

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
“FEDERICO II”

Corso di laurea triennale in  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Tesi di laurea:

**RAPPORTI TRA FRANE E TERREMOTI:  
CASI STUDIO IN ITALIA CENTRALE**

RELATORE

Chiar.mo Prof. Paolo Budetta

CANDIDATA

Lucia Russo

N49/627

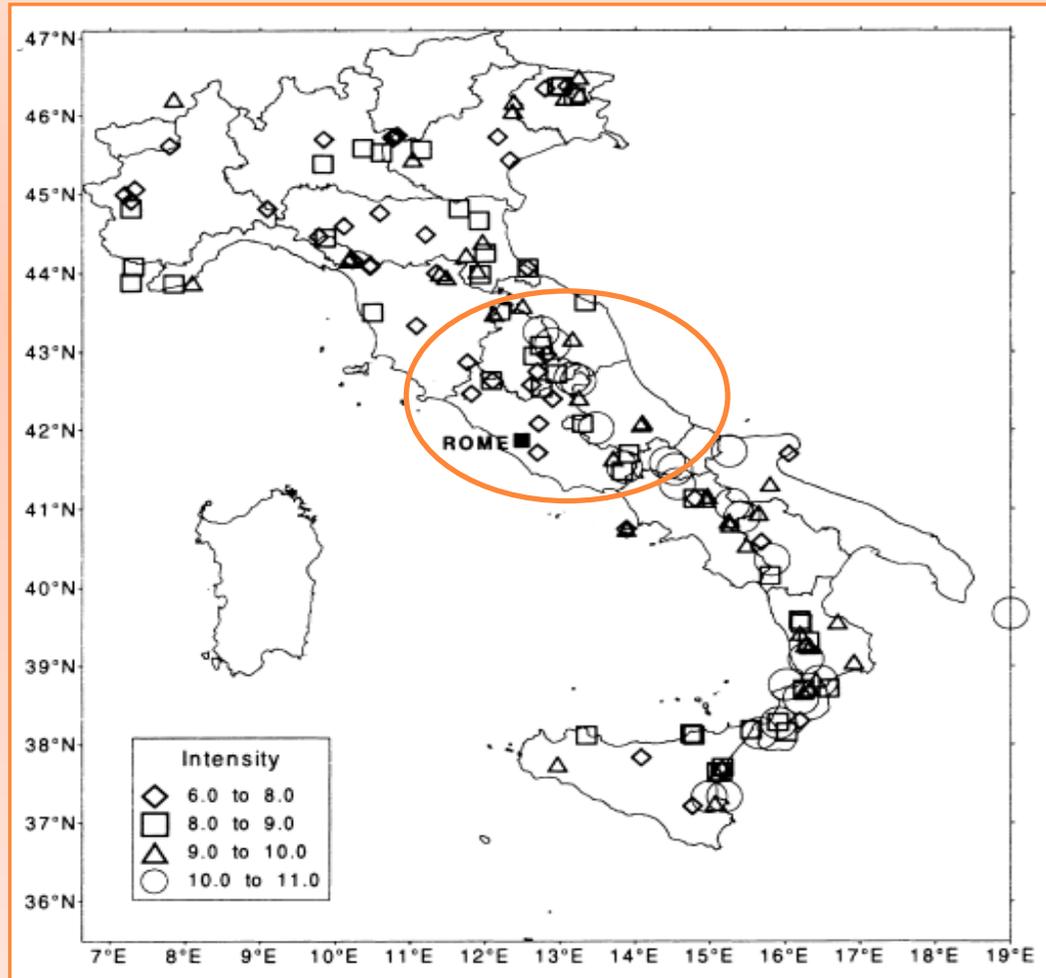
Anno accademico 2015/2016

# OBIETTIVI

Effetti secondari al suolo



terremoti



Terremoti nella penisola Italiana



Appennino centrale



# TERREMOTI

Rapide e brusche vibrazioni del suolo dovute alla liberazione di energia accumulatasi nelle rocce cristalli.

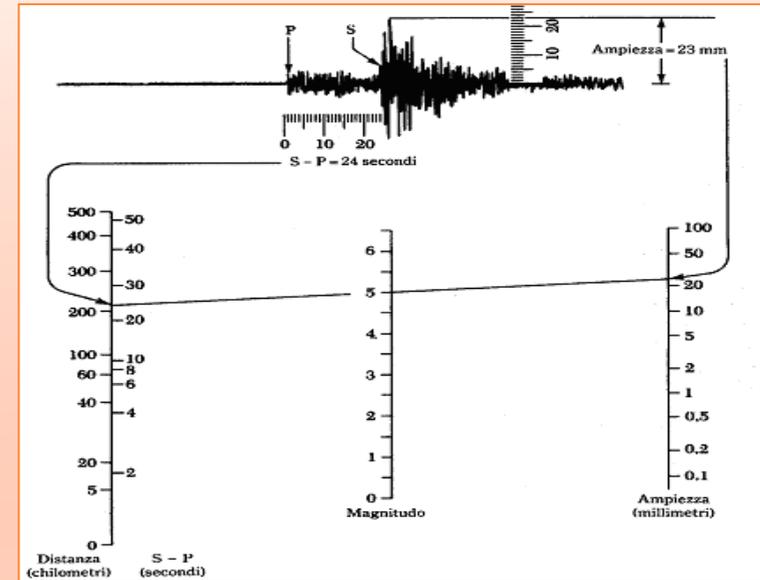
I terremoti tettonici possono essere generati da:

- Rotture o dislocazioni di masse rocciose profonde;
- Ripresa di movimenti lungo piani di faglia.



L'energia liberata da un terremoto può essere misurata attraverso le scale sismiche:

- Scala di Intensità (MCS)
- Scala della magnitudo (Richter)
- Magnitudo momento



SCALA MERCALLI		
I	- Strumentale	Avvertita solo dagli strumenti
II	- Debole	Avvertita solo da poche persone sensibili in condizioni particolari
III	- Leggera	Avvertita da poche persone
IV	- Moderata	Avvertita da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi
V	- Piuttosto forte	Avvertita da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti
VI	- Forte	Qualche lesione agli edifici
VII	- Molto forte	Caduta di comignoli; lesione agli edifici
VIII	- Distruttiva	Rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate
IX	- Rovinosa	Rovina totale di alcuni edifici; molte vittime; crepacci nel suolo
X	- Disastrosa	Crollo di parecchi edifici; numerose vittime; crepacci evidenti nel terreno
XI	- Molto disastrosa	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto
XII	- Catastrofica	Danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto



L'intera penisola italiana è sismica ed in particolare la sismicità è concentrata:



- Alpi
- Dorsale appenninica
- Aree vulcaniche attive

La sismicità alpina ed appenninica è di natura tettonica

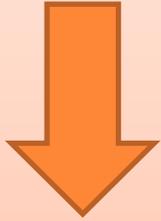


Faglie



# Effetti indotti dai terremoti:

## ○ Effetti primari



- Riattivazioni di faglie;
- Sollevamenti isostatici;
- Fenomeni di subsidenza.

## ○ Effetti secondari



- Anomalie idrologiche;
- Fratture in terreni sciolti;
- Frane;
- Tsunami;
- Liquefazioni;
- Scuotimento degli alberi;
- Nubi di polvere;
- Saltellamento di massi erratici.



# Environmental Seismic Intensity scale (ESI 2007)

Scala di intensità macrosismica basata esclusivamente sugli effetti ambientali.

Suddivisa in 12 gradi:

	Environmental effects	Diagnostic range of intensity degrees	
	SURFACE FAULTING AND DEFORMATION	VIII (*)	XII
A	HYDROLOGICAL ANOMALIES	IV	X
B	ANOMALOUS WAVES/TsunamiS	IV	XII
C	GROUND CRACKS	IV	X
D	SLOPE MOVEMENTS	IV	X
E	TREE SHAKING	IV	XI
F	LIQUEFACTIONS	V	X
G	DUST CLOUDS	VIII	VIII
H	JUMPING STONES	IX	XII

(\*) For intensity degree VII, limited surface fault ruptures, tens to hundreds meters long with centimetric offset may occur essentially associated to very shallow earthquakes in volcanic areas.

- Dal I al III: non ci sono effetti ambientali registrabili
- Dal IV al IX: è possibile osservare effetti ambientali permanenti . È preferibile utilizzarla accoppiata con le scale di intensità tradizionali.
- Dal X al XII: le scale di intensità tradizionali vanno a saturazione quindi può essere utilizzata da sola.

Secondo Prestininzi e Romeo (2000), in Italia, frane e fagliazioni superficiali sono gli effetti secondari più frequenti rispetto alle liquefazioni ed alle modificazioni topografiche.

Frana: Movimento di una massa di roccia, terra o detrito lungo un versante, con scorrimento lungo un piano di rottura. (Cruden, 1991)



Le frane indotte dai terremoti si dividono in:

- Rotture dirette;
- Rotture indirette.



# Analisi “pseudostatica”

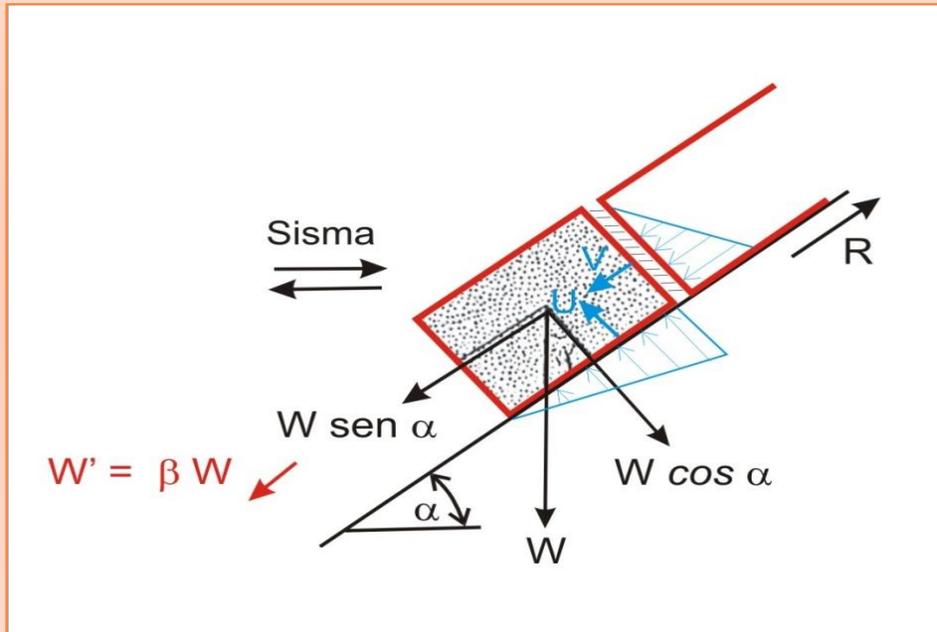
$$W \sin \alpha + V + \beta W = (c + (W \cos \alpha) \tan \phi) - U$$

## ○ Forze resistenti:

- Componente normale della forza peso ( $W \cos \alpha$ )
- Coesione ( $c$ )
- Angolo di attrito ( $\phi$ )

## ○ Forze agenti:

- Componente tangenziale della forza peso ( $W \sin \alpha$ )
- Sottospinta idraulica ( $U$ )
- Spinta esercitata dall'acqua nella frattura ( $V$ )
- Azioni pseudostatiche ( $W' = \beta W$ )



Keefner (1984) ha analizzato le frane collegabili a 40 terremoti. Per ciascuno di essi si è studiato il numero di frane attivate, suddivise per tipo di movimento.

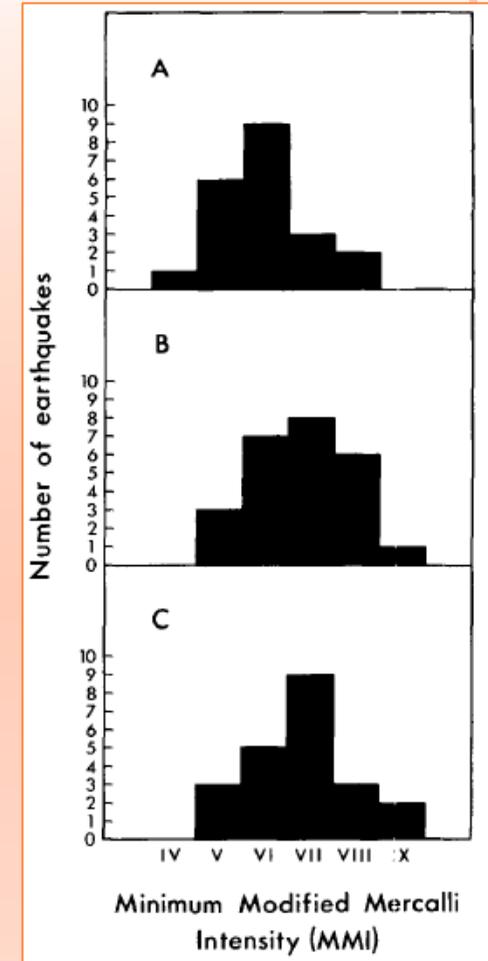
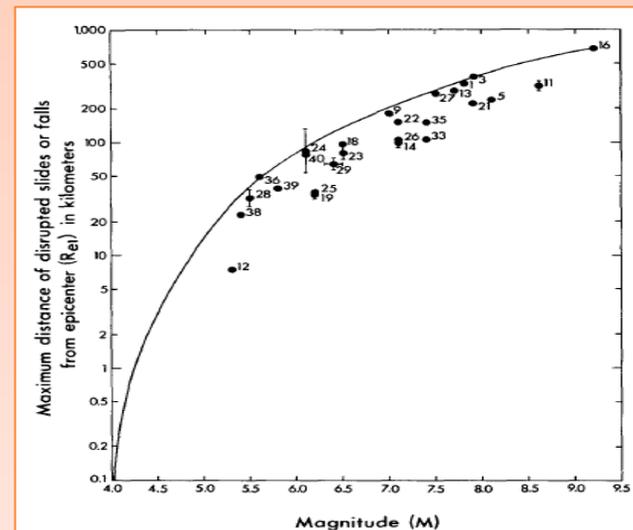
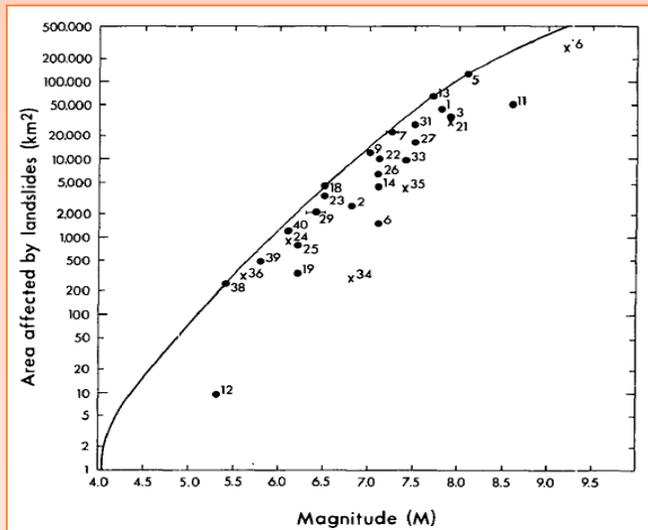
Earthquake	Date	Magnitude	Focal depth (km)	Maximum Modified Mercalli Intensity	Fault-rupture zone definition
1. New Madrid, Missouri	16 Dec 1811	7.5*	--	X-XI	--
	23 Jan 1812	7.3*	--	IX	--
	7 Feb 1812	7.8*	--	X-XI	--
2. Charleston, South Carolina	1 Sep 1886	6.8	--	X	--
3. San Francisco, California	18 Apr 1906	7.9 <sup>†</sup> (8.25-8.3)	<20	XI	f
4. Kansu (Haiyun), China	16 Dec 1920	7.8 <sup>†</sup> (8.5)	25	XI-XII <sup>§</sup>	f
5. Bihar, India-Nepal	15 Jan 1934	8.1 <sup>†</sup> (8.3)	15	X	f
6. Imperial Valley, California	19 May 1940	7.1	16	X	i
7. Vancouver Island, Canada	23 Jun 1946	7.2-7.3	30	VIII	g
8. Fukui, Japan	28 Jun 1948	7.25-7.3**	14-33	IX-X <sup>§</sup>	--
9. Puget Sound, Washington	13 Apr 1949	7.0	70	VIII	--
10. Khat, U.S.S.R.	10 Jul 1949	7.6	20-28	--	--
11. Assam, India	15 Aug 1950	8.6 <sup>†</sup> (8.6-8.7)	14	X	--
12. Daly City, California	22 Mar 1957	5.3 <sup>††</sup>	7-11	VII	a + k
13. Southeast Alaska	10 Jul 1958	7.7 <sup>†</sup> (7.9)	15	XI-XII	f
14. Hebgen Lake, Montana	18 Aug 1959	7.1**	10-12	X	f
15. Chile	22 May 1960	9.5 <sup>†</sup> (8.3-8.5)	<70	XI-XII	--
16. Alaska	28 Mar 1964	9.2 <sup>†</sup> (8.3-8.4)	20-50	X-XI	t
17. Niigata, Japan	16 Jun 1964	7.3	40	VIII	s
18. Puget Sound, Washington	29 Apr 1965	6.5	58-63	VII-VIII	--
19. Parkfield-Cholame, California	28 Jun 1966	6.2	4-10	VII-IX	f
20. Inangahua, New Zealand	23 May 1968	7.1	12-21	X-XI	--
21. Peru	31 May 1970	7.9 <sup>†</sup> (7.8)	35-43	VIII	a
22. Madang, Papua New Guinea	31 Oct 1970	7.1	41	VIII-IX	a
23. San Fernando, California	9 Feb 1971	6.5	8-13	XI	f + a
24. Honomu, Hawaii	26 Apr 1973	6.1	41-50	VIII	--
25. Indus Kohistan, Pakistan	28 Dec 1974	6.2	12	VIII	--
26. Kilauea, Hawaii	29 Nov 1975	7.1	5	VIII	f
27. Guatemala	4 Feb 1976	7.5	5	IX	f
28. Kholm, Afghanistan	19 Mar 1976	5.5	33-77	VIII-IX	--
29. Friuli, Italy	6 May 1976	6.3-6.5	8-26	VIII-X <sup>§</sup>	a
30. Darien, Panama	11 Jul 1976	7.0	3	--	--
31. Tangshan, China	27 Jul 1976	7.5 <sup>†</sup> (7.7-8.0)	12-16	XI <sup>§</sup>	f + a
32. Khurgu, Iran	21 Mar 1977	6.9	29	VIII+	--
33. San Juan Province, Argentina	23 Nov 1977	7.4	17	IX	a
34. Izu-Oshima Kinkai, Japan	14 Jan 1978	6.8	4	IX-X <sup>§</sup>	f
35. Miyagi-ken-oki, Japan	12 Jun 1978	7.4	30	VII-IX <sup>§</sup>	a
36. Santa Barbara, California	13 Aug 1978	5.6	13	VII	a
37. Homestead Valley, California	15 Mar 1979	5.2 <sup>††</sup>	<4	VI	f
38. Coyote Lake, California	6 Aug 1979	5.4	10	VII	f + a
39. Mount Diablo, California	24 Jan 1980	5.8	8	VI-VII	f
40. Mammoth Lakes, California	25 May 1980	6.1	8	VII	f

Tra le 14 tipologie di frane riscontrate, le più diffuse sono:

- Crolli in roccia;
- Scorrimenti in terreni incoerenti;
- Scivolamenti in roccia;
- Colate lente;
- Valanghe di roccia.

# Nello studio delle frane sismo-indotte si fa riferimento ai seguenti 5 fattori:

- Terremoti di più bassa magnitudo che hanno causato frane;
- Correlazione tra la magnitudo dell'evento sismico e l'area interessata dalle frane;
- Correlazione tra la magnitudo e la distanza massima della frana dall'epicentro;
- Correlazione tra la magnitudo e la distanza massima delle frane dalla faglia sismogenetica;
- Minima intensità macrosismica a seguito della quale le frane si sono attivate.



Per ogni tipologia di frana è possibile identificare la minima magnitudo necessaria all'innescio.

Il terremoto di più bassa magnitudo ad aver causato frane è stato caratterizzato da magnitudo  $M=4.0$

Il numero di frane sismoindotte aumenta con l'incremento della magnitudo:

- Per  $M=4.0$  l'area massima è inferiore al  $\text{km}^2$
- Per  $M=9.2$  l'area massima è circa  $500.000 \text{ km}^2$



# Terremoti avvenuti negli ultimi 20 anni in Italia centrale

Data	Area epicentrale	N° frane	N° liquefazioni	N° fagliazioni superficiali	N° variazioni topografiche
26/9/1997	Valnerina	<b>194</b>	82	3	4
31/10/2002	Molise	<b>1</b>	2	0	0
6/4/2009	Aquilano	<b>93</b>	9	65	1
24/8/2016	Appennino centrale	<b>147</b>	0	0	0
26/10/2016	Appennino centrale	<b>235</b>	9	0	0
30/10/2016	Appennino centrale	<b>383</b>	40	0	0

Con la sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016 si è passati da:

40 eventi in media al giorno  300 eventi in media al giorno

I terremoti dell'Appennino centrale sono spesso causati dalla riattivazione delle faglie sismogenetiche su esso situate.

La riattivazione delle faglie può avvenire a seguito di un forte terremoto oppure può essere essa stessa la causa scatenante

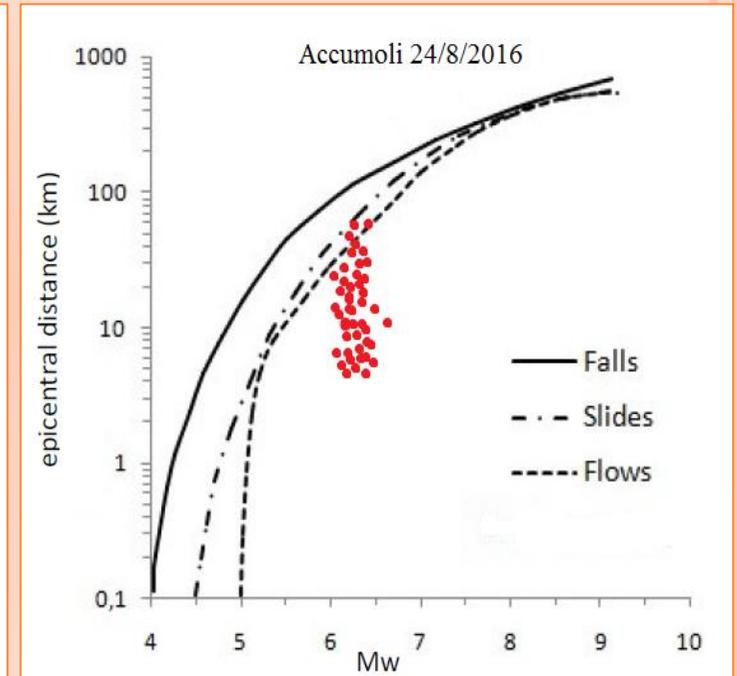
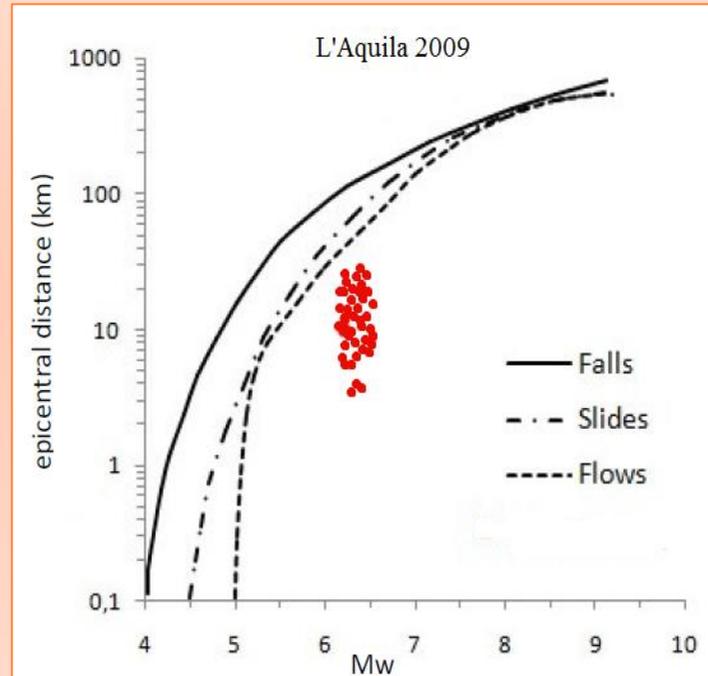
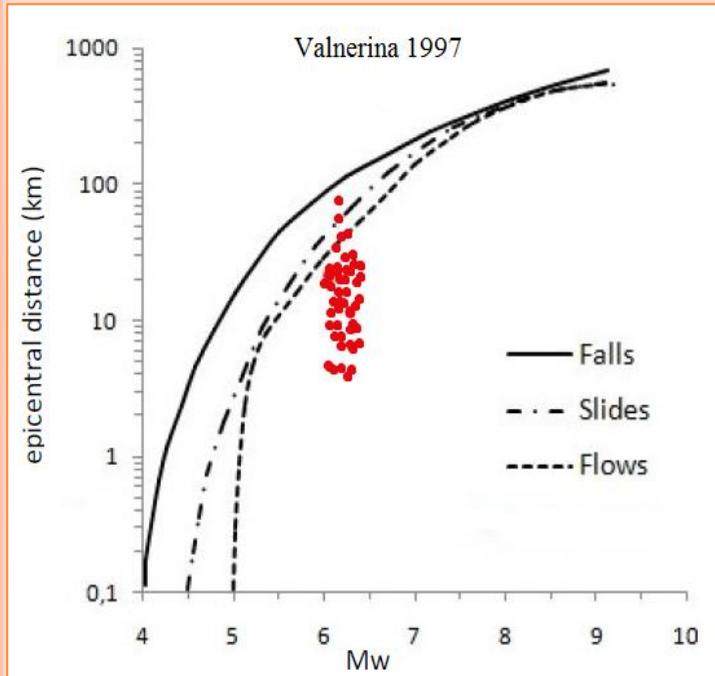


Il terremoto del 30 ottobre 2016 è stato provocato dalla riattivazione della faglia del Monte Vettore

Faglia del Monte Vettore



# Tutte le frane da crollo relative ai 3 sismi si collocano al di sotto dell'inviluppo di Keefer (1984)



# CONCLUSIONI

- Dallo studio di Keefer si ricava che le frane più pericolose sono: le valanghe di roccia, le colate rapide di terreno e i crolli in roccia (tipologia di frane più ricorrente).
- Nei 6 terremoti analizzati le frane sono più numerose delle liquefazioni e delle variazioni topografiche in accordo con Prestininzi e Romeo (2000).
- Gli effetti secondari dei 6 terremoti si posizionano al di sotto dell'involuppo di Keefer (1984), diversamente da quanto riscontrato da Prestininzi e Romeo (2000).



GRAZIE PER LA  
VOSTRA  
ATTENZIONE!

