

MARIA FULVIA ZONTA¹
DIEGO SONDA²

L'esperienza della Provincia Autonoma di Trento nel progetto europeo Interreg IIIB Catch Risk: la zonazione delle aree di pericolo sui conoidi alluvionali

Dal 2002 la Provincia Autonoma di Trento rappresentata inizialmente dal Progetto Speciale per la messa in Sicurezza del territorio, e successivamente a partire dal giugno 2003 dal Servizio Geologico, ha aderito al progetto europeo Interreg IIIB – Spazio Alpino denominato “Catch Risk” il cui obiettivo principale era quello di creare un approccio condiviso per la definizione degli scenari di rischio idrogeologico nei bacini idrografici alpini e sui conoidi alluvionali di fondovalle.

I partner di progetto erano i seguenti:

- per l'Italia: Regione Lombardia (capofila), Regione Friuli Venezia Giulia, Regione Piemonte, Regione Veneto, Provincia di La Spezia;
- per l'Austria: Styria, Tirolo e Carinzia;
- per la Germania: Baviera;
- per la Svizzera: Canton Ticino.

In seguito è entrato nel gruppo anche il Cantone dei Grigioni.

Le attività del progetto, finanziate al 50% da fondi europei e al 50% da fondi nazionali, sono state articolate in una serie di gruppi di lavoro dedicati alle problematiche connesse al rischio idrogeologico. Le tema-

tiche affrontate hanno riguardato i processi idrogeologici nei bacini alpini, la valutazione del rischio da frana, le inondazioni sui conoidi alluvionali e le esondazioni fluviali. Tra le attività del progetto la cui conclusione è prevista per il 30 giugno 2005, vi è anche la redazione di linee guida per i tecnici che possano trarre utili indicazioni sulle principali problematiche inerenti il rischio idrogeologico.

La Provincia Autonoma di Trento ha fin dall'inizio focalizzato l'attenzione sull'analisi del pericolo legata ad eventuali fenomeni calamitosi riferiti ai conoidi di fondovalle urbanizzati. Infatti, nelle vallate alpine i conoidi di deiezione sono stati fin dall'antichità siti privilegiati per l'insediamento e lo sviluppo dei centri urbani, dove le tradizionali fonti di sostentamento legate alle attività di tipo silvo pastorale, sono state via via sostituite da un'economia basata sullo sviluppo turistico. In queste zone l'urbanizzazione ha subito un notevole impulso andando ad interessare anche luoghi originariamente non abitati. I conoidi alluvionali, per ragioni legate alla loro stessa origine, sono aree potenzialmente pericolose perché

¹ Funzionario Forestale della Provincia Autonoma di Trento, *project manager* nel progetto europeo “Catch Risk”.

² Dottore forestale libero professionista incaricato dalla Provincia Autonoma di Trento dello svolgimento dello studio delle aree a rischio di alluvionamento sul Rio Dona nell'ambito delle attività condotte per “Catch Risk”.

edificate da eventi alluvionali ed in particolare da fenomeni di colate detritiche o di trasporto di sedimenti. Si tratta di eventi particolarmente pericolosi per l'incolumità di persone e cose in quanto non facilmente prevedibili nel tempo, né quantificabili in termini di entità.

Lo scopo dell'iniziativa, perciò, era quello di determinare uno strumento utile alla pianificazione territoriale e alla messa in sicurezza del territorio, che consentisse di definire il livello di pericolo e di stabilire quali azioni intraprendere per ridurre o, se possibile, eliminare la fonte di pericolo e di conseguenza il rischio derivante.

In questo contesto l'approccio è stato quello di individuare un metodo già applicato e conosciuto per la mappatura delle aree di pericolo e di sperimentare l'applicazione di una metodologia basata su tecnologie innovative. I risultati ottenuti sono stati messi a confronto, come pure le caratteristiche applicative di ognuno dei due sistemi.

Nel primo caso si è ricorsi al metodo di indagine messo a punto negli anni '70 dal prof. Aulitzky dell'Università di Vienna e successivamente modificato da altri autori, nel secondo si è ricorsi ad un modello numerico (FLO-2D), sviluppato da Jim O'Brien nell'ambito di uno studio sulla sicurezza idrogeologica di un conoide urbanizzato del Colorado.

L'applicazione di modelli numerici bidimensionali di propagazione dei flussi liquido-solido rende necessaria la conoscenza dettagliata della topografia del luogo; tale affinamento può avvenire con diverse metodologie. Il modello digitale delle quote (DEM), nel caso delle attività condotte dalla Provincia Autonoma di Trento in collaborazione con le Università di Padova e Trento, è stato ottenuto, nel primo caso di studio, tramite un rilievo topografico di dettaglio, mentre nel secondo caso effettuando un rilievo laser altimetrico. Per l'applicazione della metodologia Aulitzky sono stati inca-

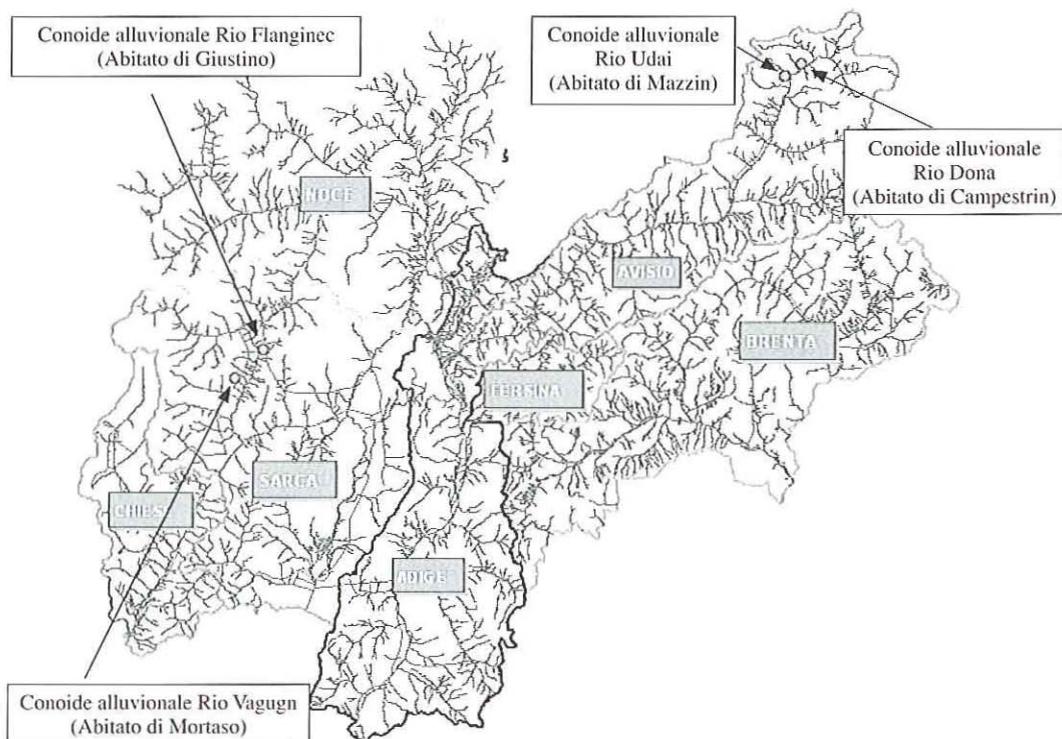


Fig. 1 - Aree campione studiate nell'ambito delle attività del progetto Interreg III B "Catch Risk".

ricati dei consulenti esterni all'amministrazione provinciale, mentre per l'utilizzo del modello di simulazione ci si è avvalsi della collaborazione delle Università di Trento e di Padova.

Per condurre le indagini sono state scelte quattro aree campione, due nel Trentino occidentale (i conoidi alluvionali dei Rivi Flanginè e Vagugn in Val Rendena, nel bacino del fiume Sarca) e due in quello orientale (i conoidi alluvionali dei rivi Dona e Udai, in Val di Fassa nel bacino del Torrente Avisio) (fig. 1).

Il metodo Aulitzky

La procedura di applicazione del metodo Aulitzky prevede di rispondere ad una serie di domande le cui risposte si desumono essenzialmente da osservazioni in campo mirate all'individuazione di elementi geomorfologici, i quali rappresentano le testimonianze di eventi passati e definiti dall'autore "testimoni muti".

Poichè la geomorfologia dei luoghi oggetto di indagine ha spesso subito forti trasformazioni, essa deve essere supportata da un'accurata ricerca storica che può essere condotta sia consultando gli archivi locali (Comuni, parrocchie, Archivi di Stato, biblioteche, ecc.), sia raccogliendo informazioni da persone del luogo (testimoni in prima persona di eventi passati). Anche la fotointerpretazione e l'analisi cartografica possono essere di notevole aiuto nell'applicazione del metodo soprattutto qualora si possieda una serie di immagini o di cartografie multitemporali. Qualora però non sia possibile rispondere ad una delle domande della *check list*, Aulitzky stesso consiglia di passare al quesito successivo; infatti è preferibile fornire poche informazioni, ma certe, piuttosto di introdurre delle informazioni errate.

La *check list* fornisce due indici, il primo, definito "Indice di pericolosità" (IP), che dà indicazioni sul grado di pericolosità di una

determinata zona e che consente di giungere alla zonazione della pericolosità sull'area del conoide, il secondo, denominato "Indice di torrenzialità" (IT), che definisce la tipologia di trasporto del corso d'acqua.

Gli studi condotti, hanno previsto le seguenti fasi:

1. analisi geologica e geomorfologica del bacino;
2. analisi idrologica;
3. quantificazione dei volumi di sedimento potenzialmente movimentabili;
4. individuazione e verifica di eventuali sezioni critiche lungo il corso d'acqua soprattutto in corrispondenza del conoide alluvionale;
5. individuazione di interventi per la riduzione o, se possibile, l'eliminazione del pericolo.

Per ragioni di brevità si riporta di seguito in sintesi le fasi applicative e i risultati ottenuti solamente sul conoide alluvionale del Rio Dona.

Il Rio Dona: inquadramento geomorfologico e analisi storica

La valle del Rio Dona mostra una particolare morfologia e si può interpretare come una valle glaciale sospesa su quella dell'Avisio. È caratterizzata da un primo tratto pianeggiante, inciso nelle tenere vulcaniti medio-triassiche, al quale ne segue uno molto ripido per l'emergenza della compatta Dolomia del Serla, per proseguire poi con pendenze ridotte nella Formazione di Werfen. La parte alta è delimitata da brevi e bassi versanti e la testata del bacino risulta troncata per un fenomeno di cattura da parte dell'adiacente bacino del Rio Udai. Nel tratto terminale, invece, il Rio Dona scorre in una stretta forra rocciosa con pendenza minore.

Particolare è l'assetto statico della destra idrografica, subito a monte dell'abitato di Campestrin. In questo tratto la natura geologica del substrato, con strati a franapoggio meno inclinato del versante e con fasce di

roccia fratturata, favorisce sia fenomeni di disgregazione superficiale sia profondi con scivolamento della coltre detritica e dello stesso substrato. A testimonianza di vecchie frane al piede del versante, si osserva un accumulo detritico piuttosto consistente.

Le ricerche storiche d'archivio hanno messo in evidenza un solo episodio alluvionale documentato riferito specificamente al Rio Dona. Il 9 luglio 1989 un evento calamitoso di notevole rilevanza interessò il conoide edificato dal Rio. L'evento, fu innescato da un temporale di fortissima intensità durato poco più di un'ora che si verificò dopo un periodo prolungato di precipitazioni elevate. Queste condizioni provocarono l'innescò di una colata detritica che determinò l'esonazione del corso d'acqua e portò circa 15000 m³ di materiale alle porte dell'abitato andando ad interessare le case più periferiche poste all'apice del conoide.

Analisi idrologica

Il calcolo dell'idrogramma di piena per diversi tempi di ritorno è stato eseguito utilizzando un modello di simulazione afflussi-deflussi che utilizza le equazioni proposte dal Soil Conservation Service (SCS) (1972)

consentendo di calcolare la pioggia efficace o volume di deflusso.

Il metodo proposto dal SCS sintetizza la propensione a produrre deflusso superficiale attraverso un parametro numerico CN (numero di curva) variabile da 0 a 100, rispettivamente per condizioni di perfetta permeabilità a condizioni di impermeabilità. Un altro aspetto insito nell'applicazione del metodo del SCS è la quantificazione delle perdite iniziali. Il modello idrologico adottato quantifica le perdite iniziali pari al 10% del contenuto idrico del suolo sulla base delle numerose esperienze condotte in ambiente alpino, documentate in letteratura tecnica.

Per quanto riguarda le velocità di deflusso sono stati scelti dei valori, che riflettano il più possibile le condizioni all'interno del bacino, ipotizzando velocità diverse in relazione all'intensità dell'evento, ossia del tempo di ritorno, oltre a diverse ipotesi di umidità del terreno (AMC). Il valore di AMC pari a 5 non rientra nello schema classico di applicazione del metodo del SCS, tuttavia può ritenersi rappresentativo di una elevata imbibizione dei terreni oppure di deflusso prodotto da un evento meteorico piovoso in concomitanza allo scioglimento della neve alle quote superiori.

I risultati della applicazione del metodo sono riportati nella tabella 1.

<i>Simulazioni condotte ipotizzando un valore di AMC pari a 3</i>						
Tipo di ietogramma	Tr 50 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni	
Costante	3.096	m3/s	3.512	m3/s	3.777	m3/s
Adimensionale di Wallingford	3.361	m3/s	3.786	m3/s	4.126	m3/s
Triangolare	3.369	m3/s	3.799	m3/s	4.105	m3/s
Blocchi alterni	3.347	m3/s	3.782	m3/s	4.116	m3/s
Intensità istantanea	3.024	m3/s	3.343	m3/s	3.568	m3/s
<i>Simulazioni condotte ipotizzando un valore di AMC pari a 5</i>						
Tipo di ietogramma	Tr 50 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni	
Costante	5.396	m3/s	6.781	m3/s	7.806	m3/s
Adimensionale di Wallingford	5.747	m3/s	7.091	m3/s	8.163	m3/s
Triangolare	5.797	m3/s	7.283	m3/s	8.446	m3/s
Blocchi alterni	5.738	m3/s	7.074	m3/s	8.123	m3/s
Intensità istantanea	5.224	m3/s	6.361	m3/s	7.234	m3/s

Tab. 1 - Portata di progetto per i diversi tempi di ritorno (Tr) indagati ipotizzando un valore di AMC pari a 3 e 5.

Quantificazione del trasporto solido

Per condurre adeguatamente la verifica idraulica delle sezioni ritenute critiche è stato necessario stimare anche i potenziali volumi di materiale solido stoccati nel bacino idrografico e movimentabili in caso di particolari eventi.

In letteratura si trovano varie formulazioni per la quantificazione del materiale solido movimentabile. Esse forniscono valori spesso molto diversi fra loro e perciò forniscono solo indicazioni di massima. Per tale motivo, nell'analisi del bacino del Rio Dona si è deciso di utilizzare le formule empiriche e semi-empiriche disponibili in letteratura, adatte al territorio alpino nord-orientale, come strumento di prima indagine e di controllo per il volume calcolato con la metodologia basata su caratteri geomorfici e cioè sulla valutazione del materiale effettivamente disponibile nei vari tratti del corso d'acqua.

L'applicazione dei vari metodi e il confronto dei risultati consentono di affermare che all'interno del bacino vi sono varie frane e sorgenti potenziali di sedimento che possono arrivare a liberare, come quantitativo massimo, volumi di trasporto solido fino a 27.000 m³.

Metodo Aulitzky

L'applicazione del metodo di Aulitzky si concretizza con una serie di risposte a delle *check list* predefinite sulla base di una serie di analisi condotte a livello di bacino idrografico e/o di conoide.

Si riportano di seguito nelle tabelle 2 e 3 le *check list* di domande per la quantificazione dei due parametri.

I parametri di IP e IT così ottenuti vengono poi interpretati secondo quanto indicato nelle tabelle 4 e 5.

L'IT calcolato per il Rio Dona conferma la predisposizione del corso d'acqua all'inesco di colate detritiche e questa tendenza viene confermata anche dall'indice di Melton³.

Verifica idraulica delle sezioni

Il metodo di Aulitzky, anche se non espressamente dichiarato, richiede una sorta di verifica idraulica del canale. Tale operazione può essere condotta con dei modelli matematici unidimensionali per l'individuazione delle sezioni critiche al deflusso.

I valori di portata liquida e quelli di trasporto solido hanno consentito di definire il sedimentogramma e quindi eseguire una verifica idraulica del corso d'acqua nella parte di attraversamento del conoide.

Per la verifica idraulica è stato utilizzato il modello matematico unidimensionale per la propagazione delle colate detritiche ed eventi di trasporto iperconcentrato sviluppato presso l'Università di Padova (MODDS) (SONDA, 2001). Il modello è in grado di individuare le sezioni insufficienti al deflusso e quantificare le onde detritiche che fuoriescono dal collettore principale, distinguendo fra sponda destra e quella sinistra.

Sul Rio Dona sono stati formulati due scenari. Un primo scenario prevede che la dinamica dell'evento favorisca un funzionamento non ottimale della briglia frangicola posta all'apice del conoide del Rio Dona, mentre un secondo scenario ipotizza un buon funzionamento dell'opera. La simulazione condotta ha permesso di verificare circa 40 sezioni e di individuare quelle insufficienti in riferimento ai due scenari ipotizzati (fig. 2).

La localizzazione delle sezioni critiche, assieme alle volumetrie in uscita, distinte fra sponda destra e sinistra, ha consenti-

³ L'indice di Melton è dato dal rapporto tra la differenza della quota massima e minima del bacino e la superficie. Se messo in relazione con la pendenza dà indicazioni sull'origine di un conoide alluvionale e, di conseguenza, sul possibile fenomeno di trasporto solido a cui può essere soggetto.

Indice di pericolosità

1. Dimensione massima (in termini volumetrici) del materiale trasportato, eroso di recente e ritrovato sul conoide:	
a) 1 m ³ e oltre	4
b) da 0.2 m ³ fino a 1 m ³	3
c) da 0.01 m ³ fino a 0.2 m ³	2
d) inferiore a 0.01 m ³	1
<i>Osservazione: la dimensione massima è indice della forza di trascinamento della colata; si può anche desumere la direzione del moto, la velocità del flusso e l'intensità dell'evento.</i>	
2. Massimo spessore dello strato di sedimenti depositatosi con una singola colata, differenziabile in quanto racchiuso fra due strati di orizzonte organico o di differente struttura:	
a) 1 m e oltre	4
b) da 0.5 m fino a 1 m	3
c) da 0.1 m fino a 0.5 m	2
d) inferiore a 0.1 m	1
3. Pendenza del conoide oggetto di studio:	
a) superiore al 15%	4
b) dal 7% al 15%	3
c) dal 2% al 7%	2
d) inferiore al 2%	1
<i>Osservazione: anche la pendenza influisce sulla velocità della colata e sulla sedimentazione, in quanto la stabilità del deposito diminuisce all'aumentare della ripidità del conoide.</i>	
4. Attuale copertura vegetale predominante:	
a) vegetazione in prevalenza rustica, colonizzatrice, in consorzi a ontano, salice, tamerice, su substrato grossolano, sassoso, fino all'instaurarsi di successioni di specie anemofile (larici, pini, abeti rossi)	4
b) successioni più evolute fino a formazioni coetanee, pure o miste, di larici, betulle, pini, abeti rossi, su substrato grossolano e sassoso	3
c) prevalenza di prati e pascoli rispetto ai campi, talvolta intercalati da muretti di sassi o da terrazzamenti fatti con sassi lavorati; terreno con piccoli sassi all'interno	2
d) prevalenza di campi senza muretti o terrazzamenti; nel terreno solo pochi e piccoli sassi	1
<i>Osservazione: la valutazione condotta sulla base della copertura vegetale sarà tanto più appropriata quanto minori saranno state le alterazioni delle condizioni naturali (col lavoro meccanico, col consolidamento dei terreni, etc.). Si devono considerare anche età e accrescimento delle singole forme vegetali, come pure la loro capacità di resistenza all'inghiottimento.</i>	
5. L'andamento del terreno nelle aree del conoide si può presentare, a causa dell'erosione:	
a) la parte sommitale del conoide, la dorsale dello stesso, presentano una solcatura prodotta dall'erosione di grossi massi, che classifica queste aree fra quelle più colpite, o con possibilità di esserlo, da una colata concentrata e compatta ad alta velocità	4
b) sono presenti poche forme di deposito circoscritte, che sono state disseminate dalla dilagante colata o sono state sommerse dall'ulteriore dilagare della colata stessa	3
c) superfici chiaramente sopraelevate, pensili rispetto al letto del torrente, che potrebbero essere investite dalla colata solo in caso di una progressiva ostruzione dell'alveo	2
d) superfici fortemente sopraelevate rispetto al letto del torrente, profondamente incassato, che non possono più essere raggiunte dal torrente; i punti di collegamento fra le due sponde possono ancora essere portati via	1

Tab. 2 - Indice di pericolosità.

Indice tipologico

6. Condizioni di deflusso nell'area del conoide:

a) contraddistinte dalla presenza di manufatti posti a lato o sopra la superficie in esame (ponti, attraversamenti con sezione trasversale troppo piccola, strettoie, opere di copertura del torrente, argini, sbancamenti, ...), che impediscono fortemente il deflusso, o altri ostacoli al deflusso, a monte, a lato, a valle della zona in esame (tratti piani a pendenza inferiore al 3%, curve strette, insufficiente capacità di deflusso nel collettore principale), che in presenza di più forte conduzione di materiale trascinato dall'acqua possono provocare tracimazioni	4
b) contraddistinte da analoghe condizioni, in cui, tuttavia, solo legname trascinato o materiale di deposito grossolano provocherebbero tracimazioni	3
c) contraddistinte dalla mancanza di opere che ostacolano o facilitino il deflusso, in presenza di un alveo abbastanza profondo e non troppo piano e di una sufficiente capacità di deflusso	2
d) contraddistinte dalla presenza di opere facilitanti il deflusso lungo il corso inferiore, in grado di contenere anche le portate di piena prevedibili	1

7. Da cronache ecclesiastiche, comunali, dal catasto, ecc. si riscontra l'accadimento di catastrofi provocate da colate o da fenomeni di piena che:

a) hanno causato gravi distruzioni e danni a persone nel vecchio nucleo insediativo (posto in zone periferiche del torrente), oppure hanno provocato gravi disastri, sicuramente documentabili in queste zone periferiche del conoide, a quel tempo non abitate	4
b) hanno provocato solo danni materiali senza distruzioni di cose all'interno del vecchio nucleo abitato	3
c) hanno causato distruzioni nella parte dove gli insediamenti sono più recenti, in prossimità del torrente	2
d) hanno causato solo danni materiali in alcuni punti della parte dove gli insediamenti sono più recenti, in prossimità del torrente	1

Osservazione: le parti vecchie degli insediamenti sono state normalmente poste in posizioni molto sicure, sia per istinto, sia in considerazione della tradizione, e solo di rado si giunge alla loro distruzione, a meno che non si tratti di vecchie segherie o mulini, per necessità costruiti vicino al torrente.

8. L'attendibile quantità massima giornaliera di precipitazione ammonta a (considerando l'altezza media dell'intero bacino e una lunga serie di anni):

a) più di 200 mm (per esempio nei versanti nord, sud-est, sud delle Alpi) oppure superiore a 2 mm/minuto per la durata di almeno un'ora	4
b) fra 150 mm e 200 mm oppure fra 1.5 e 2.0 mm/minuto per la durata di un'ora	3
c) fra 100 mm e 150 mm oppure fra 1.0 e 1.5 mm/minuto per la durata di un'ora	2
d) meno di 100 mm oppure meno di 1.0 mm/minuto per la durata di un'ora	1

Osservazione: poiché la capacità di trattenimento dell'acqua da parte della copertura vegetale e degli strati superficiali del suolo dovrebbe esaurirsi, nella maggior parte dei casi, con precipitazioni giornaliere di 200 mm, non si sono presi in considerazione valori maggiori delle stesse.

9. Posizione e potenziale quantità di materiale asportabile dalle aree sorgenti all'interno del bacino:

a) grandi aree sorgenti si estendono fino in prossimità del conoide, o grandi quantità di materiale detritico possono essere trasportate nel torrente, non solo nella parte alta della valle, ma anche più in basso, lungo o immediatamente a monte di un ripido tratto di torrente (pendenza superiore al 20%), con sezione trasversale triangolare suscettibile di ostruzione; oppure volume stimato dei detriti superiore o uguale a 100.000 m ³	4
b) le sorgenti di detriti più prossime alla valle si trovano solo a monte del medio corso che, anche se ripido, non è comunque troppo stretto e quindi non è suscettibile di ostruzione; oppure volume stimato dei detriti compreso tra 10.000 m ³ e 100.000 m ³	3

c) le sorgenti di detriti più prossime alla valle si trovano solo a monte del medio corso, che si presenta pianeggiante, e che può servire da deposito definitivo o provvisorio, senza pericolo di ostruzione; oppure volume stimato dei detriti compreso tra 1.000 m ³ e 10.000 m ³	2
d) le sorgenti di detriti più prossime alla valle sono separate dal conoide da un efficiente tratto piano; oppure volume stimato dei detriti inferiore a 1.000 m ³	1
10. Ruolo della vegetazione e dei tronchi all'interno della colata:	
a) nel caso di una catastrofe possono essere convogliati nella colata interi tratti di boschi maturi, posti nella zona potenzialmente soggetta ad erosione di sponda o sul percorso di smottamento del terreno (frane, scoppi di versante, ...)	4
b) nel caso di una catastrofe possono essere convogliate nella colata solamente alcune, singole piante mature, poste nella zona potenzialmente soggetta a erosione di sponda o smottamenti	3
c) nel caso di una catastrofe possono essere convogliati nella colata solo pezzi di ceppaie o tronchi di lunghezza limitata	2
d) nel caso di una catastrofe possono essere convogliati nella colata solo tronchi sottili con diametro inferiore a 12 cm	1
11. Capacità di assorbimento dell'acqua ed erodibilità delle rocce e del terreno:	
a) roccia compatta, non dislocata, quali strati orizzontali di argilloscisti e marne senza copertura; oppure argilla, miscugli di argilla, sabbia e ciottoli con prevalenza di materiale minuto, morene	4
b) rocce compatte, fortemente erose o con scarsa copertura, strati di argilloscisti e marna molto inclinati; oppure con sabbie argillose e limose	3
c) rocce fessurate oppure sabbia contenente ghiaia, o una certa quantità di ciottoli, ma priva di argilla e limo; moderatamente permeabili	2
d) rocce fortemente fessurate e dislocate, rocce con sacche di infiltrazione (rocce carsiche); oppure brecce e ghiaioni senza componenti fini, con detritici recenti molto o moltissimo permeabili	1

Tab. 3 - Indice tipologico del torrente.

Indice di pericolosità	Livello di pericolosità
$IP \geq 2,6$	alto
$1,6 \leq IP < 2,6$	medio
$IP < 1,6$	basso

Tab. 4 - Classificazione del pericolo sulla base dell'indice di pericolosità.

Indice tipologico	Tipologia di trasporto
$IT \geq 3$	<i>Debris flow</i> (colate di detrito)
$2,7 \leq IT < 3$	<i>Debris flood</i> (colate iperconcentrate)
$1,9 \leq IT < 2,7$	<i>Bedload</i> (Trasporto solido di fondo)
$IT < 1,9$	<i>Flood creek</i> (trasporto fine)

Tab. 5 - Classificazione del trasporto solido sulla base dell'indice tipologico.

to di evidenziare le aree potenzialmente interessate dall'erosione. Questo è avvenuto dopo che sono state individuate le direttrici di deflusso sulla base del rilievo topografico di dettaglio e della conseguente verifica sul campo. Lungo queste linee preferenziali di deflusso sono state applicate delle formule empiriche sulle distanze di arresto del sedimento che hanno permesso di mappare l'area coinvolta dal fenomeno.

Le informazioni così dedotte sono state utilizzate per verificare e correggere i risultati ottenuti con l'applicazione "alla lettera" del metodo di Aulitzky. (fig. 2)

La mappa sull'indice di pericolosità, ottenuto con il metodo di Aulitzky, combinata con la mappa delle direttrici di deflusso e distanze di arresto ha condotto alla definizione della mappa finale del pericolo. In particolare sono state evidenziate una prima zona ad elevato pericolo nella parte del Rio che attraversa il conoide in zona abitata e una seconda nell'area di confluenza con il torrente Avisio (fig. 3).

Applicazione del modello bidimensionale di simulazione FLO - 2D

Il modello FLO-2D è stato messo a punto a partire dal 1988 da O'Brien. Esso permette di simulare, in moto vario, la propagazione e la deposizione dell'idrogramma liquido e solido. Il modello fa muovere la corrente attraverso una serie di maglie ed utilizza anche delle sezioni per il flusso incanalato. La propagazione dell'ondata di piena lungo il tratto interessato è controllata dalla topografia e dalla scabrezza o resistenza al flusso. Il percorso della corrente nelle due dimensioni viene ottenuto con l'uso dell'integrazione numerica delle equazioni del moto e della conservazione del volume sia per un'ondata liquida sia per una corrente carica di sedimenti.

Il modello per effettuare le simulazioni, ha bisogno di un modello digitale del terreno (DTM) piuttosto accurato ottenuto, nel caso del Rio Dona, tramite un rilievo topografico di dettaglio.

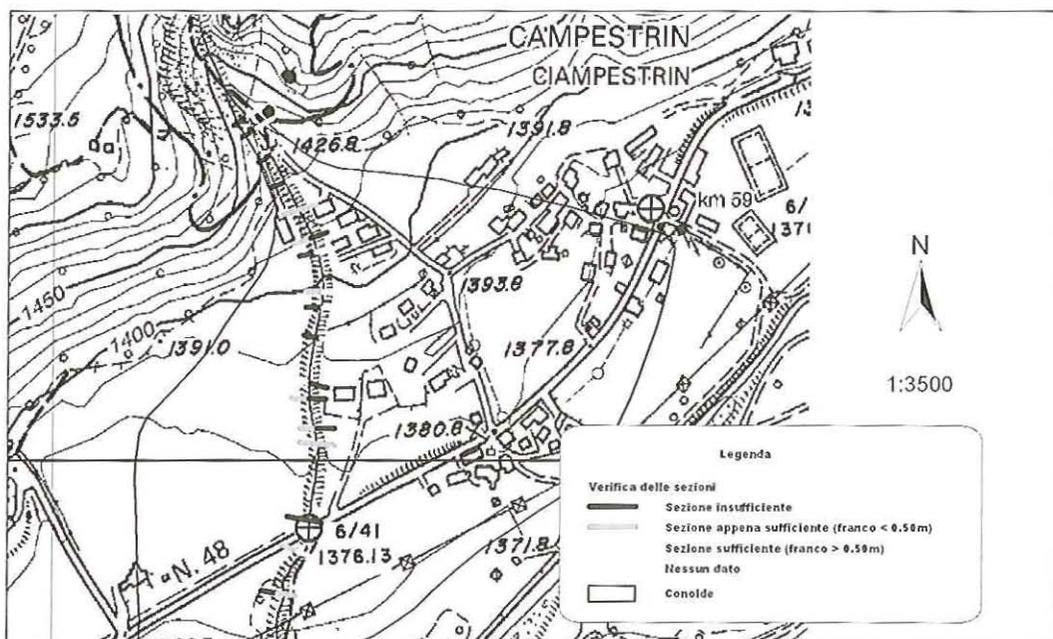


Fig. 2 - Alcuni risultati della verifica idraulica condotta sul Rio Dona.

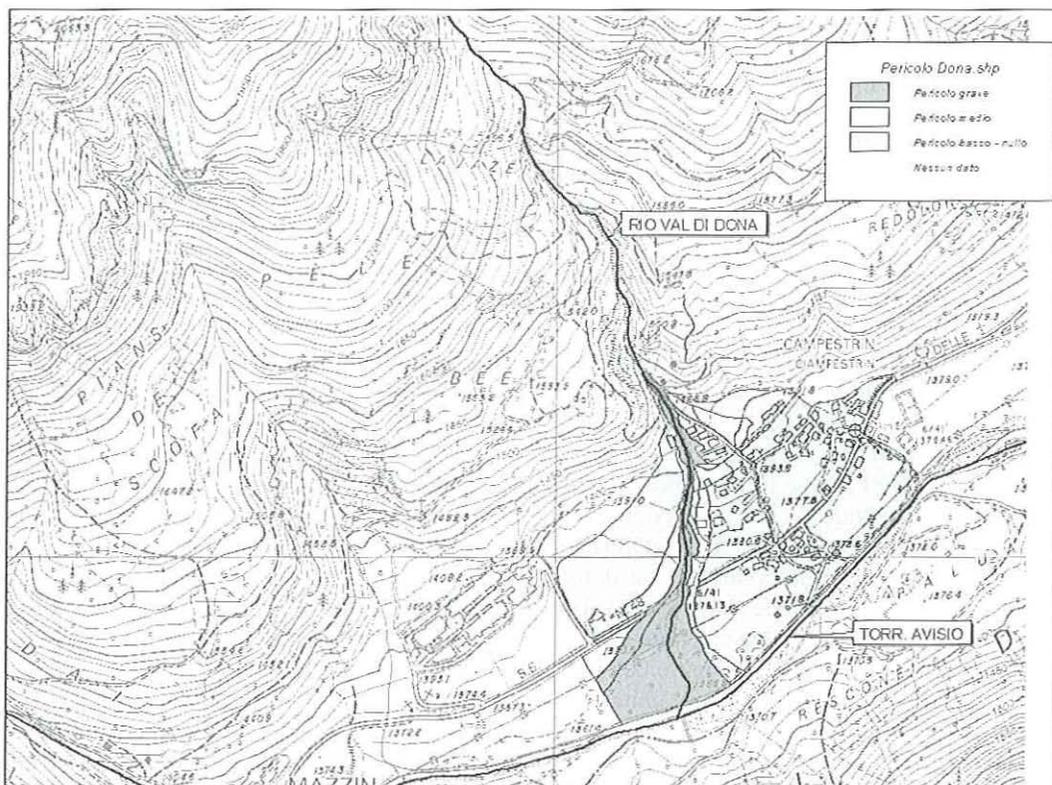


Fig. 3 - Mappatura delle aree di pericolo ottenuta con l'applicazione della metodologia Aulitzky.

Nello specifico la fase preliminare è consistita nell'effettuare un rilievo topografico di dettaglio del conoide. Infatti, per tutto il territorio del conoide esisteva, oltre alla Carta Tecnica Provinciale 1:10.000, anche una cartografia in scala 1:2.000 che, però, oltre a non essere sufficientemente dettagliata allo scopo (per le scarse informazioni altimetriche), non era neanche aggiornata e non riportava la dislocazione delle costruzioni più recenti.

Quindi, dopo una iniziale fase di studio dell'area, sono state adottate due tecniche di misurazione: nelle zone aperte è stato adottato il GPS a doppia frequenza, nel centro abitato la stazione totale. La superficie rilevata è stata di circa 21 ettari ed ha richiesto il rilevamento di circa 3000 punti. Da questo rilievo si sono ottenute curve di livello con equidistanza di 0.5 m e un accurato DEM (modello digitale delle quote) con maglie di 5 x 5 m.

Una volta ottenuto il DEM di input sono state condotte una serie di simulazioni modificando i vari parametri e ipotizzando vari scenari di pericolo. In particolare si sono fatte due ipotesi rispettivamente rappresentate da onda laminata dalla briglia e con ponte non occluso e da onda non laminata dalla briglia e con ponte occluso.

Per questi due scenari d'evento è stata perfezionata la descrizione topografica ed idraulica del conoide assegnando valori di scabrezza di Manning differenziati e si sono descritte tutte le strade. Inoltre si sono rese non attraversabili dal flusso le celle del conoide sulle quali erano presenti fabbricati.

Le simulazioni forniscono i valori delle altezze di deposito (h) e delle velocità (V) che, combinate secondo i due criteri di Rickenmann (2001) e di Buwal (1997) (tab. 6), consentono di giungere alla zonazione del pericolo.

Critério	Intensità bassa	Intensità media	Intensità alta
Buwal (1997) ¹	Nessun flusso	$h < 1 \text{ m}$ oppure $V < 1 \text{ m/s}$	$h > 1 \text{ m}$ e (oppure ²) $V > 1 \text{ m/s}$
Rickenmann (2001) ¹	$h < 0.5 \text{ m}$ e $V < 0.5 \text{ m/s}$	$h < 1.5 \text{ m}$ e $0.5 \text{ m/s} \leq V \leq 1.5 \text{ m/s}$	$h > 1.5 \text{ m}$ oppure $V > 1.5 \text{ m/s}$
Petrascheck e Kienholz (2003)	Pericolo basso	Pericolo moderato	Pericolo alto

¹ da applicarsi in alternativa

² modifica adottata nell'applicazione al Rio Dona dalla Provincia Autonoma di Trento

Classificazione delle zone di pericolo da *debris flow*
Intensità del fenomeno combinata con la probabilità di accadimento dell'evento: tempo di ritorno compreso fra 100 e 300 anni

Tab. 6 - Classificazione dell'intensità del fenomeno di *debris flow*.

Rickenmann esclude dalla pericolosità (aree bianche) le zone che non sono interessate dal flusso. Le aree bianche che compaiono invece nella mappatura condotta con il criterio di Buwal sono invece zone che, per il solo fatto di appartenere ad un conoide da colata anche se non sono interessate dal flusso, denunciano una situazione di bassa pericolosità.

L'applicazione di questi criteri di interpretazione e la combinazione delle simulazioni riferita all'ipotesi meno pessimistica (Onda laminata e ponte non occluso) viene riportata in figura 4.

Se infine si confrontano questi risultati con la mappatura condotta con Aulitzky si desume un sostanziale accordo fra le due carte ottenute dai diversi criteri di interpretazione anche se il criterio di Buwal evidenzia una zona di maggior pericolo sulla parte bassa del conoide a destra. I risultati ottenuti evidenziano che le aree potenzialmente interessate da una colata detritica in parte ricalcano le zone già colpite nell'evento del 1989. Questo non significa che le opere presenti siano inefficienti, ma piuttosto che il tipo di fenomeno e l'intensità non possono essere governati appieno nel poco spazio lasciato libero dall'edificazione.

Interventi di mitigazione del pericolo

Nel corso dello studio sono state fatte anche varie considerazioni sulle azioni da intraprendere per la messa in sicurezza del territorio. Per quanto attiene il trasporto solido, si può affermare che l'area a monte della briglia frangicolata, che si trova all'apice del conoide, non è in grado di trattenere il materiale effettivamente movimentabile. Per cui sono necessari interventi sia nel bacino idrografico, sia nel conoide. Nel bacino è necessario intervenire consolidando le zone in erosione che per questo sono sorgenti di sedimento. Inoltre va effettuata una costante pulizia della vegetazione che potrebbe cadere in alveo ostruendo il corso d'acqua.

Per quanto riguarda le iniziative da prendere sul conoide, innanzitutto va rafforzato e prolungato il terrapieno già presente sulla sinistra idrografica a protezione delle abitazioni. Esso, inoltre, allo stato attuale presenta un'interruzione che dovrebbe essere eliminata. Va inoltre effettuata la manutenzione del cunettone in massi a secco già presente verificandone la solidità ed effettuando una costante pulizia dalla vegetazione arbustiva presente, che potrebbe produrre effetti di rigurgito sulla corrente.

Figura 4

Applicazione di FLO-2D al conoide del Rio Dona nell'ipotesi di onda laminata e ponte non occluso: confronto della mappatura del pericolo ottenuta con il criterio di intensità di Rickenmann (2001) con quella ottenuta con il criterio del BUWAL (1997).

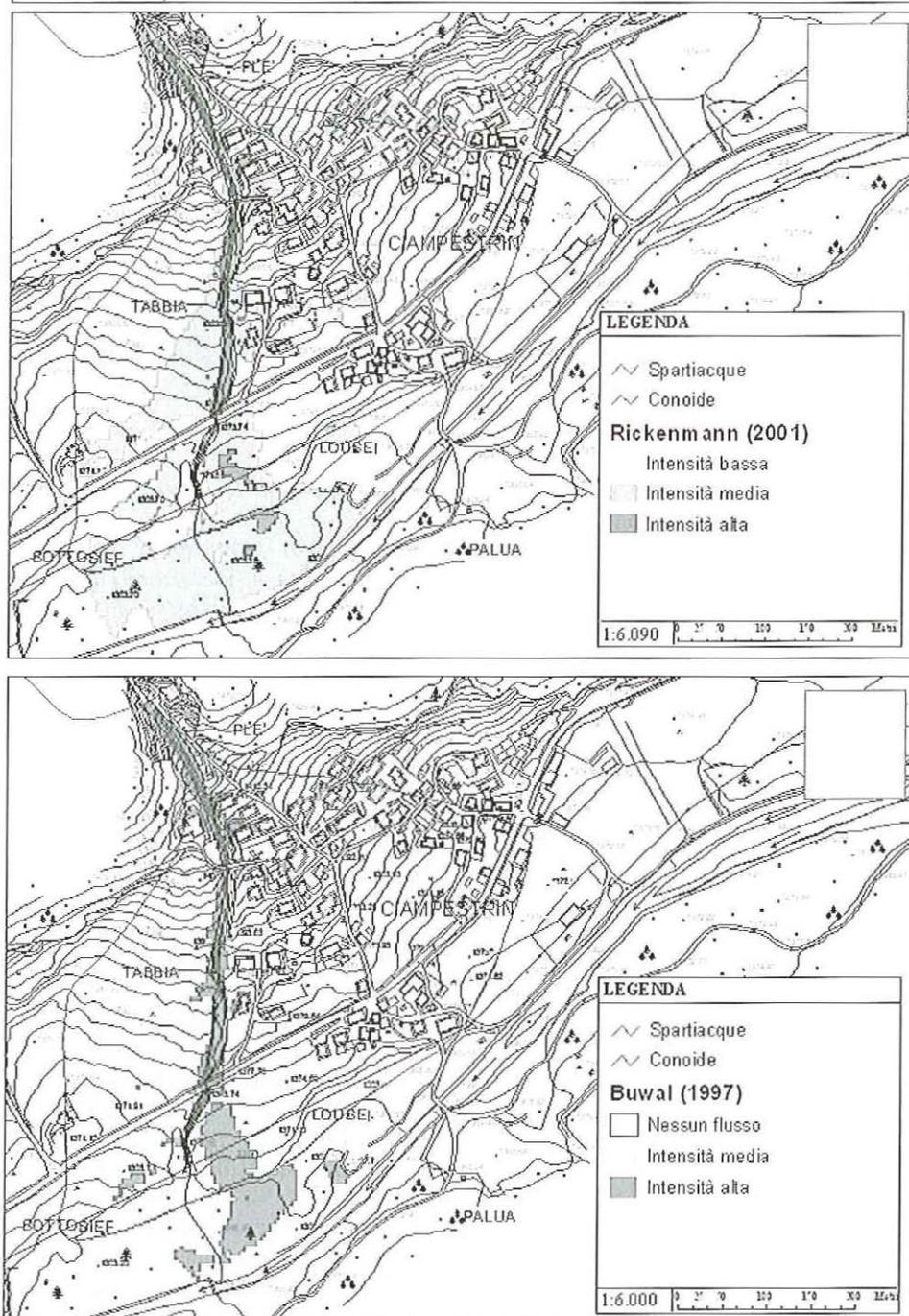


Fig. 4 - Applicazione di FLO-2D al conoide del Rio Dona.

Da ultimo dovrebbe essere rifatto l'attraversamento sulla strada statale che costeggia il torrente Avisio nella parte bassa del conoide e che allo stato attuale non è sufficientemente dimensionato.

Tuttavia, anche se tali lavori vengono realizzati, permarrà un certo grado di pericolo sul conoide del Rio Dona in quanto il fenomeno, proprio per l'elevato grado di urbanizzazione dell'area, non può essere governato in modo pieno. Si sottolinea quindi la fondamentale importanza di una corretta e accurata pianificazione del territorio soprattutto in aree vocate naturalmente all'espansione di colate detritiche o fenomeni alluvionali in genere. Ciò al fine di consentire la naturale evoluzione di tali eventi senza mettere in pericolo l'incolumità di persone o cose.

Conclusioni e considerazioni

Come si può vedere dal confronto delle figure 3 e 4, l'applicazione dei due metodi ha condotto a risultati abbastanza concordi, vi sono però alcune considerazioni da sottolineare sulle caratteristiche applicative di questi strumenti di pianificazione territoriale.

Il metodo Aulitzky può essere considerato uno strumento preliminare. Esso prevede non solo l'analisi sul campo delle morfologie presenti, ma anche la raccolta di informazioni sulla pluviometria del luogo e sulle opere eventualmente presenti che possano interagire con il deflusso delle acque. Non meno importante è, inoltre, un'accurata ricerca storica di notizie relative ad eventi passati.

Il metodo presenta degli indubbi vantaggi ma anche dei notevoli limiti. Infatti, non richiede né strumentazioni né competenze professionali particolari che non siano già parte del bagaglio di conoscenze di tecnici che operano sul territorio ma presenta come limite principale il fatto che, essendo stato ideato per i conoidi non urbanizzati, la sua applicazione sulle zone alpine urbanizzate

non è sempre facile in quanto spesso non è possibile rispondere alle domande delle *check list*, ciò a causa delle alterazioni di origine antropica.

Il metodo di Aulitzky comunque fornisce risultati attendibili e sicuramente paragonabili a ciò che si può ottenere con metodologie più sofisticate qualora vengano effettuati degli attenti rilievi sul campo e un'approfondita indagine storica che interessi sia gli archivi locali per l'analisi degli eventi più remoti, sia la gente del luogo per le informazioni su quelli più recenti. Non è poi da sottovalutare l'applicazione di modelli monodimensionale in grado di fornire indicazioni sulle sezioni critiche al deflusso.

È, inoltre, di fondamentale importanza l'esperienza professionale specifica del tecnico che deve individuare e interpretare correttamente i "testimoni muti" su cui si basa la corretta applicazione del metodo.

I modelli di simulazione numerici, quali FLO-2D tentano di simulare nel modo più realistico possibile il comportamento di un evento di piena e, nel caso specifico di applicazione, di una colata detritica.

A differenza dei metodi storico-geomorfologici, consentono di ipotizzare una serie di scenari in cui modificare i parametri reologici e idrologici, che possono aumentare progressivamente il livello di dettaglio della simulazione. Inoltre i modelli possono tenere conto nelle simulazioni della presenza di manufatti quali strade, edifici o altro che possono influenzare l'andamento di un'eventuale colata detritica.

La variabilità dei risultati che si ottengono modificando i parametri però è molto elevata, di conseguenza è necessario avere conoscenze approfondite sulla funzionalità dei modelli e sul comportamento reologico dei materiali per ottenere risultati attendibili e, comunque, essere a conoscenza di un evento storico ben documentato che consenta di effettuare un'adeguata taratura dei modelli e di condurre, conseguentemente, simulazioni corrette. Il modello, inoltre, per fornire risultati sufficientemente precisi, richiede dati topografici di partenza piuttosto

accurati che, oltre a determinare tempi computazionali piuttosto lunghi, non sono sempre facilmente disponibili.

dott.ssa Maria Fulvia Zonta

Provincia Autonoma di Trento
Servizio Parchi e Conservazione della Natura
e-mail: mariafulvia.zonta@provincia.tn.it

dott. Diego Sonda

Studio Tecnico forestale
Via Lanzarini, 55
36060 Romano d'Ezzelino (Vicenza)
e-mail: diego.sonda@libero.it

BIBLIOGRAFIA

- AULITZKY H., 1973 - *Vorläufige Wildbach-Gefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel*. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, Band IV, Teil 2: 81-113.
- AULITZKY H., 1982 - *Preliminary two-fold classification of torrents*. Mitteil. der Forst. Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 144: 243-256.
- BORGA M., DALLA FONTANA G., 2000 - *Analisi di frequenza dei massimi annuali di precipitazione e derivazione delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica*. Rapporto interno, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova, pp. 26.
- CAZORZI F., 1996 - *Watershed Oriented Digital Terrain Model. Manuale per l'utente, versione Win 95*. Laboratorio IDEA (Idrologia Difesa del Suolo Ecologia e Ambiente) Agripolis, Università di Padova. Rapporto interno, pp. 80.
- D'AGOSTINO V., 1996 - *Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del Trentino Orientale*. A.I.I.A., Associazione Idrotecnica Italiana. Scritti dedicati a Giovanni Tournon, Convegno di Studio "I problemi dei grandi comprensori irrigui: esercizio, manutenzione e ammodernamento delle reti di irrigazione". Novara 6-7 Giu., 1996, 111-123.
- D'AGOSTINO V., MARCHI L., 2001 - *Debris flow magnitude in Eastern Italian Alps: data collection and analysis*. Phys. Chem. Earth, vol. 26, 9: 657-663.
- DALLA FONTANA G., CAZORZI F., 1999 - *Analisi territoriale e idrologica - calcolo dell'idrogramma di progetto per definite sezioni di chiusura*. Laboratorio IDEA (Idrologia Difesa del Suolo Ecologia e Ambiente) Agripolis, Università di Padova.
- HUNGR O., MORGAN C., KELLERHALS R., 1984 - *Quantitative analysis of debris torrents hazards for design of remedial measures*. Canadian Geotechnical Journal, vol. 21: 663-677.
- KRONFELLNER-KRAUS G., 1985 - *Quantitative estimation of torrent erosion*. International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan, 107-110.
- MIZUYAMA T., KOBASHY S., OU G., 1992 - *Prediction of debris flow peak discharge*. Interpraevent International Symposium, Berna, Svizzera, 4: 177-182.
- SCHEURINGER E., 1988 - *Ermittlung der massgeblichen Geschiebefracht aus Wildbach-Oberläufen*, Wildbach und Lawinenverbau, 109: 87-95.
- SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972 - *National Engineering Handbook, section 4*. Hydrology, Washington, D.C.
- SONDA D., 2001 - *Valutazione della pericolosità idrogeologica sui conoidi alpini*. Tesi di dottorato, Università di Padova.
- SONDA D., 2003 - *Individuazione e studio delle aree a rischio di alluvionamento. Rio Dona o Ruf de Dona (Comune di Mazzin di Fassa)*. Relazione interna.
- TAKEI A., 1984 - *Interdependence of sediment budget between individual torrents and a river system*. International Symposium 1984, Villach, Austria, 2: 35-48.
- VENZO G.A., 1960-61 - *Fenomeni franosi nel Trentino*. Mem. Mus. Storia Naturale Ven. Trentina. Trento.

Riassunto

Dal 2002 la Provincia Autonoma di Trento attualmente rappresentata dal Servizio Geologico, aderisce ad un progetto europeo Interreg IIB denominato "Catch Risk" il cui obiettivo principale è quello di creare un approccio condiviso per la definizione degli scenari di rischio idrogeologico nei bacini idrografici alpini e sui conoidi alluvionali di fondovalle. L'attenzione è stata focalizzata fin dall'inizio sull'analisi del pericolo che può interessare i conoidi di fondovalle urbanizzati fin dall'antichità, siti privilegiati per l'insediamento e lo sviluppo dei centri urbani. Lo scopo dell'iniziativa, perciò, era quello di determinare uno strumento utile alla pianificazione territoriale e alla messa in sicurezza del territorio.

In questo contesto l'approccio è stato quello di utilizzare un metodo di tipo geomorfologico già applicato e conosciuto per la mappatura delle aree di pericolo e di sperimentare l'utilizzo di una metodologia basata su tecnologie innovative (modelli di simulazione delle colate detritiche) confrontandone i risultati e le modalità applicative. Per condurre lo studio sono state individuate varie aree campione tra cui il conoide di deiezione del Rio Dona interessato nel 1989 da un evento calamitoso di rilevante entità.