



REGIONE LIGURIA

# **REGIONE LIGURIA**

DIPARTIMENTO AMBIENTE E PROTEZIONE CIVILE

*Settore Assetto del Territorio*

---

## **ANALISI REGIONALE RIVOLTA ALL'INDIVIDUAZIONE E ALLA CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE INTERESSATE DALLA PRESENZA DI FAGLIE ATTIVE/CAPACI (FAC)**

*propedeutica all'applicazione delle Linee Guida Nazionali per la  
gestione del territorio interessate da FAC*

---

## SOMMARIO

Premessa.....	3
Principi generali e richiami teorici.....	4
Dati di base ufficiali.....	5
METODOLOGIA ADOTTATA .....	6
<b>1 – Raccolta delle informazioni bibliografiche .....</b>	<b>6</b>
<b>2 - Studio di dettaglio della sismicità recente e analisi delle sismicità storica .....</b>	<b>9</b>
<b>3 - Analisi delle evidenze geomorfologiche di superficie .....</b>	<b>13</b>
<b>4 - Compilazione di una banca dati contenente le schede relative a ciascuna struttura     sismogenetica individuata sul territorio regionale.....</b>	<b>13</b>
<b>5 - Elaborazione delle informazioni raccolte in ambiente GIS e realizzazione di cartografia     in formato raster/vettoriale georiferita seguendo gli standard informatici indicati dalla     Regione Liguria.....</b>	<b>14</b>
RISULTATI.....	14
BIBLIOGRAFIA .....	26
Testi e banche dati.....	26
Articoli Scientifici.....	26
APPENDICE 1.....	29

## Premessa

A cura della Commissione Tecnica per il Supporto e il Monitoraggio degli Studi di Microzonazione Sismica, istituita presso il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, sono state prodotte le "LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE DA FAGLIE ATTIVE E CAPACI (FAC)", successivamente approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome nella seduta del 7 maggio 2015.

Le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)", di seguito Linee Guida FAC, rappresentano un documento operativo finalizzato alla prevenzione e gestione dei rischi connessi alla presenza di faglie attive (e capaci) realizzato con l'obiettivo di:

- definire una procedura per raccogliere accurate informazioni sul rischio derivato dalla fagliazione superficiale, stabilendo la forma e le dimensioni delle zone di faglia;
- pianificare processi di mitigazione del rischio derivato dalla presenza di faglie attive e capaci per aree con previsioni di trasformazione e per aree edificate;
- proporre criteri generali e procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali <sup>1</sup>.

Al fine di comprendere appieno la natura della problematica in Regione Liguria e per disporre dei necessari elementi conoscitivi che consentissero di dare compiuta attuazione ai principi generali delle sopracitate Linee Guida nazionali è stato affidato al Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV) dell'Università degli studi di Genova un incarico per svolgere uno studio a carattere rivolto all'individuazione delle aree del territorio regionale interessate dalla presenza di faglie, cosiddette "attive e capaci" (FAC).

Richiamando quanto indicato all'interno delle Linee guida FAC, una "faglia Attiva e Capace" è una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni e che è in grado di raggiungere, in caso di attivazione, la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno.

Tale fenomeno si è manifestato nel corso del terremoto aquilano del 2009, laddove una faglia attiva e capace (faglia di Paganica) ha interessato una parte di territorio occupato da manufatti di varia tipologia (edifici, strade, *lifelines*, ecc.) spingendo, così, il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) ad affrontare il problema in termini generali e definire le linee guida per il trattamento della pericolosità da fagliazione di superficie ai fini della Microzonazione Sismica.

Alla Microzonazione Sismica viene, infatti, affidato il compito della prevenzione sismica attraverso studi di approfondimento della pericolosità sismica locale da applicarsi a vari settori della programmazione e pianificazione, tra cui anche quello della pianificazione urbanistica comunale, differenziando le politiche di prevenzione e gli obiettivi di mitigazione in ragione delle specifiche condizioni di rischio rilevate.

A livello regionale con DGR n. 471 del 22/03/2010, sono stati approvati i criteri per l'approfondimento degli studi geologico – tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale recependo gli "INDIRIZZI ED I CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ICMS08)", approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, e prevedendo che nell'ambito della pianificazione comunale la componente

---

<sup>1</sup> In particolare al paragrafo 10 delle Linee Guida FAC, nell'individuare i compiti delle istituzioni pubbliche si indica, tra quelli in capo alle Regioni, l'adozione dei criteri generali formulati dallo Stato e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome e la formulazione di ulteriori criteri specifici con riferimento alle peculiarità regionali.

sismica deve essere valutata e deve formare oggetto degli studi e delle indagini geologiche a corredo degli strumenti urbanistici comunali.

## Principi generali e richiami teorici

Come già anticipato, una “faglia Attiva e Capace” è tale se si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore - Olocene) ed è anche in grado di raggiungere, in caso di attivazione, la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno (considerando il piano di rottura principale della faglia ovvero il piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

Le FAC possono convenzionalmente essere classificate in FAC\_a (ovvero FAC certe e definite) oppure in FAC\_b (ovvero FAC incerte) in funzione delle incertezze nella loro identificazione. Le FAC, riconosciute sulla base della metodologia sotto riportata, devono essere riportate all'interno di uno studio di Microzonazione Sismica di I livello (MS1) individuando una Zona di Attenzione ( $Z_{FAC}$ ) costruita in modo da comprendere la supposta traccia del piano di rottura principale e i probabili fenomeni deformativi del terreno correlati al piano di rottura principale. L'identificazione di una  $Z_{FAC}$  rimanda obbligatoriamente a livelli di approfondimento specifici, propri del livello 3 (MS3).

All'interno delle Linee Guida vengono anche definite le cosiddette “faglie Potenzialmente Attive e Capaci (FPAC)” per le quali gli studi dimostrano un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio-superiore, ma non necessariamente di depositi più recenti di 40.000 anni; tali strutture sono identificate con l'ausilio di dati di letteratura o durante i rilievi di terreno per la redazione della cartografia geologica. Secondo quanto previsto dalle Linee Guida FAC, le faglie Potenzialmente Attive e Capaci devono essere riportate nella Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT\_MS) e non nella carta MS1. Approfondimenti successivi sono rimessi a studi di MS di livello 3 al fine di identificarne l'eventuale attività negli ultimi 40.000 anni, oltre che definirne con certezza la geometria.

Sulla base di quanto riportato nelle *LINEE GUIDA PER LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN AREE INTERESSATE DA FAGLIE ATTIVE E CAPACI (FAC)*, una faglia deve essere considerata come FAC se e solo se almeno due delle tre condizioni minime risultino verificate:

- l'area oggetto dello studio di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con Mw >5.5 (cfr. CPT15);
- la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
- sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

In caso affermativo, ovvero se una FAC viene identificata, è necessario condurre uno studio di dettaglio (p. e., interpretazione aerofotogeologica, rilievo di terreno, analisi geofisiche, analisi paleosismologiche) finalizzato all'individuazione dell'eventuale traccia superficiale della faglia attiva e capace.

Gli elementi generalmente indicativi dell'attività recente di una faglia sono di ordine sia geomorfologico (anomalie nelle forme del paesaggio, diversione di corsi d'acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia) sia, ovviamente, tettonico (faglie che dislocano terreni tardo pleistocenici-olocenici). Una volta individuato l'andamento della faglia in superficie, al fine di accertarne l'attività recente e di delineare la traccia planoaltimetrica certa, è necessario utilizzare un approccio paleosismologico. Questo consiste nello scavo di trincee seriali attraverso la faglia che

permettono lo studio analitico dei depositi fagliati, la scansione degli eventi di fagliazione e l'entità dei rigetti.

La datazione dei terreni deve essere condotta tramite datazioni cronometriche (in genere radiometriche) e/o, nel caso, archeologiche. La datazione dei livelli fagliati e di quelli che eventualmente sigillano la deformazione è discriminante per accertare l'attività della faglia. Se essa è sigillata da depositi più antichi di ~40.000 anni, può verosimilmente considerarsi non attiva, o comunque di bassa pericolosità.

Le analisi paleosismologiche possono essere precedute da analisi geognostiche e stendimenti geofisici allo scopo di individuare con adeguata attendibilità l'ubicazione dell'area ove pianificare l'eventuale scavo. Ad esempio, le tomografie di resistività elettrica (ERT) si sono rivelate spesso utili per l'ubicazione di precisione della traccia della faglia in superficie e quindi per individuare i siti idonei allo scavo di trincee paleosismologiche. La procedura per definire l'assetto geologico, strutturale e geometrico della FAC proposta nel documento ICMS viene riassunta nella tabella seguente classificando le indagini per tipologia e significatività crescente.

ID	GRUPPO INDAGINI	INDAGINI
Ind_1	Analisi aereofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, immagini LiDAR, immagini da satellite
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti di campagna e relativa cartografia
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	ERT, sismica a riflessione e rifrazione, GPR, sondaggi e saggi
Ind_4	Paleosismologia	Trincee paleosismologiche e datazioni cronometriche dei terreni fagliati

## Dati di base ufficiali

A scala nazionale, le due banche dati da utilizzare come riferimento per uno studio riguardante le FAC sono la banca-dati **ITHACA** (ITaly HAZard from CAPable faults), fondata e gestita dall'ISPRA (in precedenza APAT) a partire dal 2000 e la banca-dati **DISS** (Database of Individual Seismogenic Sources, Figura 1), ideata all'INGV tra il 1997 e il 2000 e pubblicata poi nel 2001.

La banca dati ITHACA restituisce in forma georeferenziata informazioni su un gran numero di elementi tettonici di superficie, e in particolare sulle faglie capaci. Questo database raccoglie prevalentemente informazioni su faglie superficiali, ma generalmente non riporta le faglie cosiddette "cieche" (ovvero che non arrivano ad intersecare la superficie; e.g. le faglie cieche possono essere ulteriormente distinte in "cieche" – il bordo superiore della faglia non raggiunge la superficie, "sepolte" – fenomeni deposizionali nascondono l'emersione in superficie della faglia, "nascoste" – l'espressione superficiale è nascosta da una topografia molto complessa frutto di un regime tettonico precedente o dalla giovane età del regime tettonico attuale) e quelle che si trovano in mare. I dati forniti in ITHACA vengono proposti ad una scala spaziale molto variabile (es. da 1:50.000 a 1:1.000.000) a seconda che si tratti di dati originali o di dati da letteratura.

La banca dati DISS raccoglie informazioni sismotettoniche a scala nazionale e locale indicando le sorgenti sismogenetiche, riportando la geometria e la cinematica di faglie e sistemi di faglie attive ritenute in grado di generare terremoti di M 5.5 e superiore. Le sorgenti censite nel DISS vengono distinte in Sorgenti Sismogeniche Individuali (ISS) e Sorgenti Sismogeniche Composite (sistemi di faglia estesi). DISS censisce solo le strutture primarie, quelle cioè che prendono in carico la maggior parte della deformazione tettonica e causano i terremoti principali e il relativo scuotimento mentre le strutture secondarie, che possono essere sede di sismicità minore durante le sequenze sismiche, e in alcuni casi possono arrivare a tagliare direttamente la superficie, sono riportate solo nei casi per cui rotture di superficie sono state studiate con approccio paleosismologico.

La bibliografia scientifica riporta numerose definizioni relative alle faglie attive, la maggior parte delle quali fa riferimento alla datazione degli eventi sismici più recenti associabili alle varie strutture sismogenetiche in esame (il termine recente viene associato a diversi periodi temporali che vanno da 10000 anni fino a 1.6 milioni di anni a seconda degli autori). Spesso non vengono considerati gli aspetti tettonici locali e quindi una serie di condizioni che scientificamente risultano importanti come il grado di attività durante il regime sismotettonico attuale, la probabilità o la potenzialità che producano dislocazioni nuove o riattivate, evidenze fisiografiche di attività recente, attività sismica strumentale associabile.

Come evidenziato da molti autori, la Paleosismologia, nata formalmente nel 1989 con la realizzazione delle prime trincee attraverso la scarpata di faglia associata al terremoto dell'Irpinia del 1980, è la metodologia di indagine più idonea all'individuazione e caratterizzazione delle FAC e permette di stimare la probabilità di fagliazione superficiale.

Relativamente al territorio italiano e in particolare lungo gli Appennini, l'individuazione delle FAC attraverso il riconoscimento di evidenze geomorfologiche di superficie risulta estremamente complicato da una serie di fattori dipendenti dalla tettonica giovane che non consente alle faglie attive di manifestarsi attraverso impronte nel paesaggio, dalla presenza di faglie legate a sistemi tettonici preesistenti (estinti), spesso ringiovanite attraverso il sollevamento regionale o riattivate da faglie attive di ordine gerarchico superiore, e di faglie "cieche".

Una faglia attiva può arrivare in superficie e dislocare orizzonti geologici in funzione di una combinazione di elementi diversi che includono le condizioni geodinamiche regionali, l'assetto strutturale locale, la geometria della porzione profonda della faglia (profondità minima e massima e angolo di pendenza), e infine la competizione tra lo *slip rate* della faglia, ovvero la velocità alla quale la faglia produce effetti potenzialmente visibili in superficie, e il rateo di sedimentazione locale, ovvero la velocità alla quale i processi esogeni mascherano tali effetti.

## **METODOLOGIA ADOTTATA**

Nell'ambito del presente studio, come indicato nel Piano Operativo dei Lavori concordato, le attività svolte dal Gruppo di Lavoro del DISTAV in merito allo studio delle FAC presenti sul territorio ligure hanno riguardato diverse fasi di lavoro che possono così essere riassunte:

1. Raccolta delle informazioni bibliografiche presenti sulle banche dati nazionali.
2. Studio di dettaglio della sismicità recente e analisi delle sismicità storica.
3. Analisi delle evidenze geomorfologiche di superficie e interpretazione critica delle informazioni derivate da studi scientifici (fonti bibliografiche da letteratura scientifica).
4. Compilazione di una banca dati con la redazione di schede relative a ciascuna struttura sismogenetica individuata sul territorio regionale.

### **1 - Raccolta delle informazioni bibliografiche**

In una prima fase di lavoro sono state approfonditamente analizzate le due principali banche dati riportanti le principali FAC e le principali strutture sismogenetiche presenti sul territorio italiano ovvero la banca dati **ITHACA** (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>) e il database **DISS** (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>). Relativamente al DISS, non sono indicate strutture sismogenetiche sul territorio regionale ma le uniche due aree interessate da importanti strutture si trovano in mare, davanti alla costa imperiese, e in Lunigiana e Garfagnana. La prima, presumibilmente legata all'evento del 1887 è composta da una serie di faglie che si sviluppano in mare in direzione sia

parallela sia perpendicolare alla costa mentre la seconda, associabile all'evento del 1920, risulta composta da due sistemi di faglie uno in Lunigiana e uno nella Garfagnana settentrionale. In Figura 1 è riportata la posizione delle principali strutture sismogenetiche riportate nella banca dati del DISS in prossimità della Liguria.

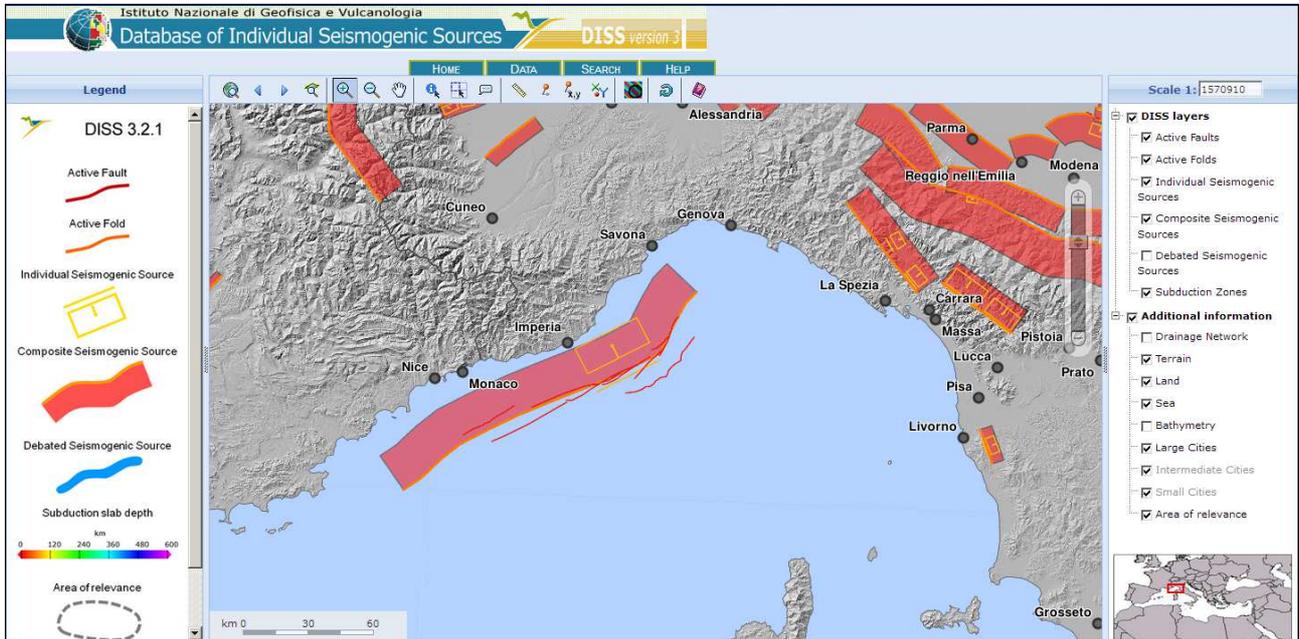


Figura 1 – Strutture sismogenetiche attive riportate su DISS relativamente al territorio ligure

Relativamente al database ITHACA, il Gruppo di Lavoro del DISTAV ha utilizzato la versione aggiornata del database ITHACA, realizzata da ITHACA Working Group (2019) e datata Febbraio 2020, nella quale, relativamente al territorio ligure, sono state introdotte nuove strutture rispetto alla versione precedente dello stesso database. Il database ITHACA, relativamente alla parte FAC, riporta diverse strutture per il territorio ligure ubicate principalmente nel ponente e nell'estremo levante. Le principali strutture nel ponente ligure risultano essere la faglia "Saorge-Taggia" e i sistemi di faglia in area Sanremo e Ventimiglia. Il sistema di faglie della Val di Vara e le altre strutture in provincia della Spezia, nella zona Rezzoaglio – Santo Stefano d'Aveto e all'interno del bacino del Magra risultano invece caratterizzare l'estremo levante ligure ( Figura 2).

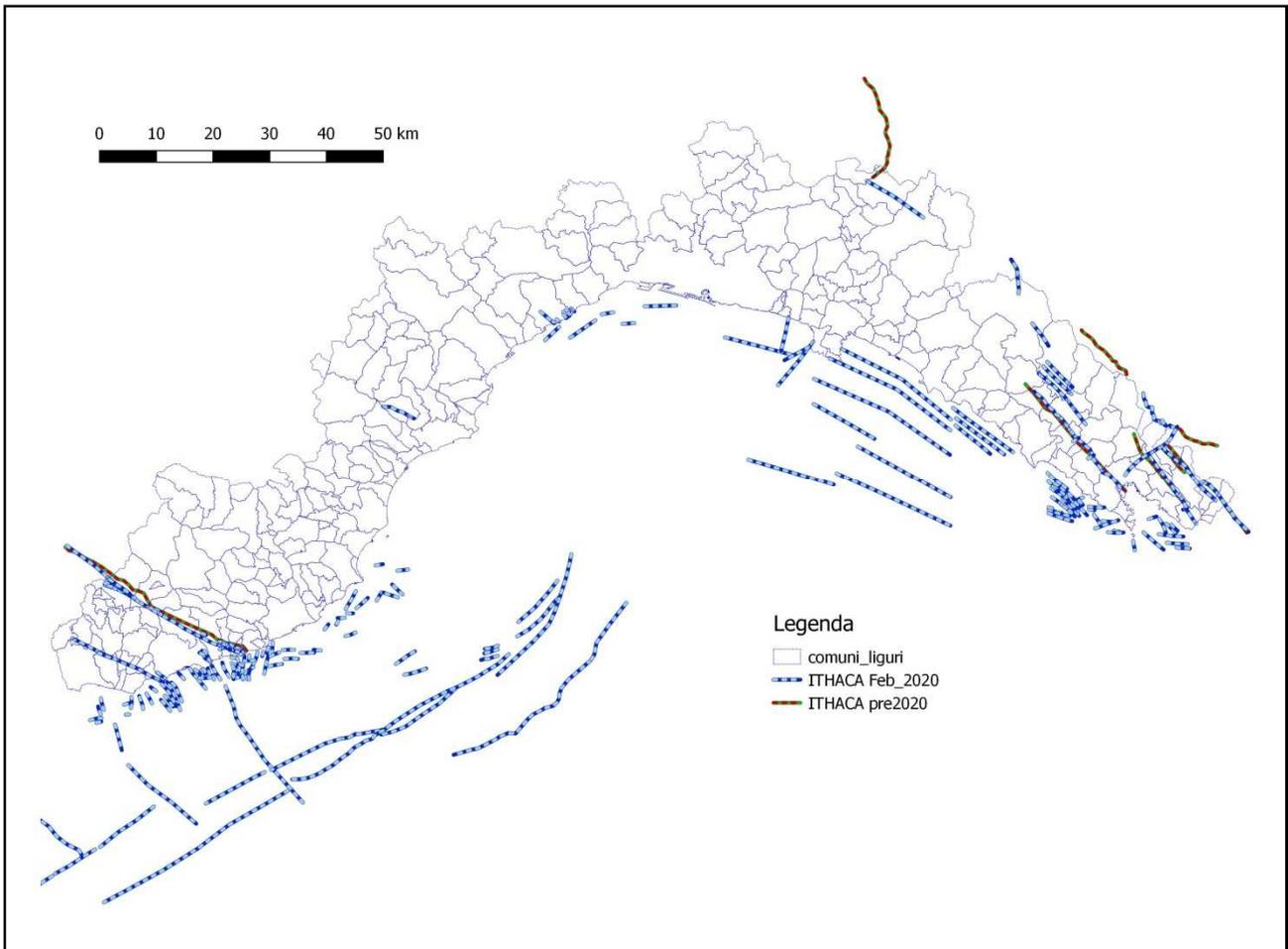
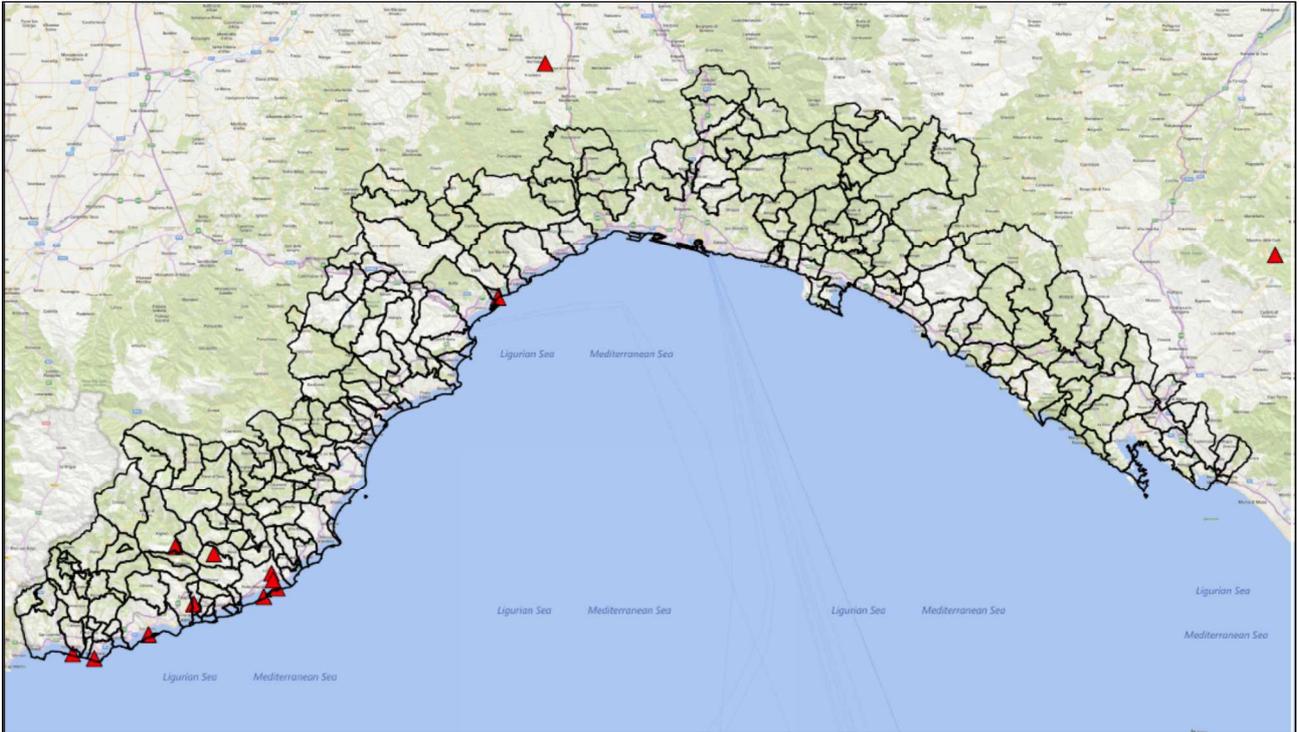


Figura 2 – Faglie attive e capaci riportate sul database ITHACA relativamente al territorio regionale, In figura viene riportato il confronto fra il database ITHACA pre2020 e il database ITHACA versione febbraio 2020

Parallelamente, si è proceduto alla raccolta dei testi scientifici inerenti gli aspetti tettonici e sismotettonici regionali e lo studio delle faglie o dei sistemi di faglie con particolare riferimento alle zone prossime alle strutture individuate da DISS e da ITHACA (e.g. estremo levante e ponente ligure) e alle aree maggiormente interessate dalla sismicità recente.

In questa fase di lavoro si è anche proceduto consultare il catalogo **CEDIT** (Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti, <http://www.ceri.uniroma1.it/index.php/web-gis/cedit/>) al fine di raccogliere informazioni e osservazioni storiche relative ai principali effetti indotti sul terreno dai terremoti, tra i quali frane, fratturazioni, liquefazioni, variazioni topografiche del livello del suolo e tsunami. Figura 3 riporta l'ubicazione dei dati storici raccolti nel catalogo CEDIT relativamente ai fenomeni di fratturazione superficiale ("ground cracks"), fenomeni cosismici che possono essere legati ad un fenomeno di emersione di una faglia in superficie.

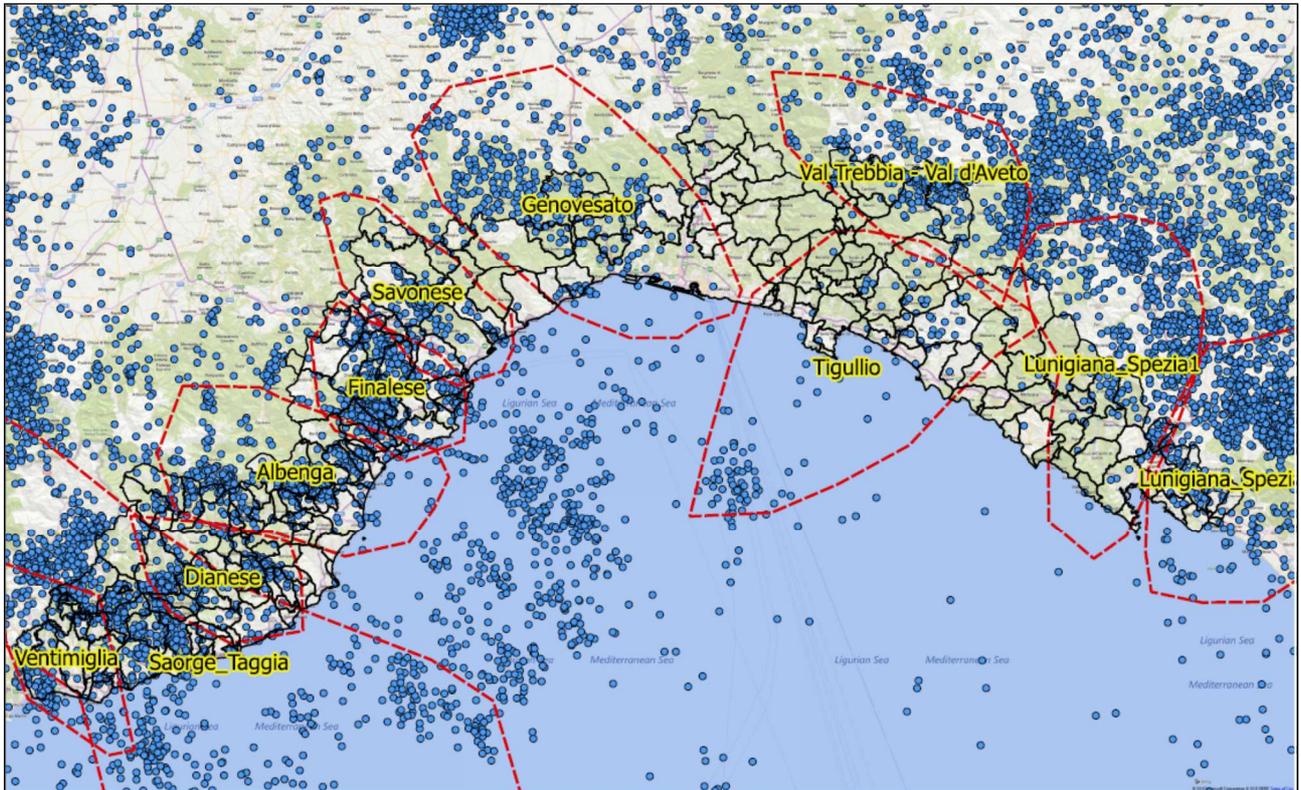


**Figura 3 – Distribuzione dei dati osservati di fratturazione superficiale (ground cracks) in Liguria (da catalogo CEDIT)**

## **2 - Studio di dettaglio della sismicità recente e analisi delle sismicità storica**

Relativamente allo studio della sismicità recente, si è fatto riferimento al bollettino della rete RSNI (Regional Seismic network of North-western Italy) che raccoglie le localizzazioni dei terremoti dal 1982 ad oggi. Tale studio si è articolato in 5 fasi:

1 – suddivisione dei terremoti avvenuti in Liguria e nelle aree limitrofe in distretti sismici in funzione della distribuzione spaziale degli eventi e della localizzazione dei principali cluster di sismicità (i.e., gruppi di terremoti distribuiti in aree spazialmente molto ristrette – Figura 4).



**Figura 4 – Suddivisione della sismicità recente in Liguria in distretti sismici**

2 – rilocalizzazione degli eventi classificati in ciascun distretto sismico. Utilizzando i sismogrammi presenti nell'archivio della rete RSNI, i terremoti sono stati rilocalizzati controllando e se necessario migliorando le letture dei tempi di arrivo delle fasi P e S per ogni stazione e utilizzando un algoritmo di localizzazione aggiornato basato su un modello di velocità tridimensionale. Attraverso questa fase di lavoro è stato possibile migliorare la qualità di ciascuna localizzazione migliorando la stima delle coordinate ipocentrali di ciascun terremoto e ottenendo mappe di sismicità più affidabili.

3 – individuazione delle principali famiglie sismogenetiche. I terremoti presenti in ciascun distretto sono stati analizzati attraverso una procedura in grado di valutare il livello di somiglianza fra i sismogrammi registrati a una determinata stazione e relativi a diversi eventi (“waveform similarity analysis”). Attraverso tale analisi è stato possibile raggruppare in modo totalmente oggettivo i terremoti aventi forme d'onda (i.e., sismogrammi) simili ovvero i terremoti appartenenti a una stessa struttura sismogenetica. La waveform similarity analysis si basa sul fatto per cui le onde sismiche registrate da una determinata stazione e generate da una stessa sorgente sismica, essendo state originate nello stesso ipocentro e con uno stesso meccanismo focale e avendo percorso lo stesso percorso, producono sismogrammi simili.

In Figura 5 è riportata l'ubicazione delle famiglie sismogenetiche riconosciute analizzando la sismicità recente registrata in Liguria.

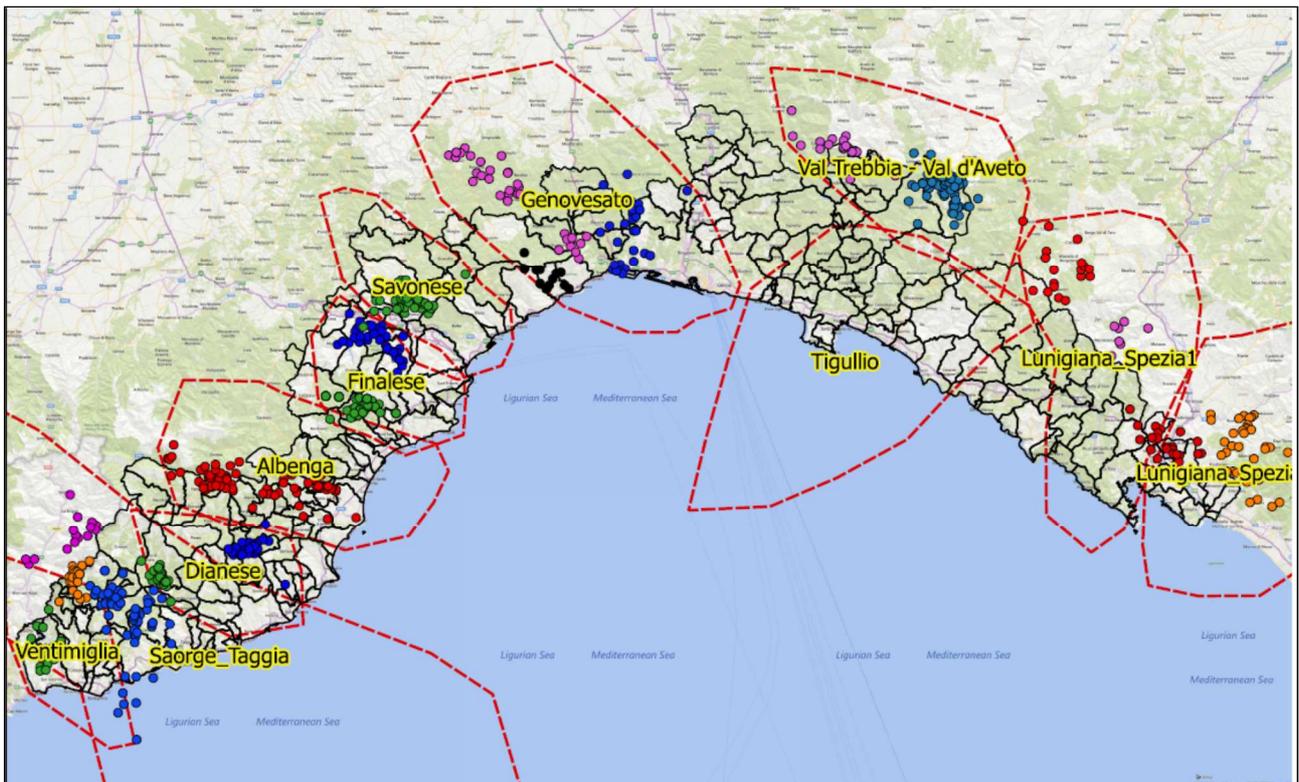


Figura 5 – Ubicazione delle famiglie sismogenetiche riconosciute analizzando la sismicità recente in Liguria

4 – definizione, per ogni famiglia sismogenetica, del “best fitting plane”. Considerando i terremoti appartenenti a una stessa famiglia sismogenetica, è stato applicato un algoritmo matematico in grado di individuare, attraverso un metodo ai minimi quadrati 3D, il piano che meglio approssima la distribuzione degli ipocentri (i.e., il “best fitting plane”). Tale analisi fornisce delle informazioni che possono essere utili a definire meglio le caratteristiche geometriche di una determinata struttura in termini di strike (i.e., azimuth) e dip (i.e., angolo d’immersione del piano di faglia). Chiaramente i risultati di tale analisi devono essere utilizzati con estrema attenzione in quanto gli errori presenti sulle coordinate ipocentrali possono influire notevolmente sulla stima del “best fitting plane” che può essere inficiato da notevoli incertezze. Nei casi dove una determinata struttura sismogenetica, potenzialmente associabile a una famiglia di terremoti, presenta delle evidenze in superficie e/o, sulla base di analisi pregresse, possiede determinate caratteristiche (e.g. angolo di immersione), la definizione del “best fitting plane” viene ottenuta introducendo tali informazioni aggiuntive all’interno dell’algoritmo di calcolo.

5 – calcolo e analisi dei meccanismi focali. All’interno di ogni famiglia sismogenetica sono stati individuati tutti i terremoti per i quali sia risultato possibile calcolare il meccanismo focale utilizzando il metodo dei primi arrivi attraverso il software FPFIT. Tale metodo presuppone la disponibilità di un numero sufficiente di letture di polarità (o versi) che risultino ben distribuite sulla sfera focale in modo da garantire un buon vincolamento dei piani nodali (i.e., piano di faglia e piano ausiliario) determinati. Generalmente i terremoti per i quali sia disponibile un numero e una distribuzione di dati (i.e., letture di versi di primo arrivo) idonei al calcolo del meccanismo focale sono quelli aventi magnitudo locale significativa (e.g., maggiore di 3.5 – 4.0). Tali requisiti, necessari all’applicazione del metodo per il calcolo dei meccanismi focali, limita notevolmente il numero di terremoti e, quindi, di famiglie per le quali sia disponibile questo dato. Chiaramente per le famiglie per le quali si disponga di uno o più meccanismi focali, le informazioni relative al piano di faglia derivato dall’analisi dei primi arrivi sono opportunamente valutate e utilizzate per vincolare al meglio le caratteristiche delle strutture sismogenetiche associate (e.g., dati utilizzabili all’interno della procedura per il calcolo del “best fitting plane”).

Relativamente alla sismicità storica, la banca dati di riferimento per lo studio della sismicità storica è il catalogo CPTI15 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>). Tale catalogo riporta la localizzazione e la magnitudo dei principali terremoti storici che hanno interessato il territorio nazionale, determinati utilizzando i dati macrosismici disponibili. Tuttavia per i terremoti meno recenti (e.g., eventi pre-1950) le localizzazioni riportate possono risultare molto incerte. Ricordiamo che una delle condizioni necessarie affinché una struttura sismogenetica possa essere considerata una FAC è che ad essa devono essere associabili eventi storici con magnitudo maggiore di 5.5. Nella maggior parte dei casi tale condizione può essere verificata solo considerando attentamente la sismicità storica. Pertanto, in questa fase di lavoro, al fine di valutare il livello d'incertezza dei principali terremoti storici che hanno interessato il territorio ligure (i.e., i terremoti con magnitudo maggiore di 5.5) è stato preso in considerazione anche il catalogo CPTI11 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>). Nella fase di analisi delle condizioni necessarie all'individuazione di una FAC, i terremoti storici associabili a una determinata struttura sismogenetica sono stati opportunamente valutati e “pesati” in funzione delle differenze, in termini di localizzazione e/o di magnitudo, riscontrate considerando le due versioni più recenti del catalogo CPTI.

Nelle Figure 6 e 7 è riportata la localizzazione dei terremoti storici con magnitudo maggiore di 5.5 nel catalogo CPTI15 e CPTI11, rispettivamente.

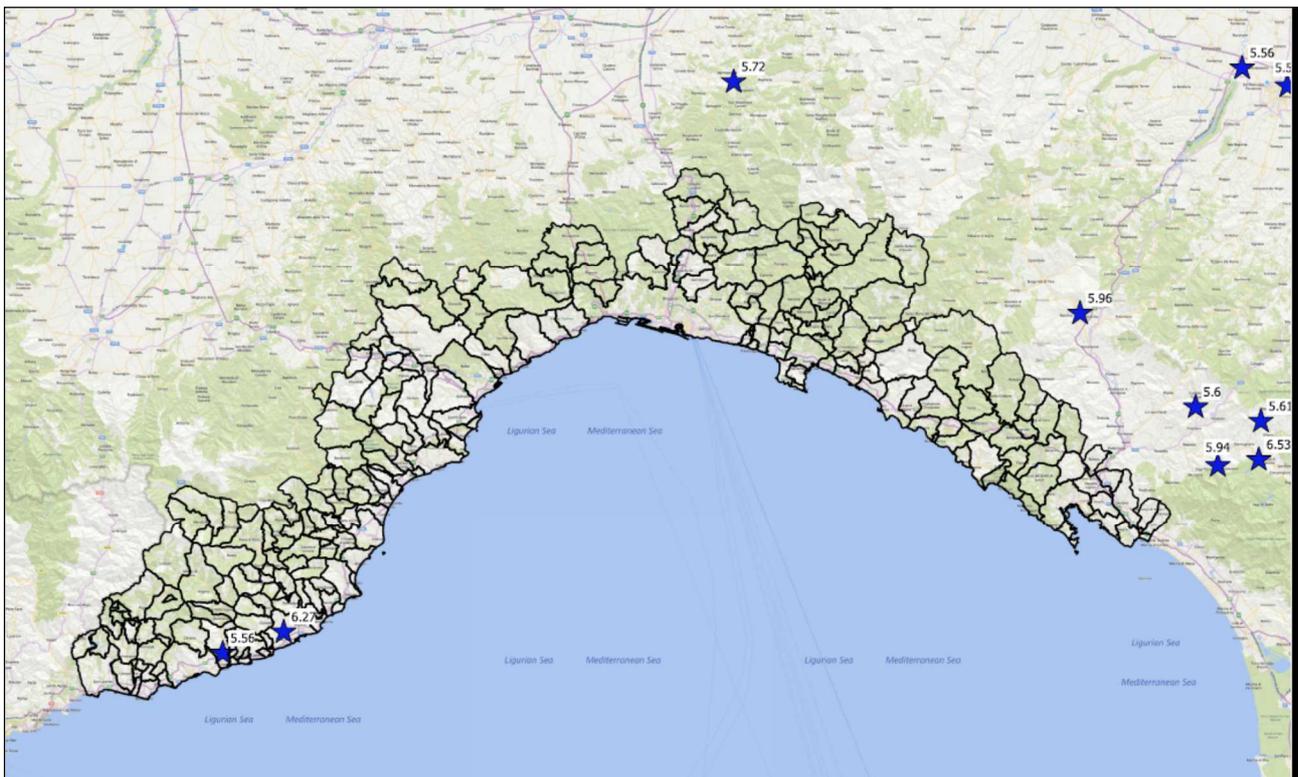


Figura 6 – Catalogo CPTI15: localizzazione dei terremoti con magnitudo maggiore di 5.5

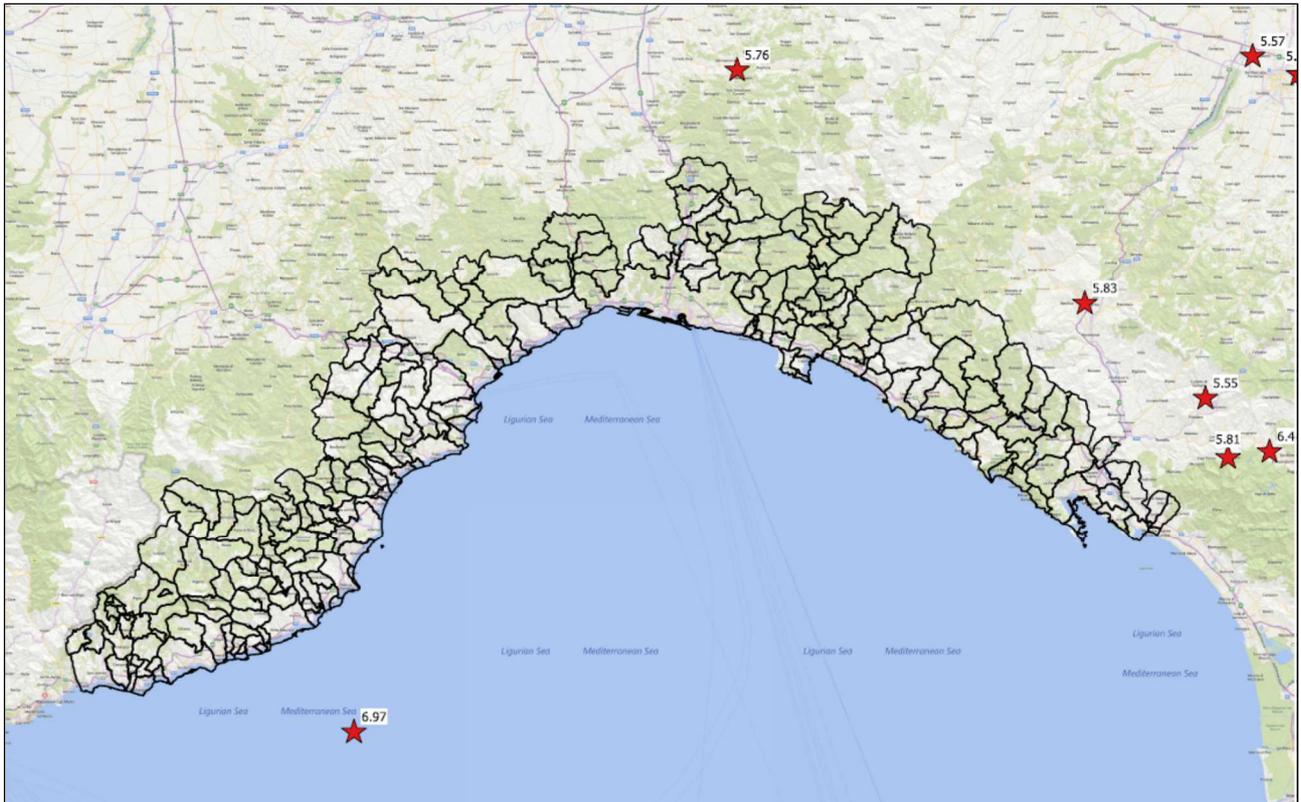


Figura 7 – Catalogo CPTI11: localizzazione dei terremoti con magnitudo maggiore di 5.5

### 3 - Analisi delle evidenze geomorfologiche di superficie

Per ognuna delle strutture sismogenetiche individuate attraverso l'analisi della sismicità recente e/o indicate all'interno delle banche dati di riferimento (ITHACA e DISS) è stato effettuato uno studio indirizzato all'individuazione di eventuali evidenze geomorfologiche di superficie. In una prima fase, tale analisi è stata eseguita utilizzando i modelli digitali del terreno (DEM) a 5m o, laddove disponibili, a 1m. Successivamente, per ogni struttura è stata effettuata una ricerca bibliografica dei lavori scientifici riportanti informazioni utili relativi alle strutture in esame, basate su campagne di rilevamento sul terreno, analisi geostrutturali e modelli tettonici. Come già sottolineato, le informazioni raccolte in questa fase sono state utilizzate per implementare, se necessario, l'analisi dei dati sismici.

### 4 - Compilazione di una banca dati contenente le schede relative a ciascuna struttura sismogenetica individuata sul territorio regionale

Sulla base dei risultati ottenuti nelle precedenti fasi di lavoro sono state compilate delle schede di dettaglio per ognuna delle strutture sismogenetiche individuate sul territorio regionale. Tali schede costituiscono il risultato finale dello studio. Ogni scheda contiene tutte le informazioni disponibili, sulla base delle conoscenze attuali, che possono essere utilizzate per il riconoscimento a scala regionale delle FAC presenti sul territorio ligure secondo le *“Linee Guida Nazionali per la gestione del territorio interessate da FAC”*.

Per la compilazione delle schede, sono stati presi in considerazione anche gli studi di Microzonazione Sismica di I livello (MS1) validati e disponibili presso la banca dati regionale. In questa fase di raccolta e analisi degli studi di MS1 è stata verificata la presenza di eventuali FAC all'interno delle Carte Geologico Tecniche (i.e., presenza di FPAC) e nelle mappe delle MOPS (i.e., presenza di FAC) al fine di controllarne la compatibilità con quanto derivato dal presente studio e fornirne indicazione all'interno delle schede.

La compilazione delle schede è stata effettuata considerando due casistiche distinte:

- Le FAC indicate in ITHACA: per ognuna delle strutture presenti su questa banca dati è stata compilata una scheda riportante le informazioni bibliografiche disponibili, le caratteristiche sismiche, in termini di sismicità recente e storica, ottenute attraverso le analisi effettuate durante la fase 2 (numero, caratteristiche e distribuzione dei terremoti associabili alla struttura e, se disponibili, i meccanismi focali) e l'indicazione delle informazioni utili per la definizione delle condizioni necessarie all'individuazione di una FAC secondo i criteri indicati nelle Linee Guida.
- Le strutture sismogenetiche a cui è associata una sismicità recente (post-1982) ma non presenti nel database ITHACA: tali strutture, definite sulla base dell'analisi della sismicità recente (i.e., famiglie sismogenetiche), sono state analizzate indicando, per ciascuna, le informazioni bibliografiche disponibili, le caratteristiche sismiche in termini di sismicità recente e storica (numero, caratteristiche e distribuzione dei terremoti associabili alla struttura, caratteristiche del “best fitting plane” e, se disponibili, i meccanismi focali), e l'indicazione delle informazioni utili per la definizione delle condizioni necessarie all'individuazione di una FAC secondo i criteri indicati nelle Linee Guida.

## **5 - Elaborazione delle informazioni raccolte in ambiente GIS e realizzazione di cartografia in formato raster/vettoriale georiferita seguendo gli standard informatici indicati dalla Regione Liguria.**

La banca dati contenenti le informazioni relative alle strutture sismo genetiche analizzate nell'ambito del presente lavoro e della relativa cartografia è stata inserita all'interno di un Sistema Informativo Geografico (GIS) utilizzando il software QGIS.

Il materiale di studio e la relativa cartografia sono consultabili alla pagina regionale dedicata alla Microzonazione sismica del sito ufficiale della Regione Liguria - Servizi online, all'indirizzo <https://servizi.regione.liguria.it/page/welcome/SISMICA>.

## **RISULTATI**

Come precedentemente indicato, una FAC può essere definita tale SE e SOLO SE almeno due delle tre condizioni minime, sotto elencate, risultino verificate.

- L'area oggetto dello studio di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con Mw >5.5 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPT15).
- La letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche.
- Sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

In accordo con quanto stabilito negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno.

Una faglia potenzialmente attiva e capace (FPAC) è invece visibile in terreni di cui non è possibile, sulla base delle informazioni disponibili, effettuare una datazione precisa ma che mostri almeno un coinvolgimento dei terreni del Pleistocene medio-superiore.

**Questo criterio di individuazione delle eventuali FAC in Liguria è di difficile applicazione in quanto la geologia regionale è dominata da terreni non recenti e mancano informazioni sull'età delle evidenze morfologiche di superficie associabili a faglie.** Inoltre in letteratura non sono presenti studi in cui vengono presentate analisi geologiche/morfostrutturali finalizzate

all'individuazione di tracce di dislocazioni della superficie collegabili a terremoti storici particolarmente importanti.

Pertanto, a scala regionale, le strutture potenzialmente sismogenetiche sono state individuate all'interno delle aree sismicamente attive attraverso un'attenta analisi della sismicità recente e storica utilizzando sia i Cataloghi Storici disponibili in bibliografia (es: CPT11 e CPT15) sia il bollettino della rete RSNI (Regional Seismic network of Northwestern Italy, [www.distav.unige.it/rsni](http://www.distav.unige.it/rsni)) che raccoglie le localizzazioni dei terremoti dal 1982 ad oggi. Consultando la letteratura scientifica disponibile è stata eseguita una raccolta bibliografica di tutte le informazioni inerenti le strutture tettoniche presenti in queste aree. Inoltre, lo studio e l'interpretazione di modelli digitali di terreno hanno fornito ulteriori informazioni e vincoli di carattere geomorfologico.

L'applicazione di tale metodologia ha consentito di individuare in Liguria quattordici zone sismogenetiche (riportate in **Tabella 1**) e, per ogni zona sismogenetica, sono state individuate le principali strutture tettoniche (i.e., sistemi di faglie) ivi presenti e le sorgenti sismiche ad esse potenzialmente collegabili. Per ogni zona, è stata realizzata una scheda contenente tutte le informazioni raccolte ed elaborate dal Gruppo di Lavoro. Le schede monografiche relative a ciascuna zona sono consultabili alla pagina regionale dedicata alla Microzonazione sismica del sito ufficiale della Regione Liguria - Servizi online, all'indirizzo <https://servizi.regione.liguria.it/page/welcome/SISMICA>.

Le strutture tettoniche individuate all'interno delle quattordici zone sismogenetiche sono state analizzate al fine di definirne i caratteri propri delle FAC, secondo i seguenti criteri:

- segnalazione della struttura all'interno delle banche dati di riferimento per le FAC (DISS e ITACHA) e/o in articoli scientifici o report pubblicati;
- giudizio esperto da parte del Gruppo di Lavoro del DISTAV sulla base delle informazioni disponibili (e.g., studi di sismicità strumentale recente e storica, dati di bibliografia, aspetti geomorfologici di superficie).

Sulla base della sismicità storica, appare evidente che le aree più importanti dal punto di vista sismico, ove sono avvenuti terremoti con magnitudo superiore a 5.5, sono il ponente ligure, come confermato anche dalle osservazioni storiche riportate nel catalogo "CEDIT" relative ai "ground cracks", e l'estremo levante. Degna di nota è anche l'area che interessa i Comuni di Santo Stefano d'Aveto e Rezzoaglio, recentemente interessata da alcune sequenze sismiche di medio-bassa energia ( $M_L < 5.5$ ). Pertanto tra le quattordici zone sismogenetiche analizzate, sono state selezionate sei zone sismogenetiche più importanti. Tali zone sono in seguito elencate (per i dettagli si veda la **Tabella 2**):

- **I\_PTF** (Pigna-Taggia Fault System)
- **I\_VMF** (Valle del Magra Fault System)
- **EXT-PON** (Estremo Ponente ligure fault system)
- **I\_SPF** (Spezia Fault System)
- **BSP** (Bolano-Spezia fault System)
- **I\_VDAF** (Val d'Aveto Fault System)

Sulla base delle analisi effettuate in questo lavoro, *si ritiene che le strutture tettoniche individuate all'interno delle sopracitate sei zone sismogenetiche (vedi Tabella 2) siano considerate nell'ambito degli studi di MS di Livello I come FPAC "faglie potenzialmente attive e capaci", in attesa di ulteriori approfondimenti. Tali FPAC dovranno essere quindi cartografate SOLO nella Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT-MS).*

***Si specifica che, sulla base delle conoscenze acquisite in questo studio, le strutture tettoniche individuate all'interno delle restanti otto zone sismogenetiche (vedi Tabella 1) non presentano caratteristiche tali da risultare significative ai fini di studi di MS.***

In questo studio le FPAC sono state definite utilizzando quanto attualmente riportato nei fogli geologici del Progetto CARG e/o nelle Carte Geologiche Regionali.

Allo stato attuale, la proposta di escludere la presenza di FAC in Liguria deriva dal fatto che le strutture tettoniche individuate all'interno delle zone sismogenetiche non soddisfano le condizioni minime indicate nelle Linee Guida FAC 2015. Per le strutture tettoniche individuate nel presente lavoro sono assenti dati, analisi e studi di dettaglio che permettano di stabilirne l'effettiva "capacità" di rompere la superficie.

***Per le strutture tettoniche individuate all'interno delle sei zone sismogenetiche elencate in Tabella 2 e interpretate dal Gruppo di Lavoro come FPAC, sulla base delle indicazioni nelle Linee Guida FAC 2015, non è prevista alcuna zonazione nella carta MS di Livello I. Per tali strutture tettoniche, opportune indagini integrative future potranno essere effettuate nell'ambito di studi di MS di Livello III.***

Nel dettaglio, l'accertamento delle caratteristiche geologiche e geometriche delle strutture dovrà essere definito a seguito di studi di MS di Livello III attraverso l'esecuzione e interpretazione di indagini integrative in grado di:

- valutarne l'attività in tempi recenti (e.g., indagini paleosismologiche e datazioni dei terreni deformati);
- localizzare *de visu* (direttamente in trincea e/o su sezioni geofisiche) la traccia in superficie della faglia attiva e capace;
- definire la massima dislocazione attesa in superficie, la magnitudo attesa ed il tempo di ricorrenza della faglia;
- stabilire la geometria della faglia, utilizzando diversi approcci in caso si operi in condizioni post-evento, per esempio con riferimento a sistemi di monitoraggio degli spostamenti/cedimenti differenziali.

Nelle figure seguenti (figure da 8 a 13) le strutture tettoniche presenti all'interno delle sei zone sismogenetiche individuate nell'ambito del presente lavoro (vedi **Tabella 2**) vengono rappresentate su base cartografica, distinguendo le faglie principali (P, linee rosse continue), riferite ai supposti piani di rottura principali, e le faglie secondarie (S, linee rosse tratteggiate), ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Per ogni FPAC viene inoltre riportata una zona di attenzione con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.

In Appendice 1 vengono riportate le indicazioni fornite nel documento "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (2015) Versione 1.0" in relazione alla tipologia di indagini da effettuarsi nell'ambito di MS di Livello III finalizzate allo studio di una FAC.

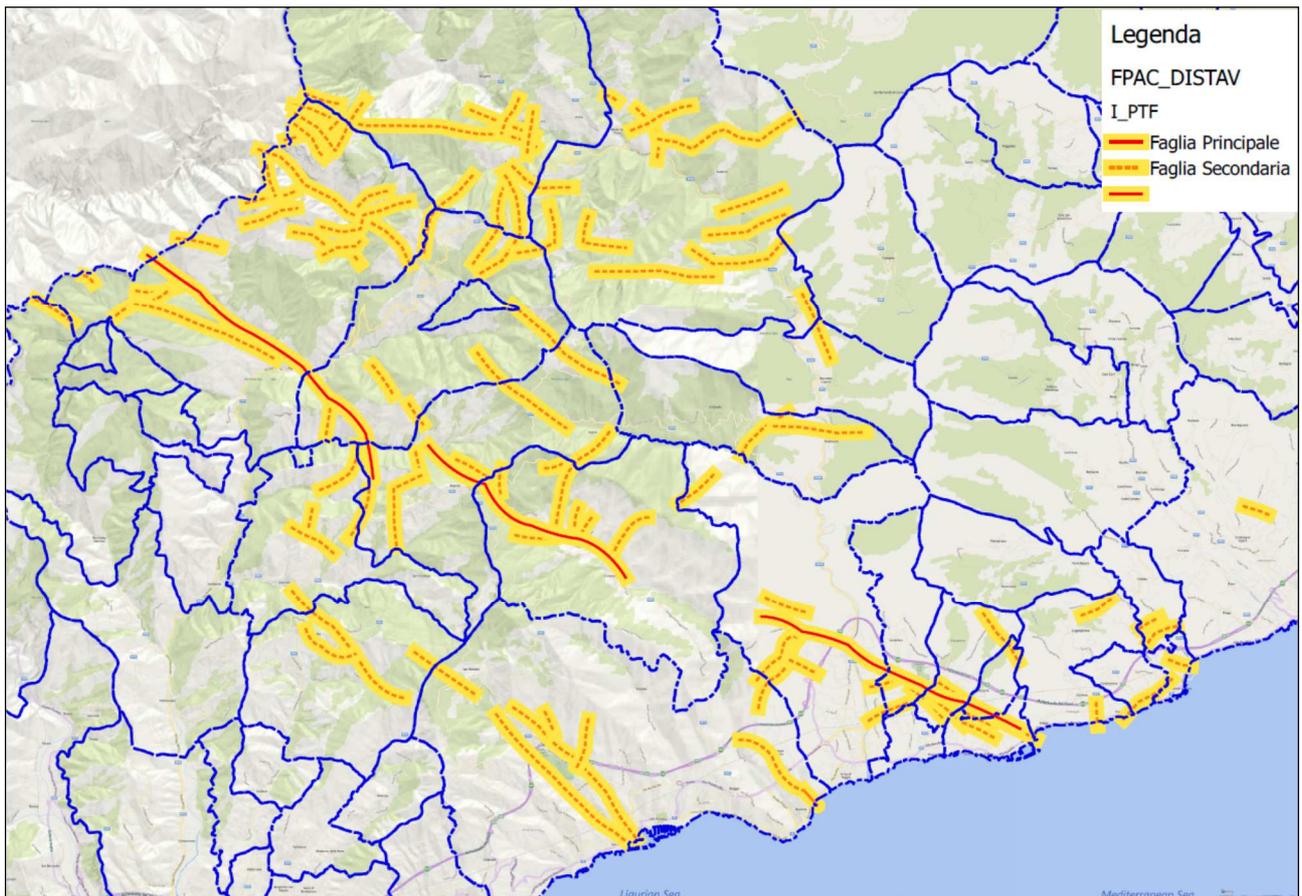
<b>Zone Simogenetiche</b>	<b>Indicata in DISS o ITHACA</b>	<b>Note</b>
<b>I_PTF</b>	SI	vedere tabella 2
<b>I_VMF</b>	SI	vedere tabella 2
<b>I_VDAF</b>	SI	vedere tabella 2
<b>I_SPF</b>	SI	vedere tabella 2
<b>BSP</b>	SI	vedere tabella 2
<b>EXT-PON</b>	SI	vedere tabella 2
I_VDV (area Val di Vara)	SI	Faglie indicate in Ithaca ma, sulla base dei risultati ottenuti nel presente lavoro, non soddisfano nessuna delle condizioni minime definite all'interno delle Linee Guida FAC (2015)
VLT (provincia di Genova, Rossiglione-Voltaggio)	NO	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di medio-bassa energia
TDF (Ponente ligure, Triora-Diano Marina)	NO	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di medio-bassa energia
CFF (Ponente Ligure, Calizzano-Finale)	SI	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di medio-bassa energia
CCF (Entroterra ponente ligure, Cairo-Cengio)	NO	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di medio-bassa energia
NAF (Ponente ligure, Nasino-Albenga)	NO	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di bassa energia
MCF (Entroterra ponente ligure, Murialdo-Cairo)	NO	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di medio-bassa energia
VCF (Ponente ligure, Varazze-Cogoleto)	SI	Struttura sismicamente attiva ma caratterizzata da una sismicità di bassa energia.

**Tabella 1** – Zone sismogenetiche in Liguria. In grassetto sono indicate le zone sismogenetiche selezionate nell'ambito del presente lavoro per le quali si rimanda alla Tabella 2 (vedi testo per dettagli)

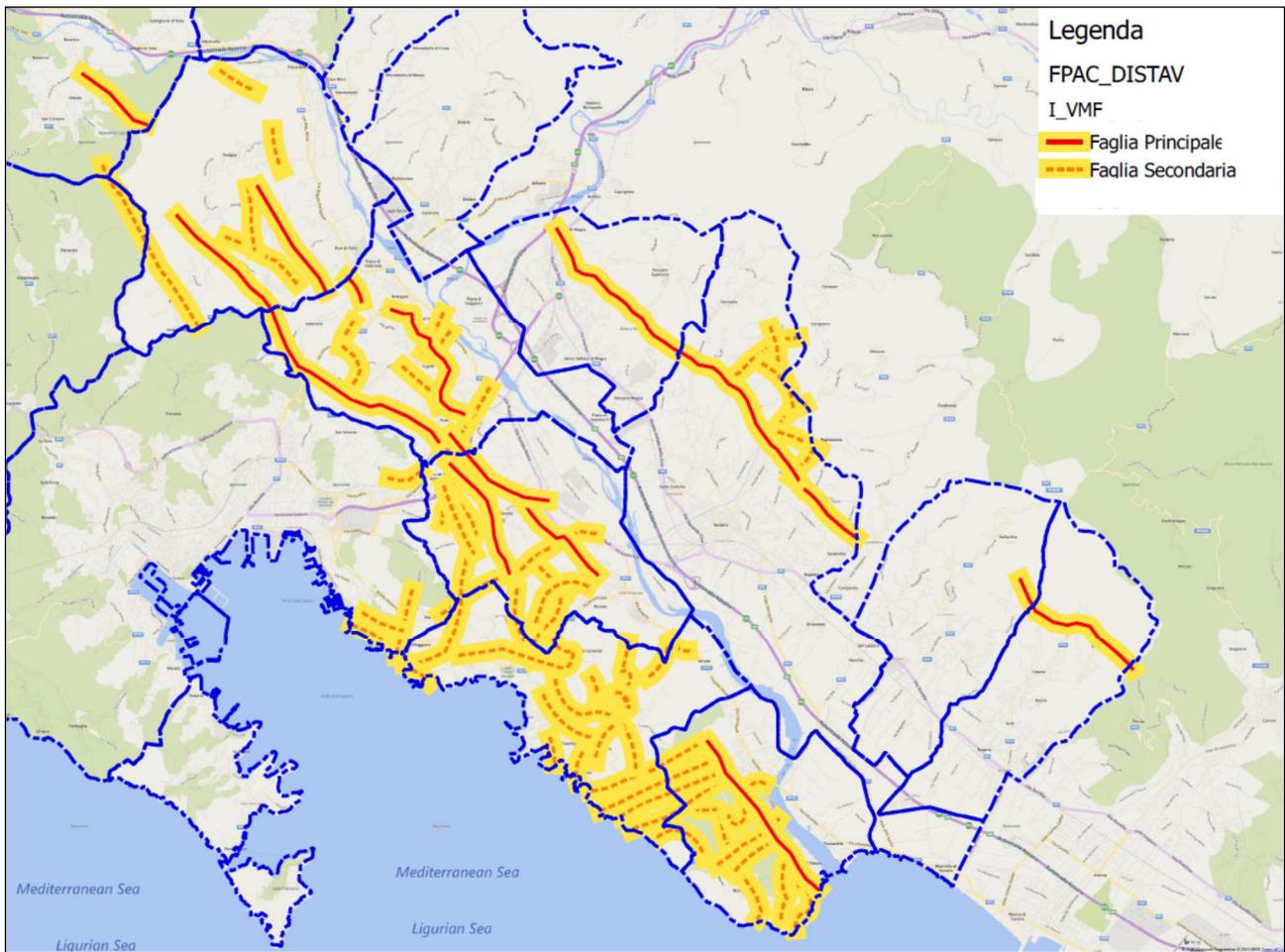
ID	Zone sismogenetiche	Indicata in DISS e/o ITHACA	Sismicità recente (1980 – 2018)	Condizioni preliminari per l'individuazione di una FAC	Comuni interessati
1	I_PTF (Pigna-Taggia Fault system)	SI	SI (oltre 500 terremoti con MI max = 4.1)	<u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> SI (l'evento del 1887 presenta differenti ipotesi di localizzazione all'interno dei CPTI; una di queste è compatibile con una struttura in terra) <u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> NO (non sono disponibili informazioni circa la visibilità della faglia in formazioni recenti databili) <u>Indicazioni in Studi MS:</u> NON NOTO (la MS di Livello I del Comune di Pigna e di Taggia riportano ZAFAC derivate da Ithaca e non da studi di dettaglio)	Santo Stefano al mare Terzorio Castellaro Pompeiana Taggia Ceriana Bajardo Castel Vittorio Pigna (Cipressa – Sanremo – Imperia – Badalucco – Montalto Ligure – Molini di Triora – Triora – Perinaldo – Apricale – Rocchetta Nervina)
2	I_VMF (Valle del Magra Fault system)	SI	SI (oltre 150 eventi con MI max = 4.1)	<u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> NO (terremoti storici con magnitudo > 5.5 sono presenti in Toscana settentrionale) <u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> NON NOTO (non sono disponibili informazioni circa la visibilità della faglia in formazioni recenti databili) <u>Indicazioni in Studi MS:</u> NON SEGNALATO	Ameglia Arcola Santo Stefano di Magra Follo Beverino Vezzano Ligure Castelnuovo Luni Ortonovo (Lerici – La Spezia – Riccò del Golfo di Spezia)
3	EXT-PON (Estremo Ponente ligure fault system)	SI	SI (sequenza del 1995 con MI max = 4.7)	<u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> NON NOTO (l'area è stata storicamente colpita da eventi con Mw > 5.5 la cui localizzazione risulta molto incerta) <u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> NO (non disponibili informazioni circa la visibilità della faglia in formazioni recenti databili) <u>Indicazioni in Studi MS:</u> NON SEGNALATO	Ventimiglia Airole Olivetta San Michele (Seborga – Vallebona – Vallecrosia – Camporosso – Perinaldo – Dolceacqua – Rocchetta Nervina)
4	I_SPF (Spezia Fault)	SI	NO	<u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> NO (terremoti storici con magnitudo > 5.5 sono presenti in Toscana settentrionale)	Portovenere La Spezia

	System)			<p><u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> NON NOTO (non sono disponibili informazioni circa la visibilità della faglia in formazioni recenti databili)</p> <p><u>Indicazioni in Studi MS:</u> NON NOTO (la CGT – MS di Livello I del Comune di La Spezia riporta una FPAC derivata da Ithaca e non da studi di dettaglio)</p>	Riccò del Golfo di Spezia Beverino Pignone Borghetto di Vara Carrodano (Riomaggiore – Vernazza – Monterosso)
5	BSP (Bolano-Spezia fault system)	SI	SI (oltre 100 eventi)	<p><u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> NO (terremoti storici con magnitudo &gt; 5.5 sono presenti in Toscana settentrionale)</p> <p><u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> NON NOTO (non sono disponibili informazioni certe relative alle strutture presenti nella zona)</p> <p><u>Indicazioni in Studi MS:</u> NO</p>	La Spezia Bolano Vezzano Ligure Follo Santo Stefano di Magra (Beverino)
6	I_VDAF (Val d'Aveto Fault system)	SI	SI (oltre 300 eventi con MI max = 4.1)	<p><u>Terremoti storici con Mw &gt; 5.5:</u> NO</p> <p><u>Dati di Letteratura riportanti la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche:</u> SI? (ma non informazioni certe circa la visibilità della faglia in formazioni recenti databili)</p> <p><u>Indicazioni in Studi MS:</u> NO</p>	Rezzoaglio Montebruno Fontanigorda (Borzonasca – Santo Stefano d'Aveto – San Colombano Cernetoli – Lorsica – Favale di Malvaro – Moconesi – Rovegno – Rondanina)

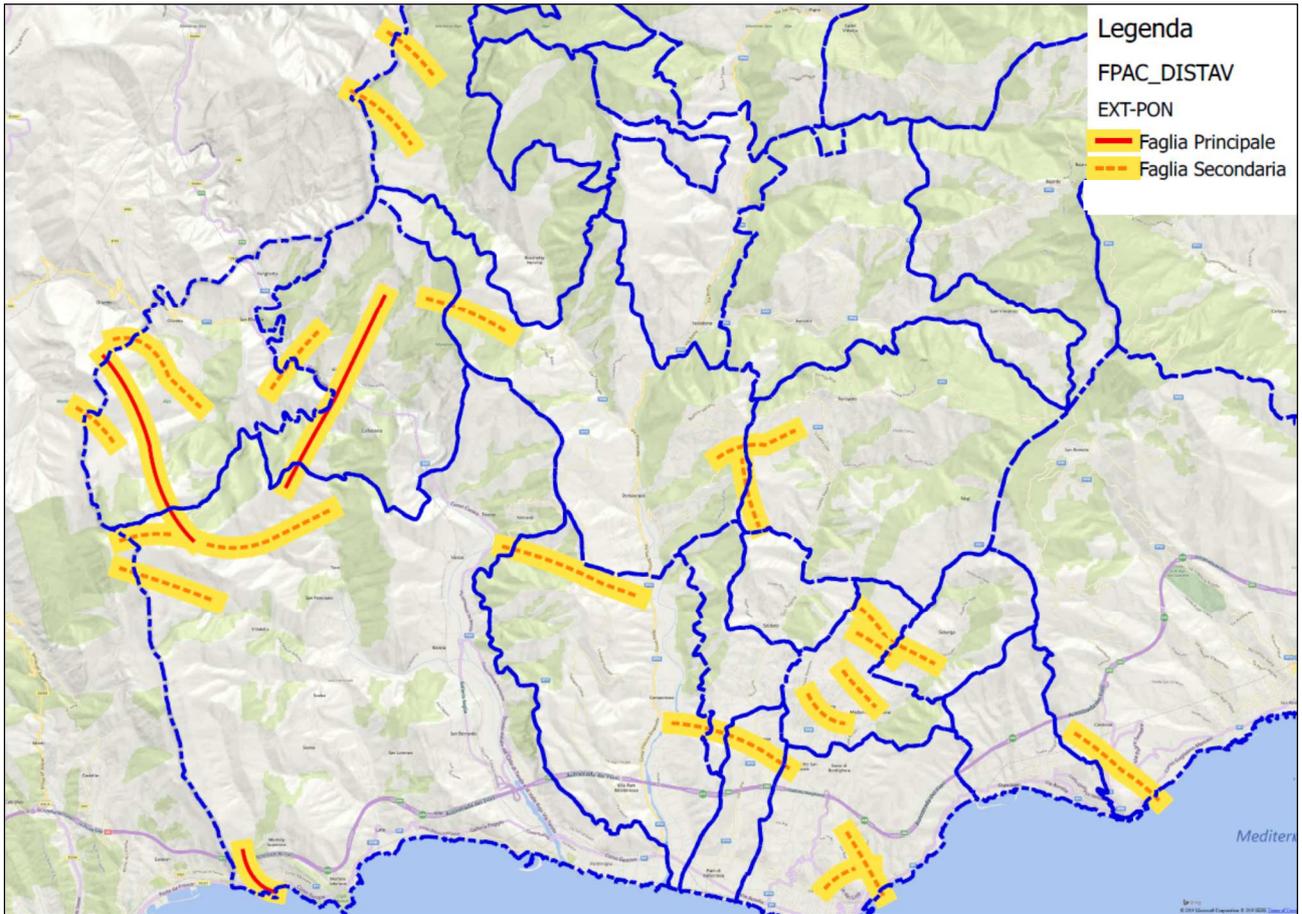
**Tabella 2** - Zone sismogenetiche selezionate in base ai criteri proposti dal Gruppo di Lavoro. Le strutture tettoniche (i.e., sistemi di faglie) individuate all'interno delle zone sismogenetiche dovranno essere riportate come FPAC nelle Carte Geologico Tecniche allegate agli studi di MS di Livello I (CGT-MS). I comuni elencati in parentesi sono interessati solo da strutture secondarie



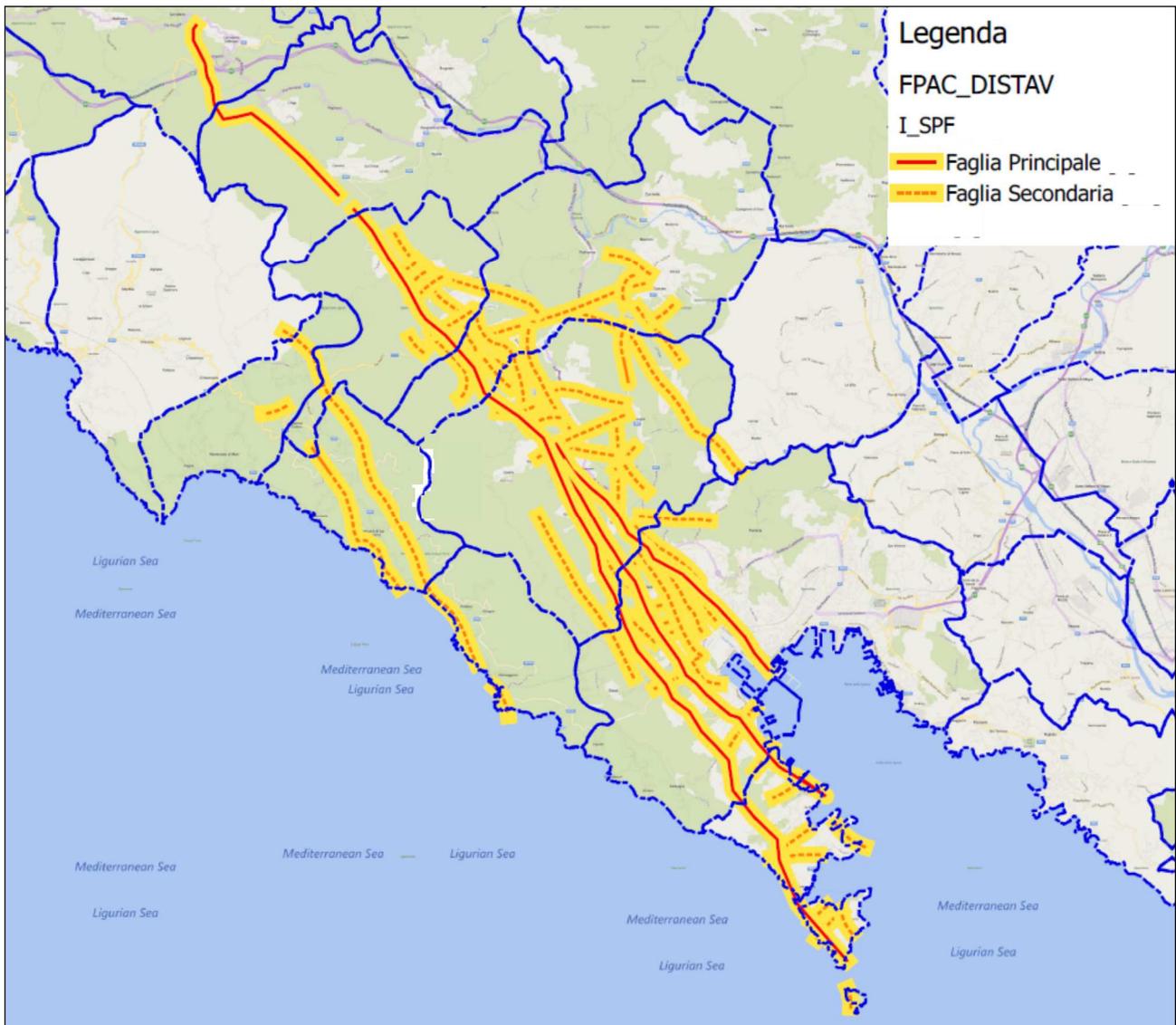
**Figura 8 – zona sismogenetica I\_PTF. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**



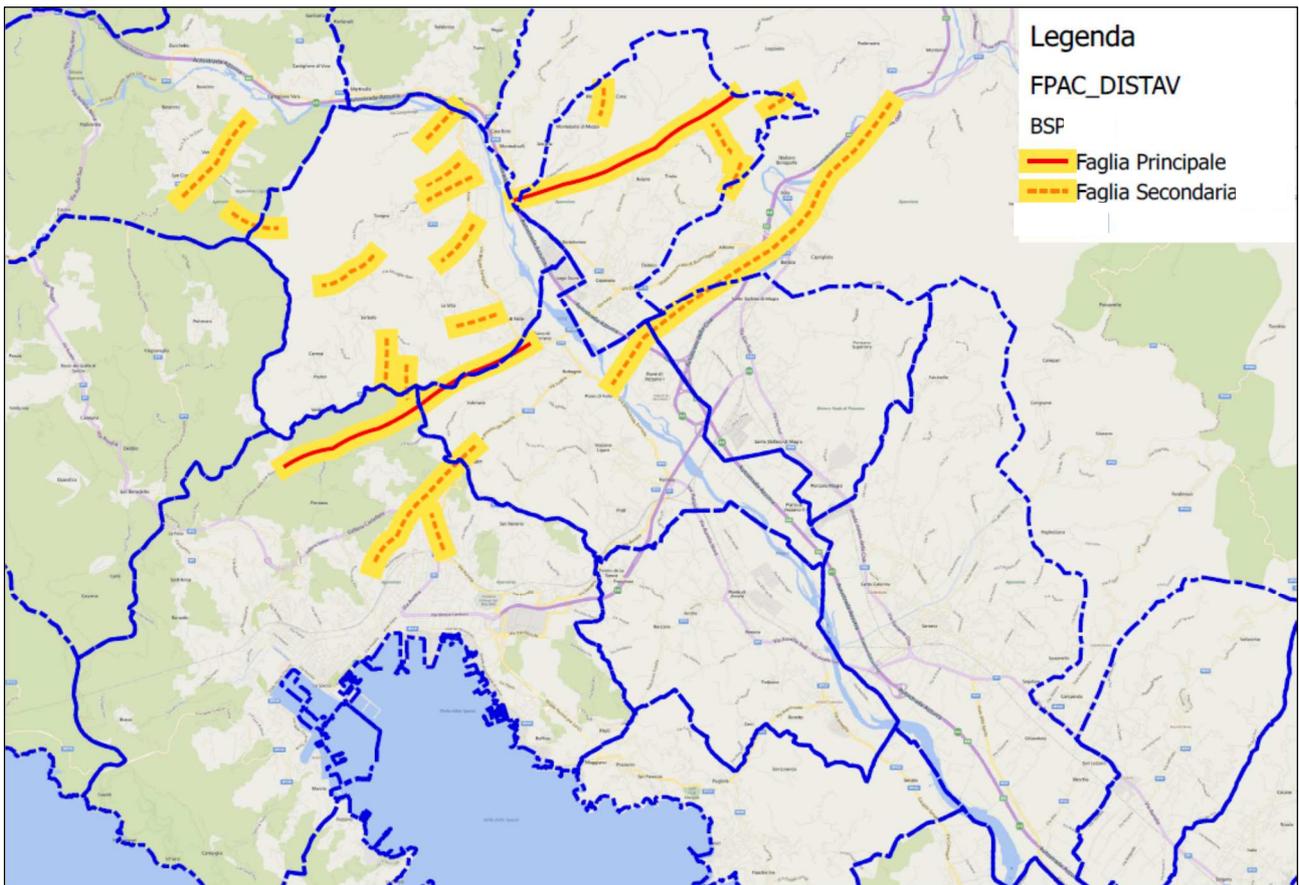
**Figura 9 – zona sismogenetica I\_VMF. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**



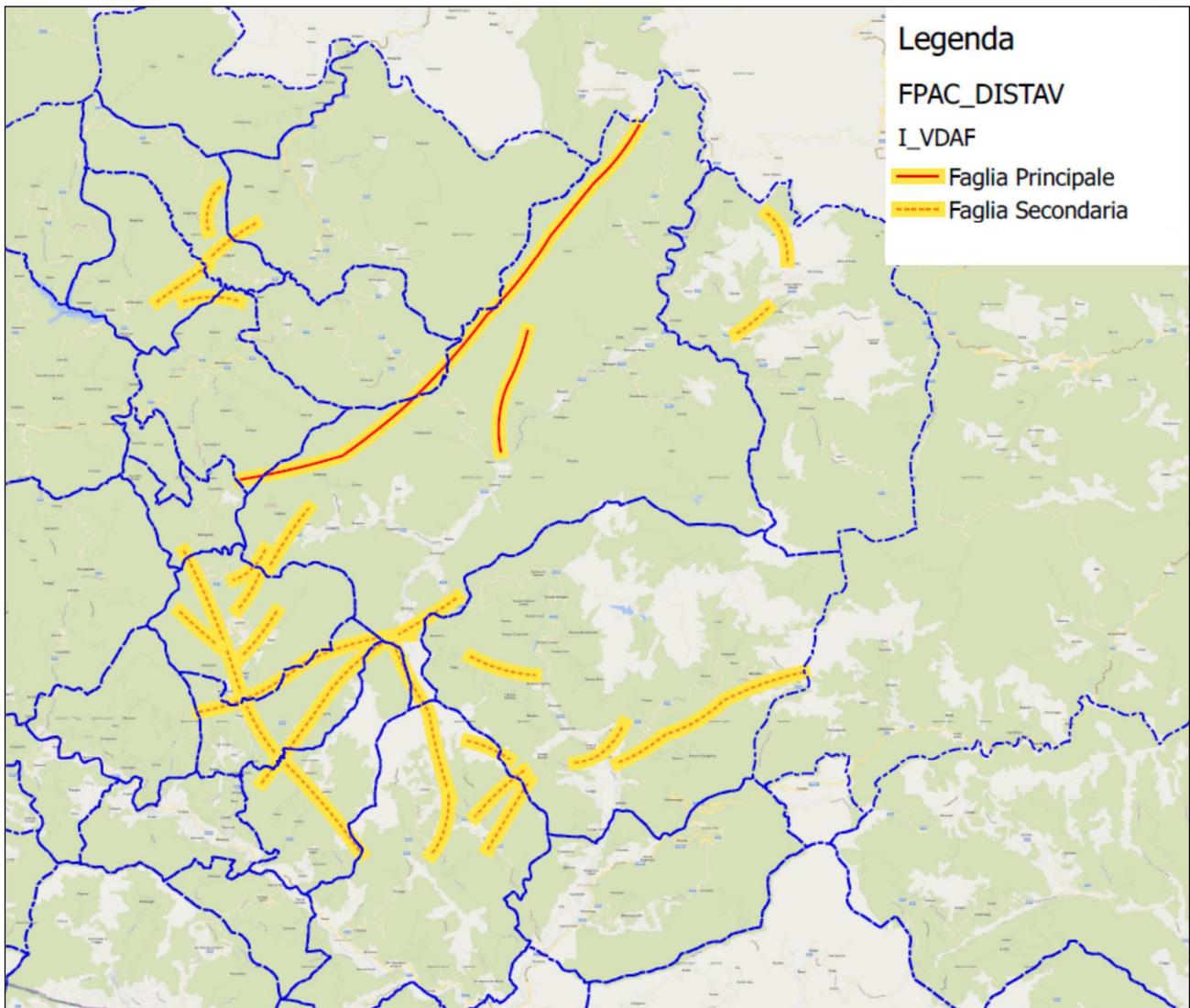
**Figura 10 – zona sismogenetica EXT-PON. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**



**Figura 11 – zona sismogenetica I\_SPF. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**



**Figura 12 – zona sismogenetica BSP. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**



**Figura 13 – zona sismogenetica I\_VDAF. Le linee rosse continue indicano le faglie principali, riferite ai supposti piani di rottura principali; le linee rosse tratteggiate indicano le faglie secondarie ovvero le strutture secondarie potenzialmente in grado di produrre deformazioni del terreno che si accompagnano al piano di rottura principale. Le aree gialle indicano, per ogni faglia, una zona con larghezza pari a 400m (200m + 200m) a cavallo della traccia in superficie.**

## BIBLIOGRAFIA

### Testi e banche dati

R.Basili, V. D'Amico, C. Meletti e G. Valensise, 2017. Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe.. Circolare DG Dighe 27 settembre 2017, n.21530

Comerci, V., et al., 'ITHACA Project and Capable Faults in the Po Plain (Northern Italy)', *Ingegneria Sismica: Special Issue, Seismic risk in the Po Plain*, 1-2 (2013) 36–50.

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05

Michetti, A.M., Serva, L., Vittori, E., ITHACA (Italy Hazard from Capable Faulting), A Database of Active Capable Faults of the Italian Onshore Territory, Internal Report of Agenzia Nazionale Protezione Ambiente, Rome (2000), CD-ROM.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI11>

### Articoli Scientifici

#### *Bibliografia Ponente Ligure (e.g., Saorge-Taggia fault system)*

Decarlis A., M.Maino, G. Dallagiovanna, A. Lualdi, E. Masini, S. Seno, G. Toscani. Salt tectonics in the SW Alps (Italy–France): From rifting to the inversion of the European continental margin in a context of oblique convergence. 2014. *Tectonophysics* 636 (2014) 293–314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.09.003>

Victorien Bauve, Romain Plateaux, Yann Rolland, Guillaume Sanchez, Nicole Bethoux, Bertrand Delouis, Romain Darnault. Long-lasting transcurrent tectonics in SW Alps evidenced by Neogene to present-day stress fields. 2014. *Tectonophysics* 621 (2014) 85–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.02.006>

Guillaume Sanchez, Yann Rolland, Dimitri Schreiber, Gérard Giannerini, Michel Corsini, Jean-Marc Lardeaux. The active fault system of SW Alps. 2010. *Journal of Geodynamics* 49 (2010) 296–302. doi:10.1016/j.jog.2009.11.009

Sebastien Migeon, Antonio Cattaneo, Virginie Hassoun, Christophe Larroque, Nicola Corradi, Francesco Fanucci, Alexandre Dano, Bernard Mercier de Lepinay, Françoise Sage, Christian Gorini. Morphology, distribution and origin of recent submarine landslides of the Ligurian Margin (North-western Mediterranean): some insights into geohazard assessment. 2011. *Mar Geophys Res.* DOI 10.1007/s11001-011-9123-3

F. Courboulex, A. Deschamps, M. Cattaneo, F. Costi, J.De´verchere, J. Virieux, P. Augliera, V. Lanza, D. Spallarossa. Source study and tectonic implications of the 1995 Ventimiglia (border of Italy and France) earthquake (ML = 4.7). 1998. *Tectonophysics* 290 (1998) 245–257.

Chiara Turino, Davide Scafidi, Elena Eva, Stefano Solarino. Inferences on active faults at the Southern Alps–Liguria basin junction from accurate analysis of low energy seismicity. 2009. *Tectonophysics* 475 (2009) 470–479. doi:10.1016/j.tecto.2009.06.007

Christophe Larroque, Bertrand Delouis, Béline Godel, Jean-Mathieu Nocquet. Active deformation at the southwestern Alps–Ligurian basin junction (France–Italy boundary): Evidence for recent change from

compression to extension in the Argentera massif. 2009. *Tectonophysics* 467 (2009) 22–34. doi:10.1016/j.tecto.2008.12.013

Nicole Béthoux, Thomas Theunissen, Marie-Odile Beslier, Yvonne Font, François Thouvenot, Jean-Xavier Dessa, Soazig Simon, Gabriel Courrioux, Antonio Guillen. Earthquake relocation using a 3D a-priori geological velocity model from the western Alps to Corsica: Implication for seismic hazard. 2016. *Tectonophysics* 670 (2016) 82–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.12.016>

*Bibliografia Levante Ligure (e.g., La Spezia fault system)*

E. Mantovani, M. Viti, D. Babbucci, N. Cenni, C. Tamburelli, A. Vannucchi, F. Falciani G. Fianchisti, M. Baglione, V. D'intinosante, P. Fabbroni. Sismotettonica dell'Appennino settentrionale- Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana. 2011. Stampa Centro stampa Giunta Regione Toscana

G. Molli, M. Carlini, P. Vescovi, A. Artoni, F. Balsamo, F. Camurri, L. Clemenzi, F. Storti, and L. Torelli. Neogene 3-D Structural Architecture of The North-West Apennines: The Role of the Low-Angle Normal Faults and Basement Thrusts. 2018. *Tectonics*. 10.1029/2018TC005057.

Marco Bonini, Giacomo Corti, Dario Delle Donne, Federico Sani, Luigi Piccardi, Gianfranco Vannucci, Riccardo Genco, Luca Martelli, Maurizio Ripepe. Seismic sources and stress transfer interaction among axial normal faults and external thrust fronts in the Northern Apennines (Italy): A working hypothesis based on the 1916–1920 time–space cluster of earthquakes. 2016. *Tectonophysics* 680 (2016) 67–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.04.045>

Franco Marco Elter, Piero Elter, Claudio Eva, Elena Eva, Rita Katharina Kraus, Matteo Padovano, Stefano Solarino. An alternative model for the recent evolution of the Northern–Central Apennines (Italy). 2012. *Journal of Geodynamics* 54 (2012) 55– 63. doi:10.1016/j.jog.2011.11.001.

G. Molli, L. Torelli, F. Storti. The 2013 Lunigiana (Central Italy) earthquake: Seismic source analysis from DInSar and seismological data, and geodynamic implications for the northern Apennines. A discussion. 2016. *Tectonophysics* 668–669 (2016) 108–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.041>.

Elter Franco Marco, Elter Piero, Eva Claudio, Eva Elena, Kraus Rita Katharina, Padovano Matteo, Solarino Stefano. Strike-slip geometry inferred from the seismicity of the Northern-Central Apennines (Italy). *Journal of Geodynamics* 52 (2011) 379– 388. doi:10.1016/j.jog.2011.03.003.

Luca Martelli, Marco Bonini, Lorenzo Calabrese, Giacomo Corti, Giulio Ercolessi, Fabio Carlo Molinari, Luigi Piccardi, Silvia Pondrelli, Federico Sani, Paolo Severi. NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA ED AREE LIMITROFE. 2017. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli

F. Galadini<sup>1</sup>, C. Meletti<sup>2</sup>, E. Vittori. Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. Risultati del progetto 5.1.2 “Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili. 2000. Monografia GNDT.

*Bibliografia Ponente Ligure - Finalese*

Cattaneo M., Augliera P., Spallarossa D., and Eva C. Reconstruction of Seismogenetic Structures by Multiplet Analysis: An Example of Western Liguria, Italy. 1997. *Bulletin of the Seismological Society of America* 87(4):971-986

Francesco Fanucci e Danilo Morelli. RAPPORTI TRA MORFOLOGIA E TETTONICA SUL MARGINE CONTINENTALE LIGURE. 2013. D'Angelo S. e Fiorentino A. (a cura di) 2012. Contributi al Meeting Marino 25-26 ottobre 2012- Atti ISPRA, Roma, 116 pp.

*Bibliografia area Genova (e.g. Sestri-Voltaggio fault system)*

Laura Federico, Laura Crispini, Andrea Vigo, Giovanni Capponi. Unravelling polyphase brittle tectonics through multi-software fault-slip analysis: The case of the Voltri Unit, Western Alps (Italy). 2014. *Journal of Structural Geology* 68 (2014) 175-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2014.09.011>

Crispini L., Federico L., Capponi G., Spagnolo C. Late orogenic transpressional tectonics in the «Ligurian Knot». 2009. *Ital.J.Geosci. (Boll.Soc.Geol.It.)*, Vol. 128, No. 2 (2009), pp. 433-441. DOI: 10.3301/IJG.2009.128.2.433

Luigi Carobene, Andrea Cevasco. A large scale lateral spreading, its genesis and Quaternary evolution in the coastal sector between Cogoleto and Varazze (Liguria — Italy). 2011. *Geomorphology* 129 (2011) 398–411. doi:10.1016/j.geomorph.2011.03.006

Giancarlo Molli, Laura Crispini, Marco Malusà, Pietro Mosca, Fabrizio Piana, Laura Federico. Geology of the Western Alps-Northern Apennine junction area: a regional review. 2010. In: (Eds.) Marco Beltrando, Angelo Peccerillo, Massimo Mattei, Sandro Conticelli, and Carlo Doglioni, *Journal of the Virtual Explorer*, volume 36, paper 9, doi: 10.3809/jvirtex.2009.00215

## APPENDICE 1

(da “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (2015) Versione 1.0”)

Nelle Linee guida FAC (2015) si definiscono 4 gruppi di indagini necessarie per il Livello III di approfondimento (Tab. 1). Queste indagini hanno una sequenzialità temporale e significatività crescente passando dal primo al quarto. Idealmente la sequenza completa fornisce il quadro più dettagliato e certo dell’assetto geologico, strutturale e geometrico della FAC.

Tabella 1 – Gruppi di indagini richieste nella Linee Guida per le FAC (2015).

ID	Gruppo Indagini	Indagini
Ind_1	Analisi aereofotogrammetriche	Foto aeree, ortofoto, modelli digitali del terreno,elaborazioni daLiDAR
Ind_2	Rilievi geologici e geomorfologici	Rilevamenti di campagna e relativa cartografia (scala 1:5000)
Ind_3	Indagini geofisiche e geognostiche	Tomografie di resistività elettrica, sismica a riflessione e rifrazione, Ground PenetratingRadar, sondaggi e saggi
Ind_4	Paleosismologia	Trincee esplorative, trincee paleosismologiche e datazioni dei terreni fagliati

Questo documento specifica il tipo di indagini di superficie e di sottosuolo da condurre per lo studio di una FAC e precedentemente all'eventuale studio paleosismologico (Ind\_1-3). Il risultato richiesto da questa attività di indagine preliminare è la predisposizione di carte per l’individuazione di siti dove si reputa necessario aprire una trincea paleosismologica. Quivi verranno intraprese analisi v-olte alla definizione delle età dei depositi coinvolti nella fagliazione e la successione degli eventi di rottura che li hanno interessati.

Non tutte le indagini indicate possono o devono essere esperite. Inoltre, in casi specifici, potrebbe essere necessario (per motivi scientifici o logistici) estendere alcune analisi al di fuori dei siti in studio.

Di seguito si propone lo schema di relazione illustrativa dello studio preliminare all’eventuale esecuzione di trincee paleosismologiche con la descrizione delle tipologie di indagine richieste .

### 1. Generalità

- a. Obiettivo e scopo delle indagini
- b. Inquadramento geologico, sismologico e sismotettonico
- c. Descrizione dei siti investigati, con indicate le date delle visite. Indicazioni di massima sulle unità litostratigrafiche interessate (terreni sciolti, addensati, roccia, ecc.), sulla vegetazione e altri fattori (topografici, urbanistici, ecc.) che possono condizionare la scelta dei metodi delle indagini e l’interpretazione dei dati

### 2. Raccolta eanalisi della letteratura pubblicata e grigia

- a. Carte con la traccia della faglia attiva e capace riportata in letteratura
- b. Dati di letteratura sull’attività della faglia
- c. Indicazioni sui livelli di incertezza dei risultati

### 3. Analisi e interpretazioni aereofotogrammetriche (foto aeree, ortofoto, DTM, LiDAR, immagini da satellite, ecc.)

- a. Microtopografia della scarpata di faglia attiva e capace, se identificata
- b. Altri lineamenti di possibile origine tettonica
- c. Contrasti di suoli e vegetazione

### 4. Osservazioni di terreno e produzione di carta geologica s.l. alla scala 1:5.000

- a. Rilievi geologici con particolare attenzione ai depositi quaternari
- b. Analisi strutturale, se i terreni coinvolti nella fagliazione lo consentono
- c. Analisi di elementi geomorfologici
- d. Segnalazione di strutture antropiche deformate per eventuali fenomeni di *creep*

#### **5. Indagini geofisiche**

(N.B. Le indagini geofisiche, senza un quadro geologico di dettaglio, non determinano l'assenza di una faglia, né identificano l'attività recente).

- a. Profili di resistività elettrica (ERT)
- b. Profili di sismica a riflessione ad alta risoluzione
- c. Georadar (GPR)
- d. Analisi di rumore

#### **6. Indagini geognostiche e livellazioni**

- a. Livellazioni topografiche di dettaglio della scarpata di faglia, se identificata
- b. Sondaggi per correlazioni e interpretazioni della stratigrafia

#### **7. Conclusioni**

Le conclusioni devono essere chiaramente separate dalla presentazione dei dati e devono essere consistenti e non contraddittorie.

##### **Allegati indispensabili**

- Carta delle indagini

Carta della traccia della faglia attiva e capace, se identificata.