



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



GeoSciencesIR

Missione 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



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 dell'Ambiente



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.



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 dell'Ambiente



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**

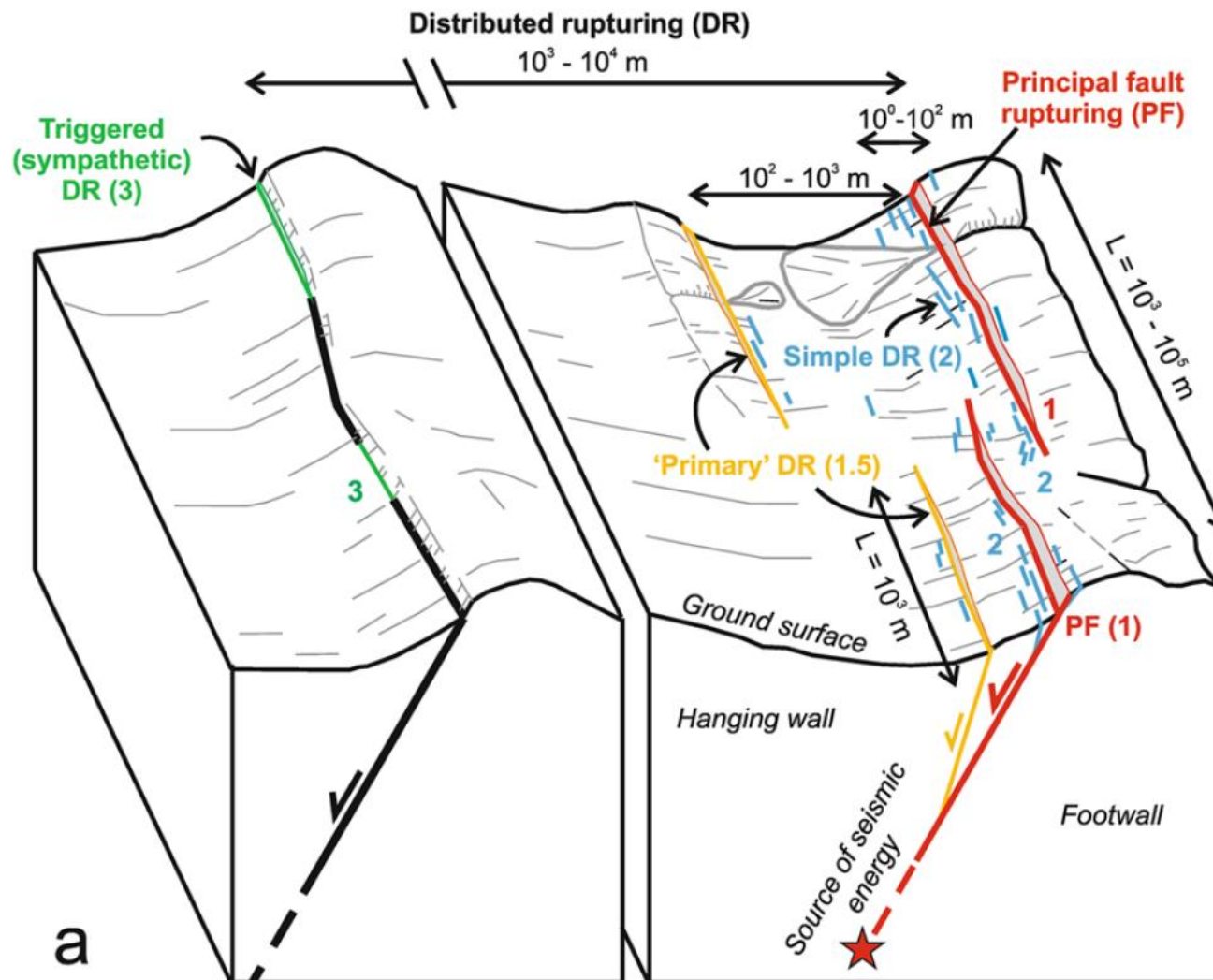


GeoSciencesIR



Faglia normale

- Nurminen et al., 2022





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



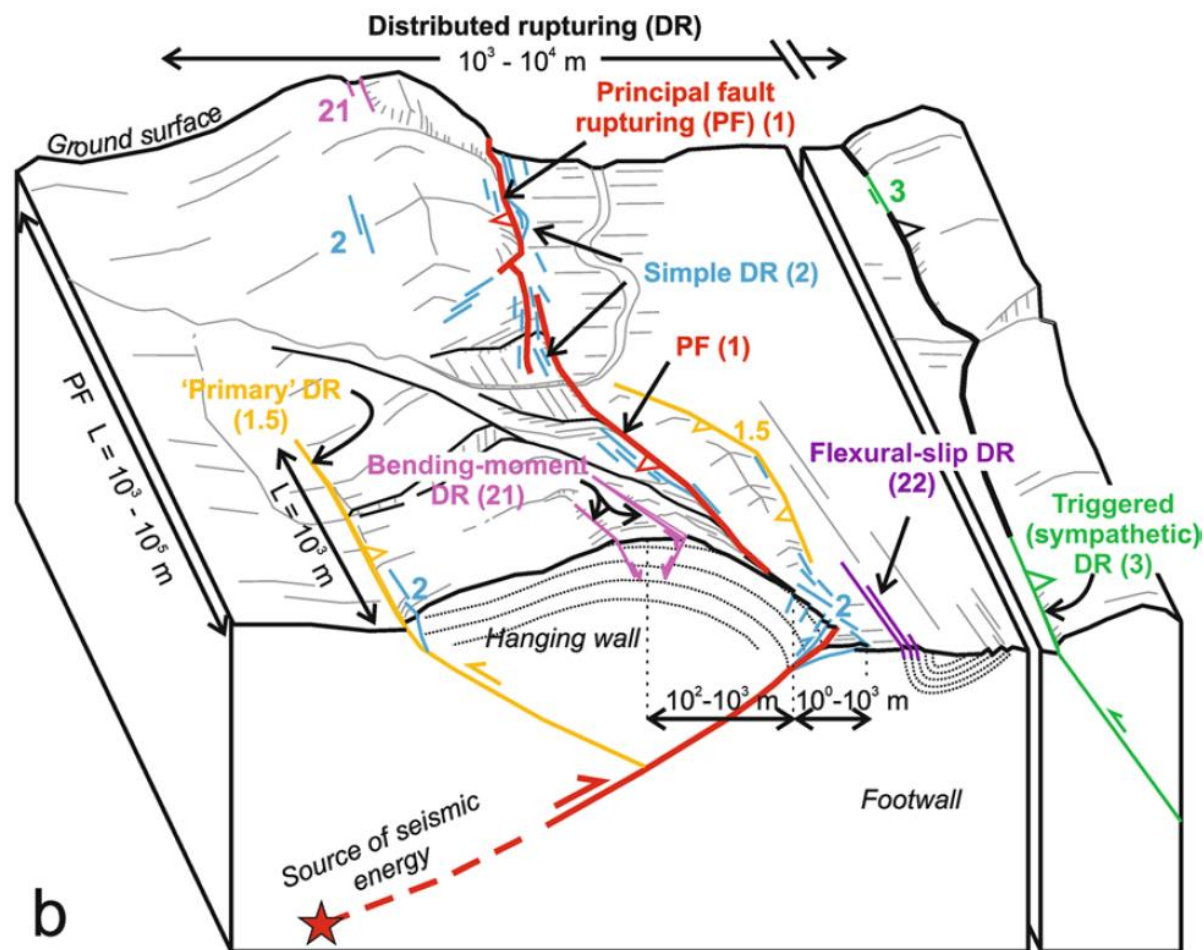
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



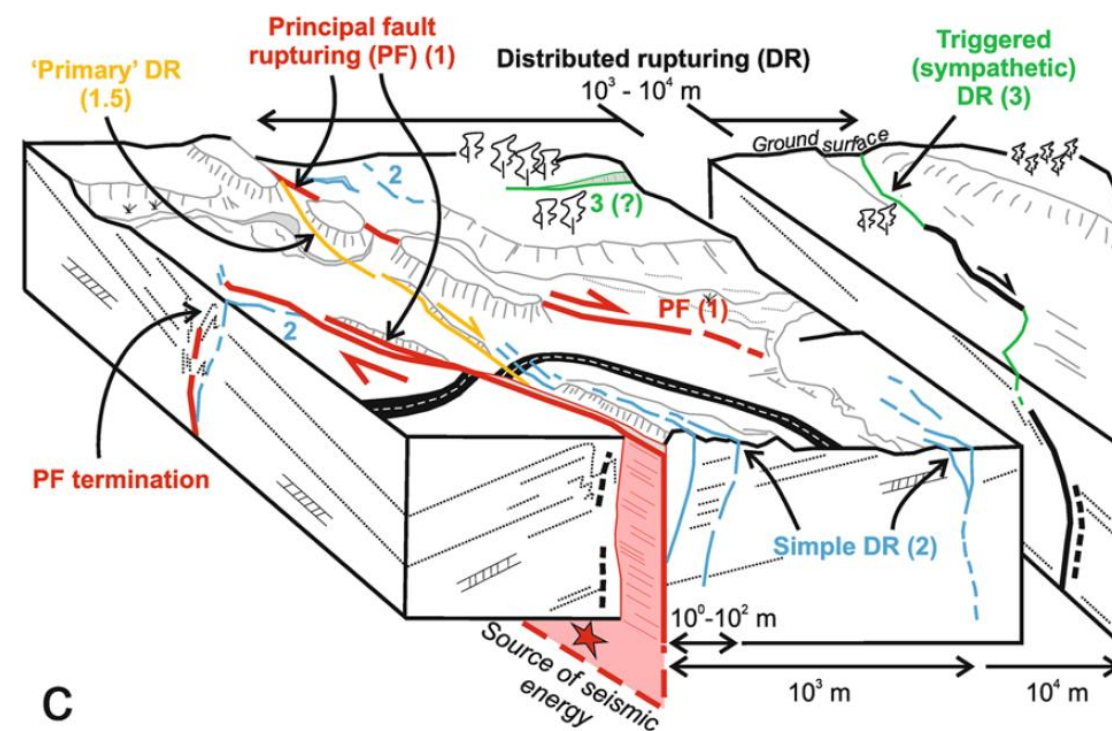
ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Faglia inversa



Faglia strike-slip



Nurminen et al., 2022



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.



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 dell'Ambiente



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

SAFETY GUIDE

No. NS-G-3.3



IAEA TECDOC SERIES

IAEA-TECDOC-1987

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



ANSI/ANS-2.30-2015



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

An American National Standard

ANSI/ANS-2.30-2015

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





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



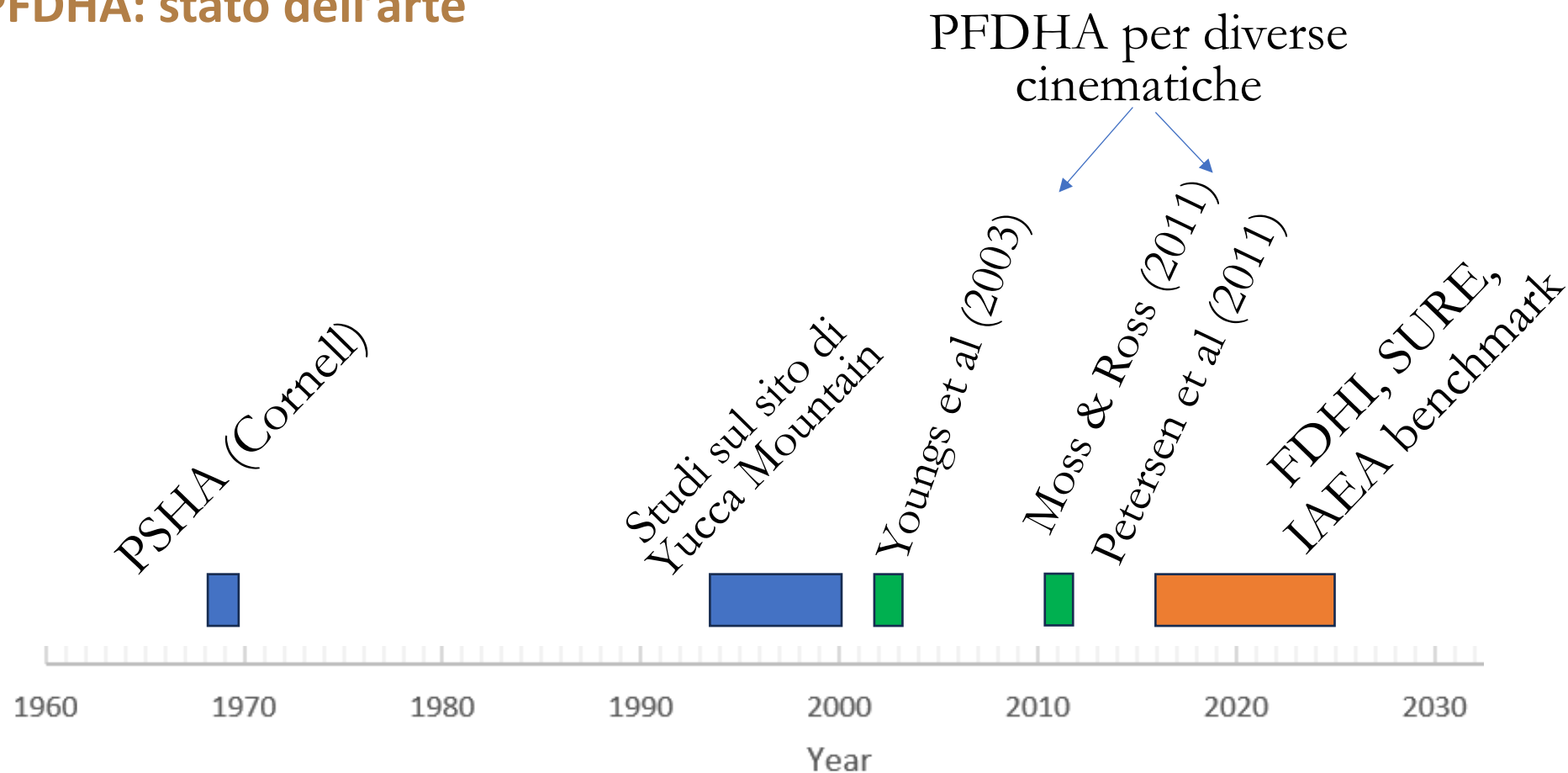
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



PFDHA: stato dell'arte





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

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



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

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



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

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

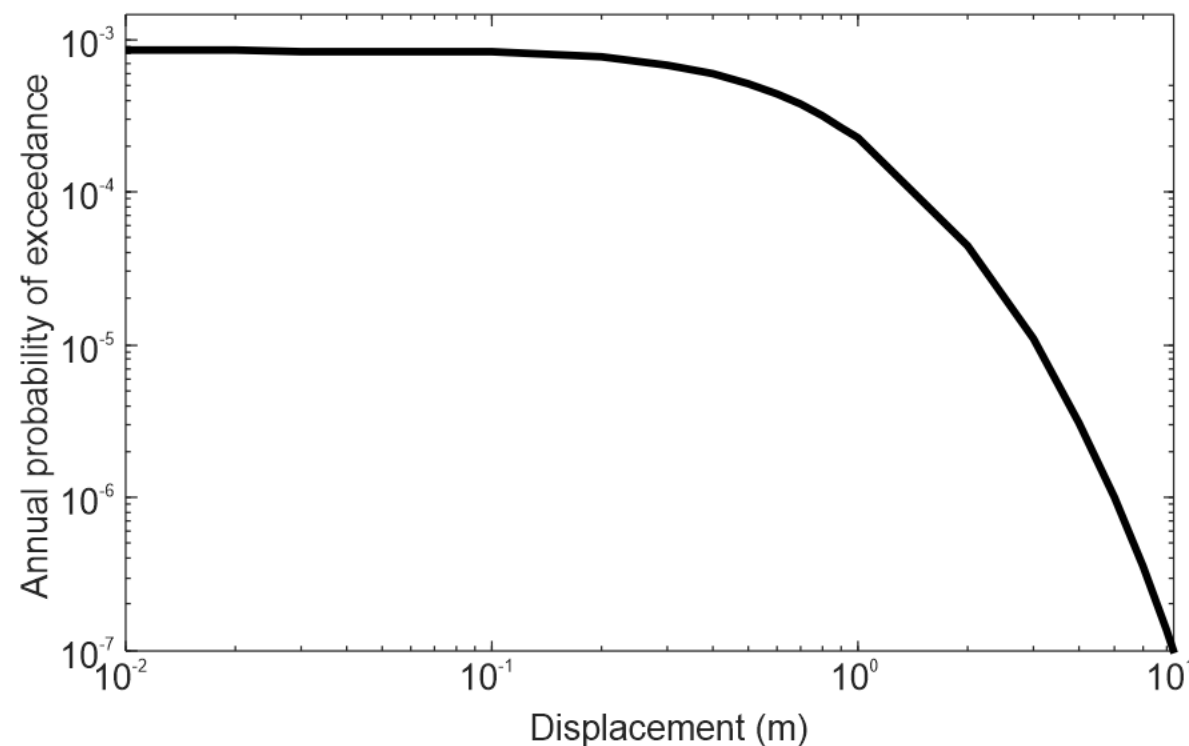


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca dell'Ambiente



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 dell'Ambiente

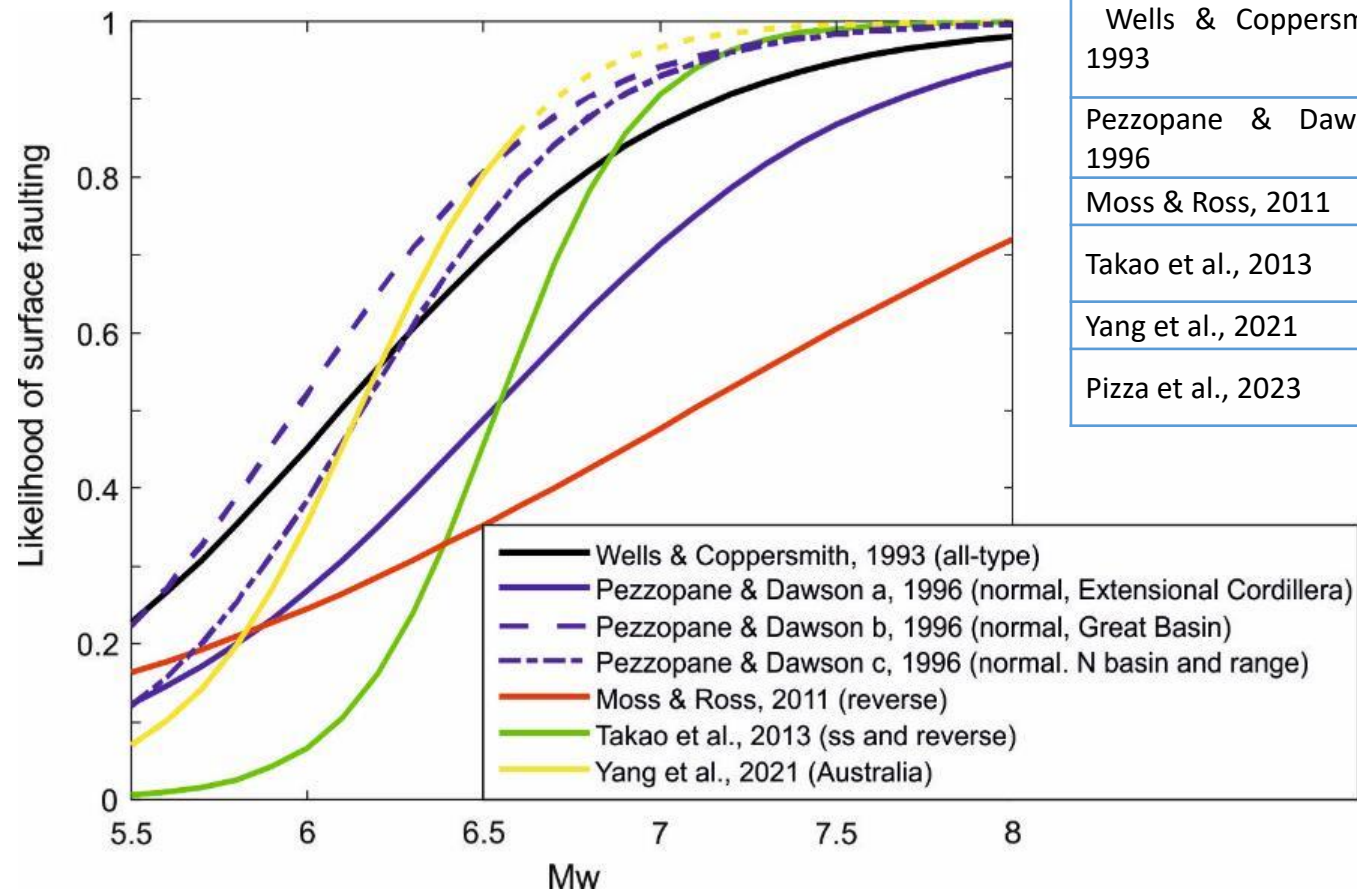


Dati di input

- 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(slip | 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

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

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



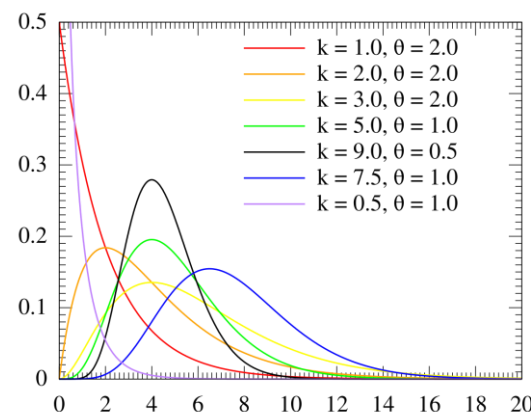
Dati di input: $P(D > d)$, faglia primaria

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

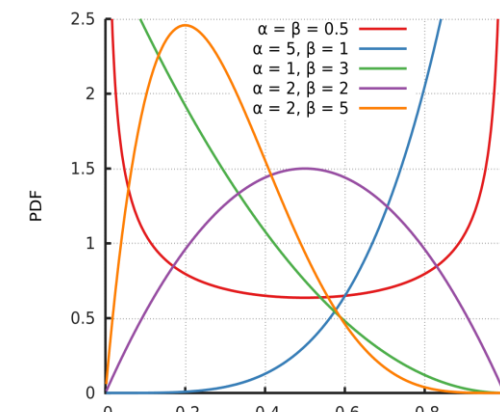
$$\bullet \text{ Log}(AD) = a + b \times M$$

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

- Funzioni gamma o beta



Funzione gamma



Funzione beta

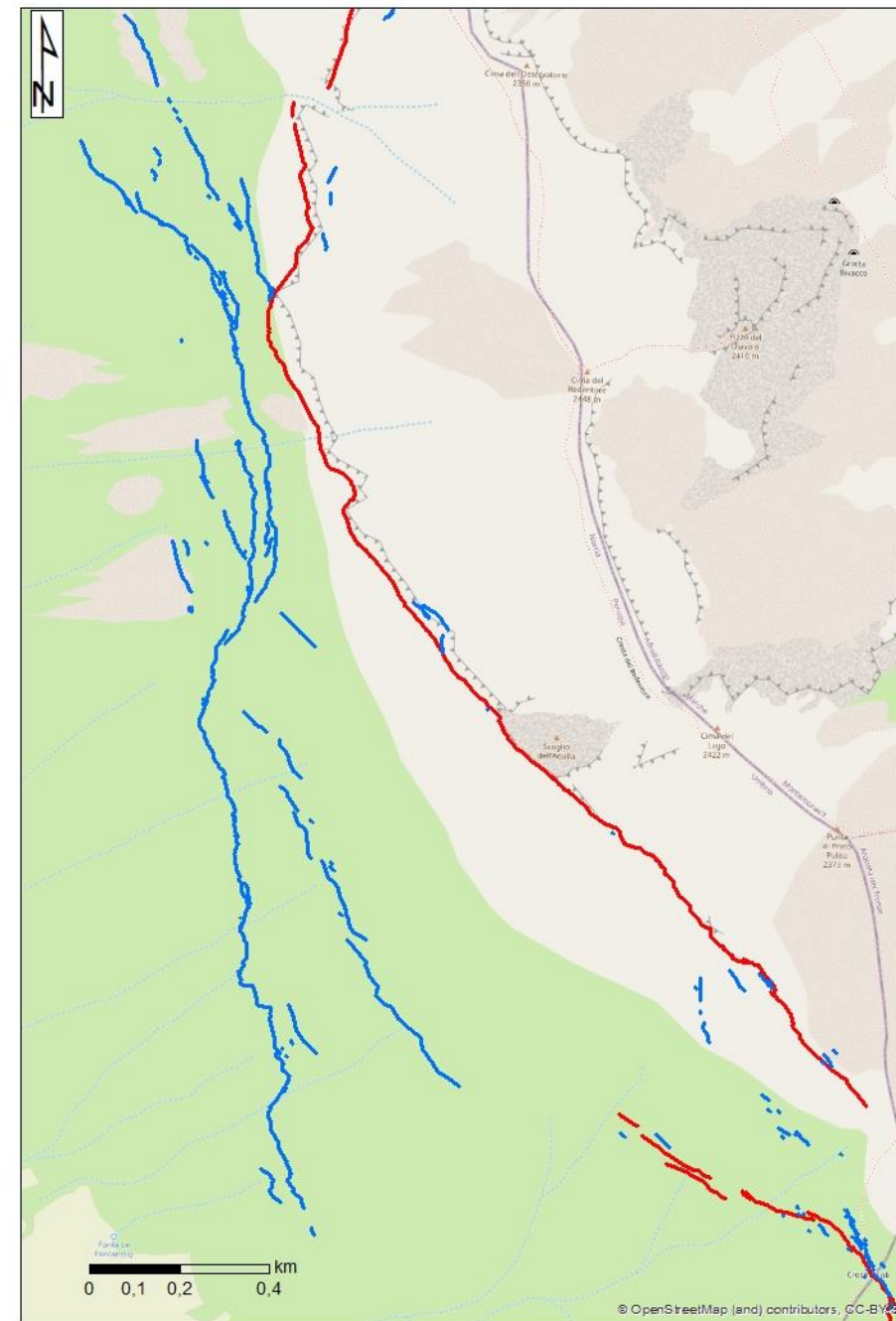
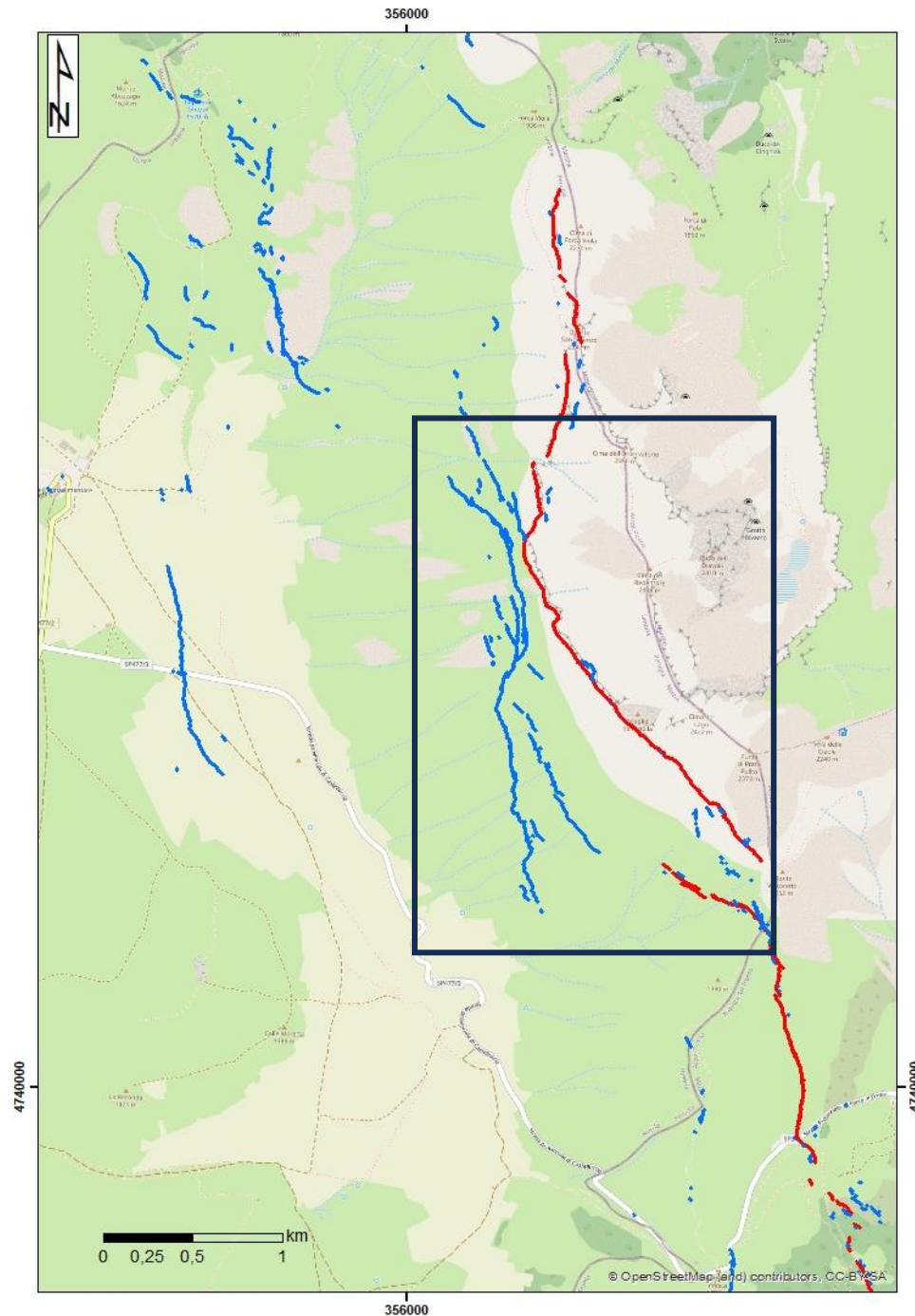
- Normalizzazione per posizione lungo strike (x/L)



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

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

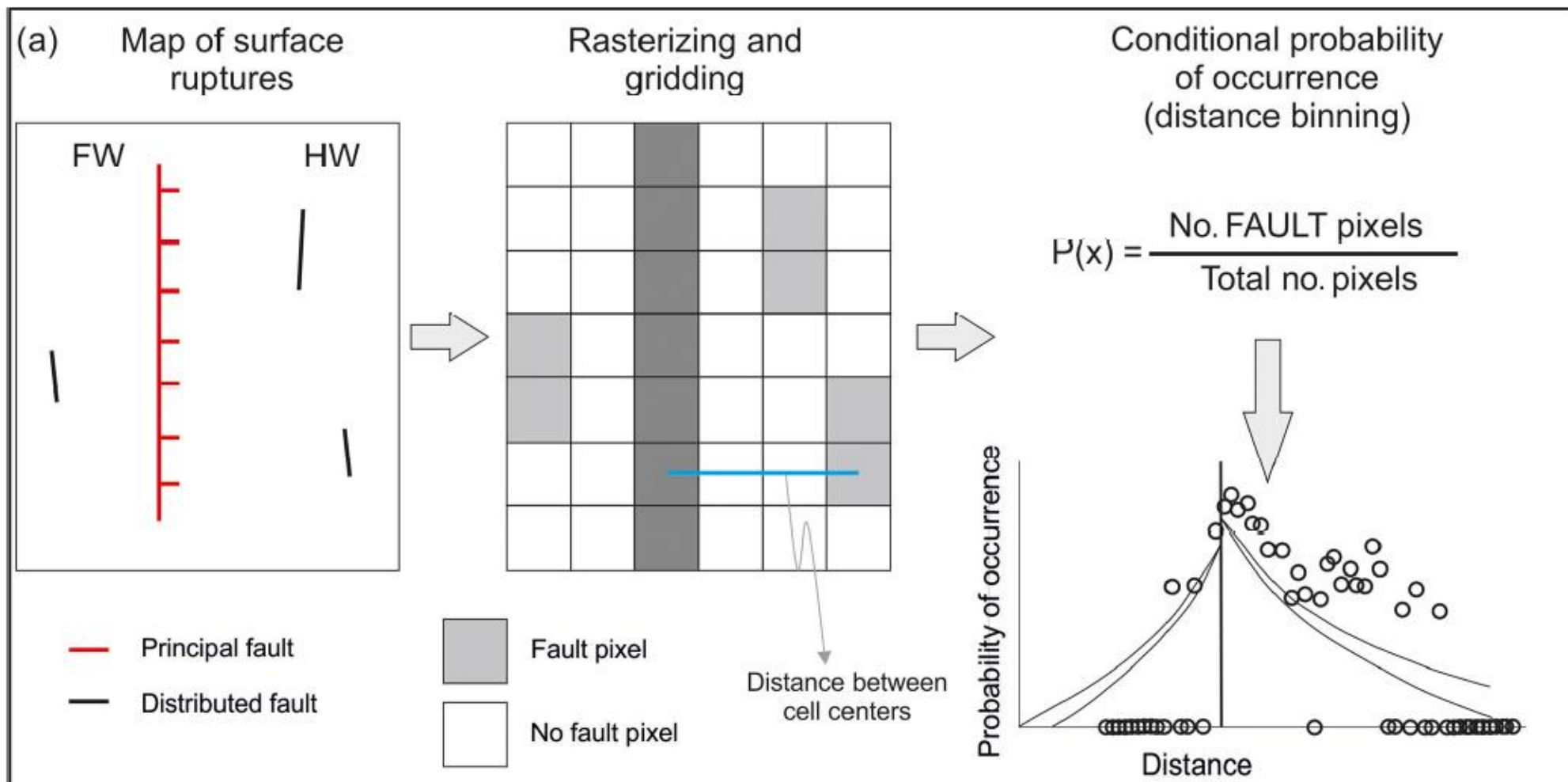
- Evento Norcia 2016





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

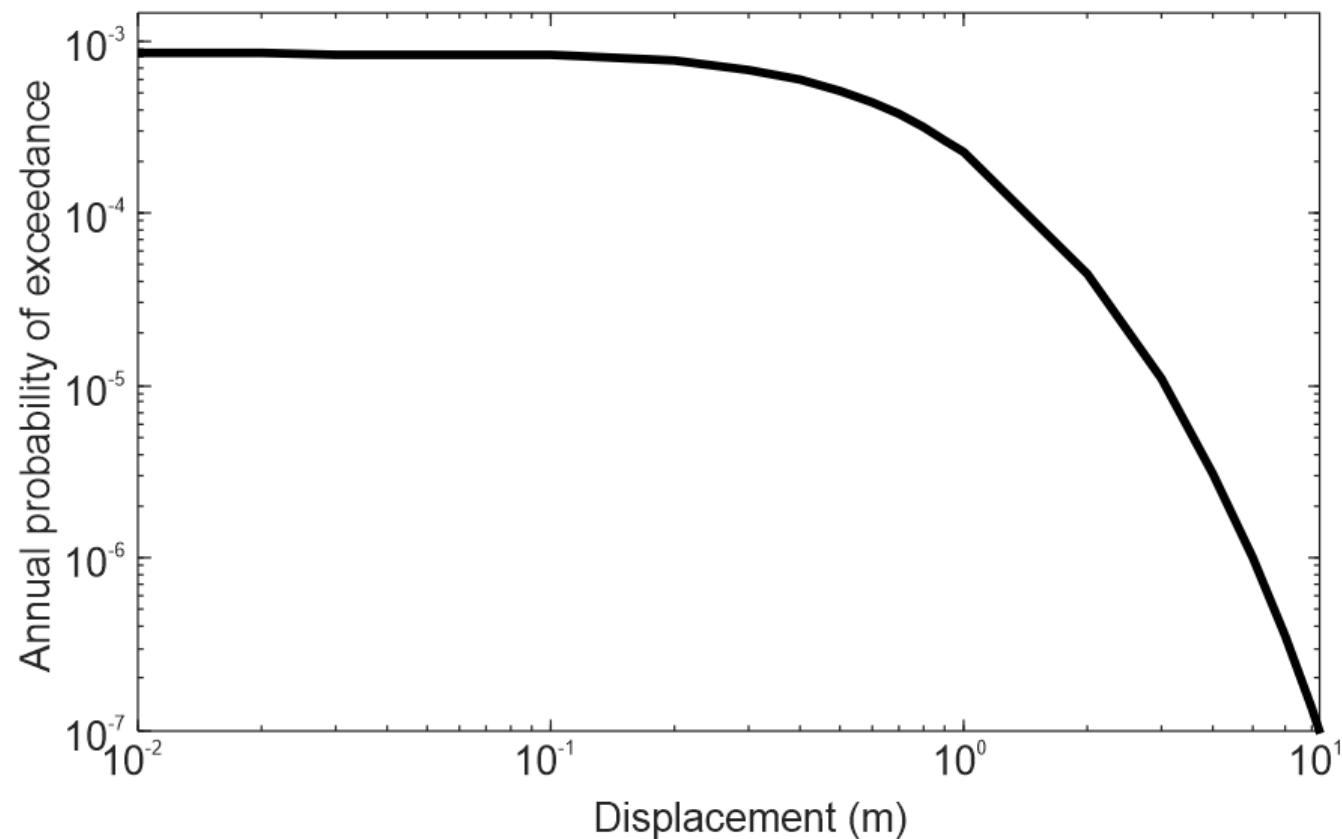


ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca dell'Ambiente



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 \(ucla.edu\)](https://www.bjgrrisksciences.org/)
- IAEA benchmark (Valentini et al., 2021)
- Fault2SHA & FDH thematic lab [Fault2SHA Fault Displacement Hazard Lab \(FDH\) – FAULT2SHA](https://www.fault2sha.org/)

scientific data

Check for updates

OPEN

DATA DESCRIPTOR

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

Fiia Nurminen¹, Stéphane Baize², Paolo Boncio³, Anna Maria Blumetti⁴, Francesca R. Cinti⁵, Riccardo Civico⁵ & Luca Guerrieri⁴

The B. John Garrick Institute for the Risk Sciences
UCLA ENGINEERING

HOME / ABOUT / NEWS & EVENTS / RESEARCH CENTERS / RESOURCES / PROJECTS / PUBLICATIONS / CONTACT / SEARCH

Back to NHR3

Natural Hazards Risk and Resiliency Research Center (NHR3)

Project Navigation

Fault Displacement Hazard Initiative

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





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., Contrì, 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 dell'Ambiente



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



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

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



OGS

Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



Consiglio Nazionale delle Ricerche



Università degli Studi di Napoli
FEDERICO II



Politecnico
di Torino



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DELL'AQUILA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL MOLISE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



GeoSciencesIR

Missione 4 • Istruzione e Ricerca