



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

Studio di Attrito e "Healing" in un gouge carbonatico di faglia in condizioni idrotermali

Laureando: Carli Gabriele

Relatore: Prof. Tesei Telemaco

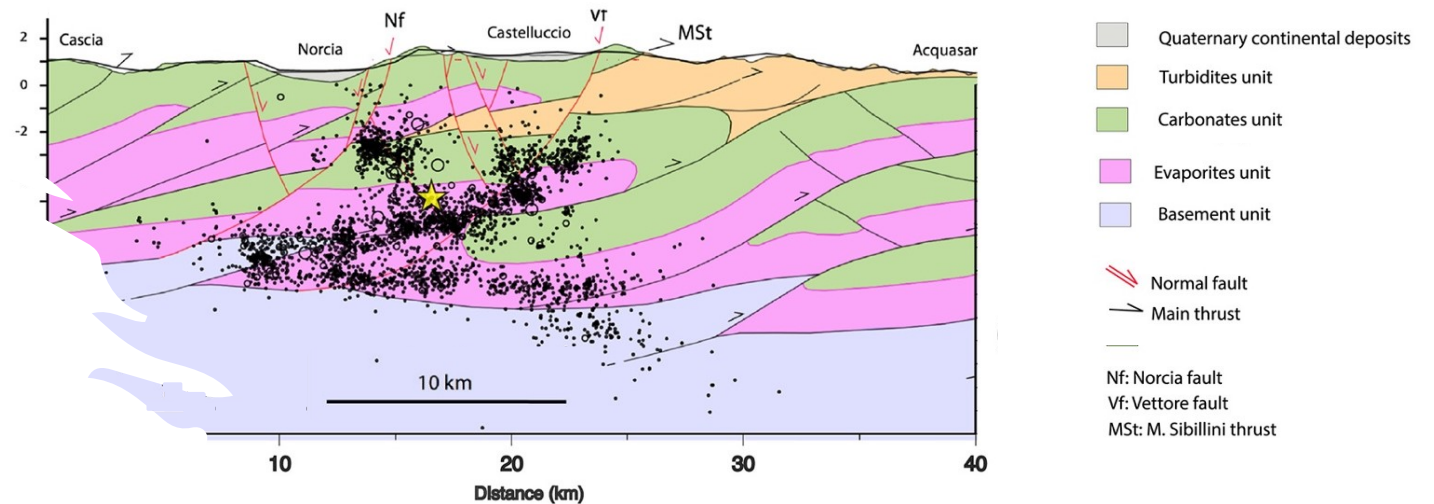
Sessione di laurea 20 luglio 2023

Introduzione al problema geologico

- Cos'è una faglia attiva e sismogenetica?
- La maggior parte delle grandi sequenze di terremoti in Italia si propagano in successioni carbonatiche
- Questo è un esempio dall'ultima grande sequenza in Italia centrale



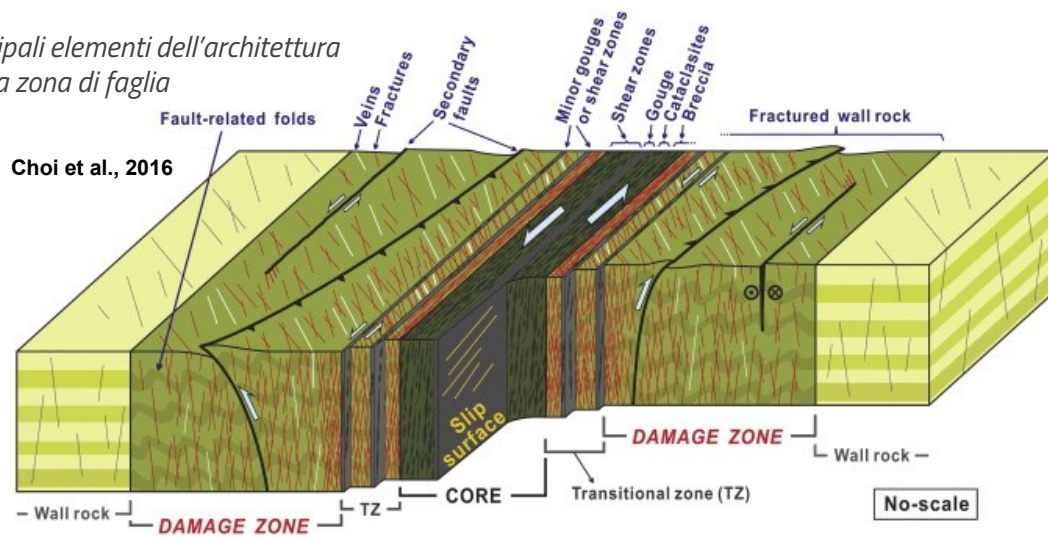
<https://postseismicity.org/report-on-the-camerino-2017-inqua-field-trip-to-the-central-apennine-fault-system/>



Michele et al., 2020



Principali elementi dell'architettura di una zona di faglia



GOUGE DI FAGLIA



CATACLASITE



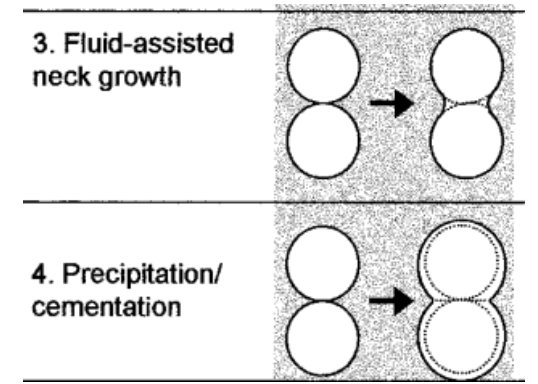
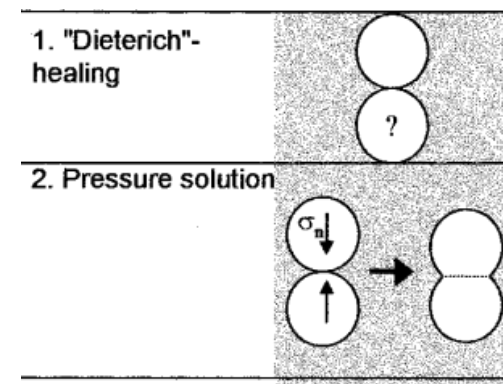
Una faglia è una zona complessa e le parti fondamentali da studiare sono il «**Core di faglia**» e la «**zona di danneggiamento**»

Quando le faglie si rompono producono una roccia di faglia frantumata (**gouge**) e quando lo scivolamento si ferma tendono a recuperare resistenza (**cataclasite**)



HEALING

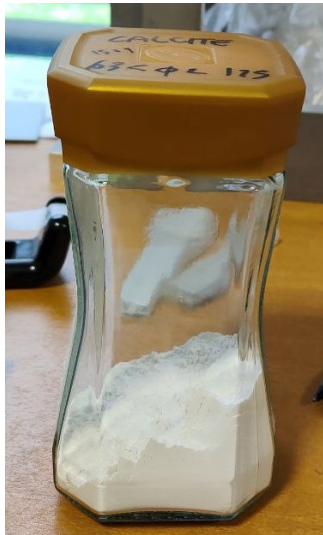
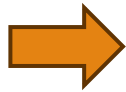
Ci sono vari meccanismi con cui la roccia **guarisce**:



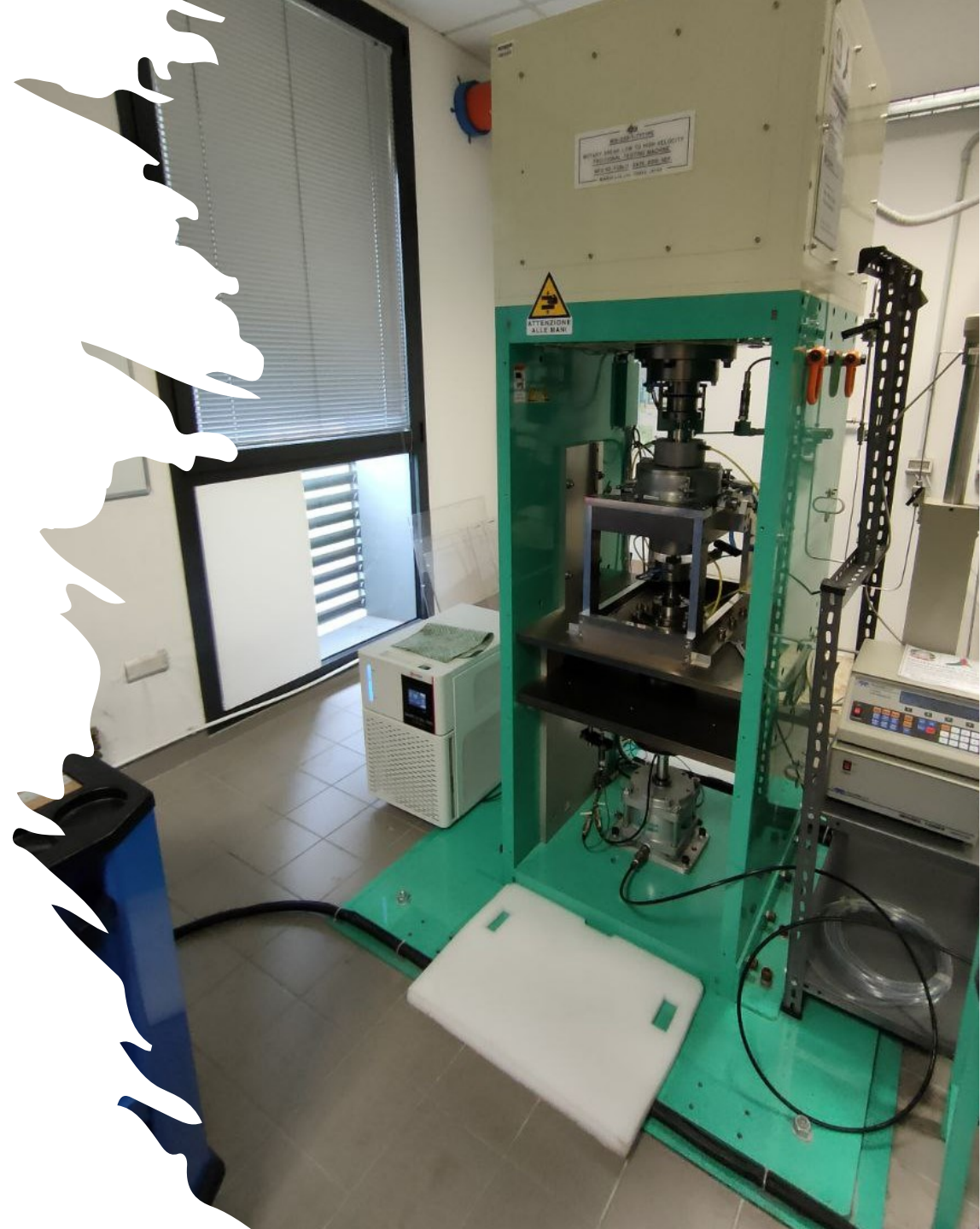
Carpenter et al., 2016



Esperimenti con: «Low to High Velocity Rotary Shear Apparatus (ROSA)»



Marmo di Carrara polverizzato a simulare un gouge di faglia



Svolgimento di un esperimento di meccanica delle rocce

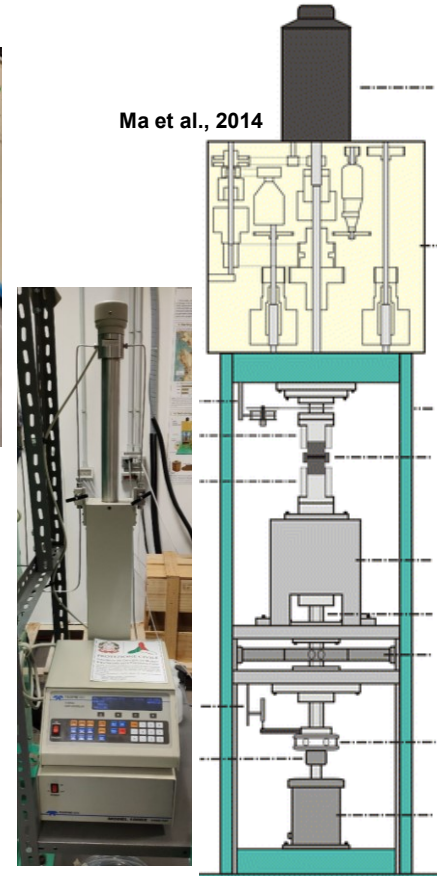
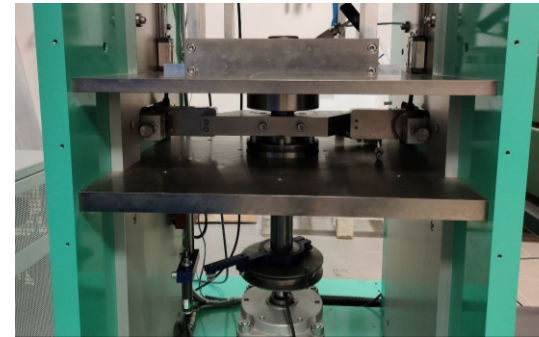
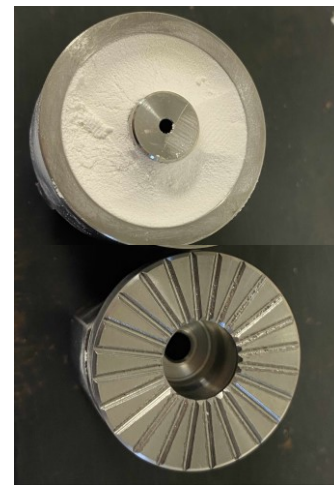
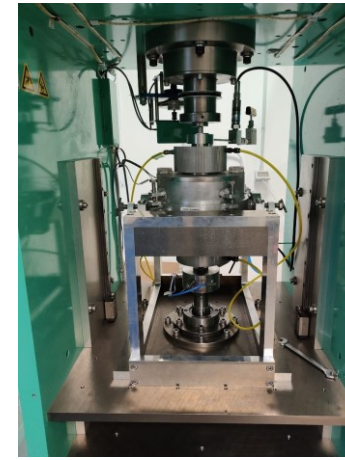
Si pesa il gouge e si inserisce la **polvere** nel portacampioni che verrà inserito nella cella idrotermale.

Vengono impostati i parametri ambientali attraverso la strumentazione implementata nella macchina:

- **Temperatura**
- **Carico verticale**
- **Pressione dei fluidi**
- **Torsione**

Si svolge la fase di **slide-hold-slide**

Alla fine dell'esperimento il campione si presenta come in foto



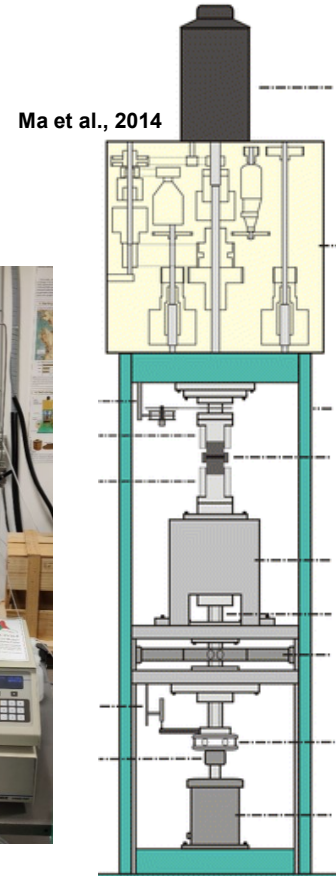
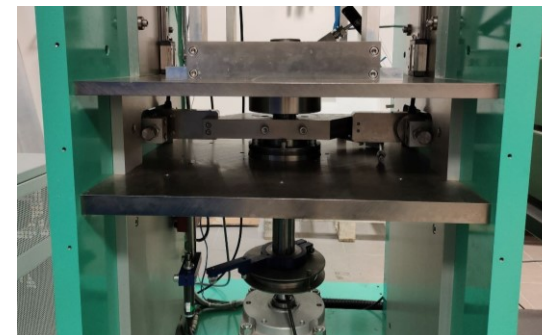
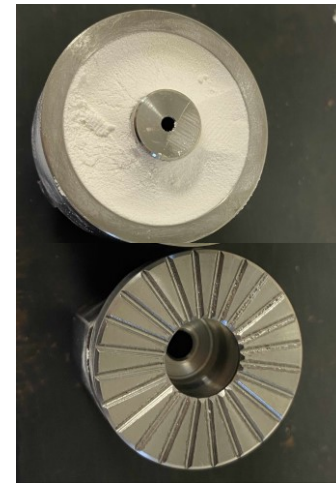
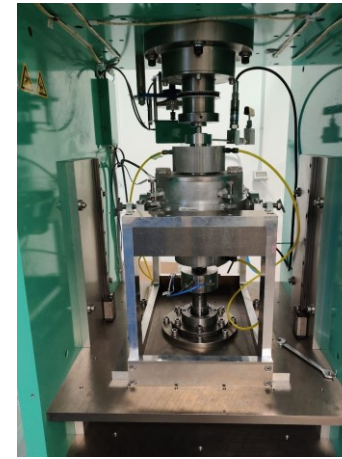
Svolgimento di un esperimento di meccanica delle rocce (parametri ambientali)

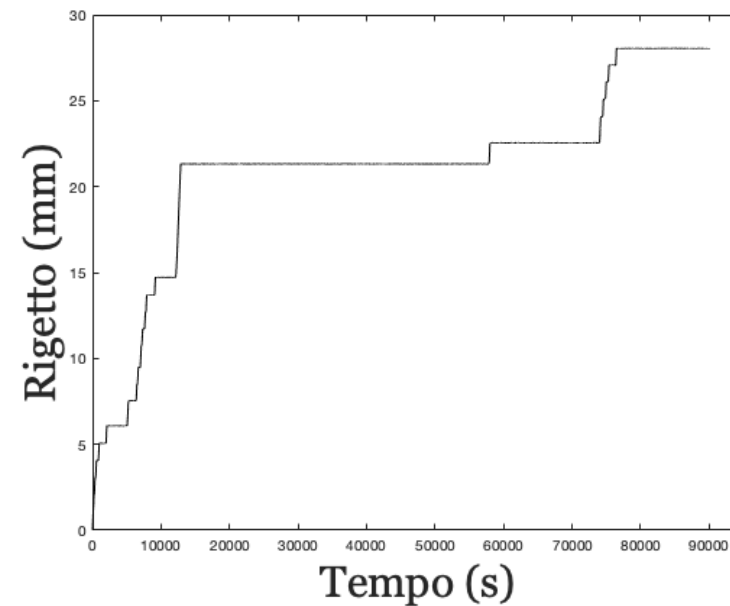
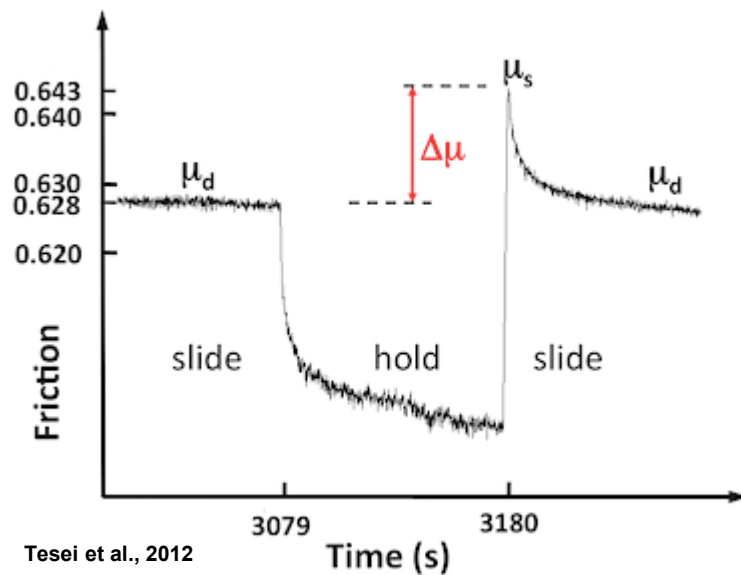
ESPERIMENTO 1

PARAMETRI AMBIENTALI	
Sforzo normale	27 MPa
Pressione dei fluidi	7 MPa
Sforzo normale efficace	20 MPa
Velocità di slide	10 $\mu\text{m/s}$
Temperatura	80 °C
Frequenza di rilevazione	10 Hz

ESPERIMENTO 2

PARAMETRI AMBIENTALI	
Sforzo normale	27 MPa
Pressione dei fluidi	7 MPa
Sforzo normale efficace	20 MPa
Velocità di slide	10 $\mu\text{m/s}$
Temperatura	25 °C
Frequenza di rilevazione	10 Hz





Cos'è una sequenza di slide-hold-slide?

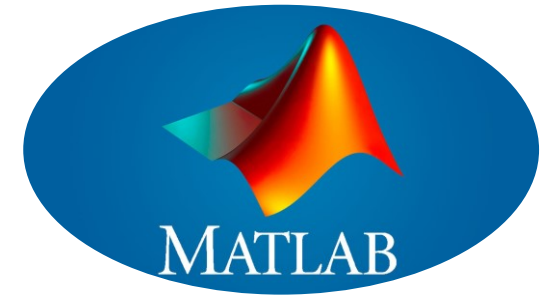
Si osserva la variazione del valore di coefficiente d'attrito nelle varie fasi:

- Slide → la faglia ha un suo attrito dinamico
- Hold → l'attrito diminuisce per l'arresto dello slip
- Slide → si produce un picco di attrito statico che poi raggiunge un nuovo stato stazionario



Analisi dati

Il software per l'elaborazione dati è stato **Mathworks Matlab**



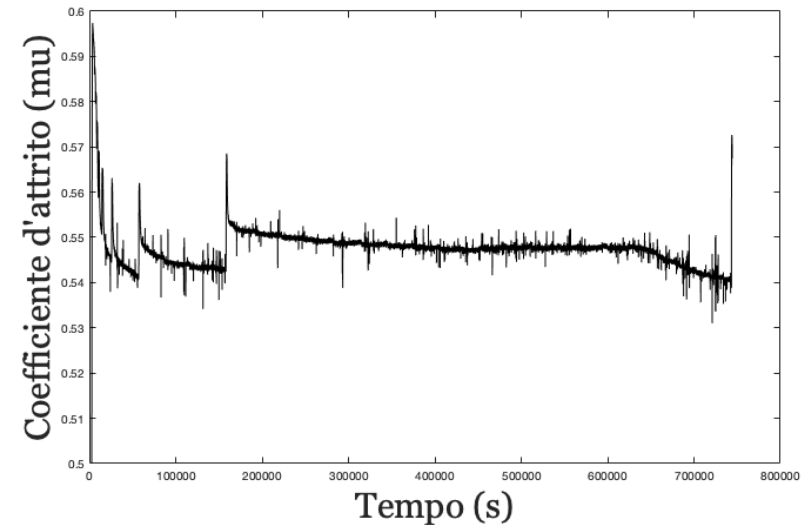
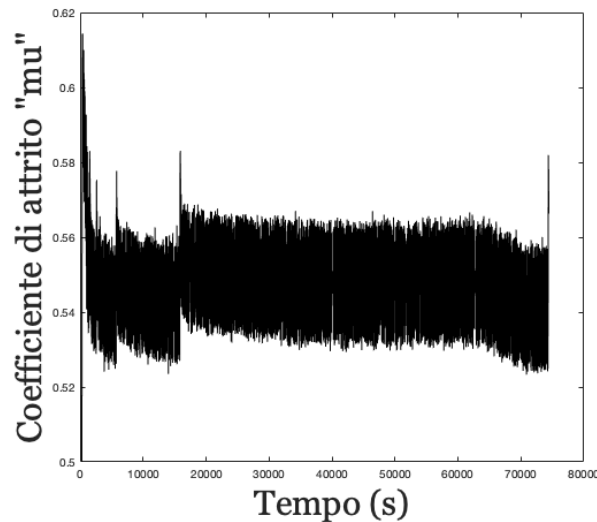
<https://it.mathworks.com/products/matlab.html>

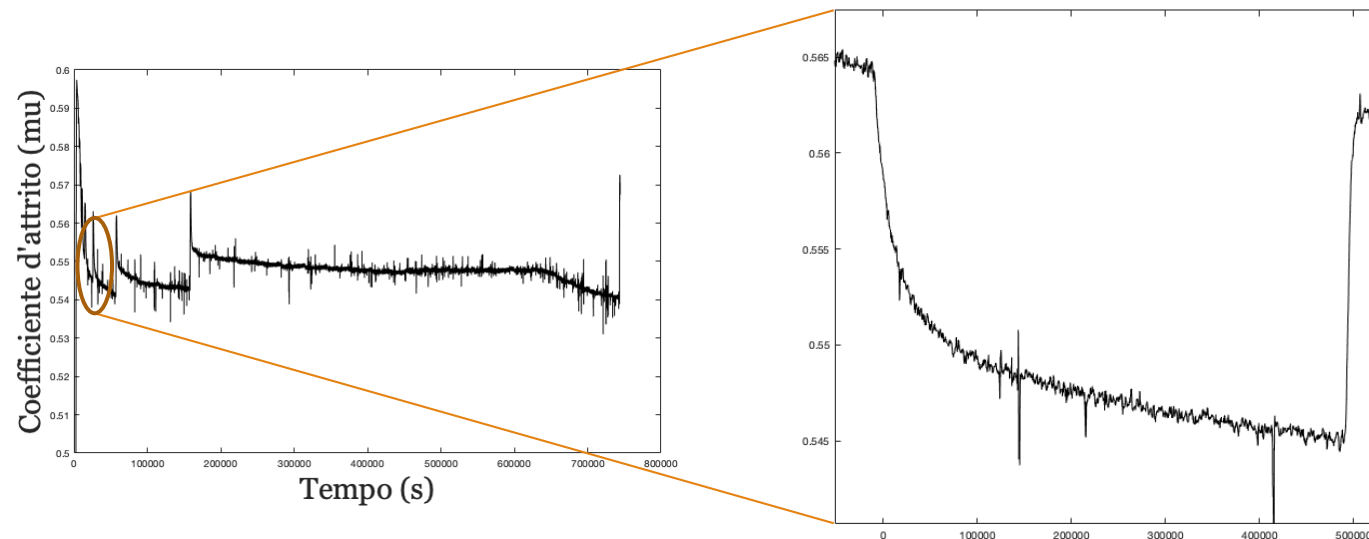
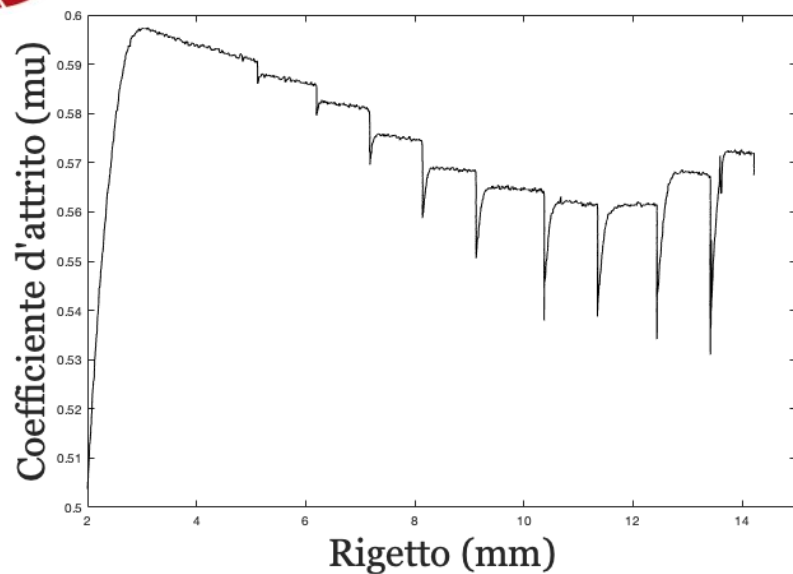
Calcoli eseguiti:

- ✓ da Shear torque (in kN) a **Shear Stress** (in Mpa)
- ✓ da Carico verticale (in kN) a **Normal Stress** (in Mpa)
- ✓ da Angolo compiuto (°) a **Rigetto** sulla faglia (in mm)
- ✓ Da Sforzo normale e di taglio (Mpa) a **Coefficiente d'attrito** (μ)

A screenshot of the MATLAB code editor showing a script named 'script_analisi_interpretazione_exp_2.m'. The code includes comments in Italian and performs calculations for shear stress, normal stress, and the coefficient of friction. Key lines include: 'Calcolo dell'area sperimentale che si calcola sottraendo l'area maggiore', 'Calcolo della shear stress', 'Calcolo del COEFFICIENTE DI ATTRITO MU', and 'NASCITA MU CON IL TEMPO'. The code ends with 'figure(1); plot(10000:mu_mu_attrito); xlabel('Tempo (s)'); ylabel('Coefficiente di attrito mu'); axis([0 80000 0.5 0.6]);'.

✓ **Smoothing** dei dati per eliminare il rumore





Risultati Primo Esperimento

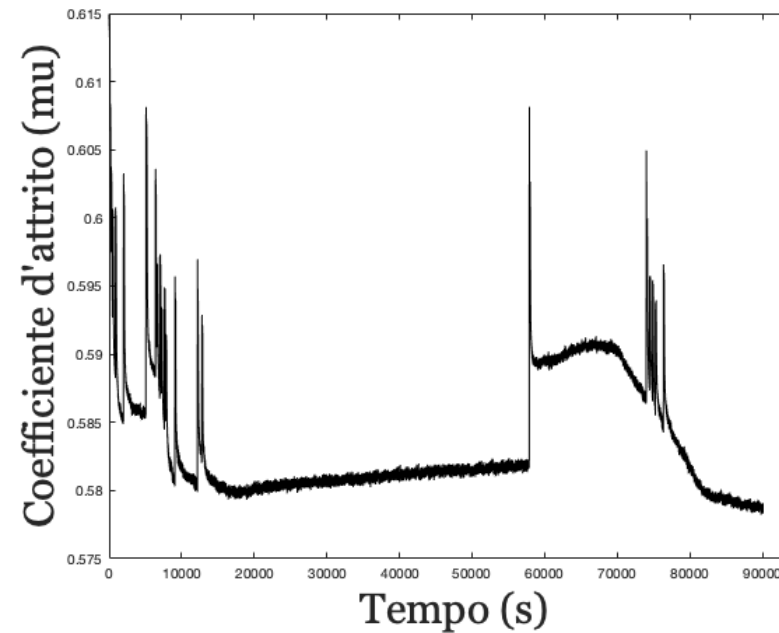
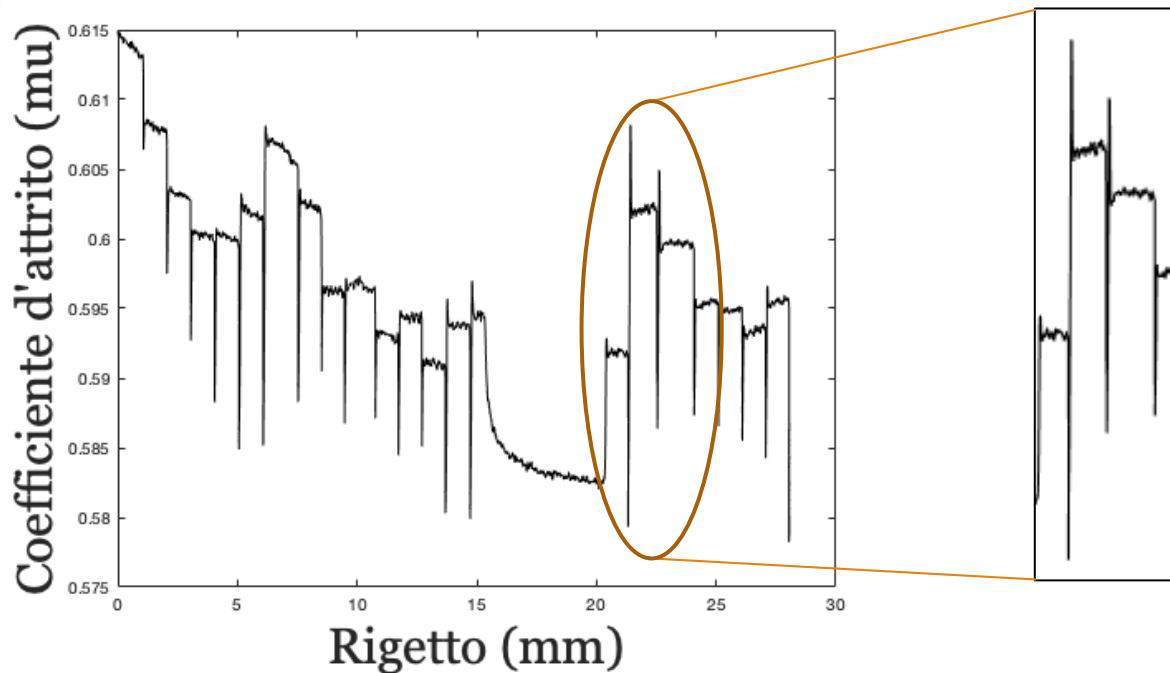
Temperatura

80 °C

L'attrito evolve con lo scivolamento

Valori leggermente più bassi dell'attrito di Byerlee

Focalizzazione su un singolo evento di slide-hold-slide come quello da letteratura visto precedentemente



Risultati Secondo Esperimento

Temperatura

25 °C

La durata degli hold è variabile

Ci sono delle fluttuazioni dell'andamento dell'attrito procedendo con lo scivolamento

I valori di coefficiente d'attrito sono superiori rispetto al primo esperimento

Healing Vs. Tempo

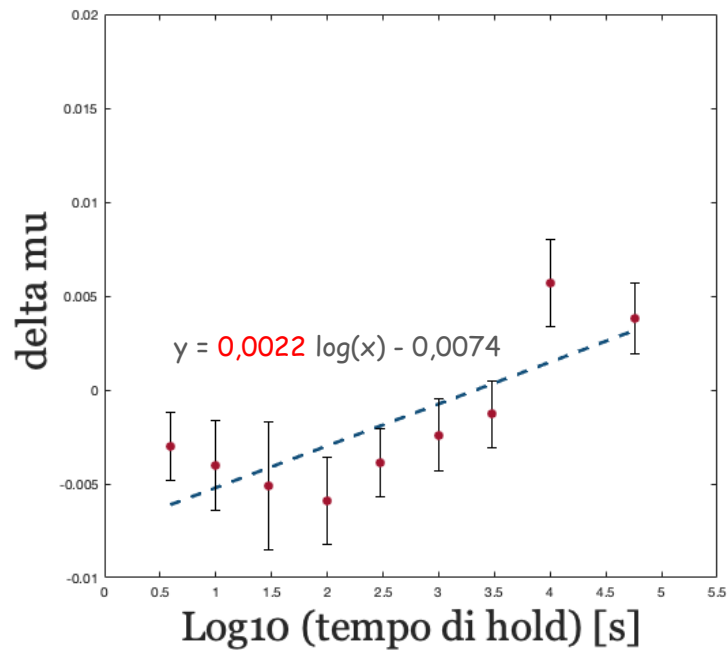
Da notare la differenza tra le barre d'errore

I valori di Frictional Healing (β) sono 0.0022 e 0.0044

A bassa temperatura la guarigione è più veloce ed efficace

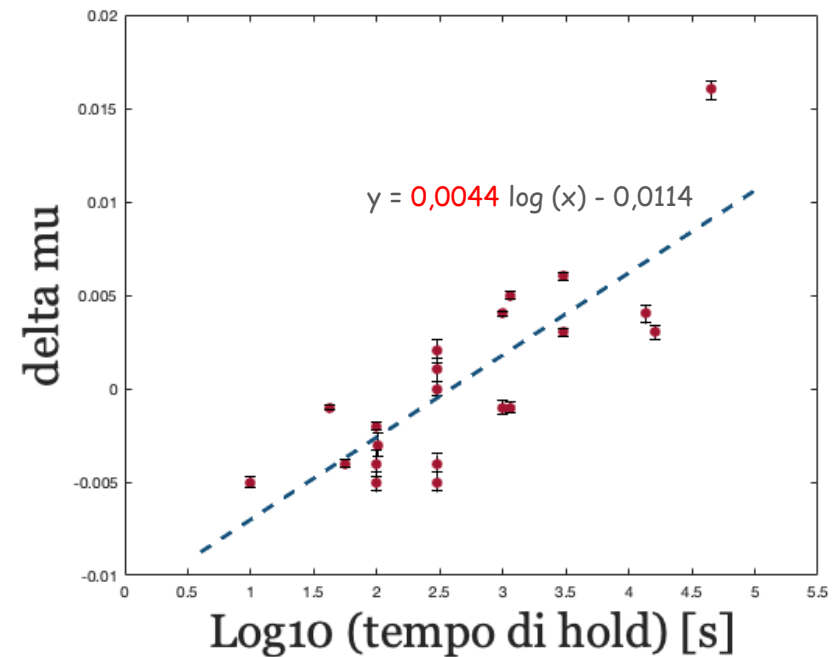
Primo esperimento

Temperatura **80 °C**



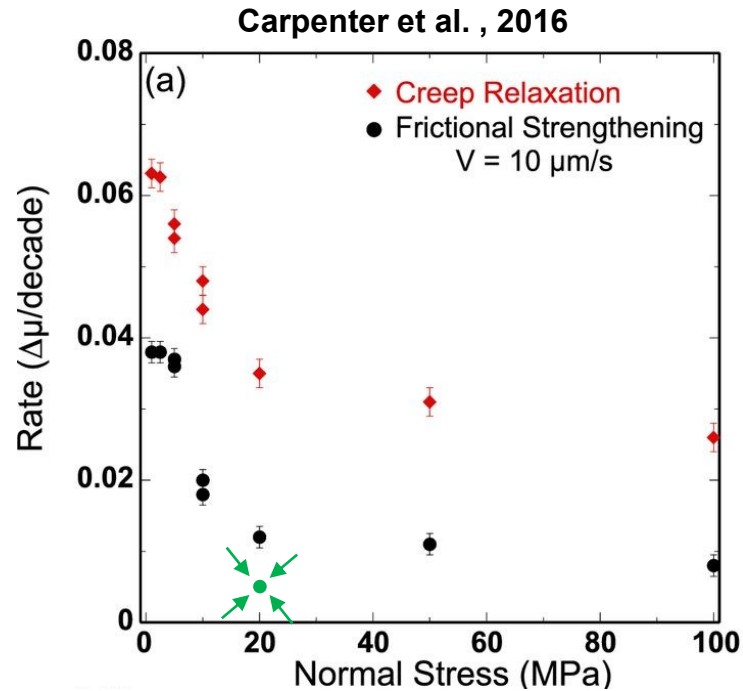
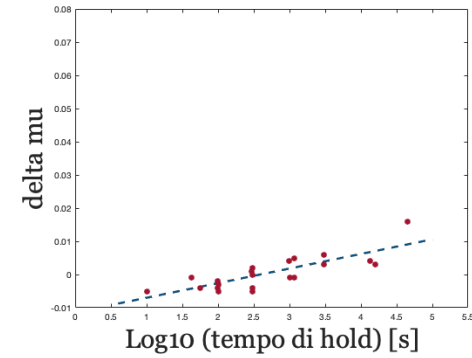
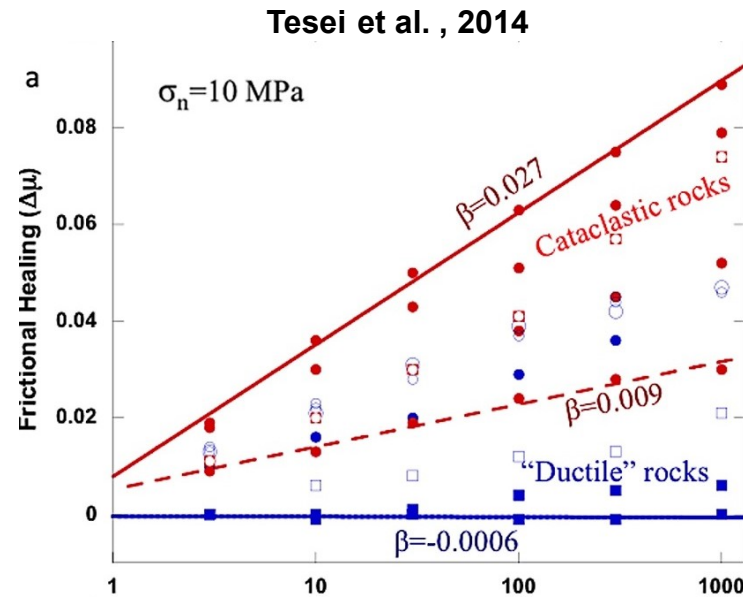
Secondo esperimento

Temperatura **25 °C**



Confronto con esperimenti a più bassa temperatura

- Nel primo grafico si nota che il valore di β è molto maggiore rispetto ai valori di questo studio
- Gli esperimenti sono stati svolti da 1 Mpa di sforzo normale a 100 Mpa
- Si osserva che il tasso di guarigione del gouge diminuisce aumentando il Normal Stress



Normal stress (MPa)	β (s^{-1})
1.0	0.041
1.0	0.038
1.0	0.038
1.0	0.030
2.5	0.038
5.0	0.036
10	0.018
	0.020
20	0.012
50	0.004
50	0.011
50	0.014
50	0.017
100	0.008

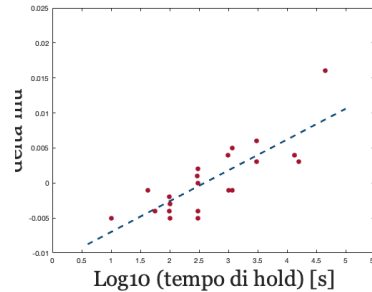
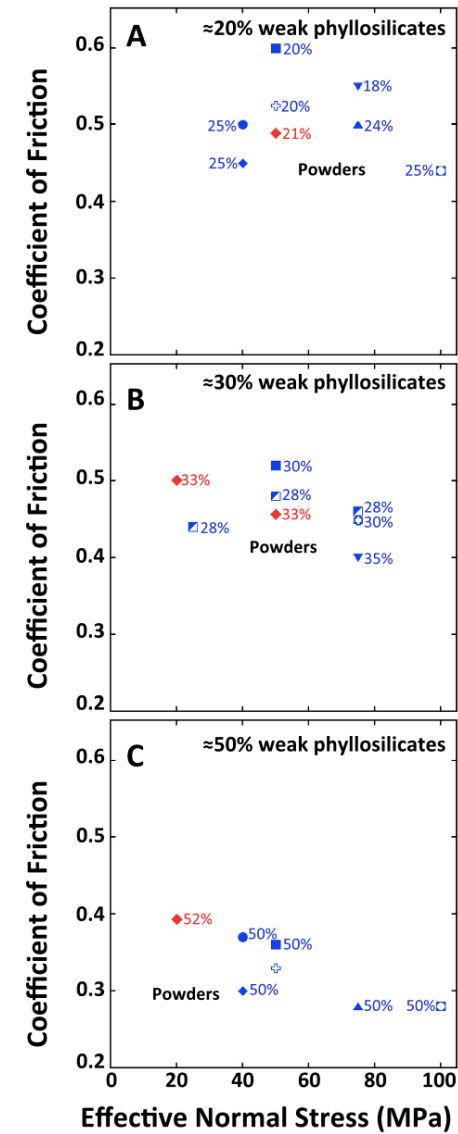
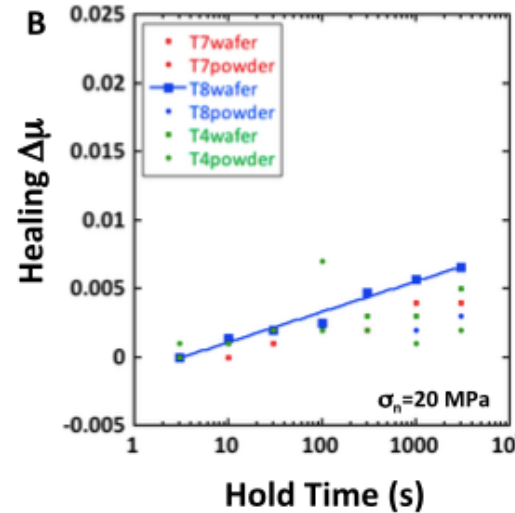
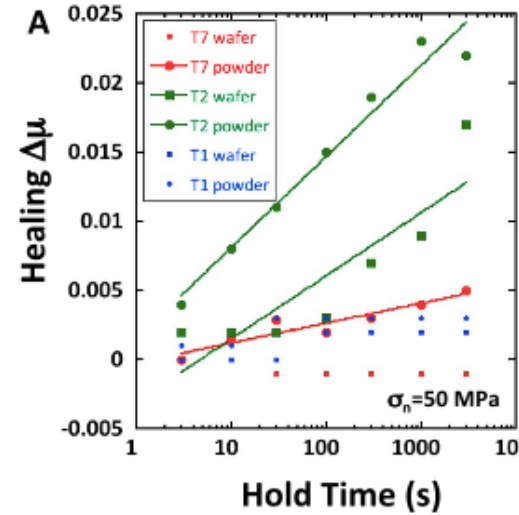
Carpenter et al. , 2016



Confronto con esperimenti a diversa composizione

- Nei grafici di Tesei la composizione è anfibolitica e carbonatica ricca in fillosilicati
- Si osservano diverse pendenze della retta di tendenza
- Maggiore è il contenuto in fillosilicati, minori sono i valori di attrito e healing

Tesei et al. , 2012



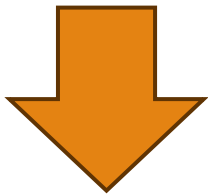
CONCLUSIONI



Gli esperimenti hanno rivelato che l'attrito è più alto a bassa temperatura e l'healing più efficace



Il confronto con la letteratura dice che il frictional healing è più alto di quello calcolato in questo studio



Le faglie in carbonati necessitano di periodi intersismici lunghi



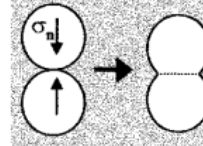
Più la temperatura aumenta più è sfavorito il recupero di resistenza meccanica



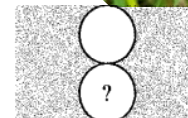
A diverse profondità i processi di healing dominanti cambiano



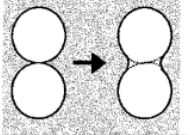
2. Pressure solution



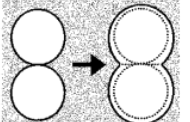
1. "Dieterich"-healing



3. Fluid-assisted neck growth



4. Precipitation/cementation





Bibliografia

- Jia, Yunzhong, et al. "The Frictional Restrengthening and Permeability Evolution of Slipping Shale Fractures During Seismic Cycles." *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 55, no. 4, 2022, pp. 1791–805, <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02751-1>
- Tesei T., et al. *Frictional Strength and Healing Behavior of Phyllosilicate-Rich Faults*. 2012.
- Chen, Jianye, et al. "Interseismic Re-Strengthening and Stabilization of Carbonate Faults by 'non-Dieterich' Healing Under Hydrothermal Conditions." *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 423, 2015, pp. 1–12, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.03.044>
- Tesei, Telemaco, et al. "Heterogeneous Strength and Fault Zone Complexity of Carbonate-Bearing Thrusts with Possible Implications for Seismicity." *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 408, 2014, pp. 307–18, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.021>
- Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA). "Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile". *Geologia dell'Ambiente*, vol. 1, 2018, pp. 11–31, www.sigeaweb.it/documenti/gda-supplemento-1-2018.pdf
- Choi, Jin-Hyuck, et al. "Definition and Classification of Fault Damage Zones: A Review and a New Methodological Approach." *Earth-Science Reviews*, vol. 152, 2016, pp. 70–87, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.11.006>
- Ma, Shengli, et al. "A Rotary-Shear Low to High-Velocity Friction Apparatus in Beijing to Study Rock Friction at Plate to Seismic Slip Rates." *Earthquake Science*, vol. 27, no. 5, 2014, pp. 469–97, <https://doi.org/10.1007/s11589-014-0097-5>
- Michele, M., et al. "Fine-Scale Structure of the 2016–2017 Central Italy Seismic Sequence From Data Recorded at the Italian National Network." *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, vol. 125, no. 4, 2020, p. 1–n/a, <https://doi.org/10.1029/2019JB018440>
- Bos, Bart, and Christopher J. Spiers. "Fluid-Assisted Healing Processes in Gouge-Bearing Faults: Insights from Experiments on a Rock Analogue System." *Pure and Applied Geophysics*, vol. 159, no. 11-12, 2002, pp. 2537–66, <https://doi.org/10.1007/s00024-002-8747-2>
- Carpenter, B. ..., et al. "The Influence of Normal Stress and Sliding Velocity on the Frictional Behaviour of Calcite at Room Temperature: Insights from Laboratory Experiments and Microstructural Observations." *Geophysical Journal International*, vol. 205, no. 1, 2016, pp. 548–61, <https://doi.org/10.1093/gji/ggw038>



**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**