

---

*X Workshop in Geofisica*  
*5-6 Dicembre 2013 - Rovereto*

# **La frana dei Lavini di Marco (Rovereto): Nuove datazioni tramite l'isotopo cosmogenico $^{36}\text{Cl}$**

Martin S. <sup>(1)</sup>, Ivy-Ochs S. <sup>(2)</sup>, Campedel P. <sup>(3)</sup>, Viganò A. <sup>(4)</sup>, Rigo M. <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> *Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova*

<sup>(2)</sup> *Laboratory of Ion Beam Physics, ETH-Hönggerberg, Zürich*

<sup>(3)</sup> *Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento*

<sup>(4)</sup> *Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, CRS,*

*Udine*

---

# Sommario

---

- Studio di pericolosità geologica
- Metodologia – Gli isotopi cosmogenici
- I Lavini di Marco
  - Inquadramento geologico e stratigrafia
  - Siti di campionamento
  - Litologia campioni
  - Analisi chimiche campioni
  - Datazioni isotopo cosmogenico  $^{36}\text{Cl}$
  - Conclusioni

# Gli isotopi cosmogenici – ACN e TCN

---

In atmosfera

I raggi cosmici primari interagiscono con N, O ed i gas rari portando alla formazione degli *Atmospheric Cosmogenic Nuclides* (ACN)

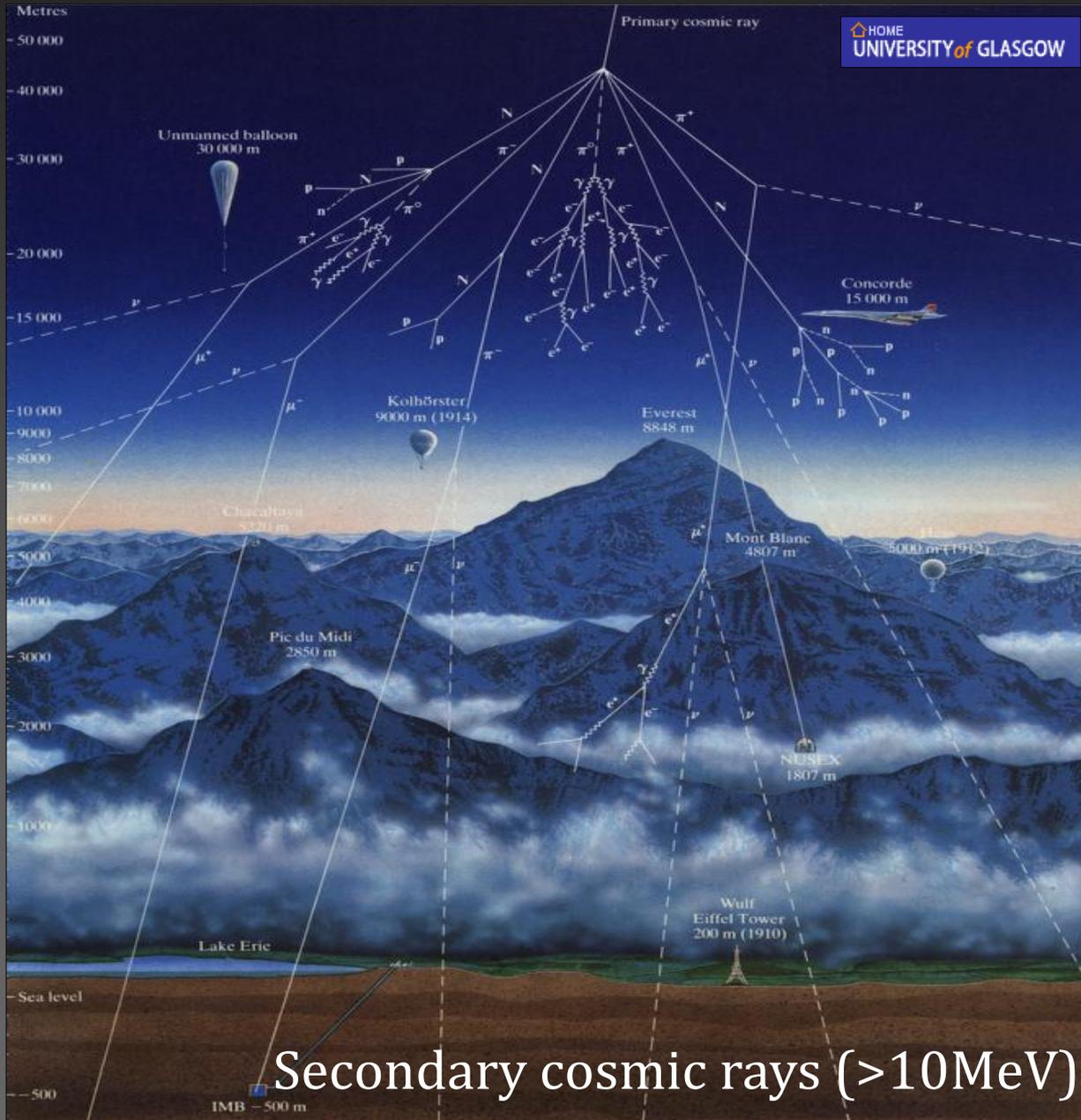
$^3\text{He}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{14}\text{C}$

Sulla superficie terrestre (*in situ*)

I raggi cosmici secondari interagiscono con con gli atomi dei minerali come quarzo, plagioclasio, calcite, dolomite, olivina, pirosseno portando alla formazione del *Terrestrial Cosmogenic Nuclides* (TCN)

$^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{26}\text{Al}$

# Gli isotopi cosmogenici – ACN e TCN

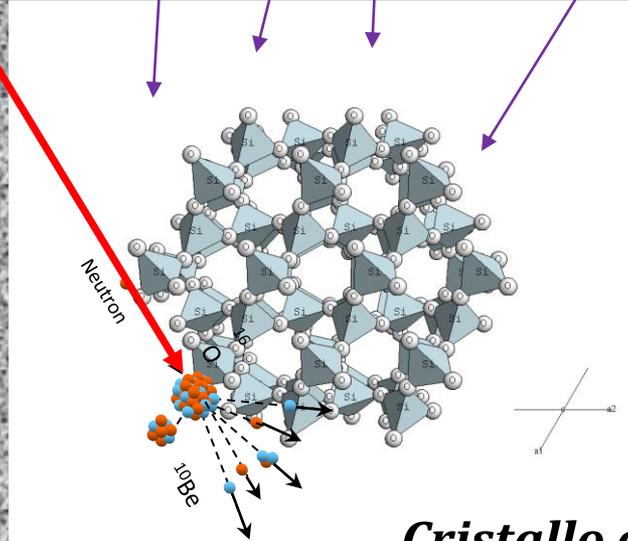


Secondary cosmic rays (>10MeV)

# Gli isotopi cosmogenici – ACN e TCN

ATMOSFERA

ROCCIA



*Cristallo di quarzo*

# Gli isotopi cosmogenici – processi di formazione

## 1. Spallazione (reazione più comune)

Neutroni energetici colpiscono i nuclei (es. Si),  
producendo particelle leggere  
e rendendo a loro volta i nuclei più leggeri

## 2. Reazione con muoni

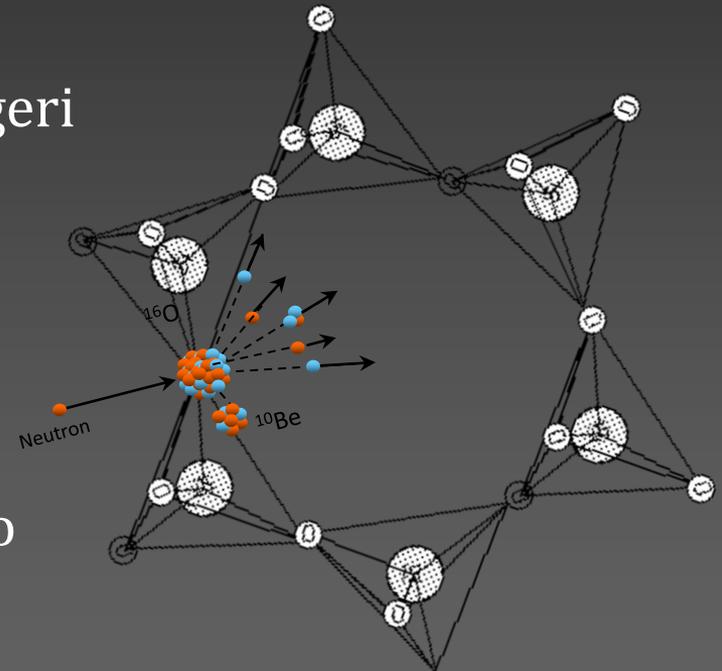
Cattura negativa dei muoni

Interazione con muoni veloci

Circa il 2% di  $^{10}\text{Be}$  e  $^{26}\text{Al}$  è così prodotto

## 3. Cattura di neutroni “a bassa energia”

Reazioni molto importanti per la produzione  
di  $^{36}\text{Cl}$  (in presenza di  $^{35}\text{Cl}$  nella roccia)



# Gli isotopi cosmogenici – TCN di interesse geologico

Table 1  
Summary of nuclide characteristics

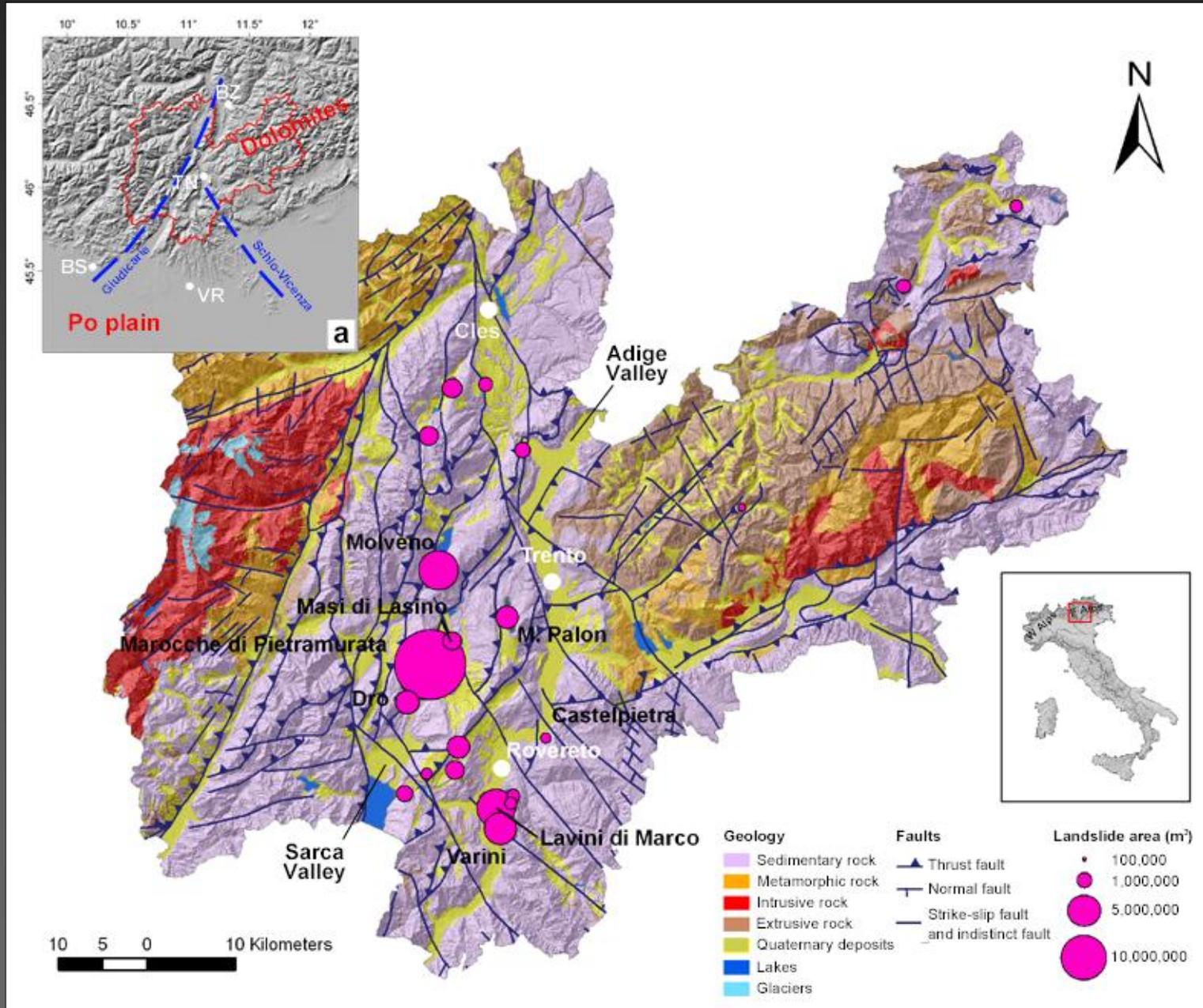
Nuclide	Half-life	Other isotopes	Suitable minerals	Target elements	Production rate <sup>a</sup> (atoms g <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Applicable time range <sup>b</sup>
<sup>10</sup> Be	1.5 Ma	<sup>9</sup> Be	Quartz	O, Si	5	Ages to several million years fast to slow denudation rates
<sup>146</sup> C	5.73 ka	<sup>12</sup> C, <sup>13</sup> C	Quartz	O	16	To 20,000 years rapid denudation rates
<sup>26</sup> Al	0.7 Ma	<sup>27</sup> Al	Quartz	Si	31	To several million years
<sup>36</sup> Cl	0.3 Ma	<sup>35</sup> Cl, <sup>37</sup> Cl	All rock types incl. carbonates	K, Ca, <sup>35</sup> Cl	ca. 10 granite <sup>c</sup> 20 limestone <sup>c</sup>	To one million years rapid to intermediate denudation rates
<sup>3</sup> He	Stable	<sup>4</sup> He	Olivine, pyroxene	Many	120	To millions of years
<sup>21</sup> Ne	Stable	<sup>20</sup> Ne, <sup>22</sup> Ne	Quartz, olivine, pyroxene	Si, Mg	20	Tens of thousands to millions of years fast to slow denudation rates

<sup>a</sup>Nuclide production rates at sea level and high latitude (Gosse and Phillips, 2001).

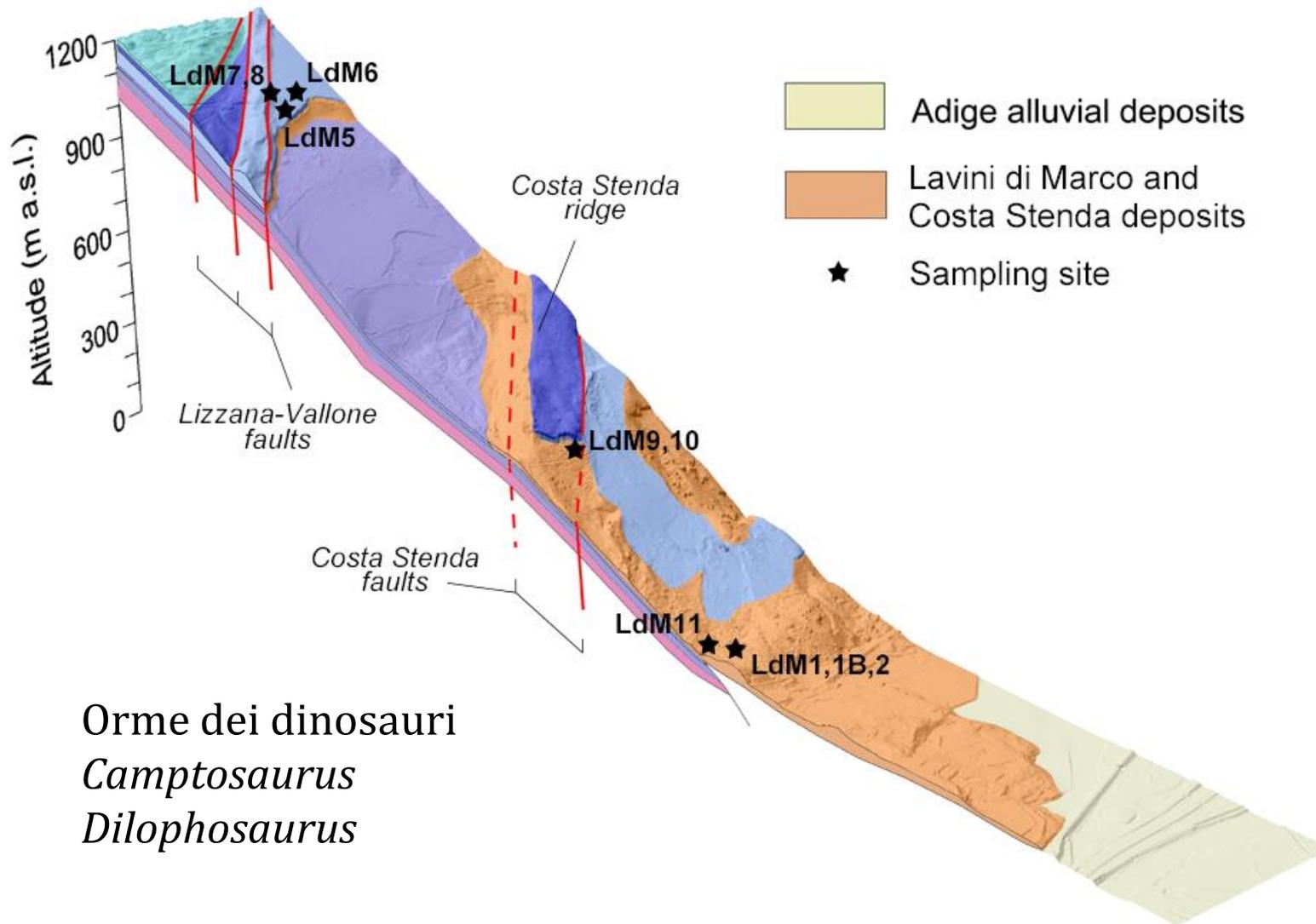
<sup>b</sup><sup>36</sup>Cl production is rock composition dependent.

<sup>c</sup>Applicable age range depends on rock surface or landform weathering rate.

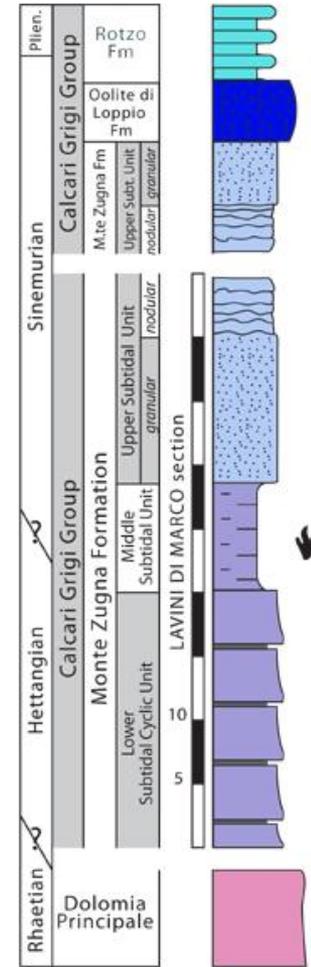
# Inquadramento geologico



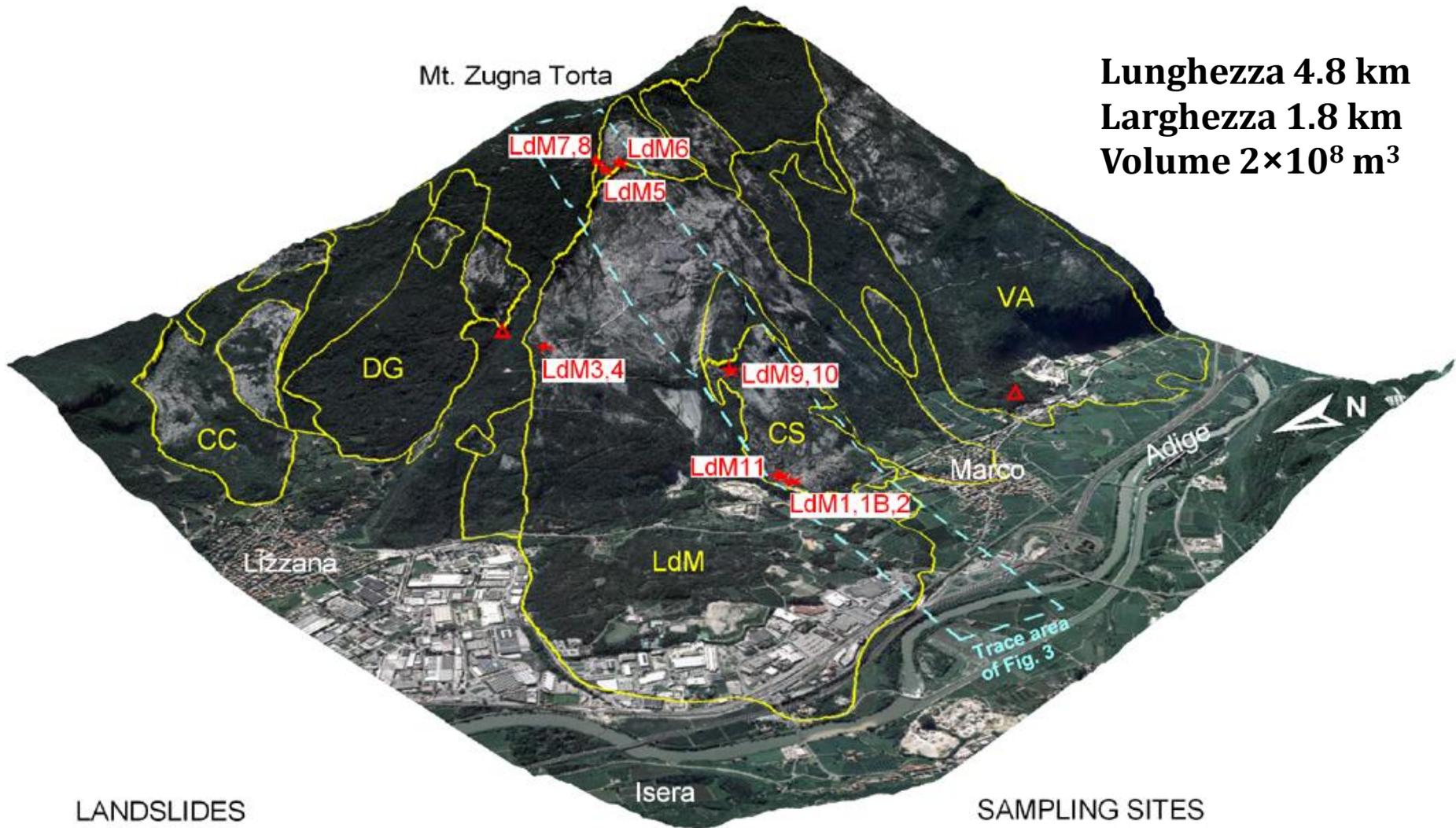
# Sezione geologica rappresentativa



Orme dei dinosauri  
*Camptosaurus*  
*Dilophosaurus*



# La frana – siti di campionamento



Lunghezza 4.8 km  
Larghezza 1.8 km  
Volume  $2 \times 10^8 \text{ m}^3$

## LANDSLIDES

LdM, Lavini di Marco  
CS, Costa Stenda

VA, Varini  
DG, Dosso Gardene

CC, Corna Calda

## SAMPLING SITES

★  $^{36}\text{Cl}$  exposure age (this study)  
▲  $^{14}\text{C}$  age (literature data)

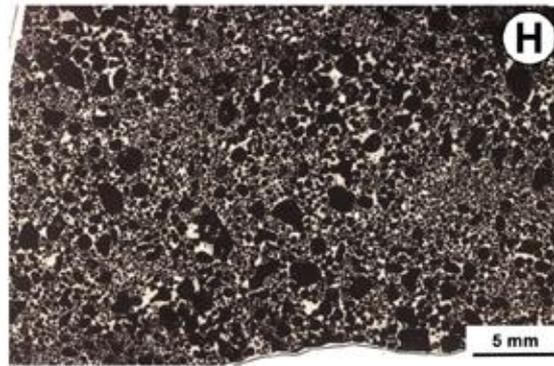
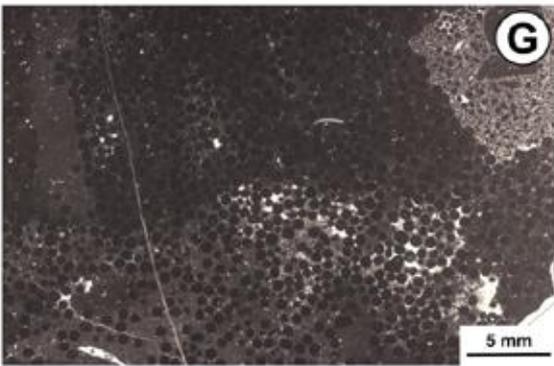
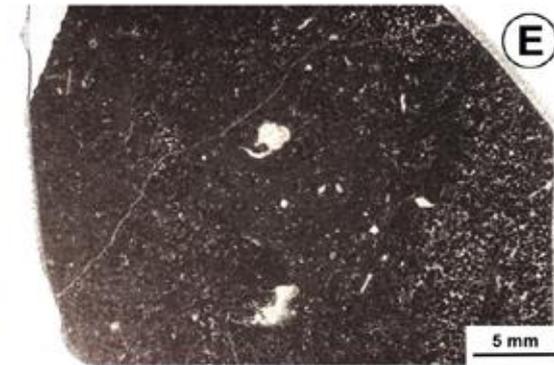
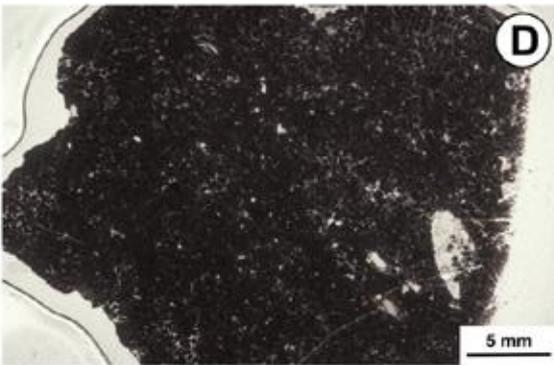
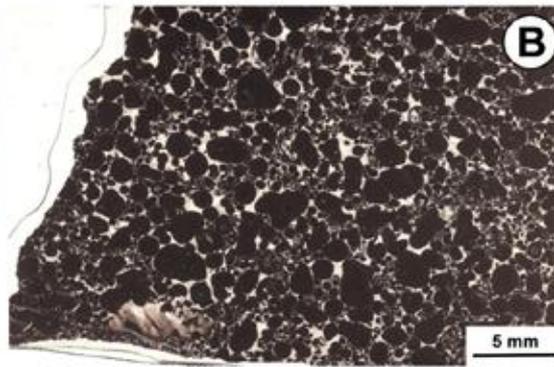
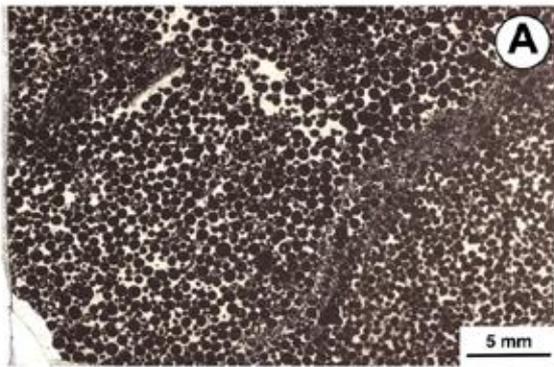
# La frana - immagini di terreno



# La frana - raccolta dei campioni



# I campioni - sezioni sottili



# I campioni - analisi chimiche

**Table 2**

Major and trace element concentrations for analyzed samples from Lavini di Marco and Costa Stenda (details of analytical methods given in SM3).

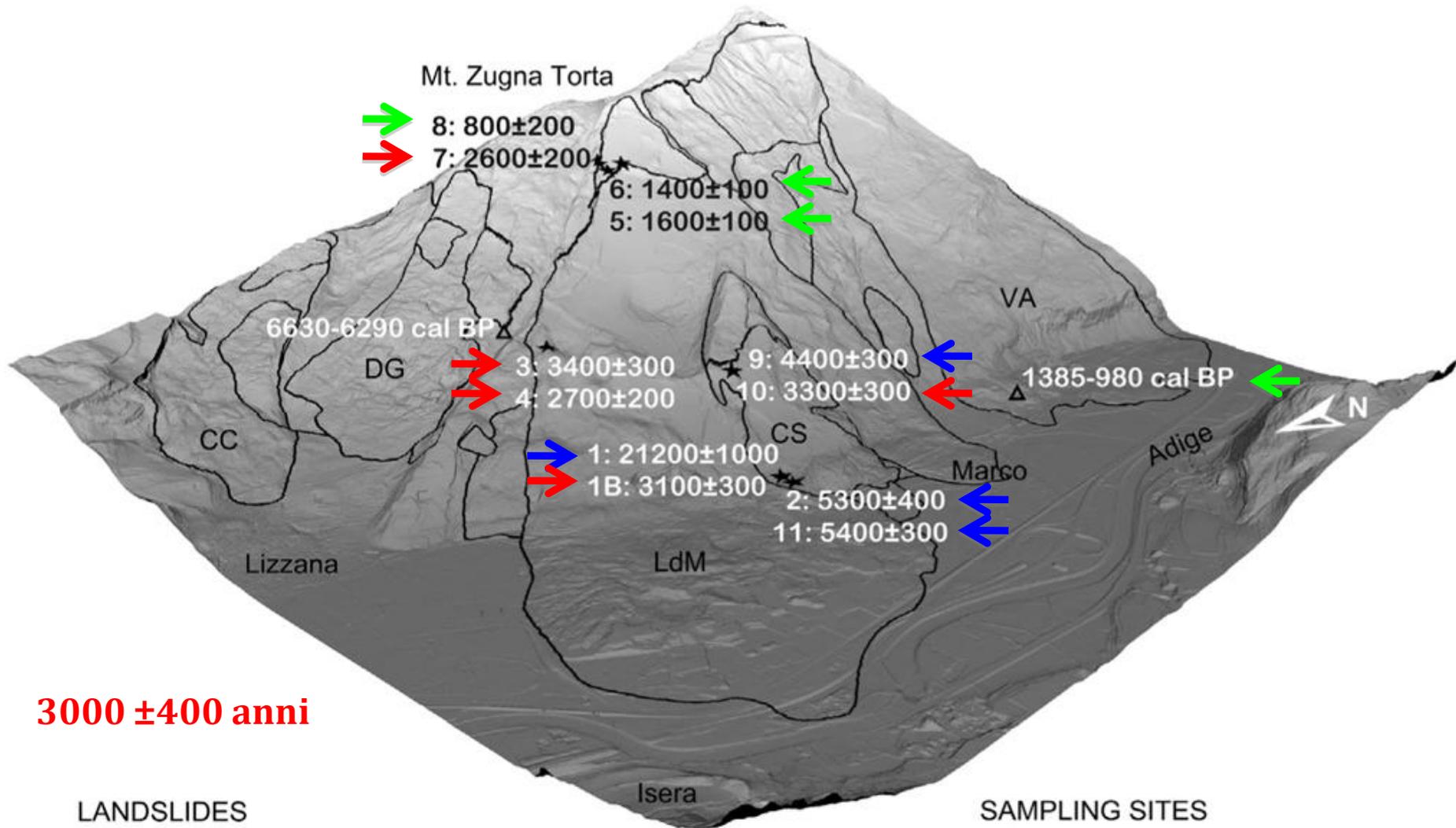
Major elements (Weight %)	LDM1	LDM1B	LDM2	LDM3	LDM4	LDM5	LDM6	LDM7	LDM8	LDM9	LDM10	LDM11
SiO <sub>2</sub>	0.06	0.01	0.04	0.19	0.07	0.18	0.16	0.13	0.04	0.01	0.01	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.02	0.09	0.03	0.13	0.12	0.09	0.07	0.03	0.05	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.02	0.03	0.05	0.05	0.12	0.09	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
MnO	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.46	0.33	0.39	0.41	0.33	0.64	0.67	0.44	0.46	0.34	0.41	0.38
CaO	54.93	53.78	55.30	55.46	55.85	53.23	53.41	53.08	54.18	53.81	54.31	53.99
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L.O.I.	43.95	45.51	43.76	43.63	43.49	45.56	45.21	45.90	45.06	45.58	45.00	45.01
Total	99.48	99.70	99.56	99.86	99.82	99.91	99.70	99.71	99.86	99.81	99.83	99.52
(ppm)												
V	<5	<5	6	7	9	9	9	7	<5	<5	<5	5
Cr	17	19	17	<6	<6	6	7	<6	9	19	18	15
Co	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Ni	<3	<3	<3	<3	<3	<3	4	<3	<3	<3	<3	<3
Cu	4	14	5	6	5	11	18	13	20	17	18	14
Zn	<3	8	<3	<3	<3	9	16	6	13	8	19	5
Ga	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Rb	7	<3	5	6	5	5	6	4	3	<3	<3	<3
Sr	267	245	282	201	283	253	305	199	208	248	274	284
Y	7	5	4	<3	<3	<3	<3	<3	<3	5	<3	<3
Zr	<3	4	<3	<3	<3	4	4	3	3	4	4	3
Nb	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Ba	63	<10	53	55	57	11	15	<10	18	<10	10	13
La	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ce	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10	<10	10	<10	10
Nd	<10	14	15	<10	<10	11	14	15	<10	14	12	10
Pb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Th	0.07	0.04	0.03	0.05	0.03	0.07	0.06	0.05	0.16	0.08	0.05	0.08
U	0.00	1.00	<1	2.00	<1	2.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	0.98	1.33	1.06	1.43	1.92	2.45	2.22	0.72	0.96	1.38	1.33	1.56
Gd	0.28	0.19	0.11	0.04	0.04	0.31	0.34	0.05	0.08	0.29	0.13	0.15
Sm	0.21	0.13	0.08	0.04	0.04	0.38	0.39	0.05	0.10	0.22	0.09	0.11

# I campioni – parametri di terreno e di laboratorio

**Table 1**  
Site information, AMS-measured  $^{36}\text{Cl}$  concentrations and exposure ages for Lavini di Marco and Costa Stenda samples (for locations see [Figs. 2 and 5](#)).

Sample	Site setting	Latitude	Longitude	Elevation (M)	Thickness (cm)	Total shielding topo. And dip	Cl in rock (ppm)	$^{36}\text{Cl}$ $10^5$ atoms/g rock	Exposure age (years)
LdM1	Boulder, Costa Stenda	45.849	11.016	227	5.0	0.888	$13.4 \pm 0.1$	$4.68 \pm 0.14$	$21200 \pm 1000$
LdM1B	Side of boulder LdM1	45.849	11.016	220	2.0	0.746	$16.6 \pm 0.3$	$0.59 \pm 0.05$	$3100 \pm 300$
LdM2	Boulder, Costa Stenda	45.849	11.016	223	3.0	0.799	$14.4 \pm 0.5$	$1.02 \pm 0.06$	$5300 \pm 400$
LdM3	Boulder, Lavini di Marco	45.851	11.035	554	2.0	0.814	$17.8 \pm 0.3$	$0.95 \pm 0.07$	$3400 \pm 300$
LdM4	Boulder, Lavini di Marco	45.851	11.035	556	1.0	0.812	$9.2 \pm 0.1$	$0.77 \pm 0.05$	$2700 \pm 200$
LdM5	Bedrock, 'sliding' plane	45.839	11.046	1070	2.5	0.984	$15.7 \pm 0.2$	$0.81 \pm 0.06$	$1600 \pm 100$
LdM6	Bedrock, 'sliding' plane	45.839	11.046	1076	2.5	0.981	$16.7 \pm 0.2$	$0.68 \pm 0.04$	$1400 \pm 100$
LdM7	Boulder, below head scarp	45.840	11.046	1049	2.0	0.543	$12.8 \pm 0.1$	$0.71 \pm 0.04$	$2600 \pm 200$
LdM8	Bedrock, upper niche	45.840	11.046	1065	1.5	0.546	$22.3 \pm 0.1$	$0.23 \pm 0.06$	$800 \pm 200$
LdM9	Boulder, Costa Stenda	45.846	11.025	476	2.5	0.561	$17.0 \pm 0.1$	$0.80 \pm 0.05$	$4400 \pm 300$
LdM10	Boulder, Costa Stenda	45.846	11.025	489	3.0	0.922	$26.7 \pm 0.3$	$1.03 \pm 0.08$	$3300 \pm 300$
LdM11	Boulder, Costa Stenda	45.849	11.017	221	3.0	0.848	$14.2 \pm 0.1$	$1.19 \pm 0.06$	$5400 \pm 300$

# I risultati delle datazioni $^{36}\text{Cl}$



**3000 ± 400 anni**

## LANDSLIDES

LdM, Lavini di Marco  
CS, Costa Stenda

VA, Varini  
DG, Dosso Gardene

CC, Corna Calda

## SAMPLING SITES

★  $^{36}\text{Cl}$  exposure age (this study)  
△  $^{14}\text{C}$  age (literature data)

# Conclusioni

---

- La frana in roccia dei Lavini di Marco è una frana complessa, di cui sono stati studiati i depositi dei Lavini di Marco e di Costa Stenda.
- Sono stati campionati: (i) i grandi blocchi sui depositi, (ii) i piani di scivolamento principali, (iii) la scarpata principale.
- Sono state effettuate analisi dettagliate di tipo stratigrafico, litologico, paleontologico e chimico.
- Le età di esposizione  $^{36}\text{Cl}$  sono comprese tra  $800 \pm 200$  e  $21.200 \pm 100$  anni dal presente. Esse rappresentano: (i) età di pre-esposizione, (ii) età dei depositi, (iii) età di attivazioni più recenti.
- L'età media proposta per i depositi dei Lavini di Marco e Costa Stenda è *3000  $\pm$  400 anni dal presente* (tardo Sub-Boreale, età caratterizzata da condizioni climatiche ad elevata piovosità).

# Ringraziamenti

La ricerca è stata in larga parte finanziata dalla Provincia Autonoma di Trento, nell'ambito della realizzazione della Carta della Pericolosità.

ARTICLE IN PRESS

Quaternary Geochronology xxx (2013) 1–11

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

 **ELSEVIER**

**Quaternary Geochronology**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/quageo](http://www.elsevier.com/locate/quageo)



---

Research paper

Lavini di Marco (Trentino, Italy):  $^{36}\text{Cl}$  exposure dating of a polyphase rock avalanche

S. Martin<sup>a</sup>, P. Campedel<sup>b</sup>, S. Ivy-Ochs<sup>c,\*</sup>, A. Viganò<sup>d</sup>, V. Alfimov<sup>c</sup>, C. Vockenhuber<sup>c</sup>, E. Andreotti<sup>e</sup>, G. Carugati<sup>f</sup>, D. Pasqual<sup>a</sup>, M. Rigo<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, 35133 Padova, Italy  
<sup>b</sup>Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento, 38121 Trento, Italy  
<sup>c</sup>Laboratory of Ion Beam Physics, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich, Switzerland  
<sup>d</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, 38123 Trento, Italy  
<sup>e</sup>INFN, Università dell'Insubria, 22100 Como, Italy  
<sup>f</sup>Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali, Università dell'Insubria, 22100 Como, Italy