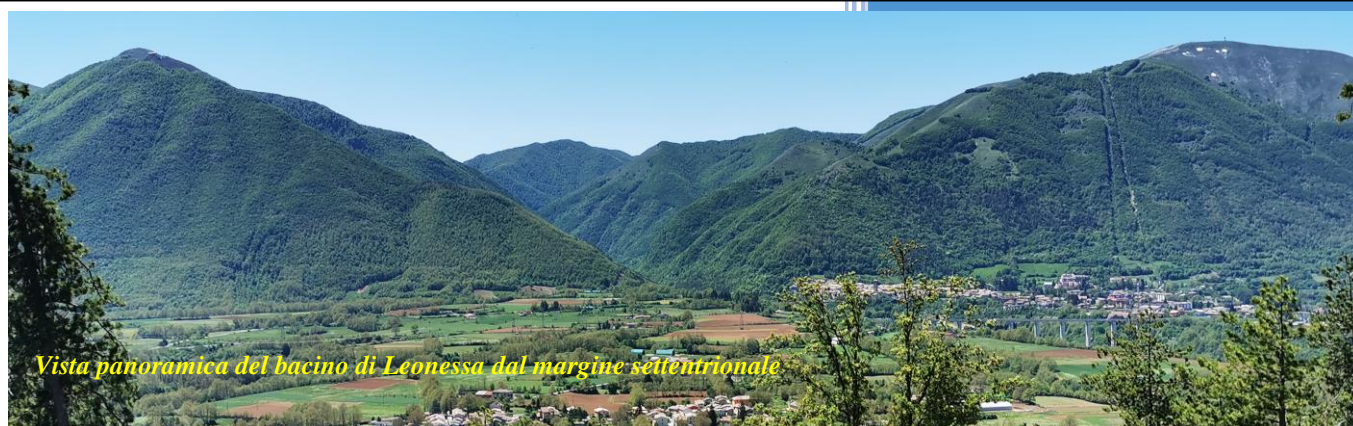




RIDEFINIZIONE DELLE ZONE DI ATTENZIONE DELLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI EMERSE DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA EFFETTUATI NEL COMUNE DI LEONESSA, IN PROVINCIA DI RIETI, INTERESSATO DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016 – FASE 3



Vista panoramica del bacino di Leonessa dal margine settentrionale

Coordinatore: Emanuela Falcucci⁽¹⁾

Relazione a cura di: Emanuela Falcucci⁽¹⁾, Stefano Gori⁽¹⁾ e
Francesco Chiaretti⁽²⁾

con la collaborazione di Deborah Maceroni⁽³⁾⁽¹⁾

Rilievi con drone, fotogrammetria, modelli digitali di terreno:
Fawzi Doumaz⁽¹⁾ e Marco Moro⁽¹⁾.

Le determinazioni micropaleontologiche e stratigrafiche delle
sequenze pre-quadernarie sono state effettuate in
collaborazione con il Prof. Domenico Cosentino⁽⁴⁾ e la Prof.ssa
Paola Cipollari⁽⁴⁾

Indagini geologiche di terreno effettuate con la partecipazione
di Girolamo Dixit Dominus⁽⁵⁾

*Attività operativa nell'ambito
dell'accordo di collaborazione
scientifica tra INGV e la Presidenza del
Consiglio dei Ministri– Commissario
Straordinario del Governo, ai fini della
ricostruzione nei territori interessati
dagli eventi sismici verificatisi a far
data dal 24 agosto 2016, con sede in
Roma - Via IV Novembre n.119/a in
persona dell'On. Avv. Giovanni Legnini
(del 03/10/2020)*

2020-2021-2022

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

(2) Libero Professionista

(3) Università di Cassino e Lazio Meridionale - DiCeM – Cassino

(4) Università degli Studi Roma Tre

(5) MARES Italia s.r.l.

RIDEFINIZIONE DELLE ZONE DI ATTENZIONE DELLE FAGLIE ATTIVE E CAPACI EMERSE DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA EFFETTUATI NEL COMUNE DI LEONESSA, IN PROVINCIA DI RIETI, INTERESSATO DAGLI EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016 – FASE 3

Coordinatore: Emanuela Falcucci⁽¹⁾

a cura di Emanuela Falcucci⁽¹⁾, Stefano Gori⁽¹⁾ e Francesco Chiaretti ⁽²⁾

con la collaborazione di Deborah Maceroni⁽³⁾⁽¹⁾

Rilievi con drone, fotogrammetria, modelli digitali di terreno: Fawzi Doumaz⁽¹⁾, Marco Moro⁽¹⁾

Le determinazioni micropaleontologiche e stratigrafiche delle sequenze pre-aterniane sono state effettuate in collaborazione con il Prof. Domenico Cosentino⁽⁴⁾ e la Prof.ssa Paola Cipollari⁽⁴⁾

Indagini geologiche di terreno effettuate con la partecipazione di Girolamo Dixit Dominus⁽⁵⁾

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma

(2) Libero Professionista

(3) Università di Cassino e Lazio Meridionale - DiCeM – Cassino

(4) Università degli Studi Roma Tre

(5) MARES Italia s.r.l.

INDICE

1. Introduzione

2. Metodi di indagine e analisi

- 2.1 Analisi geomorfologica
- 2.2 Analisi stratigrafiche

3. Indagini geologiche e paleosismologiche

- 3.1 Settore Leonessa Nord: Area “Borgo Mataloni-Prima Forca”
- 3.2 Settore Leonessa centrale: Area “Base Monte Tilia”
- 3.3 Settore Leonessa centrale: Area “Base Monte Tilia – Monte Tilia-Leonessa”
- 3.4 Settore Leonessa Sud: Area “Leonessa-Piedelpoggio”

4. Discussione e valutazione dei dati raccolti in chiave tettonica

- 4.1 Area “Borgo Mataloni-Prima Forca”
- 4.2 Area “Base Monte Tilia”
- 4.3 Area “Base Monte Tilia – Monte Tilia-Leonessa”
- 4.4 Area “Leonessa-Piedelpoggio”

5. Conclusioni

Bibliografia

Ringraziamenti e riconoscimenti

1. INTRODUZIONE

L'attività operativa nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Commissario Straordinario del Governo prevede la ridefinizione delle zone di attenzione delle faglie attive a capaci emerse degli studi di Microzonazione Sismica (MZS) effettuati nel comune di Leonessa, in provincia di Rieti, interessato dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016.

Nello specifico, la faglia di Leonessa è stata definita negli studi di MZS “attiva e capace”. Secondo quanto definito dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica attualmente vigenti in Italia e in particolare dalle “Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)” (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015) (da qui in poi nominate Linee Guida FAC), è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene Superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno.

Tale assunzione per la faglia di Leonessa deriva dalla presenza di questa nel Catalogo delle faglie capaci (ITHACA) dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Specificatamente, ITHACA riporta la faglia di Leonessa come faglia normale capace, orientata NO-SE e immergente verso NE, composta da due rami paralleli fra loro (uno principale e uno di minor lunghezza), che interessano il margine sud-occidentale del bacino di Leonessa, per una lunghezza superficiale di circa 15 km. Secondo quanto definito dal Catalogo, la struttura tettonica mostrerebbe evidenze di attività nel Pleistocene Medio-Superiore, essendo responsabile della dislocazione di depositi e/o morfologie che ne attesterebbero l'ultima attività in un ambito cronologico compreso tra i 125.000 e 700.000 anni prima del presente. Tuttavia, per la definizione della capacità di una faglia, ITHACA non sempre riporta l'evidenza di attivazione negli ultimi 40.000 anni, come richiesto e previsto dalle succitate Linee Guida FAC.

Nella presente relazione si descrivono le attività e i risultati delle analisi di dettaglio condotte lungo la faglia di Leonessa, effettuate durante la FASE 3 del presente studio, che costituiscono il massimo livello di approfondimento per l'analisi della attività e capacità della struttura tettonica in esame. Infatti, nel Decreto n.392 del 8 settembre 2021 emanato dal Commissario Straordinario del Governo ai fini della ricostruzione nei territori interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 Agosto 2016, è definito:

“Considerato che nella Relazione conclusiva della Fase 2 l'INGV ha rappresentato che le FAC e relative Zone di FAC costruite a valle dello studio sono da considerarsi provvisorie in quanto saranno singolarmente riviste ed eventualmente modificate alla luce degli approfondimenti paleosismologici che saranno realizzati nella successiva fase di studio e, quindi, ha evidenziato la necessità della pianificazione di Fase 3 nella quale saranno effettuate ulteriori indagini di approfondimento paleosismologico, con l'auspicio della “collaborazione fattiva degli Enti locali (...) per la riduzione della tempistica di esecuzione lavori di movimento terra e della concessione delle autorizzazioni per le fasi di scavo” e l'indicazione che “La Fase 3 comprenderà, inoltre, a partire dalla ridefinizione delle FAC e FPAC, l'aggiornamento degli studi di microzonazione sismica in modo tale da fornire al singolo comune gli strumenti per una corretta pianificazione del territorio”.

Come definito nell'Allegato 2 (Allegato tecnico) al suddetto Decreto, le attività e le indagini da eseguire nell'ambito della Fase 3, prevedono:

- Esecuzione di trincee paleosismologiche in settori ritenuti significativi ai fini dell'individuazione della faglia in numero e dimensioni adeguati al tipo di informazione richiesta;
- Datazione assoluta dei sedimenti prelevati durante le operazioni di scavo delle trincee;
- Ulteriori indagini geofisiche, interferometriche, topografiche ritenute necessarie ai fini della definizione delle Zone di Rispetto (ZRFAC) previste dalle Linee Guida;
- Configurazione di cartografia di sintesi e di relazione esplicativa dei risultati per ciascuna FAC oggetto di studi.
- Aggiornamento degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 a conclusione delle attività di paleosismologia e di definizione delle ZR.

L'approfondimento delle conoscenze circa la capacità della faglia di Leonessa è stato effettuato mediante uno studio multidisciplinare e multimetodologico che ha previsto:

- il rilevamento geologico-geomorfologico-strutturale di terreno, coadiuvato dall'analisi aerofotogeologica multi-scalare e multi-temporale (compresa la realizzazione di modelli digitali del terreno tridimensionali), in aree selezionate, al fine di reperire informazioni utili a migliorare il quadro delle conoscenze sulla traccia della faglia e sull'attività della stessa nel corso del tardo Quaternario, con particolare riferimento agli ultimi 40.000 anni, come previsto dalle Linee Guida FAC (Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, 2015);
- l'analisi stratigrafiche delle successioni pre-quaternarie (sequenze marine meso-cenozoiche) e di quelle quaternarie (sequenze sedimentarie continentali ospitate all'interno del bacino di Leonessa), finalizzate a mappare in dettaglio la traccia della faglia di Leonessa, definirne le caratteristiche geometrico-strutturali e l'attività nel Pleistocene Superiore-Olocene;
- l'esecuzione di sondaggi geognostici finalizzati a chiarire l'assetto geologico del sottosuolo in settori di particolare rilevanza per l'analisi dell'attività della faglia;
- l'esecuzione di scavi geognostici (trincee) attraverso la traccia della faglia per ottenere informazioni sull'assetto geologico-strutturale di sottosuolo nelle zone potenzialmente interessate dalla presenza della faglia e chiarire in modo conclusiva l'attività e la capacità della struttura tettonica.

Tali indagini e analisi verranno descritte di seguito in paragrafi specifici e i risultati saranno riassunti nei paragrafi conclusivi, nei quali verranno fornite valutazioni circa l'attività e la capacità della faglia di Leonessa. Per ciò che concerne le caratteristiche geologiche e l'assetto strutturale del bacino di Leonessa si rimanda alle relazioni conclusive delle FASI 1 e 2 del presente studio.

2. METODI DI INDAGINE E ANALISI

La FASE 3 ha previsto un significativo incremento del dettaglio delle analisi geologiche, con particolare riferimento a siti e tratti della faglia di Leonessa di particolare rilevanza e significatività per caratterizzarne la capacità.

2.1 Analisi geomorfologica

Nel corso della FASE 3 è stata approfondita l'analisi geomorfologica locale di tratti della traccia della faglia di Leonessa e dei versanti interessati da questa. L'indagine è stata eseguita incrociando osservazioni di terreno con l'analisi aerofotogeologica multiscalare e multitemporale, confrontando immagini aeree riprese in diversi anni e a scala diversa.

Sono state analizzate le fotografie in bianco e nero realizzate dall'Istituto Geografico Militare Italiano (IGM) nell'anno 1954 relative a:

- Foglio 138, Strisciata 38, Fotogrammi 2502-2503-2504 alla scala 1:34.000;
- Foglio 139, Strisciata 39, Fotogrammi 1206-1207-1208-1209 alla scala 1:29.000;
- Foglio 139, Strisciata 40, Fotogrammi 1257-1258-1259 alla scala 1:29.000.

Sono stati inoltre analizzati i fotogrammi del volo della Royal Air Force (R.A.F) dell'anno 1945, fornite dall'IGM per le finalità del presente studio, relative a:

- Foglio 139, Strisciata 10, Fotogrammi 21-22-23 alla scala 1:55.000;
- Foglio 139, Strisciata 5, Fotogrammi 5-6-7 alla scala 1:55.000;
- Foglio 139, Strisciata 6, Fotogrammi 31-32-33 alla scala 1:55.000.

Le fotografie aeree IGM dell'anno 1954 sono state analizzate presso il Laboratorio di Cartografia e Fotogeologia (sez. Roma 1) dell'INGV di Roma. Sia quelle dell'IGM e quelle del volo R.A.F. sono state esaminate mediante l'utilizzo dello Stereoscopio classico modello Wild Aviopret APT2.

Le analisi aerofotogeologiche e le osservazioni di terreno hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista geomorfologico i versanti interessati dalla faglia di Leonessa con estremo dettaglio, permettendo l'individuazione di elementi morfologici del paesaggio, di definirne l'origine e di porli in relazione con l'evoluzione recente della zona di faglia.

Di seguito vengono elencati e descritti i principali elementi geomorfologici individuati e di cui ne è stata caratterizzata l'origine e l'evoluzione recente. Alcuni elementi o aspetti verranno analizzati in dettaglio nella descrizione dei settori in cui si è concentrata l'analisi paleosismologica.

Inoltre, l'elaborazione fotogrammetrica digitale delle fotografie aeree del 1945 ha permesso la realizzazione di modelli digitali del terreno tridimensionali che hanno consentito un'accurata analisi degli elementi geomorfologici e della loro evoluzione nel corso degli ultimi decenni.

Tale elaborazione è stata effettuata grazie all'utilizzo del software Metashape di Agisoft, presso il Laboratorio di "Geo-archeomatica e Geofisica Sperimentale" dell'INGV (sez. Osservatorio Nazionale Terremoti).

- Scarpate di faglia

L'analisi delle fotografie aeree, incrociata con le osservazioni di terreno, è risultata fondamentale per la mappatura ad altissima risoluzione degli elementi geomorfologici riferibili alla faglia di

Leonessa, in particolare alla possibile scarpata di faglia, ovvero la scarpata la cui formazione è da riferirsi alla presenza dell'elemento tettonico e, potenzialmente, al suo "grado" di capacità, come la sommatoria dei movimenti della struttura tettonica nel corso di centinaia di migliaia di anni. In particolare, le fotografie aeree del volo R.A.F. sono risultate uno strumento molto utile per questa finalità poiché hanno permesso di analizzare le caratteristiche geomorfologiche dei versanti interessati dalla faglia quando questi, alla metà del secolo scorso, erano interessati da una copertura boschiva e vegetale estremamente ridotta rispetto a oggi.

L'analisi aerofotogeologica ha dunque contribuito alla definizione della traccia della faglia con estremo dettaglio e con diversi elementi di novità rispetto a quanto noto a oggi.

- Fenomeni gravitativi e di ruscellamento superficiale concentrato

L'indagine aerofotogeologica, corroborata da indagini di terreno, ha permesso l'individuazione e mappatura di dettaglio degli elementi morfologici associati a processi di instabilità gravitativa. L'analisi aerofotogeologica multitemporale dei versanti con copertura boschiva ridotta rispetto all'attuale ha anche permesso di identificare quei settori a ridosso della zona di faglia in cui sono presenti fenomeni di ruscellamento superficiale (es. lungo la zona intermedia e basale dei versanti a ridosso dell'abitato di Leonessa), caratterizzati da marcata erosione lineare concentrata con evidente evoluzione temporale rapida, messa in evidenza dall'analisi multitemporale delle fotografie aeree.

- Scarpate e morfologie di origine antropica

Si è provveduto all'individuazione e mappatura di dettaglio degli elementi morfologici ascrivibili all'attività antropica e di quelli in cui l'attività antropica si è sovrapposta a processi morfogenetici naturali. Per la maggior parte, si tratta di morfologie legate alla regolarizzazione delle zone alla base dei versanti o terrazzamenti per scopi agricoli, con conseguente modifica del paesaggio naturale. In linea generale, le morfologie associate all'attività antropica sono evidenziate da forme e/o scarpate a geometria squadrata ed andamento molto rettilineo e, talvolta, ad angoli retti e netti. In rari casi si sono osservati veri e propri gradoni artificiali scolpiti su porzioni di versante, che determinano scarpate artificiali al margine di superficie sub-pianeggianti che risultano per questo apparentemente sospese rispetto al fondovalle attuale.

L'analisi si è concentrata nei settori di faglia oggetto dell'indagini paleosismologica, al fine di confrontare i risultati di quest'ultima con le evidenze geomorfologiche.

- morfologie deposizionali (di accumulo) o di erosione

L'indagine geomorfologica si è inoltre concentrata sull'individuazione di elementi geomorfologici quali terrazzi di erosione e/o accumulo, corpi deposizionali (conoidi alluvionali e di detrito) presenti in corrispondenza della zona di faglia. La caratterizzazione dell'origine di tali elementi e la relazione con l'evoluzione recente dei versanti di faglia e dei livelli di base locali hanno permesso di ottenere elementi utili per l'analisi dell'attività della faglia stessa. A tale proposito, come descritto nelle relazioni conclusive delle FASI 1 e 2 del presente studio, alcuni autori (e.g. Michetti e Serva, 1990) avevano indicato la presenza di superfici e terrazzi al letto della faglia, in alcuni casi associati a depositi continentali quaternari (alluvionali e lacustri), troncati e lasciati sospesi rispetto alla piana di Leonessa dall'azione dell'elemento tettonico. Altri autori, invece, (Fubelli et al., 2008; 2009)

hanno indicato la presenza di conoidi alluvionali tardo-pleistocenici presenti alla base della versante di faglia, che sigillano la stessa. Per tale motivo, l'analisi di questi elementi geomorfologici, dei depositi ad essi associati e il confronto con le indagini paleosismologiche costituisce fattore di grande rilevanza per l'analisi dell'attività recente della faglia, soprattutto alla luce dei succitati studi presenti in letteratura.

2.2 Analisi stratigrafiche

Per ciò che concerne le indagini stratigrafiche, sono stati effettuati degli approfondimenti rispetto a quanto fatto nelle FASI 1 e 2 del presente lavoro. Queste hanno riguardato sia le formazioni del substrato pre-quadernario sia i depositi quadernari.

2.2.1 Caratterizzazione del substrato pre-quadernario

Per ciò che concerne il substrato, oltre al rilevamento geologico di terreno e al riconoscimento in campagna delle formazioni affioranti in settori specifici (coadiuvata dalla cartografia geologica disponibile), sono state condotte analisi di dettaglio in zone di particolare interesse. Queste si sono basate sull'analisi di sezioni sottili di rocce per determinazioni micropaleontologiche con finalità crono-stratigrafica. Le sezioni sottili sono state sottoposte ad analisi al microscopio ottico, effettuate presso il Dipartimento di Scienze dell'Università Roma Tre. Le determinazioni del substrato mesozoico sono state effettuate in collaborazione con il Prof. Domenico Cosentino e la Prof.ssa Paola Cipollari dell'Università degli Studi Roma Tre.

2.2.2 Caratterizzazione delle unità quadernarie mediante sondaggi

Per ciò che concerne l'analisi dei depositi continentali quadernari, oltre al rilevamento di campagna, coadiuvato dalla cartografia geologica disponibile (es. Fubelli et al., 2008; Carta geologico-tecnica della Microzonazione Sismica di I livello del Comune di Leonessa) sono stati effettuati degli approfondimenti locali mediante l'analisi di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo realizzato alla fine della FASE 2 e l'analisi stratigrafica di carote di sedimento ottenute mediante sondaggi effettuati durante la FASE 2 dello studio. I sondaggi hanno permesso di definire le caratteristiche stratigrafiche sub-superficiali (fino alla profondità di alcune decine di metri) di alcuni punti di interesse, nonché di intercettare e campionare il substrato pre-quadernario presente nel sottosuolo, poi determinato da un punto di vista cronostratigrafico secondo quanto definito nel paragrafo 2.3.1.

2.2.3 Scavi geognostici (trincee) per finalità paleosismologica

Sono state realizzate tre trincee e una serie di saggi esplorativi mediante mezzo meccanico (Fig. 1) in due siti selezionati alla fine della FASE 2 del presente studio, idonei a ottenere informazioni utili alla definizione della attività e capacità della faglia di Leonessa.



Fig. 1. Realizzazione di una delle trincee paleosismologiche attraverso la traccia della faglia di Leonessa.

Come massimo livello di approfondimento per lo studio di una FAC, le Linee Guida FAC prevedono il livello di indagini “Ind_4”, ovvero la “Paleosismologia”, che consiste nell’esecuzione, appunto, di scavi geognostici attraverso la traccia della possibile FAC, atti a chiarire la storia dei movimenti recenti (ovvero negli ultimi 40.000 anni) della struttura tettonica in esame.

Le trincee effettuate hanno infatti permesso la realizzazione di affioramenti “artificiali” i quali, integrati con i dati ricavati dai rilievi geologici e geomorfologici di terreno e dai sondaggi geognostici, hanno consentito di analizzare il rapporto fra i depositi quaternari e la possibile zona di faglia, al fine di definire la capacità di questa nel settore investigato.

Per conciliare le necessità scientifiche di indagine con quelle della sicurezza di operare all’interno degli scavi, questi sono stati realizzati con una sezione trasversale secondo lo schema riportato in Fig. 2, ovvero con una parete unica e verticale da un lato e con una parete “a gradoni” dal lato opposto.

Dopo la ripulitura manuale delle pareti degli scavi mediante strumenti idonei, per asportare elementi che obliteravano la stratigrafia originale intercettata, queste sono state analizzate e il relativo assetto stratigrafico è stato riportato alla scala 1:20 su carta millimetrata, grazie all’ausilio di riferimento metrico costituito da un reticolo a maglia quadrata di lato 1x1m, al fine di realizzare un prospetto in scala del quadro stratigrafico esposto.

Le pareti degli scavi sono state inoltre rilevate con apparati fotografici ad altissima risoluzione. L'elaborazione delle immagini ricavate ha permesso di effettuare ulteriori elaborazioni e analisi anche successivamente alla chiusura degli scavi stessi.

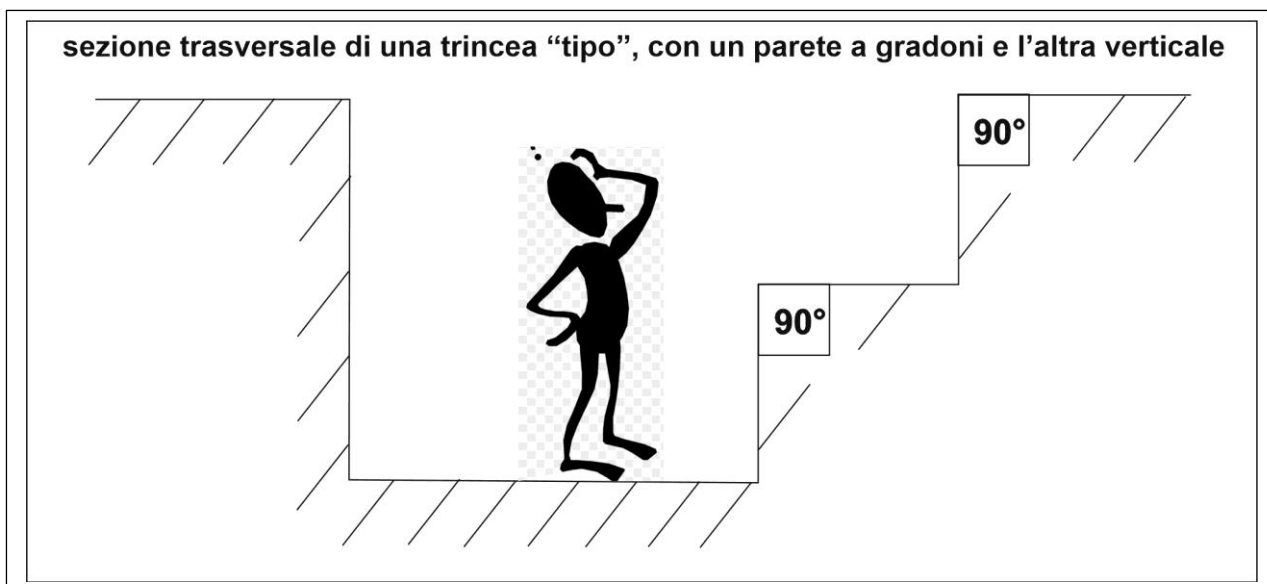


Fig. 2. Rappresentazione schematica della sezione trasversale "tipo" delle trincee realizzate per il presente studio.

3. INDAGINI GEOLOGICHE E PALEOSISMOLOGICHE

Le indagini geologiche e paleosismologiche sono state realizzate in aree specifiche lungo la traccia della faglia di Leonessa, in particolare nelle aree denominate durante la FASE 2 come "Borgo Mataloni-Prima Forca" nel settore "Leonessa Nord", "base Monte Tilia" e "Monte Tilia-Leonessa" nel settore "Leonessa Centrale" e "Leonessa-Piedelpoggio" nel settore "Leonessa Sud". Le indagini condotte vengono di seguito descritte dall'area più settentrionale, ovvero "Borgo Mataloni-Prima Forca" a quella più meridionale, ovvero "Leonessa-Piedelpoggio".

3.1 Settore "Leonessa Nord": Area Borgo Mataloni-Prima Forca

Il settore settentrionale della faglia di Leonessa è stato oggetto di indagini dettagliate già durante la FASE 2. In quest'area, la continuità geometrica e stratigrafica della sequenza carbonatica del substrato mesozoico attraverso la faglia ha indicato l'assenza di dislocazioni verticali associabili all'attività della struttura tettonica, come faglia estensionale. Alla luce di queste osservazioni, il tratto settentrionale della faglia è stato valutato e dunque cartografato come non capace a conclusione della FASE 2.

Tuttavia, come descritto nella relazione conclusiva della FASE 1, in questo tratto di faglia è presente uno degli elementi geologici che ha suggerito a Michetti e Serva (1990) l'attività estensionale quaternaria della struttura tettonica, almeno successiva al Pleistocene Inferiore-Medio. Infatti, secondo gli autori, i movimenti della faglia di Leonessa avrebbero determinato la dislocazione di

depositi lacustri del Pleistocene Inferiore-Medio rinvenuti in località Prima Forca, i quali sarebbero stati troncati e lasciati sospesi al letto della faglia rispetto agli stessi depositi lacustri ritrovati all'interno del bacino di Leonessa avendoli, quindi, considerati appartenenti alla stessa sequenza stratigrafica continentale. In merito alla valutazione dell'entità minima della dislocazione quaternaria della faglia, gli autori hanno considerato la differenza di quota fra i depositi da loro identificati al letto come depositi lacustri (in località Prima Forca) e la cosiddetta "superficie di Leonessa", al tetto della faglia, ovvero la superficie sub-pianeggiante di origine erosiva che domina il paesaggio della piana di Leonessa. Questo elemento geomorfologico, secondo gli autori, sarebbe da riferire alla sequenza alluvionale del Pleistocene Medio (600-200 ka) (Fig. 3a, b), che copre stratigraficamente quella lacustre. Tale rigetto minimo è stato stimato da Michetti e Serva (1990) in circa 70-100, da imputare all'attività estensionale della struttura tettonica (Fig. 3b).

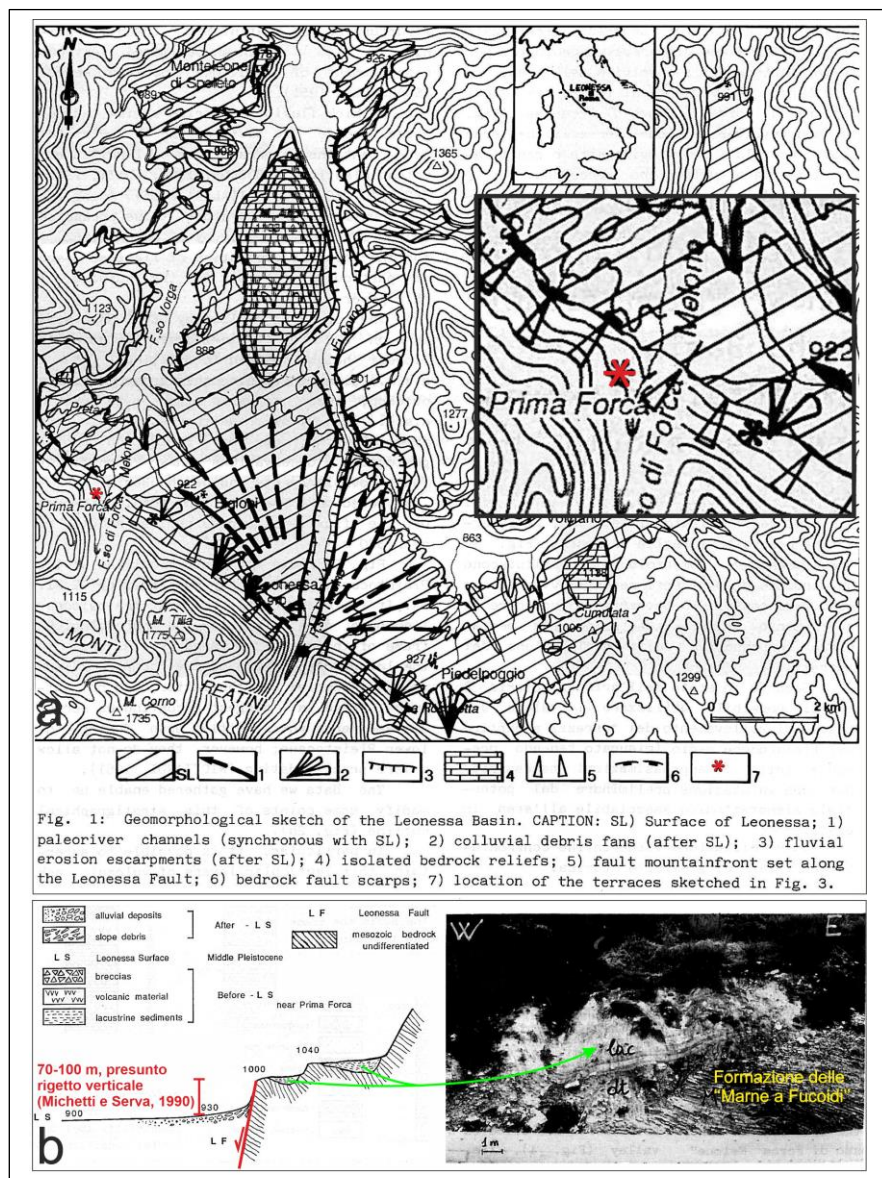


Fig. 3. a) Schema geomorfologico del bacino di Leonessa di Michetti e Serva (1990). b) Sezione stratigrafica schematica proposta da Michetti e Serva (1990) in cui è riportato il deposito, interpretato come deposito di origine lacustre dagli autori, che risulterebbe sospeso al letto della faglia di Leonessa e troncato all'attività della struttura tettonica.

Invece, Fubelli et al. (2009) hanno interpretato il terrazzo di Michetti e Serva (1990) in località Prima Forca, al letto della faglia, come una superficie sub-pianeggiante strutturale, ovvero consistente con la giacitura sub-orizzontale del substrato carbonatico (Formazione cretacea delle “Marne a Furoidi” della sequenza umbro-marchigiana). Tale superficie non potrebbe essere dunque correlata attraverso la faglia con la cosiddetta “superficie di Leonessa” perché tali elementi geologici non avrebbero la stessa origine e la stessa età, quindi non rappresenterebbero lo stesso elemento correlativo dislocato dalla faglia.

Le evidenze proposte da Michetti e Serva (1990) sarebbero anche in contrasto con i risultati delle indagini della FASE 2 dello studio in questo settore. Infatti, da un lato, le osservazioni fatte da Michetti e Serva (1990) testimonierebbero la dislocazione di depositi quaternari attraverso la faglia; dall’altro, le indagini condotte durante la FASE 2 hanno evidenziato la pressoché assenza di rigetti verticali in questo settore attraverso la faglia del substrato carbonatico pre-quaternario (mesozoico). Questo sarebbe incompatibile con l’ipotesi di Michetti e Serva (1990) in quanto il substrato carbonatico dovrebbe mostrare dislocazioni verticali di entità almeno pari se non superiori rispetto a quelli dell’unità lacustre de Pleistocene Inferiore identificata dai suddetti autori. Tale difformità ha suggerito di approfondire le indagini in quest’area.

Il rilevamento geologico condotto ha permesso di individuare la sequenza argilloso-limosa grigio-biancastra in discordanza sul substrato carbonatico (Formazione delle “Marne a Furoidi”) descritta da Michetti e Serva (1990) (Fig. 4). Questo ha permesso di escludere che, a differenza di quanto proposto da Fubelli et al. (2009), il terrazzo in località Prima Forca, che sottende tale sequenza sedimentaria, sia da riferirsi esclusivamente alla giacitura sub-orizzontale delle rocce del substrato pre-quaternario ma che è effettivamente scolpito su depositi diversi dalla Formazione cretacea delle “Marne a Furoidi”.



Fig. 4. Sequenza argilloso-limosa individuata da Michetti e Serva (1990) e rinvenuta nuovamente nel corso del presente studio in località Prima Forca.

Sono state prelevati alcuni campioni dalla sequenza argilloso-limosa e sono stati analizzati per determinazioni paleontologiche e paleo-ambientali. Tali indagini hanno mostrato la presenza nel sedimento di nannofossili calcarei pertinente a un ambiente marino e non lacustre continentale. In particolare, oltre a *marker* paleontologici di età serravalliana, sono stati identificati nannofossili classificati come “*Discoaster bellus group*” (Fig. 5a, b, c), e “*Discoaster cf. berggrenii*” (Fig. 5d). La *First Occurrence* (FO; prima occorrenza) del “*Discoaster bellus group*” è in un intervallo tra 10.4 Ma e 10.7 Ma (Tortoniano Inferiore); la FO di “*Discoaster cf. berggrenii*” è tra 8.2 Ma e 8.4 Ma circa (Tortoniano Superiore) (Raffi et al., 2006).

Le caratteristiche sedimentologiche, il contesto morfo-stratigrafico e la determinazione micropaleontologica suggeriscono che il deposito argilloso-limoso sia associato ad un bacino di *thrust-top* formatosi durante un evento tettonico compressivo che ha strutturato questa porzione di catena appenninica nel Tortoniano Superiore.

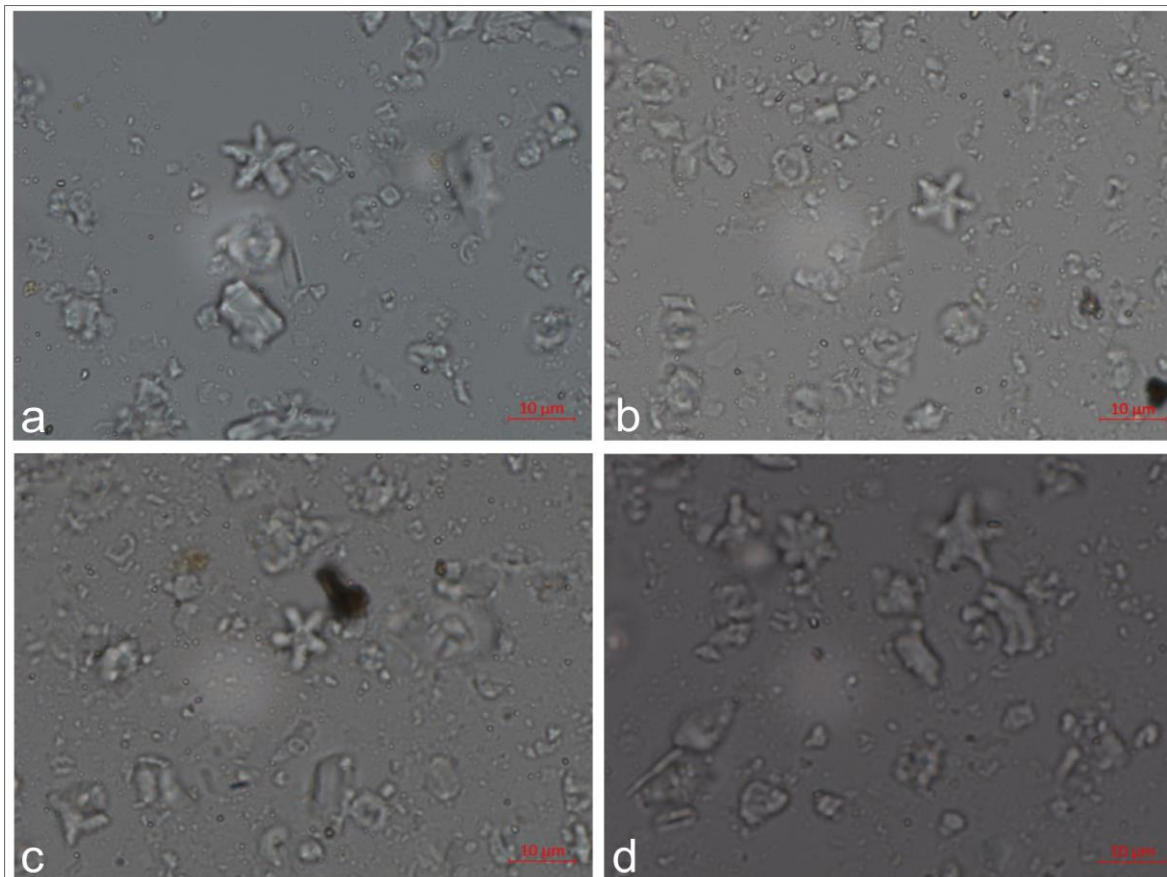


Fig. 5. Nannofossili calcarei individuati all'interno del deposito marino del Tortoniano presente in località Prima Forca, che era stato interpretato come deposito lacustre del Pleistocene Inferiore da Michetti e Serva (1990). a), b), c) “*Discoaster bellus group*”; d) “*Discoaster cf. berggrenii*”

3.2 Settore “Leonessa Centrale”: Area “base Monte Tilia”

Il rilevamento geologico-strutturale condotto lungo il versante orientale del M. Tilia ha permesso di caratterizzare con maggior dettaglio le sequenze del substrato carbonatico mesozoico affioranti, ascrivibili alle Formazioni della sequenza umbro-marchigiana (Fig. 6).

In particolar modo, nel settore del versante mostrato in Fig. 7 è stata individuata in affioramento la Formazione della “Maiolica”, la quale passa lateralmente (verso NO) alla Formazione delle “Marne a Fucoidi”.

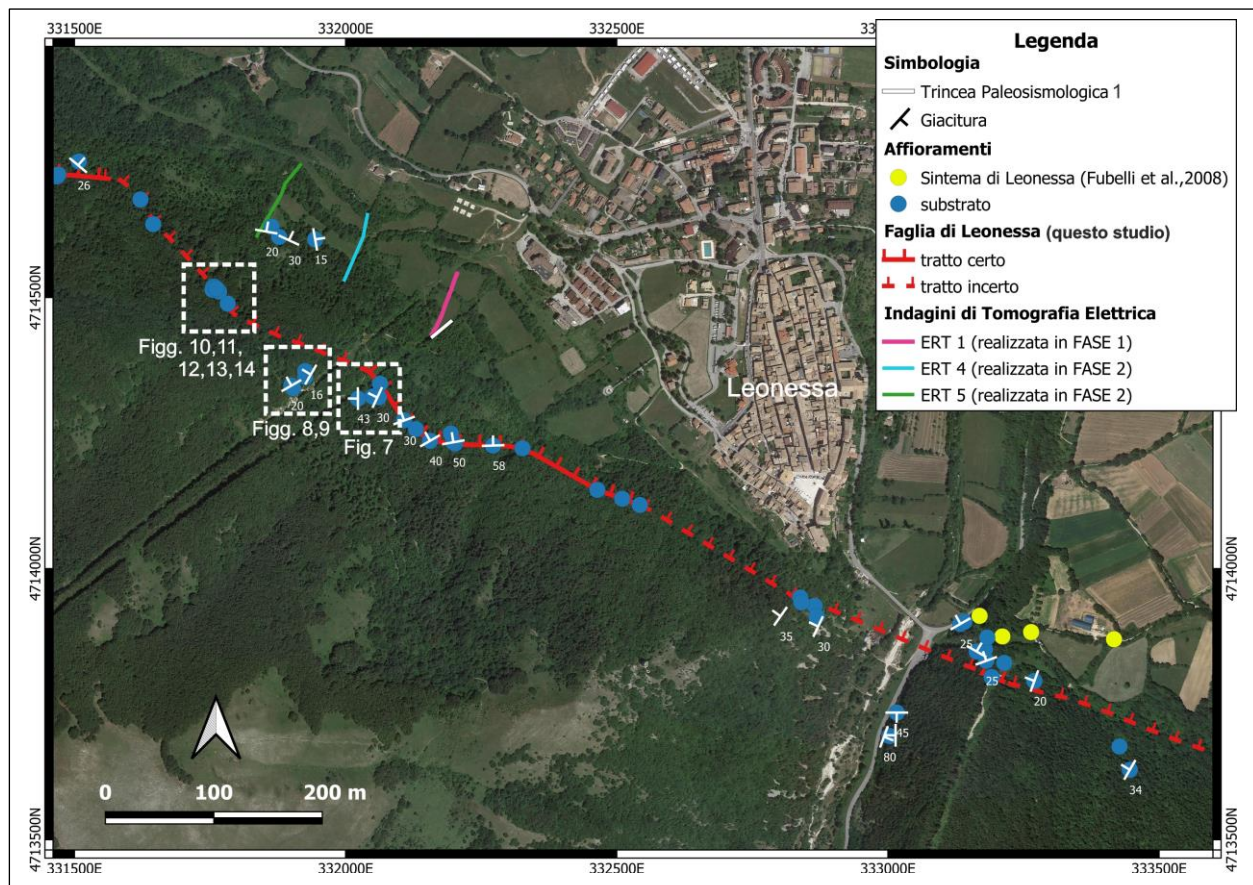


Fig. 6. Settore del versante nord-orientale del M. Tilia a O dell’abitato di Leonessa in cui sono state effettuate analisi di dettaglio del substrato affiorante.

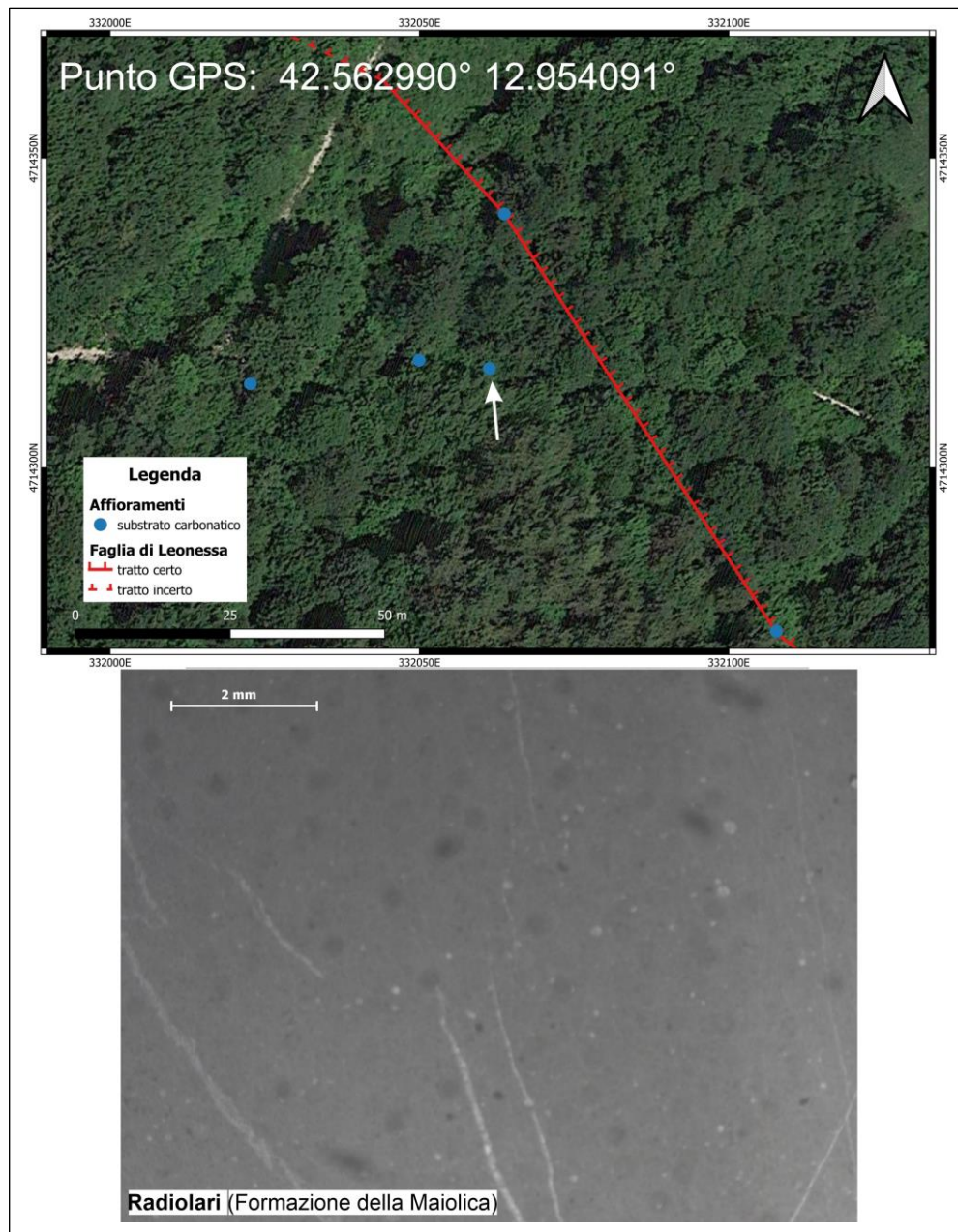


Fig. 7. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla Formazione della “Maiolica”.

Ancora più a NO, è stata individuata una sequenza carbonatica appartenente alla Formazione della “Scaglia Bianca” (Figg. 8, 9). Infatti, l’analisi micropaleontologica effettuata sui campioni ha permesso di definire tale sequenza come un calcare micritico a radiolari e spicole di spugna, caratterizzato dalla presenza di foraminiferi planctonici del tipo “*Rotalipora*”, “*Ticinella Hedbergella*”, “*Helvetoglobotruncana Helvetica*”, “*Whitinella*” e “*Preglobotruncana*”. Tale associazione fossilifera, in particolare, ha permesso di attribuire tale substrato carbonatico alla parte medio-alta della “Scaglia Bianca”.

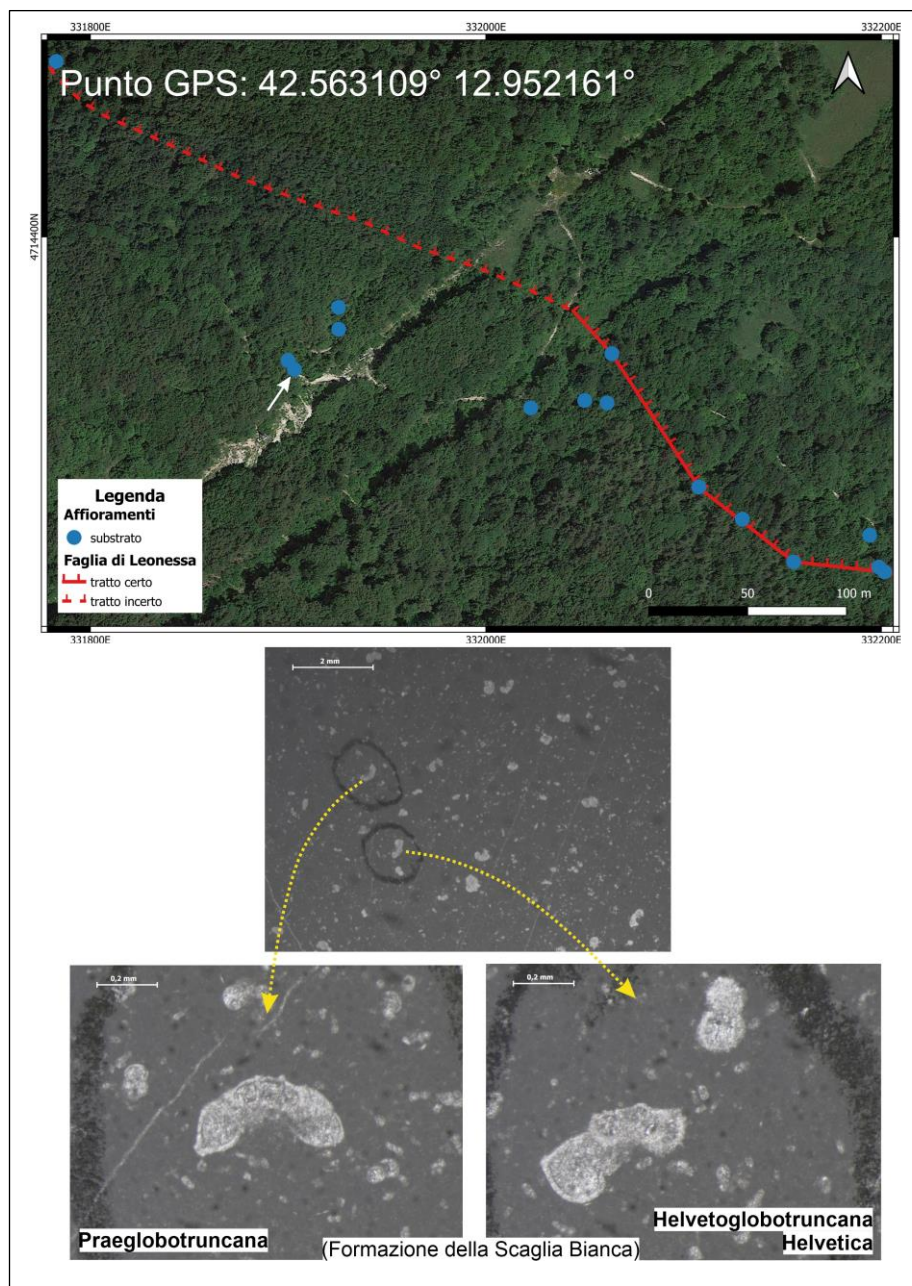


Fig. 8. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-alta della Formazione cretacea della "Scaglia Bianca".

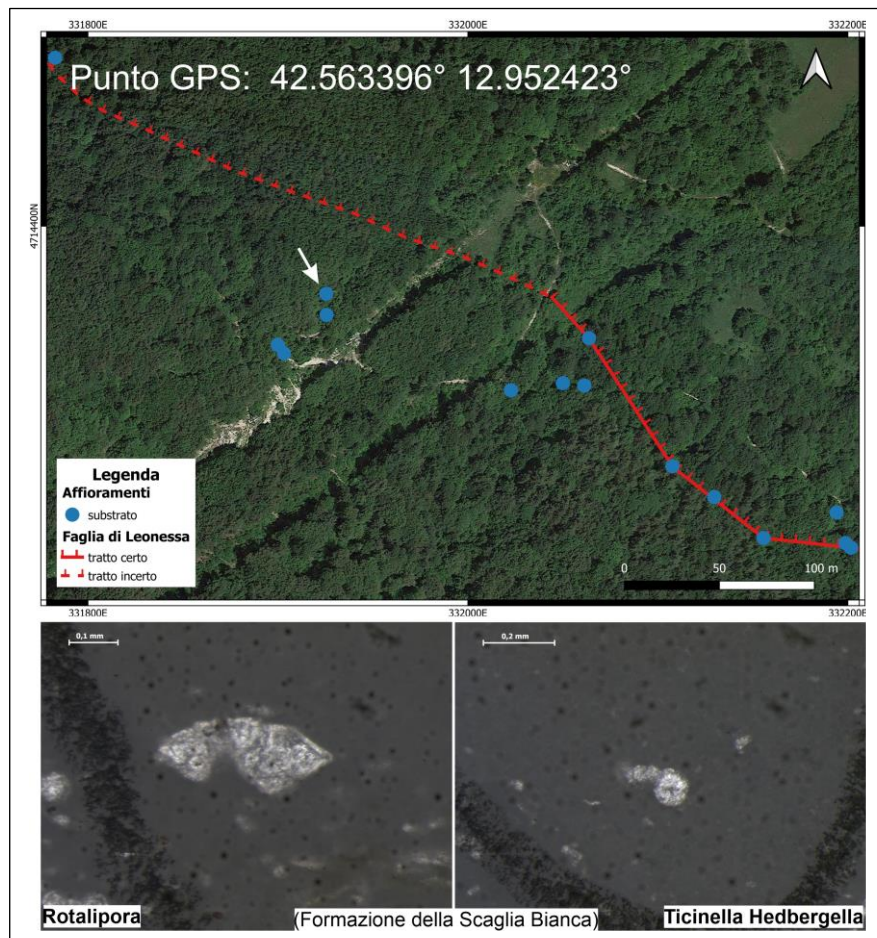


Fig. 9. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-alta della Formazione della “Scaglia Bianca”.

Spostandosi poco verso NO (Fig. 6), è stato rinvenuto nuovamente il substrato carbonatico ascrivibile alla Formazione della “Scaglia Bianca”. In questo caso, l’analisi micropaleontologica ha permesso di individuare la presenza del foraminifero planctonico del tipo “*Ticinella Hedbergella*” (Figg. 10, 11, 12) e l’assenza del foraminifero planctonico “*Planomalina Buxtorfi*”. Tale associazione fossilifera ha permesso di collocare il substrato carbonatico alla parte medio-bassa della Formazione della “Scaglia Bianca”.

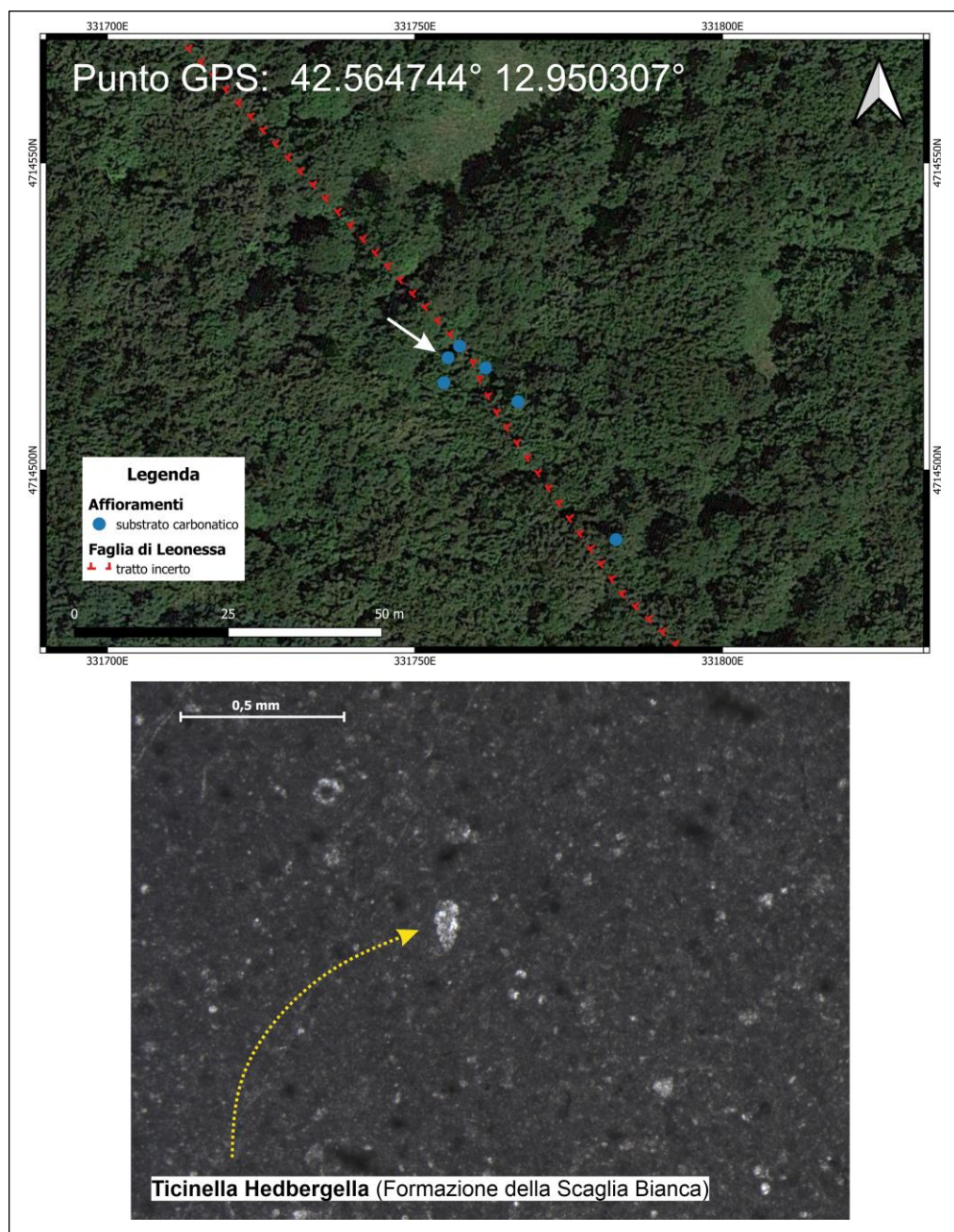


Fig. 10. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-bassa della Formazione della "Scaglia Bianca".

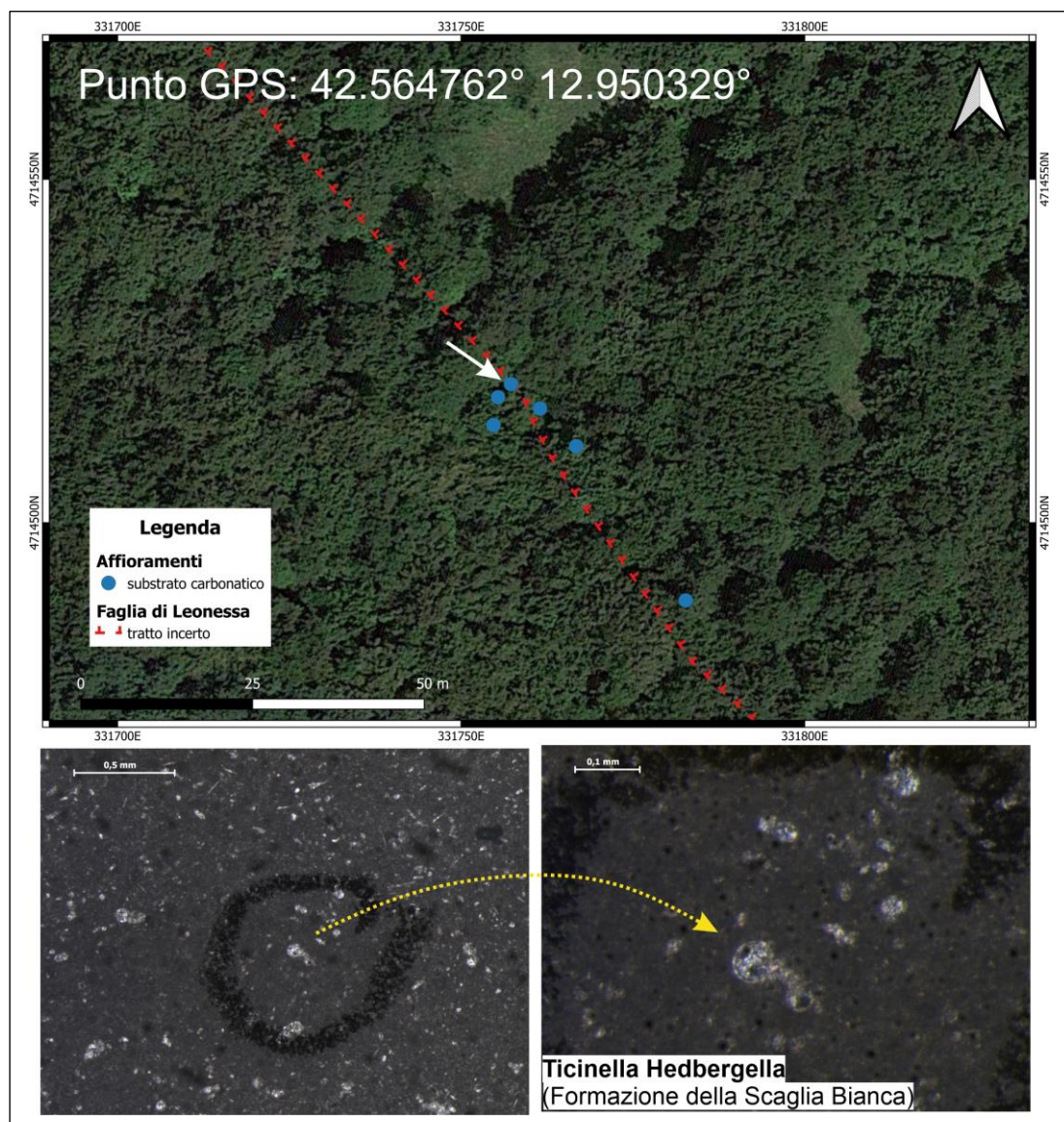


Fig. 11. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-bassa della Formazione della "Scaglia Bianca".

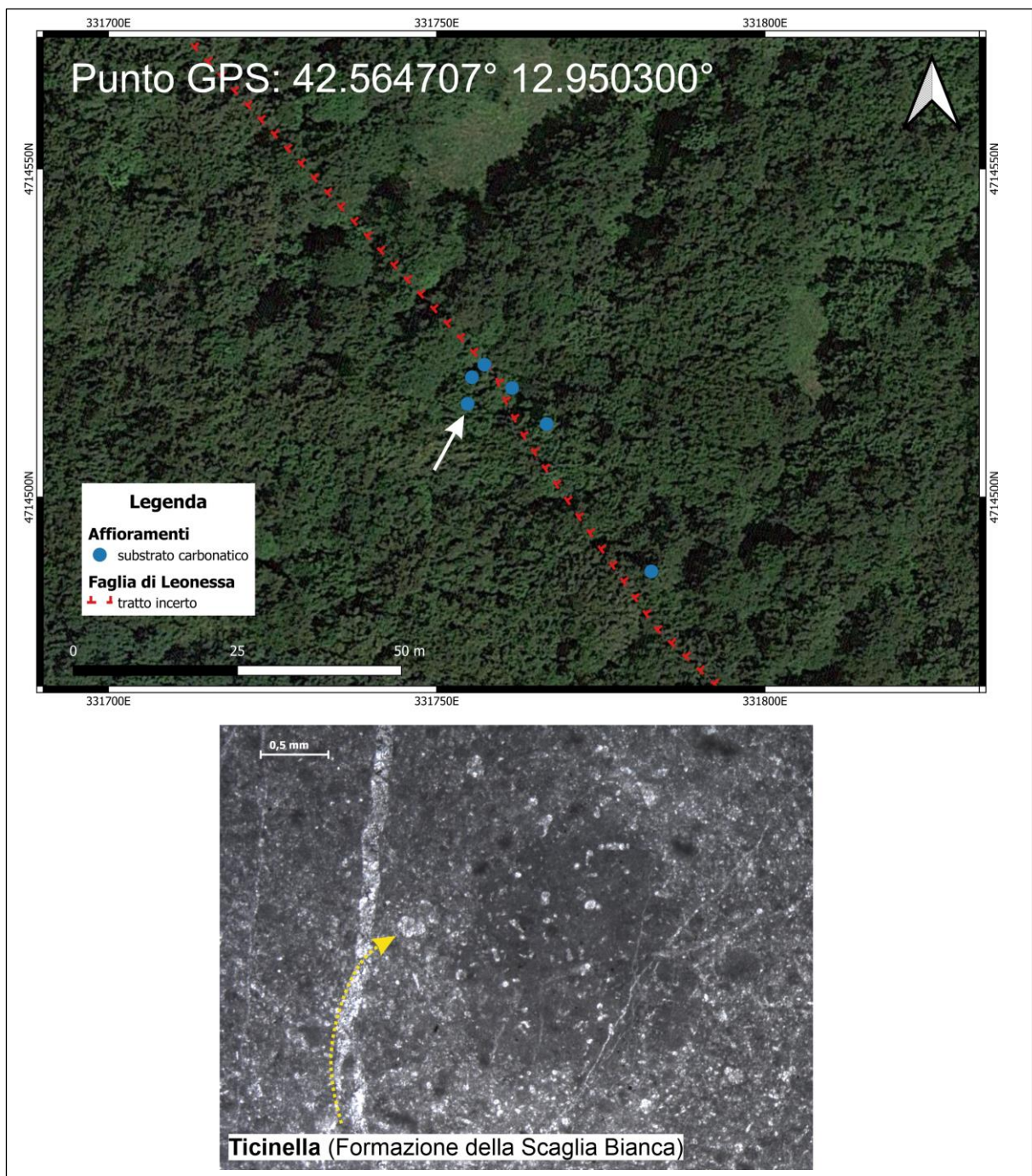


Fig. 12. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-bassa della Formazione della "Scaglia Bianca".

Pochi metri a NE dell'ultimo affioramento descritto, a quota leggermente inferiore, spostandosi verso la base del versante, il substrato carbonatico rinvenuto in affioramento a pochi metri da quello descritto in precedenza è stato invece attribuito alla Formazione della "Scaglia Rossa". In questo caso, infatti, le determinazioni paleontologiche hanno infatti permesso di identificare forme planctoniche relative ai foraminiferi "*Globotruncana Lapparenti*", "*Globotruncana Stuarti*" e "*Heterohelix*" (Figg. 13, 14) che permettono di attribuire tale substrato alla Formazione della "Scaglia Rossa" cretacica (Campaniano-Maastrichtiano).

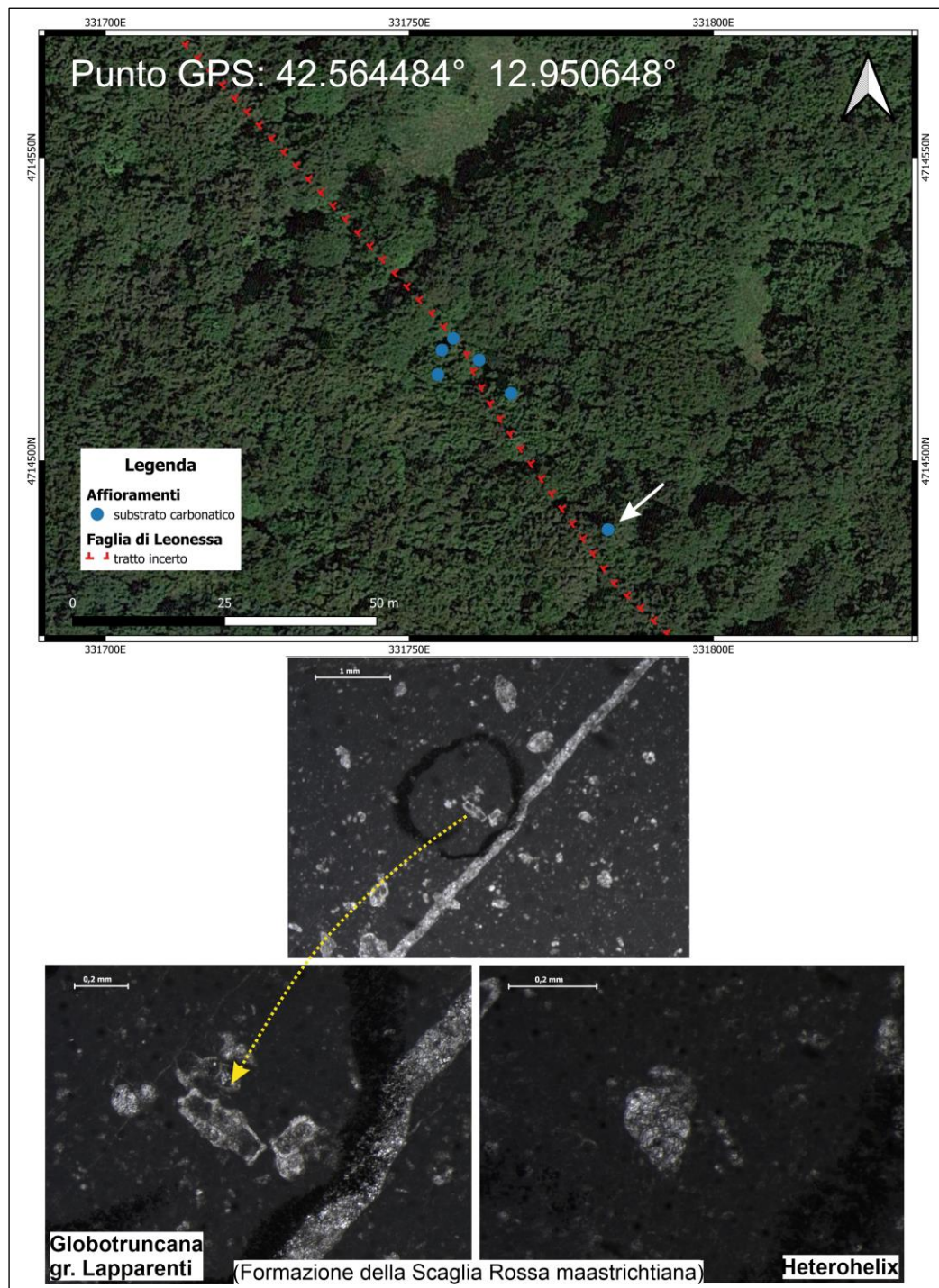


Fig. 13. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-bassa della Formazione della "Scaglia Rossa" (Campaniano-Maastrichtiano).

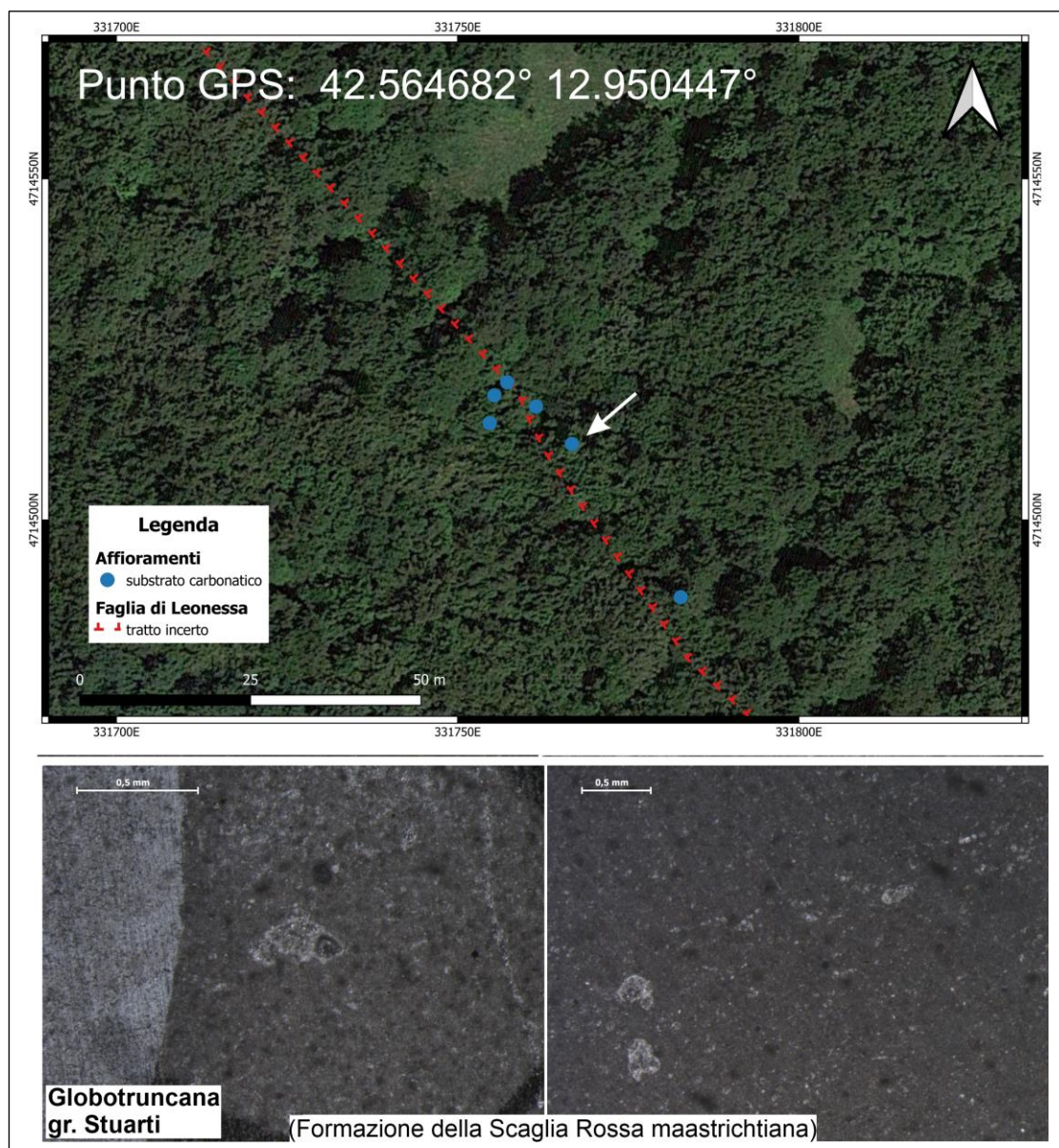


Fig. 14. Affioramento di substrato carbonatico attribuito alla parte medio-bassa della Formazione della "Scaglia Rossa" (Campaniano-Maastrichtiano).

In quest'area, dunque, le indagini condotte hanno permesso di individuare il contatto laterale fra la porzione medio-bassa della Formazione della "Scaglia Bianca" e la porzione maastrichtiana della Formazione della "Scaglia Rossa". L'assenza di una continuità stratigrafica fra le due Formazioni e la presenza di una zona di taglio che interessa il substrato carbonatico suggerisce che tale contatto sia da riferire all'attività di un elemento tettonico. Questo si colloca lungo la prosecuzione della faglia di Leonessa, il cui piano è esposto poco più a SE, permettendo quindi di ipotizzare la continuità della traccia della suddetta faglia in questo settore del versante.

3.3 Settore “Leonessa Centrale”: Aree “Base Monte Tilia”-“Monte Tilia-Leonessa”

Le analisi hanno riguardato la zona centrale della faglia di Leonessa, a cavallo delle aree chiamate “Base Monte Tilia” e “Monte Tilia-Leonessa” nella FASE 2 dello studio, ubicate appena a O e NO dell’abitato di Leonessa. L’indagine ha avuto come oggetto un possibile ramo della faglia la cui presenza è stata ipotizzata a conclusione delle indagini condotte durante le due fasi precedenti del studio e cartografata con traccia incerta. Questa è in buona parte sovrapposta o di poco traslata rispetto alla traccia della faglia di Leonessa così come riportata sul database ITHACA (Fig. 15).

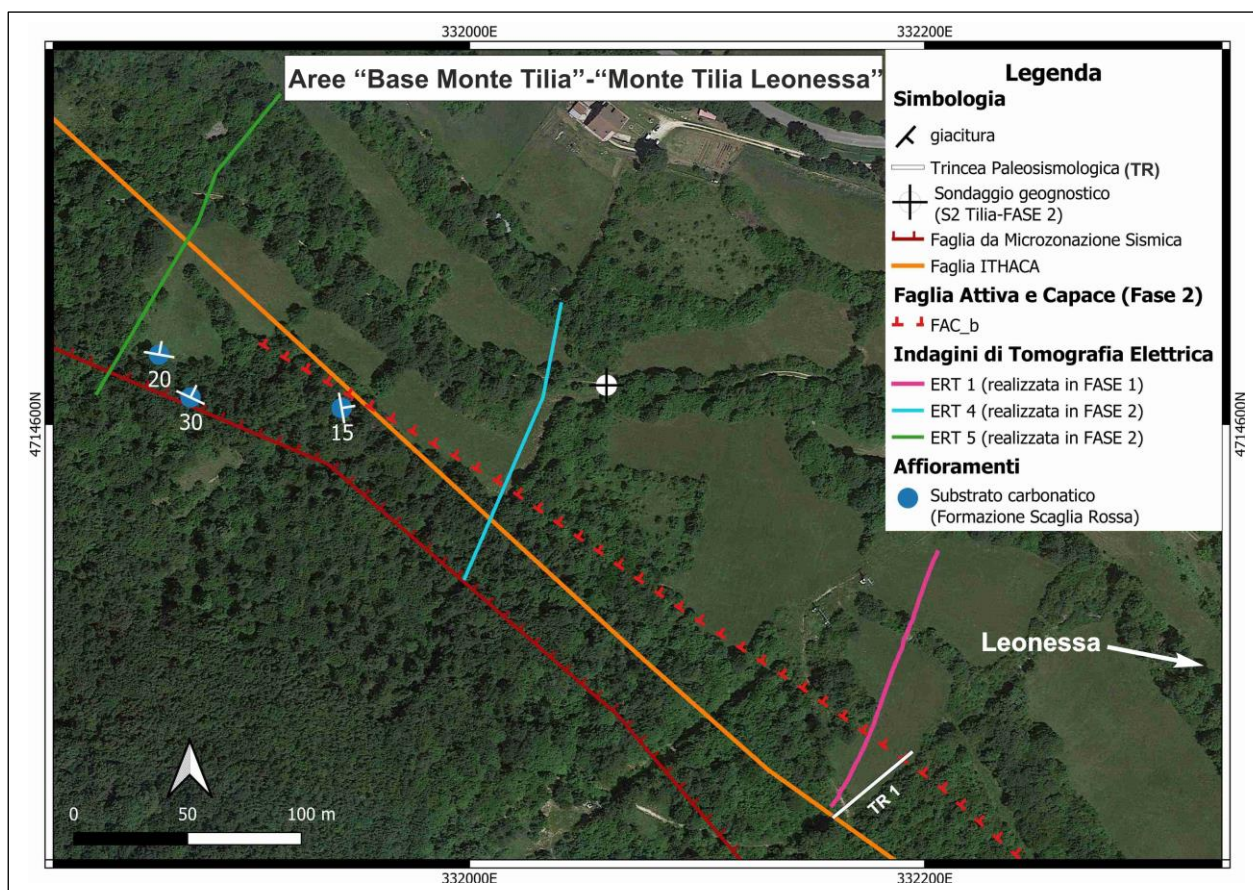


Fig. 15. Immagine satellitare della zona compresa fra le aree “Base Monte Tilia” e “Monte Tilia-Leonessa”, in cui è stata ipotizzata la possibile presenza di un ramo della faglia di Leonessa a conclusione della FASE 2 (linea rossa tratteggiata) e in cui è ubicata la traccia della faglia di Leonessa così come indicata nel database ITHACA (linea arancione) e negli studi di Microzonazione Sismica (linea rosso bordeaux).

La presenza di tale ramo di faglia è stata ipotizzata sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, segnatamente prospezioni geoelettriche di resistività (tomografia elettrica di resistività, ERT) e misure di rumore sismico ambientale. Come illustrato nelle relazioni conclusive delle FASI 1 e 2, infatti, sono state eseguite tre ERT, nominate ERT1, ERT4 ed ERT5, e un transetto di misure di rumore sismico ambientale lungo la traccia della ERT1. Le ERT, in particolare, hanno mostrato zone caratterizzate da contatti laterali di corpi con resistività elettrica diversa. L’origine di tali contatti era rimasta comunque incerta, ovvero se questi fossero di origine tettonica, ovvero legata alla giustapposizione di corpi sedimentari aventi resistività elettrica diversa a causa dell’attività della

faglia, oppure di origine sedimentaria, ovvero legata a fenomeni di erosione e successiva sedimentazione, con conseguente incassamento di unità stratigrafiche caratterizzate da resistività elettrica diversa (Fig. 16).

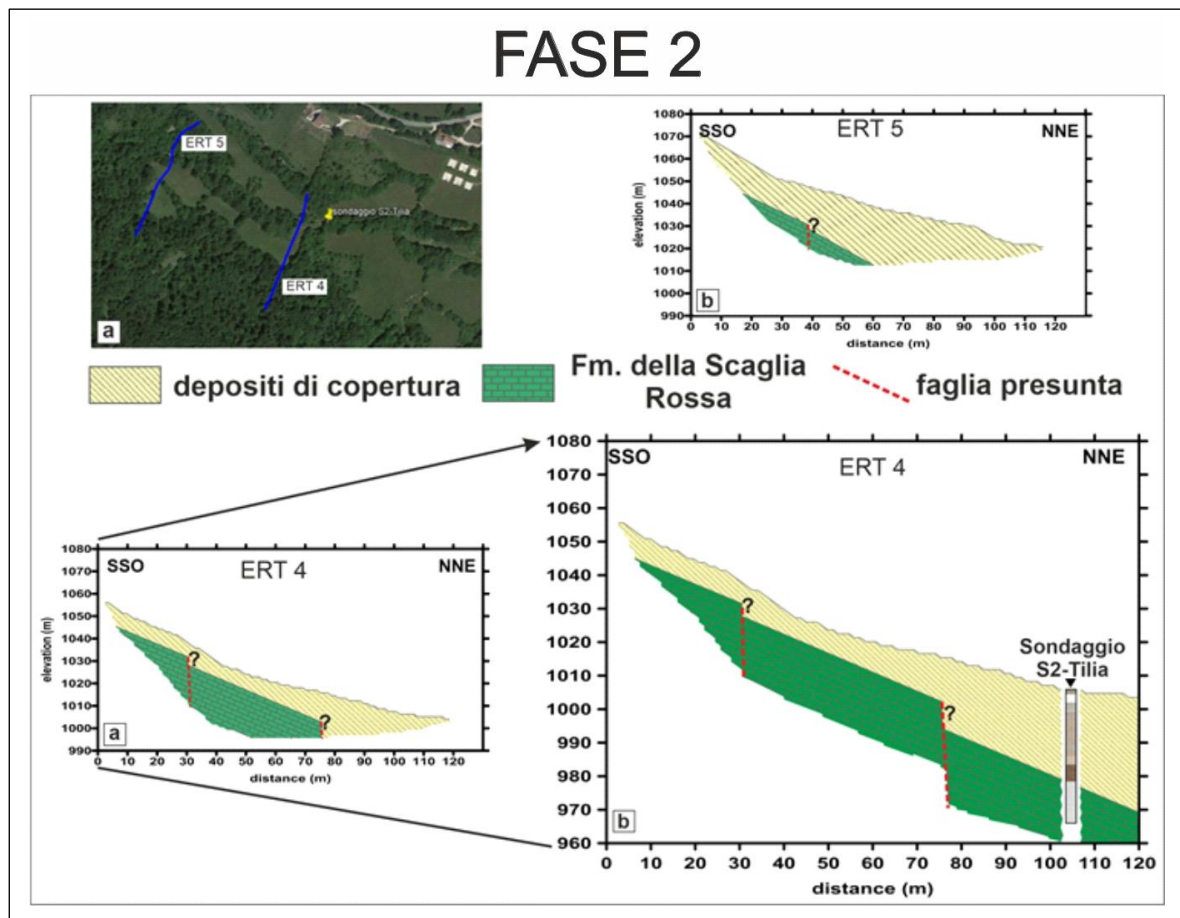


Fig. 16. Posizione dei profili geoelettrici e del sondaggio geognostico S2-Tilia, con sezione geologica estesa comprendente il sondaggio. FASE 2 del presente studio.

Oltre, alle evidenze geofisiche, la possibile presenza del ramo della faglia è stata suggerita da una scarpata, orientata circa ONO-ESE e immergente verso NE, scolpita sul substrato carbonatico, che potrebbe costituire un elemento morfo-tettonico legato alla presenza della struttura tettonica, ovvero una scarpata di faglia.

3.3.1 Indagini paleosismologiche e stratigrafiche

Per cercare di chiarire quale delle due possibili cause abbia determinato i suddetti contatti laterali di corpi a resistività elettrica diversa, è stata realizzata una trincea (trincea 1) parallelamente alla traccia della ERT1, per una lunghezza complessiva di circa 40 m. La trincea è stata eseguita a partire dall'estremo sud-occidentale della ERT1, ovvero il settore verso monte, attraversando così sia la traccia della faglia di Leonessa così come cartografata nel database ITHACA, sia la traccia incerta del ramo di faglia ipotizzato a conclusione della FASE 2, sia la possibile scarpata di faglia (Fig. 15).

La trincea è stata realizzata con una sezione secondo lo schema riportato in Fig. 2. L'analisi delle pareti dello scavo ha mostrato una sequenza stratigrafica rappresentata essenzialmente da un deposito ghiaioso, composto da clasti carbonatici da angolosi a sub-angolosi, mal cerniti (dimensioni variabili fra qualche mm a qualche decina di cm), con una tessitura clasto-sostenuta. Il corpo sedimentario presentava sia livelli non organizzati, massivi, sia livelli in cui era presente una stratificazione dei clasti carbonatici, immergente generalmente verso NE, ovvero da monte verso valle. Erano presenti dei rari livelli composti da sabbia grossolana carbonatica e ghiaia fine, con giacitura concordante a quella generale del corpo sedimentario (Figg 17, 18).

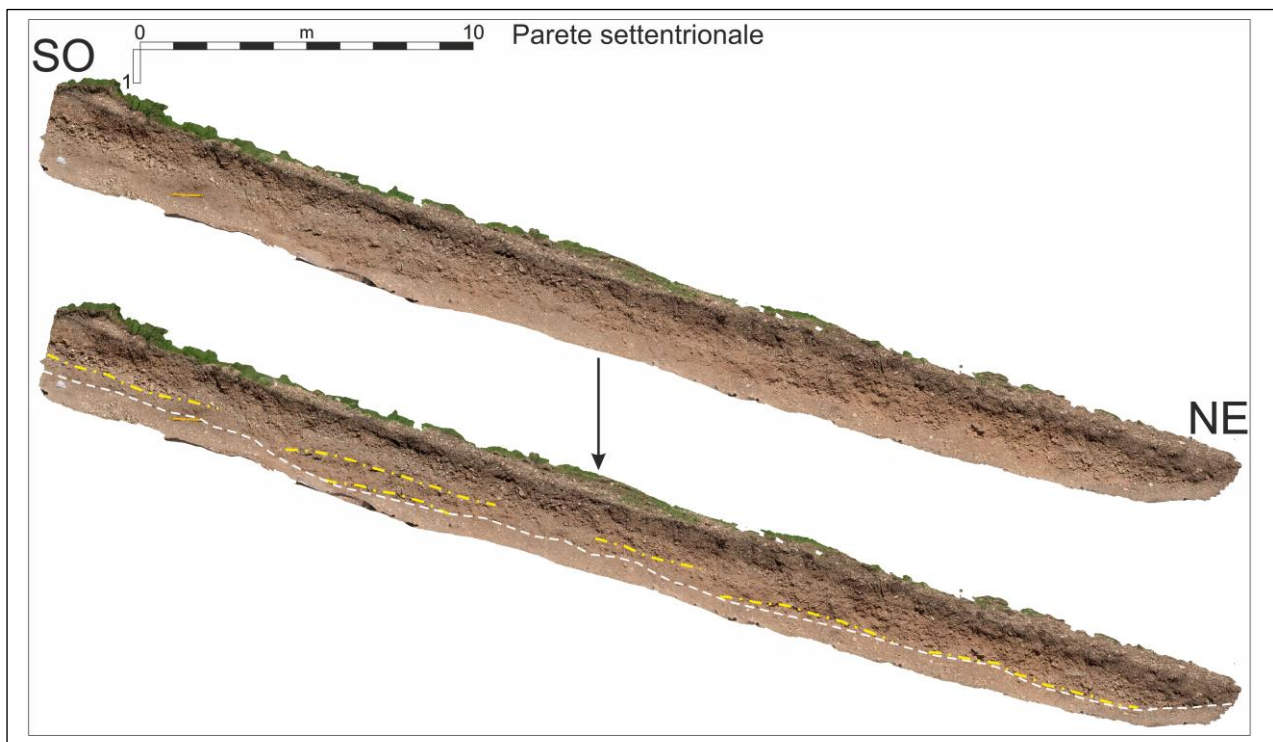


Fig. 17. Fotografia della parete settentrionale della trincea 1. Nella fotografia in basso è marcato il fondo trincea con la linea bianca tratteggiata, mentre le linee gialle tratto-punto indicano la giacitura dei livelli di ghiaia.

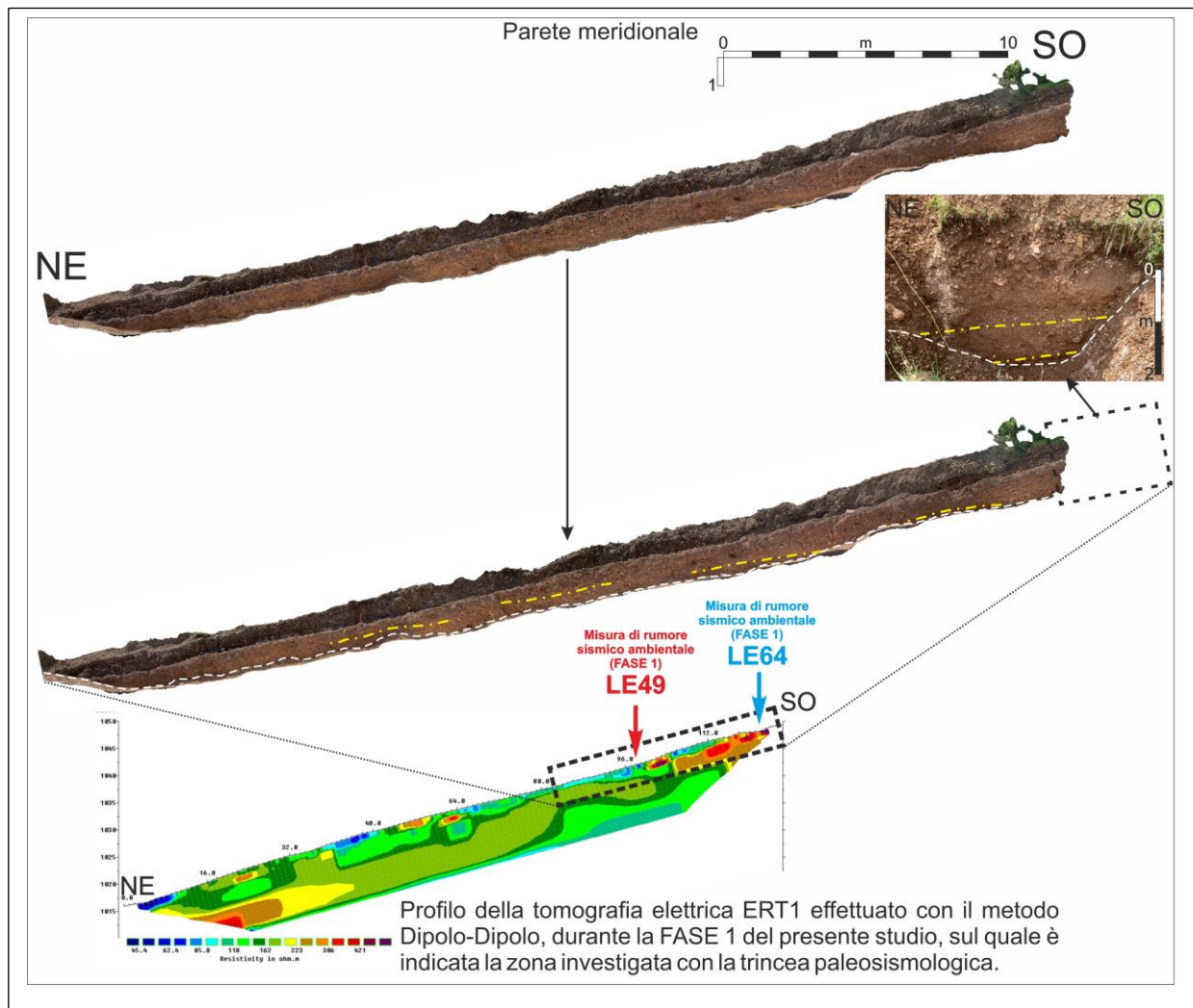


Fig. 18. Fotografia della parete settentrionale della trincea 1. Nella fotografia in basso è marcato il fondo trincea con la linea bianca tratteggiata, mentre le linee gialle tratto-punto indicano la giacitura dei livelli di ghiaia. Nell'inserito è riportata la fotografia di un saggio effettuato all'estremo sud-occidentale della trincea per investigare il tratto in cui dovrebbe passare la faglia di Leonessa secondo il database ITHACA. La sezione della trincea è riportata in corrispondenza del profilo della ERT 1, insieme alle due misure di rumore sismico ambientale fra le quali era indicata una possibile variazione della risposta sismica potenzialmente indicativa di un contatto tettonico.

Le caratteristiche sedimentologiche e stratigrafiche, nonché il contesto geomorfologico locale indicano che la sequenza stratigrafica esposta sia da riferirsi a un deposito di conoide alluvionale prossimale, con sedimentazione caratterizzata prevalentemente da eventi parossistici (tipo *debris flow*) e con rari livelli (quelli sabbiosi) la cui deposizione è prevalentemente legata allo scorrimento delle acque superficiali. La presenza di questo conoide è stata peraltro identificata mediante l'analisi delle fotografie aeree, che ne ha permesso la definizione dell'estensione (Fig. 19). Tale conoide era stata peraltro già identificata da diversi autori (e.g. Michetti e Serva, 1990; Fubelli et al., 2008), come mostrato nella relazione conclusiva della FASE 1.

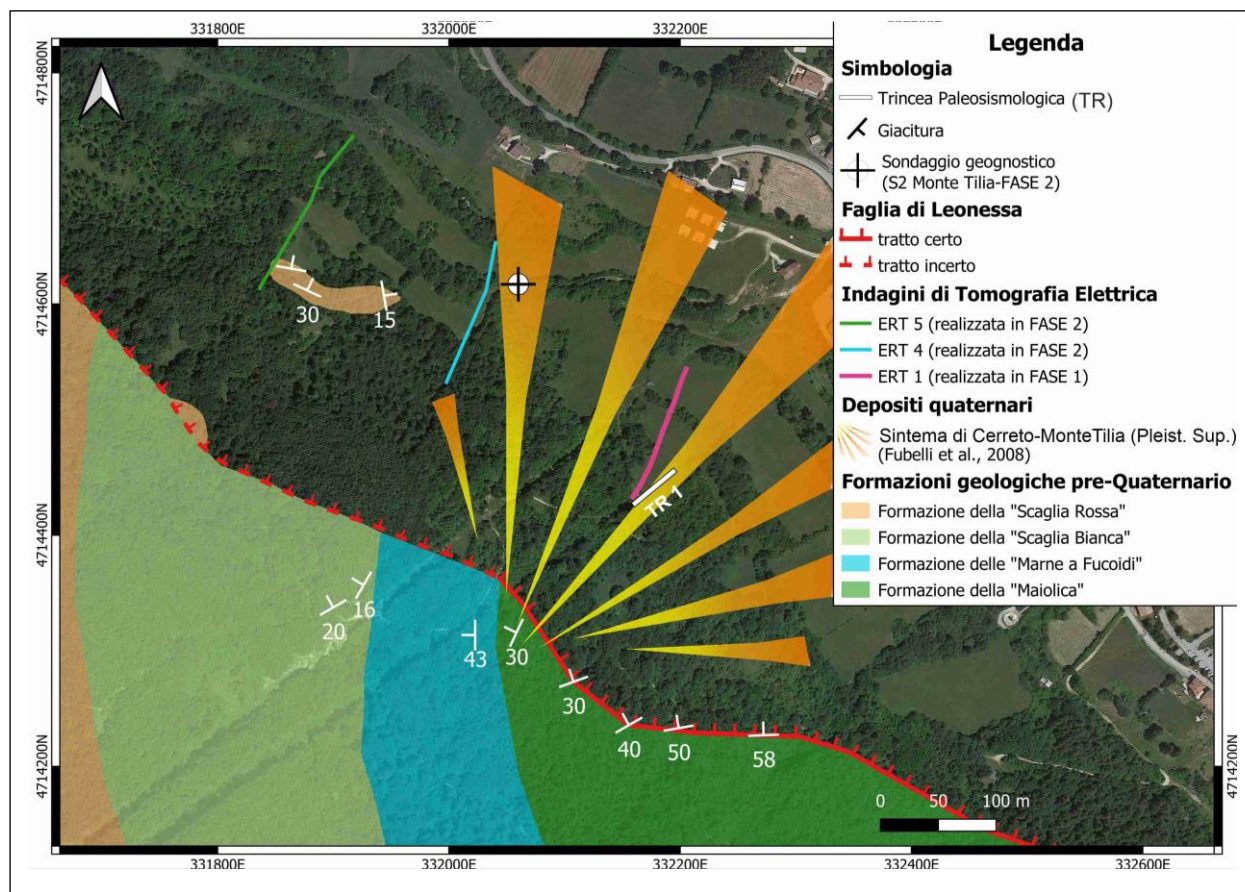


Fig. 19. Immagine satellitare della zona compresa fra le aree "Base Monte Tilia" e "Monte Tilia-Leonessa", in cui sono rappresentati i principali elementi geomorfologici e strutturali.

L'intero corpo sedimentario esposto dalla trincea non ha mostrato evidenze di dislocazioni o deformazioni legati all'attività di piani di taglio associabili alla faglia di Leonessa così come cartografata in quest'area nel database ITHACA o all'ipotizzato ramo di faglia (Figg. 17, 18). L'intera sequenza stratigrafica esposta dalla trincea era infatti caratterizzata da un assetto giaciturale piano-parallelo e da una continuità laterale dei diversi livelli e orizzonti, a testimonianza dell'assenza di dislocazioni imputabili a elementi tettonici. Le zone in cui le ERT, e in particolare la ERT 1, mostrano contrasti di resistività coincidevano con porzioni più grossolane del deposito della conoide, composte da clasti di dimensioni maggiori (fino ad alcune decine di cm) in scarsa matrice, eteropiche a porzioni più fini del deposito, in cui i clasti sono di dimensioni medie più piccole e la matrice risultava più abbondante (Fig. 18). Lo stesso può essere definito anche per ciò che riguarda il transetto di misure di rumore effettuate durante la FASE 1, che avevano indicato una possibile "cambiamento" nella risposta sismica locale fra le misure LE49 e LE64. Nel tratto compreso fra queste due misure, infatti, l'unica variazione osservata nella trincea, che ha interessato questo tratto, è stato un aumento della frazione grossolana della ghiaia andando verso monte, ossia verso la misura LE64 (Fig. 18).

Per quanto concerne la definizione dell'età della conoide alluvionale, nonostante non siano stati individuati all'interno della sequenza esposta dalla trincea 1 degli elementi da sottoporre ad analisi radiometrica col metodo del radiocarbonio, il sondaggio S2-Tilia, realizzato e descritto in dettaglio

nella relazione finale della FASE 2, eseguito poco distante dal sito della trincea, ha attraversato la porzione più distale della conoide alluvionale, che è risultata in appoggio sul substrato carbonatico. Da questa sequenza, che rappresenta la porzione più profonda della conoide, sono stati prelevati n.4 campioni di materiale organico, a profondità di 27.3 m, 23 m, 19.5 m e 18.5 m dal piano campagna, chiamati rispettivamente **LEO-TIL-B1**, **LEO-TIL-B2**, **LEO-TIL-B3**, **LEO-TIL-B4**. Questi hanno permesso di ottenere vincoli cronologici per la deposizione del corpo sedimentario. Questi hanno restituito le seguenti età radiometriche:

LEO-TIL-B1: 31880±200 BP (34760-33763 cal a.C.)

LEO-TIL-B2: 30980±180 BP (33892-33822 cal a.C.)

LEO-TIL-B3: 32370±220 BP (35221-34261 cal a.C.)

LEO-TIL-B4: 26850±120 BP (29235-28949 cal a.C.)

Le datazioni ottenute, dunque, sembrerebbero testimoniare un'età di deposizione della conoide relativa alla parte alta del Pleistocene Superiore. Va però tenuto in considerazione che le analisi radiometriche sono state effettuate sulla frazione organica della matrice del sedimento presente in alcuni livelli della conoide. Ciò definisce una incertezza intrinseca nelle età radiometriche ottenute poiché la datazione deriva da una "media" della componente organica del sedimento originale (*parent material*) la quale, inoltre, potrebbe aver subito "contaminazioni" da parte di materiale organico più "giovane", per circolazione di acqua superficiale che potrebbe aver "aggiunto" carbonio esterno rispetto a quello originalmente contenuto nel sedimento.

Per cercare di ovviare a tale incertezza è stata realizzata una ulteriore datazione radiometrica di una torba (campione **LEO-TORB**) rinvenuta in un sondaggio realizzato dal Dott. Geologo Francesco Chiaretti (Fig. 20) in prossimità dell'abitato di Leonessa (sondaggio S1DH realizzato nell'ambito delle attività per "*miglioramento sismico della caserma forestale di Leonessa*", *Committente Comune di Leonessa, Relazione Geologica, OCDPC n. 532 del 12 luglio 2018 - Annualità 2016, Determinazione Difesa del Suolo Regione Lazio G16471 del 29-11-2019, Decreto del Capo DPC del 09-08-2018*) all'interno sempre della parte distale del corpo della conoide alluvionale a profondità di circa 24.5 m dal piano campagna.

Il fatto che la datazione sia stata effettuata su materiale torboso implica l'analisi di un sedimento con abbondante contenuto di materiale carbonioso e la cui sedimentazione è avvenuta *in loco*. Per cui la contaminazione risulta assai meno probabile. L'analisi effettuata col metodo del radiocarbonio ha restituito la seguente età numerica:

LEO-TORB: 34220±270 (38049-36583 cal a.C.)

Questa risulta del tutto congruente con le altre datazioni assolute effettuate sui campioni di sedimento del conoide alluvionale prelevati dal sondaggio S2-Tilia.

Tali risultati, dunque, nel complesso, consentono di ipotizzare che la sedimentazione della conoide alluvionale sia avvenuta in un ambito cronologico relativo alla parte alta del Pleistocene Superiore, compreso probabilmente l'Ultimo Massimo Glaciale (25-15 ka). Tale attribuzione cronologica risulta consistente con quanto proposto da Fubelli et al. (2008; 2009). Gli autori, infatti, hanno ipotizzato per le sequenze di conoidi alluvionali deposti alla base dei versanti che costituiscono il fianco sud-occidentale del bacino di Leonessa, attribuite al "Sintema Cerreto-Monte Tilia", un'età riferibile alla

parte alta del Pleistocene Superiore, appunto. Inoltre, in senso più generale, conoidi alluvionali appartenenti a questo ambito cronologico risultano ampiamente diffuse nei contesti pedemontani dell'Appennino centrale (e.g. Giraudi, 1992; Giraudi and Frezzotti, 1997; Chiarini et al., 1997; Galadini e Galli, 2003; Gori et al., 2011).

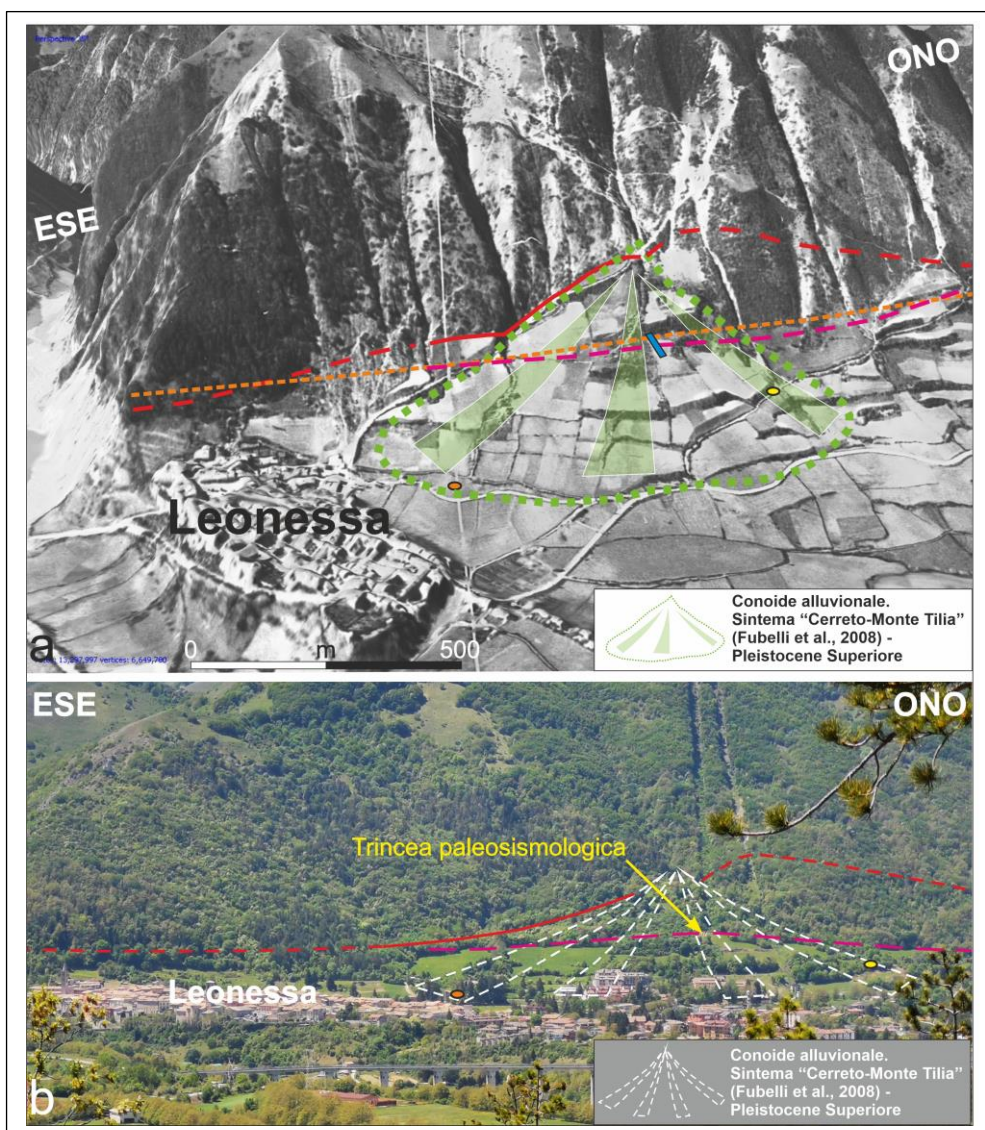


Fig. 20. a) Immagine tridimensionale del versante nord-orientale del M. Tilia in corrispondenza dell'abitato di Leonessa, ricavata dalle fotografie aeree del 1945; a linea rossa indica la traccia della faglia come definita nel presente studio; la linea arancione indica la traccia della faglia di Leonessa come riportata da ITHACA; la linea viola tratteggiata indica lo splay di faglia ipotizzato a seguito delle indagini condotte durante le FASI 1 e 2; la linea celeste indica l'ubicazione della trincea 1; i cerchi giallo e arancione indicano rispettivamente l'ubicazione dei sondaggi S2-Tilia e del sondaggio S1DH realizzato dal Dott. Geol, Francesco Chiaretti. b) fotografia panoramica dello stesso settore di versante del M. Tilia in cui è indicata l'estensione della conoide alluvionale oggetto delle indagini paleosismologiche e stratigrafiche; i cerchi giallo e arancione indicano rispettivamente l'ubicazione dei sondaggi S2-Tilia e del sondaggio S1DH realizzato dal Dott. Geol, Francesco Chiaretti.

Inoltre, in termini stratigrafici locale, come descritto nella relazione conclusiva della FASE 2, il sondaggio S2-Tilia ha raggiunto il substrato carbonatico alla profondità di 27.5 m dal piano campagna, sul quale si poggia la conoide alluvionale investigata. Le indagini stratigrafiche preliminari condotte durante la FASE 2 hanno consentito di ipotizzare che il substrato carbonatico intercettato dal sondaggio appartenga genericamente alla Formazione della “Scaglia Rossa”. Affioramenti di rocce carbonatiche appartenenti a questa Formazione sono stati individuati lungo la presunta scarpata di faglia attraversata dalle ERT 4 e 5, ubicata lungo la traccia della faglia di Leonessa come riportata nel database ITHACA. Nello specifico, la presenza di “*Globotruncana Linneiana*” ha permesso di attribuire il substrato affiorante lungo la scarpata alla parte cretacica della Scaglia Rossa (piano Maastrichtiano), comunque al di sotto del limite K-T (Fig. 21).

Per la FASE 3 dello studio è stata effettuata l’analisi micropaleontologica di dettaglio del substrato intercettato dal sondaggio S2-Tilia, esaminando sezioni sottili di campioni di roccia carbonatica prelevati dal sondaggio. Questi hanno mostrato la presenza del foraminifero “*Globotruncana Linneiana*”, che permette di attribuire il substrato attraversato dal sondaggio alla stessa formazione mesozoica del substrato affiorante al presunto letto della faglia, ovvero alla Formazione della “Scaglia Rossa” cretacica maastrichtiana (Fig. 21), la stessa Formazione sulla quale è scolpita la scarpata attraversata dalle ERT1, ERT4 e 5.

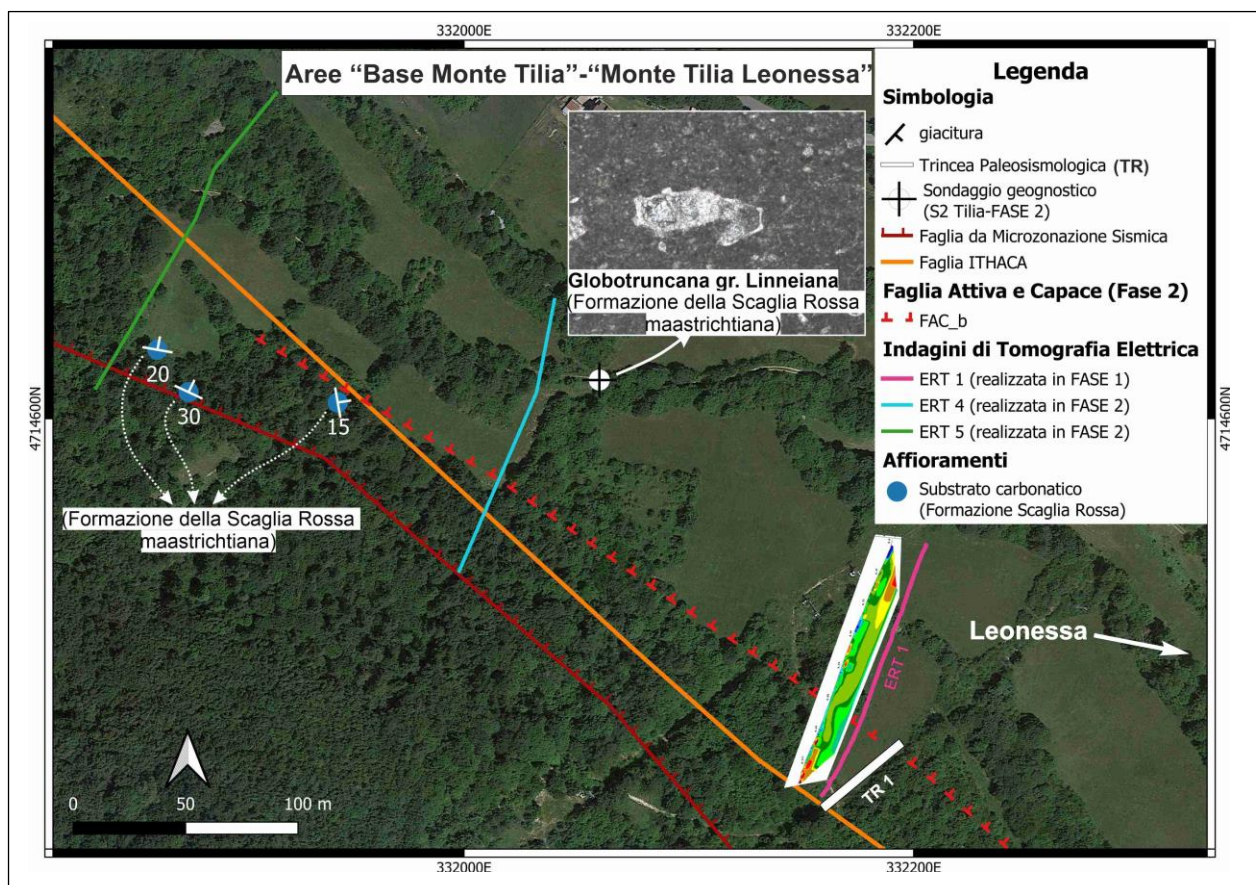


Fig. 21. Immagine satellitare della zona compresa fra le aree “Base Monte Tilia” e “Monte Tilia-Leonessa”. Come indicato dalle determinazioni micropaleontologiche, al letto e al tetto della faglia di Leonessa così come riportata in ITHACA e del ramo di faglia ipotizzato alla fine delle due fasi precedenti dello studio, è stata rinvenuta la stessa Formazione del substrato carbonatico, ossia la Formazione della “Scaglia Rossa” maastrichtiana (l’inserito mostra una fotografia di “*Globotruncana gr. Linneiana*”).

3.4 Settore “Leonessa Sud”: Area “Leonessa-Piedelpoggio”

Le analisi effettuate in quest’area hanno riguardato il ramo principale della faglia di Leonessa, la cui traccia è stata cartografata ad altissima risoluzione, migliorando sensibilmente il dettaglio di tracciatura rispetto alla faglia così come riportata nel database ITHACA e negli studi di Microzonazione Sismica del Comune di Leonessa. La zona di faglia è visibile sul terreno, esposta alla base della scarpata di faglia scolpita sul substrato carbonatico. Proprio l’esposizione della zona di taglio nel substrato carbonatico e il contesto geologico-geomorfologico locale hanno indicato quest’area come potenzialmente idonea a chiarire l’attività recente della struttura tettonica. Come mostrato in Fig. 22, le indagini di terreno hanno permesso di definire che in questo settore la zona di faglia è caratterizzata da due rami principali (*splay*) paralleli fra loro ad andamento da NO-SE a ONO-ESE, uno più nord-orientale e uno più sud-occidentale, con una spaziatura di pochi metri l’uno dall’altro in pianta. Verso SE, gli *splay* si congiungono in un singolo ramo di faglia. Le indagini paleosismologiche sono state condotte attraverso la zona potenzialmente interessata da entrambi questi *splay*.

Come illustrato nella relazione conclusiva della FASE 1, è stata effettuata una ERT, nominata ERT2, dalla zona di versante fino alla base de versante, attraversando la zona di faglia. In particolare, la tomografia di resistività elettrica ha mostrato il contatto laterale fra un corpo ad alta resistività, individuato nella parte sud-occidentale del profilo, rappresentato probabilmente dal substrato carbonatico, e corpi a resistività elettrica più bassa nel settore centrale e nord-orientale della sezione geofisica, rappresentati probabilmente da depositi alluvionali e di versante accumulatisi alla base del rilievo.

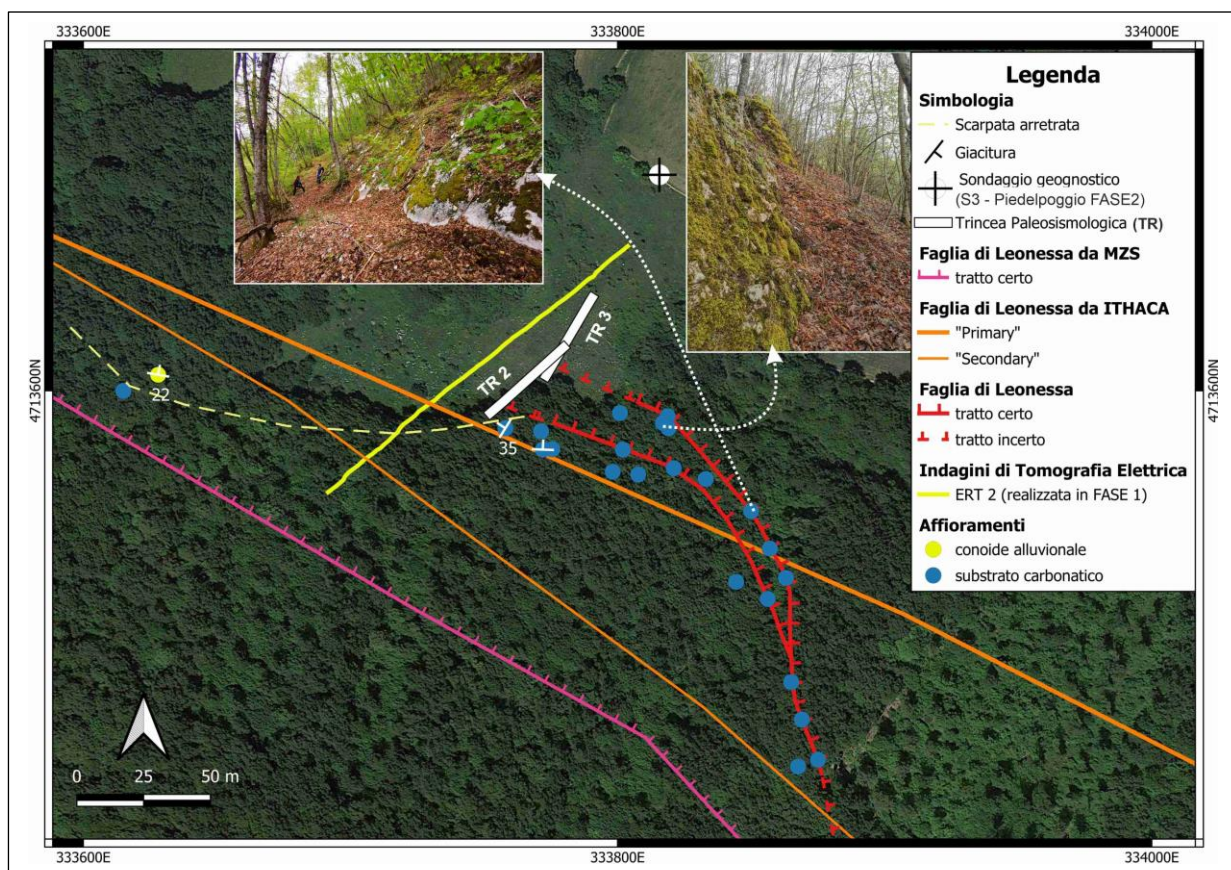


Fig. 22. Immagine satellitare dell'area "Leonessa-Piedelpoggio", oggetto delle indagini paleosismologiche, mediante la realizzazione delle trincee 2 e 3, attraverso la traccia della faglia di Leonessa individuata sul terreno; negli inserti sono mostrate le fotografie del piano della faglia esposto alla base della scarpata.

3.4.1 Indagini paleosismologiche e stratigrafiche

Per analizzare il rapporto fra i terreni quaternari e la faglia di Leonessa, nonché per determinare l'origine del sopradescritto contatto laterale fra corpi a resistività elettrica diversa mostrato dalla ERT2, sono state realizzate due trincee (trincee 2 e 3) parallelamente alla traccia della ERT2, attraversando la zona di faglia. Le due trincee sono state eseguite una sulla prosecuzione dell'altra e con una porzione in sovrapposizione, per consentire il confronto fra le stratigrafie esposte dagli scavi (Fig. 22).

Da un punto di vista geomorfologico, come definito sulla base delle indagini di terreno e dell'interpretazione aerofotogeologica, il sito scelto per l'indagine paleosismologica coincide col fianco destro di una conoide alluvionale alimentata da una incisione ad andamento circa NE-SO, trasversale al versante. La morfologia generale della conoide è individuabile sia sul terreno sia mediante l'analisi delle fotografie aeree, in particolar modo quelle del 1945, che mostrano un versante molto meno vegetato di quello attuale, dunque meglio "visibile". Il limite distale della conoide risulta "alterato" rispetto a quella che doveva essere la sua forma ed estensione originali in quanto interessato da terrazzamento antropico e da un principio di erosione lineare (Fig. 23 e 24) relativo ad un paleo-drenaggio non attivo. Inoltre, il corpo stesso della conoide risulta inciso in corrispondenza del corso d'acqua che lo ha alimentato, il quale è attualmente incassato di qualche metro nel corpo della conoide stessa. Ciò indica che la conoide la sedimentazione detritica connessa alla zona di alimentazione avviene attualmente in una zona più distale.

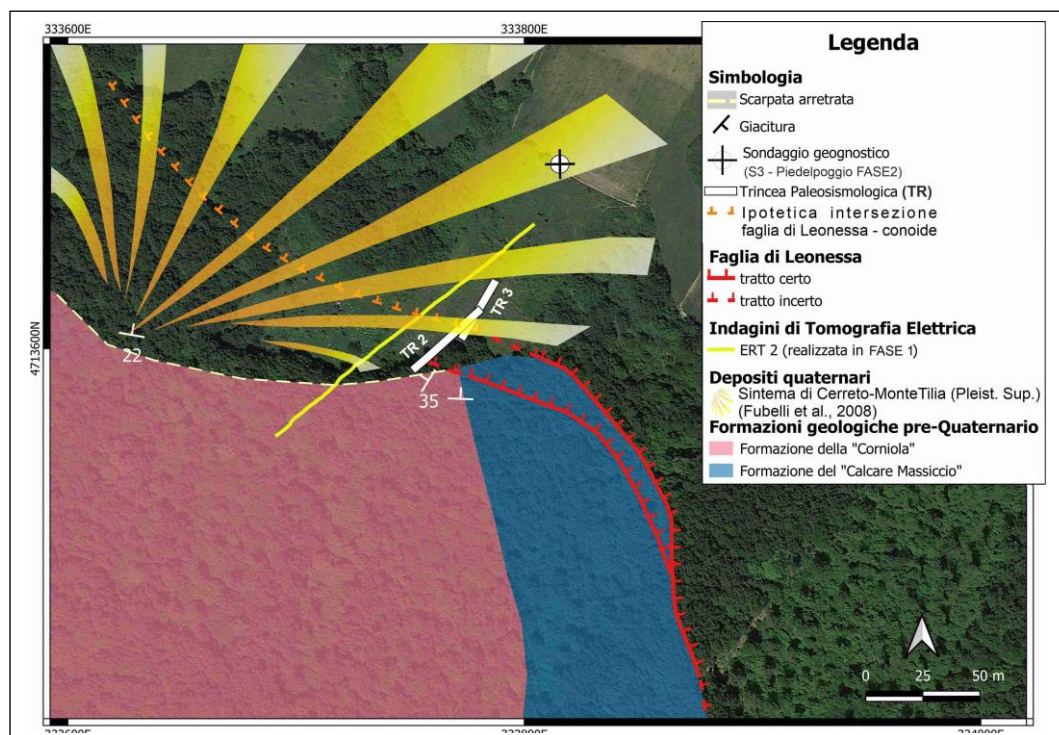


Fig. 23. Immagine satellitare dell'area "Leonessa-Piedelpoggio", oggetto delle indagini paleosismologiche; è indicata l'estensione della conoide alluvionale oggetto delle indagini, sul quale è stata indicata (linea arancione tratteggiata) la traccia dell'ipotetica intersezione geometrica fra il piano della faglia e la topografia.

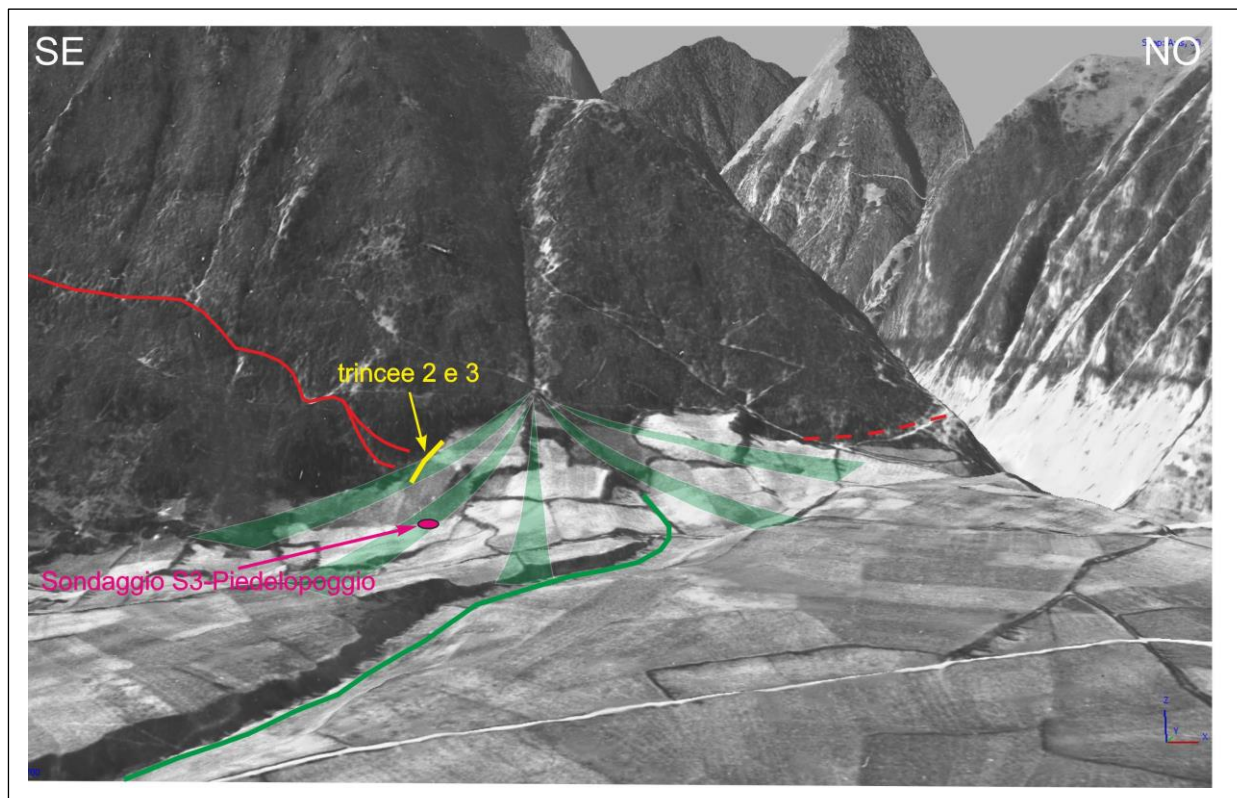


Fig. 24. Immagine tridimensionale (ricavata dalle fotografie aeree del 1945) della zona interessata dalle trincee paleosismologiche 2 e 3. I triangoli verdi marcano l'estensione della conoide alluvionale e la linea verde indica il principio di erosione lineare che interessa la parte distale della conoide.

Le trincee 2 e 3 sono state realizzate lungo il fianco destro della conoide, in modo da analizzare il rapporto fra la faglia e il corpo sedimentario, tenendo conto anche della possibile intersezione geometrica fra il piano della faglia e l'andamento locale della topografia (Figg. 23, 24). È importante sottolineare che il fatto che la conoide afferisse a un livello di base diverso da quello a cui afferisce attualmente il corso d'acqua che l'ha alimentata consente di escludere eventuale erosione recente legata alla dinamica deposizionale della conoide stessa, che possa aver eliminato eventuali tracce geologiche di dislocazioni recenti del corpo sedimentario ad opera dell'attività della faglia.

Nella porzione più nord-orientale (ovvero verso valle), la trincea 2 è stata realizzata con una larghezza maggiore, di circa 4 m, creando una sezione trasversale alla traccia principale dello scavo. Questo ha permesso di osservare tridimensionalmente le geometrie deposizionali del corpo sedimentario esposto dagli scavi (Fig. 25).



Fig. 25. Vista verso monte della trincea 2. È evidente la sezione trasversale, nella parte medio-bassa dello scavo, rispetto all'andamento principale dello scavo.

Le trincee hanno attraversato una sequenza sedimentaria rappresentata essenzialmente da ghiaia, composta da clasti carbonatici da angolosi a sub-angolosi, organizzati in livelli a tessitura sia clasto-matrice-sostenuta. I clasti si presentavano piuttosto cerniti in alcuni livelli, di dimensioni medie di qualche centimetro, mentre in altri livelli la classatura era meno marcata, con clasti di dimensioni fino a qualche decina di cm. Nella porzione più profonda della sequenza esposta sono stati identificati due livelli a tessitura matrice-sostenuta, con clasti carbonatici di pochi cm di dimensione immersi in una matrice sabbioso-limosa di colore marrone scuro. Da un punto di vista stratimetrico, il corpo sedimentario presentava una generale giacitura piano-parallela, anche se a luoghi erano visibili delle stratificazioni incrociate. La generale giacitura degli strati mostrava una pendenza verso ESE di circa 20°-25° (Fig. 26) che, nella parte più meridionale della trincea 2 era caratterizzata da una generale tendenza a diventare sub-orizzontale o debolmente inclinata verso ENE (Fig. 27). Nella parte più verso NE della trincea 3 (la parte distale rispetto all'area sorgente della conoide) e nella parte più profonda dello scavo aumentava la matrice del deposito, che si presentava in prevalenza matrice-sostenuta (Fig. 28). Le caratteristiche geometriche, lito-stratigrafiche e sedimentologiche del corpo sedimentario sono congruenti con il deposito della conoide alluvionale, in particolare con il fianco laterale destro (Figg. 29, 30).

Nella settore sud-occidentale della trincea 2, ovvero verso monte, il corpo della conoide risultava coperto da un deposito di versante detritico con spessore massimo di 1 m, composto essenzialmente da clasti carbonatici angolosi a tessitura clasto-sostenuta.

Gli scavi hanno inoltre permesso di osservare che la superficie topografica attuale risulta discordante rispetto agli strati della conoide (Fig. 27), corroborando il fatto che questa non sia più alimentata e quindi in relazione “genetica” con la topografia attuale, che risulta scolpita in modo inconforme sul corpo della conoide stessa.

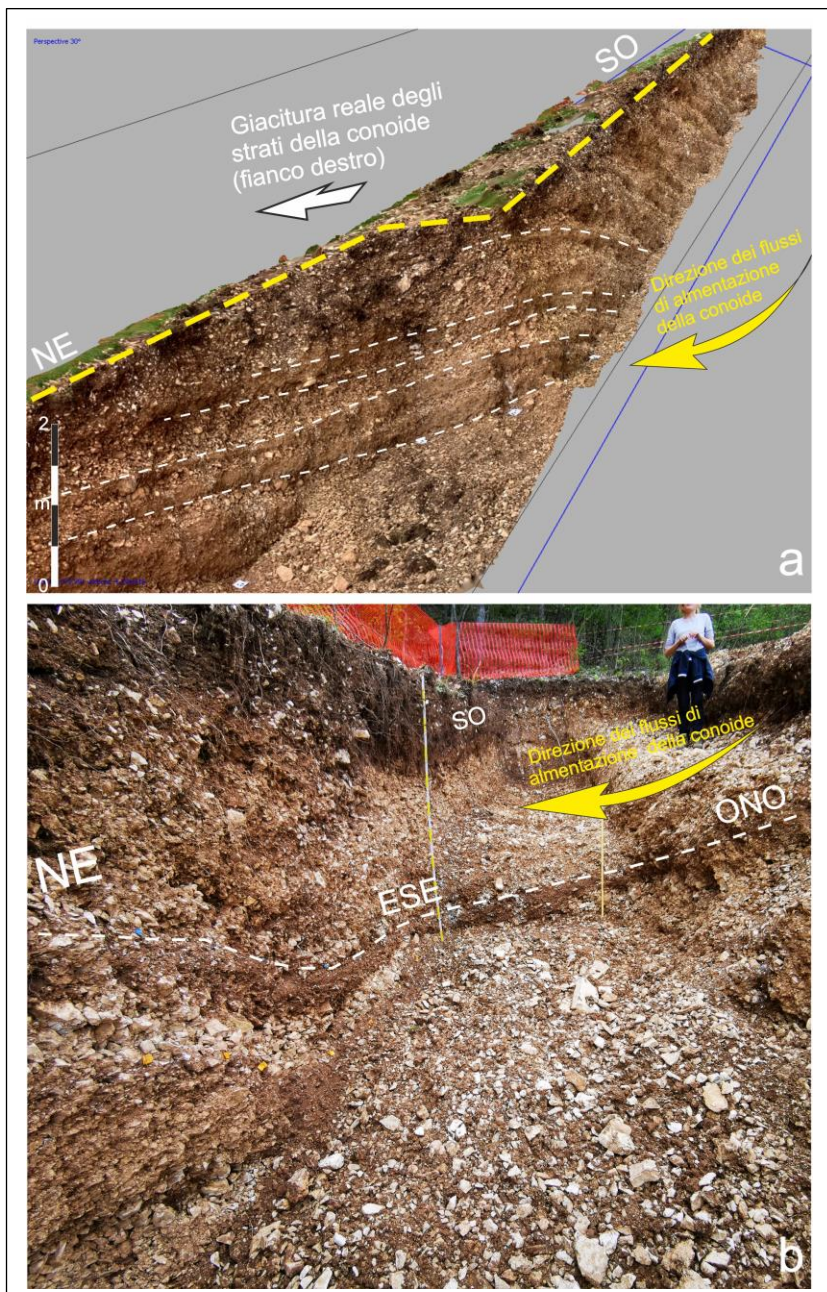


Fig. 26. a) Vista verso monte della trincea 2. È evidente la sezione trasversale (marcata dalla linea gialla tratteggiata), nella parte medio-bassa dello scavo, rispetto all'andamento principale dello scavo; le linee bianche tratteggiate marcano la giacitura degli strati della conoide mentre la linea gialla tratteggiata marca il taglio tridimensionale della trincea. b) Vista verso monte della trincea da dentro lo scavo; la linea bianca

tratteggiata marca la giacitura degli strati della conoide su una parete trasversale all'andamento generale dello scavo.

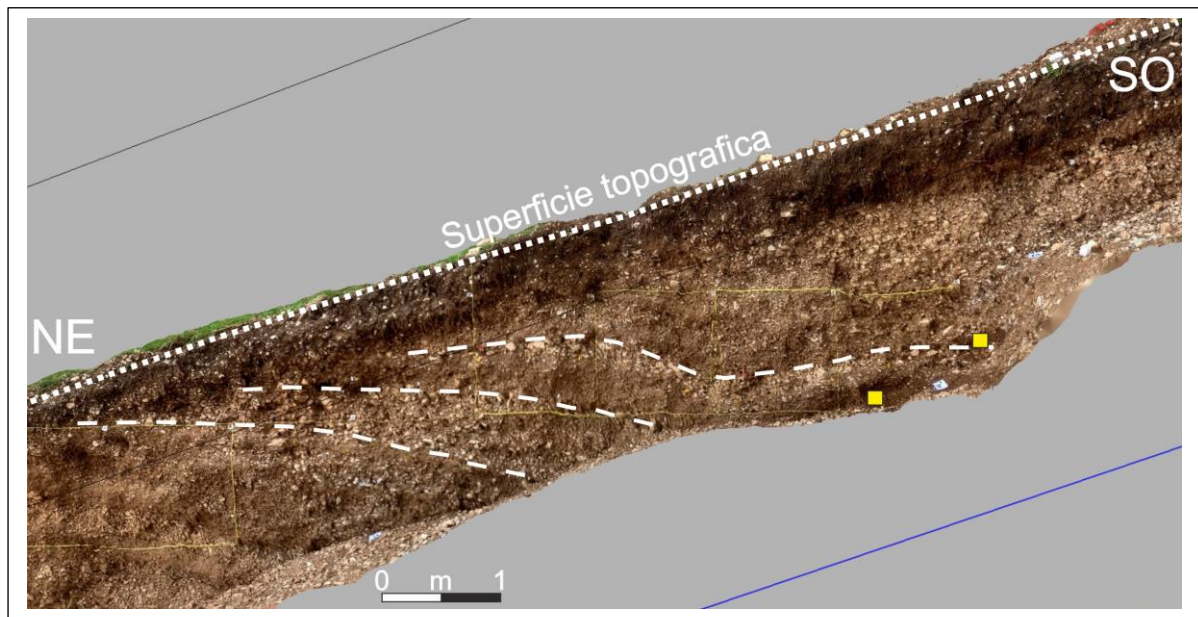


Fig. 27. Parete sud-orientale della trincea 2; le linee bianche tratteggiate indicano la giacitura degli strati della conoide e le stratificazioni incrociate; la linea bianca puntinata marca l'andamento della superficie topografica scolpita in discordanza sul corpo della conoide; i quadrati gialli indicano i due livelli colluviali dai quali sono stati prelevati i campioni da sottoporre a datazione assoluta col metodo del radiocarbonio.



Fig. 28. Parete nord-occidentale della trincea 3; la linea gialla tratteggiata indica la giacitura (apparente) degli strati della conoide; rispetto alla parte più prossimale, il corpo sedimentario si presenta molto più ricco in matrice, quasi in prevalenza con tessitura matrice-sostenuta.

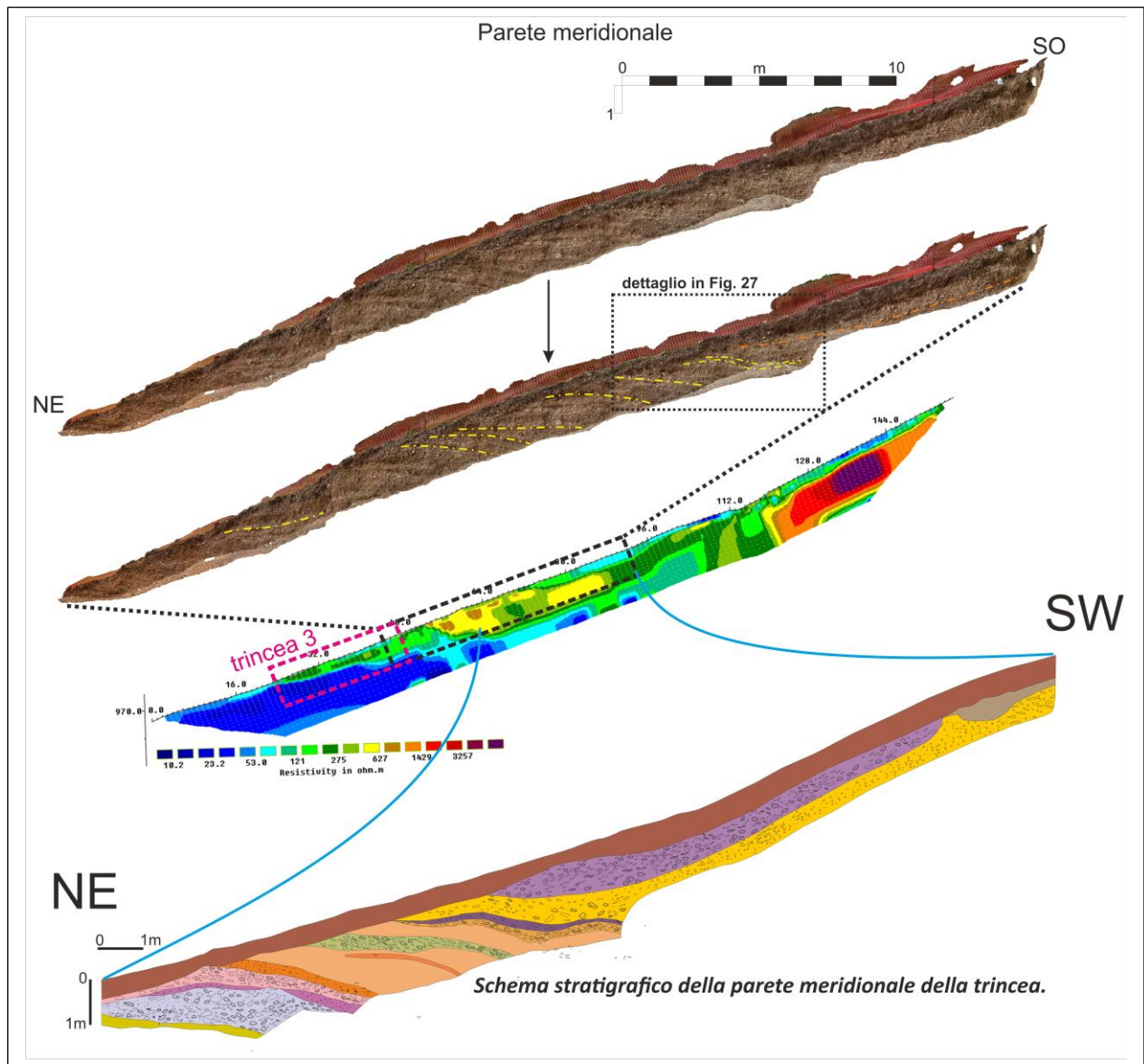


Fig. 29. Fotografia della parete sud-orientale della trincea 2. Nella fotografia in basso le linee gialle tratte-punto indicano la giacitura dei livelli di ghiaia della conoide mentre quella arancione indica la giacitura del detrito di versante che la ricopre. La trincea è riportata in corrispondenza del profilo della ERT 2, così come lo schema stratigrafico della parete.

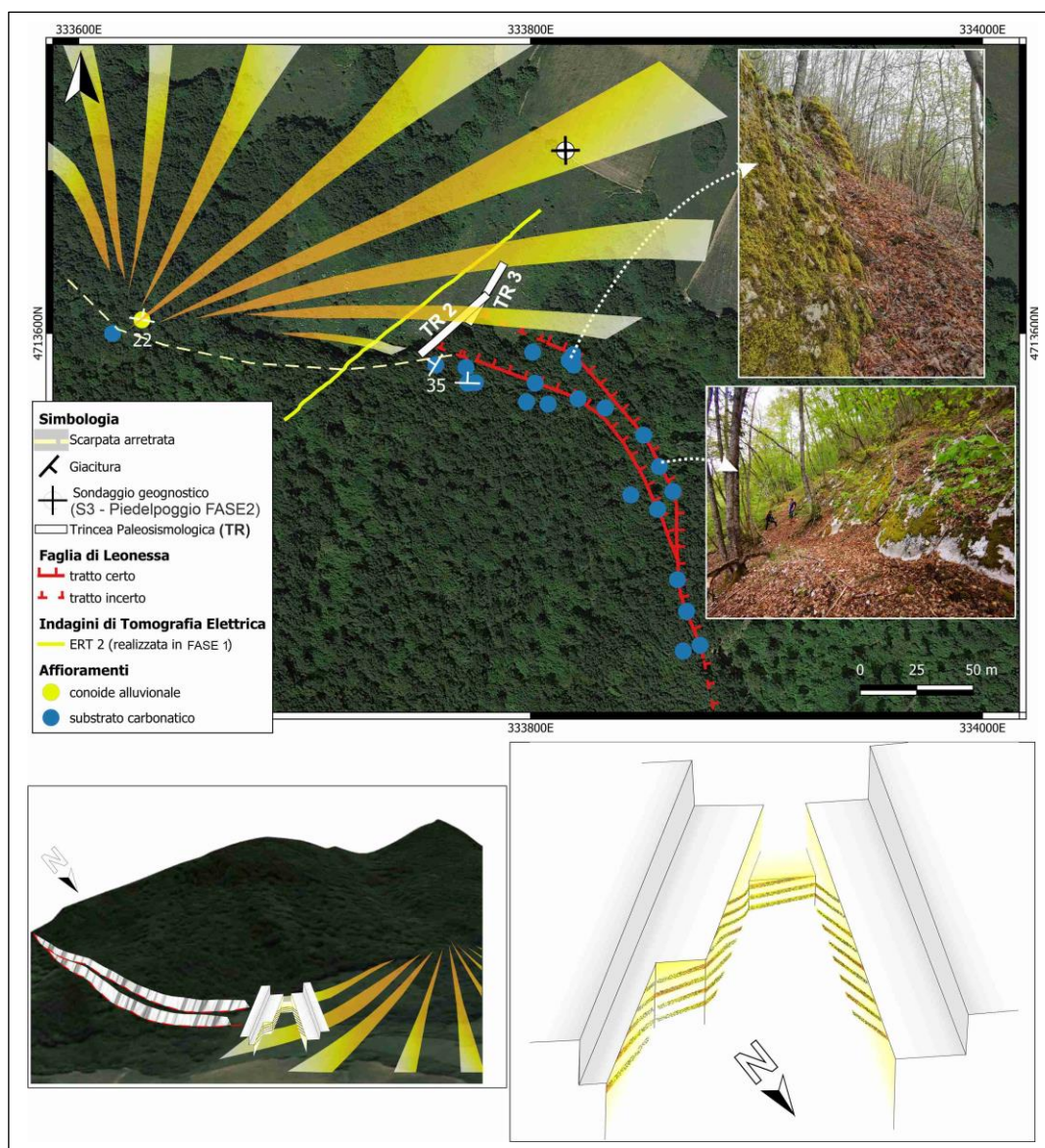


Fig. 30. Assetto morfo-stratigrafico del settore delle trincee 2 e 3; il blocco-diagramma 3D mostra l'assetto degli strati del fianco destro della conoide, così come osservato all'interno della trincea (qui riprodotto schematicamente).

Come nel caso della trincea 1, l'intera sequenza stratigrafica esposta dalle trincee 2 e 3 non ha mostrato evidenze di dislocazioni o deformazioni legate all'attività della faglia di Leonessa, attraversando la zona di faglia. I corpi sedimentari erano infatti caratterizzati da un assetto giaciturale piano-parallelo e dalla continuità laterale dei diversi livelli e orizzonti, testimoniando così l'assenza di dislocazioni imputabili all'attività di elementi tettonici (Figg. 27, 29, 30).

Inoltre, le osservazioni di terreno, confrontate con le osservazioni fatte nelle trincee, hanno permesso di verificare che il contrasto di resistività elettrica individuato nella porzione sud-occidentale della ERT2 non coincide geometricamente con la zona di faglia bensì solo con una scarpata erosiva scolpita sul substrato carbonatico posta al letto della zona di faglia, dove affiora il substrato non interessato da zone di taglio associate alla faglia (Fig. 31). Tale scarpata, e quindi il contrasto di resistività della ERT2, marca il contatto erosivo laterale fra corpo della conoide e il substrato carbonatico. La zona di faglia in substrato si colloca in effetti a diversi metri verso NE, dove sia la ERT2 che le trincee non hanno mostrato alcuna discontinuità nei depositi della conoide imputabile all'attività della faglia. Inoltre, come riportato da ITHACA, la traccia della faglia risulta in corrispondenza dell'apice della conoide, dove questa si apre alla base del versante al termine dell'incisione che lo ha alimentato. Tuttavia, in quest'area non solo non è stato individuato alcun piano di faglia che interessa il substrato, ma è stato solamente osservato il contatto stratigrafico della conoide in appoggio sul substrato carbonatico. Questo permette anche di escludere, quindi, la presenza di uno *splay* poco più a monte di quelli osservati in campagna in corrispondenza dell'apertura della conoide.

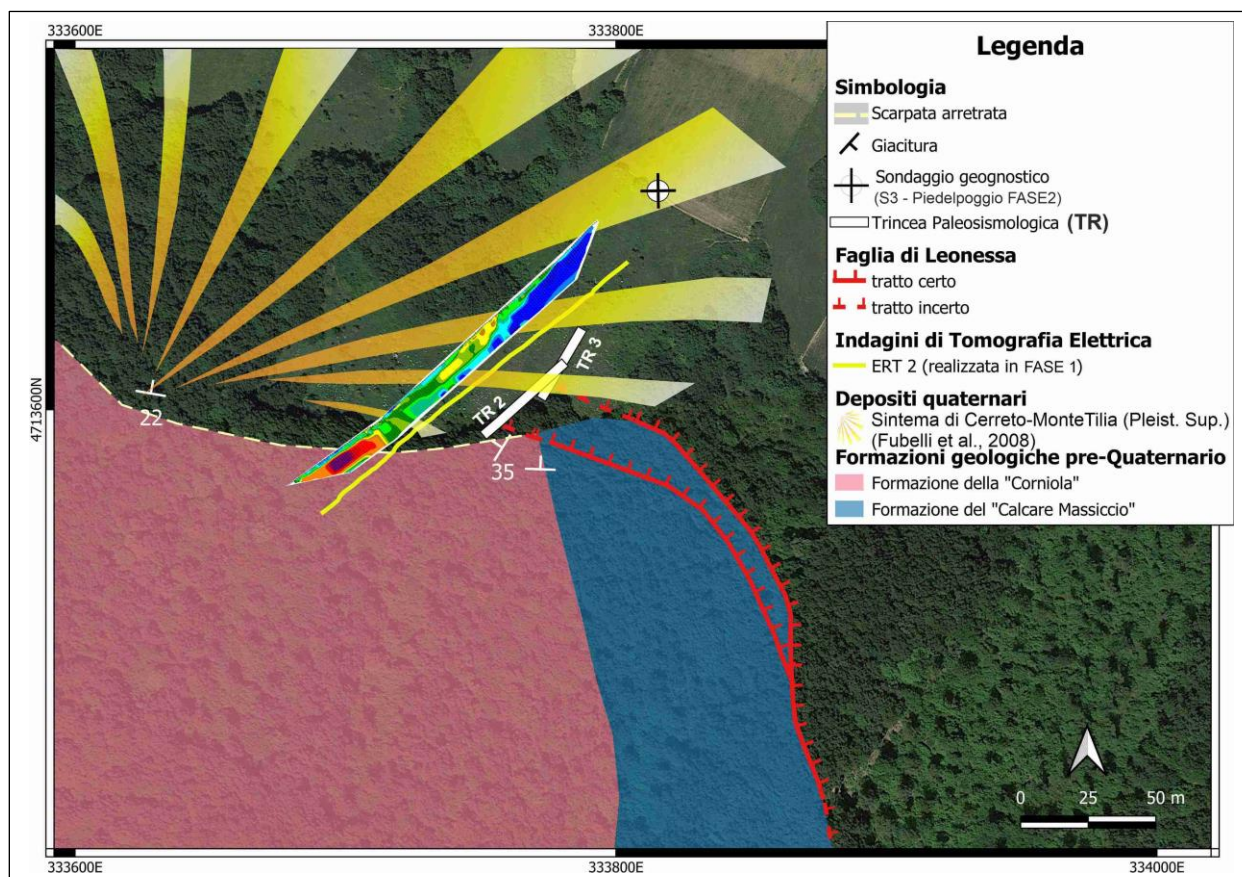


Fig. 31. Immagine satellitare dell'area "Leonessa-Piedelpoggio", oggetto delle indagini paleosismologiche; è indicata l'estensione della conoide alluvionale oggetto delle indagini; la tomografia elettrica ERT 2 è proiettata lungo la traccia della sezione geofisica.

Per cercare di ottenere dei vincoli cronologici per la deposizione della conoide alluvionale sono stati prelevati alcuni campioni di matrice dai sopramenzionati due livelli più sabbiosi della sequenza esposta dalla trincea 2, da sottoporre a datazione col metodo del ^{14}C . Come nel caso della trincea 1

precedentemente descritta, va tenuta in debita considerazione che la datazione della matrice organica di un sedimento può essere affetta da un errore intrinseco, legato alla potenziale contaminazione della parte organica con materiale organico più recente. In questo caso, la natura ghiaiosa del corpo sedimentario soprastante i due livelli e la prossimità alla superficie di questi, dai quali sono stati prelevati i campioni, rende maggiormente critica l'attendibilità dell'analisi radiometrica, anche rispetto ai campioni analizzati del sondaggio S2-Tilia. Infatti, questi ultimi sono stati prelevati a profondità molto superiore (fra i circa 20 e 30 m) e dunque con probabilità minore di essere stati contaminati con materiale organico più recente.

Sono stati analizzati n. 8 campioni della matrice dei livelli esposti dalla trincea 2 (Fig. 27), che hanno restituito le seguenti età radiometriche:

LEO-1: 5610±30 BP (4501-4356 cal a.C.)

LEO-2: 6300±30 BP (5333-5212 cal a.C.)

LEO-3: 3910±30 BP (2470-2295 cal a.C.)

LEO-4: NON HA RESTITUITO VALORI ANALITICI

LEO-5: il campione ha restituito un'età che corrisponde all'attuale.

LEO-6: NON HA RESTITUITO VALORI ANALITICI

LEO-B1: 5680±30 BP (4606-4447 cal a.C.)

LEO-B2: 6140±30 BP (5209-4997 cal a.C.)

Le date ottenute, benché effettuate sulla frazione organica degli stessi due livelli della conoide, appaiono piuttosto variabili: alcuni campioni hanno restituito età numerica doppia rispetto ad altri, mentre un campione ha restituito un'età di fatto corrispondente all'attuale. Inoltre, quasi tutte le datazioni effettuate sarebbero da riferirsi al tardo Olocene. Considerando che il materiale organico sottoposto ad analisi radiometrica è riferibile con ogni probabilità a colluvi di suolo incorporati all'interno del corpo della conoide, ciò implica che la datazione sia relativa al materiale organico del "*parent material*", probabilmente un suolo appunto, che prima deve essersi formato in un settore più alto del versante, poi deve aver subito erosione, conseguente risedimentazione (come colluvio di suolo), con copertura successiva di almeno un paio di metri di sedimento della conoide. Ciò implica, quindi, che un certo intervallo di tempo debba essere trascorso per tutto il processo sedimentario. Data la estremamente recente età numerica ottenuta da alcuni campioni, quindi, la conoide dovrebbe essersi deposta nel corso delle ultime centinaia (se non decine) di anni o al massimo entro gli ultimi due o tre millenni. Questo appare del tutto inconsistente col contesto geomorfologico descritto, in cui 1) la attuale superficie topografica risulta incoforme rispetto alla stratificazione della conoide, 2) il corso di acqua che ha alimentato la conoide risulta incassato di alcuni metri nel corpo della conoide stessa (quindi, è in relazione con un livello di base più basso) e 3) nella parte distale il corpo della conoide risulta interessato da un principio di erosione lineare riferibile a un paleo-reticolo idrografico non attivo. Tali osservazioni rendono di conseguenza le datazioni assolute ottenute almeno poco attendibili dell'età della deposizione della conoide.

Tuttavia, al fine di ottenere indicazioni per valutare l'età reale della conoide, alcune considerazioni sul contesto morfo-lito-stratigrafico in cui la conoide si inserisce possono essere fatte.

In particolare, le caratteristiche morfo-stratigrafiche della conoide e il contesto geomorfologico in cui questa si inserisce sono congruenti con il contesto geomorfologico e morfo-stratigrafico della

conoide analizzata nel sito della trincea 1 e di tutte le conoidi alluvionali che si aprono sulla piana di Leonessa alla base dei versanti carbonatici che bordano la piana a SO, attribuite da Fubelli et al. (2008; 2009) al "Sintema Cerreto-Monte Tilia", relativo alla parte alta del Pleistocene Superiore. Tale attribuzione è stata corroborata dai dati ottenuti nella zona della trincea 1 e del sondaggio S2-Tilia. Per cui, è possibile riferire la conoide investigata allo stesso ordine di conoidi descritto da Fubelli et al. (2008; 2009).

Tali considerazioni possono essere inoltre incrociate con i dati di sottosuolo derivanti da un sondaggio a carotaggio continuo realizzato nella parte distale della conoide alla fine della FASE 2 dello studio, chiamato sondaggio "S3-Piedelpoggio", fatto a poche decine di metri di distanza dalle trincee 2 e 3, al tetto della faglia (Fig. 22).

La stratigrafia attraversata dal sondaggio è stata distinta in diverse unità, le cui caratteristiche sedimentologiche e l'interpretazione paleo-ambientale sono descritte in dettaglio in Fig. 32.

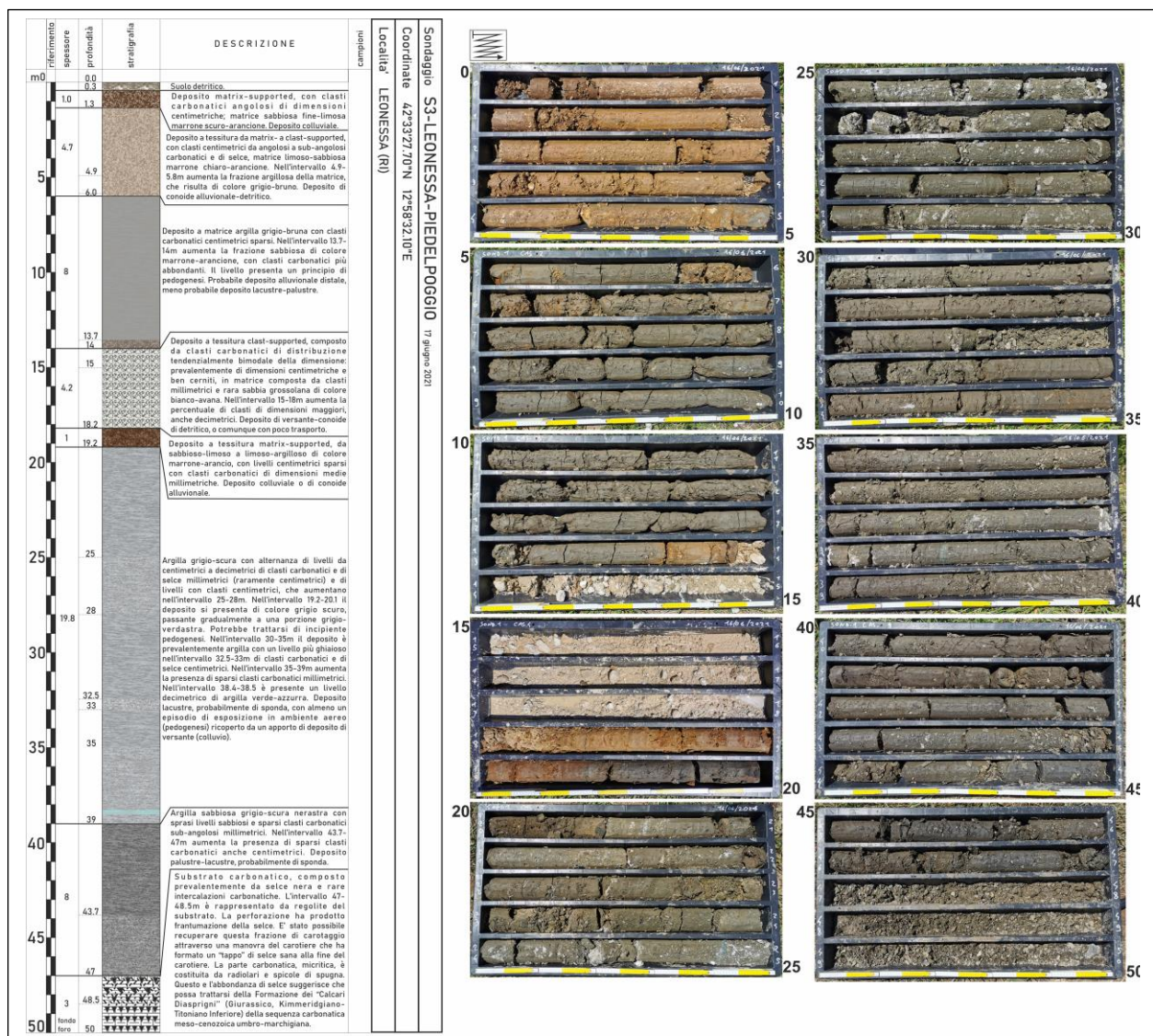


Fig. 32. Stratigrafia e fotografie della sequenza attraversata dal sondaggio S3-Piedelpoggio.

Due elementi appaiono rilevanti: il primo è che al di sotto del corpo sedimentario riferibile alla parte distale della conoide alluvionale è stata individuata ad una profondità di circa 19 m dal piano

campagna una sequenza argillosa (a luoghi costituita da argilla grigio-azzurra) potente circa 26 m di probabile origine lacustre; il secondo elemento è che questa sequenza lacustre è risultata in appoggio sul substrato carbonatico, intercettato dal sondaggio negli ultimi tre metri, fra i 47 m e i 50 m di profondità dal piano campagna. Il substrato è composto quasi essenzialmente da selce grigio-scura con rare intercalazioni calcaree, le quali hanno mostrato un contenuto fossilifero essenzialmente costituito da radiolari e spicole di spugna. Tali caratteristiche e il contesto litostratigrafico dell'area suggeriscono che il sondaggio abbia intercettato la Formazione dei "Calcarei Diasprigni", del Giurassico medio-superiore.

Come mostrato dal sondaggio S3-Piedelpoggio, lo spessore del corpo della conoide appare del tutto comparabile con quello della conoide intercettata dal sondaggio S2-Tilia e oggetto delle indagini della trincea 1. Inoltre, entrambe le conoidi poggiano a profondità confrontabili dal piano campagna su un "substrato" che nel caso del sondaggio S2-Tilia corrisponde alla Formazione della "Scaglia Rossa", a circa 27.5 m dal piano campagna, mentre nel caso del sondaggio S3-Piedelpoggio corrisponde a una sequenza argillosa, probabilmente lacustre, a circa 19 m dal piano campagna. Ciò testimonia che le due conoidi afferivano con ogni probabilità allo stesso livello di base locale (corrispondente ad una superficie di erosione scolpita sul substrato mesozoico, in un caso, e su una sequenza lacustre, nell'altro), corroborandone la deposizione sincrona.

Nel complesso, quindi, tutte le informazioni geomorfologiche locali raccolte, le osservazioni stratigrafiche fatte nelle trincee 2 e 3, e l'analisi dei rapporti morfo-lito-stratigrafici della conoide con altri depositi cronologicamente vincolati del bacino di Leonessa indicano che anche questa sia da riferirsi alla parte alta del Pleistocene Superiore e che le datazioni assolute siano state effettivamente realizzate su materiale organico contaminato da altro materiale più giovane e, quindi, risultano non attendibili per finalità cronostatigrafiche.

4. DISCUSSIONE E VALUTAZIONI DEI DATI RACCOLTI IN CHIAVE TETTONICA

Le indagini paleosismologiche, stratigrafiche e strutturali condotte lungo settori specifici della faglia di Leonessa permettono di fare considerazioni che riguardano l'attività della struttura tettonica nei diversi settori investigati, che verranno esposte di seguito per aree, così come descritte nei paragrafi precedenti.

4.1 Area "Borgo Mataloni-Prima Forca"

Le indagini condotte nell'area Borgo Mataloni-Prima Forca indicano che la sequenza argilloso-limosa descritta da Michetti e Serva (1990) non rappresenta, a differenza di quanto proposto dagli autori, la sequenza quaternaria continentale lacustre del Pleistocene Inferiore accumulatasi nel bacino di Leonessa, bensì costituisce un deposito di ambiente marino ben più antico del Pleistocene Inferiore, perché di età tortoniana, come rivelato dal contenuto di nannofossili. Tale deposito, dunque, non può rappresentare il corrispettivo al letto della faglia di alcun deposito o elemento morfologico quaternario presente nel bacino di Leonessa, al tetto della faglia. Di conseguenza, la presenza al

letto della faglia di questi depositi marini non può dunque essere utilizzata per attestare la dislocazione e quindi l'attività quaternaria della faglia di Leonessa almeno in questo settore e ciò corrobora i risultati delle indagini effettuate nel corso della FASE 2 che, nel complesso, hanno permesso di escludere un rigetto verticale del substrato carbonatico, e quindi dei depositi quaternari, attraverso il settore settentrionale della faglia di Leonessa.

È importante sottolineare che quanto sopra descritto e quanto già evidenziato nelle due fasi precedenti dello studio confutano tutte le evidenze di dislocazione di depositi e morfologie quaternari attribuite all'attività della faglia di Leonessa negli studi precedenti.

4.2 Area “Base Monte Tilia”

Le indagini di terreno condotte in questo settore durante questa ultima fase dello studio, insieme ai risultati delle indagini eseguite nelle due fasi di studio precedenti, permettono di confermare che la traccia principale della faglia di Leonessa in questo settore non è ubicata, come precedentemente indicato nelle diverse pubblicazioni scientifiche e cartografie pubblicate (e.g. Michetti e Serva, 1990, Fubelli et al., 2008; ITHACA Working Group, 2019), al contatto fra i rilievi carbonatici, che delimitano il margine sud-occidentale, e i depositi continentali, che colmano il bacino di Leonessa. La faglia, invece, è esposta in quest'area in un settore più a monte lungo il versante settentrionale del M. Tilia, interessando solamente il substrato carbonatico. Le analisi stratigrafiche condotte sulle formazioni mesozoiche indicano che la faglia in questo settore pone a contatto la parte media della Formazione della “Scaglia Bianca” e la parte medio-bassa della Formazione della “Scaglia Rossa”, definendo un rigetto stratigrafico dell'ordine di alcune decine di metri delle unità mesozoiche.

Quanto qui osservato conferma dunque due aspetti rilevanti inerenti alla struttura tettonica, rispetto a quanto emerso durante le prime due fasi dello studio:

1) la faglia di Leonessa in questo settore non sembra essere la struttura che ha guidato la formazione del bacino come un bacino a semi-*graben*, poiché essa non si colloca al margine fra il bacino e i versanti carbonatici. Ciò è compatibile con quanto emerso durante la FASE 2 per il settore settentrionale della faglia; la presenza del bacino, quindi, non può essere utilizzata per dimostrare l'attività quaternaria della faglia di Leonessa.

2) il rigetto di alcune decine di metri della faglia di Leonessa valutato in quest'area sulla base del substrato carbonatico – area che rappresenta il tratto centrale della faglia di Leonessa, dove il rigetto è atteso essere il massimo per una faglia normale – risulta poco compatibile con i rigetti minimi quaternari stimati nel lavoro di Michetti e Serva (1990), valutati in almeno 70-100 m. Infatti, il rigetto che dovrebbe interessare le formazioni del substrato dovrebbe essere almeno pari a quello dei depositi quaternari. Inoltre, come discusso nel paragrafo precedente, il rigetto minimo quaternario proposto da Michetti e Serva (1990) è stato valutato dagli autori correlando al letto e al tetto della faglia non la stessa unità stratigrafica dislocata, bensì corpi sedimentari che le indagini qui condotte hanno mostrato essere di età e origine diverse.

Inoltre, sempre nell'ipotesi che il bacino di Leonessa sia un bacino a semi-*graben* la cui formazione è stata guidata dall'attività quaternaria faglia di Leonessa, il rigetto qui valutato che interessa il substrato carbonatico nel settore centrale della faglia è del tutto inconsistente con lo spessore dei depositi quaternari stimato sulla base dei rilievi gravimetrici (Skrame et al., 2014), descritti nella

relazione conclusiva della FASE 1, dell'ordine di alcune centinaia di metri, peraltro ubicato nel settore settentrionale del bacino di Leonessa.

4.3 Aree “Base Monte Tilia”-“Monte Tilia-Leonessa”

Le indagini paleosismologiche e geologico-stratigrafiche condotte in quest'area permettono di definire che il corpo della conoide alluvionale presente poco a NO dell'abitato di Leonessa non mostra evidenze di dislocazioni lungo piani di taglio associabili alla faglia di Leonessa così come riportata in ITHACA o a rami di faglia ad essa associati, la cui possibile presenza era stata ipotizzata a conclusione della FASE 2 dello studio. Considerando le età radiometriche ottenute, è possibile riferire la sedimentazione della conoide alla parte alta del Pleistocene Superiore e ed è dunque possibile escludere l'attività di piani di faglia in questo settore almeno nelle ultime decine di migliaia di anni, ovvero almeno negli ultimi 30.000 anni circa. Le anomalie individuate nell'indagine geoelettrica ERT1 e nel transetto di misure di rumore sismico ambientale, descritte nella relazione conclusiva della FASE 1, corrispondono esclusivamente con variazioni laterali delle caratteristiche litologiche dei livelli della conoide o con passaggi laterali fra livelli più o meno grossolani.

A questo va aggiunto che, come discusso nel paragrafo precedente, la traccia della faglia di Leonessa è posta più a monte lungo il versante, interessando solo il substrato carbonatico, e che nel settore qui investigato con la trincea paleosismologica nemmeno il substrato carbonatico risulta dislocato verticalmente dall'attività di un elemento tettonico distensivo, né attraverso la traccia della faglia di Leonessa come riportata nel database ITHACA né attraverso il ramo della faglia ipotizzata a conclusione della FASE 2. Infatti, al letto e tetto della presunta faglia è presente la stessa Formazione del substrato carbonatico, ovvero la “Scaglia Rossa” maastrichtiana. Quindi, come mostrato nella sezione geologica schematica rappresentata in Fig. 33, le piccole ondulazioni che sembrano caratterizzare il contatto basale fra i depositi del conoide alluvionale e il substrato carbonatico, individuate dalle ERT 4 e 5, non sono da imputarsi a dislocazioni tettoniche bensì a processi erosivi locali che hanno scolpito il substrato carbonatico prima della deposizione della conoide stessa.

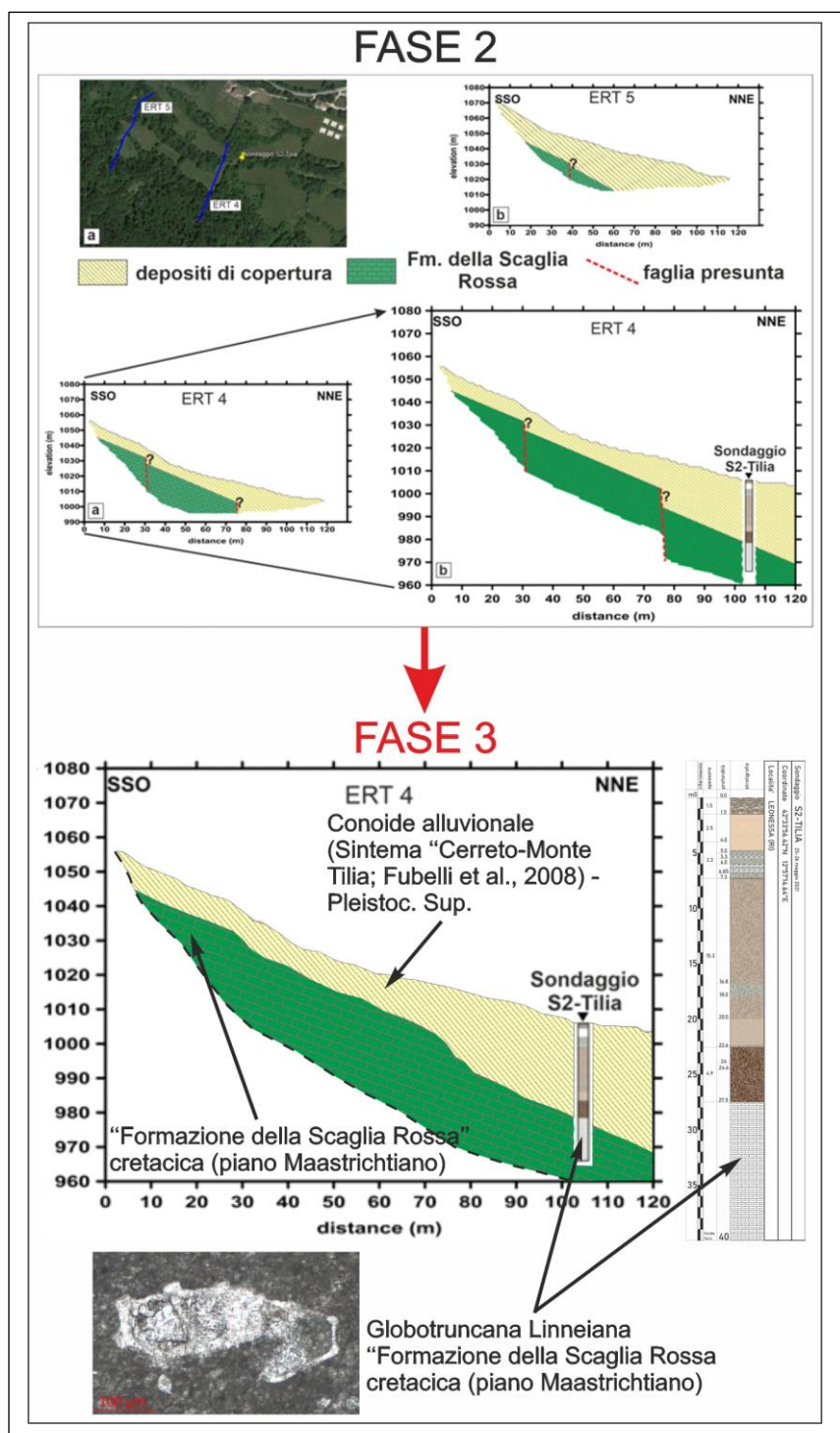


Fig. 33. Sezione geologica definita a valle delle indagini eseguite nel corso della FASE 3 a completamento e integrazione di quelle effettuate nelle FASI 1 e 2. L'ipotesi della presenza di rami di faglia è stata infine scartata per la presenza al letto e al tetto degli ipotetici rami di faglia della stessa Formazione del substrato carbonatico, oltre che all'essenza di dislocazioni della conoide della parte alta del Pleistocene Superiore.

4.4 Area “Leonessa-Piedelpoggio”

Le indagini paleosismologiche e le osservazioni morfo-lito-stratigrafiche condotte in quest’area permettono di definire che, concordemente con quanto osservato nell’area “Monte Tilia-Leonessa”, il corpo della conoide alluvionale interessato dalle trincee 2 e 3 non mostra evidenze di dislocazioni o deformazioni attraverso la faglia di Leonessa imputabili all’attività della struttura tettonica. L’anomalia elettrica emersa dalla ERT2, descritta nella relazione conclusiva della FASE 1, consiste esclusivamente con il contatto laterale erosivo fra il corpo della conoide e il substrato carbonatico, alcune decine di metri al letto della faglia.

Sulla base delle considerazioni morfo-lito-stratigrafiche effettuate è possibile riferire la sedimentazione della conoide al medesimo ambito cronologico di quelle investigata nell’area “Monte Tilia-Leonessa”, ovvero alla parte alta del Pleistocene Superiore. È dunque possibile escludere l’attività di piani di faglia in questo settore almeno nelle ultime decine di migliaia di anni.

5. CONCLUSIONI

La terza e ultima fase del presente studio sulla valutazione della capacità della faglia di Leonessa ha previsto il miglioramento delle conoscenze sull’assetto geologico e strutturale dei versanti interessati dalla faglia, che bordano il fianco sud-occidentale del bacino di Leonessa. I risultati di questa fase completano quanto già definito a conclusione delle prime due fasi dello studio.

Come stabilito in conclusione della FASE 2, lo studio necessitava di ulteriori approfondimenti che implicavano di procedere con il livello di indagini “Ind_4”, ovvero la “Paleosismologia”, previsto dalle Linee Guida FAC, poiché solo attraverso il completamento degli approfondimenti si sarebbero potute ottenere le informazioni conclusive per la definizione dell’attività e capacità della faglia di Leonessa e la tracciatura delle eventuali Zone di Rispetto (ZR) e Zone di Suscettibilità (ZS). In quest’ottica, sono state realizzate tre trincee geognostiche e dei saggi, a queste correlate, per finalità paleosismologica attraverso la faglia principale di Leonessa e attraverso possibili rami di faglia associati la cui possibile presenza era stata ipotizzata a conclusione delle indagini geologiche e geofisiche condotte durante le FASE 1 e 2.

Le ulteriori indagini condotte nel settore settentrionale della faglia hanno confermato l’assenza di dislocazioni verticali quaternarie, in quanto i depositi lacustri individuati da Michetti e Serva (1990), ritenuti essere stati troncati dall’attività della struttura tettonica e lasciati sospesi rispetto alla piana di Leonessa, si sono rivelati essere depositi marini del Tortoniano Superiore, riferibili con ogni probabilità a un bacino di *thrust-top*. Questo ha permesso di definire che tali depositi non sono correlativi al letto della faglia di sedimenti quaternari abbassati per l’azione della struttura tettonica nel Quaternario, considerazione questa utilizzata in passato da alcuni autori per definire la possibile dislocazione a causa dell’attività quaternaria della faglia di Leonessa. Dunque, alla luce delle indagini svolte per questo studio, è possibile affermare che non sono mai stati di fatto rinvenuti gli stessi depositi quaternari al tetto e al letto della struttura tettonica dislocati.

Di conseguenza, tali depositi, marini, non possono essere utilizzati per definire e parametrizzare l’attività quaternaria della faglia. Peraltro, come definito in occasione della FASE 2, questo tratto della struttura tettonica non è stata responsabile di dislocazione verticale delle formazioni del

substrato carbonatico, confermando l'assenza di dislocazione di depositi quaternari al letto e al letto della faglia di Leonessa.

Per ciò che concerne il settore centrale della faglia, in prossimità dell'abitato di Leonessa, le indagini hanno confermato che la faglia, il cui piano è esposto poco a NO dell'area dell'abitato per fenomeni di erosione selettiva e processi gravitativi, prosegue verso NO in modo piuttosto frammentato nella parte mediana del versante, interessando soltanto il substrato carbonatico, dislocandolo di alcune decine di metri. Anche in questo caso, la faglia non sembra collocarsi in corrispondenza del contatto fra i rilievi e il bacino di Leonessa, con una struttura di tipo semi-graben, confermando che anche in questo settore centrale come in quello più settentrionale, la faglia di Leonessa non sembra aver guidato la strutturazione del bacino stesso, almeno a partire da un certo momento al momento non definibile ma comunque successivo al Tortoniano Superiore.

Le indagini paleosismologiche condotte in quest'area (trincea 1), le informazioni cronostratigrafiche derivanti dall'analisi del sondaggio S2-Tilia e di un altro effettuato dal Dott. Geol. Francesco Chiaretti in prossimità dell'abitato di Leonessa, nonché una serie di analisi radiometriche di campioni di materiale organico, hanno permesso di escludere la dislocazione di un corpo di conoide alluvionale appartenente a Sintema che comprende diverse conoidi alluvionali riferibili alla parte alta del Pleistocene Superiore, che può essere attribuita almeno agli ultimi 35.000-38000 anni circa (età della torba, campione LEO-TORB). Inoltre, l'analisi della stratigrafia del sondaggio S2-Tilia ha rivelato la presenza della stessa formazione del substrato carbonatico (Scaglia Rossa del piano Maastrichtiano) attraverso la traccia di uno ramo della faglia ipotizzato a conclusione della FASE 2, escludendo dunque l'occorrenza di dislocazioni verticali, possibilmente causate dall'attività di questo splay già nel substrato carbonatico, come osservato nel settore settentrionale. Le indagini condotte permettono anche di attribuire i contatti fra corpi a diversa resistività elettrica non a contatti tettonici, legati alla presenza di una faglia, ma a variazioni laterali (eteropie o stratificazione incrociata) di natura sedimentaria degli orizzonti ghiaiosi che compongono la conoide oppure a fenomeni di erosione locale del substrato sul quale la conoide si è deposta.

A SE dell'abitato di Leonessa, sono state realizzate ulteriori due trincee paleosismologiche (trincee 2 e 3) attraverso la faglia principale, la cui traccia è stata definita sulla base di analisi di terreno ad alta risoluzione. Come nel caso sopra descritto, una conoide attraversa la zona di faglia e, come mostrato dalle trincee, non è risultata dislocata dall'attività dell'elemento tettonico. Le analisi stratigrafiche delle pareti delle trincee, le informazioni stratigrafiche ottenute dal sondaggio S3-Piedelpoggio e considerazioni sui rapporti morfo-lito-stratigrafici fra la conoide e altri depositi cronologicamente vincolati, fra cui la conoide analizzata nel sito della trincea 1, permettono di attribuire a questa conoide un'età relativa alla parte alta del Pleistocene Superiore, che comprende le ultime decine di migliaia di anni.

Dunque, la grande quantità di informazioni di geologia del Quaternario, geomorfologiche, stratigrafiche delle formazioni pre-quaternarie, strutturali e geofisiche permettono di definire la faglia di Leonessa come non capace (Fig. 34).

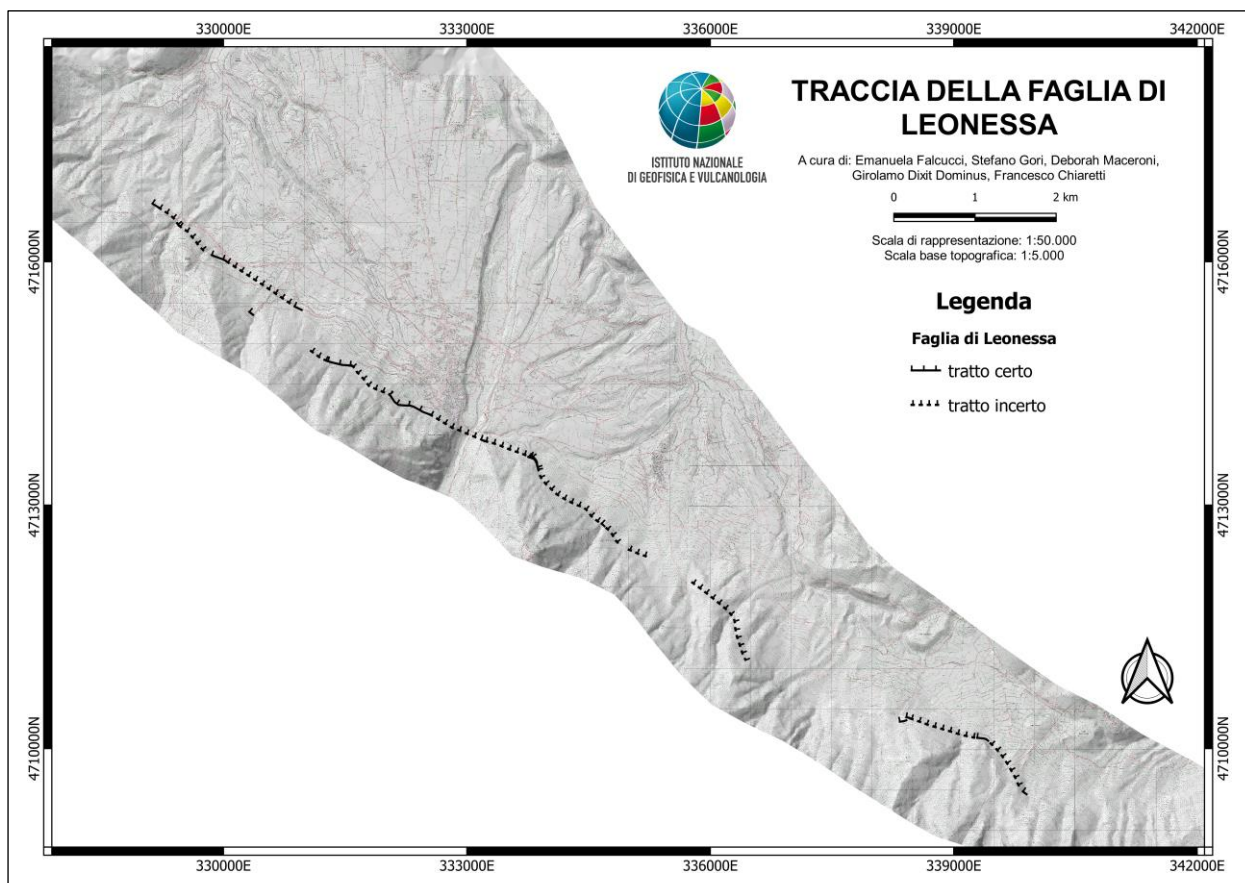


Fig. 34. Traccia (linee nere) della faglia di Leonessa come faglia non capace.

In quest'ottica, benché le età numeriche dei corpi sedimentari che sigillano la faglia non copra interamente i 40.000 anni previsti dalle Linee Guida FAC, alcune considerazioni conclusive possono essere fatte a supporto delle conclusioni delle indagini svolte:

- 1) le datazioni assolute ottenute indicano un'età delle conoidi che sigillano la faglia di almeno 35.000-38000 anni circa, quindi un'età molto prossima ai 40.000 anni previsti dalle Linee Guida;
- 2) il limite cronologico dei 40.000 anni è stato definito su base "operativa", basata essenzialmente sul limite di applicabilità della datazione col metodo del radiocarbonio;
- 3) in quest'ottica, va considerato che i limiti cronologici ottenuti nel presente studio dei corpi che sigillano la faglia comprendono sicuramente l'Ultimo Massimo Glaciale, ovvero gli ultimi 25.000-15.000 anni che, secondo quanto proposto da Galadini et al. (2012), rappresenta un limite cronologico inferiore sufficientemente lungo per escludere la capacità di un elemento tettonico. Gli autori, infatti, indicano che per il dominio tettonico distensivo italiano, una faglia normale dovrebbe essere considerata come attiva e potenzialmente capace se mostra evidenze di attivazione a partire dal Pleistocene Medio, a meno che non vi siano evidenze di inattività a partire dall'Ultimo Massimo Glaciale (circa 20ka). Questo è il caso del sito preso in esame, nel quale non vi sono dunque evidenze

di dislocazioni fragili riferibili a una faglia capace almeno a partire dall'Ultimo Massimo Glaciale. In aggiunta, è opportuno evidenziare che il limite cronologico inferiore relativo all'Ultimo Massimo Glaciale proposto da Galadini et al. (2012) si basa su criteri operativi sia "strumentali" che "geologici". Infatti, in termini "strumentali", i depositi e le morfologie relative all'Ultimo Massimo Glaciale sono ubiquitari e, quindi, utili in termini di possibilità di identificare le tracce geologiche della capacità di una faglia, data la loro diffusione sui territori; in termini "geologici", tale limite è sufficientemente lungo da permettere la "registrazione" geologica del movimento delle faglie attive e capaci considerando i tassi di movimento di queste, stimati per l'Appennino. Invece, come detto sopra, il limite cronologico inferiore dei 40.000 anni proposto nelle Linee Guida FAC tiene conto solo di un criterio operativo, che consiste nel limite dell'applicabilità del metodo di datazione radiometrica del ^{14}C ;

4) le acquisizioni geologiche fatte nel corso di tutto lo studio hanno permesso di definire che l'esposizione, discontinua, del piano della faglia di Leonessa nelle zone prossime alla base dei versanti avviene solo dove fenomeni superficiali, non tettonici, esumano il piano della faglia. Inoltre, i dati raccolti hanno permesso di rivalutare e rifiutare, per la prima volta in modo completo, tutte le evidenze geologiche prodotte nel corso dei passati studi di dislocazioni di forme e depositi quaternari da parte della faglia. Queste, in effetti, si sono rivelate come "non evidenze", ovvero il cui significato e origine non è da imputare all'attività quaternaria della faglia.

Così come fatto in conclusione della FASE 2 dello studio per ciò che concerneva il tratto settentrionale della faglia di Leonessa, è necessario precisare che non si può escludere che l'elemento tettonico possa comunque rappresentare un elemento di pericolosità geologica, in termini di possibili deformazioni della superficie topografica, per un triplice aspetto, e in termini di possibili scuotimenti:

a) non si può escludere che la faglia di Leonessa possa essere riattivata in modo simpatetico in occasione di un evento sismico nelle aree circostanti. L'attivazione simpatetica consiste nel movimento secondario, "indotto" o "innescato", di un dato elemento tettonico che non è strutturalmente connesso alla faglia che produce un certo evento sismico. Dalle informazioni di letteratura (e.g. Fialko et al., 2002), l'entità del movimento simpatetico risulterebbe essere molto inferiore (almeno di un ordine di grandezza) di quello primario lungo la faglia responsabile del terremoto. A titolo di esempio per il contesto tettonico dell'Appennino centrale, alcuni rami della faglia di Norcia si sono attivati in modo simpatetico in occasione dell'evento sismico del 30 ottobre 2016 (M_w 6.5), causato dall'attivazione del sistema di faglie del M. Vettore-M. Bove (e.g. Cheloni et al., 2017; 2019; Chiaraluce et al., 2017). Tale attivazione simpatetica ha causato delle locali, piccole dislocazioni in superficie lungo i suddetti rami della faglia di Norcia che non hanno superato i circa 15 cm di rigetto verticale (Gori et al., 2017; Galli et al., 2018), quindi di uno/due ordini di grandezza inferiore rispetto ai 1.5-2 m di rigetto verticale osservati lungo la faglia del M. Vettore-M. Bove che ha causato il terremoto (e.g. Civico et al., 2018).

b) non si può escludere che, localmente, il contatto fra Formazioni del substrato carbonatico a competenza e caratteristiche litologiche diverse fra loro possa causare movimenti differenziali fra un lato e l'altro della struttura tettonica in esame per questioni di tipo geotecnico. Ovvero, le Formazioni pre-aternarie a contatto potrebbero avere un comportamento meccanico disomogeneo in caso di scuotimento sismico. Questo può peraltro coinvolgere anche i terreni di copertura quaternari accumulati alla base della scarpata di faglia, rispetto al substrato che è posizionato nel blocco di letto.

c) la zona di taglio della faglia e il piano della faglia possono rappresentare piani di scorrimento preferenziali di movimenti e dissesti gravitativi, sia sismoindotti che non, che possono comunque indurre dislocazioni della superficie.

Infine, questi studi hanno dimostrato che la faglia di Leonessa non è una faglia capace, ovvero non è una faglia che rappresenta l'espressione in superficie di una sorgente sismogenetica che è in grado di determinare, come conseguenza della sua attivazione, una dislocazione primaria della superficie. In termini sismogenetici, il fatto che gli studi abbiano rivelato che la faglia di Leonessa non sia una faglia capace non esclude, comunque, che questa possa generare eventi sismici. Tuttavia, considerando la dimensione della faglia e il limite di Magnitudo entro il quale in Appennino può verificarsi fagliazione di superficie, ovvero $M \geq 5.5-6$ (Michetti et al., 2000; Falcucci et al., 2016), non si può escludere l'occorrenza di un terremoto eventualmente generato dalla faglia di Leonessa di Magnitudo tale da non determinare fagliazione di superficie.

BIBLIOGRAFIA

Cheloni D., De Novellis V., Albano M., Antonioli A., Anzidei M., Atzori S., et al. (2017). Geodetic model of the 2016 central Italy earthquake sequence inferred from InSAR and GPS data. *Geophysical Research Letters*, 44, 6778–6787. <https://doi.org/10.1002/2017GL073580>.

Cheloni D., Falcucci E., Gori, S. (2019). Half-graben rupture geometry of the 30 October 2016 MW 6.6 Mt. Vettore-Mt. Bove earthquake, central Italy. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JB015851>.

Chiaraluce L., Di Stefano R., Tinti E., Scognamiglio L., Michele M., Casarotti E., et al. (2017). The 2016 central Italy seismic sequence: A first look at the mainshocks, aftershocks and source models. *Seismological Research Letters*, 88(3), 757–771. <https://doi.org/10.1785/0220160221>.

Chiarini E., Messina P., Papasodaro F. (1997). Evoluzione geologica e tettonica plio-quadernaria dell'alta valle del F. Salto (Italia centrale). Primi risultati derivanti dall'analisi delle superfici relitte e dei depositi continentali. *Il Quadernario (Italian Journal of Quaternary Sciences)* 10, 625-630.

Civico, R., Pucci, S., Villani, F., Pizzimenti, L., De Martini, P. M., Nappi, R., & the Open EMERGEO Working Group (2018). Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy. *Journal of Maps*, 14(2), 151–160. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1441756>.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 2015.

Falcucci, E., Gori, S., Galadini, F., Fubelli, G., Moro, M., and Saroli, M. (2016). Active faults in the epicentral and mesoseismal M_L 6.0 24, 2016 Amatrice earthquake region, central Italy, Methodological and seismotectonic issues. *Annals of Geophysics*, 59, Fast Track 5. doi:10.4401/ag-7266.

Fialko Y., Sandwell D., Agnew D., Simons M., Shearer P., Minster B. (2002). Deformation on nearby faults induced by the 1999 Hector Mine earthquake, *Science*, 297, 1858–1862, doi:10.1126/science.1074671.

Fubelli G., Falcucci E., Mei A., Dramis F. (2008). Evoluzione quadernaria del bacino di Leonessa (Rieti), *Il Quadernario (Ital. J. Quat. Sci.)* 21 (2).

Fubelli G., Gori S., Falcucci E., Galadini F., Messina P. (2009). Geomorphic signatures of recent normal fault activity versus geological evidence of inactivity: Case studies from the central Apennines (Italy). *Tectonophysics* 476 (2009) 252-268.

Galadini F., Galli P. (2003). Paleoseismology of silent faults in the central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts. faults. *Annals of Geophysics*, 46, 815-836.

Galadini F., Falcucci E., Galli P., Giaccio B., Gori S., Messina P., Moro M., Saroli M., Scardia G., Sposato A. (2012). Time intervals to assess active and capable faults for engineering practices in Italy, *Engineering Geology* 139–140, 50–65.

Galli P., Galderisi A., Ilardo I., Piscitelli S., Scionti V., Bellanova J., Calzoni F. (2018). Holocene paleoseismology of the Norcia fault system (Central Italy). *Tectonophysics*, 745, 154-169.

Giraudi C. (1992). Segnalazione di scarpate di faglia tardo-pleistoceniche sui monti della Magnola (Massiccio del Velino-Abruzzo). *Il Quaternario, (Italian Journal of Quaternary Sciences)* 5, 27-32.

Giraudi C., Frezzotti M. (1997). Late Pleistocene glacial events in the central Apennines, Italy. *Quat. Res.* 48, 280-290.

Gori S., Falcucci E., Galadini F., Saroli M., Moro M., Bignami C., Lo Sardo L., Albano M., Cinti D., Voltattorni N., Petitta M., Savi F. (2017). Triggered slip and hydrotectonics on nearby faults caused by the October 30, 2016 Mw 6.6 earthquake in central Italy. *European Geosciences Union General Assembly 2018*, 8 Aprile-13 Aprile 2018, Vienna.

Gori, S., Giaccio, B., Galadini, F., Falcucci, E., Messina, P., Sposato, A., Dramis, F. (2011) Active normal faulting along the Mt. Morrone south-western slopes (central Apennines, Italy), *Int. J. Earth Sci.*, 100, 157–171.

ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>

Michetti A.M., Serva L. (1990). New data on the seismotectonic potential of the Leonessa fault area (Rieti, central Italy). *Rend. Soc. Geol. It.* 13, 37–46.

Michetti, A.M., Ferreli, L., Esposito, E., Porfido, S., Blumetti, A.-M., Vittori, E., Serva, L., Roberts, G.P. (2000). Ground effects during the 9 September 1998, Mw ¼ 5.6, Lauria earthquake and the seismic potential of the “Aseismic” Pollino region in Southern Italy. *Seismological Research Letters*, 71, 31–46.

Raffi I., Backman J., Fornaciari E., Pälke H., Rio D., Lourens L., Hilgen F. (2006). A review of calcareous nannofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years. *Quaternary Science Reviews* 25, 3113–3137.

Skrame K, Di Filippo M, Di Nezza M. (2014). A Multidisciplinary Approach for the determination of subsurface structure of Leonessa plain (Central Apennines, Italy). 20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics Athens, Greece, 14-18 September 2014.

Ringraziamenti e riconoscimenti

Gli autori del presente studio tengono a esprimere i seguenti dovuti ringraziamenti e riconoscimenti:

Fabrizio Galadini, Marco Moro e Michele Saroli per le discussioni scientifiche sui dati raccolti e la loro interpretazione.

L'Amministrazione Comunale di Leonessa, nelle persone di:

- Il Sindaco **Gianluca Gizzi**
- Il Consigliere delegato **Gianluca Fossatelli**
- Il Responsabile dell'Ufficio LL.PP. e Sisma **Ing. Simone Marini**
- Il Responsabile dell'Ufficio Tecnico Edilizia e Urbanistica **Geom. Ruggero Zelli**
- Il Capo Operaio **Adolfo Faustini** e l'operaio **Fabrizio Carmignani**

La proprietà dei terreni in cui sono state effettuate le trincee paleosismologiche: **Anna Francesca Zelli; Angela Maria Vannozzi**

La **Professoressa Elsa Gliozzi** dell'Università degli Studi Roma Tre, per il supporto scientifico per l'analisi micropaleontologica.

I sondatori **Luigi Antonetti** e **Dario Colò**, per la grande disponibilità e professionalità.

La cittadinanza del Comune di Leonessa, per il supporto logistico durante le indagini.

Le fotografie aeree del 1945 (VOLO R.A.F.) sono state fornite a titolo gratuito dall'**Istituto Geografico Militare Italiano** (www.igmi.org).

330000E

332000E

334000E

336000E

338000E

340000E



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

TRACCIA DELLA FAGLIA DI LEONESSA

A cura di: Emanuela Falcucci, Stefano Gori, Deborah Maceroni, Girolamo Dixit Dominus,
Francesco Chiaretti



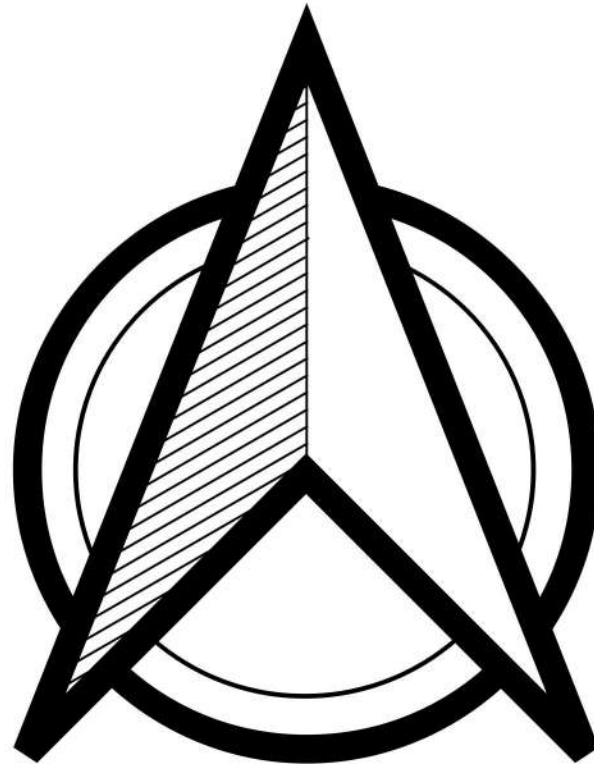
Scala di rappresentazione: 1:10.000
Scala base topografica: 1:5.000

Legenda

Faglia di Leonessa

— tratto certo

- - tratto incerto



330000E

332000E

334000E

336000E

338000E

340000E

4716000N

4714000N

4712000N

4710000N

4716000N

4714000N

4712000N

4710000N