

**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE  
SCIENZE AMBIENTALI E PROTEZIONE CIVILE**

**MAPPATURA DEL RISCHIO VALANGHE IN AREE SCARSAMENTE MONITORATE.  
IL CASO STUDI DI RIGOPIANO, NELL'APPENNINO ABRUZZESE**

**Tesi di Laurea di  
Alberto Gianfreda**

**Docente Referente  
Francesco Boccanera**

**Sessione Dicembre 2020  
Anno Accademico 2019/2020**

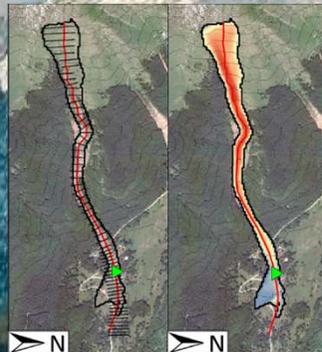
# SCOPO DEL LAVORO

## Mappare il rischio valanghe secondo le linee guida AINEVA



1. Vengono fatte delle simulazioni con modelli dinamici.

**DYNAMIC MODEL**  
**POLY-AVAL**  
**1D/q2D**

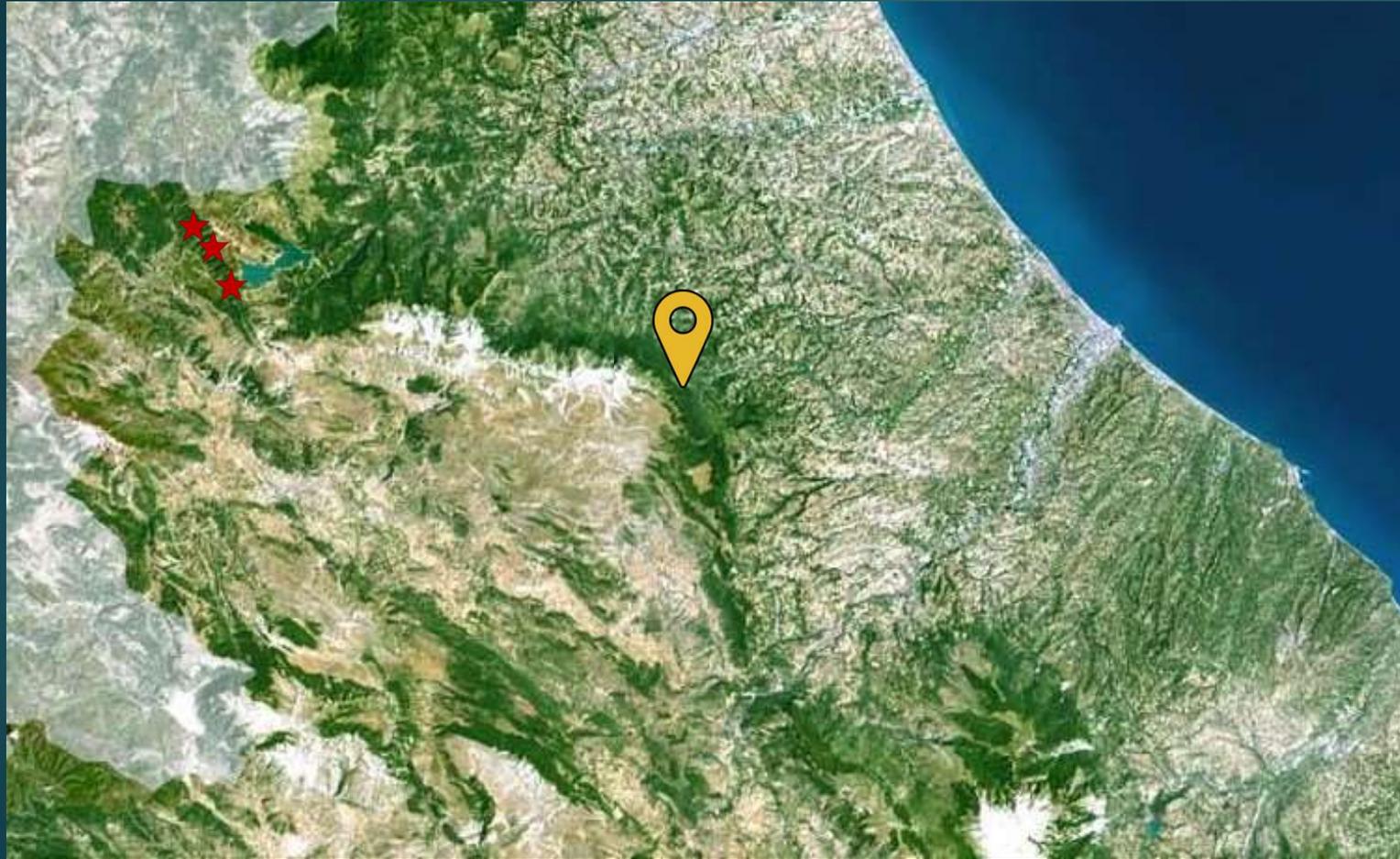


2. Stima dell'altezza del manto nevoso nella zona di distacco.

**Caso studio**  
**Rigopiano**



# CASO STUDIO



## RIGOPIANO

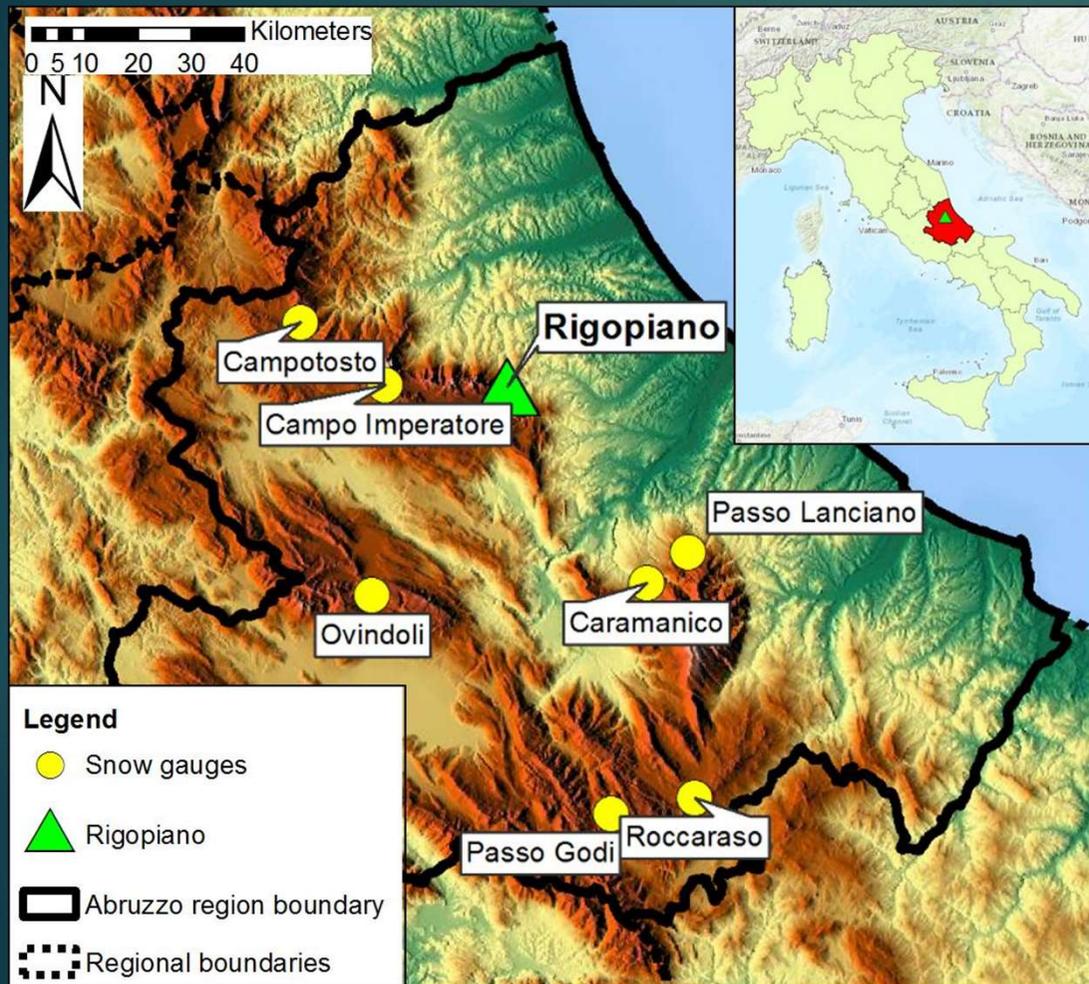
- Farindola (PE)
- 1200m s.l.m.
- 1800m s.l.m. altitudini di distacco
- Meteomont «strati di neve fresca e secca,[...], il manto nevoso è debolmente consolidato e per lo più instabile su tutti i pendii»
- 3 Terremoti
- Ore 17, ~90000m<sup>3</sup> di neve
- 11 Sopravvissuti
- 29 Vittime

❖ Nel 1999 un rapporto della Commissione Valanghe di Farindola indica che l'albergo era costruito all'interno di un'area a rischio valanghe. Probabilmente costruito sulle rovine di un'ex valanga del 1936

# DATI UTILIZZATI



Ufficio Idrografico e Mareografico  
della Regione Abruzzo



Station	Altitude [m a.s.l.]	$Y_i$ [years]	$\mu_{h72i}$ [cm]
Campo Imperatore	2152	8	53
Campotosto	1344	14	72
Caramanico	804	10	82
Ovindoli	1374	7	30
Passo Godi	1570	11	53
Passo Lanciano	1306	14	89
Roccaraso	1229	11	58

- ❑ Serie storiche di innevamento con durata 7-14 anni (75 anni equivalenti)
- ❑ **Campotosto** è la stazione di riferimento per  $h_0$
- ❑ **Campo Imperatore** viene esclusa per assenza di dati nella giornata della valanga (problemi tecnici o legati al vento)

# POLY-AVAL 1D/q2D

- Modello dinamico per valutare l'altezza del flusso e la velocità della valanga
- Modello idraulico
- Basato sull'energia

## 1D

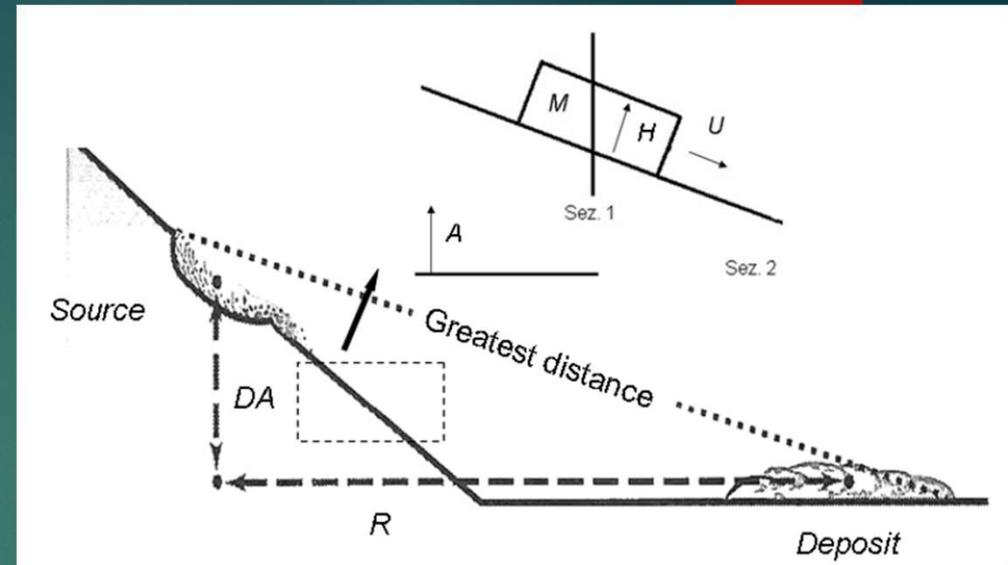
La larghezza del flusso viene rappresentata da celle trasversali al flusso, che si susseguono

## q2D

- Girato su griglia bidimensionale
- Basato sull'energia
- Il vettore velocità è ricostruito dalla topografia

## Parametri

- $\mu$  fattore di attrito
- $\zeta$  attrito interno/dissipazione di energia
- $\lambda$  fattore di pressione

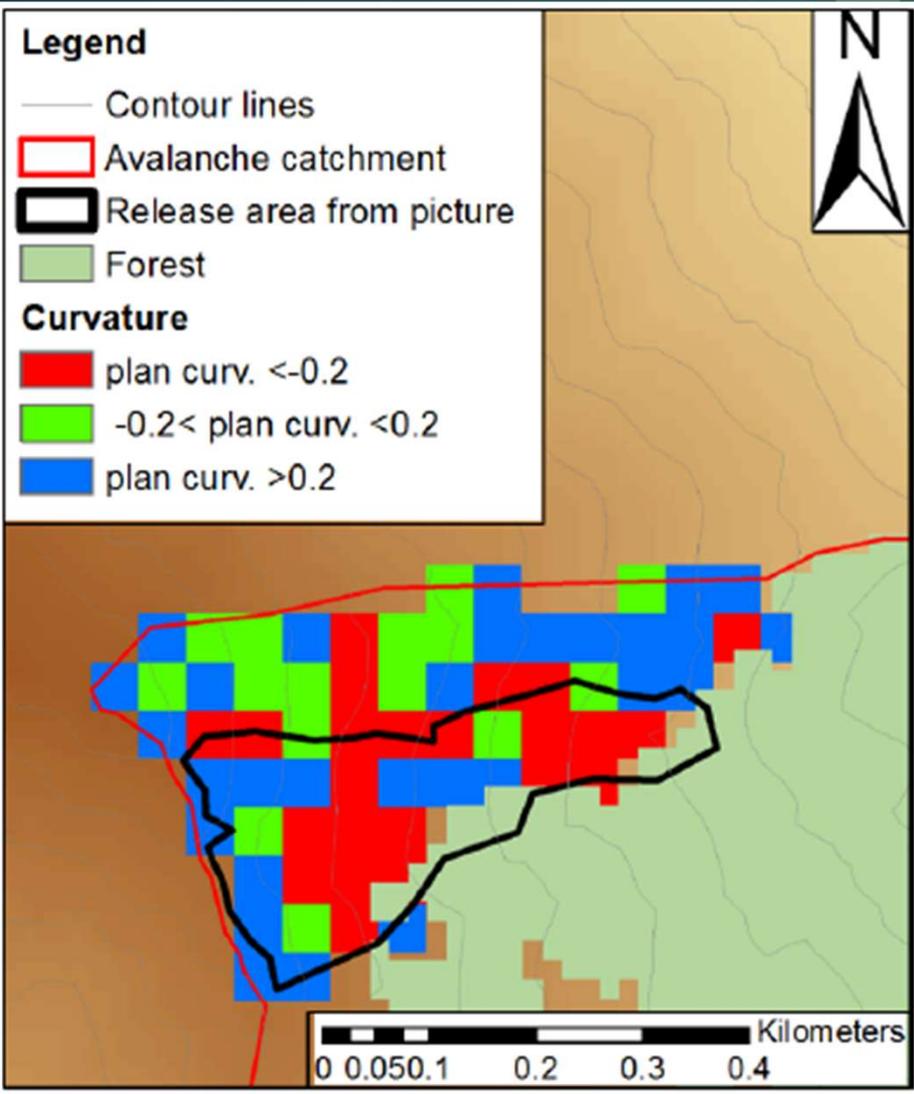


## Legenda

- **A** altitudine [m s.l.m.]
- **DA** salto verticale [m]
- **R** runout valanga [m]
- **M** massa valanga [kg]
- **H** spessore manto nevoso [m]
- **U** velocità [m/s]

Parametri che vengono calibrati con i dati a disposizione della valanga di Rigopiano attraverso un run di prova

# CONVALIDA dell'AREA DI DISTACCO



1. Analisi topografica per individuare vasta area di possibile distacco

i. Copertura forestale

ii. Pendenza (SI) ( $30^\circ < SI < 60^\circ$ )

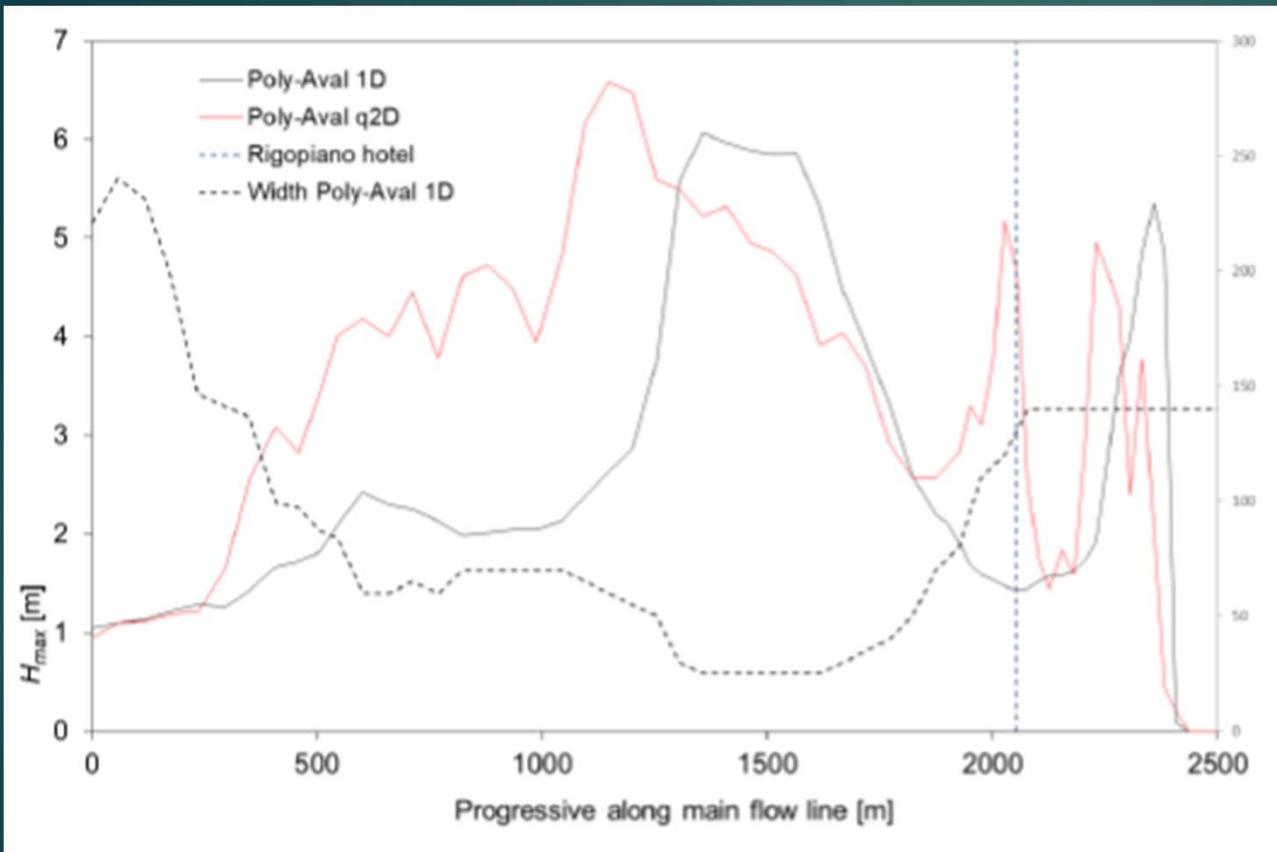
2. Distinzione di sotto aree per la curvatura del terreno, perpendicolare alla linea di flusso

▭ **Concava** ( $PC \leq -0,2/100m$ )

▭ **Piana** ( $-0,2/100m < PC < +0,2/100m$ )

▭ **Convessa** ( $PC \geq +0,2/100m$ )

# SIMULAZIONE VALANGA RIGOPIANO



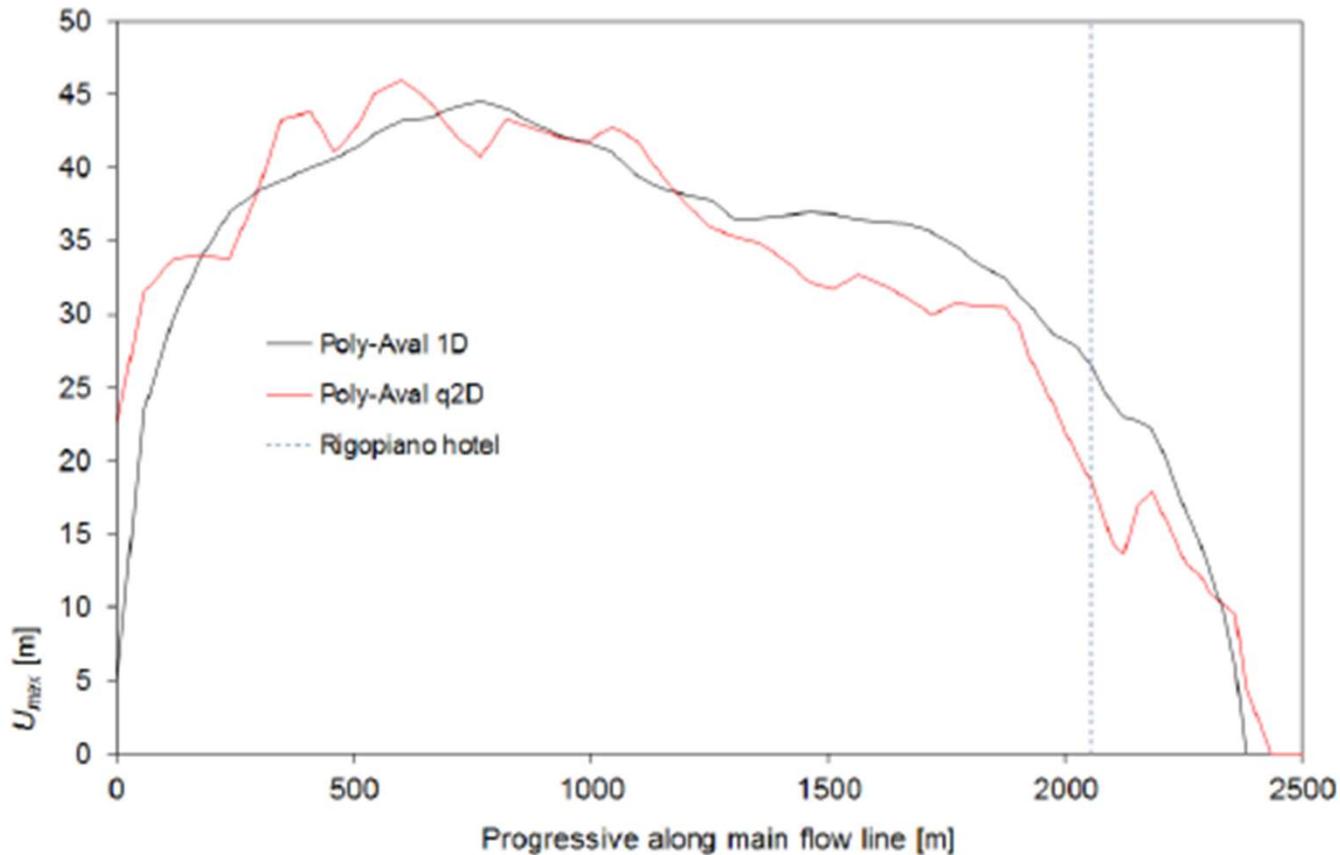
1D  $H_s \text{ max} = 6,06\text{m}$

2D  $H_s \text{ max} = 6,58\text{m}$

x Distanza dall'area di distacco

y Altezza del flusso

# SIMULAZIONE VALANGA RIGOPIANO



1D  $U_{max} = 44,5\text{m/s}$

2D  $U_{max} = 46,1\text{m/s}$

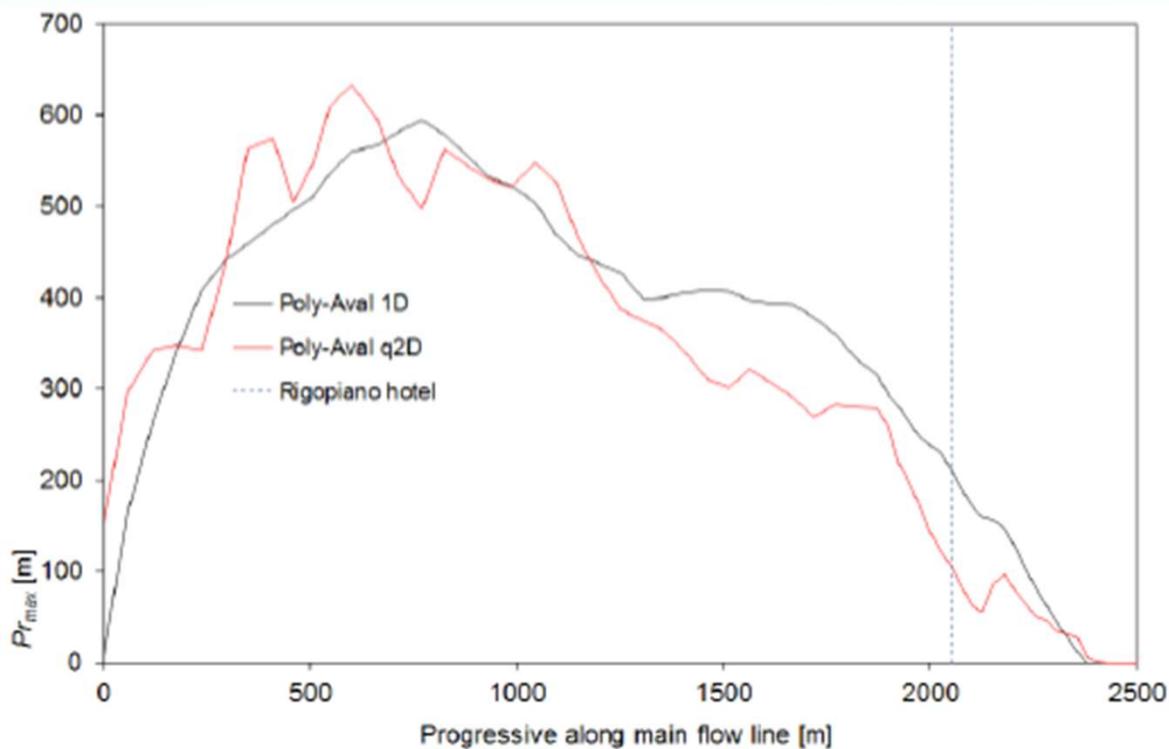
L'andamento della velocità può essere spiegato dalla combinazione di 2 caratteristiche topografiche:

- Pendenza
- Larghezza della pista

x Distanza dall'area di distacco

y Velocità del flusso

# SIMULAZIONE VALANGA RIGOPIANO



x Distanza dall'area di distacco

y Pressione del flusso

$$Pr = \rho_s g H_s + \rho_s U^2$$

$\rho_s g H_s \rightarrow$  Pressione statica funzione del peso

$\rho_s U^2 \rightarrow$  Pressione dinamica funzione della velocità

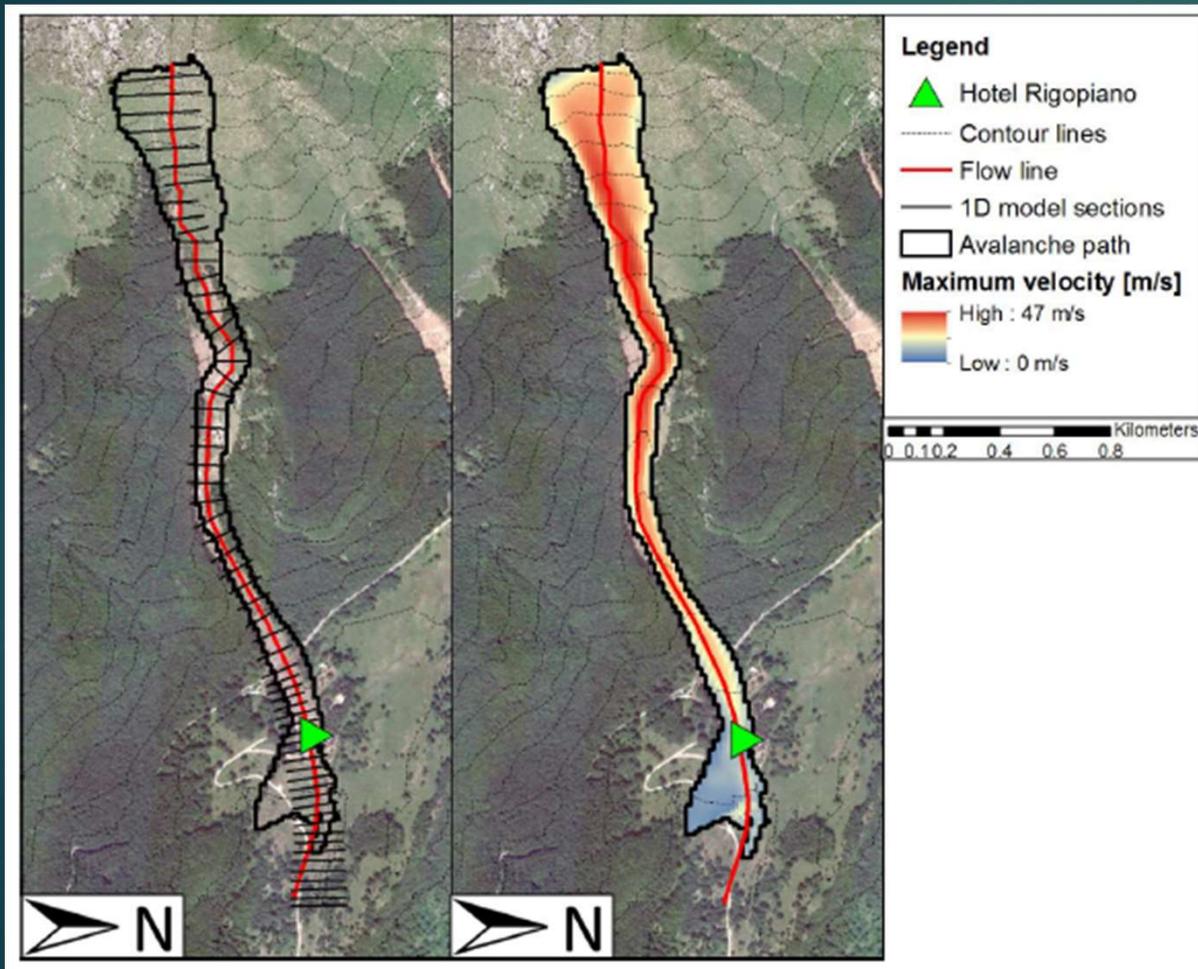
1D  $H_s \text{ max} = 6,06\text{m} \rightarrow Pr = 17,9\text{kPa}$

2D  $H_s \text{ max} = 6,58\text{m} \rightarrow Pr = 19,37\text{kPa}$

1D  $U_{\text{max}} = 44,5\text{m/s} \rightarrow Pr = 594\text{kPa}$

2D  $U_{\text{max}} = 46,1\text{m/s} \rightarrow Pr = 634\text{kPa}$

# TRACCIATO DELLA VALANGA



- Le sezioni del modello 1D non coincidono completamente con il modello q2D
  - Differente spessore di flusso
  - Differente velocità
- La rappresentazione della variazione di velocità potrebbe facilitare lo studio della pressione di impatto sull'hotel

**Si decide di proseguire utilizzando il modello Poly-Aval q2D**

# MAPPATURA DEL RISCHIO



Associazione  
Interregionale  
di Coordinamento  
e Documentazione  
per i Problemi Inerenti  
alla Neve e alle Valanghe

## Simulazioni

- Tempi di ritorno a 30, 100 e 300 anni, legati alla profondità della neve al distacco  $\rightarrow h_{72}(Tr)$
- Pressione del flusso ( $Pr$ )  $\rightarrow \rho_s = 300 \text{ kg/m}^3$

❖ **ROSSE** ( $Pr \geq 15, Tr=100$  o  $Pr \geq 3, Tr=30$ )

❖ **BLU** ( $3 \leq Pr \leq 15, Tr=100$  o  $Pr \leq 3, Tr=30$ )

❖ **GIALLE** ( $Pr \leq 3, Tr=100$  o  $Tr=30$ )

# APPROCCIO SU STIMA REGIONALE

Media delle osservazioni

$$\blacktriangleright \mu_{h72i} = \frac{1}{Y_i} \sum_{y=1}^{Y_i} h_{72i,y}$$

- $y \rightarrow$  l'anno
- $i \rightarrow$  singola stazione
- $Y_i \rightarrow$  n osservazioni nel posto

$$\blacktriangleright \sigma_{\mu h72i} = \frac{\sigma_{h72i}}{\sqrt{Y_i}}$$

- $\sigma_{h72i} \rightarrow$  deviazione standard  $h72$

Correzione degli  $h_{72}$  con la quota relativa all'area di distacco

$$\blacktriangleright \hat{\mu}_{h72un} = c * A_{un} + \mu_0$$

- $A_{un} \rightarrow$  Altitudine dell'area di distacco
- $\mu_0 \rightarrow$  media che intercetta  $A_{un} = 0$

$$\blacktriangleright \hat{\sigma}_{\mu h72un} = \hat{\sigma}_{E[h72]} \sqrt{1 - R^2}$$

- $\hat{\sigma}_{E[h72]} \rightarrow$  dev. s. di  $h_{72i}$
- $R^2 \rightarrow$  coefficiente che lega  $A$  e  $\mu$

*DISTRIBUZIONE DI GUMBEL*

$$f(x) = \varepsilon \left[ -\varepsilon \left( -\frac{x - u}{\alpha} \right) \right]$$

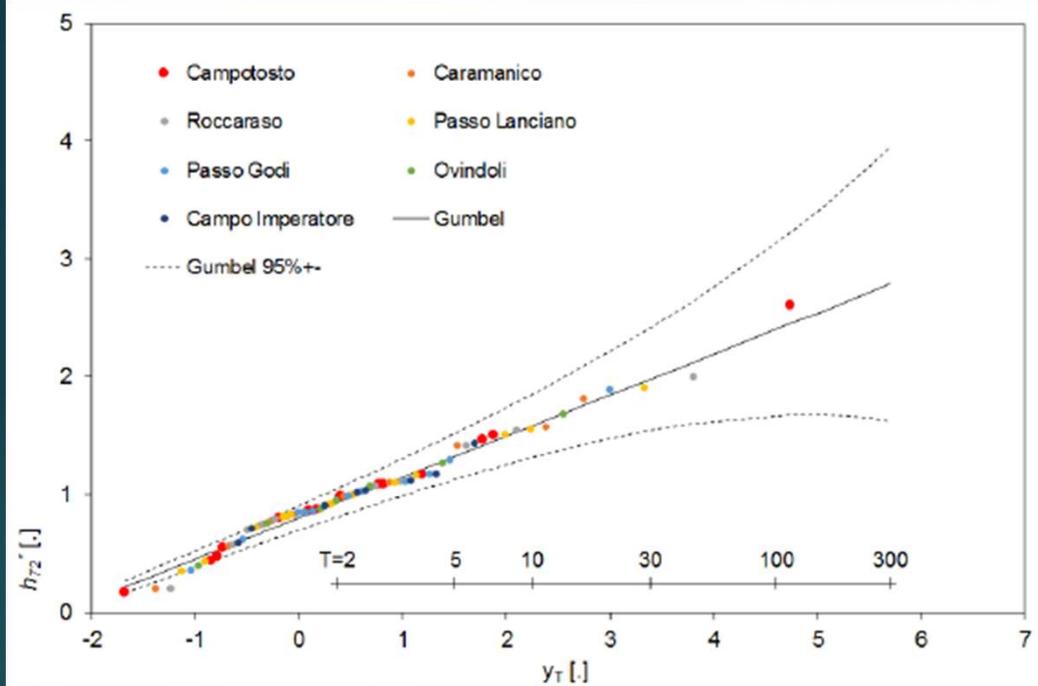
dove:

$\alpha$  è il parametro di scala

$u$  è il parametro di posizione

$K$  è il parametro di forma

# DISTRIBUZIONE REGIONALE

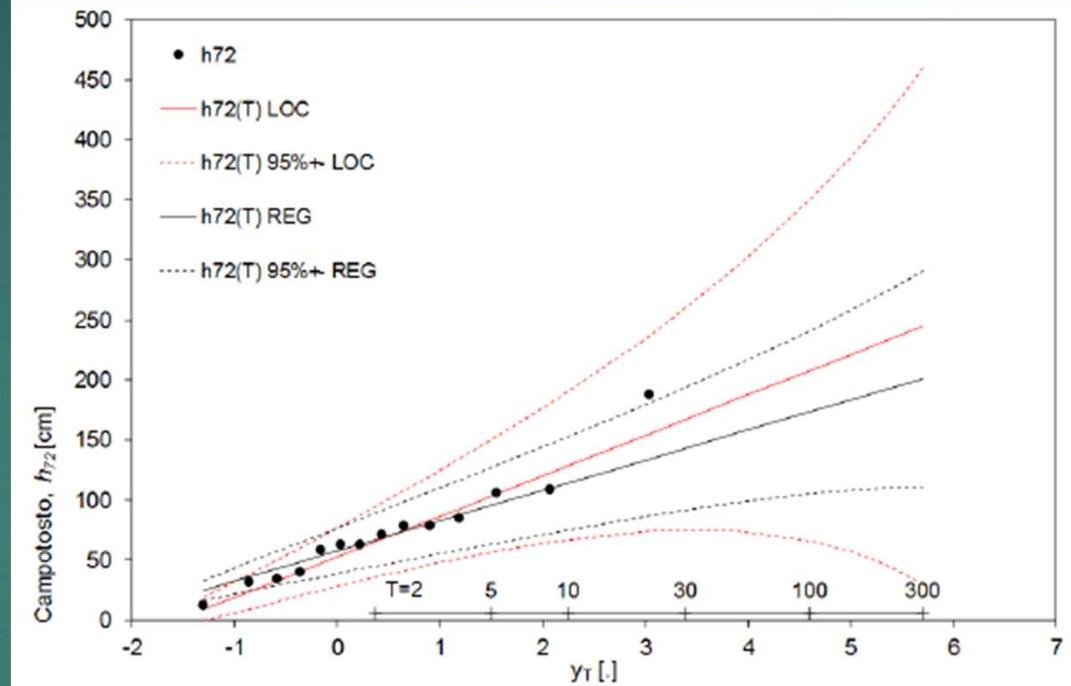


Calcolo l'indice scalato

$$\triangleright h_{72i}^* = \frac{h_{72i}}{\mu_{h_{72i}}} \approx F_i(1; \dots)$$

permette di avere molte più osservazioni, portando a risultati con una ridotta incertezza.

# DISTRIBUZIONE LOCALE



È evidente come la distribuzione locale soffre di una maggiore incertezza e un breve periodo di ritorno.

## Tempi ritorno

$$\triangleright h_{72}^*(T) = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - \varepsilon(-ky_{Tr}))$$

$$\triangleright \sigma_{h_{72}^*}(T) = \left[ \left( \frac{\alpha_p^2}{n_{pool}} \right) \varepsilon \left( y_T \varepsilon(-1,823k_p - 0,165) \right) \right]^{0,5}$$

# VALORI DI PROGETTO

Valori di spessore della neve al distacco della valanga di Rigopiano, che abbiamo utilizzato per la mappatura del rischio. Per T = 30, 100, 300 anni come suggerito da AINEVA.

Rigopiano release depth		$h_{72}$ REG [m]			$h_{72}$ LOC [m]		
T [years]	$h_{72}$	$h_{72}(-95\%)$	$h_{72}(+95\%)$	$h_{72}$	$h_{72}(-95\%)$	$h_{72}(+95\%)$	
30	127	168	87	149	227	71	
100	155	210	100	186	308	63	
300	179	254	104	219	407	31	
		$h_{72,c}$ REG [cm]			$h_{72,c}$ LOC [cm]		
	$h_{72,c}$	$h_{72,c}(-95\%)$	$h_{72,c}(+95\%)$	$h_{72,c}$	$h_{72,c}(-95\%)$	$h_{72,c}(+95\%)$	
30	88	116	60	103	156	49	
100	107	144	69	128	212	43	
300	124	175	72	151	280	21	

I valori nella parte inferiore sono corretti per l'altitudine e per la pendenza (**SI**).

Campotosto  $h_{72}=177\text{cm}$

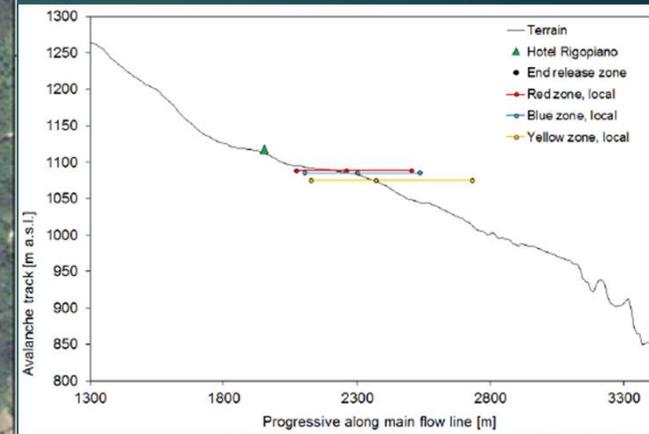
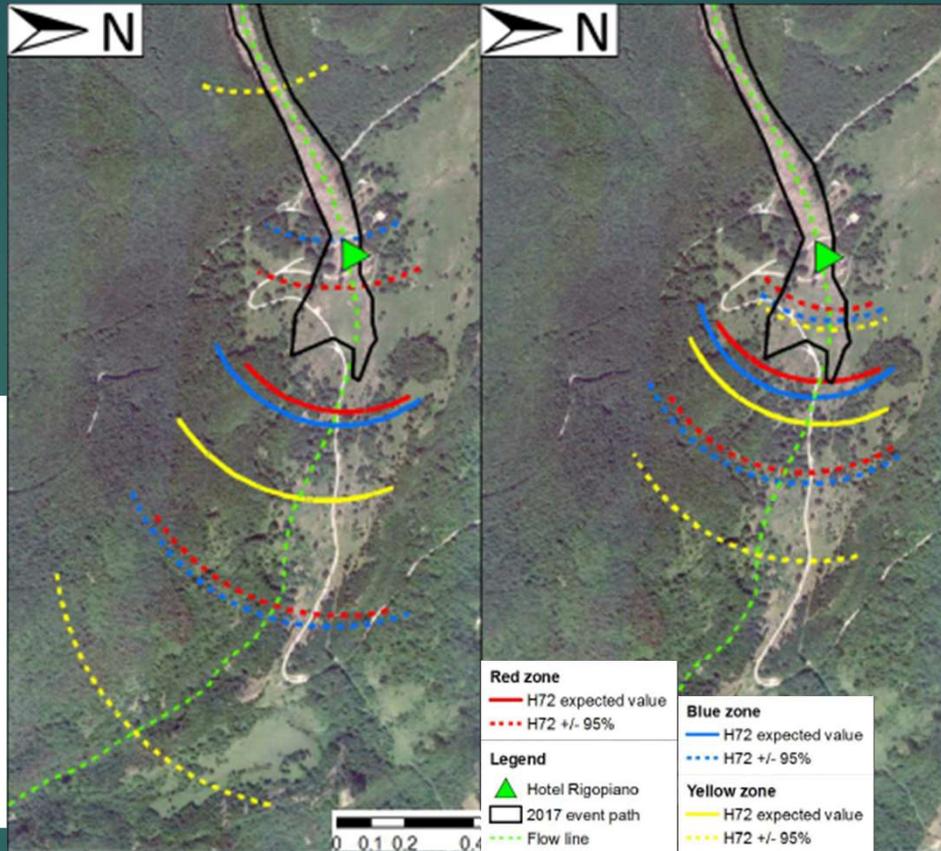
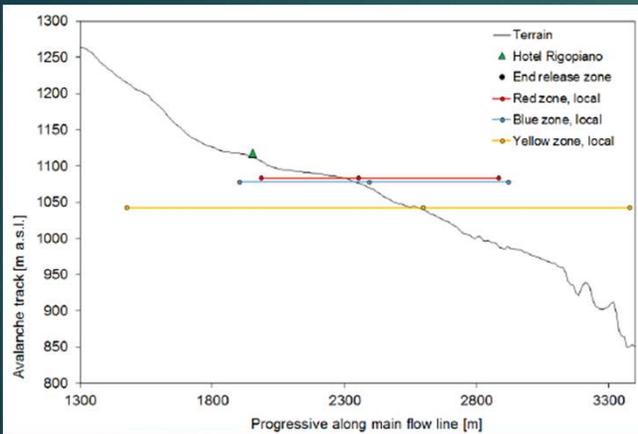
$f(\text{SI})$

Rigopiano  $h_{0,c} = h_{72} * f(\text{SI}) = \underline{122\text{cm}}$

# MAPPATURA DEL RISCHIO

Nell'approccio locale considerando il limite inferiore di confidenza si ha un'inversione delle zone di rischio.

Per l'approccio regionale, il campo di incertezza è tra le 2/3 volte più piccolo.



x Distanza dall'area di distacco  
y Altitudine

x Distanza dall'area di distacco  
y Altitudine

**È possibile dedurre che in entrambe i casi, l'hotel Rigopiano si trova in gran parte all'interno della zona rossa.**

# CONCLUSIONI

- Lo scopo del lavoro è mappare il rischio valanghe in aree poco monitorate, come quella di Rigopiano.
- Analisi topografica per la verifica dell'area di distacco
- Adattamento Modelli Poly-Aval 1D/q2D per il caso studio, con risultati accettabili.
- I risultati della simulazione per calibrare il modello, portano a preferire la rappresentazione in q2D per proseguire lo studio.
- Secondo le linee guida AINEVA si identificano le zone di rischio.

Nell'Appennino italiano il rischio valanghe comporta una grande incertezza, ampiamente attribuibile a:

- i) modellazione dinamica in presenza di input incerti per gli eventi valanghivi
- ii) valutazione incerta degli input delle nevicate con ampi periodi di ritorno (oltre 30 anni).

Migliorabile con indagini post evento per valutare:

- area di distacco, traccia, zona di deposito
- volume al distacco e deposito
- Densità della neve durante la progressione

Dal lavoro ne è risultato che l'accoppiamento dell'analisi statistica su base regionale con la modellazione dinamica delle valanghe permette una mappatura del pericolo per grandi periodi di ritorno con un'incertezza notevolmente ridotta rispetto all'analisi canonica a singolo sito.

È un approccio che gode di portabilità ed è utilizzabile in regioni scarsamente monitorate.

Affinché il modello sia più efficiente possibile si consiglia :

- i) Di perseguire una mappatura del rischio valanghe su base regionale in aree scarsamente monitorate.
- ii) Di fornire limiti di confidenza per consentire una valutazione del grado di precisione della zonizzazione.