Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 1996 – GARMISCH-PARTENKIRCHEN
Tagungspublikation, Band 1, Seite 377 – 386

IL TRASPORTO SOLIDO DI EVENTI ESTREMI NEI TORRENTI DEL TRENTINO ORIENTALE

EXTREME EVENTS OF SEDIMENT TRANSPORT IN THE EASTERN TRENTINO TORRENTS

V. D'AGOSTINO, M. CERATO & R. COALI

Riassunto

La previsione quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio rappresenta una fase fondamentale nella progettazione degli interventi di sistemazione idraulica in ambito montano. Nel presente lavoro, dopo aver ricostruito degli eventi significativi di trasporto estremo verificatisi in alcuni bacini di piccola e media estensione del Trentino Orientale (Italia), vengono determinate alcune espressioni in grado di correlare i volumi di sedimento convogliati sulla conoide con le principali variabili che condizionano l'entità del fenomeno: superficie del bacino, pendenza del collettore, forma di trasporto, geologia, grado di sistemazione.

Abstract

The quantitative and qualitative estimation of sediment transport plays an important role in planning torrent control works. Some remarkable extreme transport data for Eastern Trentino (Italy) catchments (drainage area up to 85 km^2) are analysed and discussed in this paper. A good correlation is then performed between deposited volumes and the main parameters regarding sediment transport rate, that is the basin area, the stream slope, the type of transport, geology, watershed management efficiency.

1 Introduzione

La stima del trasporto di sedimenti che possono essere mobilizzati in un torrente montano costituisce una delle problematiche di maggiore interesse sia per progettare adeguatamente gli interventi di sistemazione idraulico-forestale che per stimare, in un ottica di pianificazione territoriale, il grado di rischio delle aree soggette ad alluvioni solide e liquide. Tale valutazione è prevalentemente rivolta agli eventi idrologici estremi (tempi di ritorno di 50-200 anni) ed ai relativi volumi solidi che affluiscono alla parte terminale del torrente.

Una stima quantitativa anche accurata degli apporti solidi non è sufficiente ad ottenere una corretta programmazione degli interventi di gestione territoriale se non è accompagnata da una caratterizzazione delle forme di trasporto potenziale. Queste ultime condizionano le modalità di traslazione e di deposizione dei sedimenti e gli effetti dell'evento di piena. Si passa infatti dalla deposizione quasi totale del sedimento sulla conoide in occasione delle colate a forte componente detritica, ad una deposizione solo parziale per le piene caratterizzate da trasporto di fondo. In questo contesto AULITZKY (1982) ha introdotto una classificazione dei torrenti montani collegata ad un fattore di rischio ed ha proposto le quattro categorie: *debris flow* (colate di detriti), *debris flood* (correnti ad alta concentrazione di sedimenti ma con caratteristiche del fluido ancora di tipo newtoniano), *bedload* (trasporto di fondo), *flood creek* (piene con limitato potenziale di trasporto e prevalenza di sedimento fine). MARCHI et al. (1993) hanno invece seguito un approccio di tipo morfologico in grado di classificare le conoidi sulla base delle forme di trasporto che le hanno generate. Il trasporto solido dominante (da debris flow, di fondo, oppure misto) è stato individuato attraverso la pendenza del cono di deiezione e l'indice di Melton del bacino.

Per quanto concerne la stima quantitativa dei potenziali eventi estremi di trasporto SCHEURINGER (1988) ha proposto una metodo pratico di indubbia utilità che si basa su un bilancio del trasporto solido condotto in campo ma che richiede una certa esperienza da parte del rilevatore. Di notevole interesse è il contributo di KRONFELLNER-KRAUS (1984,1985) che, esaminando una

notevolissima mole di dati relativi al territorio austriaco, è pervenuto alla relazione di tipo semi-empirico:

$$G_s = (k_1 e^{-kA}) A \ i \qquad (1)$$

con

G_s : volume complessivo del trasporto solido di un evento estremo, (m^3);

A : superficie del bacino idrografico, (km^2);

i : pendenza media dell'asta torrentizia, (%);

$k_1 e^{-kA}$: fattore di torrenzialità determinato dalle due costanti k_1 e k e dipendente dall'area morfologico-climatica alla quale il bacino appartiene (e=2.718).

KRONFELLNER-KRAUS (1987), che ha operato una suddivisione del territorio austriaco in quattro zone omogenee per fattore di torrenzialità, riscontra tuttavia, in una ulteriore verifica compiuta su 333 eventi di piena, come i due terzi delle alluvioni osservate ricadano nel campo di torrenzialità delimitato superiormente da: k_1= 1150, k = 0.014 ed inferiormente da: k_1= 540, k = 0.008.

Nel presente studio si è inteso verificare l'estendibilità della metodologia proposta da Kronfellner-Kraus ai bacini montani di piccola e media estensione del Trentino Orientale, selezionando gli eventi alluvionali di maggiore intensità verificatisi nel corso di oltre un secolo. Ad ogni evento si è associato sia il grado di sistemazione del bacino al momento della piena sia la geologia delle sorgenti di alimentazione del sedimento. La geologia risulta infatti essere, a parità di estensione del bacino, un parametro in grado di amplificare anche di 2-3 volte il volume di sedimenti prodotto da un debris flow (PWRI 1987).

2 La stima e la ricostruzione degli eventi storici

Il territorio oggetto di studio appartiene alla zona orientale della Provincia di Trento ed è delimitato sul settore occidentale dal corso del fiume Adige e sui restanti settori dagli stessi confini provinciali (Fig. 1). L'area geografica è composta dalle principali unità idrografiche dei fiumi: Adige, Brenta, Avisio e Fersina. La ricostruzione e la stima degli eventi di trasporto avvenuti dal 1882 al 1995 si è avvalsa di molteplici fonti di informazione: resoconti di cronaca locale, accurati rilievi di danni alluvionali, vecchi progetti di sistemazione idraulica e

documentazione fotografica conservati presso l'Azienda Speciale di Sistemazione Montana della Provincia Autonoma di Trento, nonché rilevazioni topografiche dirette per gli eventi più recenti. Grazie ai dati reperiti è stato possibile esaminare un campione costituito da 62 bacini montani di estensione inferiore ad 85 km^2 (Fig.1, Tab.1). Per ognuno di essi si è selezionato il dato storico di maggiore entità relativo al volume di sedimento depositato in prossimità della parte terminale del torrente. Non si sono considerati dati di trasporto di torrenti aventi aree di invaso intermedie (p.e. laghi, piazze di deposito, forti allargamenti d'alveo) a meno di non conoscere esattamente il volume solido depositato in tali aree. In quest'ultimo caso il bacino è stato chiuso in corrispondenza all'area di deposizione.

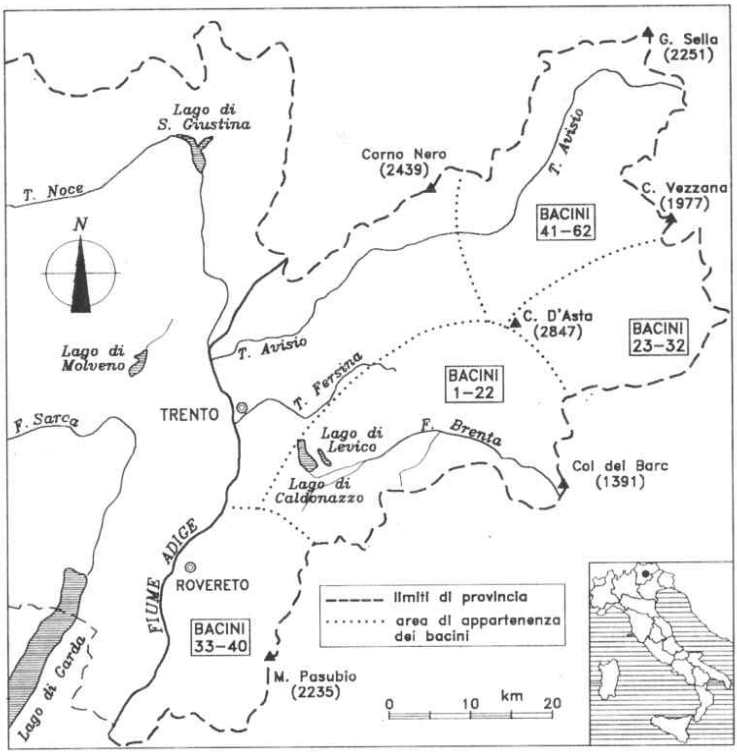

Fig. 1: Localizzazione geografica dell'area di studio: Trentino Orientale (Italia).

Fig. 1: Geographical location of the study area: Eastern Trentino (Italy).

Per gli eventi estremi selezionati è stata operata la classificazione di Aulitzky sulla forma di trasporto. Si è in particolare attribuito ad ogni evento un indice di trasporto (I.T., Tab.1), al quale si è assegnato un valore inversamente proporzionale, seppure in forma qualitativa, alla concentrazione dei sedimenti nella corrente: I.T. = 1 per i debris flow, I.T.= 2 per i debris flood, I.T.= 3 per il trasporto di fondo (bedload).

Sono stati inoltre presi in esame i parametri di seguito indicati.

- La superficie del bacino (A) chiuso all'apice della conoide. Essa è stata determinata sulla carta tecnica regionale in scala 1:10000. Circa il 30% dei bacini esaminati ha una estensione inferiore ai 2 km^2 e solo il 16% supera i 20 km^2. Si osserva (Tab.1) come i debris flow, fatta eccezione per il torrente Chieppena, si siano verificati esclusivamente in bacini con estensione inferiore ai 10 km^2.
- La pendenza media (i) dei collettori del bacino che sono risultati influenti sul trasporto solido. In presenza di un solo collettore il valore di pendenza si è calcolato dividendo il dislivello altimetrico fra la sorgente e l'inizio del cono di deiezione per la corrispondente lunghezza. Nel caso di più collettori su di uno stesso bacino la pendenza media si è determinata come rapporto fra la sommatoria dei dislivelli parziali e quella delle rispettive lunghezze. Gli eventi di debris flow si sono verificati nel campo di pendenze: i = 0.16-0.71, mentre i debris flood si sono registrati nel campo: i = 0.11-0.56 (Tab.1).
- L'indice geologico (I.G.) dei detriti che alimentano la rete idrografica. Questo parametro si è dedotto considerando i tipi litologici che contribuiscono alla formazione dei detriti asportabili. Da una prima analisi dei dati è stato riscontrato come in bacini con prevalenza di depositi morenici ed alluvionali o substrato geologico metamorfico gli eventi estremi di trasporto si siano manifestati (a parità di estensione del bacino e di pendenza media del torrente) con un'intensità superiore a quella relativa ai bacini con predominanza di rocce calcaree. Tale fenomeno è da ascriversi principalmente alle più elevate frequenze per le quali si originano le colate detritiche nei bacini calcarei e che determinano, nel complesso, una minore disponibilità di sedimenti per gli eventi estremi. Considerando le formazioni litologiche che caratterizzano i bacini dell'area in esame, è stata messa a punto una tabella (Tab. 2) per il calcolo di

I.G. nella quale compaiono 6 categorie. Ad ogni categoria è stato attribuito un punteggio (da 5 a 0) che rispecchia l'attitudine della classe litologica a generare eventi di trasporto estremo. L'indice geologico si calcola agevolmente moltiplicando la presenza percentuale di ciascuna classe per il rispettivo punteggio e sommando successivamente i vari addendi. I valori ottenuti sono riportati in Tabella 1.

- Il coefficiente di sistemazione (C.S.) all'epoca dell'evento estremo (Tab.1). Tale valore indica il grado di efficienza delle sistemazioni, sia nei riguardi degli interventi strutturali in alveo che della sistemazione dei versanti. Il valore 1 rappresenta la sistemazione ideale, grazie alla quale si limiterebbero al massimo le conseguenze negative di un evento alluvionale. Un valore intermedio compreso tra 0 e 1 fornisce la misura degli interventi ancora necessari (1-C.S.) al conseguimento di una sistemazione ideale. Un valore nullo indica l'assenza di sistemazioni, senza implicare per questo uno stato di dissesto del bacino.

Tab.1: Eventi estremi di trasporto solido: Trentino Orientale, anni 1882-1995.

Tab.1: Extreme events of sediment transport: Eastern Trentino, 1882-1995.

	Torrente	Anno	G_s (10^3 m^3)	I.T.	A (km^2)	i (%)	I.G.	C.S.
1	Mandola	1966	60	3	19.40	12.90	3.9	0.30
2	Centa	1882	300	3	26.10	14.50	4.1	0.10
3	Val Scura	1993	20	2	2.91	30.50	1.6	0.30
4	Pissavacca	1993	15	2	1.50	45.50	1.6	0.10
5	S.Giuliana	1993	30	2	2.80	40.00	1.6	0.40
6	Sella	1924	200	1	6.00	38.70	3.4	0.30
7	Moggio	1966	400	3	34.70	36.00	1.6	0.50
8	Valletta	1994	0.7	1	0.08	55.00	0.5	0.00
9	Vallon della Calcara	1994	14	1	1.38	33.00	3.0	0.50
10	Fumola	1924	70	2	4.00	39.40	1.6	0.40
11	Coalba	1966	30	2	5.75	19.00	1.6	0.10
12	Carrari	1966	20	2	2.56	32.10	1.3	0.00
13	Roggia di Novaledo	1882	95	2	2.35	36.00	4.0	0.10
14	Greta	1904	110	1	2.08	46.10	4.0	0.00
15	Larganza	1882	615	2	18.15	26.90	4.7	0.10
16	Chiavona	1882	220	2	5.07	40.10	4.1	0.10
17	Ceggio	1953	450	2	30.00	19.75	4.8	0.20
18	Maso di Calamento	1966	730	3	45.70	26.40	4.9	0.30
19	Maso di Spinelle	1966	450	2	44.45	14.10	5.0	0.00
20	Chieppena	1966	950	1	32.70	30.40	4.5	0.00

	Torrente	Anno	G_s (10^3 m^3)	I.T.	A (km^2)	i (%)	I.G.	C.S.
21	Grigno	1882	500	3	82.60	14.20	4.2	0.00
22	Boal della Pria	1995	1.5	1	0.11	71.00	2.5	0.00
23	Madonna	1966	27	1	1.12	44.00	4.7	0.10
24	Fusinetta	1966	3.4	2	0.14	44.60	4.5	0.00
25	Val Mesta	1966	35	1	1.74	33.89	4.5	0.20
26	Pez Gaiard	1989	26	2	1.57	38.50	3.3	0.20
27	Fontanelle	1993	23	2	1.70	31.00	3.6	0.10
28	Val de la Vecia	1994	45	1	3.20	38.94	3.3	0.10
29	Val Male	1953	50	1	2.67	48.98	4.2	0.00
30	Lazer	1966	40	1	1.57	26.85	4.7	0.40
31	Cereda	1966	150	1	9.89	16.54	4.3	0.30
32	Val del Lago	1966	2	2	0.23	16.01	4.0	0.10
33	Ala	1992	90	3	47.12	7.92	1.8	0.60
34	Ronchi	1938	45	2	3.35	39.78	2.0	0.20
35	San Valentino	1992	70	2	14.51	14.73	1.8	0.40
36	Val Prigioni	1966	40	2	5.39	35.17	2.2	0.25
37	Leno di Terragnolo	1966	100	3	61.75	9.12	2.1	0.45
38	Cavallo	1966	75	3	34.50	11.63	2.4	0.50
39	Val Gola	1992	30	2	12.90	14.70	2.0	0.65
40	Secco	1976	60	2	5.98	41.62	2.2	0.50
41	Gazolin	1966	30	1	2.11	32.77	3.3	0.30
42	Busa dei Laibi III	1994	3.5	2	0.25	43.81	2.6	0.00
43	Busa dei Laibi II	1994	6	2	0.30	55.86	2.6	0.00
44	Bianco	1966	70	1	8.56	21.71	2.2	0.30
45	Valaverta	1966	45	1	2.62	32.46	1.9	0.25
46	Gardoné	1966	50	1	7.60	26.73	3.4	0.00
47	Scalotta	1966	20	1	2.14	40.95	2.2	0.00
48	Valsorda	1966	50	2	14.23	16.75	2.7	0.05
49	Peniola	1955	23	2	3.26	27.24	2.3	0.05
50	Col Ros	1882	5	1	0.11	29.55	2.9	0.00
51	Sester	1931	10	2	0.72	29.49	4.7	0.30
52	Barbide	1882	10	2	1.50	22.78	4.2	0.05
53	Ruf de Vael	1981	15	2	5.75	11.50	3.3	0.05
54	Ruf de Pantl	1931	30	2	1.45	29.48	3.7	0.10
55	Canalone Larsec	1989	40	2	4.14	30.37	3.3	0.30
56	Udai	1989	50	2	8.26	22.87	3.3	0.30
57	Canalone Torre Rizzi	1989	30	2	1.65	41.18	2.6	0.00
58	Dona	1989	17	1	2.97	22.46	3.2	0.05
59	Duron (testata)	1994	20	2	2.95	18.18	2.5	0.00
60	Corone	1994	3	2	0.42	33.49	3.0	0.10
61	Pegna	1994	20	2	3.19	24.05	2.7	0.00
62	Antermont	1966	80	2	17.75	19.77	3.0	0.25

Lista dei simboli - List of symbols

G_s : volume del sedimento trasportato - volume of sediment transport;
I.T. : indice di trasporto - trasport index;
I.T. = 1, debris flow; I.T. = 2, debris flood; I.T. = 3, bedload;
A : superficie del bacino chiuso all'apice della conoide - basin area upstream the fan;
i : pendenza media del torrente - mean slope of the torrent;
I.G. : indice geologico - geological index
C.S. : grado di sistemazione - catchment management efficiency.

Tab. 2 : Tabella utilizzata per il calcolo dell'indice geologico I.G.

Tab. 2 : Table used for the geological index I.G. computation.

Classe litologica	Punteggio
Copertura morenica, alluvionale e di falda	5
Rocce metamorfiche: filladi, gneiss, ecc...	4
Rocce "terrigene": marne, strati del Werfen, ecc...	3
Rocce laviche degradate, tufi basaltici, brecce	2
Rocce calcaree	1
Rocce porfiriche, granitiche, dioritiche	0

3 Analisi dei dati di trasporto solido torrentizio

I parametri connessi alla morfologia del bacino, al suo grado di sistemazione ed alla geologia delle fonti di alimentazione sono stati correlati al volume di sedimento G_s prodotto dall'evento estremo. Si è condotta una analisi di regressione multipla utilizzando delle equazioni non lineari di forma monomia e considerando le combinazioni più favorevoli delle cinque variabili ritenute indipendenti: A, i, I.G., C.S., I.T. Ogni relazione è stata determinata ricercando la condizione di minimo dell'errore quadratico medio σ (che dà anche una stima del grado di accuratezza raggiunto dalla regressione):

$$\sigma = \Sigma_{i=1,n} [(G_{s,c} - G_{s,o})_i^2 / n]^{1/2} \qquad (2)$$

essendo n la dimensione del campione, $G_{s,c}$ e $G_{s,o}$ rispettivamente i volumi calcolati ed i volumi osservati. Si è quindi calcolato l'errore medio ε:

$$\varepsilon = \Sigma_{i=1,n} [(G_{s,c} - G_{s,o})_i / n)] \qquad (3)$$

che indica la tendenza media ad una sovrastima o ad una sottostima.

Le relazioni ottenute, fra le quali compare al primo posto anche quella proposta da Kronfellner-Kraus, risultano:

$$G_s = (667\, e^{-0.005\, A})\, A\, i \qquad (\varepsilon = 14.6;\quad \sigma = 95.2) \qquad (4)$$

$$G_s = 211\ A\, i^{1.3} \qquad (\varepsilon = 6.5;\quad \sigma = 95.4) \qquad (5)$$

$$G_s = 45\, A^{0.9}\, i^{1.5}\, (I.G.) \qquad (\varepsilon = 9.7;\quad \sigma = 56.8) \qquad (6)$$

$$G_s = 160\, A\, i^{1.5}\, (1+C.S.)^{-2} \qquad (\varepsilon = 9.4;\quad \sigma = 69.5) \qquad (7)$$

$$G_s = 334\, A\, i^{1.3}\, (I.T.)^{-0.6}; \qquad (\varepsilon = 15.0;\quad \sigma = 79.1) \qquad (8)$$

$$G_s = 36\, A\, i^{1.5}\, (I.G.)(1+C.S.)^{-1} \qquad (\varepsilon = -0.9;\quad \sigma = 52.4) \qquad (9)$$

$$G_s = 39\, A\, i^{1.5}\, (I.G)\, (I.T.)^{-0.3} \qquad (\varepsilon = 3.4;\quad \sigma = 49.4) \qquad (10)$$

con G_s espresso in m^3, A in km^2, i in %, gli errori ε e σ in $10^3\ m^3$.

Nelle elaborazioni eseguite è emersa, come già ottenuto da Kronfellner-Kraus, una sensibile dipendenza di G_s da A ed i. I valori assunti nella equazione (4) dalle due costanti (k_1= 667, k = 0.005) indicano, per l'area in esame, un fattore di torrenzialità non molto discosto a quello della zona intermedia di Kronfellner-Kraus (k_1= 540, k = 0.008). Ponendo nella eq. (4) il vincolo k=0.008, si otterrebbe infatti k_1= 745. La relazione (5), che presenta un valore di σ prossimo a quello della eq.(4), manifesta una più forte dipendenza funzionale di G_s dalla pendenza. Questa tendenza è confermata dalle espressioni (6)-(10) nelle quali il valore dell'esponente di i ha sempre raggiunto valori ottimali (che assicurano cioè la condizione di minimo per l'errore σ) vicini ad 1.5. Aggiungendo ai due parametri fondamentali (A, i) un terzo parametro [eq.(6)-(8)], si osserva come l'indice geologico I.G. rappresenti la variabile in grado di migliorare in modo più sensibile l'accuratezza della stima. Una prestazione leggermente inferiore a quella della eq. (6) si ottiene con la eq. (7) nella quale compare, come terzo parametro, il coefficiente di sistemazione C.S. Secondo la eq. (7), passando da un bacino non sistemato (C.S.=0) alla situazione ideale di massima sistemazione (C.S.=1), il trasporto solido estremo si riduce del 75%. L'effetto benefico di C.S. è invece più attenuato nella eq. (9), dove si tiene conto simultaneamente di A, i, I.G., C.S. e dove la variazione fra i due valori estremi di C.S., a parità degli altri parametri, è al massimo del 50%. Sia la eq. (7) che la (9) mettono comunque in buona evidenza l'importanza fondamentale degli interventi di sistemazione. Le migliori prestazioni dalla combinazione di quattro variabili si ottengono dalle eq. (9) e (10), che costituiscono due modalità alternative e di accuratezza quasi comparabile per la stima di G_s. La eq. (10), caratterizzata dal valore di σ più basso, indica una apprezzabile riduzione di G_s al diminuire della concentrazione di sedimento nella corrente (pari a quasi il 30% passando da un debris flow ad un trasporto di fondo). Questo comportamento può essere suffragato dalle diverse modalità di deposito che contraddistinguono le tre forme di trasporto considerate. Si osserva infine che ogni tentativo di combinare simultaneamente le cinque variabili ha portato a livelli di accuratezza inferiori a quelli delle eq. (9) e (10) ed ha evidenziato una certa conflittualità fra i parametri C.S. ed I.T.

Conclusioni

I risultati della ricerca appaiono indubbiamente promettenti grazie al buon livello di previsionalità raggiunto dalle equazioni di stima del trasporto solido di eventi estremi. L'impostazione metodologica ha messo in luce il ruolo fondamentale, oltreché delle due variabili di base già proposte da Kronfellner-Kraus (l'area del bacino e la pendenza del torrente), della geologia delle fonti di alimentazione, del grado di sistemazione del bacino e della forma con la quale si manifesta il trasporto solido. Uno sviluppo ulteriore di questa metodologia potrà quindi essere rivolto, oltreché alla acquisizione di nuovi dati per differenti aree geografiche, ad una parametrizzazione delle variabili suddette secondo un criterio sempre più oggettivo ed esauriente [1].

Bibliografia

AULITZKY H. (1982) - *Preliminary two-fold classification of torrents*, Mitteil. der Forst. Bundesversuchsanstalt, Heft 144: 243-256.

KRONFELLNER-KRAUS G. (1984) - *Extreme Festofffrachten und Grabenbildungen von Wildbächen*, International Symposium Interpraevent, Villach, Austria, vol.2: 109-118.

KRONFELLNER-KRAUS G. (1985) - *Quantitative estimation of torrent erosion*, International Symposium on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan: 107-110.

KRONFELLNER-KRAUS G. (1987) - *Zur Anwendung der Schätzformel für extreme Wildbach-Feststofffrachten im Süden und Osten Österreichs*, Wildbach- und Lawinenverbau, Sonderheft Dezember 1987: 187-200.

MARCHI L., PASUTO A. & TECCA P.R. (1993) - *Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps*, Z. Geomorph. N. F., 37 (4): 447-458.

PWRI (1987) - *Measures against debris flow on roads*, PWRI Technical Memorandum 2492, Sabo Division, Pubblic Works Research Institute, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan.

SCHEURINGER E. (1988) - *Ermittung der massgeblichen Geschiebefracht aus Wildbach-Oberläufen*, Wildbach- und Lawinenverbau, Jg. 52, 109: 87-95.

Indirizzo degli Autori:

Dott. Ing. D'Agostino Vincenzo
Ricercatore
Università di Padova - Facoltà di Agraria
Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali
Via Romea, Polo Tecnologico Agripolis
35020 Legnaro (Padova) - Italia

Dottori Forest. Cerato Mario & Coali Roberto
Responsabili di Zona
Provincia Autonoma di Trento
Azienda Speciale di Sistemazione Montana
Via G.B. Trener, 3
38100 Trento - Italia

[1] Parte del lavoro è stato realizzato con contributi MURST 60%.