



Il dissesto idrogeologico della montagna friulana

I recenti eventi alluvionali di giugno hanno riproposto in maniera drammatica il problema del precario assetto idrogeologico della montagna friulana. In seguito alle intense precipitazioni, gran parte degli affluenti del fiume Fella è stata nuovamente sede di cospicui fenomeni di trasporto di massa, che hanno prodotto ingenti danni ad abitati e infrastrutture sconvolgendo il fragile reticolo idrografico del bacino.

L'analisi storica dei fenomeni accaduti in questo secolo indica che eventi di questo tipo sono mediamente caratterizzati da tempi di ritorno minori di dieci anni e, pertanto, non devono ritenersi affatto eccezionali.

Alla luce di ciò, appare, oggi più che mai, irrimandabile e irrinunciabile la definizione di un concreto programma di ricerca sull'argomento, affinché non si debba, come ogni volta accade, invocare la sempre comoda scusa della fatalità.

Il trasporto solido di massa del Vegliato

In questa memoria gli autori riportano i risultati di uno studio relativo al trasporto di massa del torrente Vegliato, con particolare riferimento all'evoluzione storica del torrente e alla stima quantitativa delle grandezze necessarie a progettare interventi di sistemazione. È stata quantificata la portata di picco della colata detritica avvenuta il 9 giugno 1987, risultata ben dieci volte superiore alla portata di piena bicentenaria valutabile con la formula razionale. Essa dà la misura dell'enorme sottostima del fenomeno e della sua pericolosità, come tragicamente ha dimostrato la recente alluvione.

Alessandro Cocco
Federico Sgobino

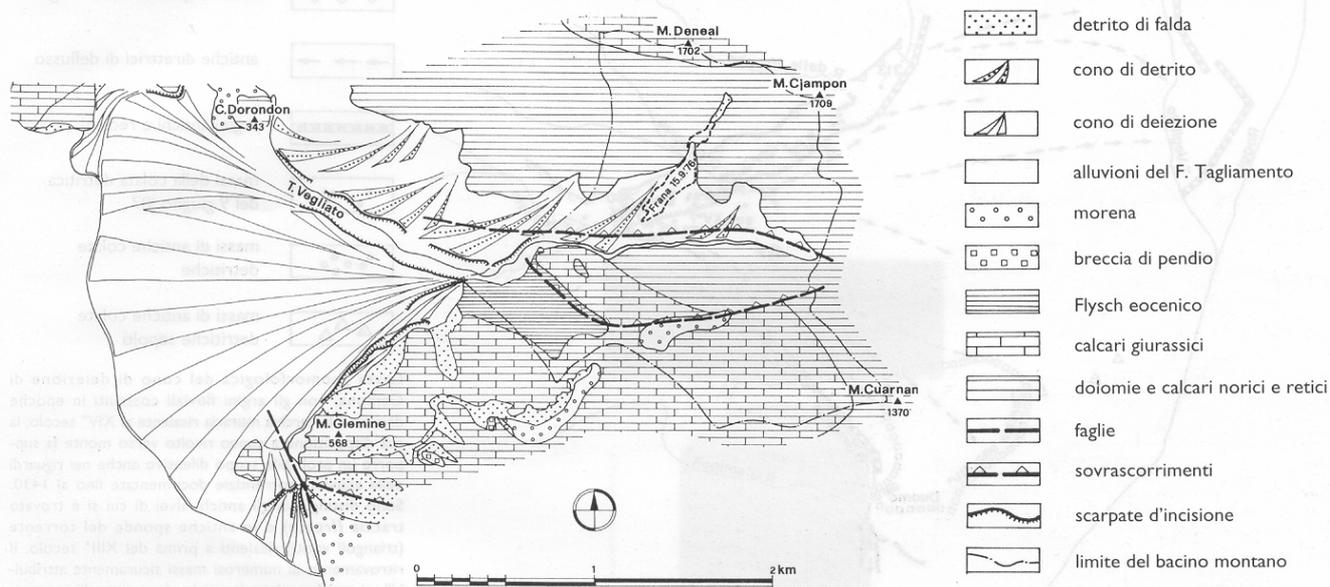
I corsi d'acqua montani del Friuli-Venezia Giulia sono spesso sede di fenomeni di trasporto solido di massa denominati lave torrentizie o colate detritiche. Questi fenomeni, che esal-

tano la torrenzialità dei bacini verso le forme più catastrofiche, sono presenti sia come mud flow (colata di fango) sia come debris flow (colata di detriti). Tra le cause predisponenti assumono fondamentale importanza, nella nostra regione, sia l'elevata sismicità del territorio, tale da produrre cospicui franamenti, sia l'alta ero-

dibilità dei bacini idrografici, spesso costituiti da rocce argillitiche o siltitiche, gessi, ammassi morenici o detritici. Tra le cause scatenanti va soprat-

dott. ing. Alessandro Cocco - Libero professionista in Gemona del Friuli (UD)

dott. geol. Federico Sgobino - Comunità Montana del Gemonese - Gemona del Friuli (UD)



Carta geologica schematica del bacino imbrifero del torrente Vegliato. Si noti la vasta diffusione dei depositi detritici e le notevoli dimensioni della frana risalente al 15 settembre 1976, da cui ha preso origine la colata detritica del 9 giugno 1987. Accumulo della frana risalente al 15 settembre 1976, profondamente inciso dal trasporto di massa del torrente. In evidenza lo svuotamento subito dal canale, precedentemente ricoperto da quasi 15 m di detrito.

tutto ricordata la frequenza di eventi pluviometrici particolarmente intensi e di breve durata, tali da saturare gran parte dei materiali sciolti presenti nelle aste torrentizie e negli accumuli di versante. Si deve purtroppo osservare che, a fronte di un'imponente diffusione di questi fenomeni altamente distruttivi, manca nella nostra regione una concreta campagna di ricerca scientifica sull'argomento, tale da fornire gli indispensabili criteri di dimensionamento delle opportune opere di sistemazione. Conseguentemente, la progettazione degli interventi è spesso affrontata secondo un approccio quasi esclusivamente idraulico, che prescinde dalla valutazione delle azioni dinamiche e impulsive della colata e dei massi ciclopici in essa trasportati e sovente porta a scelte progettuali del tutto inadeguate (ponti di luce insufficiente, ali di briglie non protette da scogliere). In ambito regionale il problema è stato posto per la prima volta all'attenzione della comunità scientifica da Fattorelli, ed è stato successivamente ripreso da Querini. Dal punto di vista della pratica ingegneristica sono molto importanti le esperienze dei gruppi di studio canadese, ma è anche opportuno segnalare il lavoro di Arattano, in quanto sviluppato sulla base dei debris flows accaduti nel torrente Moscardo (Paluzza) il 10 e 25 luglio 1989. Il presente lavoro analizza il debris flow abbattutosi il 9 giugno 1987 sul torrente Vegliato (Gemona del Friuli). Di seguito vengono brevemente ricordate le caratteristiche generali dei debris

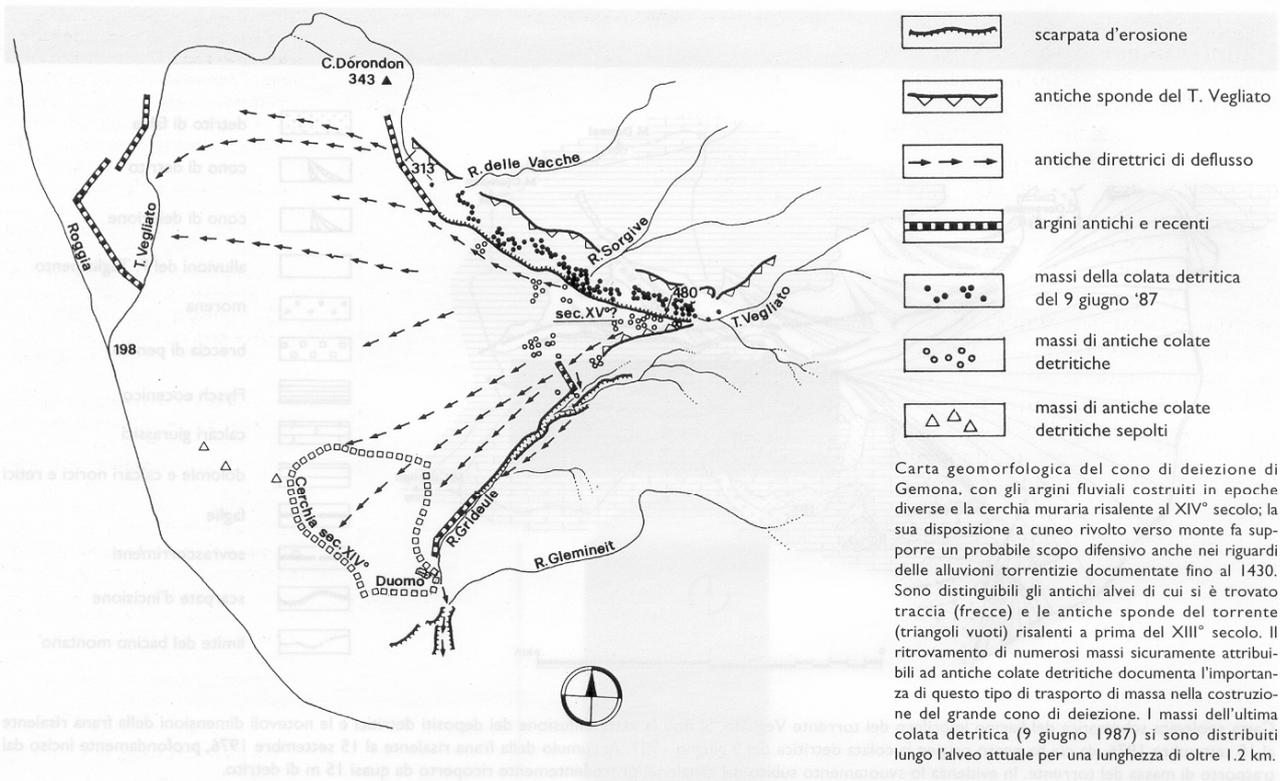
flows, vengono illustrate alcune considerazioni sull'evoluzione morfologica del torrente Vegliato e riportati i risultati dell'analisi a posteriori dell'evento in esame.

Le caratteristiche generali dei "debris flows"

Il termine debris flow (debris torrent nel caso di flusso in un alveo preesistente ben inciso) viene utilizzato per indicare un movimento in massa costituito da una parte liquida, formata da acqua o fango, e da una frazione solida di granulometria variabile dalle sabbie ai blocchi nonché una eventuale parte organica rappresentata, ad es., da tronchi d'albero. L'innesco del fenomeno è possibile in seguito a un apporto consistente di acqua (piogge intense) tale da produrre una parziale o completa saturazione degli ammassi sciolti. Spesso il processo viene accelerato da occasionali frane di crollo, le quali possono produrre una drastica diminuzione della pressione effettiva di confinamento e favorire così la mobilitazione della massa fluidificata (è probabilmente questo il meccanismo di innesco del debris flow sviluppatosi nel torrente Vegliato). Una volta che il processo si è innescato ha inizio la fase di corsa, in cui si possono verificare arature o depositi, a seconda del valore assunto da alcuni parametri quali la pendenza dell'alveo, l'angolo di attrito interno del materiale trasportato e la concentrazione del materiale

solido. Il movimento della colata si conclude con la fase di deposito e successivo arresto, che normalmente coincide con il raggiungimento di un'area ampia, caratterizzata da bassi valori della pendenza e alta permeabilità. Durante tale fase il fronte della colata gradualmente decelera e inizia a depositare il materiale, per poi arrestarsi in uno spazio denominato runout distance. L'analisi dei profili di deposito dei debris flows permette di identificare chiaramente la presenza di un "muso" della colata, caratterizzato da grossi massi (bouldery front), seguito da una parte a granulometria via via più fine: il meccanismo d'accumulo di tali massi sul fronte del debris flow è strettamente legato al fenomeno di "deposizione inversa" che si verifica durante il moto, diffusamente studiato da Takahashi.

Dal punto di vista ingegneristico, le grandezze caratteristiche di un debris flow da ricercare attraverso analisi a posteriori sono la velocità del fronte d'onda, il volume globale mobilizzato nel corso di un singolo evento (magnetude) e la portata di picco (peak discharge), che si manifesta immediatamente dopo il passaggio del fronte d'onda e persiste per un lasso di tempo difficilmente superiore al minuto. Le analisi a posteriori compiute in Canada nei primi anni ottanta, relative ai debris flows della Cordigliera Occidentale (Columbia Britannica), hanno suggerito diverse relazioni tra tali grandezze. In particolare, l'ipotesi generalmente accettata che il regime di flusso in prossimità del picco sia laminare, ha permesso di



sviluppare alcune relazioni teorico-sperimentali che legano tra loro la velocità e l'altezza del fronte in funzione del particolare modello reologico assunto (fluido newtoniano, di Bingham, dilatante di Bagnold). Sovente, come nel caso in esame, è invece possibile stimare la velocità del flusso analizzando le tracce lasciate dalla soprelevazione del pelo libero che si verifica nei tratti d'alveo in curva (bend superlevation).

Dati caratteristici sui debris flows dei torrenti montani del Friuli, basati su osservazioni non strumentali, sono stati raccolti da Querini. Gli studi canadesi riportano valori di velocità di 3-12 m/s, di volume globale mobilizzato generalmente minore di 60.000 m³ (max 500.000 m³), di portata di picco non superiore a 600 m³/s, di angolo di inizio deposito compreso nell'intervallo 8-14°. Per quanto riguarda la pressione dinamica esercitata su ostacoli incontrati durante il movimento Lichtenhahn ha osservato valori pari a 7-10 volte la spinta idrostatica, mentre alcuni studiosi giapponesi nel 1977 hanno misurato valori di pressione fino a 400 N/cm².

L'evoluzione morfologica del corso d'acqua

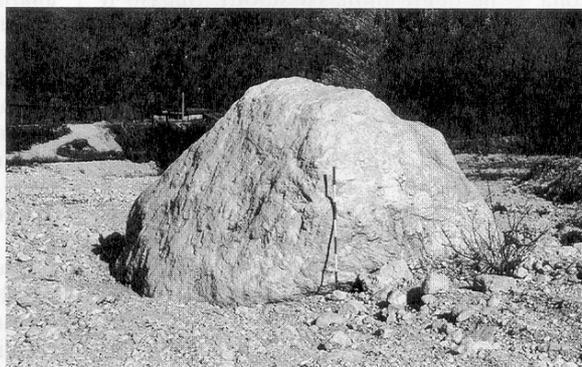
Il torrente Vegliato scende dalle prime pendici prealpine, alle spalle dell'abitato di

Gemona, per confluire poi nel fiume Ledra. Il suo bacino è compreso fra le dorsali del M. Cjampon (1709 m) e del M. Cuarnan (1372 m) che si aprono a ventaglio sul Campo di Osoppo. Al suo sbocco in pianura il corso d'acqua ha edificato un caratteristico cono di deiezione di dimensioni veramente eccezionali. Esso possiede, infatti, uno sviluppo di oltre 3,6 km di arco frontale e un raggio di ben 2,0 km. Il Torrente ha scavato il suo letto lungo il margine destro della struttura per una profondità crescente verso monte da 0 a 20 m. Il margine sinistro del cono di deiezione, invece, è solcato solo da una piccola incisione che raccoglie le acque provenienti dal versante settentrionale del M. Cuarnan e che è denominata rio Grideule.

Notizie storiche sull'evoluzione del corso d'acqua sono molto difficili da reperire, tuttavia, quelle poche in nostro possesso sono già sufficienti

per un inquadramento generale dei fenomeni. Osservando il tracciato delle antiche mura cittadine, risalenti al XIV° secolo, colpisce il loro particolare andamento a cuneo rivolto verso monte. Ciò fa sorgere il dubbio che esse possedessero in origine anche una funzione protettiva nei riguardi delle alluvioni. La necessità di una tale opera di difesa, del resto, è dimostrata dal fatto che in quei tempi erano possibili eventi assai pericolosi per la cittadina. Documenti storici riportano, infatti, che nel 1430 lo straripamento del Grideule (oggi perennemente asciutto) asportò parte del cimitero del Duomo e trascinò bare fino in località Paludo. Con tutta probabilità il fenomeno "fu conseguente al fatto che in quel periodo il corso del Vegliato non era ancora stabile sulle posizioni attuali, ma poteva interessare tutto l'apice del conoide. È probabile quindi che l'esonazione rovinosa del Grideule sia stata in

effetti conseguente agli apporti straordinari del Vegliato che si sono riversati in esso" come afferma Stefanini in un suo recente studio. Si trattò sicuramente di un evento di inusitate proporzioni, e che, proprio per questo, fa sorgere il dubbio sia stato l'effetto di una colata detritica, o debris flow, riversatasi in direzione dell'attuale rio Grideule. Allo scopo di verificare tale supposizione è stato eseguito un rilievo di dettaglio lungo tutta la fascia superiore del cono di deiezione. Ciò ha consentito di mettere in luce le tracce di un'antica



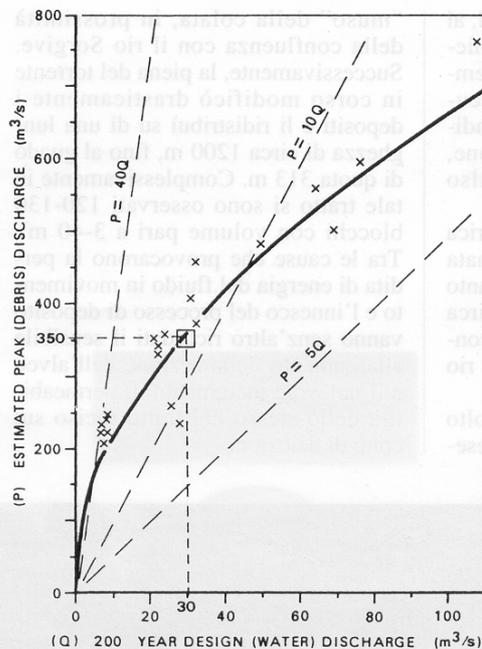
Masso di circa 40 m³, trasportato dal debris flow del 9 giugno 1987 ad una distanza di circa 3 km dall'accumulo originario.

sponda torrentizia la quale si prolunga rettilinea in direzione OSO per una lunghezza di circa 300 m. Essa possiede un'altezza media di 3-4 m e presenta frequentemente livelli cementati proprio come l'attuale sponda destra del torrente Vegliato (quella opposta non ne presenta traccia). Tali analogie fanno supporre che esse rappresentino le antiche sponde del torrente in un periodo anteriore al XV° secolo. Esse divergono l'una dall'altra di circa 30° consentendo al corso d'acqua d'allora di vagare su tutta la zona sommitale del conoide. Più a valle, poi, sono stati rilevati diversi alvei abbandonati di cui quello più evidente, dopo aver lambito l'antica sponda, scende in direzione della cittadina inserendosi successivamente nel Grideule, probabile direttrice dell'alluvione risalente al 1430. Proprio lungo questo tracciato è stato notato, poi, un antico argine avente il chiaro scopo di deviare le acque in direzione del vicino Rio.

Per individuare le tracce di antiche colate detritiche, sono stati rilevati tutti i massi di volume superiore al metro cubo sporgenti dal terreno o affiorati entro scavi fondazionali. La loro natura litologica è risultata sempre dolomitica, palesando così la loro provenienza dal versante meridionale del monte Cjampon. L'accumulo più a monte presenta caratteristiche di freschezza tali da farlo ritenere il più recente fra quelli rilevati. Esso quindi rappresenta la traccia dell'ultima colata detritica riversatasi al di fuori dell'attuale alveo, ed è probabile che risalga proprio all'evento del 1430. Il suo accumulo certamente contribuì alla deviazione definitiva del corso d'acqua verso l'attuale tracciato, anche se determinanti furono altre cause quali la tendenza naturale all'affossamento dell'alveo e la diversa erodibilità delle sponde. Le ricerche eseguite, poi, consentono di escludere decisamente la possibilità che la deviazione sia dovuta a fenomeni franosi avvenuti dalle pendici del Cuarnan, dato che nessun masso fra quelli rilevati sul conoide risulta essere costituito da litotipi eocenici, giurassici o cretaci che provverebbero una tale provenienza.

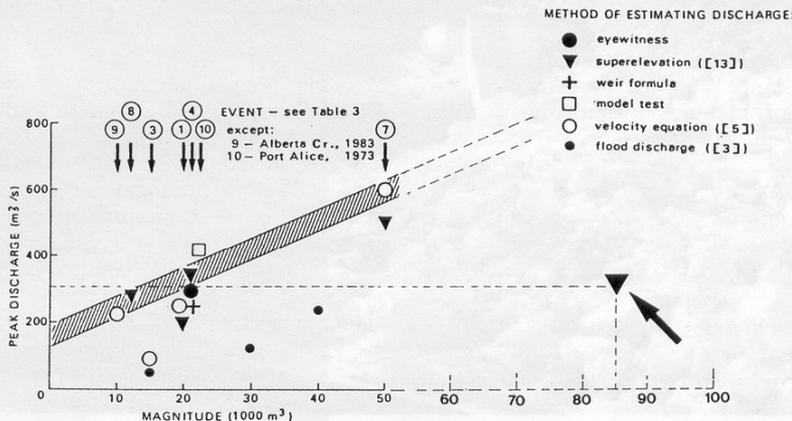
Osservando infine le antiche stampe del Liruti, contenute nel suo "Notizie di Gemona", si può desumere che nel XVIII° secolo il Torrente si era già stabilizzato sul margine destro del cono di deiezione, salvo naturalmente passare a sud del colle Dorondon. Da allora non si ha notizia di particolari eventi, se si eccettuano i lavori di sistemazione idraulica, iniziati negli anni trenta e che deviarono il corso d'acqua lungo l'attuale tracciato.

Il giorno 15 settembre 1976 si staccò un'enorme frana dalle pendici montuose comprese fra le cime del



Relazione tra la portata di piena bicentenaria e la portata di picco stimata dei debris flows accaduti, ricavata attraverso analisi a posteriori eseguite su 22 torrenti canadesi soggetti a colate detritiche (VanDine, 1985). Dal grafico si osserva che ad una portata di piena pari a 30 m³/s è associabile una portata di picco di circa 350 m³/s: ciò conferma che la stima della portata di picco eseguita per il debris flow in esame può considerarsi sufficientemente attendibile. Il fattore di scala esistente tra le due portate è quindi un parametro progettuale essenziale per il dimensionamento delle opere trasversali e degli attraversamenti nei torrenti soggetti a fenomeni di colata detritica.

Relazione tra magnetude e peak discharge ricavata per alcuni torrenti canadesi soggetti a debris flow (Hung et al, 1984): a titolo indicativo è stato inserito nel diagramma anche l'evento del torrente Vegliato, oggetto del presente studio. L'elevato scarto osservabile indica come probabilmente tale relazione non risulti appropriata a caratterizzare le lave torrentizie che si sviluppano da ammassi detritici di notevoli dimensioni, originate, come nel caso in esame, da cause estranee agli usuali processi di degradazione dei versanti (accelerazioni sismiche).



M. Cjampon e del M. Dene, 1 (Crete Porie) per un volume stimato di 250.000 m³. Essa si abbatté sul fondovalle intasando completamente la forra del torrente omonimo e producendo un accumulo che si arrestò all'altezza dell'isoipsa 850 m. Con le piene successive a tale evento si verificarono alcuni fenomeni di colata detritica le cui dimensioni furono all'inizio piuttosto contenute e che risultarono dalla mobilitazione del margine destro del grande accumulo, dove iniziava a riformarsi il solco torrentizio originario. Un tale evento si produsse sicuramente in occasione delle piogge cadute il giorno 13 ottobre 1976 (70 mm in 3 ore), e, soprattutto, del giorno 2 agosto 1983 (106 mm in 3 ore).

Ricostruzione dell'evento del 9 giugno 1987

Nelle prime ore del mattino del 9 giugno 1987 si abbatté su Gemona un

forte temporale la cui intensità venne registrata al pluviografo sito in località Campolessi. La precipitazione totale raggiunse i 124.6 mm. In senso assoluto non si trattò della massima precipitazione annuale, ma sussiste il dubbio che la zona d'origine del debris flow, distante oltre 6 km dal pluviografo, sia stata oggetto di precipitazioni decisamente superiori. Il temporale all'origine delle precipitazioni, infatti, possedette secondo le testimonianze un carattere fortemente circoscritto, tanto da non provocare altri danni in zone relativamente vicine. Il debris flow ebbe origine nel grande accumulo di frana che ingombrava il medio corso dell'affluente rio Crete Porie, fra gli 875 e 1200 m di altitudine. Qui si produsse il completo svuotamento della forra tra le isoipse 1050 e 1200 m, con esposizione della roccia costituente il fondo, nonché un notevole ampliamento e approfondimento del solco torrentizio già parzialmente eroso tra gli 850 e i 1050 m. Ad innescare il fenomeno fu una piccola frana staccatasi dalle ripide

pareti sommitali del Monte Dene, I, al margine superiore della grande nicchia di distacco risalente al 15 settembre 1976. Essa si abbatté sull'accumulo detritico sottostante, in condizioni molto vicine alla saturazione, fornendo probabilmente l'impulso decisivo alla sua mobilitazione.

La massima distanza planimetrica percorsa dal fronte detritico, stimata sulla C.T.R., fu di circa 2800 m, tanto che il masso più sopravanzato (circa 40 m³) si arrestò nei pressi della confluenza dell'asta principale con il rio delle Vacche.

La stima del materiale coinvolto nella colata (magnetude) è stata ese-

“muso” della colata, in prossimità della confluenza con il rio Sorgive. Successivamente, la piena del torrente in corso modificò drasticamente i depositi e li ridistribuì su di una lunghezza di circa 1200 m, fino al guado di quota 313 m. Complessivamente in tale tratto si sono osservati 120-130 blocchi con volume pari a 3-40 m³. Tra le cause che provocarono la perdita di energia del fluido in movimento e l'innescò del processo di deposito vanno senz'altro ricordati il sensibile allargamento della sezione dell'alveo e il notevole incremento di permeabilità dello stesso nel tratto inciso sul cono di deiezione.



guita attraverso il rilievo topografico speditivo di 16 sezioni, valutando sul posto sia l'erosione complessiva, sia quella precedente al 1987. Le tracce dell'accumulo sono ancora molto evidenti soprattutto nella forra al di sopra dei 1050 m. La massa mobilizzata, valutata con il metodo delle sezioni ragguagliate, è risultata pari a 80.000-90.000 m³. Di essi almeno 35.000 m³ si arrestarono all'altezza della prima briglia del rio Crete Porie, anche a causa di alcuni massi ciclopici fermatisi in prossimità di quel manufatto. La massa rimanente, valutabile in circa 45.000-55.000 m³, si riversò verso valle travolgendo nella sua corsa i due ponti della pista forestale e danneggiando in modo grave gran parte delle briglie esistenti.

La fase di rallentamento e successivo arresto del fronte (runout distance) ebbe inizio sul cono di deiezione, approssimativamente a valle della briglia di quota 480 m, e si protrasse per circa 300-400 m. In particolare è stata rinvenuta una discreta concentrazione di blocchi (circa 40) di notevole pezzatura (5-15 m³), probabilmente il

La velocità del fronte del debris flow è stata valutata attraverso la relazione proposta in Hungr et al., tarata sulla base delle tracce lasciate dalla soprelevazione del pelo libero nel tratto di torrente compreso tra le quote 530-540 m e caratterizzato da una curva pronunciata verso destra. I resti di briglie distrutte a monte e le lesioni sugli alberi ivi presenti hanno permesso di stimare un dislivello del pelo libero di circa 3-4 m e quindi una velocità del fronte di circa 8 m/s.

La portata di picco (peak discharge) è stata calcolata in base alla velocità e alle sezioni trasversali rilevate nel tratto in curva. Il valore trovato è prossimo a 300 m³/s, circa dieci volte maggiore della portata di piena bicentennale attesa per il corso d'acqua in esame, valutabile attraverso la formula razionale in circa 30 m³/s.

A. C. - F. S.

Gli autori ringraziano il prof. A. Zanferrari del Dipartimento Georisorse e Territorio dell'Università di Udine per i consigli forniti

Bibliografia

- Arattano M. (1994): Considerazioni sull'utilizzo della teoria dell'onda cinematica per la modellazione matematica di fenomeni di Debris Flow. GEAM, Torino, dicembre 1994, 253-262.
- Aulitzky H. (1989): The debris flows of Austria. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n°40, 5-13.
- Benda L., Cundy T. (1990): Predicting deposition of debris flows in mountain channels. Canadian Geotechnical Journal, 27, 409-417.
- Fattorelli S. (1972): Nuovi orientamenti nel dimensionamento delle opere trasversali impiegate per la correzione dei torrenti. Nuovi criteri di progettazione e nuove opere di sistemazione dei torrenti, Atti delle giornate di studio di idraulica, Udine 12-13 dicembre 1972, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale delle Foreste, 41-47.
- Geological Society of America (1987): Debris Flows / Avalanches. Process, Recognition, and Mitigation. Reviews in engineering geology VII, Boulder, Colorado (USA), 248pp.
- Gortani M. (1912): Falde di detrito e cono di deiezione nella valle del Tagliamento. Mem. Geogr. di G. Dainelli, 20, 96pp.
- Hungr O., Morgan G.C., Kellerhals R. (1984): Quantitative analysis of debris torrents hazards for design of remedial measures. Canadian Geotechnical Journal, 21 (4), 663-677.
- Ikeya H. (1989): Debris flow and its countermeasures in Japan. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, n°40, 15-33.
- Lichtenhahn C. (1971): Calcolo delle briglie in calcestruzzo basato su nuove ricerche eseguite in Svizzera negli ultimi anni. Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali, vol. XX, 89-113.
- Martin D.C., Piteau D.R., Pearce R.A., Hawley P.M. (1984): Remedial measures for debris flows at the Agassiz Mountain Institution, British Columbia. Canadian Geotechnical Journal, 21, 505-517.
- Nasmith H.W., Mercer A.G. (1979): Design of dykes to protect against debris flows at Port Alice, British Columbia. Canadian Geotechnical Journal, 16, 748-757.
- Querini R. (1985): Le lave torrentizie. In Alto (Società Alpina Friulana), 67, 84-90.
- Querini R. (1986): Le lave torrentizie nelle Alpi e Prealpi Carniche e Giulie. Nuovi contributi e conoscenze. L'Italia Forestale e Montana, XLI (5), settembre-ottobre 1986, 279-300.
- Sassa K. (1984): The mechanism to initiate debris flows as undrained shear of loose sediments. Interpraevent 1984, Villach, Tagungspublikation, Band 2, 73-87.
- Stefanini S. (1980): Idrogeologia. Studio Geologico per la Ricostruzione, Comune di Gemona del Friuli, 27-40.
- Takahashi T. (1991): Debris Flows. IAHR/AIRH monograph, Rotterdam, A.A. Balkema, 165pp.
- Vandine D.F. (1985): Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. Canadian Geotechnical Journal, 22, 44-68.