

Ricostruzione Sisma 2016
Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Straordinario del Governo per la Ricostruzione Sisma 2016

Ordinanza n°83 del 10 luglio 2019 per la Ricostruzione finalizzata alla realizzazione di “Approfondimenti conoscitivi in zone di attenzione per faglie attive e capaci, individuate con gli studi di microzonazione sismica condotti ai sensi dell’Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017”

Ordinanza n°119 del 13 agosto 2021 finalizzata alla realizzazione della “Disciplina degli interventi in aree interessate da Faglie Attive e Capaci e da altri dissesti idro-geomorfologici”

Accordo di collaborazione scientifica INGV - Università dell’Insubria Fase 3 - Relazione di sintesi

Regione Lazio
Comuni di Rivodutri e Cantalice



SOMMARIO

1	Introduzione	4
1.1	Obiettivo e scopo delle indagini	4
1.2	Gruppo di lavoro	4
1.3	Attività svolte	5
2	Comune di Rivodutri	6
2.1	Sintesi dei risultati ottenuti in Fase 2	6
2.1.1	Settore di Apoleggia	6
2.1.2	Settore di Piedicolle	6
2.1.3	Settore di Villaggio Santa Maria	7
2.2	Programma di scavo delle trincee	7
2.3	Datazioni al radiocarbonio	8
2.4	Comune di Rivodutri – Sito Apoleggia	9
2.4.1	Trincea Apoleggia T1	9
2.4.2	Trincea Apoleggia T2	10
2.5	Comune di Rivodutri - Sito Piedicolle	12
2.5.1	Trincea PDC	13
2.6	Comune di Rivodutri - Sito Villaggio Santa Maria	14
2.6.1	Trincea VSM	14
2.7	Comune di Rivodutri - Sito Campigliano	15
2.7.1	Trincea CAM	16
3	Comune di Cantalice	20
3.1	Sintesi dei risultati di Fase 2	20
3.1.1	Settore di Cruciano	20
3.1.2	Settore di San Liberato	20
3.2	Programma di scavo delle trincee	22
3.3	Datazioni al radiocarbonio	22
3.4	Comune di Cantalice – Sito “Cruciano”	23
3.4.1	Trincea Cruciano T1	24
3.4.2	Trincea Cruciano T2	24
3.4.3	Trincea Cruciano T3	26
3.5	Comune di Cantalice - Sito “I cucciolosi”	27
3.5.1	Trincea “I Cucciolosi” (CUC)	27
4	Definizione FAC, zone di suscettibilità e di rispetto	29
4.1	Comune di Rivodutri	31

4.1.1	Segmento 1: Apoleggia – Santa Susanna	32
4.1.2	Segmenti 2-3: Apoleggia antitetica	33
4.1.3	Segmento 4: Piedicolle Nord	33
4.1.4	Segmenti 5-6-7: Piedicolle	33
4.1.5	Segmenti 8, 9, 10 e 11: Villaggio Santa Maria	34
4.2	Comune di Cantalice	36
4.2.1	Segmenti 12 e 13: San Liberato “La Croce”	39
4.2.2	Segmenti 14, 15, 16, 17 e 18: San Liberato “Case Strinati” e “Collemare”	39
4.2.3	Segmenti 19, 20, 21, 22 e 23: San Liberato “Cruciano”	40
5	Bibliografia	40

1 INTRODUZIONE

1.1 OBIETTIVO E SCOPO DELLE INDAGINI

L'Ordinanza n° 83 del Commissario straordinario del Governo per la ricostruzione 2016 dispone gli studi di approfondimento di alcune Faglie Attive e Capaci (FAC) presenti sul territorio del "cratere sismico" 2016 al fine di confermare, o meno, la loro presenza e, laddove ne sussistano i presupposti, di definire l'esatta geometria spaziale dell'elemento strutturale. Tale approfondimento consente, altresì, di ridefinire l'ampiezza e la tipologia delle instabilità connesse con la presenza di FAC (da Zone di Attenzione si può giungere fino alla definizione delle Zone di Rispetto), con conseguente rimodulazione dei vincoli ad esse connessi.

La presente relazione contiene la sintesi dei risultati ottenuti nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica di Fase 3 firmato il 05 Aprile 2022 tra INGV e Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria. Tale accordo ha come scopo *"l'aggiornamento degli studi di microzonazione sismica a seguito degli approfondimenti dedicati alle zone delle faglie attive e capaci presenti nei territori dei comuni di Cantalice e di Rivodutri in provincia di Rieti"*.

La Fase 3 rappresenta la prosecuzione degli studi condotti nel 2020-2021, che avevano comportato le seguenti attività:

- Fase 1: distinzione delle FAC meritevoli di approfondimento 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: raccolta di tutti gli elementi informativi specifici utili per l'identificazione di ciascuna FAC (o tratto di FAC); Esecuzione di indagini specifiche; Configurazione di un quadro di sintesi per ciascuna FAC.

1.2 GRUPPO DI LAVORO

Unilnsubria si è avvalsa, nel corso dell'intero programma di studio (Fasi 1, 2 e 3), della collaborazione di personale afferente a ISPRA e INGV, con l'ausilio di Alba Peiro (dottoranda Universidad Zaragoza in visita presso Unilnsubria) e di Paolo Lorenzoni (Pedologo, Consulente Professionale). La presente relazione è stata quindi redatta dal seguente Gruppo di Lavoro:

- Alessandro Maria Michetti, Franz Livio, Maria Francesca Ferrario, Roberto Gambillara, Gilberto Binda, Emanuele Scaramuzzo, Giorgio Tringali, Marco Pizza, Argelia Silva Fragoso, Frank Thomas, Aurora Rossi (Università dell'Insubria)
- Alba Peiro (Universidad Zaragoza)
- Marco Caciagli, Vincenzo Sapia, Valerio Materni, Stefano Urbini, Rosa Nappi, Rosella Nave (INGV)
- Valerio Comerci (ISPRA)

Inoltre, hanno collaborato i professionisti responsabili della MS3 per i due Comuni interessati, Dott. Geol. Francesco Chiaretti e Dott. Geol. Domenico Marchetti; per le analisi pedostratigrafiche è stato essenziale il contributo del Dr. Paolo Lorenzoni, ex ricercatore dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la difesa del Suolo di Rieti; della Prof. Kathleen Nicoll (University of Utah, Fullbrighth Fellowship in Italia) e del Prof. Andrea Zerboni (Università degli studi di Milano Statale), esperti in stratigrafia e pedologia.

1.3 ATTIVITÀ SVOLTE

Tutte le 3 Fasi della collaborazione con INGV sono state realizzate secondo i criteri esposti nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (2015) Versione 1.0” a cura di Fabrizio Brammerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC), Margherita Giuffrè (CNR – IGAG), Giuseppe Naso (DPC), Edoardo Peronace (CNR – IGAG), approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome nella seduta del 7 maggio 2015.

In particolare, in Fase 3, nei mesi di giugno e luglio 2022, sono state realizzate 4 trincee paleosismologiche (3 nel Comune di Rivodutri e 1 nel Comune di Cantalice), che hanno permesso di rispondere alle esigenze conoscitive e di approfondimento emerse nelle precedenti Fasi. Inoltre, le datazioni al radiocarbonio hanno permesso di vincolare cronologicamente i sedimenti coinvolti nella deformazione tettonica. Infine, l’interpretazione in chiave critica delle indagini svolte nelle fasi precedenti e delle nuove indagini ha consentito di elaborare la versione finale delle FAC e delle relative zone di suscettibilità (ZS) e di rispetto (ZR).

Si ricorda che nelle Fasi precedenti si era giunti ad una preliminare definizione delle FAC, ZR e ZS, pur rimanendo alcune lacune conoscitive la cui risoluzione richiedeva ulteriori indagini. Colmare queste lacune è appunto lo scopo delle trincee realizzate in Fase 3. Per la descrizione di dettaglio del rilevamento geologico e delle indagini geofisiche si rimanda alle relazioni e allegati consegnate in Fase 2 (Allegato 5 - Quaderno delle indagini - osservazioni di terreno; Allegato 6 - risultati geofisica).

Nella presente relazione vengono illustrati i risultati delle trincee paleosismologiche (stratigrafia e tettonica), i vincoli cronologici forniti dalle datazioni e l’interpretazione complessiva, integrando i dati di nuova acquisizione con quelli già ottenuti nelle fasi precedenti. Durante la Fase 3 sono state realizzate tutte le indagini previste; l’integrazione dei dati nella banca dati MS3 secondo gli standard vigenti sarà a cura di CNR IGAG, cui sono stati consegnati i dati in formato *shapefile*. Per facilitare la lettura, tutti i segmenti di FAC sono numerati in ordine progressivo; per coerenza con i report delle Fasi precedenti, si è mantenuta la stessa numerazione, anche laddove alcuni tratti di FAC sono stati eliminati nel passaggio tra Fase 2 e Fase 3; pertanto, la numerazione finale rispecchia l’avanzamento delle conoscenze ottenute.

Il gruppo di lavoro, al fine dell’ottenimento di risultati secondo le tempistiche previste, ed anche in considerazione della situazione pandemica, ha eseguito alcune trincee esplorative già in Fase 2 (primavera 2021). La datazione dei sedimenti ha richiesto tempistiche più lunghe, pertanto tali dati non erano disponibili al momento della chiusura di Fase 2; di seguito verranno ripresi i risultati preliminari e integrati con le datazioni e le risultanze delle nuove indagini, al fine di fornire il quadro complessivo delle conoscenze attuali.

Tenendo conto delle attività ed indagini svolte in tutte le fasi, i nuovi dati raccolti sono così riassumibili:

- Rilevamento geologico originale (Fase 2): 30 punti di osservazione per il Comune di Rivodutri e 66 punti di osservazione per il Comune di Cantalice.
- Indagini geofisiche (Fase 2):
 - o 23 profili di tomografia elettrica (Electrical Resistivity Tomography - ERT), con configurazioni dipolo-dipolo e Wenner-Schlumberger;
 - o 1 profilo di tomografia geoelettrica capacitiva (Capacitive-Coupled Resistivity Tomography – CCR), usando il sistema OhmMapper;
 - o 25 profili georadar (Ground Penetrating Radar – GPR).
- 9 trincee paleosismologiche: 5 nel Comune di Rivodutri, 4 nel Comune di Cantalice.
- 35 datazioni radiometriche dei campioni prelevati in trincea: 21 nel Comune di Rivodutri, 14 nel Comune di Cantalice. Le analisi sono state svolte dai laboratori CEDAD (33 campioni) e Beta Analytic (2 campioni).

2 COMUNE DI RIVODUTRI

2.1 SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI IN FASE 2

2.1.1 Settore di Apoleggia

La Figura 1 presenta lo stato conoscitivo consegnato in Fase 2 relativamente alla traccia e tipologia di FAC (FAC_a, FAC_b). Nel settore di Apoleggia sono stati riconosciuti diversi tratti di FAC_a (segmenti 1, 2, 3 e 4 in Figura 1), la cui traccia è vincolata da elementi di carattere morfo-tettonico, linee geofisiche e da 2 trincee paleosismologiche. I segmenti 2 e 3 rappresentano delle tracce di faglia antitetiche rispetto al segmento 1 e sono stati vincolati su base geofisica. La traccia del segmento 4 raffigurato in Figura 1 è vincolata dagli affioramenti di substrato cataclasato e di zone di deformazione con clivaggio pervasivo alla scala centimetrica.

In Fase 3 non sono state realizzate nuove indagini, ma si sono ottenuti i risultati delle datazioni AMS, che confermano sostanzialmente il quadro presentato alla chiusura della Fase 2. Si rimanda al successivo Capitolo 2.4 per la descrizione delle trincee e i relativi vincoli cronostratigrafici.

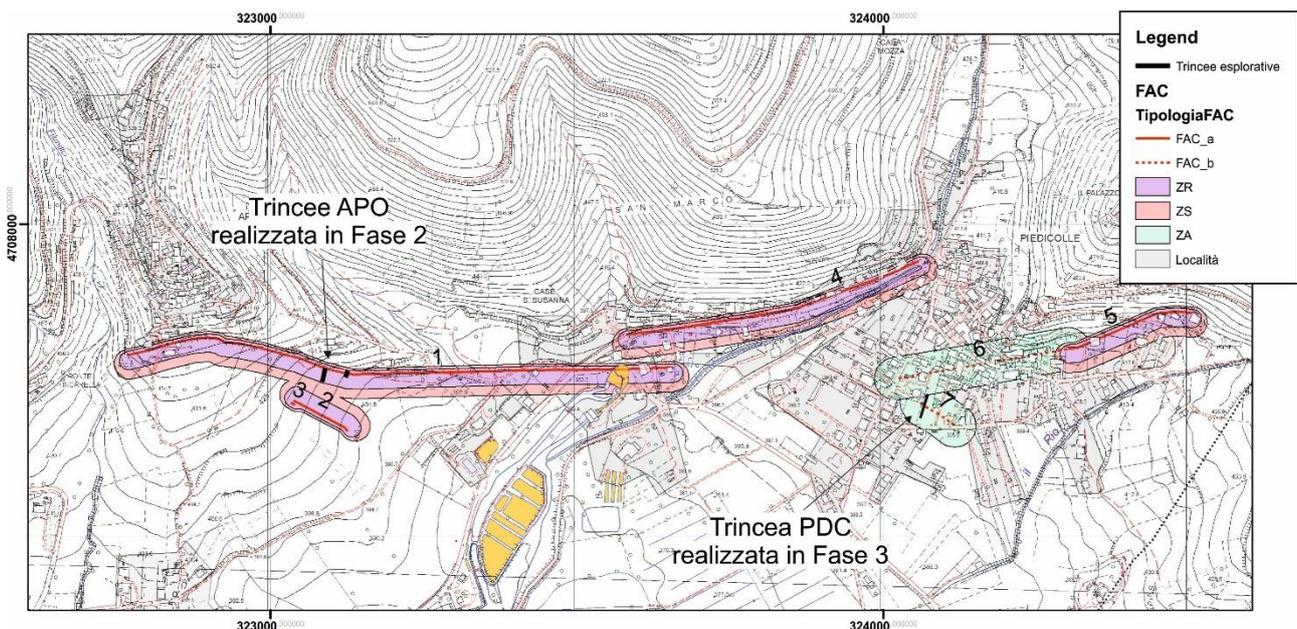


Figura 1: Traccia delle faglie nel settore di Apoleggia – Piedicolle, così come consegnate in Fase 2; è indicata anche l'ubicazione delle trincee realizzate in Fase 2 e 3.

2.1.2 Settore di Piedicolle

La zona di Piedicolle si presenta fortemente urbanizzata, pertanto gli affioramenti sono sporadici e l'ubicazione delle indagini geofisiche e paleosismologiche risente di pesanti vincoli dettati dall'assetto urbano locale.

Nell'area urbana di Piedicolle è stata mappata una faglia con direzione circa O-E. La sua porzione occidentale (segmento 5 in Figura 1) è meglio vincolata ed è pertanto stata categorizzata come FAC_a: infatti, la faglia è visibile in affioramento in corrispondenza di un'abitazione privata ed è stata investigata con una trincea paleosismologica da Michetti et al. (1995).

Verso ovest, i segmenti 6 e 7 di Figura 1 erano stati tentativamente indicati sulla base delle indagini georadar e geoelettriche condotte in Fase 2. Veniva comunque messo in evidenza che *“ulteriori indagini sono necessarie per poter verificare la posizione e l’attività della faglia: si prevede infatti lo scavo di una trincea paleosismologica e la datazione degli eventuali depositi fagliati”*.

Questo settore è quindi stato oggetto dello scavo di una trincea in Fase 3 (posizione indicata in Figura 1), per la cui descrizione si rimanda al successivo Capitolo 2.5.

2.1.3 Settore di Villaggio Santa Maria

La Figura 2 presenta lo stato conoscitivo consegnato in Fase 2 relativamente alla traccia e tipologia di FAC (FAC_a, FAC_b).

In prossimità della località Villaggio Santa Maria sono stati identificati due tratti di faglia che nel complesso formano un graben di circa 50 m di larghezza. La faglia immergente a sud viene indicata come Segmento 8 nel tratto occidentale e Segmento 9 nel tratto orientale, mentre la traccia antitetica, immergente a nord, è vincolata per brevi tratti su base geofisica e viene indicata come composta dai Segmenti 10 e 11. A conclusione della Fase 2 veniva messa in luce la necessità di ulteriori approfondimenti per meglio vincolare la traccia di faglia; e la necessità di datare i sedimenti eventualmente coinvolti nella deformazione. Per questo motivo, in Fase 3 sono state realizzate due trincee paleosismologiche (VSM: Villaggio Santa Maria; CAM: Campigliano), per la cui descrizione si rimanda ai successivi Capitoli 2.6 e 2.7.

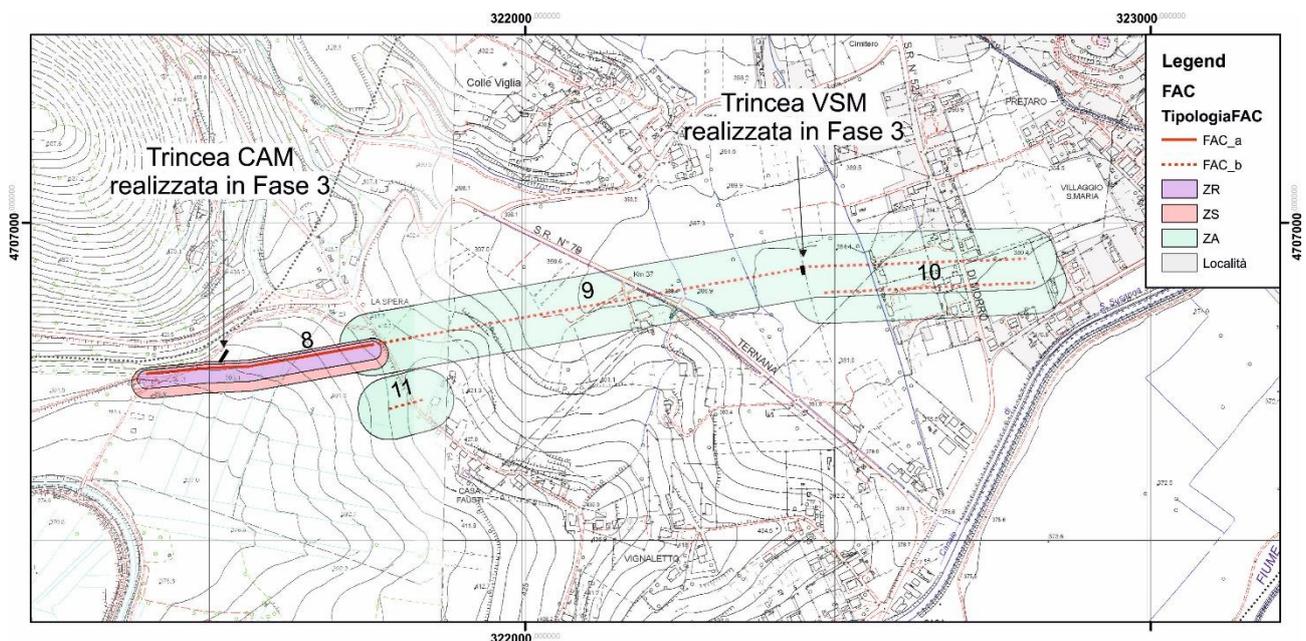


Figura 2: Traccia delle faglie nel settore di Villaggio Santa Maria, così come consegnate in Fase 2; è indicata anche l’ubicazione delle trincee CAM e VSM realizzate in Fase 3.

2.2 PROGRAMMA DI SCAVO DELLE TRINCEE

Nel corso delle indagini di Fase 2 e Fase 3 sono state realizzate un totale di n. 5 trincee esplorative (Tabella 1). Tutte le trincee sono state scavate con un escavatore meccanico, con pareti verticali o a gradoni; la profondità è variabile e raggiunge i 2-3 m. Le operazioni generalmente eseguite includono:

- Messa in sicurezza della trincea: posizionamento di armature di sostegno, ove necessario, per garantire la stabilità delle pareti; posizionamento di una rete esterna per evitare intrusioni.
- Ripulitura delle pareti.

- Realizzazione di un reticolato metrico e mappatura delle pareti (log stratigrafico su carta millimetrata in scala 1:50 o 1:100)
- Rilievo delle pareti con iPad equipaggiato con Lidar e rilievo fotografico con fotocamera Reflex finalizzato alla realizzazione di un foto-mosaico. In alcuni casi, posizionamento dei vertici delle trincee e vincolo tridimensionale dei modelli tridimensionali generati, attraverso l'acquisizione delle coordinate di punti di controllo a terra (Ground Control Points GCPs) tramite GNSS differenziale (correzione di tipo *Real Time Kinematics* - RTK).
- Prelievo di campioni di carboni o materiale organico da sottoporre a datazione; prelievo di campioni di sedimento *in toto* (4-500 g); in alcuni casi, prelievo di campioni per analisi su sezioni sottili di suolo e per datazioni OSL.
- Descrizione delle unità stratigrafiche e dei paleosuoli, ove presenti. Identificazione e descrizione delle strutture deformative (dove incontrate), con relativa interpretazione in chiave paleosismologica.

Tabella 1: Ubicazione e denominazione delle trincee effettuate nel Comune di Rivodutri.

FASE	Ubicazione	Trincea	Data realizzazione
2	Apoleggia	APO T1	2-5 marzo 2021
2	Apoleggia	APO T2	2-5 marzo 2021
3	Piedicolle	PDC	8-20 maggio 2022
3	Villaggio Santa Maria	VSM	8-20 maggio 2022
3	Campigliano	CAM	8-20 maggio 2022

Di seguito viene riportata una tabella con i risultati delle datazioni al radiocarbonio (Capitolo 2.3); si procede poi alla descrizione delle singole trincee paleosismologiche; per ciascuna viene presentato un foto-mosaico con indicazione delle unità e posizione dei campioni. Le informazioni raccolte grazie alle trincee esplorative sono confluite nella fase di interpretazione, per definire con precisione la traccia delle faglie (certa / incerta) e il grado di attività (attiva / potenzialmente attiva).

Le unità stratigrafiche descritte e la loro codifica sono valide per ogni singola trincea. Le correlazioni tra unità di diverse trincee sono state confermate a valle dei risultati delle datazioni.

2.3 DATAZIONI AL RADIOCARBONIO

Nel Comune di Rivodutri sono stati prelevati un totale di n. 21 campioni da sottoporre a datazioni al radiocarbonio; n. 8 provengono dalla trincea Apoleggia T2, 4 dalla trincea Piedicolle, n. 4 dalla trincea Villaggio Santa Maria e n. 5 dalla trincea Campigliano. In Tabella 2 vengono presentati i risultati delle datazioni radiometriche. La posizione dei campioni è segnata sui log nelle figure successive. La calibrazione è stata effettuata con le curve INTCAL20 con il programma OxCal ver 3.10.

Tabella 2: Datazioni al radiocarbonio effettuate dai laboratori CEDAD (codici LTL) sui campioni raccolti nelle trincee paleosismologiche realizzate nel Comune di Rivodutri; * campione in elaborazione – la datazione verrà fornita con un addendum alla presente relazione.

Trincea	ID	ID LAB	Unità	Materiale	Datazione (years BP)	Datazione calibrata (livello di confidenza 2s)
APO T2	C01 ovest	LTL21211	U1		223 ± 45 BP	1522AD (5.9%) 1574AD 1625AD (29.0%) 1698AD 1722AD (38.4%) 1814AD 1835AD (3.8%) 1882AD 1910AD (18.3%) ...
APO T2	C03 ovest	LTL21259	U2		10947 ± 100	11127BC (95.4%) 10795BC

APO T2	C04 ovest	LTL21213	U3		6670 ± 45 BP	5664BC (90.4%) 5512BC 5505BC (5.0%) 5481BC
APO T2	C06 ovest	LTL21214	U5		4404 ± 45 BP	3327BC (14.9%) 3225BC 3183BC (3.0%) 3154BC 3110BC (77.5%) 2907BC
APO T2	C07 ovest	LTL21215	U4		4868 ± 45 BP	3767BC (6.6%) 3721BC 3715BC (69.5%) 3603BC 3588BC (19.3%) 3528BC
APO T2	C08 ovest	LTL21216	U4		4955 ± 45 BP	3914BC (5.8%) 3876BC 3804BC (89.6%) 3641BC
APO T2	C09 ovest	LTL21217	U5		4700 ± 45 BP	3625BC (17.3%) 3560BC 3533BC (78.1%) 3370BC
APO T2	C11 est	LTL21218	U1a		After 1950 AD	
CAM	CAMW02*	LTL22568	U3	Bulk	-	-
CAM	CAMW04*	LTL22569	U3	Bulk	-	-
CAM	CAMW06	LTL22570	U2	Bulk	26571 ± 100	29147BC (87.0%) 28749BC 28666BC (8.4%) 28486BC
CAM	CAMW08	LTL22571	U2	Bulk	17734 ± 65	19879BC (95.4%) 19280BC
CAM	CAMW10	LTL22572	U2	Bulk	18557 ± 75	20739BC (95.4%) 20353BC
VSM	VSME03*	LTL22576	U1	Carbone	-	-
VSM	VSME04*	LTL22577	U1	Carbone	-	-
VSM	VSMBULK02*	LTL22578	U2	Bulk	-	-
VSM	VSMBULK03*	LTL22579	U3	Bulk	-	-
PDC	PDCE01*	LTL22580		Bulk	-	-
PDC	PDCE03*	LTL22581	U4	Carbone	-	-
PDC	PDCE05*	LTL22582	U3	Carbone	-	-
PDC	PDCW03*	LTL22583	U2	Carbone	-	-

2.4 COMUNE DI RIVODUTRI – SITO APOLEGGIA

Al sito di Apoleggia sono state scavate n. 2 trincee esplorative (Apoleggia T1 e Apoleggia T2). La trincea Apoleggia T1, di tipo puramente esplorativo, non è stata rilevata in dettaglio per problemi connessi alla stabilità delle pareti. Lungo la trincea Apoleggia T2 sono state invece condotte le indagini necessarie ad una chiara definizione delle unità stratigrafiche e delle deformazioni registrate. Il posizionamento delle trincee si è basato anche sui risultati delle indagini geofisiche condotte nel sito.

Entrambe le trincee non si sono spinte fino a escavare parzialmente gli ultimi affioramenti di calcare nel letto della faglia, presenti pochi metri a nordest, per via del passaggio, segnalato dai tecnici del Comune di Rivodutri, di servizi fognari alla base della scarpata di faglia in roccia.

2.4.1 Trincea Apoleggia T1

La trincea (ubicazione in Figura 1) è stata scavata per una lunghezza di 24 metri ed un approfondimento massimo di 3 metri. La trincea è stata fotografata ma non è stato approntato un reticolato metrico di riferimento per problemi connessi alla stabilità delle pareti. Il limite NE della trincea si ferma a pochi metri dalle pareti in roccia, ultimi affioramenti del substrato roccioso e punto di passaggio della faglia bordiera.

2.4.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 3).

Tabella 3: Unità stratigrafiche della Trincea Apoleggia T1.

Codice Unità	Descrizione	
U1	α	argille biancastre o grigio chiare concrezionate a carbonato di calcio.
	β	argille grigio chiaro non concrezionate
	γ	suolo rosso marrone e mattone troncato al tetto da una superficie erosiva.
U2	detrito di versante con prevalenza di selce spigolosa. L'unità va in chiusura verso sud, sulla superficie erosiva.	
U3	Breccia calcarea sciolta (deposito colluviale) con prevalenza di selce spigolosa e pochi clasti calcarei. L'unità va in chiusura verso sud. Poggia su U2 e sulla superficie erosiva.	
U4	Breccia calcarea sciolta (deposito colluviale) con prevalenza di clasti calcarei e resti di mattone. Moderno (?).	

In corrispondenza della progressiva 13.7 della trincea si nota la presenza di una buca riempita di blocchi di calcare di varie pezzature. È uno scavo antropico predisposto per il drenaggio delle acque. Alla progressiva 24 metri, sull'estremità NE della trincea, è stato eseguito un sondaggio esplorativo con carotatore manuale, che ha attraversato la breccia calcarea sciolta di Unità 2 fino a toccare il substrato calcareo alla profondità di 1.8 m al di sotto del fondo della trincea.

2.4.1.2 Tettonica

La trincea Apoleggia T1 permette di vincolare il passaggio della faglia bordiera, identifica la presenza di un'anticlinale del tipo di *rollover*, la cui geometria è compatibile con quella della faglia bordiera ed esclude il passaggio di ulteriori elementi fragili lungo il suo tracciato.

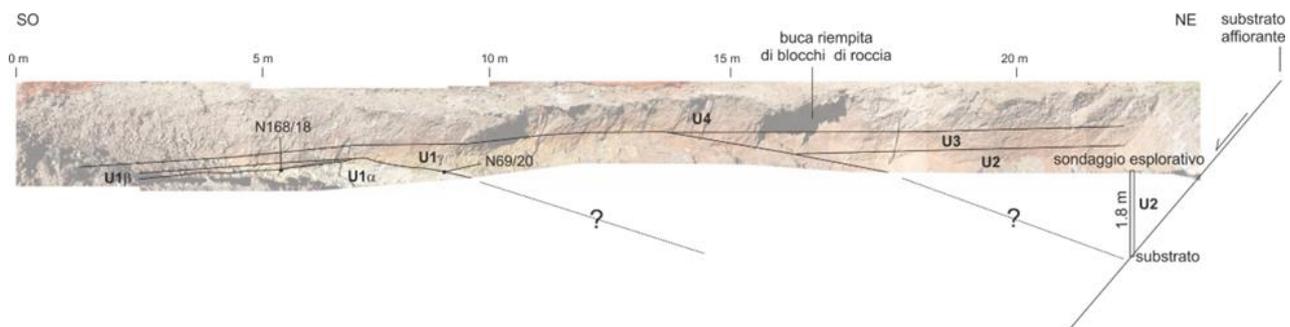


Figura 3: Fotomosaico e Log stratigrafico speditivo per la trincea Apoleggia T1; i codici delle Unità (Tabella 3) sono riportati in nero. Viene riportato anche il sondaggio esplorativo scavato al margine NE della trincea ed i vincoli da esso derivati alle geometrie in profondità.

2.4.2 Trincea Apoleggia T2

La trincea è stata scavata per una lunghezza di 13 metri ed un approfondimento massimo di 2.5 metri. È stato acquisito un Log della parte centrale della trincea, in corrispondenza di un piano di faglia normale connesso alla faglia bordiera. Una volta approntato un grigliato di riferimento su entrambe le parteti della trincea, il Log è stato acquisito sia speditivamente con tecnica tradizionale, sia dettagliatamente tramite costruzione di modelli tridimensionali da fotogrammetria (tecnica SFM, *Structure from Motion*) e con acquisizione LiDAR.

2.4.2.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 4).

Tabella 4: Unità stratigrafiche della Trincea Apoleggia T2.

Codice Unità	Descrizione
U1	sabbie fluviali medie, limose e debolmente argillose, color giallo 10YR 7/4, massive. Verso l'alto passanti ad una breccia calcarea a sostegno di matrice troncata dalla base di un canale erosivo riempito da un detrito colluviale più grossolano (Unità 1a).
U2	breccia calcarea sciolta (deposito colluviale); alla base più grossolana con clasti spigolosi in matrice limo-argillosa marrone scuro 2.5YR 3/2. Verso l'alto brecciolina millimetrica con rari clasti centimetrici immersi in una identica matrice.
U3	breccia calcarea sciolta (deposito colluviale) in matrice marrone rossastra (2.5YR 3/4); presenza dell'orizzonte illuviale di un suolo troncato al tetto da una superficie erosiva.
U4	breccia calcarea sciolta (deposito colluviale); alla base più grossolana con clasti spigolosi in matrice limo argillosa marone scuro 5YR 2.5/1.
U5	breccia calcarea sciolta (deposito colluviale); alla base più grossolana con clasti spigolosi in matrice limo argillosa marone nerastro con rari frammenti laterizi. Moderno (?).

2.4.2.2 Tettonica

La trincea Apoleggia T2 identifica un piano di faglia, connesso con quello della faglia bordiera del bacino, posto a pochi metri dalla stessa. Da una prima analisi appare evidente che questa struttura ha registrato diversi movimenti, contemporaneamente alla deposizione delle unità da U2 ad U5.

Un primo evento di dislocazione superficiale è registrato dalle unità U2 e U3, la cui messa in posto è da di poco successiva ad un evento di fagliazione superficiale e da ricondursi ad una fase di generalizzata instabilità dei versanti, che hanno portato all'accumulo verso valle di spesse coltri colluviali.

Il tetto ed alcuni livelli all'interno di U2 sono localmente piegati e raddrizzati in corrispondenza della zona di faglia mentre la base di U3 appare generalmente in assetto debolmente inclinato verso valle. Da questo punto di vista, la deposizione di U3 è quindi assimilabile ad un *colluvial wedge* in facies fine che si sarebbe messo in posto in seguito ad un primo movimento della faglia. Le datazioni di 10947 ± 100 BP e 6670 ± 45 BP forniscono la finestra temporale entro la quale potrebbe essere avvenuto il primo movimento. Molto probabilmente, visto quanto esposto sopra, il movimento sarebbe avvenuto in un'età più prossima al limite superiore della finestra temporale. L'ammontare del rigetto di questo primo movimento non è stimabile esattamente, in quanto le unità stratigrafiche sono ben osservabili solo nel tetto della faglia. Si può comunque stimare un valore minimo di 15 cm, sulla base della morfologia sepolta della paleoscarpata di faglia prodotta da questo primo evento di dislocazione e dell'anomalo piegamento di alcuni orizzonti interni ad U2.

L'unità U3 è interessata da un marcato profilo di alterazione ed è troncata al tetto da una superficie erosiva che taglia sia il profilo alterato di U3 che gli strati delle unità inferiori (U2 e U1). Tale superficie erosiva è coinvolta in un piegamento localizzato, nella zona di faglia, insieme alla base tetto della sovrastante U5. Infine, il tetto di U5 sigilla l'intera sequenza deformata. La deformazione della superficie erosiva e delle unità sovrastanti, vincolano un secondo movimento di rigetto minimo di 22 cm. L'età di questo movimento è compresa riferibile all'inizio della deposizione dell'unità U5: tra 4700 ± 45 BP e 4404 ± 45 BP.

I risultati stratigrafici e paleosismologici ottenuti nel sito di Apoleggia sono in buon accordo con quanto osservato da Michetti et al. (1995) nel vicino sito di Piedicolle. In particolare, la stratigrafia dei depositi di versante olocenici è correlabile con le unità descritte in letteratura (vedi la revisione completa della bibliografia disponibile in Brunamonte et al., 2022).

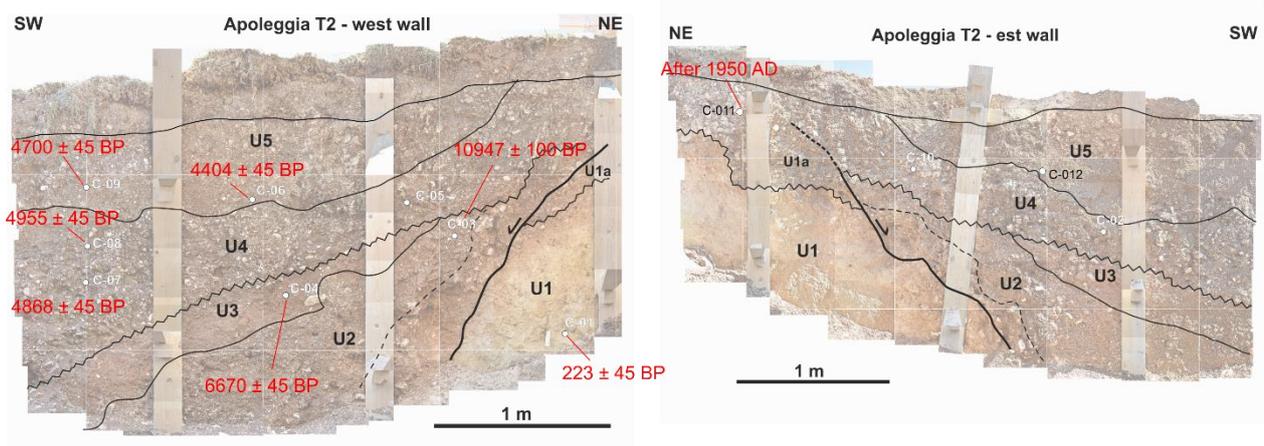


Figura 4: Foto-mosaico e Log stratigrafico della trincea Apoleggia T2; i codici delle Unità (Tabella 4) sono riportati in nero ed in bianco è indicata la posizione dei campioni raccolti per datazioni al C14.

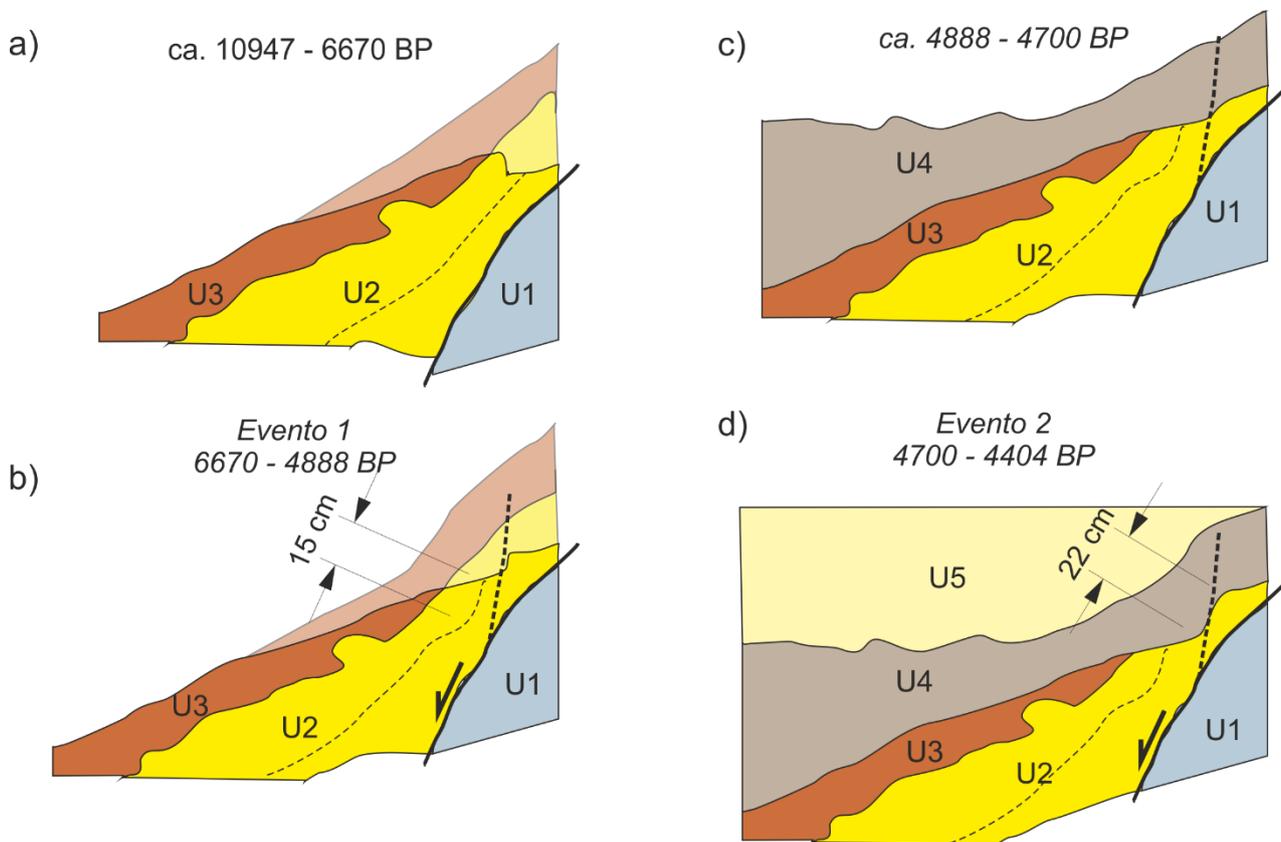


Figura 5: retro-deformazione della trincea Apoleggia T2 e ricostruzione dei paleo-eventi riconosciuti.

2.5 COMUNE DI RIVODUTRI - SITO PIEDICOLLE

Nel sito di Piedicolle è stata scavata 1 trincea paleosismologica (PDC), al fine di rispondere alle esigenze conoscitive emerse in Fase 2; in particolare, era necessario caratterizzare i segmenti 6 e 7 indicati in Figura 1, che erano stati vincolati su base puramente geofisica. L'ubicazione della trincea è stata fortemente condizionata dall'assetto locale, altamente urbanizzato.

2.5.1 Trincea PDC

La trincea (ubicazione in Figura 1) è stata scavata per una lunghezza di 14 metri ed un approfondimento massimo di 3 metri. Si è provveduto alla realizzazione di un *grid* e di un *log* stratigrafico, così come alla descrizione degli orizzonti e delle strutture deformative, e al prelievo di campioni da sottoporre a datazione al radiocarbonio.

2.5.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 6).

Tabella 5: Unità stratigrafiche della Trincea di Piedicolle.

Codice Unità	Descrizione
U4	Deposito alluvionale e colluviale rimaneggiato con frequente presenza di resti di mattoni, ceramiche e abbondanti apparati radicali in situ. La matrice è costituita da sabbia fine e limo con clasti fino a max. 1 cm a supporto di matrice (7.5YR 5/3).
U3	Suolo di colore rossastro (7.5YR 5/3) ricco in argilla illuviale e patine di Fe-Mn. L'unità è delimitata al tetto da una superficie erosiva.
U2	Unità costituita da depositi alluvionali a gradazione diretta; lenti di sabbie e ghiaie discontinue in matrice sabbioso argillosa. Rapporti stratigrafici di tipo <i>cut & fill</i> . La parte superiore (U2b ; 7.5YR 4/3) presenta notevole bioturbazione ed apparati radicali in posto. La base è marcata da un notevole aumento dell'argilla di origine illuviale. Al top l'unità termina con un paleosuolo (U3) La sub-unità inferiore (U2a ; 7.5YR 5/4) è caratterizzata da assenza di bioturbazione e presenza di rari frammenti di selci scheggiate.
U1	Deposito alluvionale grossolano, a gradazione diretta, costituita da lenti di ghiaie e sabbie in rapporto stratigrafico di tipo <i>cut & fill</i> . Verso l'alto si riscontra un aumento della frazione argillosa ed un colore marcatamente rossastro (7.5YR 4/4) con presenza di patine di Fe-Mn, connesso alla presenza di un orizzonte ridotto di un paleosuolo.

2.5.1.2 Tettonica

La sezione esposta nella trincea esplorativa non mostra alcuna evidenza di deformazioni tettoniche localizzate distribuite. La giacitura degli strati, debolmente immergente verso sud, è compatibile con l'originale orientazione primaria degli stessi, in un ambiente deposizionale di conoide alluvionale grossolano, nel suo settore apicale. Tutti i contatti osservati e le relazioni di taglio reciproco sono compatibili con quelle riconducibili alla sovrapposizione verticale di corpi canalizzati.

Si esclude quindi la presenza di deformazioni tettoniche più recenti del più antico livello nella serie esposta (i.e., Olocene, sulla base della presenza di selci scheggiate di probabile attribuzione Neolitica).

Le discontinuità geofisiche osservate nelle indagini GPR e ERT possono essere ricondotte alla presenza di scavi e riempimenti artificiali a scopo irriguo, nel primo metro della stratigrafia.

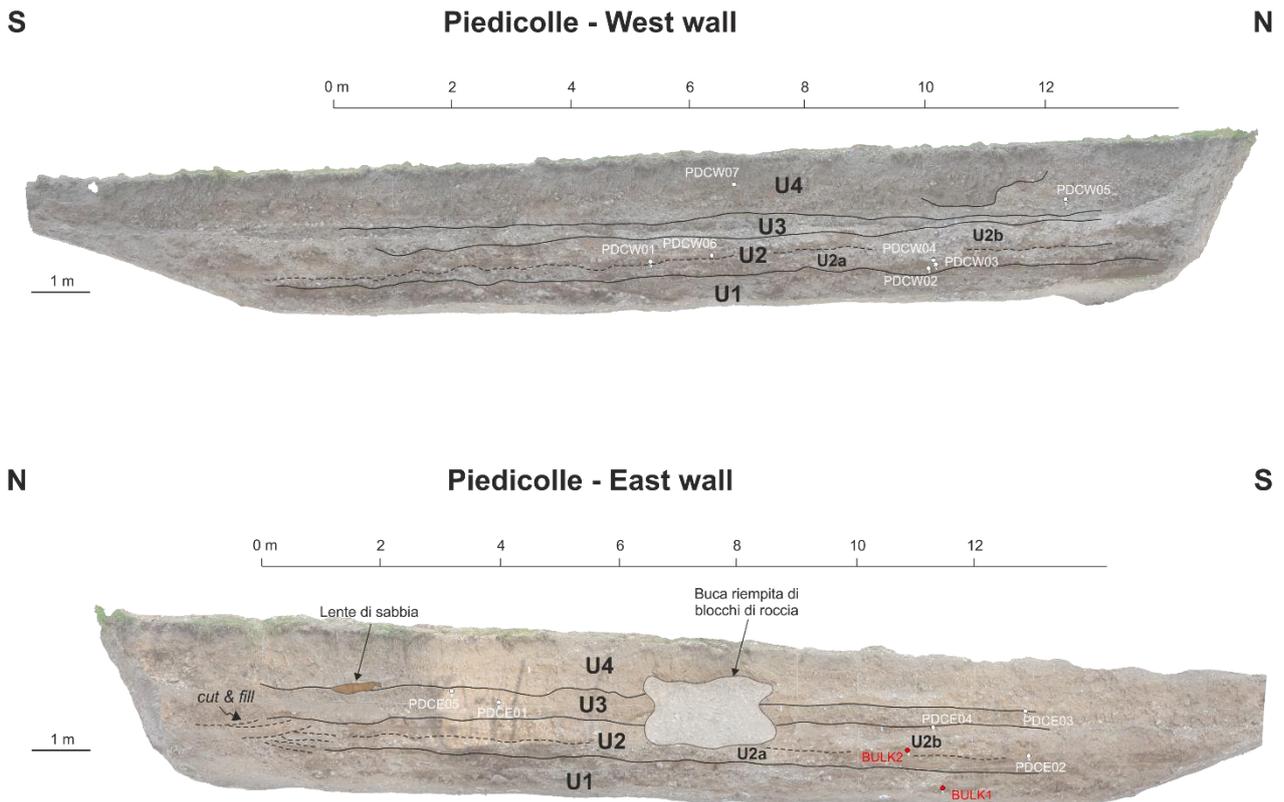


Figura 6: Orto-fotomosaico, log stratigrafico speditivo e posizione dei campioni raccolti nella trincea di Piedicolle; i codici delle Unità (Tabella 5) sono riportati in nero.

2.6 COMUNE DI RIVODUTRI - SITO VILLAGGIO SANTA MARIA

Nel sito di Villaggio Santa Maria è stata scavata 1 trincea paleosismologica (VSM), al fine di caratterizzare i lineamenti identificati in Fase 2 su base geofisica (Figura 2), vincolando la posizione della traccia di faglia.

2.6.1 Trincea VSM

La trincea è stata scavata per una lunghezza di 18 metri ed un approfondimento massimo di 3 metri. Sono state condotte le indagini necessarie ad una chiara definizione delle unità stratigrafiche e delle deformazioni registrate sulla parete Est della trincea stessa.

2.6.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 7).

La sezione esposta dalla trincea esplorativa è costituita da sedimenti prevalentemente argillosi e limosi intercalati a livelli clastici grossolani. La serie immerge molto debolmente e con regolarità verso Sud. Le unità sono ascrivibili a dei sedimenti di conoide alluvionale, in posizione distale, intercalati a delle spesse coltri colluviali fini. Il ritrovamento di resti ceramici e di mattone fino alla base della serie testimonia un alto tasso di sedimentazione anche in tempi storici.

Tabella 6: Unità stratigrafiche della Trincea di Villaggio Santa Maria.

Codice Unità	Descrizione
U3	Colluvio e suolo bioturbato caratterizzato da matrice argillosa e clasti di calcare a dimensione variabile fino a massimo 20 cm. La struttura è a supporto di matrice e i clasti sono da arrotondati a spigolosi. Colore 7.5YR 4/3

U2	Deposito con clasti di dimensione variabile (fino a 15 cm), poco organizzato e prevalentemente caotico. L'unità è clasto-sostenuta con poca matrice sabbiosa, nel complesso <i>fining-upward</i> ; i clasti di calcare sono sub-arrotondati. Le caratteristiche sedimentologiche e tessiture indicano un deposito di tipo colata detritica. Non sono stati ritrovati materiali di origine antropica. Colore 7.5YR 4/4
U1	Dalla base, matrice di argilla bruna con inclusi frequenti clasti calcarei da sub-angolari ad angolari spigolosi e alcuni frammenti di mattone. Il deposito è a supporto di matrice, le dimensioni dei clasti variano da pochi millimetri fino a blocchi isolati di 15 cm (media 5 cm). Colore 7.5YR 5/2

2.6.1.2 Tettonica

La sezione esposta nella trincea esplorativa non mostra alcuna evidenza di deformazioni tettoniche localizzate distribuite. La giacitura degli strati, debolmente immergente verso sud, è compatibile con l'originale orientazione primaria degli stessi, in un ambiente deposizionale alimentato da spesse coltri colluviali fini.

Si esclude quindi la presenza di deformazioni tettoniche più recenti del più antico livello datato nella serie esposta (i.e., presumibilmente di età post-romana).

Le discontinuità geofisiche osservate nelle indagini ERT sono relative a strutture relativamente profonde (i.e., *upper tip* tracciabile fino ad una profondità di ca. – 20 m sotto il piano campagna), ma delle quali non si osserva un'evidenza quasi superficiale di deformazione tettonica. La dislocazione delle strutture sepolte si può tracciare in geofisica in corrispondenza di un ipotetico tetto della serie Villafranchiana (i.e., resistività > ca. 200 Ohm · m).

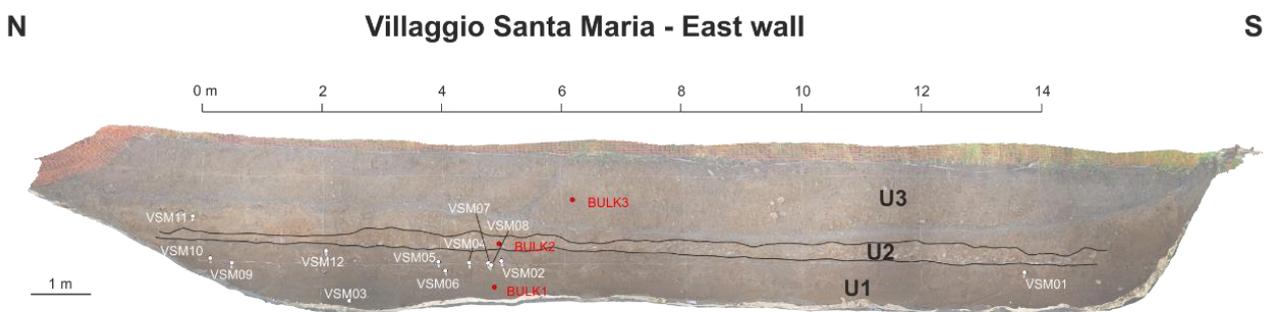


Figura 7: Ortofotomosaico, log stratigrafico speditivo e posizione dei campioni raccolti nella trincea di Villaggio Santa Maria; i codici delle Unità (La sezione esposta dalla trincea esplorativa è costituita da sedimenti prevalentemente argillosi e limosi intercalati a livelli clastici grossolani. La serie immerge molto debolmente e con regolarità verso Sud. Le unità sono ascrivibili a dei sedimenti di conoide alluvionale, in posizione distale, intercalati a delle spesse coltri colluviali fini. Il ritrovamento di resti ceramici e di mattone fino alla base della serie testimonia un alto tasso di sedimentazione anche in tempi storici.

Tabella 6) sono riportati in nero.

2.7 COMUNE DI RIVODUTRI - SITO CAMPIGLIANO

Nel sito di Campigliano è stata scavata una trincea paleosismologica (codice CAM), finalizzata a: i) vincolare con precisione la posizione della traccia di faglia visibile in affioramento e nelle indagini geofisiche; ii)

raccogliere campioni per vincolare l'età dei sedimenti coinvolti nella deformazione; iii) se possibile, identificare numero ed entità degli eventi deformativi.

2.7.1 Trincea CAM

La trincea è stata scavata per una lunghezza di 22 metri ed un approfondimento massimo di 3 metri. Sono state condotte le indagini necessarie ad una chiara definizione delle unità stratigrafiche e delle deformazioni registrate sulla parete Est della trincea stessa.

2.7.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su *Log* (Figura 8).

La serie esposta nella trincea CAM vede alla base limi ed argille della serie Villafranchiana (U1), presumibilmente riferibili all'Unità di Monteleone Sabino, troncate da una netta superficie erosiva. Su questa appoggiano, sabbie e limi con lenti di ghiaia grossolana passanti verso l'alto ad argille limose compatte (U2) ed ascrivibili ad un ambiente deposizionale di tipo colluviale.

Infine, seguono sabbie limose di origine colluviale e di colore rossastro.

La giacitura delle unità ed i loro limiti inferiori e superiori sono influenzati alla presenza di faglie tettoniche che dislocano le unità e inducono notevoli piegamenti e deformazioni nella serie. Nel complesso si osserva la presenza di una marcata depressione di origine tettonica (*graben*), riempita dalle unità U2 e U3.

Tabella 7: Unità stratigrafiche della Trincea di Campigliano.

Codice Unità	Descrizione
U3	<p>L'unità è costituita da sabbie limose di colore rossastro con clasti costituiti prevalentemente da selce spigolosa di dimensione da millimetrica a centimetrica. Verso l'alto l'unità è alterata e pedogenizzata nel suolo attuale, su arativo, dello spessore medio di 20 cm.</p> <p>Segue la descrizione dettagliata della pedostratigrafia di questa unità (dall'alto) – con le profondità indicative:</p> <p>Ap cm 0-30. Orizzonte rimaneggiato dall'attività antropica di lavorazione del terreno, evidenziata dalla presenza di ciottoli freschi carbonatici. Limite netto</p> <p>Bt(g)1 cm 30-110, quasi asciutto, colore (della matrice) bruno rossastro (5YR 4/4) con presenza di comuni, evidenti, piccole plaghe (<i>mottles</i>) bruno rossastre scure (5YR 3/3) associate a rivestimenti argillosi (<i>coatings</i>) del medesimo colore. In queste plaghe più scure comune sovraimpressione di patine nero-bluastre di Fe-Mn. Comuni, piccole screziature a <i>chroma</i> più elevato, rosso giallastre (5YR 4/6) Lo scheletro è costituito da comuni frammenti angolari di selce, biancastra o grigio traslucida, della grandezza prevalente della ghiaia fine (<i>fine gravel</i>) (0,2÷0,6 cm), più raramente ghiaia media (0,6÷2 cm), dispersi casualmente nella matrice. Struttura poliedrica sub-angolare grande, tendente a prismatica, moderatamente evidente; duro (consistenza); non calcareo (effervescenza all'HCl non visibile né udibile). Limite graduale</p> <p>Btg2 cm 110-160, quasi asciutto; colore dominante colore (della matrice) bruno rossastro (5YR 4/3) con plaghe (<i>mottles</i>) piccole e medie poco evidenti, leggermente decolorate rispetto alla matrice, grigio rossastro scure (5YR 4/2). Presenza (da verificare) di comuni rivestimenti argillosi (<i>coatings</i>) rosso giallastri (5YR 4/6) e bruno rossastri (5YR 4/4) associati a comuni patine nerastre di Fe-Mn (< 1 cm). Scheletro come nel soprastante orizzonte. Struttura poliedrica sub-angolare grande, tendente a prismatica, che tende a suddividersi in poliedri angolari medi con una fitta rete di fessurazioni; molto duro (consistenza); non calcareo. Limite graduale (difficoltà a rilevare il limite per la presenza del gradino artificiale dovuto allo scavo della trincea).</p> <p>BCg cm 160-220, quasi asciutto; colore dominante bruno rossastro (5YR 5/3) con plaghe evidenti di ossidazione bruno rossastre (5YR 4/4 e 5YR 4/3). Frequenti piccole patine e laccature irregolari nerastre di Fe-Mn. Struttura come nel precedente orizzonte ma con una rete di fessurazioni ancora più marcata. Comuni facce di pressione, grandi, evidenti, sulle facce degli aggregati, decolorate rispetto alla matrice, tendenti al grigio rossastro (5YR 5/2); molto duro (consistenza); non calcareo; limite chiaro</p>
U2	<p>Sabbie limose giallastre o da lenti di ghiaie con matrice sabbiosa con ciottoli calcarei di dimensione variabile da pochi millimetri a 10 centimetri. Le sabbie e le ghiaie passano verso l'alto in continuità a delle argille compatte di colore rosso bruno con quasi totale assenza di clasti calcarei e esclusiva presenza di clasti da millimetrici a centimetrici di selce spigolosa. Segue verso l'alto in livello <i>gley</i> di colore verde-grigio (2,5Y 5/2) con comuni screziature ocracee a limite diffuso. Alla base coesistono le due colorazioni (rossastra e grigiastra). Non calcareo. Limite netto.</p> <p>Verso l'alto un ultimo livello rosso brunastro (5YR 4/3) con presenza di piccole laccature nerastre di Fe-Mn e comuni piccole facce di pressione. Scarsi frammenti angolari di selce. Struttura poliedrica angolare media (tipo cubico) marcata da una evidente rete di fessurazioni; non calcareo; limite chiaro.</p> <p>L'unità è attraversata da diversi piani di deformazione fragile, relativi ad una zona di faglia di immersione N170/75. Lungo la zona di deformazione sono presenti clasti con asse maggiore allungato lungo la direzione di trascinamento (<i>shear fabric</i>). che mostra un</p>

	evidente piano con ciottoli allineati nella parete est. Nella parete ovest, invece, essa disloca nettamente il livello di colore verde-grigio.
U1	argille limose di colore grigio chiaro (10YR 7/2), con livelli passanti ad ocra (10YR 6/4) intensamente deformate e piegate in una depressione (graben) asimmetrica con il lato meridionale mediamente in posizione più elevata. La serie delle argille è ascrivibile ad un intervallo lacustre del Villafranchiano Auct. e quindi databile al Pliocene superiore – Pleistocene Inferiore. Abbondante CaCO ₃ sotto forma di piccoli noduli e rivestimenti soffici biancastri. Presenza evidente di rivestimenti carbonatici lungo canalicoli di probabile origine radicale. L'unità è interessata da una serie di fratture ad alto angolo (immersione media N140) riempite da argilla bianca. L'unità è troncata da una superficie di erosione che la mette in contatto con l'Unità 2 (U2) sul lato settentrionale della trincea, o direttamente con l'unità 1 (U3), nel settore meridionale.

2.7.1.2 Tettonica

La trincea CAM ha esposto diversi piani di deformazione fragile (faglie normali) riconducibili a tre *fault strand* appartenenti alla medesima zona di deformazione (identificati come Faglia A, B e C in Figura 8). Il piano di faglia principale è localizzato fuori trincea, in corrispondenza del passaggio dal *bedrock* (i.e., Villafranchiano, conglomerati presumibilmente riferibili all'Unità di Fosso Canalicchio) ai sedimenti colluviali ai piedi del colle, ed è marcato da una netta scarpata morfologica ai piedi della quale corre una strada comunale sterrata. Limiti logistici non hanno permesso di indagare direttamente il piano di faglia principale attraverso uno scavo paleosismologico; tuttavia, la trincea ha ben esposto una serie di strutture ad essa sussidiarie.

Il piano di faglia principale è affiorante lateralmente alla trincea, ca. 30 metri ad ovest del limite di scavo, e proiettato verso la trincea, corre pochi metri a nord del limite di scavo. È un piano immergente verso SE (Figura 9) che mette in contatto due diverse unità all'interno della serie "Villafranchiana" in facies lacustre, limoso argillosa (Unità di Monteleone Sabino). All'interno dello scavo esplorativo si riconoscono due faglie sintetiche alla principale (i.e., Faglia A e C) che ribassano il blocco di tetto. Una faglia antitetica (Faglia B) è associata alla Faglia A, delimitando un graben di larghezza maggiore verso est.

Nel complesso, la serie "Villafranchiana" risulta ribassata e ruotata verso nord, in un assetto da *half-graben* associato alla faglia principale. Tale depressione, che si è andata formando con il movimento ripetuto della faglia principale, è stata quindi riempita dalle unità U2 e U3, che hanno successivamente anche registrato i ripetuti movimenti delle faglie secondarie associate. Questo tipo di struttura è tipica della fagliazione superficiale cosismica per forti terremoti distensivi, al contatto fra il substrato calcareo rigido a letto e depositi a comportamento plastico a tetto del piano di faglia (*gravity graben*, vedi Figura 12.2 in Slemmons, 1957; e anche Gilbert, 1890; Serva et al., 1986).

Le Faglie A e B dislocano il tetto di U1 in tutte le pareti della trincea. Entrambe sono apparentemente sigillate dal tetto di U2 lungo la parete est, mentre la Faglia A disloca chiaramente lo stesso orizzonte nella parete ovest, con un rigetto cumulativo di ca. 35 cm. Considerati i litotipi argillosi, i limitati rigetti cumulativi (i.e., inferiori a 10 cm su singolo *fault strand*) e i passaggi graduali tra le unità, riteniamo che entrambe le faglie possano essere considerate come attive durante la deposizione della coltre colluviale U3 e che U2 ne predati l'ultimo movimento.

La Faglia C, sintetica alla principale ma con una giacitura a basso angolo, appare sigillata da U2 lungo il muro est, mentre disloca la base di U3 in corrispondenza del muro ovest. Il rigetto totale della faglia, misurato in corrispondenza di alcuni livelli nel "Villafranchiano" è di ca. 113 cm, mentre la base di U3

appare rigettata di soli 27 cm. Anche in questo caso si considera la Faglia 3 come riattivata con un ultimo movimento durante la deposizione di U3.

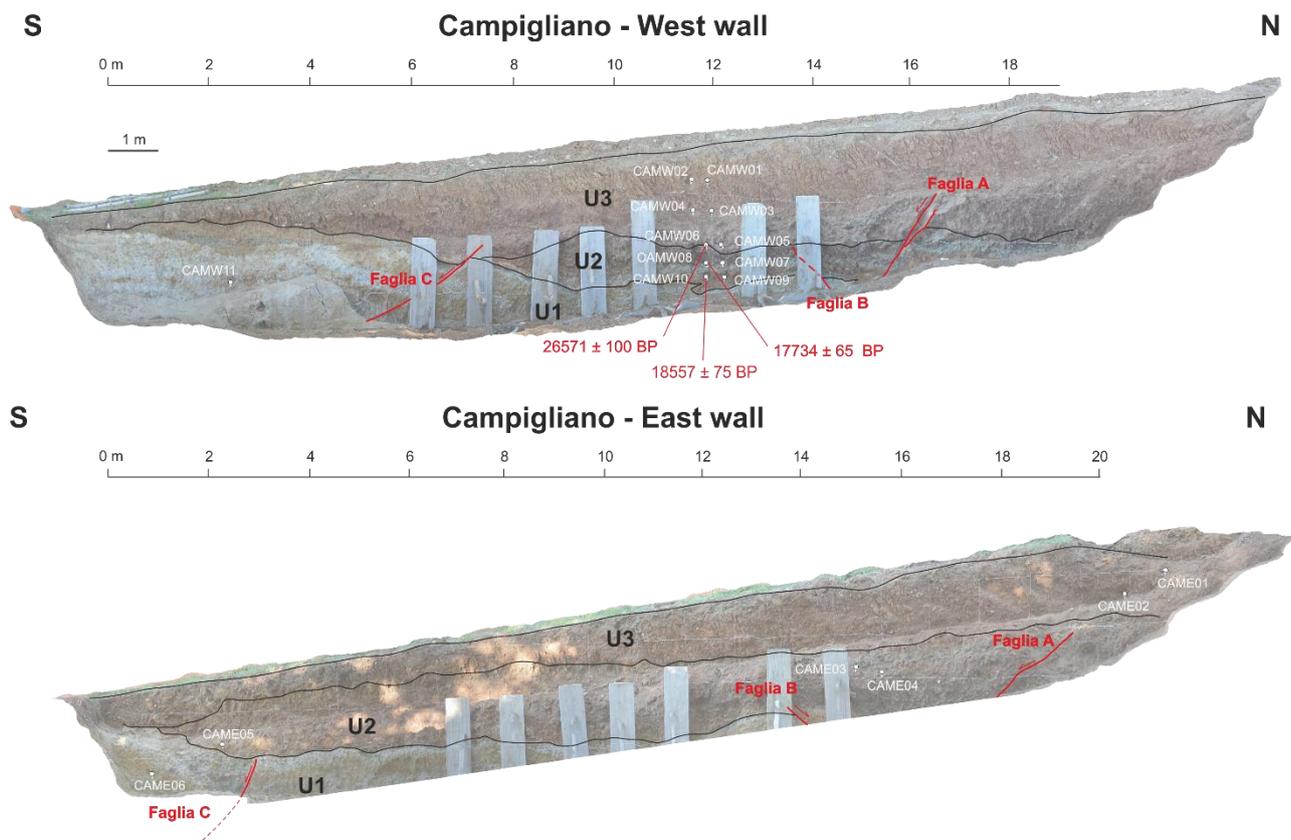


Figura 8: Orto-fotomosaico, log stratigrafico speditivo e posizione dei campioni raccolti nella trincea di Campigliano; i codici delle Unità (La serie esposta nella trincea CAM vede alla base limi ed argille della serie Villafranchiana (U1), presumibilmente riferibili all'Unità di Monteleone Sabino, troncate da una netta superficie erosiva. Su questa appoggiano, sabbie e limi con lenti di ghiaia grossolana passanti verso l'alto ad argille limose compatte (U2) ed ascrivibili ad un ambiente deposizionale di tipo colluviale.

Infine, seguono sabbie limose di origine colluviale e di colore rossastro.

La giacitura delle unità ed i loro limiti inferiori e superiori sono influenzati alla presenza di faglie tettoniche che dislocano le unità e inducono notevoli piegamenti e deformazioni nella serie. Nel complesso si osserva la presenza di una marcata depressione di origine tettonica (*graben*), riempita dalle unità U2 e U3.

Tabella 7) sono riportati in nero

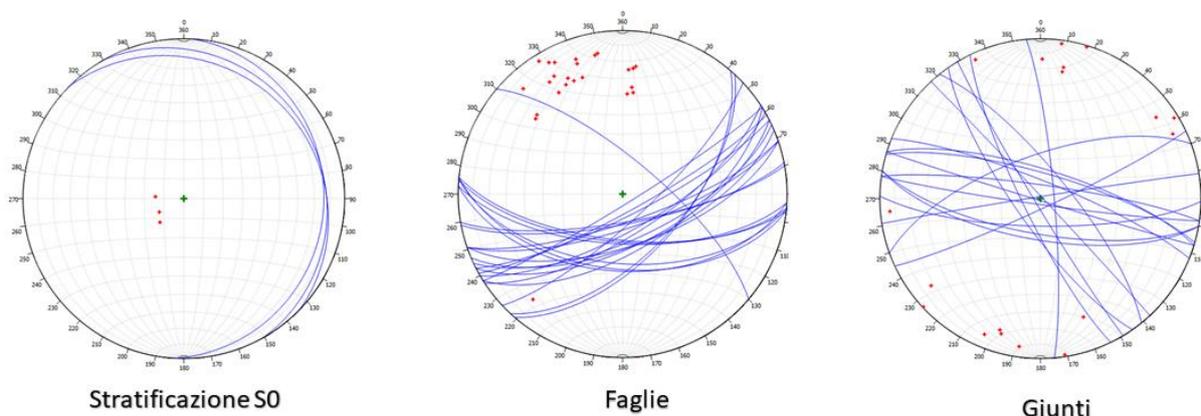


Figura 9: dati strutturali acquisiti nella trincea paleosismologica CAM.

3 COMUNE DI CANTALICE

3.1 SINTESI DEI RISULTATI DI FASE 2

La Figura 10 presenta lo stato conoscitivo consegnato in Fase 2 relativamente alla traccia e tipologia di FAC (FAC_a, FAC_b). I rilevamenti geologici, l'analisi morfo-tettonica e le indagini geofisiche condotte in Fase 2 hanno permesso di identificare la traccia di numerosi segmenti di faglia.

3.1.1 Settore di Cruciano

La faglia bordiera del bacino è localizzata ai piedi del rilievo collinare, lungo il contatto tra substrato e Villafranchiano. In Fase 2 erano state realizzate 3 trincee esplorative nel settore di Cruciano, che avevano messo in luce depositi coinvolti in fenomeni di deformazione (segmenti 20-23 in Figura 10). Al momento della chiusura di Fase 2, non erano ancora disponibili i vincoli cronologici; nel Capitolo 3.4, i risultati di Fase 2 vengono integrati con le datazioni al radiocarbonio al fine di delineare lo stato di attività delle faglie e di descrivere la versione aggiornata delle FAC, ZR e ZS.

3.1.2 Settore di San Liberato

I tratti di FAC identificati nei pressi di San Liberato sono principalmente vincolati da osservazioni di terreno e rilevamento geologico, a cui si affiancano vincoli di carattere geofisico (si faccia riferimento alla relazione di Fase 2).

In particolare, nel settore più settentrionale (segmento 12 in Figura 10), è stato possibile individuare con precisione il passaggio tra substrato roccioso, in facies di *fault gouge* o di breccia di faglia, e Villafranchiano. In corrispondenza dell'abitato di San Liberato, la struttura si biforca in due tratti di faglia (terminazione meridionale del segmento 12 e segmento 13). Il proseguimento verso sud della struttura bordiera è marcato da uno *step* destro.

Nel settore a valle del nucleo storico di San Liberato (tra Case Strinati e Collemare, segmenti da 15 a 17 in Figura 10) i tratti di FAC sono posizionati in funzione delle osservazioni di terreno ed alcuni tratti aggiuntivi, all'interno del Villafranchiano, interpretati esclusivamente dai dati geofisici. Verso sud queste discontinuità

geofisiche si allineano con il tratto più meridionale della faglia bordiera, passando attraverso il contatto tra il corpo di travertino e il Villafranchiano e attraverso un singolo affioramento di substrato roccioso in *facies* di *fault gouge*. In Fase 3, questo settore è stato oggetto della realizzazione di una trincea paleosismologica (trincea “I Cucciolosi”), per la cui descrizione si rimanda al successivo Capitolo 3.5.

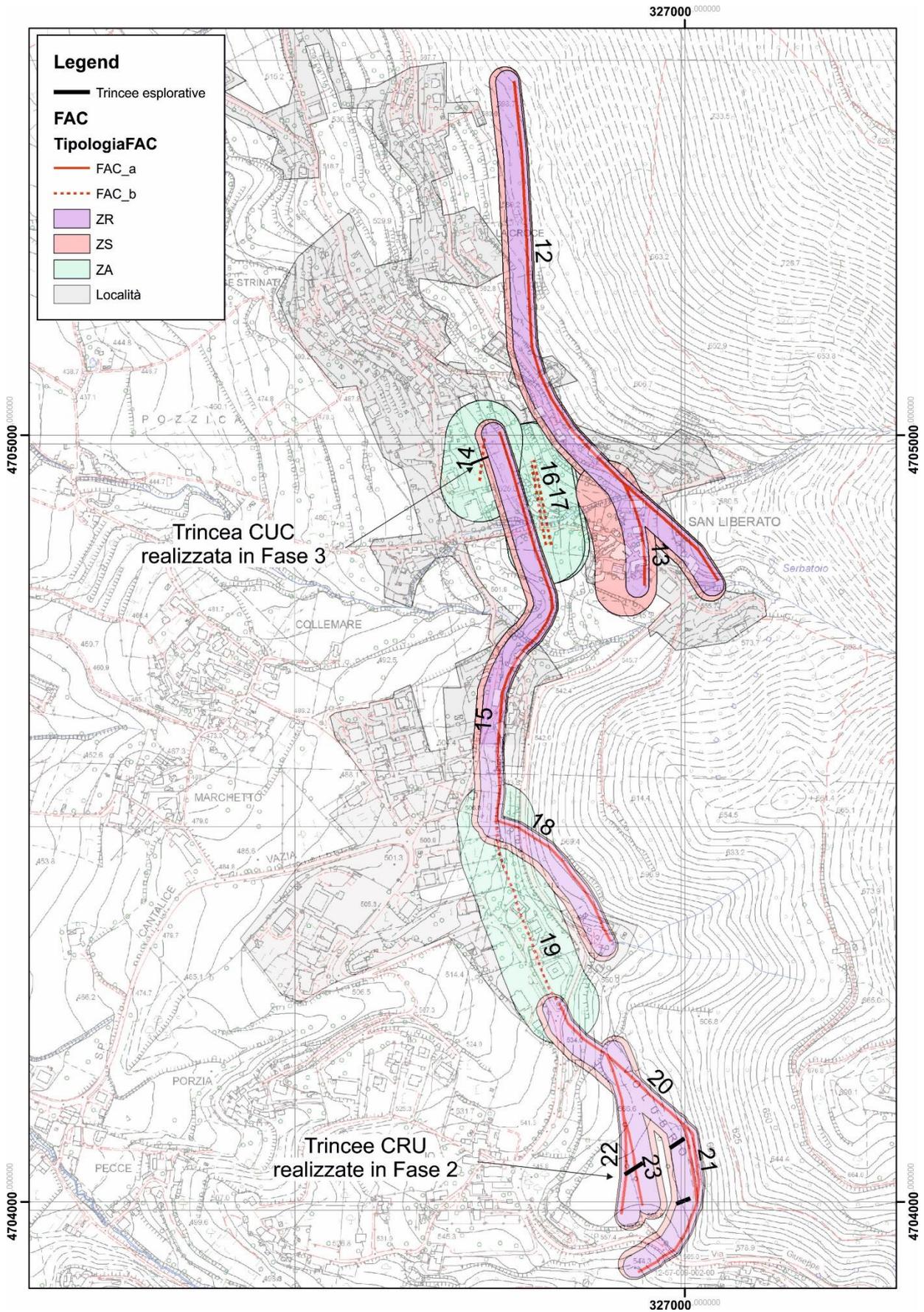


Figura 10: Traccia delle faglie nel Comune di Cantalice, così come consegnate in Fase 2; è indicata anche l'ubicazione delle trincee realizzate in Fase 2 e 3.

3.2 PROGRAMMA DI SCAVO DELLE TRINCEE

Nel corso delle indagini di Fase 2 e Fase 3 sono state realizzate un totale di 4 trincee esplorative (Tabella 8). Tutte le trincee sono state scavate con un escavatore meccanico, con pareti verticali o a gradoni; la profondità è variabile e raggiunge i 2-3 m. Le operazioni generalmente eseguite includono:

- Messa in sicurezza della trincea: posizionamento di armature di sostegno, ove necessario, per garantire la stabilità delle pareti; posizionamento di una rete esterna per evitare intrusioni.
- Ripulitura delle pareti.
- Realizzazione di un reticolato metrico e definizione di un *log* stratigrafico su carta millimetrata in scala 1:50 o 1:100
- Rilievo delle pareti con IPAD equipaggiato con Lidar e rilievo fotografico con fotocamera Reflex finalizzato alla realizzazione di un foto-mosaico. In alcuni casi, posizionamento dei vertici delle trincee e delle strutture deformative con acquisizione di punti di controllo a terra tramite GNSS - RTK.
- Prelievo di campioni di carboni o materiale organico da sottoporre a datazione; prelievo di campioni "bulk" (campioni *in toto* per datazione del contenuto di carbonio organico complessivo, acidi umici, polline); in alcuni casi, prelievo di campioni per analisi su sezioni sottili di suolo.
- Descrizione delle unità stratigrafiche e dei paleosuoli, ove presenti. Identificazione e descrizione delle strutture deformative (dove incontrate), con relativa interpretazione in chiave paleosismologica.

Tabella 8: Ubicazione e denominazione delle trincee effettuate nel Comune di Cantalice.

FASE	Comune	Trincea	Data realizzazione
2	Cantalice (Cruciano)	CANT T1	23-25 marzo 2021
2	Cantalice (Cruciano)	CANT T2	23-25 marzo 2021
2	Cantalice (Cruciano)	CANT T3	23-25 marzo 2021
3	Cantalice (Cucciolosi)	CUC	13-17 giugno 2022

Di seguito viene riportata una tabella con i risultati delle datazioni al radiocarbonio (capitolo 3.3); si procede poi alla descrizione delle singole trincee paleosismologiche; per ciascuna viene presentato un foto-mosaico con indicazione delle unità e posizione dei campioni. Le informazioni raccolte grazie alle trincee esplorative sono confluite nella fase di interpretazione, per definire con precisione la traccia delle faglie (certa / incerta) e il grado di attività (attiva / potenzialmente attiva).

Le unità stratigrafiche descritte e la loro codifica sono valide per ogni singola trincea. Eventuali correlazioni tra unità di diverse trincee verranno confermate a valle dei risultati delle datazioni.

3.3 DATAZIONI AL RADIOCARBONIO

Nel Comune di Cantalice sono stati prelevati un totale di n. 14 campioni da sottoporre a datazioni al radiocarbonio; 6 provengono dalle trincee di Cantalice-Cruciano e 8 dalla trincea "I Cucciolosi". In Tabella 9Tabella 2 vengono presentati i risultati delle datazioni radiometriche. La posizione dei campioni è segnata sui log nelle figure successive. La calibrazione è stata effettuata con le curve INTCAL20; per i Tabella 2campioni analizzati da CEDAD si è usato il programma OxCal ver 3.10, mentre per i campioni analizzati da Beta, il programma BetaCal4.20.

Tabella 9: Datazioni al radiocarbonio effettuate dai laboratori CEDAD (codici LTL) e Beta sui campioni raccolti nelle trincee paleosismologiche realizzate nel Comune di Cantalice; * campione in elaborazione – la datazione verrà fornita con un addendum alla presente relazione.

Trincea	ID	ID LAB	Unità	Materiale	Datazione (years BP)	Datazione calibrata (livello di confidenza 2σ)
CANT T1	C05 sud	LTL21205	U3	Sostanza organica	138 ± 40 BP	1670AD (38.1%) 1780AD 1797AD (57.3%) 1945AD
CANT T2	CANT T2 Bulk S1*		U3	Bulk	-	-
CANT T2	CANT T2 Bulk S2*		U3	Bulk	-	-
CANT T2	CANT T2 Bulk S3*		U3	Bulk	-	-
CANT T3	C01 sud	LTL21209	U4	Sostanza organica	After 1950 AD	
CANT T3	C03 sud	LTL21210	U2	Sostanza organica	After 1950 AD	
CANT T3	CANTT3 Bulk1S	LTL22573		Bulk	17860 ± 65	20000BC (95.4%) 19475BC
CANT T3	CANTT3 Bulk2S	LTL22574		Bulk	13860 ± 65	15083BC (95.4%) 14651BC
CANT T3	CANTT3 Bulk3S	LTL22575		Bulk	9797 ± 45	9326BC (95.4%) 9206BC
CUC	CUC-N-02	Beta 634825	U4	Carbone	2280 ± 30	401-351 BC (51.3%) 302-208 BC (44.1%)
CUC	CUC-S-03	Beta 634826	U2a	Carbone	2440 ± 30	591-408 BC (62.3%) 751-684 BC (22.3%) 668-634 BC (9.7%) 622-613 BC (1.1%)
CUC	CUC-S- BULK02*		U1a	Bulk	-	-
CUC	CUC-S- BULK03*		U2	Bulk	-	-
CUC	CUC-S- BULK04*		U3	Bulk	-	-
CUC	CUC-S- BULK05*		U3	Bulk	-	-
CUC	CUC-S- BULK06*		U2b	Bulk	-	-
CUC	CUC-S- BULK07*		U3e	Bulk	-	-

3.4 COMUNE DI CANTALICE – SITO “CRUCIANO”

Nel sito di Cruciano sono state scavate n. 3 trincee esplorative (T1, T2 e T3). L’ubicazione delle trincee è stata vincolata dai lineamenti osservati su base morfo-tettonica e geofisica (si faccia riferimento agli elaborati consegnati in Fase 2 per posizione e interpretazione degli stendimenti).

3.4.1 Trincea Cruciano T1

La trincea è stata scavata per una lunghezza di circa 10 metri ed un approfondimento massimo di 2.5 metri. È stato acquisito un Log della parte occidentale della trincea, per una lunghezza di 18 metri ed in corrispondenza delle più importanti deformazioni fragili e plicative visibili. Una volta approntato un grigliato di riferimento su entrambe le pareti della trincea, il Log è stato acquisito speditivamente con tecnica tradizionale e tramite costruzione di modelli tridimensionali da fotogrammetria (tecnica Structure from Motion) e con acquisizione LiDAR.

3.4.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 11a).

Tabella 10: Unità stratigrafiche della Trincea Cruciano T1.

Codice Unità	Descrizione
U1	substrato in facies di <i>fault gouge</i> biancastro con concrezioni di ossidi di ferro e manganese. U1a: orizzonte calcico di un paleosuolo sviluppatosi direttamente sul <i>fault gouge</i> , con matrice argillosa grigio verdastra (gley 1, 5/5GY). Al tetto le unità sono tagliate da una superficie erosiva.
U2	sabbie medie, sciolte, massive, di color giallo marroncino. Al tetto un livello di ghiaia con clasti centimetrici di spessore 5-7 centimetri. U2b: argilla debolmente sabbiosa verdastra. Al tetto è tagliata da una superficie erosiva.
U3	<i>colluvium</i> rimaneggiato marrone (5YR 4/4), massivo, privo di gradazione interna con alla base un orizzonte pedogenetico illuviale più arrossato (2.5 YR 3/4).

3.4.1.2 Tettonica

La trincea espone il contatto tra substrato roccioso e coperture. Il substrato è localmente fortemente pedogenizzato in un orizzonte calcico ricco in argilla dello spessore metrico. Le coperture sono costituite, alla base da sedimenti argilloso-sabbiosi. Entrambe le litologie tendono ad assorbire in maniera plastica la deformazione, impedendone la localizzazione e lo sviluppo di strutture fragili.

Sono visibili alcuni contatti ad alto angolo potenzialmente riconducibili a piani di faglia a cinematica normale.

La copertura colluviale massiva, priva di stratificazione evidente previene l'interpretazione di diversi eventi di trasporto colluviale, alcuni dei quali possibilmente riconducibili ad eventi di fagliazione superficiale.

L'attuale assetto giaciturale ad alto angolo testimonia cmq la presenza di una zona di deformazione che ha causato un basculamento verso ovest del settore, in accordo con la presenza di una faglia normale immergente a ovest e con zona di deformazione distribuita.

3.4.2 Trincea Cruciano T2

La trincea è stata scavata per una lunghezza di circa 28 metri ed un approfondimento massimo di 2.5 metri. È stato acquisito un Log della parte orientale della trincea, per una lunghezza di 6 metri ed in corrispondenza del contatto tra il substrato calcareo ed i terreni di copertura. Una volta approntato un grigliato di riferimento su entrambe le pareti della trincea, il Log è stato acquisito speditivamente con tecnica tradizionale e tramite costruzione di modelli tridimensionali da fotogrammetria (tecnica Structure from Motion) e con acquisizione LiDAR.

3.4.2.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 11).

Tabella 11: Unità stratigrafiche della Trincea Cruciano T2.

Codice Unità	Descrizione
U1	substrato in facies di <i>fault gouge</i> mediamente alterato; / U1a: paleosuolo calcico con matrice argillosa color marroncino (10YR 5/3) con numerosi clasti calcarei spigolosi. Troncata al tetto da una superficie erosiva con andamento ondulato dovuto a successiva deformazione.
U2	alla base (U2a) sabbia medio fine debolmente argillosa marroncino olivastra (2.5Y 5/4), con la frazione argillosa in aumento verso l'alto; / U2b: lente di breccia calcarea con clasti da millimetrici a centimetrici (max 1.5 cm) in matrice di argilla sabbiosa marroncino chiara (2.5Y 7/4) con concrezioni di manganese abbondanti; / U2c: sabbie debolmente argillose (2.5Y 4/3) passanti verso l'alto a sabbie argillose (10YR 5/6) e ad argilla sabbiosa (7.5YR 5/6) e infine (U2d) ad argilla con clasti sub-millimetrici di selce, di colore rossastro (10YR 4/4). Chiusa al tetto dalla superficie erosiva verde.
U3	detrito colluviale omogenizzato color marroncino (7.5YR 4/4). A base di U3, sul muro nord, presenta un orizzonte di suolo diagnostico di condizioni riducenti (tipo <i>gley</i>) al di sopra della quale si sviluppa un orizzonte rossiccio ricco in argilla illuviale.

3.4.2.2 Tettonica

La trincea espone il contatto tra substrato roccioso e coperture. Il substrato è localmente fortemente pedogenizzato in un orizzonte calcico ricco in argilla dello spessore metrico. Le coperture sono costituite, alla base da sedimenti argilloso-sabbiosi. Entrambe le litologie tendono ad assorbire in maniera plastica la deformazione, impedendone la localizzazione e lo sviluppo di strutture fragili.

La copertura colluviale massiva, priva di stratificazione evidente previene l'interpretazione di diversi eventi di trasporto colluviale, alcuni dei quali possibilmente riconducibili ad eventi di fagliazione superficiale.

L'attuale assetto giaciturale ad alto angolo testimonia cmq la presenza di una zona di deformazione che ha causato un basculamento verso ovest del settore, in accordo con la presenza di una faglia normale immergente a ovest e con zona di deformazione distribuita.

In questa trincea sono ben esposte delle deformazioni a piccola scala (piegamenti) che interessano sia la superficie erosiva al disopra del substrato che i sovrastanti livelli dell'U2. Tali deformazioni sono interpretabili come movimenti lenti di soliflusso.

L'innescò di tali movimenti potrebbe essere ricondotto all'aumento di pendenza del settore, che risulterebbe progressivamente basculato verso ovest da ripetuti movimenti della faglia normale.

Anche la superficie erosiva alla base di U3 risulta parzialmente coinvolta in alcune di queste deformazioni, dimostrandone il ripetuto innescò nel corso del tempo.

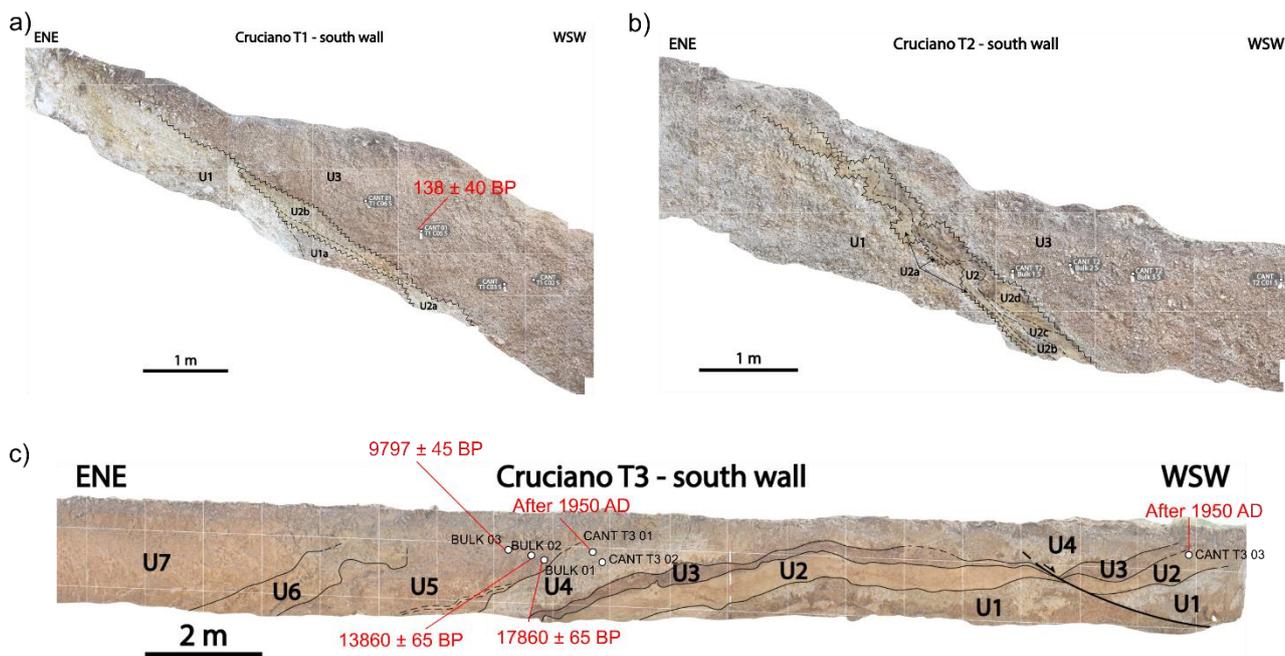


Figura 11: Foto-mosaico e Log stratigrafico delle trincee Cruciano T1 (a), Cruciano T2 (b) e Cruciano T3 (c); per una descrizione delle Unità riferirsi a Tabella 10 (T1), Tabella 11 (T2) e Tabella 12 (T3).

3.4.3 Trincea Cruciano T3

La trincea è stata scavata per una lunghezza di circa 24 metri ed un approfondimento massimo di 2.5 metri. È stato acquisito un Log della parte orientale della trincea, per una lunghezza di 6 metri ed in corrispondenza del contatto tra il substrato calcareo ed i terreni di copertura. Una volta approntato un grigliato di riferimento su entrambe le pareti della trincea, il Log è stato acquisito speditivamente con tecnica tradizionale e tramite costruzione di modelli tridimensionali da fotogrammetria (tecnica Structure from Motion) e con acquisizione LiDAR.

3.4.3.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 11).

Tabella 12: Unità stratigrafiche della Trincea Cruciano T3.

Codice Unità	Descrizione
U1	Alternanza di argille plastiche grigio giallastre (2.5Y/6/3) con screziature marroni e con intercalato un orizzonte illuviale di suolo.
U2	Sabbia limosa, alla base, in gradazione inversa, passante verso l'alto a sabbia pulita; verso l'alto segue sabbia argillosa plastica marroncina giallastra (10YR/6/6). Alla base, sporadiche strutture a fiamma di altezza ca. 1 cm.
U3	Orizzonte illuviale di suolo; argilla debolmente limosa molto plastica di colore marroncino scuro (7.5YR/3/4) con noduli millimetrici di concrezioni di manganese.
U4	Argilla grigio oliva (5Y/6/2) plastica con poca sabbia e screziature marroni rossastre (5YR/3/4) di sabbia limosa; nella parte alta sparse concrezioni di manganese. La base è netta.
U5	Orizzonte illuviale di suolo su breccie calcaree sciolte (dimensione massima clasti 1 cm) in matrice argillosa marrone scuro (7.5YR/4/6)
U6	Argilla sabbiosa marroncina giallastra (10YR/4/6) con concrezioni di manganese, compatta, priva di stratificazione o laminazioni.
U7	Sabbia argillosa marrone (7.5YR/4/6) con screziature grigie.

3.4.3.2 Tettonica

La trincea Cruciano T3 ha esposto chiaramente numerose strutture deformative (piegamenti e faglie; Figura 12a) che coinvolgono le Unità da U1 a U6 e la base di U7. La geometria del tetto di U7 non è risolvibile attraverso la trincea. I piegamenti misurati (Figura 12b) e ricostruiti attraverso l'analisi della giacitura dei piani di stratificazione, indicano pieghe con superficie assiale ad alto angolo e a direzione ca. NE-SO. Tali piegamenti possono essere interpretati come connessi all'accomodamento superficiale, per piegamenti passivi, di faglie normali in propagazione verso l'alto (e.g., Coleman et al., 2019). La geometria dei piegamenti è perfettamente consistente con quella delle faglie rilevate nelle trincee Cruciano T1 e T2.

Nel settore occidentale della trincea è stata osservata una zona di deformazione fragile a direzione obliqua rispetto al piano di faglie principale. Qui sono state raccolte numerose misure strutturali, alcune delle quali corredate da vettori di spostamento certi, misurati su *slickenline*.

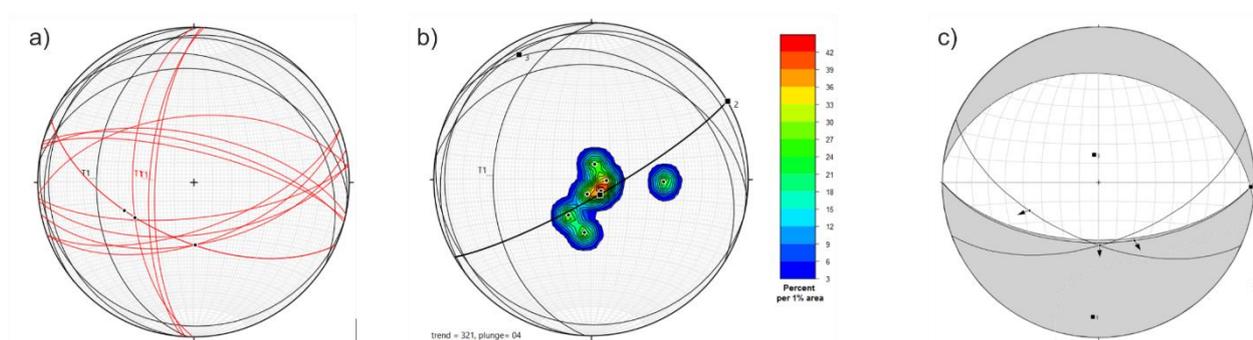


Figura 12: dati strutturali misurati nella Trincea Cruciano T3: a) piani di stratificazione (neri) e di faglia (rossi); b) diagramma π per la ricostruzione delle giaciture di superficie assiale e cerniera dei piegamenti rilevati: si noti la direzione ca. NO-Se della superficie assiale (allineata al vettore 3); c) inversione del campo di stress dai vettori di movimento misurati sulle faglie: la soluzione indica un'estensione ca. N-S; vedere il testo per ulteriori commenti ai risultati.

3.5 COMUNE DI CANTALICE - SITO "I CUCCIOLSI"

È stata scavata una trincea esplorativa (CUC), al fine di caratterizzare il segmento di faglia indicato come numero 14 in Figura 10.

3.5.1 Trincea "I Cucciolosi" (CUC)

La trincea è stata scavata per una lunghezza di 14 metri circa ed un approfondimento massimo di 3 metri. È stato necessario posizionare armature di sostegno per garantire la stabilità delle pareti della trincea. Una volta approntato un grigliato di riferimento sulla parete sud, è stato realizzato un log stratigrafico; si è inoltre costruito un modello tridimensionale da fotogrammetria (tecnica *Structure from Motion*) e con acquisizione LiDAR.

3.5.1.1 Stratigrafia

Di seguito una tabella con la descrizione delle unità stratigrafiche riconosciute e riportate su Log (Figura 13).

Tabella 13: Unità stratigrafiche della Trincea "I Cucciolosi".

Codice Unità	Descrizione
U4	Clasti ben arrotondati di calcare (diametro medio 0.5 cm) in una matrice argillosa (7.5YR 5/4). Unità a supporto di matrice con rari clasti a contatto. Abbondanza di radici, resti di mattoni e ceramiche smaltate.

<p>U3</p>	<p>Matrice argillosa (7.5YR 4-3/3) con clasti a supporto di matrice, carbonatici, ricoperti di patine di Fe (7.5YR 6/8) e di Fe-Mn (10YR 3/2). Il contatto tra clasti e matrice è netto e sono visibili resti di patine di ricoprimento in posto.</p> <p>Verso il basso aumenta la presenza di patine di Fe-Mn (10YR 2.5/1). I clasti sono rari, angolari e di dimensione massima ca. 1 cm. Il suolo si frammenta in blocchi i piccoli poliedri.</p> <p>U3a argilla grigia, morbida, con elevata porosità e presenza abbondante di radici, con aloni. Rari clasti di calcari, a supporto di matrice, con dimensione media inferiore a 1 cm e spigoli vivi. Localmente sono presenti concentrazioni di sostanza organica e patine di Mn (5YR 2.5/1). La matrice presenta una notevole variabilità di chroma: 10YR 5/4; 10YR 4/3 in alto; 2.5YR 6/6 verso la base</p>
<p>U2</p>	<p>Matrice argillosa di colore variabile (10YR 4/4; 10YR 3/1; 10YR 8/2) con rari clasti di calcare e selce di dimensione massima 1 cm. La dimensione granulometrica dei clasti è maggiore alla base (massimo 3-5 cm) con evidenze di parziale rimaneggiamento del deposito.</p> <p>Nella zona depressa della trincea (i.e. progressiva 3-4 metri da nord) si possono riconoscere diverse sub-unità di U2, con caratteristiche sedimentologiche e tessiturali riconducibili ad un <i>colluvial wedge</i>.</p> <p>Dall'alto:</p> <p>U2a: argille e sabbie (10YR 4/3) con rari clasti angolosi di calcare e selce di dimensione massima 1 cm a sostegno di matrice. Patine di Fe-Mn (10YR 2/2). Localmente sono visibili in posto patine di Fe rossastre su clasti (10YR 8/6). Radici scarse o totalmente mancanti.</p> <p>U2b: matrice argillosa (10YR 3/2) con patine di Fe-Mn (10YR 3/1) più intense e frequenti verso il basso, clasti millimetrici di calcare e selce; la struttura <i>blocky</i>, ed il suolo di presenta fortemente indurito.</p> <p>U2c: argilla sabbiosa (10YR 4/4) con patine di Fe-Mn (7.5 YR 4/1)</p> <p>U2d: matrice argillo-sabbiosa (7.5YR 4/3) con patine di Fe-Mn (7.5YR 5/1) e di ferro arancioni in posto sui clasti (7.5YR 5/8); clasti abbondanti di calcare e selce con rari clasti di dimensione centimetrica. Alcuni clasti si presentano totalmente decarbonatati.</p>
<p>U1</p>	<p>Ghiaie calcaree ascrivibili ad un intervallo del <i>Villafranchiano Auct.</i> e quindi databile al Pliocene superiore – Pleistocene Inferiore.</p> <p>Verso l'alto passa ad un cappello di alterazione (U1a) ben sviluppato, con presenza di clasti totalmente decarbonatati, di colore grigiastro (7.5YR 5/8). Il tetto dell'unità è una superficie erosiva.</p>

3.5.1.2 Tettonica

La trincea del sito "I CUCCIOLSI" ha esposto un piano di faglia normale, immergente verso W, che disloca le unità stratigrafiche del *bedrock* (U1 e U1a) e l'unità stratigrafica U2. A ridosso della faglia si osservano dei corpi deposizionali colluviali, lentiformi (i.e., U2a – d), con caratteristiche tessiturali e pedostratigrafiche congruenti con la loro identificazione come *colluvial wedge*. In particolare, le seguenti caratteristiche sono consistenti con l'interpretazione che questi livelli lentiformi rappresentino dei cunei colluviali messi in posto in seguito ad eventi di fagliazione superficiale su suoli sciolti: i) la sovrapposizione verticale di coppie di

livelli, più grossolani alla base e fini verso l'alto; ii) la notevole variabilità di *chroma* nei livelli inferiori della coppia, indicativa di rimaneggiamento di livelli alterati a pedogenizzati non in posto.

Tale interpretazione indica uno o presumibilmente due eventi di fagliazione superficiale avvenuti precedentemente alla deposizione dell'unità U3. Le datazioni ottenute indicano che l'ultimo evento di fagliazione sia ascrivibile a un periodo vicino al V-VI sec. A.C. (i.e., compreso tra la datazione di 2440 ± 30 yr BP - che si riferisce alla *wash facies* del cuneo colluviale superiore; Unità U2a e 2280 ± 30 yr BP, che è sicuramente successiva all'ultimo evento di fagliazione superficiale). Il rigetto totale sulla faglia è di 87 cm suddivisi in 53 cm per il primo evento di fagliazione e 34 cm per il secondo.

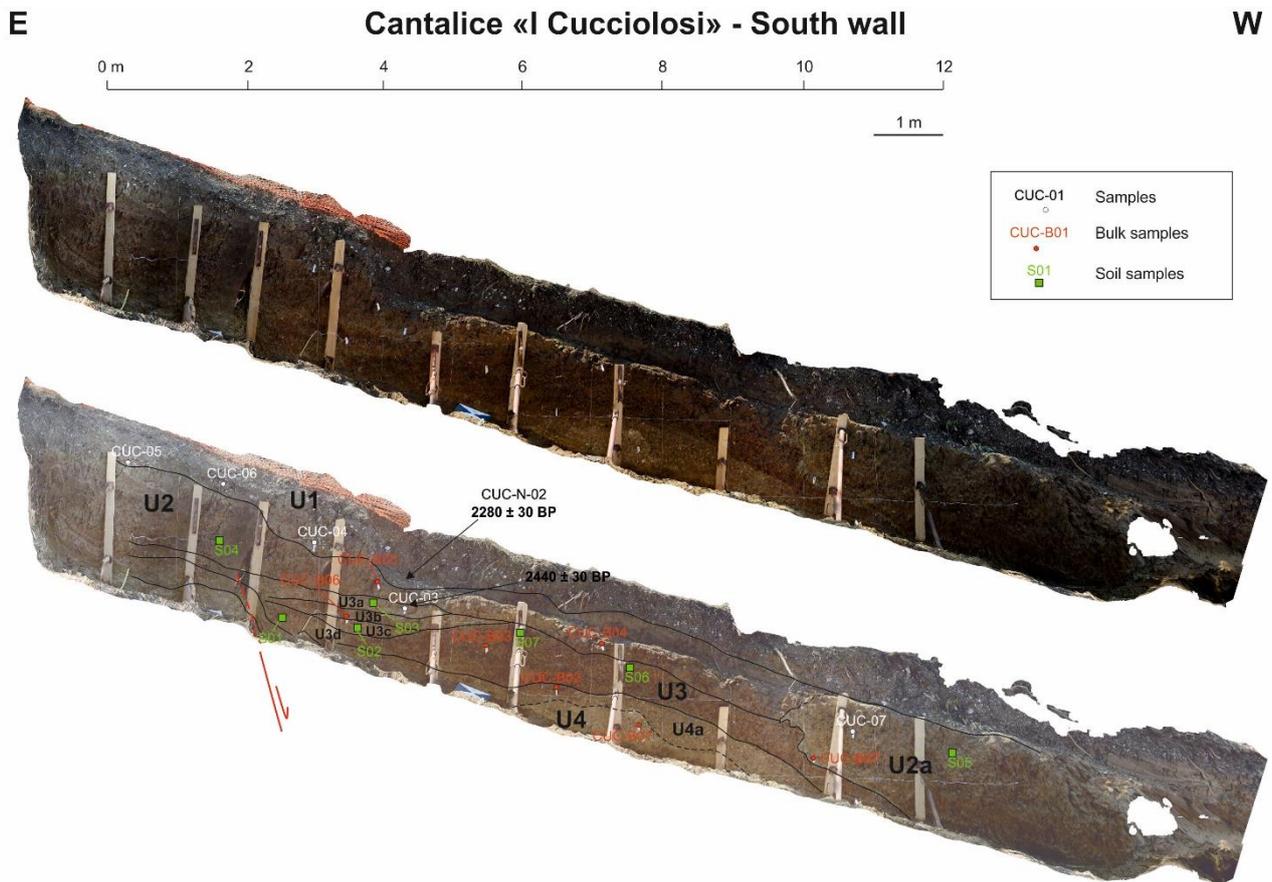


Figura 13: Foto-mosaico e log stratigrafico della trincea eseguita nel sito adiacente all'asilo "I Cucciolosi"; i codici delle Unità (Tabella 13) sono riportati in nero; in bianco è indicata la posizione dei campioni raccolti per datazioni al C14, in rosso i campioni bulk e in verde i campioni per l'analisi dei suoli.

4 DEFINIZIONE FAC, ZONE DI SUSCETTIBILITÀ E DI RISPETTO

Gli Indirizzi e Criteri per la MS considerano come **attiva e capace (FAC)** una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni e che raggiunga la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Le FAC sono suddivise in:

- **FAC_a:** certa e definita. Il piano di rottura principale e fenomeni cosismici ad esso collegati sono riconosciuti con certezza.
- **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.).

La **Zona di Suscettibilità (ZSFAC)** rappresenta l'area "nella quale sono localizzate la traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace e altre possibili strutture tettoniche secondarie associate al piano di rottura principale, e le zone di trasferimento tra segmenti distinti della faglia". La ZSFAC deve essere definita sia per le FAC_a che per le FAC_b, e in particolare per tutte quelle FAC "le cui informazioni disponibili, sia pregresse che acquisite appositamente, non permettano di definire con chiarezza la traccia principale della faglia e gli elementi secondari ad essa associati".

La **Zona di Rispetto (ZRFAC)** rappresenta l'area "individuata intorno alla traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace, identificata con certezza; la ZRFAC può essere quindi tracciata esclusivamente per la FAC_a". La ZRFAC è contenuta nella ZSFAC, ma tra le due zone non c'è sovrapposizione.

Le "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci" stabiliscono inoltre i criteri per il dimensionamento delle zone di suscettibilità e di rispetto, così come riassunto in Tabella 14. Per faglie normali viene inoltre suggerita una perimetrazione asimmetrica, con rapporto FW : HW di 1:4.

Tabella 14: Dimensioni raccomandate e minime in metri per le zone di faglia negli studi di MS (n.d. = non definita).

Categoria FAC	Zona di suscettibilità (raccomandata)	Zona di suscettibilità (minimo)	Zona di rispetto
FAC_a	160	0	30
FAC_b	300	160	n.d.

Le indagini documentate nel presente rapporto hanno permesso di definire le tracce di faglie attive e capaci (FAC) e le relative zone di suscettibilità (ZS) e zone di rispetto (ZR). In tutti i segmenti di faglia considerati si è ottenuto un sensibile avanzamento conoscitivo rispetto alle informazioni disponibili in precedenza; in particolare, la posizione della faglia è stata ubicata con maggiore precisione rispetto a quanto indicato nei precedenti studi di MS.

La mappatura di FAC, ZR e ZS è stata aggiornata rispetto agli studi di Fase 2; in generale, si possono identificare 3 casistiche di variazione tra Fase 2 e Fase 3:

- Elementi inseriti in via cautelativa in Fase 2, dove gli approfondimenti successivi dimostrano con ragionevole certezza che non ci sono elementi per confermare l'occorrenza di fagliazione principale o secondaria. In questo caso, le FAC e zone relative non sono state mappate;
- Elementi inseriti in Fase 2 e approfonditi in Fase 3: la traccia di FAC è eventualmente stata rimodulata (ad esempio, in base all'ubicazione più precisa ottenuta con le trincee paleosismologiche), così come la mappatura di ZR e ZS. In considerazione della notevole quantità e qualità dei dati raccolti, non sono stati adottati dei valori predefiniti, ma il dimensionamento delle ZS e ZR è stato stabilito sulla base delle dettagliate informazioni disponibili per ciascun tratto di FAC;
- Zone di attenzione di Fase 2, su cui non sono state condotte ulteriori indagini, o queste non hanno dato risultati risolutivi; in questo caso, sono state definite delle ZS il cui dimensionamento è stato dettagliato caso per caso, in funzione degli elementi conoscitivi disponibili per ciascun segmento di faglia.

Per le ZR e ZS è necessario definire l'entità del parametro DISL, come richiesto negli standard di microzonazione sismica. Secondo gli standard, questo parametro rappresenta *la massima dislocazione sul piano di faglia principale (cm)*; in seguito ad un confronto tra Commissione Paritetica INGV e Gruppo di Lavoro FAC, è emerso come la quantificazione del rigetto massimo dei singoli segmenti di faglia sia nella maggior parte dei casi impossibile da realizzare o, dove possibile, affetta da errori epistemici. Si è pertanto deciso, di comune accordo, di rimodulare quanto richiesto dalle linee guida per la microzonazione. In

particolare, il valore DISL viene reinterpretato come **dislocazione minima attesa in superficie**; tale valore si ottiene tramite indagini paleosismologiche e, dove più eventi vengano riconosciuti in una trincea, la dislocazione minima osservata è intesa come la maggiore tra tutte quelle misurate.

Sui **segmenti di FAC_a dove non sono state realizzate trincee paleosismologiche**, il valore DISL può essere ottenuto mediante due modalità: i) estrapolazione del valore ottenuto in trincee su segmenti limitrofi, se giustificabile in base al contesto locale; ii) stima empirica a partire da equazioni di letteratura, prendendo in considerazione la dislocazione media attesa in superficie (parametro *Average Surface Displacement* nella letteratura specialistica), ottenuta dalla lunghezza della rottura in superficie dell'intera faglia principale o dalla magnitudo del terremoto massimo atteso o dalla letteratura. Nel caso dei Comuni di Rivodutri e Cantalice, l'assenza di sismicità storica ben vincolata in termini di magnitudo impone l'adozione di equazioni basate sulla lunghezza di faglia. In tutti i casi in esame, l'approccio empirico a partire da SRL (*Surface Rupture Length*), ipotizzando la rottura dell'intero segmento di faglia mappato in Ithaca, ha portato a stime ben più basse rispetto a quanto osservato nelle trincee. Le faglie mappate hanno lunghezze dell'ordine di 5-8 km e applicando le equazioni di Wells & Coppersmith (1994) per faglie normali si ottengono valori di pochi cm; al contrario, i valori osservati in trincea sono di qualche decina di cm (si veda nel seguito per i valori specifici per ogni segmento).

Infine, si è ritenuto opportuno indicare il parametro DISL soltanto per le ZR e non per le ZS, come suggerito nell'ambito delle discussioni tra Commissione Paritetica e Gruppo di Lavoro FAC.

Di seguito vengono elencati gli elementi conoscitivi disponibili per ciascun tratto di faglia, che hanno permesso di definirne la traccia cartografica, di ottenere informazioni sulla loro attività/capacità e di dimensionare le ZR/ZS. Per chiarezza di esposizione, le faglie sono identificate con un codice ("Segmento 1", "Segmento 2", e simili).

4.1 COMUNE DI RIVODUTRI

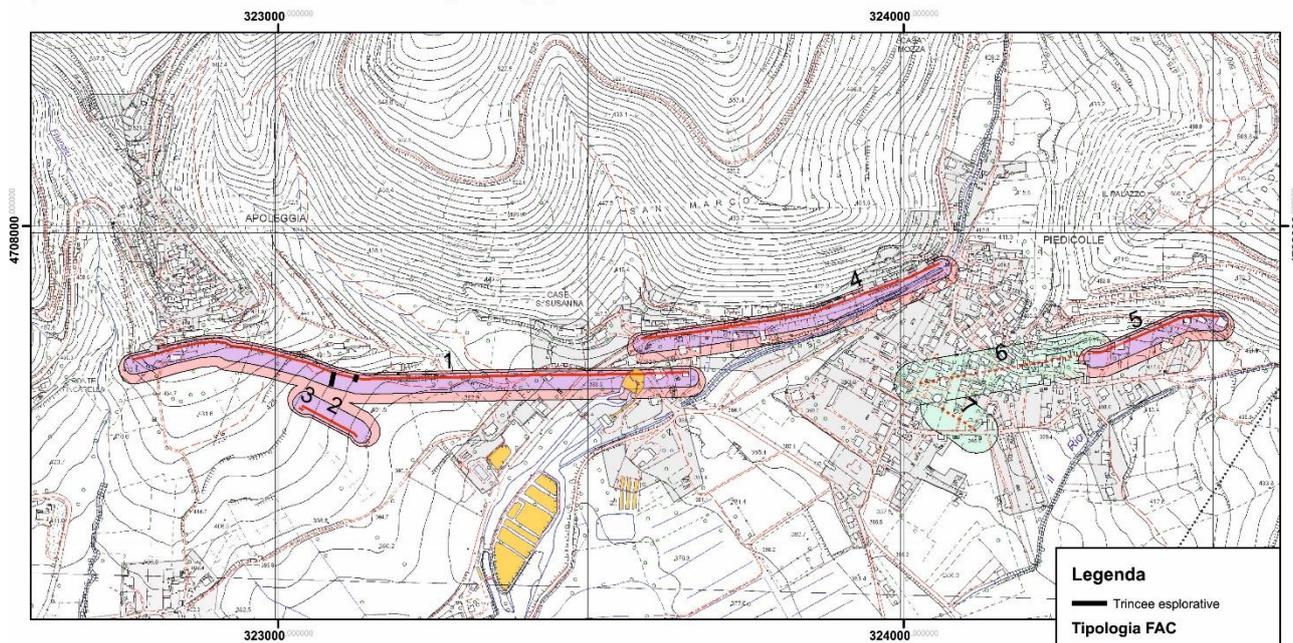
La Tabella 15 riassume le risultanze delle indagini; è indicata la tipologia di FAC (FAC_a ovvero FAC_b) e il dimensionamento delle rispettive zone di rispetto (ZR) e zone di suscettibilità (ZS), inteso come dimensione complessiva (letto + tetto). Il campo "note" fa riferimento alla simmetria o asimmetria delle ZR/ZS; nel caso di zone asimmetriche, si è adottato un rapporto di 1:4 tra tetto e letto della faglia.

Tabella 15: Sintesi delle caratteristiche dei segmenti di FAC per il Comune di Rivodutri. NA: non applicabile.

Segmento	Località	Tipologia FAC	ZR (m)	Note	ZS (m)	Note
1	Apoleggia	A	30	Asimm	50	Asimm
2	Apoleggia	A	30	Asimm	50	Asimm
3	Apoleggia	A	30	Asimm	50	Asimm
4	Piedicolle	A	30	Asimm	50	Asimm
5	Piedicolle	A	30	Asimm	50	Asimm
6	Piedicolle	ELIMINATO IN FASE 3				
7	Piedicolle	ELIMINATO IN FASE 3				
8	Villaggio S. Maria	A	30	Asimm	50	Asimm
9	Villaggio S. Maria	B	NA		100	Asimm
10	Villaggio S. Maria	B	NA		100	Asimm
11	Villaggio S. Maria	B	NA		100	Asimm

Il settore in esame è stato investigato mediante rilevamento di terreno, analisi morfo-tettonica da LiDAR e numerose linee geofisiche. La Figura 14 mostra il confronto tra lo stato di conoscenze consegnato in Fase 2 e la mappa aggiornata delle FAC (Fase 3) del settore di Apoleggia-Piedicolle.

a) Settore di Piedicolle - Apoleggia, Fase 2



b) Settore di Piedicolle - Apoleggia, Fase 3

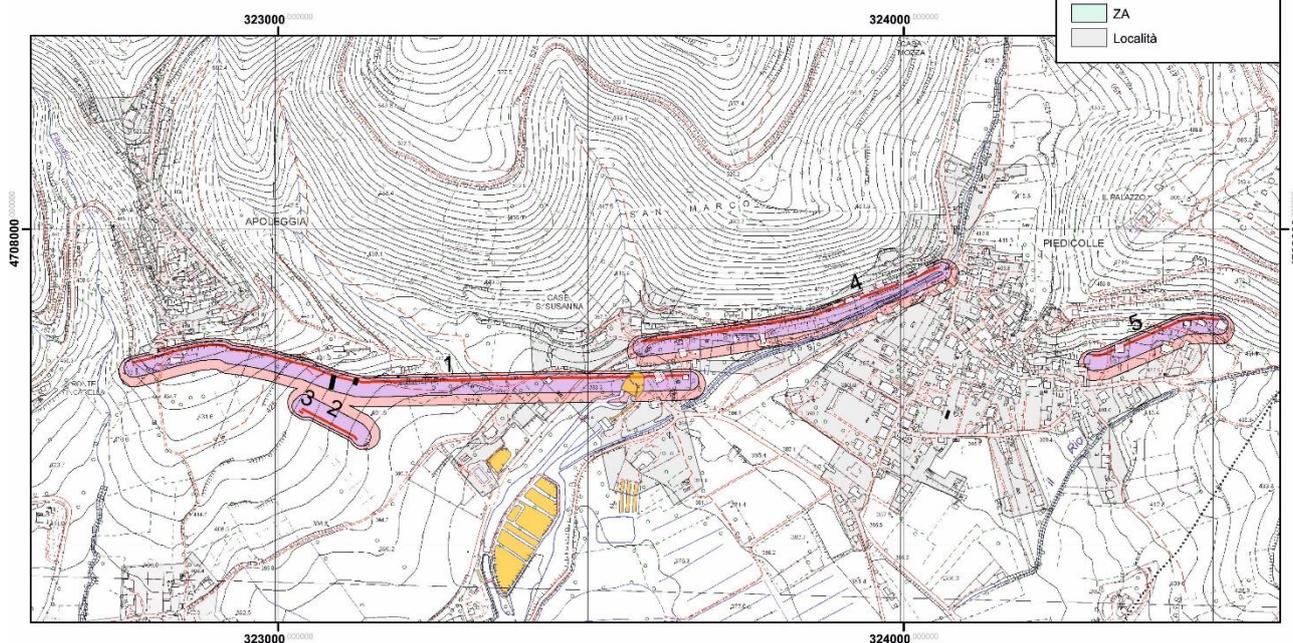


Figura 14: traccia di faglia, ZR e ZS identificate nel settore di Apoleggia-Piedicolle.

4.1.1 Segmento 1: Apoleggia – Santa Susanna

È stata riconosciuta una faglia S-immersa, già cartografata negli studi precedenti. La traccia della faglia è vincolata da linee geofisiche e da una trincea paleosismologica. In corrispondenza della località di Apoleggia, l'andamento della traccia di faglia è vincolato principalmente dagli elementi di carattere morfo-tettonico. Verso est, le numerose indagini geofisiche e le 2 trincee esplorative hanno permesso di vincolare con precisione l'andamento della faglia.

Il Segmento 1 viene definito come FAC a ed è associato ad una ZRFAC di 30 m e ad una ZSFAC di 50 m, con rapporto 1:4 tra letto e tetto.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 22 cm

4.1.2 Segmenti 2-3: Apoleggia antitetica

Una faglia antitetica è stata vincolata per un breve tratto, ad una distanza di circa 70-90 m dalla faglia principale (segmento 1), su base geofisica.

I Segmenti 2 e 3 sono interpretati come FAC a ed è assegnata una ZRFAC di 30 m e una ZSFAC di 50 metri.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 22 cm. Si è ritenuto ragionevole estendere il valore ottenuto nella trincea APO T2, ubicata sul Segmento 1, ai segmenti adiacenti, per via del contesto geologico-strutturale unitario. Tale approccio è considerato cautelativo rispetto alla valutazione da stime empiriche a partire dalla lunghezza di faglia, che comunque forniscono valori inferiori.

4.1.3 Segmento 4: Piedicolle Nord

Un segmento di faglia è stato identificato alla base del versante degradante da Colle Fogliola, la cui posizione è vincolata dagli affioramenti di substrato cataclasato e di zone di deformazione con clivaggio pervasivo alla scala centimetrica (si faccia riferimento alla relazione e allegati di Fase 2 per la descrizione di dettaglio).

Il Segmento 4 è interpretato come FAC a ed è assegnata una ZRFAC di 30 m e una ZSFAC di 50 metri.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 22 cm. Si è ritenuto ragionevole estendere il valore ottenuto nella trincea APO T2, ubicata sul Segmento 1, ai segmenti adiacenti, per via del contesto geologico-strutturale unitario. Tale approccio è considerato cautelativo rispetto alla valutazione da stime empiriche a partire dalla lunghezza di faglia, che comunque forniscono valori inferiori.

4.1.4 Segmenti 5-6-7: Piedicolle

Nell'area urbana di Piedicolle è stata mappata una faglia con direzione circa O-E, vincolata dalle linee geofisiche e dalla trincea paleosismologica scavata da Michetti et al. (1996). Verso est, la faglia è visibile in affioramento in corrispondenza di un'abitazione privata.

Il Segmento 5 è interpretato come FAC a poiché vincolato dalle trincee paleosismologiche di Michetti et al. (1996) e da affioramenti in roccia; è stata assegnata una ZRFAC di 30 metri e una ZSFAC di 50 m.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 100 cm, derivato delle trincee di Michetti et al. (1996).

In Fase 2 erano stati inseriti due tratti di FAC_b e associate ZA, uno sulla prosecuzione del Segmento 5 e uno, orientato NW-SE, all'interno della località Piedicolle, tra via del Prato e la Chiesa, vincolato da dati georadar e di geoelettrica (Segmenti 6 e 7). Questi due segmenti erano interpretati come strutturalmente connessi, in quanto ubicati a distanza molto ridotta e geometricamente compatibili con una zona di faglia principale unica.

L'esecuzione in Fase 3 di una trincea paleosismologica (trincea PDC, si veda Capitolo 2.5.1) ha permesso di escludere l'occorrenza di fagliazione principale o secondaria, per cui i segmenti 6 e 7 di FAC b e relativa ZA sono stati rimossi dalla carta finale.

4.1.5 Segmenti 8, 9, 10 e 11: Villaggio Santa Maria

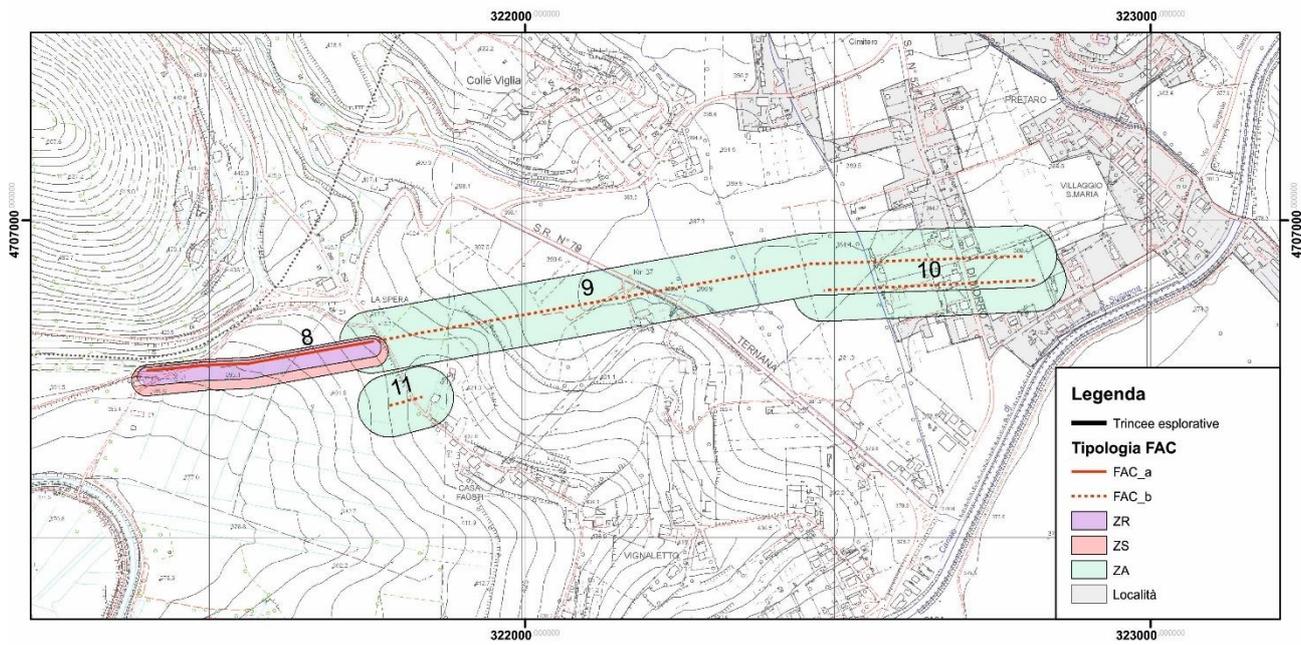
La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra il confronto tra lo stato di conoscenze consegnato in Fase 2 e la mappa aggiornata delle FAC (Fase 3) del settore di Villaggio Santa Maria. Qui sono stati identificati due tratti di faglia che nel complesso formano un graben di circa 50 m di larghezza. La faglia immergente a sud viene indicata come Segmento 8 nel tratto occidentale e Segmento 9 nel tratto orientale, mentre la traccia antitetica, immergente a nord, è vincolata per brevi tratti su base geofisica e viene indicata come composta dai Segmenti 10 e 11. In Fase 3 sono state realizzate 2 trincee paleosismologiche per vincolare la traccia di faglia.

La trincea CAM ha consentito di mappare in modo più preciso la traccia di FAC_a del Segmento 8. Al contrario, la sezione esposta nella trincea VSM non mostra alcuna evidenza di deformazione tettonica; lo scavo si è spinto fino alla profondità di 3 metri, il massimo raggiungibile con i mezzi in dotazione. La presenza di resti antropici fino a fondo scavo suggerisce un'età molto recente per i depositi (i campioni prelevati sono in corso di datazione). La trincea VSM è stata realizzata in corrispondenza di un lineamento identificato su base geofisica; l'elevato tasso di sedimentazione nella piana fa sì che i risultati della trincea non siano discriminanti, poiché vengono investigati solo depositi molto recenti. Si è comunque deciso di mantenere i segmenti di FAC_b già identificati in Fase 2, poiché sono chiaramente identificabili su base geofisica e il segmento 9 rappresenta la prosecuzione verso Est del segmento 8, investigato con la trincea CAM.

Il Segmento 8 è ben vincolato dagli affioramenti e pertanto viene indicato come FAC a, con associate una ZRFAC di 30 m e una ZSFAC di 50 m. I Segmenti 9, 10 e 11 vengono identificati come FAC b, poiché l'ubicazione della faglia è basata unicamente su dati geofisici; il dimensionamento della ZS (100 m) è basato sull'ampiezza della zona di deformazione nelle linee ERT. Il dimensionamento della ZS è inferiore ai 160 m minimi indicati nelle Linee Guida FAC per ZS di FAC b; tuttavia, si ritiene ragionevole un dimensionamento così ridotto vista la limitata estensione dei segmenti e la notevole quantità di vincoli geologici/geofisici, che consentono di identificare con buona approssimazione la posizione della FAC.

Il parametro DISL associato alla ZR (Segmento 8) è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 35 cm (trincea CAM).

a) Settore di Villaggio Santa Maria, Fase 2



b) Settore di Villaggio Santa Maria, Fase 3

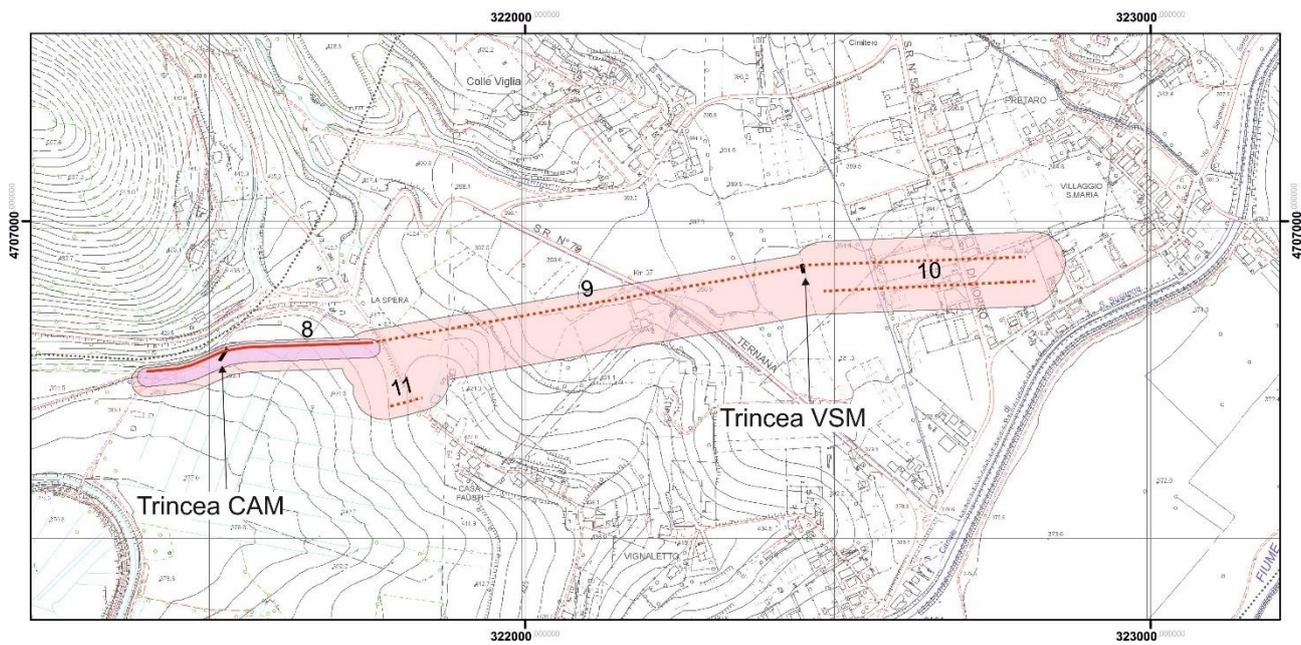


Figura 15: traccia di faglia e indagini condotte nel settore di Villaggio Santa Maria.

4.2 COMUNE DI CANTALICE

La Tabella 16 riassume le risultanze delle indagini; è indicata la tipologia di FAC (FAC_a ovvero FAC_b) e il dimensionamento delle rispettive zone di rispetto (ZR) e zone di suscettibilità (ZS), inteso come dimensione complessiva (letto + tetto). Il campo "note" fa riferimento alla simmetria o asimmetria delle ZR/ZS; nel caso di zone asimmetriche, si è adottato un rapporto di 1:4 tra tetto e letto della faglia.

Tabella 16: Sintesi delle caratteristiche dei segmenti di FAC per il Comune di Cantalice. NA: non applicabile.

Segmento	Località	Tipologia FAC	ZR (m)	Note	ZS (m)	Note
12	San Liberato	A	30	Asimm	40	Asimm
13	San Liberato	A	30	Asimm	80	Asimm
14	San Liberato	A	30	Asimm	40	Asimm
15	San Liberato	A	30	Asimm	40	Asimm
16	San Liberato	B	NA	Asimm	40	Simm
17	San Liberato	B	NA	Asimm	40	Simm
18	Collemare- Cruciano	A	30	Asimm	40	Asimm
19	Collemare- Cruciano	B	NA	Asimm	100	Simm
20	Cruciano	A	30	Asimm	40	Asimm
21	Cruciano	A	30	Asimm	40	Asimm
22	Cruciano	A	30	Asimm	40	Asimm
23	Cruciano	A	30	Asimm	40	Asimm

La Figura 16 mostra lo stato di conoscenze consegnato in Fase 2, mentre la Figura 17 presenta la mappa aggiornata delle FAC (Fase 3) del Comune di Cantalice. I tratti di FAC identificati nella Località San Liberato sono principalmente vincolati da osservazioni di terreno e rilevamento geologico. A queste osservazioni si affiancano alcuni vincoli provenienti dalle indagini geofisiche e dalle trincee esplorative scavate.

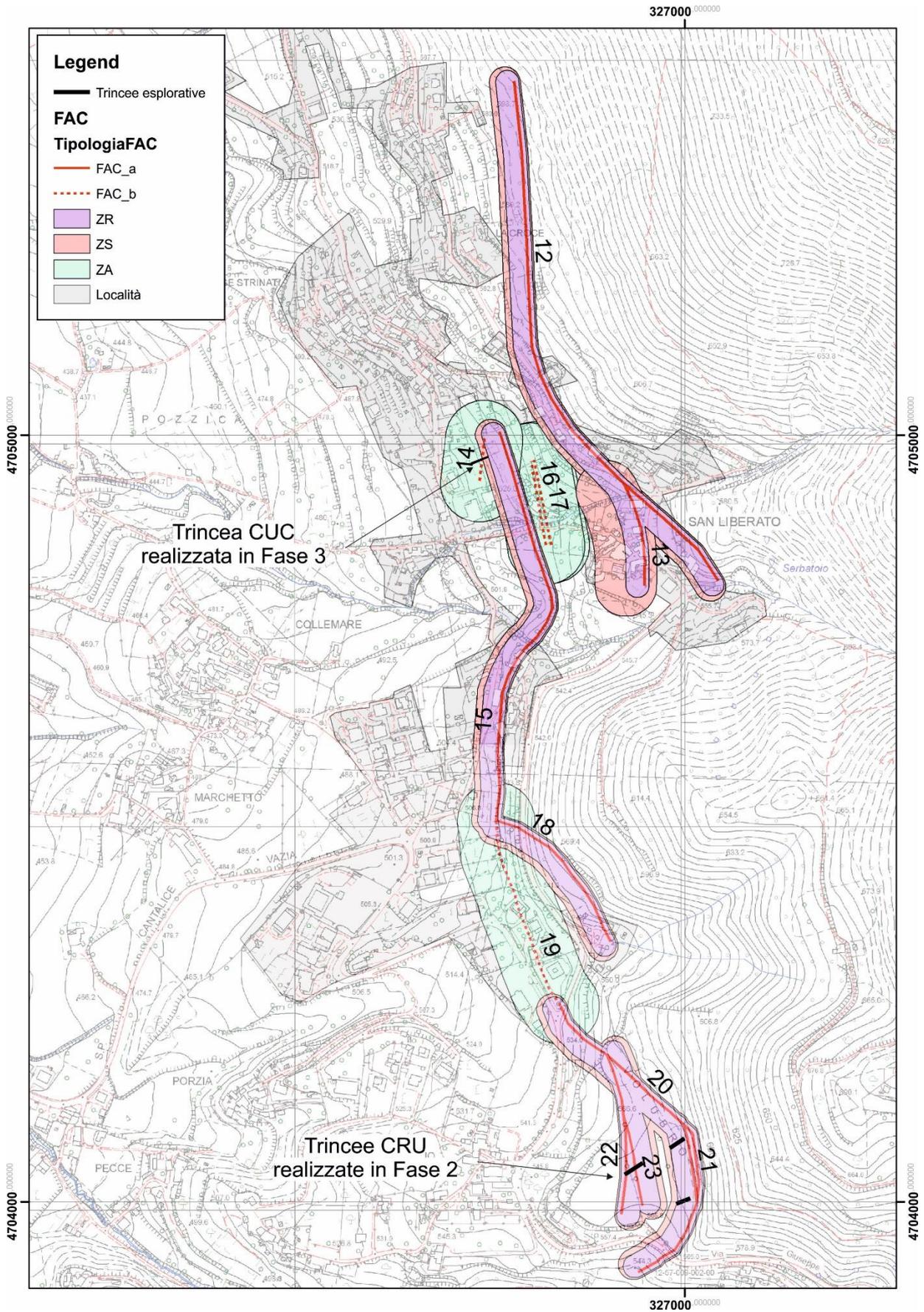


Figura 16: stato di avanzamento presentato alla fine di Fase 2 per il Comune di Cantalice.

Comune di Cantalice, Fase 3

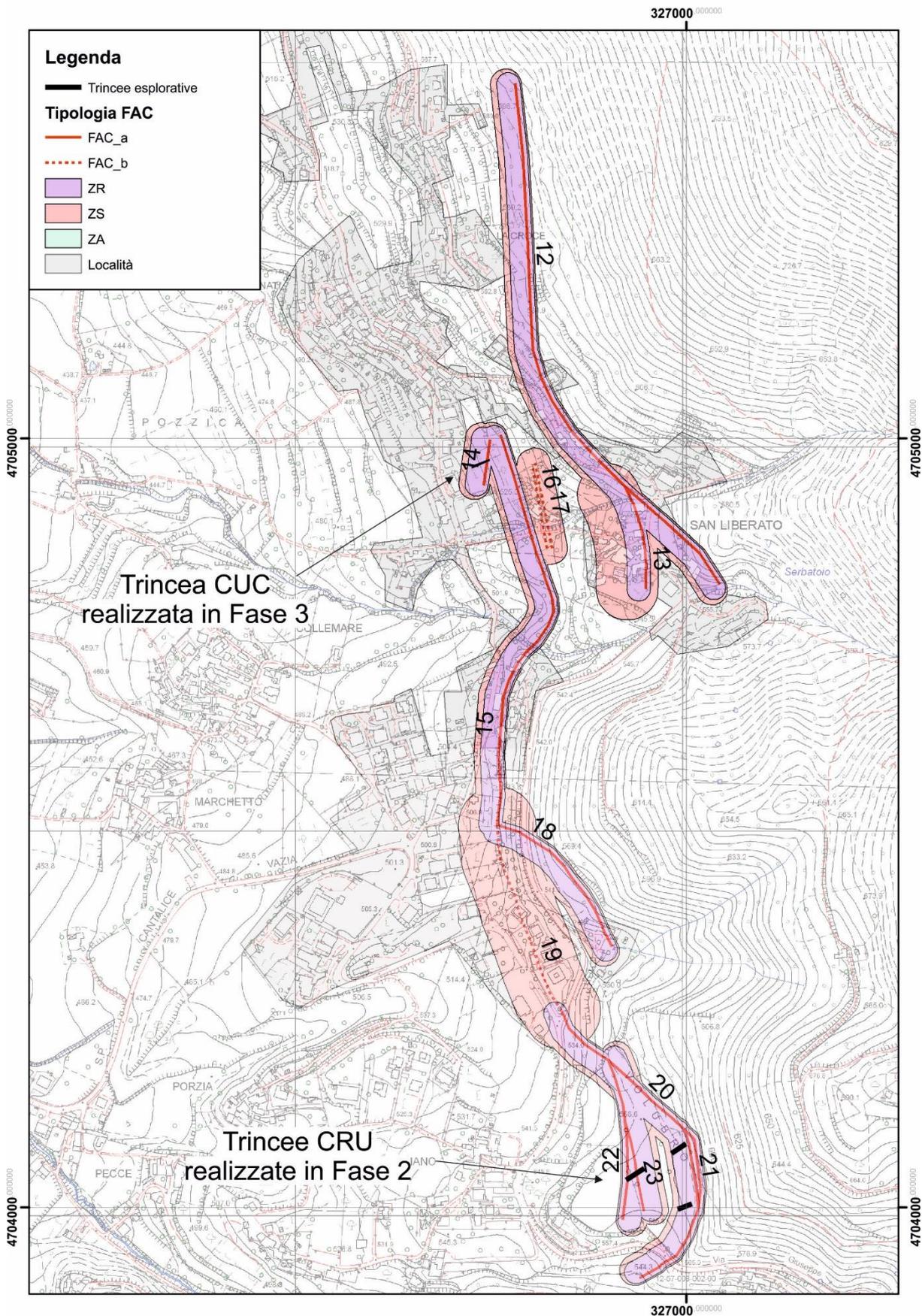


Figura 17: traccia di faglia, ZR, ZS e trincee realizzate nel Comune di Cantalice.

4.2.1 Segmenti 12 e 13: San Liberato “La Croce”

Nel settore più settentrionale (zona “La Croce”) i vincoli al posizionamento della FAC vengono dal rilevamento di terreno che ha individuato con precisione il passaggio tra il substrato roccioso, in *facies* di *fault gouge* o di breccia di faglia, al Villafranchiano. Tale tratto FAC chiude in corrispondenza del Vallone di San Liberato, dove si biforca in due tratti di faglia (terminazione meridionale del segmento 12 e segmento 13). Il proseguimento verso sud della struttura bordiera è marcato da uno *step* destro.

I Segmenti 12 e 13 sono ben vincolati dagli affioramenti e pertanto vengono indicati come FAC a, con associate una ZRFAC di 30 m. La ZSFAC per il segmento 12 è di 40 metri, mentre per il Segmento 13 si è preferito optare per una ZSFAC più ampia (80 m), che includesse il corpo tabulare di travertino in corrispondenza del nucleo abitato di San Liberato.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 53 cm. Si è ritenuto ragionevole estendere il valore ottenuto nella trincea CUC, ubicata sul Segmento 14, ai segmenti adiacenti, per via del contesto geologico-strutturale unitario. Tale approccio è considerato cautelativo rispetto alla valutazione da stime empiriche a partire dalla lunghezza di faglia, che comunque forniscono valori inferiori.

4.2.2 Segmenti 14, 15, 16, 17 e 18: San Liberato “Case Strinati” e “Collemare”

Nel settore centrale (tra Case Strinati e Collemare, a valle del nucleo storico di San Liberato) i tratti e di FAC sono posizionati in funzione delle osservazioni di terreno e della trincea CUC realizzata in Fase 3; alcuni tratti aggiuntivi, all’interno del Villafranchiano, sono interpretati esclusivamente dai dati geofisici. L’estensione degli elementi secondari verso nord è limitata dall’affioramento di Villafranchiano lungo la strada che collega Case Strinati alla strada provinciale, il quale manca di evidenze di fagliazione.

Verso sud queste discontinuità geofisiche si allineano con il tratto più meridionale della faglia bordiera, passando attraverso il contatto tra il corpo di travertino e il Villafranchiano e attraverso un singolo affioramento di substrato roccioso in *facies* di *fault gouge*.

I Segmenti 14, 15 e 18 sono ben vincolati dagli affioramenti e pertanto vengono indicati come FAC a, con associate una ZRFAC di 30 m e una ZSFAC di 40 metri. I Segmenti 16 e 17 sono stati ubicati sulla base delle indagini geofisiche e vengono classificati come FAC b; per ciascuno di questi segmenti, è stata mappata una ZS di 40 m. Il dimensionamento della ZS è inferiore ai 160 m minimi indicati nelle Linee Guida FAC per ZS di FAC b; tuttavia, si ritiene ragionevole un dimensionamento così ridotto vista la limitata estensione dei segmenti e la notevole quantità di vincoli geologici/geofisici, che consentono di identificare con buona approssimazione la posizione della FAC.

Il parametro DISL associato alle ZR è stato ottenuto su base paleosismologica, con un valore di 53 cm. Si è ritenuto ragionevole estendere il valore ottenuto nella trincea CUC, ubicata sul Segmento 14, ai segmenti adiacenti, per via del contesto geologico-strutturale unitario. Tale approccio è considerato cautelativo rispetto alla valutazione da stime empiriche a partire dalla lunghezza di faglia, che comunque forniscono valori inferiori.

4.2.3 Segmenti 19, 20, 21, 22 e 23: San Liberato “Cruciano”

Il tratto più meridionale della faglia bordiera prosegue ai piedi del rilievo collinare, lungo il contatto tra substrato e Villafranchiano, fino alla zona di Cruciano. Il collegamento al tratto di faglia centrale potrebbe avvenire tramite una zona di raccordo (*relay zone*), con step destro, ovvero attraverso un collegamento strutturale fragile (*hard linkage*) costituito dal Segmento 19. A sud del Segmento 19, la faglia corre alla base del rilievo collinare, lungo il margine interno di un ampio terrazzo prativo, e si biforca in alcuni piani di faglia antitetici a quella principale.

Il Segmento 19 è interpretato come FAC b ed è associato ad una ZS di 100 m; tale dimensionamento è inferiore ai 160 m minimi indicati nelle Linee Guida FAC per ZS di FAC b. Si ritiene ragionevole un dimensionamento così ridotto vista la notevole quantità di vincoli geologici/geofisici a supporto delle interpretazioni; si è optato per una dimensione maggiore rispetto ai 40 m dei Segmenti 16 e 17, sulla base dell'interpretazione strutturale locale: il Segmento 19, infatti, si collocherebbe infatti lungo una zona di raccordo (*relay*) tra i segmenti 18 e 20; è pertanto possibile attendersi una deformazione più distribuita rispetto ai segmenti 16 e 17.

I Segmenti 20, 21, 22 e 23 sono stati vincolati dalle linee ERT, GPR e dalle trincee esplorative; sono pertanto indicati come FAC a, con associate una ZRFAC di 30 m e una ZSFAC di 40 metri.

Le trincee hanno interessato i sedimenti alla base del versante, al letto della faglia, mostrando chiare evidenze di deformazione; le tracce delle faglie sono state cartografate in corrispondenza del contatto fra substrato calcareo cataclasato e depositi di versante tardo pleistocenici (20, 21), ovvero del contatto fra depositi “Villafranchiani” fagliati e depositi di versante tardo pleistocenici.

Si è ritenuto ragionevole estendere il valore ottenuto nella trincea CUC, ubicata sul Segmento 14, ai segmenti adiacenti del settore di Cruciano, per via del contesto geologico-strutturale unitario. Il parametro DISL associato alle ZR è stato quindi ottenuto su base paleosismologica a partire dalla trincea CUC, con un valore di 53 cm. Tale approccio è considerato cautelativo rispetto alla valutazione da stime empiriche a partire dalla lunghezza di faglia, che comunque forniscono valori inferiori.

5 BIBLIOGRAFIA

Brunamonte F., Michetti A.M., L. Guerrieri, L. Serva, 2022, L'evoluzione tardo-aternaria del Bacino di Rieti e la formazione del Lacus Velinus, In: Carlo Virili, Curatore, “Rieti Città delle Acque. Appunti per una storia economica e sociale dell'agro Reatino”, Rieti, 12 dicembre 2009, 55-94, Teso Editore, Roma, 2022, ISBN 978-88-95291-178.

Gilbert, G. K., 1890, Lake Bonneville, U.S.G.S. Monograph 1 (1890).

Michetti, A. M., Brunamonte, F., Serva, L., & Whitney, R. A. (1995). Seismic hazard assessment from paleoseismological evidence in the Rieti Region (Central Italy). *Perspectives in Paleoseismology*, Association of Engineering Geologists Bulletin, Special Publication, (6), 63-82.

Serva, L., Blumetti, A. M., & Michetti, A. M. (1986). Gli effetti sul terreno del grande terremoto del Fucino (13 gennaio 1915): tentativo di interpretazione della evoluzione tettonica recent di alcune strutture. *Mere. Soc. Geol. it.*, 35.

Slemmons, D. B. (1957). Geological effects of the Dixie valley-Fairview peak, Nevada, earthquakes of December 16, 1954. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 47(4), 353-375.

Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.