



ITHACA – ITALY HAZARD FROM CAPABLE FAULTS INVENTARIO DELLE FAGLIE CAPACI IN ITALIA GUIDA ALLA CONSULTAZIONE E ALL'UTILIZZO

ISPRA - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA
TAVOLO TEMATICO "TETTONICA ATTIVA E FAGLIE CAPACI" DELLA RETE ITALIANA DEI SERVIZI GEOLOGICI

Queste Linee Guida rappresentano un primo prodotto delle attività del Tavolo Tematico “Tettonica attiva e faglie capaci” della Rete Italiana dei Servizi Geologici (RISG). Il Tavolo è coordinato da ISPRA, Servizio Geologico d’Italia, e vede la partecipazione dei rappresentanti delle strutture tecniche che si occupano di geologia a livello regionale e di due esperti designati dal Dipartimento di Protezione Civile.

Le linee guida hanno lo scopo di orientare l’utente nel corretto utilizzo delle informazioni contenute nel Catalogo, evidenziandone l’origine e i contenuti, le modalità e i criteri di catalogazione adottati e presentandone i limiti di incompletezza, disomogeneità e risoluzione. Sono rivolte, principalmente, ai geologi professionisti e della pubblica amministrazione, che consultano il catalogo ITHACA, con particolare riferimento al suo utilizzo nell’ambito degli studi di microzonazione sismica.

Indice

1. Introduzione	3
<i>La pericolosità da fagliazione superficiale in Italia</i>	<i>3</i>
<i>Il Catalogo ITHACA: un database in continua evoluzione</i>	<i>4</i>
2. Le faglie capaci in ITHACA.....	6
<i>Definizioni di faglia capace</i>	<i>6</i>
<i>Intervallo temporale di riferimento</i>	<i>7</i>
3. Descrizione del database ITHACA	8
<i>Modalità di consultazione</i>	<i>8</i>
<i>Struttura e campi del database</i>	<i>10</i>
<i>Completezza, limiti e incertezze del database</i>	<i>10</i>
4. L'utilizzo di ITHACA negli studi di microzonazione sismica	13
<i>Raccomandazioni generali</i>	<i>13</i>
<i>Valutazione della significatività del dato ITHACA</i>	<i>14</i>
<i>Ulteriori approfondimenti da eseguire per la caratterizzazione delle faglie contenute in ITHACA.....</i>	<i>15</i>
<i>Indagini di terreno</i>	<i>16</i>
5. Metodologie per la valutazione della pericolosità da fagliazione superficiale.....	17
Bibliografia.....	18
Appendice 1	21
Appendice 2	26
Autori	32

1. Introduzione

La pericolosità da fagliazione superficiale in Italia

L'Italia si colloca nel settore centrale del bacino Mediterraneo, caratterizzato, da un punto di vista geodinamico, da zone di convergenza e di distensione con diverso grado di attività. In prevalenza, la deformazione crostale si distribuisce lungo sistemi di faglie riconoscibili in superficie, ma talvolta sepolti, e si manifesta con eventi sismici. Quando i processi di deformazione e di rottura si manifestano in superficie e/o in prossimità di essa, si parla di fagliazione superficiale e le faglie sono definite capaci. Le numerose osservazioni sinora effettuate nel mondo indicano che il fenomeno della fagliazione/deformazione superficiale diviene comune per terremoti crostali a partire da magnitudo intorno a 5,5-6,0, con rigetti e lunghezze di rottura sempre maggiori all'aumentare della magnitudo (cfr. Wells & Coppersmith, 1994; Mohammadioun and Serva, 2001; Stirling et al., 2013). In Italia, molti terremoti storici catastrofici (e.g., i terremoti del 1638 e 1783 in Calabria, del 1915 nel Fucino, del 1980 in Irpinia, con magnitudo intorno a 7), hanno prodotto fenomeni di fagliazione superficiale con rigetti prossimi o superiori al metro. Anche in occasione degli ultimi terremoti di magnitudo superiore a 6 sono stati osservati fenomeni di fagliazione superficiale con rigetti da alcuni centimetri (L'Aquila 2009, $M_w=6.3$) ad oltre il metro (Norcia, 2016, $M_w=6.5$). In ambienti vulcanici, la fagliazione superficiale è comune, sia per cause tettoniche che per cause connesse all'attività vulcanica e idrotermale. La sismicità in queste aree ha generalmente ipocentri molto più superficiali (1-2 km, anche inferiore), quindi già per eventi di magnitudo più bassa ($M_w=4$; De Novellis et al., 2017; Nappi et al., 2018, 2021; Civico et al., 2019; Selva et al., 2021; Giudicedipietro et al., 2021; Tringali et al., 2022), i risentimenti sono molto elevati e la fagliazione superficiale può essere rilevante.

Studi paleosismologici hanno consentito di riconoscere fenomeni di fagliazione superficiale in epoca tardo Pleistocenica-Olocenica, lungo varie strutture tettoniche considerate in precedenza inattive sulla base della sola sismicità storica, dimostrando una frequenza del fenomeno maggiore di quanto prima supposto (Michetti et al., 1997; Cinti et al., 1997; 2002).

La fagliazione superficiale può indurre seri danni agli edifici e alle infrastrutture e, sommandosi agli effetti dello scuotimento sismico, contribuire ad aggravare gli scenari di danno connessi agli eventi sismici, particolarmente nelle numerose aree densamente popolate ed industrializzate del territorio italiano. Di conseguenza, la conoscenza approfondita e la precisa posizione spaziale delle faglie capaci in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio. L'importanza di valutare la pericolosità in termini di *ground rupture* è indicata anche nell'Eurocodice 8 (nella parte 5 sulle fondazioni).

Per queste ragioni, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, ha sviluppato il **progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults)**, allo scopo di sintetizzare in un catalogo le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio italiano.

Il Catalogo raccoglie le informazioni derivanti dalla ricerca sismotettonica rendendole fruibili per fini applicativi, ed allo stesso tempo, è di supporto alla ricerca scientifica contribuendo all'analisi e alla comprensione dei processi geodinamici.

ITHACA costituisce, infatti, **uno strumento fondamentale a supporto della:** a) **analisi di pericolosità ambientale e sismica;** b) **comprensione dell'evoluzione morfotettonica recente del paesaggio;** c) **pianificazione territoriale, analisi e mitigazione del rischio;** d) **gestione delle emergenze di Protezione Civile.**

I movimenti lungo le faglie capaci avvengono tipicamente in associazione con eventi sismici (movimenti cosismici) e in modo rapido (tempi dell'ordine di pochi secondi); il processo di deformazione può poi continuare, in modo meno rapido e con minore evidenza, anche dopo la fine della sequenza sismica (evoluzione post-sismica). Tuttavia, in alcuni casi, il movimento lungo le faglie **avviene in modo lento e in assenza di terremoti (creep asismico)**; questo fenomeno è ben noto e caratterizza alcune faglie lungo il versante orientale dell'Etna, (p.es. fra la faglia Pernicana e la zona di faglia di Trecastagni – Mascalucia, Rasà et al., 1996 e relativa bibliografia), per una serie di fattori, tra cui il particolare assetto strutturale, il diverso comportamento reologico delle formazioni coinvolte, per natura e in conseguenza dell'elevato flusso di calore, il ridotto carico litostatico per il modesto spessore dello strato sismogenetico, l'interazione di processi vulcanici, la costante azione gravitativa, etc. Il creep asismico può precedere o seguire, shock sismici principali ma può avvenire varie volte nelle stesse aree a distanza di secoli.

In tempi recenti, grazie all'utilizzo delle stazioni GPS e alle tecniche di monitoraggio satellitare delle deformazioni crostali (immagini satellitari ad alta risoluzione, tecniche DInSAR, etc), il creep asismico è stato documentato anche in altri contesti sismotettonici, con particolare riferimento ai settori di gap sismico. In particolare, Cheloni et alii (2017) hanno evidenziato che, nel settore del Pollino, si verificano movimenti lenti lungo faglia in assenza di sismicità o in associazione a sequenze sismiche di bassa magnitudo; lo stesso slip asismico può anche essere transitorio prima di eventi sismici maggiori, fino alla soglia di rottura in superficie. Entrambi i processi di deformazione, sismica e asismica, contribuiscono al rilascio dell'energia di deformazione e questo potrebbe essere il fattore che incrementa i tempi di ricorrenza di forti terremoti nell'area del Pollino.

Probabilmente, è la pressione dei fluidi a giocare un ruolo fondamentale nella distribuzione eterogenea della deformazione e della velocità di rottura lungo le faglie, in profondità, ma come questo si possa manifestare in superficie resta un meccanismo ancora da comprendere.

La rottura della superficie topografica è l'espressione più evidente dei processi di deformazione sismica, essa avviene lungo le faglie ed è generalmente, associata a campi molto più ampi di deformazione diffusa, dove gli abbassamenti e sollevamenti possono essere letti solo attraverso analisi specifiche, come le livellazioni di precisione e gli strumenti di interferometria satellitare. In molti casi, la deformazione della superficie topografica (sollevamento o abbassamento) può avvenire anche senza rottura superficiale, come ad esempio nel caso della sequenza dell'Emilia del 2012. Le tecniche di interferometria satellitare hanno consentito di apprezzare tali deformazioni (e.g. Pezzo et al., 2013; Tizzani et al., 2013).

Deformazioni in superficie o a profondità prossime alla superficie, lungo strutture fragili, possono essere indotte anche da fenomeni endogeni non riferibili direttamente alla tettonica crostale (attività vulcanica, tettonica salina), da processi gravitativi a grande scala (DGPV), da rilevante compattazione differenziale dei sedimenti, da attività antropiche connesse con l'esplorazione e l'utilizzo minerario e idrico del sottosuolo.

Il Catalogo ITHACA: un database in continua evoluzione

La prima versione del Catalogo ITHACA è stata presentata nel 2000 a Rio de Janeiro in occasione del 31st International Geological Congress.

Dopo la prima edizione, su CD-ROM, il database è stato reso consultabile attraverso visualizzatori web GIS. Dal 2007 una versione di ITHACA è consultabile online, accedendo attraverso il Portale del Servizio Geologico d'Italia.

Oltre all'interfaccia di visualizzazione, anche i contenuti del Catalogo ITHACA **sono stati continuamente aggiornati da parte di ISPRA, Servizio Geologico d'Italia**, in conformità con una revisione critica della letteratura scientifica che segnala l'esistenza di faglie capaci sul territorio italiano e ne caratterizza l'attività.

L'aggiornamento del Catalogo ITHACA è continuo ed è tuttora in corso, secondo la seguente procedura:

- Analisi della cartografia geologica sulla tettonica attiva, a partire dalla Carta Neotettonica d'Italia alla scala 1:500.000 e relativi "Contributi";
- Ricerca ed analisi della letteratura scientifica, con particolare attenzione ai lavori che si occupano di tettonica, sismotettonica, geologia del Quaternario, paleosismologia, geodesia, interferometria, sismologia, etc.
- Consultazione della cartografia geologica aggiornata da cui ricavare e analizzare i principali elementi stratigrafici, morfologici e strutturali necessari all'individuazione di strutture potenzialmente capaci. In particolare gli elementi strutturali desunti dalla letteratura vengono confrontati con i contenuti della cartografia geologica del progetto CARG alla scala 1:50.000 (dove esistenti), delle altre carte geologiche disponibili, realizzate in diverse regioni alla scala 1:250.000 e in taluni casi anche a un dettaglio maggiore.
- Analisi morfotettoniche con l'utilizzo di basi topografiche disponibili a livello regionale, integrate con Modelli Digitali del Terreno ad una risoluzione minima di 10 x 10 metri, e, dove disponibili, dati LiDAR ad alta risoluzione (griglia 2 x 2 e 1 x 1 metri).
- Osservazioni e rilievi sul terreno e marino-costieri al fine di mappare con precisione e di caratterizzare le strutture; tale attività viene svolta in via preliminare per le aree e le faglie interessate da terremoti recenti;
- Consultazione di profili sismici e database stratigrafici (sondaggi) che evidenziano dislocazioni dei depositi quaternari.
- Realizzazione di specifiche dettagliate indagini morfotettoniche terrestri e marino-costiere, approfondimenti geofisici, datazioni di depositi, ricostruzione di eventi fino alla realizzazione di trincee paleosismologiche, per la ricostruzione della storia sismica delle strutture.

Inoltre, nell'ambito di una collaborazione ISPRA-INGV per lo sviluppo dell'interoperabilità tra ITHACA e DISS (database delle sorgenti sismogenetiche), a partire dal 2016, è stata avviata un'**attività di revisione e aggiornamento del Catalogo** con lo scopo di:

- distinguere le faglie capaci, sulla base della loro finestra temporale di attivazione, dalle faglie di cui è nota una attivazione generica nel Quaternario e per le quali sono necessari ulteriori studi specifici di natura sismotettonica per conoscere con maggiore precisione il loro intervallo di attivazione;
- individuare i diversi contesti sismotettonici presenti sul territorio nazionale vincolando ad essi l'intervallo di "capacità" e cioè l'intervallo temporale di riferimento per considerare una faglia attiva e capace;
- rivedere le singole voci del database con particolare attenzione alla definizione del rank delle strutture ed inserendo il campo relativo all'origine del dato da cui è stata desunta la traccia della faglia (*fault trace reference*) e la data di aggiornamento dell'elemento;

2. Le faglie capaci in ITHACA

Definizioni di faglia capace

Nella letteratura scientifica e tecnica esistono diverse definizioni di “faglia capace” che tengono conto dei vari contesti geodinamici e delle diverse finalità (es. ricerca scientifica, pianificazione territoriale, etc.) in cui si inquadra la necessità di individuare e caratterizzare tali strutture.

Per la definizione di faglia capace nel Catalogo ITHACA si fa riferimento alle Guide Tecniche IAEA, redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare installazioni nucleari (centrali nucleari, depositi di scorie nucleari), ma che forniscono uno schema metodologico applicabile all’analisi sitologica (*siting*) di qualunque struttura ingegneristica, dagli impianti ad alto rischio, alle dighe fino alle *lifelines* (acquedotti, metanodotti, strade, gallerie, etc.).

Al riguardo, i due principali documenti di riferimento sono:

- IAEA SSG-9 (Rev. 1) - *Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards. Series SSG-9 (Rev. 1), 2022*, <https://www.iaea.org/publications/14665/seismic-hazards-in-site-evaluation-for-nuclear-installations>).
- IAEA TECDOC 1767 - *The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA TECDOC 1767, 2015*) (https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767_web.pdf).

Nel secondo documento sono riportate le seguenti definizioni di faglia attiva e capace:

- **Active fault.** *A tectonic structure that moved in the recent geologic past and that is expected to move within a future time span of concern for the safety of a nuclear installation. In highly active (e.g. interplate) areas with short earthquake recurrence intervals, periods of the order of tens of thousands of years (e.g. Upper Pleistocene to present) may be appropriate for defining a fault as active. In less active areas (e.g. intraplate) much longer periods (e.g. Pliocene–Quaternary to present) may be appropriate. In the conservative perspective of NPP siting, any fault within the Earth’s crust might need to be reassessed for potential re-activation. In fact, it is impossible to exclude that an earthquake of low magnitude may occur along any fault (Modified from IAEA SSG-9, 8.4).*
- **Capable fault.** *An active fault that has a significant potential for displacement at or near the ground surface (IAEA SSG-9)*

In IAEA SSG-9 (par. 8.4), una faglia è definita capace se valgono le seguenti condizioni:

1. *If it shows evidence of past movement or movements (such as significant deformations and/or dislocations) of a recurring nature within such a period that it is reasonable to conclude that further movements at or near the surface may occur. In highly active areas, where both earthquake data and geological data consistently reveal short earthquake recurrence intervals, periods of the order of tens of thousands of years (e.g. Upper Pleistocene–Holocene, i.e. the present) may be appropriate for the assessment of capable faults. In less active areas, it is likely that much longer periods (e.g. Pliocene–Quaternary, i.e. the present) are appropriate.*
2. *If a structural relationship with a known capable fault has been demonstrated such that movement of the one fault may cause movement of the other at or near the surface.*

3. *If the maximum potential magnitude associated with a seismogenic structure ... is sufficiently large and at such a depth that it is reasonable to conclude that, in the current tectonic setting of the plant, movement at or near the surface may occur.*

Facendo riferimento a tali definizioni, ma tenendo conto del contesto geodinamico italiano, il progetto ITHACA adotta la seguente definizione di faglia capace:

Una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie topografica e/o in prossimità di essa.

La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (*fault displacement/offset*) che una deformazione distribuita (*warping*).

La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture “anomale”, ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.

Intervallo temporale di riferimento

Come visto, l’età dell’ultimo evento di attivazione di una faglia è un elemento discriminante nella valutazione della attività di una faglia capace. Tuttavia, **l’intervallo temporale di riferimento per considerare una faglia attiva e capace non è sempre lo stesso.**

Nello specifico:

- l’intervallo di riferimento per le FAC (Faglie Attive e Capaci) secondo quanto definito negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Dipartimento Protezione Civile, 2008) e poi nelle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)* è pari a **40 ka** (ove 1 ka = 1000 anni).
- le Guide Tecniche IAEA considerano intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell’ambiente tettonico e dei tassi di deformazione (IAEA, 2022). La seguente Tabella evidenzia diverse finestre temporali a seconda che l’area di indagine sia in zona interplacca o intrapacca.

Ambito geodinamico	La faglia è capace se	La faglia è da investigare con indagini appropriate se
Interplacca (ai margini di placca)	last event < 125 kA (Pleistocene superiore)	125 kA < last event < 2,58 MA Pleistocene inferiore-medio
Intrapacca (aree cratoniche)	last event < 780 kA (Pleistocene medio)	780 kA < last event < 2,58 MA Pleistocene inferiore

Il territorio italiano ricade quasi interamente in una zona di interplacca, fatta eccezione per il solo settore sardo, ritenuto un’area intrapacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Per tale motivo il progetto ITHACA, in linea con l’approccio IAEA, considera due tipologie di faglie:

1. **faglia attiva e capace:** faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore – Presente (< 125 ka) e nel Pleistocene medio – Presente per la sola Sardegna;
2. **faglia quaternaria da indagare:** faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario, anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per la Sardegna), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

Pertanto, le faglie capaci nel Catalogo ITHACA sono tutte le faglie in cui è documentata una riattivazione negli ultimi 125 ka (*sensu* IAEA, 2022 e 2015). La finestra temporale è, quindi, più ampia rispetto ai 40 kA considerati nella definizione delle FAC, *sensu* DPC (2015).

Oltre che sulla definizione di faglia capace, è importante fare chiarezza su molti altri termini in uso nell'ambito degli studi di tettonica attiva, geologia del Quaternario e paleosismologia. Per questo in Appendice 2 sono state riportate alcune definizioni presenti nel glossario IAEA TECDOC 1767.

3. Descrizione del database ITHACA

Il Catalogo ITHACA **rappresenta una collezione di dati desunti dalla letteratura e non si prefigge di fornire una validazione del dato di origine.** Talvolta, le uniche variazioni introdotte rispetto al dato sorgente riguardano il posizionamento più preciso della traccia della faglia, rispetto agli schemi a piccola scala da cui deriva, ottenuto attraverso il confronto con la cartografia geologica aggiornata, con foto aeree o di DTM. In questi casi specifici, nel campo *fault trace reference* viene specificato sulla base di quali dati è stata tracciata e adattata la faglia (ad es. CARG e/o DTM).

Modalità di consultazione

Il database ITHACA attualmente è accessibile in maniera completa, all'interno della pagina web del Portale del Servizio Geologico d'Italia (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/#>), dove risulta inserito nell'elenco dei database sui Rischi Naturali (Fig. 1). Cliccando sui link riportati si può accedere alla pagina introduttiva del database o direttamente al visualizzatore.

L'accesso al catalogo può essere eseguito anche attraverso il menu "Accesso ai dati" e "Geomapviewer"

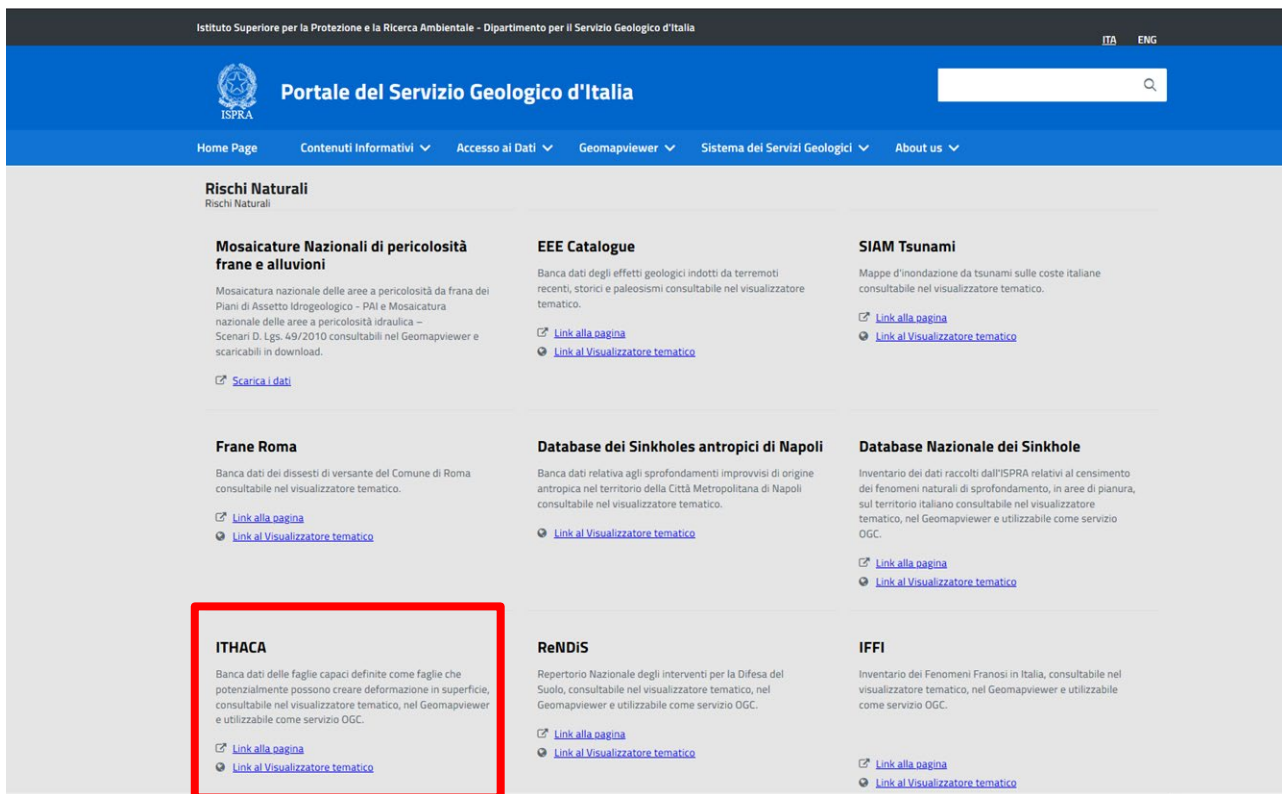


Fig. 1: Pagina web del Portale del Servizio Geologico d'Italia in cui sono contenuti i database sui Rischi Naturali. L'accesso al catalogo ITHACA può essere effettuato cliccando sui link evidenziati dal quadrato rosso.

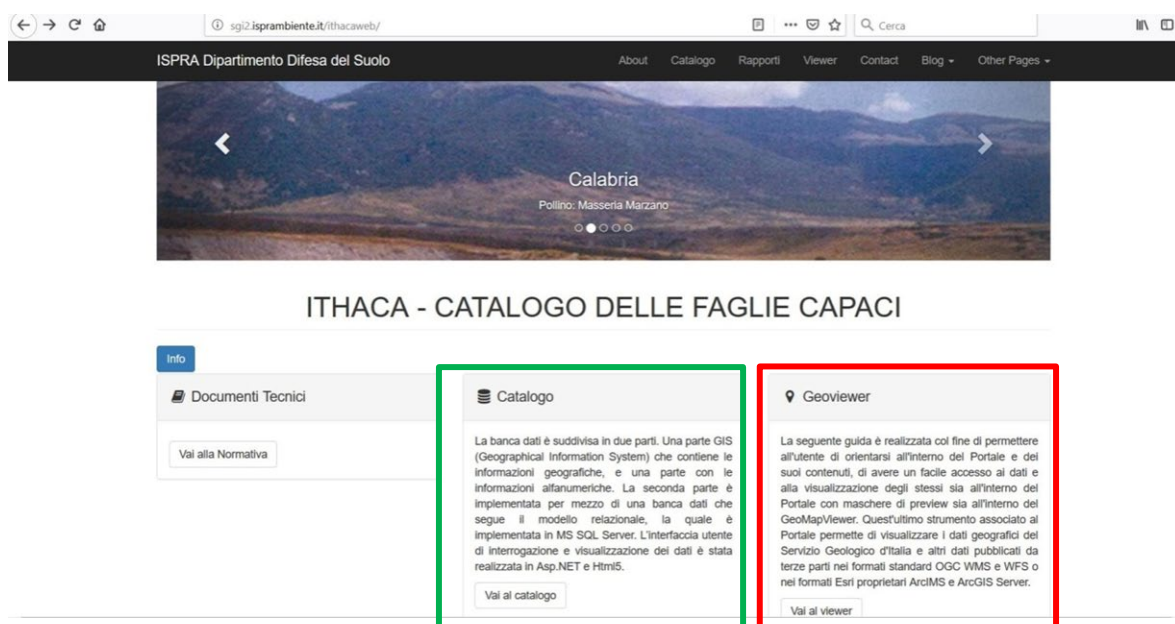


Fig. 2: Accesso ad ITHACA attraverso l'indirizzo <http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/>.

Struttura e campi del database

La struttura completa del database ITHACA è visibile in Fig. 3

All'interno del database la compilazione riguarda le seguenti 6 Tabelle principali:

- 1 GENERAL IDENTIFICATION
- 2 GEOMETRY AND KINEMATICS
- 3 ACTIVITY
- 4 SEISMIC PARAMETER
- 5 REFERENCES
- 6 GALLERY FAULT PHOTO

La descrizione completa dei campi è riportata in Appendice 1.

Completezza, limiti e incertezze del database

Considerata la complessità del database e l'estremo dettaglio cui tende, l'elevato numero di elementi tettonici in esso contenuto non consente all'atto pratico di compilare tutti i campi-attributi previsti per i seguenti motivi:

- molte faglie derivano da studi neotettonici a piccola scala ed in particolare dalla Carta Neotettonica d'Italia alla scala 1:500.000, quindi privi di una caratterizzazione specifica. Ad es. il settore centrale ed orientale dell'Italia settentrionale è stato compilato sulla base di lavori regionali di sintesi (Castaldini & Panizza, 1991; Slejko et al., 1987-1989; Zanferrari et al., 1982) che riprendono in parte i dati contenuti in "Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia", senza fornire elementi di caratterizzazione più specifici. Gli schemi contenuti in tali "Contributi" sono maggiormente dettagliati rispetto alla Carta Neotettonica e contengono un numero maggiore di elementi di cui viene fornita una brevissima descrizione;
- ad eccezione di alcune faglie oggetto di analisi paleosismologica specifica, per la maggior parte di esse non si dispone di elementi sufficienti per la compilazione dei campi previsti nella sezione "Seismic Parameter". In passato questi campi sono stati compilati scegliendo di "stimare" ad esempio il terremoto massimo atteso sulla base della lunghezza della traccia della faglia o di alcune caratteristiche simili di faglie appartenenti ad uno stesso sistema strutturale. Questo approccio non è stato seguito nell'ultimo aggiornamento, per cui sono stati inseriti solo i dati disponibili in letteratura per ogni singolo elemento.

Inoltre, il database contiene due campi che riguardano la **qualità degli studi effettuati sull'elemento tettonico** trattato ed il **consenso** sulla sua capacità nella comunità scientifica. Questi sono:

- *Capability consensus.*
- *Study Quality.* Non esiste un criterio "freddo" definito per la compilazione del campo ed è quindi richiesto un **giudizio soggettivo** da parte del compilatore.

Un altro campo per cui è necessario specificare bene il significato è quello relativo alla segmentazione della faglia:

Segmentation. Questo campo indica se l'elemento può essere o meno "segmentato", ovvero ulteriormente suddiviso in più segmenti. Le tracce con estensione ridotta sono state considerate "single segment" specificando nella sinossi se rappresentano la possibile estensione di altri segmenti, mentre le faglie molte estese desunte ad esempio da schemi a piccola scala sono state considerate come "multi segment".

4. L'utilizzo di ITHACA negli studi di microzonazione sismica

Da alcuni anni il Catalogo ITHACA viene sistematicamente utilizzato soprattutto per gli studi di microzonazione sismica. Questo capitolo ha l'obiettivo di fornire una serie di raccomandazioni nell'utilizzo di ITHACA in questo ambito, cui seguono indicazioni sugli ulteriori studi necessari a caratterizzare le faglie segnalate in ITHACA.

Raccomandazioni generali

Nell'ambito degli studi di microzonazione sismica e, più in generale, per la caratterizzazione di dettaglio della pericolosità da fagliazione superficiale, **una faglia capace inclusa in ITHACA deve essere considerata come una struttura potenzialmente in grado di produrre fagliazione superficiale e per questo deve essere oggetto di ulteriori indagini di tipo morfotettonico e paleosismologico**, a meno di quei pochi casi in cui tali approfondimenti siano stati già fatti e riportati in letteratura o in documenti approvati dagli Enti competenti. Al riguardo ISPRA **declina ogni responsabilità per un utilizzo tale e quale delle informazioni contenute in ITHACA, in particolare della traccia della faglia, senza le necessarie verifiche e approfondimenti, con indagini in sito e procedure specifiche e codificate.**

Le faglie capaci sono incluse nel Catalogo ITHACA a seguito della revisione critica dei dati disponibili in letteratura. Si tratta di un processo in continuo aggiornamento da cui consegue che ITHACA **non rappresenta la totalità delle faglie capaci presenti sul territorio nazionale**, ma solo quelle per le quali esiste uno studio, anche di livello minimo e quindi un riferimento bibliografico.

Faglie capaci ITHACA vs FAC (Faglie Attive e Capaci *sensu* Linee guida del DPC)

Come detto in precedenza (cap. 2), ITHACA considera tra le faglie capaci quelle la cui ultima riattivazione è più recente di 125 ka, ma riporta anche le faglie per le quali è documentata attività quaternaria e per le quali non si può escludere una possibile riattivazione più recente in assenza di ulteriori indagini.

Inoltre, **non tutte le faglie considerate capaci in ITHACA sono automaticamente anche FAC (Faglie Attive e Capaci *sensu* Linee guida del DPC)**, in quanto per queste ultime è necessario che l'ultima riattivazione sia più recente di 40 ka. Per decidere se una faglia di ITHACA possa essere considerata anche FAC **si raccomanda pertanto di verificare sempre l'informazione presente nel campo "Last activity". Quando l'informazione non è presente, in via cautelativa, si suggerisce di includerla tra le faglie per cui sono necessarie ulteriori indagini per una corretta caratterizzazione.**

Scala di rappresentazione (*mapping scale*)

La scala di rappresentazione delle faglie capaci incluse nel Catalogo ITHACA, indicato nel campo *mapping scale*, non è uguale su tutto il territorio, in quanto è funzione della scala alla quale il dato di origine è stato pubblicato. Questa è quasi sempre ad una risoluzione inferiore rispetto a quella richiesta in uno studio di microzonazione sismica. È importante considerare che **la risoluzione massima a cui poter utilizzare il dato (la traccia della faglia) non può in nessun caso essere superiore a quella indicata nel campo *mapping scale*.**

Ne consegue che ISPRA declina ogni responsabilità per l'utilizzo delle tracce delle faglie ad una risoluzione maggiore del valore indicato nel campo *mapping scale* in quanto ciò può comportare errori di ubicazione anche grossolani.

Faglie capaci vs strutture sismogeniche

Nonostante le faglie capaci possano rappresentare l'emersione in superficie di strutture sismogeniche, il Catalogo ITHACA **non va utilizzato per valutazioni di hazard sismico in termini di scuotimento**. Per tali scopi si rimanda alla banca dati DISS – Database of Individual Seismogenic Sources <http://diss.rm.ingv.it/diss/>

Con l'obiettivo di mostrare le relazioni potenzialmente esistenti tra gli elementi contenuti in DISS e ITHACA è stata realizzata un'interfaccia web interoperabile, accessibile all'indirizzo http://storing.ingv.it/ithdiss_2020/

Valutazione della significatività del dato ITHACA

Come già detto, gli elementi contenuti nel database ITHACA sono fortemente eterogenei, in quanto caratterizzati da un diverso livello di:

- Risoluzione cartografica: la traccia deriva da schemi strutturali e/o cartografia a scala variabile, in alcuni casi a una risoluzione molto bassa;
- Dettaglio nell'acquisizione del dato: i dati di tipo stratigrafico, strutturale e morfologico sono utilizzabili solo alla risoluzione del dato di origine.

Al fine di valutare la significatività del dato contenuto in ITHACA è **necessario inquadrare correttamente l'origine del dato e la sua risoluzione verificando il contenuto dei seguenti campi**:

- *Mapping scale*: fornisce la scala della carta o schema da cui è tratta la traccia della faglia;
- *Fault Trace Reference*: indica la sorgente bibliografica da cui è stata derivata la traccia della faglia
- *Last activity*: indica l'intervallo più recente di attività della faglia. A questo riguardo è necessario sottolineare come questo dato sia solo in alcuni casi molto ben vincolato (siti in cui sono state condotte indagini paleosismologiche e datazioni di orizzonti deformati), mentre spesso, non disponendo di indagini specifiche, risulta solo "indicativo". Pertanto, le strutture la cui attività è indicata nel Pleistocene generico meritano una verifica specifica da parte del tecnico incaricato dell'indagine. L'analisi deve essere mirata a verificare se l'intervallo temporale di attivazione della faglia sia corretto o se, al contrario, denota una lacuna conoscitiva a causa della mancanza di indagini di dettaglio.

Sulla base delle osservazioni riportate nell'ultimo punto, si sottolinea quindi la **necessità di eseguire delle indagini in situ anche su quelle strutture che, sulla base del quadro informativo disponibile, sono classificate nel catalogo come "faglie quaternarie da indagare"**;

Ulteriori approfondimenti da eseguire per la caratterizzazione delle faglie contenute in ITHACA

Alla luce di quanto detto in precedenza, si riporta una breve sintesi **delle attività da eseguire per una corretta caratterizzazione delle faglie contenute nel Catalogo ITHACA :**

- Verificare l'origine del dato. Raccogliere ed analizzare la bibliografia riferita alla faglia ed in particolare la cartografia o lo schema da cui è stata desunta la traccia. L'utente di ITHACA deve controllare la completezza della letteratura riportata per l'area di studio ed integrarla eventualmente con lavori più recenti.
- Acquisire una base topografica ad alta risoluzione. L'aggiornamento di ITHACA si basa su DTM con risoluzione minima 10x10 m (ancora non su tutto il territorio nazionale) e, in funzione della disponibilità di prodotti a scala regionale, anche superiore. E' sempre necessario utilizzare una base di riferimento con una risoluzione adeguata alla ricostruzione dell'assetto morfologico dell'area. Generalmente le regioni dispongono di DTM con risoluzioni superiori a 10 x 10 m facilmente scaricabili ed utilizzabili.
- Acquisire immagini satellitari multiscala e multitemporali che consentano di osservare l'assetto del paesaggio con differenti gradi di risoluzione. Immagini gratuite sono reperibili ad es. dai database Google Earth e Bing, i quali possono essere localmente integrati attraverso l'acquisizione di immagini aeree disponibili presso le banche dati regionali caratterizzate da risoluzioni elevate e sovrapposizioni che consentono l'analisi in stereoscopia.
- Acquisizione della cartografia geologica con diverso grado di risoluzione, necessaria sia ad inquadrare l'area di indagine che a caratterizzarne in dettaglio l'assetto litostratigrafico e strutturale. Si dovranno utilizzare cartografie il più possibile aggiornate disponibili per l'area di indagine, consultando la documentazione a partire dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 fino a prodotti di maggior dettaglio. La Carta geologica in scala 1:100.000, nonostante rappresenti l'unico documento che ricopre l'intero territorio nazionale, rappresenta un prodotto datato, fortemente diacrono, cui si può fare riferimento solo in termini di inquadramento generale. Come cartografia di riferimento è necessario utilizzare la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG), qualora disponibile, integrandola ad esempio con cartografia geologica prodotta a scala regionale. Queste possono comprendere le carte geologiche alla scala 1:250.000 prodotte recentemente da diverse regioni, che, nonostante siano a scala inferiore rispetto al 100.000, derivano normalmente da interpretazioni, mappature e rilevamenti più aggiornati. Oltre a queste carte è necessario verificare la disponibilità di cartografie geologiche a maggior dettaglio pubblicate a livello regionale, provinciale e comunale confrontandone i contenuti con quelli delle altre cartografie.
- Acquisizione di cartografia tematica contenente elementi litologico-stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, geologico-strutturali e di pericolosità sismica locale.
- Gli elementi topografici, le immagini e la cartografia tematica acquisita dovranno essere tra loro confrontati, rendendoli ad esempio sovrapponibili, al fine di costituire una base di riferimento unica facilmente consultabile. Gli elementi possono essere ad esempio raccolti in un geodatabase consultabile in ambiente GIS, in grado di fornire la localizzazione spaziale del singolo elemento e descriverne le caratteristiche.
- Una volta costruita una banca dati contenente i diversi elementi raccolti, si dovrà procedere alla fase analitica. I risultati dell'analisi morfologica condotta utilizzando i DTM e le immagini aeree/satellitari dovranno essere confrontati con la geologia di base, verificandone l'eventuale congruenza. L'analisi morfologica dovrà comprendere, oltre all'individuazione dei principali elementi, anche una loro caratterizzazione geometrica, attraverso, ad esempio,

la realizzazione di profili topografici e marino-costieri orientati funzionalmente all'elemento in oggetto. Questi ultimi possono fornire un supporto alla ricostruzione delle caratteristiche del paesaggio ed all'individuazione dei processi che ne hanno causato la genesi.

- Gli elementi lineari individuati e le anomalie osservate dovranno essere riportati in una cartografia di sintesi ad una scala adeguata (almeno 1:10.000), distinguendo se l'elemento in oggetto sia potenzialmente riconducibile a fenomeni di erosione/sedimentazione, all'azione della gravità, all'intervento antropico o alla tettonica.

Indagini di terreno

Alla ricostruzione del quadro morfo-strutturale dovrà necessariamente seguire una specifica **analisi di terreno** su un areale che contenga la faglia indicata in ITHACA e un suo **intorno significativo**, che sarà funzione del grado di risoluzione del dato di origine. In ogni caso il rilevamento dovrà essere eseguito su un areale contenente l'intero lineamento riportato nella pubblicazione da cui deriva la traccia catalogata in ITHACA. Quindi, come criterio generale si può dire che minore sarà la scala da cui è tratto l'elemento tettonico da indagare, maggiore sarà l'estensione dell'areale dove effettuare gli studi di terreno.

Con l'obiettivo di ubicare correttamente la faglia principale, l'analisi di terreno dovrà essere focalizzata all'individuazione del piano di emersione della faglia ed all'analisi dei punti in cui quest'ultimo interessa e/o interferisce con forme e/o depositi di età quaternaria.

Dovranno essere descritte le caratteristiche del piano di faglia (se affiorante), del substrato (inteso come successione pre-quaternaria) osservato lungo lo sviluppo longitudinale della struttura e dei depositi recenti che con questa interferiscono, evidenziando le relazioni che intercorrono tra essi. È necessario identificare se i depositi sono ad esempio dislocati, piegati, leggermente deformati o se sigillano le discontinuità tettoniche presenti nel substrato.

Si dovranno condurre analisi delle principali sezioni naturali ed effettuare, nel caso le condizioni litostratigrafiche lo consentano, stazioni strutturali di dettaglio in cui vengano evidenziate le caratteristiche geometriche delle principali discontinuità e le relazioni tra le diverse famiglie individuate.

E' importante sottolineare che studi finalizzati alla caratterizzazione delle FAC potranno richiedere la necessità di **estendere ulteriormente l'area di indagine**, al fine di considerare anche **elementi secondari potenzialmente in grado di produrre fagliazione in superficie** posti a distanze anche di alcune centinaia di metri dall'elemento principale. Per ulteriori dettagli su questo si rimanda alle linee guida sulle FAC.

Nel caso in cui l'insieme dei dati raccolti e le analisi condotte a diversa scala non siano sufficienti a caratterizzare la faglia contenuta in ITHACA, sarà necessario definire una campagna di indagini di tipo indiretto e diretto che dovranno essere realizzate in diversi punti lungo l'elemento.

Queste potranno comprendere:

- **Indagini indirette** condotte perpendicolarmente alla discontinuità osservata. Rilievi sismici (sismica a riflessione ad alta risoluzione), elettrici (tomografia elettrica), georadar di tipologia variabile in funzione di:
 - caratteristiche dei litotipi che costituiscono la successione stratigrafica;
 - morfologia dell'area e possibilità di accesso.

- **Indagini dirette.** Prove penetrometriche, sondaggi geognostici a carotaggio continuo e trincee esplorative mirati alla:
 - ricostruzione delle successioni litostratigrafiche nelle zone adiacenti le principali discontinuità osservate;
 - definizione delle diverse unità litostratigrafiche;
 - identificazione e caratterizzazione delle possibili anomalie stratigrafiche riferibili a deformazione recente;
 - caratterizzazione delle discontinuità presenti nella successione con particolare attenzione alle loro relazioni con le unità litostratigrafiche;
 - datazioni dei diversi orizzonti identificati (^{14}C , altri metodi di datazione);
 - riconoscimento di eventuali reperti archeologici (es. frammenti di laterizi, ecc.).

Le indagini paleosismologiche effettuate scavando trincee esplorative attraverso gli elementi da indagare, studiandone le pareti esposte individuando e datando i livelli dislocati, sono lo strumento principale per valutare se una faglia sia stata attiva negli ultimi 40.000 anni. Per approfondimenti metodologici si rimanda alla letteratura disponibile sul tema (cfr. (Mc Calpin, 2009 IAEA, 2015 e relativa bibliografia).

5. Metodologie per la valutazione della pericolosità da fagliazione superficiale

È evidente che le faglie capaci possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche. Poiché non è sempre possibile evitare che tali strutture, comprese le infrastrutture critiche (*lifelines*) e gli impianti ad alto rischio, siano attraversati o comunque si trovino in prossimità di faglie capaci, diviene fondamentale una valutazione quantitativa della pericolosità da fagliazione superficiale che dovrà essere inferiore a determinati livelli, definiti in funzione della tipologia di opera, per essere ritenuta accettabile.

La metodologia più utilizzata prevede un approccio di tipo probabilistico nella valutazione della pericolosità da fagliazione superficiale (Probabilistic Fault Displacement Hazard – PFDHA) espressa, in analogia con l'approccio probabilistico per la valutazione della pericolosità sismica, in termini di probabilità di superamento di un certo livello di dislocazione (*fault displacement*) in un determinato arco temporale.

Si tratta di una metodologia sviluppata principalmente per valutare la pericolosità da fagliazione superficiale per centrali nucleari già costruite. Le linee guida IAEA (IAEA, 2022 - SSG-9, Rev. 1) forniscono le indicazioni generali per la valutazione della pericolosità da fagliazione superficiale riferita alla faglia principale sismogenica (*primary displacement*) e altre strutture secondarie e simpatetiche che si siano riattivate in occasione di un evento (*secondary displacements*). L'approccio di tipo probabilistico prevede una valutazione della diminuzione della pericolosità con l'aumento della distanza dalla faglia principale, valutata secondo leggi empiriche di attenuazione, comprendenti anche la valutazione dell'incertezza intrinseca dell'approccio (*epistemic uncertainty*). In letteratura sono state proposte diverse metodologie per la valutazione del PFDHA in diversi ambiti tettonici:

- per faglie a cinematica prevalente di tipo normale si suggerisce l'approccio di Youngs et al. (2003), applicato su eventi occorsi nel Basin and Range (Stati Uniti Occidentali);
- per faglie a cinematica prevalente di tipo trascorrente si suggerisce l'approccio di Petersen et al. (2011) applicato principalmente su eventi californiani;
- per faglie prevalentemente di tipo inverso si suggeriscono invece i lavori di Moss and Ross (2011) e Nurminen et al. (2020).

Inoltre, occorre citare Takao et al. (2013) che propone una metodologia applicabile sia ad ambienti inversi che trascorrenti, ma che si basa solo su dati di eventi di fagliazione superficiale giapponesi. In realtà, le relazioni di attenuazione proposte nei lavori sopramenzionati si basano sui dati di pochi eventi di fagliazione. Al fine di migliorare l'accuratezza di tali relazioni, in questi ultimi anni sono state costruite banche dati contenenti i dati di diverse decine di eventi di fagliazione superficiale occorsi in diversi ambiti tettonici in varie parti del mondo (SURE, Baize et al., 2020; Sarmiento et al., 2019).

Infine, è opportuno menzionare che l'IAEA ha dedicato un TEC-DOC (IAEA, 2021) specificatamente sul tema del PFDHA, con l'obiettivo di fornire uno strumento tecnico utile per la valutazione probabilistica della pericolosità da fagliazione superficiali su installazioni nucleari già costruite.

Bibliografia

Baize S., Nurminen F., Sarmiento A., Dawson T., Takao M. Scotti, O., Azuma, T., Boncio P., 580 Champenois J., Cinti, F. R., Civico R., Costa C., Guerrieri L., Marti E., Mc Calpin, J. 581 Okumura K., Villamor P., (2019) - A worldwide and unified database of surface ruptures (SURE) for fault displacement hazard analyses, *Seismol. Res. Lett.*, 91, 499-520, <https://doi.org/10.1785/0220190144>.

Cheloni, D., D'Agostino, N., Selvaggi, G., Avallone, A., Fornaro, G., Giuliani, R., et al. (2017). Aseismic transient during the 2010-2014 seismic swarm: evidence for longer recurrence of $M \geq 6.5$ earthquakes in the Pollino gap (Southern Italy)? *Sci. Rep.* 7 (576), 576. doi:10.1038/s41598-017-00649-z

Cinti, F. R., Cucci, L., Pantosti, D., D'Addezio, G., & Meghraoui, M. (1997). A major seismogenic fault in a 'silent area': The Castrovillari fault (southern Apennines, Italy). *Geophysical Journal International*, 130(3), 595-605.x

Cinti, F. R., Moro, M., Pantosti, D., Cucci, L., & D'addezio, G. (2002). New constraints on the seismic history of the Castrovillari fault in the Pollino gap (Calabria, southern Italy). *Journal of Seismology*, 6(2), 199-217.

Civico, R., Pucci, S., Nappi, R., Azzaro, R., Villani, F., Pantosti, D., Cinti F.R., Pizzimenti L., Branca S., Brunori C.A., Caciagli M., Cantarero M., Cucci L., D'Amico S., De Beni E., De Martini P.M., Mariucci M.T., Montone P., Nave R., Ricci T., Sapia V., Smedile A., Tarabusi G., Vallone R., & Venuti, A. (2019). Surface ruptures following the 26 December 2018, Mw 4.9, Mt. Etna earthquake, Sicily (Italy) EMERGEO Working Group (Etna 2018). *Journal of Maps*, 15(2), 831-837.

De Novellis V, Carlino, S., Castaldo, R., Tramelli, DeLuca, C., Pino, N.A. , Pepe, S., Convertito, V., Zinno, De Martino, P., Bonano, M., Giudicedipietro, F., Casu, F., Macedonio, G., Manunta, M., Cardaci, C., Manzo, M., Di Bucci, D., Solaro, G., Zeni, G., Lanari, R., Bianco, F., Tizzani, P., (2018) The 21 August 2017 Ischia (Italy) earthquake source model inferred from seismological, GPS, and DInSAR measurements. *Geophysical Research Letters* 45(5):2193-2202 doi:10.1002/2017GL076336

Dipartimento della Protezione Civile (2008). Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/indirizzi-e-criteri-per-la-microzonazione-sismica

Dipartimento della Protezione Civile (2015). Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC). http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/microzonazione-sismica-linee-guida-per-la-gestione-del-territorio-in-aree-interessate-da-faglie-attive-e-capaci-fac

- Giudicedipietro F, Ricciolino, P., Bianco, F, Caliro, S., Cubellis, E., D'auria, L., De Cesare, W., De Martino, P, Esposito A.M., Galluzzo, D., Macedonio, G., LoBascio, D., Orazi, M., Pappalardo, L., Peluso, R., Scarpato, G. Tramelli, A., Chiodini, G. (2021) Campi Flegrei, Vesuvius, and Ischia Seismicity in the context of the Neapolitan Volcanic Area. *Frontiers in Earth Sciences* 9:662113 doi:10.3389/feart.2021.662113
- IAEA (2022). Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards. Series SSG-9 (Rev. 1) <https://www.iaea.org/publications/14665/seismic-hazards-in-site-evaluation-for-nuclear-installations>
- IAEA (2015). The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA TECDOC 1767). https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767_web.pdf
- IAEA (2021). An Introduction to Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis in Site Evaluation for Existing Nuclear Installations. IAEA-TECDOC-1987. <https://www.iaea.org/publications/14915/an-introduction-to-probabilistic-fault-displacement-hazard-analysis-in-site-evaluation-for-existing-nuclear-installations>.
- Michetti, A. M., Ferreli, L., Serva, L., & Vittori, E. (1997). Geological evidence for strong historical earthquakes in an “aseismic” region: The Pollino case (southern Italy). *Journal of Geodynamics*, 24(1-4), 67-86.
- Mc Calpin J. (2009) – Paleoseismology, 2nd edition, Academic Press, ISBN: 9780123735768, 629 pp.
- Moss R.E.S. & Ross Z.E. (2011) - Probabilistic fault displacement analysis for reverse faults. 727 *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 101, no. 4, p. 1542-1553.
- Nappi, R., Alessio, G., Gaudiosi, G., Nave, R., Marotta, E., Siniscalchi, V., Civico R., Pizzimenti L., Peluso R., Belviso P., Porfido, S. (2018). The 21 August 2017 MD 4.0 Casamicciola earthquake: First evidence of coseismic normal surface faulting at the Ischia volcanic Island. *Seismological Research Letters*, 89(4), 1323–1334.
- Nappi, R., Porfido, S., Paganini, E., Vezzoli, L., Ferrario, M. F., Gaudiosi, G., Alessio G. & Michetti, A. M. (2021). The 2017, MD= 4.0, Casamicciola earthquake: ESI-07 scale evaluation and implications for the source model. *Geosciences*, 11(2), 44.
- 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 fault. *Frontiers in Earth Science*, doi: 10.3389/feart.2020.581605
- 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*, 753 Vol. 101, No. 2, pp. 805–825, doi: 10.1785/0120100035.
- Pezzo G., J.P. Merryman Boncori, C. Tolomei, S. Salvi, S. Atzori, A. Antonioli, E. Trasatti, F. Novali, E. Serpelloni, L. Candela and R. Giuliani (2013). Coseismic Deformation and Source Modeling of the May 2012 Emilia (Northern Italy) Earthquakes. *Seismological Research Letters* 84 (4): 645–655. <https://doi.org/10.1785/0220120171>
- Rasá R, Azzaro, R., Leonardi, O. (1996) Aseismic creep on faults and flank instability at Mount Etna volcano, Sicily. In: Mc Guire W, J., Jones, A.P., Neuberg, J. (ed) *Volcano Instability on Earth and Other Planets*, vol 110. Geological Society Special Publication pp 179-192

- Selva J, Azzaro, R., Taroni, M., Tramelli, A., Alessio, G., Castellano, M., Ciuccarelli, M., Cubellis, E., Lobascio, D., Porfido, S., Ricciolino P., Rovida, A. (2021) The seismicity of Ischia Island, Italy: An INtegrated Earthquake Catalogue from 8th century BC to 2019 and its statistical properties. *Frontiers in Earth Sciences* 9:629736 doi:10.3389/feart.2021.629736
- Sarmiento A., Abrahamson N., Baize S., Bozorgnia Y., Chen R., Coppersmith K.J., et al. (2019) - A new model database for next-generation fault displacement hazard analysis, in SSA 2020 788 Annual Meeting, Albuquerque, New Mexico.
- Takao, M., Tsuchiama, J., Masashi, A., and Testushi, K., (2013) - Application of probabilistic fault displacement hazard analysis in Japan. *Jpn. Assoc. Earthquake Eng.* 13 (1), 17–36. 799 doi:10.5610/jaee.13.17U.S.
- Tizzani P., R. Castaldo, G. Solaro, S. Pepe, M. Bonano, F. Casu, M. Manunta, M. Manzo, A. Pepe, S. Samsonov, R. Lanari, E. Sansosti (2013) New insights into the 2012 Emilia (Italy) seismic sequence through advanced numerical modeling of ground deformation InSAR measurements. *Geophysical Research Letters* 40(10). DOI: 10.1002/grl.50290
- Tringali G., Bella D., Livio F., Ferrario M. F., Groppelli G., Blumetti A. M., Di Manna P., Vittori E., Guerrieri L., Porfido S., Boso D., Pettinato R., Paradiso G., Michetti A. M., (2022) - Fault rupture and aseismic creep accompanying the December 26, 2018, Mw 4.9 Fleri earthquake (Mt. Etna, Italy): Factors affecting the surface faulting in a volcano-tectonic environment on December 31, 2021. *Quaternary International* DOI: 10.1016/j.quaint.2021.12.019
- Youngs R.R., Arabasz W.J., Anderson R.E., Ramelli A.R., Ake J.P., Slemmons D.B., Mc Calpin J.P., Doser D.I., Fridrich C.J., Swan F.H. III, Rogers A.M., Yount J.C., Anderson L.W., Smith K.D., Bruhn R.L., Knuepfer L.K., Smith R.B., de Polo C.M., O’Leary K.W., Coppersmith K.J., Pezzopane S.K., Schwartz D.P., Whitney J.W., Olig S.S., Toro G.R. (2003) - A methodology for probabilistic fault displacement hazard analysis (PFDHA). *Earthquake Spectra*, v. 19, no. 1, p. 191 - 219.

APPENDICE 1

Descrizione dei campi del database ITHACA

GENERAL IDENTIFICATION

- **Fault Code.** Codice della faglia riferito al database.

- **Fault Name.** Nome della faglia. Il nome delle faglie si riferisce generalmente ad una denominazione già utilizzata in letteratura o, nel caso in cui non si disponga di informazioni derivanti da studi pregressi, deriva dai toponimi ritenuti idonei alla caratterizzazione spaziale dell'elemento desunti dalla cartografia IGM 1:25.000 o CTR 1:10.000. In molti casi il nome è composto dai toponimi presenti in prossimità o ai limiti del segmento tracciato.

- **Region Name.** Nome della regione amministrativa su cui la faglia insiste.

- **System Name.** Insieme di faglie che costituiscono un sistema tettonico dotato di una certa omogeneità (es: Arco Ferrarese, Garfagnana, Sistema di Faglie Monte Bove-Monte Vettore – Laga, etc.). Il nome del sistema corrisponde ad un riferimento noto in letteratura caratterizzato da "omogeneità" strutturale, cioè da un comportamento omogeneo degli elementi che appartengono al sistema in occasione di un evento deformativo (terremoto, eruzione vulcanica, tettonica salina, creep). Nel caso in cui non sia disponibile un riferimento bibliografico noto, l'identificazione di un sistema deriva dal giudizio esperto sulla base degli elementi identificati dal compilatore. Nella maggior parte dei casi è stato utilizzato il nome del sistema desunto dalla letteratura.

- **Synopsis.** Comprende una sintesi delle caratteristiche della faglia desunta dall'analisi della letteratura pubblicata, integrata, ove disponibile, dall'acquisizione di nuovi elementi a seguito di osservazioni dirette condotte sul terreno. Nella stragrande maggioranza dei casi i dati derivano solo dalla letteratura.

- **Rank.**
 - **Faglia primaria:** in genere rappresenta l'emersione in superficie di una sorgente sismogenica lungo la quale sono attesi lunghezze di rottura e rigetti maggiori. In pianta, rappresenta l'emersione in superficie del piano di faglia principale profondo; può essere composta da una singola traccia, ma più spesso da una serie di segmenti direttamente interconnessi, che tendono a rompersi contemporaneamente o a breve distanza di tempo. In molti casi, ma non necessariamente, corrisponde alla struttura tettonica che controlla l'evoluzione geomorfologica recente nell'area d'interesse. Una faglia capace primaria non rappresenta necessariamente una sorgente sismogenica, potendosi verificare anche casi di movimenti asismici.

 - **Faglia secondaria:** la sua attività dipende dai movimenti della faglia primaria. E' cioè strutturalmente collegata alla faglia primaria, in superficie e/o in profondità, come *splay* sintetico o antitetico, *branch*, elemento trasversale di svincolo, ma non è prevedibile una sua riattivazione indipendentemente dal sistema di faglie primarie nell'area di interesse. In caso di riattivazione cosismica, presenta rotture generalmente minori rispetto alla faglia primaria.

GEOMETRY AND KINEMATICS

- **Tectonic Environment.** I campi sono definiti e possono essere selezionati dal compilatore
 - **MOUNTAIN BELT AXIAL ZONE:** Catena (settore assiale alpino ed appenninico)

 - **FOREDEEP BASIN:** Bacino di avanfossa (settore padano e margine esterno appenninico)

 - **FORELAND:** Avampaese (Puglia).

 - **BACK-ARC BASIN:** Bacino di retrocatena (settore distensivo) e Bacino Tirrenico

- **VOLCANIC AREA:** Area vulcanica
- **Segmentation.**
 - **Multi segment:** traccia di faglia presumibilmente costituita da più segmenti ma non distinguibili sulla base delle attuali conoscenze
 - **Single Segment:** faglia costituita da un unico segmento a comportamento omogeneo
- **Average Strike (°).** Direzione della faglia secondo la regola della mano destra (angolo misurato in senso orario rispetto al N).
- **Dip (°).** Il dato sull'angolo di inclinazione della faglia deve derivare da misure in situ e sezioni geologiche e/o geofisiche disponibili in letteratura.
- **Dip Direction:** Indicazione della direzione di immersione.
- **Fault Length.** Indica la lunghezza della traccia di faglia mappata espressa in km.
- **Geometry.** Si riferisce all'assetto geometrico della faglia osservabile lungo la sezione verticale. Comprende i seguenti termini
 - STRAIGHT. Faglia ad andamento pressoché rettilineo.
 - LYSTRIC. Faglia caratterizzata da una porzione sub-verticale passante ad orizzontale procedendo verso il basso
 - NOT DEFINED. Non si dispone di elementi sufficienti per caratterizzare l'assetto geometrico della faglia.
- **Mapping scale.** Indica la scala della mappa da cui è desunta la traccia della faglia.
- **Fault Depth (m).** Profondità del *tip* della faglia nel caso in cui sia sepolta, espressa in m. Nel caso in cui non si disponga di sezioni adeguate per la definizione della profondità si utilizzerà il termine ND (*not defined*).
- **Kinematics.** Classifica la componente cinematica principale. Comprende i seguenti termini:
 - ND
 - Normal
 - Normal Oblique DX
 - Normal Oblique SX
 - Reverse
 - Reverse Oblique DX
 - Reverse Oblique SX
 - Strike slip DX
 - Strike slip SX

Per semplificazione, nel visualizzatore le faglie sono state suddivise solo in quattro tipi di cinematica:

- Undefined
- Normal
- Reverse
- Strike Slip.

ACTIVITY

- **Surface Evidence. Evidenza di superficie**
- **Surface trace. Evidenza della traccia in superficie.** La faglia affiora e può essere tracciata con precisione, rispetto alla scala di osservazione in cartografie geologico-strutturali e/o può essere riconosciuta in immagini DEM/LiDAR e da satellite/aeree ad alta risoluzione. Queste faglie sono generalmente caratterizzate da depositi/morfologie dislocate, sono cioè

caratterizzate dalla presenza di specchi di faglia, scarpate di faglia ed altre anomalie morfologiche e del drenaggio quali selle, impluvi rettilinei, etc....

- **Subdued fault. Faglia ipotizzata.** La faglia è sub-affiorante o ipotizzata, localizzata in modo non preciso nelle cartografie geologico/strutturali, talvolta dedotta da un allineamento discontinuo di indicatori morfologici di faglia (es. colline isolate, reticolo di drenaggio deviato, linee di drenaggio rettilinee, ecc., fronti rettilinei, faccette triangolari, a seconda della cinematica). Pertanto, queste faglie sono ipotizzate o si suppone che esistano a causa di evidenze strutturali/sedimentarie/morfologiche, ma non è stata ancora identificata alcuna traccia precisa.
- **Buried fault. Faglia sepolta.** La terminazione della faglia non affiora, ma essa viene identificata solo da indagini geofisiche e/o da trivellazioni ovvero è dedotta sulla base di evidenze strutturali/stratigrafiche (ad esempio, è rappresentata in sezioni geologiche). Tali faglie possono essere associate ad anomalie morfologiche più o meno evidenti (colline isolate, reticolo di drenaggio deviato, linee di drenaggio rettilinee, etc., a seconda della cinematica).

• **Last Activity (Year).** Questo campo comprende le seguenti voci

- Q: Pleistocene generic
- Q1: Early Pleistocene
- Q11: 1,000,000 – 1,860,000
- Q12: 700,000-1,000,000
- Q2: Middle Pleistocene
- Q21: 300,000-700,000
- Q22: 125,000-300,000
- Q3: Late Pleistocene
- Q31: 125,000-50,000
- Q32: 22,000-50,000
- Q33: 15,000-22,000
- Q4: Holocene generic
- Q41: Latest glacial 9,000-15,000
- Q42: 3,000-9,000
- Q43: Historical (<3,000)

Per semplificazione, nel visualizzatore le faglie sono state suddivise secondo intervalli temporali più ampi:

- Pleistocene generic
- Early Pleistocene inferiore
- Middle Pleistocene medio
- Late Pleistocene superiore
- Holocene
- Historical (<3,000 yr)

• **Capability consensus**

- **Reliable** – there is consensus on the capability of the fault in the literature sources. Affidabile. C'è consenso sulla capacità della faglia nelle fonti della letteratura.
- **Debated** – there are diverging views on the capability of the fault in the literature sources. Dibattuta. Ci sono opinioni divergenti sulla capacità della faglia nelle fonti della letteratura.

● **Applied Techniques.**

- FS: Field Studies
- GA: Recent Gas and Hydrothermal anomalies
- GD: Geodetic data
- GP: Geophysical processing
- HS: Historical Seismicity
- IS: Instrumental Seismicity
- MT: Microtopographic data
- PAL: Paleoseismology
- RES-InSAR: Remote sensing: aerial photos, satellite
- DR: Drilling
- GM: Geomorphic data

● **Evidence for capability**

- CR: Creep
- CRU: Coseismic rupture
- PS: Paleoseismology
- QA: Deformation of latest Pleistocene-Holocene deposits and/or landforms
- QB: Deformation of Middle-Late Pleistocene deposits and/or landforms
- QC: Deformation of Quaternary deposits and/or landforms

SEISMIC PARAMETER

- **Recurrence Interval (yr).** Valore definito in base a dati di letteratura.
- **Slip Rate (mm/yr).** Valore definito in base a dati di letteratura.
- **Max Credible Rupture Length (Km).** Valore definito in base a dati di letteratura.
- **Max Credible Slip (m).** Valore definito in base a dati di letteratura o evidenze cosismiche.
- **Known Seismic Event (year).** Evento sismico correlabile alla faglia desunto da catalogo storico / strumentale. Solo se specificamente riportato in letteratura.
- **Max Credible Magnitude.** Valore definito da dati di letteratura
- **Max Credible Intensity.** Valore definito da dati di letteratura
- **Study Quality.** Questo campo comprende le seguenti voci
 - High
 - Fair
 - Low
 - ND
- **Notes.** Questo campo contiene informazioni aggiuntive che difficilmente possono essere inserite negli altri campi.
- **Last update.** Data in cui è stata inserita / aggiornata la faglia.

- **Fault Trace.** Riferimento specifico alla carta da cui è tratta la traccia della faglia e, se è il caso, alle eventuali successive modifiche

REFERENCES

Bibliografia di riferimento.

GALLERY FAULT PHOTO

Documentazione fotografica che illustri gli elementi riportati nella scheda descrittiva della faglia.

APPENDICE 2

Glossario

Vengono di seguito riportate alcune definizioni utili per i tecnici che si occupano di tettonica attiva, paleosismologia e faglie capaci. Le definizioni sono in lingua inglese e sono tratte dal TEC-DOC IAEA n, 1767.

Active fault

A tectonic structure that moved in the recent geologic past and that is expected to move within a future time span of concern for the safety of a nuclear installation. In highly active (e.g. *interplate*) areas with short earthquake recurrence intervals, periods of the order of tens of thousands of years (e.g. Upper *Pleistocene* to present) may be appropriate for defining a fault as active. In less active areas (e.g. *intraplate*) much longer periods (e.g. *Pliocene – Quaternary* to present) may be appropriate. In the conservative perspective of NPP siting, any fault within the Earth's crust might need to be reassessed for potential re-activation. In fact, it is impossible to exclude that an earthquake of low magnitude may occur along any fault (Modified from IAEA SSG-9 [1], 8.4).

Age dating

Assessment of the age of a sediment using biostratigraphic, physical or chemical age dating techniques.

Alluvium

Loose, unconsolidated (not cemented together into a solid rock) sediments, which have been eroded, reshaped by water in some form, and re-deposited in a non-marine setting. The term should not be used in situations where the formation of the sediment can clearly be attributed to a geologic process, e.g. for lake sediments (lacustrine), river sediments (fluvial), or glacially-derived sediments (glacial till).

Archeoseismology

The study of earthquake effects displayed in archeological remains/sites or historical buildings. Archeoseismology mostly reveals evidence of unknown ancient earthquakes or helps to refine the data of known historical events. Additional evidence is necessary, but extracted data may be classified in terms of intensity.

Blind fault

Buried *fault* not reaching up to the ground surface when it was last active. Usually applied to buried reverse or thrust faults.

Capable fault

An *active fault* that has a significant potential for displacement at or near the ground surface (IAEA SSG-9 [1]).

Colluvium

A general name for loose, unconsolidated sediments that have been deposited at the base of hillslopes or scarps by either rainwash, sheetwash, slow continuous downslope creep, unconcentrated surface runoff, or a variable combination of these processes.

Colluvial wedge

Colluvium that has been deposited at the base of a *single-event fault scarp* after a surface-breaking earthquake. The colluvial wedge results from the re-deposition of sediment during the erosive degradation of the scarp. Besides pure 'colluvium' deposits, it also can include gravity-driven deposits that collapsed from the free-face at toe of the scarp.

Composite fault scarp

Fault scarp formed a succession of several surface-breaking earthquakes.

Coseismic

An event that occurs contemporaneously with an earthquake (e.g. fault surface rupture/displacement). Primary and secondary earthquake environmental effects considered in the ESI-07 scale.

Creep

Steady and rather continuous deformation that do not produce (significant) earthquakes. 'Creeping' is thus usually used as a synonymous for aseismic behavior.

Deformation rate

Average velocity of the tectonic deformation of a geologic material (see stress rate).

Earthquake environmental effects (EEE)

Effects in the natural environment produced during an earthquake affecting the ground surface, subsurface, slopes, water bodies and vegetation. They are classified as primary effects (on-fault effects; fault surface rupture or surface uplift) and secondary effects (off-fault effects; e.g. liquefaction, slope movements, tsunamis, etc.). During past earthquakes EEE can be incorporated in the geologic record, being subject of paleoseismic evidence and paleoseismic research.

Earthquake effects, Primary

The surface expression of seismogenic tectonic source (including surface faulting, surface uplift and subsidence). Primary effects gave place to characteristic tectonic landforms (e.g. *fault scarps*, *pressure ridges*) and eventually, particular landform assemblages of seismic origin (i.e. *seismic landscapes*).

Earthquake effects, Secondary

Phenomena generally induced by seismic ground shaking, including e.g. liquefaction, mass movements and tsunamis. (See *earthquake environmental effects*). Exclude coseismic displacement on the earthquake source (main/primary) fault and on the structurally associated secondary structures.

Environmental Seismic Intensity Scale (ESI)

Intensity scale aimed at evaluating the severity of an earthquake based only on the characteristics and size of Earthquake Environmental Effects (EEE). Its use, alone or integrated with the macroseismic damage-based scales, allows a more complete estimate of intensity and, therefore, a better comparison among earthquakes both in time and in space.

Fault

A planar or gently curved fracture surface or zone of the Earth across which there has been relative displacement (IAEA SSG-9 [1]).

Fault scarp

A linear or gently curved morphologic slope formed by the displacement of the ground surface by a *capable fault*. The morphology of the scarp is different for normal, reverse and strike-slip faults; and it changes (slope decrease) with time due to the acting erosive/sedimentary processes.

Fault segment

Part of a geologic *fault* that is bound by either a lithological, structural or geometrical discontinuity (e.g. fault bend, stepover or branch) or a combination of these. These bounds can act as barriers or initiation points for earthquakes [25]. The term 'segment' is thus often used by earthquake geologists as a fault portion that ruptured during a single earthquake (earthquake segment).

Geomorphology

The scientific study of the landforms and related deposits that are assembled in the present landscape. It also includes the study of the operating geologic processes (e.g. surface, volcanic or tectonic processes) to decode the evolution of the Earth surface through time.

Glaciotectonism

Processes that deform unconsolidated material in relation to glacier displacements. Can produce deformation forms similar to those generated by compressional tectonics, such as reverse faults, thrusts and folds.

Ground crack (Coseismic)

Fissures, fractures or cracks formed in the ground surface during an earthquake, which are not directly related to the surface rupture of a *capable fault*. Secondary earthquake effect considered in the ESI-07 Scale.

Holocene

Geologic epoch within the Quaternary Period which began at the end of the *Pleistocene*, after the deglaciation (around 11,700 years ago), and continues to the present [1]. Also known as 'the Present Interglacial Period'.

Interplate

Concerning tectonic processes at the boundaries between the lithospheric tectonic plates (IAEA SSG-9 [1]).

Interplate setting

A geologic area located at or close to a plate boundary characterized by moderate to high *deformation rates* and moderate to high seismicity. Interplate settings may include broad deformation zones such as subduction zones, orogenic belts or rifts, as well as narrow fault zones.

Intraplate

Concerning tectonic processes within the Earth's tectonic plates (IAEA SSG-9 [1]).

Intraplate setting

A geologic area located in the interior of a lithospheric plate usually characterized by low to moderate *deformation rates* and low to moderate seismicity.

Magnitude

Measure of the size of an earthquake relating to the energy released in the form of seismic waves. Seismic magnitude means the numerical value on a standardized scale such as, but not limited to, moment magnitude (M_w), surface wave magnitude (M_s), body wave magnitude (mB or mb), local magnitude (M_L), or duration magnitude (IAEA SSG-9 [1]). Magnitude is measured on a logarithmic scale as introduced by Richter [450]. Magnitude definitions use amplitudes of different wave types at different frequency ranges on different components from seismograms recorded at different stations, applying different calibration functions leading to the co-existence of numerous magnitude definitions.

Maximum Credible Earthquake (MCE)

Estimate of the potential maximum size of an expected earthquake derived from historical, paleoseismic, seismic or other geologic data/information.

According to the US NRC [3]: The term 'maximum credible earthquake' means that earthquake which would cause the maximum vibratory ground motion based upon an evaluation of earthquake potential considering the regional and local geology and seismology

and specific characteristics of local subsurface material.

Maximum potential magnitude

Reference value used in seismic hazard analysis characterizing the potential of a *seismic source* to generate earthquakes. The way in which it is calculated depends on the type of *seismic source* considered and the approach to be used in the seismic hazard analysis (IAEA SSG-9 [1]).

 M_L

Local *magnitude* (Richter, 1935) based on the measurement of the maximum amplitude of a Wood-Anderson seismograph.

M_s

Surface wave *magnitude* derived from the maximum amplitude of surface waves with a period of 20 s (for periods between 18 and 22 s). Used for shallow earthquakes at the distance range 20–160°.

M_w

Moment *magnitude*. M_w is based on the seismic moment M_0 , which is proportional to the fault area that moved during an earthquake and the average displacement along the fault during the event. M_w therefore can be estimated by paleoseismic methods that quantify the size and displacement along a fault during a single earthquake.

Paleoliquefaction features

Liquefaction structures identified in the sedimentary record of alluvial or coastal plains (usually) that serve as indication of past strong seismic shaking if there is 'near-regional' or 'site vicinity' evidence of widespread and continuous liquefied horizons over these areas.

Palaeoseismology

The study of evidence of past (typically prehistoric) earthquakes manifested as displacement on a *fault* or secondary effects such as ground deformation (i.e. liquefaction, tsunamis, landslides) with geologic techniques, providing data on the timing, location, and size of these earthquakes (modified from IAEA SSG-9 [1]).

Paleosoil

A former soil preserved in the geologic record. This may be a relict soil on the surface (i.e. terrace surface) or a fossil soil buried underneath younger sediments (e.g. *alluvium*, *colluvium*, *loess*). Paleosols are one of the few unequivocal geologic evidence of an ancient ground surface and therefore valuable key-horizons in paleoseismic research.

Peak Ground Acceleration (PGA)

The maximum absolute value of ground acceleration displayed on an accelerogram; the greatest ground acceleration produced by an earthquake at a site (IAEA SSG-9 [1]).

PFDA

Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis. A method that aims at assessing the probability of exceedance of a displacement value at the ground surface, both on the earthquake source (capable fault) of interest and off this main structure (distributed faulting). This method follows the same formulation as the Probabilistic Seismic Hazard Analysis used for ground shaking and also uses (fault displacement) attenuation empirical relations.

Pleistocene

First geologic epoch of the Quaternary Period. It began at the end of the *Pliocene* (around 2.588 million years ago) and continues to the *Holocene* (until 11,700 years ago) [1]. Much of the Pleistocene is commonly characterized by alternating glacial and interglacial periods.

Pliocene

Last geologic epoch of the Neogene period. The Pliocene began around 5.333 million years ago and continues to the *Pleistocene* epoch (until 2.588 million years ago).

Quaternary

Last period of the geological time-scale (from around 2.588 million years ago to present). It is subdivided in the *Pleistocene* and *Holocene epochs* and preceded by the Neogene Period.

Rupture area

Area of a *fault-plane* that ruptures during a single earthquake.

Rupture length

Length of a *fault* that ruptured during a single earthquake measured along fault strike.

Seismicity, historical

Intensity-based information on past earthquakes. For historical events earthquake *magnitude* is estimated from the *intensity* data usually applying empirical correlations. Historical catalogs typically contain data on the last centuries (2 to 10, depending on the region).

Seismicity, instrumental

Instrumental information on current earthquakes, providing direct data on the earthquake *magnitude*. Instrumental catalogs typically contain data on the last decades.

Seismic moment

See M_0

Seismite

Sedimentary beds disturbed by seismic shaking. The term describes both sedimentary beds deformed by seismic shaking and associated soft sediment deformation structures formed by shaking that may or may not remain confined to a stratigraphic layer (i.e. clastic dikes or sand volcanos).

Seismogenic structure

A structure that displays earthquake activity or that manifests historical surface rupture or the effects of paleoseismicity, and that is considered likely to generate macro-earthquakes within a time period of concern (IAEA SSG-9 [1]).

Seismotectonic model

The model that defines the characterization of seismic sources in the region around a site of interest, including the aleatory and epistemic uncertainties in the seismic source characteristics (IAEA SSG-9) [1].

Single-event fault scarp

Fault scarp formed by a single surface-breaking earthquake.

Slip-rate

Average displacement velocity of a *fault* or other tectonic structure (i.e. *fold*) over a defined interval of time.

Soft-sediment deformation features

General term describing small-scale plastic deformations (e.g. convolute bedding) of muddy or other cohesionless sediments. Their formation does not require liquefaction and they can form under static (gravity) conditions or other non-seismic processes (under rapid sedimentation, hydrologic forcing, wave propagation). Their utility in seismic hazard assessment may be more limited than liquefaction features [155].

Surface rupture

Permanent offsetting or tearing of the ground surface by differential movement across a *capable fault* (based on IAEA SSG-9 [1]). Can be seismic (i.e. during an earthquake) as well as aseismic (i.e. creeping). Primary earthquake environmental effect considered in the ESI-07 scale, starting from the VII–IX intensity degree.

Tectonic geomorphology

- (1) The study of the interplay between tectonic and surface processes that shape the landscape in regions of active deformation.
- (2) Application of geomorphic principles to evaluate the

occurrence, patterns of rates of tectonics process. Especially useful in diffuse seismicity areas where other direct paleoseismic methods cannot be applied.

Tectonic landform

Geomorphic feature created by activity of faults or folds, normally affecting to Holocene or Pleistocene alluvial materials (e.g. a fault scarp, shutter ridge).

Tectonic relief

Geomorphic feature formed by tectonics. Mainly applied to rock-reliefs affecting pre- Quaternary materials.

Terrace

Inactive flat surface topping alluvial or coastal sediments, typically near an active stream (aggradation fluvial terrace) or coastline (aggradation marine terrace). A terrace can also be generated by direct river/littoral abrasion of the bedrock (strath or erosive terraces).

Trenching, paleoseismic

Geologic assessment of a *capable fault* using a man-made exposure (trench) across the fault.

AUTORI

Questo documento è stato realizzato con il contributo di:

ISPRA, Servizio Geologico d'Italia	Anna Maria Blumetti, Valerio Comerci, Pio Di Manna, Luca Guerrieri ed Eutizio Vittori
INGV	Livio Bonadeo
Regione Valle d'Aosta	Davide Bertolo
Regione Piemonte	Vittorio Giraud
Arpa Piemonte	Fabrizio Bosco e Michele Morelli
Regione Veneto	Enrico Schiavon e Dario Tosoni
Provincia di Bolzano	Claudio Carraro e Corrado Morelli
Regione FVG	Sara Bensi e Chiara Piano
Regione Liguria	Daniele Bottero
Regione Emilia Romagna	Luca Martelli e 'Paolo Severi
Regione Toscana	Massimo Baglione
Regione Umbria	Andrea Motti
Regione Lazio	Fulvio Colasanto
Regione Abruzzo	Maria Basi e Alessandro Urbani
Regione Molise	Annunziata di Niro
Regione Puglia	Daniela Di Carne e Teresa Scolamacchia
Regione Campania	Lucia Monti
Regione Basilicata	Maria Bruno, Donatella Ferrara e Donato Palma
Regione Calabria	Giovanna Chiodo e Ida Corea
Dipartimento della Protezione Civile	Paolo Galli e Mario Nicoletti

La foto del frontespizio ritrae la faglia del Monte Vettore in prossimità dello Scoglio dell'Aquila, così come si presentava nel 2017, ad un anno dal terremoto di Norcia (30 Ottobre 2016, M_w 6.5). La parte del liscione esposta in superficie a seguito di quell'evento, che subito dopo di esso era di colore marrone chiaro perché ricoperta da un velo di terriccio, si presenta come una striscia bianca perché già dilavata dagli eventi meteorici. Foto Dr. Pio di Manna