



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Laurea triennale in Scienze Geologiche



DEPARTMENT  
OF GEOSCIENCES  
UNIVERSITY OF PADOVA

# Studio sul recupero di resistenza di un fault gouge di calcite

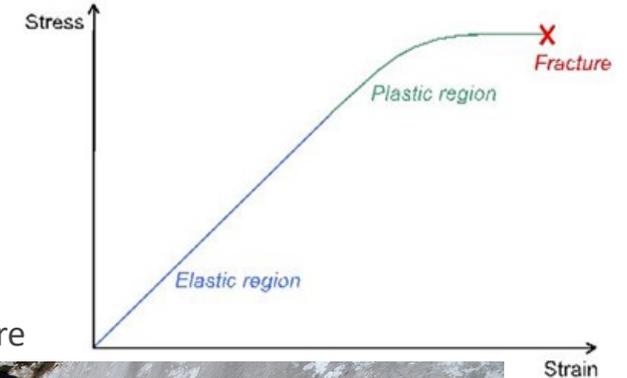
---

Relatore: Prof. Telemaco Tesei  
Laureanda: Martina Cardillo

29 giugno 2023  
A.A 2022/2023

# Come funzionano i terremoti e il ciclo sismico

- Lo stress si accumula nelle rocce lungo le faglie tettoniche, finché si passa da una deformazione elastica a plastica fino alla rottura delle faglie
- La rottura è associata a scivolamento della faglia e rilascio dello stress accumulato



Faglia del Monte Vettore



Foto realizzata dal Dr. Edoardo Peronace, (2016)

# L'importanza dell'healing

→ Il recupero della resistenza della faglia dopo la rottura permette l'accumulo di nuovo stress e quindi futuri terremoti sulla stessa faglia

→ Vari processi di healing in zona di faglia



Name	Driving force	Characteristics
1. "Dieterich"-healing	??	- $D_c=10-100 \mu\text{m}$ - Strength increases linearly with $\log(t)$
2. Pressure solution	Effective normal stress at contact	- t-dependent - T-dependent - Compaction - Stress relaxation during hold
3. Fluid-assisted neck growth	Interfacial energy reduction	- t-dependent - T-dependent - No compaction, no stress relaxation
4. Precipitation/cementation	Solute supersaturation in advecting pore fluid	- can occur at $\sigma_n=0$

# Il campione

- Marmo di Carrara ( $\text{CaCO}_3$ ) calcite
- Campione di marmo ridotto in polvere con dimensioni  $< 125\mu\text{m}$  che simula il gouge
- Campione saturo



# Rotary Shear Apparatus



APPARATO SPERIMENTALE



CONDIZIONI

Pistone → Sforzo Normale

Motore → Torsione

Barra di torsione → misura la torsione

Linee di pressione → circolazione fluido

Vessel idrotermale → controlla la temperatura

Portacampione

Temperatura 60°C

Sforzo normale effettivo 20MPa

Pressione dei fluidi 7MPa

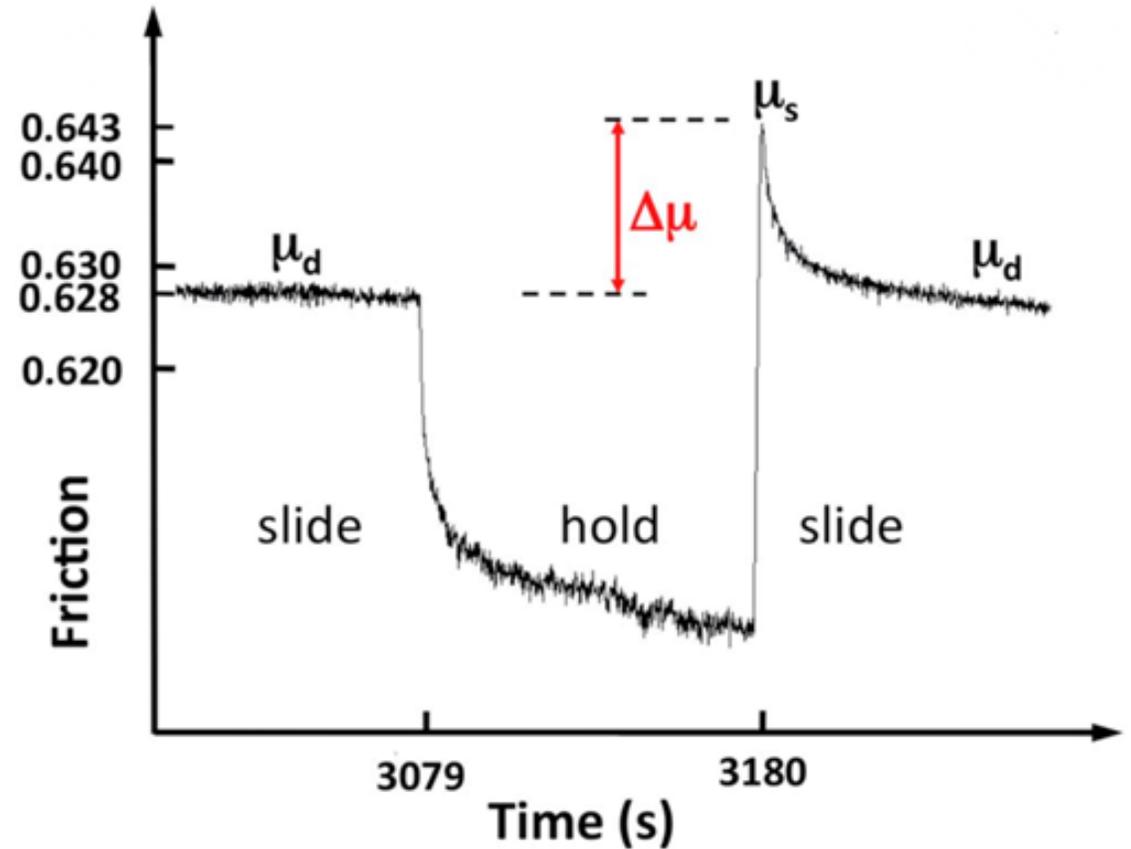
Velocità di scivolamento 10 micron/s

# Esperimento Slide-Hold-Slide

In cosa consiste?

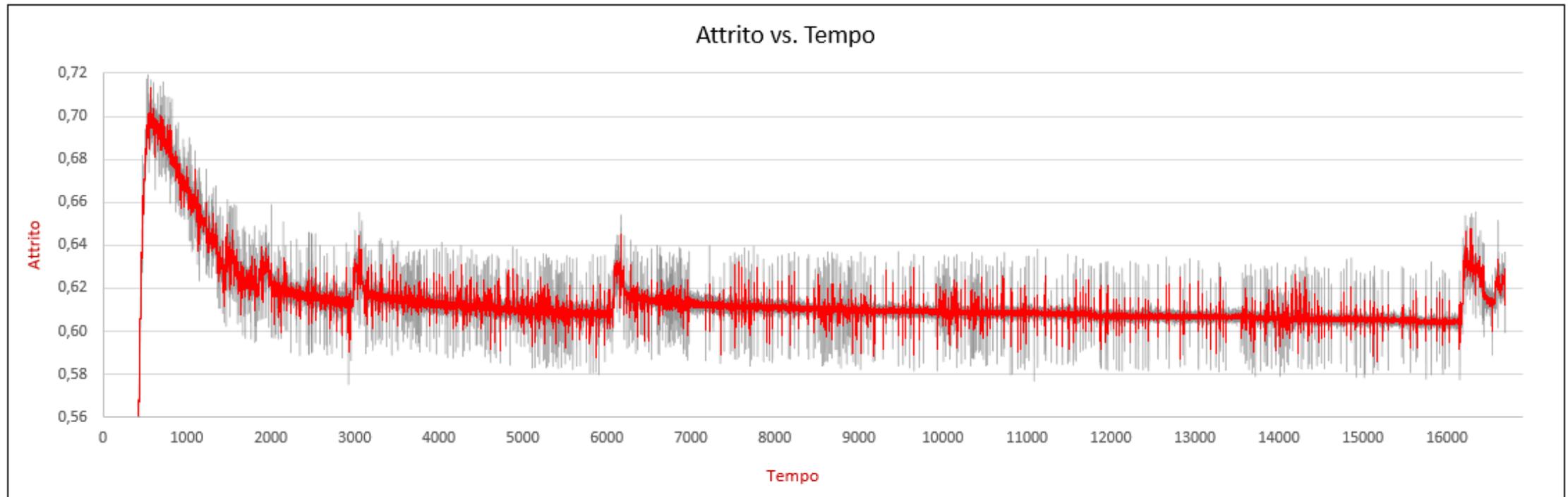
Variazioni dell'attrito nelle varie fasi di slip e hold:

- Stato Stazionario
- Brusco calo
- Picco
- Nuovo Stato Stazionario



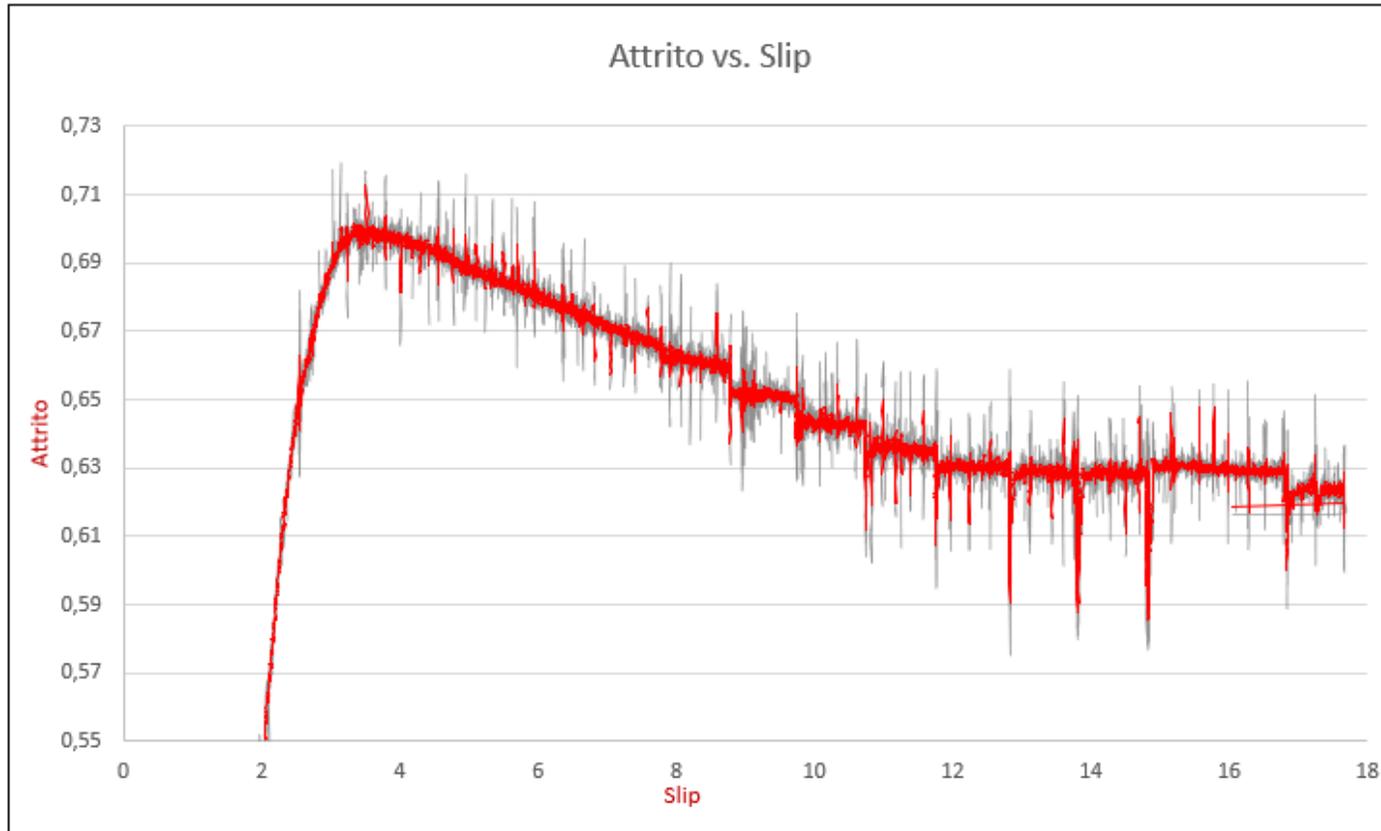
# I nostri dati

- Calcoli per trasformare i dati forniti dalla macchina: da carichi [kN] a pressioni sul provino [MPa], da torsione [Nm] a sforzo di taglio [MPa]
- Calcolo andamento coefficiente d'attrito  $\rightarrow \mu = \frac{\tau}{\sigma_n}$
- Smoothing dei dati con strumento media mobile  $\rightarrow$  cancella il rumore



- Coerenti con la Regola di Byerlee

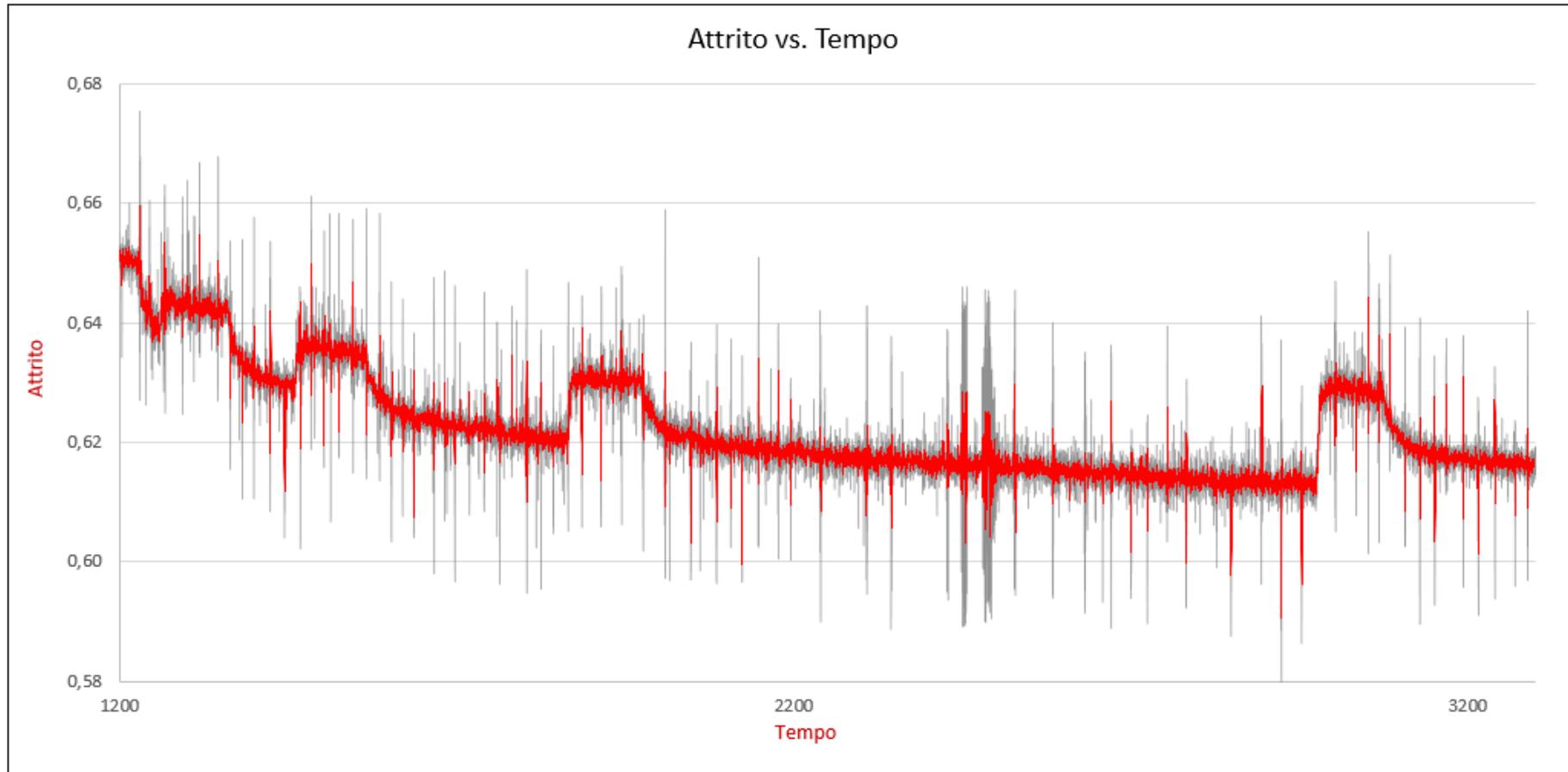
# Attrito vs. Slip



- Utile a valutare l'andamento del coefficiente d'attrito col progredire del rigetto della faglia
- Vengono «tagliate» le fasi di hold perché non vi è scivolamento

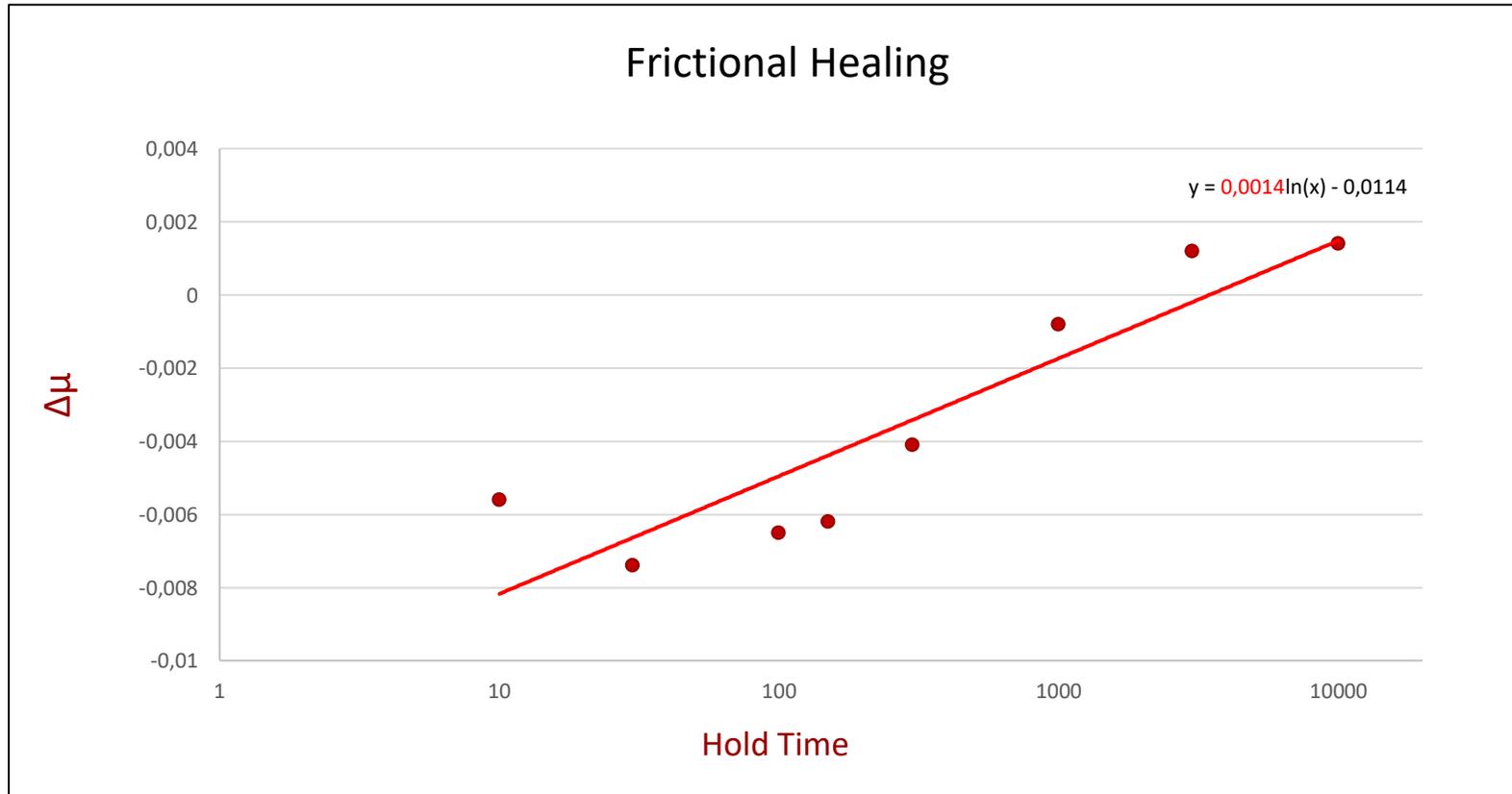
# I nostri slide-hold-slide

→ Nei nostri dati sono meno visibili i picchi dei valori di attrito statico



# Healing per attrito e valori $\beta$ ottenuti

- Frictional Healing ( $\beta$ ) corrisponde al coefficiente angolare della retta
- Range valori di frictional healing va da 0,0014 a 0,0020



Hold time (s)	$\Delta\mu$
10	-0,0056
30	-0,0074
100	-0,0065
150	-0,0062
300	-0,0041
1000	-0,0008
3000	0,0012
10000	0,0014

# Confronto con la letteratura

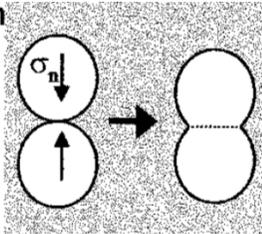
→ Range dei valori di  $\beta$  di altri studi si aggirano intorno a valori 0,010 - 0,012 [Carpenter et al. (2016)]

→ i nostri valori di  $\beta \ll$  valori di  $\beta$  della letteratura (di un intero ordine di grandezza)

→ CAUSE

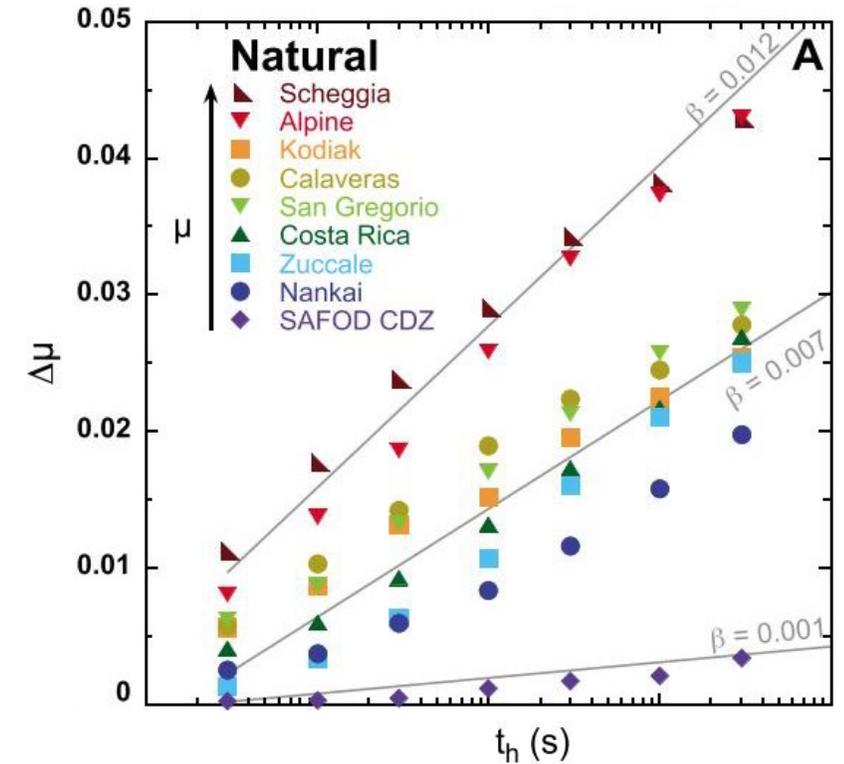
- 1) Non è il macchinario ideale per questo tipo di esperimento (ottimale per gli scivolamenti veloci)
- 2) Temperatura diversa
- 3) A bassa T la calcite ha un alto grado di dissoluzione → causa pression-solution e migliore indentazione dei grani di gouge mentre sono statici. Ad alte T la dissoluzione della calcite è sfavorita (il nostro esperimento ha una  $T=60^\circ\text{C}$ )

2. Pressure solution



Effective  
normal stress  
at contact

- t-dependent
- T-dependent
- Compaction
- Stress relaxation during hold





# Conclusioni

- In generale il valore dell'attrito ad alta temperatura è molto simile a quello a temperatura ambiente
- Valori di healing minori di quelli riportati in letteratura per esperimenti eseguiti a temperatura ambiente
- Possibili implicazioni: andando in profondità le faglie in carbonati potrebbero rimanere più deboli per tempi più lunghi (grandi afterslip) e/o il processo di healing dominante diventa un altro (cementazione)

# Bibliografia

Carpenter, B. M., M. M. Scuderi, C. Collettini, and C. Marone (2014), Frictional heterogeneities on carbonate-bearing normal faults: Insights from the Monte Maggio Fault, Italy, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2014JB011337.

Carpenter, B. M., M. J. Ikari, and C. Marone (2016), Laboratory observations of time-dependent frictional strengthening and stress relaxation in natural and synthetic fault gouges, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121,1183\_1201, doi: 10.1002/2015JB012136.

C. Marone (1998), The effect of loading rate on static friction and the rate of fault healing during the earthquake cycle, *Nature*

Verberne, B. A., C. J. Spiers, A. R. Niemeijer, J. H. De Bresser, D. A. M. De Winter, and O. Plumper (2013), Frictional properties and microstructure of calcite-rich fault gouges sheared at sub-seismic sliding velocities, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-013-0760-0

Chiauszi L., Masi A., Ditommaso R., Mucciarelli M., Vona M. (2009), DiSGG, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Il terremoto di L'Aquila del 2009: analisi delle registrazioni accelerometriche e confront con le azioni sismiche previste nelle NTC 2008.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Laurea triennale in Scienze Geologiche



DEPARTMENT  
OF GEOSCIENCES  
UNIVERSITY OF PADOVA

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

---

Relatore: Prof. Telemaco Tesei  
Laureanda: Martina Cardillo

29 giugno 2023  
A.A 2022/2023

# Tempo di ritorno

→ utilizziamo il nostro valore  $\beta$  con il tempo di ritorno medio dei terremoti 100-300 anni. Dopo questo lasso di tempo la nostra roccia quanto attrito ha recuperato?

