza di moto uniforme**

$$U_u = K \frac{2}{5} \left( \frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}} = 7,46 \text{ m/s} \quad \text{velocità moto uniforme nell'alveo a monte cambio di pendenza}$$

$$K = \frac{2}{5 \cdot d} \left( \frac{g \cdot \sin \theta_u}{a \cdot \sin \phi} \left( c_u + (1 + c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left( \left( \frac{C^*}{C_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) = 0,464$$

$$Q_m = 1140 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B_u = 24 \text{ m} \quad \text{larghezza sezione dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$d = 0,25 \text{ m} \quad \text{diametro rappresentativo dei sedimenti}$$

$$\theta_u = 10,4^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$\theta_d = 5,03^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a valle del cambio di pendenza}$$

$$a = 0,04 \quad \text{costante con valore compreso fra 0.04 e 0.5}$$

$$\phi = 30^\circ \quad \text{angolo di attrito del materiale}$$

$$\rho_l = 1.000 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{densità dell'acqua}$$

$$\rho_s = 2.600 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{densità dei sedimenti}$$

$$h_u = \left( \frac{Q_m}{B \cdot K} \right)^{\frac{2}{5}} = 6,37 \text{ m} \quad \text{hu = altezza di moto uniforme a monte del cambio di pendenza, da confrontare con massima dimensione dei blocchi trasportati scegliendo la maggiore tra le due (non cambia di molto tuttavia)}$$

**5 Calcolo della massima estensione longitudinale del deposito**

$$t_i = \frac{2 \cdot V}{G} = 12,34 \text{ s} \quad \text{tempo d'arresto}$$

$$G = \left( \frac{c_u \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \cos \theta_d \cdot \tan \phi}{c_u \cdot (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g \cdot \sin \theta_d = 1,868 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$V = \left( u_u + \frac{g \cdot h_u}{2 \cdot u_u} \cos \theta_u \right) \cos(\theta_u - \theta_d) = 11,527 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$Xl = \frac{V^2}{G} = 71,1 \text{ m} \quad \text{lunghezza del deposito}$$

**6 Calcolo della pendenza della superficie di deposito**

Per le condizioni morfologiche rilevate è stata ritenuta valida la metodologia proposta nell'ipotesi che la zona di deposito corrisponda al tratto di alveo posto a valle della rottura di pendio

$$\text{Tg } \omega = \frac{c^* (\rho_s - \rho_l)}{c^* (\rho_s - \rho_l) + \rho_l \cdot \left( 1 + \frac{0,52}{d} \left( \frac{Q_d^2}{g \cdot B_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)} \tan \phi = 0,121$$

$$\text{con } \omega = 6,9^\circ \quad \text{pendenza alveo}$$

Nella formula è precedente è stato considerato:

$$B_d = 22,0 \text{ m} \quad \text{larghezza media dell'alveo a valle della rottura di pendio}$$

**7 Calcolo del volume di detriti depositati e determinazione dell'area rischio**

$$W_r = \frac{W_m}{C_u} = 259829 \text{ m}^3 \quad \text{Volume della miscela depositata nella zona a rischio}$$

A valle del cambio di pendenza la morfologia dei siti consente di applicare la formula valida per il deposito in un canale rettangolare di larghezza pari a B<sub>d</sub>

$$B_d = 22,0 \text{ m} \quad \text{larghezza della sezione a valle del cambio di pendenza}$$

$$W_d = \frac{1}{2} X_l^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d) = 258432 \text{ m}^3 \quad \text{volume detriti deposti}$$

$$\text{ottenendo una lunghezza } Xl = 840 \text{ m} \quad \text{per cui il volume } W_d \text{ risulta circa pari a } W_r$$

**allegato 3b: VALZELLO 1 stima massima distanza espansione colate detritico-fangose lungo il conoide**

*Debris flow con magnitudo pari a 11.500 m<sup>3</sup> che si sviluppa con apporti dell'intero bacino*

**1 Portata di progetto di acqua chiara**

$$Q_l = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

**2 Portata di piena della miscela liquido-solido**

$$Q_m = \frac{C^*}{C^* - C_u} Q_l = 36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C^* = 1 - n = 0,65 \quad \text{Concentrazione volumetrica del materiale (dove n è la porosità)}$$

$$C_u = 0,9 \cdot C^* = 0,59 \quad \text{Concentrazione del solido nella corrente}$$

**3 Volume dei sedimenti mobilizzabili e trasportabili a valle**

$$W_m = 11600 \text{ m}^3$$

**4 Calcolo della velocità ed altezza di moto uniforme**

$$U_u = K \frac{2}{5} \left( \frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}} = 4,41 \text{ m/s} \quad \text{velocità moto uniforme nell'alveo a monte cambio di pendenza}$$

$$K = \frac{2}{5 \cdot d} \left( \frac{g \cdot \sin \theta_u}{a \cdot \sin \phi} \left( c_u + (1 + c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left( \left( \frac{c^*}{c_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) = 2,117$$

$$Q_m = 36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B_u = 5 \text{ m} \quad \text{larghezza sezione dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$d = 0,1 \text{ m} \quad \text{diametro rappresentativo dei sedimenti}$$

$$\theta_u = 36,9^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$\theta_d = 14,8^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a valle del cambio di pendenza}$$

$$a = 0,04 \quad \text{costante con valore compreso fra 0.04 e 0.5}$$

$$\phi = 30^\circ \quad \text{angolo di attrito del materiale}$$

$$\rho_l = 1.000 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{densità dell'acqua}$$

$$\rho_s = 2.600 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{densità dei sedimenti}$$

$$h_u = \left( \frac{Q_m}{B \cdot K} \right)^{\frac{2}{5}} = 1,63 \text{ m} \quad \text{hu = altezza di moto uniforme a monte del cambio di pendenza, da confrontare con massima dimensione dei blocchi trasportati scegliendo la maggiore tra le due (non cambia di molto tuttavia)}$$

**5 Calcolo della massima estensione longitudinale del deposito**

$$t_i = \frac{2 \cdot V}{G} = 76,77 \text{ s} \quad \text{tempo d'arresto}$$

$$G = \left( \frac{c_u \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot \cos \theta_d \cdot \tan \phi}{c_u \cdot (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g \cdot \sin \theta_d = 0,142 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$V = \left( u_u + \frac{g \cdot h_u}{2 \cdot u_u} \cos \theta_u \right) \cos(\theta_u - \theta_d) = 5,432 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$X_l = \frac{V^2}{G} = 208,5 \text{ m} \quad \text{lunghezza del deposito}$$

**6 Calcolo della pendenza della superficie di deposito**

Per le condizioni morfologiche rilevate è stata ritenuta valida la metodologia proposta nell'ipotesi che la zona di deposito corrisponda al tratto di alveo posto a valle della rottura di pendio

$$\text{Tg } \omega = \frac{c^* (\rho_s - \rho_l)}{c^* (\rho_s - \rho_l) + \rho_l \cdot \left( 1 + \frac{0,52}{d} \left( \frac{Q_l^2}{g \cdot B_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)} \tan \phi = 0,173$$

con  $\omega = 9,8^\circ$  pendenza alveo

Nella formula è precedente è stato considerato:

$$B_d = 8,0 \text{ m} \quad \text{larghezza media dell'alveo a valle della rottura di pendio}$$

Siccome  $\omega < \theta_d$ , nella formula viene introdotto il valore:

$$\omega = 0,5(\theta_u + \theta_d) = 25,85$$

**7 Calcolo del volume di detriti depositati e determinazione dell'area rischio**

$$W_r = \frac{W_m}{C_u} = 19829 \text{ m}^3 \quad \text{Volume della miscela depositata nella zona a rischio}$$

A valle del cambio di pendenza la morfologia dei siti consente di applicare la formula valida per il deposito in un canale rettangolare di larghezza pari a  $B_d$

$$B_d = 8,0 \text{ m} \quad \text{larghezza della sezione a valle del cambio di pendenza}$$

$$W_d = \frac{1}{2} X_l^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d) = 19826 \text{ m}^3 \quad \text{volume detriti deposti}$$

ottenendo una lunghezza  $X_l = 150 \text{ m}$  per cui il volume  $W_d$  risulta circa pari a  $W_r$

**allegato 3c: VALZELLO 2 stima massima distanza espansione colate detritico-fangose lungo il conoide**

*Debris flow con magnitudo pari a 9.200 m<sup>3</sup> che si sviluppa con apporti dell'intero bacino*

**1 Portata di progetto di acqua chiara**

$$Q_l = 2,1 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

**2 Portata di piena della miscela liquido-solido**

$$Q_m = \frac{C^*}{C^* - C_u} Q_l = 21 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$C^* = 1 - n = 0,65 \quad \text{Concentrazione volumetrica del materiale (dove n è la porosità)}$$

$$C_u = 0,9 \cdot C^* = 0,59 \quad \text{Concentrazione del solido nella corrente}$$

**3 Volume dei sedimenti mobilizzabili e trasportabili a valle**

$$W_m = 9300 \quad \text{m}^3$$

**4 Calcolo della velocità ed altezza di moto uniforme**

$$U_u = K \frac{2}{5} \left( \frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}} = 2,21 \quad \text{m/s} \quad \text{velocità moto uniforme nell'alveo a monte cambio di pendenza}$$

$$K = \frac{2}{5 \cdot d} \left( \frac{g^* \sin \theta_u}{a^* \sin \phi} \left( c_u + (1 + c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left( \left( \frac{c^*}{c_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right) = 1,701$$

$$Q_m = 21 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$B_u = 8 \quad \text{m} \quad \text{larghezza sezione dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$d = 0,1 \quad \text{m} \quad \text{diametro rappresentativo dei sedimenti}$$

$$\theta_u = 22,8 \quad ^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a monte del cambio di pendenza}$$

$$\theta_d = 14,7 \quad ^\circ \quad \text{inclinazione fondo dell'alveo a valle del cambio di pendenza}$$

$$a = 0,04 \quad \text{costante con valore compreso fra 0.04 e 0.5}$$

$$\phi = 30 \quad ^\circ \quad \text{angolo di attrito del materiale}$$

$$\rho_l = 1.000 \quad \text{Kg/m}^3 \quad \text{densità dell'acqua}$$

$$\rho_s = 2.600 \quad \text{Kg/m}^3 \quad \text{densità dei sedimenti}$$

$$h_u = \left( \frac{Q_m}{B \cdot K} \right)^{\frac{2}{5}} = 1,19 \quad \text{m} \quad \text{hu = altezza di moto uniforme a monte del cambio di pendenza, da confrontare con massima dimensione dei blocchi trasportati scegliendo la maggiore tra le due (non cambia di molto tuttavia)}$$

**5 Calcolo della massima estensione longitudinale del deposito**

$$t_i = \frac{2 \cdot V}{G} = 57,73 \quad \text{s} \quad \text{tempo d'arresto}$$

$$G = \left( \frac{c_u \cdot g^* (\rho_s - \rho_l) \cdot \cos \theta_d \tan \phi}{c_u \cdot (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g^* \sin \theta_d = 0,159 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$V = \left( u_u + \frac{g^* h_u}{2 \cdot u_u} \cos \theta_u \right) \cos(\theta_u - \theta_d) = 4,598 \quad \text{costante adimensionale}$$

$$Xl = \frac{V^2}{G} = 132,7 \quad \text{m} \quad \text{lunghezza del deposito}$$

**6 Calcolo della pendenza della superficie di deposito**

Per le condizioni morfologiche rilevate è stata ritenuta valida la metodologia proposta nell'ipotesi che la zona di deposito corrisponda al tratto di alveo posto a valle della rottura di pendio

$$\text{Tg } \omega = \frac{c^* (\rho_s - \rho_l)}{c^* (\rho_s - \rho_l) + \rho_l \cdot \left( 1 + \frac{0,52}{d} \left( \frac{Q_l^2}{g^* B_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} \right)} \tan \phi = 0,166$$

con  $\omega = 9,4 \quad ^\circ$  pendenza alveo

Nella formula è precedente è stato considerato:

$$B_d = 4,0 \quad \text{m} \quad \text{larghezza media dell'alveo a valle della rottura di pendio}$$

Siccome  $\omega < \theta_d$ , nella formula viene introdotto il valore:

$$\omega = 0,5(\theta_u + \theta_d) = 18,75$$

**7 Calcolo del volume di detriti depositati e determinazione dell'area rischio**

$$W_r = \frac{W_m}{c_u} = 15897 \quad \text{m}^3 \quad \text{Volume della miscela depositata nella zona a rischio}$$

A valle del cambio di pendenza la morfologia dei siti consente di applicare la formula valida per il deposito in un canale rettangolare di larghezza pari a  $B_d$

$$B_d = 4,0 \quad \text{m} \quad \text{larghezza della sezione a valle del cambio di pendenza}$$

$$W_d = \frac{1}{2} X_l^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d) = 15990 \quad \text{m}^3 \quad \text{volume detriti deposti}$$

ottenendo una lunghezza  $Xl = 322 \quad \text{m}$  per cui il volume  $W_d$  risulta circa pari a  $W_r$

**Allegato 4a: TORRENTE RE DI GRATACASOLO, SCHEDA CONOIDE**

Data compilazione: agosto 2013

Località: Pian Camuno, via degli Alpini

Comuni: Pian Camuno

Provincia: Brescia

Torrente  
CTR

**Re di Gratacasolo**

D4a4, D4b4, D4a5, D4b5, D5b1

**- Dati morfometrici del conoide**

Superficie (km <sup>2</sup> )	1,14
Volume (m <sup>3</sup> )	30324000
Quota massima (m)	250
Quota minima (m)	196,8
Lunghezza massima (m)	1260
Larghezza massima (m)	1325
Pendenza media (%)	4,22
Pendenza media alveo (%)	4,10
Lunghezza alveo (m)	1296
Indice di Melton	0,050

**- Dati morfometrici del bacino**

Superficie (km <sup>2</sup> )	21,7
Quota massima (m)	1957
Quota minima (m)	250
Lunghezza alveo principale (m)	9,9
Pendenza media alveo (%)	17,24
Lunghezza rete idrografica (km)	34,86
Densità di drenaggio	1,61
Indice di Melton	0,366

**- Caratteristiche conoide**

Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , apice)	1 - 2
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , mediana)	0,5
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , distale)	0,001
Presunta migrazione del canale attivo	no
Sviluppo del collettore rispetto all'apice	sinistra
Caratteristiche della soglia	in roccia
Presenza di paleoalvei	si
Dinamica dell'alveo (apice)	approfondimento
Dinamica dell'alveo (mediana)	innalzamento
Dinamica dell'alveo (distale)	equilibrio
Pendenza tratto a monte apice (%)	18,4
Pendenza tratto a valle apice (%)	8,8
Caratteristiche canale attivo (apice)	poco inciso, regimato con opere di difesa
Caratteristiche canale attivo (mediana)	pensile, regimato con opere di difesa
Caratteristiche canale attivo (distale)	poco inciso, regimato con opere di difesa

**- Opere presenti sul conoide**

briglie	230	poco efficiente	buone condizioni
è indicata la quota, che identifica la posizione	224	poco efficiente	buone condizioni
	219	poco efficiente	buone condizioni
	213	efficiente	buone condizioni
	205	efficiente	buone condizioni
	201	poco efficiente	buone condizioni
	198	efficiente	in via di erosione

argini	258	250	dx	pietra a secco	efficiente
<i>sono indicate le quote di sommità e valle dei tratti</i>	250	210	dx	terra	efficiente
	235	230	dx	gabbioni	poco efficiente
	258	200	sx	pietra e malta	a tratti non efficiente
	197	195	dx	terra	poco efficiente
	197	195	sx	terra	poco efficiente
difese spondali (scogliere)	200	195	dx	pietra e malta	poco efficiente
<i>sono indicate le quote di sommità e valle dei tratti</i>	200	195	sx	pietra e malta	poco efficiente
soglie di derivazione <i>è indicata la quota</i>	244	efficiente			
selciato di fondo	230	6 m		in via di scalzamento	
<i>sono indicate le quote di sommità e la lunghezza</i>	224	6 m		in via di scalzamento	
	219	6 m		buone condizioni	
	213	50 m		buone condizioni	
	205	8 m		buone condizioni	

**- Punti critici sul conoide**

*è indicata la quota, che identifica la posizione*

Ponti	212	via XXV aprile (ex-510)
	200	ferrovia Brescia-Edolo
Attraversamenti	202	guado via Vescovo
Briglie	230	
	224	
	219	
	202	
Possibili superamenti d'argine	in corrispondenza delle briglie con sezioni critiche	
Possibili rotture d'argine	230	dx
	208	sx
Sezione ristretta	200	confluenza in Oglio

**- Indicazioni di intervento**

Briglie selettive	Realizzazione di briglie selettive a monte del conoide per rallentare e contenere i fenomeni di trasporto in massa	
Briglie	manutenzione briglia di quota 230 m	
Difese spondali, argini	sovralzo dell'argine in sponda destra nel tratto medio-superiore dove le briglie esistenti riducono la sezione deflusso	
	Consolidamento dell'argine in pietra e malta presente lungo la sponda sinistra, soprattutto subito a monte del ponte di via XXV aprile fino alla seconda briglia a monte e subito a valle dello stesso ponte, fino prima alla briglia a valle	
Consolidamento argini in muratura	Sistemazione muratura in pietra e malta lungo entrambe le sponde nel tratto distale	
Ampliamento sezioni ristrette	Rifacimento del ponte di via XXV aprile a campata unica	
	Rifacimento del ponte ferrovia Brescia-Edolo	
	Ampliamento della sezione nel tratto distale	
Manutenzione e pulizia/svaso dell'alveo	Svaso dell'alveo nel tratto distale del conoide	



**- Eventi storici**

<i>localizzazione</i>	<i>attendibilità</i>	<i>data</i>	<i>danni</i>	<i>fenomeno</i>
Gratacasolo	bassa	fine Agosto 1520	distrutte o sepolte dai detriti e dal fango molte case	esondazione/colata
Gratacasolo	media	Maggio (?) 1676	risulta distrutto il forno Fusorio	esondazione/colata
Piancamuno	bassa	30 e 31 Agosto 1757	ghiaie e sabbie invadono le campagne dalle valli di Artogne e Gratacasolo	esondazione/colata
Piancamuno	bassa	Inverno 1807	inondazioni a Piancamuno, Gratacasolo e Pisogne	esondazione/colata
Gratacasolo	bassa	1 Dicembre 1810	Inondazione a Gratacasolo	esondazione
Gratacasolo	bassa	14 e 15 Agosto 1850	lesionate alcune abitazioni da una piena dovuta a violente piogge	esondazione/erosione
Gratacasolo	media	26-28 Novembre 1850	Inondazione dell'abitato	esondazione
Gratacasolo	bassa	15 Settembre 1882	Danni a coltivi e a strade	
Gratacasolo	alta	9 Luglio 1953	Interruzione della ferrovia e della SS510; danni a case coloniche in località Beata	esondazione
Gratacasolo	alta	17 Settembre 1960	strada principale interrotta, invasa da materiale trasportato dal torrente	disalveamento in corrispondenza del ponte della SS 510

**Allegato 4b: VALZELLO 1, SCHEDA CONOIDE**

Data compilazione: dicembre 2013

Località: Pian Camuno, via degli Alpini

Comuni: Pian Camuno

Provincia: Brescia

Torrente

**Valzello 1**

CTR

D4b4

**- Dati morfometrici del conoide**

Superficie (km <sup>2</sup> )	0,02
Volume (m <sup>3</sup> )	260000
Quota massima (m)	256
Quota minima (m)	230
Lunghezza massima (m)	170
Larghezza massima (m)	180
Pendenza media (%)	15,3
Pendenza media alveo (%)	30,0
Lunghezza alveo (m)	20
Indice di Melton	0,184

**- Dati morfometrici del bacino**

Superficie (km <sup>2</sup> )	0,242
Quota massima (m)	1090
Quota minima (m)	256
Lunghezza alveo principale (m)	0,76
Pendenza media alveo (%)	47,4
Lunghezza rete idrografica (km)	1,95
Densità di drenaggio	8,06
Indice di Melton	1,695

**- Caratteristiche conoide**

Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , apice)	non valutabile
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , mediana)	non valutabile
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , distale)	non valutabile
Presunta migrazione del canale attivo	centro-destra, centro-sinistra
Sviluppo del collettore rispetto all'apice	bisettrice
Caratteristiche della soglia	in materiale incoerente
Presenza di paleoalvei	si
Dinamica dell'alveo (apice)	approfondimento
Dinamica dell'alveo (mediana)	equilibrio
Dinamica dell'alveo (distale)	equilibrio
Pendenza tratto a monte apice (%)	75,0
Pendenza tratto a valle apice (%)	26,5
Caratteristiche canale attivo (apice)	inciso, regimato con opere di difesa
Caratteristiche canale attivo (mediana)	assente
Caratteristiche canale attivo (distale)	assente

**- Opere presenti sul conoide**

vallo e rilevato di contenimento delle colate con griglia di raccolta della porzione liquida	250-254	parzialmente efficiente	buone condizioni (recente realizzazione)
--	---------	-------------------------	--

è indicata la quota, che identifica la posizione

**- Punti critici sul conoide**

*è indicata la quota, che identifica la posizione*

Sezione ristretta	254	all'ingresso nel vallo vi è la possibilità di fuoriuscita verso destra
Opera di contenimento colate insufficiente	250-254	in caso di eventi estremi, l'opera ha dimensioni insufficienti e può essere riempita e superata dalle colate

**- Indicazioni di intervento**

Difese spondali, argini	realizzazione di un dosso lungo la strada che attraversa l'alveo in apice conoide, in modo da creare un argine che mantenga il deflusso all'interno del vallo impedendone la fuoriuscita verso destra		
Potenziamento del vallo /rilevato	Aumentare la capacità dell'opera di contenimento delle colate		
Manutenzione del vallo/rilevato	Mantenere in efficienza l'opera di contenimento delle colate		

**- Eventi storici**

<i>localizzazione</i>	<i>attendibilità</i>	<i>data</i>	<i>danni</i>	<i>fenomeno</i>
Piancamuno, Cappella degli Alpini	alta	autunno 1966	la massa di fango e detriti ha raggiunto l'abitato; strade invase dalle acque e dal materiale detritico	debris flow - debris torrent

**Allegato 4c: VALZELLO 2, SCHEDA CONOIDE**

Data compilazione: dicembre 2013

Località: Pian Camuno, via degli Alpini

Comuni: Pian Camuno

Provincia: Brescia

Torrente

**Valzello 2**

CTR

D4b4

**- Dati morfometrici del conoide**

Superficie (km <sup>2</sup> )	0,0744
Volume (m <sup>3</sup> )	2790000
Quota massima (m)	285
Quota minima (m)	210
Lunghezza massima (m)	450
Larghezza massima (m)	260
Pendenza media (%)	16,7
Pendenza media alveo (%)	43,8
Lunghezza alveo (m)	80
Indice di Melton	0,275

**- Dati morfometrici del bacino**

Superficie (km <sup>2</sup> )	0,119
Quota massima (m)	760
Quota minima (m)	285
Lunghezza alveo principale (m)	0,47
Pendenza media alveo (%)	54,3
Lunghezza rete idrografica (km)	1,2
Densità di drenaggio	10,08
Indice di Melton	1,377

**- Caratteristiche conoide**

Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , apice)	non valutabile
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , mediana)	non valutabile
Dimensione max del materiale (m <sup>3</sup> , distale)	non valutabile
Presunta migrazione del canale attivo	sinistra-destra
Sviluppo del collettore rispetto all'apice	sinistra
Caratteristiche della soglia	in materiale incoerente
Presenza di paleoalvei	si
Dinamica dell'alveo (apice)	approfondimento
Dinamica dell'alveo (mediana)	equilibrio
Dinamica dell'alveo (distale)	equilibrio
Pendenza tratto a monte apice (%)	42,0
Pendenza tratto a valle apice (%)	26,5
Caratteristiche canale attivo (apice)	inciso, regimato con opere di difesa
Caratteristiche canale attivo (mediana)	assente
Caratteristiche canale attivo (distale)	assente

**- Opere presenti sul conoide**

vallo e rilevato di contenimento delle colate con griglia di raccolta della porzione liquida <i>è indicata la quota, che identifica la posizione</i>	250-254	parzialmente efficiente	buone condizioni (recente realizzazione)		
gabbionate di sponda <i>sono indicate le quote di sommità e valle dei tratti</i>	275	270	dx	gabbioni	efficiente

**- Punti critici sul conoide**

*è indicata la quota, che identifica la posizione*

Superamento di rilevato	254	possibilità di superamento del rilevato con fuoriuscita verso sinistra in corrispondenza del bordo di chiusura dell'opera
Opera di contenimento colate insufficiente	250-254	in caso di eventi estremi, l'opera ha dimensioni insufficienti e può essere riempita e superata dalle colate

**- Indicazioni di intervento**

Difese spondali, argini	Innalzamento del rilevato presso il bordo sinistro di chiusura dell'opera
Potenziamento del vallo /rilevato	Aumentare la capacità dell'opera di contenimento delle colate
Manutenzione del vallo/rilevato	Mantenere in efficienza l'opera di contenimento delle colate

**- Eventi storici**

<i>localizzazione</i>	<i>attendibilità</i>	<i>data</i>	<i>danni</i>	<i>fenomeno</i>
Piancamuno, Cappella degli Alpini	alta	17-18 settembre 1960	1 vittima; lesioni parziali e abbattimento di edifici; intasamento del canale idroelettrico; strade invase dalle acque e dal materiale detritico	debris flow - debris torrent

**Allegato 5: TORRENTE RE DI GRATACASOLO, VERIFICHE IDRAULICHE SPEDITIVE**

$Q = V \times S =$  Portata transitabile

con:

S = Sezione di deflusso

V = Velocità di deflusso:  $V = K_s \times R_H^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$

in cui: Ks = coefficiente di Strickler

R<sub>H</sub> = raggio idraulico

i = pendenza

	Ks ( $\text{m}^{-1}$ )	Dh (m)	DI (m)	i (%)	Sez ( $\text{m}^2$ )	Sb	Ri	V (m/s)	Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		confronto con portate stimate	
											liquida <b>114</b> ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	liquido-solida <b>141</b> ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
<b>Sezione 1 :</b>	12	2	25	0,080	127,82	29,33	4,36	9,06	1157,49	attraversamento condotta della centrale	-1043,49	-1016,49
<b>Sezione 2 :</b>	12	2	23	0,087	111,07	30,18	3,68	8,43	936,87	a valle condotta della centrale	-822,87	-795,87
<b>Sezione 3:</b>	15	2	30	0,067	74,86	27,3	2,74	7,59	568,01	derivazione del canale ex-Terni	-454,01	-427,01
<b>Sezione 4:</b>	15	2	30	0,067	97,10	33,7	2,88	7,84	761,48	a valle opera di derivazione	-647,48	-620,48
<b>Sezione 5:</b>	15	1,8	41	0,044	55,17	36,34	1,52	4,15	229,05	1a briglia da monte (quota 230)	-115,05	-88,05
<b>Sezione 6</b>	15	3,7	71	0,052	37,47	25,71	1,46	4,40	164,98	2a briglia da monte (quota 220)	-50,98	-23,98
<b>Sezione 7:</b>	15	0,25	18	0,014	36,08	20,76	1,74	2,56	92,20	3a briglia da monte (quota 216)	21,80	48,80
<b>Sezione 8:</b>	15	1,2	30	0,040	41,21	26,03	1,58	4,06	167,26	4a briglia da monte (quota 212)	-53,26	-26,26
<b>Sezione 9:</b>	25	1,8	41	0,043	44,33	31,11	1,42	6,60	292,38	ponte ex-SS510 (quota 210)	-178,38	-151,38
<b>Sezione 10:</b>	25	2	80	0,025	62,41	30,67	2,03	6,35	396,15	briglia a valle della ex-SS510 (quota 205)	-282,15	-255,15
<b>Sezione 11:</b>	25	0,4	20	0,020	19,33	27,73	0,70	2,78	53,74	briglia con guado a monte ferrovia (quota 202)	60,26	87,26
<b>Sezione 12:</b>	18	1	33	0,030	18,62	12,22	1,52	4,15	77,22	ponte della ferrovia	36,78	63,78
<b>Sezione 13:</b>	18	0,2	20	0,010	25,90	11,98	2,16	3,01	77,95	a valle ponte della ferrovia	36,05	63,05
<b>Sezione 14:</b>	18	2	90	0,022	21,84	15,08	1,45	3,43	75,02	ponte SS42	38,98	65,98
<b>Sezione 14bis:</b>	18	2	90	0,022	86,94	50,58	1,72	3,85	334,74	rilevato SS42	-220,74	-193,74

sezioni critiche



Torrente Re di Gratacasolo. Tratto di alveo nella parte medio-superiore del conoide, a monte del ponte di via XXV Aprile (ex-SS5120).



Torrente Re di Gratacasolo. Prima briglia a monte del ponte di via XXV Aprile.





Torrente Re di Gratacasolo. Ponte di via XXV Aprile visto da monte.



Torrente Re di Gratacasolo. Sponda sinistra in corrispondenza del ponte di via XXV Aprile.





Torrente Re di Gratacasolo. Sponda destra in corrispondenza del ponte di via XXV Aprile.



Torrente Re. Tratto medio-inferiore del conoide, subito a valle del ponte di via XXV Aprile.





Torrente Re. Tratto medio-inferiore del conoide, a valle del ponte di via XXV Aprile, visto dal guado di via Vescovo.



Torrente Re. Guado di via Vescovo.





Settori ovest e centrale della vasca di sedimentazione; la pozzanghera si trova in corrispondenza del punto di arrivo della Valle del Fossato.



Settore centrale della vasca di sedimentazione.





Settore orientale della vasca di sedimentazione con il punto di arrivo dell'impluvio situato ad est della Valle del Fossato; la vasca si chiude lateralmente sulla strada che sale dalla zona del municipio.



Settore orientale della vasca di sedimentazione. Punto di raccolta delle acque.