

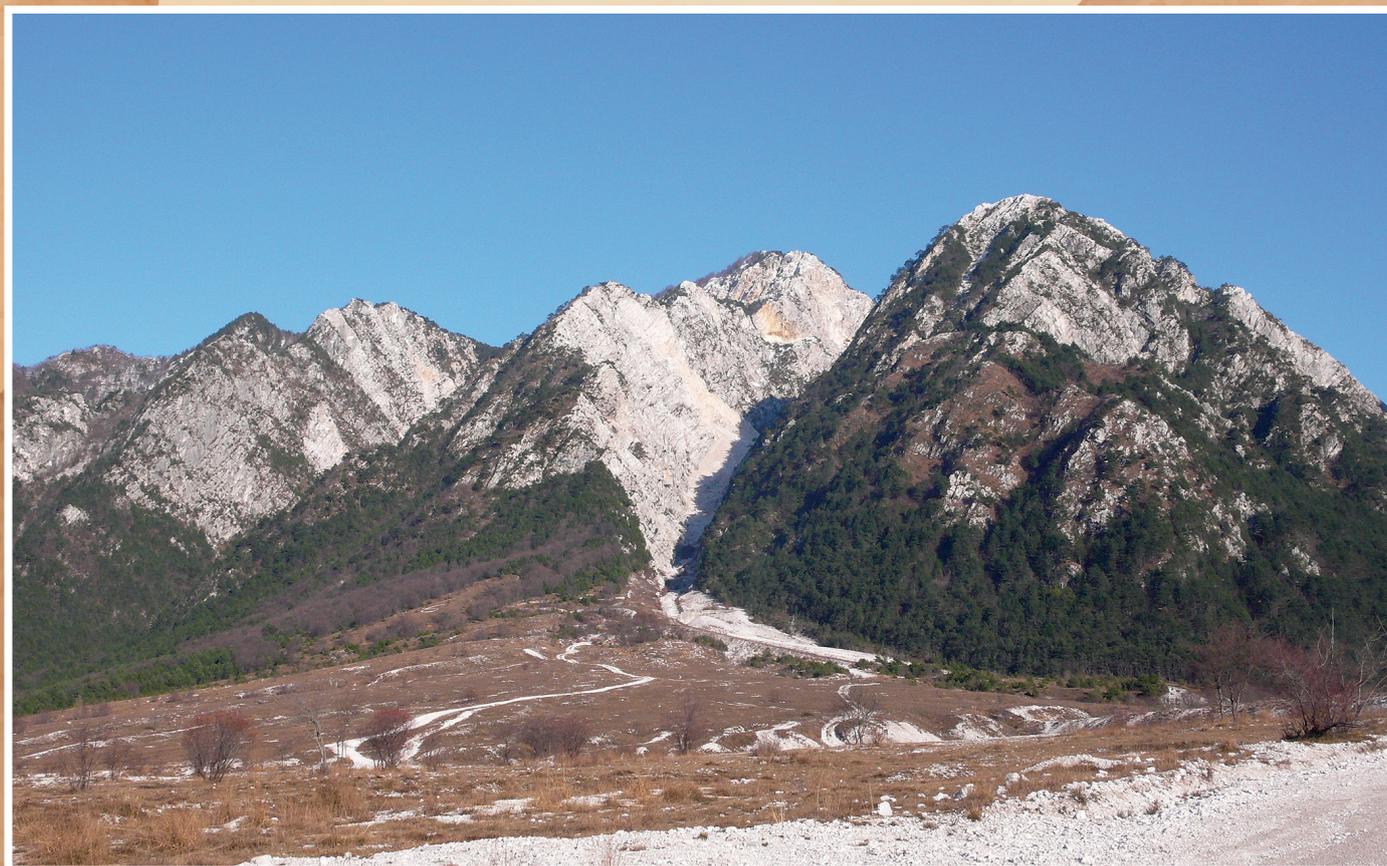


REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA

DIREZIONE CENTRALE DIFESA DELL'AMBIENTE,  
ENERGIA E SVILUPPO SOSTENIBILE

Servizio geologico

# LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DELLA BANCA DATI GEORIFERITA DELLE FAGLIE ATTIVE DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE



OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



	REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
DIREZIONE CENTRALE DIFESA DELL'AMBIENTE, ENERGIA E SVILUPPO SOSTENIBILE	
Servizio geologico	

# **LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DELLA BANCA DATI GEORIFERITA DELLE FAGLIE ATTIVE DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA**



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI UDINE**



**OGS**

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale

***A cura di***

*Lorenzo Bonini, Giulia Areggi e Maurizio Ponton*

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

*Maria Eliana Poli, Andrea Marchesini, Giovanni Paiero e Giulia Patricelli*

Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali, Università degli Studi di Udine

*Martina Busetti, Dario Civile, Michela Dal Cin e Alberto Tamaro*

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS

*Chiara Piano*

Servizio geologico, Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile,  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

***E con la collaborazione di***

*Nicolò Bertone, Anna Del Ben e Gian Andrea Pini*

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

*Adriano Zanferrari*

Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali, Università degli Studi di Udine

*Alessandro Rebez, Marco Santulin e Luigi Sante Zampa*

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS

*Sara Bensi e Giancarlo Massari*

Servizio geologico, Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile,  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

***Da citare come***

*Marchesini A., Poli M.E., Bonini L., Busetti M., Piano C., Dal Cin M., Paiero G., Areggi G., Civile D.,*

*Ponton M., Patricelli G., Tamaro A. e Gruppo di lavoro Faglie attive FVG, 2023.*

*Linee guida per l'utilizzo della banca dati georiferita delle faglie attive della Regione Friuli Venezia Giulia.*

*Servizio Geologico - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 64 pp.*

ISBN 9788894039474

In copertina: l'imponente fascia cataclastica del M. di Ledis, che alimenta l'ampio conoide dei Rivoli Bianchi di Venzone.

Autore: Adriano Zanferrari

Stampato il mese di maggio 2023 presso la "LithoStampa" (UD)

## **Premessa**

*La conoscenza geologica del territorio riveste un'importanza fondamentale per la collettività, in quanto permette di individuare le aree potenzialmente vulnerabili e di definire le azioni necessarie per la loro tutela e gestione in fase pianificatoria evitando di compromettere la stabilità e l'equilibrio del sistema uomo - ambiente.*

*In questo contesto le faglie attive rivestono un particolare ruolo tra le peculiarità geologiche del territorio e necessitano di continui studi geologici accurati e dettagliati, sia per la loro natura occulta, sia per la difficoltà della loro trattazione.*

*Con queste premesse, è stata imprescindibile la scelta di condividere le conoscenze e le risorse tra gli enti di ricerca regionali che si occupano di tale argomento per arrivare ad un risultato congiunto che possa essere esplicativo del complesso quadro strutturale regionale.*

*Così è nata su iniziativa della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, la collaborazione con l'Università degli Studi di Trieste, l'Università degli Studi di Udine e con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste che ha visto rispettivamente il Servizio geologico, il Dipartimento di Matematica e Geoscienze, il Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali e l'OGS operarsi per un unico quinquennale progetto di ricerca applicata atto a raccogliere, definire, mappare e catalogare le faglie attive regionali.*

*Tali i risultati non sarebbero però da soli stati proficui se non fossero stati finalizzati alla diffusione tramite questa pubblicazione e la loro messa a disposizione del vasto pubblico tramite il sito web istituzionale della Regione, fornendo non solo uno strumento fondamentale per gli operatori del settore ma anche un chiaro esempio di sostegno alla cultura della trasparenza e della cooperazione.*

*Un ringraziamento è quanto meno doveroso a tutti quelli che hanno ideato, sostenuto, realizzato e condiviso questo progetto in tutti questi anni.*

*Grazie*

**ing. Fabrizio Fattor**

Direttore del Servizio geologico  
Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



# Sommario

<b>CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE</b> .....	pag. 9
<b>CAPITOLO 2 - LE FAGLIE ATTIVE NEL FRIULI VENEZIA GIULIA</b> .....»	10
2.1 - CONTESTO TETTONICO E SISMICITÀ DEL FRIULI VENEZIA GIULIA .....	11
2.1.1 - <i>Le ricerche sulla tettonica attiva</i> .....	13
2.1.2 - <i>La sismicità</i> .....	13
2.1.3 - <i>La sismicità storica</i> .....	13
2.1.4 - <i>Le reti di monitoraggio sismico del FVG</i> .....	16
2.2 - SVILUPPO DI UNA NOMENCLATURA E CLASSIFICAZIONE PER LA DEFINIZIONE DELLE FAGLIE ATTIVE .....	16
2.2.1 - <i>Definizioni</i> .....	17
<b>CAPITOLO 3 - PROTOCOLLO METODOLOGICO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE FAGLIE ATTIVE</b> .....»	19
3.1- RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI .....	19
3.2 - FOTINTERPRETAZIONE E TELERILEVAMENTO .....	19
3.3 - GEODESIA.....	20
3.4 - ANALISI DI TERRENO .....	20
3.4.1 - <i>Rilevamento delle unità quaternarie e analisi morfotettonica</i> .....	20
3.4.2 - <i>Analisi geologico-strutturale delle strutture affioranti</i> .....	20
3.5 - ANALISI GEOFISICA.....	20
3.5.1 - <i>Analisi e interpretazione di linee sismiche</i> .....	20
3.5.2 - <i>Geofisica di superficie</i> .....	20
3.6 - PALEOSISMOLOGIA.....	21
3.6.1 - <i>Esecuzione di trincee paleosismologiche</i> .....	21
3.7 - MODELLAZIONE CINEMATICA.....	21
3.8 - SISMOLOGIA STORICA E STRUMENTALE .....	21
<b>CAPITOLO 4 - ORGANIZZAZIONE DEL GEODATABASE DELLE FAGLIE ATTIVE</b> .....	22
4.1 - INTRODUZIONE .....	22
4.2 - IL DATABASE BIBLIOGRAFICO.....	23
4.2.1 - <i>Tabella "Inventario"</i> .....	24
4.2.2 <i>Tabella "Bibliografia"</i> .....	28
4.3 - "INDIZIO" .....	28
4.3.1 - <i>Introduzione</i> .....	28
4.3.2 - <i>Tabella "Faglie attive_indizi"</i> .....	29
4.3.3 - <i>Shapefile "Faglie attive_indizi"</i> .....	30
4.3.4 - <i>Shapefile "Faglie attive_indizi_linee_indeterminatezza"</i> .....	30
4.4 - "TRATTO" .....	31
4.4.1 - <i>Introduzione</i> .....	31
4.4.2 - <i>Tabella "Faglie attive_tratti"</i> .....	31
4.4.3 - <i>Shapefile "Faglie attive_tratti"</i> .....	33
4.4.4 - <i>Tabella "Faglie attive_R_indizi_tratti"</i> .....	33
4.5 - "ANAGRAFICA" .....	34
4.5.1 - <i>Introduzione/definizione</i> .....	34
4.5.2 - <i>Tabella "Faglie attive_anagrafica"</i> .....	34
4.5.3 - <i>Rappresentazione cartografica della mappa delle faglie attive (vedi allegato C)</i> .....	34
4.5.4 - <i>"Indice di attendibilità geometrica"</i> .....	35
4.6 - SCHEMA CONCETTUALE DELL'ORGANIZZAZIONE DEL GEODATABASE DELLE FAGLIE ATTIVE .....	35
<b>CAPITOLO 5 - ESEMPI DI COSTRUZIONE DELLA MAPPA DELLE FAGLIE ATTIVE</b> .....	46
5.1 - ESEMPIO 1 .....	49
5.3 - ESEMPIO 3.....	52
5.4 - ESEMPIO 4.....	53
<b>CAPITOLO 6 - RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA</b> .....	56
<b>ELENCO ALLEGATI</b> .....	60



# Capitolo 1

## INTRODUZIONE

La necessità di avere uno strumento che rappresenti la sintesi delle conoscenze riguardanti l'attività dei principali lineamenti tettonici del territorio regionale, e che sia pubblicamente disponibile, ha motivato il Servizio Geologico della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, a promuovere il progetto per la redazione della "Banca dati georiferita delle Faglie Attive" (di seguito *geodatabase delle faglie attive*).

Per la realizzazione del *geodatabase delle faglie attive*, sono stati coinvolti, attraverso una serie di Accordi Attuativi definiti tra dicembre 2016 e novembre 2021, il Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali dell'Università degli Studi di Udine, il Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste, e l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale.

Il *geodatabase delle faglie attive* ha permesso di raccogliere e armonizzare in un unico strumento informatico le conoscenze riguardanti le strutture tettoniche presenti sul territorio regionale, considerando i prodotti cartografici esistenti derivanti dai progetti CARG e GEO-CGT, i lavori scientifici pubblicati e i dati inediti messi a disposizione dai partner di progetto. Inoltre, per la revisione dell'interpretazione delle strutture tettoniche nel sottosuolo della Pianura Friulana, sono stati utilizzati anche i dati geofisici di sismica multicanale e i pozzi di esplorazione industriale acquisiti e messi a disposizione da ENI. Il *geodatabase* contiene le faglie ritenute rilevanti, quindi non è esaustivo di tutte le strutture esistenti, in particolare di quelle di entità minore.

Il *geodatabase delle faglie attive* è stato costruito in ambiente GIS, e rappresenta un prototipo nell'ambito dei database relativi alle strutture tettoniche, per il dettaglio delle informazioni contenute e per l'organizzazione delle stesse. Infatti, esso contiene: i) le osservazioni puntuali georiferite sia di superficie che di sottosuolo (denominate "indizi"), associabili alle rispettive strutture tettoniche; ii) i tratti di correlazione degli stessi; iii) un indice di qualità associato ai dati che hanno supportato l'interpretazione finale dell'andamento delle strutture tettoniche identificate (indice di affidabilità geometrica). La struttura di questo *geodatabase* permette quindi di poter usufruire di un'analisi qualitativa delle strutture identificate, ma anche di avere informazioni sulle zone dove i piani di faglia sono stati realmente osservati o solo interpolati.

Il *geodatabase delle faglie attive* è uno strumento di facile consultazione, utile alla verifica della compatibilità geologica relativamente alle previsioni contenute negli strumenti di pianificazione territoriale.

Il *geodatabase delle faglie attive* qui presentato rappresenta lo stato dell'arte sulla conoscenza delle faglie attive presenti nella regione Friuli Venezia Giulia al momento della pubblicazione. La costruzione delle tracce delle faglie attive deriva infatti dall'analisi pesata degli elementi puntuali (INDIZI) ricavati dalle informazioni sinora a disposizione. La distribuzione del dato puntuale non è uniforme in quanto sono sicuramente presenti contesti che devono essere ancora approfonditi e/o meglio compresi.

L'andamento geometrico delle linee di faglia (mappa delle faglie attive) rappresenta attualmente la traccia con maggiore attendibilità sulla base dei dati a disposizione.

Per dare una valutazione seppur grossolana della qualità del dato presentato è stato infatti costruito "l'indice di attendibilità geometrica delle linee di faglia".

L'utilizzo delle informazioni presenti nel *geodatabase delle faglie attive* deve perciò basarsi non solo sull'analisi del dato sintetico (mappa delle faglie attive), ma soprattutto, sull'attenta lettura di tutti i dati puntuali (INDIZI), la cui presenza ha consentito di caratterizzare e cartografare la faglia.

Al fine di chiarire il processo che ha portato alla costruzione della banca dati e l'organizzazione della stessa, nonché di dare indicazioni sul suo utilizzo, questo volume propone le "linee guida per il corretto uso della banca dati georiferita delle faglie attive".

Le Linee Guida sono organizzate in 6 capitoli: dopo una breve introduzione sulle motivazioni che hanno spinto la regione Friuli Venezia Giulia a dotarsi di una banca dati delle faglie attive e sulle raccomandazioni per un corretto uso delle informazioni in essa contenute, le Linee Guida introducono il lettore nel campo della ricerca sulla pericolosità sismica e sull'assetto sismotettonico (capitolo 2). Sono poi descritte le metodologie ormai consolidate per lo studio della tettonica attiva (capitolo 3). Il capitolo 4 descrive nel dettaglio l'organizzazione della banca dati e nel capitolo 5 vengono descritti alcuni esempi di costruzione di diverse tipologie di faglie osservate. Il capitolo 6 contiene la bibliografia e sitografia citata nel testo.

### LE FAGLIE ATTIVE NEL FRIULI VENEZIA GIULIA

Gli eventi sismici rappresentano una delle cause di pericolosità geologica più diffuse e potenzialmente più dannose per l'intero territorio nazionale. La valutazione della pericolosità sismica di una regione si basa sulla conoscenza delle caratteristiche geometriche (es. dimensionamento delle strutture tettoniche in superficie e in profondità), cinematiche (es. determinazione del vettore di *slip*, spostamento cumulato e spostamento per singolo evento), dinamiche (es. massima magnitudo attesa) e cronologiche (es. tasso di *slip* e intervallo di ricorrenza) delle strutture geologiche (faglie e sovrascorimenti) che possono generare un terremoto.

L'individuazione delle faglie attive e la descrizione dei loro tassi di attività è quindi una premessa imprescindibile negli studi di pericolosità sismica, siano essi finalizzati agli studi di pericolosità da scuotimento che da fagliazione cosismica superficiale. La procedura per tale individuazione può seguire un approccio multidisciplinare che prevede l'abbinamento di indagini di tipo geologico, geomorfologico, geodetico, geofisico, paleosismologico, ecc.

In letteratura vi è un sostanziale accordo nel definire come faglia attiva una faglia la cui attività recente sia stata descritta. Le problematiche emergono principalmente in due casi: il primo riguarda il periodo geologico che viene preso come riferimento per analizzare o discriminare l'attività recente di una faglia; il secondo riguarda l'accostamento che si fa tra faglie attive e il loro ruolo durante le sequenze sismiche.

Per meglio definire il significato di attività recente delle faglie, è utile riassumere il significato di alcuni termini che riguardano la terminologia associata ad esse. Esistono infatti numerose classi o categorie di faglie attive che si differenziano in funzione del differente ruolo che assumono durante una sequenza sismica.

Di seguito si riporta un elenco delle differenti categorie di faglie attive.

**1) Faglia sismogenica:** faglia che è in grado di generare onde sismiche in seguito ad una dislocazione quasi istantanea che avviene lungo il suo piano. La sismogenia di una faglia è connessa principalmente a due fattori:

- il primo fattore è la capacità delle rocce ospitanti la faglia di accumulare e rilasciare in modo efficiente l'energia elastica accumulata nei periodi intersismici, ovvero i periodi che intercorrono tra terremoti successivi generati dalla stessa faglia. Tale efficienza è dunque legata

alle caratteristiche meccaniche delle rocce ospitanti. La porzione di crosta costituita da rocce con la capacità di ospitare faglie sismogeniche è chiamata "livello sismogenico" ("*seismogenic layer*"). Esso ha come limite inferiore la zona di transizione tra la crosta superiore a comportamento fragile e la crosta inferiore a comportamento duttile e può trovarsi a profondità diverse in funzione del contesto geologico: in ambienti continentali può trovarsi a 15-20 km di profondità (si veda per approfondimenti Scholz, 2002). Il limite superiore è molto variabile ma solitamente è ragionevole ipotizzarlo a 2-4 km di profondità, dove l'efficienza delle rocce nell'accumulare e rilasciare energia elastica inizia a decadere a causa, per esempio, della riduzione della pressione di confinamento (direttamente connessa al carico litostatico), o ad un aumento della densità delle fratture e di una elevata porosità (Fialko et al., 2005) che ne riduce il modulo di elasticità.

- il secondo fattore che impatta sulla capacità sismogenica delle faglie è la reologia delle rocce di faglia, che influenza il comportamento meccanico della rottura dinamica. Diverse rocce, o meglio diverse tipologie di rocce di faglia mostrano comportamenti diversi se sottoposte a dislocazioni quasi-istantanee (es. Di Toro et al., 2011). In questo caso, uno dei fattori chiave è la capacità, da parte di una rottura lungo un piano di faglia, di raggiungere una velocità di propagazione critica che consenta il rilascio di energia sismica. Tale capacità è massima a profondità sismogeniche tipiche (da 4-5 km fino a 15-20 km di profondità) e si riduce nella parte superiore della crosta.

**2) Faglia attiva e capace:** oltre allo scuotimento sismico, una faglia attiva può dare luogo a fagliazione cosismica superficiale, e può essere descritta in termini di lunghezza totale della rottura in superficie (*Total Surface Rupture Length: SRL*) e massima dislocazione (*Maximum Displacement: MD*).

La definizione di *capability*, cioè della capacità di una faglia attiva di dislocare co-sismicamente la superficie topografica (IAEA-International Atomic Energy Agency, 1991), è un'informazione basilare per la una corretta valutazione della pericolosità da fagliazione superficiale. Poiché la dislocazione in superficie è in grado potenzial-

mente di interessare non solo rocce e depositi sciolti, ma anche manufatti e costruzioni fondati su di essi, le aree dove vi siano faglie attive e capaci sono catalogabili all'interno delle aree suscettibili di modificazioni permanenti secondo le recenti linee guida della Microzonazione Sismica (MS) (Gruppo di Lavoro MS, 2008). Nelle linee guida per la MS (Gruppo di Lavoro MS, 2008) si definisce fagliazione di superficie *la dislocazione istantanea (cosismica) verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio*. Per l'Italia tale dislocazione deve essere riconducibile a un intervallo temporale relativo agli ultimi 40.000 anni, periodo per il quale una faglia può essere considerata verosimilmente attiva (Gruppo di Lavoro MS, 2008).

Anche per tassi di deformazione modesti, il fenomeno della fagliazione superficiale è di solito ben osservabile lungo faglie normali (si veda ad esempio il recente terremoto di Norcia del 2016) e trascorrenti, categorie di faglie caratterizzate da superfici da subverticali a molto inclinate, mentre nel caso di faglie inverse (con superfici a basso-medio angolo) generalmente si osservano deformazioni plicative ad ampio raggio di curvatura che difficilmente provocano una fagliazione superficiale.

- 3) **Faglia asismica:** quando la dislocazione che avviene lungo il piano di faglia non è in grado di produrre energia sismica. I fattori che controllano tale comportamento sono gli stessi delle faglie sismogeniche, ovvero le caratteristiche meccaniche delle rocce che ospitano la faglia e di quelle che formano le rocce di faglia. Oltre alle faglie che si trovano al di sotto della transizione fragile-duttile (ovvero nella crosta inferiore), sono asismiche numerose faglie localizzate nella crosta superiore. Tale comportamento è in primo luogo controllato dalla meccanica delle rotture in relazione alla tipologia delle rocce di faglia. Hanno solitamente comportamento asismico durante la dislocazione le rocce di faglia che non consentono l'accumulo di energia elastica. Un esempio tipico sono le faglie lungo il cui piano si ha un basso valore di coefficiente di attrito statico. In letteratura troviamo numerosi studi in tal senso; uno dei lavori più citati riguarda alcuni segmenti della Faglia di San Andreas in California (es. *Central San Andreas Fault*; Rolandone et al., 2008). In questi casi si definisce la "*creeping fault*", ovvero una faglia che, sottoposta allo stress tettonico regionale, reagisce muovendosi con tassi di dislocazione lenti in modo quasi costanti. Nella crosta superiore fragile si osserva solitamente un comportamento asismico delle porzioni superiori delle faglie. Come già ricordato per le faglie sismogeniche, nelle porzioni superiori della crosta difficilmente si hanno le condizioni meccaniche per una dislocazione sismica. Queste zone di faglia vengono solitamente descritte come "condizionatamente stabili",

ovvero non sono efficienti nel produrre energia sismica e si possono muovere solo in concomitanza di una dislocazione sismogenica nelle parti profonde della faglia stessa. La capacità di essere rimobilizzate nella fase co-sismica, ovvero quando la parte profonda della faglia rilascia energia sismica muovendosi in modo quasi-istantaneo, è in diretta relazione con la magnitudo (Noda e Lapusta, 2013), ciò significa che ampie dislocazioni co-sismiche in profondità possono provocare dislocazioni co-sismiche nelle porzioni solitamente stabili delle faglie attive. Di norma però, le porzioni condizionatamente stabili dei sistemi attivi caratterizzati da porzioni sismogeniche profonde, vengono rimobilizzate nella fase post-sismica dal fenomeno noto come "*afterslip*".

- 4) **Faglie attive non direttamente connesse con le faglie sismogeniche o asismiche:** vi sono classi di faglie attive che non sono direttamente connesse alle faglie sismogeniche, ma che possono essere riattivate se poste nel campo deformativo prodotto da una faglia sismogenica. Tali faglie prendono il nome di faglie attive simpatetiche ("*synpathetic faults*"). Ci sono due classi di faglie simpatetiche: a) faglie che sono generate dal campo deformativo prodotto dall'attività di un'altra faglia attiva, solitamente di ordine gerarchico superiore (es. faglie estensionali che si formano in prossimità degli assi delle anticlinali prodotte da faglie inverse: "*crestal faults*", "*bending moment faults*"); b) faglie derivate da fasi deformative precedenti che, essendo opportunamente orientate rispetto al campo deformativo prodotto dalla faglia principale, vengono riattivate.

## 2.1 - Contesto tettonico e sismicità del Friuli Venezia Giulia

La storia geologica della regione Friuli Venezia Giulia (da qui in avanti FVG) abbraccia un intervallo di tempo molto ampio, comprendendo due cicli orogenetici: quello ercinico Paleozoico e quello alpino Cretacico - Attuale.

Attualmente la regione friulana fa parte delle Alpi Meridionali orientali (o Sudalpino orientale), una catena a pieghe e sovrascorrimenti a vergenza meridionale che si è evoluta a partire dal Miocene medio in risposta al complesso processo di collisione e successiva indentazione della microplacca Adria entro la catena Alpina (Castellarin et al., 2006).

Le relazioni strutturali fra la paleogeografia mesozoica di margine passivo (organizzata in bacini e piattaforme) e la tettonica polifasica compressiva sviluppatasi per tutto il Cenozoico, hanno fortemente condizionato l'attuale assetto strutturale del Sudalpino orientale. A causa delle geometrie ereditate, infatti, sono frequenti eterogeneità laterali che accompagnano lo sviluppo della catena: lo *strain* cambia spesso lungo direzione e ciò è testimoniato da frequenti va-

riazioni laterali nella geometria delle faglie e nel comportamento meccanico dei materiali. Questo determina frequentemente la formazione di faglie di trasferimento e/o fenomeni di segmentazione.

La regione friulana-giuliana è situata all'estremità nord-orientale della microplacca Adria: attualmente essa comprende parte della catena Sudalpina orientale, il relativo avampese, condiviso con la catena Appenninica settentrionale, e rappresentato dall'attuale pianura veneto-friulana, e parte della zona di taglio trascorrente destro della Slovenia occidentale (Fig. 2.1).

L'attuale assetto geologico della regione friulana deriva da una complessa evoluzione paleogeografica e strutturale legata al ciclo orogenetico alpino. Durante il Mesozoico la regione faceva parte del margine passivo africano caratterizzato da una paleogeografia articolata in cui si alternavano ampie piattaforme carbonatiche e bacini limitati da faglie estensionali a direzione mediamente N-S. A partire dal Giurassico medio e fino a gran parte del Cretacico superiore, nella regione friulana-giuliana si sviluppò un'ampia piattaforma carbonatica (la Piattaforma Carbonatica Friulana), bordata a nord e ad est dal Bacino Carnico-Sloveno o di Tolmino (Buser, 1989) e a ovest dal Bacino Bellunese.

A partire dal Cretacico superiore l'area veneto-friulana-giuliana è stata interessata da due principali eventi deformativi:

- un primo evento si è sviluppato dal Cretacico superiore fino all'Eocene superiore, ed ha dato luogo alla propagazione dalla Catena Dinarica esterna a pieghe e sovrascor-

rimenti con vergenza occidentale. Le evidenze deformative sono ben visibili in tutta l'area friulano-carnica e rappresentano ancora l'assetto strutturale di base nell'area carsica e collinare orientale. Durante questo evento l'asse di massimo sforzo  $\sigma_1$  era orientato ENE-OSO. A questo evento deformativo sono associati pieghe e sovrascorrimenti a direzione media NO-SE. Il fronte della Catena Dinarica esterna è rappresentato dal sistema di sovrascorrimenti di Palmanova, Panzano e del Carso (Merlini et al., 2002; Fantoni et al., 2003; Zanferrari et al., 2008a; Buseti et al., 2010; Ponton, 2010; Zanferrari et al., 2013), la parte orientale della Pianura Friulana e il Golfo di Trieste ne costituiscono il relativo avampese;

- un secondo evento deformativo polifasico di età neogenico-quadernaria (evento Neoalpino), ha dato origine alla Catena Sudalpina orientale s.s. (CSO) (Doglioni e Bosellini, 1987; Doglioni, 1990; Castellarin et al., 1992; Fantoni et al., 2002; Caputo et al., 2010). L'asse di massimo sforzo  $\sigma_1$  è variabile fra NO-SE e N-S (Castellarin e Cantelli, 2000; Castellarin et al., 2006; Caputo et al., 2010). A partire dal Serravalliano e fino al Messiniano, l'intenso sollevamento tettonico legato alla propagazione dei sistemi compressivi alpini portò all'esposizione del basamento cristallino lungo il sovrascorrimiento della Valsugana (Castellarin et al., 1992; Zattin et al., 2003) e al contemporaneo basculamento verso nord del suo avampese (Fantoni et al., 2002; Toscani et al., 2016). Contestualmente si sviluppò una profonda avanfossa, che raggiunse spessori attorno ai 3000 m. Una catena a sovrascorrimenti polifasica, con strutture di raccorciamento mediamente orientate NE-SO e a geometrie ramp-flat, si propagò verso sud, determinando una notevole raccorciamento tettonico (Doglioni, 1990, 1992; Selli, 1998; Schönborn, 1999) e, contemporaneamente, il progressivo riempimento dell'avanfossa.

Dal Pliocene e per tutto il Quaternario si è strutturata la porzione più esterna della CSO, con sovrascorrimenti a direzione media (E)NE-(O)SO (sovrascorrimiento Bassano-Valdobbiadene, s. del Cansiglio, s. M. Jouf-Maniago), caratterizzati dalla formazione di anticlinali di propagazione di faglia (Doglioni, 1990; 1992; Carulli e Ponton, 1992; Castellarin et al., 1992; 2006; Schönborn, 1999; Zanferrari et al., 2008a), cui si lega, nella porzione più esterna e superficiale, l'attivazione di nuovi segmenti di faglia e *splay* a medio angolo usualmente ciechi (Thiene-Bassano, Bassano-Cornuda, Montello e Arba-Ragogna). Queste strutture frontali tagliano tutta la successione clastica miocenica del Bacino Veneto-Friulano arrivando a deformare anche le successioni plio-quadernarie dell'alta pianura (Galadini et al., 2005; Zanferrari et al., 2008a,b). Molto diffusa è anche la parziale riattivazione di strutture ereditate sia dall'estensione mesozoica che dagli eventi contrazionali dinarici che portano alla segmen-



Fig. 2.1 - Schema tettonico del Friuli Venezia Giulia e aree circostanti (modificato da Dal Cin et al., 2022; elementi tettonici da Burrato et al., 2008; Jurkovišek et al., 2016; Zanferrari et al., 2008 a,b).

tazione delle faglie principali (ad es. sovrascorrimenti del Cansiglio, di Polcenigo-Montereale e del M. Ciaurlec).

Tali eredità hanno infatti condizionato, e continuano a condizionare, l'evoluzione cinematica della CSO (Zanferrari et al., 2013), che presenta significative differenze strutturali tra vari settori della catena, come viene evidenziato anche dall'analisi della distribuzione della sismicità (Bressan et al., 2003; Bressan e Bragato, 2009).

Il settore esterno del Sudalpino orientale è tuttora in evoluzione, come testimoniano le diffuse deformazioni dei terreni pleistocenici anche post-LGM (Last Glacial Maximum, Ultimo Massimo Glaciale) affioranti lungo rilievi collinari prealpini oppure, ancora sepolti, nella pianura antistante (Galadini et al., 2005; Zanferrari et al., 2008a; Poli et al., 2009; Monegato e Poli, 2015; Poli et al., 2015), nonché la sismicità distribuita in tutta la zona frontale e in particolare nella regione friulana centrale (Slejko et al., 1989; Burrato et al., 2008; Bressan e Bragato, 2009).

Misure geodetiche registrano un movimento circa verso nord della placca Adria, ad un tasso di circa 2-3 mm/anno (es. GPS: Becthold et al. 2009; Caporali et al., 2013; Serpelloni et al. 2016). Lo stress massimo compressivo è dunque orientato circa NNO-SSE nella porzione occidentale (i.e. area prealpina occidentale) e NNE-SSO in quella orientale (Bressan et al., 2003; Poli e Renner, 2004; Bressan e Bragato, 2009). Tale deformazione viene distribuita sia sui sovrascorrimenti a vergenza meridionale, ma anche sulle faglie trascorrenti che tagliano la CSO ad est (sistema di faglie trascorrenti destre di Idrija) e a nord (Faglia Fella-Sava), in attività a partire rispettivamente dal Pliocene (Idrija) e dal Miocene medio (Fella-Sava) (Vrabec e Fodor, 2006; Poljac et al., 2010; Atanackov et al., 2021).

### **2.1.1 - Le ricerche sulla tettonica attiva**

Le ricerche sulla tettonica attiva in Italia hanno avuto un impulso decisivo in seguito agli eventi sismici che colpirono il paese fra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80, ovvero in seguito al terremoto del Friuli del 1976 e dell'Irpinia del 1980. Per quanto riguarda l'Italia nord-orientale, la sequenza sismica del 1976 spinse la comunità scientifica a sviluppare numerosi studi per individuare e stabilire l'attività delle strutture tettoniche nell'intervallo temporale Pliocene – Quaternario (si veda ad esempio: Ambrosetti et al., 1987a,b; Carobene et al., 1980; Carulli et al., 1981; Zanferrari et al., 1982; Slejko et al., 1989; Castaldini e Panizza, 1991; Carulli, 2019 e bibliografia citata).

A partire dagli anni 2000, le nuove normative nel campo della pericolosità sismica diedero un'ulteriore motivazione per migliorare e approfondire le conoscenze sulla tettonica attiva della regione. Numerose sono state infatti le pubblicazioni che hanno descritto i principali sistemi di faglie attive presenti nell'area veneto-friulana, determinandone su basi

geologico-geomorfologiche le caratteristiche geometriche e cinematiche utili alla valutazione della pericolosità sismica (Benedetti et al., 2000; Galadini et al., 2005; Zanferrari et al., 2008a,b; Poli et al., 2009; Caputo et al. 2010; Monegato e Poli, 2015; Poli et al., 2015; Zanferrari et al., 2013; Moulin et al., 2014).

Va comunque sottolineato che anche nell'area friulana le conoscenze sulle sorgenti sismogeniche derivano prevalentemente da analisi di tipo indiretto quali studi sismologici, macrosismici, geodetici (es. Aoudia et al., 2000; Peruzza et al., 2002; Poli et al., 2002; Bressan et al., 2003; Sirovich e Pettegnati, 2004; Burrato et al., 2008; Bressan e Bragato 2009; Chiaraluce et al., 2009; Cheloni et al., 2012; Moratto et al., 2012; Cheloni et al., 2014; Danesi et al., 2015; Serpelloni et al., 2016; Bressan et al., 2016).

### **2.1.2 - La sismicità**

La regione carnico-friulana rappresenta uno dei settori sismicamente più attivi di tutta l'Italia settentrionale. La sua sismicità è medio-alta ed è legata principalmente all'evoluzione attuale del sistema di sovrascorrimenti SSE-vergenti della catena Sudalpina orientale. È da sottolineare che un rilevante contributo alla pericolosità sismica dell'area proviene anche dall'attività del sistema di faglie trascorrenti della zona confinaria italo-slovena, con terremoti sia storici che strumentali che hanno dato ampi risentimenti anche nell'area friulana e giuliana.

Sia in epoca storica che strumentale la regione friulana è stata colpita da alcuni terremoti con magnitudo superiore a 6.

### **2.1.3 - La sismicità storica**

La sismicità storica, basata sui cataloghi DBMI15 (Locati et al., 2021) e CPTI15 (Rovida et al., 2021), mostra che durante il secondo millennio almeno due terremoti con intensità massima superiore al IX° della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) hanno causato gravissimi risentimenti in territorio regionale: si tratta degli eventi del 25 gennaio 1348 e del 26 marzo 1511. Di entrambi è ancora incerta la localizzazione epicentrale.

Il terremoto del **25 gennaio 1348** (località epicentrale: Alpi Giulie,  $I_{max} = 9$ ,  $M_w = 6.6$ ) fu avvertito in una vastissima area che abbraccia l'Italia nord-orientale fino alla Pianura Padana, l'Austria e la Baviera. L'area dei massimi effetti è localizzata tra la Carinzia e il Friuli e comprende i centri fortificati posti sui rilievi lungo le valli dei fiumi Drava e Gail in Carinzia, i castelli friulani prospicienti il F. Tagliamento e numerose città friulane come Udine, Cividale, Gorizia e Aquileia. Nel catalogo DBMI15 Tolmezzo e Gemona sono le località friulane con  $I = 9$  (MCS).

Per quanto riguarda il terremoto del **26 marzo 1511**, il catalogo DBMI15 indica una  $M_w = 6.3$  e una  $I_{max}$  di 10. Anche il terremoto del 26 marzo 1511 presenta effetti distruttivi in

un'area molto estesa: fra le aree più colpite ricordiamo la valle del F. Sava fra Bled e Ljubljana, con la distruzione dei castelli di Bled, Skofia Loca, Kamnik, e la valle del F. Isonzo fra Tolmin e Bovec. Anche la fiorentissima attività mineraria di Idrija ricevette un duro colpo dal terremoto, in quanto la miniera di cinabro fu seriamente danneggiata e ripristinata solo nel 1517. Nell'area friulana, secondo fonti storiche contemporanee all'evento, gravissimi furono i danni a Gemona, Cividale, Venzone e Osoppo. Gravemente danneggiati furono anche i castelli di Udine, Villalta, Fagagna e Moruzzo. Per quanto riguarda la localizzazione epicentrale il catalogo CFTI5MED (Guidoboni et al., 2019) pone l'epicentro dell'evento di gennaio nelle valli del Natisone. Studi effettuati per mezzo dell'inversione del campo macrosismico collocano invece l'epicentro lungo la valle del F. Idrija in prossimità dell'omonima località mineraria (Fitzko et al., 2005). Camassi et al. (2011), dopo un'attenta analisi delle fonti disponibili, offrono nuove indicazioni sulla probabile localizzazione e grandezza dell'evento. Secondo gli Autori la distribuzione del danneggiamento ottenuta non è compatibile né con la faglia di Idrija, né con quella del terremoto del 1976, legato al fronte sudalpino, né con quella del terremoto del 1998, che ha attivato strutture trascorrenti legate al sistema di Idrija. Il catalogo DMBI15, recependo gli studi di Camassi et al. (2011), sposta l'epicentro macrosismico ancora più ad occidente, nell'area del tarcentino.

Numerosi altri terremoti con  $5 < M < 6$  hanno colpito in epoca storica la regione friulana. Sempre facendo riferimento ai cataloghi DBMI15 e CFTI15, l'evento maggiore è quello del **7 giugno 1794** quando un terremoto di  $I_{max} = 9$  ( $M_w = 5.96$ ) colpì la valle del T. Meduna nelle Prealpi Carniche. I danni maggiori si ebbero a Tramonti di Mezzo, dove la maggior parte delle case crollarono. La scossa causò forti risentimenti anche lungo la media valle del Tagliamento (Tolmezzo, Alesso, Cavazzo Carnico) e fu avvertita distintamente anche nel basso Veneto (Vicenza, Padova, Verona) e in territorio austriaco.

Il **28 luglio 1700** (localizzazione epicentrale: Raveo,  $I_{max} = 9$ ,  $M_w = 5.7$ ) un terremoto colpì principalmente il Canal di Gorto (valle del T. Degano) e il Canale di Socchieve (alta valle del F. Tagliamento) portando le distruzioni maggiori a Raveo ed Enemonzo, dove gran parte delle case caddero e le chiese furono seriamente danneggiate.

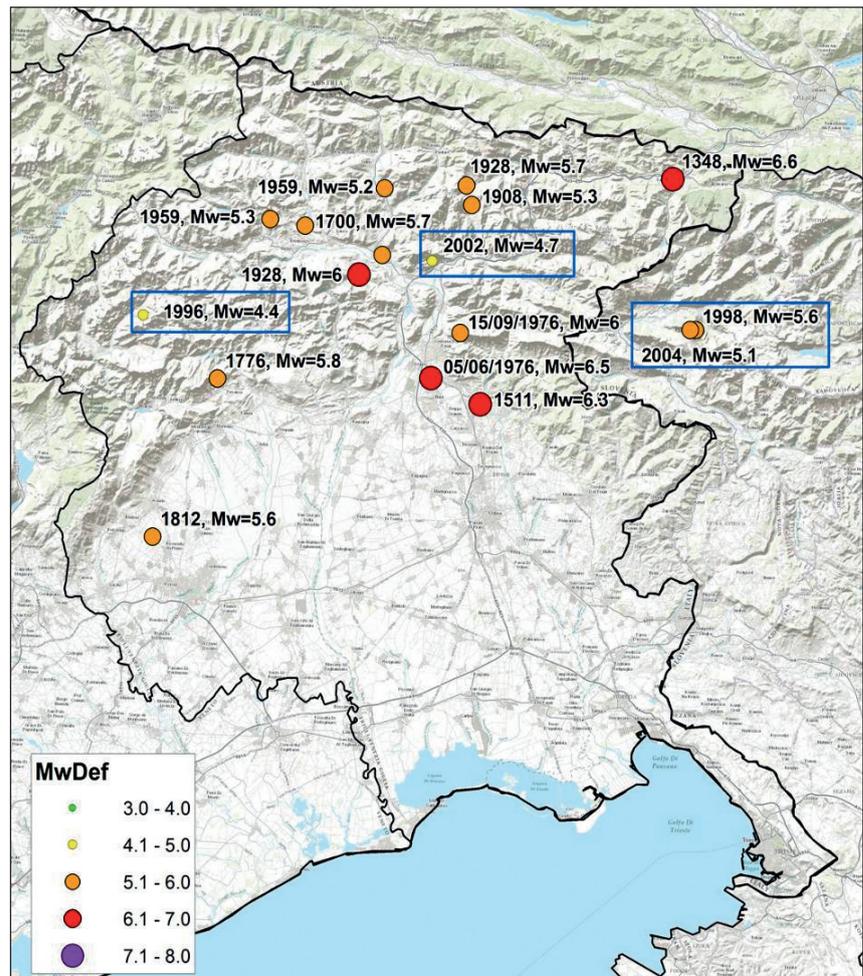


Fig. 2.2 - Localizzazione epicentrale dei principali eventi sismici storici e strumentali (evidenziati con il rettangolo blu) in FVG (CPTI15, Rovida et al., 2021).

Il **10 luglio 1776** ( $I_{max} = 9$ ,  $M_w = 5.8$ ) un forte terremoto colpì le Prealpi Carniche meridionali arrecando gravi danni a Meduno, Andreis e Barcis e a tutta l'area circostante, causando collassi generalizzati degli edifici ed alcuni morti. La località epicentrale è stata individuata a Tramonti con  $I_{max} = VIII/IX$  da Barbanò (1993).

Il **20 ottobre 1788** Tolmezzo fu colpita da un violento terremoto ( $I_{max} = 8-9$ ,  $M_w = 5.2$ ) che danneggiò seriamente la città, causando inoltre forti perdite e pesanti contraccolpi al tessuto socio-economico dell'intera area carnica.

Il **25 ottobre 1812** un terremoto di  $I_{max} = VIII$  colpì la zona prealpina carnica pordenonese causando gravi danni in particolare a Cavasso Nuovo, Fanna e Sequals dove vi furono crolli e parecchie case furono rese inagibili. Ampia l'area di risentimento.

Il **28 giugno 1873** un devastante terremoto ( $I_{max} = 9-10$ ;  $M_w = 6.3$ ) colpì il bellunese in particolare l'area fra l'Alpago e il Cansiglio provocando molte decine di morti e di feriti. Gravissimi i danni in tutta l'area epicentrale, pesanti i risentimenti anche nella pedemontana trevigiana.

Il **10 luglio 1908** un terremoto di  $I_{max} = 7-8$  ( $M_w = 5.3$ ) colpì una ristretta area della Carnia. In particolare i danni

maggiori furono riscontrati a Moggio Udinese e nelle borgate della Val Aupa.

Il **27 marzo 1928** un terremoto di  $I_{max} = 9$  ( $M_w = 6$ ) interessò la Carnia centrale, provocando vittime e gravi danni alle abitazioni, in special modo nell'alta Valle del T. Arzino, a Chiaicis, Pusea, Verzegnis e Tolmezzo.

Il **10 ottobre 1936** un altro forte terremoto ( $I_{max}: 9$ ,  $M_w$  6) colpì l'area pedemontana a cavallo fra il Friuli e il Veneto, originando vittime e danni estesi fra Vittorio Veneto e Caneva.

Il **26 aprile 1959** un terremoto di  $I_{max} = 8$  ( $M_w = 5.2$ ) colpì la valle del T. But provocando gravi danni a Zuglio, dove quasi tutte le case furono lesionate, anche se non ci furono vittime.

#### 2.1.4 - Le reti di monitoraggio sismico del FVG

Il **6 maggio 1976** un terremoto di  $M_w = 6.4$  ( $I_{max}: 9-10$ ) colpì la regione friulana centrale (Slejko et al., 1999; Slejko, 2019). Gli abitati di Moggio Udinese, Venzona, Gemona, Bordano, Trasaghis, Lusevera, Osoppo, Montenars, Forgaria, Buia, Sequals, Majano subirono danni gravissimi, tali per cui una percentuale di abitazioni fra il 50 e il 90% crollarono o furono rese inagibili. Le vittime furono quasi un migliaio.

Nel settembre dello stesso anno altre forti scosse, fra cui quella del **15 settembre** ( $M_w = 5.9$ ), colpirono nuovamente l'area friulana centrale provocando ulteriori danneggiamenti

e vittime. Il 6 maggio 1977, ad un anno esatto dal terremoto del 1976, fu inaugurata la Rete Sismometrica del FVG (RSFVG). Progressivamente ampliata e potenziata nel tempo, è composta attualmente da numerose stazioni ubicate prevalentemente nell'area montana e pedemontana del Friuli, cui si affiancano le stazioni della Rete Sismometrica del Veneto.

La regione dell'Europa centrale e orientale è un'area caratterizzata da una media sismicità. Le strutture sismogenetiche attive ed i relativi eventi potenzialmente distruttivi si trovano in prossimità dei confini politici tra le diverse nazioni esistenti nell'area. Un esempio è la regione sismica tra l'Italia nordorientale (FVG, Trentino-Alto Adige e Veneto), l'Austria (Tirolo, Carinzia) e la Slovenia. Quando si verifica un terremoto distruttivo nell'area, tutti e tre i paesi ne subiscono le conseguenze. Nell'anno 2000 grazie ad una stretta ed attiva collaborazione tra l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, l'Università di Trieste, il Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hauptabteilung Geophysik di Vienna, e l'Agencija Republike Slovenije za okolje, urad za seizmologijo di Ljubljana, è nata la Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE3RN che riunisce le reti di Austria, Slovenia e NE Italia e di numerosi paesi dei Balcani (Fig. 2.3).

Nell'intervallo di tempo compreso fra il 1977 ad oggi la sismicità registrata dalla Rete FVG nella regione carnico-

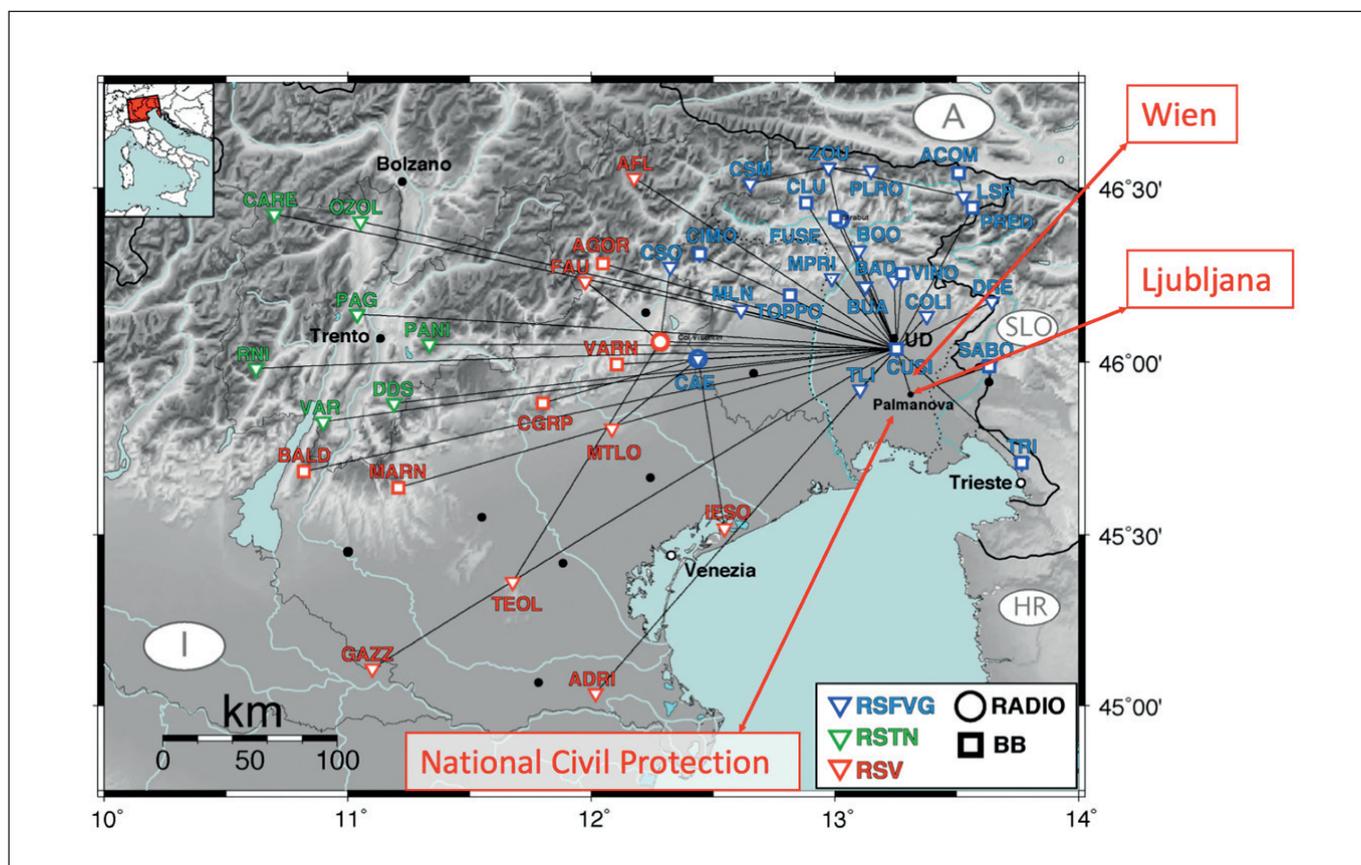


Fig. 2.3 - La rete sismometrica regionale composta da più di 30 stazioni, di cui alcune con sensori Broadband (BB), connesse anche con ponti radio (evidenziati dai cerchi) è parte di un sistema integrato di Protezione Civile regionale (in azzurro le stazioni del Friuli Venezia Giulia, in verde quelle del Trentino e in rosso quelle del Veneto) e nazionale, con connessioni internazionali con Austria e Slovenia.

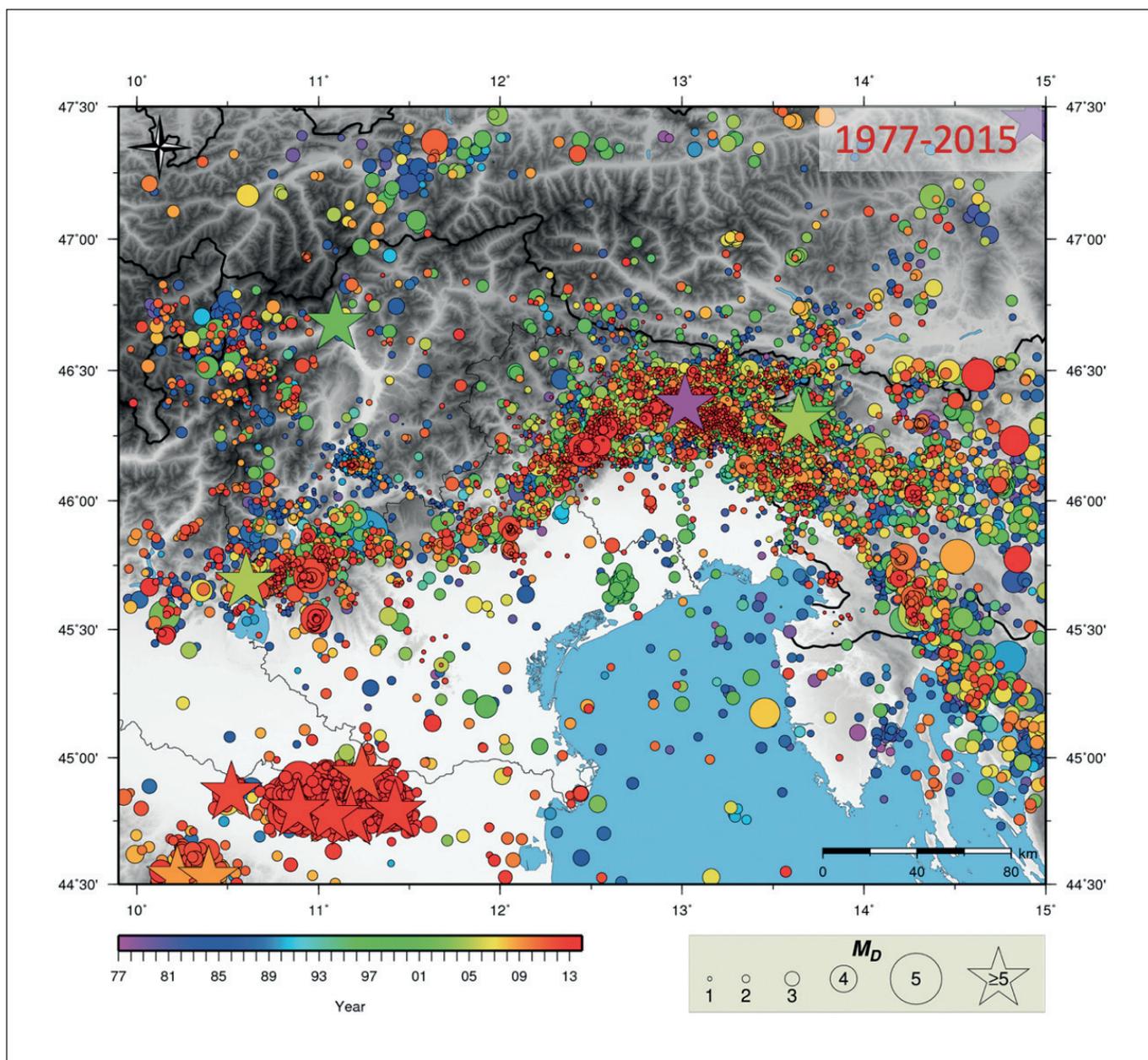


Fig. 2.4 - Sismicità registrata dalla rete dal 1977 al 2015 (<http://www.crs.ogs.it/bollettino/RSFVG/RSFVG.en.html>). Il colore indica l'anno dell'evento mentre la dimensione del cerchio è proporzionale alla magnitudo (di durata)  $M_D$ . Con la stella vengono evidenziati gli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 5.

friulana sono stati segnalati più di 20 episodi sismici con  $M_I > 3$  ([www.crs.ogs.it](http://www.crs.ogs.it)), di cui solo alcuni possono essere considerati significativi. La sequenza sismica iniziata il 14 febbraio 2002, che ha colpito l'area fra Moggio Udinese e Amaro, senza comunque causare danni di rilievo, rappresenta l'evento con maggiore intensità ( $M_w = 4.74$ ,  $I_{max} = 6$ , in Barnaba e Bressan, 2013). L'epicentro del sisma è stato localizzato nella zona di Moggio Udinese.

Nella vicina valle dell'Isonzo sono stati invece registrati due importanti eventi che hanno dato origine a discreti risentimenti anche nel Friuli orientale: il terremoto di Bovec (12 aprile 1998,  $M_w = 5.66$ ; Bernardis et al., 2000; Bajc et al., 2001) e quello di Kobarid (12 luglio 2004,  $M_w = 5.19$ ; Kastelic et al., 2008), entrambi con meccanismo trascorrente

e originati da riattivazione di segmenti di faglie appartenenti al sistema di Idrija.

Infine, l'area di Claut è stata colpita da frequenti episodi sismici di media intensità, in particolare si è registrata la massima magnitudo di 4.3 per il terremoto del 13 aprile 1996 (Bernardis et al., 1996).

## 2.2 - Sviluppo di una nomenclatura e classificazione per la definizione delle faglie attive

Dalla letteratura esistente è evidente che il termine faglia attiva è usato prevalentemente per indicare faglie che si sono mosse ripetutamente in tempi geologici recenti o che hanno la potenzialità di rimobilizzarsi in futuro. L'intervallo

temporale selezionato per poter indicare come attiva una faglia varia a seconda dell'Autore e dello scopo del lavoro. La letteratura nazionale, salvo rare eccezioni, si è concentrata sullo studio delle faglie normali dell'Appennino centro-meridionale a causa della loro attività sismica recente e della possibilità che spesso offrono di osservazione diretta in affioramento. Di riflesso, anche la normativa nazionale attualmente in vigore relativa alle faglie attive e capaci (es. Gruppo di Lavoro MS, 2008) è stata pensata sostanzialmente per questo tipo di strutture tettoniche generate in un contesto tettonico di tipo estensionale, quindi diverso da quello della regione Friuli Venezia Giulia.

In linea di massima le strutture tettoniche potenzialmente attive presenti in Friuli Venezia Giulia, e che quindi possono mostrare attività recente, sono raggruppabili in due tipologie distinguibili in base al diverso contesto di appartenenza:

- faglie inverse e trascorrenti affioranti, localizzate in prevalenza nei rilievi (Alpi e Prealpi Carniche e Giulie e Carso);
- faglie inverse e trascorrenti cieche o sepolte localizzate nella zona pedemontana o nell'alta pianura friulana, in genere non identificabili per la presenza di fagliazione superficiale accompagnata da dislocazioni apprezzabili, ma più spesso individuabili in superficie sulla base di indizi morfotettonici o per la presenza di deformazioni secondarie su depositi recenti.
- faglie normali di età mesozoica sepolte nella zona di pianura.

Per definire una faglia come attiva, si sono considerati i seguenti elementi:

#### a) Età di attivazione

In accordo con le linee guida per la Microzonazione sismica questo Gruppo di Lavoro propone di considerare una faglia come **attiva** quando essa manifesti testimonianza di movimento negli ultimi 40.000 anni. In ogni caso è opportuno ribadire che l'età di 40.000 anni deriva unicamente dal limite di applicabilità del metodo del radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ ) e che pertanto non rappresenta un marker geologico.

Sulla scorta di quanto fatto in Nuova Zelanda (<http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/planning-development-active-faults-dec04/index.html>) e nell'*earthquake fault map* degli USA, messa a punto dal Servizio Geologico Nazionale (USGS: <https://www.usgs.gov/>) e consultabile on-line (in cui si suddividono le faglie quaternarie in diverse classi temporali di grande dettaglio: < 5.000 anni, 5.000 – 15.000 anni, 15.000 – 35.000 anni, ecc.) è stato anche ipotizzato l'utilizzo di classi di attività per le faglie attive della nostra regione. Questa possibilità è però subito apparsa non perseguibile, alla luce dei dati disponibili e delle caratteristiche del contesto geologico.

Nella regione Friuli Venezia Giulia i marker stratigrafici e morfologici cronologicamente compatibili (cioè < 40.000 anni BP) sono rappresentati dalle unità del LGM (Last Glacial Maximum, Ultimo Massimo Glaciale) e dai relativi top deposizionali. Essi affiorano nell'area montana, in quella prealpina e nella pianura con età comprese tra 30.000 e circa 12.000 anni BP (Zanferrari et al., 2008a,b; 2013; Monegato e Stefani, 2011; Fontana et al., 2014, Fontana et al., 2019). Unità e forme oloceniche e livelli archeologici (soprattutto di epoca romana) sono presenti nella bassa pianura, nella fascia costiera e nell'area marina.

Considerando però che il campo di sforzi è rimasto costante per tutto il Quaternario (vedi paragrafo successivo), si è ritenuto di allargare l'intervallo temporale di riferimento per faglie potenzialmente attive alla base del Gelasiano (2.580.000 anni), per faglie osservabili in affioramento, e alla base del Calabriano (1.800.000 anni) sulle linee sismiche dove rappresenta un livello sismostratigrafico molto evidente sia a mare che a terra.

#### b) Orientazione della struttura tettonica rispetto all'attuale campo di sforzi regionale

Di fondamentale importanza nella definizione di faglia attiva è anche l'orientazione delle strutture tettoniche analizzate rispetto al campo di sforzi attivo. Poiché durante il Quaternario (Castellarin et al., 2006; Monegato, 2006; Caputo et al., 2010) il campo degli sforzi nell'area nord-orientale italiana non è variato in modo significativo (nel Quaternario  $\sigma_1$  oscilla infatti fra NNO-SSE e NNE-SSO), si ritiene che anche le strutture tettoniche per le quali non è possibile evidenziare una deformazione di terreni databili di età quaternaria (per mancanza di depositi recenti) possono comunque essere in grado di attivarsi perché coerentemente orientate nell'attuale campo di sforzi.

#### c) Capacità della faglia

La nomenclatura da approntare in questa fase del progetto non riguarderà le faglie capaci. Solo nei casi in cui la rottura o deformazione della superficie topografica o del fondo mare sia avvalorata da dati certi si potrà anche definirne la capacità.

### **2.2.1 - Definizioni**

Sulla base di quanto esposto precedentemente, la nomenclatura e classificazione utilizzata è la seguente:

**Faglia Attiva:** faglia che ha deformato e/o dislocato depositi o forme di età  $\leq 40.000$  anni.

**Faglia Potenzialmente attiva:** faglia la cui attività non è determinabile negli ultimi 40.000 anni (es. per mancanza di dati, per la scarsa risoluzione del dato sismico disponibile). Tuttavia essa deforma successioni quaternarie con età più recente della base del Calabriano (1.800.000 di anni)

nelle linee sismiche o del Gelasiano (2.580.000 di anni) se in affioramento.

**Faglia con attività quaternaria indeterminata:** faglia che disloca o deforma successioni pre-quaternarie, ma la cui attività quaternaria non è determinabile (es: mancanza di dati, scarsa risoluzione del dato sismico, mancanza di depositi qua-

ternari). Tuttavia la faglia presenta un'orientazione compatibile con il campo di stress attuale regionale o locale che non permette di escludere una sua possibile ri-attivazione.

**Faglia con attività indeterminata:** faglia per cui le conoscenze attuali non permettono l'inserimento nelle precedenti definizioni.

# PROTOCOLLO METODOLOGICO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE FAGLIE ATTIVE

Nella regione Friuli Venezia Giulia sono presenti più contesti geologici e morfologici: area marina, di pianura, rilievi collinari e montani. In ciascuno di questi contesti lo studio della tettonica attiva può essere attuato nei tempi e nei modi che maggiormente si adattano alle condizioni geologico-morfologiche.

Nei casi in cui l'attività tettonica recente sia principalmente espressione di strutture cieche (come può essere ad esempio il caso della porzione pedemontana), le evidenze di deformazioni tardo quaternarie possono essere dedotte principalmente dagli studi dell'interazione fra la crescita delle faglie e la deformazione continua registrata dalle superfici e dai depositi. Legare le osservazioni superficiali ottenute con l'analisi morfotettonica ai dati di profondità ottenuti dall'analisi di linee sismiche industriali, è una procedura ormai consolidata per le indagini sismotettoniche (es. Burrato et al., 2003; Maesano et al., 2015, Poli et al., 2021).

In assenza di depositi quaternari e/o in assenza di dati di geofisica profonda (linee sismiche), come usualmente avviene nelle zone montane, l'analisi geologica-strutturale classica abbinata a quella morfologica da telerilevamento potranno dare utili informazioni sulla possibile attività recente di discontinuità tettoniche. Più difficile in questo caso sarà però la lettura del timing di attivazione delle strutture.

Nella zona marina, le strutture tettoniche sono investigabili solo con metodi di indagine geofisica, in particolare con profili sismici ad alta penetrazione, che consentono una ricostruzione delle geometrie dei piani di faglia in profondità.

Ciò premesso, ove possibile l'attività di riconoscimento e di eventuale parametrizzazione di faglie attive è stata organizzata attraverso una procedura multidisciplinare (Gruppo di Lavoro MS, 2008; Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, 2015). Questo approccio è infatti l'unico che può portare alla completa caratterizzazione di una struttura tettonica sia affiorante che cieca, consentendone una parametrizzazione in termini geometrici (dimensionamento della struttura in superficie e profondità), cinematici (determinazione del vettore di slip, spostamento cumulato e per evento), dinamici (massima magnitudo attesa) e cronologici (tasso di slip e intervallo di ricorrenza) (si veda per esempio: Allen, 1975; McCalpin, 1996; Slemmons e DePolo, 1986; Keller e Pinter, 2002; Burrato et al., 2003; Galadini et al., 2005; Bonini et al., 2014).

Essendo presenti in regione diverse situazioni geologico-morfologiche, la procedura utilizzata per ciascuna di esse è stata adattata al caso specifico. In linea di massima è stato utilizzato il seguente schema metodologico:

### 3.1 - Raccolta dei dati pregressi

La ricerca bibliografica ha previsto la raccolta dei dati preesistenti, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati bibliografici che indicano o permettono di dedurre l'esistenza di tettonica attiva. Questa ricerca è stata realizzata per raccogliere informazioni sulle caratteristiche e sulla distribuzione areale degli elementi tettonici e dei depositi quaternari potenzialmente interessati da dislocazioni.

Questa fase del lavoro è stata concretizzata in un database tabellare (es. in formato excel) in cui sono stati riportati in sintesi tutti gli elementi utili per poter ricavare una classificazione di attività di ogni struttura tettonica descritta in bibliografia. Il database bibliografico è stato associato ad una carta georeferenziata delle strutture tettoniche censite.

### 3.2 - Fotointerpretazione e telerilevamento

Analisi di immagini da satellite, foto-aeree ed ortofoto, carte topografiche di dettaglio CTRN (almeno alla scala 1:10.000-1:5.000) e DTM ad alta risoluzione (a disposizione i dati Lidar regionali) con l'eventuale creazione di mappe del microrilievo.

Questo tipo di analisi consente di individuare su di un'ampia area la presenza di anomalie morfologiche che possono indicare la presenza di faglie attive (deformazioni anomale della superficie topografica, anomalie del drenaggio, contropendenze su versanti, allineamenti di elementi morfologici, ecc.). Questo tipo di analisi consente inoltre di realizzare un censimento su larga scala di tutti gli indizi geomorfologici che possono essere messi in relazione con l'attività recente degli eventuali elementi tettonici. Il successivo confronto di terreno tra le anomalie morfologiche osservate e le possibili forme legate a genesi diverse dalla tettonica, consente successivamente di stabilire quali forme sono realmente legate alla deformazione tettonica e quali a fenomeni di convergenza morfologica legata a processi di origine esogena.

### 3.3 - Geodesia

La geodesia fornisce informazioni sui tassi di deformazione nel breve periodo. Tale periodo è da intendersi come il lasso temporale tra una misura geodetica e l'altra. La geodesia in senso lato è la misura di una superficie, o di superfici, rispetto a punti di riferimento considerati fissi. Prima dell'avvento della geodesia moderna, basata oramai quasi esclusivamente sui dati provenienti da piattaforme remote (es. piattaforme satellitari, vettori aerei, ecc.), tale disciplina utilizzava gli strumenti classici della topografia (es. Talamo et al., 1978). Oggi le tecniche maggiormente utilizzate sono due: le misure di spostamenti nel tempo di punti mediante l'elaborazione di dati GPS (o GNSS), le misure di deformazione areale mediante l'elaborazione di dati InSAR (Interferometric synthetic aperture radar). Entrambe queste tecniche possono essere utilizzate per misure multitemporali di spostamenti della superficie terrestre con intervalli che possono variare, da brevi (es. misure in continuo effettuato da stazioni GPS fisse) fino a giorni o anni. Tali dati possono fornire importanti informazioni sui tassi di deformazione agenti in una determinata regione nell'intero arco del ciclo sismico. Nel periodo cosismico possono aiutare a determinare sia la posizione che l'ammontare dello slip cosismico e post-sismico lungo il sistema di faglie attivate durante la sequenza sismica. Nel periodo intersismico consentono di individuare zone di accumulo di strain in prossimità di faglie potenzialmente attive, con la possibilità di calcolare ad esempio la loro efficienza sismica ("seismic e interseismic coupling"; es. Cheloni et al., 2014; Avouac, 2015), oppure di individuare faglie o segmenti di faglie con movimenti prevalentemente asismici. Un utilizzo di tali analisi potrà dunque aiutare a discriminare zone di accumulo di strain intersismico da eventuali fenomeni di natura antropica e naturale non connessi ad attività tettonica (es. zone in subsidenza per compattazione differenziale, effetti stagionali o multistagionali di variazione delle falde acquifere più o meno profonde, ecc.).

### 3.4 - Analisi di terreno

#### 3.4.1 - Rilevamento delle unità quaternarie e analisi morfotettonica

Nelle aree in cui sono presenti anomalie morfologiche associabili all'attività di faglie attive, si provvede ad eseguire un dettagliato rilevamento geologico-strutturale di terreno al fine di valutare l'effettiva presenza e la tipologia di faglie, definendone le caratteristiche alla meso- e macro-scala.

Poiché la principale evidenza di attività di faglia è la dimostrazione che essa taglia o/e deforma una unità quaternaria databile, riveste fondamentale importanza l'individuazione, la classificazione, la mappatura e la datazione dei depositi quaternari.

In particolare, si deve porre attenzione al riconoscimento del controllo che la faglia ha esercitato sull'evoluzione geologica nel tardo Quaternario, potendo influenzare la sedimentazione di depositi quaternari (caso di bacini sin-tettonici), con dislocazione e/o deformazione di successioni stratigrafiche tardo quaternarie o tradursi in: dislocazione di morfologie (versanti, valli fluviali, terrazzi fluviali), deformazioni dei depositi stessi (scarpate, tiltaggi), discordanze stratigrafiche, anomalie altimetriche di terrazzi alluvionali, assetti sedimentologici anomali (inclinazione verso monte di depositi alluvionali), superfici di terrazzo tiltate, differenze di spessore nell'ambito della stessa unità quaternaria.

#### 3.4.2 - Analisi geologico-strutturale delle strutture affioranti

L'analisi geologico-strutturale permette il riconoscimento e la mappatura delle strutture in senso geometrico e cinematico (determinazione della direzione, immersione, rake, tasso di slip, eventuale dislocazione di marker stratigrafici). In caso di strutture che presentano uno sviluppo solo nelle sequenze pre-quaternarie, la compatibilità con il campo di sforzi consente di valutare il grado di potenziale attività.

### 3.5 - Analisi geofisica

#### 3.5.1 - Analisi e interpretazione di linee sismiche

L'interpretazione di linee sismiche 2D a riflessione multicanale ad alta penetrazione (industriali a terra e di ricerca dell'OGS nell'area marina) consente di investigare e quindi di ricostruire la geometria sepolta delle strutture indagate e di evidenziarne la distribuzione areale, nonché quando possibile la loro evoluzione durante il Quaternario. La determinazione della profondità massima della struttura è elemento fondamentale per il calcolo della grandezza dell'area di faglia e quindi per la stima della massima magnitudo attesa. Per il calcolo si vedano, ad esempio, le relazioni empiriche proposte da Wells e Coppersmith (1994). La distribuzione dei profili sismici disponibili consente di investigare con questo metodo sia l'area di pianura che l'area marina.

#### 3.5.2 - Geofisica di superficie

Nelle aree in cui sono riconoscibili anomalie morfologiche che possono indicare attività di faglie, si possono prevedere indagini di geofisica superficiale con i metodi elettromagnetici quali Earth Resistivity Tomography (ERT) e Ground Penetrating Radar (GPR), o con i metodi acustici quali sismica a riflessione e/o a rifrazione, Multichannel Analysis of Seismic Waves (MASW) e di rumore sismico (H/V) attraverso cui dettagliare per i primi 10-50 metri le evidenze morfotettoniche di superficie che si ritiene possano essere legate alla fagliazione attiva. Le stesse metodologie permettono di individuare al meglio la localizzazione di eventuali trincee paleosismologiche.

### 3.6 - Paleosismologia

#### 3.6.1 - Esecuzione di trincee paleosismologiche

In siti selezionati sulla base delle risultanze di indagini morfotettoniche, geofisiche e geologiche, possono essere scavate delle trincee esplorative per ottenere la stratigrafia di dettaglio dei primi metri di sottosuolo, per studiare e possibilmente datare gli effetti deformativi legati all'attività recente di faglie. I depositi continentali del Pleistocene superiore - Olocene presenti in superficie e nel sottosuolo (trincee), se dotati di opportune caratteristiche, potranno essere datati attraverso analisi palinologiche e/o datazioni radiometriche con  $^{14}\text{C}$ . È quindi possibile stimare il numero e la magnitudo degli eventi occorsi. Finalità degli studi di paleosismologia è infatti quella di definire alcuni parametri utili alla caratterizzazione della struttura analizzata:

- l'ultimo evento di attivazione della faglia che ha prodotto fagliazione e/o deformazione visibile in trincea e, di conseguenza, il tempo intercorso dall'ultimo evento di attivazione con caratteristiche simili;
- il tempo di ricorrenza, ovvero il tempo che mediamente intercorre fra i diversi eventi di attivazione della faglia che ha prodotto fagliazione e/o deformazione visibile in trincea. Questo parametro, unito a quello precedente, fornisce informazioni utili alla definizione della probabilità (in senso statistico) di attivazione della faglia considerata in un futuro di interesse socio-economico;
- il rigetto per evento, ovvero l'entità della dislocazione o deformazione della superficie topografica e/o di superfici stratigrafiche per ogni evento di attivazione della faglia.

### 3.7 - Modellazione cinematica

La modellazione cinematica quantitativa applicata alla tettonica si occupa di ricostruire o analizzare l'evoluzione temporale delle strutture geologiche mediante lo studio delle relazioni geometriche che associano strutture fragili a strutture duttili, ovvero faglie con pieghe o viceversa. L'approccio cinematico nella geologia strutturale nasce e si sviluppa soprattutto a partire dagli anni '80 del secolo scorso quando alcuni autori iniziarono a proporre modelli che consentissero di ricostruire la geometria delle faglie, quando le stesse non fossero visibili direttamente, oppure di ricostruirne l'evoluzione del tempo, retroformando le geometrie osservate (per

una recente revisione dell'argomento si veda Brandes e Turner (2014). Nelle ricerche di tettonica attiva tali tecniche modellistiche possono essere utilizzate per:

- determinare la posizione di una faglia sepolta o cieca qualora la sua geometria non sia facilmente desumibile da dati geofisici (es. da linee sismiche) sfruttando l'analisi degli orizzonti (o parte di essi) deformati;
- calcolare l'attività di una faglia (slip rate) mediante la retrodeformazione di orizzonti deformati (es. Maesano et al., 2015);
- stabilire l'estensione areale in profondità delle faglie (ad es. profondità del livello di scollamento, eventuale segmentazione di una faglia in profondità).

### 3.8 - Sismologia storica e strumentale

Per il presente lavoro dedicato alle faglie attive del territorio del Friuli Venezia Giulia possono essere analizzati due set di dati: il catalogo dei terremoti storici e quello più recente dei terremoti strumentali (<http://www.crs.ogs.it> di CRS-OGS; catalogo DBMI15e CFTI15 dell'INGV).

Le informazioni che se ne possono dedurre sono molto diverse. I terremoti derivati da fonti storiche sono ovviamente di magnitudo alta o medio-alta e danno informazioni sul movimento di strutture principali, che spesso nel nostro territorio non sono visibili in superficie. Inoltre, gli epicentri dei terremoti storici derivano esclusivamente da valutazioni di intensità macrosismica e quindi la loro localizzazione può essere incerta. Da notare che se il "piano quotato", cioè l'insieme delle stime di intensità sul territorio cambia in seguito a nuove o diverse valutazioni, all'aggiunta di nuove stime di intensità o alla rivalutazione, generalmente al ribasso, di punti di misura l'epicentro del terremoto storico può spostarsi in maniera anche significativa. Per inquadrare il territorio dal punto di vista sismotettonico è necessario associare possibilmente i terremoti storici principali alle relative strutture.

La sismicità strumentale, in periodi non di crisi sismica, aiuta a determinare: lo stato di stress generale della zona, la profondità dello strato (layer) sismogenico, eventuali porzioni di faglia a rilascio sismico poco efficiente. L'analisi della sismicità recente può essere anche utilizzata per produrre tomografie profonde che sono utili alla ricostruzione delle parti medie e profonde della crosta.

## ORGANIZZAZIONE DEL GEODATABASE DELLE FAGLIE ATTIVE

### 4.1 - Introduzione

Il geodatabase delle faglie attive ha come elemento di base l' "indizio". Un indizio rappresenta un elemento puntuale, lineare o areale che indica direttamente o indirettamente la presenza di rottura/deformazione osservata in superficie o in profondità. Il geodatabase si basa quindi su dati reali di varia tipologia (geologici, geofisici, morfologici, geognostici, paleosismologici, ecc.). Gli indizi inseriti nel database sono stati desunti dalla bibliografia sinora a disposizione attraverso un processo di pesatura e valutazione, per cui ogni indizio viene legato ad una specifica fonte bibliografica (vedi Capitolo 4.2 geodatabase bibliografico) e il suo riferimento è riportato nel campo "id\_biblio" della **Tabella 4.6 "Faglie attive\_indizi"** (Capitolo 4.3.2).

Ciascun indizio (o in alcuni casi un gruppo di indizi) è stato associato ad una unità deformativa omogena detta "tratto di faglia" (da qui in poi *tratto*) che identifica singoli segmenti di faglia attiva (o potenzialmente attiva, o ad attività quaternaria indeterminata) fra di loro indipendenti. Nella

**Tabella 4.7 "Faglie attive\_tratti"** (Capitolo 4.4.2) ciascun tratto viene caratterizzato secondo la sua tipologia cinematica e associato al nome della faglia cui fa riferimento, quest'ultimo di solito è tratto da bibliografia.

Successivamente, sulla base di considerazioni cinematiche e strutturali, più tratti di una stessa faglia sono stati uniti in **un'unica struttura tettonica** le cui caratteristiche fondamentali sono contenute nella "scheda Anagrafica" collegata (tabella 4.9 "Faglie attive\_Anagrafica", e Capitolo 4.5.2).

L'assegnazione di uno o più tratti ad una stessa struttura permette di distinguere i dati acquisiti o dedotti (tabella "Faglie attive\_tratti") dall'interpretazione (tabella "Faglie attive\_Anagrafica"), che potrebbe essere ulteriormente affinata in tempi successivi, così come alcuni tratti potrebbero essere in seguito riferiti ad altra struttura. In questo contesto si potranno ereditare nomi delle strutture così come condivisi in letteratura, tenendo ben presente che non è consentita né automatica la cross-correlazione con le strutture di pari nome inserite nella tabella "Inventario", che è una raccolta dello

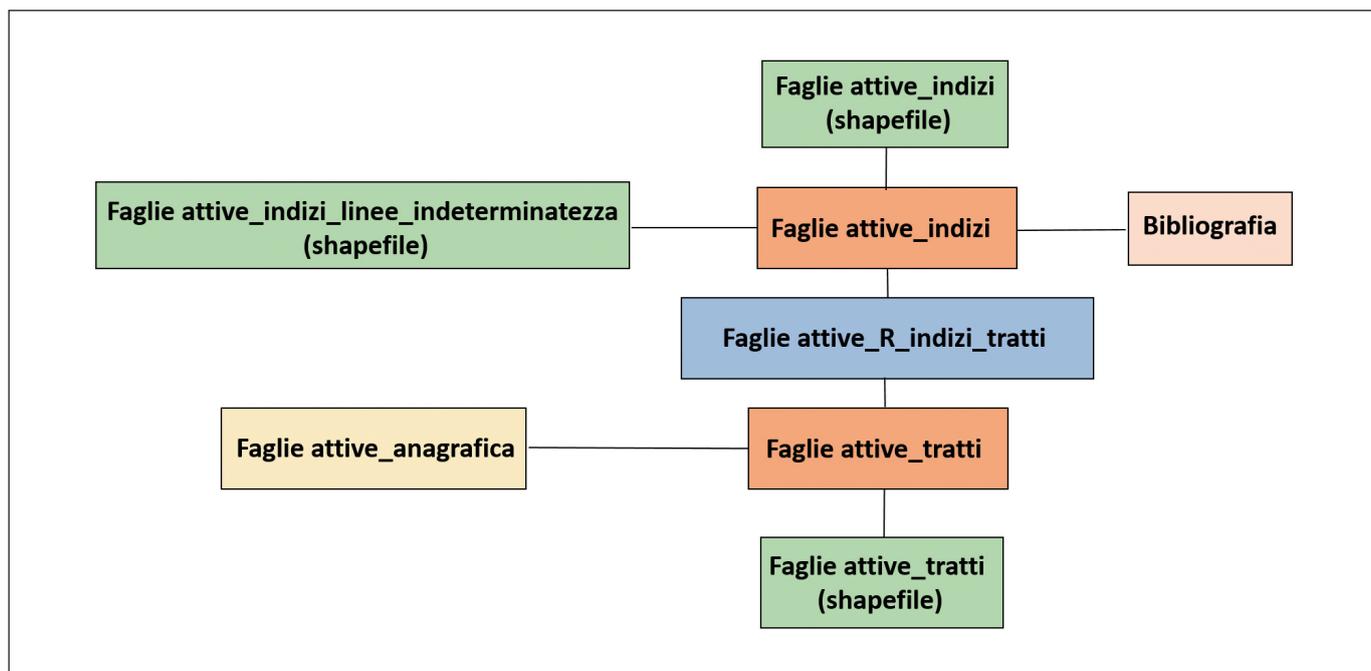


Fig. 4.1 - Schema complessivo del geodatabase faglie attive. In verde sono indicati gli shapefile "Faglie attive\_indizi" e "Faglie attive\_tratti", in arancio le tabelle in relazione uno a uno tramite chiave primaria con gli omonimi shapefile, in azzurro la tabella in relazione molti a molti con le due precedenti tabelle. La tabella "Bibliografia" in relazione uno a molti con la tabella "Faglie attive\_indizi". La tabella "Faglie attive\_anagrafica" in relazione uno a molti con la tabella "Faglie attive\_tratti". Lo shapefile a compilazione opzionale "Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza" in relazione uno a uno tramite chiave primaria con lo shapefile "Faglie attive\_indizi".

storico bibliografico. Le strutture infatti potranno essere le medesime note in letteratura, oppure di nuova istituzione (informale), nel caso in cui l'acquisizione di nuovi dati lo renda necessario. Le nuove strutture identificate potranno sostituire una o anche più faglie precedenti.

**Al fine di poter costruire le geometrie più probabili delle faglie attive in regione, anche se i dati di base sono rappresentati dagli "indizi" (dati di campagna, bibliografici o di futura pubblicazione che vincolano la definizione dei tratti attivi o potenzialmente attivi), i segmenti rappresentati nella banca dati sono i tratti di faglia,** mantenendo ben distinti quelli certi, da quelli incerti (che dovranno essere inseriti per necessità geometriche e di interpretazione in caso si decida la loro appartenenza ad una struttura tettonica unitaria), o dedotti, nel caso in cui ci sia la necessità di dare continuità alla struttura cartografata pur non conoscendone la posizione esatta.

In Fig. 4.1 è rappresentato lo schema concettuale che sta alla base del modello del geodatabase per le faglie attive. Sono state create quattro tabelle: "Faglie attive\_indizi", "Faglie attive\_tratti", "Faglie attive\_R\_indizi\_tratti" e "Faglie attive\_anagrafica", la prima e la seconda sono legate in relazione 1:1 rispettivamente a una *shapefile* nominata "Faglie attive\_indizi" e "Faglie attive\_tratti" che permetterà di ottenere l'informazione spaziale. Una tabella "Bibliografia" raccoglie tutta la bibliografia disponibile ed è collegata alla tabella degli indizi, permettendo di risalire alla fonte del dato relativo agli indizi stessi.

In Fig. 4.2 sono rappresentate le relazioni tra le tabelle e gli *shapefile* che verranno ampiamente illustrati nei capitoli successivi.

## 4.2 - Il database bibliografico

In questo database si sono riportate in maniera ragionata tutte le faglie di importanza regionale che sono state cartografate e di norma presenti nella bibliografia disponibile allo stato attuale. Vengono individuati così gli elementi tettonici, distinti per struttura e per origine bibliografica, con lo scopo

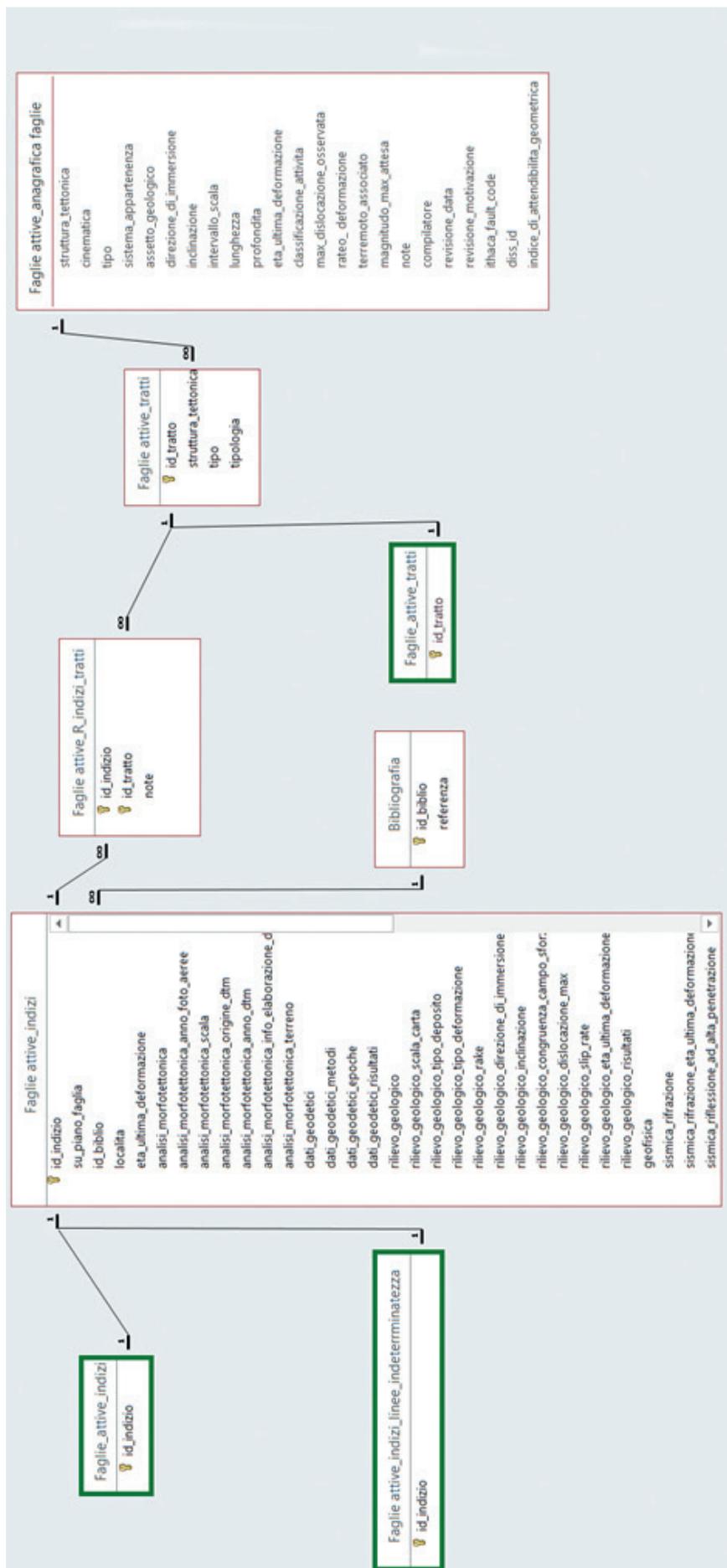


Fig. 4.2 - Schema delle relazioni tra tabelle (bordo rosso) e shapefile (bordo verde) del geodatabase per le faglie attive.

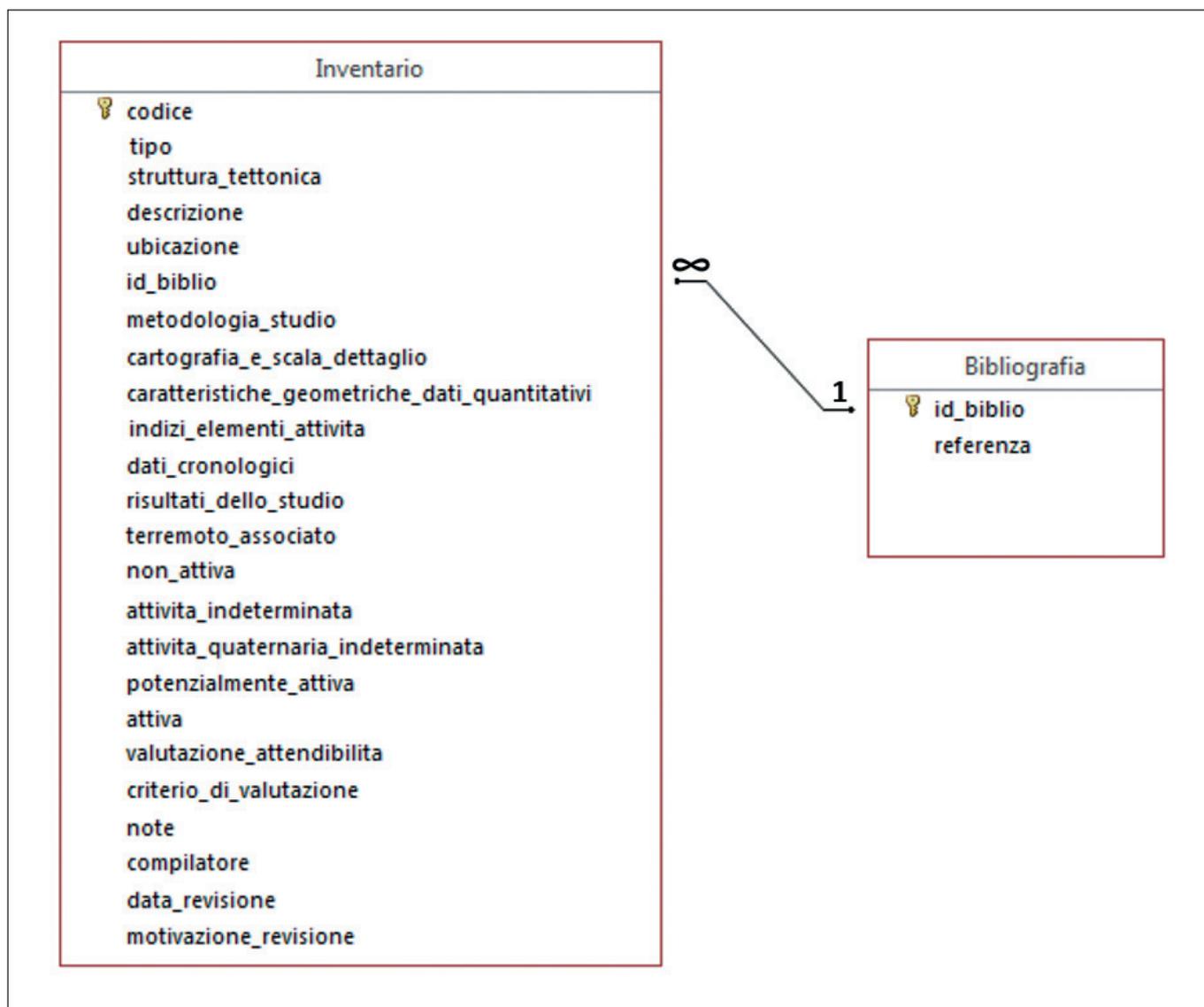


Fig. 4.3 - Schema delle relazioni tra le tabelle bibliografia e inventario.

di creare un inventario delle faglie presenti in regione da cui successivamente individuare quelle attive o potenzialmente attive o ad attività quaternaria indeterminata.

Per la costruzione del database bibliografico delle strutture tettoniche presenti nel territorio regionale è stata costruita una sintesi tabellare in formato Excel (inventario) orientata alla strutturazione in database, disaggregando le informazioni recuperate da bibliografia in vista della definizione di campi, validità e domini. Sono state create due tabelle: Tabella Bibliografia e Tabella Inventario.

#### 4.2.1 - Tabella "Inventario"

Gli elementi disaggregati sono descritti nei campi della tabella "Inventario" distribuita come omonimo foglio nel file Excel. Lo scopo della tabella "Inventario" è di raggruppare in maniera sintetica ed organizzata le caratteristiche geologiche e geometriche di ogni faglia e gli elementi relativi alla definizione di attività derivate da studi presenti in letteratura

(con particolare riguardo all'attività nel Quaternario). Sono evidenziate inoltre le metodologie di studio, utilizzate per l'individuazione e le analisi sulle faglie nelle diverse pubblicazioni, e la scala di dettaglio con cui sono stati descritti ed eventualmente rappresentati gli elementi tettonici (evidenziando la presenza di cartografie). In Tabella 4.1 sono raggruppati i campi previsti nella tabella Inventario.

Un ulteriore aspetto riguarda i risultati raggiunti da ogni studio pubblicato, che vengono associati ad una valutazione dell'attendibilità degli stessi: questa valutazione (espressa in termini quantitativi) viene data in modo il più possibile oggettivo, calibrandola in base a una serie di parametri rappresentati dalla presenza nello studio considerato di varie tipologie di analisi, in modo tale che la chiave di lettura sia: *"più complete e dettagliate risultano tali analisi, migliore, quindi più alta, è la valutazione"*.

I nomi dei campi devono essere in caratteri minuscoli, senza numeri, senza spazi (le parole sono separate dal carat-

tere “\_”) e senza caratteri speciali o accentati (es. ”eta\_ultima\_deformazione”), secondo le indicazioni in *La costruzione delle banche dati territoriali nel contesto dell’infrastruttura regionale di dati ambientali e territoriali (IRDAT fvg) (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e Insiel, 2013)*.

La tabella “Inventario” è organizzata secondo la singola struttura tettonica (individuata con il suo nome, così come viene indicato nella pubblicazione di riferimento (es. *Sovrascorrimiento Arba-Ragogna*) che viene associata al titolo della pubblicazione. Il nome della struttura è quello usato nella pubblicazione e deve essere univoco nel dominio.

La combinazione dei campi “struttura\_tettonica” e

“id\_biblio” valgono come una sorta di chiave primaria e quindi, se la stessa struttura viene presentata e descritta in diverse pubblicazioni, in tabella ci saranno tanti record per la medesima faglia quanta la numerosità delle pubblicazioni di origine.

Il campo “id\_biblio” punta al campo omonimo della tabella “Bibliografia”, che riporta nel campo “referenza” il titolo del lavoro analizzato. Vedi oltre per le specifiche della tabella “Bibliografia”, distribuita come foglio del file Excel (capitolo 4.2.2). Quest’ultima è condivisa nel database per le faglie attive.

Di seguito sono descritti i gruppi di campi presenti in tabella inventario.

Gruppo	Nome campo	Tipo campo
IDENTIFICATIVO	codice	“string(8)”
	tipo	“string”
	id_biblio	“integer”
STRUTTURA TETTONICA	struttura_tettonica	“string”
	descrizione	“string”
	ubicazione	“string”
GEOMETRIA	caratteristiche_geometriche_dati_quantitativi	“string”
ELEMENTI DI ATTIVITÀ	indizi_elementi_attivita	“string”
	dati_cronologici	“string”
	terremoto_associato	“string”
	non_attiva	“string(2)”
	attivita_indeterminata	“string(2)”
	attivita_quaternaria_indeterminata	“string(2)”
	potenzialmente_attiva	“string(2)”
	attiva	“string(2)”
SCOPO METODI E RISULTATI	risultati_dello_studio	“string”
	metodologia_studio	“string”
	cartografia_e_scala_dettaglio	“string”
VALUTAZIONE	valutazione_attendibilita	“integer(2)”
	criterio_di_valutazione	“string”
COMPILAZIONE	note	“string”
	compilatore	“string”
	data_revisione	“date(dd/mm/yyyy)”
	motivazione_revisione	“string”

Tab. 4.1 - Nome e tipo dei campi della tabella “Inventario”.

codice	tipo	struttura_tettonica	descrizione	ubicazione	id_biblio	...
AR_001	sovrascorrimento	<b>Sovrascorrimento Arba-Ragogna</b>	sovrascorrimento cieco, affiorante solo l'estremità orientale	Alta Pianura tra T. Cellina e M. di Ragogna, in gran parte destra Tagliamento	<b>001</b>	...
AR_003	sovrascorrimento	<b>Sovrascorrimento Arba-Ragogna</b>	sovrascorrimento cieco, affiorante solo l'estremità orientale	Alta Pianura tra T. Cellina e M. di Ragogna, in gran parte destra Tagliamento	<b>003</b>	...
MA_005	sovrascorrimento	<b>Sovrascorrimento di Maniago</b>	sovrascorrimento cieco (in pianura, porzione occidentale), affiorante presso Meduno	Alta pianura tra Cellina e Meduna, alla base dei primi rilievi collinari tra Maniago e Meduno	<b>005</b>	...
ST_002	sovrascorrimento	<b>Sovrascorrimento Susans-Tricesimo</b>	sovrascorrimento cieco, affiorante solo la porzione più occidentale	Alta pianura in sinistra Tagliamento tra Susans, e Faedis	<b>002</b>	...

Tab. 4.2 - Alcuni campi da quattro record estratti dalla tabella "Inventario".

#### a - Identificativo

Nome del campo	Tipo	Composizione, dominio, note, obbligatorietà
codice	string(8)	<p><b>2 o 3 (o 4 se necessario) caratteri alfabetici.</b> In maiuscolo indicanti il nome della struttura. Eventualmente in minuscolo l'ultimo carattere nei casi in cui si tratti di insieme di faglie a sistema (es: IA per Faglia di Idrija e IAs per Sistema della faglia di Idrija, dove "s" vale come sistema) o una faglia con tratti a cinematica diversa (es: PI per Sovrascorrimento di Pielungo e Pib per Rampa laterale del sovrascorrimento di Pielungo, dove "b" vale come bis). Un eventuale primo carattere "#" indica il codice di strutture nell'insieme di un nome non assegnato (es: #SNA per Sovrascorrimento non assegnato, #FNA per Faglia non assegnata). Tale radice deve essere univoca</p> <p>"_ "</p> <p><b>id_biblio</b> (conversione in stringa formattata "000" delle 3 cifre della chiave primaria dal record di riferimento del lavoro della tabella "Bibliografia")</p> <p>Per un totale massimo di 8 caratteri.</p> <p>L'orientamento è riproporre le sigle indicate dagli autori del lavoro, se non già impegnati, purchè minimo due caratteri, elidendo eventuali caratteri che valessero come iniziali di "sovrascorrimento", "thrust", "faglia", ecc. perché poco pratico in quanto si andrebbe a saturare presto la disponibilità di sigle inizianti per "S", "T" o "F".</p> <p><b>Chiave primaria, richiesto</b></p>
tipo	string	<p>Sintesi del tipo di cinematica delle strutture come cartografate e nella loro ultima attività di deformazione.</p> <p>Dominio aggiornabile a campo non libero, vedi foglio "Tipo" in file Excel, ad uso vestizione in ambiente GIS:</p> <p>sovrascorrimento; faglia; faglia diretta; faglia inversa; faglia trascorrente destra; faglia trascorrente sinistra; faglia transpressiva destra; faglia transpressiva sinistra; scaglia tettonica</p> <p>Nota: i tratti certi, incerti, sepolti, sono definiti tramite il campo "tipologia" in shapefile, vedi oltre</p> <p><b>Richiesto</b></p>
id_biblio	integer	<p>Vedi tabella "Bibliografia". Vale come chiave secondaria verso la tabella "Bibliografia", per comodità di condivisione è come foglio "Bibliografia" nel file Excel.</p> <p>I lavori inseriti da UNIUD coprono l'intervallo da 001 a 099, da OGS da 100 a 199, da UNITS da 200 a 299, da Servizio Geologico da 300 a 399.</p> <p><b>Richiesto</b></p>

Tab. 4.3 - Estratto commentato con definizione e domini di alcuni campi della tabella "Inventario", i campi non citati sono testuali a lunghezza libera e commentati più avanti.

b - Struttura tettonica e tipo

- struttura\_tettonica (richiesto): il nome della struttura tettonica come indicato nella pubblicazione di riferimento (es. *Sovrascorrimento Arba-Ragogna*).
- descrizione: viene riportata per esteso la tipologia cinematica della faglia, assieme alle indicazioni sullo stato di affioramento o meno (es: faglia cieca) e sue eventuali riattivazioni.
- ubicazione: breve indicazione dell'area geografica in cui si sviluppa la traccia in superficie o la tip line della faglia.

c - Caratteristiche geologiche e geometriche delle faglie

- caratteristiche\_geometriche\_dati\_quantitativi: vengono riportate in sintesi tutte le caratteristiche che riguardano la geometria in superficie e in profondità della faglia e i dati quantitativi medi relativi ai movimenti, così come descritte in ogni pubblicazione presa in considerazione:
  - direzione media della traccia in superficie;
  - vergenza;
  - valutazione del rigetto verticale, eventualmente indicando l'orizzonte stratigrafico di riferimento e l'indicazione del tipo di metodologia di analisi utilizzata per quantificarlo (es. da linea sismica);
  - lunghezza di faglia in superficie;
  - massima profondità;
  - slip-rate.

d - Elementi di attività

Nei campi seguenti sono riportati i dati che permettono di valutare l'attività recente (quaternaria) o meno della faglia presa in considerazione.

- indizi\_elementi\_attivita: sono riportati tutti quei dati, ricavati da rilevamenti geologici, geofisici, geomorfologici o da fotointerpretazione, che rappresentano indizi dell'attività quaternaria di una faglia, tra cui: elementi morfotettonici presenti su depositi quaternari, deformazioni, dislocazioni e anomalie stratigrafiche su depositi quaternari.
- dati\_cronologici: si riportano i dati derivanti da datazioni radiometriche (<sup>14</sup>C) o con altri metodi effettuate su sedimenti (prevalentemente tardo-quaternari) coinvolti nelle deformazioni tettoniche, che hanno permesso di stabilire un orizzonte temporale per l'attività della faglia.
- La valorizzazione di ciascun campo (fra non\_attiva, attivita\_indeterminata, attivita\_quaternaria\_indeterminata,

potenzialmente\_attiva, attiva) deriva dai dati e dagli indizi relativi all'attività quaternaria presenti o meno nella pubblicazione. Si fornisce quindi una classificazione di attività della faglia secondo i campi riportati nell'esempio sottostante. Il dominio del campo prevede: X = vero, X? = vero con classificazione temporaneamente dubbia, null = non valorizzato. L'assegnazione "vero" al campo "non\_attiva" vieta la valorizzazione degli altri campi.

- terremoto\_associato: se presente nella pubblicazione relativa ad una faglia ritenuta sismogenica, viene riportato il riferimento all'evento sismico che si è verificato nell'area di studio ove è presente la faglia in questione. Tale associazione è possibile quando ci sono datazioni delle unità coinvolte nella deformazione correlabili con le informazioni disponibili sui terremoti di elevata magnitudo, noti da catalogo, che hanno interessato l'area di studio.

e - Scopo, metodi e risultati dello studio

- metodologia\_studio: vengono riportate le metodologie di analisi che sono state utilizzate per raggiungere i risultati dello studio di una faglia in una determinata pubblicazione; tra i metodi utilizzati si riscontrano:
  - rilevamento geologico - strutturale di superficie,
  - analisi geomorfologiche e morfotettoniche da dati di telerilevamento e topografici,
  - realizzazione di trincee paleosismologiche.
  - rilievi geofisici,
- cartografia\_e\_scala\_dettaglio: vengono riportate le scale con cui sono state eseguite le varie metodologie di analisi per lo studio della faglia. Se la faglia in questione viene anche rappresentata in una cartografia, se ne riporta la scala nominale. Per notificare le precisioni intrinseche, vengono descritte e separate le informazioni riguardo la scala nominale di distribuzione del graficismo (es. foglio geologico a scala 1:50.000), l'effettiva scala di rilevamento (es. dettagli a scala 1:10.000), la scala per i tratti dedotti da line drawing di linee sismiche (es: scala 1:25.000).
- risultati\_dello\_studio: vengono riportati i principali risultati dello studio presente nella pubblicazione considerata che sono stati utilizzati per le finalità del progetto. Ad es.
  - posizionamento traccia in cartografia;
  - definizione di geometria superficiale e profonda e rigetti;
  - individuazione di attività quaternaria.

struttura_tettonica	non_attiva	attivita_indeterminata	attivita_quaternaria_indeterminata	potenzialmente_attiva	attiva
Sovrascorrimento Arba-Ragogna				X	X

Tab. 4.4 - Campi attività.

#### f- Valutazione di attendibilità dei dati associati alle strutture

- **criterio\_di\_valutazione:** si basa sulla presenza (ragionata tenendo conto della finalità di ogni lavoro) del maggior numero delle seguenti tipologie di analisi utilizzate (vedi foglio “Parametri” nel file Excel):
  - rilevamento geologico e relativa scala;
  - analisi morfotettoniche (DTM, fotointerpretazione, rilevamento geomorfologico, ecc.);
  - analisi geologica del Quaternario e relative datazioni;
  - indagini di sottosuolo con metodi geofisici superficiali;
  - indagini di sottosuolo con metodi geofisici profondi;
  - indagini paleosismologiche e relative datazioni;
  - ubicazione della traccia di faglia in cartografia (almeno 1:50.000);
  - presenza di sondaggi geognostici e di pozzi di esplorazione.
- **valutazione\_attendibilita:** questa valutazione dei risultati dello studio relativo ad una singola faglia nella pubblicazione considerata viene espressa con un numero in una scala da 0 a 10 ed esprime il giudizio del compilatore sulla completezza delle analisi svolte e sul grado di dettaglio dei risultati ottenuti. Essa deve essere possibilmente oggettiva.

In linea di principio vengono inserite nel database tutte le faglie presenti nelle pubblicazioni con una descrizione delle loro caratteristiche o con la rappresentazione della traccia nella cartografia; vengono tralasciate in genere tutte quelle faglie di piccole dimensioni o di scarso significato nell’ambito del regime tettonico attivo che, pur avendo un’espressione cartografica, non hanno una qualunque descrizione nella pubblicazione in oggetto. Per quanto riguarda le strutture extraregionali sono state riportate solo quelle più significative.

#### g - Compilazione

- **note:** libere informazioni aggiuntive.
- **compilatore:** sigla dell’ente o persona autore del record.
- **motivazione\_revisione:** motivazione dell’eventuale revisione dei contenuti del record.

- **data\_revisione:** data in formato (dd/mm/yyyy) dell’eventuale revisione.

#### **4.2.2 - Tabella “Bibliografia”**

Nella tabella “Bibliografia” viene riportato l’elenco di tutte le pubblicazioni che sono state prese in considerazione per ricercare ed estrarre tutte le informazioni sulle faglie inserite nell’inventario.

#### **4.3 - “Indizio”**

##### **4.3.1 - Introduzione**

Concettualmente ogni “indizio” rappresenta un punto ove in modo diretto (rilevamento di terreno o sondaggi da correlare) o indiretto (interpretazione di linea sismica o altra indagine geofisica) si è potuto osservare la presenza di una discontinuità (rottura) legata all’attività di faglia (l’“indizio” è quindi posto sul piano di faglia). Nel caso di osservazione geologica diretta di terreno, verrà inserita la giacitura della superficie di faglia (direzione di immersione e inclinazione) con eventuali osservazioni cinematiche. Nel caso in cui invece la rottura o la deformazione sia evidente dall’analisi di linee sismiche, si è convenuto che l’ “indizio” mappato rappresenti il punto (in profondità) in cui si è osservata la deformazione più recente. Tale punto verrà poi proiettato ortogonalmente in superficie (“indizio proiettato”), mantenendo l’indicazione in tempi doppi.

Nel caso di indizi derivanti da interpretazione di linee sismiche a riflessione (prevalentemente linee sismiche industriali ENI) non essendo sempre possibile ricostruire la corretta inclinazione del piano di faglia verso la superficie, si è ricorsi alla costruzione della *linea di indeterminatezza* che rappresenta l’incertezza geometrica dell’uscita del piano di faglia in superficie (vedi capitolo 4.3.4).

Per quanto riguarda gli “indizi” di tipo geognostico, che sono rappresentati solo come dato puntuale (es. profondità del substrato roccioso), in sé non possono dare informazioni sulla presenza di deformazioni per faglia (a meno che lungo il sondaggio non sia stata messa in evidenza la presenza di un pacco di strati fagliato). In linea di massima quindi è solo dal confronto fra diversi indizi geognostici che è possibile eventualmente dedurre una dislocazione o deformazione per faglia.

Nome del campo	Tipo	Composizione, dominio, note, obbligatorietà
id_biblio	“integer”	<b>Chiave primaria, richiesto.</b> I lavori inseriti da UNIUD sono nell’intervallo da 001 a 099, da OGS da 100 a 199, da UNITS da 200 a 299, da Servizio Geologico da 300 a 399 Vedi il campo collegato per la tabella “Inventario”
referenza	“string”	Referenza del lavoro. <b>Richiesto.</b>

Tab. 4.5 - Nome e tipo dei campi della tabella “Bibliografia”, con definizione e domini.

Per quanto riguarda i dati di tipo geodetico (dati da microgravimetria, INSAR, livellazione geometrica, stazioni permanenti o temporanee GPS, ecc.) l'indizio prevede di riportare le misure effettuate in un'epoca (non sufficienti a dare indicazione di deformazione o movimento) o lavori di sintesi delle variazioni plano-altimetriche, riferibili o meno ad uno zero locale o esterno. È necessaria l'indicazione di variazioni non ascrivibili a cause diverse da movimenti tettonici per dare un'età di ultima deformazione storica (con indicazione delle date).

Poiché però nell'ambito della tettonica attiva le evidenze di deformazione possono anche essere legate a fenomeni di deformazione che non implicano rottura, sono state inserite nel geodatabase anche le informazioni sulle deformazioni "areali" o "lineari" legate ad evidenze di superficie (es. evidenze morfotettoniche come superfici sospese e/o basculate, anomalie del drenaggio, scarpate di faglia, ecc.) o evidenze nelle linee sismiche (es. deformazioni di orizzonti).

Infine, sono state inserite anche le osservazioni puntuali ottenute da metodi paleosismologici.

Di seguito viene descritta l'organizzazione della tabella "Faglie attive\_indizi" e del relativo *shapefile* "Faglie attive\_indizi".

#### 4.3.2 - Tabella "Faglie attive\_indizi"

I nomi dei campi sono in caratteri minuscoli, senza numeri, senza spazi (le parole sono separate dal carattere "\_") e senza caratteri speciali o accentati (es. "eta\_ultima\_deformazione"), secondo le indicazioni in *La costruzione delle banche dati territoriali nel contesto dell'infrastruttura regionale di dati ambientali e territoriali (IRDAT fvg) (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e Insiel, 2013)*.

La tabella "Faglie attive\_indizi" è organizzata come segue (Tabella 4.6)

- "id\_indizio": ogni record viene identificato univocamente (chiave primaria) e costruito seguendo la seguente regola: I (per indizio), sigla del nome dell'Ente compilatore, una conversione in stringa di un numero formattato ("0000") non ripetuto, il tutto separato dal carattere "\_", come ad esempio I\_OGS\_0001.
- "su\_piano\_faglia": campo che identifica il posizionamento sul terreno dell'indizio rispetto al reale piano della struttura tettonica (valori: 1=si, 0=no, p=proiettato).
- "id\_biblio": indica la relazione con la pubblicazione da cui si sono ricavate le informazioni relative all'indizio. La tabella "Faglie attive\_indizi" ha relazione molti a uno con la tabella "Bibliografia" (vedi cap. 4.2.2) tramite il campo "id\_biblio".
- "localita": Indicazione del toponimo (o del Comune) più prossimo al punto indagine.
- "eta\_ultima\_deformazione": il campo "eta\_ultima\_defor-

mazione" riporta l'età della deformazione più recente fra quelle individuate con i vari metodi di indagine nei campi dedicati e può essere calcolato da formula di confronto. Questo campo è stato introdotto allo scopo di effettuare eventuali interrogazioni e per caratterizzazione iconografica. Nel dominio del campo "eta\_ultima\_deformazione" per ciascuno dei metodi di indagine considerati, vengono inseriti anche ulteriori valori, per cui la classificazione finale è data da: storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile.

In particolare, la superficie di erosione diacrona è posta alla base della successione quaternaria in quanto rappresenta l'orizzonte marker; la lacuna associata a tale superficie aumenta progressivamente da ovest verso est e comprende un intervallo di tempo che va dal Messiniano superiore al Pleistocene inferiore.

Il valore "non definita" viene introdotto nei casi di particolari indizi con analisi morfotettoniche (tipo quelli che individuano anomalie nell'andamento dell'idrografia superficiale) in cui non è possibile assegnare un'età ultima deformazione in quanto non si può conoscere il deposito coinvolto dalla deformazione, oppure quando manca un dato da rilevamento geologico. Il valore "non applicabile" viene utilizzato per gli indizi da indagine geognostica (es. profondità del substrato) i quali di per sé non possono restituire un'età di ultima deformazione, questa può derivare solo dal confronto fra diversi indizi geognostici di profondità del substrato che insistono su un tratto, quando inevitabilmente risulta dislocare il substrato. Inoltre il popolamento di questo campo anche usando i valori "non definita" e "non applicabile" ha utilità per discriminare soluzioni non valide nei risultati di query tra tabelle relazionate con *Null* per questo campo.

#### - Tipo di indizio

Per quanto riguarda la tipologia di indizi utilizzati, sono state prese in considerazione le seguenti metodologie di indagine.

##### Analisi morfotettonica

Questa analisi prevede la realizzazione di uno studio morfotettonico dettagliato del territorio, anche mediante l'utilizzo di tecniche di fotointerpretazione, DTM e microrilievi a grande scala. In questo caso viene richiesto l'anno di acquisizione. L'indizio che ne deriva darà indicazioni di tipo areale o lineare, poiché esso non indicherà la presenza diretta della superficie di faglia ma solo la deformazione della superficie topografica conseguente all'attività della struttura stessa.

#### Dati geodetici

Prevede la descrizione del tipo, la ripetizione delle misure geodetiche e degli eventuali risultati riferibili a deformazioni cosismiche o intersismiche.

#### Rilievo geologico di terreno

Si intende il rilievo effettuato lungo la superficie di una faglia o negli immediati dintorni, in modo da poterne definire le caratteristiche geometriche, (in termini di *direzione di immersione*, *inclinazione*), cinematiche (*rake*), l'età di ultima deformazione, l'eventuale *rigetto*, e le caratteristiche litosedimentologiche dei depositi interessati dalla deformazione.

#### Analisi geofisica e geognostica

Si tratta in questo caso di un dato acquisito con metodi indiretti. Sono considerati: dati geofisici (sismica a riflessione/rifrazione, georadar, tomografia sismica, HVSr, geoelettrica, ecc.). Si richiede quando possibile l'indicazione dell'ultimo deposito deformato (vedi età ultima deformazione). Nel caso della interpretazione delle linee sismiche l'indizio indica la proiezione in superficie della deformazione più recente osservata. Sondaggi geognostici che abbiano interessato discontinuità tettoniche, si richiede in questo caso la profondità della struttura e l'età di deformazione. Nella maggior parte dei casi si tratta di dati puntuali della posizione nel sottosuolo di orizzonti guida (tipo profondità del substrato pre-quadernario) che messi a confronto tra loro possono testimoniare la presenza di una rottura o deformazione per motivi tettonici.

#### Fluidi nel sottosuolo

Viene segnalata la presenza di migrazione ed eventuale fuoriuscita di fluidi in corrispondenza di zone faglia.

#### Indagini paleosismologiche con esecuzione di una trincea

Raccoglie tutte le informazioni ricavate dall'analisi paleosismologica di dettaglio effettuata usualmente con lo scavo di una trincea attraverso l'evidenza superficiale della faglia. È quindi una metodologia che permette di studiare le deformazioni più recenti (di solito a partire dal Pleistocene superiore-Olocene) di una struttura tettonica, fino a definirne la capacità. Per questo motivo attraverso questa metodologia è possibile dare informazioni di dettaglio su aspetti fondamentali per la definizione della pericolosità sismica di una struttura tettonica quali: l'età dell'ultimo evento, l'intervallo di ricorrenza, la massima dislocazione osservata, l'eventuale *slip rate*, l'eventuale capacità della struttura; il terremoto di riferimento.

#### **4.3.3 - Shapefile "Faglie attive\_indizi"**

Lo shapefile "Faglie attive\_indizi" a primitiva geometrica polilinea (sistema di riferimento EPSG = 6708) rappresenta la localizzazione spaziale degli indizi e si relaziona *uno a uno* con la tabella "Faglie attive\_indizi" attraverso la chiave primaria "id\_indizio". Per comodità e convenzione viene utilizzata la primitiva geometrica polilinea la quale è definita nei seguenti modi:

- nel caso concettualmente rappresenti un punto (come nel caso di dati ottenuti da analisi di linee sismiche), viene definita come una polilinea di lunghezza standard pari a 1 m con orientazione da ovest verso est;
- nel caso rappresenti un areale (ad esempio da indagini morfologiche di superficie), viene convenzionalmente definita come una polilinea con vertice iniziale coincidente con il finale.

Le geometrie non sono multipart.

Nel caso si riportino linee orientate (per esempio indizi coincidenti con sovrascorrimenti) la direzione degli archi è secondo le norme della vestizione del Progetto CARG (ISPRA, 2009 e ISPRA 2011). Ad esempio, il sovrascorrimento principale (valore 2200 per campo "tipo" in tabella ST018\_AAT in banca dati CARG) presenta la parte sovrascorsa indicata dai triangoli alla destra dell'arco quando disegnato da sinistra a destra.

#### **4.3.4 - Shapefile "Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza"**

Lo shapefile a compilazione non obbligatoria "Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza" a primitiva geometrica polilinea di due vertici (sistema di riferimento EPSG = 6708) è di ausilio per migliorare la comprensione degli indizi derivanti da indagini geofisiche, in particolare quelli derivanti da interpretazione di linee sismiche, nella necessità di rappresentare l'incertezza relativa all'eventuale emersione di una faglia presente nello shapefile e tabella "Faglie attive\_tratti". Lo shapefile "Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza" ha campo "id\_indizio" strutturalmente uguale al campo "id\_indizio" dello shapefile "Faglie attive\_indizi" e con stesso valore dell'indizio cui si riferisce.

Nello shapefile "Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza" sono tracciate linee a due vertici coincidenti per orientazione con la traccia della linea di indagine geofisica da cui sono tratte le considerazioni, con l'origine posta in corrispondenza dell'indizio cui si riferisce. La lunghezza (determinata dal secondo vertice) di tali linee orientate è determinata in modo tale da offrire un'informazione sulla zona dove si prevede che possa emergere il piano di faglia individuato tramite tali indagini. Vedi anche Fig. 4.4.

Le geometrie non sono multipart.

## 4.4 - “Tratto”

### 4.4.1 - Introduzione

Quando possibile, agli indizi (sia che si tratti di indizi derivanti da sismica a riflessione, che da indagini di terreno o indizi morfotettonici) sono stati associati i relativi tratti di faglia, che vengono definiti correlando indizi fra loro coerenti. I tratti rappresentano dei segmenti della traccia in superficie della struttura tettonica e vengono distinti in base alla loro tipologia a seconda che risultino certi o incerti, affioranti o sepolti. Per strutture che non presentano “indizi” diretti o indiretti, ma che sono presenti in bibliografia solo come graficismi senza indicazioni di indizi deformativi tratti da letteratura, si è inserita la tipologia “solo dato grafico”.

### 4.4.2 - Tabella “Faglie attive\_tratti”

Nella tabella “Faglie attive\_tratti” si fa riferimento a geometrie che costituiscono la traccia in superficie di una struttura tettonica, esse possono correlarsi agli indizi e vengono classificate in base alla diversa tipologia.

Ogni record viene identificato univocamente da un “id\_tratto” (chiave primaria), costruito seguendo la seguente regola: T (per tratto), acronimo del nome dell’Ente compilatore, una conversione in stringa di un numero formattato (0000) non ripetuto, il tutto separato dal carattere “\_”, come ad esempio T\_OGS\_0001. Lo stesso campo permette la relazione *uno a molti* con la tabella “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti”, che collega i tratti di faglia agli indizi associati che permettono di definirne le caratteristiche di attività.

La tabella “Faglie attive\_tratti” è composta dai seguenti campi: “struttura tettonica”, “tipo”, “tipologia” e “note”, la struttura della tabella “Faglie attive\_tratti” è descritta in Tabella 4.7.

#### **struttura tettonica:**

descrizione del nome della struttura tettonica. Le strutture potranno essere le medesime note in letteratura, oppure di nuova istituzione (informale), nel caso in cui l’acquisizione di nuovi dati lo renda necessario. Le nuove strutture identificate potranno sostituire una o anche più faglie precedenti;

#### **tipo di faglia:**

viene definito tramite valori di dominio che indicano la cinematica della faglia:

- faglia;
- faglia diretta;
- faglia inversa;
- sovrascorrimento;
- faglia trascorrente;
- faglia trascorrente destra;
- faglia trascorrente sinistra;
- faglia transpressiva;
- faglia transpressiva destra;
- faglia transpressiva sinistra;
- faglia transtensiva;
- faglia transtensiva destra;
- faglia transtensiva sinistra.

#### **tipologia di tratto:**

esistono diverse tipologie di tratti di faglia con attendibilità decrescente.

**Tratti certi:** possono derivare dall’interpretazione di linee sismiche a riflessione o da dati di terreno in cui è affiorante il piano di faglia. Possono essere affioranti o sepolti da sedimenti più recenti e sono sempre associati ad almeno un indizio.

Nel primo caso (sismica a riflessione), poiché usualmente le linee sismiche industriali ENI non presentano il dato sismico nella parte più superficiale e non è sempre possibile ricostruire la corretta inclinazione del piano di faglia verso la superficie, si è ricorsi alla costruzione della linea di indeterminatezza (cui è associato il relativo shape “Faglie attive\_indizi\_linee\_indeterminatezza”): vedi cap. 4.3.4) che rappresenta l’incertezza geometrica dell’uscita del piano di faglia in superficie. Ne deriva che in questo caso il tratto coincide con il punto più probabile di emersione in superficie della struttura interpretata (**tratto certo sepolto**) e non con l’indizio che invece come già detto, rappresenta in questo caso la proiezione in superficie della evidenza più recente di deformazione osservata in profondità (Fig. 4.4).

Nel caso invece di tratti derivanti da dati di terreno (associati cioè ad indizi con dati da rilievo geologico di superfi-

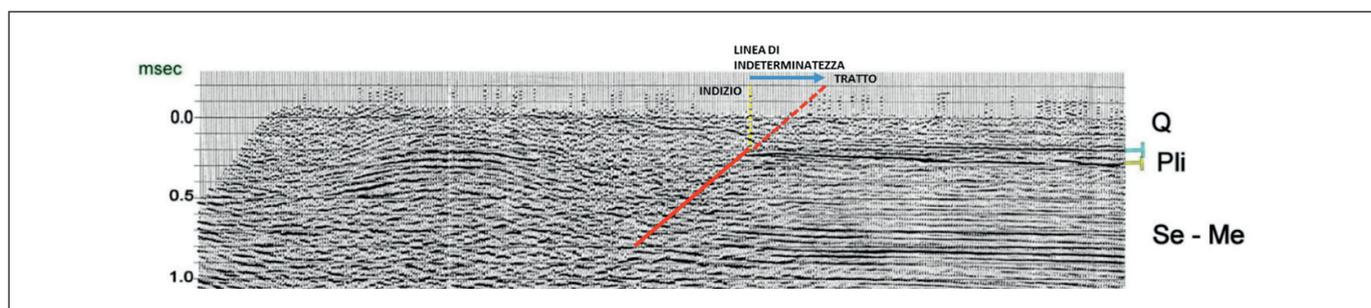
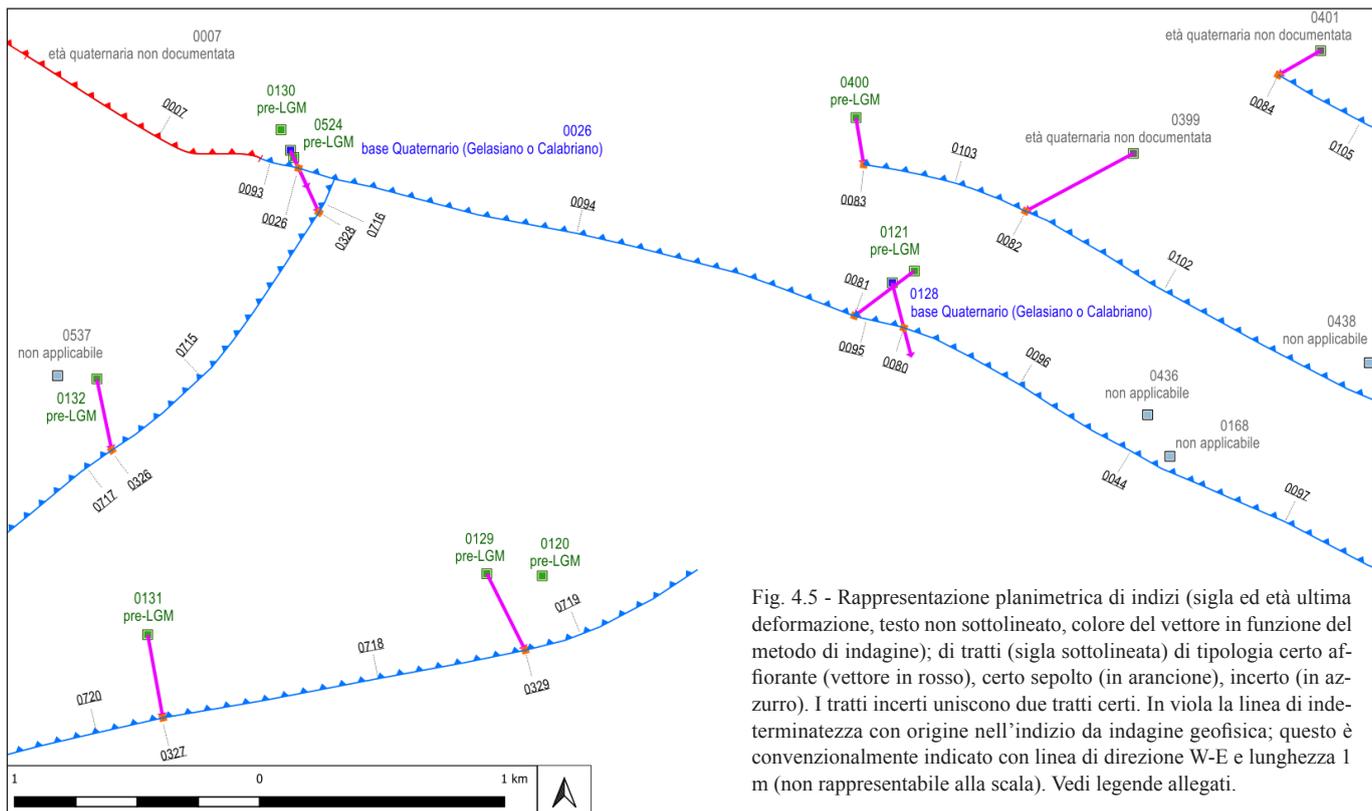


Fig. 4.4 -Esempio grafico di sezione sismica interpretata in cui è stata creato un indizio (giallo), un tratto (in rosso) e la linea di indeterminatezza (in azzurro). Q: Successione Quaternaria, Pli: successione Pliocenica; Se-Me: successione della Molassa sudalpina del Serravalliano-Messiniano.



cie) in cui la superficie di faglia è affiorante, il tratto viene a coincidere con l'indizio (tratto certo affiorante).

Tratti incerti: vengono usati solo in due casi. Quando congiungono due tratti certi (e non hanno indizi associati), oppure quando sono associati ad indizi di morfotettonica, in quanto tale indizio non coincide con la superficie di faglia, ma ne rappresenta una conseguenza deformativa. Ad esempio, la presenza di una superficie sospesa e/o basculata, o di una blanda scarpata di faglia in area di pianura sono l'espressione morfologica della presenza di una faglia sepolta che esiste sicuramente ma di cui non è certa l'esatta posizione.

Tratti dedotti: non sono associati ad alcun indizio e sono stati introdotti solo nel caso in cui ci sia la necessità di dare continuità alla struttura cartografata pur non conoscendone la posizione esatta. Si tratta quindi solo di uno strumento di rappresentazione cartografica.

Tratti "solo dato grafico": si intende un tratto che viene ricavato direttamente dalla bibliografia. Anche in questo caso il tratto non ha nessun indizio associato.

La necessità di aggiungere anche questa tipologia è legata alla scelta di mantenere le informazioni spaziali derivanti da bibliografia (pubblicazioni/carte) di cui non si posseggano

i dati originali raccolti sul terreno o nelle quali le strutture tettoniche rappresentate sono solo frutto di interpretazione, senza dati che ne avvalorino la posizione e le caratteristiche.

Tutti i tratti della banca dati sono stati valorizzati nella mappa delle faglie attive, tuttavia i tratti "solo dato grafico" e "dedotto", rappresentando una mera interpretazione della posizione della struttura derivata da bibliografia, non hanno lo stesso peso dei tratti associati ad indizi. Essi verranno quindi valorizzati in modo specifico con diverse colorazioni in modo da rendere più evidenti i tratti certi e quelli associati ai vari tipi di indizi che ne rafforzano il significato e la precisione.

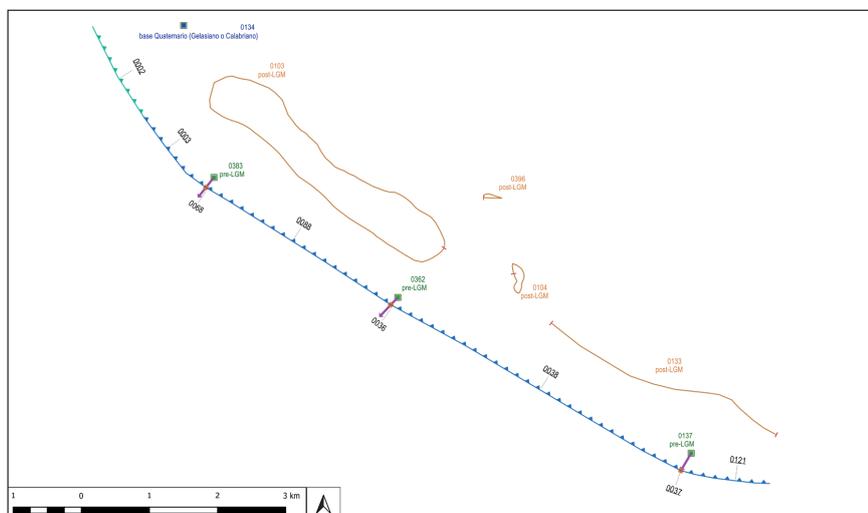


Fig. 4.6 - Rappresentazione planimetrica di tratti di tipologia dedotto (vettore in verde) e incerto (in azzurro), questi associati ad indizi lineari ed areali di morfotettonica. Vedi leggende allegati.

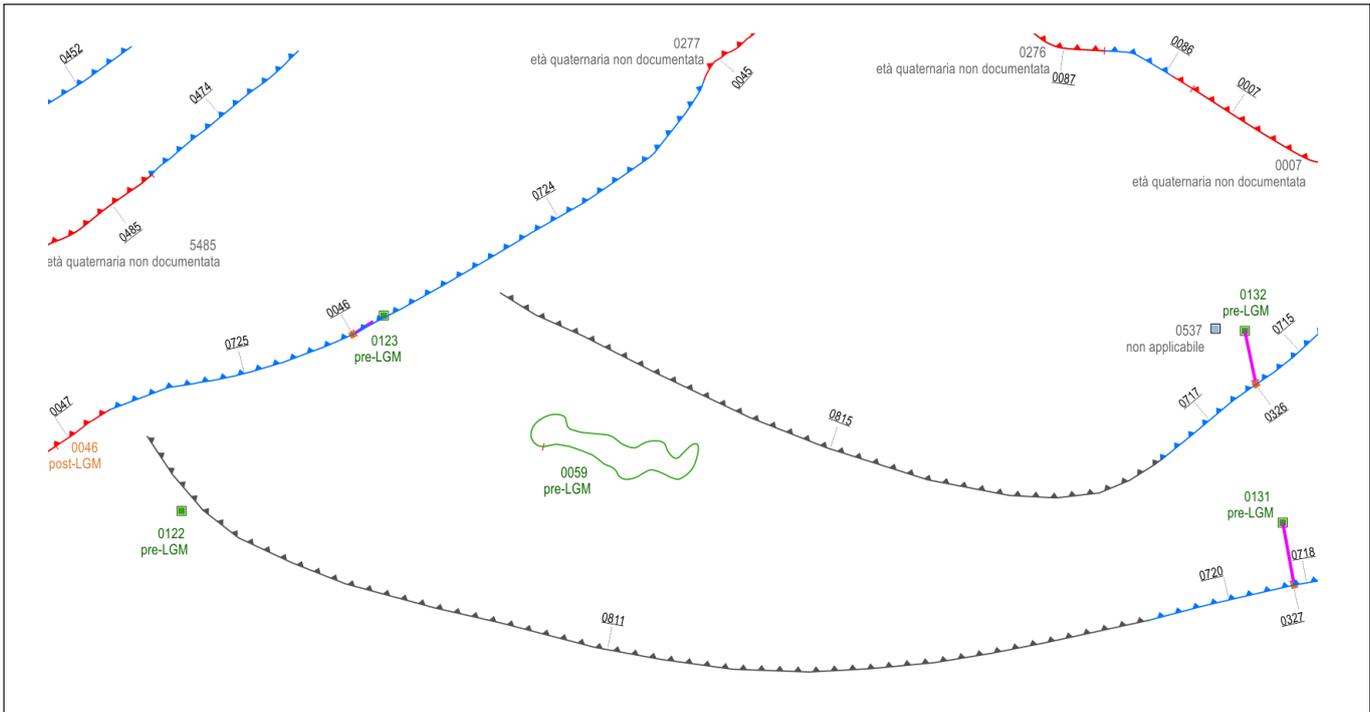


Fig. 4.7 - Rappresentazione planimetrica di tratti di tipologia certo affiorante (vettore in rosso), incerto (in azzurro) e solo dato grafico (in grigio). I tratti certi sottendono un indizio (in questo caso ricavato da linea sismica). I tratti incerti uniscono due tratti certi e i tratti solo dato grafico non hanno alcun dato di appoggio, ma sono solamente ridisegnati da bibliografia. Vedi legende allegati.

**note:** questo campo è stato creato per indicare il riferimento bibliografico, che nel caso di tratti “solo dato grafico” non hanno indizi collegati.

#### 4.4.3 - Shapefile “Faglie attive\_tratti”

Si tratta di uno shapefile a primitiva geometrica polilinea (sistema di riferimento EPSG = 6708) che rappresenta la localizzazione spaziale dei tratti e si relaziona *uno a uno* con la tabella “Faglie attive\_tratti” attraverso la chiave primaria “id\_tratto”, stessa strutturazione.

La direzione degli archi è secondo le norme della vestizione del Progetto CARG (ISPRA, 2009 e ISPRA 2011). Ad esempio, il sovrascorrimento principale (valore 2200 per campo “tipo” in tabella ST018\_AAT in banca dati CARG) presenta la parte sovrascorsa indicata dai triangoli alla destra dell’arco quando disegnato da sinistra a destra.

Le geometrie non sono multipart.

È stato stabilito che la base cartografica da utilizzare per la costruzione delle linee nello shapefile “Faglie attive\_tratti” debba essere alla scala 1:5.000.

Relativamente alla definizione del dominio “certo sepolto”, in caso di tratti associati ad indizi derivanti da indagini geofisiche, è stato stabilito che nello shapefile la linea corrispondente alla zona in cui è stata interpretata una superficie di faglia sia convenzionalmente rappresentata tramite un segmento orientato secondo l’interpretazione di lunghezza pari a 1 metro, o più lunga (a discrezione del compilatore) se le evidenze lo consentono, come ad esempio nei casi di tratti certi affioranti.

Per quanto riguarda lo shapefile relativo al dominio “incerto”, si è convenuto che la linea corrispondente potrà estendersi di una quantità a discrezione del compilatore.

#### 4.4.4 - Tabella “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti”

Per permettere la relazione *molti a molti* tra le tabelle “Faglie attive\_tratti” e “Faglie attive\_indizi”, viene inserita la tabella appoggio “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti”, costituita dalle chiavi primarie delle due tabelle sopra citate (“id\_indizio”, “id\_tratto”). La combinazione dei campi “id\_indizio”, “id\_tratto” vale come chiave primaria della tabella “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti”. Il campo opzionale “note” serve a descrivere il motivo di relazione fra tratto ed indizio, anche se nella quasi totalità dei casi la validità dell’indizio è ben argomentata nel record corrispondente della tabella “Faglie attive\_indizi”. Un caso di utilizzo del campo “note” può essere qualora si abbiano due indizi da sondaggi prossimi, in cui un orizzonte riconosciuto comune risulti dislocato per causa tettonica. Il solo indizio della profondità s.l.m. dell’orizzonte non vale singolarmente, quindi nel campo note si può argomentare facendo riferimento al sondaggio dell’altro indizio.

Non tutti gli indizi inseriti in banca dati devono essere utilizzati come appoggio per tratti, potrebbero però essere utili in futuro. Un indizio può appoggiare più tratti, diversi tratti possono appoggiarsi al medesimo indizio. I tratti di tipologia “solo dato grafico” non si appoggiano ad alcun indizio.

La struttura della tabella “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti” è descritta in Tabella 4.8.

## 4.5 - “Anagrafica”

### 4.5.1 - Introduzione/definizione

Sulla base di un’ipotesi ragionata/pesata di quella che potrebbe essere la struttura tettonica più probabile, sono stati concettualmente uniti i diversi tratti di faglia che si ritengono fra loro coerenti. È stata in questo modo creata cartograficamente una traccia di faglia che viene descritta nelle sue caratteristiche geometriche, cinematiche, sismotettoniche e di attivazione nella tabella “Faglie Attive\_Anagrafica” (vedi paragrafo 4.5.2). Le faglie individuate sono state classificate secondo la seguente suddivisione:

**Faglia Attiva:** faglia che ha deformato e/o dislocato depositi o forme di età  $\leq 40.000$  anni.

**Faglia Potenzialmente attiva:** faglia la cui attività non è determinabile negli ultimi 40.000 anni (es. per mancanza di dati, per la scarsa risoluzione del dato sismico disponibile). Tuttavia essa deforma successioni quaternarie con età più recente della base del Calabriano (1.800.000 di anni) nelle linee sismiche o del Gelasiano (2.580.000 di anni) se in affioramento.

**Faglia con attività quaternaria indeterminata:** faglia che disloca o deforma successioni pre-quaternarie, ma la cui attività quaternaria non è determinabile (es. mancanza di dati, scarsa risoluzione del dato sismico, mancanza di depositi, ecc.). Tuttavia la faglia presenta un’orientazione compatibile con il campo di stress attuale regionale o locale che non permette di escludere una sua possibile ri-attivazione.

**Faglia con attività indeterminata:** faglia per cui le conoscenze attuali non permettono l’inserimento nelle precedenti definizioni.

L’insieme delle tracce di faglia così definite costituisce la “**mappa delle faglie attive**” (vedi allegato C) che attual-

mente viene proposta sulla base degli indizi finora conosciuti. La banca dati e quindi anche questa mappa potranno/dovranno essere sempre aggiornate sulla base dei dati che verranno successivamente acquisiti nel tempo.

### 4.5.2 - Tabella “Faglie attive\_anagrafica”

La tabella “Faglie attive\_anagrafica” descrive le strutture tettoniche interpretate, mediante l’associazione ragionata e pesata dei tratti di faglia presenti nella tabella e nel relativo shapefile “Faglie attive\_tratti”. Nel record vengono raccolti i dati di sintesi della struttura tettonica attiva: nome, appartenenza ad un sistema strutturale, lunghezza, profondità, direzione media, *dip* medio, *rake*, cinematica, ultima età di deformazione, attività, massima magnitudo attesa, rateo di deformazione, eventuale terremoto associato.

Il campo “struttura\_tettonica” della tabella funge da chiave primaria ed è in relazione *uno a molti* con l’omonimo campo nello shapefile “Faglie attive\_tratti”, in quanto un’unica struttura tettonica può essere composta da più tratti.

I singoli tratti nello shapefile “Faglie attive\_tratti” puntano ad uno ed un solo record di questa tabella.

La struttura della tabella “Faglie attive\_anagrafica” è descritta in Tabella 4.9.

### 4.5.3 - Rappresentazione cartografica della mappa delle faglie attive (vedi allegato C)

Per quanto riguarda la rappresentazione cartografica della “mappa delle faglie attive” viene proposta una classificazione mediante diversi simboli e colori che identifica le faglie secondo la cinematica e il loro grado di attività; classificandole per età di attivazione vengono inserite in tale

Fig. 4.8 – Rappresentazione in formato “maschera” delle informazioni contenute nella tabella “Faglie attive\_anagrafica”. Il carattere “\_”, qui anteposto al nome dei campi in fase di join fra Tabelle “Faglie attive\_tratti” e “Faglie attive\_anagrafica”, è usato per evitare omonimie.

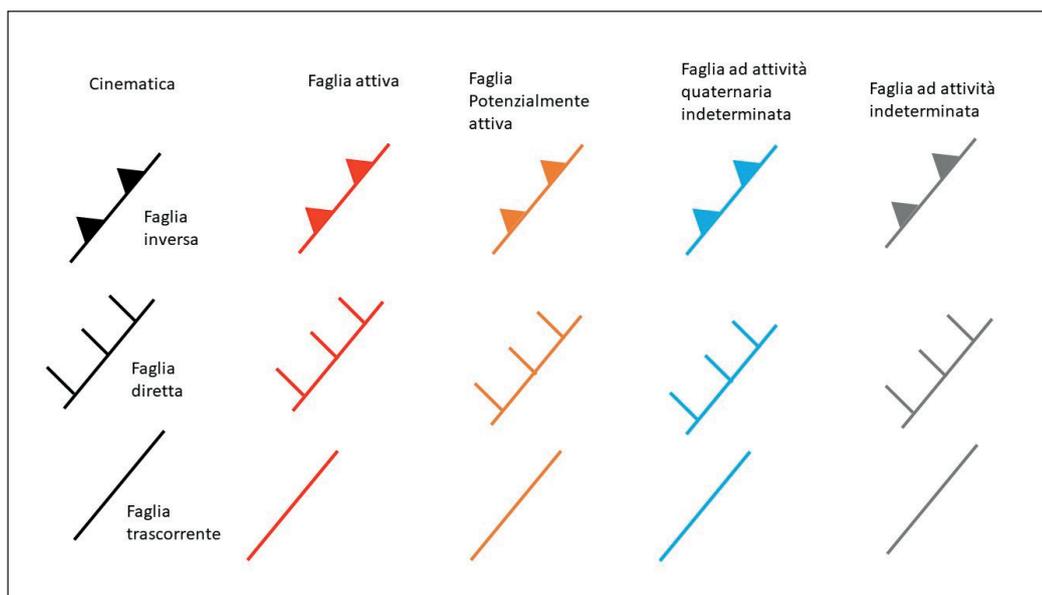


Fig. 4.9 – Classificazione delle faglie attive nella mappa, con distinzione iconografica in base alla cinematica e in base all'attività.

mappa anche le strutture che derivano da bibliografia, ma sono prive di indizi di attività (quindi delle strutture ad attività indeterminata).

#### 4.5.4 - "Indice di attendibilità geometrica"

Al fine di dare una valutazione della attendibilità della traccia di faglia ricostruita, è stato introdotto l' "indice di attendibilità geometrica (IAG)".

$$IAG = (\sum Tca + \sum Tcs) / Lan$$

dove si intende:

IAG: Indice di attendibilità geometrica della anagrafica  
Tca: lunghezza dei tratti certi affioranti presenti lungo una struttura

Tcs: lunghezza dei tratti certi sepolti presenti lungo una struttura. I tratti certi sepolti derivati da linee sismiche sono stati moltiplicati per un fattore di moltiplicazione di 1000 essendo essi per convenzione di lunghezza pari ad 1 m

Lan: lunghezza totale della struttura

#### 4.6 - Schema concettuale dell'organizzazione del geodatabase delle faglie attive

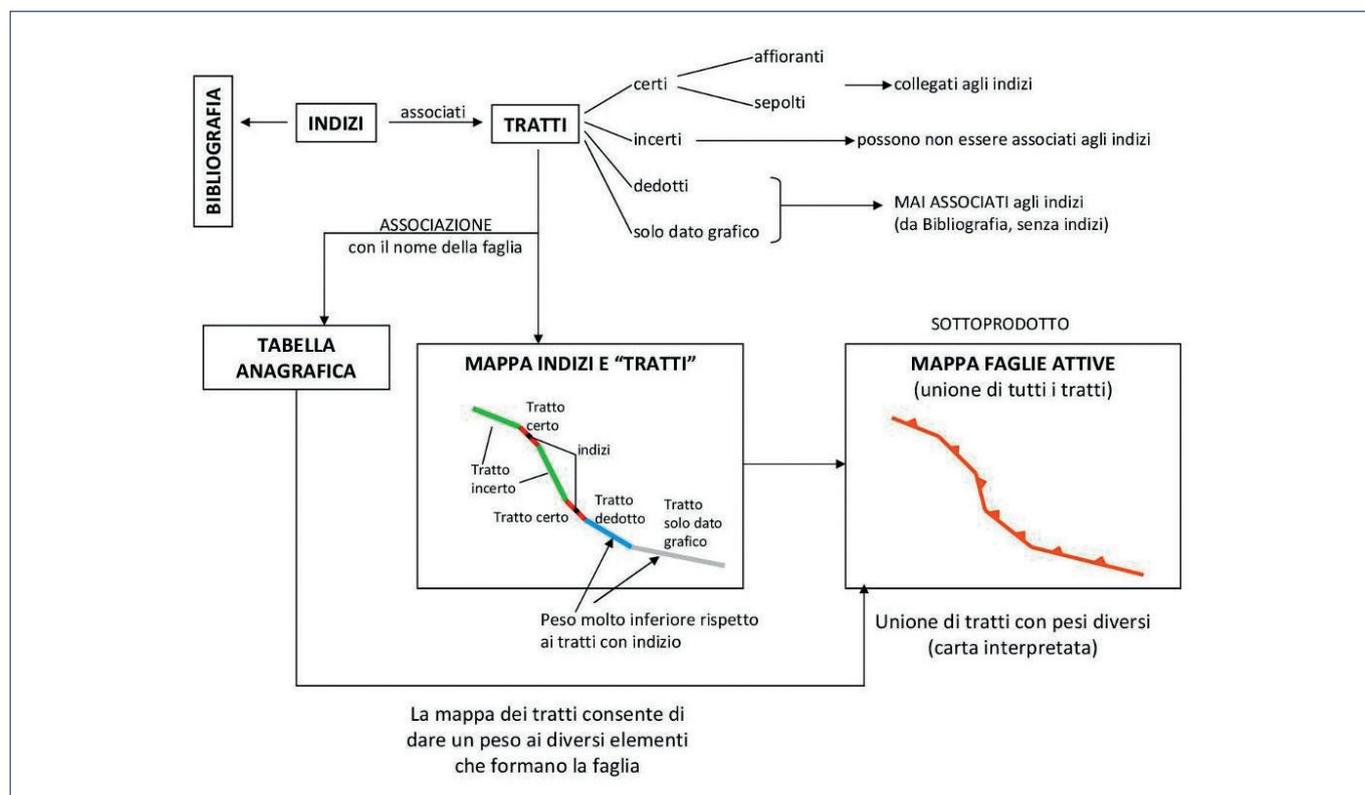


Fig. 4.10 - Schema concettuale del geodatabase delle Faglie attive.

Tabella 4.6 - Definizione e domini dei campi della tabella “Faglie attive\_indizi”.

<b>TABELLA FAGLIE ATTIVE_ INDIZI AMBITO</b>	<b>NOME CAMPI</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>IDENTIFICATIVO</b>	<u>id_indizio</u>	chiave primaria (come in shape file)
	su_piano_faglia	l'”indizio” posto sul piano di faglia, proiettato verticalmente per faglie che non raggiungono la superficie
	id_biblio	collegato al campo id_biblio della tabella Bibliografia
	localita	toponimo punto indagine (anche limitrofo alla faglia)
	eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente fra quelle individuate con i vari metodi nei campi successivi dedicati. (Vedi par. 4.3 della Relazione)
<b>ANALISI MORFOTETTONICA</b>	analisi_morfotettonica	
	analisi_morfotettonica_anno_foto_aeree	elenco anno/anni di acquisizione foto aeree
	analisi_morfotettonica_scala	scala del rilievo
	analisi_morfotettonica_origine_dtm	tipo di elaborazione dtm: TIN/GRID da PQ o break-lines CTRN/IGM/nuvola MKE Lidar, densità punti per mq, precisione o incertezza (+/-) in m, passo in m, ASC Lidar FVG
	analisi_morfotettonica_anno_dtm	anno dei dati sorgente
	analisi_morfotettonica_info_elaborazione_dtm	caratteristiche elaborazione dtm: lumeggiamento a sfumo con direzione illuminazione, esagerazione verticale/classi altimetriche o vettori di pendenza
	analisi_morfotettonica_terreno	espressione geomorfologica di superficie
<b>DATI GEODETICI</b>	dati_geodetici	
	dati_geodetici_metodi	elenco metodi utilizzati: rete GPS, livellazione trigonometrica, livellazione geometrica, estensimetri, laserscan, gravimetria, interferometria, ecc.
	dati_geodetici_epoche	anni di ripetizione
	dati_geodetici_risultati	descrizione dei risultati ottenuti (ad esempio: vettori spostamento, microstrain, slip rate)
<b>RILIEVO GEOLOGICO</b>	rilievo_geologico	
	rilievo_geologico_scala_carta	denominatore della scala della carta geologica o del dato puntuale (esempio: da banche dati di rilievi puntuali)
	rilievo_geologico_tipo_deposito	descrizione deposito/i interessato/i dalla deformazione

RICHiesto	TIPO DI CAMPO	FORMATO CAMPO/GRANDEZZA	DOMINIO (valori)
sì (chiave primaria)	"string(12)"	I (per indizio), acronimo del nome dell'Ente compilatore, conversione in stringa di un numero formattato (0000) non ripetuto, il tutto unito da carattere "_", ad es.: I_OGS_0001	
sì	"string(1)"		sì (1) no (0) p=proiettato ortogonalmente in superficie
sì	"integer"	numero come da dominio	i lavori inseriti da UNIUD coprono l'intervallo da 001 a 099, da OGS da 100 a 199, da UNITS da 200 a 299, da Servizio Geologico da 300 a 399.
	"string"	carattere alfanumerico libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"integer(1)"		sì (1) null
	"string"	campo libero/anni	
	"string"	campo libero/denominatore scala	
	"string"	m	
	"string"	campo libero/anno	
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		sì (1) null
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero/anni	
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		sì (1) null
sì, se rilievo_geologico=1	"integer"	numerico	
	"string"	campo libero	

TABELLA FAGLIE ATTIVE_ INDIZI AMBITO	NOME CAMPI	DESCRIZIONE
RILIEVO GEOLOGICO	rilievo_geologico_tipo_deformazione	descrizione della tipologia deformativa registrata sul deposito (esempio: struttura tettonica o registrazione dell'evento)
	rilievo_geologico_rake	Geometria della sola struttura tettonica (informazioni sulla geometria del deposito vanno in campo "rilievo_geologico_tipo_deformazione"); numerico; intervallo -180/+180; è prevista la possibilità di inserire la variabilità del dato (da.... a ....)
	rilievo_geologico_direzione_di_immersione	numerico intervallo 0-359 è prevista la possibilità di inserire la variabilità del dato (da.... a ....)
	rilievo_geologico_inclinazione	numerico intervallo da -89 a +89 è prevista la possibilità di inserire la variabilità del dato (da.... a ....)
	rilievo_geologico_congruenza_campo_sforzi	
	rilievo_geologico_dislocazione_max	numerico
	rilievo_geologico_slip_rate	numerico
	rilievo_geologico_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	rilievo_geologico_risultati	descrizione dei risultati
GEOFISICA	geofisica	
	sismica_rifrazione	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	sismica_rifrazione_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	sismica_riflessione_ad_alta_penetrazione	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	sismica_riflessione_ad_alta_penetrazione_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	sismica_riflessione_ad_alta_risoluzione	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	sismica_riflessione_ad_alta_risoluzione_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	georadar	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	georadar_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	hvrs	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	hvrs_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)

RICHIESTO	TIPO DI CAMPO	FORMATO CAMPO/GRANDEZZA	DOMINIO (valori)
	"string"	campo libero	
	"string"	gradi sessagesimali	
	"string"	gradi sessagesimali	
	"string"	gradi sessagesimali	
	"integer(1)"		si (1) no (0) null
	"real"	m	
	"real"	mm/anno	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	Campo libero	
	"integer(1)"		si (1) null
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile

<b>TABELLA FAGLIE ATTIVE_ INDIZI AMBITO</b>	<b>NOME CAMPI</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>GEOFISICA</b>	hvrs_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	geoelettrica	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	geoelettrica_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	geofisica_risultati	descrizione dei risultati
<b>GEOGNOSTICA</b>	geognostica	
	geognostica_strumentazione	descrizione tipo di analisi, strumentazione
	geognostica_eta_ultima_deformazione	età della deformazione più recente (vedi par. 4.3 della Relazione)
	geognostica_risultati	descrizione dei risultati
<b>ANOMALIE FLUIDI</b>	anomalie_fluidi	
	anomalie_fluidi_risultati	descrizione dei risultati
<b>PALEOSISMOLOGIA</b>	trincea_paleosismologica	
	trincea_descrizione	
	trincea_tipo_depositi	descrizione dei depositi osservati in trincea
	trincea_eta_ultima_attivita	età dell'ultima attività osservata; (vedi par. 4.3 della Relazione)
	trincea_datazione_ultimo_evento	datazione e metodo; viene richiesta, quando disponibile, la datazione (e il metodo usato) dei sedimenti che hanno registrato l'ultimo evento.
	trincea_capacita	capacità della faglia desunta da analisi paleosismologiche
	trincea_dislocazione_max	massima dislocazione dei terreni/superficie osservata nella trincea
	trincea_slip_rate	numerico
	trincea_intervallo_ricorrenza	numerico; tempo che mediamente intercorre fra i diversi eventi di attivazione
	trincea_terremoto_di_riferimento	testo, indicare anche il catalogo
	trincea_risultati	
<b>NOTE</b>	note	commento del compilatore
	compilatore	sigla del compilatore
	revisione_data	data
	revisione_motivazione	compilare in caso ad esempio di variazione di attribuzione tratti

RICHiesto	TIPO DI CAMPO	FORMATO CAMPO/GRANDEZZA	DOMINIO (valori)
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		si (1) null
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		si (1) null
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		si (1) null
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
	"string"	carattere alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Quaternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacrona (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
	"string"	campo libero	
	"integer(1)"		si (1) no (0) null
	"real"	m	
	"real"	mm/anno	
	"integer"	anni	
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
si	"string"	campo libero	sigla dell'Ente
si, se si tratta di versione successiva alla prima)	"date(dd/mm/yyyy)"		
si, se si tratta di versione successiva alla prima)	"string"	campo libero	motivazioni (sigla dell'Ente)

Tabella 4.7 – Definizione e domini dei campi della tabella “Faglie attive\_tratti”

<b>TABELLA FAGLIE ATTIVE_TRATTI AMBITO</b>	<b>NOME CAMPI</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>IDENTIFICATIVO</b>	<u>id_tratto</u>	chiave primaria (come in shapefile)
	struttura_tettonica	si richiede il nome della struttura tettonica come indicato nella pubblicazione di riferimento o di nuova istituzione.
	tipo	cinematica del tratto, (per eventuale vestizione)
	tipologia	basato su omologo campo in ST018 CARG (per la caratterizzazione iconografica).
	note	riferimento bibliografico, solo per valore del campo “tipologia” =” solo dato grafico” perché il tratto originato da solo dato grafico non è supportato da un record di indizi (dove viene indicato il riferimento bibliografico delle prove di deformazione)

Tabella 4.8– Definizione e domini dei campi della tabella “Faglie attive\_R\_indizi\_tratti”

<b>TABELLA FAGLIE_ATTIVE_ R_INDIZI_TRATTI AMBITO</b>	<b>NOME CAMPI</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>IDENTIFICATIVO</b>	id_indizio	come in shapefile. La combinazione “id_indizio + id_tratto” vale come chiave primaria
	<u>id_tratto</u>	come in shapefile. La combinazione “id_indizio + id_tratto” vale come chiave primaria
	note	annotazioni inerenti alla fase di lavoro e giustificazione dell’utilizzo dell’indizio, se non già ben descritto nel relativo record in Tabella “Faglie attive_indizi”

<b>RICHIESTO</b>	<b>TIPO DI CAMPO</b>	<b>FORMATO CAMPO/GRANDEZZA</b>	<b>DOMINIO (valori)</b>
sì (chiave primaria)	"string(12)"	T (per tratto), acronimo del nome dell'Ente compilatore, conversione in stringa di un numero formattato (0000) non ripetuto, il tutto unito da carattere "_", ad es.: T_Uniud_0061	
sì	"string"		
sì	"string"	caratteri alfanumerici da dominio. vedi dominio per campo "tipo" tabella CARG "018_AAT" aggiornabile	faglia; faglia diretta; faglia inversa; sovrascorrimento; faglia trascorrente; faglia trascorrente destra; faglia trascorrente sinistra; faglia transpressiva; faglia transpressiva destra; faglia transpressiva sinistra; faglia transtensiva; faglia transtensiva destra; faglia transtensiva sinistra
sì	"string"	caratteri alfanumerici da dominio vedi dominio per campo "tipologia" tabella CARG "018_AAT" ed aggiornamenti qui proposti se il tratto è "dedotto" allora i campi di esistenza delle indagini sono valorizzati null	certo affiorante certo sepolto incerto dedotto solo dato grafico
solo per valore del campo "tipologia" = "solo dato grafico"	"string"	campo libero	

<b>RICHIESTO</b>	<b>TIPO DI CAMPO</b>	<b>FORMATO CAMPO/GRANDEZZA</b>	<b>DOMINIO (valori)</b>
sì	"string(12)"	I (per indizio), acronimo del nome dell'Ente compilatore, conversione in stringa di un numero formattato (0000) non ripetuto, il tutto unito da carattere "_", ad es.: I_Units_0035	
sì	"string(12)"	T (per tratto), acronimo del nome dell'Ente compilatore, conversione in stringa di un numero formattato (0000) non ripetuto, il tutto unito da carattere "_", ad es.: T_Units_0021	
	"string"	Campo libero	

Tabella 4.9 - Definizione e domini dei campi della tabella “Faglie attive\_anagrafica”

<b>TABELLA FAGLIE ATTIVE_ ANAGRAFICA AMBITO</b>	<b>NOME CAMPO</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<b>IDENTIFICATIVO</b>	<u>struttura_tettonica</u>	il nome della struttura tettonica come indicato nella pubblicazione di riferimento o di nuova costituzione.
	cinematica	descrizione estesa della struttura
	tipo	cinematica della struttura (per eventuale vestizione)
	sistema_di_appartenenza	sistema strutturale di appartenenza (es. Sudalpino orientale)
	assetto_geologico	sintesi dell’assetto geologico regionale e/o locale in cui si inserisce la struttura.
	<b>GEOMETRIA DELLA STRUTTURA TETTONICA</b>	direzione_di_immersione
inclinazione		numerico intervallo 0-90; è prevista la possibilità di inserire la variabilità del dato (da.... a ....)
intervallo_scala		scala nominale di precisione, intervallo da denominatore inferiore a superiore, indicato per es.: 5000-25000
lunghezza		lunghezza in superficie della struttura
profondita		profondità minima e massima (osservata) da dati di geofisica. profondità valutata dal piano campagna.
<b>DEFORMAZIONE</b>	eta_ultima_deformazione	la più recente fra i valori del campo “eta_ultima_deformazione” in Tabella “Faglie attive_indizi”
	classificazione_attivita	Inserimento tipologia di faglia attiva
	max_dislocazione_osservata	massima dislocazione osservata fra i diversi tratti studiati
	rateo_deformazione	rapporto tra la dislocazione misurata sul piano di faglia e l’intervallo di tempo intercorso per ottenere tale deformazione
<b>EVENTI SISMICI</b>	terremoto_associato	indicare anche la fonte da catalogo
	magnitudo_max_attesa	Calcolo su basi empiriche; citare il metodo utilizzato (es. Wells e Coppersmith, 1994)
<b>ANNOTAZIONI</b>	note	
	compilatore	sigla del compilatore
	revisione_data	data
	revisione_motivazione	compilare in caso ad esempio di variazione di attribuzione tratti
	ithaca_fault_code	Valore numerico del campo “FaultCode” nella tabella della banca dati Ithaca
	indice_di_attendibilita_geometrica	Rapporto fra somma della lunghezza (m) dei tratti certi affioranti e della lunghezza (m) dei tratti certi sepolti [*1000 se da indagine geofisica] con la lunghezza (m) totale della struttura. Lunghezze calcolate in GIS.

RICHIESTO	TIPO DI CAMPO	FORMATO CAMPO/GRANDEZZE	DOMINIO
sì (chiave primaria)	"string"		
	"string"	campo libero	
sì	"string"	caratteri alfanumerici da dominio, aggiornabile vedi dominio per campo "tipo" tabella CARG "018_AAT"	faglia; faglia diretta; faglia inversa; sovrascorri- mento; faglia trascorrente; faglia trascorrente de- stra; faglia trascorrente sinistra; faglia transpressi- va; faglia transpressiva destra; faglia transpressiva sinistra; faglia transtensiva; faglia transtensiva de- stra; faglia transtensiva sinistra
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
	"string"	gradi sessagesimali	
	"string"	gradi sessagesimali	
	"string"	Numeri interi separati da "-"	
	"real"	km	
	"string"	km	
	"string"	alfanumerico da dominio	storico, Olocene, post-LGM, pre-LGM, Pleistocene superiore, Pleistocene inferiore-medio, base Qua- ternario (Gelasiano o Calabriano), erosione diacro- na (Messiniano-Pleistocene), pre-Quaternario, età quaternaria non documentata, non definita, non applicabile
sì	"string"		Attiva, potenzialmente attiva, attività quaternaria indeterminata, attività indeterminata
	"real"	m	
	"real"	mm/anno	
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
	"string"	campo libero	
sì		campo libero	
sì, se si tratta di versione successiva alla prima	"date(dd/mm/yyyy)"		
sì, se si tratta di versione successiva alla prima		campo libero	motivazioni (acronimo dell'Ente)
	"integer"		Vedi (URL valido a febbraio 2023) <a href="http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Catalogo.aspx">http://sgi2. isprambiente.it/ithacaweb/Catalogo.aspx</a>
	"real"	Adimensionale, due decimali per poter evidenziare le strutture definite da in- dizi di pochi metri o puntuali da indagi- ni geofisiche (nel caso in futuro si cambi il fattore moltiplicativo)	

## ESEMPI DI COSTRUZIONE DELLA MAPPA DELLE FAGLIE ATTIVE

### 5.1 - Esempio 1

Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW: sovrascorrimento sepolto

Localizzazione: alta Pianura Friulana, a sud di Udine, tra Martignacco e Pradamano.

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0103  
I\_UNIUD\_0104  
I\_UNIUD\_0133

tipologia: analisi morfotettonica e rilievo geologico  
evidenze morfologiche di superficie (scarpata e bombatura della superficie topografica) che indicano deformazione e sollevamento dei depositi pre-LGM sull'hanging wall del sovrascorrimento; inoltre la sedimentazione dei depositi LGM è condizionata dal sollevamento dei depositi pre-LGM.

Età ultima deformazione: post-LGM

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0396  
tipologia: rilievo geologico  
sollevamento dei depositi pre-LGM sull'hanging wall del sovrascorrimento. Inoltre la sedimentazione dei depositi LGM è condizionata dal sollevamento dei depositi pre-LGM.  
Età ultima deformazione: post-LGM

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0383  
I\_UNIUD\_0362  
I\_UNIUD\_0137  
tipologia: geofisica  
le indagini di sismica a riflessione (ENI) indicano in profondità deformazione per faglia di depositi pre-LGM.  
Età ultima deformazione: pre-LGM

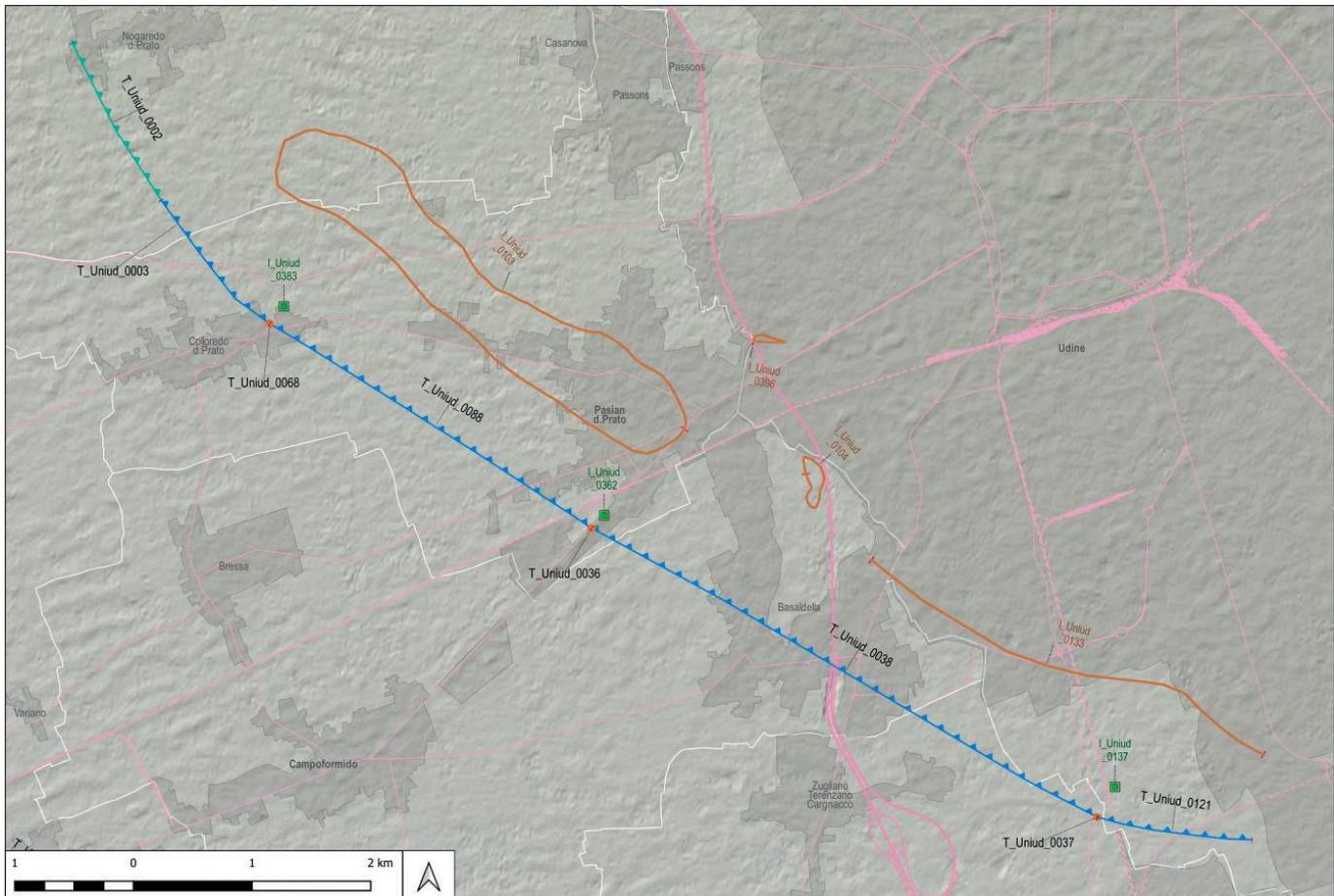


Fig. 5.1 – Indizi e tratti del Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW.

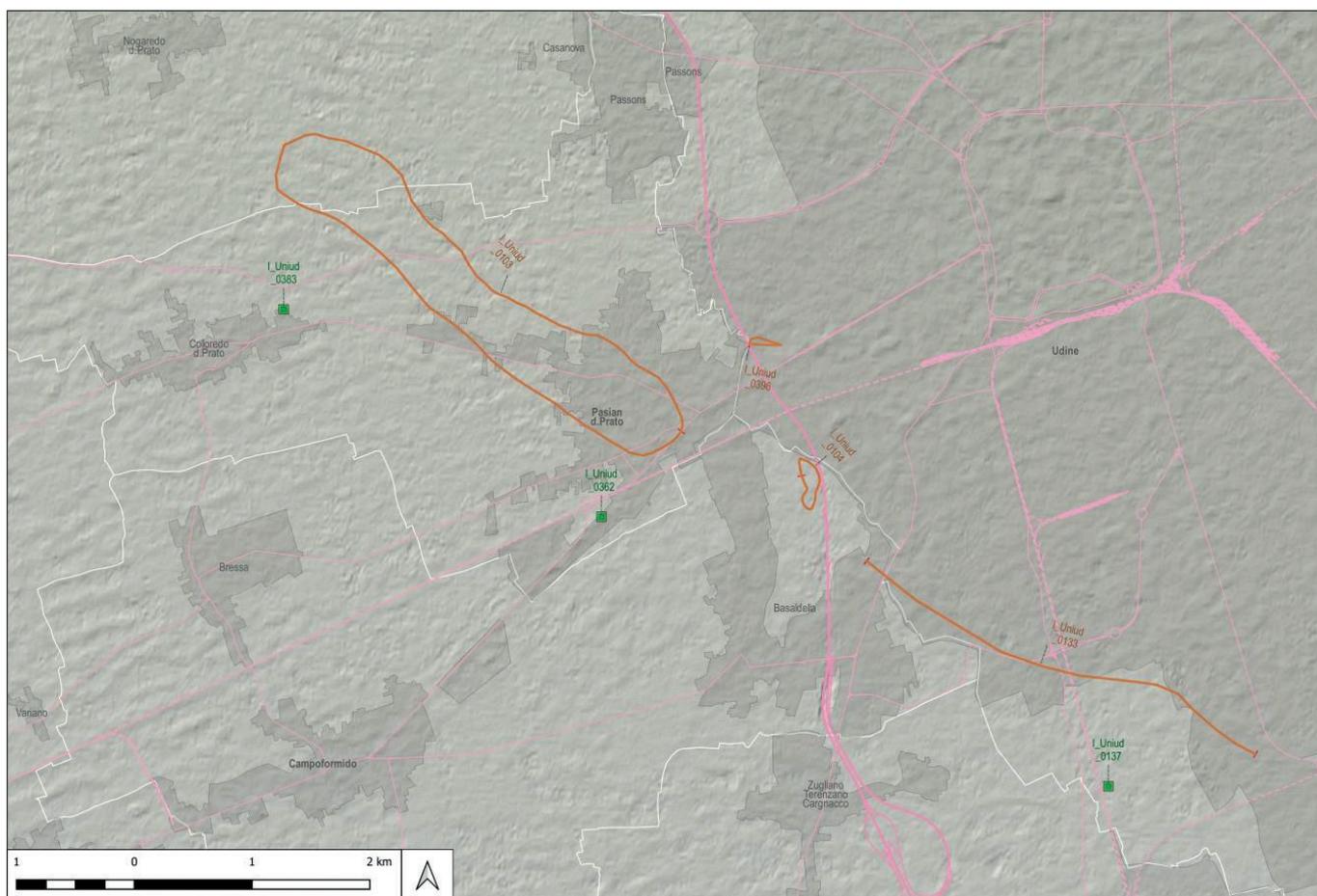


Fig. 5.2 – Indizi del Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW.

#### Costruzione dei tratti di faglia

**Tratti certi sepolti** associati agli indizi derivanti dalle indagini di sismica a riflessione, lunghi 1 m (per convenzione) e posizionati in corrispondenza della traccia della linea sismica secondo la probabile emersione del piano di faglia (si veda cap. 4.4.2, linea di indeterminatezza).

T\_UNIUD\_0068

T\_UNIUD\_0036

T\_UNIUD\_0037

**Tratti incerti** che uniscono tra loro i tratti certi sepolti e in questo caso sono anche associati agli indizi derivati da analisi morfotettonica e rilevamento geologico. Questi tratti rimangono incerti come posizione della traccia della faglia dato che la presenza degli indizi di analisi morfotettonica e rilevamento geologico rappresentano l'effetto deformativo dei depositi in superficie generato dalla presenza della faglia in profondità. Solamente i tratti certi sepolti nei dintorni della traccia della linea sismica possono rappresentare con buona precisione la posizione della traccia della faglia in superficie, con limiti dovuti all'interpretazione delle sezioni di sismica a riflessione.

T\_UNIUD\_0003

T\_UNIUD\_0088

T\_UNIUD\_0038

T\_UNIUD\_0121

**Tratto dedotto** in corrispondenza della terminazione a NO della struttura, esso viene tracciato per la parte di faglia che probabilmente va a terminare verso quella direzione, dato che anche gli indizi di deformazione della superficie topografica si interrompono.

T\_UNIUD\_0002

#### Costruzione della traccia della faglia (Anagrafica)

Unendo tutti i tratti di faglia così individuati e caratterizzati si costruisce la traccia del Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW.

**Età ultima deformazione:** **post-LGM**, motivata dall'associazione agli indizi I\_UNIUD\_0103, I\_UNIUD\_0104, I\_UNIUD\_0133, I\_UNIUD\_0396

**Attività:** **attiva**

**Indice di attendibilità geometrica:** **0.27**

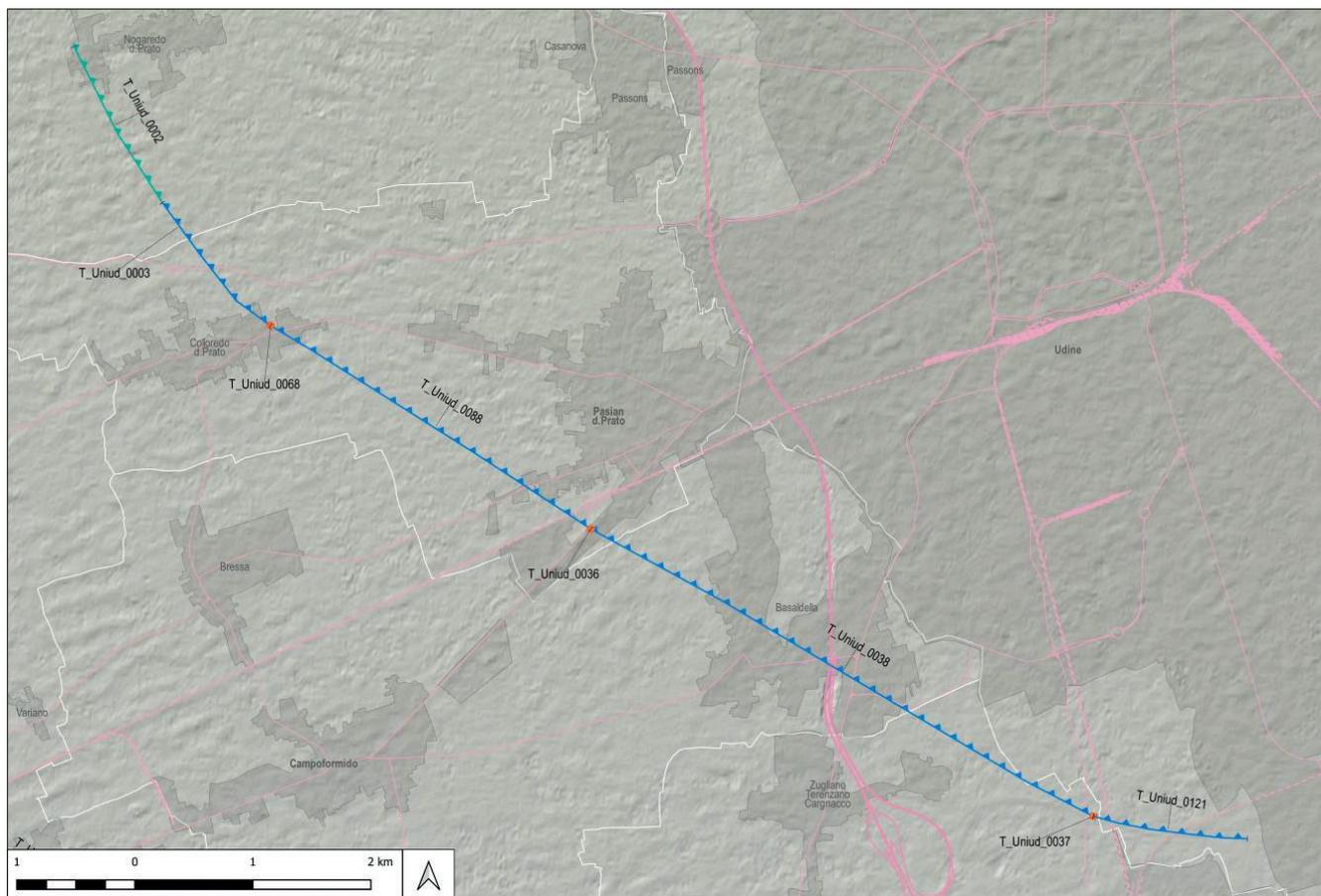


Fig. 5.3 – Tratti del Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW.

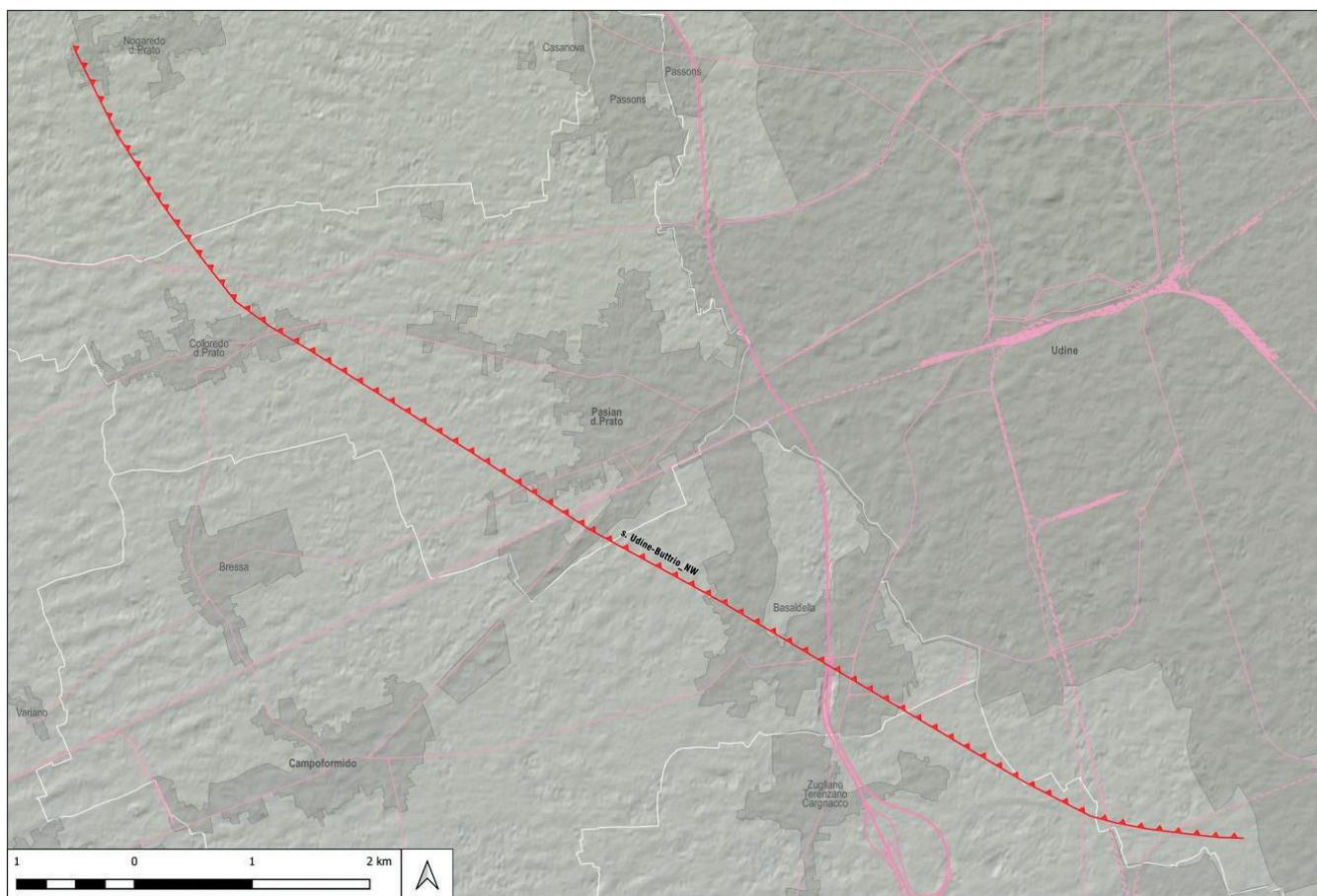


Fig. 5.4 – Traccia del Sovrascorrimento Udine-Buttrio NW.

## 5.2 - Esempio 2

### Sovrascorrimento di Colle Villano\_SE: sovrascorrimento affiorante e sepolto

Localizzazione: alta Pianura Friulana orientale, margine dei rilievi collinari tra Savorgnano del Torre e Faedis.

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0207  
I\_UNIUD\_5380  
I\_UNIUD\_0203  
I\_UNIUD\_0202

tipologia: rilievo geologico

gli indizi testimoniano il contatto tettonico entro la formazione delle "marne e arenarie di Savorgnano", essi indicano la posizione del piano di faglia in affioramento su depositi dell'Eocene inferiore.

Età ultima deformazione: età quaternaria non documentata

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0175  
I\_UNIUD\_0176

tipologia: analisi morfotettonica e rilievo geologico

evidenze morfologiche di superficie (contropendenza della superficie topografica su cui affiorano depositi colluvia-

li olocenici) che indicano deformazione e sollevamento dei depositi olocenici sull'hanging wall del sovrascorrimento.

Età ultima deformazione: Olocene

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0178

tipologia: paleosismologia e rilievo geologico

l'indizio testimonia l'esistenza di diversi eventi deformativi legati alla presenza del sovrascorrimento presenti nei primi metri di sottosuolo e che hanno interessato depositi olocenici e di epoca storica (XV sec.).

Età ultima deformazione: Storico

INDIZI individuati: I\_UNIUD\_0179

tipologia: geognostica

l'indizio testimonia la presenza del tetto del substrato di flysch (marne e arenarie di Savorgnano) alla profondità di 15,4 m dal p.c., mentre nelle trincee paleosismologiche scavate poco più a sud (vedi I\_UNIUD\_0178) esso si trova a circa 3 m sotto il p.c., indicando quindi un alto strutturale in contropendenza generato dalla deformazione dovuta al sovrascorrimento, che ha interessato il substrato pre-quaternario, i depositi lacustri pre-LGM e i depositi colluviali olocenici

Età ultima deformazione: non applicabile.

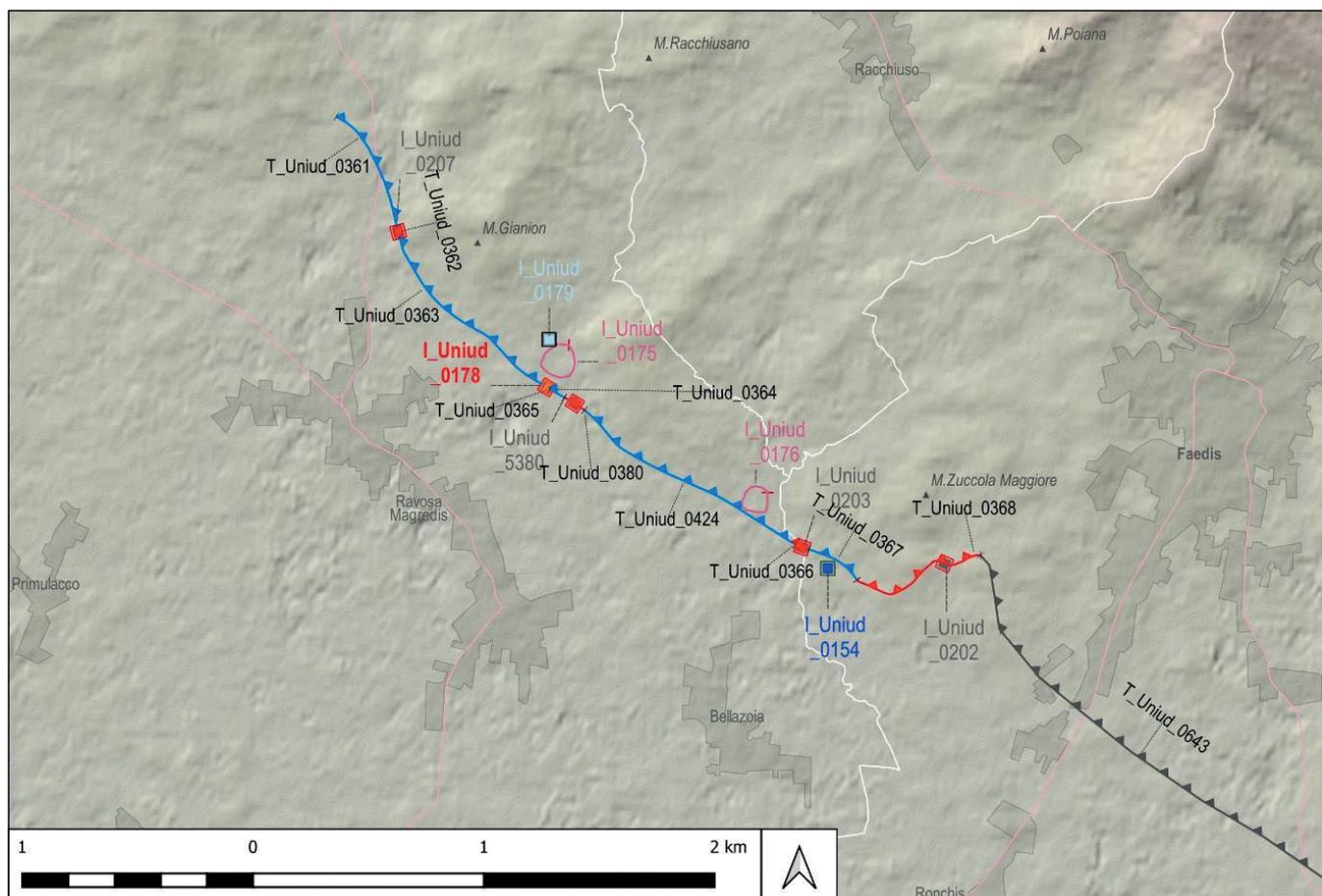


Fig. 5.5 – Indizi e tratti del Sovrascorrimento di Colle Villano\_SE.

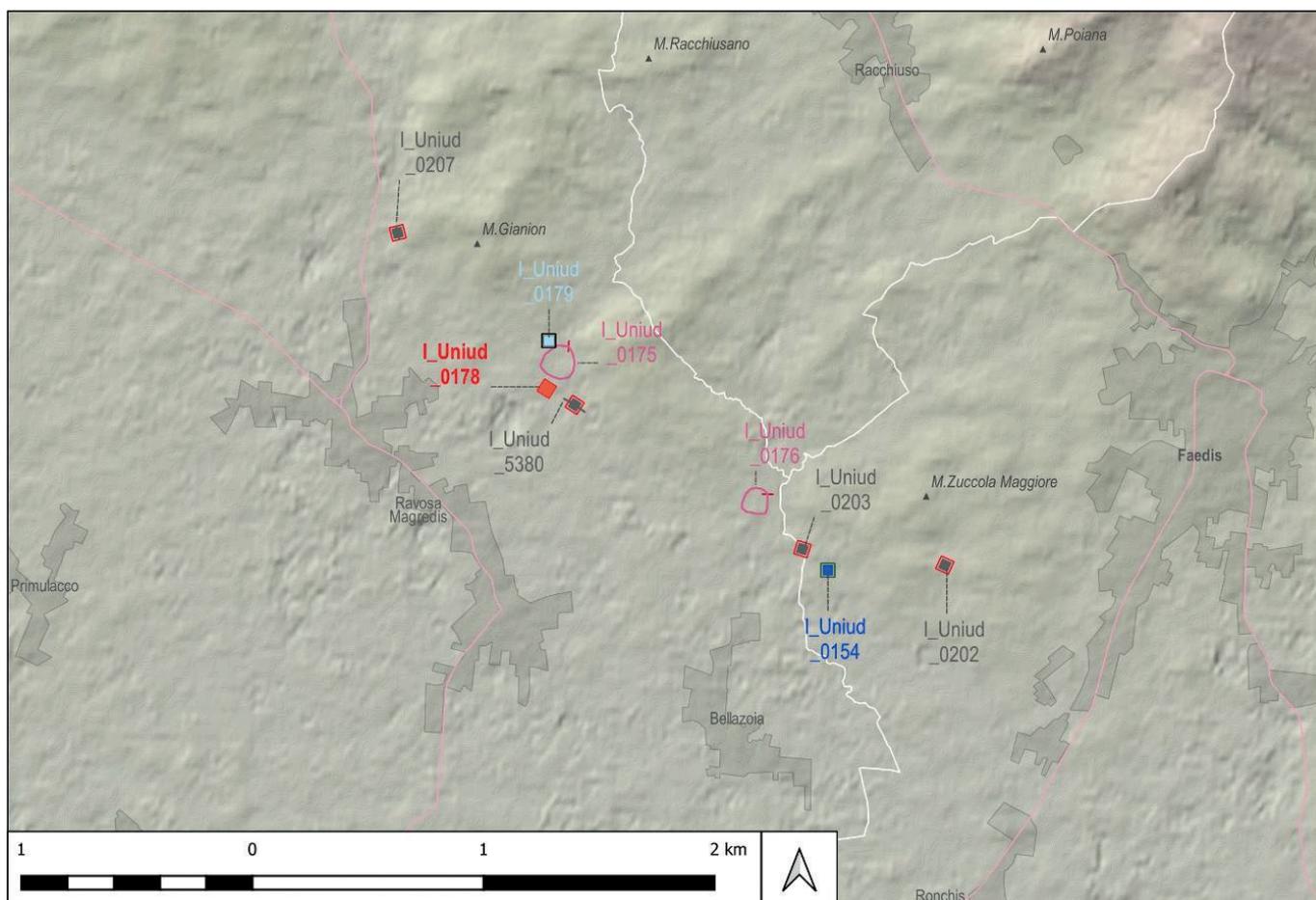


Fig. 5.6 - Indizi del Sovrascorrimento di Colle Villano\_SE.

Dal confronto dei risultati dell'indagine geognostica con l'indizio di paleosismologia è possibile in questo caso desumere un'età ultima deformazione olocenica.

#### Costruzione dei tratti di faglia

**Tratti certi affioranti** associati agli indizi derivanti dal rilievo geologico, che indicano la posizione della faglia in affioramento sul substrato pre-quadernario (in questo caso entro la formazione delle "marne e arenarie di Savorgnano").

T\_UNIUD\_0362  
T\_UNIUD\_0380  
T\_UNIUD\_0366  
T\_UNIUD\_0368

**Tratto certo sepolto** associato all'indizio derivante da indagini paleosismologiche, esso indica la presenza della faglia ad una certa profondità, ma non affiorante, in quanto coperta da un definito spessore di depositi più recenti.

T\_UNIUD\_0364

**Tratti incerti** che uniscono tra loro i tratti certi affioranti e sepolti e che in alcuni casi (T\_UNIUD\_0363, T\_UNIUD\_0365, T\_UNIUD\_0424) sono anche associati agli indizi derivati da analisi morfotettonica e rilevamento geologico e da indagini geognostiche. Questi ultimi tratti in parti-

colare rimangono incerti come posizione della traccia della faglia, dato che la presenza degli indizi di analisi morfotettonica, rilevamento geologico e indagini geognostiche rappresenta l'effetto deformativo dei depositi in superficie generato dalla faglia in profondità e non la faglia stessa.

T\_UNIUD\_0361  
T\_UNIUD\_0363  
T\_UNIUD\_0365  
T\_UNIUD\_0424  
T\_UNIUD\_0367

**Tratto solo dato grafico** in corrispondenza della continuazione verso SE della struttura, esso viene tracciato seguendo la traccia della struttura come è stata rappresentata nella bibliografia a cui si fa riferimento (Id. Biblio 010), non essendoci alcun indizio associabile per questo tratto esso va quindi considerato con un'attendibilità più bassa e la sua posizione è giustificata solo dal grado di precisione del lavoro bibliografico di riferimento.

T\_UNIUD\_0643

#### Costruzione della traccia della faglia (Anagrafica)

Unendo tutti i tratti di faglia così individuati e caratterizzati si costruisce la traccia del Sovrascorrimento Colle Villano SE.

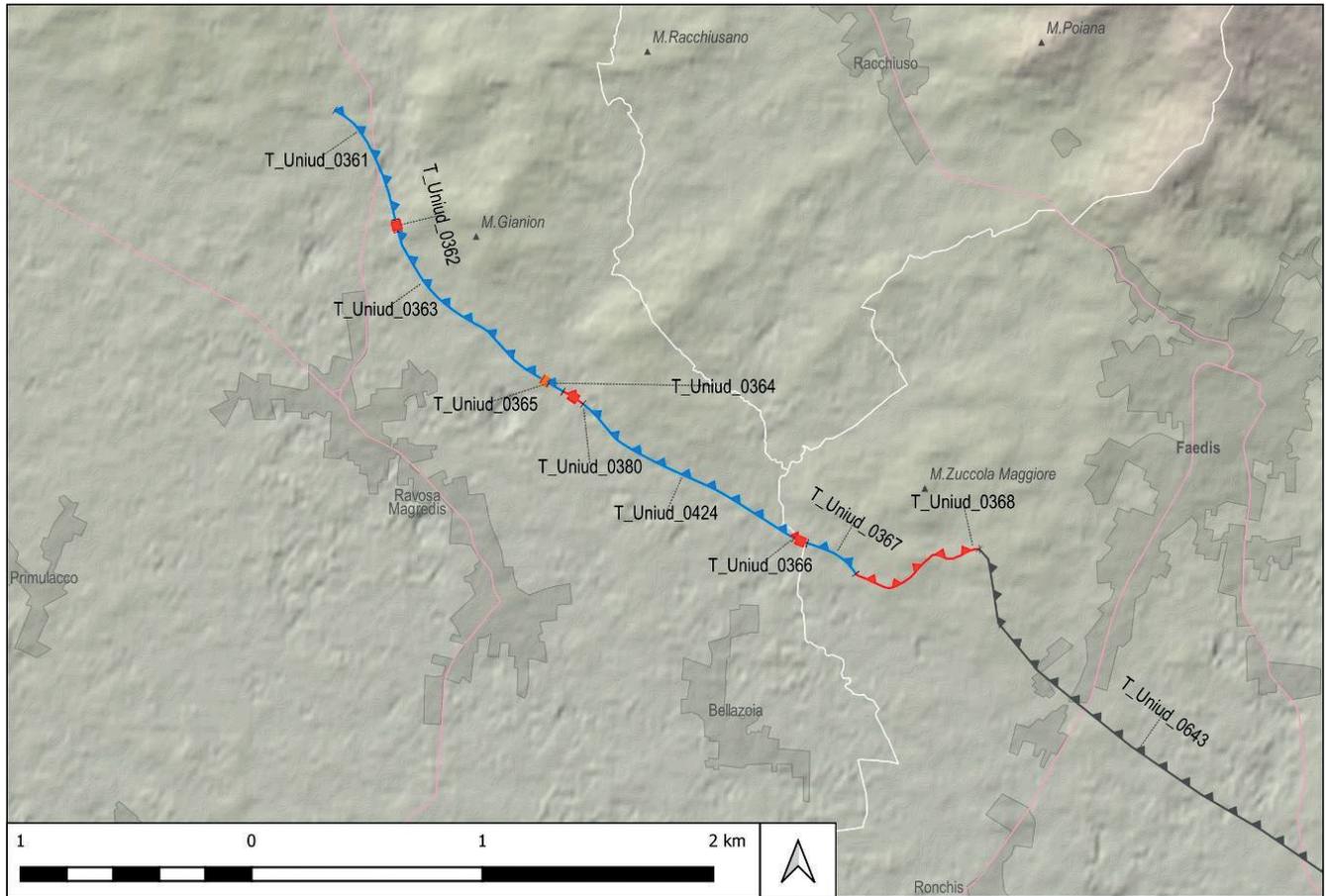


Fig. 5.7 - Tratti del Sovrascorrimento di Colle Villano\_SE.

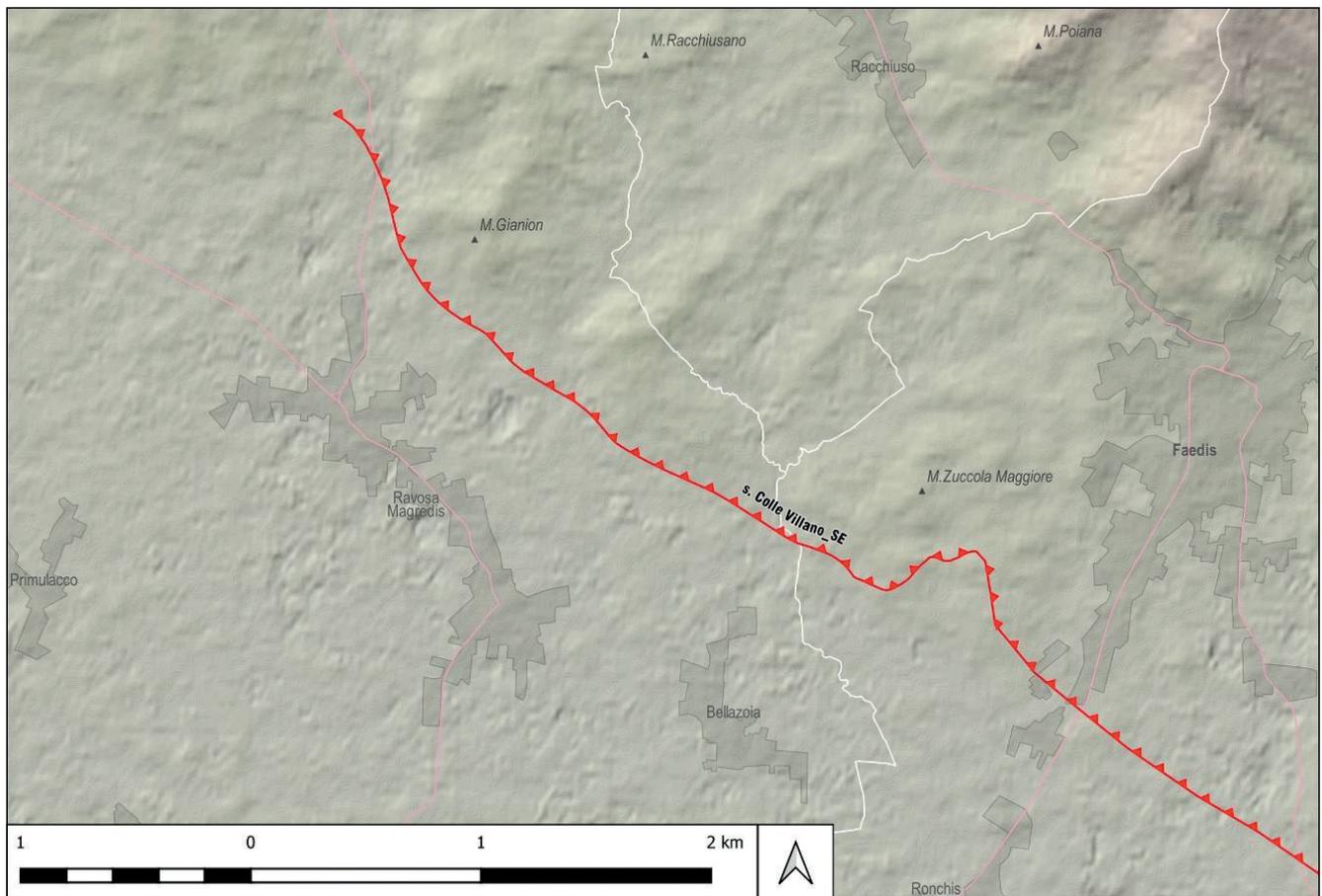


Fig. 5.8 – Traccia del Sovrascorrimento di Colle Villano\_SE.

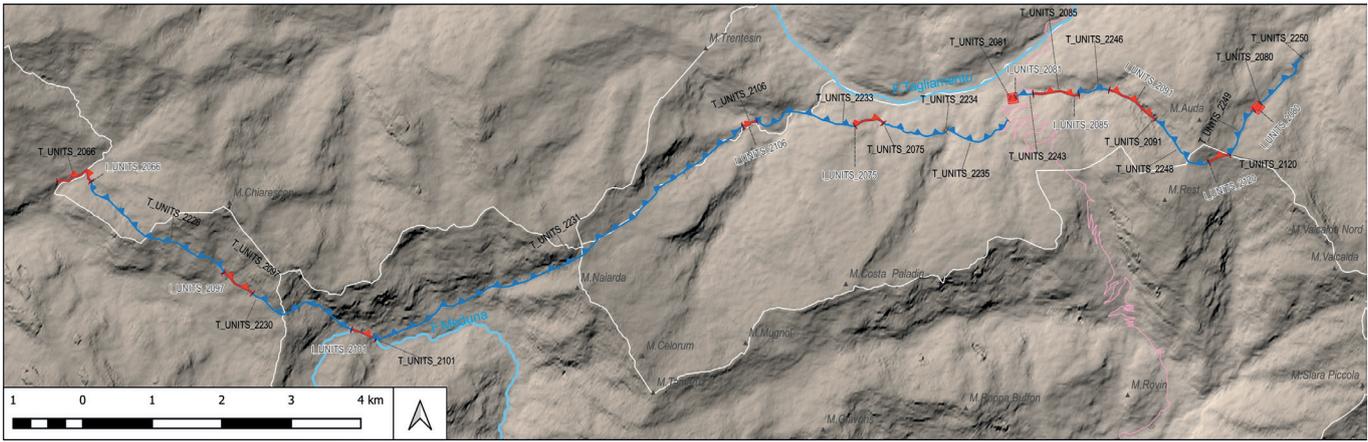


Fig. 5.10 - Indizi del Sovrascorrimento Monte Dof – Monte Auda.

**Età ultima deformazione:** storico, motivata dall'associazione all'indizio I\_UNIUD\_0178.

**Attività:** attiva

**Indice di attendibilità geometrica:** 0.14

### 5.3 - Esempio 3

Linea Monte Dof-Monte Auda - Sovrascorrimento affiorante

Localizzazione: Prealpi Carniche

INDIZI INDIVIDUATI: I\_UNITS\_2066  
 I\_UNITS\_2097  
 I\_UNITS\_2101  
 I\_UNITS\_2106  
 I\_UNITS\_2075  
 I\_UNITS\_2081  
 I\_UNITS\_2085  
 I\_UNITS\_2091  
 I\_UNITS\_2120  
 I\_UNITS\_2080

tipologia: rilevamento geologico

### Costruzione dei tratti di faglia

**Tratti certi affioranti** associati agli indizi derivanti da rilevamento geologico e corrispondenti alle zone dove è stato osservato il piano di faglia affiorante o la cataclasi ad esso associata

T\_UNITS\_2080  
 T\_UNITS\_2120  
 T\_UNITS\_2091  
 T\_UNITS\_2085  
 T\_UNITS\_2081  
 T\_UNITS\_2075  
 T\_UNITS\_2106  
 T\_UNITS\_2070  
 T\_UNITS\_2101  
 T\_UNITS\_2097  
 T\_UNITS\_2066

**Tratti incerti** che uniscono tra loro i tratti certi affioranti. Il loro andamento è stato ricostruito seguendo il principio del rapporto tra la giacitura spaziale derivata dai dati presenti negli indizi (immersione e inclinazione) con la superficie topografica. Si ricorda che per queste operazioni la base cartografica utilizzata è alla scala 1:5.000.

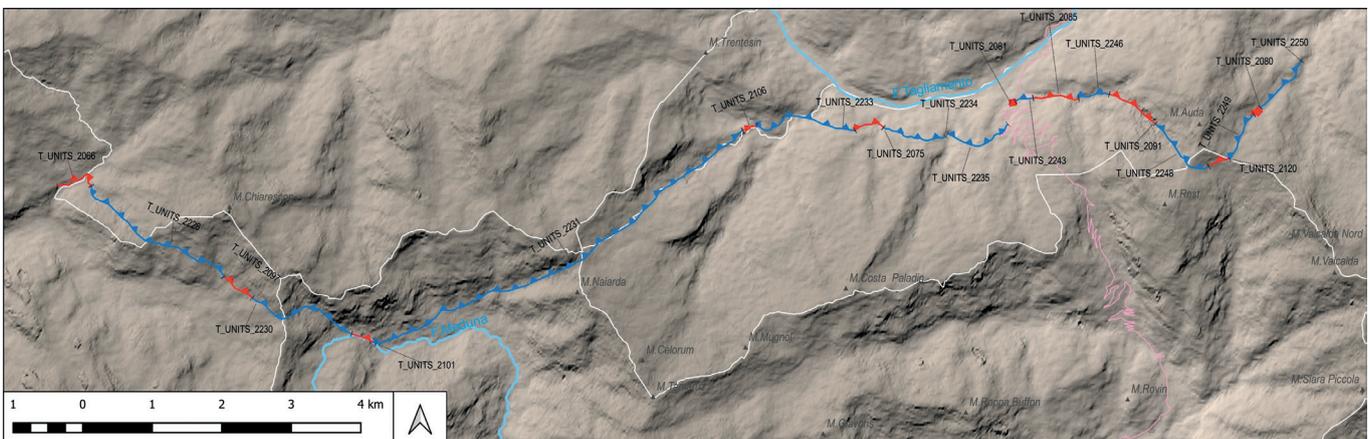


Fig. 5.11 - Tratti del Sovrascorrimento Monte Dof – Monte Auda.

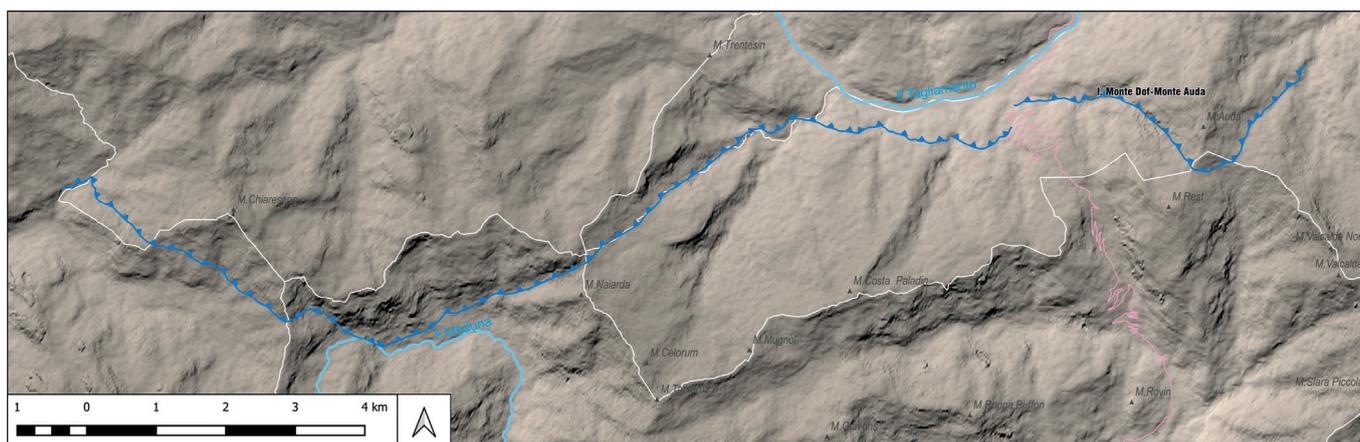


Fig. 5.12 – Traccia del Sovrascorrimento Monte Dof – Monte Auda.

T\_UNITS\_2232  
 T\_UNITS\_2231  
 T\_UNITS\_2228  
 T\_UNITS\_2230  
 T\_UNITS\_2232  
 T\_UNITS\_2233  
 T\_UNITS\_2234  
 T\_UNITS\_2235  
 T\_UNITS\_2243  
 T\_UNITS\_2246  
 T\_UNITS\_2248  
 T\_UNITS\_2249  
 T\_UNITS\_2250

#### Costruzione della traccia della faglia (Anagrafica)

Unendo tutti i tratti di faglia così individuati e caratterizzati si costruisce la traccia della Linea Monte Dof-Monte Auda

**Età ultima deformazione:** non disponibile, motivata dall'assenza di studi specifici

**Attività:** **attività quaternaria indeterminata**

**Indice di attendibilità geometrica:** **0.23**

#### 5.4 - Esempio 4

##### Sovrascorrimento di Panzano: sovrascorrimento sepolto

Localizzazione: bassa Pianura Friulana, a sud-est del Carso settentrionale, tra Palmanova e Monfalcone.

##### Identificazione degli indizi

Indizi individuati: I\_OGS\_2093  
 I\_OGS\_2082  
 I\_OGS\_2081  
 I\_OGS\_2080

tipologia: geofisica

le indagini di sismica a riflessione (ENI) indicano la presenza di un sovrascorrimento che porta alla sovrapposizione

della successione carbonatica mesozoico-paleogenica affiorante in Carso sul flysch eocenico. Il piano di sovrascorrimento verso la superficie è presente fino a 0.1 -0.2 s twt (corrispondente a circa 100 metri) per gli indizi a sud-est, e fino a circa 0.4 s twt (corrispondente a circa 400 metri) per l'indizio a nord I\_OGS\_2093. Nei profili sismici relativi agli indizi I\_OGS\_2082, I\_OGS\_2081, I\_OGS\_2080, dove il piano di faglia è più superficiale, mancano i primi 0.1-0.2 s twt (corrispondenti a circa 100-200 metri).

Età ultima deformazione: età quaternaria non documentata

##### Costruzione dei tratti di faglia

**Tratti certi sepolti:** associati agli indizi derivanti dalle indagini di sismica a riflessione, lunghi 1 m (per convenzione) e posizionati in corrispondenza della traccia della linea sismica

T\_OGS\_2093

T\_OGS\_2080

**Tratti incerti:** associati agli indizi derivanti dalle indagini di sismica a riflessione, lunghi 1 m (per convenzione) e posizionati in corrispondenza della traccia della linea sismica

T\_OGS\_2082

T\_OGS\_2081

**Tratti incerti** che uniscono tra loro i tratti certi sepolti e i tratti incerti, ambedue associati agli indizi localizzati sui profili sismici:

T\_OGS\_2088

T\_OGS\_2086

**Tratti dedotti** in corrispondenza della terminazione a NO e SE della struttura:

T\_OGS\_2133

T\_OGS\_2085

oppure tra due tratti associati agli indizi localizzati sui profili sismici:

T\_OGS\_2089

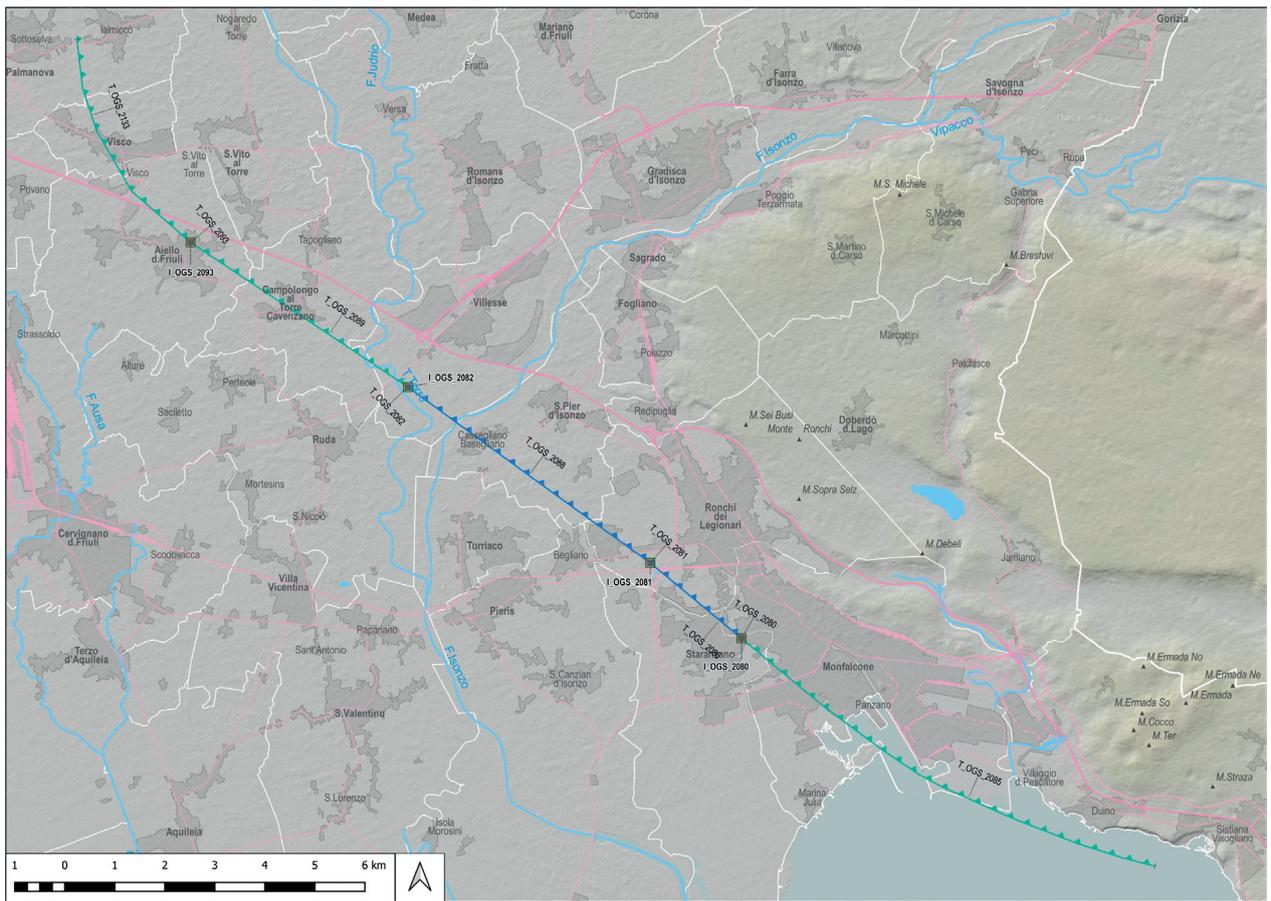


Fig. 5.13 – Indizi e tratti del Sovrascorrimento di Panzano.

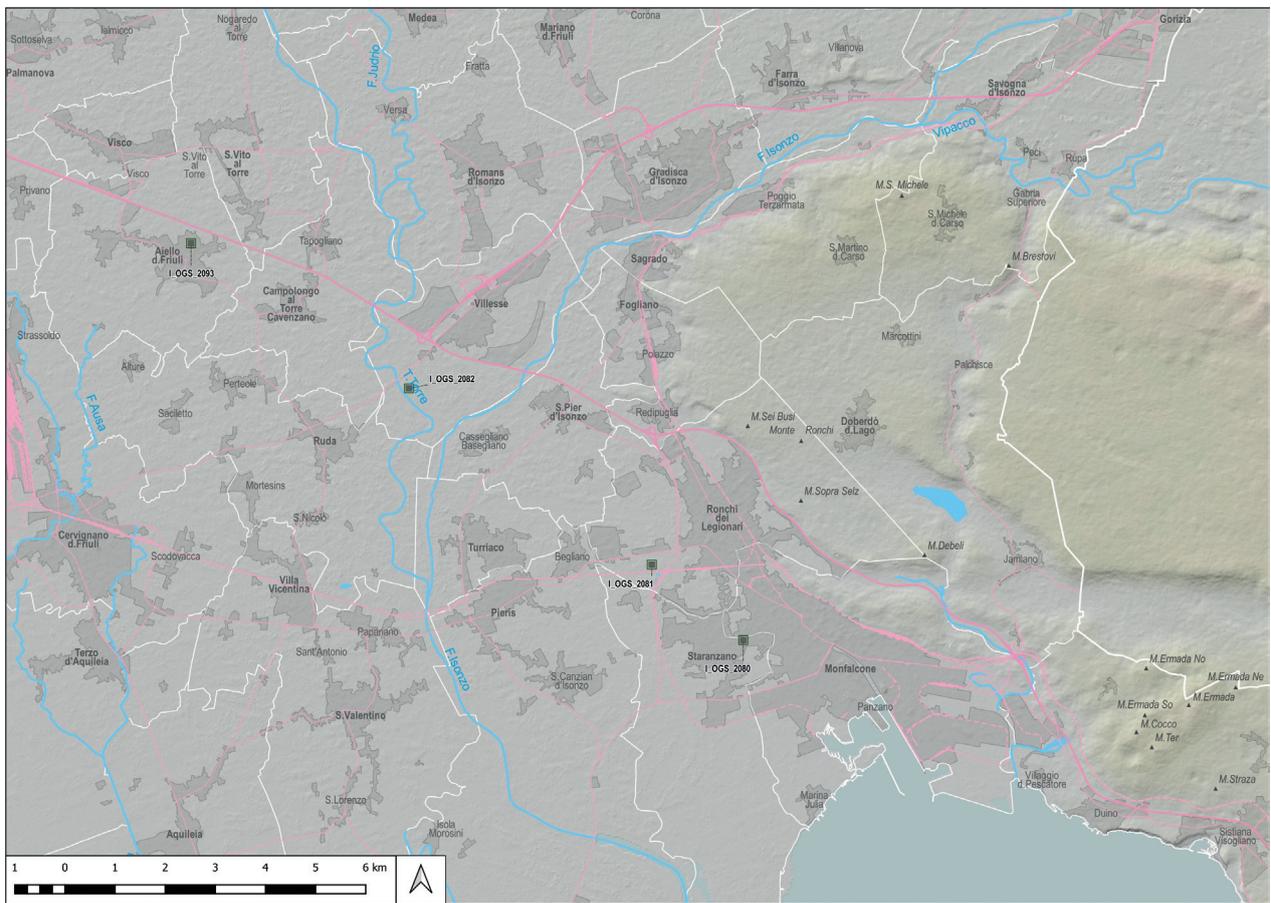


Fig. 5.14 – Indizi del Sovrascorrimento di Panzano.

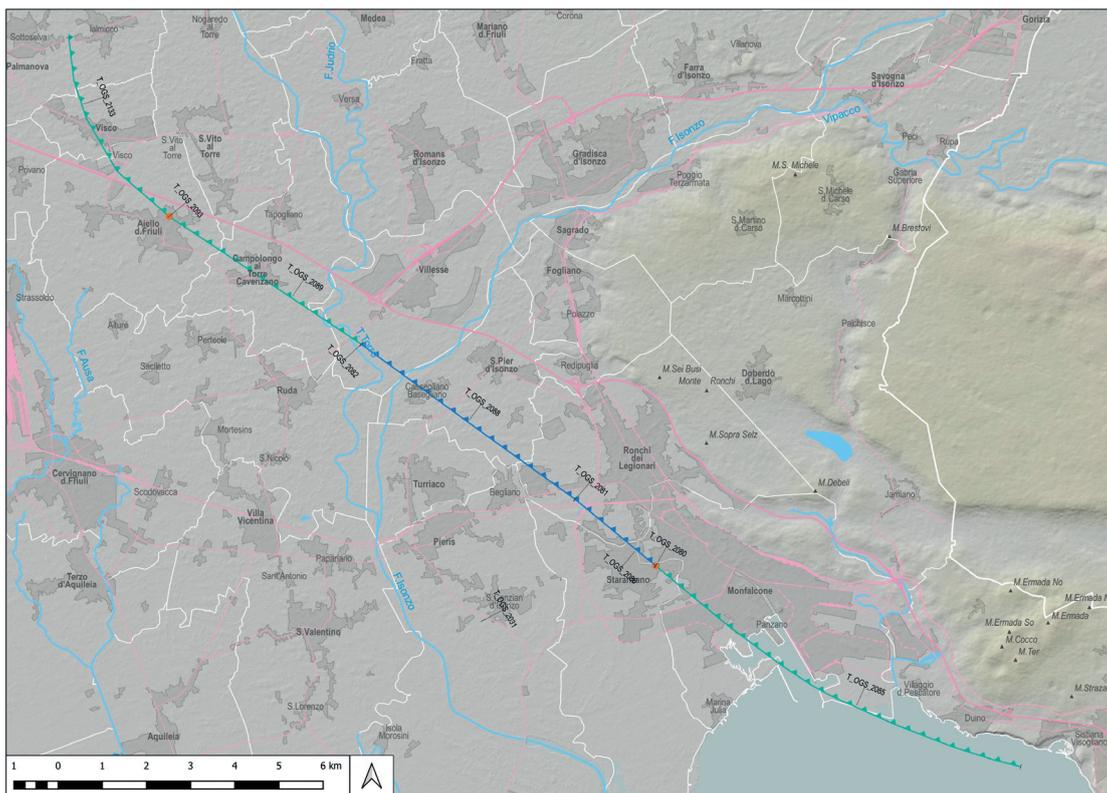


Fig. 5.15 - Tratti del Sovrascorrimento di Panzano.

Costruzione della traccia della faglia (anagrafica)

Unendo tutti i tratti di faglia così individuati e caratterizzati si costruisce la traccia del Sovrascorrimento di Panzano

**Età ultima deformazione:** età quaternaria non documentata

**Attività:** **attività quaternaria indeterminata**

**Indice di attendibilità geometrica:** **0.07**

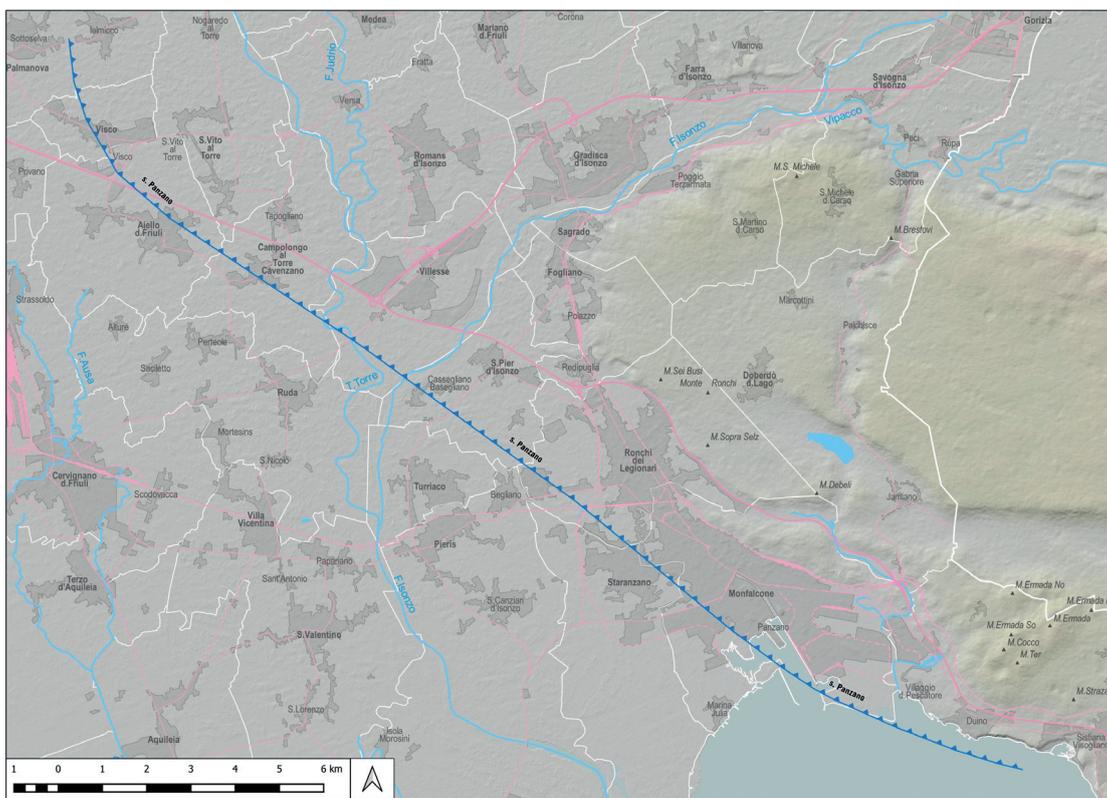


Fig. 5.16 – Traccia del Sovrascorrimento di Panzano.

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA**

- Allen C.R., 1975. Geologic criteria for evaluating seismicity. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 1041-1056.
- Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A., 1987a. Neotectonic map of Italy (sc.1:500.000) - Sheet 1. C.N.R - Quaderni Ric. Sci., 114/4.
- Ambrosetti P., Bosi C., Carraro F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Zanferrari A., 1987b. Neotectonic map of Italy (sc.1:500.000) - Sheet 2. C.N.R - Quaderni Ric. Sci., 114/4.
- Aoudia A., Saraò A., Bukchin B., Suhadolc P., 2000. The 1976 Friuli (NE Italy) thrust faulting earthquake: a reappraisal 23 years later. *Geoph. Res. Lett.*, 27, 573-576.
- Atanackov J., Jamsek Rupnik P., Jež J., Celarc B., Novak M., Milanic B., Markelj A., Bavec M., Kastelic V., 2021. Database of Active Faults in Slovenia: Compiling a New Active Fault Database at the Junction Between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin Tectonic Domains. *Front. Earth Sci.*, 9:604388. doi: 10.3389/feart.2021.604388
- Avouac J-P., 2015. From Geodetic Imaging of Seismic and Aseismic Fault Slip to Dynamic Modeling of the Seismic Cycle. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 43, 233–71.
- Barbano M.S., 1993. Reassessing intensity of some Friuli earthquakes at the turn of the eighteenth century. *Terra Nova*, 5/5, 467-474.
- Barnaba C., Bressan G., 2013. The 2002 Mount Sernio and the 2004 Kobarid sequences: static stress changes and seismic moment release. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54/1, 53-76.
- Bajc J., Aoudia A., Saraò A., Suhadolc P., 2001. The 1998 Bovec-Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence. *Geophys. Res. Lett.*, 28/9, 1839-1842.
- Bechtold M., Battaglia M., Tanner D.C., Zuliani D., 2009. Constrains on the active tectonics of the Friuli/NW Slovenia area from CGPS measurements and three-dimensional kinematic modeling. *Journal of Geophysical Research*, 114, B033408, doi: 10.1029/2008JB005638.
- Benedetti L., Tapponnier P., King G.C.P., Meyer B., Manighetti I., 2000. Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy. *Journal of Geophysical Research*, 105, 739–766.
- Bernardis M., Poli M.E., Renner M., Snidarci A., Zanferrari A., 1996. Le tre sequenze sismiche del 1996 a Claut (Prealpi Carniche). *Atti 15° Conv. G.N.G.T.S.*, Roma 11-13 novembre 1996, 343-348.
- Bernardis G., Poli M.E., Snidarci A., Zanferrari A., 2000. Seismotectonic and macroseismic characteristics of the earthquake of Bovec (NW Slovenia: April 12th 1998). *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 41/2, 133-148.
- Bonini L., Di Bucci D., Toscani G., Seno S., Valensise G., 2014. On the complexity of surface ruptures during normal faulting earthquakes: excerpts from the 6 April 2009 L'Aquila (central Italy) earthquake ( $M_w$  6.3). *Solid Earth*, 5, 389-408.
- Brandes C., Tanner D.C., 2014. Fault-related folding: A review of kinematic models and their application. *Earth-Science Reviews*, 138, 352–370.
- Bressan G., Bragato P.L., 2009. Seismic deformation pattern in the Friuli-Venezia Giulia region (north-eastern Italy) and western Slovenia. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 50/3, 255-275.
- Bressan G., Bragato P.L., Venturini C., 2003. Stress and strain tensors based on focal mechanisms in the seismotectonic framework of the Friuli-Venezia Giulia region (northeastern Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93/3, 1280-1297.
- Bressan G., Ponton M, Rossi G., Urban S., 2016. Spatial organization of seismicity and fracture pattern in NE Italy and W Slovenia. *Journal of Seismology*, 20/2, 511-534.
- Busetti M., Volpi V., Nicolich R., Barison E., Romeo R., Baradello L., Brancatelli G., Giustiniani M., Marchi M., Zanolta C., Wardell N., Nieto D., Ramella R., 2010. Dinaric tectonic features in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Bollettino Geofisica Teorica e Applicata*, 51/2-3, 117-128.
- Buser S., 1989. Development of the Dinaric and Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin. *Mem. Soc. Geol. It.*, 40 (1987), 313-320.
- Burrato P., Ciucci, F., Valensise G., 2003. An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *Annals of Geophysics*, 46/5, 865-882.
- Burrato P., Poli M.E., Vannoli P., Zanferrari A., Basili R.,

- Galadini F., 2008. Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: An updated view based on geological and seismological evidence. *Tectonophysics*, 453, 157–176.
- Camassi R., Caracciolo C.H., Castelli V., Slejko D., 2011. The 1511 Eastern Alps earthquakes: A critical update and comparison of existing macroseismic datasets. *Journal of Seismology*, 15/2, 191-213.
- Caporali A., Neubauer F., Ostini L., Stangl G., Zuliani D., 2013. Modeling surface GPS velocities in the Southern and Eastern Alps by finite dislocations at crustal depths. *Tectonophysics*, 590, 136–150
- Caputo R., Poli M.E., Zanferrari A., 2010. Neogene-Quaternary tectonic stratigraphy of the eastern Southern Alps, NE Italy. *Journal of Structural Geology*, 32, 1009-1027.
- Carobene L., Cavallin A., Martinis B., Onofri R., Cucchi F., Vaia F., 1980. Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia. In: *Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia*, CNR-PFG pubbl. no. 356, 489-545.
- Carulli G.B., Giorgetti F., Nicolich R., Slejko D., 1981. Considerazioni per un modello sismotettonico del Friuli. *Rend. Soc. Geol. It.*, 4, 605-611.
- Carulli, G.B., Ponton, M., 1992. Interpretazione strutturale profonda del settore centrale carnico-friulano. *Studi Geologici Camerti*, 2, 275-284.
- Carulli G.B., 2019. Lo sviluppo degli studi sismotettonici sulla regione Friuli Venezia Giulia prima e dopo il terremoto del Friuli del 1976. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 60/S1, 39-56.
- Castaldini D., Panizza M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale). *Il Quaternario*, 4/2, 333-410.
- Castellarin A., Cantelli L., 2000. Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. *Journal of Geodynamics*, 30, 251-274.
- Castellarin A., Cantelli L., Fesce A.M., Mercier J.L., Picotti V., Pini G.A., Prosser G., Selli L., 1992. Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Apennines. *Annales Tectonicae*, 6, 62-94.
- Castellarin A., Nicolich R., Fantoni R., Cantelli L., Sella M., Selli L., 2006. Structure of the lithosphere beneath the Eastern Alps (south sector of the TRANSALP transect). *Tectonophysics*, 414, 259-282.
- Cheloni D., D'Agostino N., D'Anastasio E., Selvaggi G., 2012. Reassessment of the source of the 1976 Friuli, NE Italy, earthquake sequence from the joint inversion of high-precision levelling and triangulation data. *Geophys. Journ. Int.*, 190, 1279–1294 doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05561.x
- Cheloni D., D'Agostino N., Selvaggi G., 2014. Interseismic coupling, seismic potential and earthquake recurrence on the southern front of the Eastern Alps (NE Italy). *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 4448–4468, doi:10.1002/2014JB010954.
- Chiaraluce L., Valoroso L., Anselmi M., Bagh S., Chiarabba C., 2009. A decade of passive seismic monitoring experiments with local networks in four Italian regions. *Tectonophysics*, 476, 85–98
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015, *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma.
- Dal Cin M., Böhm G., Busetti M., Picotti S., Zgur F., Camerlenghi A., 2022. 3D P-wave velocity-depth model by means of reflection tomography and depth imaging from multichannel seismic data in the northeastern edge of Adria microplate (Gulf of Trieste, north-eastern Adriatic Sea). *Tectonophysics*, 838, 1-16, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229470>
- Danesi S., Pondrelli S., Salimbeni S., Cavaliere A., Serpelloni E., Danecek P., Lovati S., Massa M., 2015. Active deformation and seismicity in the Southern Alps (Italy): The Montello hill as a case study. *Tectonophysics* 653, 95–108.
- Di Toro G., Han R., Hirose T., De Paola N., Nielsen S., Mizoguchi K., Ferri F., Cocco M., Shimamoto T., 2011. Fault lubrication during earthquakes. *Nature*, 471, 494-498. doi:10.1038/nature09838.
- Dogliani C., 1990. Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. *Studi Geol. Camerti*, spec. vol. 1990, 117-129.
- Dogliani C., 1992. The Venetian Alps thrust belt. In: McKlay K.R. (Ed.), *Thrust tectonics*, 319-324, Chapman and Hall, London.
- Dogliani C., Bosellini A., 1987. Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps. *Geol. Rundsch.*, 76, 735-754.
- Fantoni R., Catellani D., Merlini S., Rogledi S., Venturini S., 2002. La registrazione degli eventi deformativi cenozoici nell'avampaese Veneto-Friulano. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 301-313.
- Fantoni R., Della Vedova B., Giustiniani M., Nicolich R., Barbieri C., Del Ben A., Finetti I., Castellarin A., 2003. Deep seismic profiles through the Venetian and Adriatic foreland (Northern Italy). In: Nicolich R., Polizzi D., Furlani S. (eds.) *TRANSALP Conference*, 10-12 February 2003, Trieste, Italy, Extended abstracts, *Memorie di Scienze Geologiche*, 54, 131-134.
- Fialko Y., Sandwell D., Simons M., Rosen P., 2005. Three-dimensional deformation caused by the Bam, Iran, earthquake and the origin of shallow slip deficit. *Nature*, 435, 295-299, doi:10.1038/nature034251.
- Fitzko F., Suhadolc P., Aoudia A., Panza G.F., 2005. Con-

- straints on the location and mechanism of the 1511 Western-Slovenia earthquake from active tectonics and modeling of macroseismic data. *Tectonophysics*, 404, 77-90.
- Fontana A., Monegato G., Devoto S., Zavagno E., Burla I., Cucchi F. 2014. Evolution of an Alpine fluvio-glacial system at the LGM decay: The Cormor megafan (NE Italy). *Geomorphology*, 204, 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.07.034>
- Fontana A., Monegato G., Rossato S. Poli M. E., Furlani S., Stefani C. 2019. Carta delle unità geologiche della pianura del Friuli Venezia Giulia alla scala 1:150.000 e Note Illustrative. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia -Servizio Geologico, Trieste, 80 pp, 1 foglio allegato.
- Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., 2005. Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 739-762. doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02571.x.
- Gruppo di Lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile . 3 vol. e 1 DVD.
- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. 2019. CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area. *Scientific Data*, 6:80, 1-15, doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>
- Kastelic V., Vrabec M., Cunningham D., Gosar A., 2008. Nealpine structural evolution and present day tectonic activity of the eastern Southern Alps: the case of the Ravne fault, NW Slovenia. *J. Structural Geol.*, 30, 963-965.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape. Prentice Hall. 362 pp.
- IAEA, 1991. Safety Culture (Safety Series No. 75-INSAG-4). International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ISPRA, 2009. Aggiornamento ed integrazioni delle linee guida della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Fascicolo I-II-III). <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/pubblicazioni/periodici-tecnici/i-quaderni-serie-iii-del-sgi>
- ISPRA, 2011. <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/progetto-carg-cartografia-geologica-e-geotematica/banca-dati-geologica>
- Jurkovšek B., Biolchi S., Furlani S., Kolar-Jurkovšek T., Zini L., Jež J., Tunis G., Bavec M., Cucchi F., 2016. Geology of the Classical Karst Region (SW Slovenia–NE Italy). *Journal of Maps*, 12/S1, 352-362, doi:10.1080/17445647.2016.1215941
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A., 2021. Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>
- Maesano F.E., D'Ambrogi C., Burrato P., Toscani G., 2015. Slip-rates of blind thrusts in slow deforming areas: examples from the Po Plain (Italy). *Tectonophysics*, 643, 8-25. doi:10.1016/j.tecto.2014.12.007.
- McCalpin J.P., editor, 1996, *Paleoseismology*: Academic Press, 588 p.
- Merlini S., Doglioni C., Fantoni R., Ponton M., 2002. Analisi strutturale lungo un profilo geologico tra la linea Fella-Sava e l'avampaese adriatico (Friuli Venezia Giulia – Italia), *Memorie Società Geologica Italiana*, 57, 293-300.
- Monegato G. 2006: Le successioni conglomeratiche messiniano-pleistoceniche nel bacino del fiume Tagliamento. Ph.D. thesis, University of Udine, 160 pp.
- Monegato G., Stefani C. 2011: Preservation of a long-lived fluvial system in a mountain chain: the Tagliamento Valley (southeastern Italian Alps). In: Davidson S.K., Leleu S. and North C.P. (eds), *From River to Rock Record: The Preservation of Fluvial Sediments and their Subsequent Interpretation*, SEPM Spec. Publ., 97, 359-374.
- Monegato G., Poli M.E., 2015. Tectonic and climatic inferences from the terrace staircase in the Meduna valley, eastern Southern Alps, NE Italy. *Quaternary Research*, 83, 229-242.
- Moratto L., Suhadolc P., Costa G., 2012. Finite-Fault Parameters of the September 1976  $M > 5$  Aftershocks In Friuli (NE Italy). *Tectonophysics*, 536-537, 44–60.
- Moulin A., Benedetti L., Gosar A., Rupnik P.J., Rizza M., Bourlès D., Ritz J.F., 2014. Determining the present-day kinematics of the Idrija fault (Slovenia) from airborne LiDAR topography. *Tectonophysics*, 628, 188-205, 10.1016/j.tecto.2014.04.043.
- Noda H., Lapusta N., 2013. Stable creeping fault segments can become destructive as a result of dynamic weakening. *Nature*, 493, 518-521, <http://dx.doi.org/10.1038/nature11703>.
- Peruzza L., Poli M.E., Rebez A., Renner G., Rogledi S., Slejko D., Zanferrari A., 2002. The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 391-400.
- Poli M.E., Monegato G., Zanferrari A., Falcucci E., Marchesini A., Grimaz S., Malisan P., Del Pin E., 2015. D6/a2.1 - Seismotectonic characterization of the western Carnic pre-alpine area between Caneva and Meduno (NE Italy, Friuli). In “Base-knowledge improvement for assessing the seismogenic potential of Italy”. DPC-INGV-S1 Project 2014-15.
- Poli M.E., Peruzza L., Rebez A., Renner G., Slejko D., Zan-

- ferrari A., 2002. New seismotectonic evidence from analysis of the 1976-1977 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy). *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 43, 1-2, 53-78.
- Poli M.E., Renner G., 2004. Normal focal mechanisms in the Julian Alps and Prealps: seismotectonic implications for the Italian-Slovenian border region. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 45, 51-69.
- Poli M.E., Zanferrari A., Monegato G., 2009. Geometria, cinematica e attività pliocenico-quadernaria del sistema di sovrascorrimenti Arba-Ragogna (Alpi Meridionali orientali, Italia NE). *Rendiconti online Società Geologica Italiana*, 5, 172-175.
- Poli M.E., Falcucci E., Gori S., Monegato G., Zanferrari A., Affatato A., Baradello L., Bohm G., Dal Bo I., Del Pin E., Forte E., Grimaz S., Marchesini A., 2021. Paleoseismological evidence for historical ruptures along the Meduno Thrust (eastern Southern Alps, NE Italy). *Tectonophysics*, 818, 1-26, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229071>.
- Poljak, M., Gosar A., Živcič M., 2010. Active tectonics in Slovenia. Proceedings of the "ADRIA 2006 – International Geological Congress on Adriatic area", Urbino (Italy), 19-20 May 2006, *Geo Acta Special Publication*, 3, 15-24.
- Ponton M.; 2010: *Architettura delle Alpi Friulane*. Museo Friulano Storia Naturale, pubbl. 52, 80 pp.
- Regione autonoma Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale infrastrutture, mobilità, pianificazione territoriale e lavori pubblici - Servizio pianificazione territoriale (SPT), Insiel S.p.A. – Divisione Applicazioni SW & Servizi SIIR - Altre linee\_Sistemi territoriali e agricoltura (SSA), 2013. *La costruzione delle banche dati territoriali nel contesto dell'infrastruttura regionale di dati ambientali e territoriali (IRDAT fvg)*. V1.3\_03.09.2013
- Rolandone R., Burgmann R., Agnew D.C., Johanson I.A., Templeton D.C., d'Alessio M.A., Titus S.J., DeMets C., Tikoff B., 2008. Aseismic slip and fault-normal strain along the central creeping section of the San Andreas fault. *Geophysical Research Letters*, 35, L14305, 1-5, doi:10.1029/2008gl034437.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>
- Scholz C. H., 2002. *The mechanics of earthquakes and faulting*, Cambridge University Press, 439 pp, 1990.
- Schönborn G., 1999. Balancing cross sections with kinematic constrains the Dolomites (norther Italy). *Tectonics*, 18/3, 527-545.
- Selli L., 1998. The Valsugana thrust belt between Trento and Cima d'Asta; Neogene kinematics and Permian-Mesozoic structure within the evolutionary framework of the eastern southern Alps, northeastern Italy. *Mem. Soc. Geol. It.*, 53, 503-541.
- Serpelloni E., Vannucci G., Anderlini L., Bennett R.A., 2016. Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data. *Tectonophysics*, 688, 157-181.
- Sirovich L., Pettenati F., 2004. Source inversion of intensity patterns of earthquakes: A destructive shock in 1936 in northeast Italy. *J. Geophys. Res.*, 109, B10309, doi: 10.1029/2003JB002919.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Illiceto V., Semenza E., Zanolla C., 1989. Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 31, 109-136.
- Slejko D., Neri G., Orozova I., Renner G., Wyss M., 1999. Stress field in Friuli (NE Italy) from fault plane solutions of activity following the 1976 main shock. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 1037-1052.
- Slejko D., 2019. Cosa abbiamo capito del terremoto del 1976 in Friuli? *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 60/S1, 57-76
- Slemmons D.B., DePolo C.M., 1986. Evaluation of active faulting and associated hazards, in *Studies in geophysics — active tectonics*: National Academy Press, Washington, DC, p. 45-62.
- Talamo R., Pampaloni M., Grassi S., 1978. Risultati delle misure di livellazione di alta precisione eseguite dall'Istituto Geografico Militare nelle zone del Friuli interessate dalle recenti attività sismiche. *Boll. Geod. Sc. Aff.*, 1, 6-75.
- Toscani G., Marchesini A., Barbieri C., Di Giulio A., Fantoni R., Mancin N., Zanferrari A., 2016. The Friulian-Venetian Basin I: architecture and sediment flux into a shared foreland basin. *Italian Journal of Geosciences*, 135/3, 444-459.
- Wells D., Coppersmith K., 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- Vrabec M., Fodor L., 2006. Late Cenozoic tectonics of Slovenia: structural styles at the Northeastern corner of the Adriatic microplate. In: Pinter, N., Greneczy, G., Weber, J., Stein, S., Medak, D. (Eds.), *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, 151-168. *Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences*, 61, Springer.
- Zanferrari A., Bollettinari G., Carobene L., Carton A., Carulli G.B., Castaldini D., Cavallin A., Panizza M., Pellegrini G.B., Pianetti F., Sauro U., 1982. *Evoluzione neotet-*

tonica dell'Italia nord-orientale. Mem. Sci. Geol., 35, 355-376.

Zanferrari A., Avigliano Monegato G., Paiero, G., Poli M.E., Stefani C., 2008a. Geological map and explanatory notes of the Geological Map of Italy at the scale 1:50.000: Sheet 066 "Udine". APAT-Servizio Geologico d'Italia – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 176 pp. <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/friuli.html>

Zanferrari A., Avigliano R., Grandesso P., Monegato G., Paiero G., Poli M.E., Stefani, C., 2008b. Geological map and explanatory notes of the Italian Geological Map at the scale 1:50.000: Sheet 065 "Maniago". APAT-Servizio Geologico d'Italia – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/friuli.html>

Zanferrari A., Masetti, D., Monegato G., Poli M.E., 2013. Geological map and explanatory notes of the Geological Map of Italy at the scale 1:50.000: Sheet 049 "Gemona del Friuli". ISPRA - Servizio Geologico d'Italia - Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, 262 pp. <http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/friuli.html>

Zattin M., Stefani C., Martin S., 2003. Detrital fission-track analysis and sedimentary petrofacies as keys of Alpine exhumation; the example of the Venetian foreland (European Southern Alps, Italy). Journ. Sed. Res., 73/6, 1051-1061.

## Sitografia

Centro Ricerche Sismologiche-OGS: <http://www.crs.ogs.it/>

DISS: <http://diss.rm.ingv.it/diss/>

ITHACA: <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>

Ministry for the Environment, New Zealand, 2003. Planning for the development of land on or close to active faults. A guideline to assist resource management planners in New Zealand. <http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/planning-development-active-faults-dec04/index.html>

U.S. Geological Survey: <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/earthquakes>

## Elenco allegati

**Allegato A** - Banca dati delle faglie attive del Friuli Venezia Giulia – Carta degli indizi (caratterizzati per tipo ed età ultima deformazione) alla scala 1:150.000

**Allegato B** - Banca dati delle faglie attive del Friuli Venezia Giulia – Carta degli tratti di faglia (caratterizzati per classificazione di tipologia e tipo) alla scala 1:150.000

**Allegato C** - Banca dati delle faglie attive del Friuli Venezia Giulia – Carta delle faglie attive (caratterizzati per classificazione di attività e tipo) alla scala 1:150.000





Finito di stampare nel mese di maggio 2023  
presso la LithoStampa - Pesian di Prato (UD)

