



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**TESAF**

Dipartimento Territorio  
e Sistemi Agro-Forestali  
Università di Padova



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

29 Aprile 2022

Carlo Gregoretto

Corso di Analisi di stabilità di  
versante e modellazione

Modellazione innesco ed idrogramma  
solido-liquido

# L'innesco di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 1

Colata del 12/6/1997 ad Acquabona (km 98 SS51, Cortina d'Ampezzo)



# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 2

Colata del 12/6/1997 ad Acquabona (km 98 SS51, Cortina d'Ampezzo)



# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 3

Le colate, usualmente, si innescano nei canali che incidono i ghiaioni od i versanti dove si ha la convergenza dei deflussi superficiali.

Questo può avvenire sia alla testata dei canali che in una posizione più a valle.

Condizioni necessarie per l'innescò di una colata sono la presenza di una zona di convergenza dei deflussi superficiali, perché questi devono essere abbondanti per mobilizzare le quantità di detrito necessaria, per formare una corrente solido-liquida, ed una pendenza elevata (> 25%). Condizione sufficiente la presenza di materiale erodibile.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 4



Le principali forme geomorfiche dove avviene l'innescò di colate detritiche: canali incisi sul ghiaione/versante (1) al piede dei canali che segnano le pareti rocciose, (2) tra due pareti rocciose, (3) al piede di zone di dissesto di versante

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 5

Testata dei canali - 1



Le incisioni presenti sulle pareti fanno convergere il deflusso superficiale in alcuni punti del canale sottostante dove movimentata i depositi presenti e/o erode il fondo del canale generando una colata (punta Dina, Santo Vito di Cadore).

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 6

Testata dei canali -2



Le incisioni presenti sulle pareti fanno convergere il deflusso superficiale incidendo alla base un canale nel ghiaione sottostante. Formatosi il canale i deflussi superficiali che vi convergono, movimentano i depositi presenti sul fondo dello stesso o lo erodono, generando una colata (Rudavoi, Auronzo).

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 7

Testata dei canali - 3



Vista dall'alto e dal basso dello stesso punto

8 Canale inciso nel ghiaione sottostante le pareti dell'Antelao (Vodo di Cadore) (foto a sx Degetto) a valle di una soglia rocciosa in cui si l'innescò di fenomeni di colata.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 8

Testata dei canali - 4



Canale a valle di una parete rocciosa ed inciso nel ghiaione esistente tra due pareti rocciose a Ra Pezzories (sinistra), sotto la forcella del Pomagagnon (centro) nella zona di Fiames ed infine sotto la forcella del Cristallo (destra) nella zona del passo Tre Croci (Cortina d'Ampezzo, BL).

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 9

Testata dei canali - 5



Le aree in dissesto dei versanti del col di Lana (Pieve di Livinallongo, BL) al cui piede si origina il torrente Chiesa.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 10

Posizione di innescò a valle della testata - 1



La presenza nel canale di Rovina di Cancia (Borca di Cadore, BL) di massi ciclopici ostacola la formazione di colate detritiche spostandola a valle perché impedisce l'erosione del fondo e limita la quantità di sedimento provenienti dai crolli spondali che si possono depositare sul fondo.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 11

Posizione di innescò a valle della testata - 2



A valle dei massi ciclopici si ha la zona di formazione delle colate a Rovina di Cancia (Borca di Cadore, BL): immagini pre (sinistra) e post evento (destra) della colata avvenuta il 18/7/2009.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 12

Posizione di innescò a valle della testata - 3



Area di formazione delle colate a Rovina di Cancia (Borca di Cadore): immagini pre (sinistra) e post evento (destra) della colata di modesta entità avvenuta il 29/7/2012.

Canale scavato dai deflussi superficiali sul materasso detritico ricoprente il fondo del canale.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 13

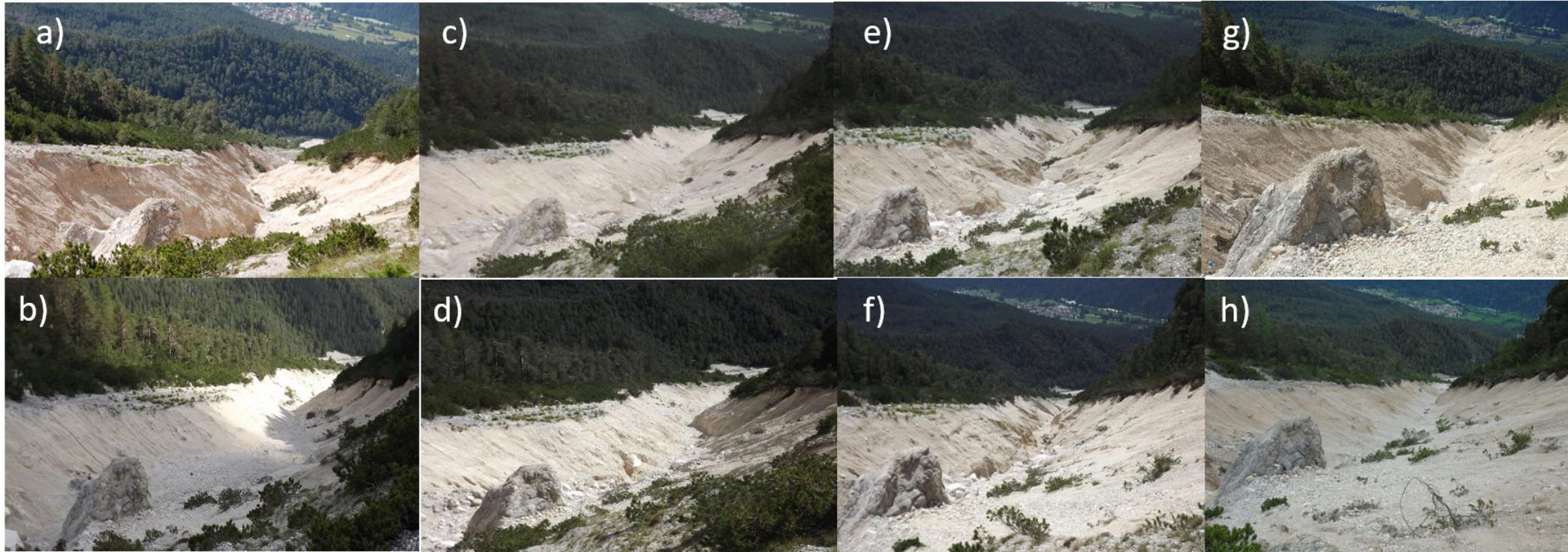
## Posizione di innescò a valle della testata - 4



Area di formazione delle colate a Rovina di Cancia (Borca di Cadore): immagini pre (sinistra) e post evento (destra) della colata avvenuta il 26/7/2013.

# L'innesco di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 14

Posizione di innesco a valle della testata - 5



Area di formazione delle colate a Rovina di Cancia (Borca di Cadore): a) Dopo la colata del 18/7/2009; b) nel periodo di ricarica (26/7/2012); c, d) dopo le colate del 26/7/2013 e 19/8/2013; e, f) dopo le colate del 23/7 e 4/8/2015; g, h) durante il periodo di ricarica ( 12/07/2017 e 23/5/2018)

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 15

Posizione di innescò a valle della testata - 6



# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 16

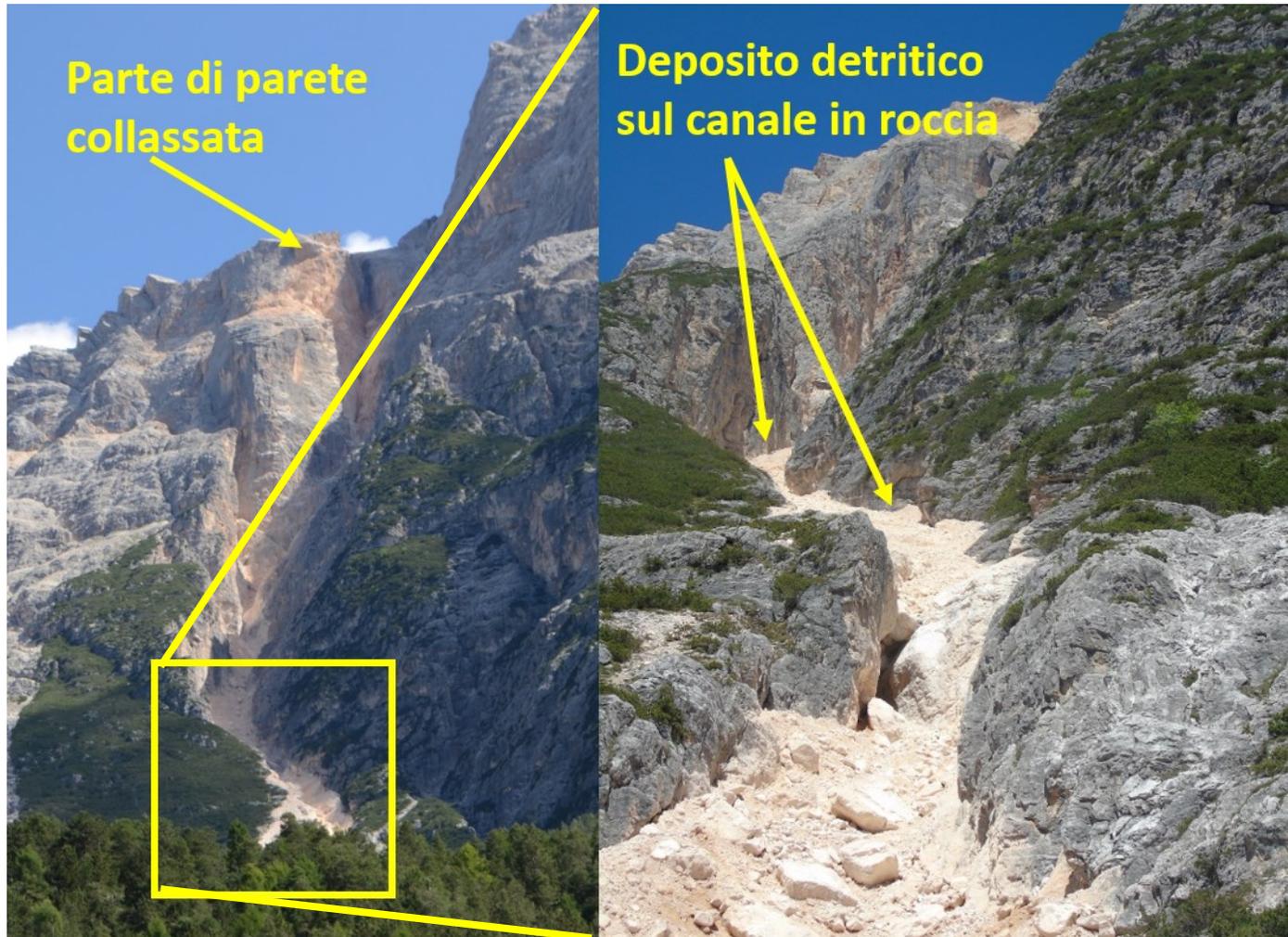
## Nuove posizioni di innescò per effetto del cambio climatico - 1



L'aumento delle temperature ha determinato sia la crescita dei fenomeni di termoclastismo che lo scioglimento del permafrost per cui si sono verificati numerosi crolli roccia. Nelle primavere 2015/2016 ci sono stati due crolli di parete che hanno riempito di materiale detritico il canale che incide le pareti della Punta Nera (Cortina d'Ampezzo, BL).

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 17

Nuove posizioni di innescò per effetto del cambio climatico - 2



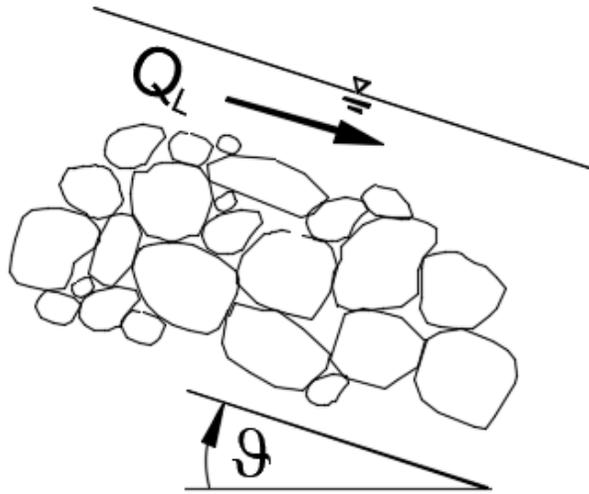
Nel periodo 2015-2018 si sono verificati 14 eventi di colata formati sia nel canale inciso sulle parete che in quello sottostante che incide il conoide.

# L'innescò di una colata per deflusso superficiale in ambiente dolomitico - 18

Nuove posizioni di innescò per effetto del cambio climatico - 3



# Meccanismo di innesco di una colata per deflusso superficiale - 1



La colata si innesca se  $Q_L$  (portata liquida)  $\geq Q_{CRIT}$

per  $\tan\theta > 0.25$  ( $14^\circ$ )

$$Q_{CRIT} = q_{CRIT} B$$

$$q_{CRIT} = 4 d_M^{1.5} \tan\theta^{-1.17}$$

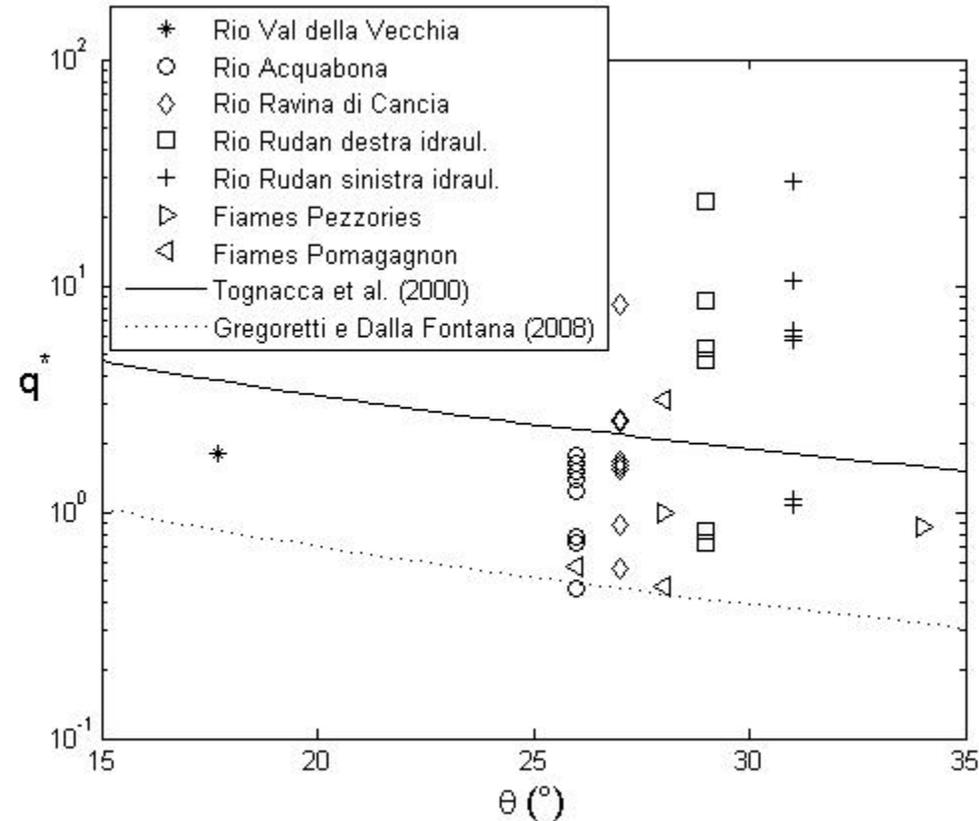
Tognacca et al. (2000)

$$q_{CRIT} = 0.78 d_M^{1.5} \tan\theta^{-1.27}$$

Gregoretti and Dalla Fontana (2008)

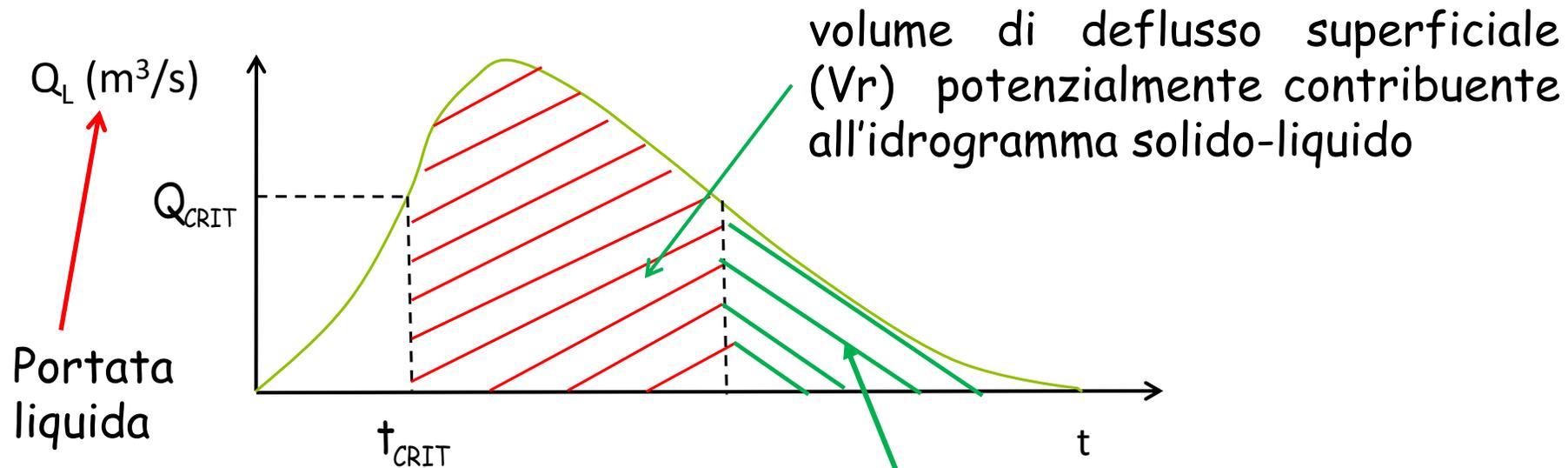
# Meccanismo di innesco di una colata per deflusso superficiale - 2

$$q^* = \frac{q_{CRIT}}{d_M^{1.5} \sqrt{\frac{\rho_S}{\rho} - 1}}$$



Confronto tra i valori simulati di 30 picchi di portata liquida con la portata critica delle due relazioni empiriche di Tognacca et al. (2000) e Gregoretti e Dalla Fontana (2008). I valori dei tempi di picco corrispondono all'incirca agli orari di avvenimento delle colate.

# Idrogramma solido-liquido - 1



Il deflusso superficiale potenzialmente contribuente alla colata è quello per cui  $t > t_{CRIT}$ , e  $Q_L > Q_{CRIT}$  (area tratteggiata in figura). Per  $t < t_{CRIT}$ , la colata non si forma perché la portata liquida risulta inferiore a quella critica; la coda dell'idrogramma, per  $t > t_{CRIT}$  e  $Q_L < Q_{CRIT}$ , corrisponde a durate di solito superiori a quelle degli idrogrammi solido-liquidi osservati, ed è quella che risente di più degli errori insiti nella modellazione idrologica. È, inoltre, caratterizzata da velocità di deflusso superficiale basse, risultando inferiori a quelle del fronte.

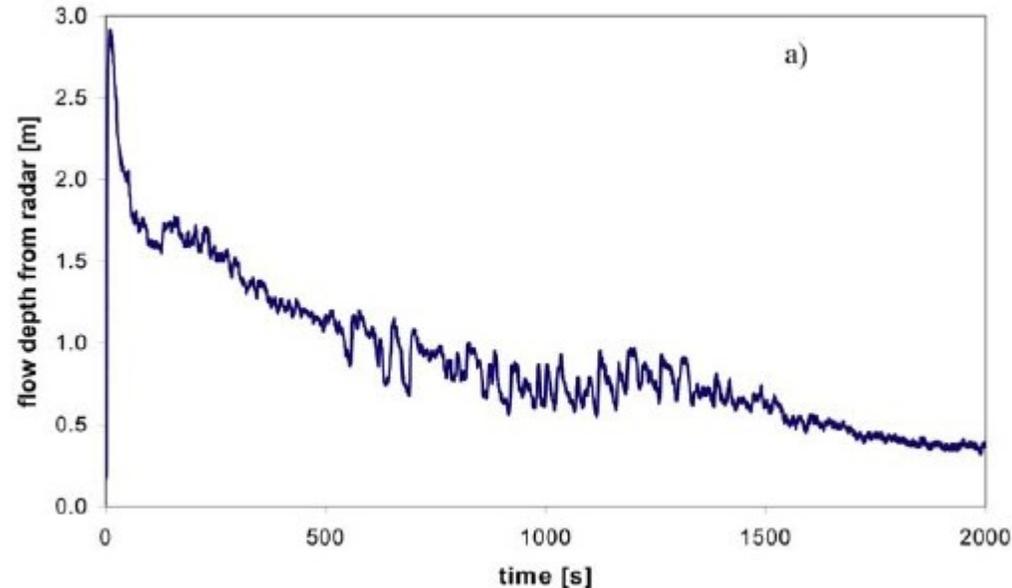
# Idrogramma solido-liquido - 2

## Due tipologie di idrogrammi solido-liquido

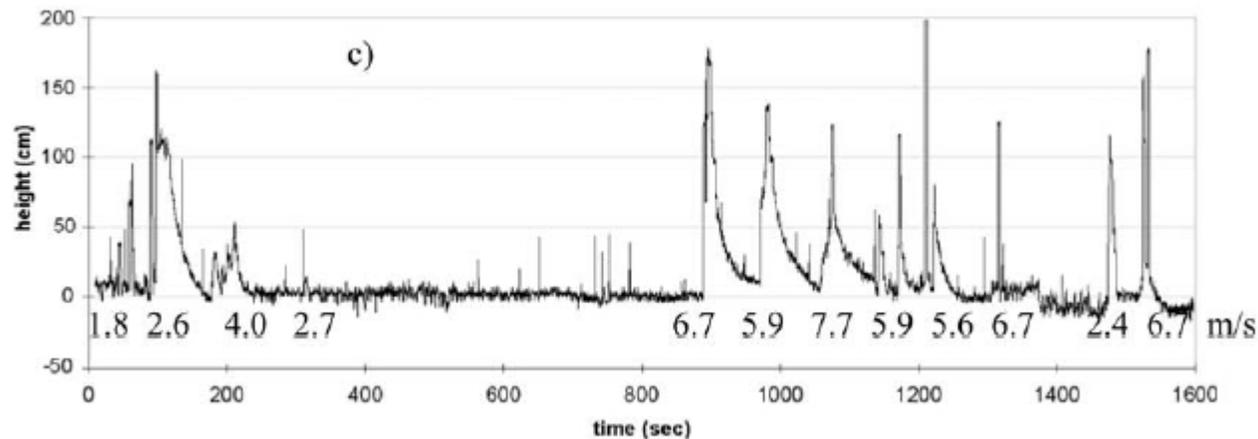
1. Idrogramma solido-liquido per cui risulta massimo il valore di picco della portata solido-liquida, generato dall'idrogramma di deflusso superficiale con il massimo valore del picco corrispondente alla precipitazione di durata pari al tempo di concentrazione (concentrazione) con ietogramma a blocchi alternati.
2. Idrogramma solido-liquido per cui risulta massimo il volume solido-liquido, generato dall'idrogramma di deflusso superficiale per cui risulta massimo il volume di deflusso superficiale contribuente alla colata, corrispondente ad una precipitazione di intensità costante.

# Idrogramma solido-liquido - 3

Idrogrammi solido-liquidi osservati relativi ad una colata già formata



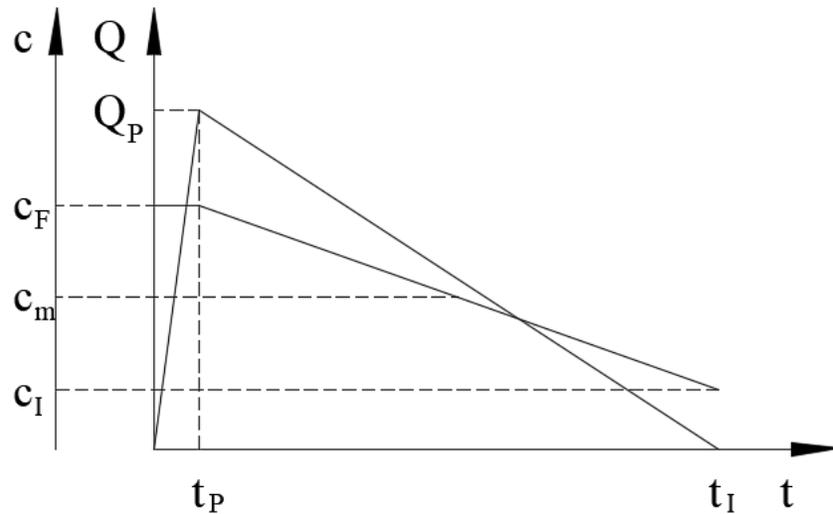
Idrogramma delle profondità di colata registrato alla stazione di monitoraggio di Illgraben (Svizzera) il 28/6/2006 nella parte terminale del canale



Idrogramma delle profondità di colata registrato alla stazione di monitoraggio di Acquabona il 17/8/1998 nella parte terminale del canale

# Idrogramma solido-liquido - 4

## Schematizzazione di idrogramma solido-liquido con il massimo valore del picco - 1



La colata si presenta con un fronte pronunciato con profondità e concentrazione volumetrica della fase solida,  $c$ , decrescenti verso monte. Si assume un idrogramma triangolare che viene determinato tramite il picco,  $Q_P$ , ed il volume solido-liquido,  $V_{SL}$ , che consentono il calcolo della durata  $t_I$ .

$$Q_P = 0.75 \frac{c_*}{c_* - c_F} Q_{PL}$$

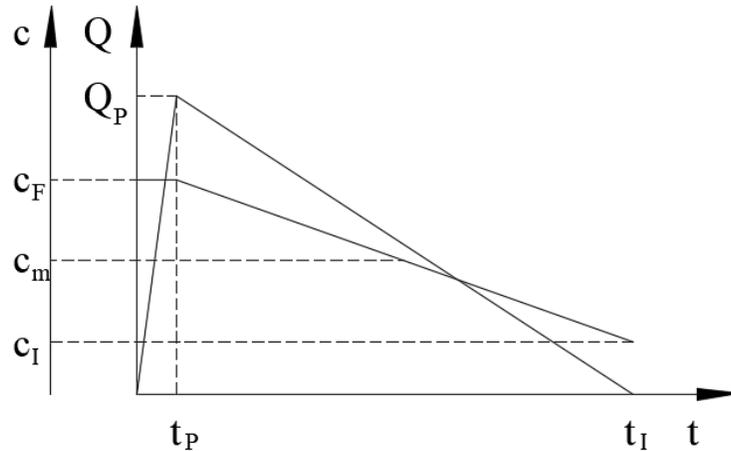
$$V_{SL} = V_L + V_S/c_*$$

$Q_{PL}$  = portata di picco del deflusso superficiale (portata liquida);  $c_*$  = concentrazione volumetrica del materiale sul fondo;  $c_F$  = concentrazione volumetrica della fase solida in corrispondenza del fronte;

$V_L$  = volume liquido contribuente alla colata;  $V_S$  = volume solido dei sedimenti trasportati dalla colata;  $V_S/c_* =$  somma del volume solido  $V_S$  con il volume di liquido di saturazione ( $V_S/c_* - V_S$ );

# Idrogramma solido-liquido - 5

Schematizzazione di idrogramma solido-liquido con il massimo valore del picco - 4



$$Q_P = 0.75 \frac{c_*}{c_* - c_F} Q_{PL}$$

$$V_{SL} = V_L + V_S/c_*$$

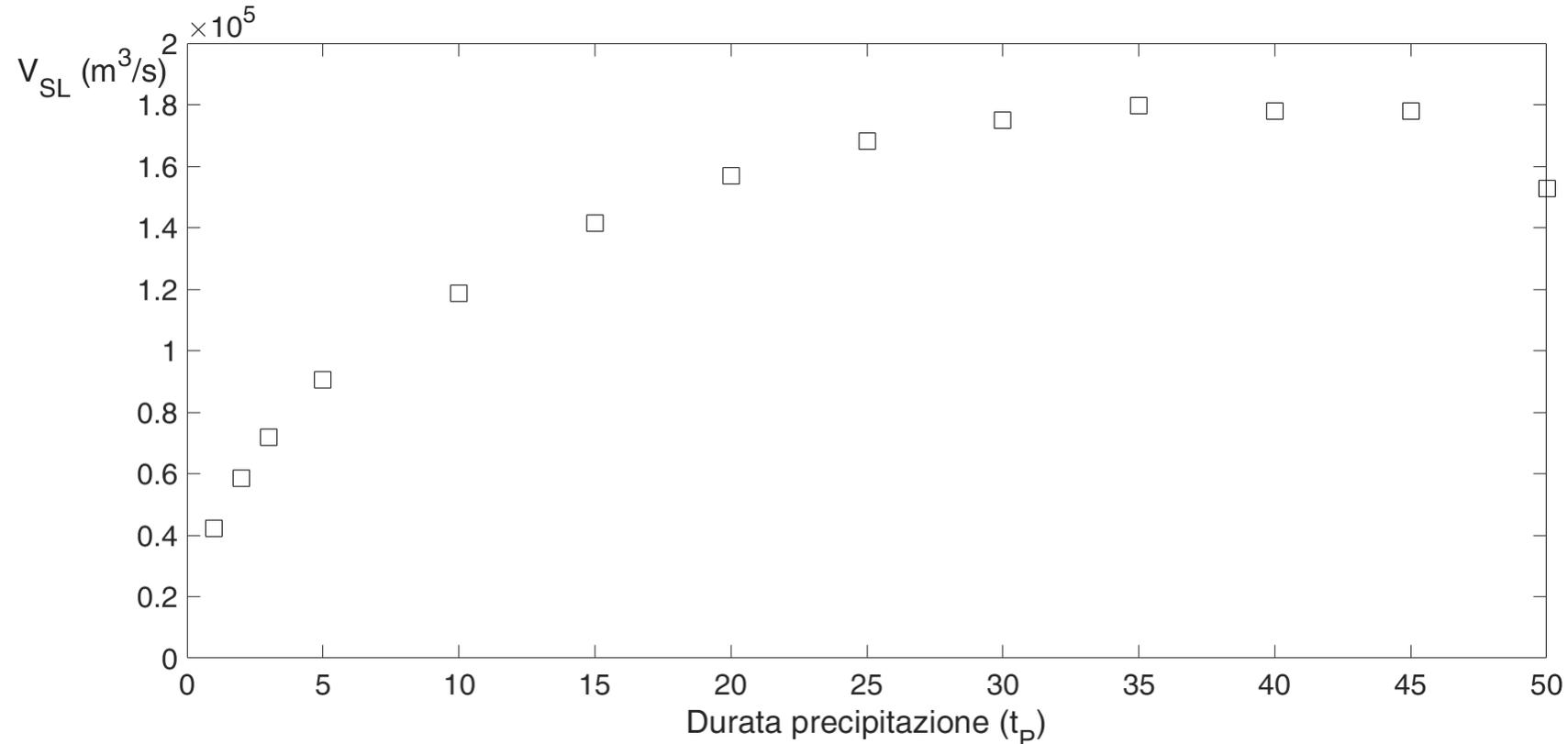
Il calcolo dell'idrogramma solido-liquido dipende da  $Q_{PL}$ ,  $c_F$ ,  $c_*$ ,  $V_L$ , e  $V_S$

$Q_{PL}$  e  $V_L$  vengono dalla modellazione idrologica

$c_*$  da misure in campo,  $c_F$  e  $V_S$  da formule di letteratura

# Idrogramma solido-liquido - 6

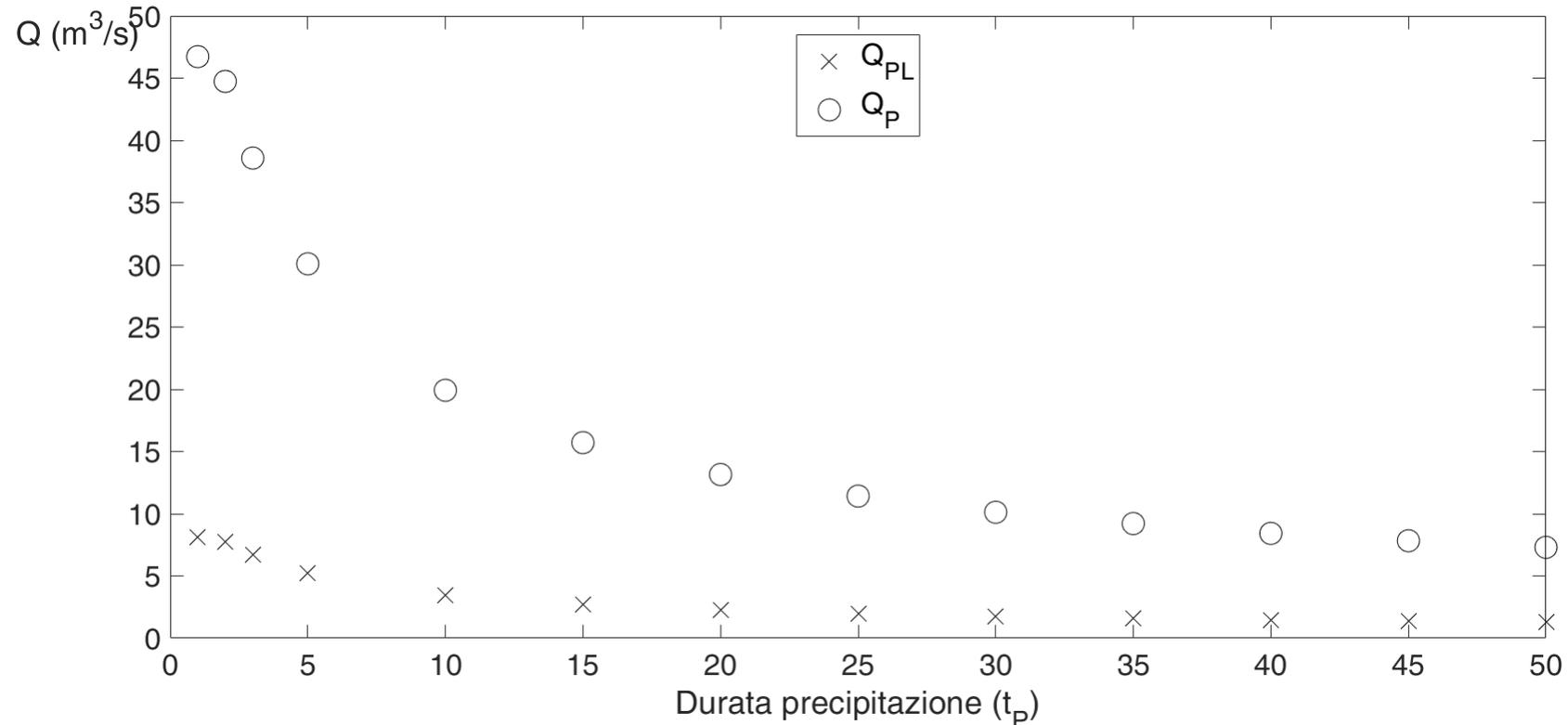
Idrogramma solido-liquido con il massimo valore del volume di deflusso - 1



Il volume solido-liquido  $V_{SL}$ , aumenta al variare della durata della precipitazione ( $t_p$  = tempo corrispondente a  $Q_p$  dell'idrogramma solido-liquido con il massimo valore del picco di portata) di intensità costante e poi diminuisce.

# Idrogramma solido-liquido - 7

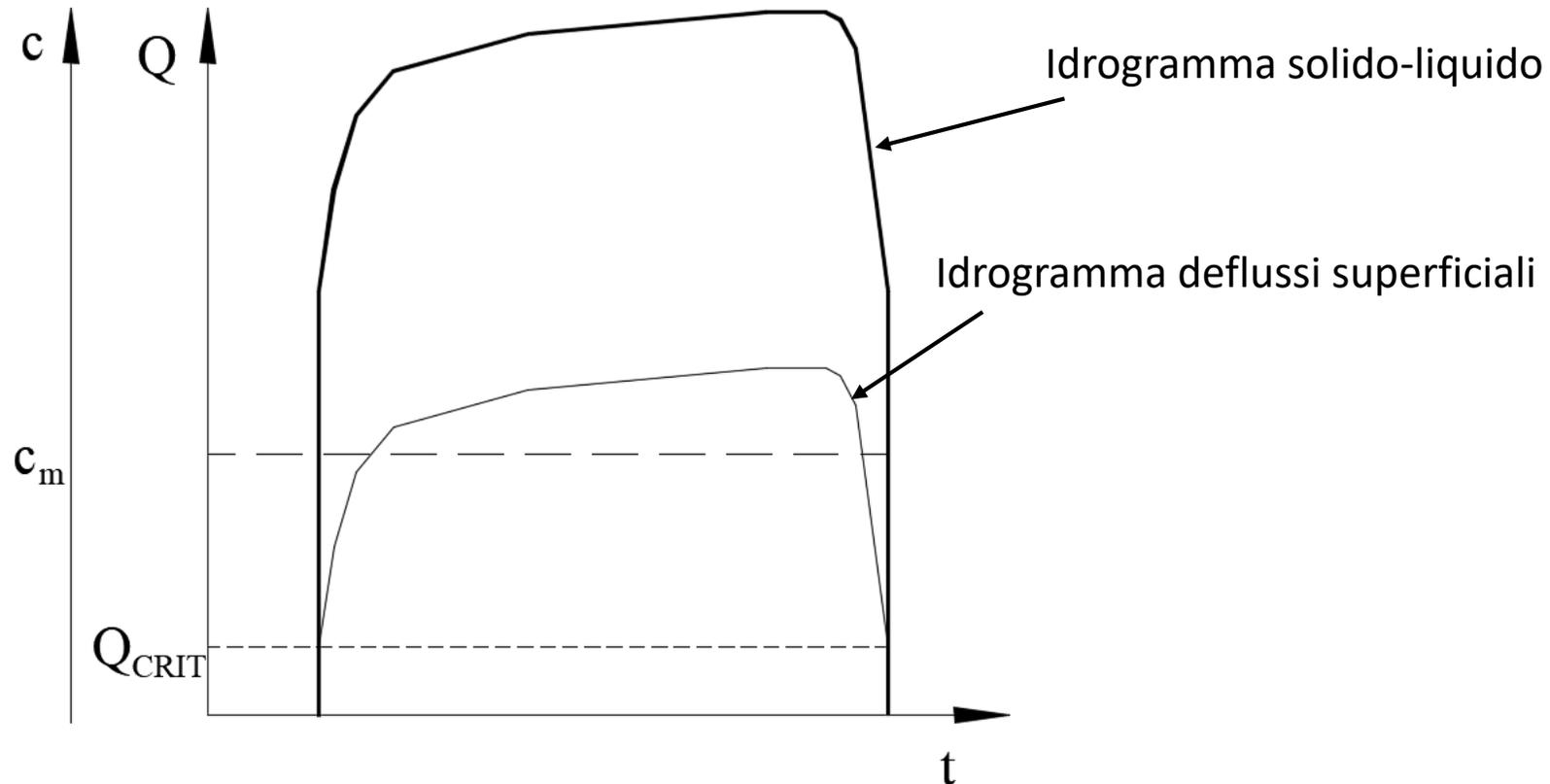
## Idrogramma solido-liquido con il massimo valore del volume di deflusso - 2



Le portate di picco dell'idrogramma dei deflussi superficiali,  $Q_{PL}$ , e dell'idrogramma solido-liquido,  $Q_P$ , diminuiscono all'aumentare della durata della precipitazione di intensità costante.

# Idrogramma solido-liquido - 8

Idrogramma solido-liquido con il massimo valore del volume di deflusso - 3



Nel caso di precipitazione ad intensità costante di lunghe durate l'idrogramma dei deflussi superficiali ha un andamento crescente e l'idrogramma solido-liquido è caratterizzato da una concentrazione volumetrica pressochè costante.

29

# Idrogramma solido-liquido - 9

## Idrogramma solido-liquido con il massimo valore del volume di deflusso - 4

Ipotesi/Assunzioni iniziali:

1. Si assegna all'idrogramma solido-liquido la forma dell'idrogramma dei deflussi superficiali contribuenti.
2. Si assume una concentrazione volumetrica dei sedimenti costante.

L'idrogramma solido-liquido,  $V_{SL}$ , è quello dei deflussi superficiali contribuenti,  $V_L$ , scalato del rapporto  $V_{SL}/V_L$  ( $V_{SL} = V_L + V_S/c_*$ )

$$Q = \frac{V_{SL}}{V_L} Q_L$$

$Q$  = portata solido-liquida

$Q_L$  = portata dei deflussi superficiali contribuenti

Le ipotesi/assunzioni iniziali trascurano i termini di inerzia relativi all'inglobamento dei sedimenti all'interno della corrente (i.e. velocità d'erosione, accelerazione delle particelle solide inglobate nella corrente, variazione di resistenza al moto e quindi della velocità della corrente).