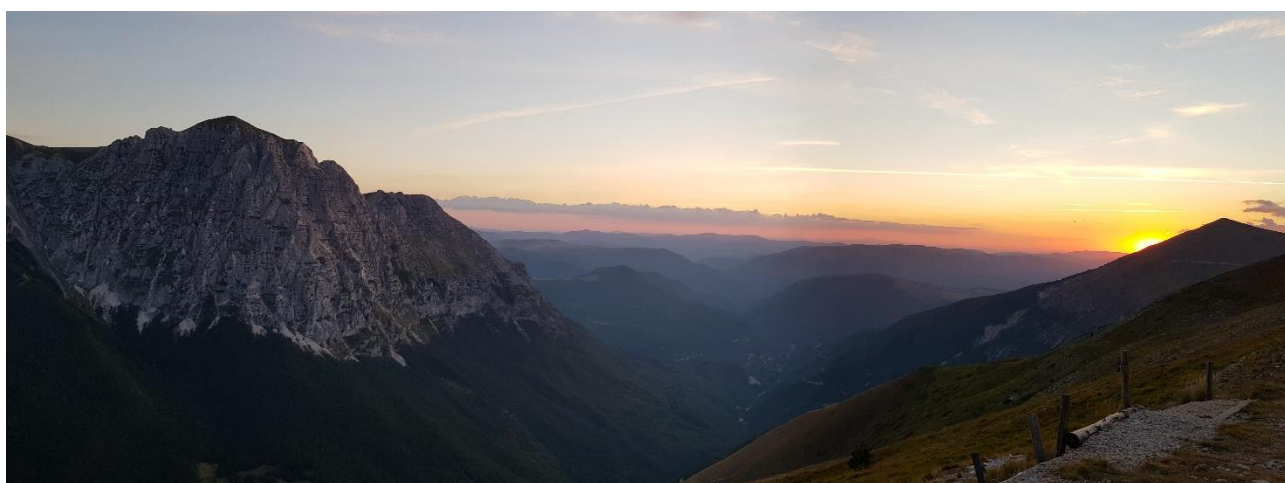


# FAGLIE ATTIVE E CAPACI

LOTTO N. 5 USSITA (Frontignano) – Macerata



**FASE 1**  
**24 Dicembre 2020**

**Responsabile:** Emanuele Tondi, UNICAM

**Gruppo di lavoro:** Prof. Emanuele Tondi, Prof. Piero Farabollini, Prof. Pietro Paolo Pierantoni, Prof. Miller Zambrano, Dott.ssa Veronica Gironelli, Dott.ssa Danica Jablonska, Dott. Giuseppe Pasquini, Dott. Riccardo Teloni, Dott. Giorgio Valentini, Dott. Tiziano Volatili

## **INDICE**

<b>Premessa</b>	<b>pag. 3</b>
<b>Microzonazione delle Faglie Attive e Capaci (FAC)</b>	<b>pag. 4</b>
<b>MACERATA</b>	<b>pag. 9</b>
3.1 Introduzione	pag. 9
3.2. Sismicità storica del Comune di Macerata	pag.10
3.3. Assetto geologico-strutturale e geomorfologico	pag.12
3.4. Conclusioni	pag.13
<b>USSITA (Frontignano)</b>	<b>pag.14</b>
4.1. Introduzione	pag. 14
4.2. Effetti cosismici di superficie a seguito degli eventi sismici del 2016	pag. 20
4.3. Indagini geologico-strutturali e geomorfologiche	pag. 23
4.4. Indagini Geofisiche	pag. 36
4.4.1. <i>Tomografia di sismica a rifrazione 2D</i>	pag. 37
4.4.2. <i>Tomografia di resistività elettrica 2D</i>	pag. 38
4.4.3. <i>Tomografia di resistività elettrica 3D</i>	pag. 39
4.4.4. <i>Risultati</i>	pag. 41
4.5. Conclusioni	pag. 45
<b>Bibliografia</b>	<b>pag. 50</b>

## 1. Premessa

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica, tra INGV e UNICAM per la "ridefinizione delle Zone di Attenzione delle Faglie Attive e Capaci emerse dagli studi di microzonazione sismica effettuati nel territorio della Frazione Frontignano del comune di Ussita (MC) e nel territorio di Macerata ("Faglia Macerata"), interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016" si descrivono le attività svolte e i risultati ottenuti nelle aree oggetto dell'accordo.

L'accordo in oggetto prevede due fasi di studio: FASE 1, "mirata alla distinzione delle FAC meritevoli di approfondimento (secondo quanto previsto dall'allegato tecnico dell'Ordinanza n° 83) da quelle che possono essere eliminate in quanto non coerenti con il modello sismotettonico regionale e con gli indizi di carattere geologico e geomorfologico ed anche a seguito delle indagini geofisiche in campo." FASE 2, Sulla base dei risultati della Fase 1, verranno svolte approfondimenti specifici come previsto dalle Linee Guida nazionali per le FAC."

In particolare, nella FASE 1, coerentemente con quanto stabilito nell'accordo di cui sopra e con le Linee Guida FAC, sono state verificate la sussistenza di almeno due delle condizioni preliminari affinché si debbano eseguire studi di dettaglio sulle FAC:

1. l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con  $M_w > 5.5$  (cfr CPT11; un'indicazione di massima potrebbe anche venire dalla zona della classificazione sismica nella quale ricade l'area in studio);
2. la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
3. sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

Inoltre, con l'obiettivo di approfondire le conoscenze relative alle faglie attive e capaci dell'area in oggetto è stato effettuato uno studio rivolto al reperimento dei numerosi dati esistenti in letteratura relativi alla Geologia, la Geofisica e la Sismologia dell'area, nonché ad un approfondimento, in particolare mirato alla individuazione e parametrizzazione delle Faglie Attive e Capaci (FAC) in grado di interferire con le opere antropiche. Quest'ultimo aspetto segue coerentemente quanto definito nella normativa di riferimento "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)" redatte dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica nel 2015, gli obiettivi dello studio riguardano:

- Individuazione e caratterizzazione faglie attive e Capaci – FAC;
- Aggiornamento database delle faglie attive e capaci;
- Microzonazione FAC, Zone di Rispetto, Suscettività.

Gli approfondimenti e le analisi geologiche, geomorfologiche e geofisiche di dettaglio effettuate durante la FASE 1, hanno permesso di individuare alcuni siti di interesse in cui proseguire gli approfondimenti durante la FASE 2 dello studio.

## 2. Microzonazione delle Faglie Attive e Capaci (FAC)

Negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (gruppo di lavoro MS, 2008) e, successivamente, nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)" redatte dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nel 2015 (Fig. 2.1), le problematiche relative ai fenomeni di fagliazione superficiale sulle infrastrutture sono state per la prima volta affrontate a livello tecnico-normativo con l'obiettivo di: (i) definire la procedura per raccogliere accurate informazioni sul rischio derivato dalla fagliazione superficiale; (ii) pianificare i processi di mitigazione del rischio derivato dalla presenza di faglie attive e capaci per aree con previsioni di trasformazione e per aree edificate; (iii) proporre criteri generali e procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali.



Fig. 2.1. Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 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, 2015.

Lo studio delle Faglie Attive e Capaci (FAC), seguendo la procedura definita nel documento suddetto (Fig. 2.2), permette di individuare diverse microzone omogenee nell'ambito dei diversi livelli di approfondimento della Microzonazione Sismica: Zona di Attenzione (ZA<sub>fac</sub> nel livello 1); Zona di Suscettibilità e Zona di rispetto (ZS<sub>fac</sub> e ZR<sub>fac</sub> nel livello 3). Le FAC, inoltre, possono essere classificate in due categorie in funzione delle incertezze nella loro identificazione: FAC<sub>a</sub> e FAC<sub>b</sub> (Tab. 2.1).



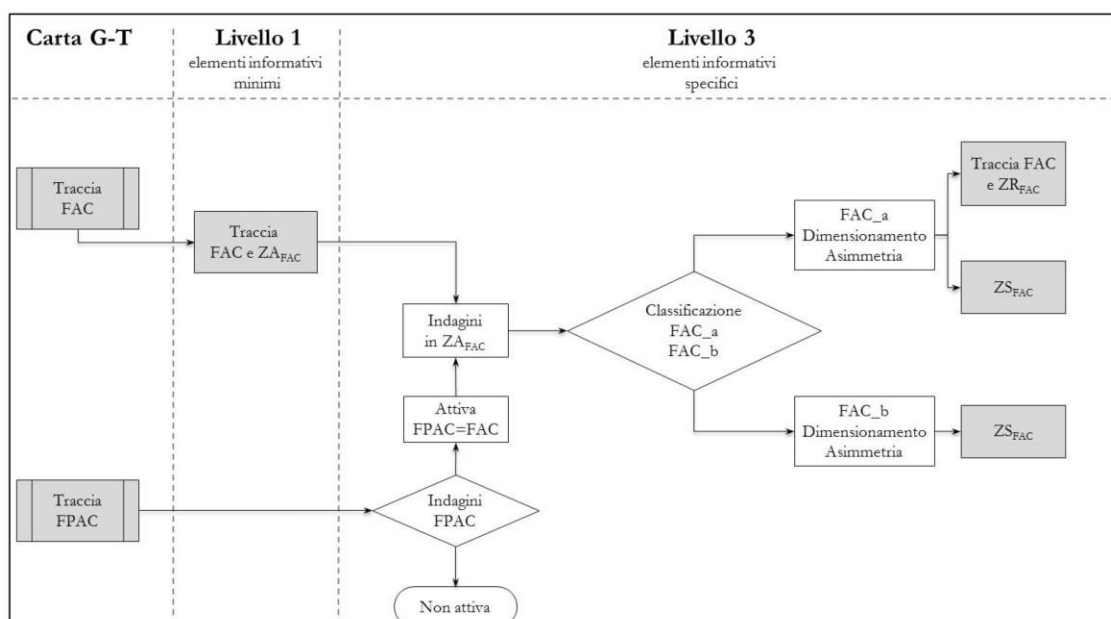


Fig. 2.2. Procedure di dimensionamento delle zone di faglia nei differenti livelli di approfondimento degli studi di MS.

CATEGORIA [FAC_x] <sup>1</sup>	DEFINIZIONE DELLA FAC_x	NOTE ESPLICATIVE
FAC_a	Certa e definita	Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad essa collegati sono riconosciuti con certezza. In questa categoria sono comprese anche le strutture tettoniche secondarie e le zone di trasferimento tra segmenti distinti di una faglia attiva e capace.
FAC_b	Incerta	Gli elementi che compongono una faglia attiva e capace e i fenomeni cosismici collegati non sono cartografabili con certezza e/o dettaglio, per assenza di dati o perché non possono essere identificati (zone di trasferimento, gap, erosione, coperture, ecc.).

Tab. 2.1. Categorie descrittive delle faglie attive e capaci e dei fenomeni cosismici (FAC\_x).

Come testualmente riportato nelle linee guida: *“Le tipologie La raccolta degli elementi informativi specifici per l’identificazione di una FAC\_x in uno studio di livello MS3 (Gruppo di lavoro MS, 2008) ha i seguenti obiettivi:*

- *valutare quanto recente sia la sua attività. In particolare, per le faglie potenzialmente attive e capaci (capitolo 3), in questo livello di approfondimento si dovranno espletare le indagini*

*necessarie per definire l’intervallo cronologico superiore della loro attività (indagini paleosismologiche e datazioni dei terreni fagliati);*

- *localizzare de visu (direttamente in trincea e/o su sezioni geofisiche) la traccia in superficie della faglia attiva e capace;*

- *definire la massima dislocazione attesa in superficie, la magnitudo attesa ed il tempo di ricorrenza della faglia;*

- *stabilire la geometria della FAC\_x, evidenziando eventuali diversi approcci in caso si operi in condizioni post-evento, con riferimento, ad esempio, a sistemi di monitoraggio degli spostamenti/cedimenti differenziali.*

*L'assunzione iniziale, imprescindibile, è che le future rotture ricorreranno su FAC preesistenti. Si definiscono 4 gruppi di indagini necessarie per questo livello di approfondimento (Tab. 2.2). Queste indagini, nel corso degli studi, hanno una sequenzialità temporale. I gruppi di indagini hanno una significatività crescente passando dal primo al quarto. Idealmente la sequenza completa fornisce il quadro più dettagliato e certo dell'assetto geologico, strutturale e geometrico della FAC\_x. Per le faglie potenzialmente attive e capaci è indispensabile arrivare ad espletare le indagini del gruppo Ind\_4."*

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

Tab. 2.2. Indagini per lo studio di una FAC, raggruppate per tipologia e significatività (Gruppo Ind\_4 massima significatività).

Come si può vedere in Tab. 2.3, nell'ambito della stessa categoria di FAC, l'estensione della microzona si riduce in base al livello di indagine. L'estensione minima si ha con la tipologia FAC\_a e livello 3 di studio.

LIVELLI DI MS	LIVELLO 1	LIVELLO 3		
CATEGORIA (FAC_x)	ZA <sub>FAC</sub>	ZS <sub>FAC RACC</sub>	ZS <sub>FAC MIN</sub>	ZR <sub>FAC</sub>
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

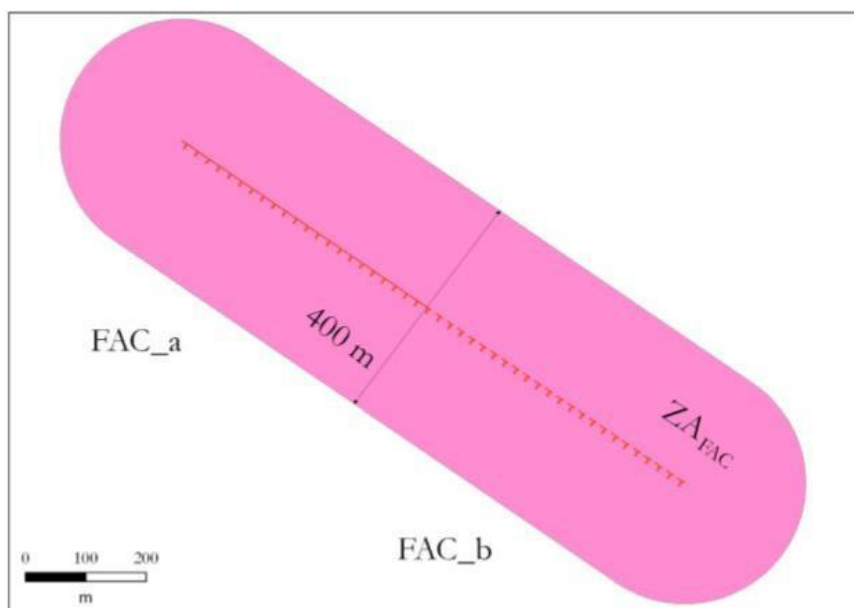
Tab. 2.3. Estensione delle microzone in base alla tipologia della FAC e livello di studio.

Le faglie attive e capaci, le deformazioni associate e le zone devono essere cartografate a una scala non inferiore a 1:5.000. La ZSFAC può essere asimmetrica rispetto alla traccia del piano principale di rottura della faglia attiva e capace, ovvero la ZSFAC può "coprire" in maniera differenziata il letto o footwall (FW) e il tetto o hangingwall (HW). Valori indicativi del rapporto tra le aree di FW e HW che compongono la zona sono riportati nella Tab. 2.4.

TIPO DI FAGLIA	RAPPORTO FW:HW
Faglia normale	1:4
Faglia inversa	1:2
Faglia trascorrente	1:1

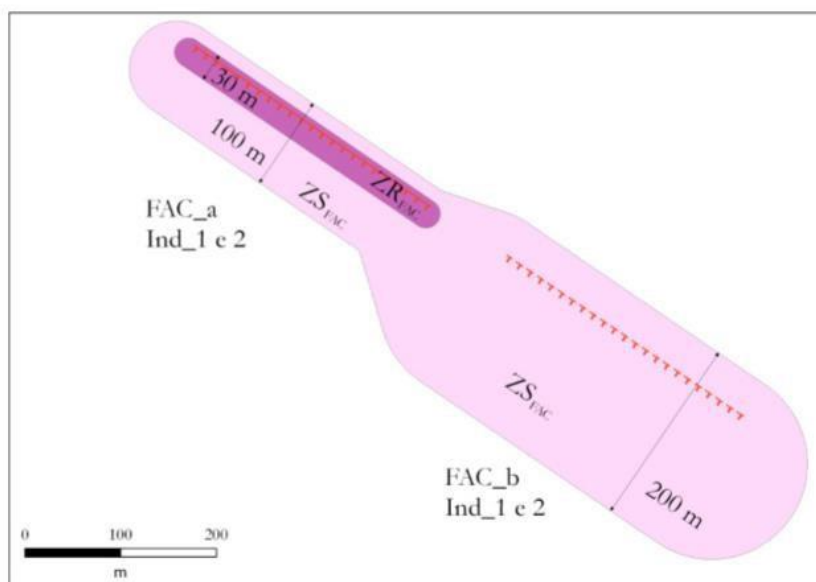
Tab. 2.4. Rapporti indicativi tra aree di FW e HW in caso di asimmetria della ZSFAC.

Di seguito (Figs. 2.3-2.5) vengono mostrate le tipologie di dimensionamento delle zone in base ai differenti livelli di approfondimento (da 1 a 3) e indagini eseguite (Ind. 1, 2, 3 e 4).



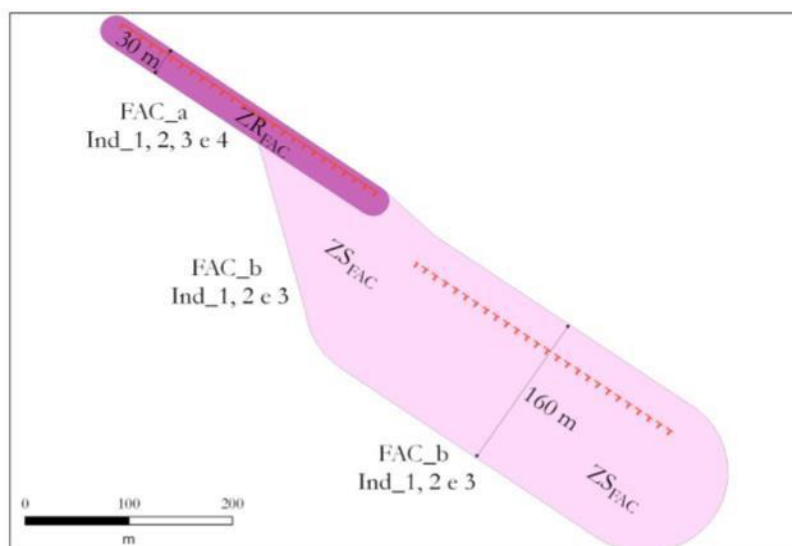
Livelli di MS	Livello MS1	Livello MS3		
Categoria (FAC_x)	Z <sub>A</sub> FAC	Z <sub>S</sub> FAC RACC	Z <sub>S</sub> FAC MIN	Z <sub>R</sub> FAC
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

Fig. 2.3. Esempio di ZAFAC in uno studio di livello MS1 (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) (ZSFAC RACC= Valore raccomandato; n.d. = non definita)



Livelli di MS	Livello MS1	Livello MS3		
Categoria (FAC_x)	Z <sub>A</sub> FAC	Z <sub>S</sub> FAC RACC	Z <sub>S</sub> FAC MIN	Z <sub>R</sub> FAC
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

Fig. 2.4. Esempio di FAC\_a e FAC\_b e relative zone per uno studio di livello 3 con indagini di livello Ind\_1 e 2 (Carta di MS) (ZSFAC RACC= Valore raccomandato; n.d. = non definita).



Livelli di MS	Livello MS1	Livello MS3		
Categoria (FAC_x)	$Z_{A_{FAC}}$	$Z_{SFAC\ RACC}$	$Z_{SFAC\ MIN}$	$Z_{RFAC}$
FAC_a	400	160	0	30
FAC_b	400	300	160	n.d.

Fig. 2.5. Esempio di FAC\_a e FAC\_b e relative zone per uno studio di livello MS3 (Carta di MS) ( $Z_{SFAC\ RACC}$ = Valore raccomandato; n.d. = non definita).



### 3. MACERATA

#### 3.1. Introduzione

Nel territorio comunale di Macerata, nell'ambito delle attività di Microzonazione Sismica, è stata tracciata e indicata come possibilmente attiva e capace una faglia denominata "Faglia Fiume Chienti-Fiume Potenza" (Fig. 3.1). La faglia a direzione circa N-S è stata presunta da fotointerpretazione e interpretata come trascorrente/transtensiva sinistra. La cinematica e l'attività recente della presunta faglia sono state definite sulla base dell'andamento del corso fluviale attuale del Fiume Potenza e del Fiume Chienti, andamento che in prossimità della presunta faglia mostra una deviazione del corso fluviale. Inoltre, sempre nella relazione tecnica di microzonazione sismica, si segnala un allineamento degli epicentri dei terremoti storici concordante con la direzione della faglia. I terremoti considerati derivano da cataloghi storici disponibili e vanno dal 100 AC al 1956 (Rovida et al., 2019).

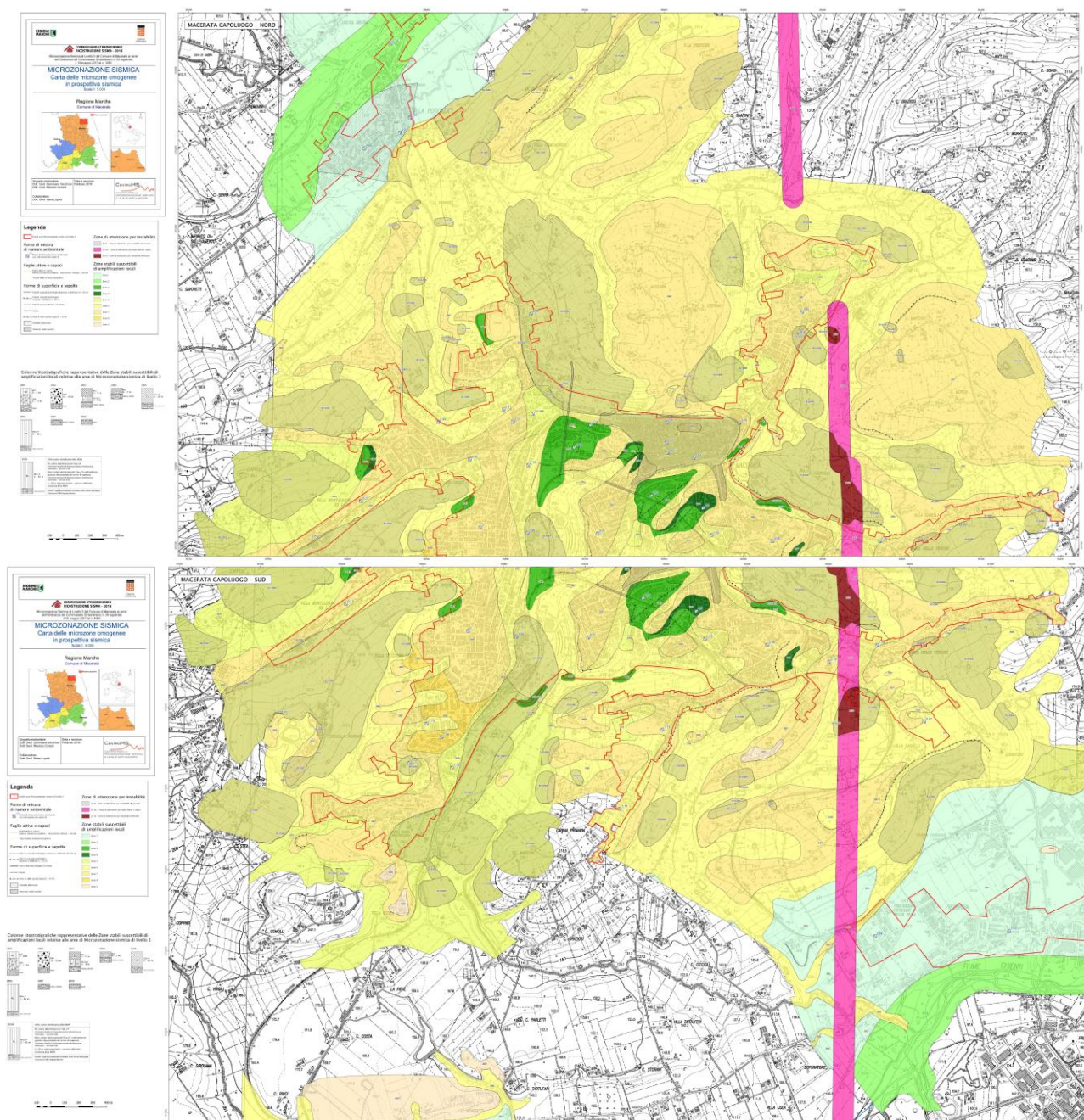


Fig. 3.1. Carte relative alla microzonazione sismica di Macerata dove è possibile osservare la FAC, con la relativa zona di suscettività, individuata.

Per quanto riguarda le attività svolte, queste riguardano la raccolta dei dati bibliografici, relativi alla sismicità storica strumentale e alla geologia e geomorfologia dell'area.

Inoltre, sono stati effettuati dei sopralluoghi lungo la presunta faglia con l'obiettivo di reperire eventuali nuovi dati di terreno rispetto a quelli disponibili. È stata inoltre effettuata una fotointerpretazione e analisi della stratigrafia del quaternario da letteratura.

### 3.1. Sismicità storica del Comune di Macerata

Il Comune di Macerata, sulla base della Carta di Pericolosità Sismica Nazionale è classificato in Zona 2 e cioè nell'intervallo 0,175g-0,2g di accelerazione orizzontale (PGA) su suolo rigido ( $V_{s30} > 800\text{m/s}$ ) che ha la probabilità del 10% di essere superate in un arco temporale di 50 anni.

La pericolosità sismica del Comune di Macerata è determinata dai forti terremoti che si sono verificati e possono verificarsi nelle vicine zone assiali dell'Appennino e nel territorio comunale stesso (Tab. 3.1 e Fig. 3.2). Come è possibile osservare nella tabella 3.1 e nel grafico di Fig. 3.2, nell'ultimo millennio Macerata è stata interessata quattro volte da intensità MCS uguali al 7° MCS. Le intensità MCS pari a 7° sono associate ai forti eventi sismici con epicentro nei territori vicini, mentre in due casi è stata raggiunta a seguito di terremoti locali, nel 1626 di  $M_w=5.1$  e nel 1809 di  $M_w=4.6$  (Fig. 3.3 e Fig. 3.4).

Il territorio comunale di Macerata non è quindi stato area epicentrale di eventi sismici di magnitudo maggiore o uguale a 5.5, che rappresenta una delle tre condizioni preliminari indicate dalle Linee Guida nazionali per procedere a studi di approfondimento su Faglie Attive e Capaci-FAC.

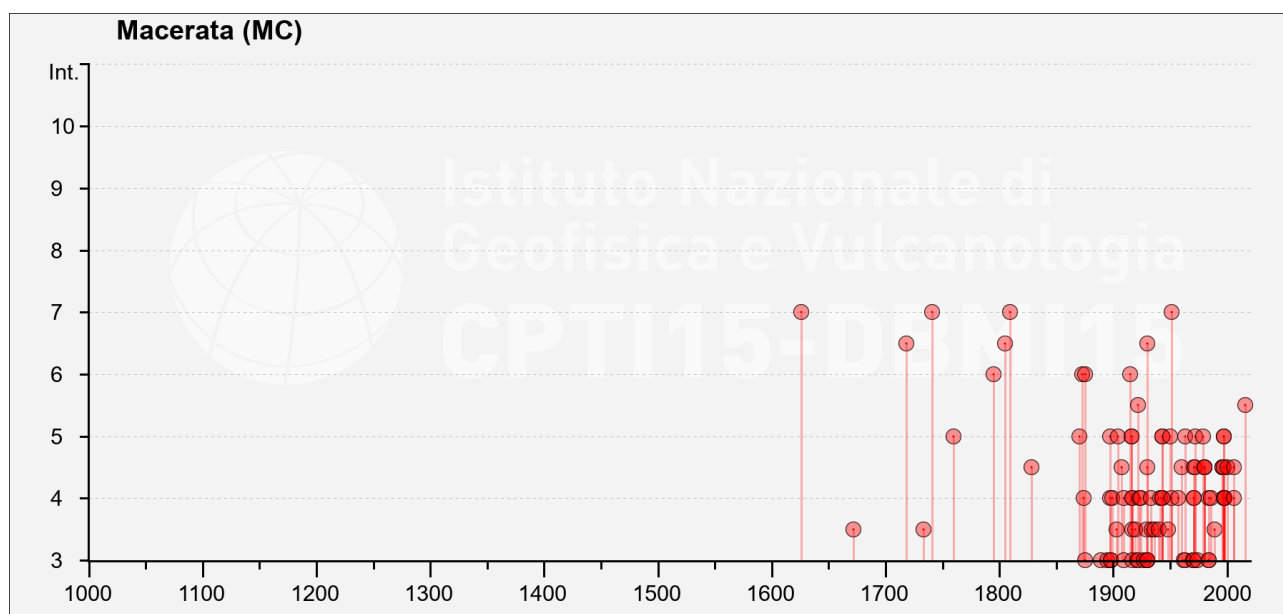


Fig. 3.2. Grafico della sismicità del Comune di Macerata, (Rovida et al., 2019, <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).



Seismic history of Macerata  
 PlaceID IT\_51792  
 Coordinates (lat, lon) 43.300, 13.453  
 Municipality (ISTAT 2011) Macerata  
 Province Macerata  
 Region Marche  
 No. of reported earthquake 123

Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1626 05 12	Macerata	1	7	5,1
3-4	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5,59
6-7	1718 08 18	Maceratese	4	5-6	4,4
3-4	1733 10 19 03 30	Anconetano	4	4-5	3,93
7	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6,17
5	1760 01 12	Valnerina	6	5-6	4,4
2	1785 05 03 02 30	Appennino umbro-marchigiano	11	7	5,1
6	1795 06 19 23 30	Maceratese	17	6	4,7
6-7	1805 05 09 01	Maceratese	3	5-6	4,4
7	1809 08 25 12 13	Macerata	2	6	4,63
4-5	1828 04 11 22 25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4,93
5	1870 02 08	Anconetano	10	7	5,15
6	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
4	1874 02 24 06 52	Aquilano	26	6-7	5,12
6	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
3	1875 12 06	Gargano	97	8	5,86
F	1887 05 26	Jesi	19	5	4,44
3	1889 12 08	Gargano	122	7	5,47
3	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5,11
5	1897 09 21	Marche settentrionali	44	7	5,4
4	1897 12 18 07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5,09
3	1898 06 27 23 38	Reatino	186	8	5,5
3	1898 08 25 16 37 46.00	Valnerina	67	7	5,03
4	1899 06 22 13 20	Corridonia	30	5	4,08
3-4	1903 11 02 21 52	Valnerina	33	6	4,81
5	1904 09 02 11 21	Maceratese	59	5-6	4,63
4-5	1907 01 23 00 25	Adriatico centrale	93	5	4,75
4	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
3	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5,34
F	1910 06 29 13 52	Valnerina	58	7	4,93
2-3	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
6	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7,08
5	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5,82
5	1916 11 16 06 35	Alto Reatino	40	8	5,5
4	1917 03 21 00 30	Monti Sibillini	21	5	4,44
4	1917 04 26 09 35 59.00	Alta Valtiberina	134	9-10	5,99
2	1917 05 12 15 34 36.00	Ternano	34	7-8	5,03
3	1917 07 08 02	Appennino laziale-abruzzese	44	5-6	4,68
3-4	1917 11 05 22 47	Costa anconetana	26	6	5,22
3-4	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
2	1920 02 10 23 57	Monti Sibillini	18	5	4,3
2	1920 06 08 16 13	Appennino forlivese	19	5-6	4,54
2	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
2	1921 04 05 17 40	Appennino umbro-marchigiano	10	5	4,23
3	1921 08 28 10 45	Monti Sibillini	12	7	4,66
5-6	1922 06 08 07 47	Valle del Chienti	47	6	4,73
3	1922 10 11 06 43 42.00	Costa anconetana	20	5	4,34
2	1922 12 29 12 22 06.00	Val Roveto	119	6-7	5,24
4	1923 07 12 20 49	Marche meridionali	20	5	4,28
4	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5,48
2	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5,72
3	1927 08 16 00 53	Valnerina	17	6	4,57
2	1927 10 11 14 45 08.00	Marsica	81	7	5,2
2	1928 05 30 20 01	Senigallia	17	5	5,02
3-4	1929 01 22 10 06 50.00	Marche Centrali	20	5-6	4,4
3	1930 04 07 17 17 18.00	Monti Sibillini	28	5-6	4,5
3	1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6,67
4-5	1930 08 04 15 02 23.00	Marche meridionali	24	5-6	4,44
6-7	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
3	1930 11 09 01 33	Monti Sibillini	17	5	4,31
4	1933 09 26 03 33 29.00	Maiella	325	9	5,9
3-4	1934 11 30 02 58 23.00	Adriatico settentrionale	51	5	5,3
2	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6,06
3-4	1936 12 09 07 34	Caldarola	31	6-7	4,76
2	1938 08 12 02 28 33.00	Appennino laziale-abruzzese	55	5-6	4,56
3-4	1940 10 16 13 17	Val di Paglia	106	7-8	5,29
4	1941 12 19	Monti Sibillini	30	7	5,02
4	1943 01 16	Monti Sibillini	22	6-7	5,04
4	1943 01 29	Monti Sibillini	50	6-7	4,94
5	1943 03 25	Marche meridionali	15	6	4,85
5	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5,67
3-4	1948 12 31 03 32	Monti Reatini	95	8	5,42
2-3	1950 09 03 12 41 20.00	Ascolano	5	5-6	4,4
5	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5,69
4	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5,25
7	1951 09 01	Monti Sibillini	80	7	5,25
4	1957 11 11 21 40	Costa anconetana	50	5	4,5
NF	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5,04
4-5	1960 02 24 01 51	Appennino umbro-marchigiano	25	5	4,32
F	1960 03 16 01 52 48.00	Monti della Lago	81	5	4,44
3	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4,35
NF	1962 10 05 23 00 43.00	Appennino maceratese	16	5-6	4,35
3	1963 01 25 05 27	Monti Sibillini	30	5	4,31
5	1963 07 21 11 09	Monti della Lago	11	7	4,71
F	1964 08 02 10 40	Valnerina	25	6	4,53
3	1970 09 07 14 02 21.00	Appennino umbro-marchigiano	56	5	4,35
4	1971 02 11 18 49 21.00	Valle del Chiascio	71	6	4,61
3	1971 02 12 04 54 56.00	Valle del Chiascio	47	7	4,89
4	1971 04 02 01 43 54.00	Valnerina	68	6	4,5
4-5	1971 10 04 16 43 32.60	Valnerina	43	5-6	4,51
4-5	1972 02 04 02 42 18.56	Costa anconetana	75		4,57
F	1972 06 14 18 55 52.54	Costa anconetana	17		4,68
2-3	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
5	1972 11 26 16 03	Marche meridionali	73	8	5,48
3	1974 12 02 01 55 15.00	Valnerina	27	7-8	4,58
5	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
4-5	1980 02 28 21 04 40.00	Valnerina	146	6	4,97
4-5	1980 05 24 20 16 04.00	Monti Sibillini	58	5-6	4,48
4-5	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6,81
NF	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5,62
3	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5,86
3	1984 05 11 10 41 49.27	Monti della Meta	342	7	5,47
4	1986 10 13 05 10 00.31	Monti Sibillini	322	5-6	4,46
3-4	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	60	5	4,04
4-5	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4,2
4-5	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3,96
5	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
4	1997 10 03 08 55 22.07	Appennino umbro-marchigiano	490		5,22
4-5	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,29
4	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino umbro-marchigiano	395		4,78
4-5	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4,4
NF	2003 05 25 17 15 13.95	Ascolano	88	4-5	3,81
NF	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4,09
2	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3,74
2-3	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4,14
4-5	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4,06
4	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21
5-6	2016 08 24 01 36 32.00	Monti della Lago	221	10	6,18
F	2017 01 18 10 14 09.90	Aquilano	280		5,7

Tab. 3.1. Sismicità del Comune di Macerata, (Rovida et al., 2019, <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

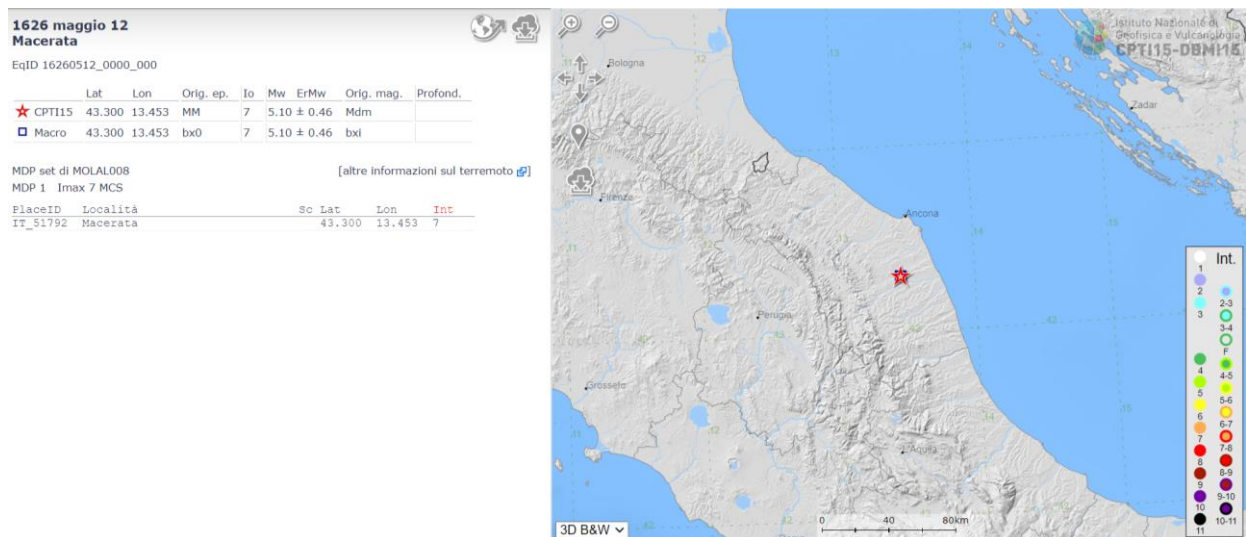


Fig. 3.3. Dati relativi al terremoto del 1626 con epicentro Macerata.

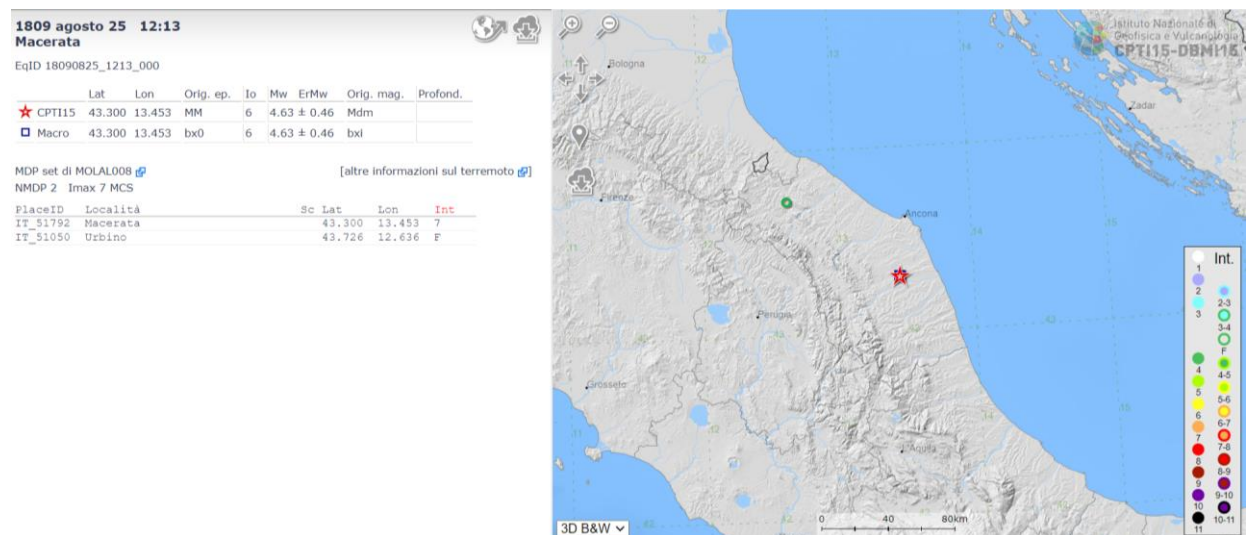


Fig. 3.4. Fig. 3.3. Dati relativi al terremoto del 1809 con epicentro Macerata.

### 3.2. Assetto geologico-strutturale

L'area ricadente nel Comune di Macerata è parte integrante sotto il profilo geologico-strutturale del settore esterno della catena centro-appenninica.

La successione sedimentaria affiorante è rappresentata dai termini miocenici e pliocenici della successione umbro-marchigiana (Centamore et al., 1971). I termini miocenici appartenenti alla Formazione della Laga così come quelli pliocenici della Formazione delle Argille Azzurre registrano sia gli effetti di una intensa attività tettonica sedimentaria che quelli relativa alla strutturazione neogenica della catena appenninica (Auctorum).

La cartografia ufficiale CARG, verificata e confermata dai rilievi effettuati nel presente studio, non indica la presenza di faglie attive e capaci associabili alla fase tettonica più recente (Fig. 3.5). Anche la letteratura scientifica disponibile non riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche, altra condizione preliminare indicata dalle Line Guida nazionali per procedere a studi di approfondimento su Faglie Attive e Capaci – FAC.



### 3.1. Conclusioni

Coerentemente con quanto stabilito dalle Linee Guida FAC, gli studi di approfondimento delle faglie attive e capaci vengono eseguiti se sono state verificate la sussistenza di almeno due delle condizioni preliminari:

1. l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con  $M_w > 5.5$  (cfr CPT11; un'indicazione di massima potrebbe anche venire dalla zona della classificazione sismica nella quale ricade l'area in studio);
2. la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
3. sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.

Sulla base di quanto verificato nei capitoli precedenti, per la FAC indicata negli studi di microzonazione sismica che interessa il Comune di Macerata (Fig. 3.1) non sussistono le prime due condizioni sopra indicate. La Traccia FAC e Zafac presente sulle mappe relative alla microzonazione sismica è stata giustificata da improbabili allineamenti e deviazioni delle aste fluviali del Fiume Chienti e Potenza e non sulla base di rilievi geologico-tecnici eseguiti sul campo. Conseguentemente, non sussiste neanche la terza condizione preliminare. Inoltre, anche le indagini di approfondimento eseguite nel presente studio, confermano l'assetto geologico-strutturale definito dalla cartografia CARG (Fig. 3.5) e permettono di escludere la presenza di una faglia anche nel substrato plio-pleistocenico e quindi, conseguentemente, anche della FAC.

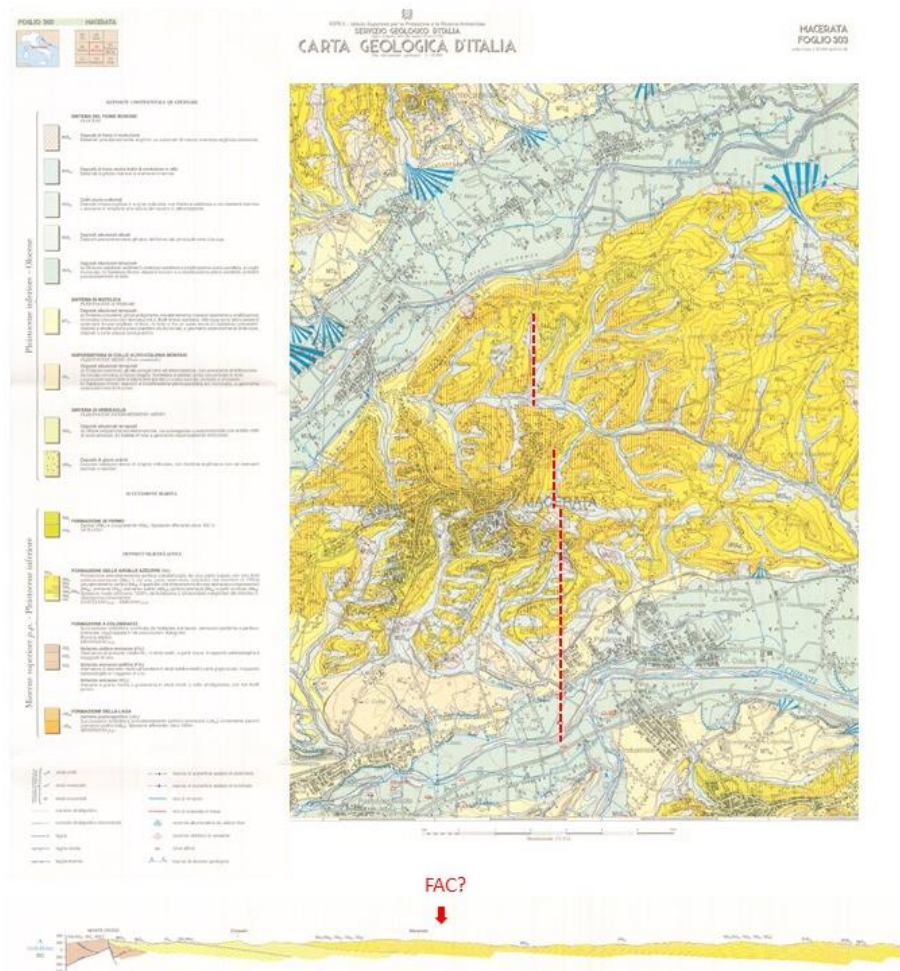


Fig. 3.5. Stralcio del Foglio 303 Macerata (CARG) e relativa sezione geologica. La faglia attiva e capace (FAC) ipotizzata dagli studi di microzonazione sismica è indicata in mappa e in sezione.

## 4. USSITA (Frontignano)

### 4.1. Introduzione

La zona in esame si trova lungo la zona assiale dell'Appennino centrale tra il dominio umbro-marchigiano e quello laziale-abruzzese. L'Appennino centrale rappresenta un segmento del sistema montuoso Africa-vergente costruito a seguito della convergenza e della collisione tra il margine continentale Sardo-Corso, di origine europea, ed il blocco Afro-Adriatico (Cello et al., 1997 e referenze citate; Doglioni et al., 2015 e referenze citate).

Il territorio comunale di Ussita si sviluppa lungo le zone assiali appenniniche ad alta pericolosità sismica, ricade all'interno dell'area epicentrale della sequenza sismica del 2016 (Chiaraluce et al., 2017; Galli et al., 2017; Tondi et al., 2020) ed è situata in corrispondenza della terminazione nord del sistema di faglie attive del Monte Vettore-Monte Bove (Tondi and Cello, 2003). Successivamente ai terremoti del 26 Ottobre e del 30 Ottobre di magnitudo  $M_w=5.9$  e  $M_w=6.5$ , rispettivamente (Rovida et al., 2019), nell'area sono stati rilevati diversi effetti cosismici di superficie (Civico et al., 2018; Villani et al., 2018), sia primari (fagliazione superficiale) che secondari (frane e crolli in roccia). Tali fenomeni, oltre ad avere un impatto sulle caratteristiche delle discontinuità presenti determinano una pericolosità per opere e infrastrutture.

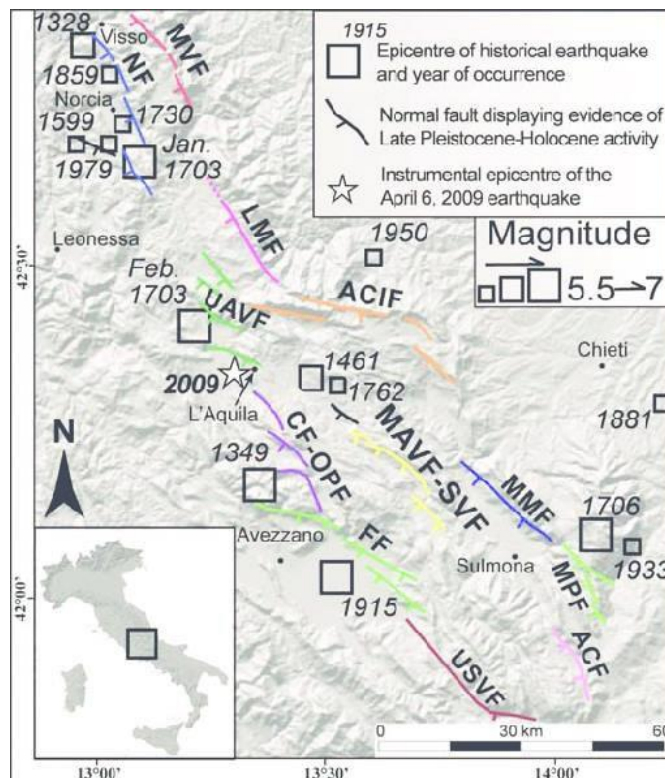


Fig. 4.1. Inquadramento sismotettonico dell'Appennino centrale dove sono rappresentate le faglie attive e gli epicentri dei terremoti storici principali.. Faglie: MVF, Mt. Vettore; NF, Norcia; LMF, Laga Mts.; UAVE, Upper Aterno Valley; ACIF, Campo Imperatore; CF-OPF, Campo Felice-Ovindoli- Pezza; MAVF-SVF, Middle Aterno Valley-Subequana Valley; MMF, Mt. Morrone; FF, Fucino; MPF, Maiella-Porrara; ACF, Aremogna- Cinquemiglia; USVF, Upper Sangro Valley (leggermente modificata da Gori et al., 2012).

La zona ad alta pericolosità sismica che interessa il Comune di Ussita si trova lungo una importante faglia nota in letteratura come "Faglia del Monte Vettore o Faglia/Sistema di Faglie del Monte



Vettore-Monte” (MVF in Fig. 4.2. Calamita e Pizzi, 1992, 1994; Cello et al., 1997; Tondi and Cello, 2003; Pierantoni et al., 2013; Galderisi and Galli, 2020).

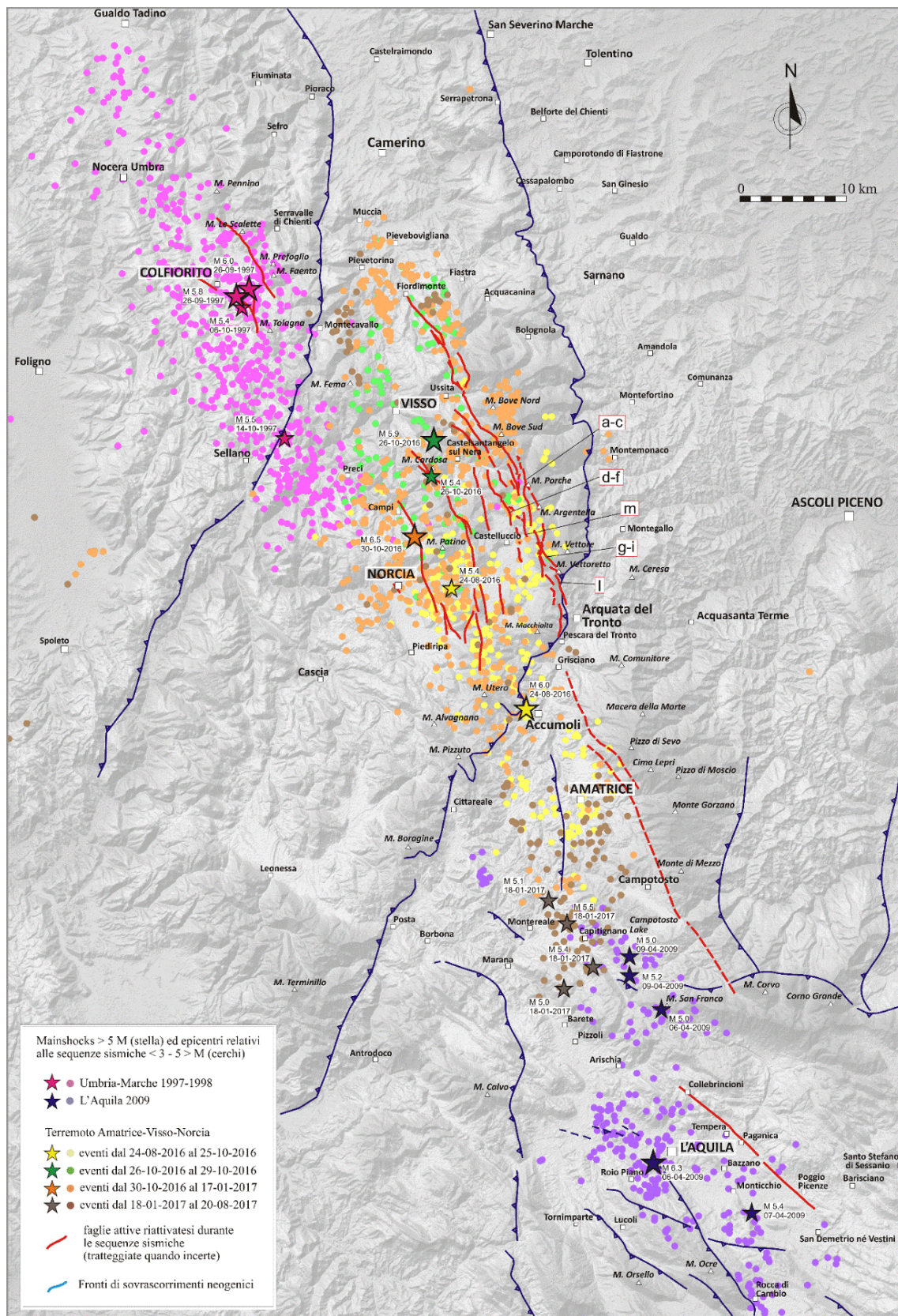


Fig. 4.2. Mappa degli epicentri (fonte [www.ingv.it](http://www.ingv.it)) e delle faglie attive relative alle sequenze sismiche che hanno colpito l'Italia centrale dal 1997 ad oggi (da Tondi et al., 2020).





Fig. 4.3. Esempi di fagliazione cosismica lungo il sistema di faglie Monte Vettore-Monte Bove (si veda ubicazione in Fig.1). Vista panoramica della fagliazione cosismica a Monte Porche (a) e relativi dettagli (b-c); vista panoramica della fagliazione cosismica lungo le faglie antitetiche a Pian Perduto (d) e relativi dettagli (e-f); vista panoramica della faglia del Cordone del Vettore (g-h) e relativi dettagli (i), dettaglio della fagliazione cosismica del segmento di faglia a Sud del Monte Vettore (l), fagliazione cosismica a Valle delle Fonti (m) (da Tondi et al., 2018).

I meccanismi focali sia degli eventi principali che delle repliche minori indicano chiaramente una predominante cinematica diretta e/o transtensiva delle faglie attivate (Fig. 4.4; [www.ingv.it](http://www.ingv.it)), compatibile con i dati geologici e strutturali disponibili in letteratura per le faglie attive in Appennino centrale (Galadini and Galli, 2000 e referenze citate).

La sequenza sismica dell'Italia centrale del 2016-2017 si inserisce nel gap sismico (Fig. x.6) che era presente tra la sequenza sismica dell'Umbria-Marche del 1997 (Tondi et al. Eds. 2009) e quella de L'Aquila del 2009 (Pantosti and Boncio, Eds. 2012) che, nel complesso, hanno interessato un'area di circa 100 chilometri lungo la zona assiale appenninica, tra l'Umbria, a nord, e l'Abruzzo, a sud.

Questi terremoti sono stati associati alle faglie attive presenti nell'area che, sulla base delle proprie dimensioni, erano state caratterizzate da un punto di vista del potenziale sismogenico (Barchi et al., 2000; Tondi, 2000; Tondi e Cello, 2003). Il potenziale sismogenico e quindi la magnitudo massima attesa di una faglia attiva è importante sia per stimare la pericolosità sismica di un'area (in termini di accelerazione massima al suolo) che per valutare le problematiche connesse con la fagliazione di superficie. Questo perché l'entità della fagliazione di superficie è proporzionale alle dimensioni della faglia e all'entità della sua rottura, parametri che a loro volta controllano il momento sismico e quindi la magnitudo di un terremoto (Tondi, 2000).

Per fagliazione di superficie si intende la dislocazione istantanea (cosismica) verticale e/o orizzontale dei terreni di fondazione lungo uno o più piani di taglio. Poiché la

velocità di propagazione della rottura lungo il piano di faglia è molto elevata, approssimandosi a quella delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei terreni attraversati, ogni manufatto ubicato attraverso il piano di faglia stesso è soggetto a taglio e/o a deformazione permanente; questo è particolarmente vero per faglie normali o trascorrenti come quella del caso in esame.

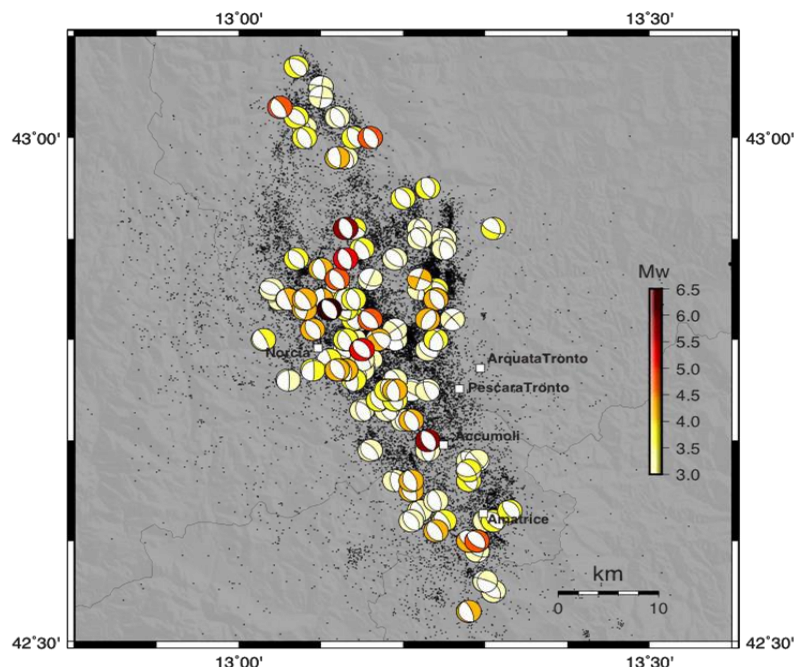


Fig. 4.4. Meccanismi focali relativi alla sequenza sismica in Italia Centrale dal 24 agosto 2016 al 22 Gennaio 2017, da [www.ingv.it](http://www.ingv.it).

Nella normativa vigente, le faglie in grado di generare un terremoto e, contestualmente, di determinare la rottura della superficie topografica prendono il nome di Faglie Attive e Capaci (FAC).

Le attività previste dallo studio in oggetto hanno seguito una sequenza temporale così come indicato nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)”. Con l’obiettivo di fornire il quadro più dettagliato e certo dell’assetto geologico, strutturale e geometrico delle FAC presenti nel Comune di Ussita e in particolare nel territorio di Frontignano, sono stati effettuati:

- un’analisi critica dei dati esistenti. In particolare, riferita ai rilievi geologici e geomorfologici disponibili, sia d’autore che ufficiali come il CARG e pubblicazioni scientifiche e rapporti tecnici inerenti l’evoluzione tettonica recente e la caratterizzazione delle faglie attive affioranti, nonché i sondaggi geognostici e geofisici eseguiti per la microzonazione sismica del Comune di Ussita (Fig. 4.5 e Fig. 4.6). È stata anche eseguita una rielaborazione e interpretazione dei dati di fagliazione superficiale rilevati a seguito degli eventi sismici del 2016.
- Un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio (scala 1:5.000) per l’area di interesse, con l’obiettivo di definire la successione stratigrafica affiorante, l’assetto strutturale e la geometria e cinematica delle faglie presenti.
- Un rilevamento geomorfologico di dettaglio (scala 1:5.000) per l’area di interesse, con particolare attenzione alle anomalie nelle forme del paesaggio, individuazione e caratterizzazione dei movimenti gravitativi, diversione di corsi d’acqua o di altri elementi lineari, scarpate di faglia.



Le indagini del gruppo Ind\_1 e 2 hanno permesso di individuare e caratterizzare l'andamento in superficie dei segmenti di faglia attivi e capaci che interessano l'area di studio. Tali segmenti di faglia appartengono alla terminazione settentrionale della Faglia del Monte Vettore, già nota in letteratura come attiva e capace (FAC).

- Indagini geofisiche ERT e sismica a rifrazione.

Il livello di approfondimento delle indagini svolte, che sono consistite in tutte quelle previste da Ind. 1, Ind. 2 e Ind. 3, è stato integrato e i dati confrontati con i fenomeni di fagliazione superficiale individuati a seguito degli eventi simici del 2016 (Civico et al., 2018).

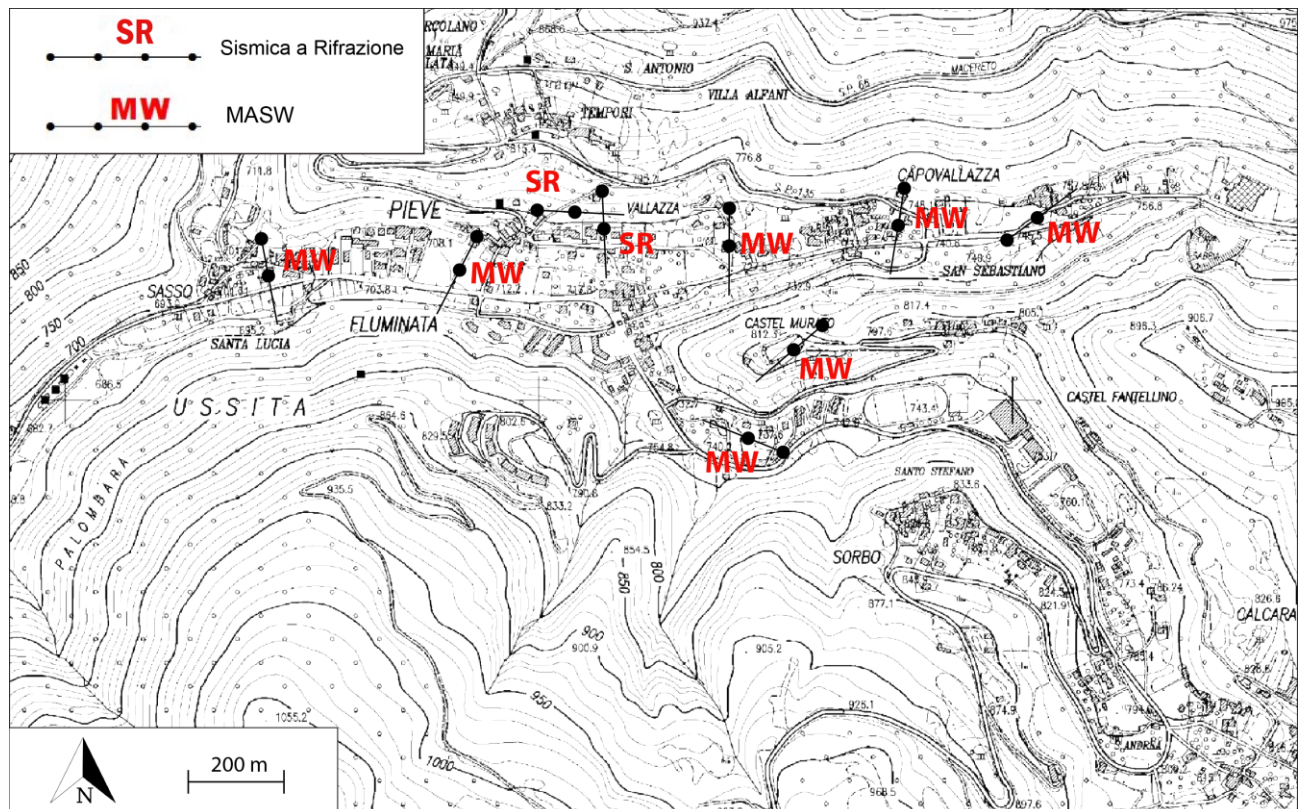


Fig. 4. 5. Indagini geofisiche lineari eseguite negli studi di microzonazione sismica nel centro abitato di Ussita.

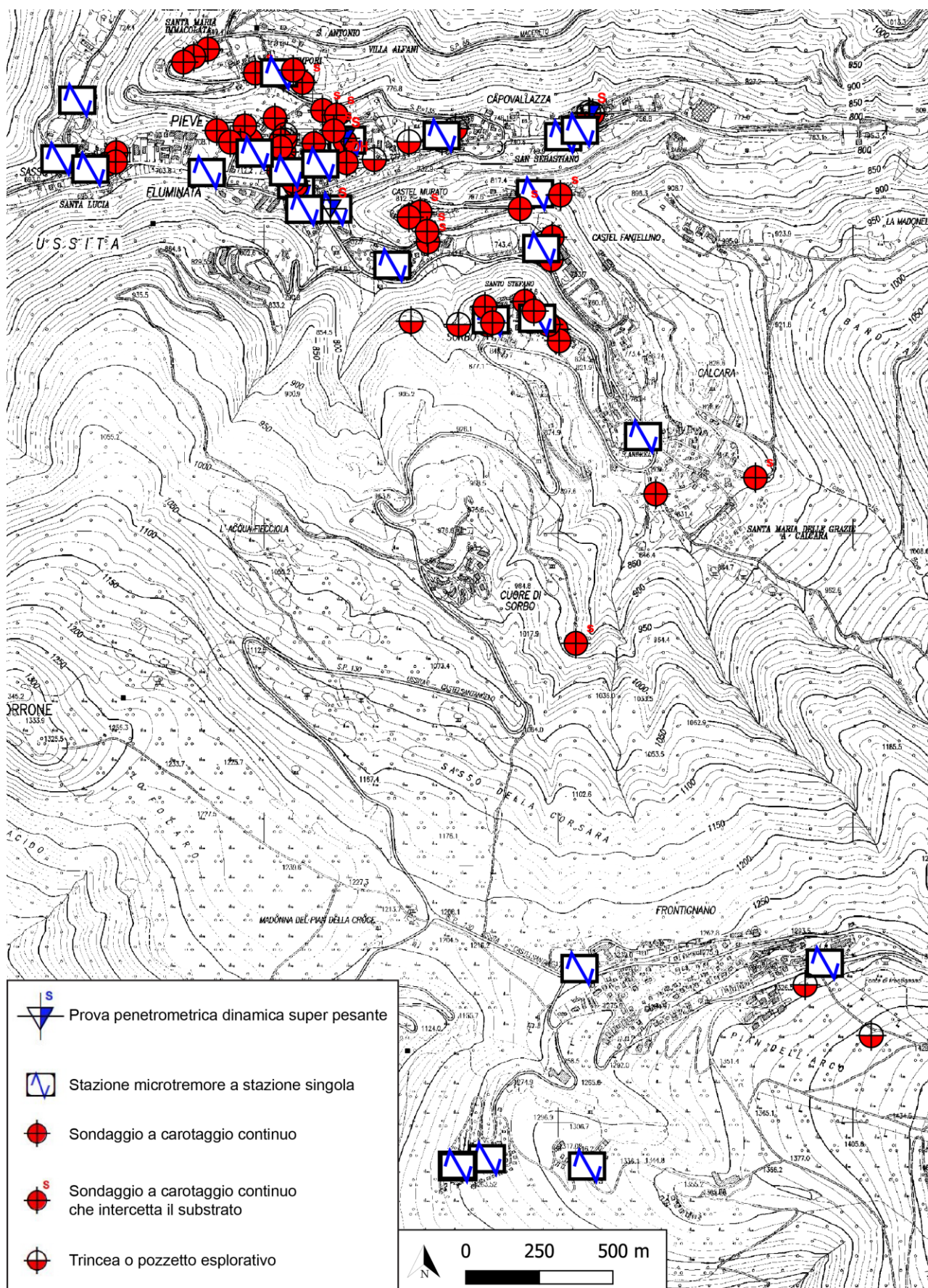


Fig. 4.6. Indagini geognostiche e geofisiche puntuali eseguite negli studi di microzonazione sismica nel territorio comunale di Ussita.



#### 4.2. Effetti cosismici di superficie a seguito degli eventi sismici del 2016

Subito dopo gli eventi principali del 2016 sono stati condotti dei rilievi lungo la Faglia del Monte Vettore, condotti da un gran numero di ricercatori nazionali e internazionali coordinati da INGV (OpenEmergeo working Group), che hanno portato alla pubblicazione di una mappa e un database di dettaglio (Civico et al., 2018 e Villani et al., 2019).

Nell'ambito dei lavori, il gruppo dell'Università di Camerino, coordinato dal prof. Emanuele Tondi, si è occupato dei rilievi lungo la terminazione settentrionale della Faglia del Monte Vettore, tra Frontignano di Ussita e Cupi di Visso (Fig. 4.7).

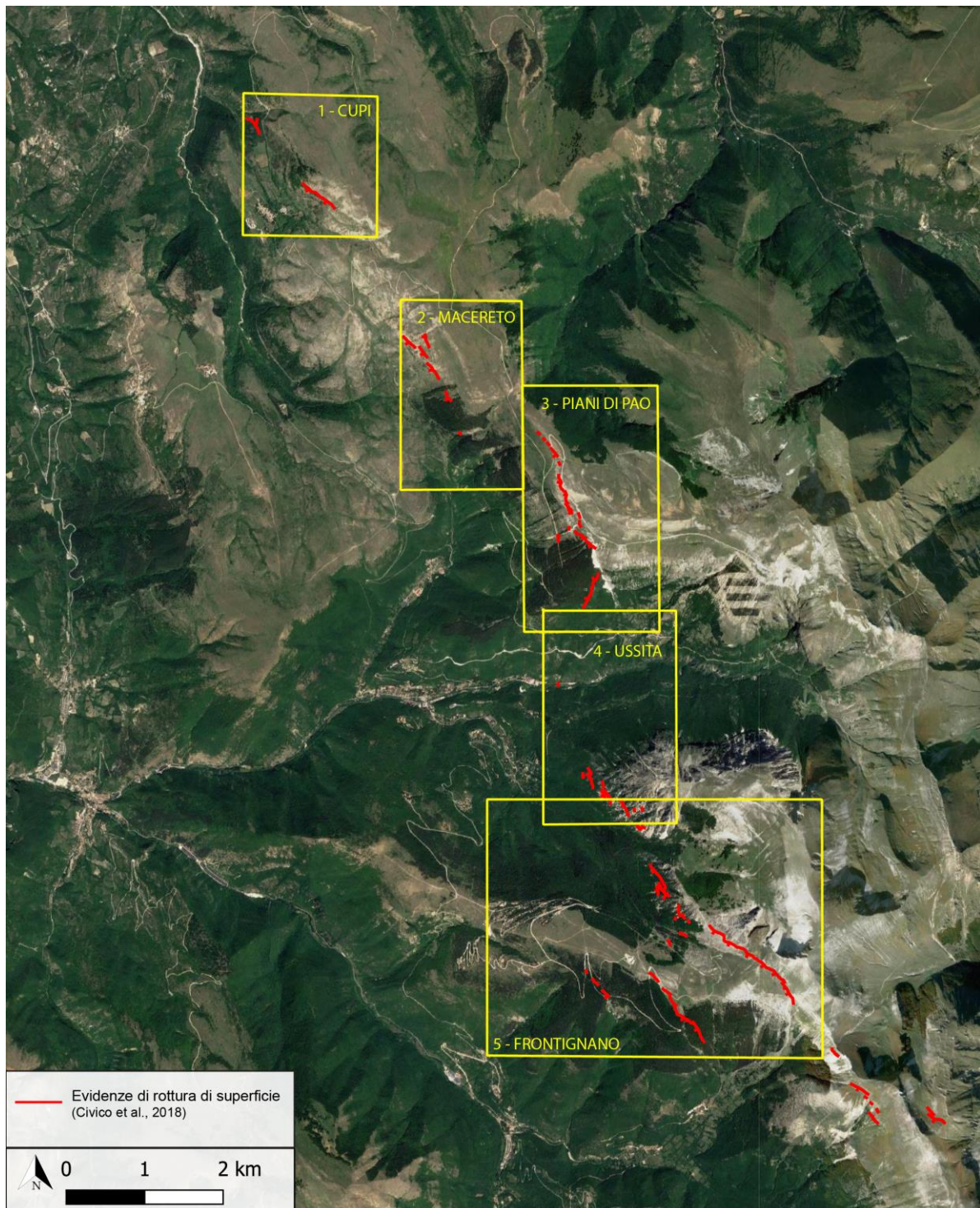


Fig. 4.7. Effetti cosismici rilevati a seguito degli eventi sismici del 2016 (Civico et al., 2016).



In Fig. 4.7 sono riportati gli effetti di superfici relativi a fratture e fagliazione superficiale nel settore sopra indicato e l'area è stata suddivisa in cinque zone in cui sono presenti indizi che suggeriscono la presenza di Faglie Attive e Capaci – FAC.

In particolare, la fagliazione superficiale ad Ussita (4-Ussita in Fig. 4.7) è stata rilevata lungo la strada comunale tra lo stabilimento di Acqua Roana e l'Isola Ecologica, la dislocazione della strada mostrava un rigetto cumulativo lungo tre distinte fratture di circa 15 cm (Fig. 4.8). Questo fenomeno è localizzato alla base della scarpata di faglia preesistente e visibile lungo il bordo della strada a nord. Sulla base sia della posizione che della giacitura, la faglia sembra proseguire in direzione NO e collegarsi con un secondo sito localizzato ai Piani di Pao (3-Piani di Pao in Fig. 4.7). Qui, lungo il bordo NE del piccolo bacino intramontano, si segue ancora per circa 200 metri una frattura con rigetto verticale di circa 20 cm (Fig. 4.9).

Un terzo sito dove è stata rilevata la fagliazione superficiale a seguito degli eventi sismici del 2016 si trova alla base di una scarpata di faglia tra il santuario di Macereto e Vallestretta (Fig. 4.10; 2-Macereto in Fig. 7). Altri fenomeni di fagliazione superficiale associata a FAC sono stati rilevati a Cupi, più a nord (1-Cupi in Fig. 4.7) e a Monte Cornaccione, Monte Bicco e Monte Bove, a sud (Fig. 4.11, Frontignano in Fig. 4.7).

L'integrazione delle indagini Ind.1 e Ind. 2 con i fenomeni di fagliazione superficiale rilevati a seguito degli eventi sismici del 2016 ha permesso di procedere alla individuazione dei siti in cui svolgere gli approfondimenti previsti nel gruppo Ind. 3.

Con l'obiettivo di raccogliere altri elementi informativi specifici attraverso i segmenti di faglia suddetti, sono state eseguite le seguenti indagini del gruppo Ind. 3, come previsto nello studio di livello MS3 (Gruppo di lavoro MS, 2008):

- studi geofisici, in particolare prospezioni elettriche (Electrical Resistivity Tomography-ERT) e di sismica a rifrazione.

Tali studi di approfondimento hanno permesso di definire una proposta e una rivisitazione delle microzone omogenee per le FAC in esame.

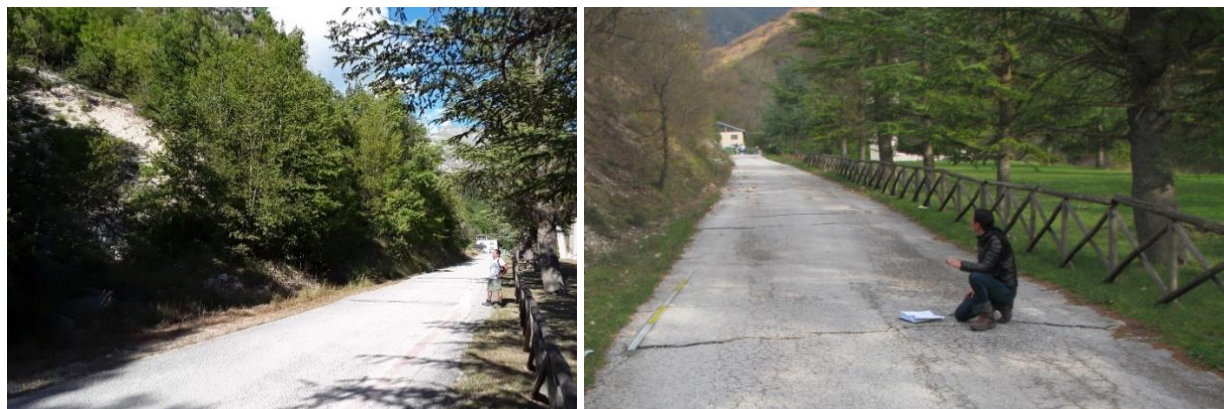


Fig. 4.8. Fagliazione superficiale nel comune di Ussita, tra lo stabilimento di Acqua Roana e l'isola ecologica. Il rigetto cumulativo lungo tre fratture è di circa 15 cm (4-Ussita in Fig. 4.5).





Fig. 4.9. Fagliazione superficiale di circa 20 cm lungo il bordo NE dei Piani di Pao (3-Piani di Pao in Fig. 4.5).



Fig. 4.10. Fagliazione superficiale con rigetto di 3-4 cm alla base di una scarpata di faglia preesistente (2-Macereto in Fig. 4.5).



Fig. 4.11. Fratture e fenomeni di fagliazione superficiale lungo il versante ovest di Monte Cornaccione (5-Frontignano in Fig. 4.5).

### 4.3. Indagini geologico-strutturali e geomorfologiche

Le indagini geologico-strutturali e geomorfologiche sono consistite in rilievi di dettaglio sul campo e da foto area nelle aree 3-Piani di Pao; 4-Ussita e 5-Frontignano indicate in Fig. 4.12, in corrispondenza delle faglie attive e capaci presenti.

I risultati dei rilievi condotti in queste zone hanno permesso la stesura delle carte geologiche e geomorfologiche di dettaglio mostrate in Fig. 4.15, 4.16, 4.18, 4.19, 4.23, 4.24.

Le formazioni affioranti nell'aree suddette sono quelle tipiche della regione umbro-marchigiana. Queste costituiscono una successione stratigrafica, spesso alcune migliaia di metri e di età compresa tra il Giurassico inferiore ed il Miocene superiore nota come Successione Umbro-Marchigiana. In particolare, nelle aree oggetto di studio affiorano diffusamente i termini del Cretaceo inferiore p.p. – Oligocene, rappresentati dalle seguenti formazioni:

*Maiolica (MAI)* - Con questa formazione si chiude la sedimentazione prevalentemente carbonatico-silicea del Giurassico umbro-marchigiano. I caratteri litologici d'insieme sono lateralmente uniformi, fatta eccezione della porzione basale dove si hanno alcune differenze tra la Maiolica depostasi al di sopra del Gruppo del Bugarone e quella depostasi al di sopra delle successioni giurassiche complete. Anche lo spessore varia dai 150 m nella prima situazione ai 400 m nella seconda. Con la deposizione della presente unità, quindi, si attenuano fino a scomparire le difformità del fondo marino del Giurassico. Essa è costituita quasi esclusivamente da micriti biancastre, in strati medi, con selce nera e con sottili intercalazioni di peliti nerastre, che aumentano di spessore e frequenza verso la parte sommitale della formazione. L'età della Maiolica si estende dal Titoniano sup. all'Aptiano inf. p.p.

*Marne a Furoidi (FUC)* - Le Marne a Furoidi sono costituite essenzialmente da marne, marne argillose e calcari marnosi. La porzione inferiore è data da marne e marne argillose policrome e da sottili intercalazioni calcareo marnose verdoline e beige. Sporadicamente si rinvengono liste e noduli di selce verdastra. La porzione superiore è caratterizzata da calcari marnosi e marne calcaree in strati medi, biancastri (talora verdolini e rosei), con sottili intercalazioni di marne argillose grigio-verdi e con selce verdastra in strati, liste e noduli. Sono frequenti i livelli di black-shales di cui quello basale (livello Selli Auct.), dello spessore di circa 2 metri, rappresenta un marker regionale. Sono presenti intercalazioni calcarenitiche o calciruditiche. Nella parte inferiore dell'unità il contenuto paleontologico è costituito da piccoli foraminiferi planctonici, per lo più scarsi e a distribuzione discontinua, e da radiolari particolarmente frequenti. Lo spessore è variabile tra i 50 e 80 m. L'età si estende dall'Aptiano p.p. all'Albiano p.p.

*Scaglia bianca (SBI)* - La Scaglia bianca, il cui spessore si aggira in media sui 60-70 m, è costituita da: a) calcari e calcari marnosi biancastri, a frattura scagliosa, in strati medi, con sottili livelli bituminosi, e da strati di selce rosata, nella parte inferiore; b) calcari e calcari marnosi bianchi con selce nerastra, zonata, nella parte superiore. In prossimità del passaggio con la Scaglia rossa, è presente lo strato-guida Bonarelli Auct. (argilliti e siltiti nere e giallastre) dello spessore variabile da pochi decimetri a un metro; al di sotto di questo livello si rinviene sempre uno strato (di 10-15 cm di spessore) di selce nera. Localmente sono presenti intercalazioni di livelli calcarenitici. L'associazione a foraminiferi planctonici è abbastanza ricca e diversificata ad eccezione di quella della parte sommitale dell'unità, in corrispondenza del «livello Bonarelli», dove i foraminiferi sono scarsi o assenti. I radiolari al contrario sono particolarmente frequenti in corrispondenza del livello anossico, dove si rinvengono anche resti di pesci. Età: Albiano superiore p.p. -Turoniano inferiore p.p.

*Scaglia rossa (SAA)* - Questa unità è stata suddivisa in tre membri. Il membro inferiore (SAA1) è costituito da calcari marnosi rosati, talora con bande policrome e da selce rossa in liste e noduli. Il membro intermedio (SAA2) è caratterizzato da calcari rossi e rosso mattone senza selce, talora con



toni biancastri diffusi e passanti lateralmente alle litofacies rossastre; all'interno di tale membro si hanno livelli marnosi e marnoso calcarei, dello spessore di 5-10 metri (concentrati soprattutto nella parte alta. Il membro superiore (SAA3), infine, è dato da calcari e calcari marnosi rossastri con selce rossa in liste e noduli ed ha talora uno spessore ridotto, fino a pochi metri. All'interno del membro intermedio e al tetto del membro superiore si osservano spesso importanti slumps e olistostromi. Un elemento caratteristico della Scaglia rossa è la presenza e la distribuzione di sedimenti calcareo clastici, essenzialmente calcareniti, ma anche calciruditi e calcisiltiti. Essi sono particolarmente abbondanti nell'area dei M. Sibillini e diminuiscono via via verso nord fino ad annullarsi nelle aree settentrionali. Per quanto riguarda la distribuzione verticale dei sedimenti calcareo-clastici all'interno dell'unità in esame, si nota che essi compaiono nel membro inferiore e continuano nel membro intermedio. Al passaggio con il membro superiore la quantità diminuisce e le calcareniti presenti sono ricche di Nummuliti (area Macereto). Il materiale risedimentato proviene in gran parte dai sedimenti coevi o poco più antichi tipici delle facies di piattaforma carbonatica, ma anche dai coevi sedimenti del bacino umbro-marchigiano. Gli spessori sono variabili: il membro inferiore mostra spessori compresi tra 80 e 120 metri; quello intermedio di 150-200 metri; il membro superiore infine ha spessori minori compresi tra 30 e 80 metri. L'associazione a foraminiferi planctonici presente nell'unità può essere suddivisa in due distinti intervalli separati da un netto ricambio microfaunistico. Questo si verifica all'interno del secondo membro della Scaglia rossa e corrisponde al passaggio Cretacico-Paleogene (limite K-T). Età: Turoniano inferiore p.p.-Luteziano p.p.

*Scaglia variegata (VAS)* - La Scaglia variegata in generale è costituita da calcari, calcari marnosi e marne calcaree in strati sottili e medi, di colore variabile da rosa a verdino (Fig. 4.13-a). Al passaggio con la Scaglia rossa possono aversi noduli di selce rossa, mentre al passaggio con la Scaglia cinerea può essere presente la selce nera. A luoghi la Scaglia variegata è rappresentata da marne calcaree grigie, omogenee, fortemente bioturbate, con tracce fossili molto evidenti e abbondanti resti di Zoophycos; la facies risulta, allora, simile alla sovrastante Scaglia cinerea, dalla quale è difficilmente distinguibile. L'associazione a foraminiferi planctonici è abbastanza ricca. Età: Luteziano p.p.-Bartoniano p.p.

*Scaglia cinerea (SCC)* - La sedimentazione cretacico-paleogenica termina con la Scaglia cinerea. Questa unità è costituita da marne calcaree, marne e marne argillose (subordinatamente da calcari marnosi) in strati di 5-20 cm di spessore, con prevalenza di litofacies più calcaree nella porzione inferiore, al passaggio con la sottostante Scaglia variegata, e litofacies via via più marnose ed argillose in quella superiore; il colore d'insieme è grigio-verde, anche se, soprattutto nella parte inferiore, sono presenti bande rossastre (Fig. 4.14). Talora, nei litotipi più calcarei, è presente la selce nera in liste o piccoli noduli. All'interno dell'unità sono presenti intercalazioni calcarenitiche di spessori variabili da pochi centimetri al metro, ricche di Nummuliti nelle aree meridionali (ad es. M. Banditella) dove dette intercalazioni sono più abbondanti (Fig. 4.15). Lo spessore, quindi, è variabile tra i 150 e i 200 m. L'associazione a foraminiferi planctonici può essere suddivisa in due distinti intervalli tra i quali cade il limite Eocene-Oligocene. Età: Bartoniano p.p. -Aquitano p.p.

Nell'area di studio affiorano estesi depositi continentali, rappresentati soprattutto da materiali alluvionali, ma anche da diverse generazioni di detriti di versante (che con i primi talora si interdigitano) attribuibili alle fasi climatiche fredde del passato.

L'area di studio, sotto l'aspetto fisiografico è prevalentemente caratterizzata da l'unità dei massicci e delle dorsali montuose dell'Appennino Marchigiano e Umbro-Marchigiano. In particolare si tratta di dorsali montuose calcaree e calcareo-marnose con quote che variano tra i 750 m. s.l.m. circa fino alla vetta più alta rappresentata dai 2.476 m. s.l.m. del Monte Vettore e contraddistinte da medio-elevati valori dell'energia di rilievo (che può superare i 1.000 m.) e delle acclività. Verso il piede passano a zone di raccordo alle adiacenti fasce pedemontane (che raramente superano gli 800 m.),

caratterizzate da medi valori dell'energia di rilievo e dell'acclività. In subordine si riconosce anche l'unità dei bacini minori caratterizzate da colline con quote medio-basse e versanti blandi e poco acclivi. L'area di studio risulta caratterizzata da una morfologia alquanto articolata, sia per la storia tettonica che, e soprattutto, del sollevamento generalizzato quaternario che ha interessato la regione in concomitanza con le variazioni climatiche quaternarie: ne è derivata una morfologia fortemente condizionata dalle caratteristiche lito-stratigrafiche e tettoniche delle formazioni affioranti, sulle quali i vari agenti morfodinamici hanno espletato la loro azione. Gli elementi geomorfologici e fisiografici che caratterizzano tale area sono quelli tipici dell'ormai nota evoluzione quaternaria dell'appennino centrale.

In virtù delle differenti formazioni affioranti, la morfologia risulta essere più dolce e blanda in corrispondenza delle litologie più pelitiche (Marne a Furoidi, Scaglia cinerea; Schlier, parte marnosa della Formazione della Laga) ed invece si presenta molto più aspra ed acclive in corrispondenza delle litologie più calcaree. I depositi continentali, piuttosto estesi, sono rappresentati da alluvioni prevalentemente ghiaiose, da potenti coltri eluvio-colluviali e da coperture detritiche più o meno grossolane in virtù del grado di stratificazione e fratturazione delle formazioni prevalentemente calcaree. Numerose sono anche le zone instabili rappresentate da frane di scorrimento e crolli, anche di notevole estensione e che in alcuni casi coinvolgono anche il substrato calcareo.

Per quanto riguarda l'idrografia, l'area è caratterizzata da una fitta rete di canali di drenaggio molti dei quali vistosamente condizionati dalla litologia e dall'assetto strutturale. I corsi d'acqua sono costituiti da un canale di magra unico, largo pochi metri, che mostra generalmente un andamento sinuoso e solo localmente, dove il gradiente è meno elevato, forma piccoli meandri. Sul fondo canale, che scorre per la maggior parte del tratto sul substrato roccioso, si osservano sedimenti prevalentemente ciottolosi e localmente, dove la larghezza del fiume è tale da consentire una maggior divagazione del fiume, sono presenti piccole barre laterali ghiaioso-ciottolose. Molto numerose risultano le sorgenti e punti d'acqua che rendono tale area una zona molto interessante dal punto di vista idrogeologico.

L'antropizzazione dell'area è quella tipica delle zone alto-collinari, con paesi e borghi situati sui rilievi più elevati e zone di nuova espansione soprattutto nelle poco aree pianeggianti alluvionali.

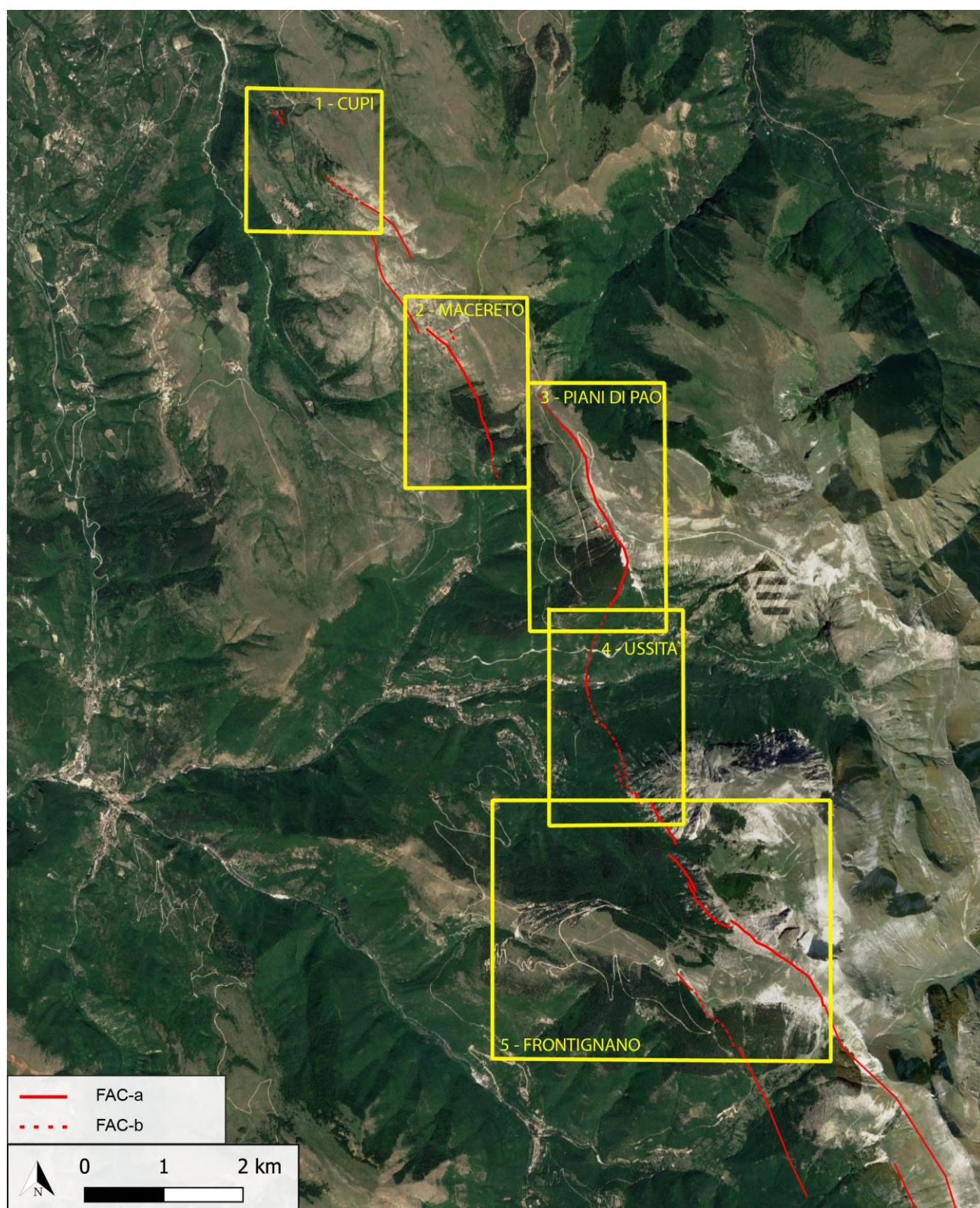


Fig. 4.12. Faglie attive e capaci rilevate nell'area in studio.



### 3 – PIANI DI PAO

I Piani di Pao rappresentano un piccolo bacino intramontano in cui affiorano i termini cretacei della Successione sedimentaria umbro-marchigiana ed è bordato a nord-est da una faglia normale orientata nord-ovest/sud-est (Fig. 4.13, 4.14 e 4.15).

L'analisi strutturale condotta al letto della faglia nella Formazione della Scaglia Rossa (membro inferiore) ha permesso di rilevare diversi piani di taglio sub-paralleli alla faglia principale (Fig. 4.13). Questa, a seguito degli eventi sismici del 2016 ha mostrato una riattivazione che si segue ancora per circa 200 metri lungo il bordo orientale del bacino con un rigetto di circa 20 cm. Il rigetto "geologico" della faglia è di piccola entità e non è ancora stato possibile definirlo con precisione. Sulla base delle evidenze geomorfologiche e a seguito della riattivazione nel 2016 la faglia in parola può essere considerata attiva e capace.

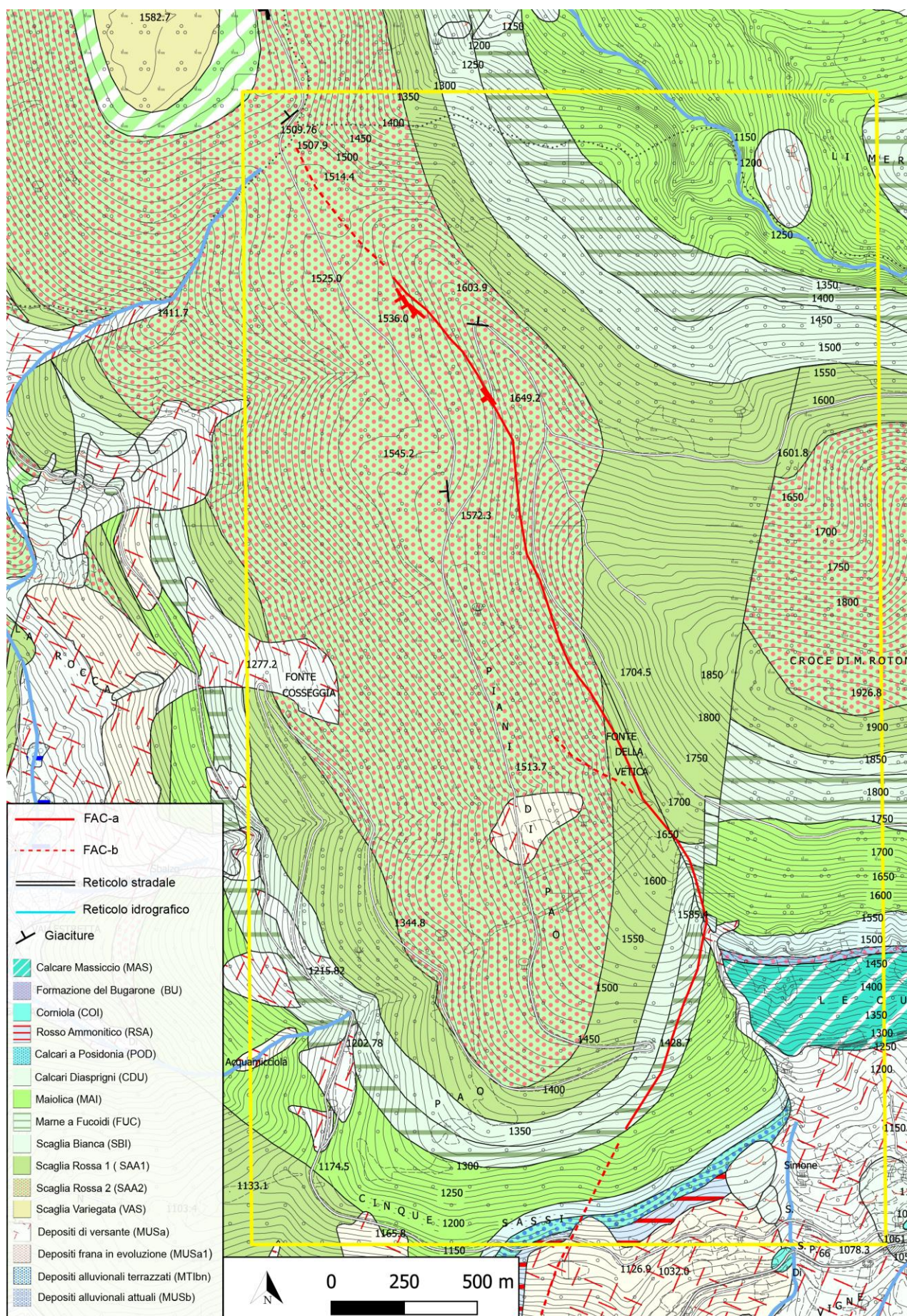


Fig. 4.13. Panoramica dei Piani di Pao nelle foto in alto e affioramenti di Scaglia Rossa, membro inferiore, in basso.



Fig. 4.14. Faglia in bedrock a destra e fagliazione superficiale a seguito degli eventi sismici del 2016 a sinistra.







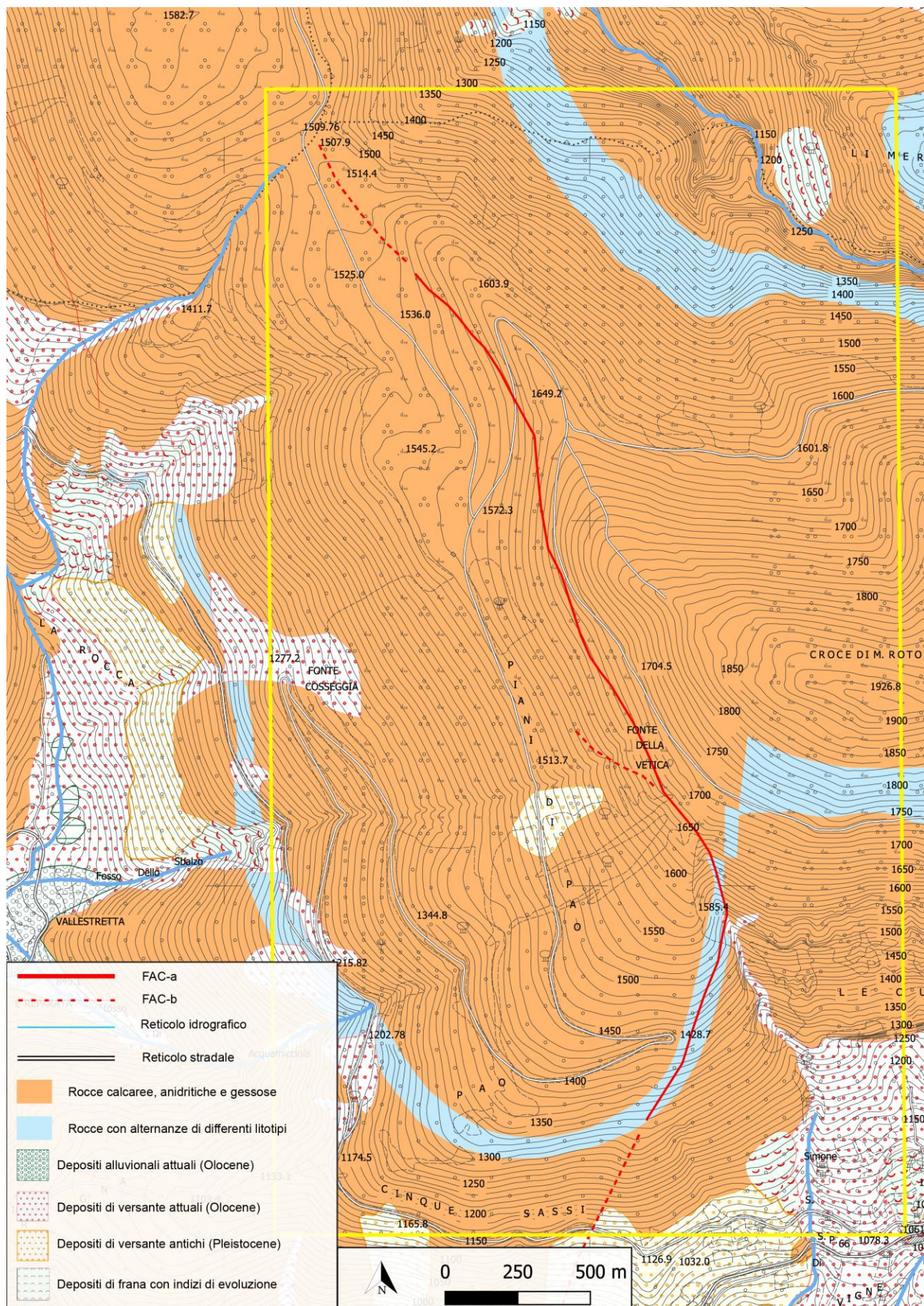


Fig. 4.16. Carta geomorfologica di dettaglio dei Piani di Pao (3-Piani di Pao in Fig. 4.12).



#### 4 – USSITA

Il territorio comunale di Ussita è interessato da una faglia già nota in letteratura come attiva e capace che corre alla Base del Monte Bove Nord (Fig. 4.17, 4.18, 4.19).

In particolare, lungo la strada comunale che da Acqua Roana va verso il centro di raccolta rifiuti sono stati osservati dei fenomeni di fagliazione superficiale a seguito degli eventi sismici del 2016. Questi, ancora riconoscibili, sono rappresentati da tre fratture che nel complesso mostrano un rigetto verticale di circa 15 cm (Fig. 4.17). Immediatamente a nord, lungo il versante della valle è riconoscibile una faglia nelle unità calcaree.

Sulla base della posizione e della giacitura, la faglia in parola sembra collegarsi con quella rilevata ai Piani di Pao, a nord e con quella del Monte Bove, a sud. Anche qui, il rigetto “geologico” è ancora in fase di definizione.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra, è possibile interpretare tale struttura come una faglia attiva e capace.

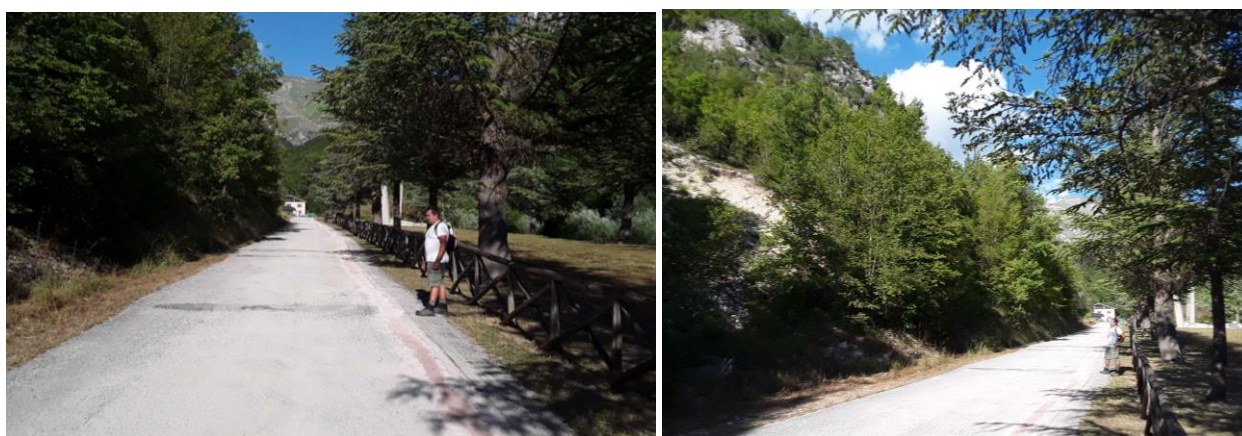


Fig. 4.17. Fenomeni di fagliazione superficiale a seguito degli eventi sismici del 2016 ancora riconoscibili ad Ussita.



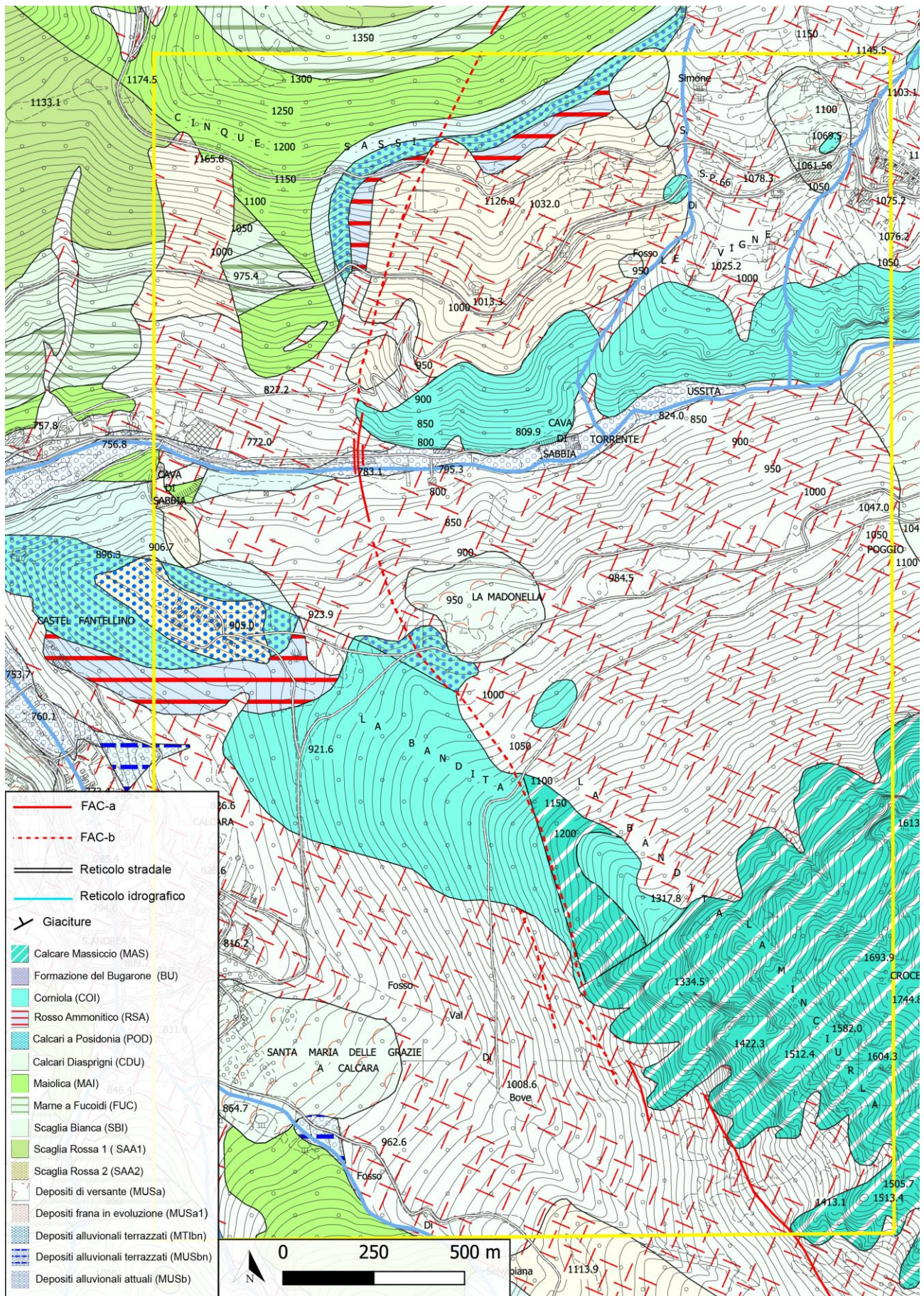


Fig. 4.18. Carta geologica di dettaglio di Ussita (4-Ussita in Fig. 4.12).



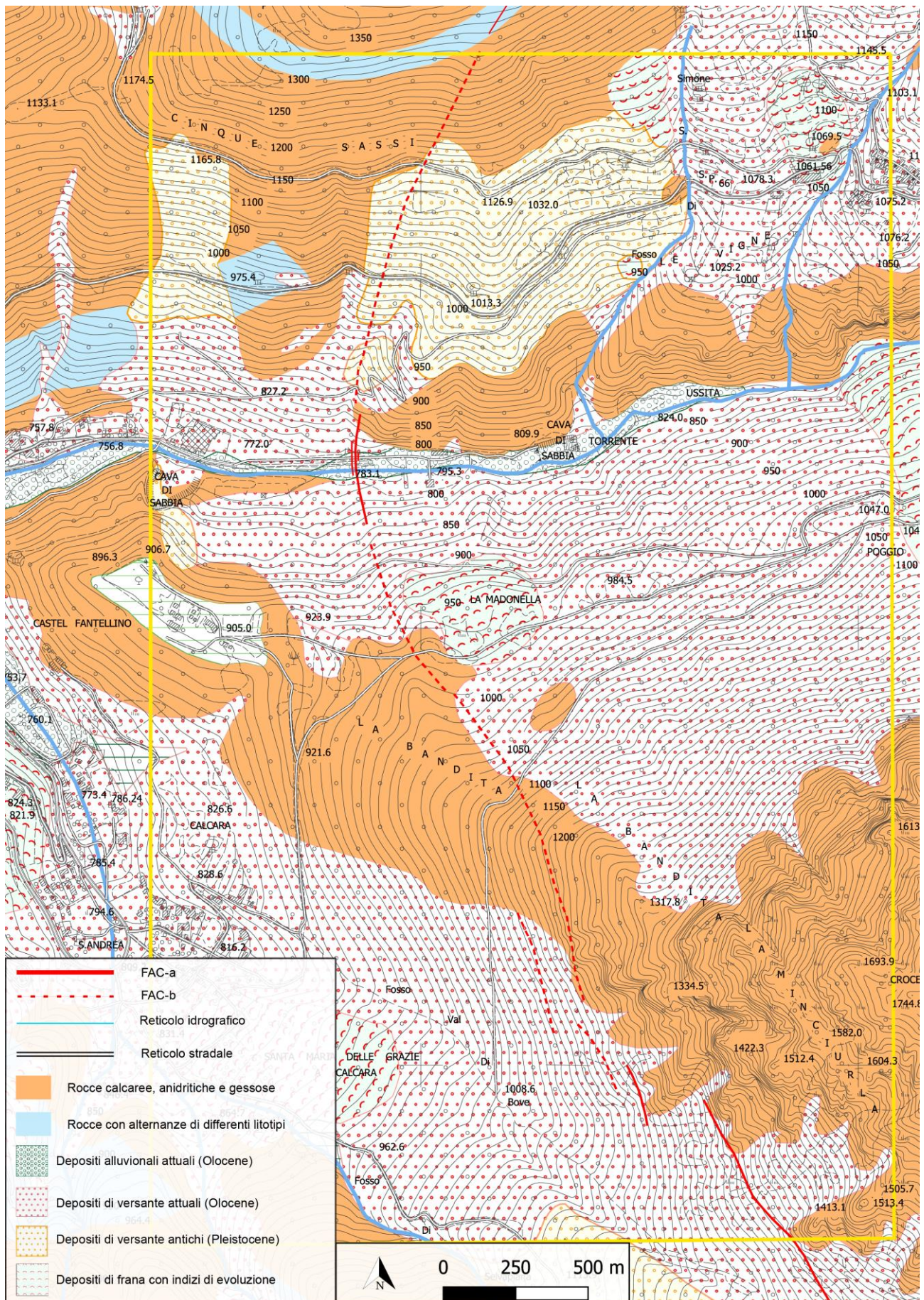


Fig. 4.19. Carta geomorfologica di Ussita (4-Ussita in Fig. 4.12).



## 5 – FRONTIGNANO

Nella zona di Frontignano è stata segnalata la possibilità che una faglia attiva e capace attraversi il centro abitato. La segnalazione deriva dal fatto che lungo la strada che da Frontignano arriva agli impianti sciistici del Monte Cornaccione erano stati rilevati fenomeni superficiali a seguito degli eventi sismici del 2016 (si veda Fig. 4.7). Questi ben si allineano con una faglia “geologica” presente nei rilevamenti CARG e di autore che attraversa, appunto, l’abitato di Frontignano. Per questo motivo, in questa zona sono state concentrate le analisi relative al rilevamento geologico-strutturale e geomorfologico.

In una prima fase dello studio, sono stati verificati e controllati i fenomeni di fagliazione superficiali segnalati. Questi sono tutt’ora visibili alla terminazione della strada verso il Monte Cornaccione, in prossimità dell’impianto sciistico (Fig. 4.20). Qui è anche osservabile una piccola scarpata di faglia con morfologia evidente alla cui base è presente una frattura con circa 15 cm di rigetto verticale. In corrispondenza dell’impianto sciistico, subito dopo l’evento sismico del 26 Ottobre 2016 di Mw=5.9, furono rilevate una serie di fratture aperte orientate circa nord-sud. Sulla base di quanto esposto, è possibile interpretare le evidenze strutturali, morfologiche e cosismiche come la terminazione di una faglia attiva e capace orientata nord-ovest/sud-est.

I fenomeni superficiali lungo la strada che da Frontignano arriva all’impianto di Monte Cornaccione non sono più osservabili. Tuttavia, questi si mostravano discontinui, principalmente presenti lungo strada e paralleli al forte pendio del versante. Lungo la scarpata che borda la strada non sono visibili morfologie evidenti che possono essere associati ad una faglia attiva e capace. Le considerazioni di cui sopra permettono di interpretare tali fenomeni come legati allo scuotimento del terreno durante il terremoto e guidati dalla gravità.

A Pian dell’Arco, in prossimità dell’abitato di Frontignano, è stata rilevata una faglia orientata nord-ovest/sud-est, sub-verticale, che mette a contatto la parte alta della Formazione del Marne a Fucoidi del letto con il membro inferiore della Scaglia Rossa del tetto (Fig. 4.21 e Fig. 4.23). La traccia della faglia risulta differente da quella presente sulla cartografia CARG e in direzione dell’abitato perde rigetto fino a terminare con una zona diffusamente fratturata. La faglia in parola non mostra evidenza morfologica (Fig. 4.22 e 4.24) e nella sua possibile prosecuzione verso l’abitato, markers lineari dimostrano che non ci sono stati effetti cosismici a seguito degli eventi sismici del 2016 (Fig. 4.22).

Le analisi geologico-strutturali e geomorfologiche escludono si tratti di una faglia attiva e capace.



Fig. 4.20. Faglia del Monte Cornaccione e fagliazione superficiale a seguito degli eventi sismici del 2016 ancora riconoscibili.





Fig. 4.21. Faglia di Pian dell'arco che interessa la Formazione delle Marne a Furoidi e il membro inferiore della Scaglia Rossa.



Fig. 4.22. La Faglia di Pian dell'Arco non presenta una scarpata di faglia morfologica (foto sopra) e non ha mostrato segni di riattivazione a seguito della sequenza sismica del 2016 (foto sotto). Evidenti markers lineari che la attraversano non mostrano dislocazioni o fratturazione (continua a pag. 35).



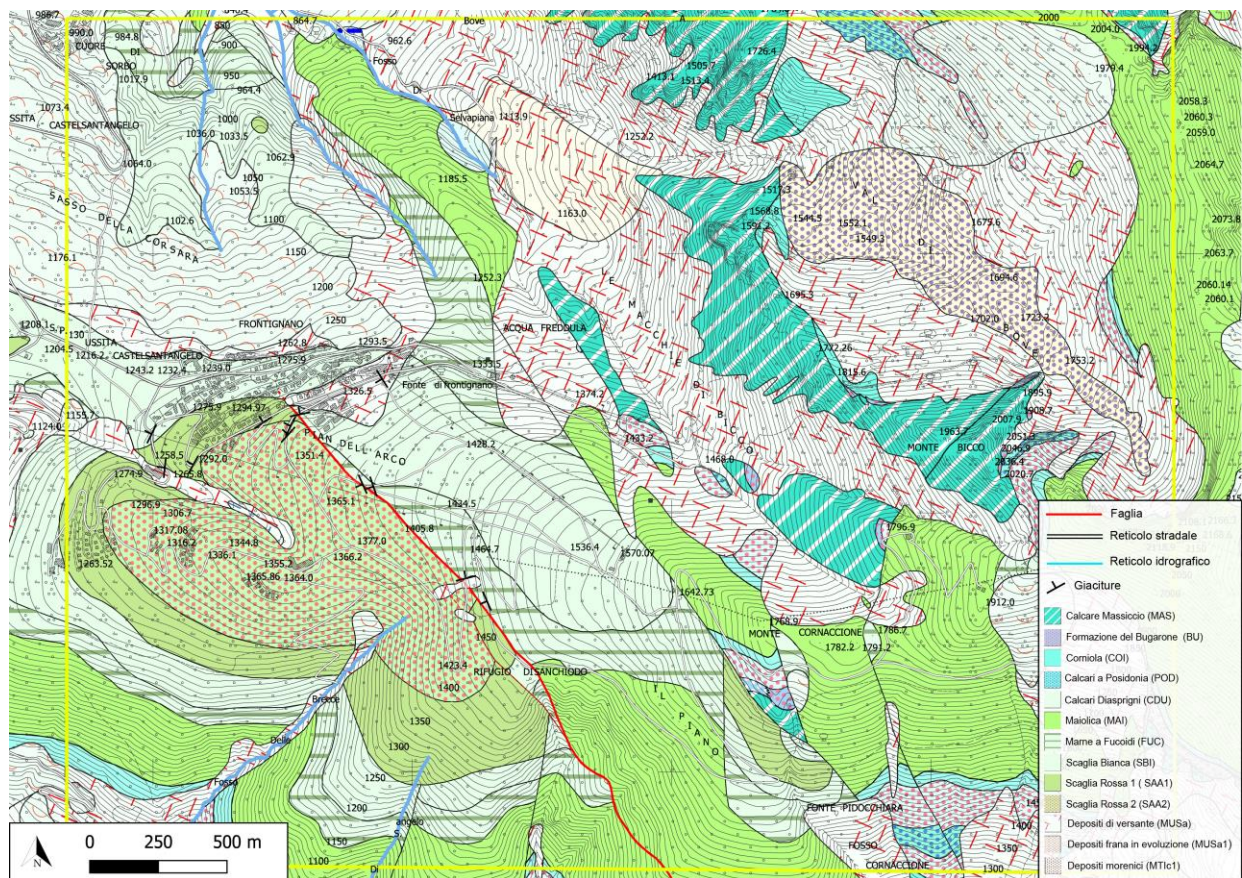


Fig. 4.23. Carta geologica di dettaglio di Frontignano (5-Frontignano in Fig. 4.12).

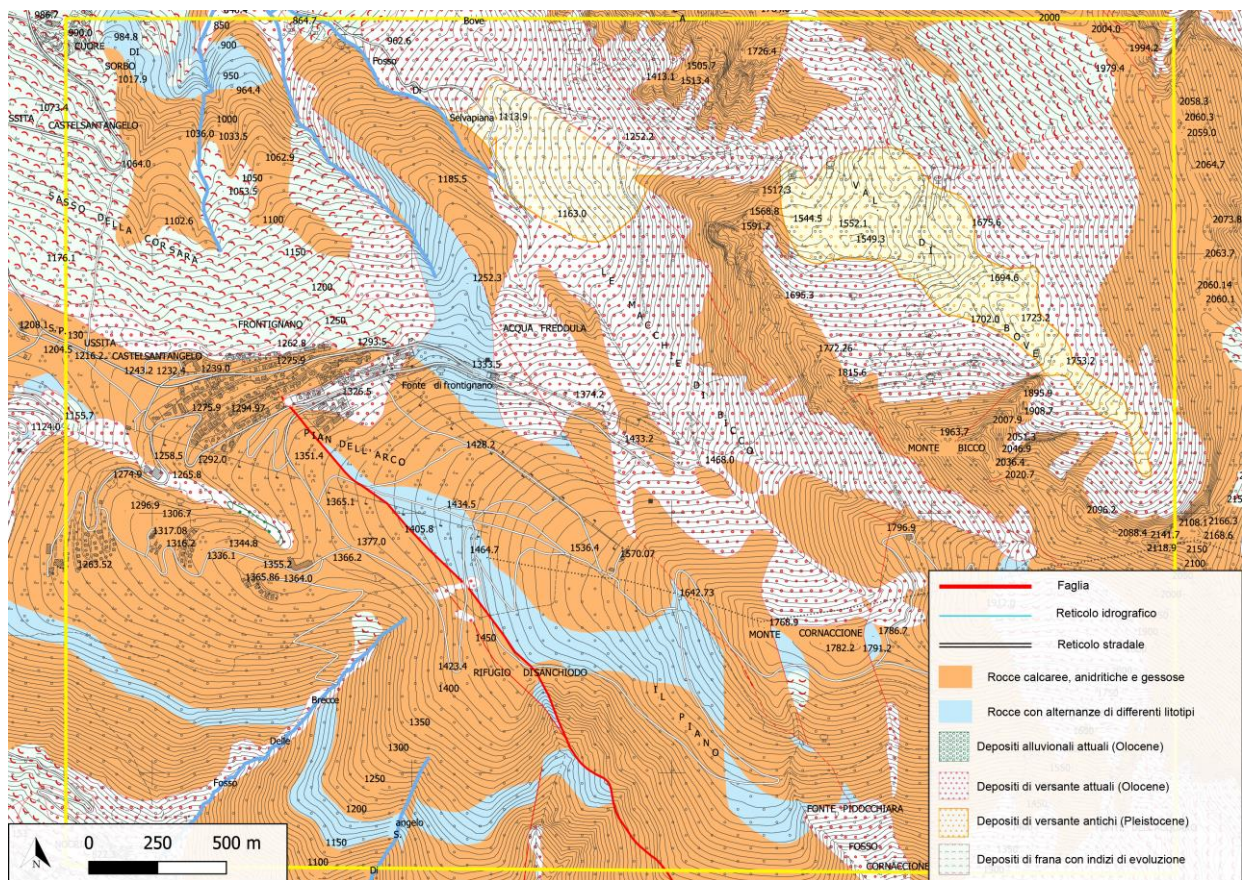


Fig. 4.24. Carta geomorfologica di Frontignano (5-Frontignano in Fig. 4.12).



#### 4.4. Indagini Geofisiche

Le aree oggetto delle indagini sono ubicate in tre località: Cupi (MC) nei pressi di Piani di Pao (Parco Nazionale dei Monti Sibillini), Ussita (MC) e Frontignano (MC) (Fig. 4.25 e Fig. 4.26). Le indagini sono state pianificate a seguito delle Ind. 1 e Ind. 2 precedentemente effettuate. Con l'obiettivo di individuare l'effettiva presenza e posizione di tali faglie, eventualmente coperte in superficie da sedimenti naturali recenti o di origine antropica, sono stati effettuati tre tipi di indagini, a Piani di Pao è stata effettuata una tomografia di resistività elettrica 3D, ad Ussita è stata eseguita una tomografia di resistività elettrica 2D e a Frontignano una tomografia di resistività elettrica 2D unita ad una tomografia sismica a rifrazione 2D.

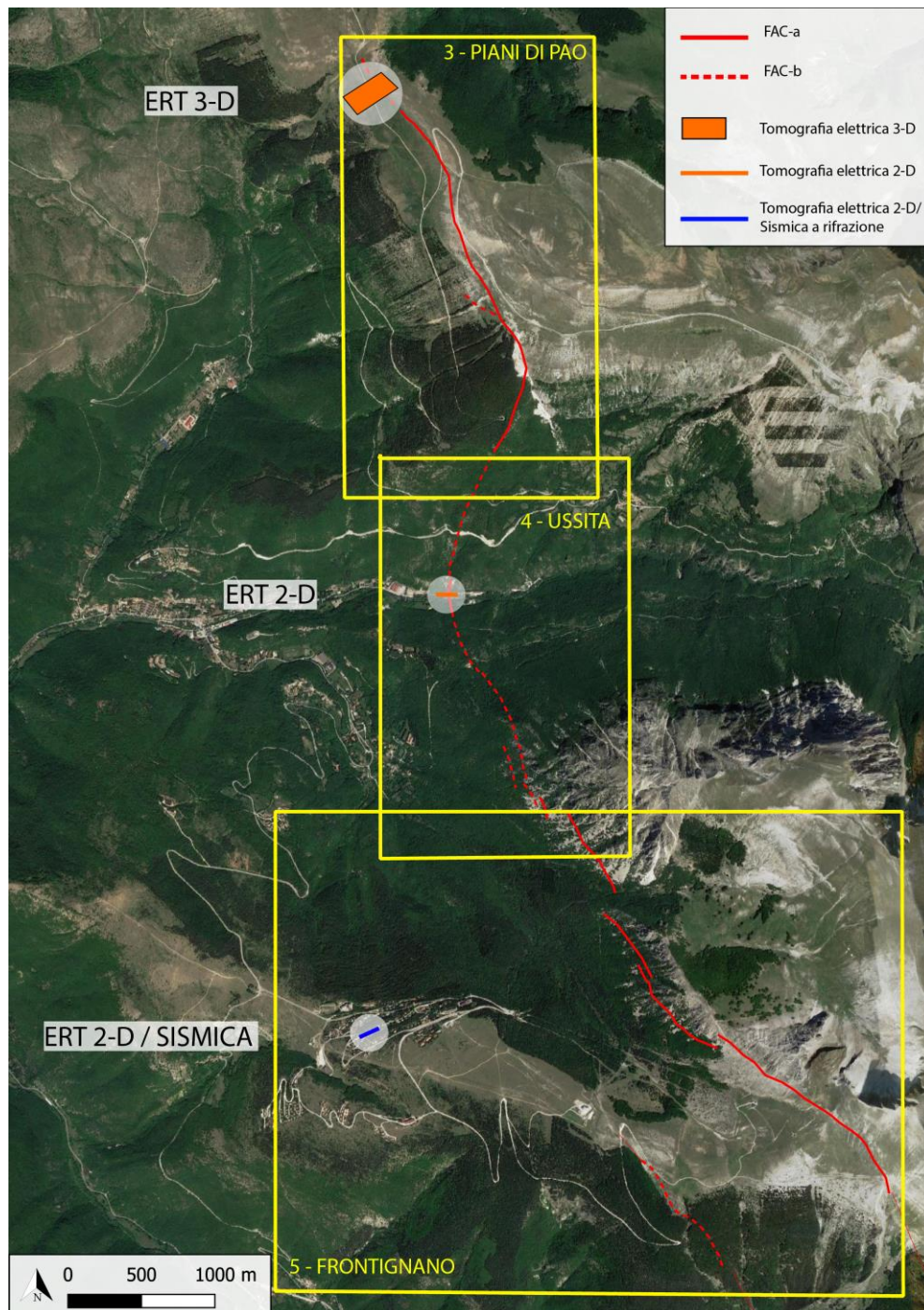


Fig. 4.25. Ubicazione delle indagini geofisiche nell'area in studio.





Fig. 4.26. Indagini ERT e di sismica a rifrazione eseguite a Frontignano (in alto) e ai Piani di Pao (in basso).

#### 4.4.1. Tomografia di sismica a rifrazione 2D

Il metodo di analisi dei segnali tramite metodologia sismica a rifrazione utilizza come dato di partenza i tempi di percorso (primi arrivi diretti e rifratti) e le distanze tra geofoni e punti di energizzazione. Si tracciano quindi i diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione P, sia la profondità e lo spessore di eventuali discontinuità presenti nel sottosuolo. Il primo passo è la determinazione dei tempi dei primi arrivi rifratti (Fig. 4.27), i quali poi sono processati mediante tecnica di inversione tomografica. I primi arrivi sono i primi segnali dettati dai geofoni e corrispondono alle onde dirette e rifratte negli strati sottostanti. L'inversione di questi dati attraverso la tecnica di tracciamento di raggi restituisce un modello di velocità di onde di compressione ( $V_p$ ) del sottosuolo adatta ai primi arrivi e velocità osservate.

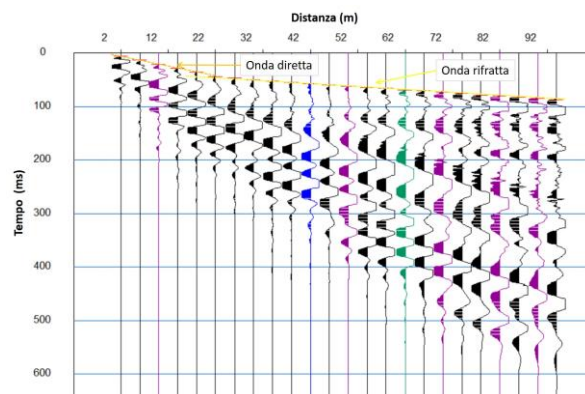


Fig. 4.27. Traccia sismica sperimentale degli arrivi del segnale a seguito di energizzazione con mazza da 8 kg.

Nei pressi di Frontignano, una tomografia di sismica a rifrazione è stata effettuata per verificare la presenza di una possibile faglia attiva e capace. I dati sono stati registrati mediante un sismografo PASI 16SG-N a 24 canali. Come ricevitori sono stati utilizzati geofoni verticali da 10 HZ. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza da 8 kg. Per ridurre il rumore incoerente e aumentare il segnale è stato scelto di effettuare una serie (stacking) di colpi multipli (shot). I singoli stendimenti sono lunghi circa 115 metri, la distanza inter-geofonica è di 4,5 metri, i punti di energizzazione (shotpoint) sono posti ad intervalli di 13,5 metri, con quello iniziale e finale posti rispettivamente ad una distanza di 6,75 metri dal primo e dall'ultimo geofono.

#### 4.4.2. Tomografia di resistività elettrica 2D

La tomografia di resistività elettrica ERT (Electrical Resistivity Tomography) è un'indagine geofisica che restituisce la distribuzione della resistività elettrica relativa al sottosuolo investigato. La fase di acquisizione consiste nell'immettere corrente continua nel terreno per mezzo di due elettrodi conduttivi, detti "elettrodi di corrente" (A e B in Fig. 4.26) e nel misurare la differenza di potenziale, mediante altri due elettrodi detti "elettrodi di potenziale" (M e N in Fig. 4.28).

In superficie si determina la resistività apparente  $\rho_a$  che è calcolata dalle misure di intensità di corrente  $I$  immessa nel terreno e dalla differenza di potenziale  $\Delta V$  misurata attraverso gli elettrodi di potenziale. La relazione generale è:

$$\rho_a = k \cdot \Delta V / I \quad (1)$$

dove  $k$  è il fattore dipendente dal tipo di configurazione geometrica utilizzata, cioè dalle distanze e dalle posizioni reciproche dei 4 elettrodi (chiamati quadripolo). Esistono diversi tipi di configurazioni geometriche (e.g., Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo) al variare delle quali si ottiene una diversa risoluzione delle variazioni delle resistività elettriche presenti nel sottosuolo ed una diversa profondità di investigazione (a parità di lunghezza del profilo).

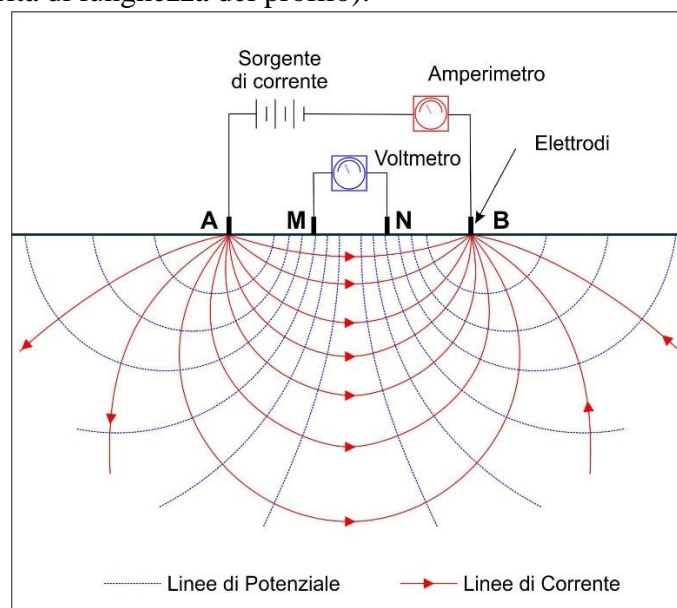


Fig. 4.28. Sezione schematica 2D che mostra le linee di corrente e linee equipotenziali generate da due elettrodi trasmettitori o di corrente (A, B). La differenza di potenziale si può misurare con due elettrodi ricevitori o di potenziale (M, N).

#### 4.4.3. Tomografia di resistività elettrica 3D

Nei pressi di Piani di Pao è stata effettuata una tomografia di resistività elettrica 3D, tramite l'utilizzo della strumentazione wireless IRIS Full-Waver, progettata per indagini di resistività elettrica e polarità indotta. Tale strumentazione consiste in una unità di registrazione di corrente (I-Full Waver) tra gli elettrodi trasmettitori (A-B) in grado di misurare e memorizzare con elevata precisione la corrente immessa nel terreno. Inoltre, un totale di 15 unità di V-Full Waver (ricevitori) registrano la differenza di potenziale in due dipoli simultanei in modo autonomo e continuo fino ad 8 ore. Tutte le unità sono sincronizzate grazie al segnale GPS provveduto da un'antenna GPS integrata. Come generatore di corrente è stato usato un VIP 5000 che permette d'iniettare fino a 5 ampere di corrente nel terreno garantendo una profondità e trasmissione maggiore rispetto agli ordinari strumenti utilizzati per indagini geoelettriche.

Lo stendimento nei pressi di Pian di Pao (Fig. 4.29) copre un'area di circa 45000 m<sup>2</sup> (300 x 150 m). Sono state utilizzate 15 stazioni (ricevitori, Rx) Full-Waver, per un totale di 45 elettrodi disposti nel terreno. La distanza tra le singole stazioni è di circa 40 metri nella direzione sudovest-nordest mentre nella direzione nordovest-sudest la distanza è di circa 80 metri. Gli elettrodi che fungono da trasmettitori (Tx) mantengono una spaziatura simile. Gli elettrodi più esterni identificati come TX-1, TX 17, e Tx 19 fungono come elettrodi B (catodi), mentre quelli interni come elettrodi A (anodi). La geometria dello stendimento effettuato permette di combinare diverse configurazioni convenzionali (e.g., Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo) in un singolo stendimento, permettendo quindi di avere una risoluzione ottimale sia verticalmente che lateralmente. L'indagine aveva come obiettivo i primi 20 metri di profondità, tuttavia si garantisce un dato attendibile fino ad 80 metri di profondità. L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite l'apposito software (Full Viewer), che permette di sincronizzare i dati registrati. In fine, attraverso il software ViewLab3D è stato realizzato un modello della resistività con un errore di circa 1%.

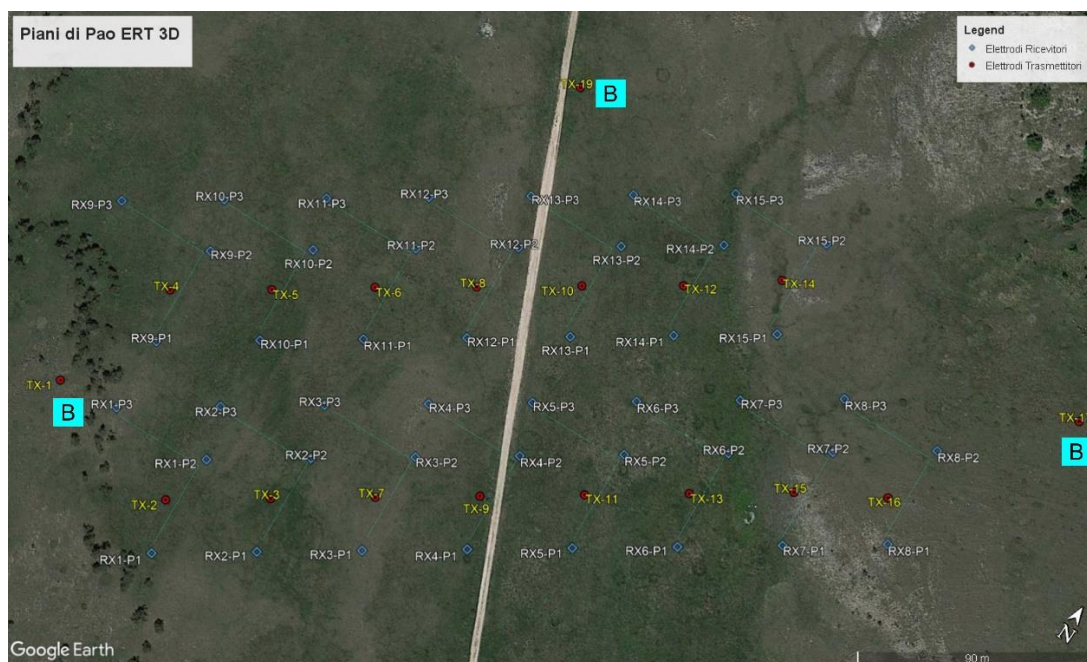


Fig. 4.29. Localizzazione dell'indagine geofisica 3D a Piani di Pao (Cupi). Lunghezza dello stendimento di circa 300 m e larghezza di circa 150 m.

Riguardo le indagini svolte in località Frontignano ed Ussita (Fig. 4.29) sono stati acquisiti profili geoelettrici lunghi 139,5 m con una distanza interelettrodica di 4,5 metri. L'attrezzatura utilizzata



consiste nella PASI 16SG-N, con 32 elettrodi. La geometria di acquisizione adottata corrisponde a Wenner-Schlumberger, che permette di ottenere una soddisfacente risoluzione sia laterale che verticale raggiungendo inoltre una profondità massima di acquisizione di circa 25 metri.

L'acquisizione dei dati è stata fatta ad alta risoluzione con misurazioni multiple ai fine di ridurre l'errore dei risultati. La geometria iniziale è la seguente: distanza A-B 13,5 metri, distanza M-N 4,5 metri. La distanza massima tra gli elettrodi A-B è di 103,5 metri, mentre la distanza massima di M-N corrisponde a 13,5 metri.

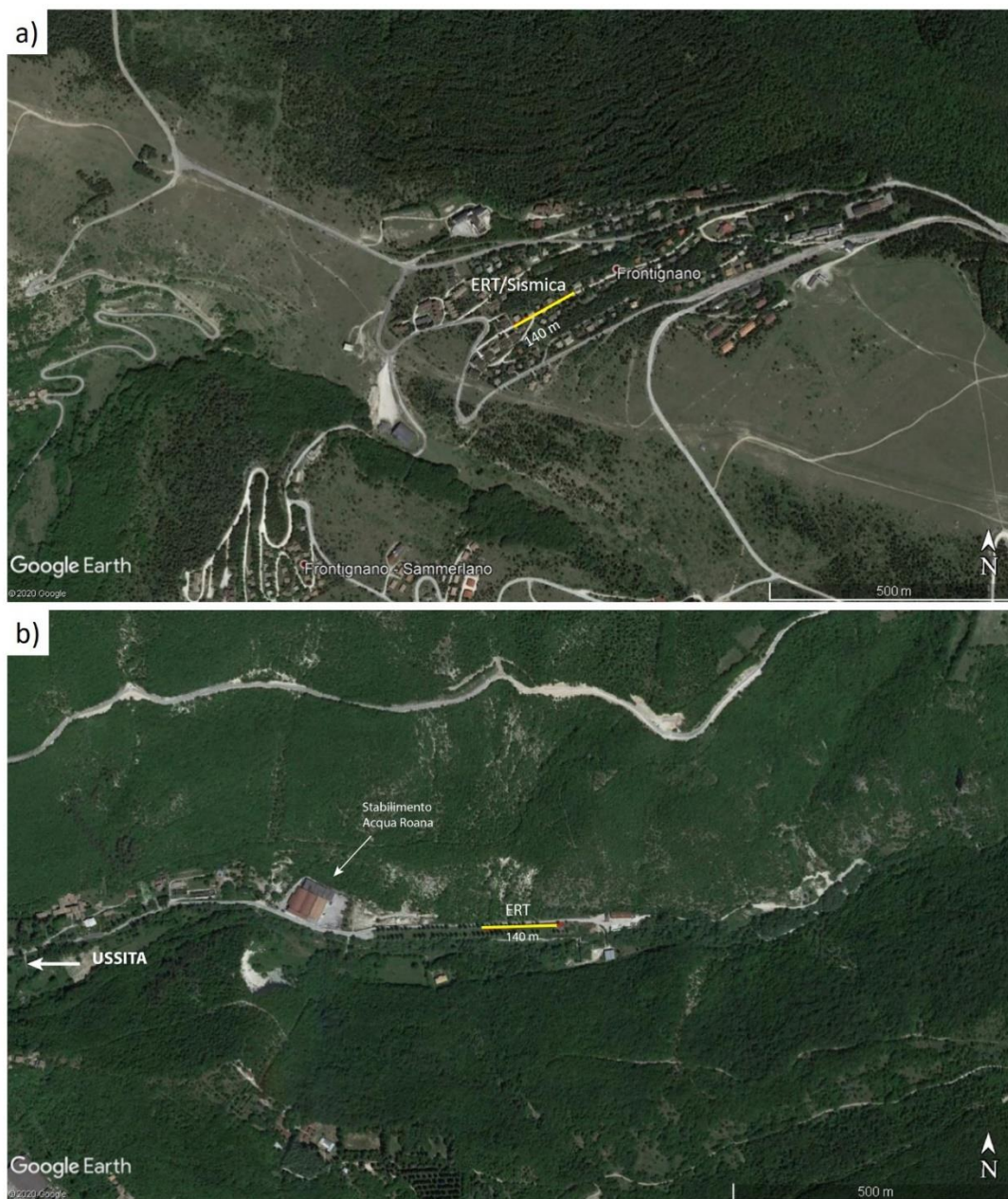


Fig. 4.29. Localizzazione delle indagini geofisiche 2D. a) Frontignano (MC): Sezioni tomografiche di resistività elettrica (ERT) e di sismica a rifrazione. Stendimento lungo circa 140 metri ed orientato N60°E, b) Ussita (MC): Sezione tomografica di resistività elettrica (ERT). Stendimento lungo circa 140 metri ed orientato N85°E.

I dati di resistività apparente acquisiti sono stati poi elaborati con il software Res2DInv tramite un processo di inversione ai minimi quadrati, ottenendo quindi un modello 2D di resistività del sottosuolo. In congruenza con il processo di inversione ai minimi quadrati, il modello di resistività

finale ottenuto è quello che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra i dati misurati e quelli calcolati dal modello stesso iterativamente.

#### 4.4.4. Risultati *Piani di Pao*

L'utilizzo della tomografia elettrica tridimensionale ci ha permesso di ottenere un modello di resistività coerente che indica non solo la localizzazione della faglia in oggetto ma anche la sua orientazione (N170°E ca.). La presenza della faglia (Fig. 4. 31) è suggerita da un contrasto laterale di resistività molto importante che mette in contatto un substrato di alta resistività (500-1000 Ohm.m), indicativamente rocce carbonatiche, con dei detriti generalmente meno resistivi (25-300 Ohm.m) che si depositano a ridosso della faglia in corrispondenza del blocco di tetto (Fig. 4.31 e 4.32). Questo corpo sedimentario è spesso circa 25 metri nella sezione più profonda, sottostante ad esso si trova del substrato carbonatico relativamente più resistivo. Inoltre, nel modello polarizzazione indotta ottenuto si osserva che i primi metri presentano un valore maggiore di polarizzazione, possibilmente associato a livelli più argillosi, risultanti da dissoluzione di carbonato oppure dall'alterazione del substrato.

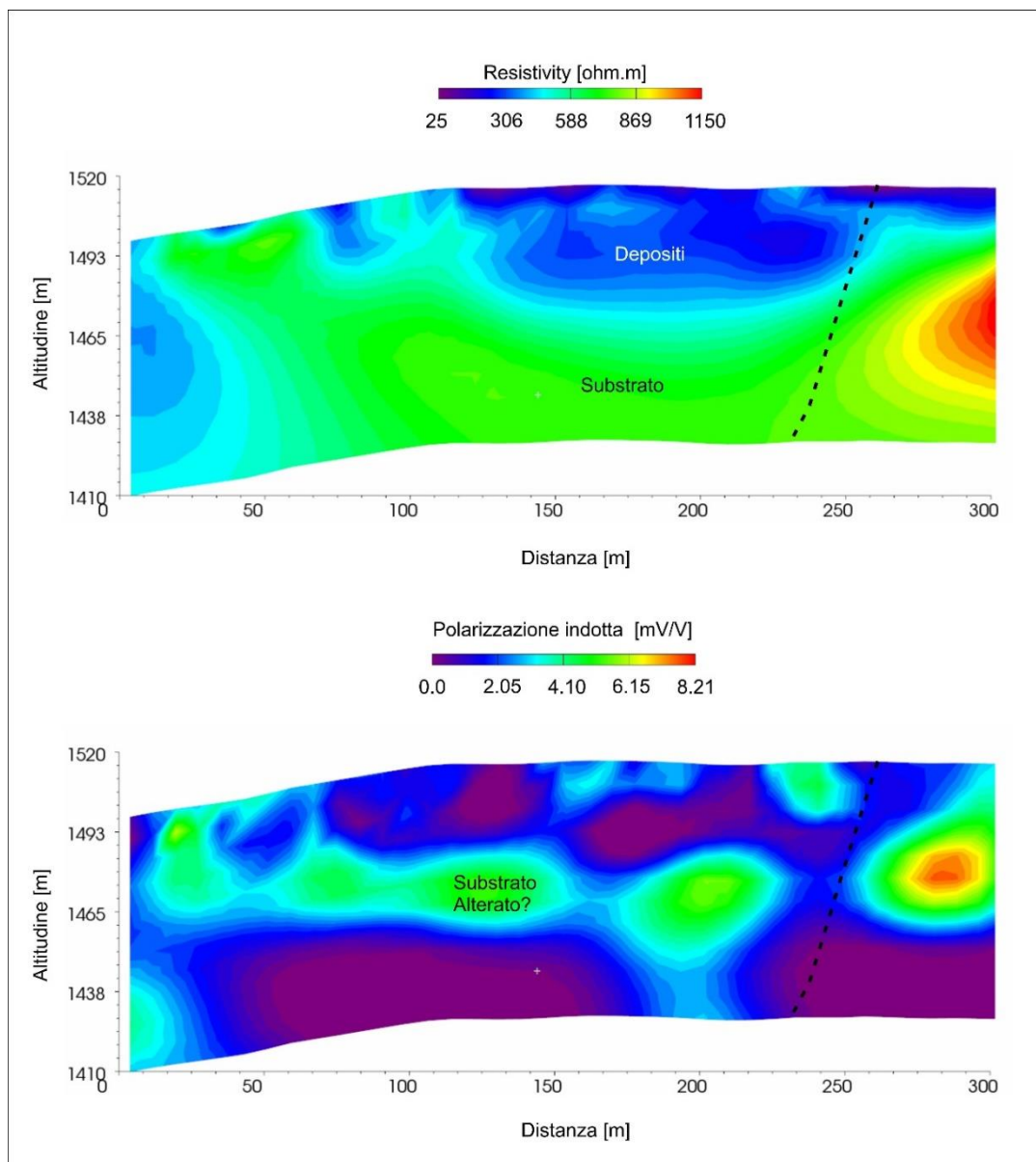




Fig. 4.31. Sezione di resistività elettrica e di potenziale indotto nei pressi di Pian di Pao. La faglia è indicata con una linea nera tratteggiata.

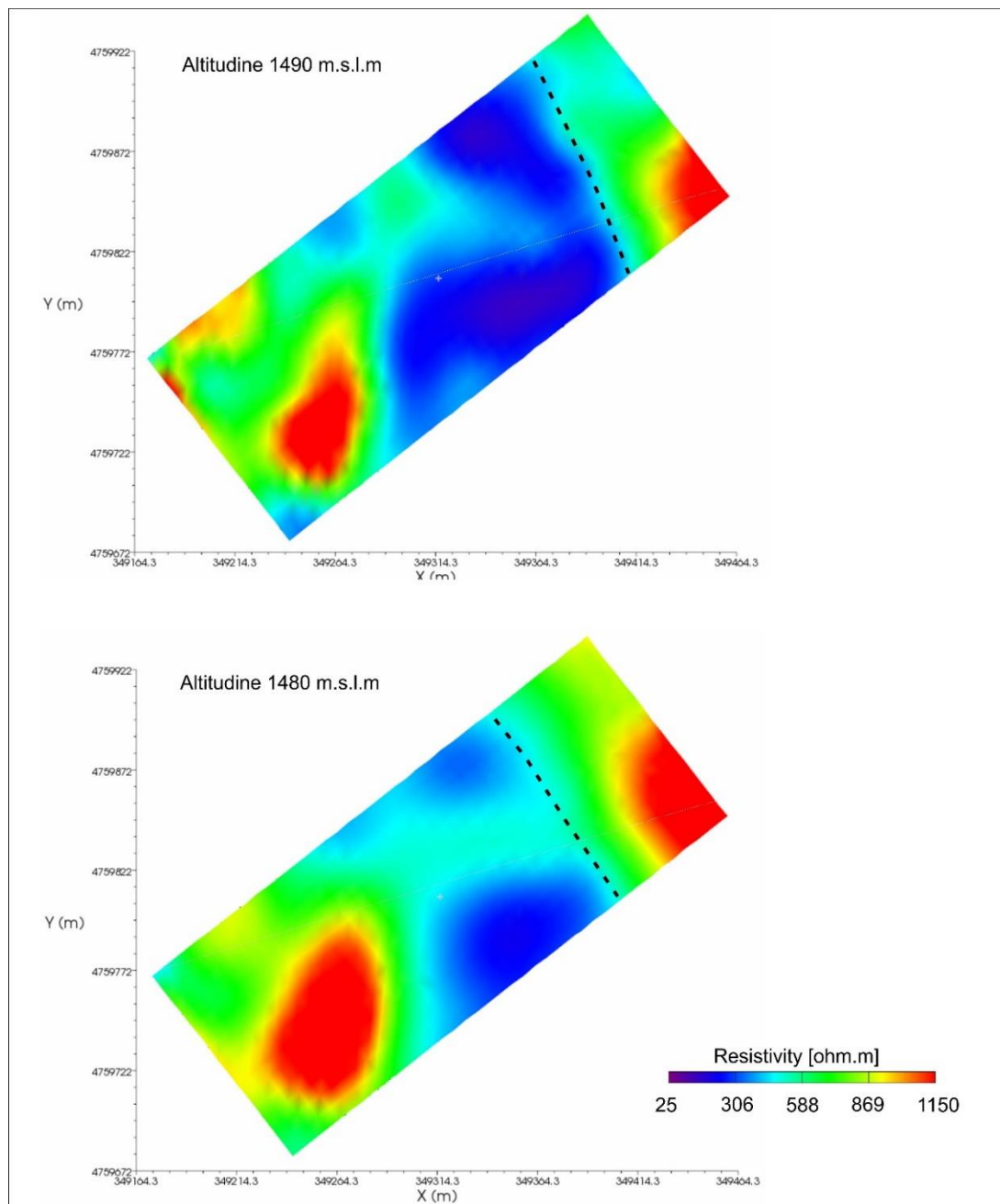


Fig. 4.32. Sezioni in pianta a diversa altitudine corrispondenti al modello di resistività elettrica 3D nei pressi di Piani di Pao (Cupi). La faglia è indicata con una linea nera tratteggiata.

### Ussita

Dall'analisi del profilo di tomografia di resistività elettrica (Fig. 4. 33) si può osservare che l'indagine è caratterizzata da un chiaro contrasto resistivo laterale che suddivide l'area in due zone:

- 1) L'area ad ovest (distanza 0-85 metri) dove sono stati individuati due strati resistivi, il più profondo di una resistività relativamente bassa (250-280 ohm.m), affiorante nel settore

centrale della sezione ed immergendo verso ovest fino ad una profondità di circa 10 metri. Considerando la geologia dell'area, questo volume può essere interpretato come un volume di roccia carbonatica molto fratturato e saturo di acqua, il che risulta plausibile data la presenza di un corso di acqua a 20 metri dall'indagine. Lo strato sovrastante, presenta una geometria a cuneo ed è caratterizzato da una resistività maggiore (300-400 ohm.m), probabilmente associato a sedimenti poco consolidati di tipo alluvio colluviale o di natura antropica.

- 2) L'area più ad est (distanza > 85 metri) presenta una resistività più elevata (300-550 ohm.m), che può essere interpretata come roccia calcarea altamente fratturata con aumento della saturazione di acqua in profondità.
- 3) Sulla base di questi elementi geofisici, sommati ad evidenze geologiche e geomorfologiche, si interpreta una faglia intorno ad 85 metri dall'origine della sezione, che mette in contatto volumi di roccia carbonatica diversamente fratturati/saturi di acqua.

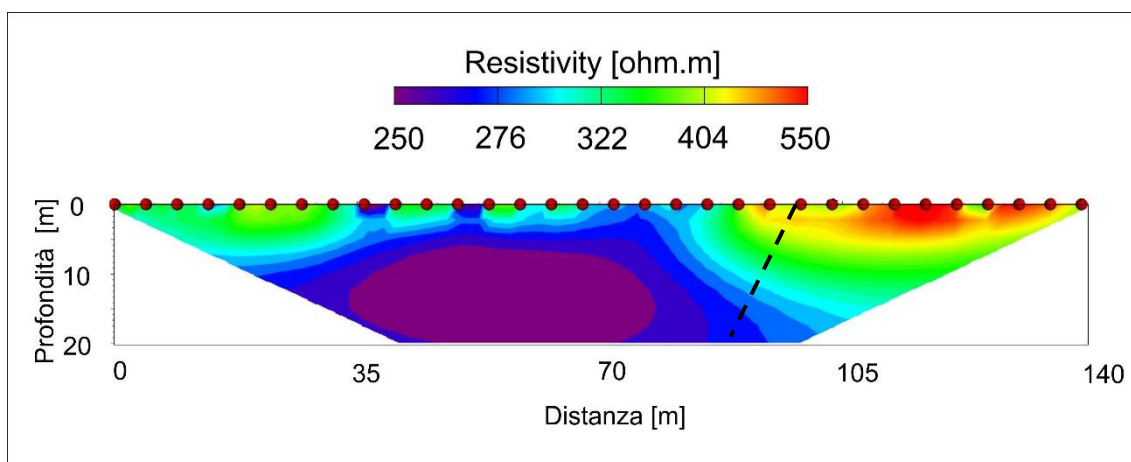


Fig. 4.33. Sezione della tomografia di resistività elettrica nei pressi di Ussita, tratteggiata in nero la faglia interpretata.

### Frontignano

A Frontignano l'indagine geofisica è stata condotta attraverso la faglia presente nella cartografia CARG e di autore (Fig. 34).

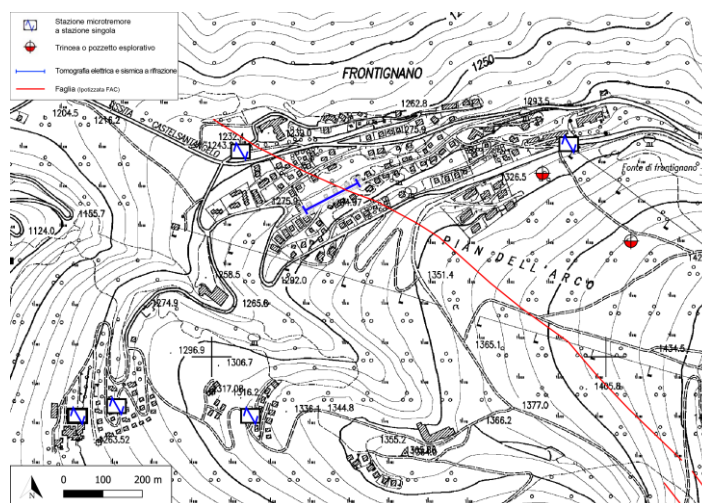


Fig. 4.34. Ubicazione indagine geofisica a Frontignano e traccia della faglia presente su cartografia CARG.



Dall'analisi dei due profili tomografici sismico e di resistività (Fig. 4.35) si possono effettuare le seguenti osservazioni:

- 1) L'analisi è localizzata su roccia con uno strato superficiale e molto fino di sedimenti (<1m).
- 2) L'area più ad ovest presenta una resistività relativamente più elevata ed una velocità relativamente minore. Questo potrebbe essere interpretato come un aumento della fratturazione in roccia con scarsa presenza di acqua.
- 3) Nella sezione di studio non è possibile confermare la presenza di una faglia.

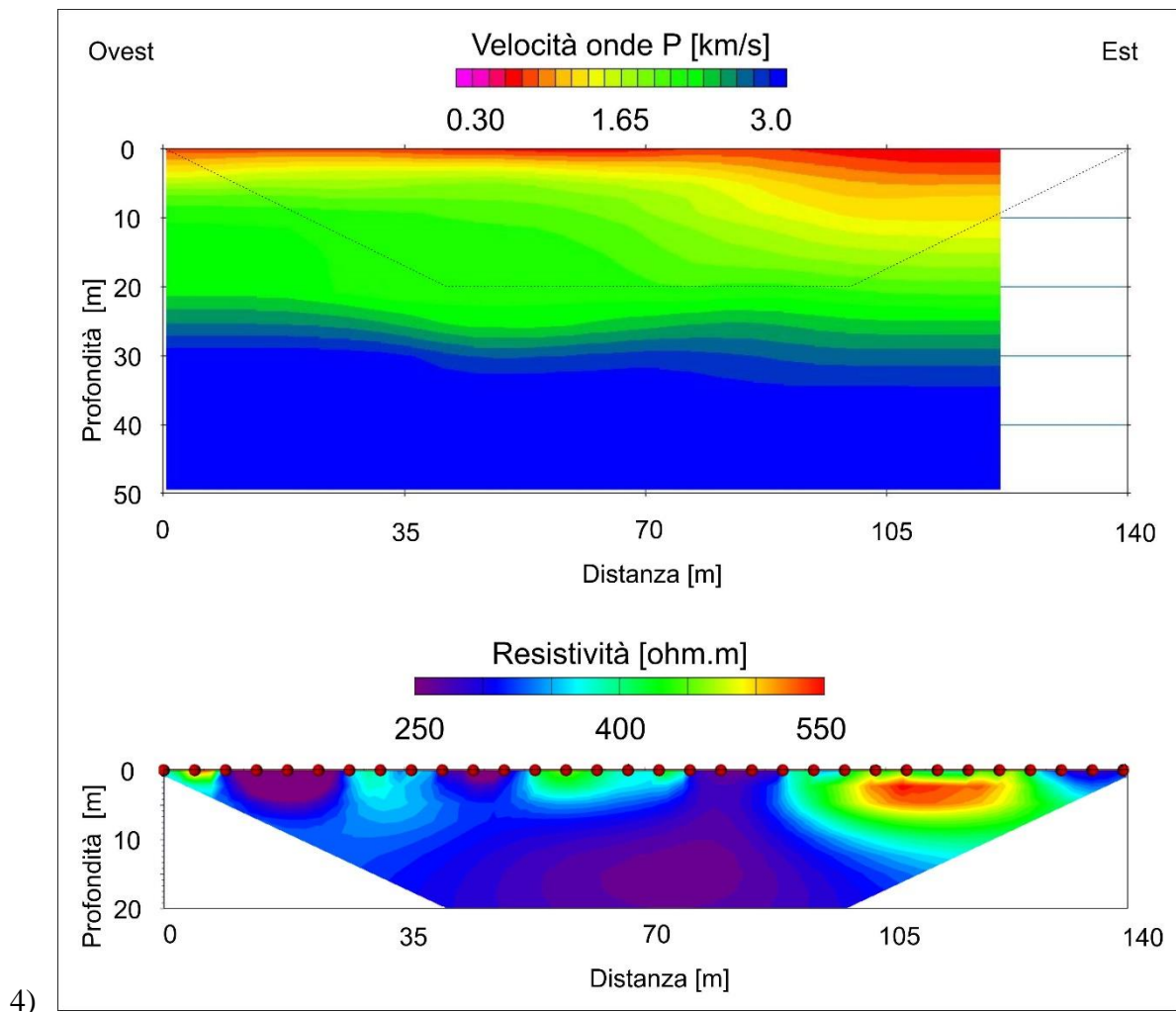


Fig. 4.35. Sezioni di velocità di onde P e resistività nei pressi di Frontignano.

#### 4.5. Conclusioni

Le indagini Ind.1 e Ind. 2, la loro integrazione e confronto con i fenomeni di fagliazione superficiale rilevati a seguito degli eventi sismici del 2016 e le indagini Ind. 3 hanno permesso di procedere ad una proposta di individuazione delle microzone omogenee per le FAC nell'area di interesse (Fig. 4.36). Nella microzonazione vengono individuate le seguenti FAC e relative microzone omogenee:

##### FACa

- ZRFAC di 30 metri di spessore con asimmetria  $\frac{1}{4}$  tra FW e HG;
- ZSFAC di 100 metri con asimmetria  $\frac{1}{4}$  tra FW e HG.

##### FACb

- ZSFAC di 200 metri di spessore con asimmetria  $\frac{1}{4}$  tra FW w HG;

L'asimmetria scelta è conforme a quanto suggerito dalle linee guida per le faglie normali. La zona di suscettività (ZSFAC), anche se non prevista dalle linee guida per le indagini svolte in corrispondenza della FACa, viene comunque cautelativamente individuata in quanto si ritiene di dover considerare la zona di danneggiamento (*damage zone*) associata alla faglia oggetto di studio. Zona di danneggiamento che potrebbe essere costituita da piani di faglia secondari in corrispondenza dei quali non è possibile escludere fenomeni di fagliazione superficiale in occasione di eventi sismici futuri.

Gli spessori delle microzone omogenee risultano consoni rispetto agli elementi dimensionali specifici valutati per le faglie in oggetto, in particolare considerando anche che l'area in esame si trova in prossimità della terminazione settentrionale della Faglia del Monte Vettore.

Con l'obiettivo di raccogliere altri elementi informativi specifici attraverso i segmenti di faglia suddetti, sono previste ulteriori indagini da eseguire nella Fase II dell'accordo. Tali studi di approfondimento, potranno determinare una rivisitazione delle microzone omogenee per le FAC individuate esclusivamente nei tratti FACb.

In conclusione, come è possibile constatare dalla Fig. 4.36 e dai dettagli di Fig. 4.37, 4.38. 4.39, la Traccia delle FAC e le relative Zrfac e Zsfac, sia riferite alle FACa che FACb, non interferiscono con opere antropiche, ad eccezione dell'impianto sciistico del Monte Cornaccione.

Nella "PARTE SECONDA" delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)" redatte dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica nel 2015, viene definita la disciplina d'uso del suolo in zone di faglia attiva e capace. Si suggerisce, quindi, agli enti locali di dare seguito a quanto definito dalle linee guida: "La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate dalla presenza di faglie attive e capaci è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi."



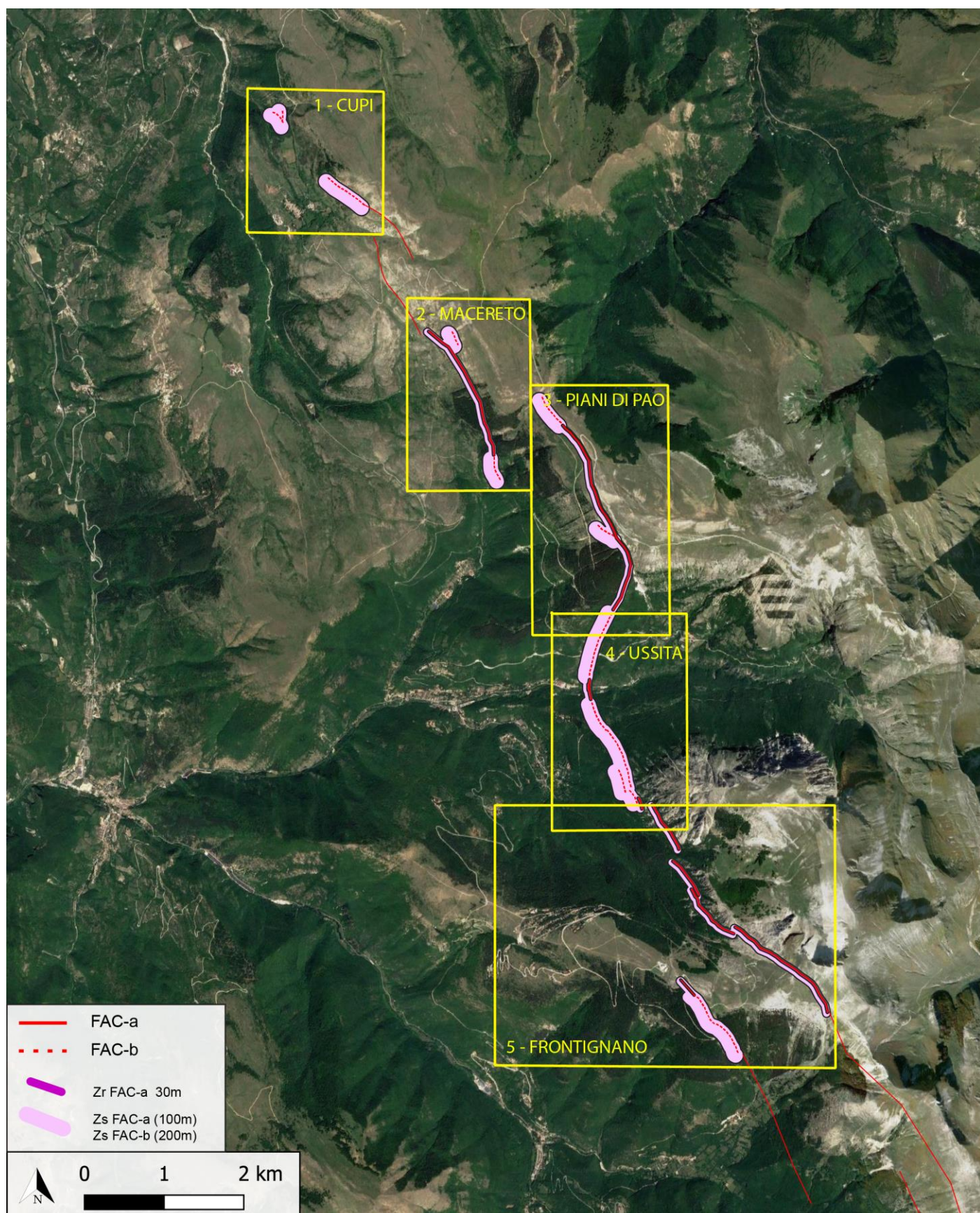


Fig. 4.36. Traccia delle FAC e relative ZR FAC e Zs FAC nell'area di interesse.



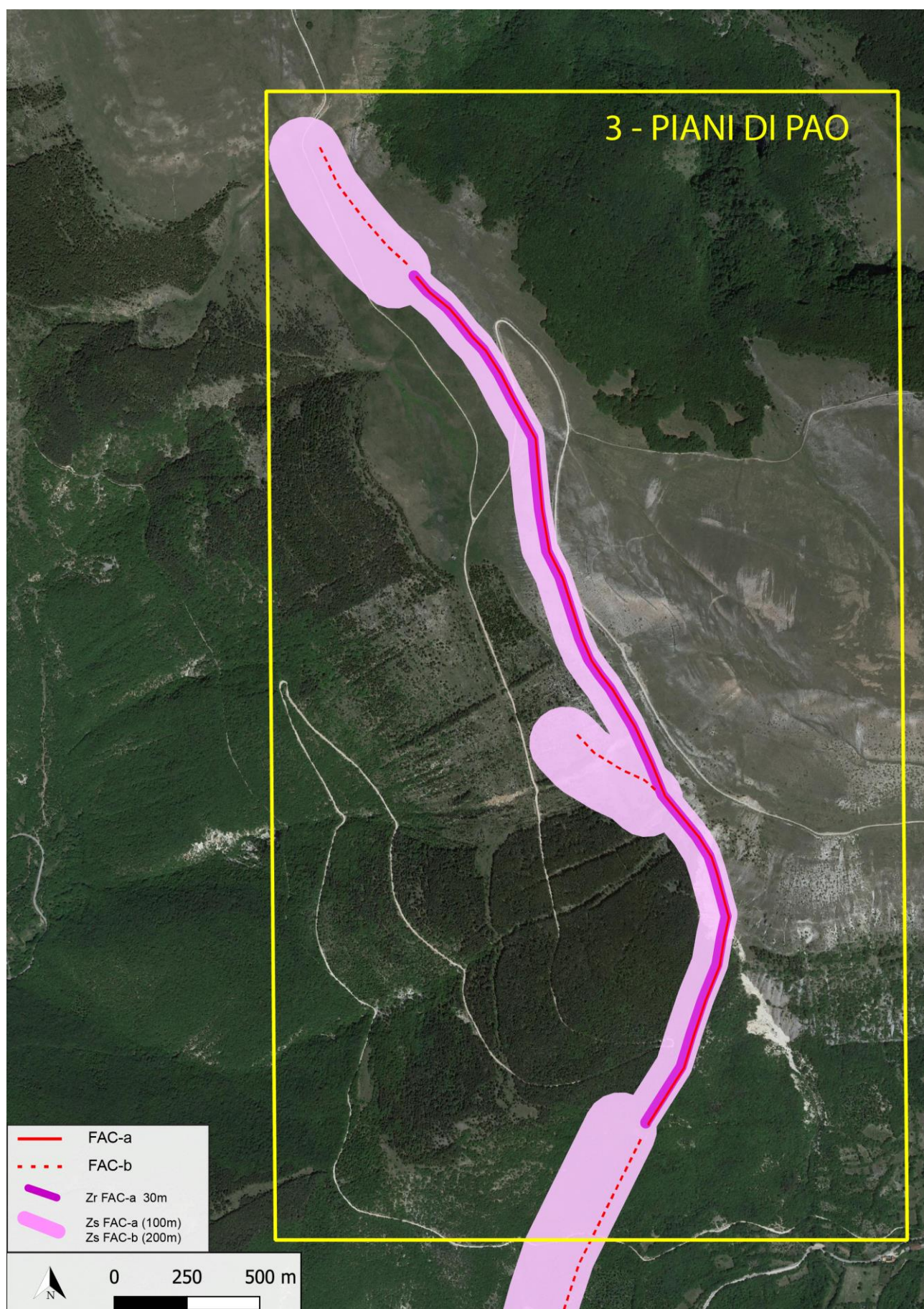


Fig. 4.37. Dettaglio della traccia della FAC e relative ZR FAC e Zs FAC nell'area di Piani di Pao.



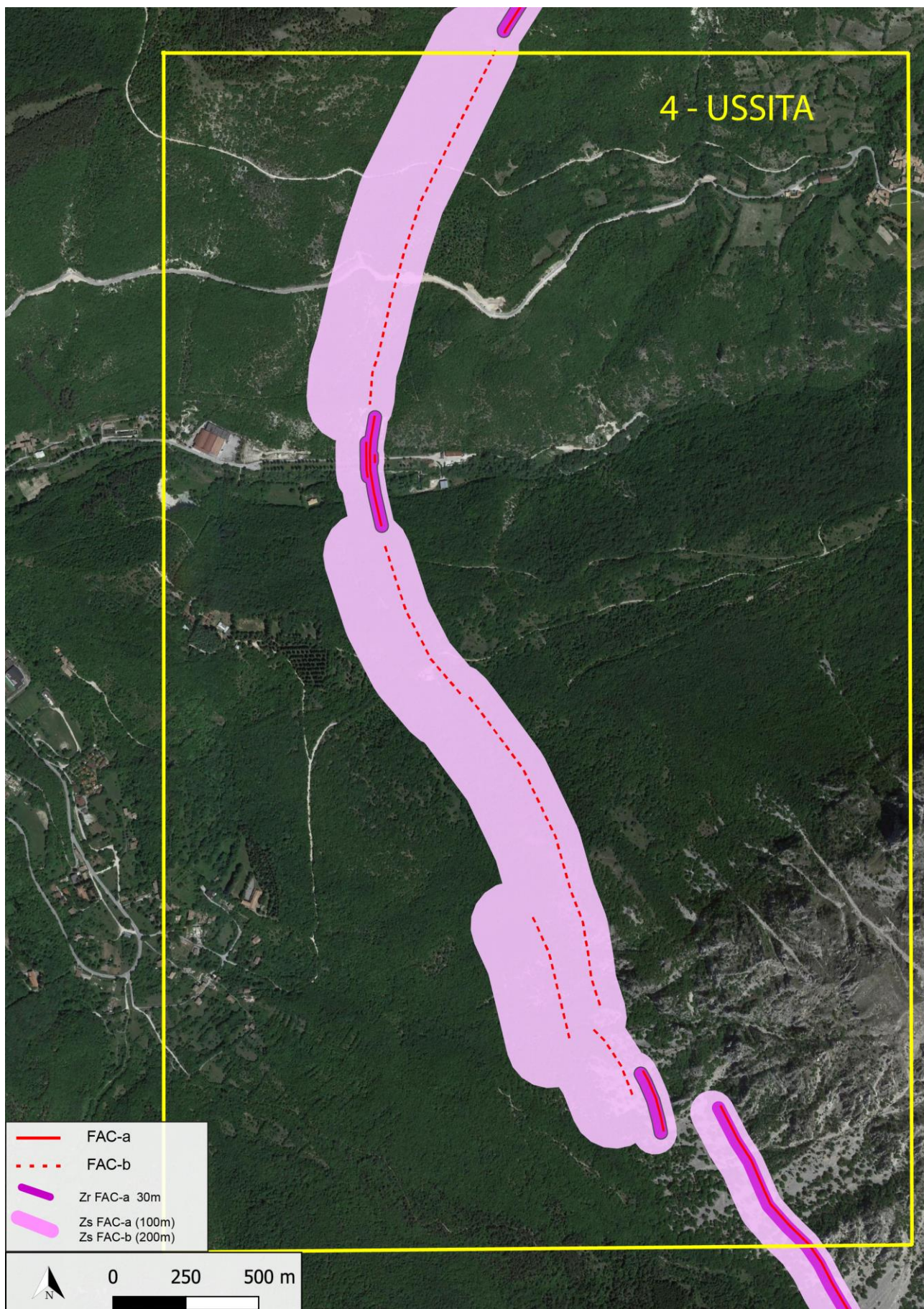


Fig. 4.38. Dettaglio della traccia della FAC e relative ZR FAC e Zs FAC nell'area di Ussita.



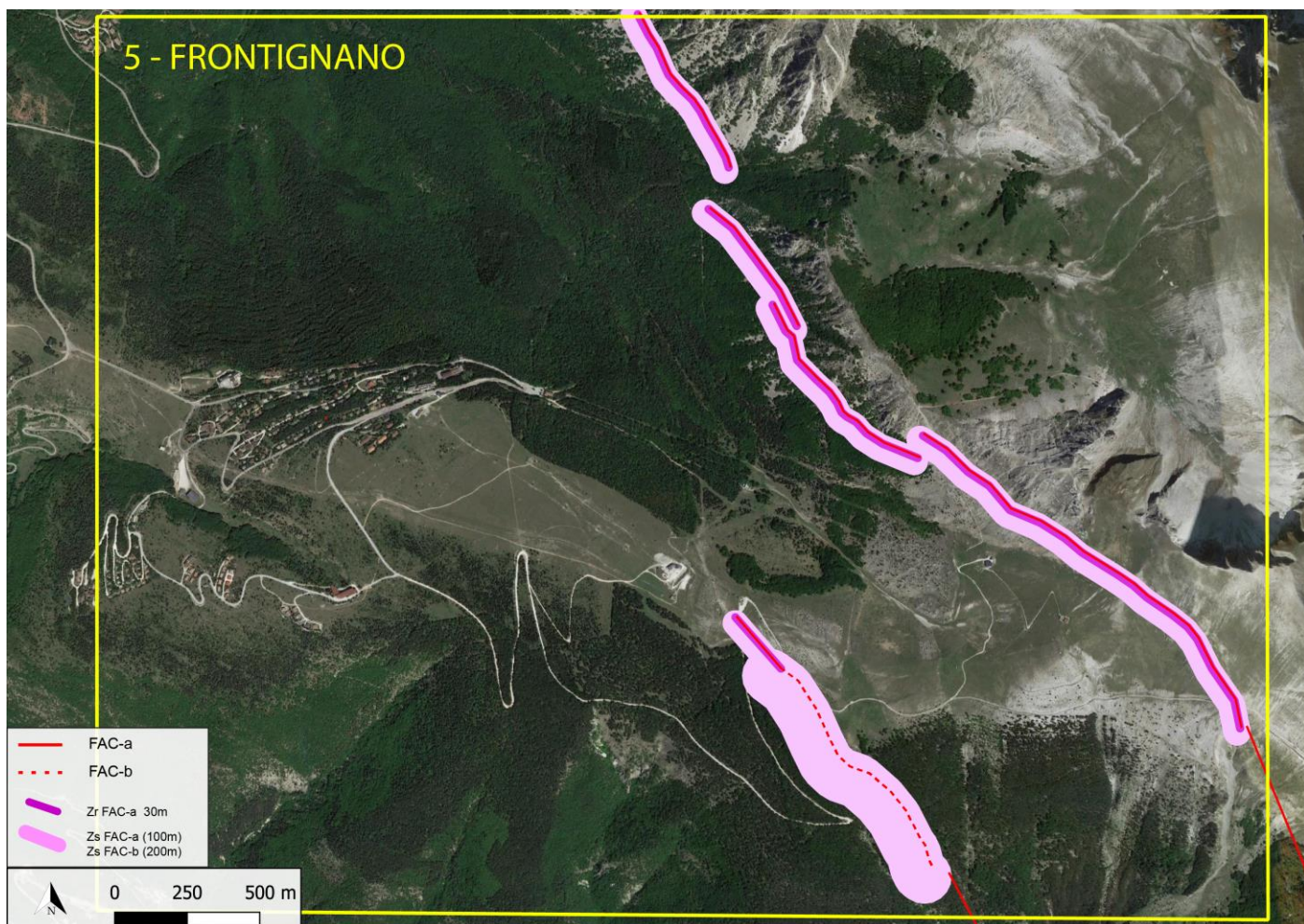


Fig. 4.39. Dettaglio della traccia della FAC e relative ZR FAC e Zs FAC nell'area di Frontignano.



## BIBLIOGRAFIA

- Aringoli, D. Farabollini, P., Giacompetti, M., Materazzi, M., Paggi, S., Pambianchi, G., Pierantoni, P.P., Pistolesi, E., Pitts, A., Tondi, E. 2016. The August 24th 2016 Accumoli earthquake: surface faulting and Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD) in the Monte Vettore area. Vol 59, Fast Track 5, Annals of Geophysics.
- Anzidei and Pondrelli, Eds., 2016. The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results. Vol. 59, Fast Track 5, Annals of Geophysics).
- Barchi, M., Galadini, F., Lavecchia, G., Messina, P., Michetti, A.M., Peruzza, L., Pizzi, A., Tondi, E., Vittori, E., (a cura di), Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica. CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, Roma, 2000, 62 pp.
- Calamita F., & Pizzi A. 1992. Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati. Studi Geologici Camerti, 1992(1), 17–25.
- Calamita F., Pizzi A. 1994. Recent and active extensional tectonics in the Southern Umbro-Marchean Apennines (Central Italy). Mem. Soc. Geol. It., 48, 541-548.
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E., Turco E. 1997. Active tectonics in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy. Tectonophysics, 272, 43-68.
- Centamore E., Adamoli L., Berti D., Bigi S., Casnedi R., Cantalamessa G., Fumanti F., Morelli C., Micarelli A., Ridolfi M., Salvucci R., Chiocchini M., Mancinelli A., Potetti M. 1992. Carta geologica dei bacini della Laga e del Cellino e dei rilievi carbonatici circostanti (Marche meridionali, Lazio nord-orientale, Abruzzo settentrionale). Scala 1:100.000. Firenze, SELCA
- Chiaraluce L., Di Stefano R., Tinti E., Scognamiglio L., Michele M., Casarotti E., Cattaneo M., De Gori P., Chiarabba C., Monachesi G., Lombardi A., Valoroso L., Latorre D., Marzorati S. 2017. The 2016 Central Italy seismic sequence: A first look at the mainshocks, aftershocks and source models, Seismol. Res. Lett., 88(3), doi:10.1785/0220160221.
- Civico R., Pucci S., Villani F., Pizzimenti L., De Martini P.M., Nappi R., & the Open EMERGEO Working Group 2018. Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy. Journal of Maps, vol. 14, p. 151-160, ISSN: 1744-5647, DOI: 10.1080/17445647.2018.1441756.
- D'Amico M, Felicetta C, Russo E, Sgobba S, Lanzano G, Pacor F, Luzi L 2020. Italian Accelerometric Archive v 3.1 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Dipartimento della Protezione Civile Nazionale. doi: 10.13127/itaca.3.1.
- Dogliani C., Carminati E., Petricca P., Riguzzi F. 2015. Normal fault earthquakes or Graviquakes. Sci Rep 5, 12110. <https://doi.org/10.1038/srep12110>
- Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio CARG 303 – Macerata. [https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note\\_illustrative/303\\_Macerata.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note_illustrative/303_Macerata.pdf).
- Galderisi A., Galli P. 2020. Coulomb stress transfer between parallel faults. The case of Norcia and Mt Vettore normal faults (Italy, 2016 Mw 6.6 earthquake). Results in Geophysical Sciences, 1–4, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.ringps.2020.100003>.
- Galadini F. & Galli P. 2000. Active Tectonics in the Central Apennines (Italy) – Input Data for Seismic Hazard Assessment. Natural Hazards, 22/3, 225–268.
- Galli P., Castenetto S., & Peronace E. 2017. The macroseismic intensity distribution of the 30 October 2016 earthquake in central Italy (Mw 6.6): Seismotectonic implications. Tectonics, 36, 2179–2191. <https://doi.org/10.1002/2017TC004583>.
- Gori S., Falcucci E., Atzori S., Chini M., Moro M., Serpelloni E., Fubelli G., Saroli M., Devoti R., Stramondo S., Galadini F., Salvi S., 2012. Constraining primary surface rupture length along the Paganica fault (2009 L'Aquila earthquake) with geological and geodetic (DInSAR and GPS) data. Ital. J. Geosci., 131, 3, 359-372.

- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>.
- Mantovani E., Viti M., Cenni N., Babbucci D., Tamburelli C., Baglione M., D'Intinosante V. 2015. Seismotectonics and present seismic hazard in theTuscany–Romagna–Marche–Umbria Apennines (Italy). *Journal of Geodynamics* 89 (2015) 1–14.
- Pantosti D. & Boncio P. Eds 2012. Understanding the April 6th, 2009 L'Aquila earthquake - the geological contribution", *Italian Journal of Geosciences*, Vol. 131 (3).
- Pierantoni P.P., Deiana G., Galdenzi S. 2013. Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy). *Italian Journal of Geosciences* 132, 3, 497-520.
- Regione Marche (2001) Progetti CARG e Obiettivo 5B. P.F. Informazioni Territoriali.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P. 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.
- Stemberk J., Dal Moro G.C., Stemberk J., Blahůt J., Coubal M., Košťák B., Zambrano M., Tondi E., 2019. Strain monitoring of active faults in the central Apennines (Italy) during the period 2002–2017. *Tectonophysics*, 750, 22-35, DOI:10.1016/j.tecto.2018.10.033.
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G. M., & Boschi E. 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(4), 1885–1911. <http://doi.org/10.1785/0120100130>.
- Tondi E., 2000. Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines. *Journal of Geodynamics*, 29, 517-534.
- Tondi E., Cello G. 2003. Spatiotemporal Evolution of the Central Apennines Fault System (Italy). *Journal of Geodynamics*, 36, 113-128.
- Tondi E., Chiaraluce L. and Roberts G. Eds. 2009. "Ten years after the Umbria-Marche earthquake". *Tectonophysics*, Vol. 476 (1-2).
- Tondi E., Volatili T., Pierantoni P.P. 2018. I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale: nuove prospettive per la valutazione della pericolosità sismica. *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n. 1/2018 ISSN 1591-5352.
- Tondi E., Jablonská D., Volatili T., Michele M., Mazzoli S., Pierantoni P.P. 2020. The Campotosto linkage fault zone between the 2009 and 2016 seismic sequences of central Italy: Implications for seismic hazard analysis. *GSA Bulletin* (2020)vh<https://doi.org/10.1130/B35788.1>
- Villani F., Civico R., Pucci S., Pizzimenti L., Nappi R., De Martini P.M. and the Open EMERGEO Working Group 2018. A database of the coseismic effects following the 30 October 2016 Norcia earthquake in Central Italy. *Sci. Data* 5:180049 doi: 10.1038/sdata.2018.49 (2018). DOI: 10.1038/sdata.2018.49.