

IL PROGETTO DI OPERE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA *DEBRIS FLOW*: UN ESEMPIO APPLICATIVO

*Paolo Cancelli

Sommario

Nella memoria viene illustrato un progetto di intervento per la mitigazione del rischio da colata detritica. Se da un lato il progetto si riferisce ad un caso specifico, ubicato nelle Dolomiti bellunesi, l'intenzione dell'autore è quella di allargare la trattazione allo sviluppo dell'intero processo progettuale piuttosto che limitarla ad una mera illustrazione dei dettagli costruttivi e tecnologici. La definizione dei criteri di progetto e la descrizione degli interventi vengono quindi fatti precedere da una breve disamina delle modalità di innesco delle colate detritiche e dell'applicabilità di correlazioni intensità-durata, nonché da una sintesi dei principali criteri generali di mitigazione del rischio. La memoria si conclude con l'ipotesi di un piano di allerta basato sull'utilizzo di correlazioni intensità-durata.

1 Introduzione

Viene nel seguito presentato un progetto di intervento per la mitigazione del rischio da colata detritica (*debris flow*) per un caso reale, ubicato nelle Dolomiti bellunesi (Borca di Cadore, BL - fig. 1).

In particolare la trattazione esposta nei capitoli seguenti si snoda attraverso il seguente itinerario:

- ÿ generalità sulle colate detritiche: soglie di innesco e tecniche di mitigazione;
- ÿ la colata di Borca di Cadore: eventi pregressi e dati di progetto;
- ÿ criteri per la definizione di un sistema di interventi ed analisi delle alternative;
- ÿ interventi nelle aree di formazione, di trasporto e di accumulo della colata;
- ÿ previsione a breve termine di episodi critici: l'adozione di un sistema di allerta.



Figura 1. Vista aerea dell'area interessata dalla colata. E' stata evidenziata l'area di confluenza delle portate prevalentemente solide e prevalentemente liquide (area di formazione della colata), il canale di trasporto e la zona di accumulo.

* STUDIO CANCELLI ASSOCIATO, Milano

2 Modalità di innesco

Con riferimento alla definizione dell' U.S. Geological Survey, che qui è stata liberamente tradotta, "i debris flow (anche detti mudslides, mudflows o debris avalanches) sono una comune tipologia di movimenti rapidi di pendio, che si verifica generalmente in occasione di fenomeni meteorologici intensi su terreni saturi. In genere essi si formano su pendii ripidi sotto forma di piccoli scivolamenti o "soil slumps" che progressivamente liquefano e accelerano a velocità fino a 15-20 m/sec. (...) La loro consistenza varia da fango acquoso a misture di fango, terra e pietrame, di consistenza tale da trasportare massi, alberi e autoveicoli".

In generale, una proprietà tipica delle colate è la loro stretta connessione con eventi meteorologici di elevata intensità.

Da un lato è infatti possibile affermare che le frane profonde sono di norma legate a cause "strutturali" (morfologia, resistenza al taglio ecc.) e innescate da eventi meteorologici di lunga durata, in grado cioè di saturare gli strati profondi. In questo caso le condizioni di equilibrio del versante sono governate dalla riduzione degli sforzi efficaci, causata da pressioni interstiziali aventi distribuzione idrostatica o "quasi" idrostatica.

D'altra parte le colate (ma anche gli scivolamenti corticali, o "soil slips" che non evolvono in colate) sono tipicamente innescate da fenomeni meteorologici di elevata intensità, che possono portare all'innalzamento della falda ad un livello critico (Skempton e De Lory, 1957), o al contrario, quando l'intensità di pioggia eccede la velocità di infiltrazione, alla saturazione dall'alto di uno spessore critico (Green and Ampt, 1911; Fredlund et al., 1978). In entrambi i casi è lecito affermare che i fenomeni di filtrazione generano un sistema aggiuntivo di forze instabilizzanti, che sono in generale la principale causa di innesco.

Per tutte queste ragioni, lo studio delle modalità di innesco delle colate dovrebbe partire da un approccio multidisciplinare, fondato cioè sia su basi geotecniche (analisi di stabilità), sia su basi idrologiche (definizione di soglie di innesco). La definizione di soglie di innesco costituisce un problema ben noto e ampiamente studiato dalla comunità scientifica internazionale per diverse condizioni climatiche e geologiche. A titolo di esempio si riporta il confronto fra alcune soglie di innesco per diverse aree degli Stati Uniti (fig. 2).

Numerose esperienze analoghe sono state condotte anche in Italia (fra gli altri: Govi e Sorzana, 1980; Cancelli e Nova, 1985; Ceriani et al. 1994; Crosta, 1998; Annunziati et al., 2000; Deganutti et al., 2000), determinando valori di soglia non molto differenti (fig. 3).

D'altra parte si deve evidenziare che, secondo altri autori (Honglian et al., 1988), la condizione di innesco delle colate detritiche richiede che l'evento pluviometrico scatenante sia preceduto da un periodo di pioggia di sufficiente durata (circa 7÷10 giorni secondo Armanini, 1999).

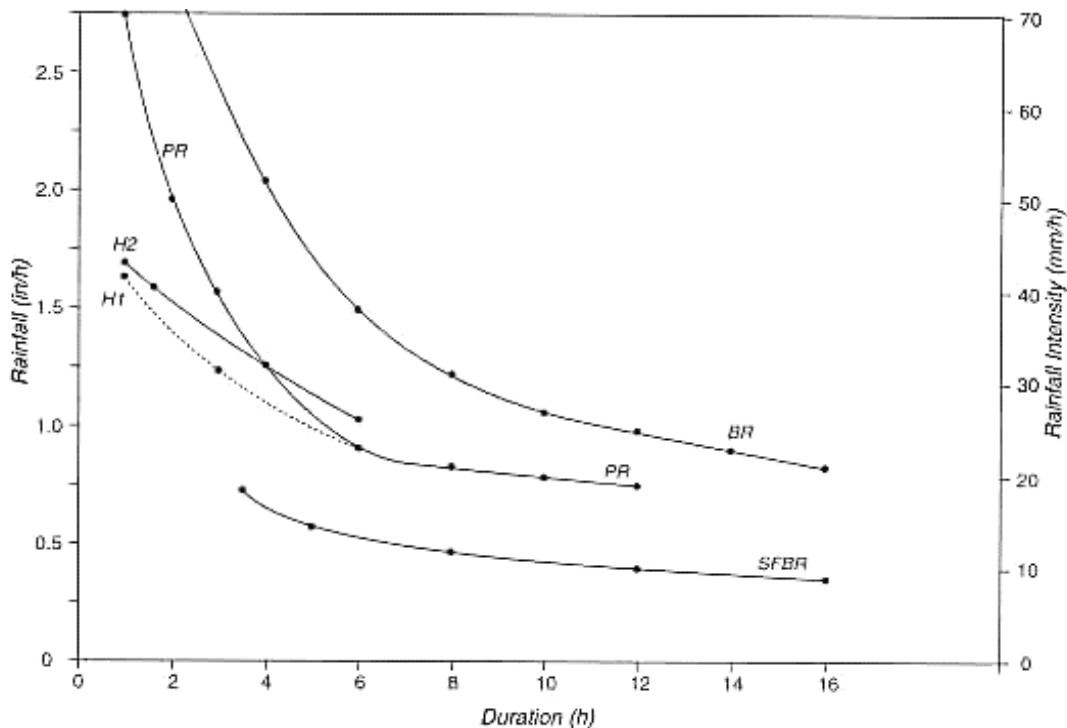


Figura 2. Confronto tra soglie di innesco di colate detritiche in diverse aree degli Stati Uniti (da Wieczorek et al., 2001). BR: Blue Ridge, Central Virginia (Wieczorek et al., 2000). H1,H2: Hawaii (Wilson et al., 1992). PR: Puerto Rico (Jibson, 1989; Larsen e Simon, 1993). SFBR: San Francisco Bay Region, California (Cannon e Ellen, 1985)

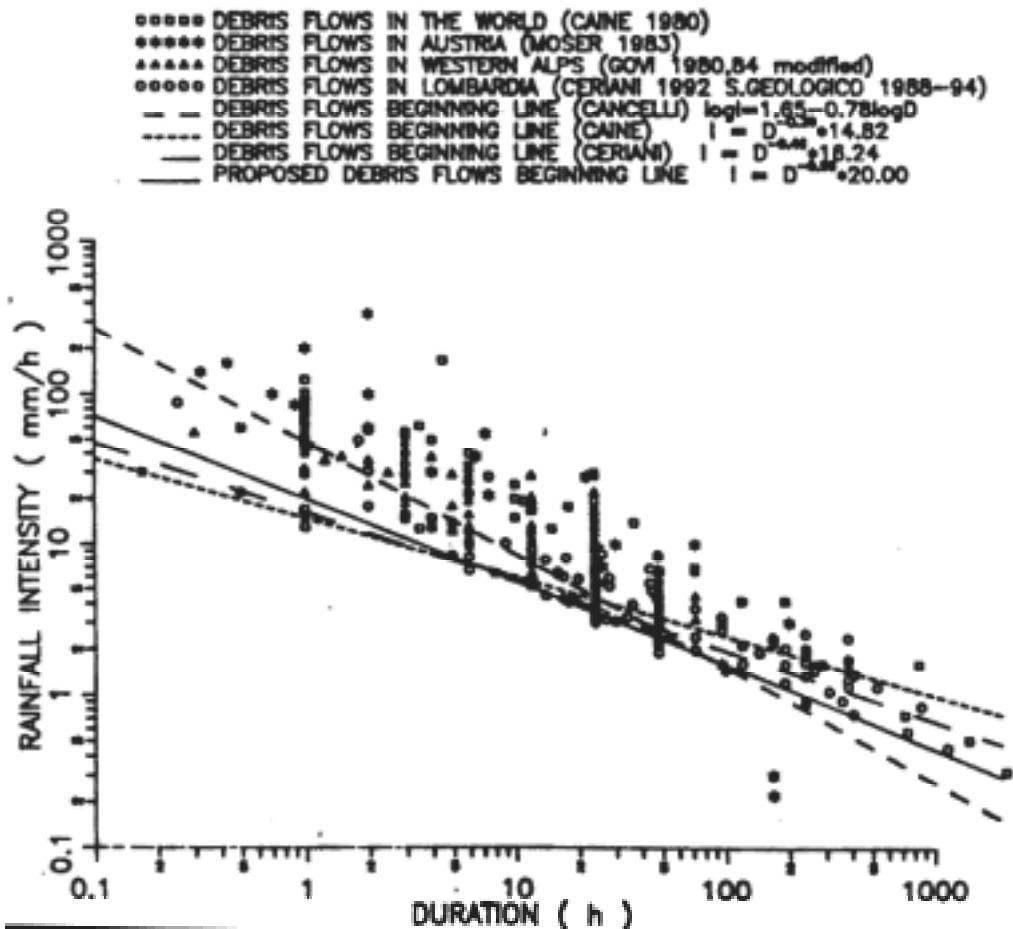


Figura 3. Confronto tra soglie di innesco di colate detritiche in diverse aree alpine (da Ceriani et al., 1994).

Altri autori (Hampel, 1968) fanno invece ricadere l'inaffidabilità delle correlazioni intensità-durata sulla impossibilità di tenere conto della dispersione delle proprietà geologiche, morfologiche e geotecniche dei depositi coinvolti.

Considerazioni analoghe sono state formulate anche da Cancelli e Nova (1985): in questo caso gli autori evidenziano come in molti casi le modalità di innesco dipendano da condizioni di sito (insufficiente drenaggio, presenza di elementi di debolezza ecc.).

La possibilità di applicare ai fini previsionali le relazioni intensità-durata sembra quindi subordinata all'esecuzione di adeguati approfondimenti per la valutazione delle condizioni locali. Di particolare utilità, a tale riguardo, sembrano essere gli studi di macrozonazione (regionalizzazione) e microzonazione (su base geomorfologica).

Tuttavia, a titolo di semplice proposta operativa, al paragrafo 7 viene illustrata una possibile applicazione delle soglie di innesco per la definizione di una procedura di previsione.

3 La mitigazione del rischio

Il problema di classificare le modalità di intervento per la mitigazione ed il controllo delle colate detritiche è stato affrontato da numerosi autori (fra gli altri: Baldwin et al., 1987; Van Dine, 1996; Armanini, 1997); nella maggioranza dei casi si tende a distinguere tra misure strutturali e misure non strutturali.

Fra le misure non strutturali si annoverano soprattutto quelle azioni che si esplicano prevalentemente attraverso la pianificazione e la gestione del territorio.

Per quanto riguarda le misure da ricomprendersi in azioni di pianificazione, l'attenzione dovrebbe essere focalizzata alla perimetrazione di aree a rischio, da effettuarsi sulla base di correlazioni Magnitudo - Frequenza di accadimento.

Un corretto recepimento di tali indicazioni, a livello urbanistico, potrebbe portare alla creazione di aree urbane da lasciare aperte all'espansione della colata, destinate a verde, ad uso agricolo ecc.

Alcuni autori (Wieczorek et al., 2001), suggeriscono addirittura di orientare le strade parallelamente al pendio, in modo da utilizzarle come canali diversivi, limitando quindi il potenziale danneggiamento delle strutture abitative in caso di eventi catastrofici.

Per quanto attiene alle azioni di gestione del territorio, vale invece la pena di citare la messa in opera di sistemi di monitoraggio, la definizione di sistemi di allerta o di procedure di evacuazione, o, più in generale, tutti quegli accorgimenti che vengono di norma ricompresi all'interno di un Piano di Protezione Civile Comunale o Provinciale. Attualmente esistono numerosi esempi di reti di monitoraggio nelle Alpi Orientali, come riportato ad esempio da Arattano et al., 1997; Berti et al., 1999; Deganutti et al., 1999.

Le misure strutturali hanno di solito elevati costi iniziali e di norma richiedono frequenti ed onerosi interventi di manutenzione; tuttavia spesso costituiscono l'unica possibilità di intervento in grado di garantire un adeguato livello di mitigazione del rischio in tempi accettabili.

Le soluzioni più comuni prevedono il ricorso a interventi che devono essere differenziati in funzione dell'area in cui vengono inseriti.

Più in particolare, si tratterà di interventi di consolidamento delle coperture detritiche nella zona di alimentazione, di briglie selettive, frangi-colata o deflettori nella zona di trasporto e di aree di espansione o vasche di accumulo (specialmente per grandi volumi) nella zona terminale.

D'altronde la definizione di un corretto programma di misure strutturali costituisce un problema sempre estremamente delicato, soprattutto per l'enorme difficoltà di prevedere in anticipo le modalità di interazione fra la colata e le opere progettate. Esistono infatti in letteratura diversi casi di fuoriuscita della colata dai canali di trasporto (Wieczorek et al., 2001) per la presenza di alberi sradicati, di cattiva manutenzione dei canali o di insufficiente sezione di deflusso.

Per queste ragioni la progettazione di tali tipologie di intervento dovrebbe sempre essere preceduta da studi preliminari ad elevato livello di approfondimento finalizzati alla previsione, alla zonazione, alla valutazione dei parametri geologici ed idrologici, e possibilmente, all'esecuzione di modellazioni numeriche che consentano di individuare le zone a maggiore criticità.

4 Il Debris Flow di Borca di Cadore

Il più recente e significativo episodio di colata avvenuto nel canale di Cancia in comune di Borca di Cadore, risale al 7 agosto 1996. (vd. Figg. 4 e 5)

In tale occasione, a seguito di un episodio temporalesco di notevole intensità, una colata di oltre 40'000 m³ ha colpito l'abitato di Cancia, danneggiando una ventina di abitazioni e circa 30 autovetture, ma fortunatamente, senza perdita di vite umane. Nella fase acuta, alla vicina stazione di Villanova è stata registrata un'altezza di pioggia di 26.2 mm per una durata di circa 30 minuti, benché in precedenza si fosse assistito ad un periodo di pioggia poco intenso, ma prolungato per quasi una settimana (vd. tab. 1).

Con riferimento ai dati riportati in tabella 1, sembra utile ricordare quanto riportato da Panizza et al. (1996), circa la probabile sottostima dei valori registrati a Villanova rispetto a quelli che si sarebbero misurati nella parte più alta del bacino, dove la colata si è effettivamente originata.

Tabella 1: altezze di pioggia alla stazione di Villanova per il periodo 1-10 Agosto 1996 (da Panizza et al., 1996).

| Giorni | 1/8/96 | 2/8/96 | 3/8/96 | 4/8/96 | 5/8/96 | 6/8/96 | 7/8/96 | 8/8/96 | 9/8/96 | 10/8/96 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| mm | 0 | 18.2 | 16.0 | 9.0 | 0 | 2.2 | 26.4 | 4.6 | 0 | 3.6 |

Il canale di Cancia è storicamente ben noto per la formazione di colate detritiche in occasione di intensi eventi di pioggia, soprattutto nei mesi di luglio e agosto (vd. figg. 6 e 7)

Di particolare significatività ai fini progettuali è l'evento del 27/7/1868, sia per la rilevanza dell'episodio, valutato in oltre 100'000 m³, sia per la possibilità di ricostruirne l'area di accumulo sulla base della documentazione testimoniale (fig. 7).

Naturalmente, per il bassissimo livello di insediamento dell'epoca, l'entità del danno, se confrontata con la magnitudo del fenomeno, fu particolarmente bassa: tuttavia anche in tali condizioni si contarono 11 vittime e la perdita di 13 abitazioni.

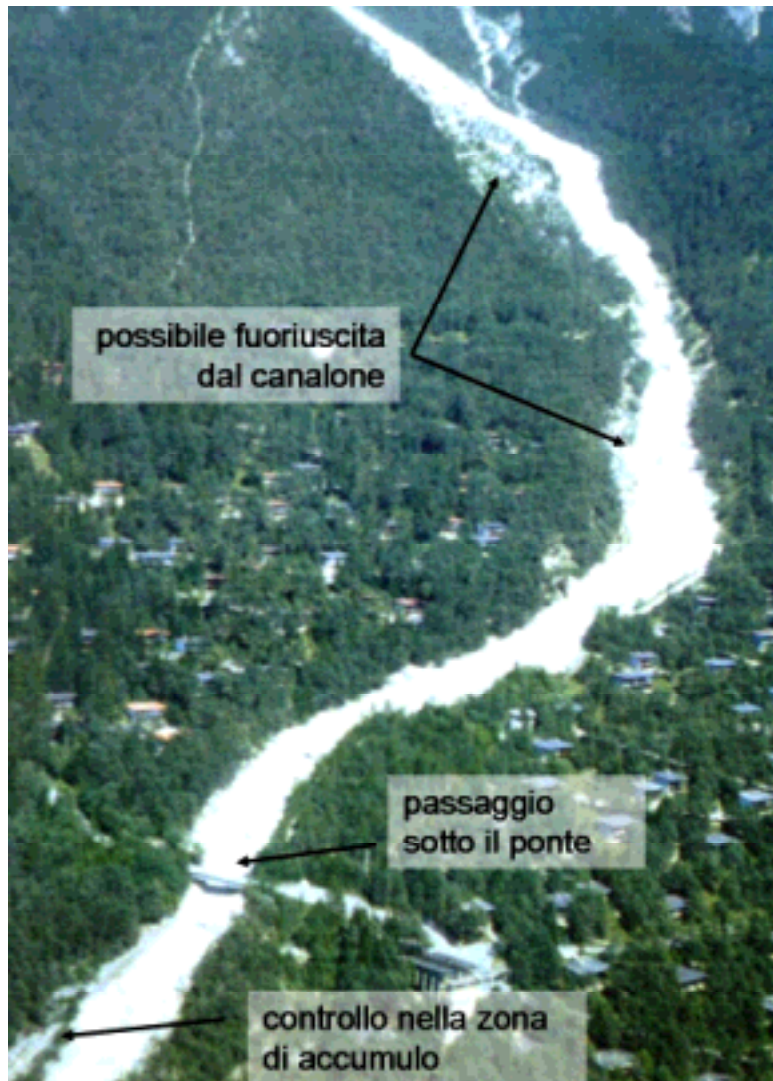


Figura 4. Colata del 7/8/1996 nell'area occupata dal villaggio ex ENI: potenziali elementi di criticità



Figura 5. Colata del 7/8/1996 all'intersezione con la S.S. di Alemagna: dall'immagine risulta evidente la necessità di controllare la colata nell'area di accumulo.

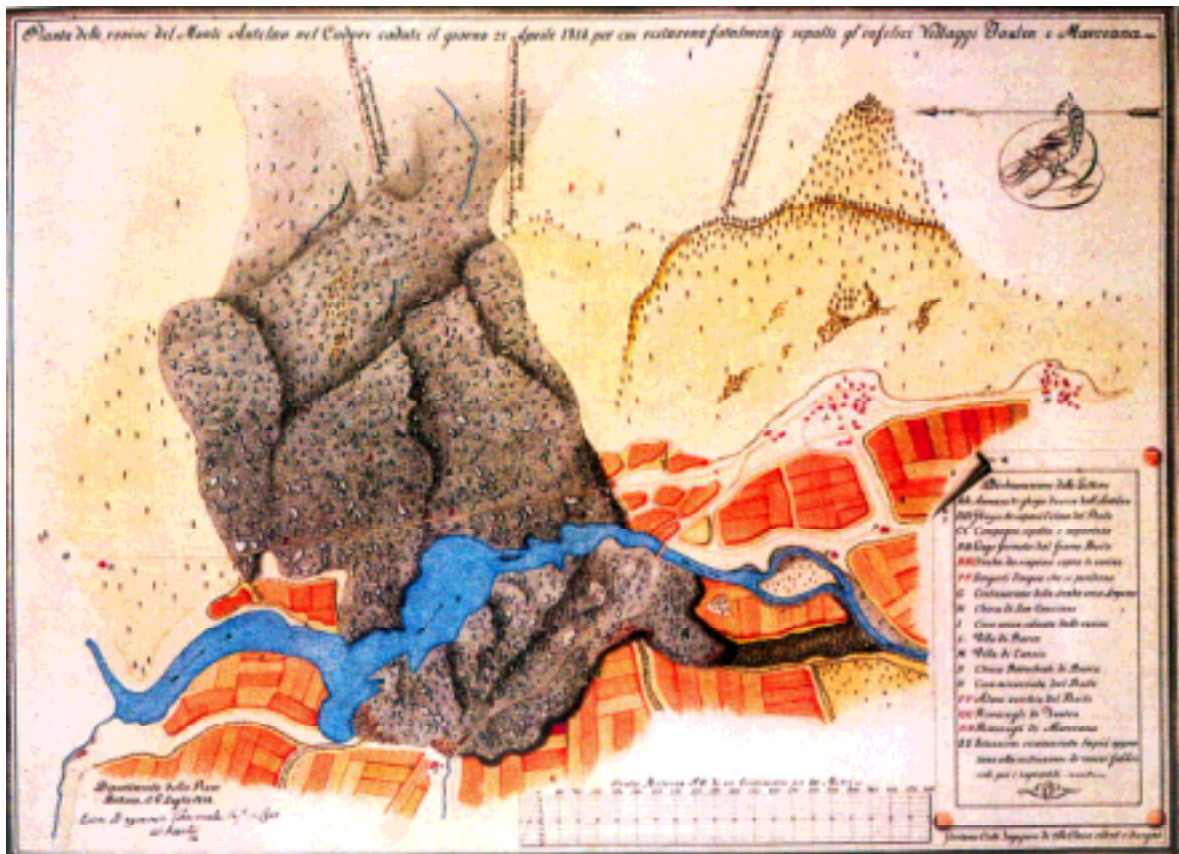


Figura 6. Colata del 21/04/1814: “Pianta delle rovine del Monte Antelao nel Cadore cadute il giorno 21 Aprile 1814 per cui restarono fatalmente sepolti gl’infelici Villaggi Faulen e Marceana” (da De Nard, 1988)

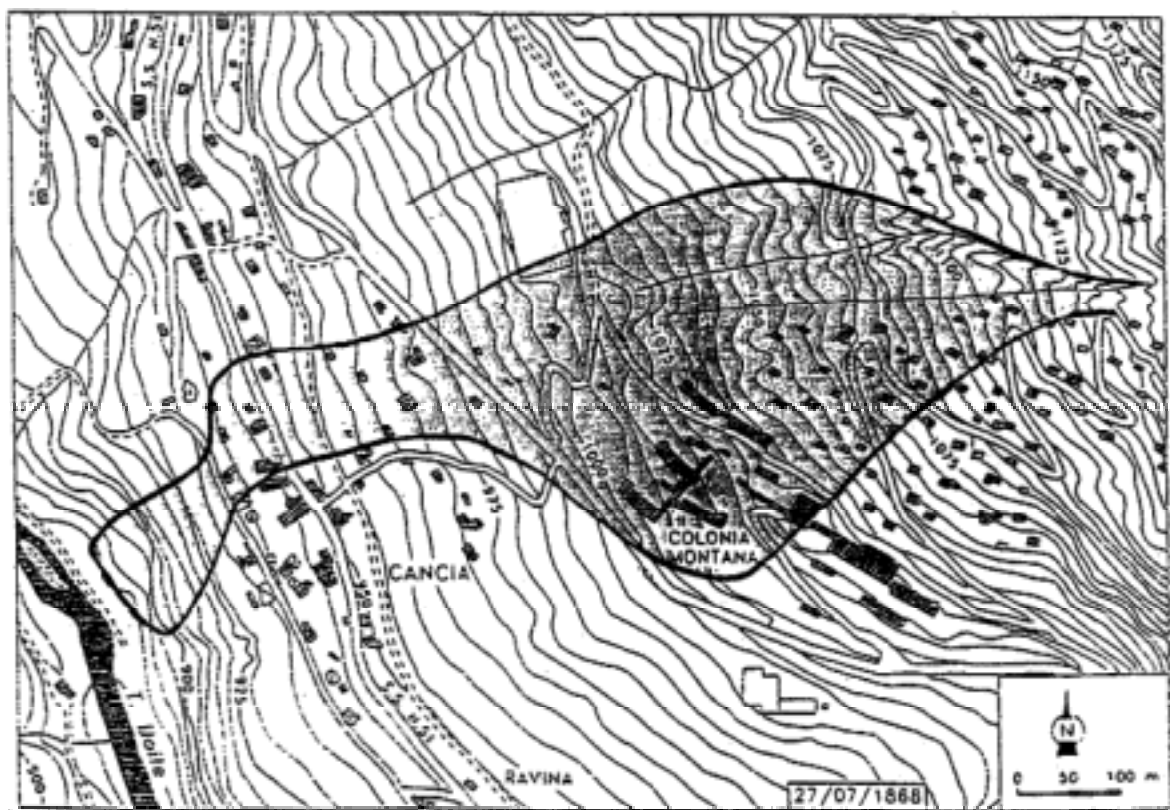


Figura 7. Colata del 27/7/1868 (da Panizza et al., 1996).

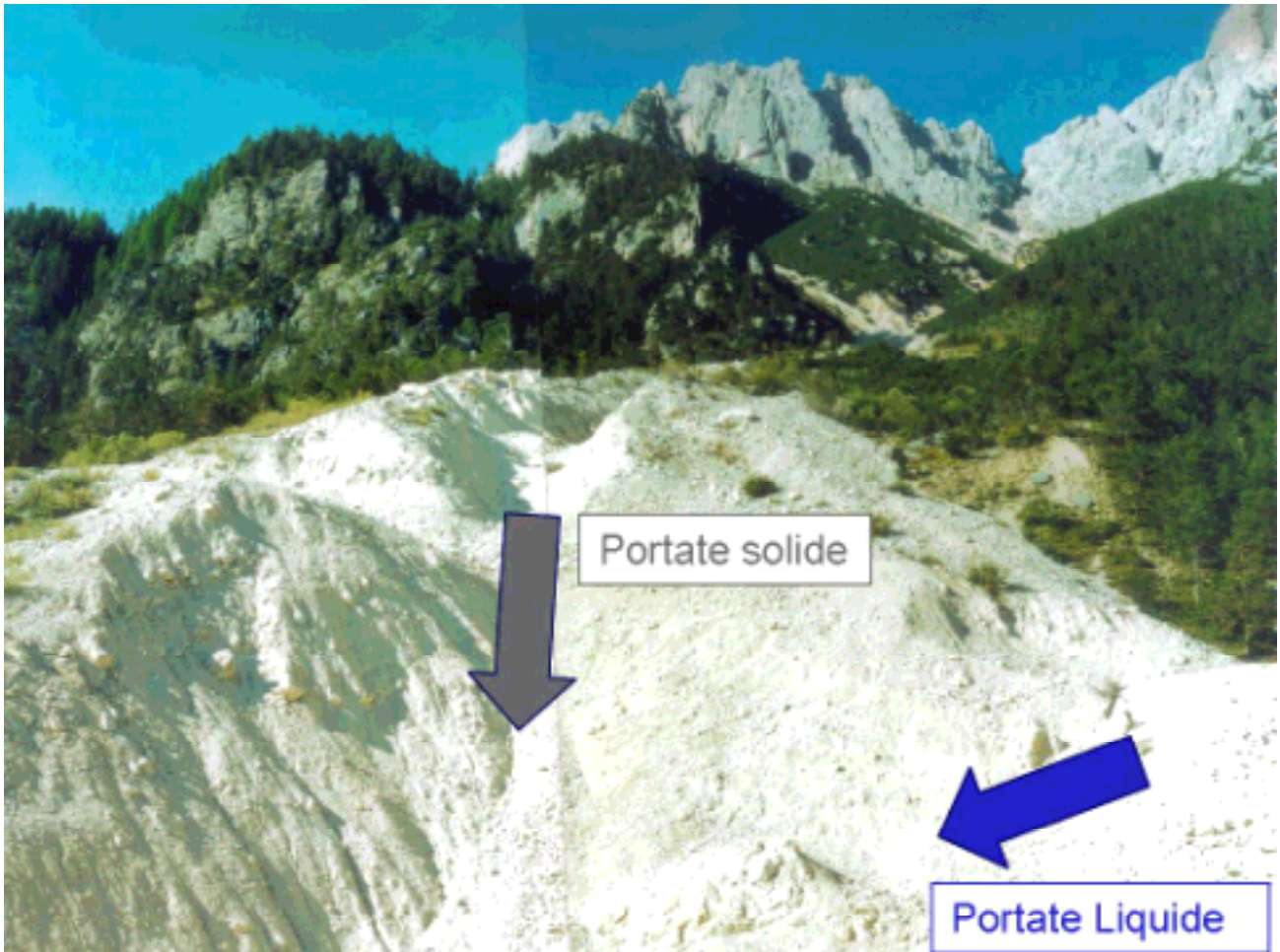


Figura 8. Area di confluenza tra le portate prevalentemente solide e prevalentemente liquide (origine della colata). Si è evidenziata la necessità di consolidare gli enormi volumi di materiale detritico disponibili al trasporto solido.

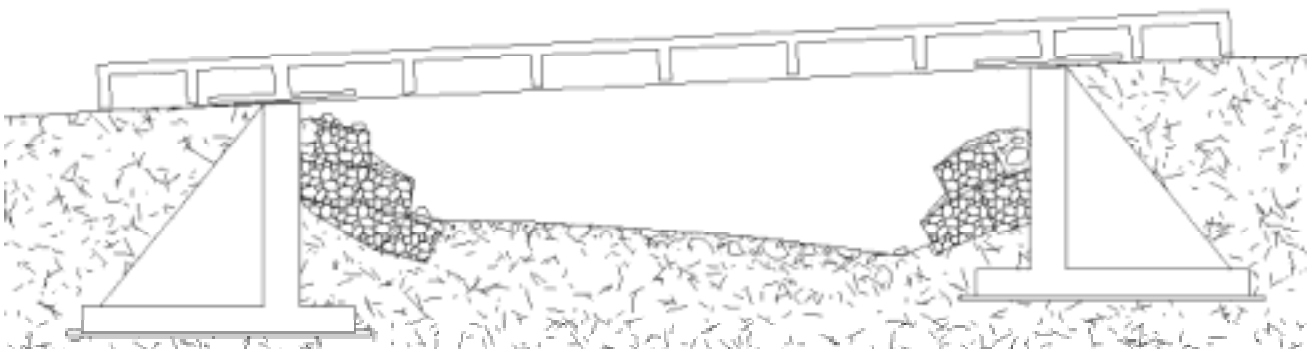


Figura 9. Canalone di trasporto: è evidente la potenziale occlusione della sezione di attraversamento

La frequenza degli episodi di colata (nel 1987, 1994 e 1996 gli ultimi), e la necessità di garantire adeguate condizioni di sicurezza per la locale popolazione di Cancia e per gli insediamenti turistici ha quindi imposto un intervento con misure strutturali finalizzate ad una drastica mitigazione del rischio.

Sono stati quindi messi a disposizione dei progettisti i risultati degli studi precedentemente eseguiti sulla colata nel corso degli anni: si ricordano, fra gli altri la memoria di Panizza et al. (1996) e gli studi eseguiti dalle Università di Trento (modellazione numerica della colata), e di Padova (studio delle modalità di innesco).

Con riferimento alle modalità di innesco del fenomeno è stato ad esempio possibile evidenziare la non applicabilità del criterio idrologico *tout-court*. Nel caso specifico è stato fatto notare dagli estensori dello studio che, analizzando le registrazioni dei dati di diverse stazioni dell'area, si riscontrava la presenza di eventi di elevata intensità ai quali non era però seguito l'innesco della colata.

La ragione di tale circostanza era da ricercarsi nella morfometria delle coperture detritiche: infatti, a causa dell'elevata granulometria dei depositi, nessun deflusso superficiale può instaurarsi senza una preventiva saturazione. Per l'ottenimento delle condizioni necessarie all'innesco della colata è quindi necessario un lungo periodo di pioggia, così da saturare i livelli sciolti superficiali, seguito da un evento di elevata intensità.

A partire dalle considerazioni suesposte, è stato possibile definire i parametri della pioggia di progetto a e n per tempo di ritorno pari a 100 anni e per durate di 0.5 e 1 ora (vd. tab. 2).

Dai risultati delle modellazioni numeriche si è ulteriormente caratterizzato l'evento di progetto tramite l'individuazione di un tempo di concentrazione di 1800 sec, una portata massima di $56 \text{ m}^3/\text{sec}$ ed un volume complessivo di $105'000 \text{ m}^3$. E' stata inoltre stimata la massima velocità di deflusso in corrispondenza di una sezione trasversale ubicata in prossimità della vasca di accumulo con valori compresi tra 1.0 e 1.2 m/sec.

Tabella 2: parametri della pioggia di progetto per un tempo di ritorno di 100 anni.

| a | n | T | i | h |
|------|------|-----|------|------|
| 40.4 | 0.30 | 0.5 | 65.6 | 32.8 |
| 40.4 | 0.30 | 1.0 | 40.4 | 40.4 |

5 Criteri di progetto

Una volta individuate le caratteristiche dell'evento di progetto, è stato dapprima necessario identificare la soluzione "concettuale" che in un secondo momento sarebbe poi stata compiutamente definita nei suoi dettagli tecnico-realizzativi.

Per questo motivo si è proceduto alla valutazione di più alternative che, in estrema sintesi, possono essere ricondotte alle seguenti famiglie.

Soluzioni che non prevedono significative modifiche sulle modalità di trasporto della colata. Secondo un tale approccio gli interventi nelle parti alta e mediana dovrebbero limitarsi all'eliminazione delle principali criticità riscontrate (vd. figg. 4, 5, 8, 9), mentre le azioni più significative dovrebbero indirizzarsi nell'area di accumulo, allo scopo di controllarne lo spagliamento, o mediante la realizzazione di una grossa vasca di accumulo (aumentando la capacità di invaso di una vasca già precedentemente realizzata), o mediante la realizzazione di un'opera in grado di garantire un deflusso della colata in condizioni di sicurezza sino all'immissione nel Torrente Boite in fondovalle. Quest'ultima ipotesi ha però destato forti perplessità legate tra l'altro alla valutazione preventiva degli effetti dovuti all'immissione della colata sulle modalità di deflusso del Torrente Boite.

Soluzioni che prevedono la deviazione della colata. In questo caso si tratterebbe di realizzare un canale a cielo aperto fino al raggiungimento di un'area caratterizzata da una morfologia idonea a fungere da area di espansione e di arresto della colata. Questo approccio richiede l'inserimento nel canale di una curva artificiale per deviare la colata sul nuovo tracciato, con tutte le incertezze e le difficoltà connesse con questo tipo di interventi. Permangono inoltre significative incertezze sulle modalità di espansione della colata in prossimità dello sbocco del nuovo canale, con la possibilità che una consistente aliquota del volume di colata possa trascinare la soglia di valle in prossimità della sottostante Strada Statale di Alemagna.

Soluzioni che prevedono la deviazione delle portate prevalentemente liquide. A differenza della precedente, questa tipologia di soluzione prevederebbe di intervenire a monte dell'area in cui si realizza la confluenza fra le portate prevalentemente solide e prevalentemente liquide, allontanando solo queste ultime in

modo da ridurre enormemente, se non addirittura eliminare, i volumi di colata. Tale obiettivo potrebbe essere raggiunto in modi diversi: o realizzando un diversivo in grado di recapitare le acque in un rio attiguo (da effettuarsi però in galleria, a causa della conformazione morfologica dell'area), o da realizzarsi in parallelo al canale esistente. Per questa ultima eventualità si è considerata sia la possibilità di convogliamento in tubazione, sia a cielo aperto, in affiancamento al canale. Per tutte le soluzioni appartenenti a quest'ultima categoria sono però rimaste perplessità tali da sconsigliarne la scelta. Se da un lato infatti il tombamento delle portate liquide si espone alla possibilità di intasamenti e richiederebbe continui interventi manutentivi, la possibilità di realizzare un secondo canale in affiancamento è sembrata ancor meno fattibile, sia per l'esiguità degli spazi a disposizione in tutto il tratto del villaggio ex-ENI, sia per l'eccessivo impatto paesistico dovuto alla presenza di due canali affiancati.

In aggiunta alle tipologie così classificate si sono aggiunte ulteriori proposte, fra le quali vale la pena di citare la realizzazione di una seconda vasca di accumulo (oltre a quella già esistente) da collocarsi alla confluenza fra i canali di alimentazione (vd. fig. 8). La realizzazione di una tale opera comporterebbe la costruzione di un grosso sbarramento e l'accumulo di un considerevole volume di materiale solido ad alta quota. Le principali obiezioni ad una tale soluzione muovono quindi soprattutto a partire dalle problematiche connesse con la realizzazione di un adeguato programma di manutenzione, ma ancor più, dal rischio di successive rimobilizzazioni delle notevoli quantità di materiale che la vasca sarebbe chiamata ad accumulare (svariate decine di migliaia di metri cubi).

6 Definizione degli interventi

Se quindi è stato preliminarmente esaminato un ampio ventaglio di soluzioni, è altresì vero che per molte di esse sono stati evidenziati punti di criticità tali da sconsigliare l'esecuzione di ulteriori approfondimenti. Si è pertanto scelto di favorire strategie che assecondero l'espansione della colata nelle aree in cui essa avviene naturalmente, piuttosto che intervenire con sbarramenti posti a monte, o con opere di deviazione che comportassero pesanti modifiche nelle modalità di deflusso.

Per evidenti ragioni di carattere ambientale, si è scelto di non realizzare ulteriori canali diversivi, mentre per ragioni di affidabilità tecnica e funzionale si è preferito evitare il collettamento di portate significative mediante condotte interrato. In linea generale si è inoltre stabilito di operare con interventi diffusi su tutta l'area di interesse, piuttosto che localizzati in una o due sezioni specifiche (figg. 10 e 11).

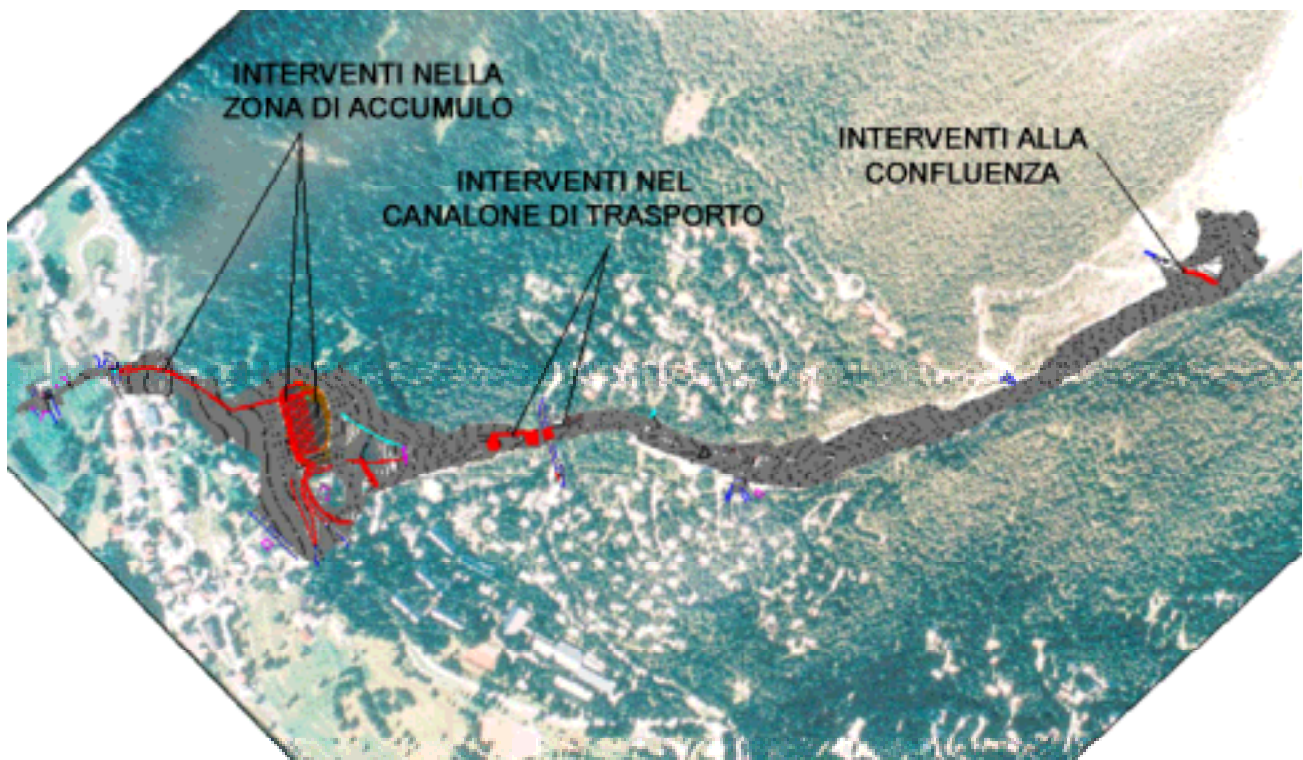


Figura 10. Posizione degli interventi sull'area di colata

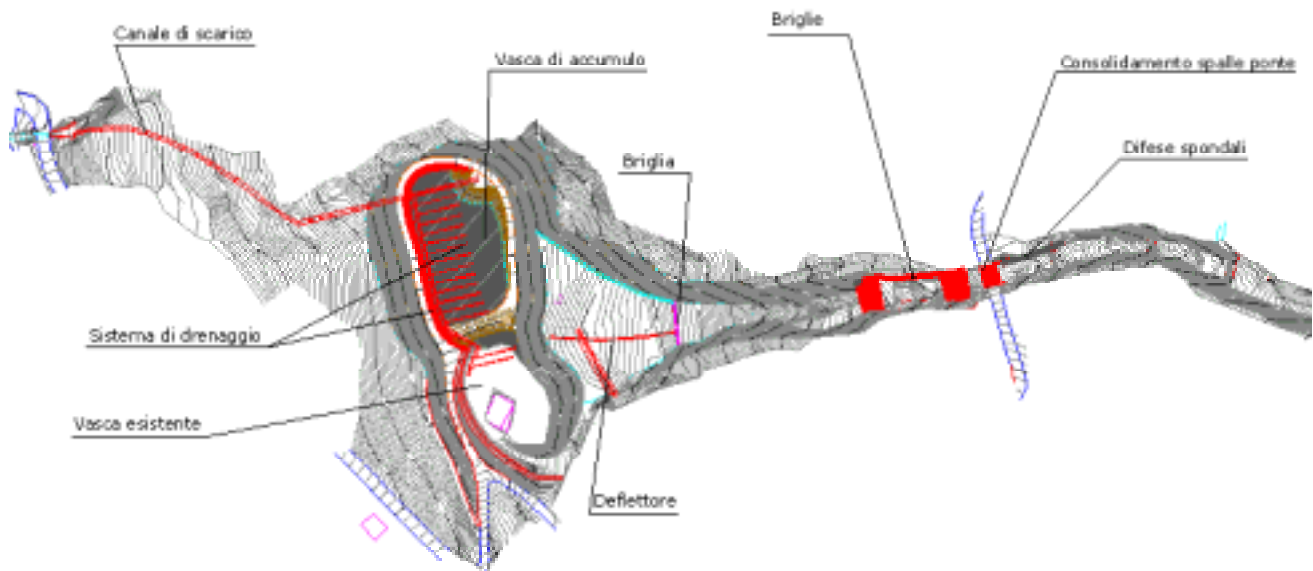


Figura 11. Pianta degli interventi sull'area di accumulo e nel canale di trasporto

Fra le alternative sopra elencate, si è quindi scelto di intervenire sul tracciato "naturale" della colata, realizzando un'ampia vasca nell'area di accumulo, incrementando la capacità di invaso di una vasca preesistente, alla quale collegare un canale per l'allontanamento delle portate liquide.

Si è previsto di realizzare il raccordo alla vasca mediante interventi di riprofilatura del versante e del tratto terminale del canale, con l'inserimento di un deflettore atto a favorire l'espansione laterale del materiale. In questo modo diventa possibile garantire una capacità di invaso di oltre 100'000 m³, valore quest'ultimo che corrisponde ad un evento avente un tempo di ritorno pari a circa 100 anni.

Dato che uno dei punti chiave del funzionamento di una vasca di accumulo risiede nella rapidità con cui viene effettuata la separazione delle portate solide e liquide, è stata posta particolare attenzione nell'ottimizzazione della capacità di drenaggio del fondo della vasca e delle sue arginature perimetrali.

L'argine della vasca (vd. fig. 12) è stato infatti realizzato con il terreno proveniente dallo scavo di realizzazione della vasca, ma con il paramento interno in gabbioni, proprio con l'intento di garantire elevate caratteristiche di permeabilità, sia in direzione longitudinale che trasversale.

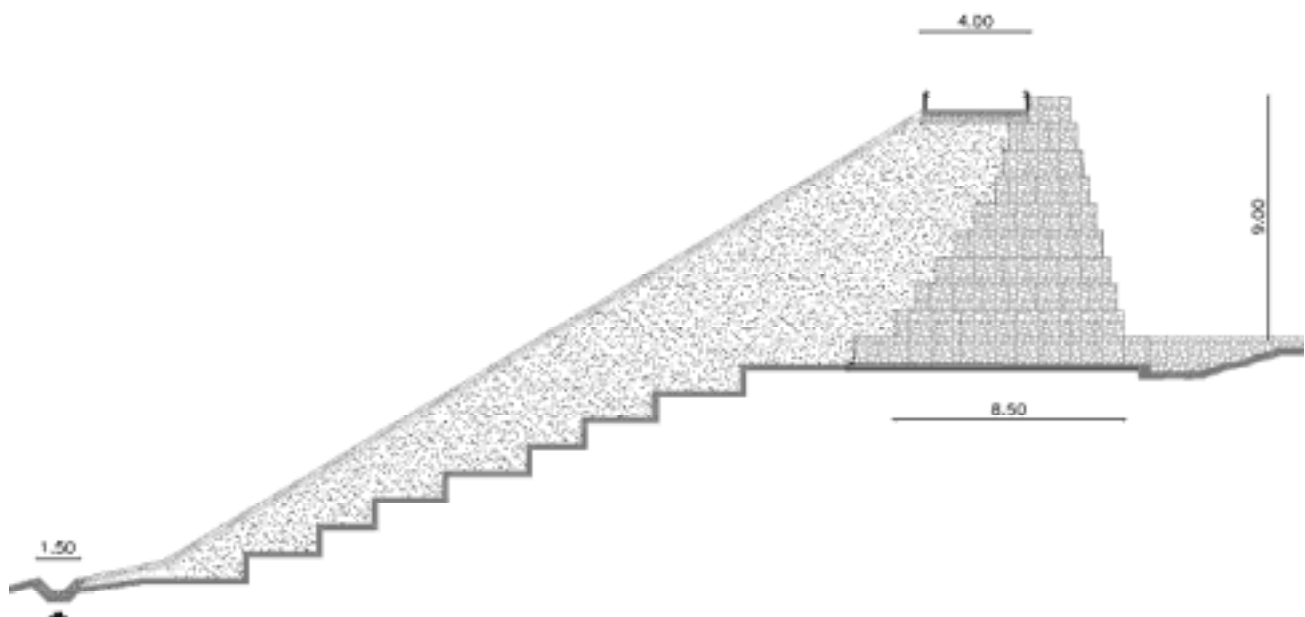


Figura 12. Sezione trasversale dell'argine di valle della vasca di accumulo

Inoltre, poiché dall'esame degli eventi pregressi era stata evidenziata la sussistenza di condizioni di criticità in corrispondenza del ponte sul canaleone (vd. fig. 9), si è prevista la realizzazione di interventi di riprofilatura dell'alveo, di sistemazione spondale e di consolidamento e protezione delle spalle del manufatto.

Da ultimo, sono stati previsti anche interventi nell'area di formazione della colata, in prossimità della confluenza tra i due canali di alimentazione, allo scopo soprattutto di consolidare gli enormi volumi di materiale detritico disponibili per la rimobilizzazione (vd. fig. 8).

Alcuni schemi descrittivi degli interventi proposti vengono riportati di seguito (figg. 13, 14, 15, 16 e 17).

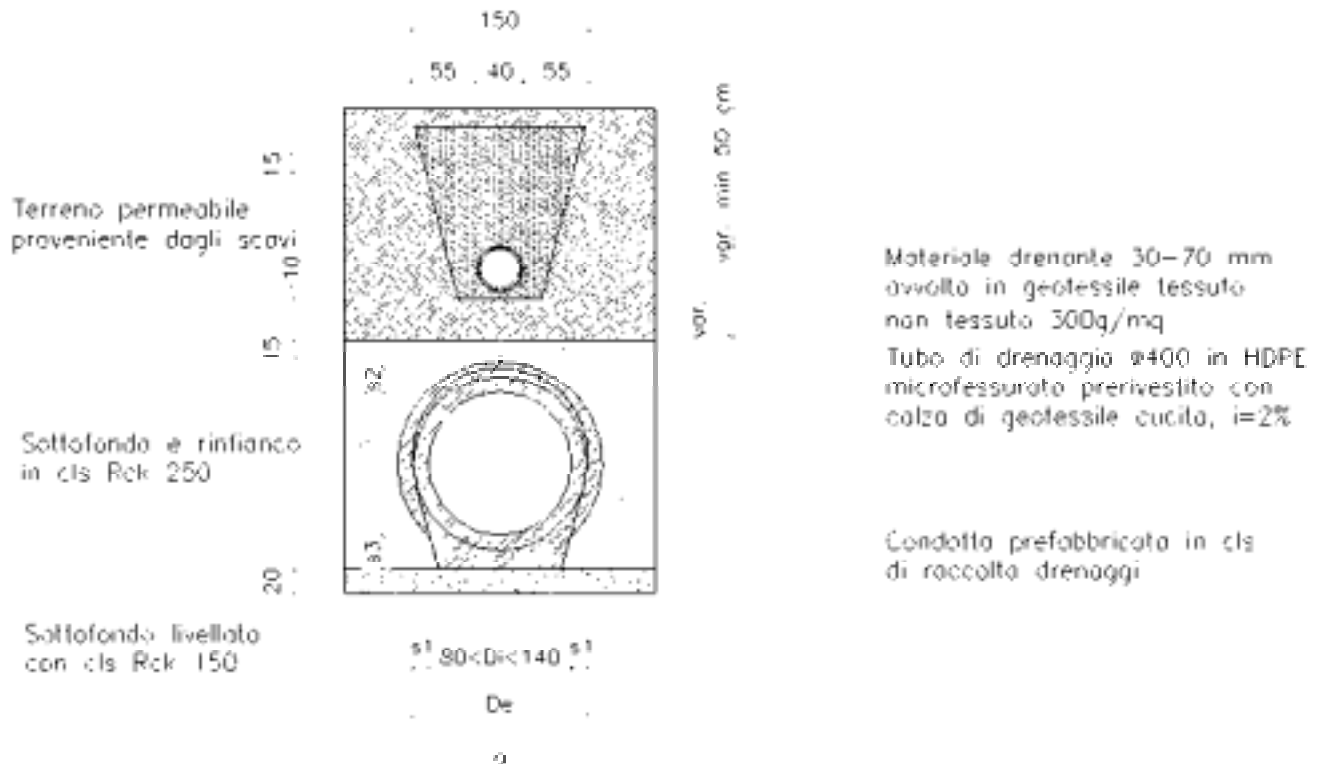


Figura 13. Sezione tipo del sistema di drenaggio della vasca di accumulo

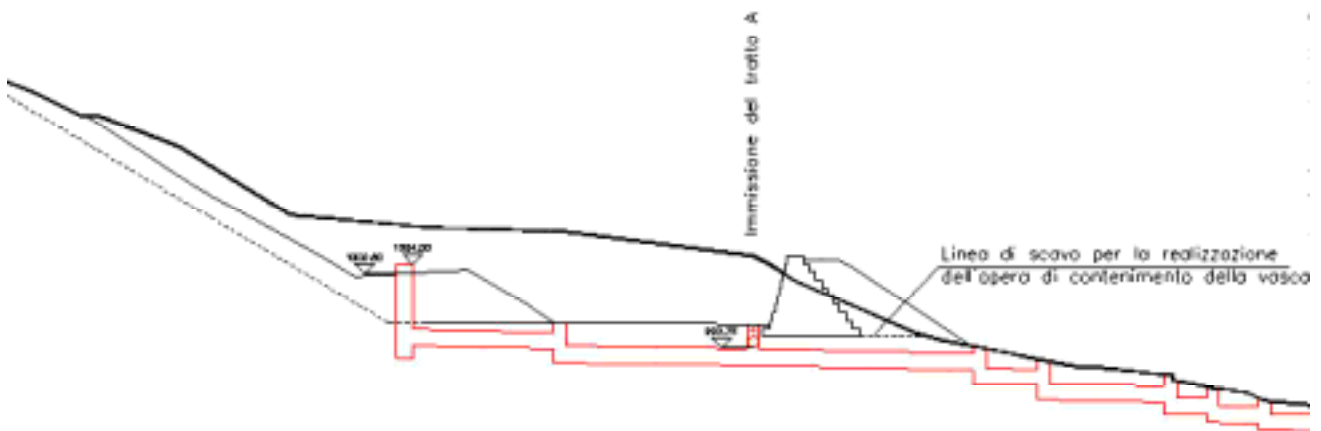


Figura 14. Profilo del sistema di drenaggio della vasca di accumulo

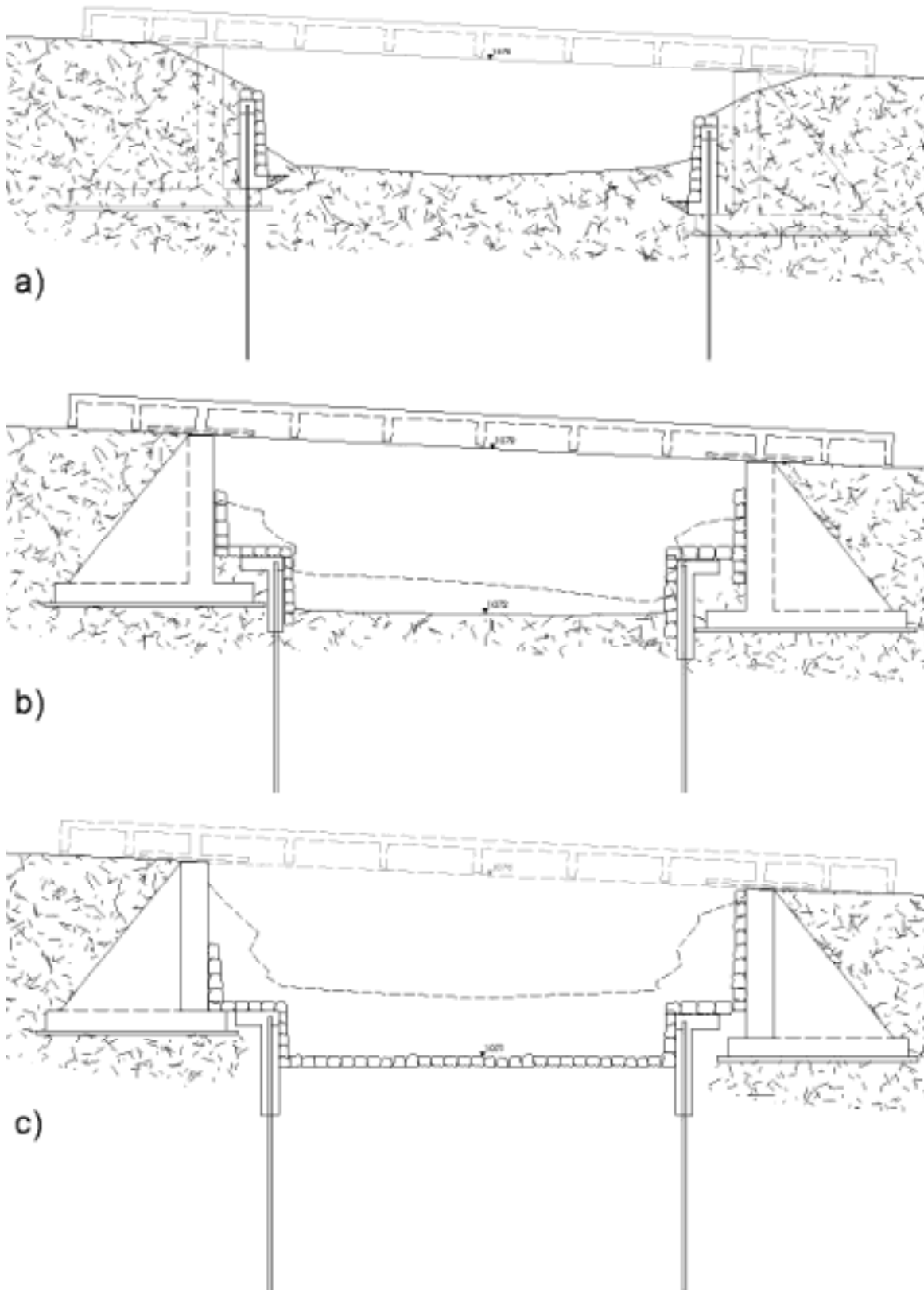


Figura 15. Interventi di consolidamento e protezione delle spalle del ponte: a) sezione di imbocco, b) sezione sotto il ponte, c) sezione di sbocco. Per il raffronto tra le condizioni di progetto e le condizioni attuali si veda la fig. 6.

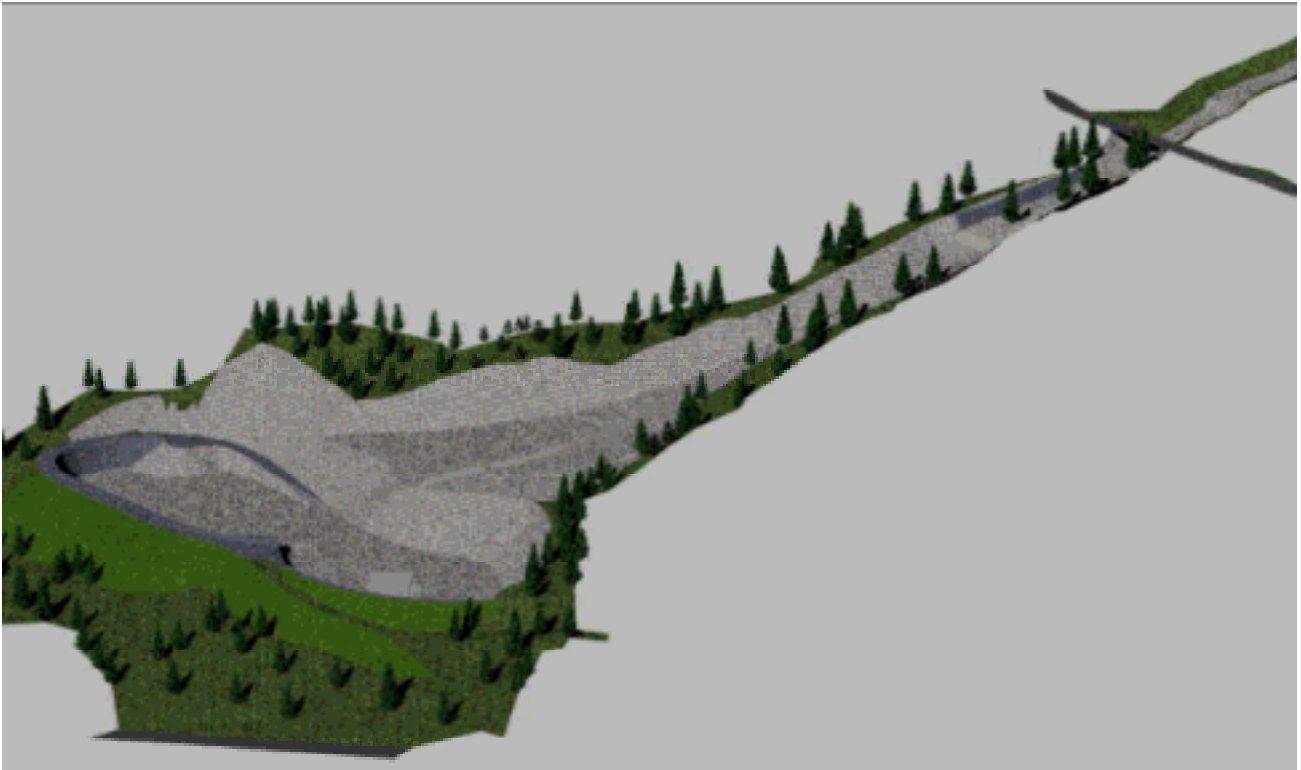


Figura 16. Vista tridimensionale (da valle) del tratto terminale

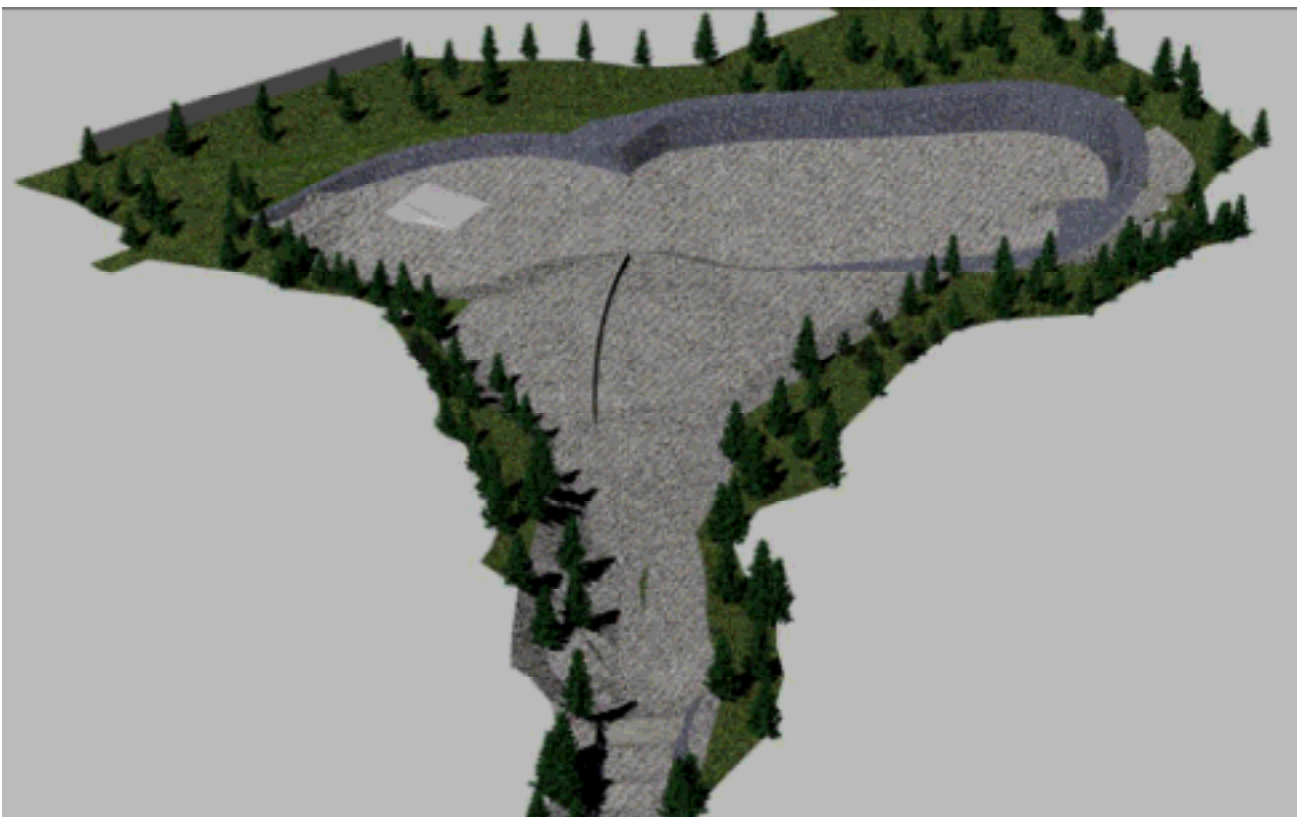


Figura 17. Vista tridimensionale (da monte) del tratto terminale

7 Sistema di allerta

Vengono di seguito proposte alcune valutazioni che possono servire alla definizione di una procedura di previsione a breve termine, in grado cioè di segnalare l'insorgere di condizioni di pericolo per la popolazione con il maggior anticipo possibile. Si tratta evidentemente di una misura non strutturale, categoria di cui si è brevemente accennato al paragrafo 3, che potrebbe costituire il primo passo per l'eventuale successiva attivazione di una procedura di emergenza che potrebbe arrivare sino all'evacuazione.

A questo scopo sarebbe possibile utilizzare la rete dei misuratori di portata già esistenti, ripristinandoli e riorganizzandone le modalità operative di funzionamento una volta terminata la realizzazione degli interventi previsti (eventualmente collegandoli a sistemi di acustici e visivi di allarme).

D'altra parte il ricorso al monitoraggio delle portate consente l'ottenimento di un sistema di allarme solo a brevissimo termine, vale a dire quando le portate defluenti sono oramai prossime ai limiti di criticità.

Al fine di individuare un sistema di allerta preventivo, in grado quindi di funzionare con maggiore anticipo, è possibile pensare all'utilizzo della rete di stazioni pluviografiche esistenti, eventualmente aggiungendone di nuove, per il monitoraggio dei dati di pioggia.

A titolo di proposta, viene di seguito riportato il diagramma (fig. 18) studiato da Moser e Hohensinn per le Alpi austriache (1983), e successivamente validato da Cancelli e Nova (1985) per le alpi Retiche.

Su tale diagramma sono stati riportati i valori registrati a Villanova, rispettivamente per gli eventi del 1994 e del 1996 (oltre che i valori di progetto utilizzati).

Con riferimento a tali eventi si è scelto di utilizzare sia i valori registrati su un intervallo temporale di una certa lunghezza (circa 3÷7 giorni), sia i valori di punta registrati su intervalli molto brevi (5÷30 minuti).

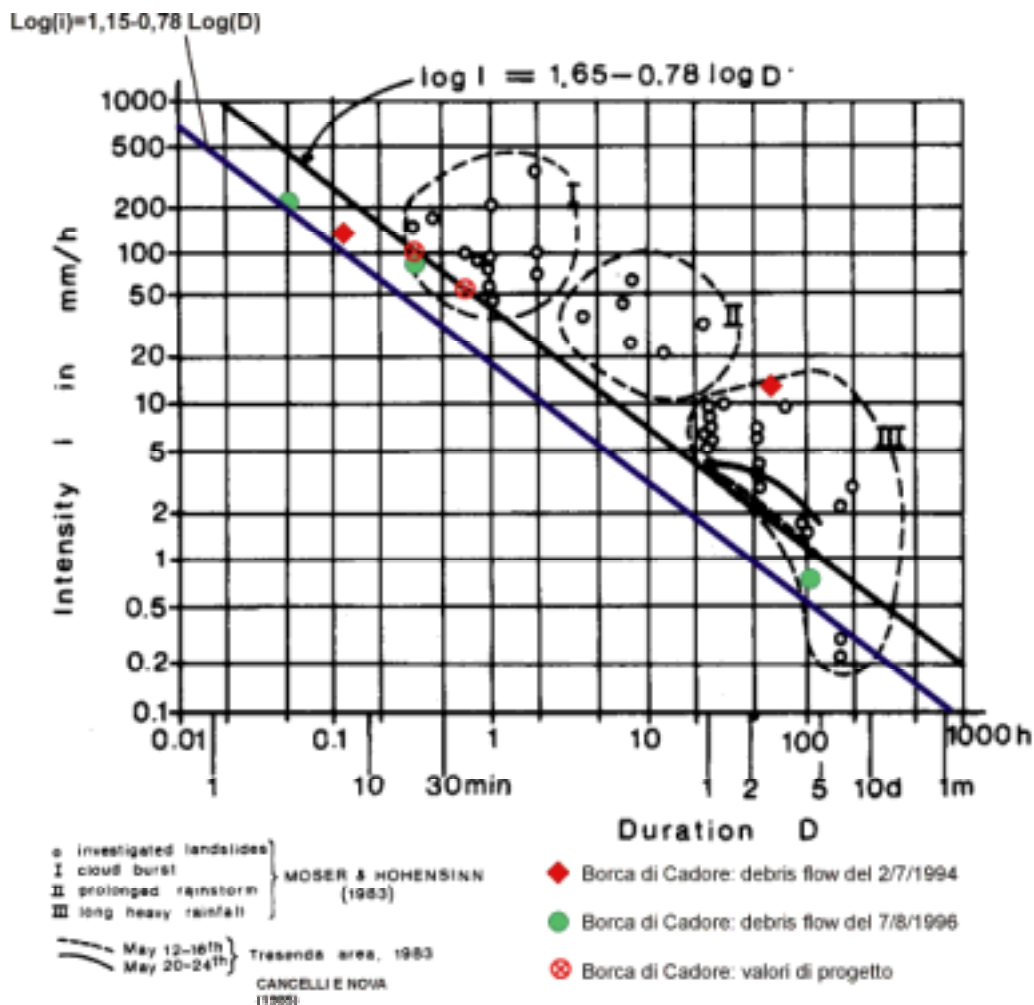


Figura 18. Soglia di innesco per gli eventi del 1994 e del 1996 registrati a Villanova. (mod. da Cancelli e Nova, 1985)

In figura è stata riportata una possibile relazione intensità-durata, determinata a partire da quella originariamente definita da Moser e Hohensinn ($\log I = 1.65 - 0.78 \log D$), ricalibrandola sui dati registrati a Villanova ($\log I = 1.15 - 0.78 \log D$), operando di fatto una semplice traslazione.

La scelta dei valori di durata è stata operata anche sulla base di quanto sommariamente esposto al paragrafo 2 circa le modalità di innesco delle colate detritiche. Il caso specifico della colata in esame ha confermato che la condizione necessaria a predisporre l'innesco della colata sembra essere un periodo di precipitazioni sufficientemente lungo da provocare la saturazione dei depositi nell'area di formazione. Naturalmente l'altezza di pioggia necessaria dipende dal livello piezometrico di partenza, e quindi dalla stagione: non a caso la maggior parte degli eventi pregressi si concentra nel periodo, ben delimitato, dei mesi di luglio e agosto quando, a causa dei rilevanti apporti di origine nivo-glaciale, la soggiacenza della falda è minima.

Da un punto di vista strettamente operativo si potrebbe quindi pensare di monitorare gli eventi di lunga durata, almeno 3÷5 giorni, attivando lo stato di allerta solo al raggiungimento di un determinato valore di intensità (causa predisponente) prima che, al verificarsi di un evento intenso, di durata da 10 minuti a 1 ora, si realizzi anche la causa scatenante.

D'altra parte, per l'effettiva applicabilità di una siffatta procedura, si ritiene indispensabile procedere alla calibrazione dei parametri con la massima cura, ponendo particolare attenzione alle possibili conseguenze di un eccessivo numero di falsi allarmi, o viceversa, di una sottostima del grado di pericolosità di un evento pluviometrico.

A tale scopo si ritiene opportuno incrociare il monitoraggio dei dati di pioggia con un monitoraggio piezometrico effettuato in continuo su una rete di pozzi realizzati ad hoc a diverse quote del canalone. In questo modo diventerebbe possibile prescindere dagli effetti stagionali, definendo il livello di pericolo a partire direttamente dal grado di saturazione delle coperture detritiche ubicate nell'area di formazione della colata.

Nota

Il progetto è stato redatto da un'associazione temporanea costituita, oltre che dallo Studio Cancelli Associato, anche dallo Studio Galli (capogruppo) e dallo Studio Maione Ingegneri Associati: ad essi va quindi il ringraziamento dell'autore per la disponibilità mostrata.

Bibliografia

1. Annunziati, A., Focardi, A., Focardi, P., Martello, S., Vannucci, P. (2000). Analysis of the Rainfall Thresholds that Induced Debris Flows in the Area of Apuan Alps – Tuscany, Italy (1996 Storm). In Claps, P., Siccardi, F. Mediterranean Storms. *Proc. of the EGS Plinius Conference*, Maratea, Italy, October, 1999. Ed. Bios, Cosenza, Italy, p°485-493.
2. Arattano, M., Deganutti, A.M., Marchi, L. (1997). Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumented Watershed on the Italian Alps. *Proc. of 1st Int. Conf. On Debris Flow Hazards Mitigation*, San Francisco, August, 7/9 1997, ASCE, p°506-515.
3. Armanini, A. (1999) Dinamica delle Colate di Detriti. *Proc. Conf. Previsione e Prevenzione di Movimenti Franosi Rapidi. GEAM*. Trento June 17-18-19 1999. Trento. p°207-221.
4. Armanini, A. (1997). Problemi di Debris Flow nelle Sistemazioni Idrauliche. *Atti del Seminario su Nuovi Sviluppi Applicativi dell'Idraulica dei Corsi d'Acqua, in onore del Prof. Claudio Datei*. Bressanone.
5. Baldwin, J.E., Donley, H.F. Howard, T.R. (1987). On Debris Flow/Avalanche Mitigation and Control. In Wieczorek, G.F., eds., *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation*, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, v.7, p°223-236.
6. Berti, M., Genevois, R., LaHusen, R., Simoni, A., Tecca, P.R. (1999). Debris Flow Monitoring in the Acquabona Watershed on the Dolomites (Italian Alps). *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*.
7. Cancelli, A., Nova, R. (1985). Landslides in Soil Debris Cover Triggered by Rainstorms in Valtellina (Central Alps . Italy). *Proc. IVth Int. Conf. and Field Workshop on Landslides*, 1985. Tokio
8. Cannon, S.H., Ellen, S.D. (1985). Rainfall Conditions for Abundant Debris Avalanches in the San Francisco Bay Region, California. *California Geology*, v.38, n°12, p°267-272.
9. Ceriani M., Lauzi S., Padovan N. (1994). Rainfall Threshold triggering debris flows in the alpine area of Lombardia region, Central Alps. Italy. *Man and Mountain*, 1994, Ponte di Legno (BS).

10. Crosta, G. (1998). Regionalization of Rainfall Thresholds: an Aid to Landslide Hazard Evaluation. *Environmental Geology, International Journal of Geosciences. Special Issue: Hydrogeological Triggers of Diffused Landsliding*. Springer-Verlag, v.35, n°2-3, p°131-145.
11. De Nard, E., (1988). *Cartografia storica dei territori bellunesi*. Biblioteca Civica, Belluno.
12. Deganutti, A.M., Marchi, L., Arattano, M., (2000). Rainfall and Debris Flows Occurrence in the Moscardo Basin (Italian Alps). In Wieczorek, G.F., eds., *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation*, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, v.7, p°31-40.
13. Deganutti, A.M., Pasuto, A., Silvano, S., Tecca, P.R. (1999). Colate Detritiche in Ambiente Alpino. *Proc. Conf. Previsione e Prevenzione di Movimenti Franosi Rapidi. GEAM*. Trento June 17-18-19 1999. Trento. p°123-131.
14. Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R., Widger, R.A. (1978). Shear Strength of Unsaturated Soils. *Canadian Geotechnical Journal*. V.15, n.13, p°313-321
15. Govi, M., Sorzana, P.F. (1980). Landslide Susceptibility as a Function of Critical Rainfall Amount in the Piedmont Basin (North Western Italy). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, v.14, p°43-61.
16. Green, W.H., Ampt, G.A. (1911) Studies on Soil Physics: 1. Flow of Air and Water Through Soils. *J. Agric. Sci.* V.4, p°1-24.
17. Jibson, R.W. (1989). Debris Flows in Southern Puerto Rico. In Schultz, A.P., Jibson, R.W., eds. *Landslide Processes of the Eastern United States and Puerto Rico. Geological Society of America Special Paper n°236*, p°29-55.
18. Hampel, R. (1968). *Geschiebeablagerungen in Wildbachen, Dargestellt am Modellversuchen – Teil 1 und 2 in Wildbach und Lawinenverbau*. N°1 u. 2., 32nd Year.
19. Honglian, L., Xiangxing Cai, (1988). Some Characteristics of Debris Flows in Mountain Areas of Western China. *Interpraevent 1988*. Graz, p°157-172.
20. Larsen, M.C., Simon, A. (1993). A Rainfall Intensity-Duration Threshold for Landslides in a Humid Tropical Environment, Puerto Rico. *Geografiska Annaler*, v.75A, n°1-2, p°13-23.
21. Panizza, M., Piacente, S., Silvano, S., Siorpaes, C., Toffoletto, F., Bozzo, G.P. (1996). La frana di Borca di Cadore (BL) del 7 agosto 1996. *Mems. Società Geologica Italiana*. 1996
22. Skempton, A.W., De Lory, F.A. (1957). Stability of Natural Slopes in London Clay. *Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historical Sites; Proc., 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.* 2, p°378-381, London.
23. Van Dine, D.F. (1996). *Debris Flow Control Structures for Forest Engineering*. Province of British Columbia Ministry of Forests Research Program, 68 p.
24. Wieczorek, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A., Blair, J.L. (2001). Debris-Flow and Flooding Hazards associated with the December 1999 Storm in Coastal Venezuela and Strategies for Mitigation. *U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0144*.
25. Wieczorek, G.F., Morgan, Campbell, R.H. (2000). Debris-Flow Hazards in the Blue Ridge of Central Virginia. *Environmental & Engineering Geoscience*. v. VI, n°1, p°3-23.
26. Wilson, R.C., Torikai, J.D., Ellen, S.D. (1992). Development of Rainfall Warning Thresholds for Debris Flows in the Honolulu District, Oahu. *U.S. Geological Survey Open-File Report 92-521*.