



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Istituto Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Introduzione alla valutazione probabilistica della pericolosità da fagliazione superficiale (PFDHA)

Francesca Ferrario



Indice

- PFDHA – Probabilistic Fault Displacement Hazard Assessment
- Documentazione tecnica e letteratura scientifica di riferimento
- Equazione per il calcolo della probabilità di fagliazione superficiale
- Dati di input, relazioni empiriche esistenti
- Progetti internazionali finalizzati a raccolta dati e sviluppo metodi



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Obiettivi attesi

Acquisizione delle informazioni di base su:

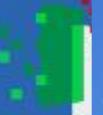
- analisi probabilistica da fagliazione superficiale
- metodi utilizzati per tali stime
- letteratura scientifica e progetti internazionali attivi sul tema
- tipologia di dati di input richiesti e influenza che le scelte di parametrizzazione comportano sul risultato.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Fagliazione superficiale

- **Rottura della superficie topografica** a causa del movimento lungo un piano di faglia, accompagnato da rilascio di energia sismica (o per creep)
- Fonte di **pericolosità** localizzata per edifici e infrastrutture ubicate in prossimità della traccia di faglia





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Fagliazione superficiale

- **Fattori influenzanti:** magnitudo, profondità ipocentrale, tipologia di movimento, assetto strutturale e geologico, reologia dei materiali
- **Fagliazione primaria:** lungo il piano di rilascio dell'energia
- **Fagliazione distribuita**





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

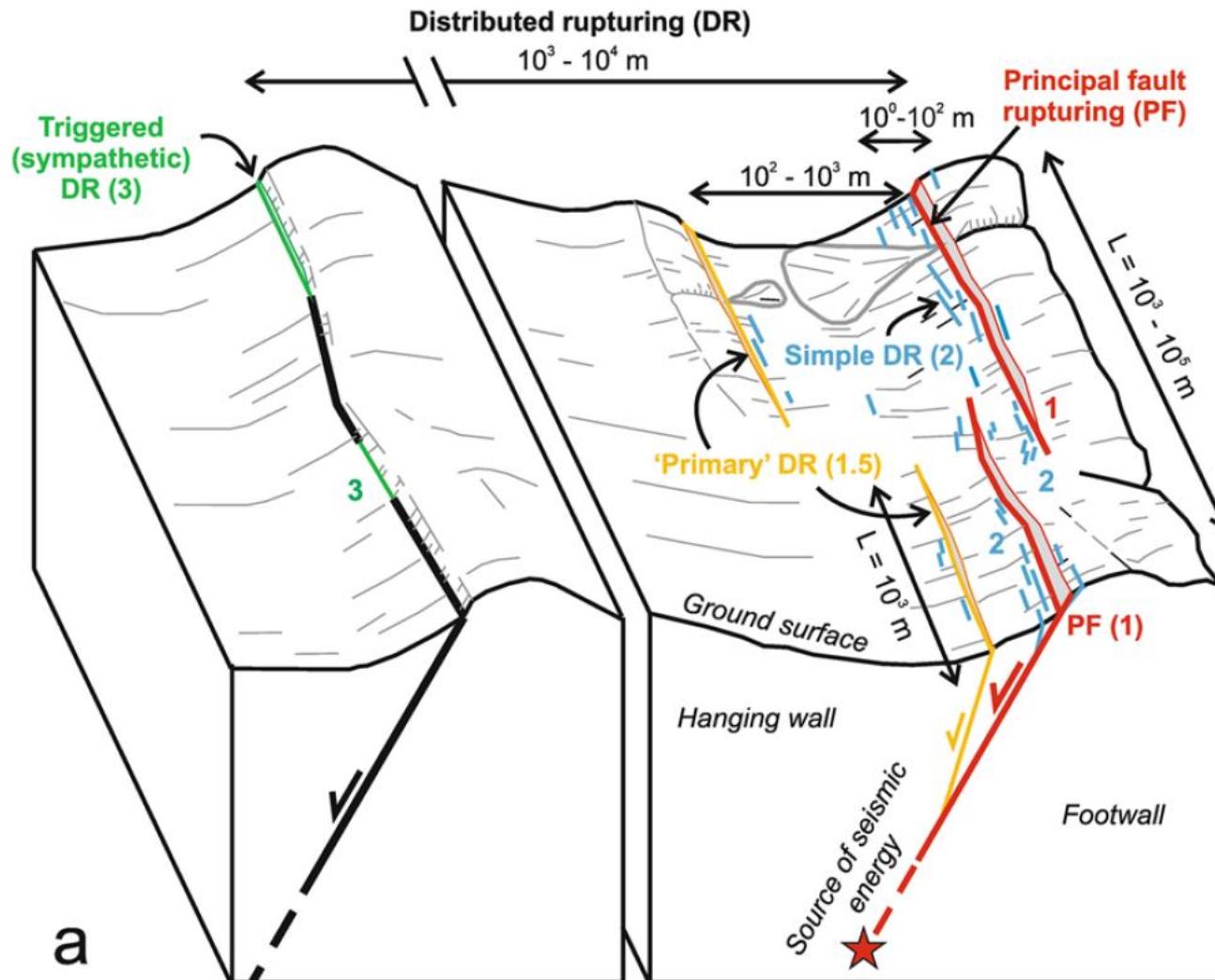


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Faglia normale

- Nurminen et al., 2022





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



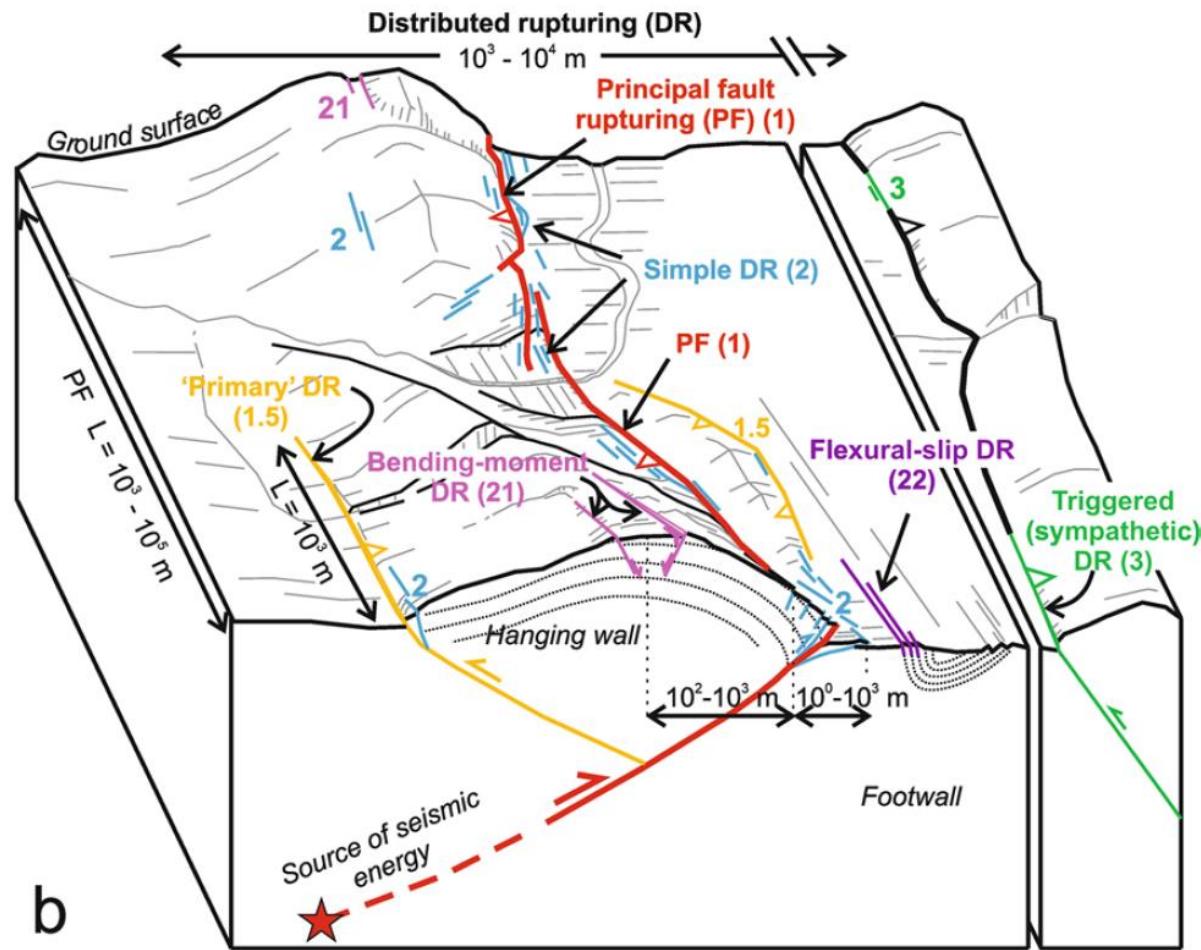
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

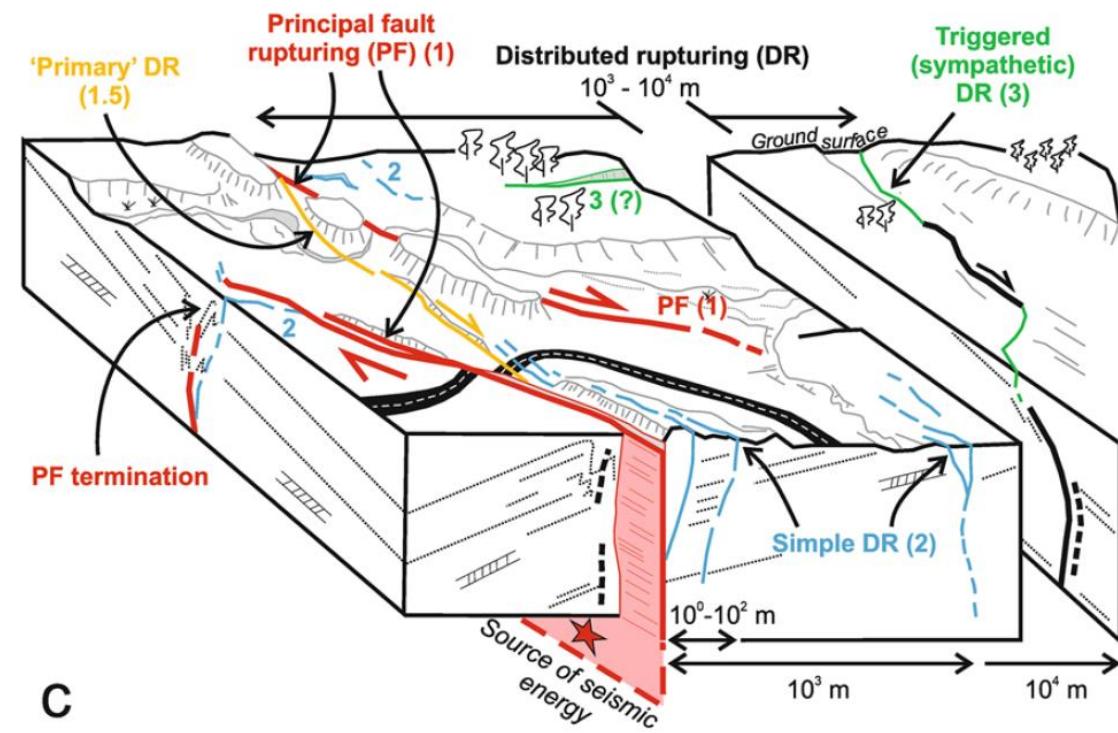


Faglia inversa



b

Faglia strike-slip



C

Nurminen et al., 2022



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Valutazione probabilistica della pericolosità da fagliazione: perché?

- La pericolosità da fagliazione superficiale è particolarmente rilevante per **impianti ad alto rischio** (centrali nucleari, dighe, impianti industriali rilevanti) e **infrastrutture lineari** (strade, ferrovie, distribuzione energetica, acquedotti, oleodotti, ecc.).

Valutazione probabilistica della pericolosità da fagliazione: quando?

- Strategia di **mitigazione** preferibile: avoidance
- **Valutazione probabilistica** necessaria quando un'infrastruttura non può evitare di attraversare la faglia, oppure quando una faglia viene scoperta nei pressi di una infrastruttura esistente.

Documentazione tecnica e letteratura scientifica di riferimento

- IAEA – International Atomic Energy Agency
- ANS – American Nuclear Society
- Youngs et al. (2003, faglie normali), Moss & Ross (2011, faglie inverse), Petersen et al. (2011, strike-slip)



Evaluation of Seismic
Hazards for Nuclear
Power Plants



IAEA TECDOC SERIES

IAEA-TECDOC-1987

An Introduction to Probabilistic
Fault Displacement Hazard
Analysis in Site Evaluation for
Existing Nuclear Installations

IAEA-TECDOC-1987



Criteria for Assessing Tectonic
Surface Fault Rupture and
Deformation at Nuclear Facilities

ANSI/ANS-2.30-2015



An American National Standard

Published by the
American Nuclear Society
555 N. Kensington Ave
La Grange Park, IL 60526

ne 4 • Istruzione e Ricerca



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



PFDHA: stato dell'arte

PSHA (Cornell)

Studi sul sito di
Yucca Mountain

PFDHA per diverse
cinematiche

Youngs et al (2003)

Moss & Ross (2011)
Petersen et al (2011)

FDHI, SURE,
IAEA benchmark





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Equazione generale

- Youngs et al., 2003

$$v_k(d) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m^u} f_n(m) \left[\int_0^\infty f_{kn}(r|m) \cdot P_{kn}^*(D > d|m, r) \cdot dr \right] \cdot dm$$

- PSHA – Probabilistic Seismic Hazard Assessment
- Cornell, 1968

$$v_k(z) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m_n^u} f_n(m) \left[\int_0^\infty f_{kn}(r|m) \cdot P(Z > z|m, r) \cdot dr \right] \cdot dm$$



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILLENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Equazione generale

$$v_k(d) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m^u} f_n(m) \left[\int_0^{\infty} f_{kn}(r|m) \cdot P_{kn}^*(D > d|m, r) \cdot dr \right] \cdot dm$$

- Tasso con cui il rigetto D in un punto supera un valore di riferimento (d) durante un singolo evento
- Dato un **terremoto di magnitudo M in una data posizione**, occorre calcolare 3 probabilità:
 - Probabilità che avvenga effettivamente fagliazione superficiale
 - Probabilità che la fagliazione raggiunga il sito di interesse
 - Probabilità che il rigetto superi il valore di riferimento



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

Earthquake approach



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Tasso di eventi lungo la sorgente n aventi magnitudo al
di sopra di un valore di interesse ingegneristico, m_0 ;

$$v_k(d) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m^u} f_n(m) \left[\int_0^{\infty} f_{kn}(r|m) \cdot P_{kn}^*(D > d|m, r) \cdot dr \right] \cdot dm$$

Distribuzione di magnitudo
tra m_0 e la magnitudo
massima legata alla
sorgente n

Probabilità condizionale di
distanza dal sito k di avere un
terremoto di magnitudo m sulla
sorgente n



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Earthquake approach

Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

$$v_k(d) = \sum_n \alpha_n(m^0) \int_{m^0}^{m^u} f_n(m) \left[\int_0^\infty f_{kn}(r|m) \cdot P_{kn}^*(D > d|m, r) dr \right] dm$$

Probabilità condizionale che, dato un terremoto di magnitudo m a distanza r dal sito k , il rigetto superi il valore d

$$P_{kn}^*(D > d|m, r) = P_{kn}(\text{Slip } | m, r) \cdot P_{kn}(D > d|m, r, \text{Slip})$$

Probabilità condizionale che avvenga fagliazione superficiale.
Differenza sostanziale rispetto a PSHA

Attenuazione del rigetto su scala spaziale,
sia lungo la faglia principale che per la
fagliazione distribuita



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

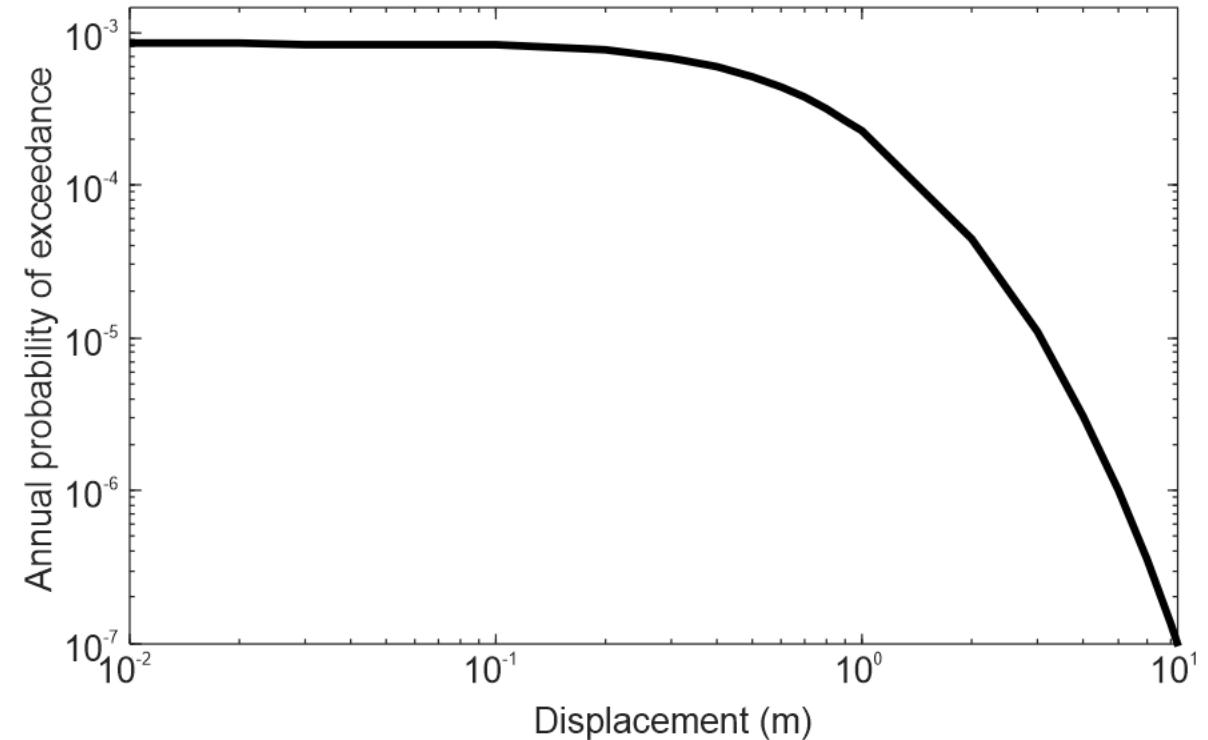


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Prodotto finale

- Output: **curva di pericolosità**, fornisce la frequenza annuale di eccedere una determinata quantità di fagliazione
- Grafico in scala log-log





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

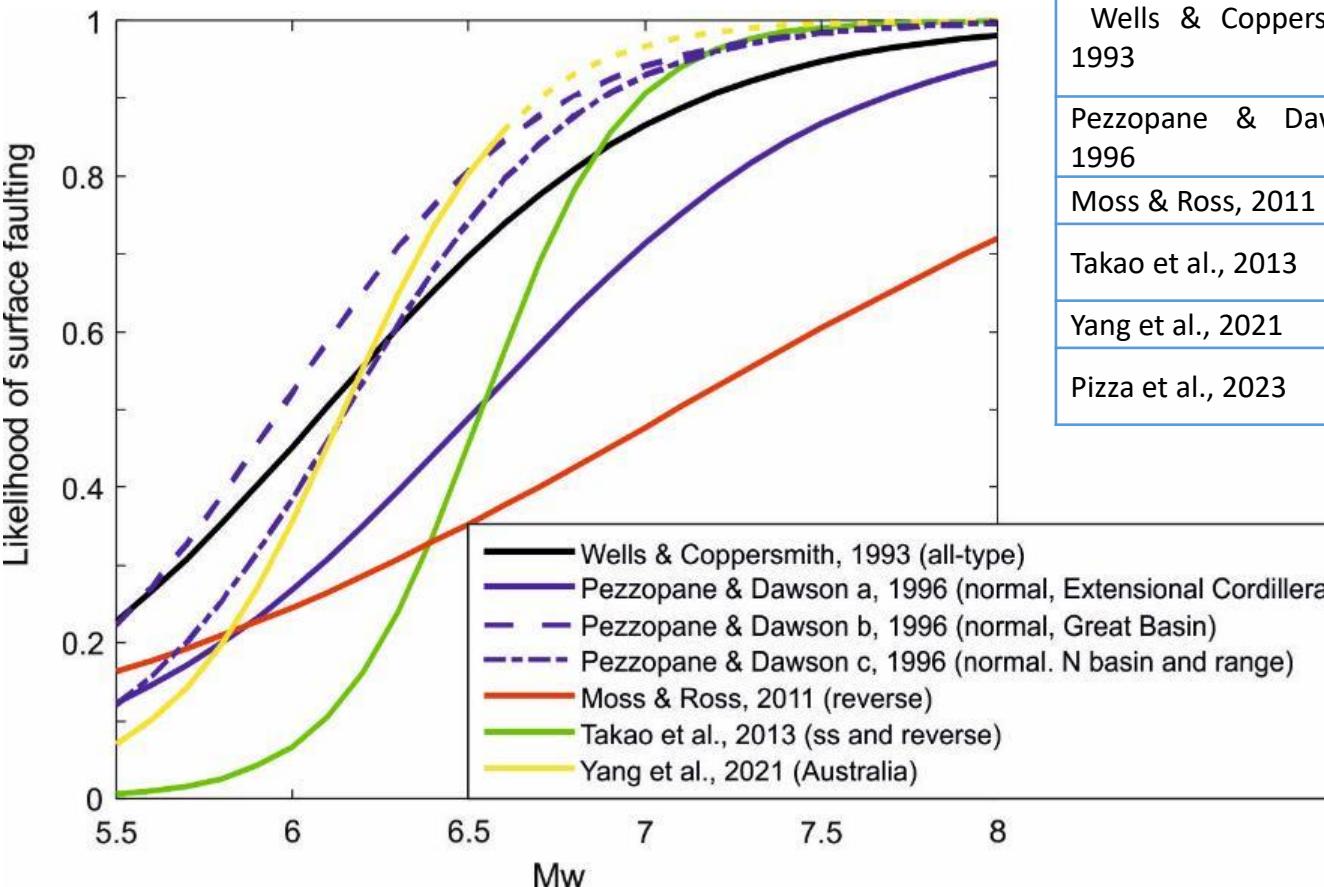


Dati di input

- Dati geologici e sismologici
 - Tasso di scorrimento
 - Dimensioni faglia (lunghezza e larghezza, oppure area)
 - Cinematica
 - Magnitudo minima e massima
 - B-value
- Posizione del sito
 - Fagliazione principale: tip di faglia vs zona centrale
 - Fagliazione distribuita: distanza da faglia principale



Dati di input: $P(\text{slip} \mid m)$



Dataset	Range di M	Intervallo temporale	Note	Nr
Wells & Coppersmith, 1993	5.0-8.2	1847-1992	Tutti i tipi, globale	276
Pezzopane & Dawson, 1996	4.5-7.6	1830-1995	Faglie normali, USA	100
Moss & Ross, 2011	5.4-8.2	1896-2008	Faglie inverse, globali	129
Takao et al., 2013	5.4-7.4	1885-2008	Strike-slip e inverse, Giappone	107
Yang et al., 2021	4.7-6.6	1900-2000	Inverse, Australia	
Pizza et al., 2023	5.5-7.9	1992-2018	Tutti i tipi e singole cinematiche	363

$$P = \frac{n^{\circ} YES}{n^{\circ} YES + n^{\circ} NO}$$

$$P (\text{primary surface rupture}) = \frac{e^{a+b \cdot M}}{1 + e^{a+b \cdot M}}$$

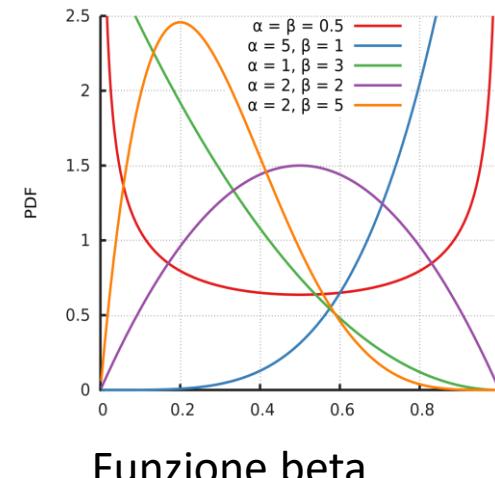
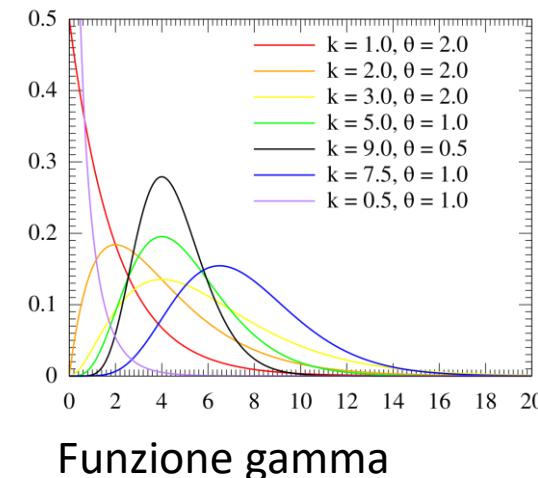


Dati di input: $P(D>d)$, faglia primaria

- $P(D>d)$
 - Relazioni empiriche $AD|M$ o $MD|M$
 - Relazioni empiriche $D|AD$
- AD: average displacement
- MD: max displacement

- $\text{Log}(AD) = a + b \times M$
- $\text{Log}(MD) = a + b \times M$

- Funzioni gamma o beta



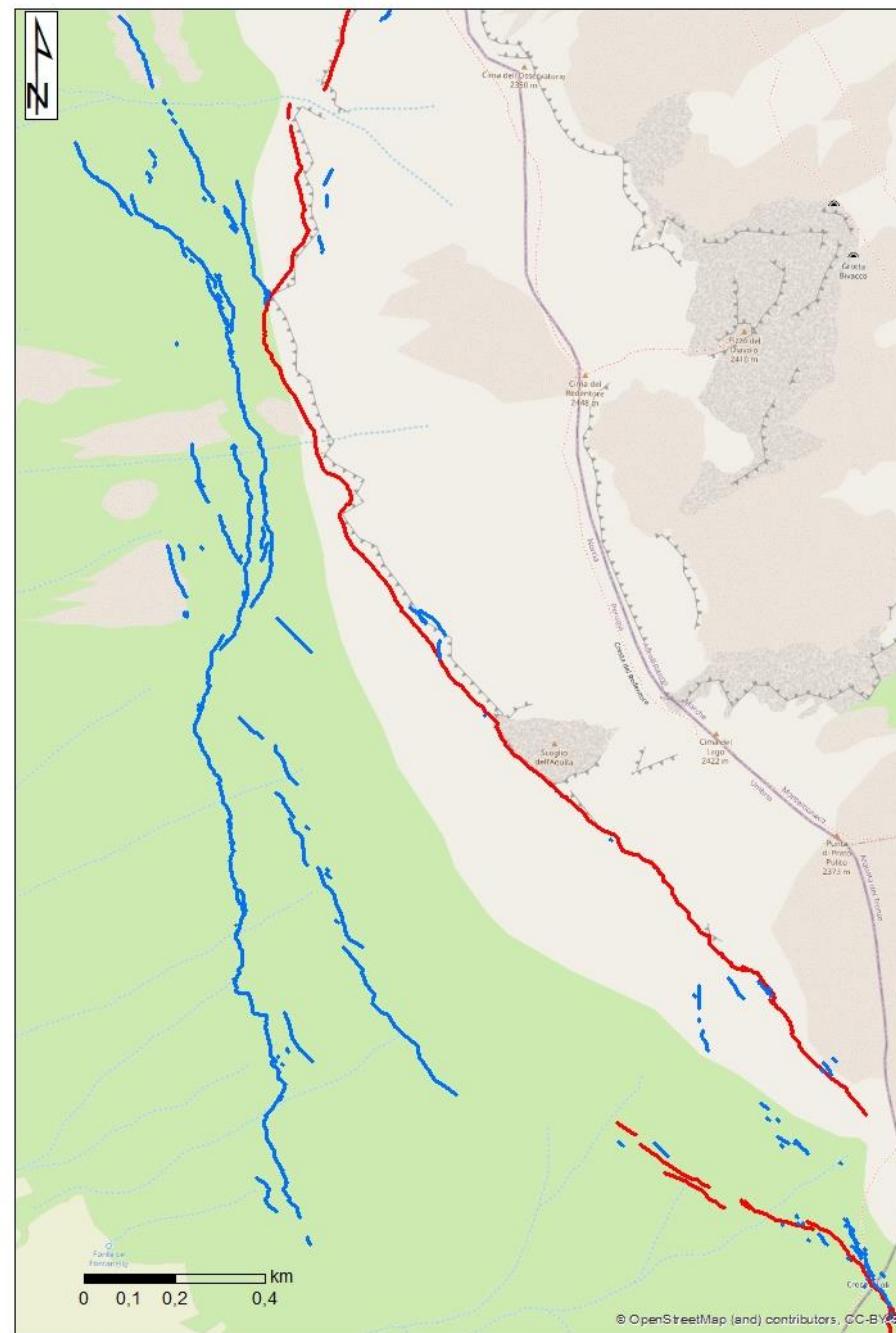
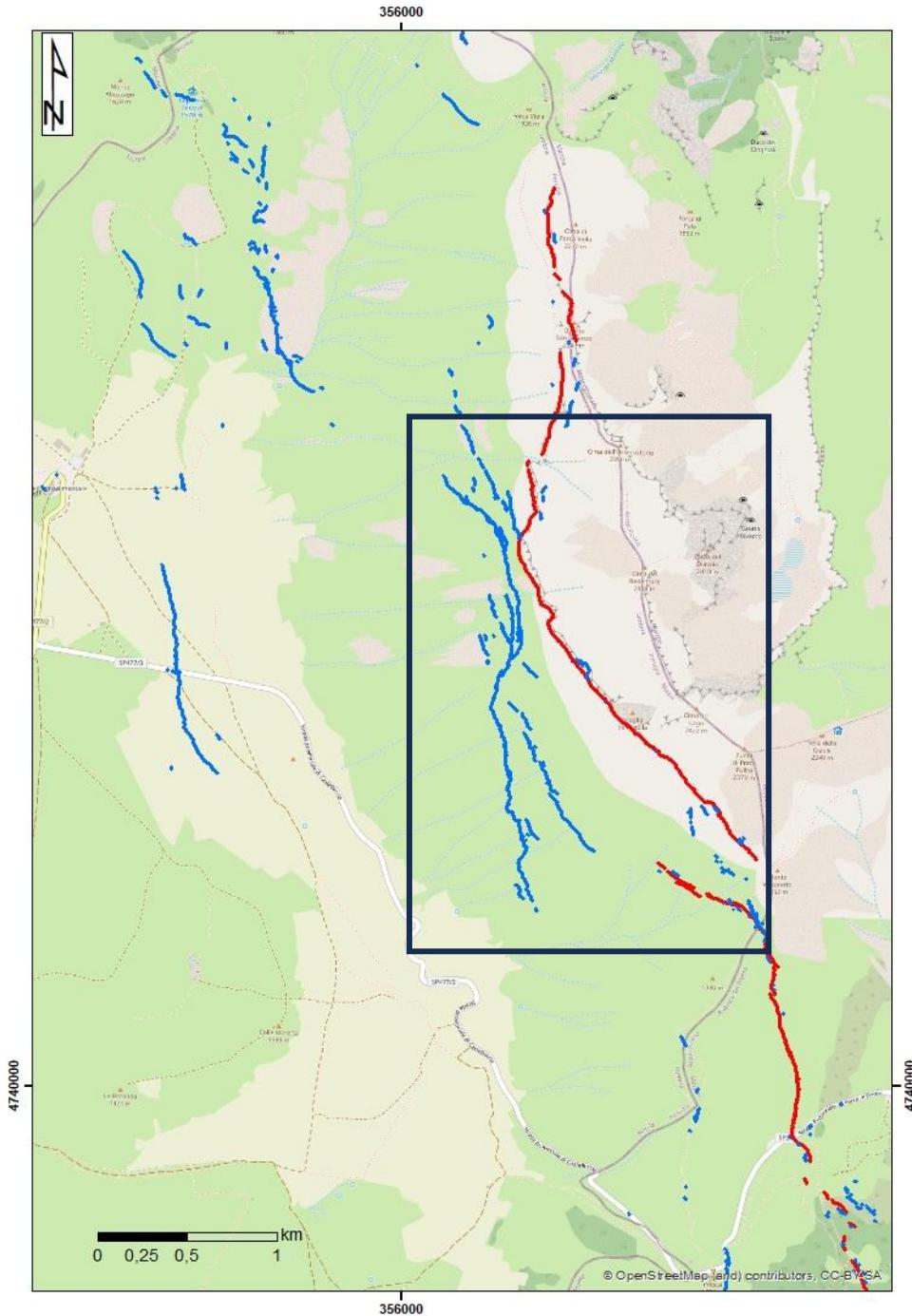
- Normalizzazione per posizione lungo strike (x/L)



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU

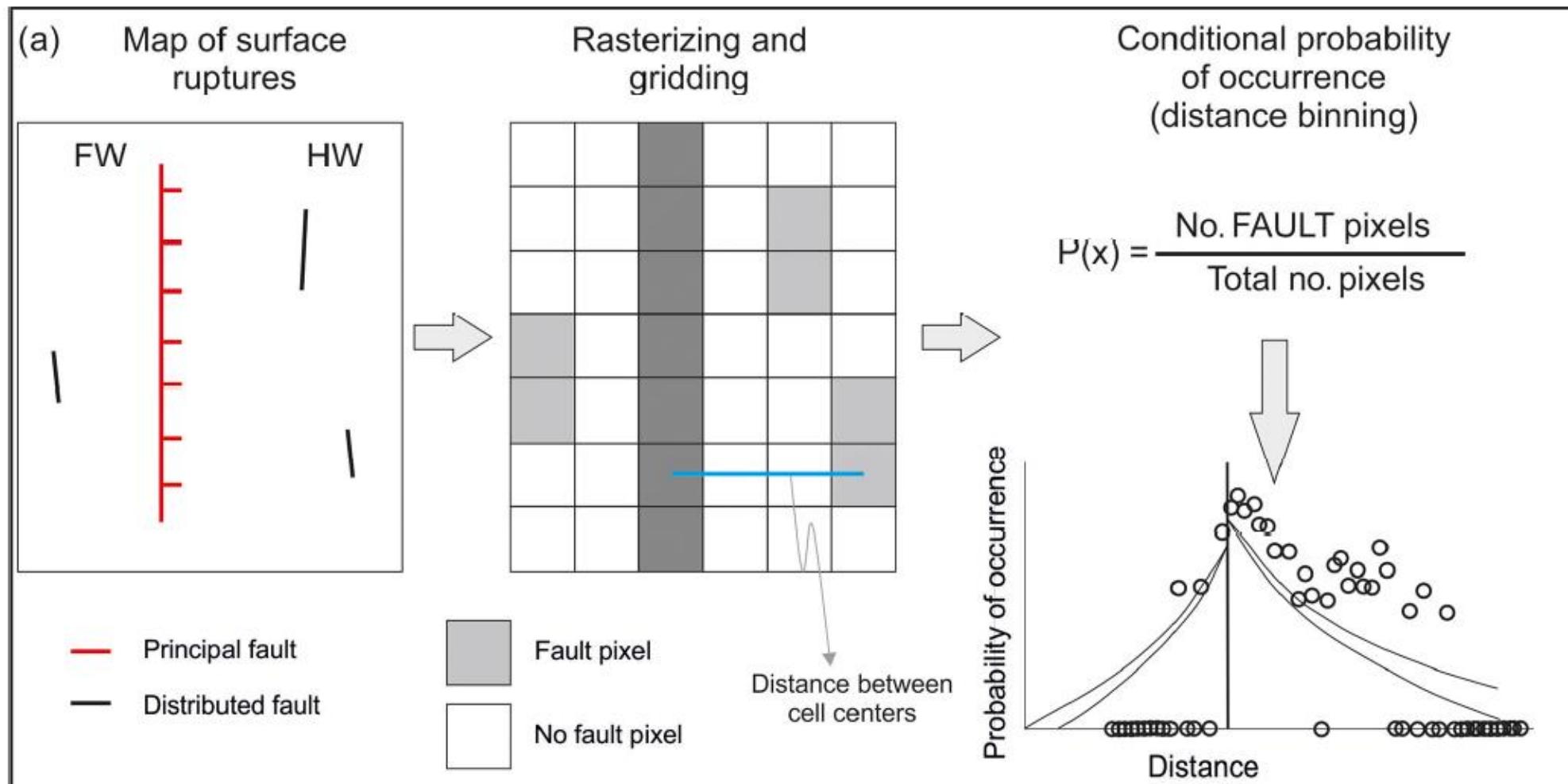
Dati di input: P (D>d), faglie distribuite

- Evento Norcia 2016



Dati di input: $P(D>d)$, faglie distribuite

- Ferrario & Livio, 2021





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

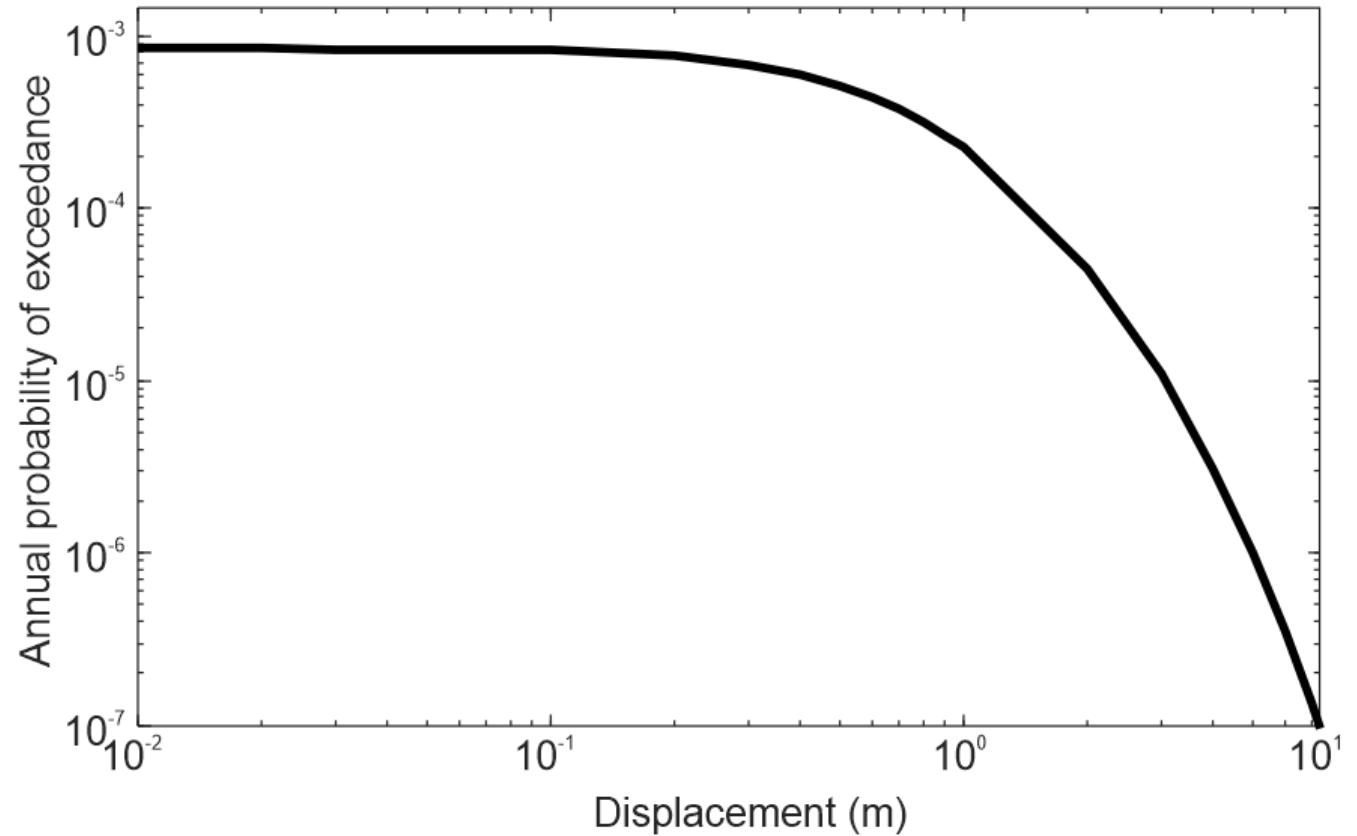


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



La curva di pericolosità

- Importanza parametrizzazione
- Dati empirici!





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca

Progetti internazionali finalizzati a raccolta dati e sviluppo metodi

- SURE (Surface Rupture due to Earthquakes); Baize et al., 2019, Nurminen et al., 2022
- FDHI [Fault Displacement Hazard Initiative — The B. John Garrick Institute for the Risk Sciences \(ucla.edu\)](#)
- IAEA benchmark (Valentini et al., 2021)
- Fault2SHA & FDH thematic lab [Fault2SHA Fault Displacement Hazard Lab \(FDH\) – FAULT2SHA](#)

scientific data

OPEN

DATA DESCRIPTOR

SURE 2.0 – New release of the worldwide database of surface ruptures for fault displacement hazard analyses

Ilia Nurminen¹✉, Stéphane Baize²✉, Paolo Boncio³, Anna Maria Blumetti⁴, Francesca R. Cinti⁵, Riccardo Civico⁵ & Luca Guerrieri⁶



[HOME](#) / [ABOUT](#) / [NEWS & EVENTS](#) / [RESEARCH CENTERS](#) / [RESOURCES](#) / [PROJECTS](#) / [PUBLICATIONS](#) / [CONTACT](#) / [SEARCH](#)

[Back to NHR3](#)

[Project Navigation](#)

- Home
- Events
- Tasks
- Databases
- Models
- Sponsors
- Contact

[Natural Hazards Risk and Resiliency Research Center \(NHR3\)](#)

[Fault Displacement Hazard Initiative](#)





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Pubblicazioni scientifiche (1)

Baize, S., Nurminen, F., Sarmiento, A., Dawson, T., Takao, M., Scotti, O., ... & Villamor, P. (2020). A worldwide and unified database of surface ruptures (SURE) for fault displacement hazard analyses. *Seismological Research Letters*, 91(1), 499-520.

Boncio, P., Liberi, F., Caldarella, M., & Nurminen, F. C. (2018). Width of surface rupture zone for thrust earthquakes: implications for earthquake fault zoning. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(1), 241-256.

Ferrario, M. F., & Livio, F. (2021). Conditional probability of distributed surface rupturing during normal-faulting earthquakes. *Solid Earth*, 12(5), 1197-1209.

Moss, R. E. S., & Ross, Z. E. (2011). Probabilistic fault displacement hazard analysis for reverse faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(4), 1542-1553.

Nurminen, F., Boncio, P., Visini, F., Pace, B., Valentini, A., Baize, S., & Scotti, O. (2020). Probability of occurrence and displacement regression of distributed surface rupturing for reverse earthquakes. *Frontiers in Earth Science*, 8, 581605.

Nurminen, F., Baize, S., Boncio, P., Blumetti, A. M., Cinti, F. R., Civico, R., & Guerrieri, L. (2022). SURE 2.0—New release of the worldwide database of surface ruptures for fault displacement hazard analyses. *Scientific Data*, 9(1), 729.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Pubblicazioni scientifiche (2)

Petersen, M. D., Dawson, T. E., Chen, R., Cao, T., Wills, C. J., Schwartz, D. P., & Frankel, A. D. (2011). Fault displacement hazard for strike-slip faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(2), 805-825.

Pizza, M., Ferrario, M. F., Thomas, F., Tringali, G., & Livio, F. (2023). Likelihood of Primary Surface Faulting: Updating of Empirical Regressions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 113(5), 2106-2118.

Takao, M., Tsuchiyama, J., Annaka, T., & Kurita, T. (2013). Application of probabilistic fault displacement hazard analysis in Japan. *J. Jpn. Assoc. Earthq. Eng*, 13, 17-36.

Valentini, A., Fukushima, Y., Contri, P., Ono, M., Sakai, T., Thompson, S. C., ... & Youngs, R. R. (2021). Probabilistic fault displacement hazard assessment (PFDHA) for nuclear installations according to IAEA safety standards. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 111(5), 2661-2672.

Youngs, R. R., Arabasz, W. J., Anderson, R. E., Ramelli, A. R., Ake, J. P., Slemmons, D. B., ... & Toro, G. R. (2003). A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA). *Earthquake spectra*, 19(1), 191-219.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Linee guida, report tecnici e sitografia

ANSI/ANS-2.30: Criteria for assessing tectonic surface fault rupture and deformation at nuclear facilities, American Nuclear Society, La Grange Park, IL, 2015.

[An Introduction to Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis in Site Evaluation for Existing Nuclear Installations](#)
[| IAEA](#)

Sarmiento, A. et al. *Fault displacement hazard initiative database*. <https://doi.org/10.34948/N36P48> (2021).

Moss et al. (2022). **Reverse Fault PFDHA**. Report GIRS-2022-05. DOI: 10.34948/N3F595

[FAULT2SHA – ESC working group](#)

[Fault Displacement Hazard Initiative — The B. John Garrick Institute for the Risk Sciences \(ucla.edu\)](#)



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Disclaimer

L'Autore/gli Autori è/sono pienamente responsabile/i di tutti i contenuti inseriti nella presentazione. I contenuti di questa presentazione (testo, grafica, immagini e altri materiali) non violano i diritti di terzi e sono nella piena e libera disponibilità, avendo acquisito da ogni eventuale terzo avente diritto su di essi espressa autorizzazione alla pubblicazione; pertanto saranno utilizzati per le finalità strettamente connesse al progetto GeoSciencesIR.





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



PNRR "GeoSciences IR" - Missione 4 "Istruzione e Ricerca" - Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa"
Linea di investimento 3.1 "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione"
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU. CUP: I53C22000800006



Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



Consiglio Nazionale delle Ricerche



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

