



Regione Lombardia

**PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

# **COMUNE DI DOMASO PROVINCIA DI COMO**

## **Analisi della pericolosità del conoide del T.Livo VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO**

### **IL TECNICO INCARICATO:**

**STUDIO DI GEOLOGIA  
TECNICA ED AMBIENTALE**

**dott. geol. Claudio Depoli  
dott. geol. Cristian Adamoli**

Via Villatico 11  
23823 Colico (Lc)  
tel\_fax: 0341.933011  
e\_mail: tecnico@studiogeoteam.com



**DATA:**

Settembre 2009

**SCALA:**

///

**ALL.:**

**C**

**ELAB.:**

**C.2**

<b><u>1</u></b>	<b><u>INDIRIZZI DI ANALISI</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA</u></b>	<b><u>2</u></b>
2.1	GEOGRAFIA	2
2.2	GEOLOGIA DEL BACINO	3
2.3	DINAMICA MORFOLOGICA DEL BACINO	3
<b><u>3</u></b>	<b><u>DINAMICA FLUVIALE - ANALISI STORICA (RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI)</u></b>	<b><u>4</u></b>
3.1	RIFERIMENTO STORICO: BIBLIOGRAFIA	5
3.2	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE (RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO- REGIONE LOMBARDIA)	6
3.3	ANALISI DEL DISSESTO E MAGNITUDO	6
3.4	MAGNITUDO: DEFINIZIONE	8
3.4.1	Osservazioni sull'alveo	11
3.4.2	Morfologia fluviale:	11
<b><u>4</u></b>	<b><u>ANALISI DEL FENOMENO DI DEBRIS FLOW</u></b>	<b><u>12</u></b>
4.1	INTRODUZIONE	12
4.2	CARATTERISTICHE DELLE COLATE IN MOVIMENTO.	12
4.2.1	Geomorfologia dei debris flow	15
4.2.2	Origine e tipi delle colate di detrito	16
4.2.3	Meccanismi di innesco	16
4.2.4	Dinamica dei flussi di detrito	17
4.2.5	Deposizione delle colate di detrito	19
4.3	I PROCESSI FISICI COINVOLTI	20
4.3.1	Valutazione della portata della colata	22
4.3.2	Portata di picco di una colata	23
4.3.3	Osservazioni di campo e relazioni empiriche	24
4.3.4	Determinazione della portata solida nella dinamica torrentizia	25
<b><u>5</u></b>	<b><u>CENSIMENTO E VALUTAZIONE IN TERMINI DI EFFICACIA E DI EFFICIENZA DELLE OPERE IDRAULICHE LUNGO L'ASTA TORRENTIZIA</u></b>	<b><u>27</u></b>

## 1 INDIRIZZI DI ANALISI

Il contenuto tecnico del presente documento è finalizzato all'analisi e verifica idrologica di supporto al progetto di ripermetrazione della pericolosità del conoide del T. Livo in comune di Domaso, a supporto del redigendo studio geologico annesso al Piano Governo del Territorio.

## 2 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA

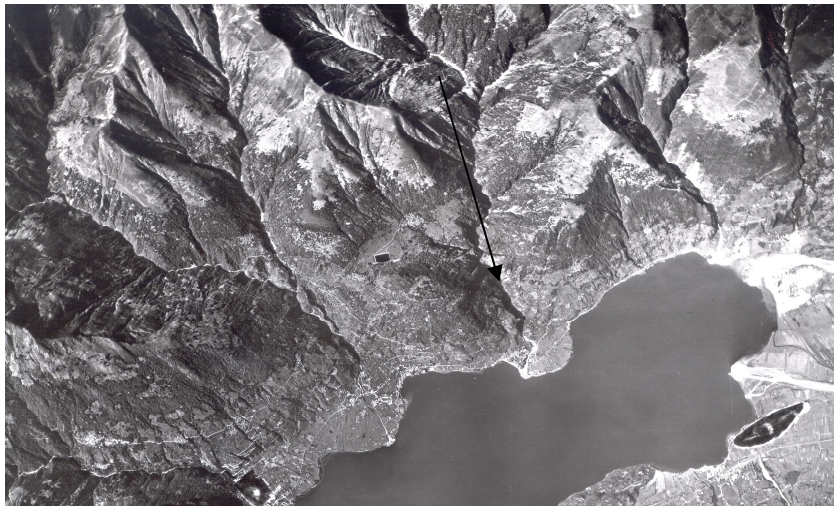
### 2.1 GEOGRAFIA

Il territorio sotteso dal bacino del Torrente Livo comprende i comuni di Domaso, Vercana e Livo. Il bacino è attiguo a quello del Liro ed è situato nella parte settentrionale del Lago di Como sulla sponda occidentale; sostanzialmente si compone di tre aste torrentizie: la Valle di Bares, la Valle Darengo e la Val Piana che confluiscono per originare la Valle di Livo che sfocia nel Lago di Como all'altezza di Domaso (CO)

Il territorio sotteso dal bacino del Livo misura 47 km<sup>2</sup> circa.

I dati principali sono così riassumibili:

<b>SUPERFICIE BACINO</b>	<b>S=47 kmq</b>
<b>QUOTA MASSIMA</b>	<b>H<sub>max</sub>=2520 m s.l.m.</b>
<b>QUOTA MINIMA</b>	<b>H<sub>min</sub>=200 m s.l.m.</b>



Provincia di Como – Particolare del bacino del T.Livo

---

## **2.2 GEOLOGIA DEL BACINO**

Dal punto di vista litologico si possono distinguere per le diverse caratteristiche reologiche, colore e struttura cinque tipi di roccia .

- Dolomia massiccia o stratificata, nella parte meridionale del territorio nei pressi dell'area urbana;
- Rocce filoniane, ubicate nella porzione di territorio più settentrionale e di limitata estensione;
- Gneiss, rappresentano la litologia predominante su tutto il territorio;
- Rocce intrusive basiche, con un contatto di tipo tettonico con la dolomia;
- Serpentiniti, di limitata estensione vicino al T. Livo.

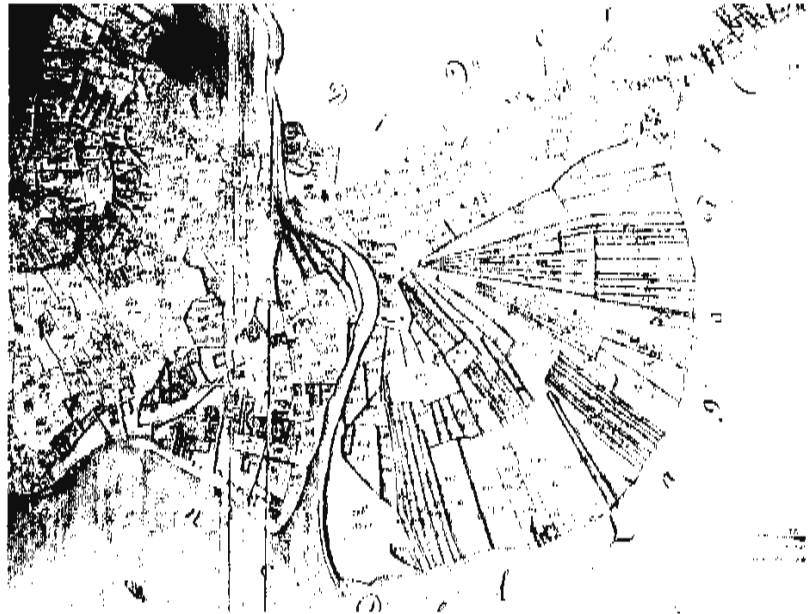
## **2.3 DINAMICA MORFOLOGICA DEL BACINO**

La morfologia del territorio in esame è il risultato di sistemi morfogenetici differenti attivi a partire dalla fine del Terziario. La fisionomia attuale della valle è dovuta sostanzialmente all'azione diretta dei ghiacciai: questo settore delle Alpi Lombarde è stato glacializzato più volte durante il Plio-Quaternario.

### 3 DINAMICA FLUVIALE - ANALISI STORICA (RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI)

I dati riferiti alla dinamica antica della Valle del Livo sono soprattutto riferibili agli effetti nell'area del conoide, per la presenza del settore urbanizzato di Domaso.

Conoide del T. Livo a Domaso-  
Catasto teresiano. Attualmente l'area  
è stata totalmente antropizzata



Fra le segnalazioni di Domaso è da rilevare la frana “costiera” che nel 1762 interessò la foce del torrente.

Così recita una cronaca dell'epoca scritta dal fisico Francesco Pessallo:

“Dalle annotazioni lasciate da mio padre Giovanpietro ricavo che il giorno 27 settembre 1760 alle ore 21 circa fu sprofondato il terrapieno che formava la piazza passeggio alla punta del fiume Domaso mentre cadeva gran pioggia accompagnata da tuoni straordinari e lampi.

Crebbe all'improvviso il lago per tre volte e nel retrocedere faceva rumore tanto da spaventare gli abitanti che cedettero venuto il momento non del rovesciamento totale del borgo ma ben del mondo”

Già in precedenza (catasto teresiano – 1734) iniziarono le arginature del T. Livo nell'area di fondovalle a seguito dei frequenti episodi di piena del torrente.

---

### **3.1 RIFERIMENTO STORICO: BIBLIOGRAFIA**

Come anticipato nei precedenti capitoli l'attività del torrente è costellata di passati eventi di non eccezionale spessore da cui emerge, in tutta la sua criticità, la possibile ulteriore dinamica di trasporto di massa del torrente che ha imposto nell'area di conoide una perimetrazione di ex L. 267/98.

Più volte, negli anni passati si è cercato di porre rimedio, o almeno limitare tale possibile dinamica con l'attuale risultato finale che vede il tratto di alveo del conoide completamente regimato ed il programma di realizzazione di opere nel bacino (es sistemazione frana di Moneglio, nuove opere di regimazione idraulica, ecc).

**3.2 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE (RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO- REGIONE LOMBARDIA)**

Caratteri idrologici T.Livo	
Area sottesa	47,25 km <sup>2</sup>
Portata di piena centenaria	243,0 mc/s
Quota max bacino	2520 m s.l.m.
Tempo di corrivazione	1,7 ore.

Le analisi idrologiche - idrauliche e morfologiche esistenti permettono di definire un quadro completo dell'asta del T. Livo che attraversa direttamente da N a S il comune di Domaso.

Come la maggior parte delle aste fluviali non presenta stazioni di rilevamento diretto delle portate; per questo la determinazione delle massime piene è stata condotta partendo dai valori di precipitazione ed utilizzando formule presenti in bibliografia.

Per quanto attiene alla morfologia del torrente si rimanda alla relazione idraulica.

**3.3 ANALISI DEL DISSESTO E MAGNITUDO**

Il programma di analisi prende atto di un antico processo evolutivo del conoide del T. Livo: il trasporto solido.

Il dissesto territoriale, che caratterizza il bacino del torrente, è anticamente noto. La parte alta del bacino presenta enormi placche moreniche e detritiche non colonizzate da vegetazione o solo parzialmente che risultano essere soggette a continua erosione.

Anche il restante corso si sviluppa in gran parte all'interno di un tronco di roccia, ma lungo i versanti caratterizzati dalla presenza di coltri terrigene s'instaurano piccole frane, canali e piccoli scoscendimenti che possono portare materiali all'interno dell'alveo.

Tale aspetto rappresenta il punto di partenza della verifica e delle possibili scelte programmatiche; particolare cura è volta alla dinamica "definibile principale" di maggior impatto, ovvero al potenziale riattivarsi di un processo di trasporto solido di massa lungo l'alveo.

Per quest'ultimo aspetto risulta importante una valutazione del possibile evento volumetrico di trasporto solido (magnitudo); per questa si fa riferimento ai dati forniti dalla Regione Lombardia e qui di seguito proposti, derivati dal sito SI.BCA.

**DATI DA SIBCA - BACINO TORRENTE LIVO chiuso all'apice del conoide (ponte ad arco)**

Nome bacino	P6	
Codice CT10	15720	
Portata Tr=50 anni	126,74	m3/s
Portata Tr=100 anni	139,11	m3/s
Portata Tr=200 anni	-	
Portata Iskowski	151,28	m3/s
M (Bottino)	62298,32	m3
M (D'Agostino)	156483,5	m3
M (Ceriani)	65648,68	m3
M (Bianco)	260264,4	m3
Coeff.afflusso	0,45118	
Indice di franosità	0,94863	
Densità di drenaggio (1/km)	4,16496	/km
Lunghezza totale idrografica	194,3319	km
Distanza massima reticolo coprente	14,32	km
Area planimetrica	46,6588	km2
Area effettiva	89,77598	km2
Rapporto aree	0,519725	
Indice Melton	0,33811	
Pendenza media bacino	0,71975	m/m
Altitudine massima bacino	2520,7	m s.l.m.
Altitudine minima bacino	211,1	m s.l.m.
Altitudine media bacino	1402,49	m s.l.m.

---

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido



### 3.4 MAGNITUDO: DEFINIZIONE

La magnitudo è intesa come il volume massimo rimobilizzabile nel bacino ed è stata definita secondo le formule empiriche esistenti in bibliografia.

In tali formule appaiono elementi quali l'area del bacino, le caratteristiche del conoide (lunghezza e pendenza del collettore) ed alcuni indici specifici.

Dal confronto dei risultati delle formule utilizzate nel report regionale o calcolate dalle ulteriori verifiche, contenute nel presente studio, si evince una notevole differenza con ordini di grandezza elevati.

Pertanto si è ritenuto opportuno scegliere un valore di magnitudo più prossimo a quello realmente stimabile date le caratteristiche del bacino in esame; il valore è confrontabile con i dati storici e con le valutazioni effettuate nel recente episodio.

Per il calcolo sono state utilizzate le seguenti formule:

Bottino, Crivellari & Mandrone (1996) propongono la seguente formula dall'interpretazione di sei valori di colata misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993. Il valore della magnitudo è dato da:

$$M = 21241 \times Ab^{0.28}$$

dove  $Ab$  è l'area del bacino.

Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000) hanno invece derivato la seguente formula:

$$M = 1000 \times K \times Ab \times Mb^{0.8} \times Scl\_c \times (I\_F)^{-2}$$

in cui:

$K = 5.4$  per fenomeni di debris flow

$Ab$  = Area del bacino

$Mb$  = Indice di Melton dato da  $H_{max} - H_{min} / Ab^{0.5}$

$H_{max}$  = Quota massima del bacino

$H_{min}$  = Quota minima del bacino

$Scl\_c$  = pendenza del collettore sul conoide

$I\_F$  = Indice di frana pari a 3 per frane piccole o assenti

D'Agostino et al. (1996) propongono le seguenti formule:

$$M1 = 39 \times Ab \times Scl^{1.5} \times (IG) \times (IT)^{-0.3}$$

$$M2 = 36 \times Ab \times Scl^{1.5} \times (IG) \times (1 + CS)^{-1}$$

dove:

---

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

Scl = Pendenza dell'asta principale

IG = dipende dai litotipi costituenti il bacino (4 per rocce metamorfiche e 5 per le coperture)

IT = Indice di trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky (1 per fenomeni di debris flow)

CS = Coefficiente di sistemazione (pari a 0 per bacini in area alpina privi di opere di sistemazione)

Per bacini con aree < 10 Km<sup>2</sup> Hampel nel 1977 propose la seguente formula:

$$M = 150 \times Sb \times (Sc - 3)^{2.3}$$

dove:

Sc = Pendenza del conoide

Sempre per aree < 10 Km<sup>2</sup> Marchi & Tecca nel 1996 hanno fornito la seguente relazione:

$$M = 10000 \times Ab$$

Per il calcolo della magnitudo Rickenmann & Zimmerman nel 1997 hanno introdotto, oltre la pendenza del conoide (Sc), anche la lunghezza del collettore sul conoide (Lcl) secondo la formula seguente:

$$M = (110 - 2.5 \times Sc) \times Lcl$$

Takei nel 1984 propose la seguente relazione:

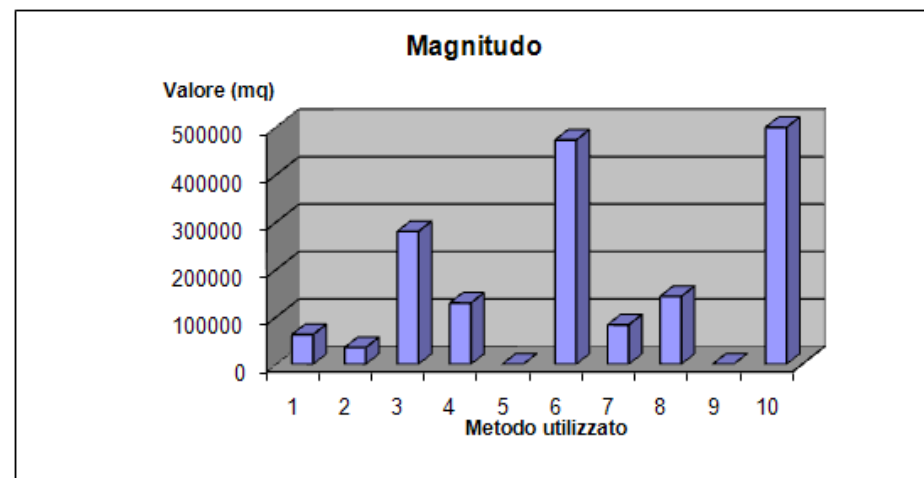
$$M = 13600 \times Ab^{0.61}$$

Mentre Tropeano & Turconi nel 1999 postularono la formula seguente valida per bacini di area minore ai 15 Km<sup>2</sup>:

$$M = (0.542 \times Ae + 0.0151) \times 0.019 \times h \times tg \theta$$

in cui h rappresenta lo spessore medio del materiale rimobilizzabile stimato pari a 1 m, mentre tg θ rappresenta la pendenza media del bacino.

PARAMETRI	COEFFICIENTE	VALORE	FORMULA	MAGNITUDO
Area Bacino (Kmq)	Ab	47,25	1 Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	<b>62518</b>
Tipo di fenomeni	K	3	2 Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	<b>35034</b>
Quota massima (Km)	Hmax (Km)	2.520	3 D'Agostino et al. (1996)	<b>279710</b>
Quota minima (Km)	Hmin (Km)	0,2	4 D'Agostino et al. (1996)	<b>129097</b>
Indice di Melton	Mb	0,33	5 Hampel (1977)*	-
pendenza collettore sul conoide (%)	Scl_c (%)	2,4	6 Marchi & Tecca (1996)*	<b>472500</b>
Indice di frana	I_F	2	7 Rickenmann & Zimmerman (1997)	<b>83000</b>
Indice di gruppo	I.G.	4,8	8 Takei (1984)	<b>142864</b>
pendenza asta principale (%)	Scl (%)	10	9 Tropeano & Turconi (1999)**	<b>68</b>
indice di trasporto (Aulitzky)	I.T.	1	10 Stima dei volumi (Scheuringer, 1998)	<b>499163</b>
coefficiente di sistemazione	C.S.	1		
lunghezza alveo sul conoide (m)	Lcl (m)	800		* per aree < 10 Kmq
pendenza del conoide (%)	Sc (%)	2,5		** per aree < 15 Kmq
spessore medio del materiale mobilizzabile	h (m)	2		
pendenza media del bacino	$\vartheta$	70	<b>VALORE MEDIO</b>	<b>367283</b>



Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

### **Commento critico**

Nelle tabelle allegate mediante l'utilizzo delle vigenti formule è definito il possibile valore di magnitudo.

Come si osserva, esiste un'estrema variabilità fra i risultati legati effettivamente a troppe incertezze.

Scartando i picchi massimi e minimi si evidenzia come un valore medio possa essere considerato < a 100.000 mc.

Tale valore non rappresenta certamente il volume che potenzialmente può essere repentinamente trasportato nel fondovalle, ma quello che può essere generato all'interno del bacino e giungere nel fondovalle anche in episodi successivi.

#### **3.4.1 Osservazioni sull'alveo**

A valle il materiale è trasportato sino alla confluenza nel Lago di Como in periodiche quantità (deposito con spessore medio dell'alluvione, di circa 1-1,5 m nel tratto terminale è oggetto di frequente svaso) o trasportato sul fondo del torrente.

Le opere di difesa idraulica e regimazione torrentizia sono presenti lungo tutto il conoide.

#### **3.4.2 Morfologia fluviale:**

Nell'area di conoide, i settori di potenziale pericolosità morfologica possono esser così suddivisi:

- Viabilità comunale, ovvero ponte in località sulla Strada Regina con una sezione di variabile altezza in relazione al riempimento di materiale nel tratto terminale.
- Tratto distale del conoide sino a lago

Le verifiche idrauliche confermano comunque, nelle attuali condizioni morfometriche, la validità della sezione di deflusso anche con trasporto solido.

## **4 ANALISI DEL FENOMENO DI DEBRIS FLOW**

### **4.1 INTRODUZIONE**

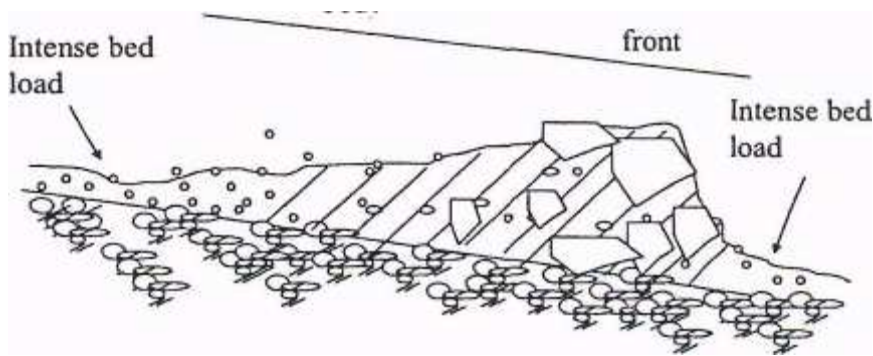
I flussi di detrito e, più in generale, i pericoli legati all'attività di torrenti alpini rappresentano per gli insediamenti e le vie di comunicazione un ingente pericolo, il quale può essere tuttavia sensibilmente ridotto attraverso un'attenta attività pianificatoria e la determinazione delle zone di pericolo. L'influenza e l'adeguatezza di un'opera idraulica, già esistente o in progetto, sulla situazione di pericolosità del conoide può essere valutata, oltre che direttamente durante un evento, attraverso un modello matematico; esso consente infatti di simulare la realtà sotto diversi scenari (per es. inserendo nel codice di calcolo arginature o camere di raccolta lungo l'asta torrentizia) e valutare così l'alternativa più adatta in quella particolare circostanza.

Ai fini di stabilire misure di prevenzione rispetto al pericolo di colate detritiche, in particolare per determinare in quali zone è opportuno porre divieti all'edificazione e all'installazione di strutture o impianti associati a presenza antropica, risulta di estrema importanza la delimitazione, anche laddove non ci si può basare su eventi pregressi, delle zone che potrebbero essere soggette a tali fenomeni. L'intensità del fenomeno può essere espresso con una delle seguenti grandezze:

- altezza di deposizione del materiale,
- altezza di deflusso dell'acqua,
- velocità di scorrimento,
- pressioni esercitate sui manufatti.

### **4.2 CARATTERISTICHE DELLE COLATE IN MOVIMENTO.**

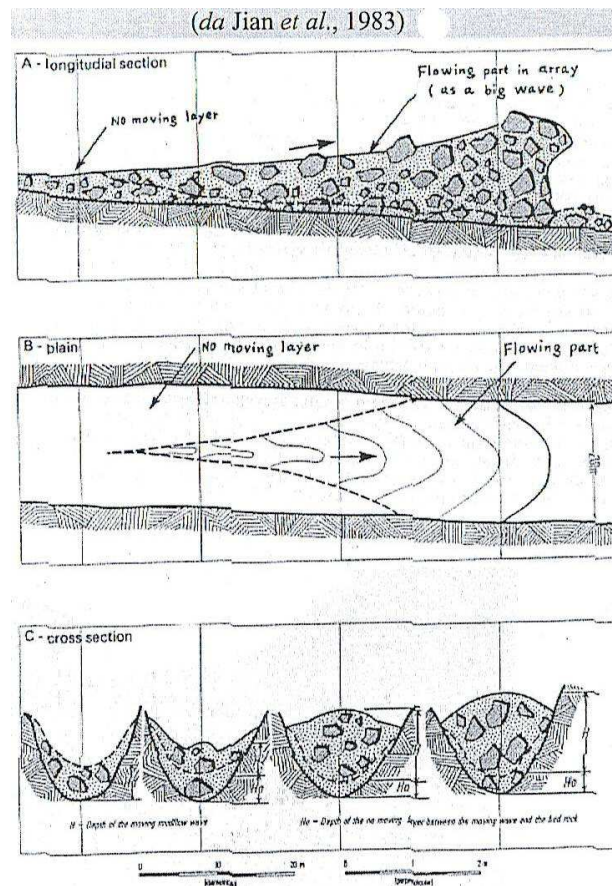
Le osservazioni di campo permettono di tracciare un quadro delle principali caratteristiche delle colate detritiche in movimento soprattutto per quanto riguarda gli eventi che hanno avuto origine dalla mobilitazione di un materasso di sedimenti a seguito di intense precipitazioni. Una caratteristica comune osservata in tali eventi riguarda la capacità erosiva delle colate, particolarmente elevata nella fase di innesco e sviluppo durante la quale il fronte aumenta di spessore inglobando materiale di grandi dimensioni (ed eventualmente tronchi d'albero), ma assai ridotta nella successiva fase di propagazione lungo i torrenti dove la colata può arrivare ad assumere un assetto quasi uniforme ed è normalmente caratterizzata da un fronte anteriore dove sono concentrati i sedimenti di maggiori dimensioni e da una parte posteriore di matrice più fine.



Schema di colata in movimento

La presenza di materiale di grandi dimensioni nel fronte è la causa della notevole forza di impatto esercitata dalle colate sugli ostacoli e sulle strutture di intercettazione localizzate lungo i torrenti. Le caratteristiche dei debris-flow in movimento dipendono dalla natura dell'evento: forma, concentrazione e velocità delle colate risultando assai differenti se è prevalente il materiale di grandi dimensioni (stony debris-flow) o se la componente fine è predominante (mud-flow). A puro scopo sistematico è utile far riferimento a queste due situazioni limite anche se, durante gli eventi osservati, spesso si è potuto riscontrare la presenza di caratteristiche comuni ad entrambe le tipologie tanto da renderne difficile la classificazione.

Infatti, la distribuzione granulometrica presente in una colata di detriti è in genere assai ampia variando da particelle di argilla fino a massi di dimensioni di qualche metro. Praticamente il materiale trasportato conserva complessivamente la stessa distribuzione granulometrica che caratterizza i depositi di sedimenti disponibili alla mobilitazione nella zona di formazione delle colate e il materiale che deriva da concomitanti eventi franosi pur se nelle prime fasi dello sviluppo si verificano importanti fenomeni erosivi del fondo noti come "aratura del fondo alveo" che arricchiscono ulteriormente la colata di materiale solido.



La tipologia delle correnti può anche essere ricercata in relazione ai valori della concentrazione dei solidi  $C$  (concentrazione volumetrica) e del rapporto tra la profondità  $h_0$  della corrente e il diametro significativo  $d$  dei granuli come riportato nella tabella che segue.

Tipologie di correnti	Concentrazione Volumetrica	$h_0/d < 30$	$h_0/d > 30$
Ordinary flows	$C < 0.02$	Trasporto di fondo e in sospensione (nel corpo della corrente)	
Immature debris-flow	$0.02 < C < 0.2$	Trasporto intenso di fondo e sospensione (nella zona superiore della corrente)	
Mature debris-flow	$0.2 < C < 0.55$	Colata pietrosa (stony debris-flow)	Colata fangosa turbolenta (mud-flood)
	$C > 0.55$	Colata detritica macroviscosa (mud-flow)	

Durante lo scorrimento si verificano importanti fenomeni di selezione granulometrica, originata dalle azioni dispersive associate alle collisioni intergranulari e da altri fattori quali ad esempio la percolazione dei fini attraverso la matrice grossolana che modificano localmente la distribuzione granulometrica. La presenza di tali fenomeni può determinare nell'ambito della stessa corrente defluente tipologie di trasporto comprese fra i due limiti di stony e di mud flow.

Difatti una corrente solido-liquida muove con modalità differenti al variare di numerosi fattori tra i quali i principali sono: la concentrazione e la composizione granulometrica del sedimento, la densità e il grado di addensamento del miscuglio, la pendenza e la morfologia dell'alveo su cui scorre la corrente.

Takahashi (1991 e 1999) individua vari regimi di moto distinguendo innanzitutto fra colate detritiche viscosi e colate detritiche inerziali, queste ultime ulteriormente suddivise in colate pietrose, immature, fangose e ibride.

Il caso esaminato risulta essere colata pietrosa (stony debris-flow), segue una breve descrizione.

Nello stony debris-flow (corrente detritica matura - pietrosa) il sedimento risulta distribuito nell'intera profondità della corrente. A causa della grande concentrazione del sedimento (indicativamente almeno il 20%), che consente frequenti contatti fra le particelle solide, gli sforzi interni alla corrente originati dagli urti e dagli sfregamenti tra le particelle sono capaci di mantenere sospesi i granuli solidi fino alla superficie libera. La turbolenza del miscuglio acqua-solido è modesta e nel suo complesso il moto si avvicina al regime laminare. Invece, la

---

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

turbolenza del fluido contenuto negli interstizi della matrice solida pur essendo limitata dall'esiguo spazio disponibile, pari all'incirca alla distanza media fra i granuli, e a volte sufficiente a tenere sospese le particelle di granulometria più fine che in questo modo tendono a seguire il medesimo movimento dell'acqua. Essendo lo sforzo tangenziale principalmente dovuto ai contatti fra i granuli, la viscosità apparente del miscuglio risulta essere molto elevata.

#### **4.2.1 Geomorfologia dei debris flow**

I debris flow o colate detritiche possono essere definiti come movimenti di massa di origine gravitativa con caratteristiche intermedie tra scivolamenti superficiali e processi di piena idraulica veri e propri, con caratteristiche meccaniche differenti da entrambi i processi citati.

Una colata detritica è costituita da una miscela di acqua e componente solida avente granulometria eterogenea che spazia dalle argille ai blocchi di diametro fino a un metro. La percentuale della frazione solida deve essere sufficientemente grande ( $> 10\%$  per i flussi immaturi e del  $30\%$  per i flussi veri e propri) in modo da fornire a questo moto caratteristiche diverse da quello puramente idraulico, ma inferiore a un valore limite ( $= 70\%$ ) per disperdere la frazione solida su tutta l'altezza d'acqua in modo da preservare le caratteristiche fluide del moto (che gli consentono di muoversi anche su pendenze intorno ai  $5^\circ$ ) e non ricadere negli scivolamenti superficiali. Il moto, caratterizzato da velocità di qualche metro al secondo, ha una natura di tipo pulsante legata all'eterogeneità della miscela, ma nei modelli di calcolo, per ragioni di semplicità, viene solitamente simulato solo il comportamento medio (Chen, 1987).

Una volta innescati il volume coinvolto in questi flussi può risultare nettamente superiore (fino a 10 volte) a quello prevedibile per una piena ordinaria e la composizione della miscela, che può includere blocchi di elevate dimensioni, fa sì che il loro potere distruttivo sia molto elevato e difficile da prevenire attraverso le opere di premunizione approntate per le piene ordinarie. Risulta pertanto utile caratterizzare la dinamica dei flussi di detrito in modo da dimensionare correttamente le strutture e stabilire le zone soggette a tale rischio.

La descrizione quantitativa del fenomeno è stata effettuata in maniera organica solo recentemente ed è soggetta ad un notevole grado di incertezza, essenzialmente per due ragioni:

- a) i processi fisici coinvolti nel fenomeno sono assai complessi;
- b) è rarissima la possibilità di osservare su campo un evento reale (al contrario delle piene idrauliche che possono essere registrate tramite limnografi).



#### 4.2.2 Origine e tipi delle colate di detrito

Le colate di detrito si originano dalla mobilizzazione di materiale sciolto (roccioso e suolo) su versanti ripidi o sul letto di un corso d'acqua dovuta essenzialmente alla presenza di acqua. Condizione preliminare per la gran parte delle colate di detrito descritte in letteratura è la presenza di un'abbondante quantità di materiale, accanto a pendenze dei versanti significative, condizioni di umidità elevate ed intermittenti, e a scarsità o assenza completa di vegetazione.

La sorgente più comune di umidità è ovviamente rappresentata da precipitazioni intense e da repentini scioglimenti nivali, per lo meno alle nostre latitudini. Precipitazioni sufficientemente intense saturano i depositi superficiali solitamente assai permeabili. Questo fenomeno accresce la pressione d'acqua nei pori e, parallelamente, la possibilità di collasso del versante o di parte di esso.

La tabella che segue mette in relazione la pendenza e il comportamento delle colate dalla formazione alla deposizione.

PENDENZA DEL FONDO (%)	COMPORTAMENTO DELLA COLATA
36 %	Formazione
27% - 36%	Formazione e movimento
18% - 27%	Rallentamento (movimento)
5% - 18%	Arresto o decelerazione del fronte
5%	Deposizione

#### 4.2.3 Meccanismi di innesco

Gran parte delle colate di detrito ha origine come:

- cedimento di un versante laterale su pendenze dell'ordine di 20-25 gradi dovuto ad un rapido afflusso di un'ingente quantità di acqua.
- all'inizio di strette vallette incise (piccoli bacini di ordine zero o uno).

L'esatto meccanismo di trasformazione da scivolamenti a colate di detrito rimane ancora, almeno in parte, incerto. Tra le ipotesi di spiegazione più accettate vi sono quelle della cosiddetta *dilatancy* e incorporazione di ulteriore acqua oppure tramite un processo di liquefazione. La letteratura al riguardo (Costa, 1984, Chen 1987) è abbastanza univoca nell'indicare 3 tipologie di innesco:

- **Saturazione:** Quando una fetta o blocco di terreno solidale viene saturato ad un livello superiore ad una possibile superficie di rottura, la pressione nei pori del terreno aumenta

---

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

e parallelamente le forze di taglio diminuiscono. Il terreno sovrastante può eventualmente anche non essere saturo. La pressione nel suolo cresce se il tasso di percolazione in profondità risulta inferiore al tasso di infiltrazione della precipitazione o della neve fusa dalla superficie. Il cedimento di una massa di detriti in condizione di alta pressione interstiziale e diminuiti gli sforzi tangenziali può causare nelle particelle di suolo una perdita repentina di coesione che permette un riarrangiamento della matrice del suolo. Questo determina il passaggio per liquefazione spontanea da una forma rigida ad un fluido viscoso capace di muoversi.

- **Dilatancy:** La trasformazione di una massa solida e rigida in un fluido viscoso può anche avvenire tramite la cosiddetta *dilatancy*, cioè un aumento del volume di una porzione di suolo che può accompagnare la deformazione susseguente ad un cedimento di versante. Avviene un passaggio da una struttura chiusa ad un'aperta, accompagnato da un incremento del volume dei pori. Con l'incorporazione di ulteriore acqua la massa solida si trasforma in liquido viscoso in movimento.
- **Mobilizzazione di detriti nel letto:** I depositi nel letto possono venire mobilizzati dal deflusso e fornire perciò materiale abbondante per colate di detrito. Il materiale detritico in alveo può spesso accumularsi ai piedi di una piccola frana di un versante laterale raggiungendo anche altezze significative. Quando il deflusso di piena incontra questa "diga di detrito" può infiltrarsi in esso, mobilizzare i sedimenti e proseguire con le caratteristiche tipiche di una colata di detrito. Questo processo è stato più volte osservato in diverse regioni alpine.

#### **4.2.4 Dinamica dei flussi di detrito**

Nonostante la difficoltà di osservare "in presa diretta" le colate di detrito, si è accresciuta negli ultimi tempi la letteratura in merito, grazie anche all'installazione di telecamere e di sistemi di rilevamento a distanza (Arattano et al. 1999).

Solitamente le colate di detrito seguono vie di drenaggio predefinite, ma non è escluso che esse si muovano verso il basso e attraversino coni di deiezione in ogni direzione nel caso non esistano particolari ostacoli. Infatti, essi tendono a formare per proprio conto canali e argini ai confini laterali del flusso stesso. Esse si muovono per ondate successive, originate da temporanee formazioni di dighe di detrito nel canale stesso. Il fronte di queste colate è spesso più alto della colata che segue e i blocchi di maggiori dimensioni vengono trasportati in questa parte della colata. Queste ondate sono seguite da una parte più ricca in acqua, turbolenta e

ricca di materiale in sospensione, con pochi blocchi di grosse dimensioni. (cfr. p.es. Pierson, 1980).

La velocità di una colata può variare sensibilmente in funzione delle caratteristiche del materiale (granulometria, concentrazione e sorting) e in funzione della geometria del canale (forma, pendenza e sinuosità). Sono state osservate velocità da 0,5 m/s fino a 20 m/s. I risultati di analisi su diverse colate di detrito hanno indicato come la porzione di materiale limo-argilloso sia solitamente limitata (10-20%). Sono state calcolate viscosità newtoniane superiori a  $8 \cdot 10^3$  poises, da confrontarsi con la viscosità dell'acqua pura a 20°C, pari 0.01 poise.

La densità della colata può variare sensibilmente da caso a caso e risulta anche dipendente dal metodo di campionamento stesso.

Essa può variare da  $1,40 \text{ g/cm}^3$  a  $2,5 \text{ g/cm}^3$  per colate relativamente asciutte (Costa, 1984). Colate con densità inferiori a  $1,8 \text{ g/cm}^3$  possono probabilmente essere classificate come flussi di sedimenti iperconcentrati e non vere e proprie colate di detrito.

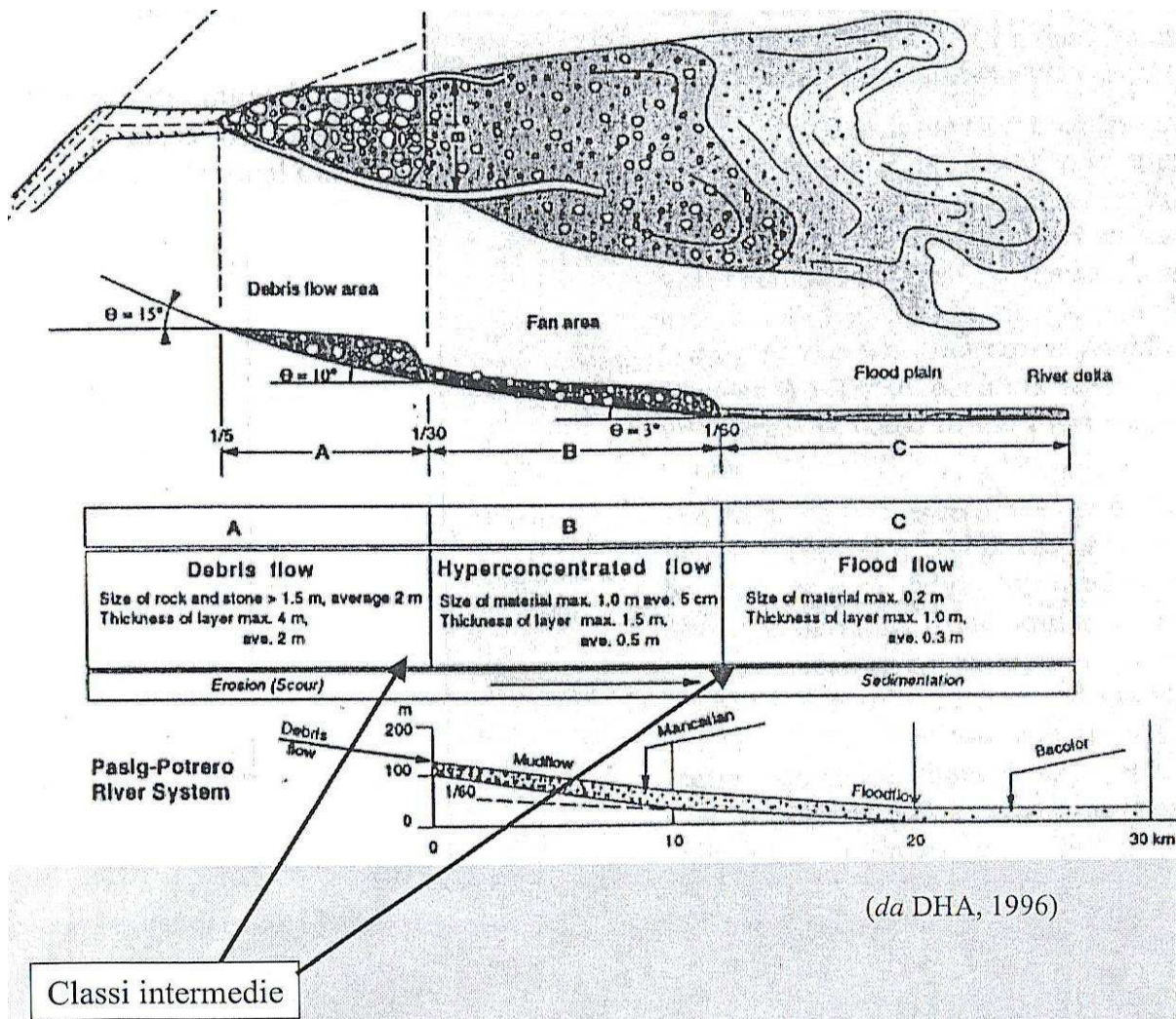
La concentrazione in volume può variare da 25 a 85% e la frazione in peso della parte solida da 35 a 90 %. Il contenuto in acqua varia fra il 10 e il 30% in peso.

Le colate di detrito possono essere altamente erosive durante il loro moto attraverso canali in forte pendenza.

Durante il passaggio di una colata di detrito la densità può risultare anche il doppio di quella di una piena con sola acqua e l'altezza del fronte durante un'ondata e anch'essa superiore a un flusso idrico anche se carico di sedimenti. Sono state osservate altezze del fronte pari a 1 metro seguite da trasporto solido con altezze dell'ordine di 30 centimetri (Pierson, 1980). Con questi dati si ottengono sforzi di taglio sei volte superiori a quelli prodotti da un normale evento di piena.

Un'ulteriore interessante caratteristica delle colate di detrito è la loro capacità di muoversi anche su pendenze relativamente basse. Tale mobilità dipende fortemente dal contenuto in argilla della miscela. Essa riduce la permeabilità ed induce un aumento della pressione nei pori che aumenta così la mobilità dell'ammasso.

#### 4.2.5 Deposizione delle colate di detrito



Le colate di detrito, come ogni fluido viscoso, tendono ad arrestarsi una volta raggiunta una pendenza relativamente bassa. L'esatto meccanismo di arresto e deposizione è a tutt'oggi poco noto. La possibilità di espandersi lateralmente su un conoide determina una diminuzione dello spessore del flusso che può risultare inferiore allo spessore limite sotto il quale nessun moto è possibile. Alcune colate detritiche si estendono su tutta la superficie del conoide pressappoco parallelamente alla vecchia topografia del conoide. L'estensione areale è controllata dal volume totale mobilizzato, dalla forza del flusso e dalla pendenza del conoide. Le colate si arrestano anche quando la frazione fluida esce dai pori, determinando un repentino incremento della coesione interna.

Takahashi (1981) ha determinato sperimentalmente come l'angolo di stabilità per avviare la deposizione di una colata risulta essere in funzione della concentrazione granulare in volume nel deposito, della densità del fluido, della frazione solida, della granulometria, dell'altezza del flusso e dell'angolo di attrito interno.

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

### 4.3 I PROCESSI FISICI COINVOLTI

La modellizzazione matematica delle colate di detrito (stony debris flow) può essere fatta risalire ai primi approcci proposti in Giappone (Takahashi, 1991), facendo uso di un approccio dilatante; mentre per i cosiddetti mudflows (a granulometria più fine) si è spesso adottato il modello reologico di Bingham.

Dal punto di vista teorico la formulazione matematica utilizzata per descrivere i flussi di detrito presenta diverse analogie con quella delle valanghe, sebbene questa sia complessivamente meno complessa (Hutter et al., 1996).

Lo stesso Hutter sottolinea e classifica i diversi approcci finora seguiti, evidenziandone punti di forza e limiti ed esplicitando le ipotesi fisiche alla base dei differenti modelli (spesso celate) e definendone conseguentemente il campo di validità e di applicabilità.

In termini generali le colate di detrito, assimilate a materiali granulari, presentano particolari caratteristiche che dovrebbero essere incluse in ogni modello matematico sviluppato per simularne la dinamica. Tali proprietà possono essere così elencate:

- **Dilatancy:** tale proprietà, riconosciuta già da Reynolds nel 1889, illustra la presenza nel materiale di pressioni dispersive che si sviluppano se le singole particelle interagiscono fra di loro. Se tale fenomeno è predominante il regime di moto viene definito granulare-inerziale (Bagnold, 1954); se le interazioni sono trascurabili si ha una modifica delle proprietà viscosive del fluido interstiziale e il regime di moto viene definito macro-viscoso e la risposta costitutiva è essenzialmente di tipo newtoniano.
- **Angolo di attrito interno e coesione:** le colate di detrito presentano un comportamento sia solido sia liquido. Nelle condizioni di sforzi osservati il comportamento costitutivo presenta sia aspetti plastici sia aspetti viscosi. L'esperienza indica che il suolo in presenza di sollecitazioni quasi statiche presenta un comportamento plastico, rapidi sforzi di taglio inducono invece un comportamento di tipo viscoso.
- **Fluidizzazione:** occasionalmente grandi masse di rocce, terreno o neve scivolano come fluidi su una superficie di inclinazione inferiore all'angolo di attrito interno del materiale. Durante questi movimenti il materiale granulare si comporta come un fluido non newtoniano, dovuto principalmente al fatto che l'elevate deformazioni di taglio inducono alte pressioni dispersive riducendo così la viscosità effettiva.

- **Particle segregation:** il fenomeno per cui, in una colata detritica, materiali di diverse dimensioni vengono ridistribuiti durante il moto e materiali di simili dimensioni tendono a raggrupparsi insieme.
- **Inverse grading:** in particolare si è osservato che i materiali più grossolani tendono a muoversi verso la superficie mentre le granulometrie più fini tendono ad andare verso il basso. Attualmente nessun modello esistente è in grado di tener conto di tale fenomeno. La fotografia riportata evidenzia quanto precedentemente descritto: si tratta del fenomeno di debris flow avvenuto nell'agosto 2003 nel T. Schiesone.



In funzione delle ipotesi semplificative assunte è possibile classificare i modelli esistenti in diverse categorie come proposto da Hutter et al. (1996).

Una delle semplificazioni possibili, per un regime di moto in flusso canalizzato, può essere ottenuta tramite la cosiddetta approssimazione dello strato sottile.

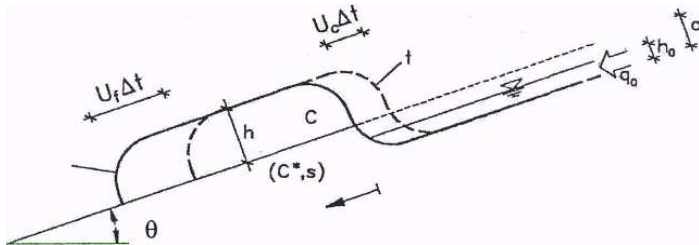
Tramite questa approssimazione, insieme a due ulteriori ipotesi, si ottiene il modello proposto da Takahashi. L'approssimazione di moto su strato sottile può facilmente venire estesa ad un moto bidimensionale su conoide.

Il modello sviluppato da Takahashi (1991) descrive la colata tramite un'ipotesi di moto bidimensionale in condizioni di materiale saturo e completamente miscelato. Tale modello considera le equazioni di bilancio di massa e di quantità di moto per i due componenti acqua e materiale solido in maniera distinta.

Una difficoltà generale e ben nota per l'implementazione numerica dei modelli di flusso di detrito consiste nella specificazione delle condizioni iniziali e al contorno in quanto i flussi di detrito sono caratterizzati da contorni liberi e la regione interessata risulta variabile con il tempo. L'uso di coordinate euleriane ha spesso palesato limiti dovuti ad instabilità numerica del codice di calcolo, mentre l'approccio lagrangiano sembra condurre a schemi numerici più stabili.

### 4.3.1 Valutazione della portata della colata

Se si ipotizza che, dopo la fase iniziale di innesco, il fronte della colata raggiunga un profilo quasi stazionario è possibile fare alcune valutazioni sui rapporti tra la portata della fase liquida e quella della fase solida. Si supponga che  $U_f$  sia la velocità del fronte e che la coda avanzi verso valle con velocità uniforme  $U_c$  minore di  $U_f$ , in altre parole che il profilo della colata si allunghi, senza peraltro alzarsi. Sia inoltre  $h$  l'altezza del fronte, mentre  $a$  sia la profondità dello scavo prodotto dal passaggio della coda e si supponga che anche  $a$  rimanga costante durante il processo. L'alimentazione liquida da monte dà luogo ad una velocità  $U_0$  ed un tirante  $h_0$  e quindi ad una portata per unità di larghezza  $q_0 = U_0 h_0$ . Sia inoltre  $C$  la concentrazione di volume della fase solida nel corpo della colata, mentre  $C^*$  sia la concentrazione di volume del materiale in quiete al di sotto della colata ed  $s$  sia il grado di saturazione dei pori sempre al di sotto della colata.



Schema di propagazione quasi uniforme del fronte della colata.(da Armanini)

Dal bilancio di massa della fase liquida, si ottiene:

$$U_0 h_0 = U_f (1-C) h - U_c (1-C) h - U_0 (1-C^*) s a + U_c h_0$$

mentre dal bilancio di massa della fase solida si ha:

$$U_f C h = U_c C h - U_c C^* a$$

Eliminando  $U_c$  dalle (7.19) e (7.20), si ottiene:

$$U_f h = U_0 h_0 \frac{C^*}{C^* - (s + (1-s)C^*)C + \frac{h_0}{a} C \left(1 - \frac{U_0}{U_f}\right)}$$

Si evince che la velocità del fronte è maggiore di quella della coda e che quindi la colata stessa tende ad allungarsi procedendo verso valle.

Tenendo conto che in genere al passaggio della colata il materiale dell'alveo è completamente saturo, questo implica  $s = 1$ , si può ricavare

$$U_f h = U_0 h_0 \frac{C^*}{C^* - C + \frac{h_0}{a} C \left(1 - \frac{U_0}{U_f}\right)}$$

che rappresenta la relazione tra la portata della colata e quella liquida in arrivo.

---

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

### 4.3.2 Portata di picco di una colata

Supponendo che la velocità di avanzamento del fronte sia praticamente uguale a quella dell'acqua in arrivo si ricava:

$$Q_{df} = Q_o \frac{C^*}{C^* - C}$$

dove C è la concentrazione di volume della fase solida e C\* è la concentrazione solida di massimo impaccamento.

$Q_{df}$  è la portata di picco della colata e  $Q_o$  la portata liquida di picco calcolabile con i metodi usuali dell'idrologia.

Come precedentemente osservato si può assumere per gli ammassi naturali  $C^* = 0.65$ , mentre la concentrazione della colata, secondo Takahashi, può essere calcolata assumendo che per pendenze sufficientemente elevate ( $i > 20\%$ ) sia pari al 90% della concentrazione massima:

$$i > 20\% \implies C = 0.9C^*$$

Con tali posizioni si ottiene:

$$Q_{df} = 10Q_o$$

Nel caso di pendenze minori, la concentrazione della colata viene assunta pari a quella della colata satura in condizioni di movimento incipiente:

$$\text{se } i < 20\% \implies C = \tan G / A (\tan \alpha - \tan G)$$

In pratica si ha che la concentrazione della colata è compresa tra i seguenti limiti:

$$0.3 < C/C^* < 0.9$$

da cui consegue

$$1.43Q_o < Q_{df} < 10Q_o$$

$Q_{df}$  : la portata di picco della colata

$Q_o$  : la portata liquida di picco.

Considerata la portata liquida di  $243 \text{ m}^3/\text{s}$  (calcolo tecnico maggiore del riferimento SIBCA-Regione Lombardia) e l'ambito di applicazione (zona di conoide con pendenza  $< 5\%$ ), la portata di picco della colata per il T. Livo ha un valore definibile in  $1.4 \times Q_o \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tali valori trovano riscontro con i valori calcolati secondo la formula di Rickenmann (vedi tabella nella pagina successiva).



### 4.3.3 Osservazioni di campo e relazioni empiriche

Per quanto riguarda la disponibilità di relazioni empiriche, riportiamo quelle ricavate da Rickenmann (1997) per il fatto che sono state dedotte utilizzando i parametri delle colate osservate sul territorio svizzero, che sviluppandosi sull'arco alpino può far assistere a tipologie di colate prossime a quelle che possono verificarsi nel territorio in esame.

L'autore calcola il valore della portata massima della colata ( $Q_{max}$ ) mediante la seguente relazione:

$$Q_{max} = 0.135 Gs^{0.78}$$

Gs: volume solido ipotizzato alla partenza.

#### Analisi dei risultati – valle T.Livo

Per le portate di massima colata si è utilizzato la formula di Rickenmann e i risultati ottenuti sono stati raffrontati con i rapporti di componente solida e liquida secondo Takahashi riportati nel paragrafo precedente che, come precedentemente scritto, trovano un ottimo riscontro.

#### FORMULA DI RICKENMANN $Q_{max} = 0.135 Gs^{0.78}$

Coefficiente	Gs m <sup>3</sup>	Potenza		$Q_{max}$ m <sup>3</sup> /s
0,135	<b>3000</b>	0,78	515,41	69,58062848
0,135	<b>4000</b>	0,78	645,07	87,08443966
0,135	<b>5000</b>	0,78	767,71	103,6407082
0,135	<b>6000</b>	0,78	885,03	119,4790453
0,135	<b>7000</b>	0,78	998,11	134,7442495
0,135	<b>8000</b>	0,78	1107,7	149,5353799
0,135	<b>9000</b>	0,78	1214,3	163,9241445
0,135	<b>10000</b>	0,78	1318,3	177,9646597
0,135	<b>11000</b>	0,78	1420	191,6990951
0,135	<b>12000</b>	0,78	1519,7	205,1611574
0,135	<b>13000</b>	0,78	1617,6	218,3783515
0,135	<b>14000</b>	0,78	1713,9	231,3735107
0,135	<b>15000</b>	0,78	1808,6	244,1658662
0,135	<b>16000</b>	0,78	1902	256,7718174
0,135	<b>17000</b>	0,78	1994,1	269,2054992
0,135	<b>18000</b>	0,78	2085	281,4792094
0,135	<b>19000</b>	0,78	2174,8	293,6037358
0,135	<b>20000</b>	0,78	2263,6	305,5886115
0,135	<b>21000</b>	0,78	2351,4	317,4423155
0,135	<b>22000</b>	0,78	2438,3	329,1724346
0,135	<b>23000</b>	0,78	2524,3	340,7857925
0,135	<b>24000</b>	0,78	2609,5	352,2885573
0,135	<b>25000</b>	0,78	2694	363,6863282

Riperimetrazione della pericolosità del conoide del torrente Livo in Comune di Domaso (Co)

Valutazione del trasporto solido

#### 4.3.4 Determinazione della portata solida nella dinamica torrentizia

Le tabelle che seguono analizzano la portata solida in condizioni di saturazione della corrente ovvero della capacità di trasporto e del campo delle pendenze d'alveo nel quale sono applicabili. Per una certa utilità pratica si sono utilizzate le formule degli autori semplificate.

Autore	Formule semplificate	Valori approssimati			
		if = 5%		if = 10%	
		q <sub>s</sub>	C = q <sub>s</sub> /(q <sub>s</sub> +q)	q <sub>s</sub>	C = q <sub>s</sub> /(q <sub>s</sub> +q)
Schoklitsch (1934)	$q_s = 0.94 q i_f^{1.5}$	$q_s = 0.011q$	0.011	$q_s = 0.030 q$	0.029
Smart & Jaegge (1984)	$q_s = 2.55 q i_f^{1.6}$	$q_s = 0.006 q$	0.021	$q_s = 0.065 q$	0.061
Richenmann (1990)	$q_s = 5.83 q i_f^2$	$q_s = 0.146 q$	0.015	$q_s = 0.058 q$	0.055
Mizuyama e Shimohigashi (1985) (*)	$q_s = 8.36 q i_f^2$ (*)	$q_s = 0.021 q$	0.021	$q_s = 0.084 q$	0.077
Mizuyama (1991)	$q_s = 5.50 q i_f^2$	$q_s = 0.014 q$	0.014	$q_s = 0.055 q$	0.052

(\*) ( per A = 20 e A = 25 con  $\Delta = 1.65$  è rispettivamente  $A/\Delta^2 = 7.35$  e  $A/\Delta^2 = 9.18$  con valor medio 8.36)

Autore	Formule semplificate	Valori approssimati			
		if = 15%		if = 20%	
		q <sub>s</sub>	C = q <sub>s</sub> /(q <sub>s</sub> +q)	q <sub>s</sub>	C = q <sub>s</sub> /(q <sub>s</sub> +q)
Schoklitsch (1934)	$q_s = 0.94 q i_f^{1.5}$	$q_s = 0.055q$	0.052	$q_s = 0.084q$	0.08
Smart & Jaegge (1984)	$q_s = 2.55 q i_f^{1.6}$	$q_s = 0.123 q$	0.11	$q_s = 0.194 q$	0.16
Richenmann (1990)	$q_s = 5.83 q i_f^2$	$q_s = 0.131 q$	0.12	$q_s = 0.233 q$	0.19
Mizuyama e Shimohigashi (1985)	$q_s = 8.36 q i_f^2$ (*)	$q_s = 0.188 q$	0.16	$q_s = 0.334 q$	0.25
Mizuyama (1991)	$q_s = 5.50 q i_f^2$	$q_s = 0.124 q$	0.11	$q_s = 0.220 q$	0.18

(\*) ( per A = 20 e A = 25 con  $\Delta = 1.65$  è rispettivamente  $A/\Delta^2 = 7.35$  e  $A/\Delta^2 = 9.18$  con valor medio 8.36)

Adottando queste formule per il caso in esame e considerando una pendenza media per il tratto analizzato inferiore al 5% si ottiene una portata solida nella dinamica torrentizia pari a 35,5 m<sup>3</sup>/s.

Considerando un possibile trasporto solido di fondo mediante ulteriori metodologie, si ottiene una portata solida massima nella dinamica torrentizia di fondo paria a 74 m<sup>3</sup>/s.

**TORRENTE LIVO****Bacino:****Corso d'acqua:****Oggetto:****Verifica:****Condizioni di verifica:****TORRENTE LIVO**

Conoide

Analisi trasporto

sezione attuale

Trasporto di fondo zona conoide

valutazione della portata  
solida di fondo attraverso l'applicazione della  
formula di DU BOYS (1879) e SHIELDS (1936)

	<b><i>DU BOYS (1879)</i></b>	<b><i>SHIELDS (1936)</i></b>	
<b>PARAMETRI DI INGRESSO</b>			
Diametro medio delle particelle $d_m$ (m)	0,35	Velocità	
Larghezza del fondo alveo L (m)	24	media (m sec <sup>-1</sup> )	5,0
Raggio idraulico r (m)	1,80		
Pendenza i	0,06		
Peso specifico del materiale di fondo alveo $\gamma$ (T m <sup>-3</sup> )	2,50		
<b>PARAMETRI DI USCITA</b>			
Sforzo di trascinamento a fondo alveo $\tau_0$ (Pa; kg <sub>p</sub> m <sup>-2</sup> )	1059,48	105,948	
Velocità sul fondo alveo $V_f$ (m sec <sup>-1</sup> )	1,019		
Sforzo di trascinamento limite del materiale $\tau_{cr}$ (Pa; kg <sub>p</sub> m <sup>-2</sup> )	309,02	30,902	
Coefficiente $C_s$	0,0000		
<b>Portata solida specifica <math>q_{ts}</math> (m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>)</b>	2,97	(kg <sub>p</sub> sec <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> )	757,24
<b>Portata solida <math>Q_{ts}</math> (m<sup>3</sup> sec<sup>-1</sup>)</b>	71,32	(m <sup>3</sup> sec <sup>-1</sup> )	7,27

## **5 CENSIMENTO E VALUTAZIONE IN TERMINI DI EFFICACIA E DI EFFICIENZA DELLE OPERE IDRAULICHE LUNGO L'ASTA TORRENTIZIA**

Tutto il tratto terminale del conoide è caratterizzato da difese longitudinali (argini) e da opere trasversali (soglie e briglie)

Le verifiche idrauliche effettuate in tale ambito (rilievo topografico di terreno) confermano la verifica delle sezioni nelle condizioni di analisi (vedi allegato idraulico).

Colico, settembre 2009

### I tecnici incaricati

Dott. Geol.

Cristian Adamoli

Dott. Geol.

Claudio Depoli

Collaborazione.

Dott.ssa Pozzi Valentina