

**Sig. ETTORE RACCHELLI**

**VERBANIA**

PROGETTO:

**RISTRUTTURAZIONE DI FABBRICATO URBANO**

**ESISTENTE IN FRAZIONE FEROLO VIA VERDI, 11**

**COMUNE DI BAVENO**



**RELAZIONE DI VERIFICA DELL'EFFICACIA DELLE OPERE  
DI REGIMAZIONE IDRAULICA E DI DIFESA PRESENTI  
NEL BACINO DEL RIO TOMBINONE**

*Verbania, settembre 2012*

*Dott. Geol. Anna Cristina*



**Studio GeA Geologi Associati**

Anna Cristina - Silvano Felici - Filippo Albertini  
Via Carlo 40 - 28921 Verbania (In Val d'Aosta)  
Tel. 0323516236 - Fax 0323515962

email: [studiogea@fastwebnet.it](mailto:studiogea@fastwebnet.it) - P.IVA 0350720038

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI PREVISTO INTERVENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DEL RIO TOMBINONE.....</b>	<b>2</b>
<b>4. METODOLOGIE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO .....</b>	<b>4</b>
<b>4.1. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA LIQUIDA E MODELLI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE.....</b>	<b>4</b>
<b>4.2. CALCOLO DELLE PORTATE DI DEBRIS FLOW E DEBRIS FLOOD E MODELLI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE.....</b>	<b>5</b>
<b>5. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO PER IL BACINO DEL RIO TOMBINONE.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1. EFFETTI DEGLI EVENTI ALLUVIONALI DELL'8 LUGLIO 1996 E DEL 15-16 OTTOBRE 2000.....</b>	<b>7</b>
<b>5.2. INTERVENTI REALIZZATI .....</b>	<b>9</b>
<b>5.3. DETERMINAZIONE DELLO SCENARIO DI MASSIMA PERICOLOSITÀ.....</b>	<b>10</b>
<b>5.4. TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>11</b>
5.4.1. CALCOLO DELLE PORTATE DI PICCO DELLA COLATA DETRITICA E DEL FLUIDO IPERCONCENTRATO .....	13
<b>5.5. VERIFICHE IDRAULICHE .....</b>	<b>16</b>
<b>6. VALUTAZIONI CONCLUSIVE DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO PER L'AREA URBANIZZATA.....</b>	<b>19</b>

### ALLEGATI:

- Allegato 1 – Inquadramento geomorfologico del bacino del Rio Tombinone – Scala 1:2.500
- Allegato 2 – Localizzazione dei principali bacini sottesi alle sezioni oggetto di verifica – Scala 1:4.000
- Allegato 3 – Effetti dell'evento alluvionale dell'8 luglio 1996 – Scala 1:4.000
- Allegato 4 – Sezioni oggetto di verifiche idrauliche – Scala 1: 50
- Allegato 5 – Proposta di individuazione delle aree a rischio residuo sufficientemente ridotto – Scala 1:1.000

## **1. PREMESSA**

Su richiesta del progettista arch. Alessandra Cane e per conto del committente sig. Ettore Racchelli, è stata redatta la presente relazione finalizzata alla verifica dell'efficacia delle opere di regimazione idraulica e di difesa presenti nel bacino del Rio Tombinone, circa la riduzione del rischio idrogeologico sulla zona di Feriolo corrispondente allo sbocco del corso d'acqua entro il Lago Maggiore, nei pressi del quale è situato l'edificio di proprietà del committente e oggetto di richiesta ristrutturazione edilizia, inserito dal PRGC vigente approvato con D.G.R. n. 31-13215 dell'8 febbraio 2010, in classe 3b3a ai sensi della Circ. P.G.R. n. 7/Lap.

Nel complesso la presente relazione vuole determinare il grado di pericolosità e di rischio gravante sull'edificio oggetto di trasformazione, considerando l'effetto delle opere di difesa e regimazione esistenti sul rio, nonché gli interventi di recente realizzazione in ambito delle aree di cava localizzate sulle pendici del M.te Camoscio, al fine di verificare se la mitigazione del rischio dovuta alle opere sia tale da consentire la trasformazione delle condizioni di fruibilità urbanistica e quindi da potere ammettere tutti gli interventi edilizi esplicitati per la sottoclasse 3b3a nelle NTA di PRGC.

## **2. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI PREVISTO INTERVENTO**

La prevista ristrutturazione edilizia (RE2, senza aumento di carico antropico) riguarda un edificio esistente nella frazione Feriolo, a valle della strada statale, sito in via Verdi n. 7 e individuato ai mappali n. 268 e 787 del Foglio 2 dell'N.C.T. del comune di Baveno.

Il fabbricato è prospiciente la sponda lacustre, in prossimità del lungolago di Feriolo ed è posto, a quota di circa 197 m s.l.m, in adiacenza al cunicolo terminale del Rio Tombinone, una decina di metri prima del suo sbocco nel Lago Maggiore.



*Foto 1 – Edificio oggetto di richiesta*

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DEL RIO TOMBINONE**

Il bacino del Rio Tombinone si sviluppa in gran parte sul fianco settentrionale del M.te Camoscio per poi chiudersi attraversando le zone a bassa pendenza entro le quali si imposta l'abitato di Feriolo (vedi Allegato 1).

Dal punto di vista geologico la porzione montana del bacino localizzata a monte del metanodotto nonché la zona orientale in prossimità di Feriolo interessano il Granito di Baveno in facies rosa o di transizione da bianca a rosa, che costituisce sia il Monte Camoscio sia il rilievo ad andamento NO-SE posto in prossimità della sponda lacustre. Il tratto di bacino che interessa l'abitato di Feriolo è impostato su depositi di origine glaciale, dati da sedimenti eterometrici addensati o scarsamente addensati, non selezionati contenenti frazioni di ghiaia, sabbia e fini (diamicton), clast supported, con clasti poligenici a vario grado di alterazione, interpretabili come probabili till indifferenziati o di ablazione; si tratta di materiali molto eterogenei con grado di selezione molto basso o nullo, all'interno dei quali possono essere presenti anche livelli o lenti di limi e limi sabbiosi.

L'area di foce è caratterizzata dalla presenza di depositi di spiaggia lacustre (ghiaie sabbiose o sabbie ghiaiose) e di terreni di riporto di natura e spessori variabili.

La dinamica del Rio Tombinone ha dato origine anche a depositi torrentizi (ghiaie grossolane con ciottoli e blocchi, clast supported, a selezione nulla) diffusi essenzialmente in ambito di alveo montano e costituenti la conoide alluvionale torrentizia presente in corrispondenza del cambio di pendenza alla base del versante settentrionale del M.te Camoscio.

Terreni di riporto e di riempimento sono probabilmente presenti anche in corrispondenza dei piloni di sostegno del viadotto autostradale

Dal punto di vista geomorfologico, il bacino si sviluppa in un'areale che mostra diffusamente caratteri morfologici che testimoniano l'azione modellatrice delle masse glaciali pleistoceniche su preesistenti forme di origine incerta (probabilmente gravitativa); la morfologia attualmente riconoscibile deriva dalle molteplici variazioni di volume, di posizione ed, in ultima analisi, dall'attività erosivo-deposizionale delle masse glaciali su cui si è successivamente sovrimposta anche l'azione degli agenti meteorici e della gravità nonché del reticolo idrografico.

In particolare i rilievi rocciosi allungati in direzione SE a formare anche i cosiddetti "rilievi a dorso di cetaceo", sono da ritenersi il risultato dell'azione dei ghiacciai su antiche forme

(morfostrutture quali contropendenze, scarpate rocciose, ecc.) probabilmente di origine gravitativa.

Di più chiara genesi glaciale sono la zona a bassa acclività di quota 215-220 m s.l.m. compresa tra il versante del M.te Camoscio e i rilievi granitici ad est (oggi interessata dalla presenza del metanodotto, del viadotto autostradale e dell'imbocco della galleria ferroviaria) e il blando rilievo morenico che delimita la sponda sinistra del corso d'acqua a valle della ferrovia.

Sovrapposte ai caratteri di origine glaciale, sono alcune ed evidenti forme di natura torrentizia (conoide) e lacustre (orlo di scarpata lacustre all'interno del nucleo storico di Feriolo); la conoide alluvionale del Rio Tombinone presente al piede della parete settentrionale del M.te Camoscio, si sviluppa nella zona a bassa acclività prima descritta, in parziale coalescenza con la più estesa conoide dovuta ai corsi d'acqua presenti più a ovest; la parte apicale della conoide è caratterizzata dalla presenza di numerosi percorsi di deflusso anche discretamente incisi, la traccia dei quali tende ad obliterarsi nelle parti distali anche a causa delle modifiche di natura antropica avvenute.

Come detto in precedenza, infatti, la porzione pedemontana del bacino ha subito evidenti trasformazioni di carattere antropico, connesse alla realizzazione del metanodotto, dei viadotti autostradali e della ferrovia, nonché delle relative strade di accesso e servizio, che hanno sicuramente condizionato l'andamento del corso d'acqua e le caratteristiche dell'alveo; ne sono evidente testimonianza la innaturale deviazione dell'alveo rilevabile a quota 214 m s.l.m. e la ripida scarpata di scavo presente alla medesima quota connessa probabilmente alla realizzazione della ferrovia; anche l'innesto nell'alveo principale del Rio Tombinone del ramo più occidentale, rappresentato da un canale rettilineo, risulta di origine antropica.

Inoltre, l'originale morfologia e la regimazione delle acque meteoriche all'interno della superficie del bacino idrografico sono stati modificati anche dalla presenza lungo il versante di settori di coltivazione di pietre ornamentali (granito rosa).

Infine, il tratto terminale dell'alveo del Rio Tombinone, a partire da quota 200 m s.l.m. circa, è costretto all'interno di due cunicoli, il primo di lunghezza pari a circa 100 m, avente sezione variabile (l'imbocco ha sezione maggiore rispetto allo sbocco) e il secondo, a valle della strada statale e del relativo sottopasso, di lunghezza stimabile in poco più di 40 m, ossia sino alla foce a lago (vedi allegati 1 e 2).

#### **4. METODOLOGIE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO**

Per la valutazione della pericolosità del Rio Tombinone con particolare riferimento alla zona di foce e degli effetti sulla mitigazione del rischio dovuta alle opere di regimazione e difesa realizzate, si è proceduto per prima cosa al riconoscimento delle forme indicanti le tipologie di dissesto e le direzioni di propagazione dei flussi, alla raccolta dei dati disponibili circa eventi passati di dissesto e quindi alla verifica delle situazioni di maggiore criticità idraulica nell'ipotesi di scenari di dissesto di massima pericolosità; per l'individuazione di tali scenari e per le verifiche idrauliche sono stati utilizzati i metodi di maggiore affidabilità al momento disponibili nella letteratura scientifica e di seguito brevemente illustrati.

##### **4.1. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA LIQUIDA E MODELLI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE**

Per il calcolo delle portate di piena al colmo determinate dai vari prevedibili afflussi alle sezioni di misura è stato utilizzato il metodo razionale, suggerito dal PAI per bacini di modeste dimensioni e di scarse capacità di invaso, che può essere considerato discretamente affidabile per il bacino in esame. Tale metodo consente di valutare la massima portata di un corso d'acqua in relazione ad un evento di piovosità critica attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = 0.277 \varphi C_r P_c S / T_c$$

dove

$\varphi$  : coefficiente di deflusso

$C_r$ : coefficiente di ragguglio

$P_c$ : pioggia critica

$S$ : area del bacino

$T_c$  : tempo di corrivazione

Per il calcolo del tempo di corrivazione si è fatto uso della formula di Visentini-Giandotti, molto usata in ambito alpino, che considera la pendenza della rete funzione dell'altitudine media del bacino idrografico rispetto alla sezione di chiusura:

$$T_c = (4 S^{0.5} + 1.5 L) / 0.8 (h_m - h)^{0.5}$$

Per la valutazione delle precipitazioni critiche sono state prese in considerazione le condizioni del bacino imbrifero in funzione delle curve di possibilità climatica disponibili.

Per il computo dei profili idrici in corrispondenza delle sezioni a maggiore criticità, sono state ipotizzate condizioni di moto uniforme (calcolando le varie portate defluibili a vari livelli mediante l'equazione di Chezy), essendo verificate nei tratti esaminati le ipotesi di base per l'applicazione di tale modello che prevedono sezioni pressoché omogenee a pendenza costante e scabrezza invariata.

Tale formula, comunemente adottata per il moto uniforme nei canali, considera i valori medi per quanto concerne la sezione, la scabrezza e la pendenza; ciò è valido se le variazioni lungo il tratto investigato non sono troppo accentuate, come nei casi in oggetto.

I calcoli idraulici per la definizione delle condizioni di deflusso, tramite l'equazione di Chezy di seguito riportata, sono stati condotti con riferimento alle condizioni a rive piene e in seconda battuta, attraverso iterazione, sono stati identificati i livelli idrometrici e le velocità di propagazione delle portate critiche calcolate.

$$Q = A V = (A 1/n) R_i^{2/3} J^{1/2}$$

dove:

A: area della sezione idraulica (m<sup>2</sup>);

R<sub>i</sub>: raggio idraulico, cioè rapporto tra area bagnata e perimetro bagnato corrispondenti alla portata di riferimento (m);

J: pendenza della linea d'energia, valutata in funzione del dislivello rapportato alla distanza tra due sezioni successive (%);

n: coefficiente di Manning, rappresenta l'indice di scabrezza valutato come di seguito esposto (s m<sup>-1/3</sup>).

Il coefficiente di scabrezza misura della resistenza al moto, è stato stimato concordemente con le valutazioni proposte dalle tabelle di "Open Channel Hydraulics" e della letteratura.

In particolare sono stati ricavati i seguenti valori di n:

n= 0,032 per canale a fondo naturale con presenza di depositi medi-grossolani;

n= 0,028 per tratti pavimentati in massi da cava;

n= 0,022 per tratti in cunicolo artificiale.

#### **4.2. CALCOLO DELLE PORTATE DI DEBRIS FLOW E DEBRIS FLOOD E MODELLI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE IDRAULICHE**

Nella determinazione dello scenario di massima pericolosità si è valutato anzitutto la tipologia di trasporto solido, colata detritica (debris flow) o fluido iperconcentrato (debris flood), che ancora può interferire con l'area urbanizzata, si sono valutati i parametri fisici che caratterizzano la piena torrentizia attesa e si è conseguentemente proceduto a verifiche idrauliche con approccio monodimensionale in corrispondenza dei punti di maggiore criticità.

Circa la valutazione dei parametri fisici delle colate detritiche, fenomeni complessi di studio relativamente recente, descritti da parametri di difficile valutazione sperimentale e carenti di misure dirette, è stato utilizzato il modello messo a punto da Takahashi (1991).

Nella letteratura scientifica che si occupa della valutazione delle portate per corsi d'acqua montani, la portata solida è espressa da relazioni che legano i parametri idraulici della corrente alla geometria dell'alveo (pendenza, larghezza, ecc.) e alle caratteristiche dei sedimenti (granulometria, concentrazione di solido nella corrente).

Per pendenze medie dell'alveo superiori al 20% il valore dei parametri caratteristici del miscuglio quali ad esempio la concentrazione volumetrica, variano solo al variare della pendenza e delle caratteristiche del sedimento, indipendentemente dai parametri idraulici. La concentrazione volumetrica ( $C$ ) è, quindi, indipendente dalla portata liquida e dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente; in particolare, attraverso la relazione dovuta a Takahashi (1991) è possibile valutare la concentrazione  $C$  del miscuglio in moto in condizioni di equilibrio:

$$C = tg\theta / \Delta(tg\varphi - tg\theta)$$

dove:

$\theta$ = acclività dell'alveo

$\varphi$ = angolo di resistenza al taglio

$\Delta = \rho_s - \rho / \rho$

Per la valutazione della portata della colata detritica è stato utilizzato il metodo volumetrico (Armanini, 1999) che permette di ricavare il rapporto tra la portata della colata e la portata liquida in arrivo; nota la concentrazione media del miscuglio in condizioni dinamiche e la portata liquida al colmo, attraverso la seguente relazione è possibile ricavare la portata di picco della colata detritica:

$$Q_{df} = Q_{liq} C^* / (C^* - C)$$

dove:

$Q_{df}$ = portata di picco del debris flow

$Q_{liq}$ = portata di massima piena idrica

$C^*$ = concentrazione volumetrica di massimo impaccamento del materiale in alveo

$C$ = concentrazione solida del miscuglio

Per la valutazione della percentuale della frazione solida in occasione della formazione di un fluido iperconcentrato (debris flood), ossia deflussi, seppur sempre costituiti da miscele liquide+solide, caratterizzati da concentrazione di materiale solido meno rilevante e da comportamento newtoniano. Nella fattispecie le stime sono state condotte applicando la relazione dovuta a Smart e Jaegge, che considera la portata solida in rapporto di proporzionalità con i parametri idrodinamici.

$$q_s = 4/\Delta (d_{90}/d_{30})^{0.2} q_l i^{1.6} (1 - \Theta_{cr}/\Theta)$$

dove:

$q_s$ : portata solida

$\Delta$ :  $\rho_s - \rho / \rho$

$q_l$ : portata liquida calcolata

$i$ : pendenza media dell'alveo

$\Theta_{cr}$ : parametro di Shields allo stato critico

Per le verifiche idrauliche in caso di debris flood, la portata che verrà utilizzata sarà la somma di  $q_s$  e  $q_l$ .

## **5. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO PER IL BACINO DEL RIO TOMBINONE**

### **5.1. EFFETTI DEGLI EVENTI ALLUVIONALI DELL'8 LUGLIO 1996 E DEL 15-16 OTTOBRE 2000**

Gli effetti dell'evento alluvionale dell'8 luglio 1996 circa il bacino del Rio Tombinone sono circoscrivibili all'alveo montano, alla conoide alluvionale, all'area a bassa acclività in corrispondenza dei viadotti e della linea ferroviaria e alla zona urbanizzata di Feriolo in corrispondenza dello sbocco del primo cunicolo (si veda l'allegato 3 tratto dai rilievi svolti sul posto a seguito dell'evento sia dalla sottoscritta sia da parte del Servizio Geologico della Regione Piemonte).

In particolare lungo l'alveo montano del Rio Tombinone si sono verificati fenomeni di trasporto solido tipo debris flow o debris flood (foto 2) con tratti in erosione di fondo e diffusa deposizione in alveo della porzione solida; in corrispondenza dell'area terminale della conoide alluvionale, dove l'alveo è scarsamente inciso hanno avuto luogo fuoriuscite di acqua mista a materiale sabbioso particolarmente nella zona in vicinanza dei piloni autostradali e relativa deposizione di sabbie fini (sia nei pressi dei piloni, sia vicino alla massicciata ferroviaria); parte del materiale in carico è defluita lungo l'alveo verso lo sbocco a lago determinando la parziale ostruzione dell'attraversamento ferroviario (foto 3), senza però causare tracimazioni.

Va tuttavia sottolineato come in occasione dell'evento alluvionale del luglio 1996, abbia avuto luogo l'attivazione dei colatori ad ovest del corso d'acqua in esame aventi bacini limitrofi a quello del Rio Tombinone e del tutto analoghi circa caratteristiche geologiche e geomorfologiche; in particolare il bacino confinante ad ovest ha innescato una colata detritica (debris flow) di consistente magnitudo che è parzialmente defluita lungo il ramo sinistro del Rio Tombinone e ne ha largamente invaso le aree limitrofe; parte del materiale ghiaioso sabbioso è sicuramente stata presa in carico dal ramo secondario del rio ed è affluita all'alveo principale.



*Foto 2 – Depositi di debris flow in alveo montano*

*Foto 3 – Attraversamento ferroviario visto da valle: si noti la presenza di depositi ghiaioso sabbiosi*



In corrispondenza del primo cunicolo, a causa della incapacità della sezione di uscita di smaltire la portata affluita dalla sezione di ingresso dello stesso cunicolo, si è verificata la fuoriuscita di acqua, detriti vegetali e sabbia dalle griglie di drenaggio e dai tombini della viabilità di accesso alle proprietà, sotto la cui sede carrabile corre il tracciato della tombinatura, appena a monte dello sbocco; quanto esondato è poi defluito verso le aree in sinistra idrografica per poi defluire nuovamente nel tratto d'alveo a cielo aperto compreso tra i due cunicoli.

Non sono note, invece, tracimazioni in corrispondenza del secondo cunicolo a lago.

Durante l'evento alluvionale del 15-16 ottobre 2000 non si sono avute attivazioni dei corsi d'acqua provenienti dal M.te Camoscio in quanto non si sono verificate precipitazioni di eccezionale intensità per brevi durate; di contro si è avuto l'innalzamento del livello lacustre fino a quota 197.94 m s.l.m. (massima piena del ventesimo secolo) e conseguente allagamento della zona dove si colloca il fabbricato di prevista ristrutturazione e difficoltà nel deflusso verso il lago delle acque del Rio Tombinone soprattutto in corrispondenza dell'imbocco del secondo cunicolo.

## **5.2. INTERVENTI REALIZZATI**

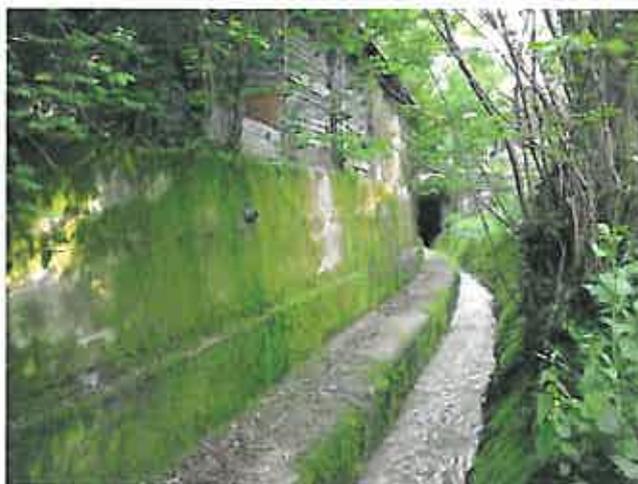
A seguito dei lavori di realizzazione della ferrovia e dell'autostrada, il tratto a cielo aperto dell'alveo del Rio Tombinone compreso tra le quote 213 m s.l.m. (appena a valle dei piloni del viadotto) e 200 m s.l.m. (imbocco della prima tombinatura), è stato regimato attraverso la messa in posto di una pavimentazione in massi (foto 4, 6) di soglie di salto a monte dell'attraversamento ferroviario (foto 5) e di difese spondali di varia fattura (muri in cls e scogliere in massi).



*Foto 4 – Pavimentazione e muri d'argine in cls*



*Foto 5 – Soglie a monte ferrovia*



*Foto 6 – Pavimentazione e muri d'argine in cls nel tratto che precede l'imbocco del primo cunicolo*

Anche tra lo sbocco della prima tombinatura e l'imbocco della seconda, all'interno del nucleo di Feriolo, è presente un tratto d'alveo con fondo pavimentato la cui realizzazione è sicuramente precedente a quella delle opere sopra descritte (foto 7-8).



Foto 7-8: Sottopasso della strada statale e successivo tratto a cielo libero precedente il secondo cunicolo.

Tali interventi, al momento in buono stato di conservazione e funzionalità, hanno lo scopo di facilitare il deflusso delle portate di piena verso lago limitando l'azione erosiva al fondo alveo e lungo le fasce spondali.

A monte dei viadotti autostradali non sono presenti opere di regimazione o difesa che interessano l'alveo del corso d'acqua, ma solo opere di regimazione delle acque ruscellanti provenienti dalle aree in cava e dalla relativa viabilità d'accesso.

### 5.3. DETERMINAZIONE DELLO SCENARIO DI MASSIMA PERICOLOSITÀ

Sono stati presi in considerazione i bacini imbriferi sottesi a tre sezioni di chiusura: lungo la conoide e in corrispondenza dell'imbocco del secondo cunicolo che conduce a lago (vedi allegato 2), dove il Rio Tombinone presenta le seguenti caratteristiche morfometriche:

Sez.	Note	S	L	$H_{max}$	$H_{sez}$	$H_{med}$	$P_a$
S1	Apice di conoide	0.18	0.214	752	228	553	34
S2	Attraversamento ferroviario	0.35	0.509	752	208	367	18
S5	Imbocco secondo cunicolo	0.45	0.891	752	199	336	11.5

S: area bacino sotteso (km<sup>2</sup>)  
 L: lunghezza tratto incanalato (km)  
 $H_{max}$ : quota massima bacino (m s.l.m.)

$H_{sez}$ : quota sezione di misura (m s.l.m.)  
 $H_{med}$ : quota media (m s.l.m.)  
 $P_a$ : pendenza media asta torrentizia(%)

Per il calcolo afflussi-deflussi sul bacino del Rio Tombinone, che presenta tempo di corrivazione alla foce eguale a 0.43 h, quindi significativamente inferiore a 60', si sono utilizzati parametri "a" e "n" ricavati dall'esame degli afflussi verificatisi nell'evento alluvionale dell'8 luglio 1996, confrontato con altri dati storici dell'areale, che ha consentito di individuare le relazioni rappresentative delle curve di possibilità climatica relative all'areale interessato dall'evento, per durate comprese tra 10' e 60'.

<b>10 anni</b>		<b>50 anni</b>		<b>100 anni</b>		<b>200 anni</b>		<b>500 anni</b>	
<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
62.1	0.68	79.8	0.63	89.0	0.64	96.8.	0.64	107.0	0.63

I parametri sopraindicati devono essere considerati come cautelativi per il metodo con cui sono stati ricavati (analisi probabilistica su più stazioni), ma si ritiene che, per la tipologia delle precipitazioni che interessano questa zona, sia più opportuno osservare criteri assai conservativi.

Viste le caratteristiche geomorfologiche e le dimensioni del bacino, si sono utilizzati come valori di coefficiente di deflusso e di ragguglio rispettivamente 0.8 e 0.9.

La tabella seguente riporta i valori di tempo di corrivazione nonché di pioggia critica e portata di massima piena, calcolati per vari tempi di ritorno:

Sez.	Note	$T_c$	<b>10 anni</b>		<b>50 anni</b>		<b>100 anni</b>		<b>200 anni</b>		<b>500 anni</b>	
			$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$
S1	Apice conoide	0.14	16.4	4.3	23.3	6.1	25.5	6.6	27.7	7.2	31.2	8.1
S2	Attraversamento ferroviario	0.31	28.1	6.3	38.2	8.6	42.2	9.5	45.9	10.4	51.3	11.6
S5	Imbocco secondo cunicolo	0.43	35.0	7.3	46.9	9.8	51.9	10.9	56.4	11.8	62.9	13.2

$T_c$ : tempo di corrivazione (ore)

$P_c$ : pioggia critica (mm)

$Q_{max}$  = Portata di massima piena (m<sup>3</sup>/sec)

#### **5.4. TRASPORTO SOLIDO**

Per i torrenti montani quali quello oggetto di studio, il grado di pericolosità è determinato dal meccanismo di trasporto solido che caratterizza i corsi d'acqua stessi; tale valutazione è utile per definire un credibile scenario di dissesto di massima pericolosità. Trasporto di fondo, debris flood (letteralmente "inondazione di detriti", cioè flusso di un fluido ipercritico con ancora comportamento reologico di tipo newtoniano) e debris flow (flusso di detriti con caratteristiche del fluido non-newtoniane) sono i principali processi di trasporto solido torrentizio; la differenza tra queste tre categorie di processi è essenzialmente determinata dalla differenza nella concentrazione relativa dell'acqua rispetto alla frazione solida. Infatti l'incremento nella proporzione relativa della parte detritica induce un progressivo incremento nella viscosità e nella resistenza agli sforzi di taglio della mistura, che conseguentemente assume comportamenti dinamici molto differenti.

Per la determinazione del tipo di meccanismo è stato adottato un criterio di carattere descrittivo basato sul riconoscimento delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del bacino, della conoide e della porzione di bacino a valle della conoide, e in particolar modo sul riconoscimento delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi presenti nei vari ambiti geomorfologici; la finalità di tale analisi è quella di permettere una valutazione della quantità e delle caratteristiche dei sedimenti disponibili in alveo e sulle fasce spondali, la presenza e l'attività di frane, l'entità dei fenomeni erosivi in alveo, la presenza e le caratteristiche di antichi depositi torrentizi in alveo e in conoide. Inoltre è stato valutato l'indice di Melton per la conoide, il cui valore confrontato con la pendenza della conoide è indicativo del meccanismo di trasporto solido che ha originato la conoide stessa.

Le considerazioni sulle caratteristiche sedimentologiche dei depositi sono state fatte sui sedimenti osservati sia in alveo montano sia nel tratto d'alveo a valle della conoide; lungo l'alveo montano sono presenti ghiaie molto ciottolose con matrice sabbiosa, clast supported, caratterizzate da selezione nulla, con clasti di natura essenzialmente granitica scarsamente arrotondati ed elevata percentuale di blocchi di dimensioni massime pluridecimetriche e di frequenza di apparizione variabili; l'assetto di tali depositi appare caotico, senza particolari strutture sedimentarie (foto 2).

Lungo la porzione dell'alveo situata a valle della conoide, comprendente quindi la zona a bassa acclività (quota 215-220 m s.l.m.) fino all'imbocco della tombinatura, si rilevano sedimenti sabbioso ghiaiosi con rari ciottoli di dimensioni massime pluricentriche.

L'indice di Melton è espressivo delle condizioni di rilievo e di acclività del bacino, ed è giudicato efficace, insieme alla pendenza delle conoidi alluvionali, per una valutazione della tipologia dei processi torrentizi sulle conoidi. Esso si ricava dalla seguente relazione:

*Studio GeA Geologi Associati - Dr. Geol. Anna Cristina*

$$M_b = (h_{max} - h_{min}) S^{-0.5}$$

dove:

$S$ : superficie bacino

$h_{max}$ : altezza massima del bacino

$h_{min}$ : altezza dell'apice del conoide

Per il Rio Tombinone si è calcolato l'indice di Melton in corrispondenza dell'apice di conoide e la pendenza media della conoide lungo la bisettrice; i risultati sono riportati nella tabella seguente:

<i>Pendenza media conoide (%)</i>	<i>Indice di Melton</i>
14	1.2

Si può notare come il valore di  $M_b$  sia per il bacino sotteso all'apice di conoide superiore a 0.5, considerato valore limite oltre il quale il corso d'acqua può dirsi a rischio di debris flow. Confrontando l'indice di Melton con la pendenza della conoide se ne deduce come il corso d'acqua ricada ampiamente nel campo delle conoidi edificate da meccanismi di debris flow.

Sulla base di queste considerazioni è possibile ritenere che il Rio Tombinone possa dare luogo, in occasione di eventi piovosi a carattere alluvionale, a fenomeni di debris flow (colata detritica a comportamento non-newtoniano) concentrati essenzialmente nel tratto montano e nella conoide.

Nel tratto a bassa acclività immediatamente a valle della conoide alluvionale fino allo sbocco a lago, le caratteristiche dell'alveo e del bacino, in particolare la sua limitata pendenza longitudinale, sono tali da non consentire il proseguimento della colata detritica che pertanto tenderà in massima parte ad arrestarsi nella zona a bassa acclività tra le quote 220 e 215 m s.l.m., come del resto avvenuto nell'evento del luglio '96 (vedi Allegato 3); ne consegue che in carico al corso d'acqua resteranno le porzioni solide a granulometria ghiaioso-sabbiosa con modeste percentuali di clasti da centimetrici a pluricentimetrici, configurando una mistura iperconcentrata tipo debris flood che potrà interessare quindi anche i tratti d'alveo all'interno dell'area urbanizzata dell'abitato di Feriolo.

#### **5.4.1. CALCOLO DELLE PORTATE DI PICCO DELLA COLATA DETRITICA E DEL FLUIDO IPERCONCENTRATO**

Servendosi delle metodologie di calcolo messe a punto da Takahashi e descritte al capitolo 4, sono stati ricavati valori di concentrazione pari a circa 0.53 che hanno consentito di stimare la portata della colata detritica  $Q_{df}$  in circa 34 m<sup>3</sup>/s pari a 4.2 volte la portata liquida calcolata per un tempo di ritorno di 500 anni.

Nell'ipotesi che solo le porzioni meno grossolane possano transitare oltre l'area a bassa pendenza compresa tra le quote 220 e 215 m s.l.m., il deflusso verso l'area urbanizzata presenterà una percentuale di trasporto solido valutabile attraverso la relazione dovuta a Smart e Jaegge (riportata nel capitolo 4), che considera la portata solida in rapporto di proporzionalità con i parametri idrodinamici. Nell'ipotesi ragionevole di una pendenza dell'alveo calcolata fino alla piana di quota 214 m s.l.m., cioè considerando solo il tratto soggetto a processi di incremento o riduzione della frazione solida in carico, visto che a valle di tale quota inizia il tratto regimato dove fenomeni erosivi e di deposizione appaiono marginali, avente valore di circa il 19%, i valori di portata liquida andranno incrementati per un valore ricavato per le portate solide, pari a 24%; ipotizzando portate liquide all'attraversamento ferroviario (S2) e all'imbocco del secondo cunicolo (S5) di 11.6 e 13.2 m<sup>3</sup>/s calcolate per un tempo di ritorno di 500 anni si ottengono portate complessive rispettivamente pari a circa 14.4 e 16.4 m<sup>3</sup>/s.

		<b><i>T<sub>rit</sub> = 500 anni</i></b>
Sez.	Note	<i>Q<sub>picco</sub></i>
S1	Apice di conoide	34 m <sup>3</sup> /s
S2	Attraversamento ferroviario	14.4 m <sup>3</sup> /s
S5	Imbocco secondo cunicolo	16.4 m <sup>3</sup> /s

Tali portate possono apparire molto cautelative in quanto funzione di portate liquide di eccezionale accadimento (evento a tempo di ritorno 500 anni) ed in presenza di un episodio di debris flow di maggiore volumetria rispetto a quanto verificatosi durante l'evento alluvionale del luglio 1996; tuttavia, per cautela rispetto alla valutazione in questione, in particolar modo rivolta all'edificio di proprietà della committenza, date le caratteristiche del bacino in esame si è voluto tener conto della possibilità di colate detritiche di magnitudo superiore a quella verificatasi durante l'8 luglio 1996; inoltre le elevate portate liquide utilizzate per il calcolo vogliono anche tenere conto di un possibile incremento (di difficile valutazione) dovuto al drenaggio del ramo sinistro del Rio Tombinone di parte delle portate di piena provenienti dai colatori ad ovest del bacino indagato.

Ne consegue che lo scenario di massima pericolosità sulla base del quale sono state svolte le verifiche idrauliche di seguito esposte, prevede la formazione di una colata detritica in alveo montano con portata stimabile in circa 34 m<sup>3</sup>/s che nel transito lungo la conoide può determinare fuoriuscite ed attivazione dei percorsi di deflusso rilevabili in conoide medio apicale; il successivo parziale arresto della stessa con deposizione di gran parte del materiale detritico in carico in corrispondenza della zona a bassa acclività potrà determinare la riduzione delle masse in transito e la conseguente formazione di un fluido iperconcentrato

di portata massima di piena liquida + solida di circa 16.4 m<sup>3</sup>/s in grado di procedere lungo l'alveo verso lago.

E' possibile che nel tratto a bassa acclività di quote 220-215 m s.l.m. si verifichino fuoriuscite all'altezza delle sezioni di deflusso insufficientemente dimensionate individuate dai passaggi stradali o limitati fenomeni di erosione laterale; da quanto osservabile in sito appare plausibile che nell'eventualità di fuoriuscite in corrispondenza dei piloni autostradali, acque e detriti possano defluire lungo il pendio di scavo verso l'area pianeggiante di quota 208 m s.l.m. ed eventualmente verso la ferrovia.

Tali valutazioni sono state considerate nelle verifiche esposte al seguente capitolo, dove si è anche ipotizzato un livello lacustre di quota corrispondente al fondo della tombinatura sfociante a lago; la concomitanza tra piena del Rio Tombinone ed elevati livelli lacustri è infatti un'eventualità possibile, più gravosa in quanto riduce le capacità di deflusso del rio ma a probabilità nettamente inferiore (data dal prodotto della probabilità dei due eventi) e quindi esclusa dagli scenari prevedibili.

## 5.5. VERIFICHE IDRAULICHE

Definito lo scenario sopra descritto, con transito di fluido iperconcentrato verso le porzioni urbanizzate di Feriolo e note le geometrie delle sezioni ritenute idraulicamente più critiche, sono state ricavate le portate massime di deflusso  $Q$  e le relative velocità  $v$ , ipotizzando condizioni di moto uniforme.

Con riferimento agli allegati grafici 2 e 4 si riportano le seguenti geometrie, riferite al sottopasso ferroviario (S2, foto 3), all'imbocco della prima tombinatura (S3, foto 9) e all'imbocco della seconda tombinatura (S5, foto 10):

Sezioni	Note	L	H	$p$	A	Pb	Ri
S2	Sottopasso ferroviario	3	0.5	12	1.5	4.0	0.375
S3	Imbocco primo cunicolo	2.4	2.0	4	4.0	6.4	0.625
S5	Imbocco secondo cunicolo	1.9	0.58	4	0.96	3.0	0.320

dove:

$L$ : larghezza della sezione alla base (m)

$H$ : altezza massima pelo libero (m)

$p$ : pendenza dell'alveo a monte della sezione (%)

$A$ : area bagnata sezione (m<sup>2</sup>) \*

$Pb$ : perimetro bagnato (m)

$Ri$ : raggio idraulico (m)

\*dal calcolo dell'area è stata esclusa la porzione sottesa all'arco, dove presente



Foto 9 – Imbocco primo cunicolo



Foto 10 – Imbocco secondo cunicolo

Le verifiche svolte, utilizzando valori di coefficiente di Manning pari a 0.025, hanno fornito i seguenti valori di velocità e di portata massima di deflusso:

Sezioni	Note	<i>n</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>Q</i>
S2	Sottopasso ferroviario	0.025	14.4	7.2	10.8
S3	Imbocco primo cunicolo	0.025	17.0	5.8	23.4
S5	Imbocco secondo cunicolo	0.025	17.0	3.7	3.6

dove:

*n*: coefficiente di Manning ( $s\ m^{-1/3}$ )

*q*: portata calcolata da verificare ( $m^3/s$ )

*v*: velocità di deflusso relativa a *q* (m/s)

*Q*: portata massima di deflusso ( $m^3/s$ )

Come detto ai capitoli precedenti, si è rilevato che la sezione allo sbocco del primo cunicolo (S4, foto 11) presenta superficie inferiore alla sezione di ingresso, viceversa per quanto riguarda il secondo cunicolo, la sezione d'uscita (S6, foto 12) ha area maggiore rispetto a quella all'imbocco. Si è ritenuto opportuno eseguire una verifica idraulica anche sulle sezioni d'uscita, ipotizzando che la pendenza del fondo alveo resti costante.

Si è invece tralasciata la sezione del sottopasso della strada statale, data l'elevata ampiezza della relativa luce (foto 7).



Foto 11 – Sbocco primo cunicolo



Foto 12 – Sbocco secondo cunicolo

Le caratteristiche geometriche delle sezioni sono riportate nella seguente tabella:

Sezioni	Note	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>p</i>	<i>A</i>	<i>Pb</i>	<i>Ri</i>
S4	Sbocco primo cunicolo	1.6	0.9	4	1.7	3.5	0.495
S6	Sbocco secondo cunicolo	2.4	1.6	4	3.8	5.6	0.686

I relativi valori di velocità e portata massima di deflusso:

<i>Sezioni</i>	<i>Note</i>	<i>n</i>	<i>q</i>	<i>v</i>	<i>Q</i>
S4	Sbocco primo cunicolo	0.025	17.0	5.2	8.7
S6	Sbocco secondo cunicolo	0.025	17.0	6.2	23.9

Dalle verifiche svolte risulta che, mentre la sezione S3 all'ingresso del primo cunicolo si può considerare sufficientemente dimensionata per il transito delle portate di debris flood calcolate, le sezioni S2 e S5 non sono in grado di smaltire efficacemente le stesse portate al colmo; in particolare la sezione S5 all'imbocco del secondo cunicolo, delimitata superiormente da un edificio residenziale, appare molto sottodimensionata rispetto ai deflussi previsti.

Va sottolineato che con ogni probabilità il primo cunicolo ha subito notevoli restringimenti nella sezione di deflusso come verificabile dalla differenza di dimensioni tra la sezione di ingresso (S2) e quella d'uscita (S4), quest'ultima non verificata alle portate calcolate; pertanto nell'eventualità di transito di tali portate nel cunicolo, è probabile che possano avere luogo fenomeni di rigurgito con conseguenti fuoriuscite di acque e detriti dai pozzetti o dalle griglie di drenaggio afferenti al cunicolo (come già verificatosi durante l'evento del luglio 1996) che possono interessare le aree urbanizzate al di sopra del corso d'acqua.

Per quanto riguarda il secondo cunicolo, si osserva la situazione contraria, in quanto la sezione di imbocco (S3, non verificata) risulta molto più ridotta di quella d'uscita, ossia la tombinatura a lago (S6, verificata).

E' ipotizzabile che il tratto in cunicolo a valle dell'edificio che ne definisce l'inizio della copertura sia stato posato in un momento successivo, sino a lago, con caratteristiche geometriche differenti dal precedente, in relazione ai modellamenti della sponda lacustre ed alla formazione delle aree carrabili col tempo definite, sino alla conformazione della piazzetta a lago ad oggi osservabile nell'intorno dell'edificio oggetto di esame, posto sul lato sud del cunicolo medesimo.

## **6. VALUTAZIONI CONCLUSIVE DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO PER L'AREA URBANIZZATA**

Nel complesso, circa pericolosità e rischio delle diverse situazioni evidenziate lungo il Rio Tombinone, nel caso si manifesti lo scenario critico sopra ipotizzato, si ritiene che:

- l'area compresa tra la conoide alluvionale e la ferrovia, corrispondente alla zona a bassa acclività tra le quote 220 e 215 m s.l.m., nell'eventualità di uno scenario di dissesto gravoso dovuto all'innescò di una colata detritica, potrebbe essere soggetta a fuoriuscite di acqua e materiale sabbioso ghiaioso con potenziali danni alle strade ivi presenti e alla massicciata ferroviaria; la minimizzazione di tali effetti richiederebbe quindi ulteriori interventi di sistemazione mirati;
- per le porzioni dell'abitato di Feriolo inserite in classe 3b3a sovrastanti il primo cunicolo e quelle immediatamente a valle, sino all'imbocco del secondo cunicolo, sono tuttora possibili, a causa delle dimensioni delle sezioni di deflusso che non consentono il completo smaltimento delle portate previste nello scenario ipotizzato, fuoriuscite di acque e detriti sabbiosi in corrispondenza delle aree maggiormente urbanizzate; anche in tal caso l'eliminazione o la minimizzazione di tali effetti è ottenibile attraverso i citati interventi di sistemazione mirati;
- la parte urbanizzata a valle dell'edificio posto in corrispondenza dell'imbocco del secondo cunicolo (S5), anch'essa inserita in classe 3b3a e localizzata lungo il tratto terminale della tombinatura verso lago, non risulta invece sostanzialmente interessata da pericolosità di carattere torrentizio in quanto le dimensioni del cunicolo sono tali da permettere lo smaltimento delle portate ipotizzate; per tali aree, comprendenti anche l'edificio oggetto di ristrutturazione, la pericolosità e il rischio connessi all'attività torrentizia sono da ritenersi pertanto molto limitati; permangono, invece, la pericolosità ed il rischio legati ai periodici innalzamenti del livello lacustre, dato che la porta d'ingresso del piano seminterrato ad uso accessorio dell'edificio esistente sul prospetto fronte lago si pone a 197.09 m s.l.m., ossia ad una quota raggiungibile da allagamento con tempo di ritorno statisticamente calcolabile in circa 20 anni, come individuato anche nell'ambito del P.R.G.C.; si tratta comunque di un fenomeno non distruttivo, caratterizzato da lento innalzamento ed energia dipendente esclusivamente dal moto ondoso.

In conclusione le opere di regimazione realizzate lungo l'alveo del Rio Tombinone e quelle più recenti presenti nei settori di cava, consentono un più regolare deflusso delle portate di piena e un maggior controllo dei fenomeni erosivi; tuttavia la conseguente riduzione del rischio per la zona urbanizzata di Feriolo non risulta ugualmente efficace lungo tutta la sua estensione.

L'analisi effettuata ha comunque evidenziato pericolosità e rischio bassi per la zona a valle dell'edificio che individua l'imbocco del secondo cunicolo in prossimità della foce nel Lago Maggiore e comprendente anche l'edificio oggetto di prevista ristrutturazione edilizia.

Per tale area (come rappresentato nell'allegato 5) si ritiene quindi ragionevolmente suffragata la proposta di considerare accettabile il grado di rischio residuo attualmente presente e quindi di permettere una nuova fruibilità urbanistica e la conseguente realizzazione di tutti gli interventi edilizi esplicitati nella classe 3b3a.

*Verbania, settembre 2012*

*Dott. Geol. Anna Cristina*