

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica – Padova

**COLLABORAZIONE IN RICERCHE SUL SITO DI
CANCIA (COMUNE DI BORCA DI CADORE, BL)
PER LO STUDIO E L'INDIVIDUAZIONE DI
POSSIBILI SOLUZIONI PROGETTUALI PER
INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO
DA COLATA DETRITICA**



Relazione tecnica

G. Bossi, A. Deganutti, A. Pasuto, P. R. Tecca

Padova, 22 settembre 2011

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	1
2	AREA DI STUDIO.....	2
2.1	La colata detritica di Cancia.....	4
3	ANALISI STORICA DELLE COLATE DETRITICHE DI CANCIA.....	10
4	EVOLUZIONE URBANISTICA DEL CONOIDE DI CANCIA.....	12
5	IPOTESI PROGETTUALI.....	14
5.1	Premesse metodologiche e scelte operative	14
5.2	Soluzioni investigate	18
6	COLATA DI PROGETTO e APPLICAZIONE DEL MODELLO FLO-2D	25
6.1	Principali caratteristiche del modello FLO-2D	25
6.2	Dati di input.....	26
6.3	Simulazioni condotte.....	28
6.3.1	Simulazione n. 1	28
6.3.2	Simulazione n. 2	30
6.3.3	Simulazione n. 3	31
6.3.4	Simulazione n. 4.....	32
6.3.5	Simulazione n. 5	33
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	35
8	Bibliografia	40

1 PREMESSA

Nell'ambito della convenzione stipulata tra la Provincia di Belluno e l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - Unità Organizzativa di Supporto di Padova, la presente relazione tecnica illustra una serie di possibili proposte di intervento volte ad affrontare e, per quanto possibile, risolvere, la situazione di grave rischio idrogeologico che interessa l'abitato di Cancia, nel comune di Borca di Cadore, Belluno.

Il fenomeno in oggetto rappresenta da sempre una seria minaccia per la sicurezza degli abitati posti sul conoide e la situazione si è ulteriormente aggravata a seguito della costruzione, alla fine degli anni '50, del villaggio turistico "Eni". Negli ultimi decenni si è inoltre registrato un aumento nella frequenza degli eventi, probabilmente legato ad un più generale cambiamento climatico, che ha portato ad una più elevata ricorrenza di eventi piovosi particolarmente intensi. Gli eventi del '94 e '96 e, più di recente, il disastroso fenomeno del 18 luglio 2009, testimoniano infatti un incremento nelle condizioni di rischio a cui sono sottoposti, non solo gli abitanti, ma anche e soprattutto le infrastrutture e le abitazioni della frazione di Cancia.

In questo contesto il quesito posto dalla Provincia di Belluno era quello di individuare, sulla base di una modellazione matematica, delle possibili soluzioni strutturali per la mitigazione del rischio sul conoide ed in particolare per i centri abitati. Si è quindi scelto di impiegare il codice di calcolo FLO-2D per un'analisi delle modalità di propagazione delle colate detritiche lungo tre percorsi artificiali alternativi, posti in sinistra idrografica dell'attuale canale, anch'esso artificiale. I dati topografici utilizzati nel presente studio, sono stati ottenuti dal rilievo LIDAR con risoluzione 5 m, eseguito nel maggio 2009 e fornito dalla Provincia di Belluno. Si è voluto analizzare possibili scenari alternativi senza condizionamenti legati a problemi di budget o di fattibilità delle possibili opere da realizzare. Si rimanda quindi a studi di fattibilità, che potranno essere svolti successivamente da professionisti o dagli uffici tecnici della Provincia, la scelta definitiva degli interventi da attuare.

La presente relazione rappresenta dunque la fase finale dello studio condotto e che ha implicato numerosi sopralluoghi sul sito e una campagna di misure topografiche in corrispondenza della zona apicale del conoide. E' stata inoltre svolta una ricognizione in elicottero per verificare lo stato dell'area, soprattutto nella zona sorgente a ridosso di Forcella Salvella e nel bacino del Bus del Diau, affluente in sinistra del canale principale.

2 AREA DI STUDIO

La colata detritica di Cancia è ubicata sul versante sinistro della Valle del Torrente Boite (Fig. 1), un'area rappresentativa delle Dolomiti sia dal punto di vista geo-litologico, che dal punto di vista geomorfologico, essendo interessata da numerose colate detritiche, sia canalizzate che di versante, alcune di queste aventi una elevata frequenza di accadimento.

La morfologia dell'area è fortemente influenzata dall'assetto geologico, caratterizzato da un'alternanza di formazioni rigide, quali ad esempio la Dolomia Principale, e plastiche, come la Formazione di San Cassiano, oltre che dalla struttura. L'immersione degli strati delle unità geologiche coinvolte nei sovrascorrimenti ha infatti determinato una particolare asimmetria dei versanti vallivi.

Gli strati a reggipoggio, nel versante sinistro danno luogo a pareti subverticali. In quest'area, l'alterazione meteorica dei calcari e delle dolomie, caratterizzati anche da intensa fatturazione, consente lo sviluppo di una spessa falda detritica prevalentemente costituita da materiale granulare fino alle dimensioni dei massi e caratterizzata da pendenze di 35-40° a monte, al contatto con le pareti rocciose subverticali, e di 10-20° al piede; questi depositi sono spesso interessati da colate detritiche che, se incanalate, possono raggiungere il fondovalle.

Il tratto di versante in studio è inoltre caratterizzato dalla presenza dell'accumulo della grande frana che nel 1814 ha investito gli abitati di Taulen e Marceana causando la morte di circa 250 persone, la cui presenza è probabilmente legata, analogamente a quanto avviene per il fenomeno di debris flow di Cancia, alla presenza di una imponente deformazione gravitativa profonda che interessa il versante occidentale del M. Antelao. Tale struttura è limitata a est da una importante discontinuità tettonica con direzione grosso modo parallela alla valle (NNW-SSE) lungo la quale si è impostato il canale di Cancia e che è evidente in corrisponde di Forcella Salvella. La presenza di questa faglia giustifica l'intenso stato di fratturazione della roccia e la conseguente potente copertura detritica che costituisce la zona sorgente della colata detritica in studio.

In questo settore della Valle del Boite i depositi quaternari poggiano su un substrato costituito dalle formazioni marnoso-arenacee del Triassico inferiore che danno luogo ad una morfologia poco acclive, particolarmente adatta all'insediamento antropico. Sul fondovalle sono infatti ubicati tutti gli elementi vulnerabili più importanti, quali i centri abitati e la SS 51 di Alemagna che viene periodicamente interessata dalle colate detritiche di magnitudo più elevata.

Il fianco destro della valle è invece caratterizzato da strati a franapoggio meno inclinati del versante ed è molto sviluppato in lunghezza con pendenze decisamente minori. Esso è interessato da fenomeni franosi quiescenti o non attivi di grandi dimensioni, probabilmente innescatisi nel

periodo Tardi-glaciale o Post-glaciale e legati alla scomparsa delle masse glaciali würmiane che occupavano la valle con spessori prossimi o, addirittura superiori, al chilometro.

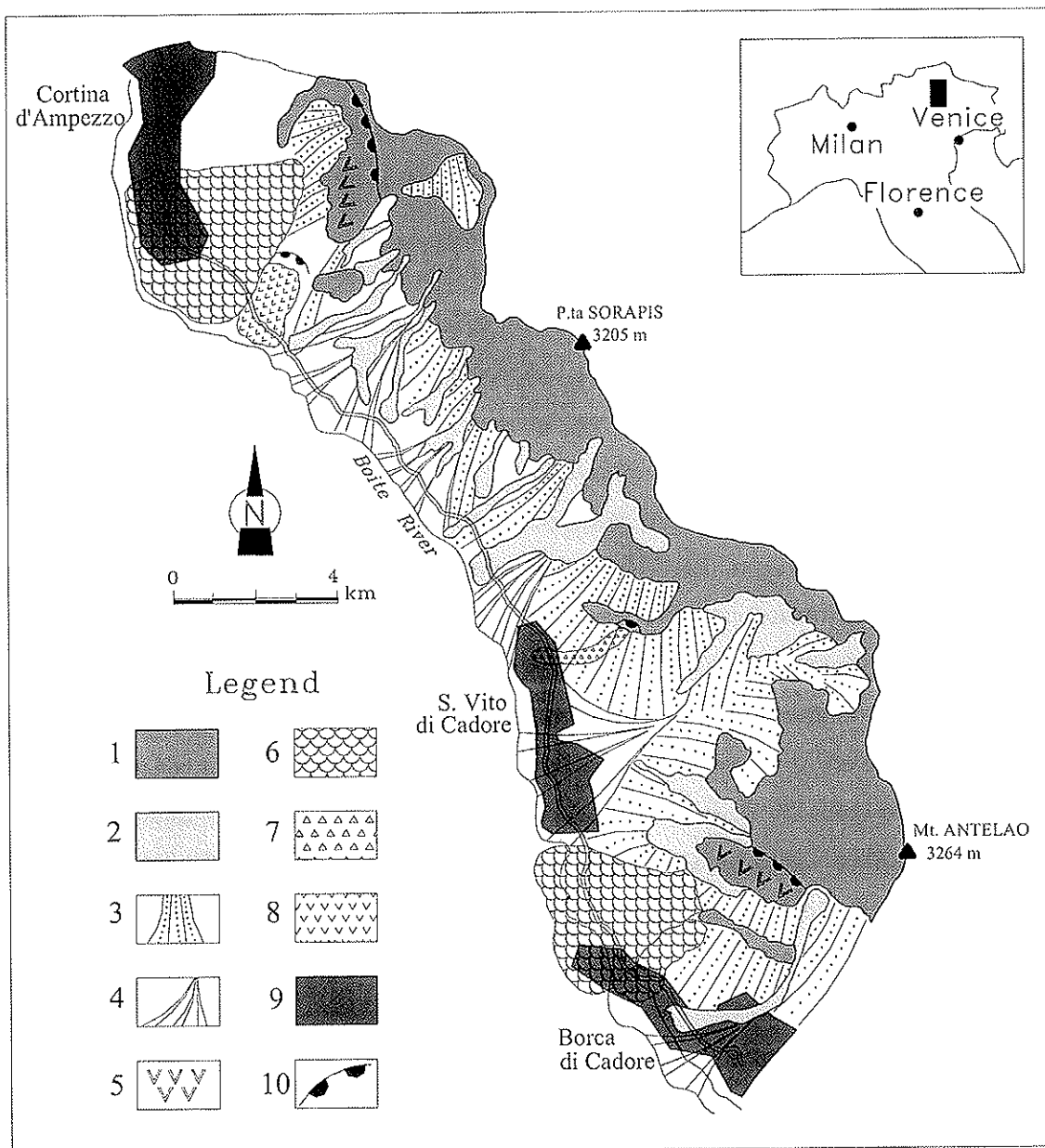


Fig. 1. Schema geologico e distribuzione delle instabilità di versante nella valle del torrente Boite tra Cortina d'Ampezzo e Borca di Cadore. Legenda: 1 – bedrock; 2 – aree interessate dalle principali colate detritiche; 3 – falde detritiche; 4 – conoidi detritiche; 5 – deformazioni gravitative profonde; 6 – frane complesse; 7 – crolli; 8 – scivolamenti traslazionali; 9 – centri abitati; 10 – scarpate.

In questo contesto e sulla base di analisi fotointerpretative e rilevamenti di campagna, lungo la Valle del Boite, sono state riconosciute e cartografate più di 350 colate detritiche canalizzate o di versante, attive o potenziali, che spesso minacciano centri abitati e strutture viarie.

Le colate detritiche avvengono generalmente in estate e nel primo autunno e sembrano essere sempre originate dalla transizione progressiva di frane superficiali in colata a causa di un rapido apporto idrico. Lungo i canali, cioè, vengono a formarsi degli sbarramenti dovuti al franamento dei fianchi, generalmente ripidi e a tratti privi di copertura erbosa. Questi sbarramenti vengono poi fluidificati e conseguentemente mobilizzati per parziale o totale saturazione dei materiali detritici. Questa condizione è generalmente associata a eventi pluviometrici intensi, spazialmente limitati e di breve durata. L'accumulo di frana diventa quindi una miscela di acqua e detrito, con concentrazioni e quindi con velocità variabili.

Dal punto di vista climatico l'area in studio è caratterizzata da un regime tipicamente alpino con temperature medie annue di circa 5° C e precipitazioni annue attorno ai 1000 mm. Le precipitazioni medie mensili sono superiori ai 100 mm da maggio a novembre, con un massimo nel periodo giugno-agosto ed un secondo picco minore in novembre. Lo stile delle precipitazioni cambia però notevolmente in questi due periodi: nel periodo tardo primaverile ed estivo si hanno piogge intense e concentrate, mentre in autunno il regime pluviometrico è caratterizzato da eventi non molto intensi ma prolungati. Da dicembre ad aprile, la neve ha una copertura permanente di 50-100 cm e questo costituisce un ulteriore fattore di rischio in quanto l'acqua derivante dallo scioglimento della copertura nevosa può associarsi alle prime precipitazioni intense primaverili ed innescare pericolosi fenomeni di colata di una certa magnitudine.

L'abitato storico di Cancia (950 m s.l.m.) sorge sul versante occidentale del M. Antelao (3264 m), a monte della SS 51 di Alemagna e occupa la parte basse di una ampio conoide le cui pendenze testimoniano una origine prevalentemente da debris flow. Da sempre infatti la zona è caratterizzata da colate detritiche più o meno intense che, prima della costruzione del villaggio turistico, alla fine degli anni '50, divagavano e dispendevano il detrito a partire dall'apice del conoide. Ora invece la canalizzazione effettuata a difesa dell'insediamento turistico, ha spostato l'area deposizionale molto più in basso a ridosso dell'abitato di Cancia.

2.1 La colata detritica di Cancia

La colata detritica di Cancia, si origina nell'area di Forcella Salvella (2451 m) che si è imposta lungo una direttrice tettonica trascorrente con direzione NW-SE. A causa di questa complicazione tettonica la roccia si presenta molto fratturata e cataclasata e ciò costituisce una delle cause principali dell'abbondante disponibilità di detrito che caratterizza l'area sorgente.

Il bacino di drenaggio ha una superficie di 1.8 km²; la quota massima è 3066 m (anticima settentrionale del M. Antelao), la quota del fondovalle del Torrente Boite è 880 m. Il canale, che si

sviluppa per una lunghezza di 2400 m, è profondamente inciso nella falda detritica costituita prevalentemente da materiale dolomitico grossolano poco classato con blocchi di volume fino a qualche m³.

La frequenza degli eventi non è elevata, come nel caso di alcune colate detritiche che si trovano nelle immediate vicinanze (e.g., Acquabona, dove si registra più di un evento all'anno), ma i volumi depositati sul conoide sono generalmente ingenti, a volte superiori a 50,000 m³. Uno degli eventi più importanti che si conoscano è quello del 1868, testimoniato anche da una storica fotografia (Fig. 2), il cui volume è stato stimato in circa 100,000 m³.



Fig. 2. Immagine storica del debris flow occorso il 27 luglio 1868 per il quale è stato stimato un volume di 100,000 m³.

Il canale, alla quota di 1330 m circa, diverge dalla originaria direzione N-S, verso W, dove riceve, in sinistra, il canale laterale proveniente dal Bus del Diau, (superficie del bacino di circa 0.92 km²) che fornisce ulteriori apporti, prevalentemente idrici, alle colate detritiche provenienti dal bacino principale.

Il conoide è ampio e intensamente urbanizzato, prevalentemente dalla presenza dal villaggio turistico costruito alla fine degli anni '50 costituito da centinaia di unità abitative. Prima della costruzione del villaggio, le zone apicali, erano state spesso alluvionate dai materiale provenienti dal canale; dalla data di costruzione del villaggio, per evitare queste evenienze, fu costruito un

canale e furono effettuati diversi interventi di regimazione, consistenti principalmente nel rinforzo degli argini ed in opere trasversali in gabbioni. Questi interventi hanno quindi peggiorato le condizioni di rischio per abitato di Cancia, avvicinando l'area di deposito alle abitazioni.

Nella colata detritica di Cancia possono essere distinti quattro elementi morfologici principali (Fig. 3): *il bacino in roccia*, cioè l'area che contribuisce effettivamente all'apporto idrico nella zona di innesco della colata; *la zona di innesco* della colata, generalmente un'area piuttosto ripida di accumulo di detriti poco classati; *il canale di flusso* percorso dalla colata, lungo il quale possono avvenire processi di erosione e di accumulo; *la zona di deposito*, dove la massa viscosa si arresta.

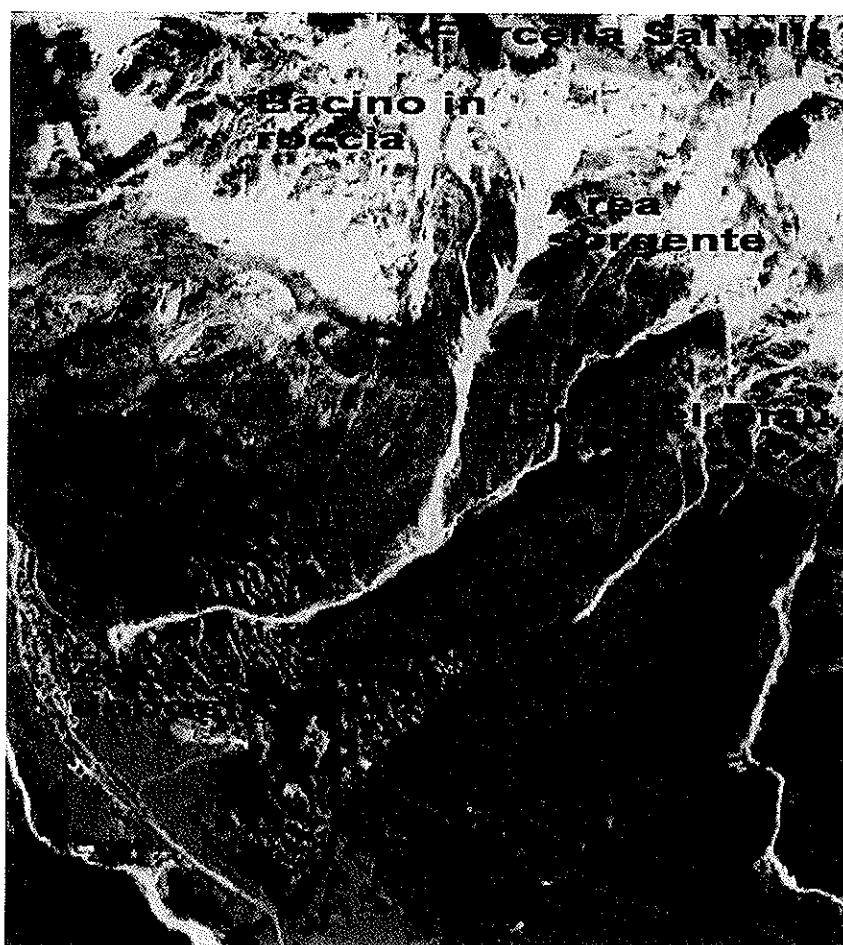


Fig. 3. Elementi morfologici della colata di Cancia (foto Google Earth, 2009).

Il bacino in roccia (da 3066 m a 1900 m) avente una superficie di 0.21 km² e pendenza media di circa 30° (Fig. 3), è costituito da pareti dolomitiche, intensamente fratturate, che producono il materiale detritico che si accumula nell'area sorgente. Essa, che rappresenta anche la zona di innesco dei fenomeni (Fig 4), è caratterizzata da pendenze comprese tra i 30° e i 35°, ha una superficie di 0.17 km² ed è localizzata tra le quote 2200 m e 1900 m.



Fig 4. Area sorgente di detrito.

Il canale di flusso si sviluppa invece da quota 1900 m a quota 1010 m, terminando in corrispondenza di uno sbarramento a gabbionate, a valle del quale vi è una vasca di deposito realizzata a seguito dell'evento del 1996. Il canale è profondamente inciso nella falda detritica (Fig. 5), con profondità variabili tra i 10 e i 30 m; la falda è costituita da depositi di origine gravitativa e da depositi di colate detritiche precedenti. Il canale di flusso è lungo circa 2400 m, con una pendenza media di 20°, variabile tra i 27° nella sua parte superiore, i 25° alla confluenza del collettore proveniente dal Bus del Diau (1330 m) e i 16° a valle di quest'ultima, con larghezze sino a 20 m.



Fig. 5. Parte alta del canale.

Il conoide ha una superficie pari a 0.6 km^2 ; si estende tra le quote 1130 m e 880 m (quota inferiore dell'accumulo dell'evento del 1868 che corrisponde al fondovalle), con pendenze variabili tra i 5° e i 10° ; questa zona è stata sostanzialmente modificata dagli interventi di esecuzione del canale artificiale, dopo la costruzione del villaggio turistico.

Nella zona di deposito, a partire da quota 1010 m, a protezione dell'abitato di Cancia, venne realizzata a seguito degli eventi del '94 e '96, una vasca di ritenuta (Fig. 6) con una capacità complessiva di circa $25,000 \text{ m}^3$ e paramento di valle in gabbioni, la cui rottura ha rappresentato la causa principale della fuoriuscita della frazione più fluida durante l'evento del 18 luglio 2010 e il conseguente alluvionamento di alcune abitazioni oltre che la morte di due persone.



Fig. 6. Vasca di ritenuta del materiale a monte dell'abitato di Cancia.

I principali parametri morfometrici della colata detritica di Cancia sono riportati in Tab. 1.

Tab. 1. Parametri morfometrici della colata di Cancia.

Bacino in roccia	
Area (km ²)	0.16
Quota massima (m s.l.m.)	3066
Quota minima (m s.l.m.)	1900
Pendenza media (°)	30
Canale di flusso principale	
Lunghezza (m)	2400
Pendenza media (°)	20
Quota massima (m s.l.m.)	1900
Quota minima (m s.l.m.)	1010
Zona di deposito	
Quota massima (m s.l.m.)	1020
Quota minima (m s.l.m.)	880
Pendenza media (°)	5 - 10

3 ANALISI STORICA DELLE COLATE DETRITICHE DI CANCIA

Il canale di Cancia è storicamente ben noto per la formazione di colate detritiche in occasione di intensi eventi di pioggia estivi. Tra i numerosi studi precedentemente eseguiti sulla colata nel corso degli anni si ricordano, fra gli altri, quelli di Marinelli (1878), Dal Piaz (1912), Leonardi (1967), Panizza et al. (1998), Bondesan et al. (2000) Mantovani et al. (2002) e gli studi eseguiti dallo Studio Cancelli Associato (2003), dalle Università di Padova (1999) e di Trento (2000).

Il più antico evento documentato risale al 1348; ma l'evento più rilevante mai registrato è quello del 27 luglio 1868, avendo esso mobilizzato un volume pari a $100,000 \text{ m}^3$ su una superficie di $203,000 \text{ m}^2$ (Fig. 7).

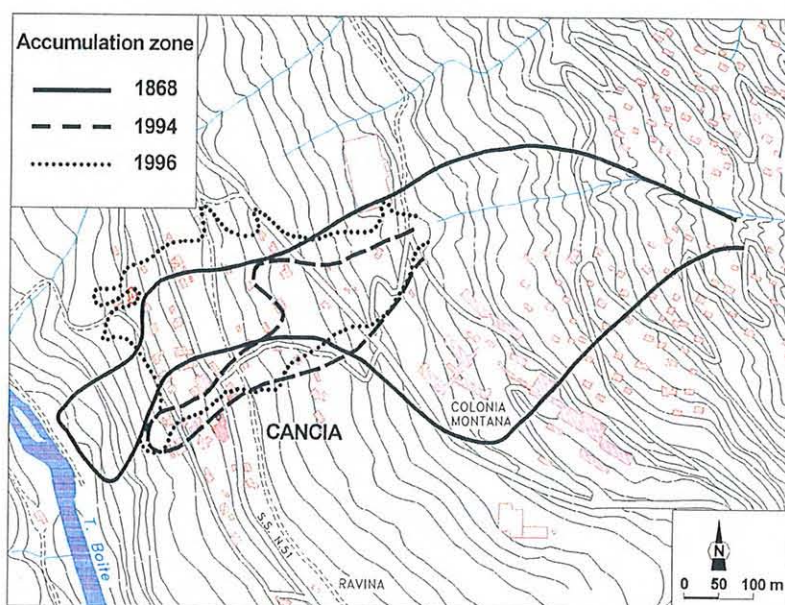


Fig. 7. Zona di accumulo delle colate del 1868, 1994 e 1996 (da: Mantovani et al., 2002).

Gli eventi del 1994 e del 1996 hanno avuto magnitudo rispettivamente $30,000 \text{ m}^3$ e $45,000 \text{ m}^3$, comunque altri eventi minori sono stati documentati tra il 1868 e il 1998. La maggior parte di questi eventi sono rimasti confinati all'interno del canale.

L'evento più recente del 18 luglio 2009 è stato stimato in circa 50000 m^3 e rappresenta una delle colate più importanti avvenute negli ultimi decenni.

In Tab. 2 viene riportata la serie storica di eventi registrati nell'ultimo secolo con i relativi volumi depositati. La serie storica risulta necessariamente incompleta in quanto si stima che

numerosi eventi di magnitudo non elevate siano accaduti senza venire registrati in quanto rimasti confinati all'interno della parte alta del canale.

Tab. 2. Colate detritiche, danni causati e volumi mobilizzati.

Data	Danni causati	Volume stimato (m ³)
25.01.1348	Distrutto un paese, numerose vittime	
19.06.1736	Seppellito l'abitato di Sala	
07.07.1737	Danni a Sala, Resinego, 7 vittime.	
Ottobre 1814		
Novembre 1814		
Ottobre 1820		
27.07.1868	12 vittime	>100 000
1882		
1888	Danni a La Graves	
27.05.1957		25 000
05.11.1966	Danni a Cancia, interruzione SS 51, temporanea ostruzione del Boite	25 000
12.08.1973	La colata non raggiunge il conoide.	
18.07.1987		>10 000
19.07.1987	Danni ad un edificio e sede stradale.	15 000
25.08.1987	Flusso iperconcentrato.	
04.10.1992	Accumulo di detrito nel canale.	
20.07.1993	Nessun danno.	
26.07.1993	Accumulo di detrito nel canale.	
Ottobre 1993		
02.07.1994	20 edifici danneggiati, danni sede stradale.	25 000
14.09.1994	Accumulo di detrito nel canale.	
18.07.1995	Accumulo di detrito nel canale.	
08.07.1996	Accumulo di detrito nel canale.	
07.08.1996	Danni a diversi edifici e sede stradale.	40 000-50 000
12.06.1997	Accumulo di detrito nel canale.	
14.07.1998	Accumulo di detrito nel canale.	
25.07.1998	Accumulo di detrito nel canale.	
05.09.1998	Accumulo di detrito nel canale.	
16.08.1999		6 000-7 000
18.07.2009	Due vittime e danni alle abitazioni	ca 50 000

4 EVOLUZIONE URBANISTICA DEL CONOIDE DI CANCIA

Malgrado la ricorrenza delle colate detritiche sul conoide di Cancia, l'area urbanizzata ha continuato a svilupparsi negli anni invadendo quella che potrebbe essere considerata la zona a pericolosità elevata. In particolare, tra gli anni '50 e '60, nell'area di deposito, inclusa l'area interessata dall'evento del 1868, venne edificato dall'ENI un villaggio turistico costituito da 252 unità abitative. Questo periodo rappresenta dunque l'apice dello sviluppo urbano ed è caratterizzato da importanti modificazioni morfologiche della superficie del conoide alluvionale e tra queste lo scavo di un canale artificiale senza un collegamento idraulico con il collettore principale, che in questo caso è rappresentato dal Torrente Boite. Quest'ultimo intervento ha rappresentato senza dubbio una modificazione importante del processo di sedimentazione del materiale detritico della colata di Cancia che prima, avveniva prevalentemente a partire dall'apice del conoide e che ora veniva spostata a valle, immediatamente a ridosso dell'insediamento storico.

Negli anni, inoltre, la colata era stata caratterizzata da un continuo divagare dei principali canali di flusso sulla superficie del conoide il che aveva sicuramente condizionato lo sviluppo della zona urbana. Questo comportamento è chiaramente testimoniato dalle indagini geofisiche eseguite in un recente passato da ricercatori del CNR-IRPI, dove è ben evidente la presenza nel sottosuolo di numerosi canali molto incisi e successivamente riempiti di materiale detritico (Fig. 8).

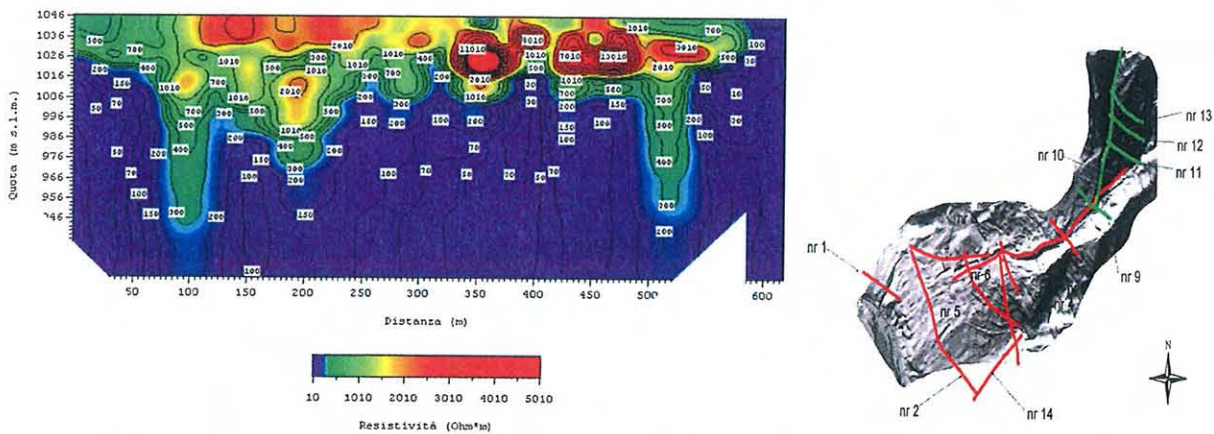


Fig. 8. Tomografia elettrica effettuata su una sezione trasversale (n. 5) al conoide di Cancia (vedi immagine di destra per riferimento). I colori verde, giallo e rosso indicano la presenza di detrito ad elevata resistività

L'analisi multitemporale delle fotografie aeree dell'area di studio ha permesso di ricostruire con sufficiente precisione lo sviluppo urbano dell'abitato storico di Cancia la cui maggior crescita è avvenuta sino al 1957. Dall'inizio di quell'anno, la strutturazione del nucleo storico subisce solo moderati cambiamenti, mentre, con la costruzione del villaggio turistico, terminata negli anni '60,

inizia l'espansione urbanistica sulla parte apicale del conoide (Fig. 9). Durante gli anni 80' e 90', alcuni degli edifici danneggiati dagli eventi del 1987, 1994 e 1996, ubicati lungo la strada di collegamento tra la SS 51 e il villaggio turistico, sono stati ricostruiti. E' interessante notare come il nucleo storico dell'abitato di Cancia si fosse sviluppato ad una distanza, ritenuta di sicurezza, dalla zona di deposito delle colate detritiche o, almeno, da quelle di magnitudo non eccezionale. Mentre il villaggio turistico sia andato ad occupare la zona apicale del conoide che normalmente viene considerata a maggior rischio. Questa operazione ha dovuto ovviamente essere accompagnata dallo scavo dell'attuale canale artificiale che ha determinato un considerevole aumento di rischio per Cancia. Ciò è chiaramente dimostrabile dall'analisi della Fig. 7 dove si evince come, anche colate di magnitudo non comparabile a quella del 1868, nella fattispecie quelle del 2 luglio 1994 e 7 agosto 1996 abbiano arrecato danno direttamente all'abitato storico di Cancia.

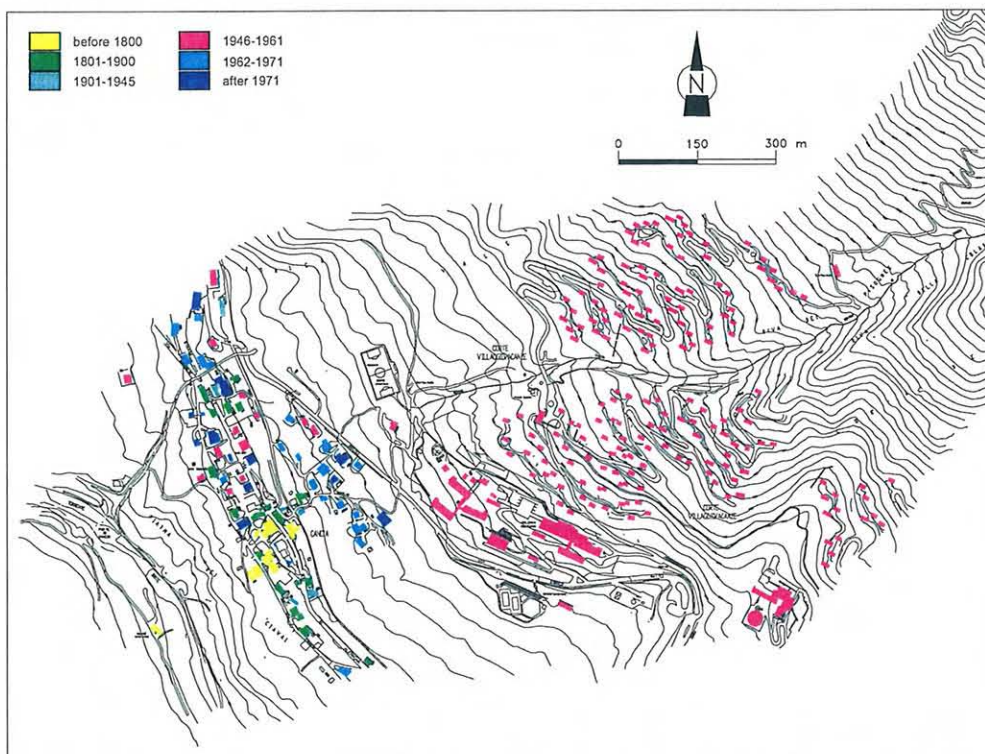


Fig. 9. Sviluppo urbanistico del conoide di Cancia dal 1800 ai giorni nostri (da: Mantovani et al. 2002).

5 IPOTESI PROGETTUALI

5.1 Premesse metodologiche e scelte operative

Nel selezionare possibili soluzioni progettuali per la mitigazione del rischio da colata detritica si è scelto di adottare un approccio scevro da qualsiasi tipo di condizionamento sia economico che sociale in modo tale da poter fornire uno spettro di indicazioni il più ampio possibile. Poiché il rischio (R) è dato dal prodotto della pericolosità (P) per la vulnerabilità (V) secondo la classica equazione:

$$R = P \times V$$

la sua riduzione passa generalmente attraverso la variazione di uno o entrambi i fattori P e V. Tra le misure di carattere strutturale generalmente adottate per la riduzione della pericolosità P, si possono quindi distinguere misure attive, che vanno direttamente a modificare l'andamento e lo sviluppo del fenomeno e misure passive a protezione di strutture e cose e, più in generale, di tutti gli elementi a rischio. Per quanto riguarda invece la riduzione della Vulnerabilità (V) essa si attua principalmente attraverso misure non strutturali quali sistemi di monitoraggio, aumento della consapevolezza da parte della popolazione maggiormente esposta etc., quindi tutte quelle azione che contribuisco a rendere meno vulnerabile l'elemento a rischio. Risulta evidente che le misure strutturali presuppongono un impegno economico molto più elevato rispetto a misure non strutturali; inoltre queste misure presuppongono una opera continua di gestione e manutenzione senza la quale si rischia che l'opera, ancorché correttamente dimensionata e realizzata, risulti poco o per nulla efficiente perdendo così la sua funzione mitigatrice. Si sottolineano questi aspetti affinché emerga chiaramente che, senza un adeguato piano di manutenzione, e quindi senza la pianificazione di investimenti che vanno in questa direzione, qualsiasi opera di mitigazione rischia di risultare insufficiente se non addirittura dannosa.

Nella presente relazione vengono indicate alcune possibili soluzioni che presuppongono interventi di carattere strutturale sia attivo che passivo, questo però non significa che altri tipi di intervento non debbano essere presi in considerazione. Un sistema di monitoraggio, peraltro già messo a punto da ARPAV, ad esempio, potrebbe essere utilmente realizzato ed integrato nel piano degli interventi, così come una serie di attività per diffondere tra la popolazione esposta informazioni e "best practices" per una maggior consapevolezza e per indurre comportamenti utili alla salvaguardia dell'incolumità pubblica e ad una corretta gestione delle fasi di emergenza.

Venendo ora agli aspetti più tecnici dell'indagine svolta, nell'esame dei possibili interventi si è, da subito, deciso di scartare ipotesi che prevedessero l'arresto della miscela granulare, quale è adesso la vasca di Cancia. Questo anche alla luce di quanto avvenuto nel luglio del 2009 ma

soprattutto in base alla convinzione che l'eventuale vasca di trattenuta debba necessariamente essere collegata idraulicamente ad un collettore in grado di smaltire almeno la frazione più liquida della colata detritica.

Un'altra scelta condizionante per l'esecuzione dell'incarico è stata quella di operare direttamente sul conoide e non nel canale di transito a monte; questo perché si ritiene che, agire direttamente sul comportamento della colata in condizioni di pendenza e quindi, di velocità elevata, non garantisca un sufficiente livello di sicurezza per quanto riguarda la completa efficienza delle possibili opere. Risulterebbe inoltre oltremodo rischiosa ed onerosa l'attività di manutenzione che appare invece indispensabile alla luce di quanto detto in precedenza.

E' stata anche scartata la possibile captazione e deviazione degli apporti idrici provenienti dal Bus del Diau, in quanto questo solo intervento non avrebbe assicurato un livello di sicurezza adeguato, ma soprattutto certo per gli abitati posti in conoide. La densità della miscela, infatti, è estremamente variabile e non vi è la certezza che l'eliminazione del contributo idrico del bacino del Bus del Diau impedisca alla colata di propagarsi verso valle. Inoltre, da un'analisi geomorfologica del bacino in questione, l'opera di captazione e deviazione delle acque sembra comportare notevoli problematiche tecniche. Il rischio sarebbe quindi quello di investire in un'opera la cui efficacia non è assolutamente certa e distrarre così dei fondi da altri interventi sicuramente più risolutivi.

Si è scelto quindi di valutare l'efficienza di una tipologia d'opera che prevede lo stoccaggio temporaneo del materiale solido in una piazza di deposito collocata nella parte bassa del conoide, la quale opera una selezione granulometrica della miscela e incanala la parte più fluida verso il suo ricettore naturale, cioè il Torrente Boite (Fig. 10 e Fig. 11).

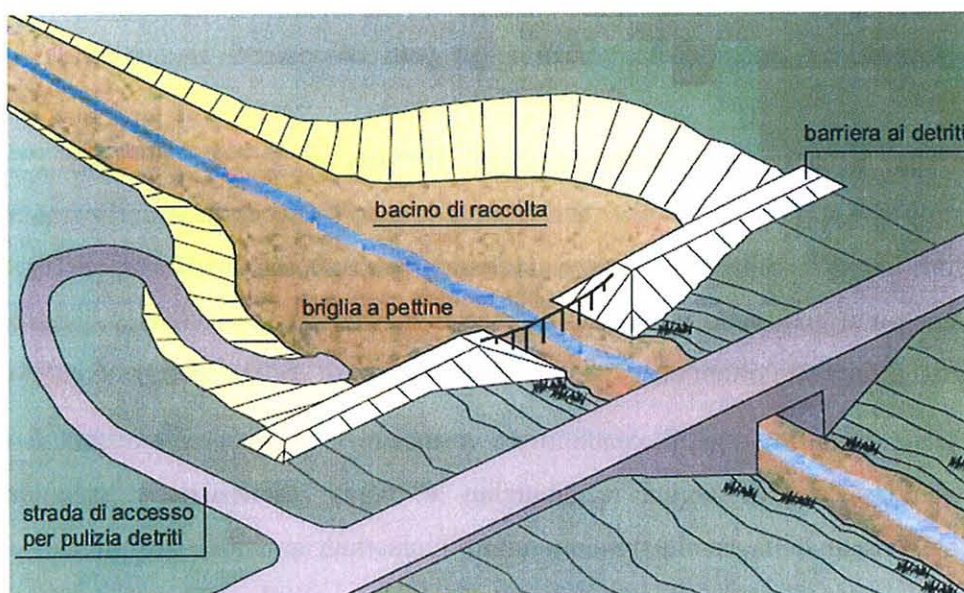


Fig. 10. Schema di piazza di deposito realizzata in scavo (da Atlante delle opere di sistemazione fluviale – APAT 2003)



Fig. 11. Esempio di piazza di deposito con sistema frangicolata realizzato in Val d'Aosta

Naturalmente l'adozione di un tale sistema richiede, prima di tutto l'individuazione di un'area adeguata per la realizzazione dell'opera di trattenuta e lo scavo di un canale artificiale che convogli il materiale di colata nella vasca e che lo faccia poi defluire verso il collettore principale. Per quanto riguarda la vasca è evidente che l'area prescelta deve avere una pendenza piuttosto bassa, per poter trattenere un volume sufficiente di materiale senza dover alzare troppo il paramento di valle. Una ulteriore condizione imposta è stata quella di evitare possibilmente il posizionamento dell'opera a monte delle abitazioni. Questa condizione escluderebbe quindi la possibilità di utilizzare l'attuale canale previo ampliamento della vasca già presente; nella presente relazione si è voluto tuttavia modellare anche questa soluzione per poter comparare i risultati con le altre ipotesi individuate.

Sulla base di un'analisi micromorfologica effettuata soprattutto attraverso l'impiego di immagini acquisite con il Laser Scanner da aeromobile, sono state quindi inizialmente individuate quattro possibili direttrici di deflusso, oltre a quella rappresentata dal canale attuale (Fig. 12) ma di queste due non sono presentate in quanto non sostenibili sia dal punto di vista idraulico sia per quanto riguarda gli ingenti volumi di scavo e l'elevato numero di edifici interessati dalle varianti.

La scelta di un tipologia di canale in scavo rispetto a quello pensile è stata dettata sia da ragioni di sicurezza sia da ragioni economiche; le buone caratteristiche granulometriche e meccaniche del terreno della conoide rendono infatti il materiale appetibile per numerosi impieghi e ciò dovrebbe avere un effetto non trascurabile nella stima dei costi di realizzazione. E comunque, al fine di minimizzare il più possibile i volumi di scavo, la pendenza dei canali segue, ove possibile, la

pendenza naturale del versante. Dal punto di vista geometrico si propongono canali a sezione trapezoidale, con larghezza al fondo pari a 20 m e profondità media di 8 m. Tale geometria ricalca mediamente quella del canale esistente nel settore apicale del conoide, dove dovrebbe avvenire la diversione rispetto al tracciato esistente. Per motivi di cautela, ai lati del canale, è stata considerata una zona buffer, ovvero una zona di rispetto, di 15 m per lato che, a seconda della tipologia costruttiva che sarà adottata in fase progettuale, potrà essere occupata dalle sponde del canale. Nelle simulazioni numeriche le sponde occupano tutta la fascia buffer e perciò hanno pendenza media di circa 30°. Nella valutazione dell'intervento si deve poi considerare che, a seconda dell'ipotesi progettuale scelta, si dovranno costruire ex-novo gli attraversamenti stradali, in particolare all'intersezione con la SS Alemagna.

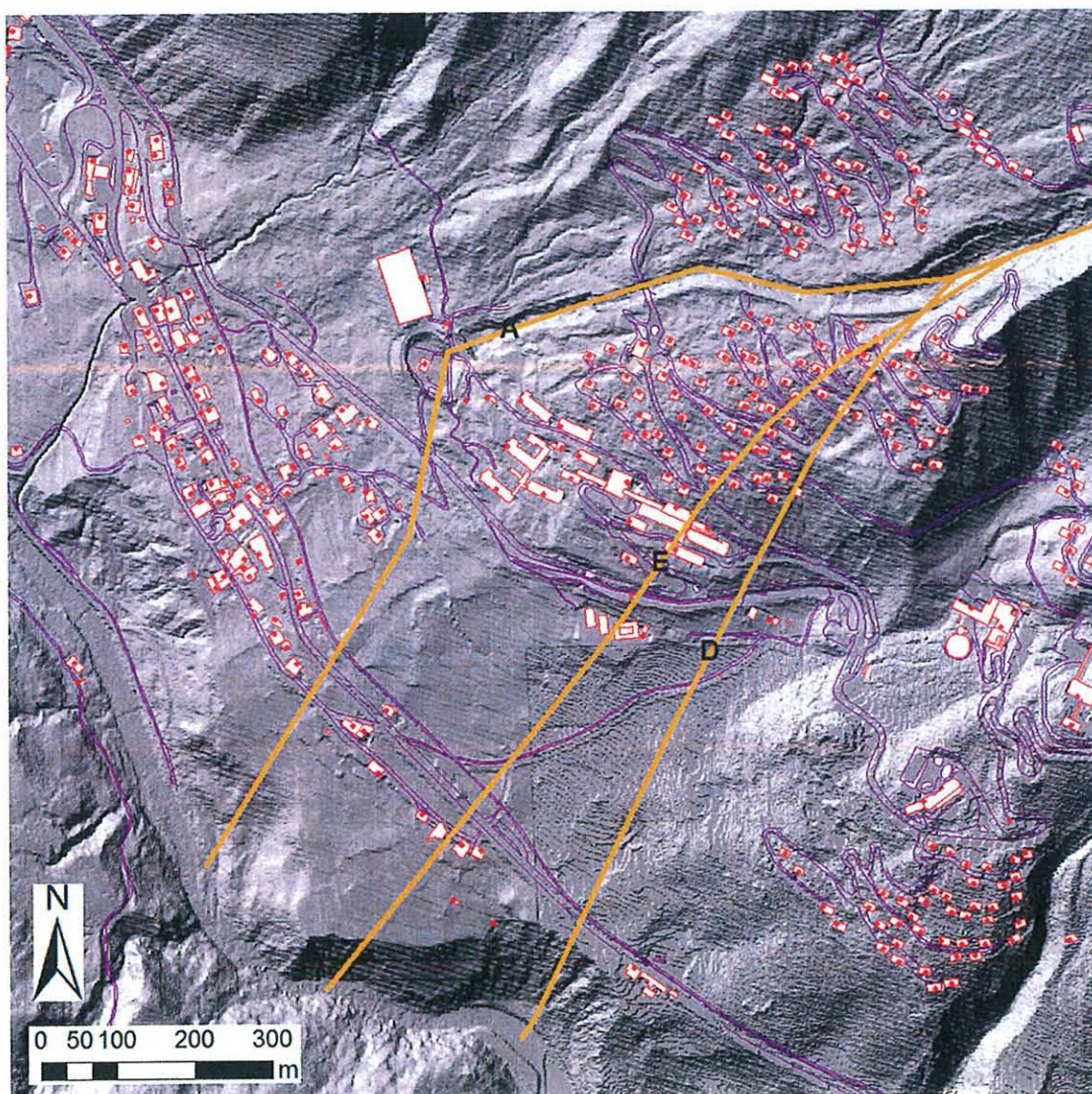


Fig. 12. Ipotesi progettuali: traccia dei canali A, D, E

Le tracce dei canali e una prospettiva dell'ingombro delle opere sono illustrate rispettivamente nelle Figure Fig. 12 e Fig. 13. Al fine di verificarne l'efficienza, per ognuna di

queste soluzioni, è stata poi effettuata una modellazione attraverso l'impiego del codice di calcolo FLO-2D e l'adozione di un idrogramma di progetto calcolato sulla base degli eventi passati.



Fig. 13. Prospettiva dall'apice della conoide e sezioni di ingombro delle soluzioni analizzate

5.2 Soluzioni investigate

Soluzione A. Il canale segue il tracciato attuale fino alla vasca esistente che viene ampliata per aumentarne la capacità di trattenuta fino a $100,000 \text{ m}^3$ (Fig. 14). A quota 1022 m, lungo il canale artificiale, viene posto un salto di fondo di 8 m che segna l'ingresso nella piazza di deposito. La pendenza media della piazza di deposito è di 4.5° per permettere la sedimentazione della frazione grossolana del materiale trasportato; a metà della vasca è previsto un altro salto di fondo con briglia (Fig. 15). La forma della piazza, asimmetrica e oblunga trasversalmente alla direzione del flusso, è stata condizionata dalle elevate pendenze dell'area e dalla presenza di abitazioni. Per questa ragione l'altezza dell'argine di contenimento previsto a valle è di 12 m sulla quota di fondo piazza, l'altezza elevata è legata al contenimento del rischio di sormonto per fenomeni inerziali, che tuttavia rimane non trascurabile in relazione a possibili variazioni nella densità della miscela. Dalla piazza di deposito, dopo una briglia selettiva, si diparte un canale artificiale che forma con la direzione principale di flusso un angolo di 125° . Anche questa soluzione, non del tutto convenzionale, è legata all'intensa urbanizzazione dell'area e alla volontà di modificare il meno possibile l'attuale assetto edilizio del nucleo storico di Cancia. La soluzione progettuale è infatti

l'unica delle tre che non richiede l'abbattimento di abitazioni, al contempo però mantiene una fonte di potenziale rischio a monte dell'abitato principale.

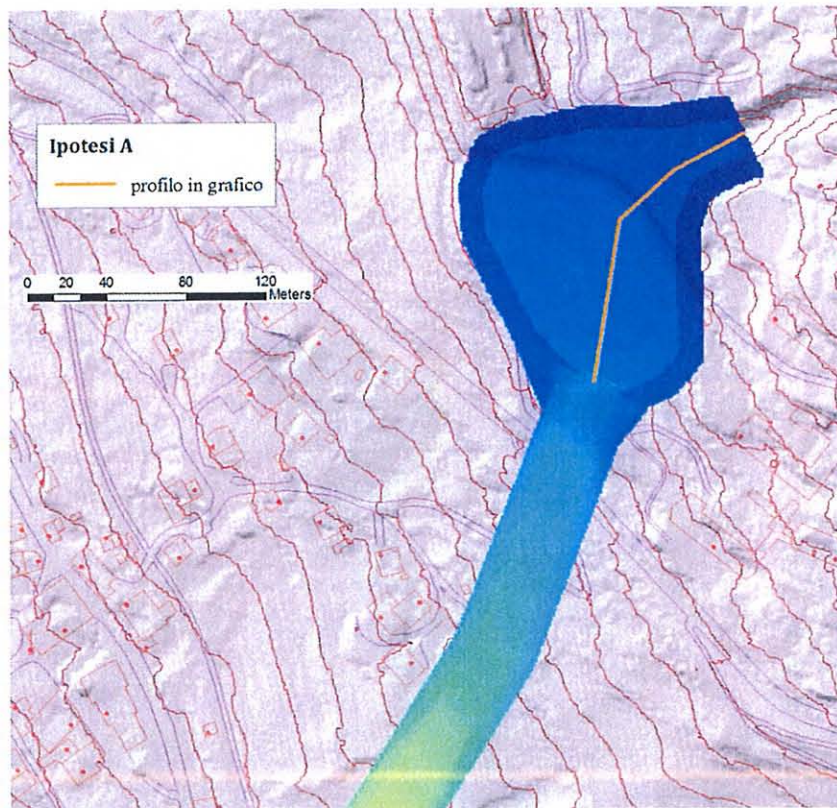


Fig. 14. Dettaglio della piazza di deposito e del canale di outlet della Soluzione A.

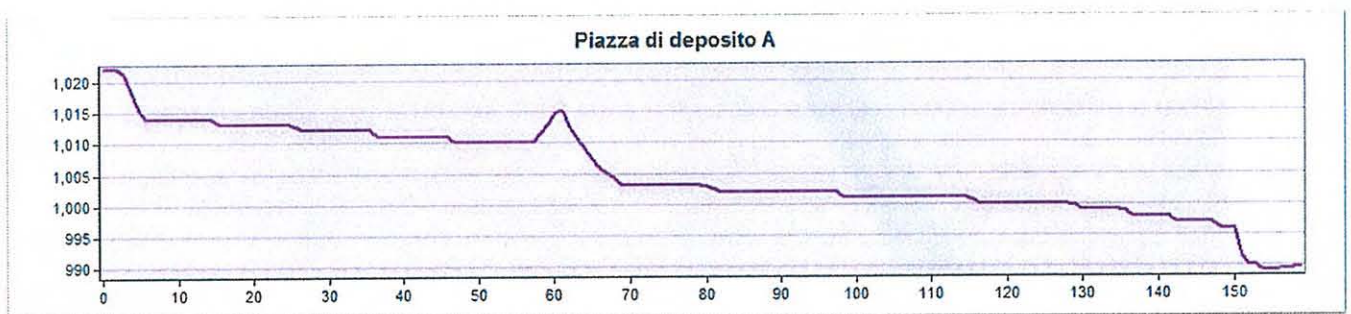


Fig. 15. Profilo altimetrico della piazza di deposito relativo alla Soluzione A.

Per quanto riguarda i lavori di scavo e di movimentazione terra, in Fig. 16 sono evidenziati, con i colori pieni, gli abbassamenti o le sopraelevazioni rispetto all'attuale superficie topografica. I volumi sono dell'ordine dei 200.000 m³ ma la tabellina che appare in calce a destra della figura riporta i valori esatti di scavo e riporto nonché il volume netto da asportare.

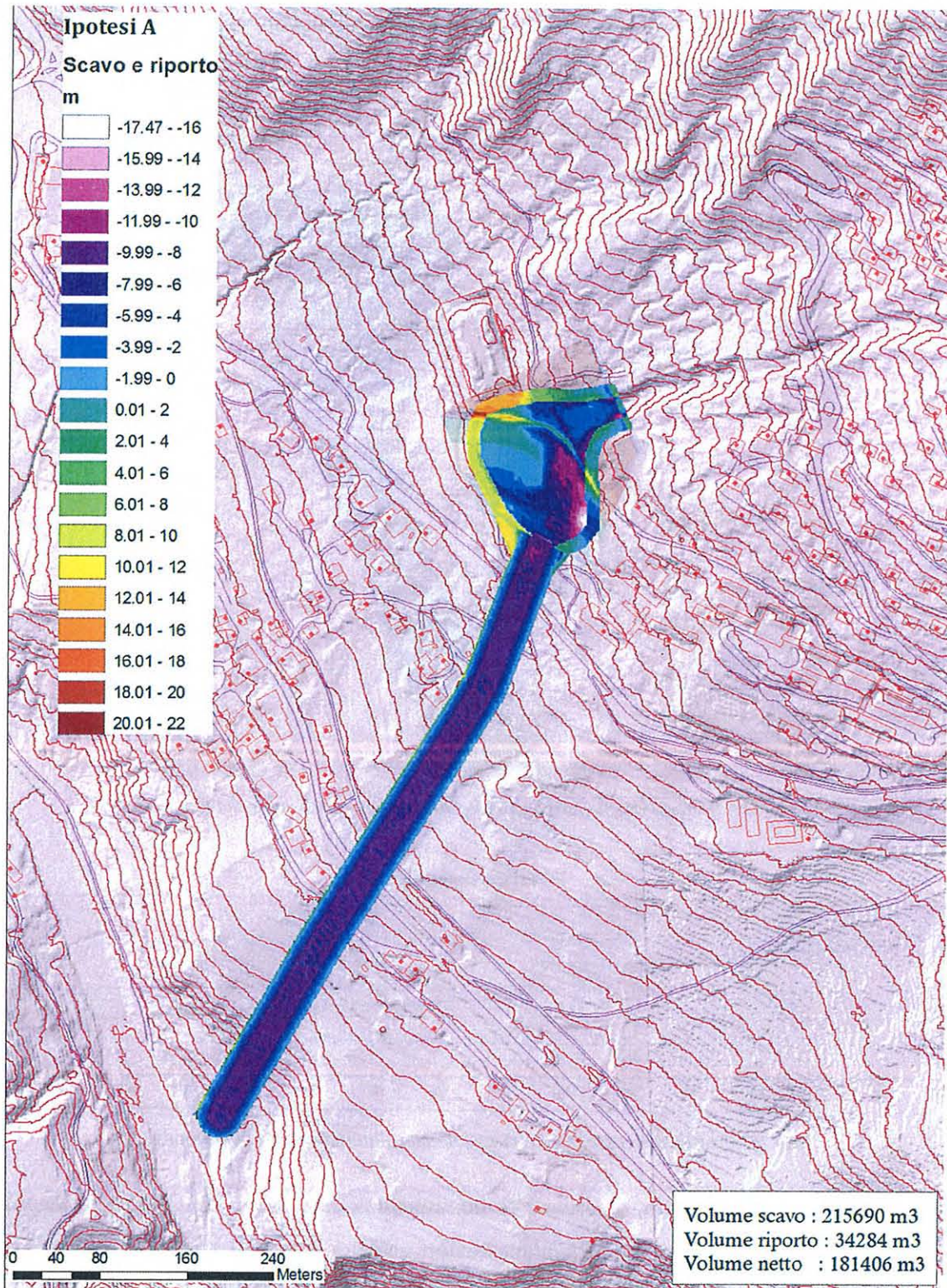


Fig. 16. Volumi di scavo e riporto riferiti alla Soluzione A

Soluzione D. Viene scavato un nuovo canale in sinistra idrografica a partire dall'apice della conoide, che si innesta sul canale attuale a quota 1167 m. Nei prati più a valle, a partire da quota 982 m, viene costruita una piazza di deposito con la tipica forma a goccia che si innesta nel canale

artificiale senza cambi di quota; la capacità dell'opera è di circa 100,000 m³, l'argine a valle dovrebbe avere un'altezza di circa 10 m (Fig. 17).

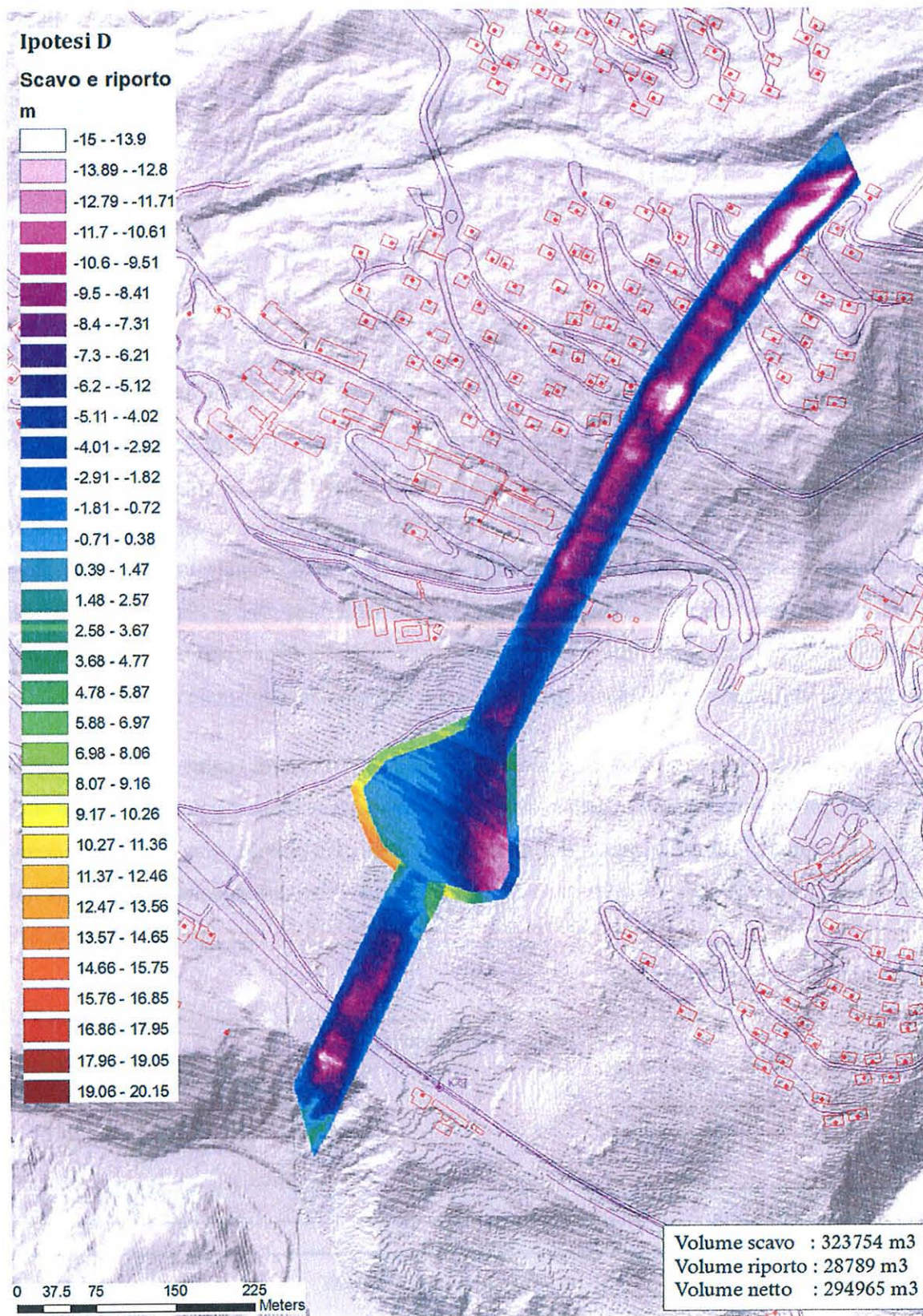


Fig. 17. Volumi di scavo e riporto riferiti alla Soluzione D.

La lunghezza totale della piazza di deposito è di 160 m, sono previsti 2 salti di fondo da 2 m al suo interno e un piccolo tratto con pendenza di circa 26° in uscita, subito dopo la briglia selettiva per scendere di quota nel canale di uscita e minimizzare gli scavi anche in funzione dell'attraversamento della Statale di Alemagna (Fig. 18).

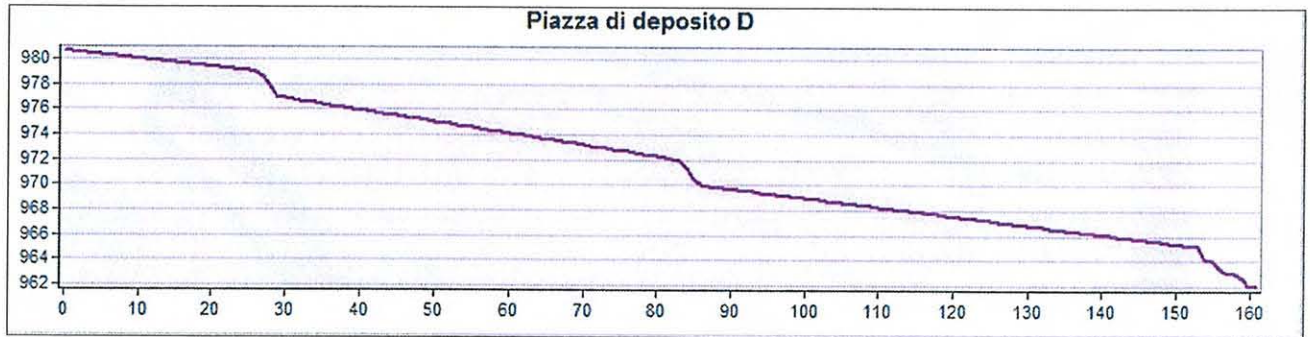


Fig. 18. Profilo altimetrico della piazza di deposito relativo alla Soluzione D.

La forma leggermente asimmetrica della piazza è dovuta al rispetto dell'orografia e al tentativo di minimizzare per quanto possibile la movimentazione terra. Ciononostante i volumi da mobilizzare sono dell'ordine dei 300.000 m³, incide infatti pesantemente nel computo totale lo scavo del nuovo tratto di canale a monte della piazza. Il nuovo canale attraversa il villaggio turistico, interessando almeno 13 villette ed alcuni edifici nella parte bassa. Per quanto riguarda la confluente nel Boite, questa avviene in corrispondenza di una ripida scarpata in erosione. Si ritiene comunque che non ci dovrebbero essere problemi nella realizzazione del canale di deflusso.

Soluzione E. Anche in quest'ultimo caso si è deciso di deviare il canale di flusso in sinistra idrografica in prossimità dell'apice della conoide; la nuova opera si innesta quindi sul canale attuale più o meno a quota 1200 m. A quota 970 m, dopo un salto di fondo di 4 m, si apre la piazza di deposito (nel grafico di Fig. 19 a 10 m in ascissa), sempre con una capacità pari alla colata di progetto considerata, e cioè 100,000 m³. Il paramento di valle risulta con una elevazione di 10 m sopra la quota del fondo della vasca.

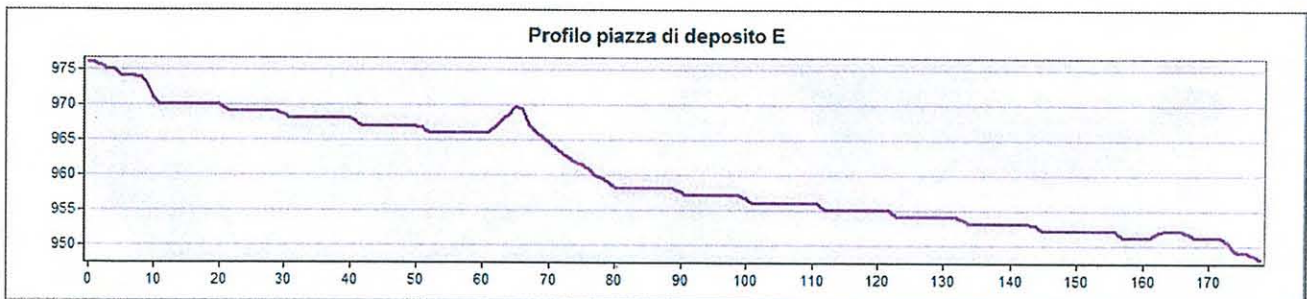


Fig. 19. Profilo piazza di deposito E.

Allo sbocco un settore a 30° di pendenza raccorda l'opera al tratto inferiore del canale di uscita che però raggiunge in Boite con un angolo di incidenza non propriamente ideale. In questo caso la presenza della SS 51 e la volontà di evitare attraversamenti stradali che non fossero prossimi alla perpendicolarità, ha condizionato la scelta

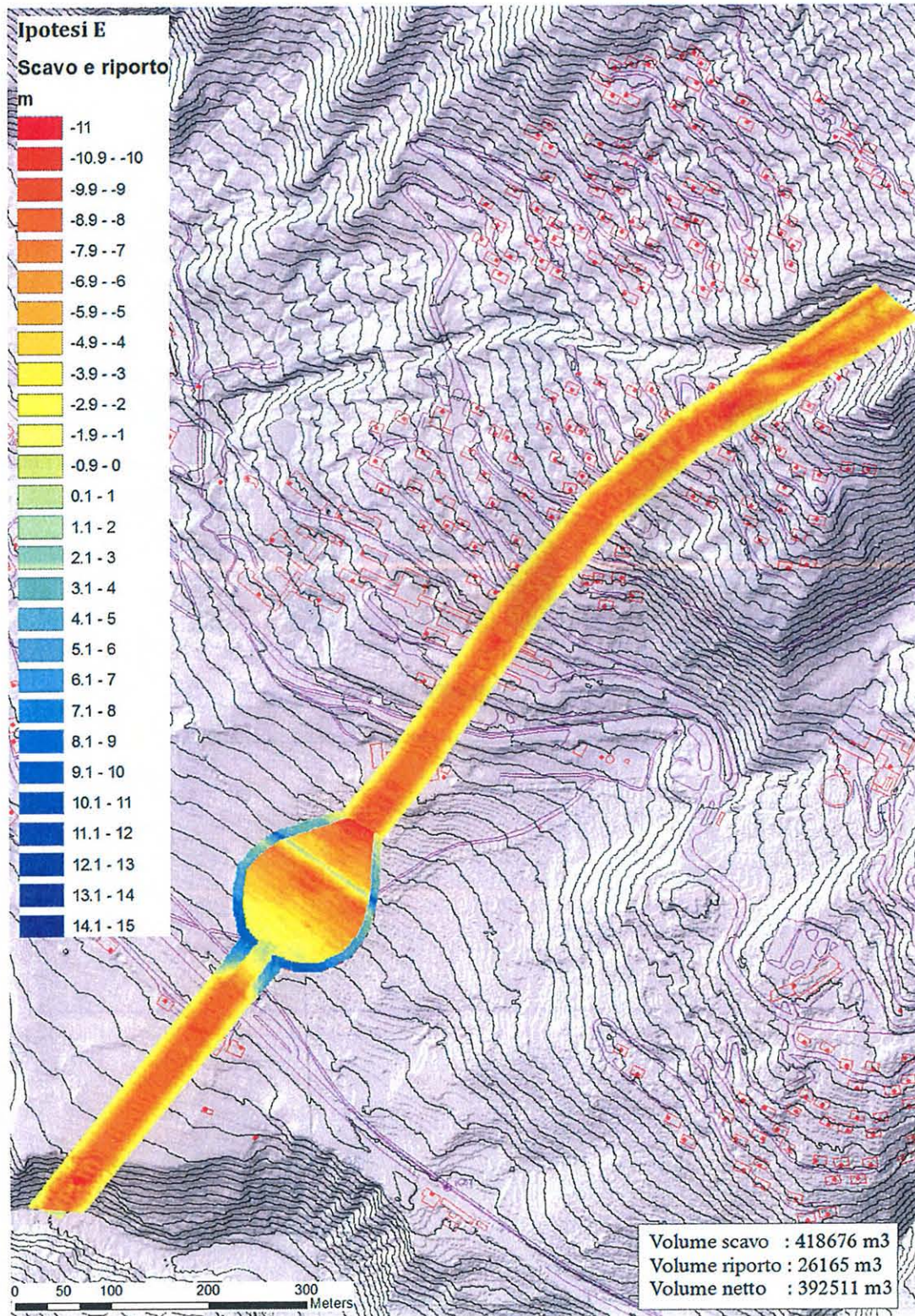


Fig. 20. Volumi di scavo e riporto ipotesi E

I volumi di scavo sono dell'ordine dei 400,000 m³, un aumento così significativo rispetto all'opzione D è dovuto, oltre che a un aumento della lunghezza del canale di circa 150 m, alle maggiori pendenze del sito dove si intende ubicare la piazza di deposito (Fig. 20). Anche il costo in termini di abbattimento di abitazioni è più elevato, interessando il canale almeno 19 villette ed alcuni edifici del villaggio turistico.

In Fig. 21 sono riportati i volumi di scavo e riporto per ciascuna soluzione progettuale.

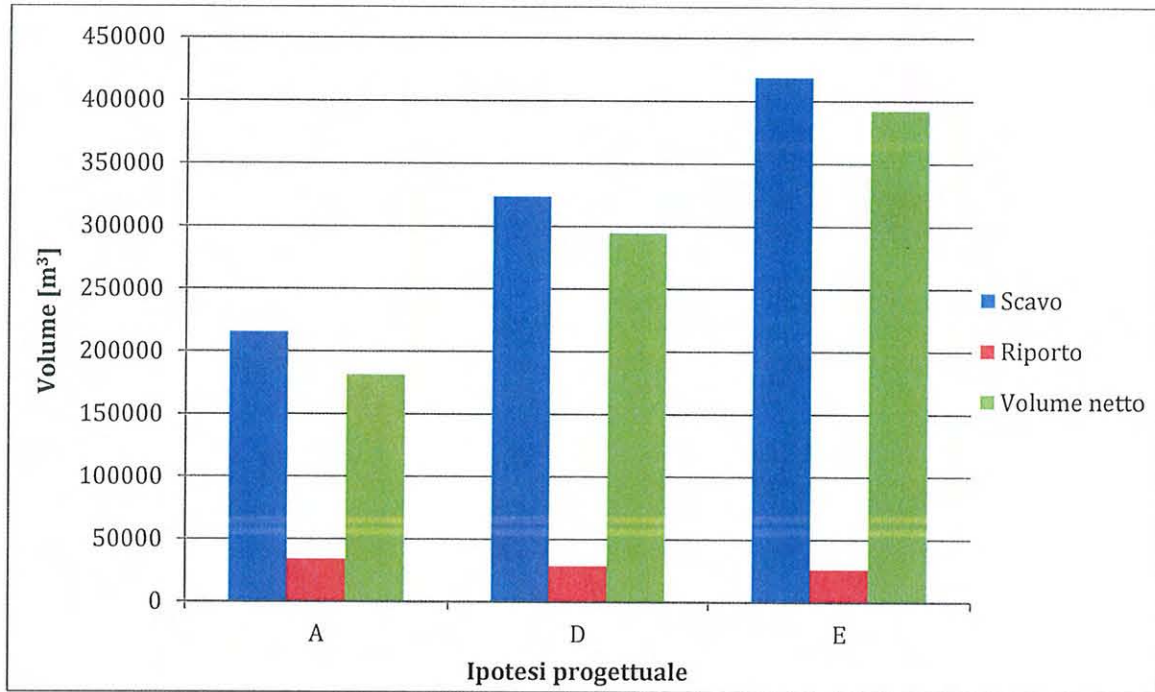


Fig. 21. Volumi di scavo e riporto per soluzione A con canale, D e E

6 COLATA DI PROGETTO e APPLICAZIONE DEL MODELLO FLO-2D

6.1 Principali caratteristiche del modello FLO-2D

Il programma di calcolo FLO-2D (O'Brien, 2009) è un modello idraulico bidimensionale a fondo fisso, nel caso di colate detritiche, o a fondo mobile, nel caso di trasporto solido. Esso può simulare il flusso dell'acqua in corsi d'acqua anche di notevole larghezza oppure flussi non newtoniani in aree di conoide.

Il modello, partendo da uno o più idrogrammi di piena, predice l'area di inondazione, la velocità e lo spessore del flusso dell'acqua o dei detriti per ogni cella in cui la topografia è stata discretizzata.

Il metodo è basato sull'integrazione numerica alle differenze finite, risolvendo le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto secondo uno schema esplicito e centrato.

FLO-2D consente la scelta tra diversi tipi di equazione del moto: onda diffusiva o onda dinamica completa, essendo quest'ultima la più appropriata per la simulazione di una colata detritica (O'Brien, 2009).

E' importante sottolineare che il modello numerico non simula il processo deposizionale della colata detritica, ma la sua distribuzione areale; dunque l'analisi del rischio non può essere espressa in termini di spessore di materiale depositato, bensì in termini di profondità massime di flusso (*max flow depths*) e superficie alluvionata (*flooded area*).

La superficie di calcolo viene discretizzata in celle quadrate; gli elementi informativi di base sono rappresentati dalla quota e dalla scabrezza (n di Manning) di ogni cella.

La procedura di simulazione prevede la costruzione di una serie di files contenenti i dati topografici, l'eventuale presenza di strutture (per esempio argini), il tipo di processo fisico che si intende simulare, l'equazione di calcolo prescelta, l'idrogramma liquido e la concentrazione attribuita al flusso, ed i parametri reologici del materiale della colata, relativi alla viscosità ed allo sforzo di taglio della miscela.

Per calcolare la viscosità η e lo sforzo di taglio limite τ_y della miscela, FLO-2D utilizza le seguenti relazioni empiriche:

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 c_v} \quad \tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 c_v}$$

dove α_1 , α_2 , β_1 e β_2 sono coefficienti empirici definiti in laboratorio (O'Brien e Julien, 1988).

FLO-2D simula la propagazione di colate detritiche o fangose, trattandole come un mezzo continuo e viscoso, utilizzando un modello reologico quadratico per predire gli sforzi viscosi in

funzione della concentrazione del sedimento, mantenendo la continuità della massa sia per l'acqua che per il sedimento.

6.2 Dati di input

Per l'applicazione del modello numerico sono necessarie le seguenti informazioni:

- Modello digitale dell'area interessata dalla colata;
- Idrogramma di piena;
- Parametri reologici della colata.

Modello digitale dell'area interessata dalla colata

Il DEM dell'area analizzata è stato realizzato utilizzando i dati del rilievo LIDAR eseguito nel maggio 2009 e quindi importato nel pre-processor GDS incluso in FLO-2D per generare una griglia con celle di 5 x 5 m. Ad ogni cella è attribuito un valore di n di Manning per la scabrezza, basandosi sulla Carta dell'Uso del Suolo, pari a 0.15; tale valore risulta idoneo per superfici con detrito e arbusti sparsi; il peso specifico del sedimento γ_m è pari a 2.65 kN/m^3 ed è stato assunto un valore di K , parametro di resistenza per flussi laminari, pari a 2285, entrambi valori suggeriti per le colate detritiche (FLO-2D, 2009).

Idrogramma di piena

L'analisi delle differenti soluzioni di sistemazione è stata effettuata, in via preliminare, considerando un evento di colata con tempo di ritorno pari a 100 anni, caratterizzato da un volume complessivo pari a $100,000 \text{ m}^3$ (Fig. 22) per una durata di 45 minuti.

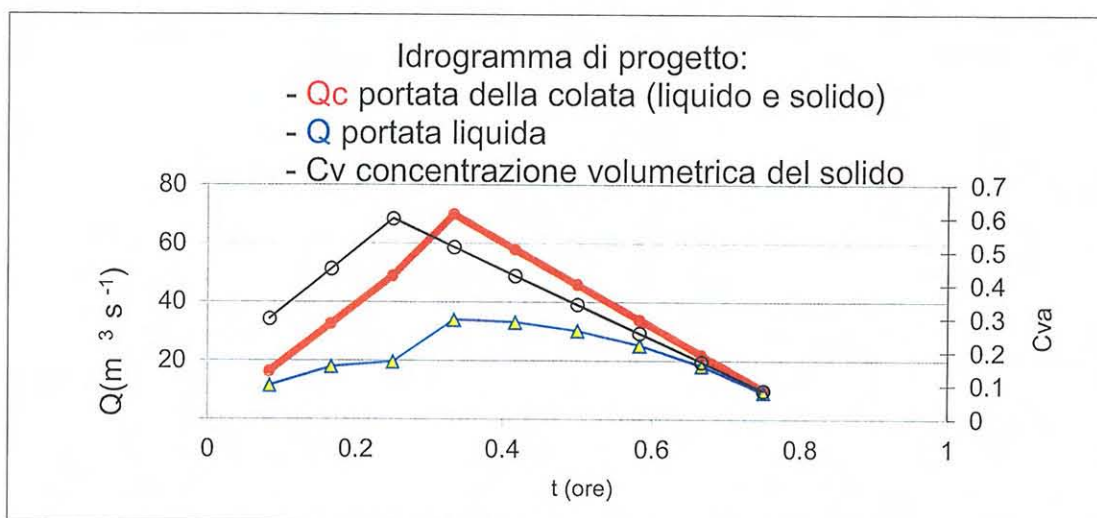


Fig. 22. Idrogrammi di piena liquida, solido-liquido e andamento della concentrazione solida volumetrica; tempo di ritorno 100 anni, durata 45 minuti.

Dall'idrogramma liquido è stato ricavato il relativo sedimentogramma (idrogramma solido), assegnando ad ogni valore di portata liquida (Q) ad un certo tempo un corrispondente valore della concentrazione volumetrica dei sedimenti (C_v). Per un dato valore di C_v , la portata totale Q_{tot} , somma della portata liquida e di quella solida, viene definita dalla seguente relazione:

$$Q_{tot} = (1/(1-C_v)) Q$$

L'andamento della concentrazione C_v è stato definito in base ai dati rilevati nel vicino bacino sperimentale di Acquabona per una colata tipica in ambiente dolomitico: la concentrazione solida volumetrica massima è del 60% e quella media è del 41%; come si vede nella Fig. 22, l'idrogramma liquido è caratterizzato da una portata di picco pari a $34 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, l'idrogramma solido risultante raggiunge una portata di picco pari a $70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Nello stesso grafico è riportato l'andamento della concentrazione volumetrica C_v ; il picco della concentrazione tipicamente precede nel tempo quello della portata solido-liquida.

Per ottimizzare le simulazioni a fronte di una mesh DEM con celle di 5 m di lato, si è scelto di simulare l'ingresso della colata nel dominio di calcolo su 5 celle invece che in un'unica cella come normalmente previsto dal codice di calcolo stesso. Questa procedura ha permesso di condurre a buon fine le simulazioni evitando errori nell'esecuzione degli algoritmi numerici dovuti ad un troppo elevato valore del rapporto fra portata di progetto e dimensioni delle celle. Le 5 celle di inflow sono poste ad una quota media di 1238 m.

Parametri reologici della colata

Non avendo eseguito indagini reologiche specifiche, i parametri reologici della colata - lo sforzo di taglio τ_y e la viscosità η , che variano principalmente con la concentrazione del sedimento, con la sua granulometria e con le caratteristiche meccaniche del materiale (coesione e angolo d'attrito) - sono stati scelti in base a valori riportati in letteratura che riguardano materiali detritici simili per distribuzione granulometrica.

I valori dei parametri reologici sono stati considerati costanti lungo il percorso di flusso e nel tempo, anche se anche nel corso di uno stesso evento possono variare in un range relativamente ampio (Genevois et al., 2001).

Sulla base di osservazioni di campagna e di laboratorio ottenuti per materiali simili (Cesca, 2008), si è ritenuto di considerare un flusso con valori di τ_y e viscosità η medio-bassi.

I valori dei parametri α_1 , α_2 , β_1 , β_2 per il calcolo di η e τ_y , scelti dalla relativa tabella del manuale d'uso di FLO-2D, sono quelli calcolati da Kang and Zhang nel 1980 (O'Brien, 2009).

I valori di τ_y e viscosità η , calcolati per valori di concentrazione volumetrica media dell'evento, C_v , pari a 0.41, sono i seguenti :

$$\tau_y = 4.3 \text{ (Pa)} \qquad \eta = 0.12 \text{ (Pa s)}$$

6.3 Simulazioni condotte

In fase preliminare sono state condotte le simulazioni dell'evento di progetto secondo differenti tracciati utilizzando una griglia con celle di 5 m di lato. In una seconda fase però, sulla base dei dati preliminari e di sopralluoghi effettuati, alcuni di questi tracciati sono stati scartati e alla fine, come si è visto, solo 3 delle ipotesi iniziali sono state valutate approfonditamente.

Le simulazioni qui presentate sono quindi le seguenti:

- *Simulazione n. 1.* La colata si propaga lungo canale attuale, senza alterazioni della configurazione della vasca attualmente presente con capacità di trattenuta di 25,000 m³;
- *Simulazione n. 2.* La colata si propaga secondo la soluzione progettuale A;
- *Simulazione n. 3.* La colata si propaga lungo canale attuale, nell'ipotesi del solo ampliamento della vasca (capacità di trattenuta di circa 100,000 m³), in assenza del canale artificiale uscente dalla vasca stessa;
- *Simulazione n. 4.* La colata si propaga secondo la soluzione progettuale E;
- *Simulazione n. 5.* La colata si propaga secondo la soluzione progettuale D.

6.3.1 Simulazione n. 1

In questa simulazione la colata si propaga all'interno del canale attuale, senza alterazioni della configurazione della vasca esistente che mantiene quindi una capacità di trattenuta di circa 25,000 m³.

Dalla mappa delle massime altezze di flusso (Fig. 23), si osserva che:

- nella parte media del canale (1149 m) la profondità di flusso massima è pari a 2.72 m, con velocità fino a 3.6 m/s;
- in corrispondenza della curva a sinistra a quota 1098 m, la profondità massima di flusso è pari a 3.68 m con velocità di 4.8 m/s;
- a quota 1062 m, si evidenzia la possibilità di avulsione della colata principalmente in destra idrografica, con spessori di circa 0.5 m;
- a quota 1014 m, in corrispondenza della briglia, lo spessore della colata raggiunge i 5.16 m e la velocità è pari a 1.8 m/s;
- all'entrata nella vasca, a quota 1011 m, la colata ha uno spessore massimo di 1.38 m e la massima velocità in questa sezione risulta essere 2.3 m/s;

- nella vasca, a ridosso dell'argine, a quota 1000 m, lo spessore della colata è pari a 1.13 m;
- la colata si disperde sul conoide dove è ubicato parte dell'abitato di Cancia (Fig. 24), con spessori variabili tra 0.5 e 1.0 m, e velocità variabili tra 0.8 e 1.3 m/s;
- la colata arriva nell'alveo del Torrente Boite con spessori dell'ordine di 0.5-1.0 m.

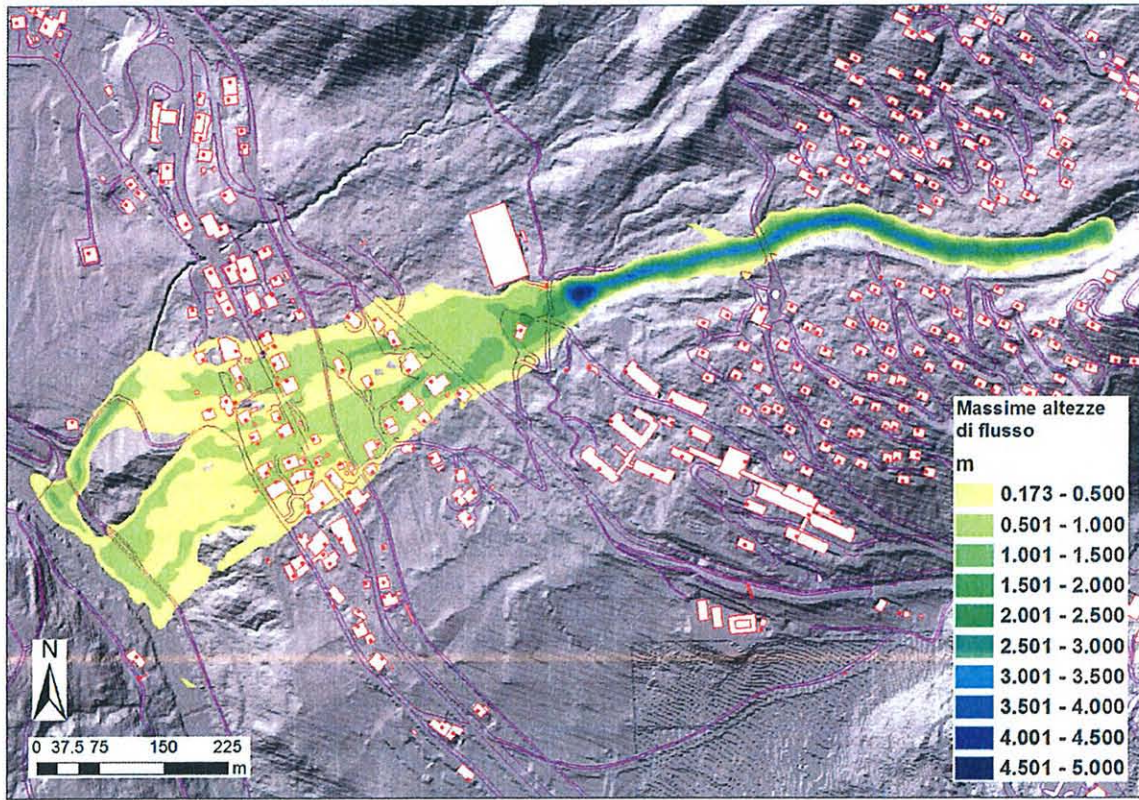


Fig. 23. Simulazione 1: carta delle massime altezze di flusso.



Fig. 24. Simulazione 1, particolare dell'area inondata.

6.3.2 Simulazione n. 2

In questa simulazione la colata si propaga secondo l'ipotesi progettuale A. Dalle mappe delle massime altezze di flusso e delle massime velocità dell'onda detritica (Fig. 25), si osserva che:

- nella parte alta del canale (1196 m) la profondità di flusso massima è pari a 3.08 m, con velocità fino a 4.8 m/s;
- nella sezione a quota 1149 m, il flusso ha spessore pari a 4.37 m, con velocità fino a 4.4 m/s;
- in corrispondenza della curva a sinistra a quota 1098 m, la profondità massima di flusso è pari a 5.35 m con velocità di 5.16 m/s;
- a quota 1062 m, si evidenzia la possibilità di avulsione della colata principalmente in destra idrografica, con spessori di circa 1.0 m. Questa condizione si verifica a causa della profondità del canale che non risulta sufficiente a contenere il flusso;
- all'entrata nella vasca, a quota 1011 m, la colata ha uno spessore massimo di 2.97 m e la massima velocità, in questa sezione, risulta essere di 1.8 m/s;
- nella vasca, a ridosso dell'argine il modello numerico mostra che il flusso si propaga nel canale artificiale con spessori e velocità progressivamente minori, variabili rispettivamente tra 5.06 m e 3.85 m e 4.3 m/s e 2.8 m/s;
- la colata arriva nell'alveo del Torrente Boite con spessori dell'ordine dei 2 m.

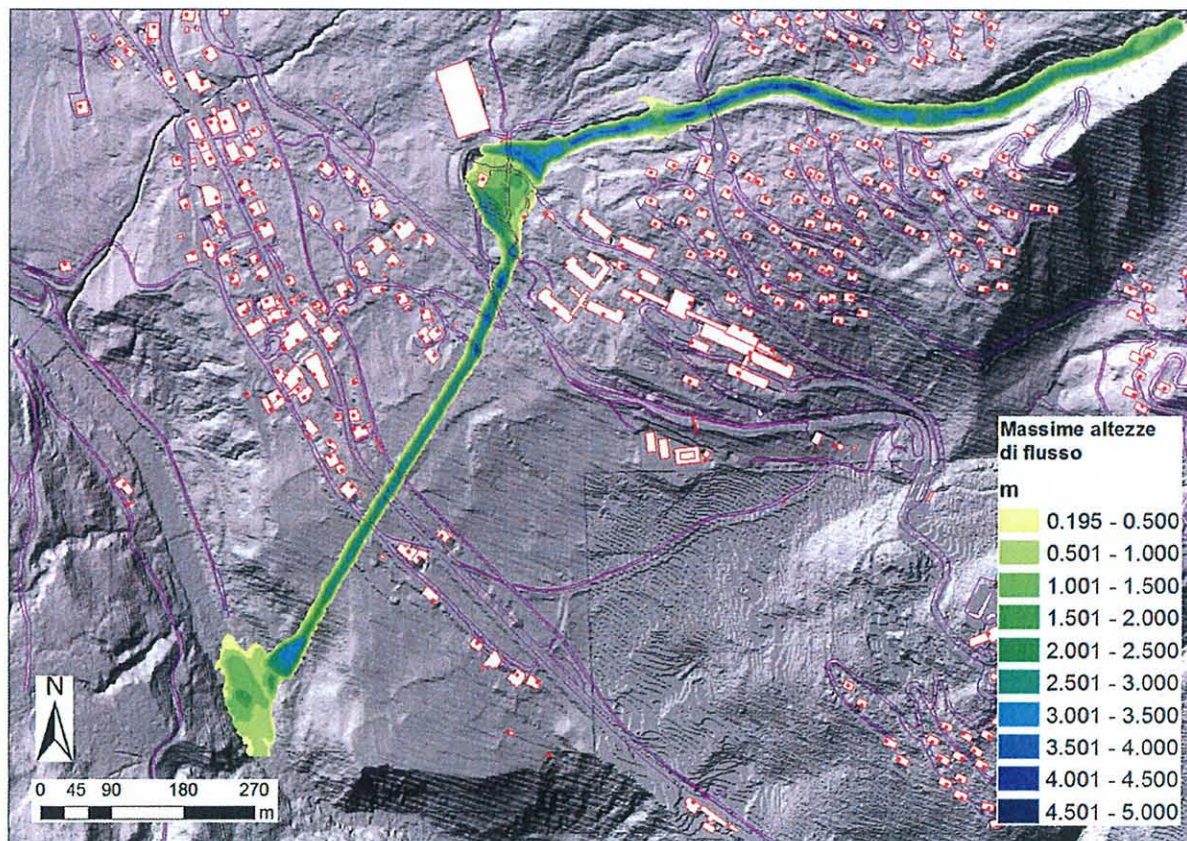


Fig. 25. Simulazione 2: carta delle massime altezze di flusso.

6.3.3 Simulazione n. 3

La colata si propaga nel canale attuale, nell'ipotesi del solo ampliamento della vasca secondo il progetto A, in assenza del canale artificiale uscente dalla vasca stessa.

Dalla mappa delle massime altezze di flusso (Fig. 26), si osserva che:

- nella parte media del canale (1149 m) la profondità di flusso massima è pari a 4.35 m, con velocità fino a 4.2 m/s;
- in corrispondenza della curva a sinistra a quota 1098 m, la profondità massima di flusso è pari a 5.09 m con velocità di 5.2 m/s;
- a quota 1062 m, si evidenzia la possibilità di avulsione della colata principalmente in destra idrografica, con spessori di circa 0.3-0.4 m;
- a quota 1014 m, in prossimità della briglia, lo spessore della colata è 3.41 m e la velocità 2.8 m/s;
- all'entrata nella vasca, a quota 1011 m, la colata ha uno spessore massimo di 3.95 m e la massima velocità in questa sezione risulta essere 1.2 m/s;
- nella vasca, a ridosso dell'argine, a quota 998 m, lo spessore della colata è pari a 10.81 m;
- la colata si disperde sul conoide dove è ubicato parte dell'abitato di Cancia (Fig. 24), con spessori variabili tra 0.2 e 0.8 m, e velocità variabili tra 0.8 e 1.7 m/s;
- la colata arriva nell'alveo del Torrente Boite con spessori di circa 0.5 m.

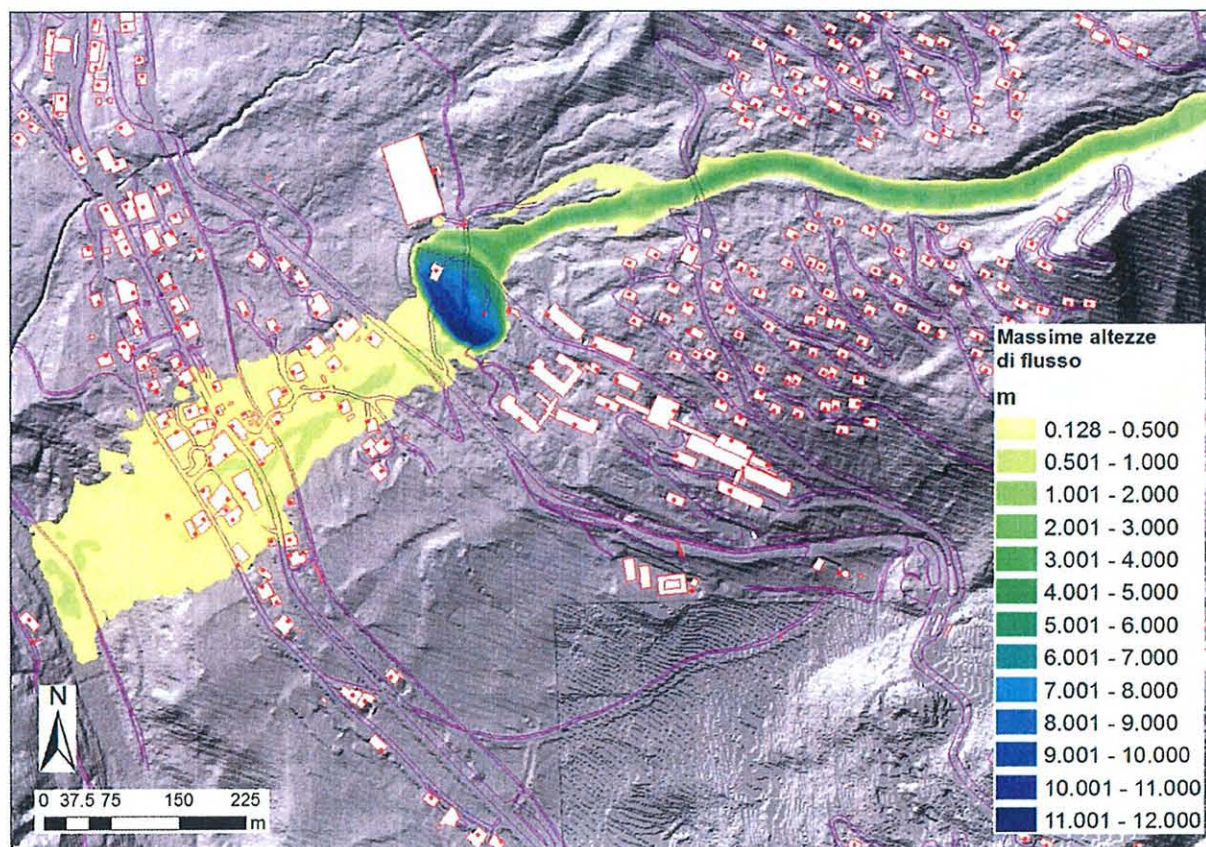


Fig. 26. Simulazione 3: carta delle massime altezze di flusso.

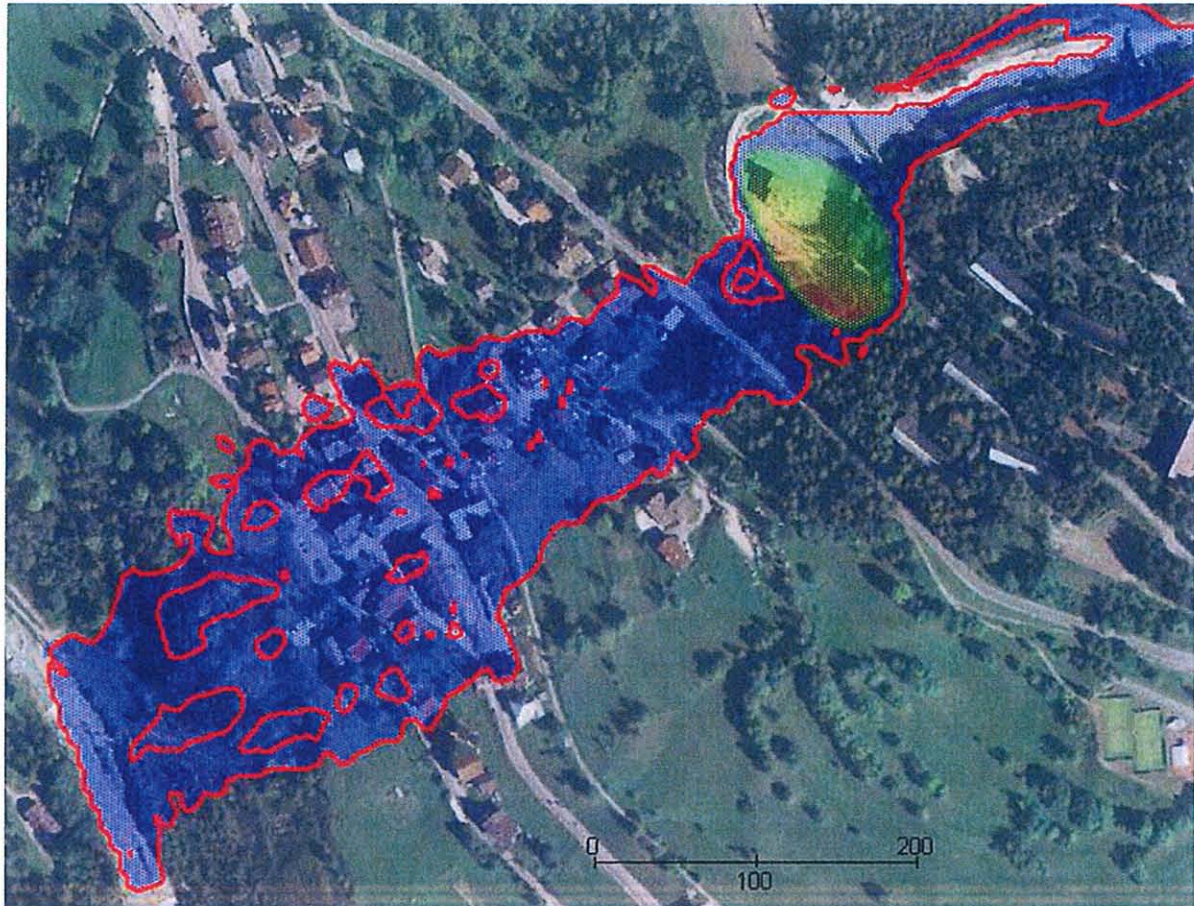


Fig. 27. Simulazione 3: particolare dell'area inondata.

6.3.4 Simulazione n. 4

In questa simulazione si considera l'ipotesi progettuale E. Dalla mappa delle massime altezze di flusso (Fig. 28), si osserva che:

- nella zona di innesto del canale artificiale a quota 1206 m, la colata assume profondità di flusso sino a 3.33 m e velocità 5.8 m/s;
- a quota 1118 m, attraversando l'area del villaggio turistico, la profondità di flusso massima è pari a 3.51 m, con velocità fino a 3.7 m/s;
- a quota 1043 m, a circa metà del canale artificiale, la colata ha profondità di flusso pari a 3.30 m e velocità di 3.1 m/s;
- all'entrata del canale E nella piazza di deposito (100,000 m³), a quota 970 m, la colata ha uno spessore massimo di 2.88 m e velocità pari a 3.6 m/s;
- nella vasca, a monte del salto di fondo a quota 966 m, lo spessore della colata è pari a 3.50 m;
- a monte della soglia inferiore (951 m), lo spessore è intorno a 3.27 m con velocità di 2.1 m/s;
- la colata arriva nell'alveo del Boite (858 m) con spessori fino a 4.80 m.

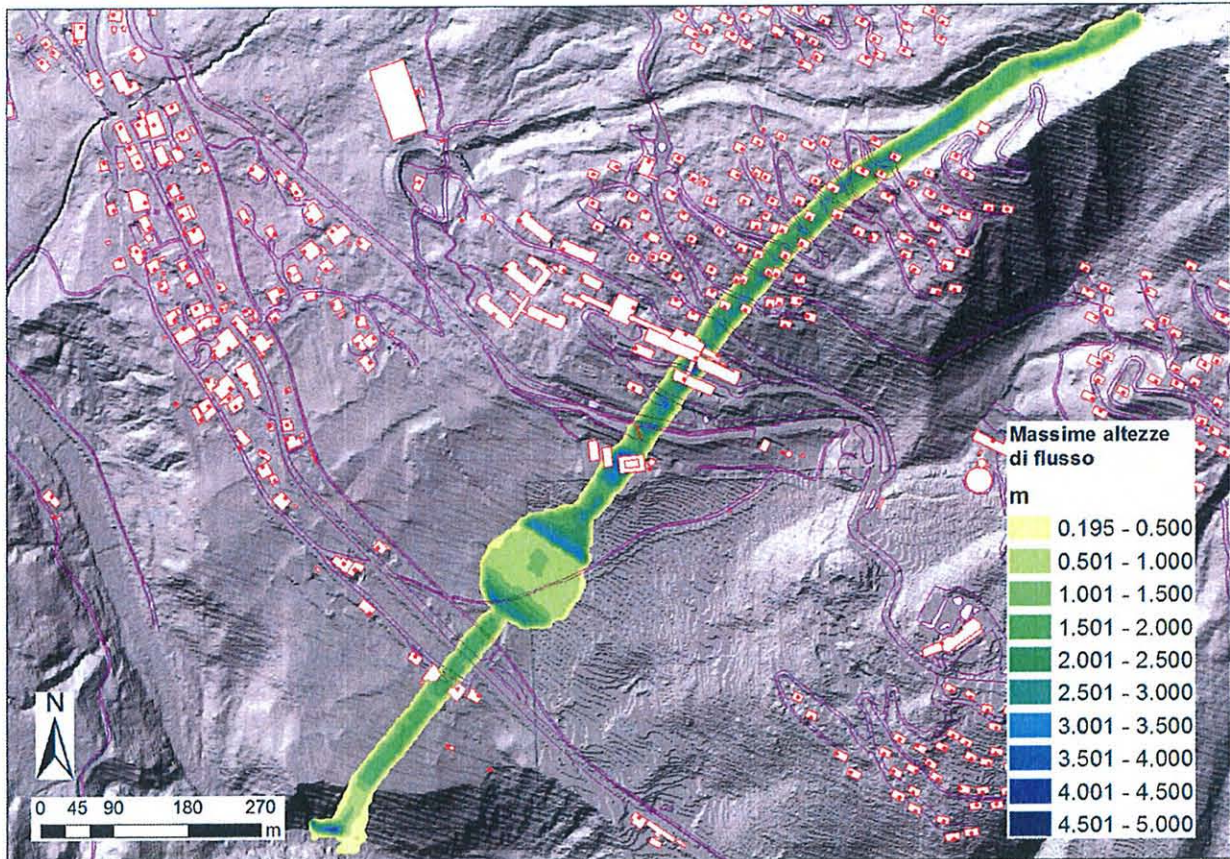


Fig. 28. Simulazione 4: carta delle massime altezze di flusso.

6.3.5 Simulazione n. 5

In questa simulazione si considera la soluzione progettuale D. Tale soluzione prevede comunque di non abbandonare totalmente il canale e la vasca attualmente attivi affinché possano costituire un utile via di diversione in caso di eventi particolarmente ingenti. E' tuttavia evidente come, in modo particolare per questa soluzione, grande attenzione progettuale debba essere riservata alla zona apicale del conoide dove dovrebbe dipartirsi il nuovo canale. E' proprio qui che, in caso di eventi di elevata magnitudo, si potrebbero avere delle diversioni del flusso con fuoriuscita di materiale in zone precedentemente non interessate dal fenomeno.

Dalla mappa delle massime altezze di flusso (Fig. 29), si osserva comunque che:

- la colata prosegue in parte ancora nel canale attuale ma appare contenuta dalla vasca esistente attualmente con capacità $25,000 \text{ m}^3$;
- qui, a ridosso dell'argine, il flusso assume spessori variabili tra 0.5 e 2.1 m;
- nella zona di innesto del canale artificiale, a quota 1158 m, la colata assume profondità di flusso sino a 2.53 m e velocità 3.3 m/s;
- nella sezione del canale D, a quota 1037 m, la profondità di flusso massima è pari a 2.51 m, con velocità fino a 3.2 m/s;

- all'entrata nella piazza di deposito ($100,0000 \text{ m}^3$), a quota 980 m, la colata ha uno spessore massimo di 4.00 m e velocità pari a 2.3 m/s;
- qui, a monte del salto di fondo a quota 978 m, lo spessore della colata è pari a 2.55 m;
- a monte della soglia inferiore, a quota 965 m, lo spessore è intorno a 2.90 m con velocità di 1.3 m/s;
- la colata arriva nell'alveo del Torrente Boite con spessori di circa 1.2 m.

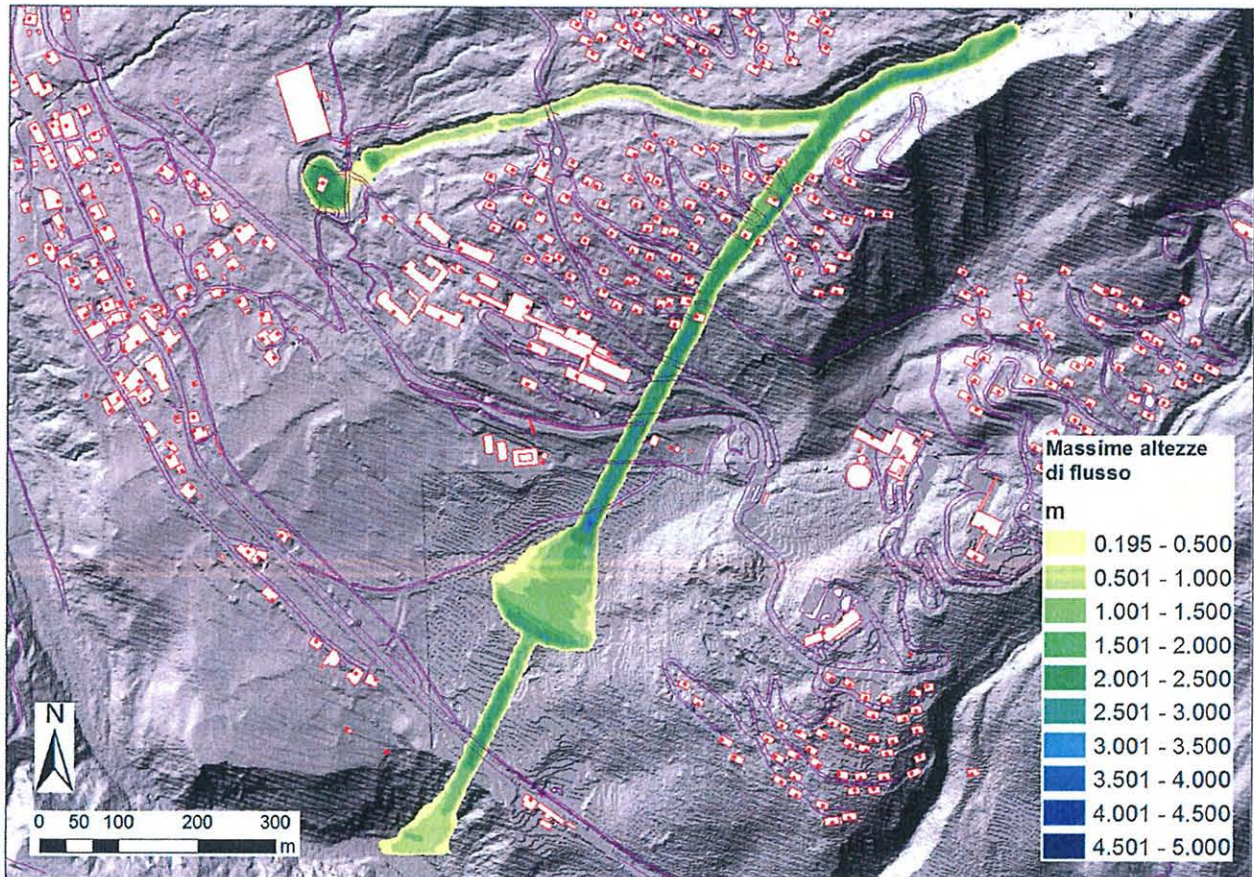


Fig. 29. Simulazione 5: carta delle massime altezze di flusso.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A conclusione dell'attività svolta nell'ambito della presente convenzione si ritiene utile riassumere i risultati raggiunti e ribadire alcuni punti che si ritengono essenziali per un corretto approccio al problema di Cancia.

Innanzitutto bisogna sottolineare che, qualsiasi soluzione strutturale si deciderà di adottare, questa non potrà essere vista come la soluzione definitiva del problema. Purtroppo, per come si è sviluppata urbanisticamente la zona e per la condizione morfologico-strutturale del bacino, appare non attuale la convinzione che un intervento, ancorché correttamente dimensionato ed eseguito, ci preservi da futuri problemi. Bisogna, come suggerisce anche l'UNISDR (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*), il segretariato delle Nazioni Unite che si occupa della riduzione dei disastri naturali, incominciare a pensare a “convivere con i rischi” e quindi adottare tutte quelle strategie che tendono a ridurre la vulnerabilità della popolazione. Il suggerimento è quindi quello di cominciare fin da ora una azione di sensibilizzazione e formazione degli abitanti e dei turisti che frequentano la località sia d'estate che durante il periodo invernale, attraverso la disseminazione di conoscenze e “*best practice*” fatta capillarmente e con strumenti idonei.

Inoltre, come si è già avuto modo di dire in precedenza, non va assolutamente abbandonata l'idea di installare un sistema di monitoraggio ed allarme che si integri nel piano di protezione civile comunale. Il progetto messo a punto da ARPAV può anche essere ridimensionato se verranno intraprese azioni strutturali quali quelle proposte nella presente relazione, risulta però essenziale che venga in qualche modo registrato il transito di eventuali colate detritiche nel canale a monte del conoide e associare questi fenomeni a precisi eventi pluviometrici. Solo in questo modo si arriverà ad acquisire dati sufficienti per una precisa definizione del rapporto tra occorrenza del processo gravitativo e piogge innescenti che è una delle questioni ancora aperte per il debris flow di Cancia, data la scarsità e discontinuità dei dati storici disponibili.

Per quanto riguarda i risultati del presente studio questi sono derivati da un'attività di modellazione matematica unita ad un'analisi micromorfologica del rilievo finalizzata all'individuazione di possibili tracciati alternativi del canale in conoide. A questo proposito si ribadisce ancora una volta come, la costruzione del villaggio turistico alla fine degli anni '50 e la relativa costruzione di un canale di deflusso, abbiano di molto aggravato la situazione di rischio per l'abitato storico di Cancia. Inoltre è inconcepibile il fatto che un canale, seppur effimero, sia stato progettato senza prevedere un opportuno sbocco verso il collettore principale. Questo contrasta

ovviamente con qualsiasi buona pratica di progettazione idraulica e pone in luce la scarsa attenzione che, in quegli anni, veniva posta relativamente a problematiche di stabilità dei versanti.

Ad ogni buon conto non è compito della presente relazione evidenziare eventuali lacune di precedenti interventi, ma queste considerazioni sono servite come base di partenza per l'ideazione di possibili nuove soluzioni. Analizzando infatti la situazione precedente agli anni '50, è emerso con chiarezza, come era anche normale aspettarsi che, in assenza di un canale definito ed inciso, il punto cruciale che condiziona la distribuzione del materiale in conoide è il suo apice. Se si osservano infatti le foto aeree del 1954 si vede chiaramente come il ventaglio di deposizione sia abbastanza ampio e non vi sia un canale preferenziale di deflusso che arriva al Torrente Boite. L'analisi delle foto aeree unitamente ai dati ottenuti dalla tomografia elettrica (cfr. Fig. 8) ha inoltre evidenziato che in passato sono stati attivi, in sinistra idrografica dell'attuale canale, numerosi tracciati alternativi e su questa base si è cercato di individuare possibili futuri scenari.

Una volta definite le nuove possibili vie di deflusso se ne è analizzata la validità idraulica con l'impiego del codice di calcolo FLO-2D, che rappresenta attualmente lo strumento maggiormente diffuso per lo studio della dinamica delle colate detritiche. E' tuttavia evidente che, essendo uno strumento di calcolo, ancorché potente e versatile, il suo impiego costituisce comunque una semplificazione del processo naturale in studio e del resto non potrebbe essere altrimenti. Qualsiasi modello, sia esso di stabilità, idraulico etc. per forza di cose tende a rappresentare la realtà in maniera semplificata e schematica. Quindi nell'analisi dei risultati raggiunti è sempre utile tenere a mente queste considerazioni e valutare le proposte "*cum grano salis*" che spesso manca nell'affrontare questioni così complesse e delicate.

Detto questo passiamo ora brevemente ad evidenziare ciò che dalla lettura della relazione è sicuramente emerso con una certa chiarezza. In particolare si può affermare che:

- per quanto riguarda l'ipotesi progettuale A e cioè quella che si riferisce all'utilizzo del canale attuale previo ampliamento della vasca e collegamento idraulico tra la piazza di deposito e il Torrente Boite, i risultati della modellazione mostrano che nel canale artificiale in uscita dalla vasca si produce il deflusso della colata, ma questo deflusso, nella realtà, può consistere solo della parte più fluida e fine della colata, in quanto il volume solido più grossolano non potrebbe defluire attraverso un canale posizionato con tale angolatura rispetto alla direzione del flusso in entrata. In tale condizione la colata detritica potrebbe anche sormontare il paramento di valle della vasca, ancorché di capacità sufficiente a trattenere tutto il materiale e alluvionare l'abitato. Questo perché il materiale in entrata andrebbe a depositarsi allo sbocco del canale nella vasca senza distribuirsi omogeneamente su tutta la superficie disponibile

(ovviamente la morfologia di questo deposito è legata alla densità della miscela, che, per ragioni di cautela, è stata considerata elevata) andando a costituire così un conoide le cui dimensioni potrebbero facilmente permettere alla colata di raggiungere il paramento di valle e sormontarlo. Il muro di contenimento risulta peraltro di dimensioni notevoli sia per mancanza di spazi adeguati sia per la presenza a valle del centro abitato di Cancia e quindi difficilmente integrabile nel contesto paesaggistico dell'area. Date tutte queste considerazioni si ritiene che questa soluzione non sia da preferire, anche se, come per tutte le altre soluzioni proposte, ulteriori verifiche sono necessarie;

- la soluzione E è sicuramente quella più onerosa sia in termini di volumi di materiale da movimentare, sia per quanto riguarda l'elevato numero di villette interessate dal passaggio del canale artificiale. Inoltre un'analisi morfologica del tracciato mostra, in certi tratti, pendenze troppo elevate che inducono accelerazioni nel moto della massa detritica in movimento. Anche la piazza di deposito risente di questa situazione morfologica sfavorevole tanto da rendere necessario un'ingente movimentazione di terra per la sua realizzazione. Da ultimo, il canale di deflusso, mostra un angolo di confluenza con il Torrente Boite non ottimale, e ciò potrebbe causare qualche problema nell'evacuazione di eventuale materiale fine che dovesse arrivare in alveo;
- infine la soluzione D, ovvero quella più a sud, sembra, tra quelle proposte, quella maggiormente sostenibile. Risulta però quella con angolo di deviazione rispetto al canale attuale, maggiore. Questo fatto, se non correttamente affrontato, può rappresentare un problema per il corretto deflusso della colata; la deposizione di detrito che comunemente occorre durante una colata, anche di modesto volume, infatti, può costituire una rampa per colate successive, che si incanalerebbero così nell'attuale via di deflusso, con la possibilità di raggiungere la vasca di deposizione esistente. Un altro punto critico di questa soluzione è rappresentato dalla zona di confluenza nel Torrente Boite. Essa avviene in corrispondenza di una alta e ripida scarpata in erosione. Si ritiene comunque che vi siano le conoscenze adeguate per affrontare il problema con successo in fase di progettazione delle opere.

Alla luce di quanto detto ed in estrema sintesi la soluzione D sembra quella che maggiormente si presta per creare una via di deflusso alternativa al debris flow che interessa da secoli il conoide su cui sorge l'abitato di Cancia. Ovviamente questa proposta vuole essere solo uno spunto per ulteriori indagini e studi di dettaglio che portino poi alla progettazione esecutiva. Non si

devono però ignorare alcune questioni che sono fondamentali per la riduzione della situazione di rischio nell'area:

1. l'area apicale del conoide da cui dovrebbe dipartirsi il nuovo canale è assolutamente strategica per la realizzazione di un'opera efficace. Sulla base delle conoscenze sinora acquisite sul comportamento delle colate detritiche e dei risultati delle simulazioni è importante sottolineare che qualsiasi deviazione del flusso non correttamente dimensionato e realizzato, può comportare avulsioni e cambi inaspettati di direzione che potrebbero in questo caso risultare estremamente pericolosi anche per le abitazioni del villaggio turistico. Anche in virtù di questa possibilità si ritiene utile mantenere in efficienza in canale attuale e la vasca di deposito di 25,000 m³ che assumerebbero la funzione di "troppo pieno" per il nuovo canale in caso di colate di una certa magnitudo.
2. Altro settore critico è senz'altro la confluenza con il Torrente Boite. E' quindi indispensabile un accurato studio del corso d'acqua accompagnato da una modellazione idraulica che metta in evidenza eventuale pericoli di blocco del deflusso e quindi di rigurgito a monte. A questo proposito bisogna comunque ribadire che il materiale dovrebbe arrivare al collettore principale con volumetrie non rilevanti e con una granulometria sufficientemente fine da poter essere smaltito senza grossi problemi. Rimane però aperta la problematica dell'interrimento del Lago di Vodo che si trova poco a valle. In questo caso sembra indispensabile un confronto con l'ente gestore dell'impianto.
3. Particolare attenzione deve anche essere posta all'attraversamento della Strada Statale 51 di Alemagna. Data l'importanza della struttura la progettazione dell'attraversamento dovrà tener conto della porta di deflusso in uscita dalla vasca e della possibile granulometria. E' assolutamente sconsigliabile una soluzione tipo "tombotto" per l'elevata possibilità di intasamento. Bisogna permettere il transito del flusso iperconcentrato a pelo libero per cui sarebbe auspicabile una soluzione di attraversamento mediante un tracciato stradale rilevato rispetto al piano campagna.
4. La tipologia di piazza di deposito proposta è assolutamente generica e si rimanda alla progettazione esecutiva per la scelta finale. Preme mettere in evidenza però che l'opera dovrebbe avere sia una funzione di rallentamento del materiale in entrata sia quella trattenuta ed arresto temporaneo. Si sottolinea "temporaneo" in quanto è auspicabile che parte del materiale depositato, per lo meno la frazione più fine, possa essere evacuata dalla coda liquida che sempre caratterizza il processo di colata detritica. Sarà quindi utile prevedere, all'interno della vasca, delle opere trasversali per favorire il

rallentamento e la sedimentazione del materiale e, allo sbocco nel canale di scarico, un'opera filtrante che permetta l'allontanamento di quanto più materiale possibile, trattenendo eventuali grossi blocchi e altro materiale, come ad esempio, tronchi d'albero, che dovessero arrivare in vasca.

5. Infine, è assolutamente necessario pensare alla realizzazione dell'opera, unitamente alla sua manutenzione. Molto spesso abbiamo assistito in passato alla edificazione di contromisure strutturali anche importanti che sono state poi abbandonate e hanno perso, in parte o del tutto, il loro grado di efficienza. Bisogna fare in modo che Cancia rappresenti un modo nuovo di intendere le opere di sistemazione e quindi prevedere, fin dall'inizio, un budget specifico per la manutenzione che, mai come in questo caso, è di vitale importanza. La vasca deve quindi essere svuotata subito dopo ogni evento e mantenuta costantemente in efficienza per poter contenere le nuove colate. Questa attività risulta quindi irrinunciabile se si vuole veramente ridurre il livello rischio per la popolazione di Cancia.

8 *Bibliografia*

- Bondesan A., Caniato G., Vallerani F., Zanetti M., 2000. *Il Piave*, CIERRE Edizioni, Verona, 497 pp.
- Cesca M., 2008. Studio dei meccanismi di deposizione dei debris flow: integrazioni tra esperienze di laboratorio, analisi di campo e modellazioni numeriche. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Padova.
- Dal Piazz G., 1912. *Geologia dell'Antelao*. 3-15, Soc. Editrice Laziale, Roma.
- FLO-2D Software Inc. 2009. *FLO-2D, 2-Dimensional Flood Routine Model Manual vs. 2006.01*. Nutrioso, AZ 85932
- Genevois R., Galgaro A., Tecca P.R., 2001. Image Analysis for Debris Flow Properties Estimation. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26 (9), 623-631.
- Leonardi P., 1967. *Le Dolomiti. Geologia dei monti tra Isarco e Piave*. Ed. Manfrini, Rovereto
- Mantovani F., Pasuto A., Silvano S., 2002. Definition of the elements at risk and mitigation measures of the Cancia debris flow (Dolomites, northeastern Italy). In: van Rooy, J.L., Jermy, C.A. (eds.), *Engineering Geology for Developing Countries - Proc. 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*. Durban, South Africa, 16-20 September, 1201-1209.
- Marinelli G., 1878. Sull'altezza del Monte Antelao (Alpi del Cadore). *Memorie della Società Geografica*, 1, 4-19.
- O'Brien J.S., Julien P.Y. 1988. Laboratory analysis of mudflows properties. *J Hydraulic Engineering*, ASCE 114(8): 877-887
- Panizza M., Piacente S., Silvano S., Siorpaes C., Toffoletto F., Bozzo G.P., 1998. La frana di Borca di Cadore (BL) del 7 agosto 1998. *Mem. Soc. Geol. It.* 53, 465-478.
- Studio Cancelli Associato, Milano, 2003. *Il progetto di opere per la mitigazione del rischio da Debris-Flow: un esempio applicativo*. Atti Workshop: Previsione, Progettazione, Realizzazione interventi sulle colate detritiche, Aosta, 29 Maggio, 2003.
- Topeano D., Savio G. 2009. Consulenza-studio scientifico in merito alla situazione geomorfologico-idraulica della rovina di Cancia, finalizzata all'analisi degli interventi di mitigazione del rischio predisposti dalla Regione Veneto

Università degli Studi di Trento Facoltà di Ingegneria, Trento, 2000. Simulazione numerica delle colate detritiche in località Cancia di Borca di Cadore – Relazione tecnica per Segreteria Regionale all’Ambiente e Lavori Pubblici Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile Regione Veneto

Università degli Studi di Padova, 1999. Studio sulle modalità di innesco e sull’entità delle colate detritiche in località Cancia, Borca di Cadore (Belluno) – Relazione tecnica per Segreteria Regionale all’Ambiente e Lavori Pubblici Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile Regione Veneto

