



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Scienze Geologiche

Processi fisico-chimici ed evoluzione dell'attrito nelle faglie durante i terremoti

Relatore:

Giulio Di Toro

Candidata:

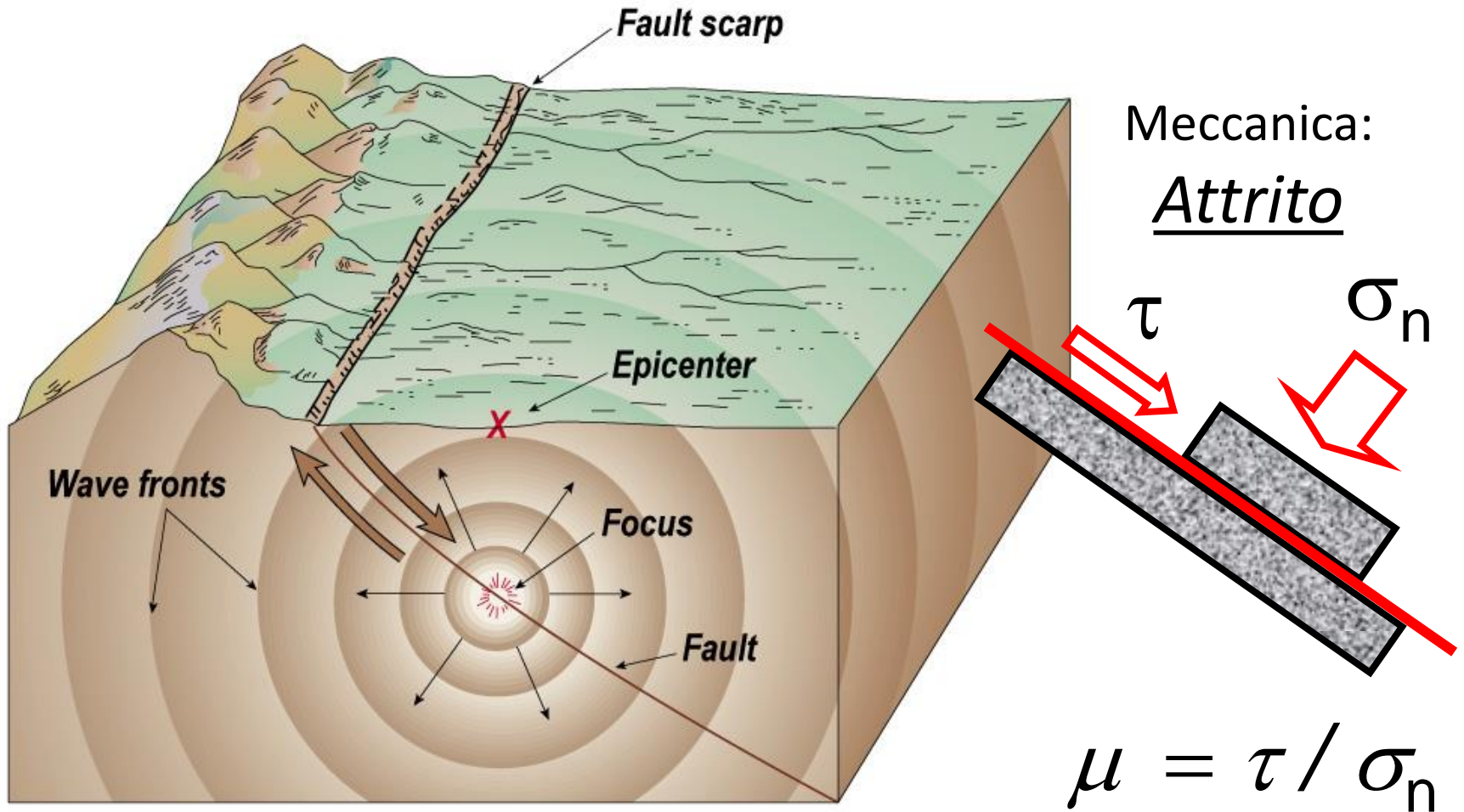
Stefania Simion

Indice

- I terremoti
 - Cosa sono i terremoti
 - Come studiare l'attrito durante i terremoti
- I terremoti in laboratorio
 - Apparatati tipo Rotary
 - Evoluzione dell'attrito
 - Processi proposti in letteratura
- Processi di fusione nelle rocce coesive silicatiche
 - Flash heating
 - Fusione per attrito (frictional melting)
 - Confronto tra rocce di faglia sperimentali e naturali
- Conclusioni

I terremoti

Cosa sono i terremoti



Fasi:

- Enucleazione della rottura (ipocentro)
- Propagazione della rottura lungo faglia
- Scivolamento dei blocchi rocciosi (attrito)

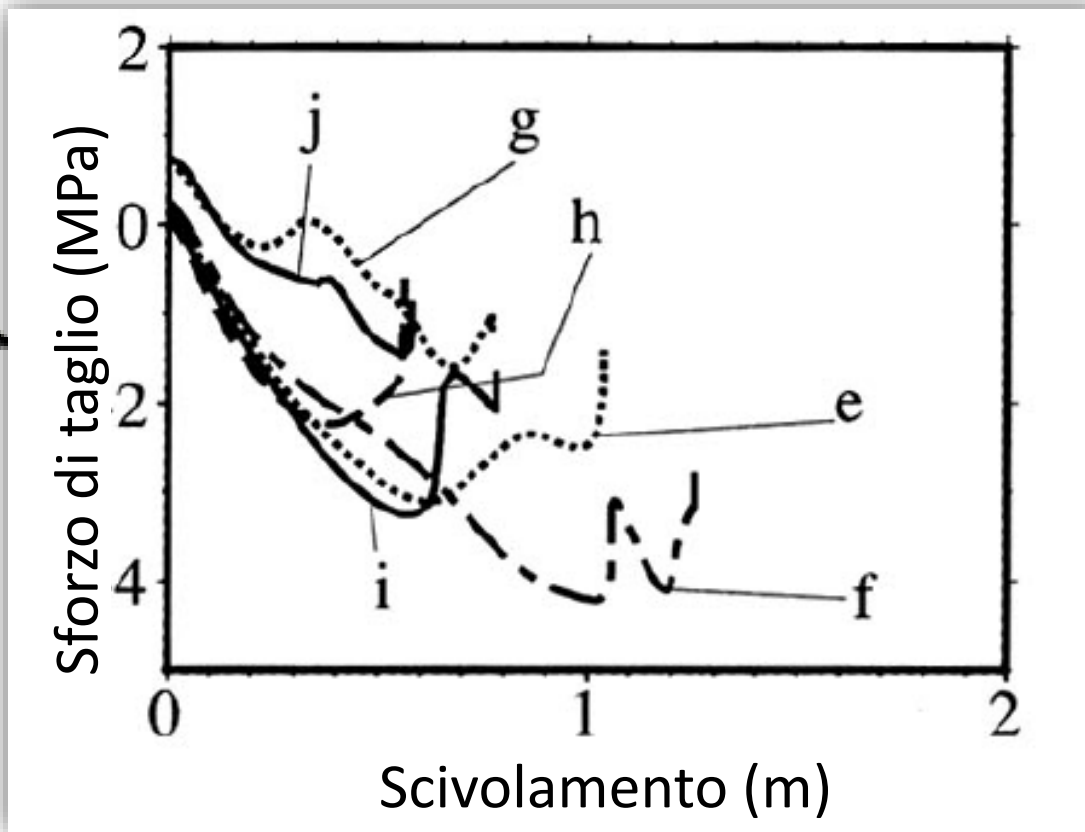
} onde sismiche

Come studiare l'attrito durante i terremoti

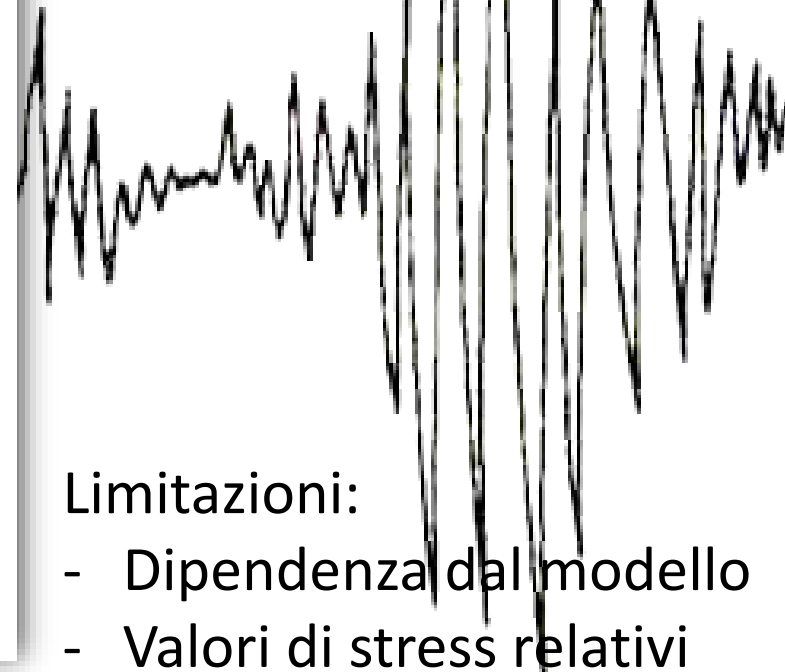
Sismologia: studio delle onde sismiche

- Ipocentro
- Epicentro
- Direttività
- Magnitudo...

Modelli di inversione



Evoluzione dello sforzo di taglio con lo scivolamento



Limitazioni:

- Dipendenza dal modello
- Valori di stress relativi

Come studiare l'attrito durante i terremoti

Approccio sperimentale per lo studio dell'attrito
nelle rocce durante i terremoti

ESPERIMENTI CONVENZIONALI

Apparati sperimentali triassiali e biassiali

ESPERIMENTI NON-CONVENZIONALI

Apparati sperimentali tipo Rotary

Come studiare l'attrito durante i terremoti

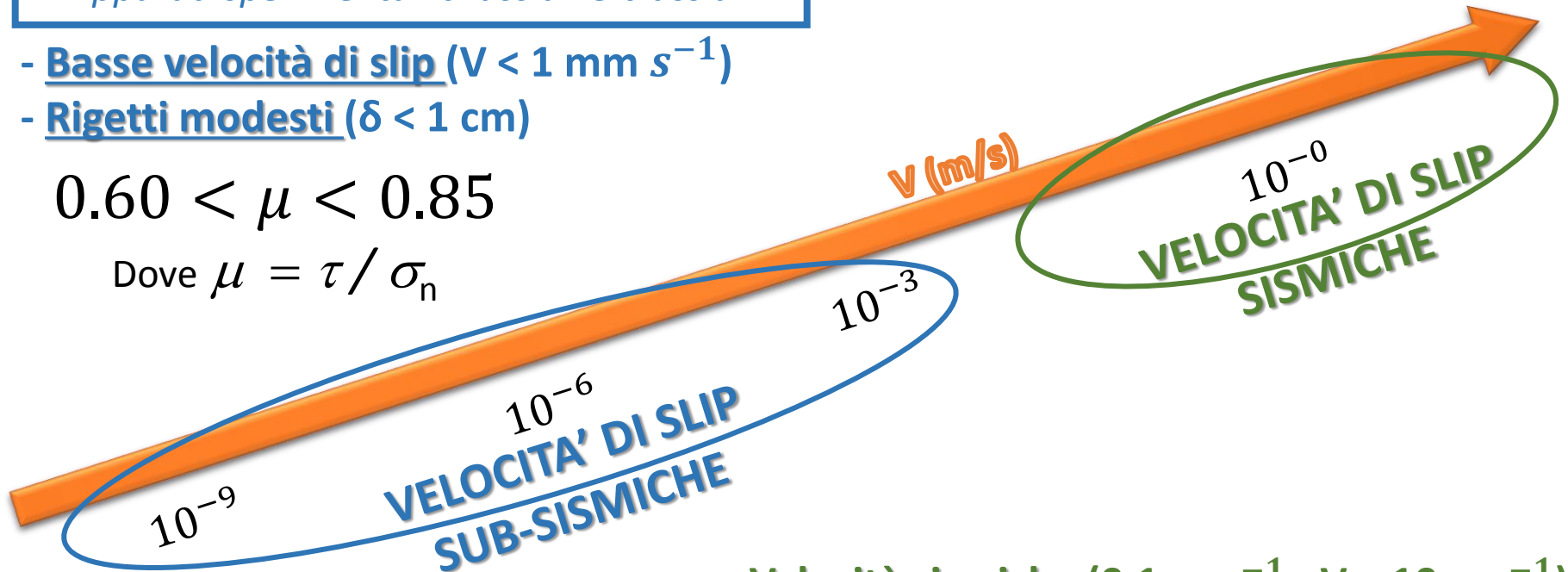
ESPERIMENTI CONVENZIONALI

Apparati sperimentali triassiali e biassiali

- Basse velocità di slip ($V < 1 \text{ mm s}^{-1}$)
- Rigetti modesti ($\delta < 1 \text{ cm}$)

$$0.60 < \mu < 0.85$$

Dove $\mu = \tau / \sigma_n$



- Velocità sismiche ($0.1 \text{ m s}^{-1} < V < 10 \text{ m s}^{-1}$)
- Rigetti elevati ($\delta > 50 \text{ m}$)
- Stress normali elevati ($\sigma_n > 50 \text{ MPa}$)

ESPERIMENTI NON-CONVENZIONALI

Apparati sperimentali tipo Rotary

$$\mu \approx ?$$

I terremoti in laboratorio

Apparati tipo Rotary

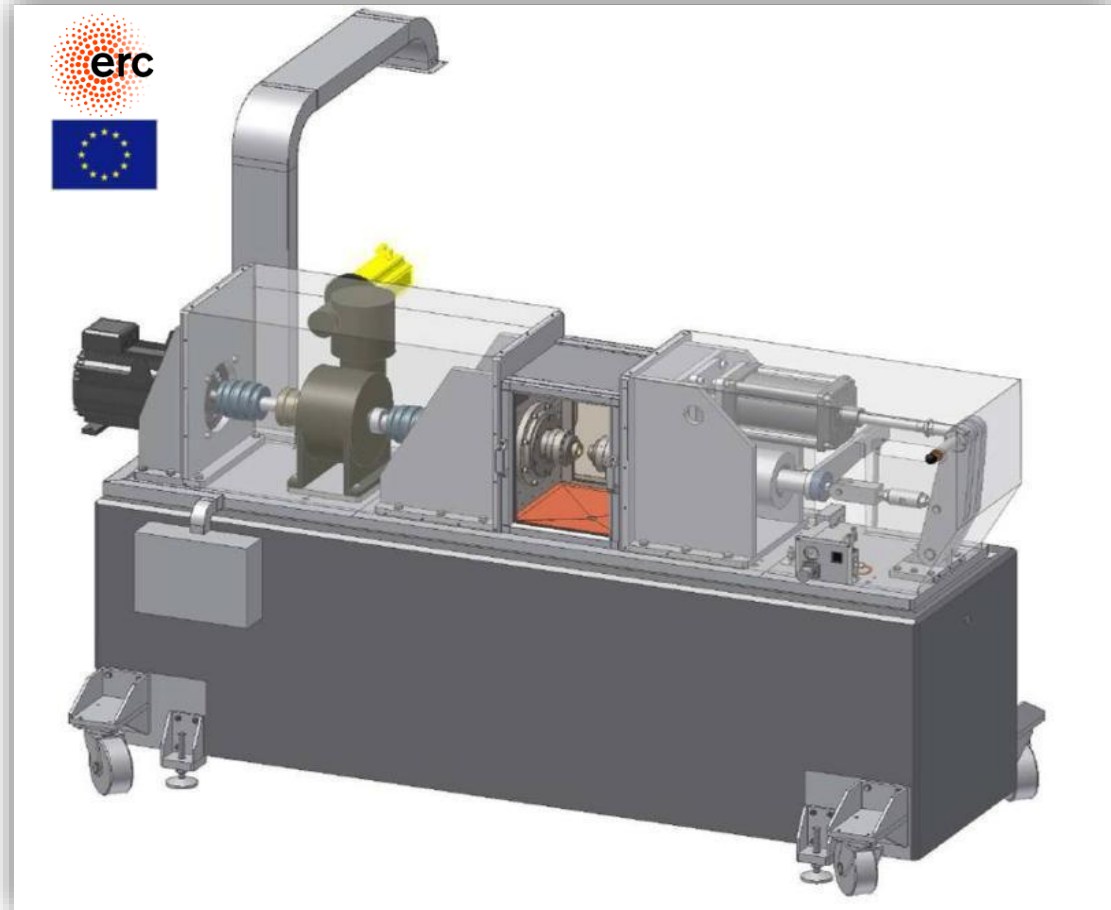
ROSA (ROtary Shear Apparatus)

Padova



SHIVA (Slow to High Velocity Apparatus)

Roma



Di Toro, Nielsen et al., Rendiconti Lincei, 2010

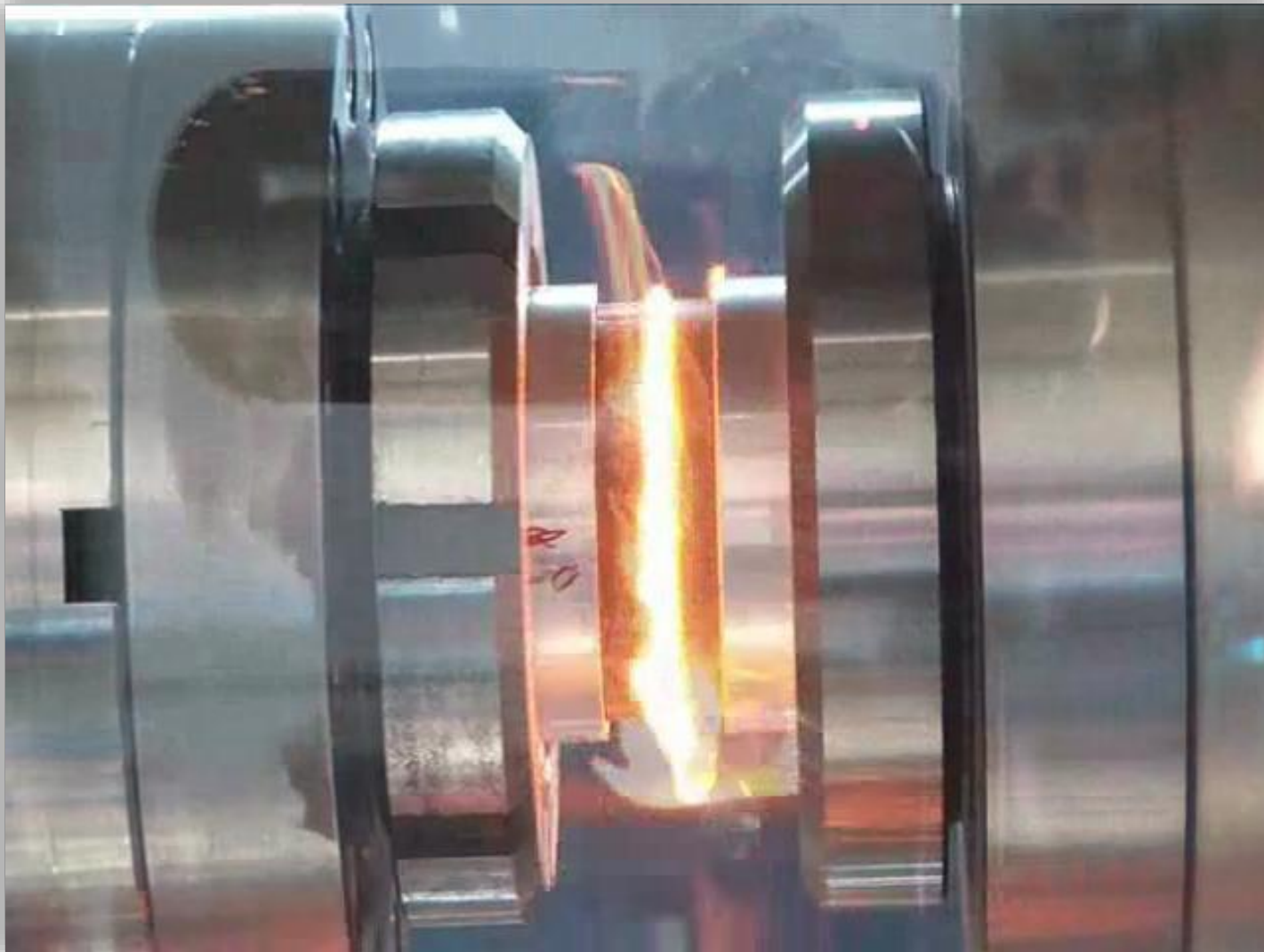
Apparati tipo Rotary

$V = 5 \text{ m/s}$ (0 to 5 m/s in 0.1 s)

$\sigma_n = 25 \text{ MPa}$

Gabbro

roccia silicatica coesiva

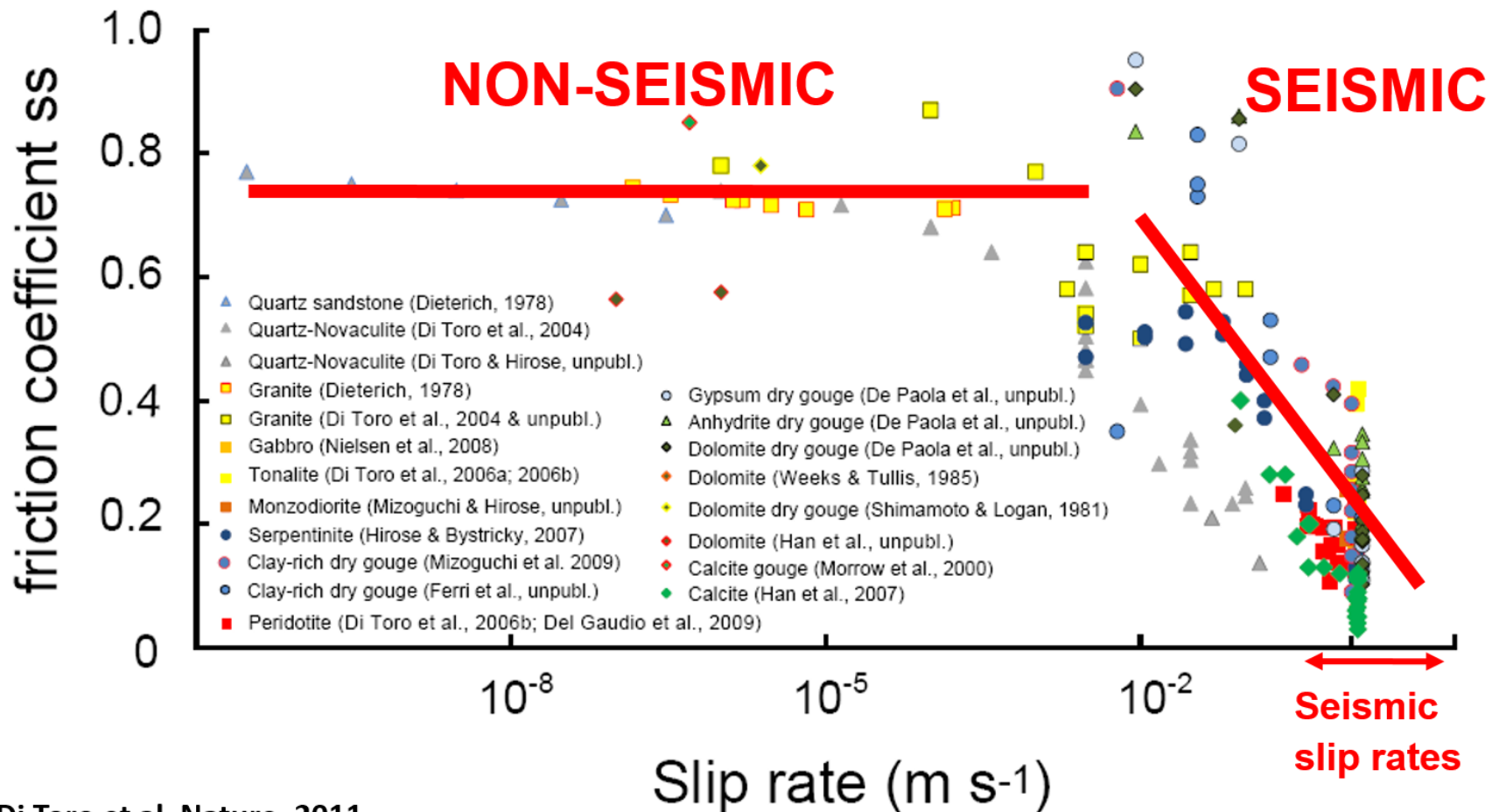


Evoluzione dell'attrito

In centinaia di esperimenti condotti su diversi tipi di rocce è emerso che:

L'attrito decresce significativamente a velocità di slip sismico ($V > 0.1 \text{ m/s}$):

lubrificazione del piano di faglia



Processi proposti in letteratura

- **Flash heating**

(Rice, 2006; Goldsby & Tullis, 2011)

- **Frictional melting**

(Jeffreys, 1942; McKenzie & Brune, 1972; Sibson, 1975; Di Toro et al., 2006; Fialko & Khazan, 2006; Nielsen et al. 2008)

- **Superplasticity**

(Green et al., subm.; De Paola et al., subm.)

- **Silica gel lubrication**

(Goldsby & Tullis, 2002; Di Toro et al., 2004)

- **Thermal pressurization**

(Sibson, 1973; Lachenbruch, 1980)

- **Thermochemical
pressurization**

(Sulem & Famin, 2008; Brantut et al., 2008; Ferri et al., 2010)

- **Normal interface vibrations**

(Brune et al., 1993)

- **Acoustic fluidization**

(Melosh, 1996)

- **Elastohydrodynamic
lubrication**

(Brodsky & Kanamori, 2001)

- **Tribochemical reactions**

(Han et al., 2007; Di Toro et al., 2011)

- **Powder lubrication**

(Han et al., 2010; Reches & Lockner, 2010)

- **Mirror-surface lubrication**

(Chen et al., 2013)

Processi di fusione nelle rocce coesive silicatiche

Gabbro

$V = 3 \text{ m/s}$ (0 to 3 m/s in 0.5 s)

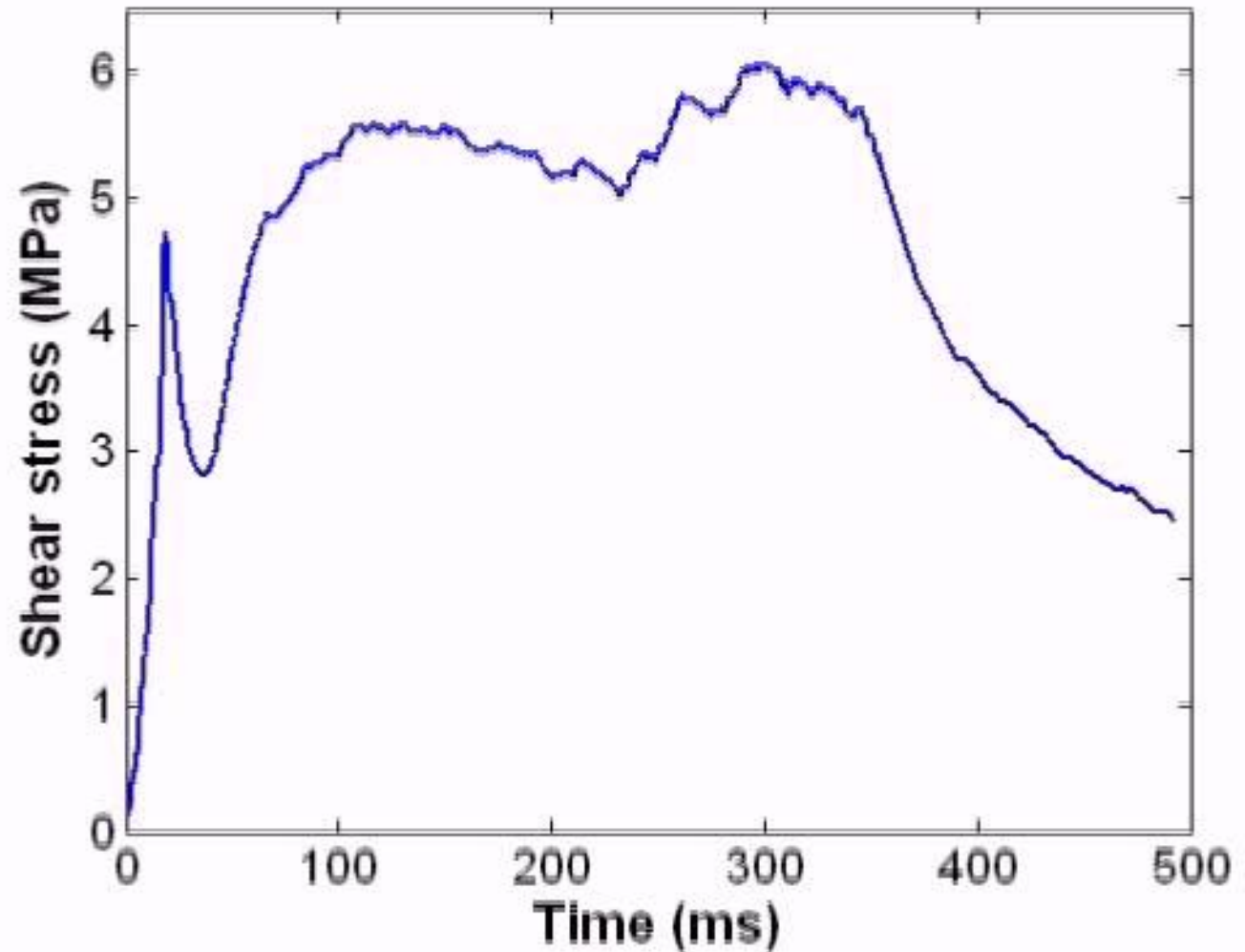
$\sigma_n = 20 \text{ MPa}$



20 mm

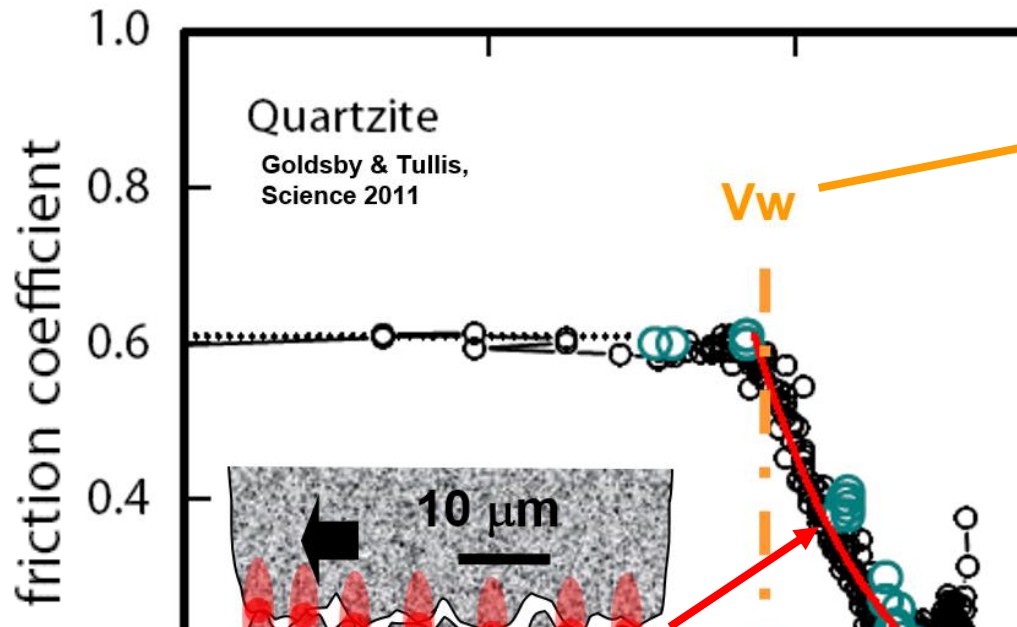
Camera infrarosso:

flash heating seguito da strengthening e indebolimento finale (fusione per attrito)



Flash heating

Processo di fusione nelle prime fasi di scivolamento localizzato nelle asperità (alla scala dei micron)



Velocità di weakening:

$$V_w = \frac{\pi\alpha}{D} \left[\frac{\rho C (T_w - T_f)}{\tau_c} \right]^2$$

α Diffusività termica

D Diametro dei contatti

ρC Densità e capacità termica

T_w Temperatura di weakening caratteristica

T_f Temperatura media della superficie di scivolamento

τ_c Sforzo di contatto sostenuto dall'asperità

$$V > V_w$$

Coefficiente d'attrito μ :

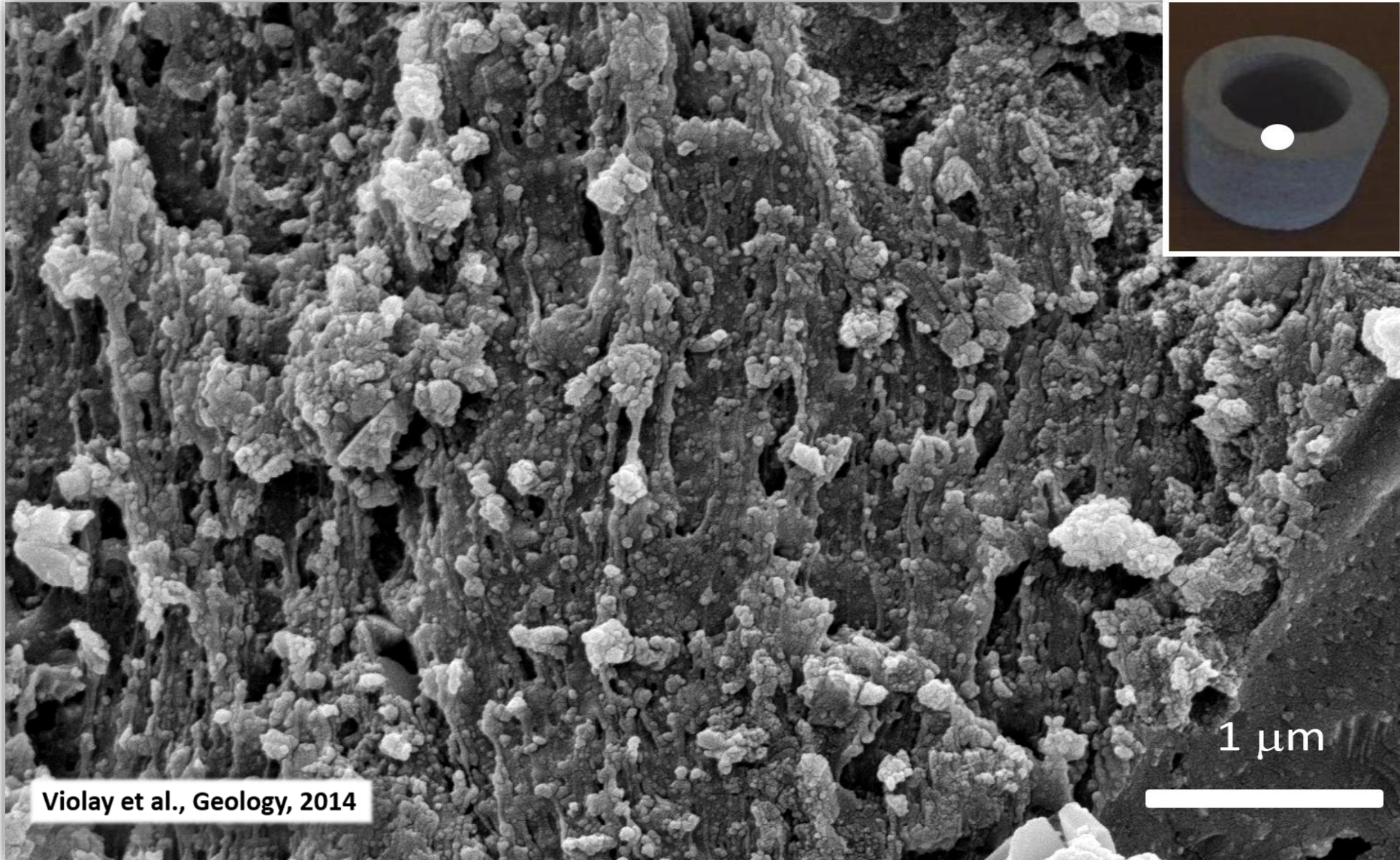
$$\mu(V) = (\mu_0 - \mu_w) \cdot \frac{V_w}{V} + \mu_w$$

μ_0 coefficiente d'attrito a basse velocità di slip

μ_w coefficiente d'attrito nello stato indebolito

Flash heating

Ropy-like structures coprono la superficie di scivolamento nel gabbro dopo 5 mm di slip. Localmente temperatura $> 1200^{\circ}\text{C}$. [immagine FESEM]

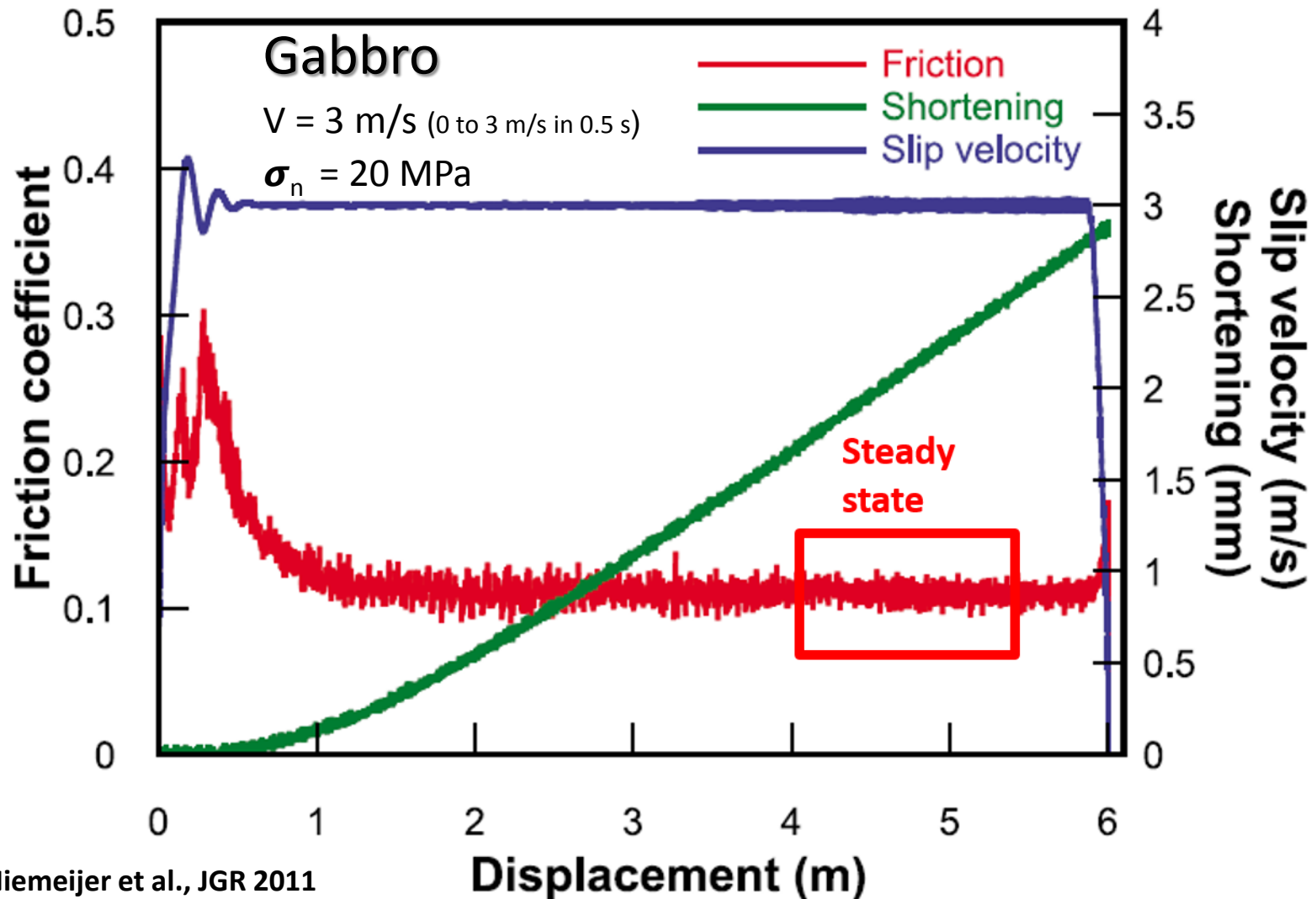


Violay et al., Geology, 2014

1 μm

Fusione per attrito (frictional melting)

Processo di fusione «totale» della superficie di scivolamento.
Successivo al flash heating.

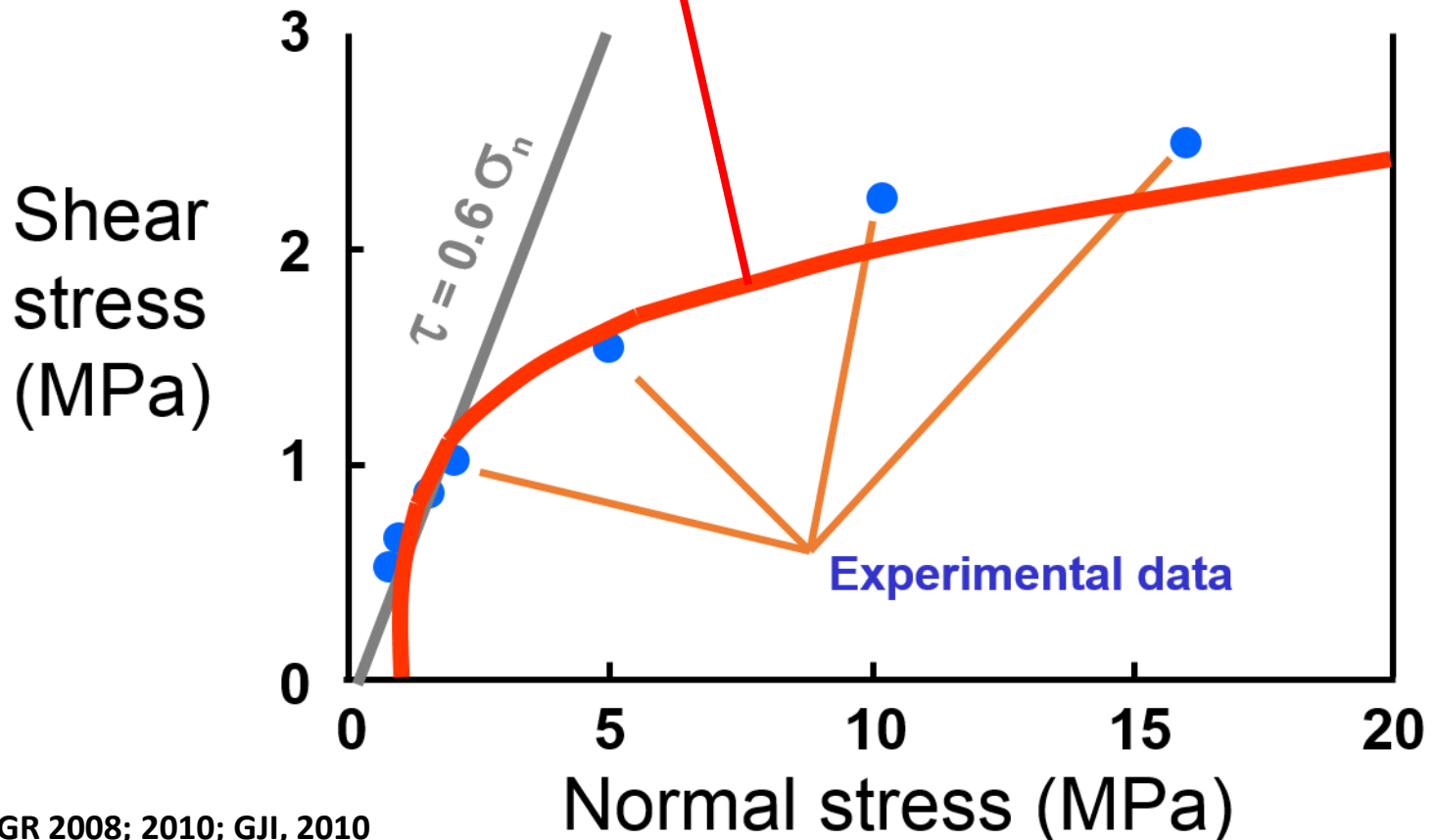


Fusione per attrito (frictional melting)

Rapporto shear stress vs. normal stress non lineare

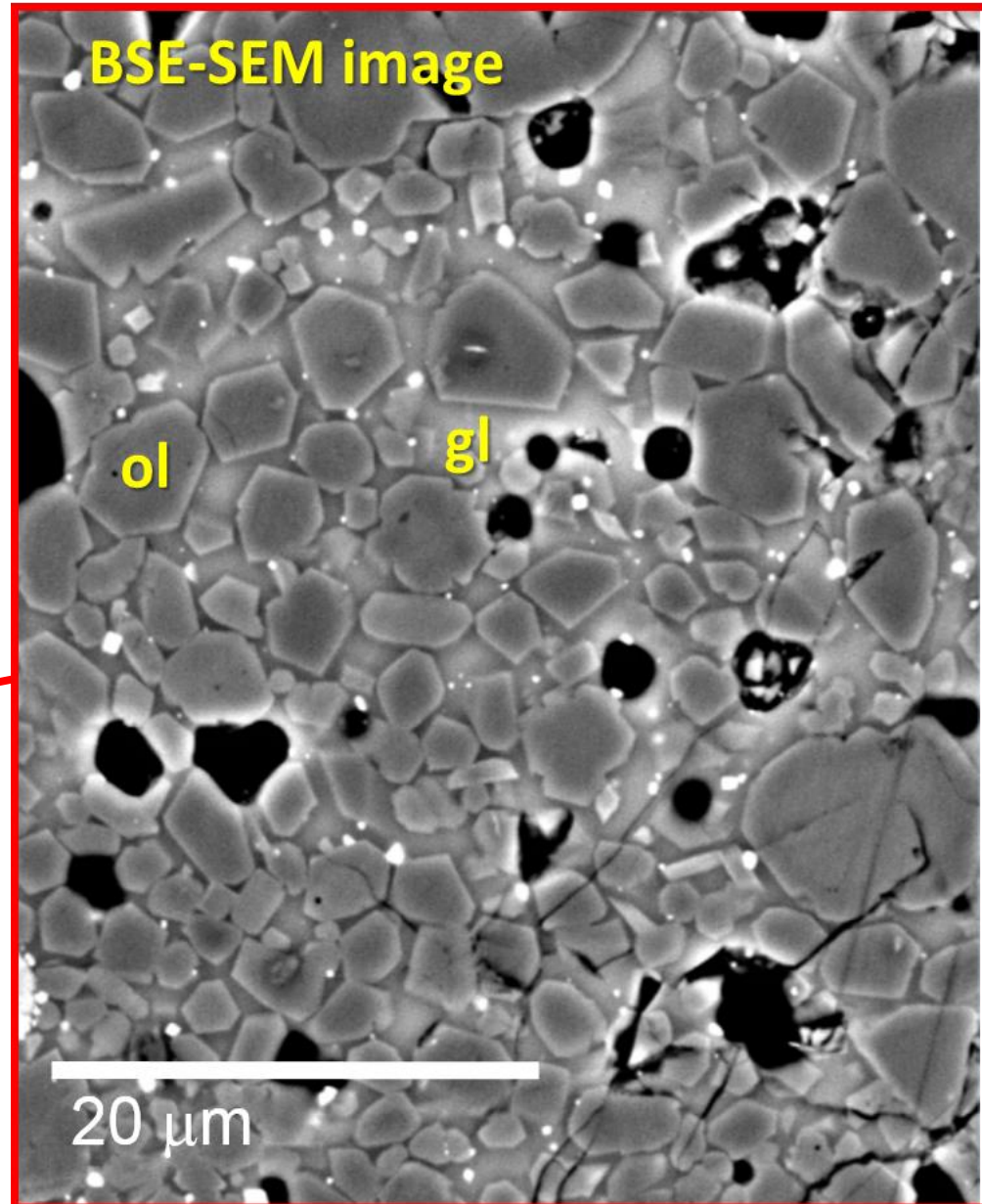
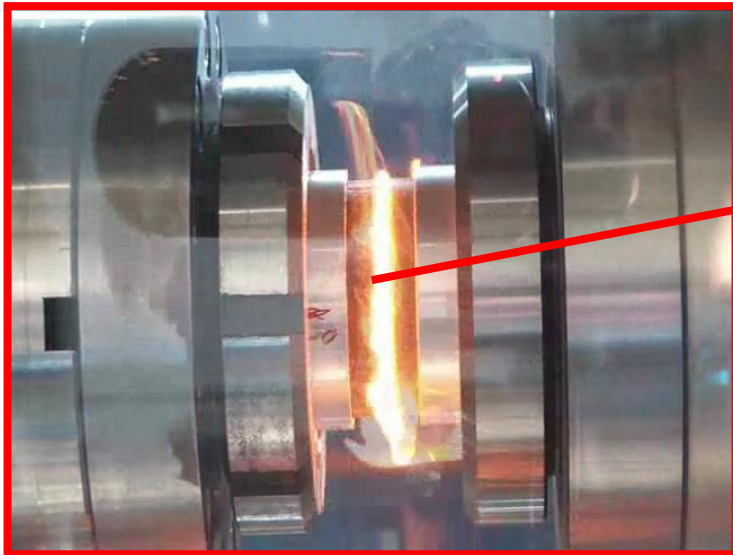
$$\tau_{ss} = \sigma_n^{0.25} \frac{A}{\sqrt{R}} \sqrt{\frac{\log(2V/W(T))}{V/W(T)}}$$

Equazione teorica dell' attrito per lubrificazione da fusi di frizione f (viscosità e temperatura del fuso)

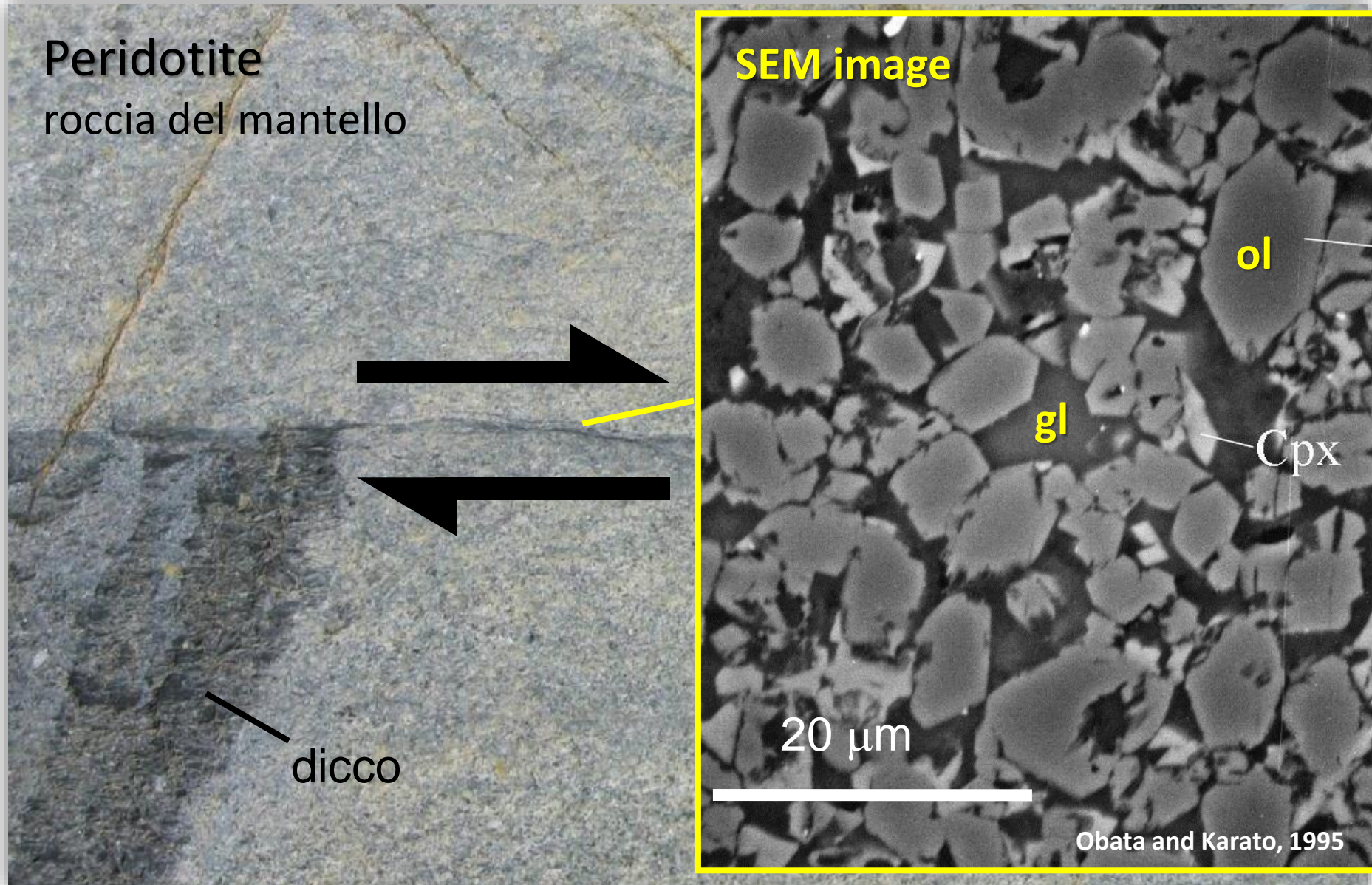


Fusione per attrito (frictional melting)

Peridotite
Strutture vetrose

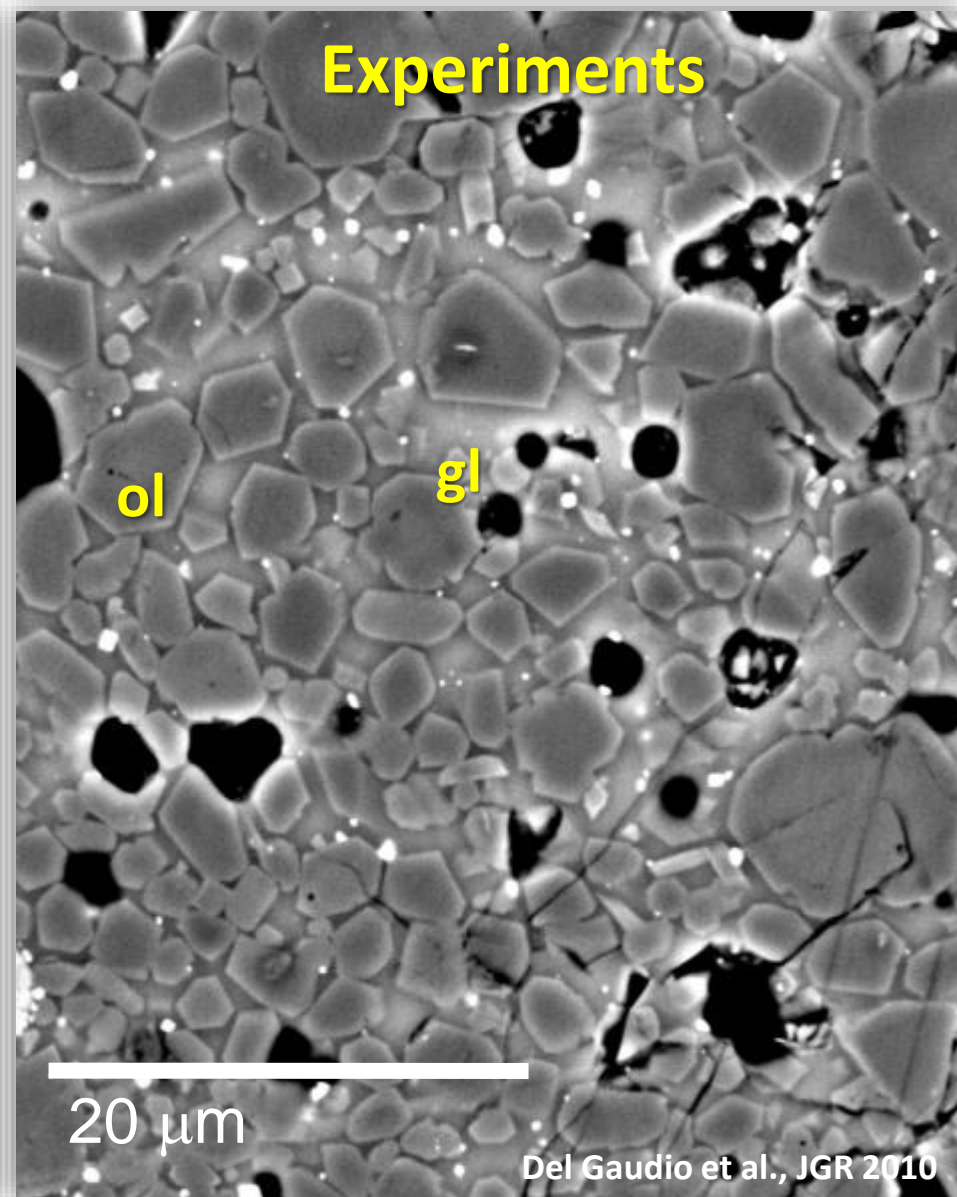
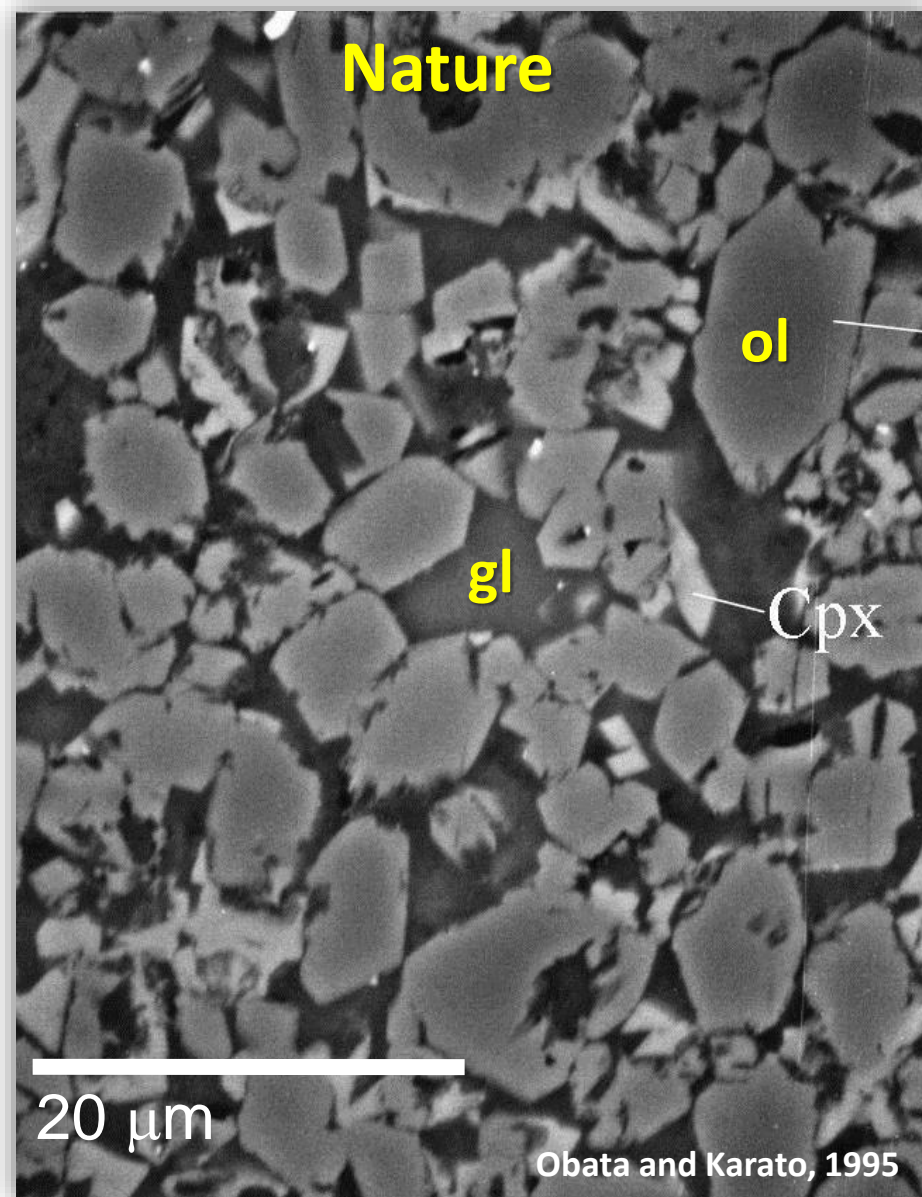


Confronto tra rocce di faglia sperimentali e naturali



Confronto tra rocce di faglia sperimentali e naturali

Le strutture sono simili!



Conclusioni

- I **terremoti** sono dovuti a propagazione di rottura e scivolamento lungo faglia.
- L'**attrito** è fondamentale per descriverne la meccanica
- Le condizioni estreme di deformazione durante lo scivolamento cosismico sono riprodotte in laboratorio con **apparati tipo Rotary: lubrificazione della faglia**
- Negli esperimenti, le rocce silicatiche coesive si indeboliscono per **flash heating** e **fusione per attrito**.
- I prodotti sperimentali sono simili ai prodotti naturali

Grazie per l'attenzione!